alus

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

www. alus.metalurji.org.tr /alusist

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

05-06 EKİM 2017 İSTANBUL FUAR MERKEZİ



SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI

SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK

TALSAD
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

TÜBİTAK MAM

TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI

aluexpo 2017 5. Uluslararası Alüminyum Teknolojileri, Makina ve Ürünleri İhtisas Fuarı

Deutsche Messe Worldwide Hannover-Messe Ankiros Fuarcılık A.Ş.

ifm İstanbul Expo Center

alusno

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

05-06 EKİM 2017 İSTANBUL FUAR MERKEZİ

www. alus.metalurji.org.tr /alusist

SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI

SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK



05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. Alüminyum Sempozyum Ana Sponsorları
8th Aluminium Symposium Main Sponsors

ACHENBACH BUSCHHÜTTEN

Ana / Main Sponsor

ASAŞ

Ana / Main Sponsor

ASSAN ALÜMİNYUM

Ana / Main Sponsor

MARMARA METAL MAMULLERİ TİC. A.Ş.

Ana / Main Sponsor



05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. Alüminyum Sempozyum Sponsorlar
8th Aluminium Symposium Sponsors

Sponsorlar / Sponsors

Acarer Metal San. Ve Tic. A.Ş.

ÇUHADAROĞLU

Salico

SAP

ŞAHİNLER METAL SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

Banka Sponsoru / Bank Sponsor

ING BANK



05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium



05-06 OCT 2017
8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

05-06 EKİM 2017 - İSTANBUL FUAR MERKEZİ
05-06 OCTOBER 2017 - İSTANBUL EXPO CENTER

@2017
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ
•
TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
•
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI

Bildiriler kitabında yer alan her türlü görüş, fikir, bilimsel sav ve alıntılar, teknik tasarım, tablo ve şekiller bildiri yazar/yazarlarına aittir ve bunlardan ötürü gerek editörler gerekse Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası sorumlu tutulamaz.

@2017 by
TURKISH ALUMINIUM INDUSTRIALISTS' ASSOCIATION
•
TÜBİTAK MARMARA RESEARCH CENTER
•
UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS

Any opinion(s), idea(s), scientific claim(s) and quatations, technical designs, tables and figures in this abstract book are those of the auther(s) of that particuler paper and neither editors nor Turkish Aluminium Industrialists' Association, TÜBİTAK Marmara Research Center, UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers may held responsible for those.

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU
ORGANIZING COMMITTEE

Yürütme Kurulu Başkanı // Chairman

Göksal GÜNGÖR	Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

Üyeler // Members

Arbek AKAY	Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş.
Erman CAR	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Selda KURTTEPELİ	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Onur MEYDANOĞLU	Assan Alüminyum A.Ş.
Hatice MOLLAOĞLU ALTUNER	Assan Alüminyum A.Ş.
Gizem OKTAY	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Yağmur ÖZBAĞ	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Vedat SANCAKDAR	Asaş Alüminyum Sanayi A.Ş.
Hüseyin SAVAŞ	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Ayşe Gül TEZGELDİ	Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği
Metin USTA	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Safa Bayar YAVUZ	Asaş Alüminyum Sanayi A.Ş.
Metin YILMAZ	Çuhadaroğlu Metal Sanayi A.Ş.

SEMPOZYUM HAKEM KURULU
SCIENTIFIC COMMITTEE

Yücel BİROL	Dokuz Eylül Üniversitesi
Mustafa ÇİĞDEM	Yıldız Teknik Üniversitesi
Derya DIŞPINAR	İstanbul Üniversitesi
Ali KALKANLI	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Özgül KELEŞ	İstanbul Teknik Üniversitesi
Ahmet TURAN	Yalova Üniversitesi

SEMPOZYUM DANIŞMA KURULU
ADVISORY BOARD

Kenan ARACI	Çuhadaroğlu Metal Sanayi A.Ş.
Yavuz ARKUN	Assan Alüminyum A.Ş.
Cenk ARSLAN	Arslan Alüminyum
Ali ATA	Gebze Teknik Üniversitesi
Aynur AYHAN	TÜDOKSAD
İbrahim ANIL	Hannover Messe Ankiros A.Ş.
Ali BAKANER	Alfa Metal
İsmail BAŞER	Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş.
Tanya Aycan BAŞER	Tofaş Türk Otomobil A.Ş.
Sedef BOLGÜN	Astaş A.Ş.
Murat CİN	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Kemal Mert DEMİRCİ	Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş.
Kerim DERVİŞOĞLU	3-S Mühendislik
Murat DÜNDAR	Assan Alüminyum A.Ş.
Serdar Ali EROL	Aveks İç ve Dış Ticaret A.Ş.
Atamer GİYİCİ	TALSAD
Yaylalı GÜNAY	Günay Danışmanlık
Y.Güray GÜRSOY	Dekoral Alüminyum
Sami KABUKÇU	CB Metal San. ve Tic. Ltd. Şti.
Erdinç KALUÇ	Kocaeli Üniversitesi
Sabri KARABAĞLI	Altek Metal Sanayi
Şahap KIRAN	Fabal Alüminyum Sanayi
Ali KİBAR	Assan Alüminyum A.Ş.
Şefik Türker KÖKHAN	Astaş Alüminyum
Rıdvan MERTÖZ	İMMİB
Şener MUTER	TALSAD
Orhan OBALI	Sistem Teknik Endüstriyel Fırınlar
Hüseyin ÖNER	Marmara Metal Sanayi
Murat ÖZAYDINLI	Refsan Refrakter
Kaya ÖZEREN	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Tahsin ÖZTİRYAKİLER	Türkiye İhracatçılar Meclisi
Ekrem SELÇUK	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Murat SEZER	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Gürkan SOLMAZ	Perfektüp Ambalaj San. A.Ş.
Pınar ŞAHİN	Şahinler Metal Sanayi
Tunçay ŞULAN	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Emel TABAN	Kocaeli Üniversitesi
Kazım TUR	Atılım Üniversitesi
A.İrfan TÜRKKOLU	TMMOB Metalurji ve Malzeme M.O.
Mustafa ÜRGEN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Samet Ali YAVUZ	Asaş Alüminyum Sanayi A.Ş.
Akın YEREBAKAN	Sistem Alüminyum
Ali İhsan YEŞİLOVA	Cansan Alüminyum
Fevzi YILMAZ	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi
Onuralp YÜCEL	İstanbul Teknik Üniversitesi

TALSAD
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

TALSAD, genç alüminyum sanayi sektörümüzün örgütlü olarak daha başarılı olacağını gören öncü sanayicilerimiz tarafından 1971 yılında kurulmuştur. Kurulduğu günden itibaren firmalar üstü bir anlayışlı faaliyetlerini sürdüren TALSAD, yurt çapında örgütlenerek üstlendiği Alüminyum Sanayini temsil görevini başarı ile yürütmektedir.

TALSAD, Bakanlar Kurulu'nun 1989 yılında adında "TÜRKİYE" sözcüğünün kullanma hakkı vermesi ile Türkiye Alüminyum Sanayini yurt dışında da temsil etme sorumluluğu yüklenmiştir. Bu bilinç ile 1992 yılında "EAA" (European Aluminium Association), "Avrupa Alüminyum Birliği" ne üye kabul edilerek Avrupa'ya adım atan sektör temsilcisi sivil toplum kuruluşu olarak diğer sektörlere de örnek olmuştur. TALSAD, ülkemizin hemen her bölgesinden 80 üyesi ile Türk Alüminyum Sektörü pazarının %75 ini temsil etmektedir.

MİSYONUMUZ
Geleceğin metali" olarak adlandırılan alüminyumun, Türkiye'de tanınırlığını, kullanımını ve üretimini arttırmak; alüminyum ürünleri ve üretiminde kalite yükseltme ve yenilikci ürün geliştirme faaliyetlerine katkıda bulunmak, desteklemek ve teşvik etmek; alüminyum ile ilgili her türlü doğru ve tam bilgiyi derleyerek amaçları doğrultusunda isteyenlere sunmak; Türk alüminyum sektörü mensuplarında birliktelikten doğan gücü ve inanç bilincini pekiştirmek ve bu güç ile yukarıda belirtilen faaliyetleri gerçekleştirmek; Türk alüminyum sektörü ve Türkiye'de üretilen alüminyum ürünlerinin iç ve dış pazarlarda hak ettiği konuma ulaşmasını sağlamak TALSAD'ın misyonudur.

VİZYONUMUZ
TALSAD, misyonunu gerçekleştirme sürecinde teknoloji ve bilgiyi izleyen; edindiği tüm bilgi, birikim ve deneyimi misyonuna uygun biçimde kullanıma sunan; sivil toplum kuruluşu niteliklerini en üst düzeye yükseltmiş ve kendi bünyesinde bir hizmet üreticisi kuruluş olarak toplam kalite anlayışını benimseyen; Türk alüminyum sektörünün en büyük ve eksiksiz temsilcisi haline gelmiş ve yalnız üyelerinin değil tüm toplumun güvenini kazanmış olan ve bu güvene dayanarak uluslararası boyutta da kurumsal katkısını ortaya koyabilen; eğitime, çağdaşlığa, kurum içi demokrasiye, takım çalışmasına, üretim ve ticarette etik değerlere, meslek ilkelerine, tüketici haklarına, çevreye ve insan sağlığına ve gelecek nesillere önem veren bir kurum olmayı vizyon olarak benimsemiş bulunmaktadır.

TURKISH ALUMINIUM INDUSTRIALISTS' ASSOCIATION

OUR MISSION
The mission of TALSAD is to increase awareness and popularity, usage and production of aluminium called as "future's metal" in Turkey; to contribute, support and encourage activities targeting to increase quality and develop innovative products in production side; to compile correct and complete information about aluminium industry and provide it the industry; to improve the power and belief created by Turkish aluminium industrialists acting in cooperation and realize all activities described above; to help Turkish aluminium sector and aluminium products gets deserved position in domestic and foreign markets.

OUR VISION
TALSAD's vision is to become an organization that monitors technology and information during realization process of its mission; that offers its knowledge and experience to the use of others; that adopts total quality approach being service producing enterprise with its competent qualifications and resources; that has become biggest and perfect representative of Turkish aluminium industry that has gained trust of the whole society which has been proven in international aspects; that values education, contemporariness, corporate democracy, team work, ethical values in production and trade, professional values, occupational principles, consumer rights, environment, human health and next generations.

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ (TÜBİTAK MAM)

1972 yılında kurulan TÜBİTAK MAM, çalışmalarını Kocaeli Gebze'deki 7800 dönümlük "TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi"nde sürdürmektedir. Ülküsü; uygulamalı araştırmalar alanında Dünya'nın önde gelen bilim ve teknoloji merkezleri arasında yer almak, görevi ise; Türkiye'nin küresel rekabet gücünün artırılmasına bilim ve teknolojiyi kullanarak katkıda bulunmaktır. Toplam 943 personel ile çalışmalarını yürüten TÜBİTAK MAM'ın bünyesinde, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Enerji Enstitüsü, Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü, Gıda Enstitüsü, Kimya Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Enstitüsü, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü bulunmaktadır.

TÜBİTAK MAM'ın paydaşları için gerçekleştirdiği proje ve endüstriyel hizmet çalışmalarında, müşteri odaklılık ile kalite en fazla önem verdiği değerlerdir. Bunun bir sonucu olarak TÜBİTAK MAM'ın tüm enstitü ve birimleri 2001 yılında ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Belgesini ve ISO 14001:2004 Çevre Yönetim Sistemi Belgesi'ni almıştır. TÜBİTAK MAM uluslararası geçerliliği olan çalışmalarını, 2002 yılında DAR/DAP, 2010 yılı itibariyle TÜRKAK tarafından EN ISO/IEC 17025:2000 Deney ve Kalibrasyon Laboratuarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar standardına göre akredite edilmiş laboratuarlarda gerçekleştirmektedir. Toplam Kalite Yönetimi yaklaşımını benimseyen TÜBİTAK MAM, tüm bu çalışmaların sonucunda 2003 yılında, kamu dalında Ulusal Kalite Başarı Ödülü almıştır.

Değerli bilim insanlarının oluşturduğu insan gücü, yüksek teknolojisi ve geniş kapsamlı hizmet veren, son sistem donanıma sahip laboratuarlarıyla ileri teknoloji dünyasının öncü kuruluşlarından olan TÜBİTAK MAM, müşteri odaklı yaklaşımı ile endüstriyel kuruluşların, savunma kuruluşlarının, üniversitelerin ve kamu kuruluşlarının (yerel yönetimler, valilikler, bakanlıklar vb.) daima hizmetindedir. Bu hizmetler uygulamalı Ar-Ge Projeleri (ürün/ proses geliştirme, maliyet düşürme, verimliliği artırma vb.) veya Endüstriyel Hizmetler (test, analiz, ölçüm, eğitim, danışmanlık) şeklinde yürütülmektedir. TÜBİTAK MAM müşteri odaklı bir yaklaşımla çalışmalarını yapmaktadır. TÜBİTAK MAM hakkında detaylı bilgiye http://mam.tubitak.gov.tr/ adresinden ulaşılabilmektedir.

TÜBİTAK MARMARA RESEARCH CENTER

The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Marmara Research Center (MRC), one of the research and development units of TÜBİTAK, was established in 1972. TUBITAK MRC carries out its activities with about 943 trained and experienced personnel on a pretty piece of land of 8 sq km (2000 acres) area in Gebze-KOCAELİ/ TURKEY.

With the vision of "taking part among the leading science and technology centers of the world in the field of applied research" and the mission of "contributing to the development of Turkey's competing power, using science and technology", TUBITAK MRC looks forward to developing close relationship with Turkish industry. TUBITAK MRC's most valued principles are customer-orientation and quality for carrying out projects and providing industrial services. All institutes and units of TUBITAK MRC received ISO 9001:2000 Quality Management System and ISO 14001:2004 Environment Management System Certification in 2001. About 30% of all the tests and analysis carried out by TUBITAK MRC institutes were accredited by DAR/DAP in 2002 and since 2010 by TURKAK according to the standards of EN ISO/ IEC 17025:2000 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories.

One of the most important objectives of TUBITAK MRC is to increase the self-sufficiency ratio in order to carry out its activities with its own resources.

TUBITAK MRC has 7 Institutes and related supporting Administrative Departments:

- Energy Institute (EI)
- Environment and Cleaner Production Institute (ECPI)
- Food Institute (FI)
- Genetic Engineering and Biotechnology Institute (GEBI)
- Chemical Technology Institute (CTI)
- Materials Institute (MI)
- Earth and Marine Sciences Institute (EMSI)

TUBITAK MRC conducts successful projects towards industry by these seven institutes having rich infrastructure with well-developed devices and highly equipped laboratories. One of the highly considered values of TUBITAK MRC is the privacy policy which is essential for both collaborating with the industry and developing projects towards military services. 80% of that TUBITAK MRC's projects are developed for the public sector and efforts are being made to increase the portion of the private sector. TUBITAK MRC believes that catching up with modern western communities will just be possible by increasing national competitive power, producing its own industrial technology. Detailed information about the research areas of all Institutes is accessible at http://mam.tubitak.gov.tr/

TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği'ne bağlı 24 Oda'dan biri olarak ilgili yasa hükümlerine uygun şekilde 1970 yılında kurulan Metalurji Mühendisleri Odası, kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur. 2014 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası adını alan Odamızın halen 5000 olan üye sayısı, her yıl metalurji ve malzeme dalında mühendislik eğitimi veren yurtiçi ve yurtdışı üniversitelerinden mezun olanlarla artmaktadır.

Ülke ve Oda üyelerinin hak ve yararları gözetilerek, metal ve metal dışı malzemelerin üretimi, şekillendirilmesi, özelliklerinin geliştirilmesi, hasarlı ve hasarsız kontrolleri vb. alanlarda, ihtiyaç duyulan ve gerek görülen etkinliklerin organizasyonu ve çalışmaların yapılması, sektörümüzde yapılan çalışmaların, yeni teknolojilerin ve bilgi birikiminin çeşitli araçlarla meslektaşlarımıza ve sektör mensuplarına duyurulması, üyelerin durumlarının iyileştirilmesi, oda amaçlarının temelini oluşturmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası iki ayda bir "METALURJİ" dergisini ve Oda faaliyetlerinin, sektörel haberlerin güncel şekilde aktarıldığı "E-BÜLTEN"i yayınlamakta ve seminer, sempozyum, panel, forum, kongre, fuar gibi etkinlikler organize etmektedir. Oda Yönetim Kurulumuz üyelerimizin mesleki ve teknik gelişimine yardımcı olmak amacıyla METEM (Mesleki Teknik Eğitim Merkezi)'ni kurmuştur.

İki yılda bir yapılan ve Odaya kayıtlı üyelerin katılımıyla gerçekleştirilen Genel Kurul en üst organdır. Genel Kurul'da seçilen Oda Yönetim Kurulu yukarıda bahsedilen çalışmaların yürütülmesinden sorumludur. Ayrıca, Oda Yönetim Kurulunca oluşturulan ve üniversite, araştırma kuruluşları ve sanayiden uzmanların yer aldığı çalışma gruplarınca belli konularda ayrıntılı çalışmalar yapılmaktadır.

UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS

The Chamber of Metallurgical and Materials Engineers (CMME) is a non-profit state agency founded in 1970 and is one of twenty-four Chambers of Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects. Our chamber was changed the name as Chamber of Metalurgical and Materials Engineer at 2014 CMME has 5000 membership currently and increasing each year with new graduates from national and foreign universities.

The main functions of CMME are to organize required and necessary activities and conduct studies in broad fields of production, shaping, improving properties, destructive and non-destructive testing of metallic and nonmetallic materials, and also introducing the new technologies and the knowledges for
the use and benefits of the members of CMME and the country.

Within this context CMME publishes a bimonthly journal entitled "METALURJI" and a bulletin called "E-BULTEN" in which news related to metallurgy and materials science appear. CMME also organizes seminars, symposiums, panels, forums, congresses and fairs. Board of directors of CMME organized METEM (The Center of Vocational an Technical Education) to help vocational and technical improvement of the members.

The supreme governing body of CMME is the General Assembly which consists member of the Chamber is collected biannually. Board of Directors is elected at the General Assembly is responsible from the execution of the functions mentioned above. Additionally, detailed studies on certain specific subjects are conducted by "work groups" that consist of specialists from universities, research institutions and the industry and established by the Board of Directors.

alusing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

SEMPOZYUM PROGRAMI

SYMPOSIUM PROGRAMME

Salon/Hall
Efes

ÖZEL OTURUM 1
Private Session 1

Oturum Başkanı/Session Chairman
GÖKSAL GÜNGÖR

13:00 - 13:40

Dünya Alüminyum Pazarı ve Ticaretinde Türkiye'nin Yeri
Turkey's Position in Global Aluminum Market and Trade

Kemal Mert Demirci
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

(Invited Speaker)

13:40 - 14:20

Alüminyum Folyo Ambalaj Uygulamalarında Ana Eğilimler
Major Trends of Aluminium Foil in Packaging

Guido Aufdemkamp
EAFA

(Invited Speaker)

Salon/Hall
Efes

ÖZEL OTURUM2
Private Session 2

Oturum Başkanı/Session Chairman
ARBEK AKAY

14:40 - 15:20

İyi Bir Gelecek için İdeal Malzeme : Alüminyum
Aluminium, an Ideal Material with a Great Future

Jürgen Hirsch
Hydro Aluminium Rolled Products GmbH

(Invited Speaker)

15:20 - 16:00

Endüstri 4.0 Yolunda: Digital Fabrikalar
On the Way to Industry 4.0: Digital Enterprise

Ali Rıza Ersoy
İon Academy
(eski Siemens İcra Kurulu Üyesi ve GM Yardımcısı)

(Invited Speaker)

Salon/Hall
Efes

ÖZEL OTURUM 3
Private Session 3

Oturum Başkanı/Session Chairman
YAVUZ ARKUN

16:20 - 17:00

Emtia Piyasaları
Commodity Markets

Hamza Khan
ING Bank

(Invited Speaker)

17:00 - 17:40

Emtiaların Hegde Edilmesi
Commodity Hedge

Hakan Berberoğlu
ING Bank

(Invited Speaker)

Salon/Hall
Pamukkale

Alüminyum Döküm Prosesleri
Aluminium Casting Processes

Oturum Başkanı/Session Chairman
MUSTAFA ÇİĞDEM

10:00 - 10:20

Karbon Fiber Takviyeli 6063 Al Kompozit Üretimi
Fabrication of Carbon Fibre Reinforced 6063 Al Composite

Anıl Alten, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

10:20 - 10:40

Düşey Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilen 203 mm Çapında AA6063 Alüminyum Alaşımı Billetin Özelliklerinin Geliştirilmesi
Development of 203 mm AA6063 Aluminum Alloy Billet's Characteristics Properties Produced by Direct Chill Casting Method

Koray Turbalıoğlu, Bilgehan Tunca
Zahit Alüminyum Sanayi

10:40 - 11:00

Direkt Soğutmalı Döküm Yöntemi İle 355 mm Çapında 7075 Alüminyum Alaşımlı Biyetlerin Döküm Parametrelerinin Optimizasyonu
Optimization of Casting Parameters of 7075 Aluminum Alloy Billets With 355 mm Diameter Produced by Direct Chill Casting Method

Mehmet Mümtaz Dokur[1], Özgül Keleş[2]
[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Salon/Hall
Pamukkale

Alüminyum Döküm Prosesleri
Aluminium Casting Processes

Oturum Başkanı/Session Chairman
ALİ KALKANLI

11:15 - 11:35

Birincil ve İkincil Al7Si0,3Mg (A356) Alaşımında Titreşimli Katılaşma Prosesinin Mikroyapı Rafinasyonuna Etkisinin Araştırılması

Influence of Vibration on Microstructure Refining During Solidification of Primary and Secondary AlSi70,3Mg (A356) Alloy

Çağlar Yüksel[1], Sezgin Yaşa[1], Ahmet Kabil[1], Emre Akgül[1], Özlem Çelikaslan[1], Eray Erzi[2], Derya Dışpınar[2], Mustafa Çiğdem[1]
[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, [2]İstanbul Üniversitesi

11:35 - 11:55

Düşük Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilen Al5Si0,3Mg Jant Alaşımında Tane İnceltme Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Manufacture of Low-Pressure Die Cast Al5Si0,3Mg Light Alloy Wheels With an Improved Grain Refining Process

Mertcan Kaba[1], Ayşegül Dönmez[1], Aydın Çukur[1], A.Faruk Kurban[1], H.Emre Çubuklusu[2], Uğur Aybarç[2], Uğur Malayoğlu[1], Yücel Birol[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]CMS Jant ve Makine Sanayii A.Ş

11:55 - 12:15

A356 Al Alaşımında Katılaşma Hızı ve Sr Modifikasyonunun Mikroyapı ve Korozyon Davranışına Etkisi

Effect of Solidification Rate and Sr Modification on Microstructure and Corrosion Behaviour of A356 Al Alloy

İsmail Öztürk, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Salon/Hall
Pamukkale

Alüminyum Döküm Prosesleri
Aluminium Casting Processes

Oturum Başkanı/Session Chairman
GÖKHAN ORHAN

13:30 - 13:50

Endüstri 4.0'ın Alüminyum Döküm Sektörüne Sağlayacağı Yeni Fırsat Alanları
New Opportunities That Industry 4.0 is Going to Contribute to the Aluminum Casting Sector

Şener Muter
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

13:50 - 14:10

Yenilikçi Kısmi-Katı Döküm Yönteminin Yüksek Basınçlı Alüminyum Dökümünde Uygulanması
An Application of Innovative Partial-Solid Method in High-Pressure Aluminum Die Casting

Yekta Berk Süslü[1], Mehmet Siraç Acar[2], Mithat Şenol[2], Gözde Uçucu[2], Muammer Mutlu[2], Özgül Keleş[1]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, [2]Mita Kalıp ve Döküm Sanayi

14:10 - 14:30

Yönlü Katılaşmanın Alüminyum Alaşımlı Jantların Sertliği Üzerindeki Etkisinin Araştırılması
Investigation of Effect of Directional Solidification on Hardness of Aluminum Alloy Wheels

Yunus Ercan, Ali Kara, Hakan Yavuz, H. Emre Çubuklusu
CMS Jant ve Makina Sanayi

14:30 - 14:50

Sr ve Ti İlavelerinin AlSi10Mg0.3 Döküm Alaşımında Tane İnceltme ve Modifikasyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum İlave Miktarının Belirlenmesi
Investigation of the Effects of Sr, Ti Additions on Grain Refinement and Modification of AlSi10Mg0.3 Alloy and Optimization of Addition Rates

Ferhat Tülüce[1], Elvan Bilge Menteşe[2], Yücel Birol[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Componenta Dökümcülük A.Ş.

Salon/Hall
Pamukkale

Alüminyum Döküm Prosesleri
Aluminium Casting Processes

Oturum Başkanı/Session Chairman
MURAT DÜNDAR

15:10 - 15:30

Alüminyum Sürekli Döküm Alaşımlarında Alaşım Kombinasyonuna Bağlı Olarak Cüruf İçeriğinin Yapısal ve Elementel Analizi

Structural and Elemental Analysis of Inclusions in Aluminum Continuous Casting With Respect to the Alloy Combination

Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Selim Ertürk[2], Cüneyt Arslan[2], Eda Dağdelen[1]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

15:30 - 15:50

AlFeMn Alaşımında Döküm Mikroyapısının Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Effect of As-Cast Microstructure of AlFeMn Alloy on the Material's Properties

Mert Gülver, Mert Günyüz, Onur Meydanoğlu, Onur Birbaşar
Assan Alüminyum Sanayi

15:50 - 16:10

Alüminyum Sürekli Levha Ürünlerinde Alaşıma Bağlı Olarak Akışkanlık Karakterinin İncelenmesi ve Optimizasyonu

Examination of Fluidity Characteristics of 1xxx, 3xxx and 5xxx Aluminum Alloys with Different Compositions and Solidification Temperatures

S. Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Derya Dışpınar[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

16:10 - 16:30

Alüminyum Levha Üretimi: Döküm Prosesi İçin Rafinasyonun Genel Prensipleri

Aluminum Sheet Production: General Principles of Refining for Casting

Hamdi Ekici, Sadık Kaan İpek, Ali Ersel Selvi, Eda Dağdelen, Ali Ulus
Teknik Alüminyum Sanayi

Salon/Hall
Pamukkale

Isıl İşlem
Heat Treatment

Oturum Başkanı/Session Chairman
ONURALP YÜCEL

16:50 - 17:10

Sürekli Döküm ve Soğuk Haddeleme Rotası Sonrası Tavlama Sıcaklığının Korozyon Özellikleri Üzerine Etkisi
Effect of Annealing Temperature on the Corrosion Behaviour of Continuous Cast and Cold Rolled Aluminum

S. Kaan İpek[1], Ali Ulus[1], Gökçe Hapçı Ağaoğlu[2], Gökhan Orhan[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

17:10 - 17:30

İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Dökülüp Üretilen Boyalı 3004 Alüminyumun Korozyon Dayanımının İncelenmesi
Investigation of Corrosion Resistance Behaviour on Coated 3004 Aluminum by Twin Roll Casting

Ali Ulaş Malcıoğlu, Seda Ertan
Asaş Alüminyum Sanayi

17:30 - 17:50

İkiz Merdane Döküm Tekniği İle Üretilen Soğuk Haddelenmiş 5754 Alüminyum Alaşımının Yumuşama Davranışı
Softening Behavior of Cold Rolled Twin-Roll Cast 5754 Aluminum Alloy

Ozan Deniz Altundal, Zülal Öziş, Onur Meydanoğlu, Cemil Işıksaçan
Assan Alüminyum Sanayi

Salon/Hall
Kapadokya

İş Güvenliği ve İnsan Sağlığı
Safety and Human Health

Oturum Başkanı/Session Chairman
VEDAT SANCAKDAR

10:00 - 10:20

Alüminyum Dökümhanelerinde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Riskleri ve Güncel Çözüm Önerileri
Risk Evaluation and Solution Proposal Up to Date in Aluminium Foundry on Occupatioanal Safety and Worker Health

Ali Ulus, Özgür Özşahin, Elif Dalkılıç, Hamdi Ekici, Ali Ersel Selvi
Teknik Alüminyum Sanayi

10:20 - 10:40

Ergimiş Alüminyum Metali ile Çalışan İşletmelerde Patlama Riskleri ve Önlenmesi
Explosion Risks and Prevention in Aluminium Plants Work with Molten Metal

Erman Car[1], Müzeyyen Gencer[1], Pınar Sezer[2]
[1]METEM, [2]Gedik Üniversitesi

10:40 - 11:00

Gıdaya Temas Eden Malzeme Uygulamalarında Alüminyum Alaşımı Folyolar
Aluminum Foils in Food Contact Applications

Hatice Mollaoğlu Altuner
Assan Alüminyum Sanayi

Salon/Hall
Kapadokya

Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik
Aluminium Recycling and Sustainability

Oturum Başkanı/Session Chairman
KEMAL MERT DEMİRCİ

11:15 - 11:35

İkincil Alüminyum İşlem Alaşımları ve Sıvı Metal Kalitesi
Secondary Aluminium Wrought Alloys and Molten Metal Quality

Erman Car[1], Onuralp Yücel[2]
[1]Metkim Ltd, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

11:35 - 11:55

Atık Tetra Pak Ambalajlarından Kağıt, Polietilen ve Alüminyum Bileşiklerinin Kazanımı
Recovery of Paper, Polyethylene and Aluminium Compounds From Waste Tetra Pak Packages

Fatih Bayıroğlu[1], Uğur Öztürk[1], Didem Saloğlu Dertli[1], Ahmet Turan[1], Onuralp Yücel[2]
[1]Yalova Üniversitesi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

11:55 - 12:15

Cüruflardan Kazanılan Alüminyum Kalitesinin ve Miktarının Belirlenmesi
Determination of Aluminium Quality and Quantity Gained From Slags

Bora Yay[1], Hüseyin Çağdaş Karakuş[1], Basri Şen[1], Özgür Türkal[2]
[1]Lodos Teknik A.Ş., [2]CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş.

12:15 - 12:35

Dönüşüm için Alüminyum Akademisi
Aluminium Academy for Transformation

Birol Büyüksivri, Gülşen Özal, Çağla Nüman
Asaş Alüminyum Sanayi

Salon/Hall
Kapadokya

Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik

Aluminium Recycling and Sustainability

Oturum Başkanı/Session Chairman
DERYA DIŞPINAR

13:30 - 13:50

Alüminyum Eloksal Tesislerinde Qualanod Kalite Belgelendirmesinde Yeni Güncelleme İle Yapılan Değişiklikler

Recent Updates in Qualanod Quality Labeling of Aluminium Anodizing Plants

Metin Yılmaz
AYİD - Alüminyum Yüzey İşlem Derneği

13:50 - 14:10

Eloksal Proseslerinde Üretim ve Kaliteyi Güçlendirici ve Birim Maliyetleri Azaltmaya Yönelik Fikir ve Tecrübe Edilmiş Yorumlar

Ideas and Observations to Improve Productivity and Quality and May Reduce Total Costs (Per Unit) in Anodizing Lines

Oliver Katschmareck
Chemetall Sanayi Kimyasalları

14:10 - 14:30

Endüstriyel Ortaklaşma (Simbiyoz) Yaklaşımı ve Alüminyum Endüstrisinde Uygulanabilirliği

Industrial Symbiosis Approach and Workability in Aluminium Industry

Erman Car / Metkim Ltd

14:30 - 14:50

Alüminyum Şekillendirme Tesislerinde Enerji Verimliliği ve Sera Gazlarının Azaltılması

The Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction in Aluminium Forming Plants

Ebubekir Koç, Yaşar Akça, Savaş Önder
FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

14:50 - 15:10

Alüminyum Levha Üretiminde Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı ve Çevresel Etkileri

Sustainable Source Using and Minimization of the Environmental Effects in Aluminum Sheet Production

Eda Dağdelen, Ali Ulus, İhsan Yakay, İbrahim Pelvan, Sadık Kaan İpek, Erhan Ceyhan
Teknik Alüminyum Sanayi

Salon/Hall
Kapadokya

Şekillendirme
Aluminium Forming

Oturum Başkanı/Session Chairman
ÖZGÜL KELEŞ

15:30 - 15:50

Otomotivde Alüminyum Sac Metal Şekillendirme
Aluminum Sheet Metal Forming on Automotive Industry

Adem Karşı[1], Taner Karagöz[1], Mustafa Yenice[1], Serkan Toros[2]
[1]Coşkunöz Metal Form A.Ş., [2]Ömer Halisdemir Üniversitesi

15:50 - 16:10

Azot Soğutmalı Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarında Soğutma Sisteminin Modellenmesi ve Profil Yüzeyine Etkisinin İncelenmesi
Modeling of Cooling System in Nitrogen Cooled Aluminum Extrusion Molds and Investigation of Its Effect on Profile Surface

Murat Konar[1], Mehmet M. Dokur[1], Sadık M. Ayan[1], Ertan Karaismail[2]
[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]Figes A.Ş.

16:10 - 16:30

Deney Tasarımı Yöntemiyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi
Improvement of Aluminum Extrusion Process by Design of Experiment Method

Esra İncel, Fatih Zafer Zorlu
Asaş Alüminyum Sanayi

16:30 - 16:50

Alüminyum Sürekli Levha Dökümü, Soğuk Haddeleme ve Isıl İşlem Prosesleri Sonrasında Levha Kesitinde Elementel Dağılımın İncelenmesi
Investigation of Elemental Distribution in the Sheet Cut After Aluminum Continuous Plate Casting, Cold Rolling and Heat Treatment Processes

Eda Dağdelen[1], Ali Ulus[1], Sadık Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Zafer Çağatay Öter[2], Ebubekir Koç[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Salon/Hall
Kapadokya

Alüminyum Kullanım Alanları
Aluminium Applications

Oturum Başkanı/Session Chairman
KENAN ARACI

17:10 - 17:30

Alüminyum Folyo Yüzeylerine Uygulanan Kaydırıcı Miktarının Taşınabilir FTIR Spektrometresi ile Ölçümü
Measurement of Lubricant Amount Applied on the Aluminum Foil Surface by Using Portable Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer

Özlem İnanç Uçar[1], Fırat Kurtal[1], Ayberk Muharremoğlu[1], Süleyman Barış Yılmaz[1], Onur Birbaşar[1], Durmuş Özdemir[2,3]
[1]Assan Alüminyum Sanayi, [2]İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, [3]OBA Kemometrik Yazılım

17:30 - 17:50

Al-Mg-Si-Zr Alaşımında Çökelti Kinetiği ve Rekristalizasyon Davranışının İncelenmesi
Investigation of the Phase Transformation Kinetics and Recrystallization Behavior in Al-Mg-Si-Zr Alloy

Fulya Kahrıman, Muzaffer Zeren
Kocaeli Üniversitesi

17:50 - 18:10

Yüksek Sıcaklıklarda Dayanımı Artırılmış Alüminyum İletken İmalatı
Production of Improving Thermal Resistivity Aluminum Conductor

A.Tamer Ertürk[1], E.Asım Güven[1], Sedat Karabay[1], Ümit Galip Uncu[2], İsmail Binbuğa[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi, [2]EMTA Kablo Sanayi

alusing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

POSTER SUNUMLARI
POSTER SESSIONS

ALUS-P01

A356 Matrisli TiB_2 Takviyeli İn-Situ Kompozit Üretimi

A356 Matrix TiB_2 Reinforced In-Situ Composite Production

Ayşegül Ayça Kısasöz, Alptekin Kısasöz,
Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

ALUS-P02

A356 Alaşımının Eğimli Soğutucu ile Dökümü ve Yarı-Katı Dövme İşlemi

Thixoforging of A356 Alloy Cast Through Cooling Copper Tube

Nazım Açıcı, Serhat Acar, Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

ALUS-P03

2024 Al Alaşımlarında Katılaşma Hızının Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi

The Effect of Solidification Rate of Mechanical and Corrosion Characteristics in 2024 Aluminum Alloy

Zeynep Güneş, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

ALUS-P04

Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen EN AW-6082 Alüminyum Alaşımlı Profillerde Mn Elementinin ve Ekstrüzyon Proses Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Mn and Process Parameters on Mechanical Properties of EN AW-6082 Aluminum Alloy Produced by Extrusion Method

Elif Dokur, Mehmet Mümtaz Dokur, Sadık Mutlu Ayan
Asaş Alüminyum Sanayi

ALUS-P05

TaC İlavesinin Alüminyum Tozlarının Preslenebilirliği Üzerine Etkisi

Effect of TaC Addition to the Compressibility of Aluminium Powders

Rifat Onur Ülküseven, Aydın Şelte, Burak Özkal
İstanbul Teknik Üniversitesi

ALUS-P06

İnşaat Yapı Malzemelerinde Alüminyum Toz Kullanımı: Gaz Beton Karışım, Yapı ve Mukavemetinin Taguchi Deney Tasarımı ile Optimizasyonu

Aluminium Powder Usage in Construction Materials: Optimisation of Gas Concrete Mixture, Structure and Strength by Taguchi Test Design

Dila Sivlin, Ceren Yağsi, Özgül Keleş
İstanbul Teknik Üniversitesi

ALUS-P07

6082 Rod Profili Solüsyona Alma Prosesinde Fırın Çıkış Sonrası Bekleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of Waiting Time after Furnace Exit on Mechanical Properties of AA6082 Rod Profile

Osman Halil Çelik, Berk Yörüker, Hüsnü Öztürk, Onur Gülbaba
Asaş Alüminyum Sanayi

ALUS-P08

ASTM A 360 Alaşımının Döner Gaz Giderme Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Evaluations and Investigation of ASTM A360 Alloy by Using a Rotary Degassing Method

Canan Saykal[1], Mustafa Hinnap[1], Murat Can Kadıköy[1], Ahmet Türker[1], Haydar Kahraman[1,2], * Murat Alkan[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Çukurova Kimya



05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

SEMPOZYUM BİLDİRİLER

SYMPOSIUM PROCEEDING

İçindekiler / Table of Contents

Özel Oturum 1 // Private Session 1

Dünya Alüminyum Pazarı ve Ticaretinde Türkiye'nin Yeri 2
Turkey's Position in Global Aluminum Market and Trade

Kemal Mert Demirci
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

Alüminyum Döküm Prosesleri // Aluminium Casting Process

Karbon Fiber Takviyeli 6063 Al Kompozit Üretimi 36
Fabrication of Carbon Fibre Reinforced 6063 Al Composite

Anıl Alten, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Düşey Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilen 203 mm Çapında AA6063 Alüminyum Alaşımı Billetin Özelliklerinin Geliştirilmesi 41
Development of 203 mm AA6063 Aluminum Alloy Billet's Characteristics Properties Produced by Direct Chill Casting Method

Koray Turbalıoğlu, Bilgehan Tunca
Zahit Alüminyum Sanayi

Direkt Soğutmalı Döküm Yöntemi ile 355 mm Çapında 7075 Alüminyum Alaşımlı Biyetlerin Döküm Parametrelerinin Optimizasyonu 47
Optimization of Casting Parameters of 7075 Aluminum Alloy Billets with 355 mm Diameter Produced by Direct Chill Casting Method

Mehmet Mümtaz Dokur[1], Özgül Keleş[2]
[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Birincil ve İkincil Al7Si0,3Mg (A356) Alaşımında Titreşimli Katılaşma Prosesinin Mikroyapı Rafinasyonuna Etkisinin Araştırılması 52
Influence of Vibration on Microstructure Refining During Solidification of Primary and Secondary AlSi70,3Mg (A356) Alloy

Çağlar Yüksel[1], Sezgin Yaşa[1], Ahmet Kabil[1], Emre Akgül[1], Özlem Çelikaslan[1], Eray Erzi[2], Derya Dışpınar[2], Mustafa Çiğdem[1]
[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, [2]İstanbul Üniversitesi

Düşük Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilen Al5Si0,3Mg Jant Alaşımında Tane İnceltme Yöntemlerinin Geliştirilmesi 58
Manufacture of Low-Pressure Die Cast Al5Si0,3Mg Light Alloy Wheels with an Improved Grain Refining Process

Mertcan Kaba[1], Ayşegül Dönmez[1], Aydın Çukur[1], A.Faruk Kurban[1], H.Emre Çubuklusu[2], Uğur Aybarç[2], Uğur Malayoğlu[1], Yücel Birol[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]CMS Jant ve Makine Sanayii A.Ş

A356 Al Alaşımında Katılaşma Hızı ve Sr Modifikasyonunun Mikroyapı ve Korozyon Davranışına Etkisi **64**
Effect of Solidification Rate and Sr Modification on Microstructure and Corrosion Behaviour of A356 Al Alloy
İsmail Öztürk, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Endüstri 4.0'ın Alüminyum Döküm Sektörüne Sağlayacağı Yeni Fırsat Alanları **68**
New Opportunities That Industry 4.0 is Going to Contribute to the Aluminum Casting Sector
Şener Muter
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

Yenilikçi Kısmi-Katı Döküm Yönteminin Yüksek Basınçlı Alüminyum Dökümünde Uygulanması **73**
An Application of Innovative Partial-Solid Method in High-Pressure Aluminum Die Casting
Yekta Berk Süslü[1], Mehmet Siraç Acar[2], Mithat Şenol[2], Gözde Uçucu[2], Muammer Mutlu[2], Özgül Keleş[1]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, [2]Mita Kalıp ve Döküm Sanayi

Yönlü Katılaşmanın Alüminyum Alaşımlı Jantların Sertliği Üzerindeki Etkisinin Araştırılması **77**
Investigation of Effect of Directional Solidification on Hardness of Aluminum Alloy Wheels
Yunus Ercan, Ali Kara, Hakan Yavuz, H. Emre Çubuklusu
CMS Jant ve Makina Sanayi

Sr ve Ti İlavelerinin AlSi10Mg0.3 Döküm Alaşımında Tane İnceltme ve Modifikasyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum İlave Miktarının Belirlenmesi **82**
Investigation of the Effects of Sr, Ti Additions on Grain Refinement and Modification of AlSi10Mg0.3 Alloy and Optimization of Addition Rates
Ferhat Tülüce[1], Elvan Bilge Menteşe[2], Yücel Birol[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Componenta Dökümcülük A.Ş.

Alüminyum Sürekli Döküm Alaşımlarında Alaşım Kombinasyonuna Bağlı Olarak Cüruf İçeriğinin Yapısal ve Elementel Analizi **88**
Structural and Elemental Analysis of Inclusions in Aluminum Continuous Casting With Respect to the Alloy Combination
Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Selim Ertürk[2], Cüneyt Arslan[2], Eda Dağdelen[1]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

AlFeMn Alaşımında Döküm Mikroyapısının Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi **96**
Effect of As-Cast Microstructure of AlFeMn Alloy on the Material's Properties
Mert Gülver, Mert Günyüz, Onur Meydanoğlu, Onur Birbaşar
Assan Alüminyum Sanayi

Alüminyum Sürekli Levha Ürünlerinde Alaşıma Bağlı Olarak Akışkanlık Karakterinin İncelenmesi ve Optimizasyonu 100
Examination of Fluidity Characteristics of 1xxx, 3xxx and 5xxx Aluminum Alloys with Different Compositions and Solidification Temperatures
S. Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Derya Dışpınar[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

Alüminyum Levha Üretimi: Döküm Prosesi İçin Rafinasyonun Genel Prensipleri 105
Aluminum Sheet Production: General Principles of Refining for Casting
Hamdi Ekici, Sadık Kaan İpek, Ali Ersel Selvi, Eda Dağdelen, Ali Ulus
Teknik Alüminyum Sanayi

Isıl İşlem // Heat Treatment

Sürekli Döküm ve Soğuk Haddeleme Rotası Sonrası Tavlama Sıcaklığının Korozyon Özellikleri Üzerine Etkisi 113
Effect of Annealing Temperature on the Corrosion Behaviour of Continuous Cast and Cold Rolled Aluminum
S. Kaan İpek[1], Ali Ulus[1], Gökçe Hapçı Ağaoğlu[2], Gökhan Orhan[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Dökülüp Üretilen Boyalı 3004 Alüminyumun Korozyon Dayanımının İncelenmesi 118
Investigation of Corrosion Resistance Behaviour on Coated 3004 Aluminum by Twin Roll Casting
Ali Ulaş Malcıoğlu, Seda Ertan
Asaş Alüminyum Sanayi

İkiz Merdane Döküm Tekniği İle Üretilen Soğuk Haddelenmiş 5754 Alüminyum Alaşımının Yumuşama Davranışı 126
Softening Behavior of Cold Rolled Twin-Roll Cast 5754 Aluminum Alloy
Ozan Deniz Altundal, Zülal Öziş, Onur Meydanoğlu, Cemil Işıksaçan
Assan Alüminyum Sanayi

İş Güvenliği ve İnsan Sağlığı // Safety and Human Health

Alüminyum Dökümhanelerinde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Riskleri ve Güncel Çözüm Önerileri 131
Risk Evaluation and Solution Proposal Up to Date in Aluminium Foundry on Occupatioanal Safety and Worker Health
Ali Ulus, Özgür Özşahin, Elif Dalkılıç, Hamdi Ekici, Ali Ersel Selvi
Teknik Alüminyum Sanayi

Ergimiş Alüminyum Metali ile Çalışan İşletmelerde Patlama Riskleri ve Önlenmesi 142
Explosion Risks and Prevention in Aluminium Plants Work with Molten Metal
Erman Car[1], Müzeyyen Gencer[1], Pınar Sezer[2]
[1]METEM, [2]Gedik Üniversitesi

Gıdaya Temas Eden Malzeme Uygulamalarında Alüminyum Alaşımı Folyolar 161
Aluminum Foils in Food Contact Applications
Hatice Mollaoğlu Altuner
Assan Alüminyum Sanayi

Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik // Aluminium Recycling and Sustainability

İkincil Alüminyum İşlem Alaşımları ve Sıvı Metal Kalitesi 170
Secondary Aluminium Wrought Alloys and Molten Metal Quality
Erman Car[1], Onuralp Yücel[2]
[1]Metkim Ltd, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Atık Tetra Pak Ambalajlarından Kağıt, Polietilen ve Alüminyum Bileşiklerinin Kazanımı 193
Recovery of Paper, Polyethylene and Aluminium Compounds From Waste Tetra Pak Packages
Fatih Bayıroğlu[1], Uğur Öztürk[1], Didem Saloğlu Dertli[1], Ahmet Turan[1], Onuralp Yücel[2]
[1]Yalova Üniversitesi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Cüruflardan Kazanılan Alüminyum Kalitesinin ve Miktarının Belirlenmesi 198
Determination of Aluminium Quality and Quantity Gained From Slags
Bora Yay[1], Hüseyin Çağdaş Karakuş[1], Basri Şen[1], Özgür Türkal[2]
[1]Lodos Teknik A.Ş., [2]CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş.

Dönüşüm için Alüminyum Akademisi 202
Aluminium Academy for Transformation
Birol Büyüksivri, Gülşen Özal, Çağla Nüman
Asaş Alüminyum Sanayi

Alüminyum Eloksal Tesislerinde Qualanod Kalite Belgelendirmesinde Yeni Güncelleme İle Yapılan Değişiklikler 208
Recent Updates in Qualanod Quality Labeling of Aluminium Anodizing Plants
Metin Yılmaz
AYİD - Alüminyum Yüzey İşlem Derneği

Eloksal Proseslerinde Üretim ve Kaliteyi Güçlendirici ve Birim Maliyetleri Azaltmaya Yönelik Fikir ve Tecrübe Edilmiş Yorumlar 216
Ideas and Observations to Improve Productivity and Quality and May Reduce Total Costs (Per Unit) in Anodizing Lines
Oliver Katschmareck
Chemetall Sanayi Kimyasalları

Endüstriyel Ortaklaşma (Simbiyoz) Yaklaşımı ve Alüminyum Endüstrisinde Uygulanabilirliği 217
Industrial Symbiosis Approach and Workability in Aluminium Industry
Erman Car
Metkim Ltd

Alüminyum Şekillendirme Tesislerinde Enerji Verimliliği ve Sera Gazlarının Azaltılması 234
The Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction in Aluminium Forming Plants
Ebubekir Koç, Yaşar Akça, Savaş Önder
FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Alüminyum Levha Üretiminde Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı ve Çevresel Etkileri 242
Sustainable Source Using and Minimization of the Environmental Effects in Aluminum Sheet Production
Eda Dağdelen, Ali Ulus, İhsan Yakay, İbrahim Pelvan, Sadık Kaan İpek, Erhan Ceyhan
Teknik Alüminyum Sanayi

Şekillendirme // Aluminium Forming

Otomotivde Alüminyum Sac Metal Şekillendirme 249
Aluminum Sheet Metal Forming on Automotive Industry
Adem Karşı[1], Taner Karagöz[1], Mustafa Yenice[1], Serkan Toros[2]
[1]Coşkunöz Metal Form A.Ş., [2]Ömer Halisdemir Üniversitesi

Azot Soğutmalı Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarında Soğutma Sisteminin Modellenmesi ve Profil Yüzeyine Etkisinin İncelenmesi 257
Modeling of Cooling System in Nitrogen Cooled Aluminum Extrusion Molds and Investigation of Its Effect on Profile Surface
Murat Konar[1], Mehmet M. Dokur[1], Sadık M. Ayan[1], Ertan Karaismail[2]
[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]Figes A.Ş.

Deney Tasarımı Yöntemiyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi 262
Improvement of Aluminum Extrusion Process by Design of Experiment Method
Esra İncel, Fatih Zafer Zorlu
Asaş Alüminyum Sanayi

Alüminyum Sürekli Levha Dökümü, Soğuk Haddeleme ve Isıl İşlem Prosesleri Sonrasında Levha Kesitinde Elementel Dağılımın İncelenmesi 268
Investigation of Elemental Distribution in the Sheet Cut After Aluminum Continuous Plate Casting, Cold Rolling and Heat Treatment Processes
Eda Dağdelen[1], Ali Ulus[1], Sadık Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Zafer Çağatay Öter[2], Ebubekir Koç[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Alüminyum Kullanım Alanları // Aluminium Applications

Alüminyum Folyo Yüzeylerine Uygulanan Kaydırıcı Miktarının Taşınabilir FTIR Spektrometresi ile Ölçümü 276
Measurement of Lubricant Amount Applied on the Aluminum Foil Surface by Using Portable Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer
Özlem İnanç Uçar[1], Fırat Kurtal[1], Ayberk Muharremoğlu[1], Süleyman Barış Yılmaz[1], Onur Birbaşar[1], Durmuş Özdemir[2,3]
[1]Assan Alüminyum Sanayi, [2]İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, [3]OBA Kemometrik Yazılım

Al-Mg-Si-Zr Alaşımında Çökelti Kinetiği ve Rekristalizasyon Davranışının İncelenmesi **280**
Investigation of the Phase Transformation Kinetics and Recrystallization Behavior in Al-Mg-Si-Zr Alloy
Fulya Kahrıman, Muzaffer Zeren
Kocaeli Üniversitesi

Yüksek Sıcaklıklarda Dayanımı Artırılmış Alüminyum İletken İmalatı **286**
Production of Improving Thermal Resistivity Aluminum Conductor
A.Tamer Ertürk[1], E.Asım Güven[1], Sedat Karabay[1], Ümit Galip Uncu[2], İsmail Binbuğa[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi, [2]EMTA Kablo Sanayi

A356 Matrisli TiB_2 Takviyeli İn-Situ Kompozit Üretimi **290**
A356 Matrix TiB_2 Reinforced In-Situ Composite Production
Ayşegül Ayça Kısasöz, Alptekin Kısasöz, Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

A356 Alaşımının Eğimli Soğutucu ile Dökümü ve Yarı-Katı Dövme İşlemi **294**
Thixoforging of A356 Alloy Cast Through Cooling Copper Tube
Nazım Açıcı, Serhat Acar, Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

2024 Al Alaşımlarında Katılaşma Hızının Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi **299**
The Effect of Solidification Rate of Mechanical and Corrosion Characteristics in 2024 Aluminum Alloy
Zeynep Güneş, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen EN AW-6082 Alüminyum Alaşımlı Profillerde Mn Elementinin ve Ekstrüzyon Proses Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi **303**
Investigation of the Effect of Mn and Process Parameters on Mechanical Properties of EN AW-6082 Aluminum Alloy Produced by Extrusion Method
Elif Dokur, Mehmet Mümtaz Dokur, Sadık Mutlu Ayan
Asaş Alüminyum Sanayi

TaC İlavesinin Alüminyum Tozlarının Preslenebilirliği Üzerine Etkisi **307**
Effect of TaC Addition to the Compressibility of Aluminium Powders
Rifat Onur Ülküseven, Aydın Şelte, Burak Özkal
İstanbul Teknik Üniversitesi

İnşaat Yapı Malzemelerinde Alüminyum Toz Kullanımı: Gaz Beton Karışım, Yapı ve Mukavemetinin Taguchi Deney Tasarımı ile Optimizasyonu **311**
Aluminium Powder Usage in Construction Materials: Optimisation of Gas Concrete Mixture, Structure and Strength by Taguchi Test Design
Dila Sivlin, Ceren Yağsi, Özgül Keleş
İstanbul Teknik Üniversitesi

6082 Rod Profili Solüsyona Alma Prosesinde Fırın Çıkış Sonrası Bekleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi 318
The Effect of Waiting Time after Furnace Exit on Mechanical Properties of AA6082 Rod Profile
Osman Halil Çelik, Berk Yörüker, Hüsnü Öztürk, Onur Gülbaba
Asaş Alüminyum Sanayi

ASTM A 360 Alaşımının Döner Gaz Giderme Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi 327
Evaluations and Investigation of ASTM A360 Alloy by Using a Rotary Degassing Method
Canan Saykal[1], Mustafa Hinnap[1], Murat Can Kadıköy[1], Ahmet Türker[1], Haydar Kahraman[1,2], Murat Alkan[1]
[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Çukurova Kimya

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

alusing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

ÖZEL OTURUM 1

PRIVATE SESSION 1

Dünya Alüminyum Pazarı ve Ticaretinde Türkiye'nin Yeri

Turkey's Position in Global Aluminum Market and Trade

Kemal Mert Demirci
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

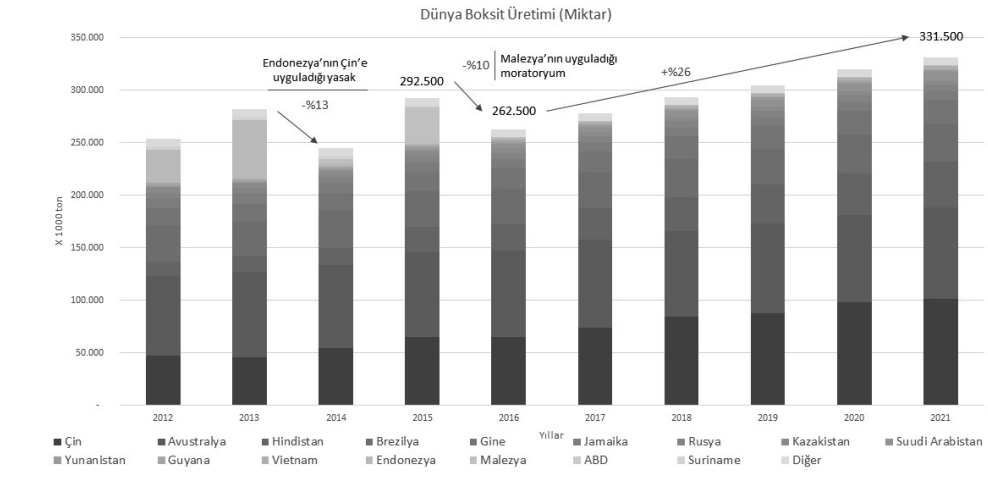
Yıl 2011. 5. Alüminyum Sempozyumunun açılış bildirisinde bir soru sormuş ve cevabını aramıştık. "Türkiye, Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Büyümeyi Gerçekleştirebilir mi?" Aradan geçen 6 senenin sonunda bu bildiri ile 2011 yılında vermiş olduğumuz cevapların geçmiş 5 yıl içerisindeki doğruluğunu sorgulayacak, önümüzdeki 5 yıl içerisinde Dünya Alüminyum pazarı ve ticaretindeki beklentilerimizi paylaşacağız.

Boksit



Alüminyumun doğadaki cevher hali olan boksit üretimi, geçtiğimiz beş yıl içerisinde artış gösterse de yıllar itibarı ile inişli çıkışlı bir grafik sergilemiştir. Bunun sebeplerinin başında Dünya'nın en büyük alüminyum üreticisi olan Çin'in kendi rezervlerinin yetersizliği ve Endonezya ile Malezya'nın koyduğu engeller gelmektedir.

Dünya Boksit Üretimi



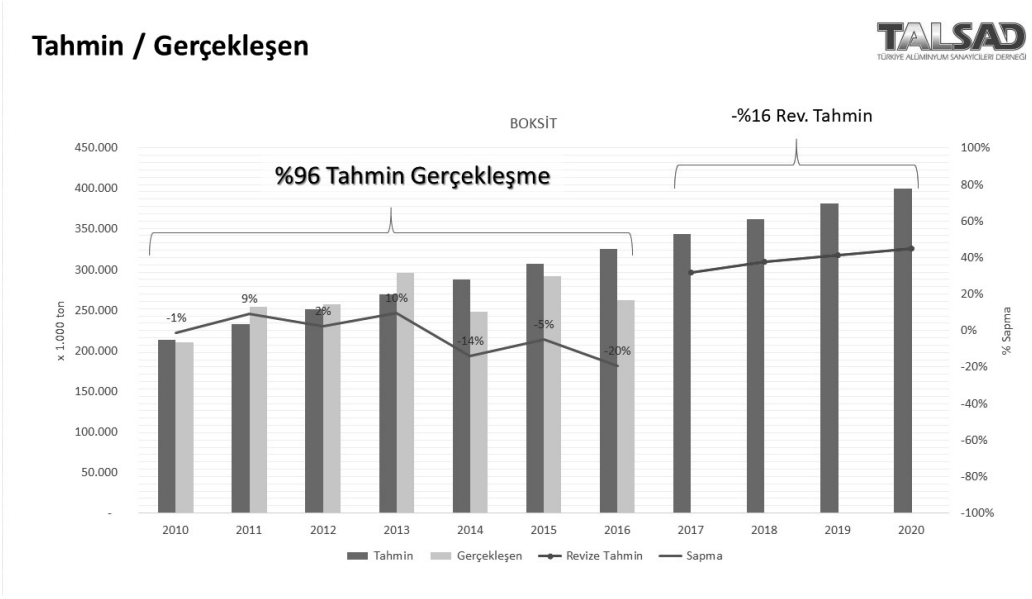
Kaynak: U.S. Geological Survey, TA Strategy Team

2012 ve 2013 yıllarında Çin'e hızla artan boksit ihracatı sonrasında Endonezya 2014 yılında nikel ve boksit madenlerinin ihracatına yasak getirmiştir. Bu durum Dünya boksit üretiminde %13 lük bir gerilemeye neden olmuştur. 2015 yılında Çin'in yeni tedarikçisi Malezya bu açığın kapanmasını sağlasa da 2016 yılında Malezya'nın da moratoryum ilanı ile bir önceki yıl 292,5 milyon ton olan boksit üretimi %10 gerileyerek 262,5 milyon tonda kalmıştır.

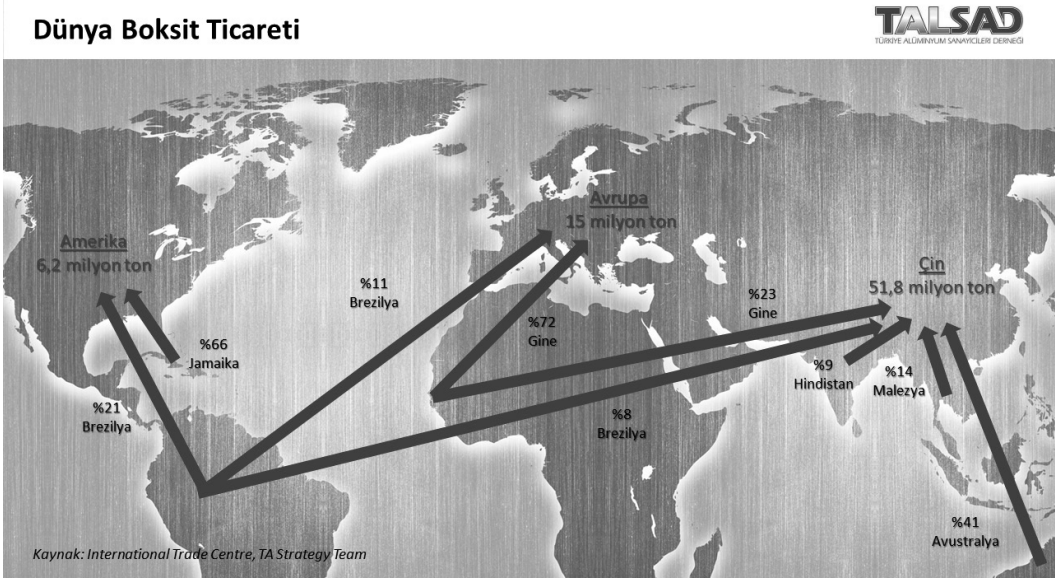
2016 yılında Avustralya, Dünya'nın en büyük boksit üreticisi olarak 82 milyon ton üretim yapmıştır. Son 5 yıl içerisinde Avustralya ortalama %7,5 büyüme gösterirken ikinci sırada yer alan Çin %38 büyüme gerçekleştirmiştir. Çin'deki bu hızlı büyüme trendi ile 2018 yılında Avustralya'yı geçmesi beklenmektedir. Ancak Çin, bu büyüme trendini karşılayacak rezervlere sahip olsa da aynı trend ile üretime devam etmesi durumunda 2021 yılında rezervlerinin yarıya inmesi sonucu ile karşı karşıya kalacaktır.



Dünya toplam boksit rezervleri 2016 yılı itibarı ile 27,8 milyar tondur. Bu rezervlerin %27'si Gine'de %22'si Avustralya'da bulunmaktadır. Diğer ülkeler ise rezerv açısından %10'un altında kalmaktadır. Mevcut boksit tüketimi trendi ile bu rezervlerin 2021 yılında toplamda %5 azalması beklenmekte ve 26,3 milyar tona düşeceği tahmin edilmektedir. Boksit rezervleri açısından en dramatik değişim daha önce de belirtildiği gibi Çin'de gerçekleşecektir. Çin, Dünya boksit rezervlerinin %4'üne sahiptir ancak ülkedeki hızlı ve kontrolsüz artan alüminyum üretiminin neticesinde mevcut rezervlerinin 2021 yılında %50 azalması beklenmektedir. Kendi rezervlerinin yetersizliğinin dışında Çin, hızla artan boksit tüketiminde yakın tedarikçisi ve Dünya'nın en zengin ikinci boksit rezervlerine sahip Avustralya'ya yakınlığı ile büyümesini sürdürmek konusunda hammadde sıkıntısı yaşamayacak gibi görünmektedir.



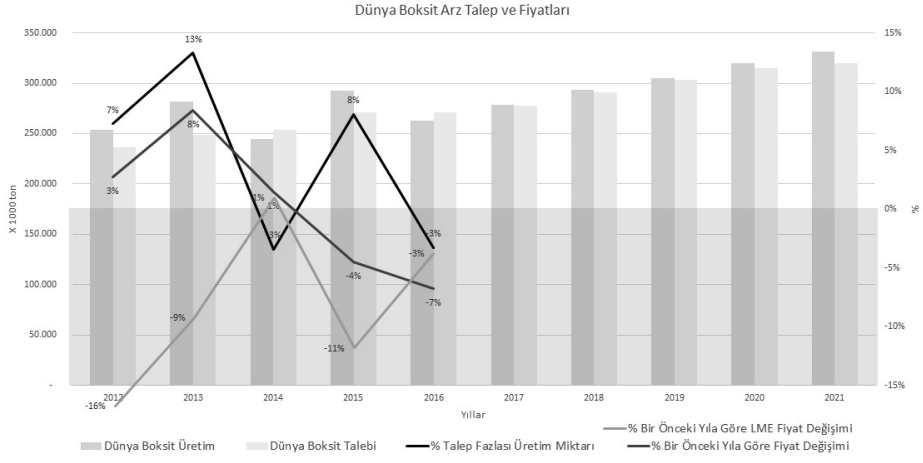
2011 yılında yapmış olduğumuz tahminlere göre Dünya boksit üretiminin 2010 - 2016 yılları arasında toplamda 1.888.600.000 tonu bulacağını öngörmekteydik. Bu rakam aynı tarih aralığında 1.820.000.000 ton olarak gerçekleşti. Bu da tahminlerimizin %96 oranında gerçekleştiğini ve boksit üretiminde artan trendin devam ettiğini gösterdi. Ancak tahminlerimizi, boksit üretiminin 2010-2013 yılları arasında beklentilerin üzerinde gerçekleşse de 2014-2016 yıldaki Endonezya ve Malezya'nın ihracat yasaklamaları ile düşüş göstermesi sebebiyle gelecek 5 yıl için %16'lık negatif yönlü olarak revize ediyoruz. Bu tahmin değişikliği ile Dünya boksit üretiminin 2020 yılında 326 milyon tonu bulmasını bekliyoruz.



Boksit ticareti açısından bakıldığında Dünya boksit ithalatının %80'inden fazlasında üç bölgenin ön planda olduğu görülmektedir. Çin 2016 yılında 51,8 milyon ton ithalat ile ilk sırada yer alırken

Avrupa'nın tamamı ise boksit ithalatında 15 milyon tonu bulmuştur. Amerika ise 6,2 milyon ton ithalat ile 3. büyük boksit pazarı olma özelliğini taşımaktadır. Çin ithalatının %41'ini Avustralya, %23'ünü Gine, %14'ünü ise Malezya'dan gerçekleştirmiştir. Avrupa'nın ana tedarikçileri ise %72'lik pay ile Gine ve %11'lik pay ile Brezilya'dır. Amerika ise ihtiyacının %66'sını Jameika, %21'ini ise Brezilya'dan tedarik etmiştir.

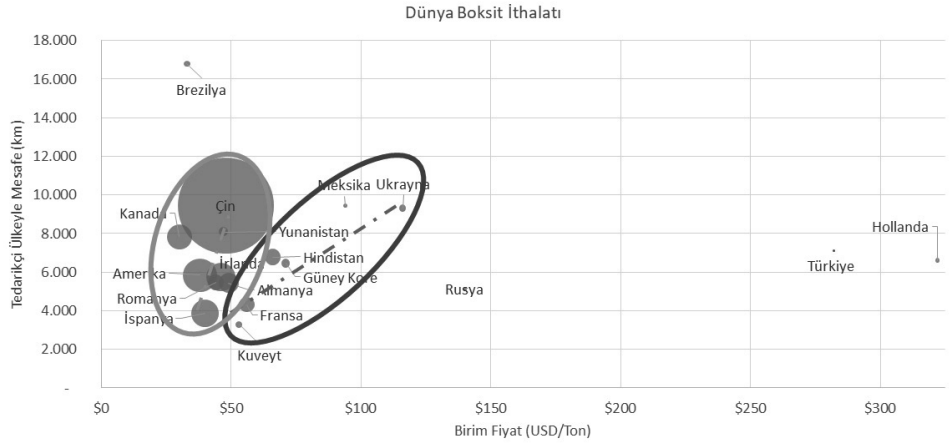
Dünya Boksit Arz Talep ve Fiyat Değişimi



Kaynak: U.S. Geological Survey, International Trade Centre, London Metal Exchange, TA Strategy Team

Boksit arz - talebi, buna bağlı boksit ve Londra Metal Borsası alüminyum (LME) fiyat değişimleri açısından baktığımızda 2012 yılında LME bir önceki yıla göre %16 düşerken boksit fiyatları %3 artış göstermiştir. 2012 yılında ise %7'lik bir talep fazlası üretim gerçekleşmiştir. Normal dönemlerde boksitin talebine çok yakın ve bir miktar üstünde bir üretim yapılmaktadır. Bunun sebebi ise boksitin kolay çıkarılabilir bir maden olması ve ihtiyacı dengeleyecek kadar çıkarılmasının mümkün olmasıdır. Ancak 2014 ve 2016 yıllarında, tarife dışı engeller boksit üretiminin talebin altında kalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte LME 'de bu yıllarda hızlı düşüş trendlerini yavaşlatmıştır. (2014 %1 artış ; 2016 %3 düşüş) Bu da göstermektedir ki boksit arz ve talebi LME üzerinde etkili olmaktadır.

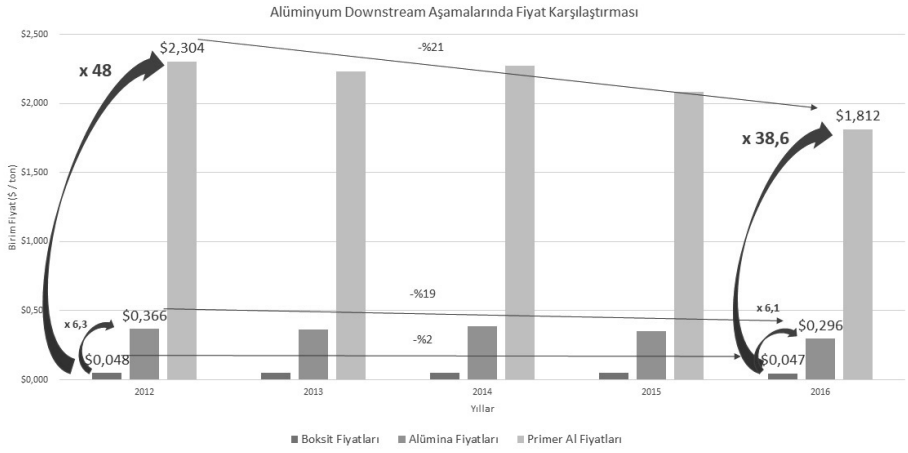
Dünya Boksit Ticareti – İthalat



Kaynak: International Trade Centre, London Metal Exchange, TA Strategy Team

Boksit fiyatlarındaki değişim ise arz talep dengesi ile açıklanamamaktadır. Mevcut istatistiklerde kullandığımız boksit fiyatları dış ticaret verilerini yansıttığından buradaki değişimler daha çok ithalatçı ve ihracatçı ülkelerin birbirleri ile arasındaki mesafe ve ticaret miktarları ile ilişkilidir. Ortalama 4 ton boksitten 2 ton alümina elde ediliyor olması sebebiyle navlunun maliyetler üzerine olan büyük etkisi sonucunda ülkelerin birim boksit ithalat fiyatlarında ciddi derecede farklılıklar gözlemlenmektedir. 3,5 milyon tonun üzerinde ithalat yapan ülkelerde 30-48 $/ton olan boksitin ithalat birim fiyatı, 3,5 milyon tonun altında kalan ülkelerde 53-116 $/ton arasında değişim göstermektedir. 3,5 milyon tonun üstünde alım yapan ülkeler için her %10'luk mesafe artışında birim fiyatlar %4 artarken, 3,5 milyon ton altında alım yapan ülkelerde bu oran her %10'luk mesafe artışında %6,5 fiyat artışı olarak gözlemlenmektedir. Bu durumu maliyet açısından değerlendirdiğimizde hammadde tedariğinde en önemli parametrenin tüketim miktarı, ikinci önceliğin ise alıcı ile satıcı arasındaki mesafe olduğu şeklinde yorumlayabiliriz.

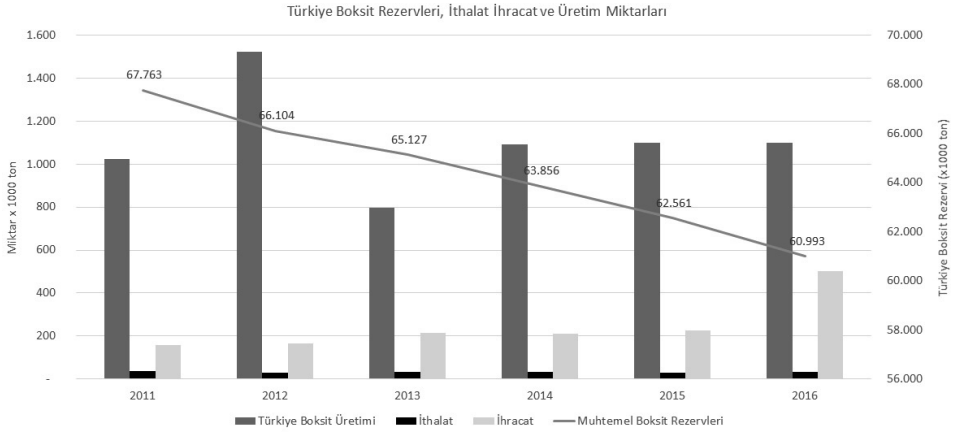
Boksit – Alümina – Primer Al Fiyat Karşılaştırması



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Boksit, alümina ve birincil alüminyumun (Upstream) dış ticaret verilerine yansıyan fiyatları arasındaki ilişkiyi yıllar itibarı ile değerlendirdiğimizde boksit fiyatlarının 2012-2016 yılları arasında %2 lik bir değer kaybına uğradığını görmekteyiz. Buna karşılık alüminadaki değer kaybı %19, birincil alüminyumda ise %21 oranında olmuştur. 2012 yılında 1 ton birincil alüminyum, birim fiyat açısından 1 ton boksitin 48 misli iken bu oran 2016 da 38,6 misline düşmüştür. 2012 yılında alümina, boksitin 6,3 misli iken 2016 yılında bu oran 6,1 misli olarak değişim göstermiştir. Upstream olarak tanımlanan boksit, alümina ve birincil alüminyum için fiyat değişimlerinden en büyük ölçüde etkilenen "birincil alüminyum" iken bu ürünün hammaddesi olan boksit, fiyat değişiminden en az etkilenmiştir.

Dünya Boksit Ticareti



Kaynak: International Trade Centre, U.S. Geological Survey, TA Strategy Team

Türkiye'nin muhtemel bilinen boksit rezervleri yaklaşık 2011 yılı itibarı ile 68 milyon ton iken bu rakam 2016 yılı itibarı ile 61 milyon tona düştüğü tahmin edilmektedir. Türkiye'nin yıllık ortalama

boksit üretimi ise 1 milyon ton civarındadır. Bu rakamlar boksit rezervleri açısından dünya rezervlerinin %0,2'sine tekabül ederken üretim açısından da %0,38 'lik bir paya sahip olduğumuzu göstermektedir.

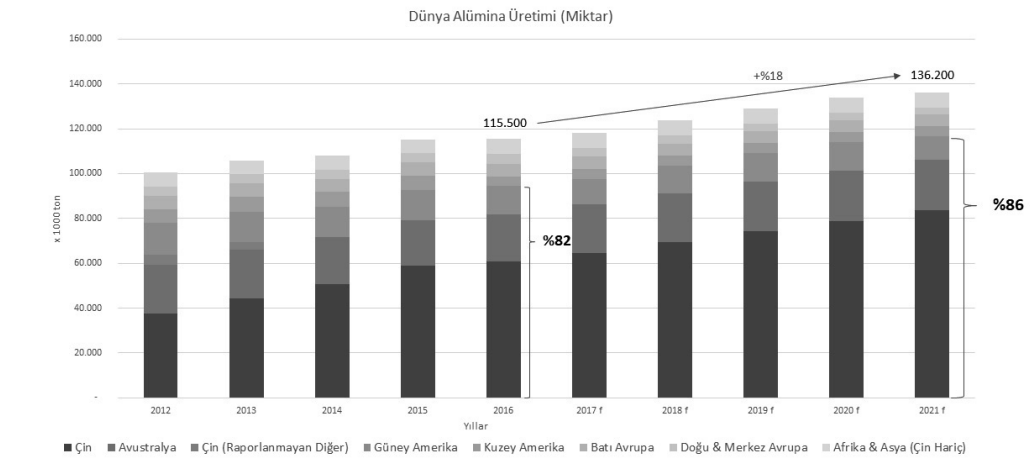
Alümina



2. bölümde yine 1. bölümde olduğu gibi, "Türkiye, Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Büyümeyi Gerçekleştirebilir mi?" sorusunun cevabını vermeye çalışacağız. Bu kez değerlendireceğimiz ürün zincirin ikinci halkası olan alümina olacak.

Dünya alümina üretimi 2012 yılında 100 milyon tondan 2016 yılında 115,5 milyon tona ulaşmıştır. 2016 yılında ulaşılan 115,5 milyon ton alümina üretiminin %82'sini iki ülke gerçekleştirmiştir. Dünya alümina üretiminde Çin ve Avustralya'nın liderliği ile önümüzdeki 5 yıl içerisindeki üretimi %18 artırarak 136,5 milyon tona ulaşılması beklenmektedir. Çin ve Avustralya'nın 2021 yılında toplam dünya üretiminden alacağı payın %86 çıkacağı tahmin edilmektedir.

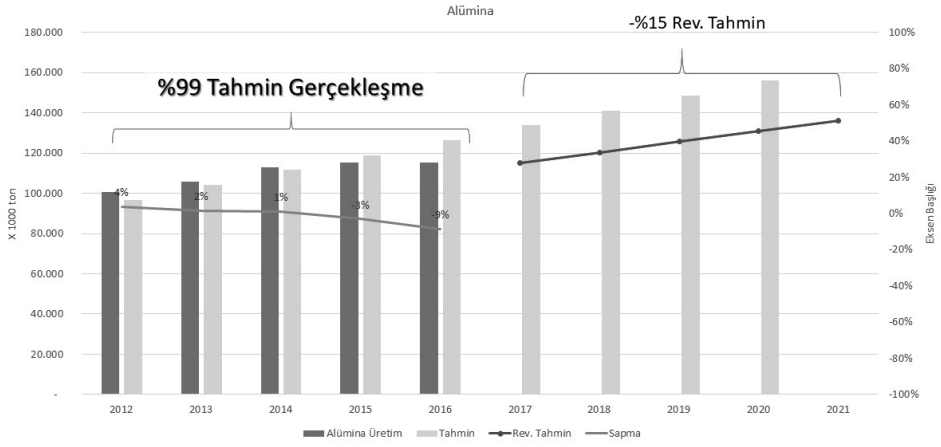
Dünya Alümina Üretimi



Kaynak: International Primary Aluminium Institute, TA Strategy Team

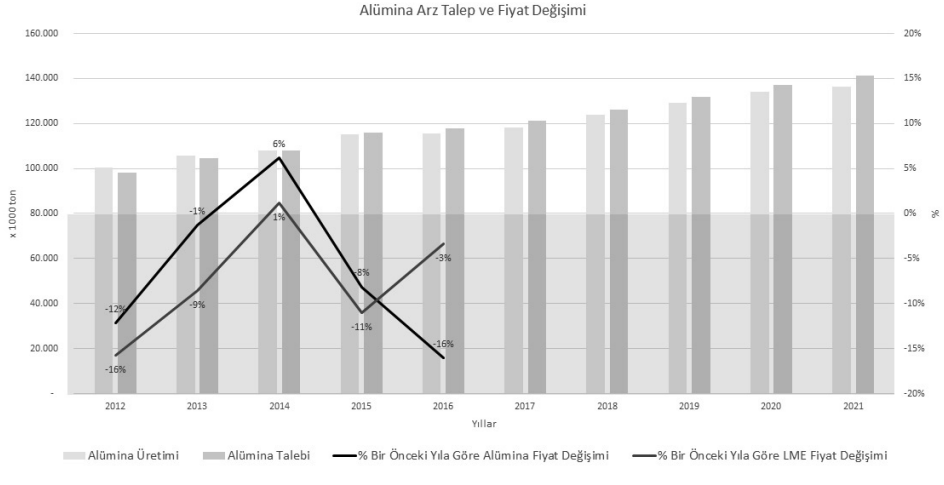
2011 yılındaki tahminlerimize göre 2012 ile 2016 yılları arasında Dünya toplam alümina üretimi 558.000.000 ton olması beklenirken 5 yılda toplam 549.992.000 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu da tahminimizin %99 oranında gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak ilk üç yıl tahminlerimizin üzerinde gerçekleşirken son 2 yılın tahminlerimizin altında gerçekleşmesi 2017 - 2021 tahminlerimizde %15'lik negatif yönlü bir revizyon yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Böylelikle 2021 yılında dünya alümina üretiminin yaklaşık 140 milyon tonu bulacağını tahmin etmekteyiz. Bu durum önceki tahminlerimize göre dünyanın yaklaşık 3 yıl kadar geriden beklenen rakamlara ulaşacağını göstermektedir.

Tahmin / Gerçekleşen



Alümina ticaret verilerine bakıldığında alümina fiyatlarının LME ile paralel hareket ettiği gözlenmektedir. Alümina fiyatları 2014 ve 2016 yılları haricinde LME değişim oranlarının altında değişim gösterirken Endonezya ve Malezya 'nın Çin'e uyguladığı ihracat yasaklarının meydana geldiği yıllarda alüminaya oranla LME çok daha yüksek oranlarda değişim göstermiştir. Bu da alüminanın spekülatif durumlardan daha az etkilendiğini göstermektedir.

Dünya Alümina Arz Talep ve Fiyat Değişimi

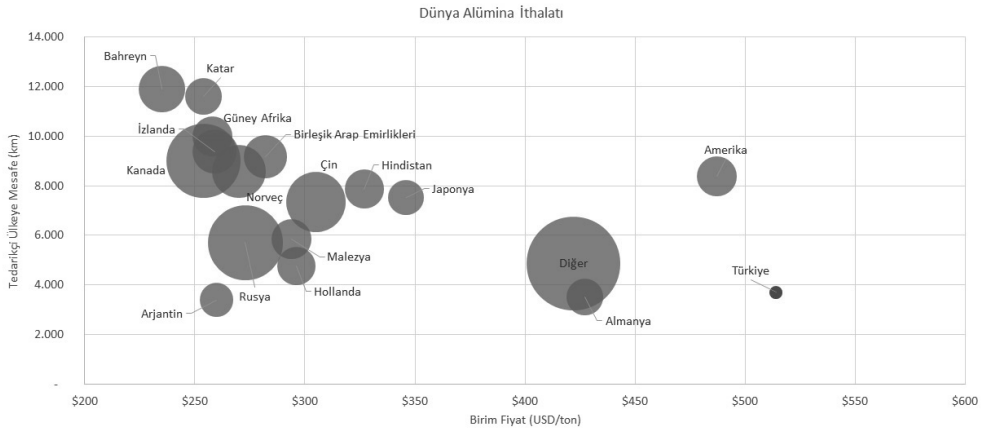


Kaynak: International Primary Aluminium Institute, TA Strategy Team

Alümina fiyatlarını etkileyen parametrelerden mesafenin etkisi değerlendirildiğinde ise boksitteki durumu alüminada görmemekteyiz. 2016 yılında Bahreyn ve Katar en uzak mesafelerden ithalatlarını gerçekleştirmelerine rağmen en düşük birim fiyat ile ithalat gerçekleştiren ülkeler olmuştur. Rusya ise dünyanın en büyük alümina ithalatçısı olmasının yanı sıra yakın mesafeden tedariğini gerçekleştirmesine rağmen ortalama maliyetler seviyesinde alımlar yapmıştır. Türkiye ise 2016 yılında

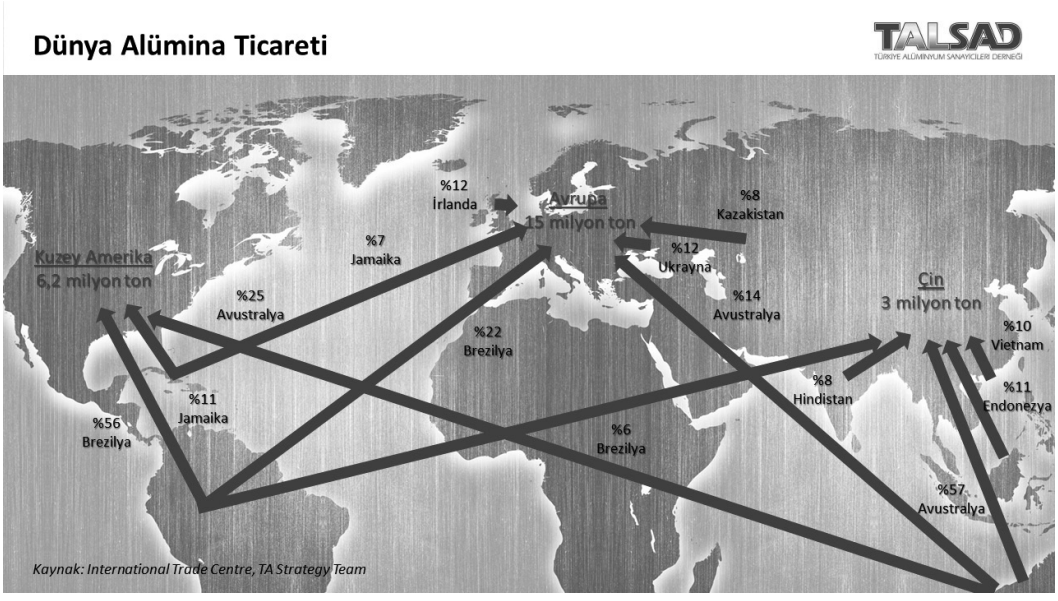
140 bin ton alümina ithalatı ile Dünya ithalatının %0,4'ünü gerçekleştirmiştir. Ortalama birim fiyat açısından ise 514$/ton ile Dünya ithalat ortalamasının üstünde bir maliyetle tedariğini gerçekleştirmiştir.

Dünya Boksit Ticareti – İthalat



Kaynak: International Trade Centre, London Metal Exchange, TA Strategy Team

Dünya alümina ticaretinin yönüne baktığımızda ise boksitte olduğu gibi alüminada da üç ana pazarın varlığından bahsedebiliriz. Ancak bu sefer en büyük pazar olarak Çin'in yerini Avrupa almaktadır. 2016 yılında Avrupa toplamda 15 milyon ton alümina ithalatı ile en büyük ithalat pazarı olma özelliği göstermiştir. Avrupa'yı 6,2 milyon ton alümina ithalatı ile Kuzey Amerika takip ederken Çin ise 3 milyon tonluk ithalatı ile üçüncü sırada yer almıştır. Avrupa toplam ithalatının %22 sini Brezilya'dan geri kalan miktarının büyük oranını ise sırası ile %14 Avustralya, %12 Ukrayna, %12 İrlanda, %8 Kazakistan ve %7 Jameika 'dan temin etmiştir. Kuzey Amerika ise alümina tedariğinin %56'sını Brezilya'dan %25'ini Avustralya'dan ve %11'ini Jameika'dan temin etmektedir. Çin toplam alümina ithalatının %57 'sini Avustralya'dan %11'ini Endoneya'dan %10'unu Vietnam'dan ve %8'ini Hindistan'dan tedarik etmiştir.

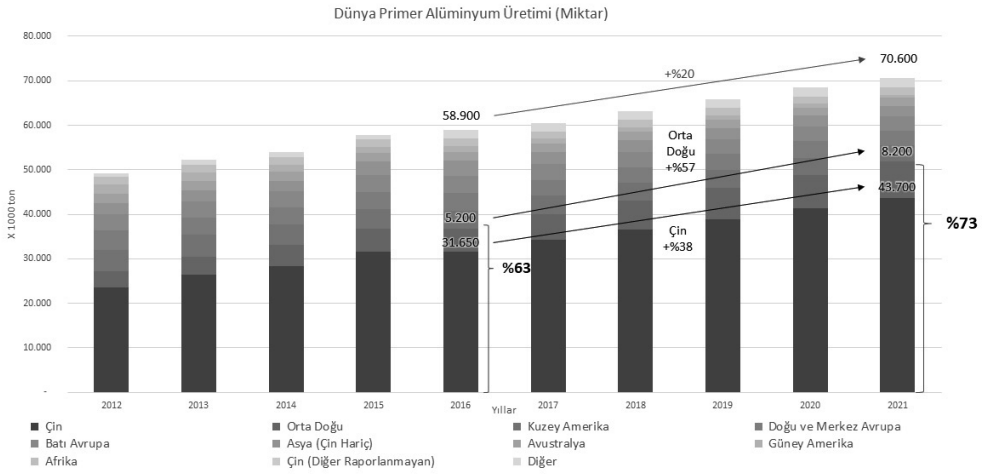


Birincil Alüminyum

3. bölümde "Türkiye, Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Büyümeyi Gerçekleştirebilir mi?" sorusuna cevabı birincil alüminyum açısından bakarak vermeye çalışacağız.

Dünya birincil alüminyum üretimi 2012 yılında 49,2 milyon tondan 2016 yılında 5 yıl içerisinde %20 artış göstererek 58,9 milyon tona ulaşmıştır. Çin; 31,6 milyon ton ve Orta Doğu; 5,2 milyon ton üretim ile toplamda Dünya birincil alüminyum üretiminin %63'ünü üretmiştir. Birincil alüminyum üretiminde Çin'in yıllık %38'lik büyüme trendi ile 2021 yılında üretimini 43,7 milyon tona ulaştırması beklenmektedir. Orta Doğu ise en hızlı büyüyen üretim merkezi olma özelliğini koruyarak 2021 yılında %57'lik büyüme oranı ile 8,2 milyon ton üretim seviyesine ulaşması muhtemel görünmektedir. 2021 yılında toplam Dünya birincil alüminyum üretiminin geçmiş 5 yılda olduğu gibi %20 artış göstererek 70 milyon tonu geçeceği tahmin edilmektedir.

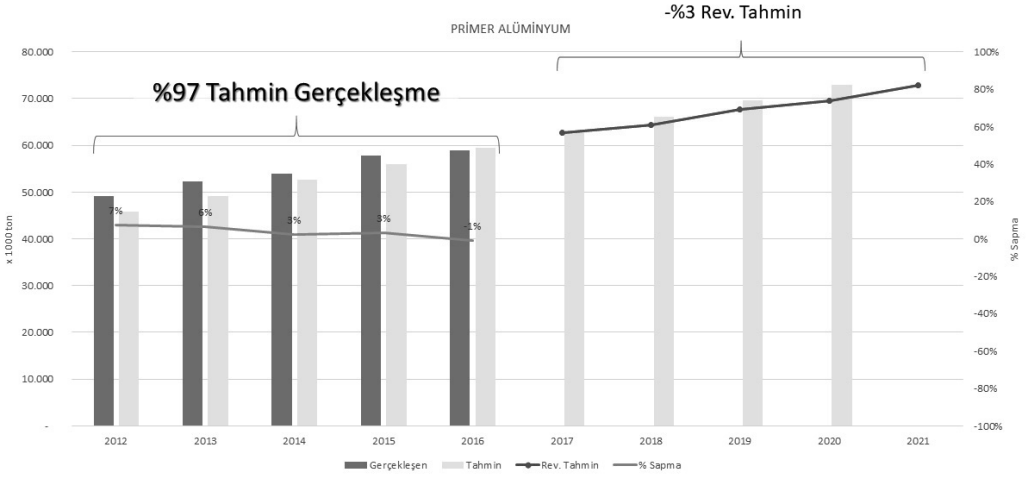
Dünya Primer Alüminyum Üretimi



Kaynak: International Primary Aluminium Institute, TA Strategy Team

2011 yılında yapmış olduğumuz birincil alüminyum üretim tahminlerine baktığımızda 2012-2016 yılları arasında 263 milyon ton üretim yapılacağına yönelik tahminlerimizin 272 milyon ton üretim ile %3 oranında üstünde gerçekleşmiştir. %97 'lik tahminlerimizin gerçekleştiği birincil alüminyum üretiminde, önümüzdeki beş yıllık tahminlerimizi de bu doğrultuda düşürerek 2021 yılında Dünya birincil alüminyum üretiminin 72,8 milyon tonu bulacağını tahmin ediyoruz. Bu tahmin revizyonu ile Dünya alüminyum üretiminin beklentilerimizi bir yıl geriden gelerek yakalayacağı sonucunu çıkarabiliriz.

Tahmin / Gerçekleşen

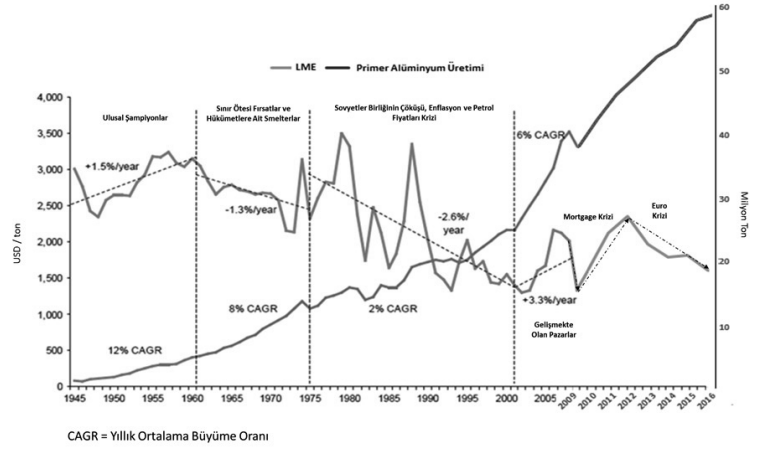


Alüminyum fiyatlarının yıllar içerisindeki değişimi bazı global makro trendler ile inişli çıkışlı bir grafik sergilemiştir. Bu makro trendler;

- 1945-1960 yılları arasında "Ulusal Şampiyonlar" dönemi,
- 1960-1975 arası "Sınır Ötesi Fırsatlar ve Hükümetlere Ait Smelterlar" dönemi,
- 1975-2000 arası "Sovyetler Birliği'nin Çöküşü, Enflasyon ve Petrol Krizi" dönemi,
- 2000 sonrası "Gelişmekte Olan Pazarlar" dönemi olarak sınıflandırılmaktadır.

2000 sonrası gelişmekte olan pazarların, özellikle de Çin'deki hızlı büyümenin etkileri ile LME yıllık ortalama %3,3 'lük bir artış göstermiştir. Ancak bu artış trendi 2007 yılında etkilerini göstermeye başlayan Mortgage Krizi ve 2009 yılının sonlarında Yunanistan, Portekiz, İrlanda, İspanya ve Kıbrıs Cumhuriyeti'ın borçlarını ödeyememesinden doğan Avrupa Borç Krizi ile ani düşüşler yaşayarak 2000'li yılların başlarına geri dönüşler yapmıştır. 2011 sonrasında 2.300 $/ton seviyelerine yükselen LME 2015 yılında 1.465 $/ton seviyelerine kadar gerilemiştir. 2016 yılında ise tekrar yükselişe geçen LME yıl sonunda 1.730 USD/ton seviyesine dönmüştür.

Primer Alüminyum Üretimi ve LME

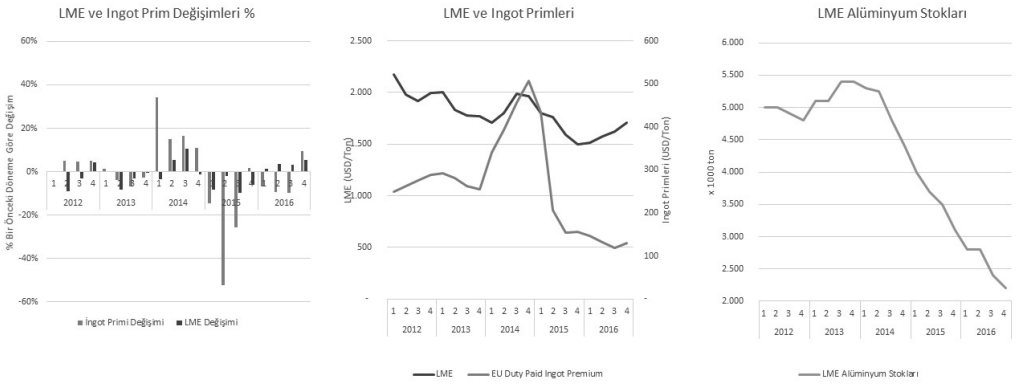


CAGR = Yıllık Ortalama Büyüme Oranı

Kaynak: Metalsmarket, International Aluminium Institude, CRU World Aluminium Conference, TA Strategy Team

Geçtiğimiz beş yıl içerisinde LME'ye etki eden makro trendler dışında farklı gelişmelerde yaşanmıştır. Özellikle LME stoklarının 5,5 milyon tona yaklaştığı 2013 yılının Kasım ayında açıklanan reform paketi ile 3 yıl içerisindeki alüminyum stokları %50'den fazla azaltılarak 2 milyon ton seviyesine inmiştir. Reform öncesi düşüş eğilimindeki LME, iyimserlik havasının hakim olduğu kuvvetli "contango"nun (üç aylık fiyatların peşin fiyatın üstünde olması) etkisi ingot primlerinde hızlı bir artışa neden olmuştur. 2014 yılında ingot primleri yıl içerisinde %62 oranında artış göstererek 510 USD/ton ile tarihi zirvesine ulaşmıştır. Ardından tekrar aynı hız ile gerileyen primler 2014 sonundan 2016 sonuna kadar %75 oranında düşüş göstererek 128 USD/ton seviyesine gerilemiştir.

Ingot Primleri ve LME



Kaynak: London Metal Exchange, Metal Bulletin, MetalsMarket, TA Strategy Team

Dünya birincil alüminyum ithalatı 2016 yılında toplam 25,3 milyon tonu bulmuştur. Bu miktar 46,1 milyar dolarlık bir ithalat hacmine tekabül etmektedir. Dünya birincil alüminyum ithalatı sıralamasında ilk sırada Amerika toplam ithalattan aldığı %17'lik pay ile yer almaktadır. Amerika'nın 2016 yılındaki ithalat artışı ise %28 oranında olmuştur. İlk yedi en büyük ithalatçı arasında en yüksek büyüme oranı %221 ile Hollanda'ya aittir. Türkiye ise miktar olarak 1,05 milyon ton tutar olarak ise 1,85 milyar dolar ithalat ile birincil alüminyum ithalatında 7. sırada yer almıştır. Bir önceki yıla göre %7 oranında düşüş gösteren birincil alüminyum ithalatı ile Türkiye hammadde ihtiyacının %94'ünden fazlasını ithal eder konumdadır.

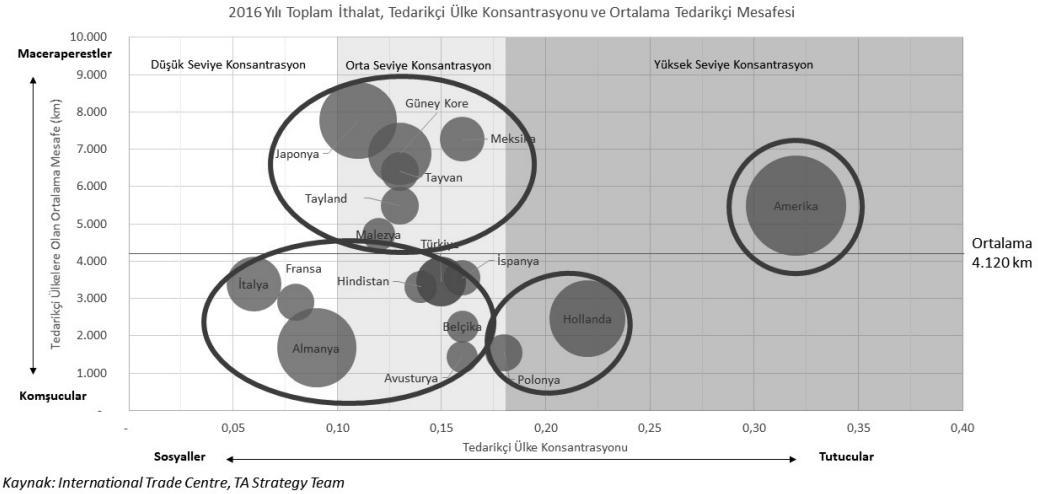
		Miktar (Ton)					Miktar %				
	İthalatçı Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**21.559.445**	**21.212.804**	**23.537.653**	**23.507.655**	**25.300.587**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
1.	Amerika	2.854.678	2.896.859	3.060.318	3.333.428	4.276.309	13%	14%	13%	14%	17%
2.	Almanya	2.522.781	2.540.386	2.714.675	2.602.388	2.594.154	12%	12%	12%	11%	10%
3.	Japonya	2.751.502	2.480.427	2.823.584	2.529.063	2.515.980	13%	12%	12%	11%	10%
4.	Hollanda	951.911	608.019	1.394.078	769.865	2.468.200	4%	3%	6%	3%	10%
5.	Güney Kore	1.428.791	1.429.199	1.490.509	1.512.360	1.655.344	7%	7%	6%	6%	7%
6.	İtalya	845.023	993.311	1.116.068	1.131.668	1.300.148	4%	5%	5%	5%	5%
7.	**Türkiye**	**933.532**	**990.287**	**1.094.474**	**1.130.645**	**1.051.215**	**4%**	**5%**	**5%**	**5%**	**4%**
8.	Diğer	9.271.176	9.274.232	9.843.947	10.497.792	9.439.237	43%	44%	42%	45%	37%

		Tutar (x 1000 USD)					Bir Önceki Yıla Göre Değişim %			
	İthalatçı Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**50.282.753**	**47.872.699**	**54.022.466**	**49.647.861**	**46.115.274**	**-2%**	**11%**	**0%**	**8%**
1.	Amerika	6.761.717	6.475.369	7.303.607	7.338.303	8.163.226	1%	6%	9%	28%
2.	Almanya	5.983.666	5.915.810	6.330.599	5.482.435	4.730.559	1%	7%	-4%	0%
3.	Japonya	6.005.374	5.232.711	6.098.103	5.176.111	4.312.853	-10%	14%	-10%	-1%
4.	Hollanda	2.138.026	1.379.066	3.010.942	1.563.011	4.374.181	-36%	129%	-45%	221%
5.	Güney Kore	3.167.831	3.085.947	3.307.710	3.050.714	2.861.167	0%	4%	1%	9%
6.	İtalya	1.963.291	2.208.785	2.511.197	2.355.842	2.279.554	18%	12%	1%	15%
7.	**Türkiye**	**2.110.921**	**2.188.966**	**2.490.682**	**2.326.951**	**1.854.280**	**6%**	**11%**	**3%**	**-7%**
8.	Diğer	22.151.789	21.385.806	22.969.626	22.353.290	17.539.454	0%	6%	7%	-10%

Birincil alüminyum ithalatçı ülkelerinin bağımlılık analizini yaptığımızda en büyük ithalatçı konumundaki Amerika'nın mesafe olarak uzak tedarikçilerden alım yaparken tedarikçi konsantrasyonunun ise yüksek olduğunu görmekteyiz. Türkiye ise kendisine yakın coğrafyalardan birincil alüminyum tedariğini gerçekleştirirken tedarikçi konsantrasyonunu ise orta seviyede tutmaktadır.

Dünya Primer Alüminyum Ticareti

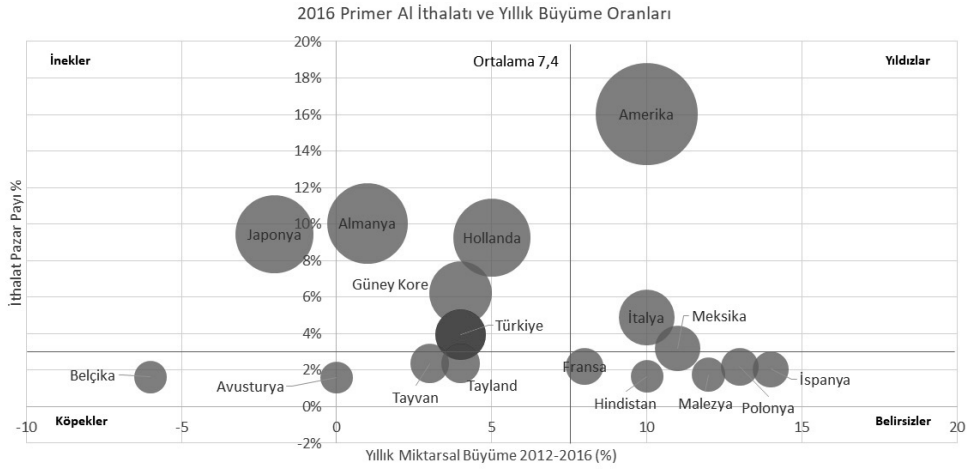
TALSAD
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

İthalat büyüme hızı ve pazar payı açısından değerlendirildiğinde, Amerika, İtalya ve Meksika en cazip pazarlar olma özelliğini taşımaktadır. Pazar büyüme hızı düşük olan ve pazar payı yüksek olan bölgede Japonya, Almanya, Güney Kore, Hollanda ve Türkiye yer almaktadır. Bu bölge, strateji matrislerinde tedarikçilerinin kar maksimizasyonu hedefleyecekleri bölgeyi temsil etmektedir ve bu da fiyat artışı risklerini beraberinde getirmektedir.

Dünya Primer Alüminyum Ticareti

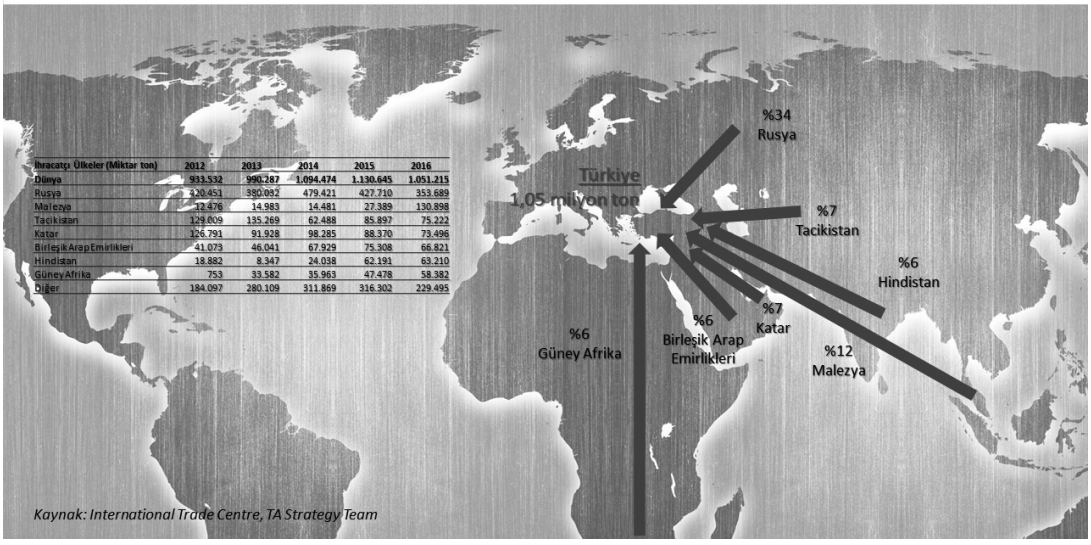


Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Türkiye birincil alüminyum ithalatında, 2016 yılı sonunda, son 15 yıl içerisindeki %7 lik bir oran ile ikinci kez gerileme yaşamıştır. İthalattaki ilk gerileme yılı, bir önceki yılın Eylül'ününde ortaya çıkan Küresel Krizin etkilerini gösterdiği 2009 yılı olmuştur. Ülkemizde birincil alüminyum üretiminin bu alanda yeni yatırımlar olmaması sebebiyle artmadığı düşünüldüğünde, bu durum alüminyum sektörünün 2016 'da büyümediğinin net bir göstergesidir.

Türkiye'nin birincil alüminyum ithalatında ilk tedarikçisi konumundaki Rusya ise son 15 yılda en düşük oranı olan %34 ile ilk sıradaki yerini korumuştur. Bu oran son 15 yılın toplamında %47, son 15 yılın paylarının aritmetik ortalaması alındığında ise %51 seviyesindedir. 2016 yılında Türkiye'nin birincil alüminyum ithalatında en büyük artışı %12 lik payı ile Malezya gerçekleştirmiştir.

Dünya Primer Alüminyum Ticareti

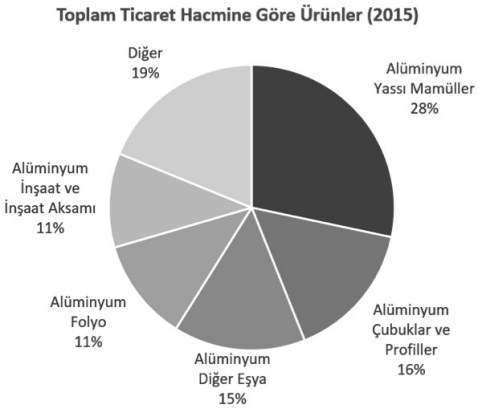


Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

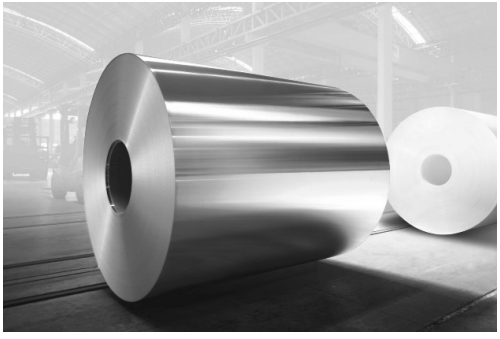
Bu bölümde "Türkiye, Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Büyümeyi Gerçekleştirebilir mi?" sorusunun cevabı konusunda Türkiye'nin toplam alüminyum ihracatının %91'ini oluşturan yarı mamul alüminyum ürünleri kısmına yer verilecektir.

Yarı Mamul Alüminyum

Dünya yarım mamul alüminyum ticaretinde, 2015 yılı ticaret hacmi sıralamasına göre en yüksek payı %28 ile yassı mamuller alırken ikinci sırayı ise %16 'lık payı ile çubuk ve profiller almaktadır. Türkiye'nin 2016 yılı toplam ihracatı içerisinde en büyük oranı yine aynı sıralama ile %30 oranı yassı mamuller, %23 oranı ise çubuk ve profiller almıştır. Bu bölümde yarı mamul alüminyum ürünlerinden bu iki ürün üzerinden yapılacak değerlendirmelere yer verilmiştir.



Alüminyum Yassı Mamuller



Alüminyum yarı mamul ticaretinin en yüksek payına sahip olan yassı mamuller Dünya ithalatı, 2016 yılında toplam 7,73 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Toplam ithalatın %12'sini gerçekleştiren Almanya 931.405 ton ile ilk sırada yer almaktadır. Amerika ise yine aynı oran ile ikinci sırada yer alırken, Türkiye 17. sırada yer alarak Dünya yassı alüminyum ithalatından %2'lik bir pay almıştır.

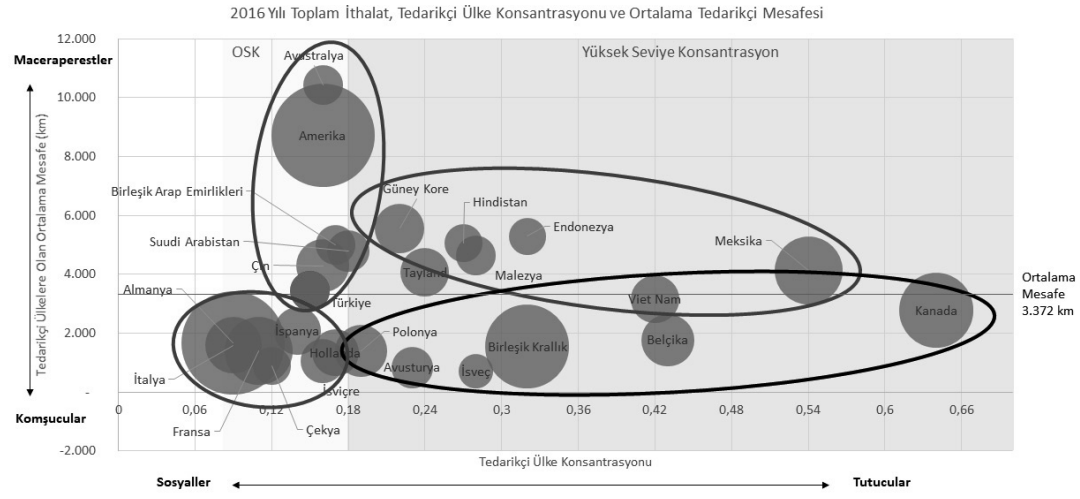
		Miktar (Ton)					Miktar %				
	İthalatçı Ülke	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**7.244.255**	**7.804.584**	**8.257.043**	**8.919.162**	**7.736.479**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
1	Almanya	655.519	652.118	743.157	861.671	931.405	9%	8%	9%	10%	12%
2	Amerika	661.137	645.754	766.943	928.308	927.978	9%	8%	9%	10%	12%
3	Birleşik Krallık	463.538	481.737	563.342	619.479	597.581	6%	6%	7%	7%	8%
4	Kanada	404.850	414.466	430.480	458.799	481.590	6%	5%	5%	5%	6%
5	Meksika	360.283	313.490	309.748	338.984	403.766	5%	4%	4%	4%	5%
6	Fransa	393.132	403.553	401.146	402.019	401.631	5%	5%	5%	5%	5%
7	İtalya	291.528	289.150	275.277	293.288	282.959	4%	4%	3%	3%	4%
8	Çin	373.836	338.899	347.349	325.464	245.715	5%	4%	4%	4%	3%
9	Polonya	207.783	215.411	221.883	224.658	240.477	3%	3%	3%	3%	3%
10	Belçika	149.161	178.573	210.463	223.868	234.050	2%	2%	3%	3%	3%
11	Güney Kore	148.800	237.550	230.968	309.594	211.459	2%	3%	3%	3%	3%
12	Tayland	165.445	183.837	203.220	229.044	205.397	2%	2%	2%	3%	3%
13	Hollanda	132.172	187.283	183.668	200.517	191.101	2%	2%	2%	2%	2%
14	İspanya	88.112	102.649	114.762	145.164	190.196	1%	1%	1%	2%	2%
15	İsviçre	102.810	121.394	112.462	110.558	165.568	1%	2%	1%	1%	2%
16	Avusturya	162.249	172.423	158.606	152.658	155.055	2%	2%	2%	2%	2%
17	**Türkiye**	**90.161**	**106.644**	**109.208**	**125.974**	**139.152**	**1%**	**1%**	**1%**	**1%**	**2%**
18	Malezya	125.231	184.519	168.247	181.722	137.878	2%	2%	2%	2%	2%
19	Avustralya	73.605	77.412	92.453	120.897	137.858	1%	1%	1%	1%	2%
20	Diğer	2.194.903	2.497.722	2.613.661	2.666.496	1.455.663	30%	32%	32%	30%	19%

2016 yılı Dünya yassı alüminyum ithalatı toplamda 23 milyar dolar seviyesine inerken bu tutar son beş yılın en düşük seviyesidir. Türkiye'nin ise 2016 yılı yassı alüminyum ithalat tutarı 419 milyon dolar olmuştur. 2015 - 2016 yılları arasında Türkiye yassı alüminyum ithalatında %10 luk bir artış göstermiştir. Bu oran ilk 20 ithalatçı ülke arasında oransal artış açısından Türkiye'nin 5. sırada yer almasını sağlamıştır.

		Tutar (x1000 USD)					Bir Önceki Yıla Göre Miktarsal Değişim			
	İthalatçı Ülke	2012	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**26.477.480**	**27.545.740**	**28.606.376**	**28.478.503**	**23.052.300**	**8%**	**6%**	**8%**	**-13%**
1	Almanya	2.576.404	2.599.194	2.896.727	2.988.648	2.880.312	-1%	14%	16%	8%
2	Amerika	2.319.234	2.156.049	2.446.419	2.915.288	2.641.121	-2%	19%	21%	0%
3	Birleşik Krallık	1.453.126	1.659.060	1.903.647	1.881.854	1.635.534	4%	17%	10%	-4%
4	Kanada	1.413.206	1.376.122	1.443.471	1.466.135	1.410.673	2%	4%	7%	5%
5	Meksika	1.126.731	1.105.364	1.185.875	1.193.899	1.294.211	-13%	-1%	9%	19%
6	Fransa	1.485.694	1.582.449	1.500.537	1.363.266	1.281.067	3%	-1%	0%	0%
7	İtalya	1.000.977	1.010.890	925.456	883.952	793.078	-1%	-5%	7%	-4%
8	Çin	1.665.579	1.443.582	1.394.859	1.304.432	970.135	-9%	2%	-6%	-25%
9	Polonya	728.888	779.521	783.348	696.275	690.437	4%	3%	1%	7%
10	Belçika	499.152	581.102	673.108	606.191	594.037	20%	18%	6%	5%
11	Güney Kore	583.343	762.291	830.687	1.025.447	799.778	60%	-3%	34%	-32%
12	Tayland	601.081	633.556	644.797	687.011	569.384	11%	11%	13%	-10%
13	Hollanda	447.553	619.648	609.598	586.311	506.333	42%	-2%	9%	-5%
14	İspanya	385.312	444.041	438.052	453.918	529.757	16%	12%	26%	31%
15	İsviçre	385.426	444.901	411.522	361.076	482.683	18%	-7%	-2%	50%
16	Avusturya	495.821	544.286	534.327	461.561	420.802	6%	-8%	-4%	2%
17	**Türkiye**	**350.467**	**409.789**	**395.446**	**417.080**	**419.135**	18%	**2%**	**15%**	**10%**
18	Malezya	550.343	619.056	550.012	568.056	425.685	47%	-9%	8%	-24%
19	Avustralya	260.516	258.827	301.476	360.161	375.091	5%	19%	31%	14%
20	Diğer	8.148.627	8.516.012	8.737.012	8.257.942	4.333.047	14%	5%	2%	-45%

Dünya yassı alüminyum ithalatında ülkelerin tedarik mesafeleri ve tedarikçi konsantrasyonları analizini yaptığımızda en yüksek seviyede konsantrasyonun, dolayısı ile en büyük tedarikçi bağımlılığının Kanada'da olduğunu görmekteyiz. En düşük seviye tedarikçi bağımlılığı Almanya'da iken en uzun mesafe ithalatı Avustralya en yakın mesafe ithalatı ise Avrupa ülkeleri gerçekleştirmiştir. Türkiye ise Dünya ortalaması olan 3.372 km ile aynı seviyede bir tedarik mesafesinden ithalatını yapmaktadır. Aynı zamanda orta seviyede bir tedarikçi ülke konsantrasyonuna sahiptir.

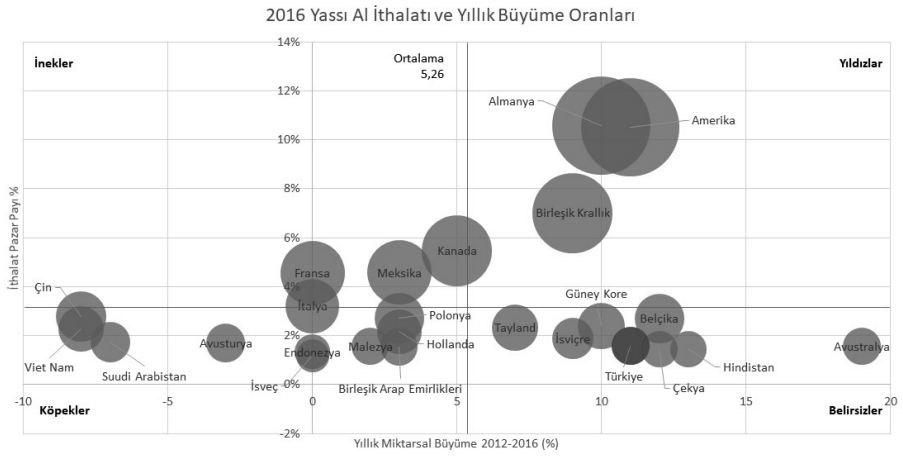
Dünya Yassı Alüminyum Ticareti



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Dünya yassı alüminyum ithalatı açısından hızlı büyüme gerçekleştiren ve ithalat pazar payı yüksek olan ülkeler, Amerika, Almanya ve Birleşik Krallık'tır. Bu ülkeler hedeflenecek en öncelikli pazarlar olma özelliği taşırken Kanada, Fransa ve Meksika yüksek pazar payına sahip olmalarına rağmen düşük büyüme hızları sebebiyle tedarikçilerinin kar maksimizasyonu hedefleyeceği pazarlar konumundadır. Türkiye ise yassı alüminyum ithalatında yüksek büyüme hızına rağmen düşük pazar payı ile belirsizler bölümünde yer almaktadır. Özellikle Türkiye'deki kurulu yassı alüminyum kapasitesinin kendi ihtiyacının üzerinde olması, tedarikçileri açısından Türkiye'yi istenildiği kadar cazip kılmamaktadır. Türkiye'nin daha çok ithal ettiği yassı mamul ürünleri, ülkemizde bulunmayan sıcak hadde teknolojisi ürünleridir.

Dünya Yassı Alüminyum Ticareti

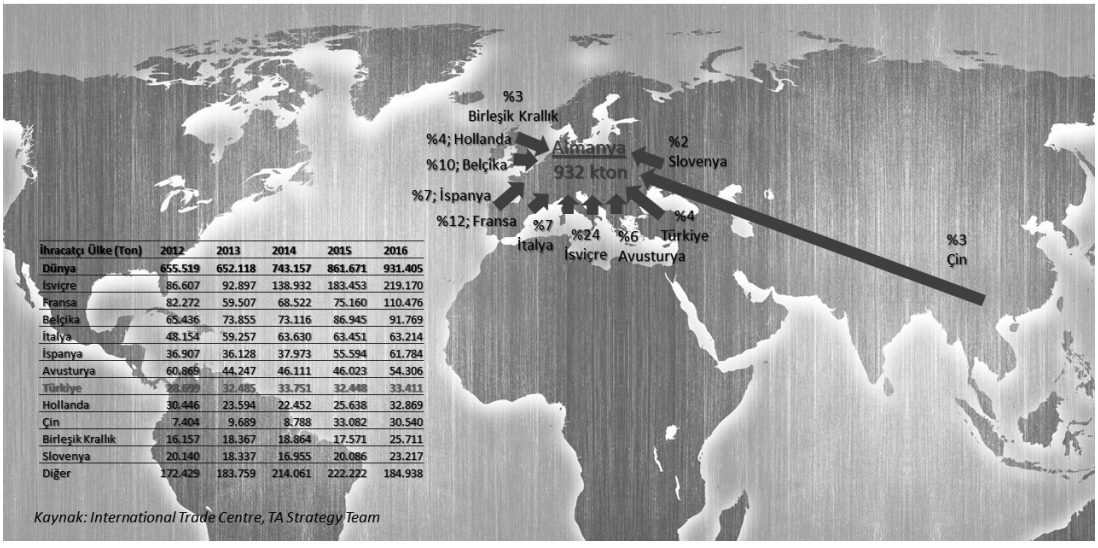


Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Almanya'nın 2016 yılında gerçekleştirmiş olduğu 931.405 ton yassı alüminyum ithalatı, düşük tedarikçi konsantrasyonu seviyesinde olması sebebiyle idealdir. En yüksek ithalat yaptığı ülkenin payının %24'ü geçmemiştir. Almanya, Türkiye'den de 33.411 ton yassı alüminyum ithal etmiştir. Bu oran kendi toplam tedariğinin %4'ü seviyesindedir. Türkiye'nin yassı alüminyum ihracatında Almanya'nın payı ise %20 ile ilk sırada gelmektedir. Bu durum Türkiye için Almanya'yı stratejik pazar yaparken, Almanya açısından ise Türkiye stratejik olma özelliğini taşıyamamaktadır. İki ülkenin siyasi gerginlikleri ticaretlerine yansımamış olsa da yansıması durumunda stratejik açından Türkiye açısından risk daha büyüktür.

Dünya Yassı Alüminyum Ticareti

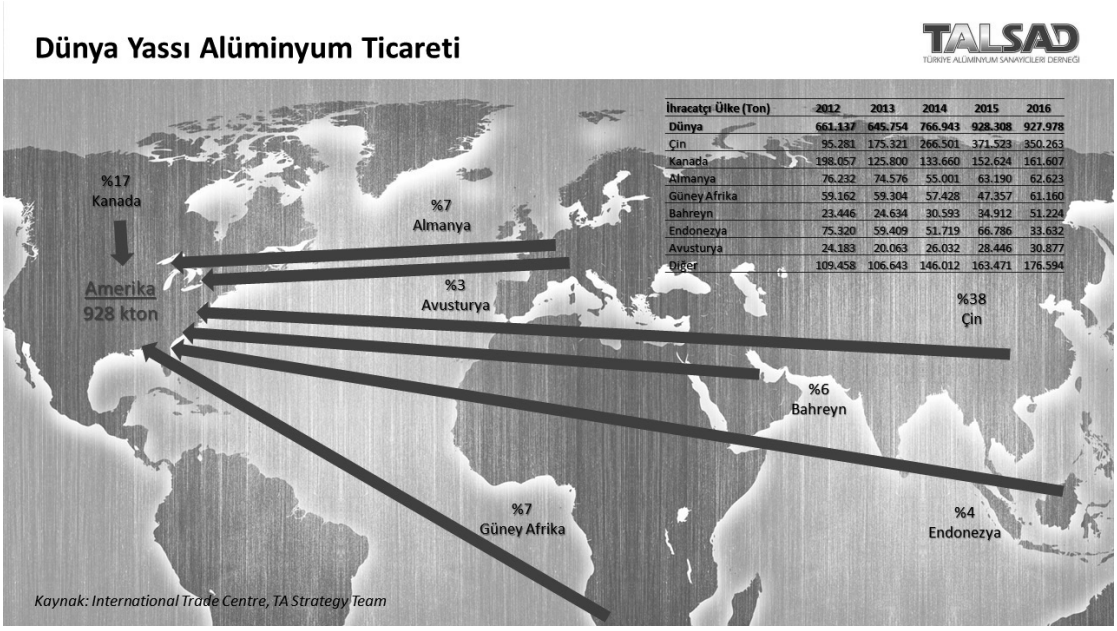
TALSAD
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ



İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016
Dünya	655.519	652.118	743.157	861.671	931.405
İsviçre	86.607	92.897	138.932	183.453	219.170
Fransa	82.272	59.507	68.522	75.160	110.476
Belçika	65.436	73.855	73.116	86.945	91.769
İtalya	48.154	59.257	63.630	63.451	63.214
İspanya	36.907	36.128	37.973	55.594	61.784
Avusturya	60.869	44.247	46.111	46.023	54.306
Türkiye	36.699	32.485	33.751	32.448	33.411
Hollanda	30.446	23.594	22.452	25.638	32.869
Çin	7.404	9.689	8.788	33.082	30.540
Birleşik Krallık	16.157	18.367	18.864	17.571	25.711
Slovenya	20.140	18.337	16.955	20.086	23.217
Diğer	172.429	183.759	214.061	222.222	184.938

Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Yassı alüminyum ithalatında ikinci sırada yer alan Amerika 2016 yılında 928 bin ton ithalatının %38'ini Çin'den temin etmiştir. Amerika, 2012 yılından 2016 yılına kadar geçen 5 yıl içerisinde Çin'den yaptığı yassı alüminyum ithalatını %268 oranında artırmıştır.



İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016
Dünya	661.137	645.754	766.943	928.308	927.978
Çin	95.281	175.321	266.501	371.523	350.263
Kanada	198.057	125.800	133.660	152.624	161.607
Almanya	76.232	74.576	55.001	63.190	62.623
Güney Afrika	59.162	59.304	57.428	47.357	61.160
Bahreyn	23.446	24.634	30.593	34.912	51.224
Endonezya	75.320	59.409	51.719	66.786	33.632
Avusturya	24.183	20.063	26.032	28.446	30.877
Diğer	109.458	106.643	146.012	163.471	176.594

Rakip ülkelere baktığımızda 2016 yılı toplam Dünya yassı alüminyum ihracatının %19'unu 1,64 milyon ton ile Çin lider olarak götürmektedir. İkinci sırada ise Dünya'nın en büyük yassı alüminyum ithalatçısı konumunda olan Almanya'yı yine görmekteyiz. Almanya, 1,5 milyon tonun üstündeki ihracatı ile 1 milyon tonluk ihracat barajını aşan iki ülkeden biri olmuştur.

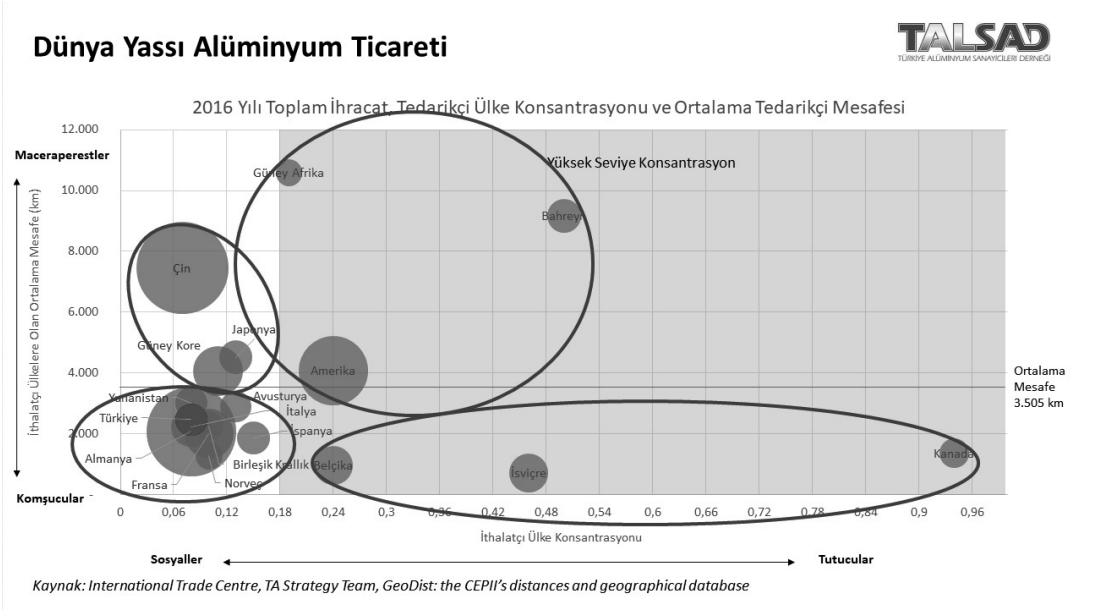
		Miktar (Ton)					Miktar %				
	İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**7.298.803**	**7.925.631**	**8.373.772**	**8.723.102**	**8.659.715**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
1	Çin	1.194.326	1.560.049	1.738.361	1.871.053	1.639.109	16%	20%	21%	21%	19%
2	Almanya	1.182.947	1.237.731	1.321.294	1.419.675	1.537.120	16%	16%	16%	16%	18%
3	Amerika	902.344	967.962	934.937	932.048	931.369	12%	12%	11%	11%	11%
4	Fransa	428.630	428.847	444.729	419.512	468.389	6%	5%	5%	5%	5%
5	Güney Kore	350.990	396.724	462.691	513.236	465.310	5%	5%	6%	6%	5%
6	İtalya	229.463	260.887	262.097	281.620	305.722	3%	3%	3%	3%	4%
7	İsviçre	149.052	177.396	208.520	250.793	288.965	2%	2%	2%	3%	3%
8	Belçika	223.510	268.831	253.379	282.483	278.336	3%	3%	3%	3%	3%
9	Japonya	199.989	187.135	226.591	246.487	212.890	3%	2%	3%	3%	2%
10	**Türkiye**	**163.095**	**169.783**	**178.146**	**189.010**	**200.241**	**2%**	**2%**	**2%**	**2%**	**2%**
11	Yunanistan	191.254	180.608	204.757	193.747	199.796	3%	2%	2%	2%	2%
12	Avusturya	163.684	152.881	155.375	159.738	182.981	2%	2%	2%	2%	2%
13	Kanada	204.192	132.347	142.682	158.495	168.093	3%	2%	2%	2%	2%
14	Birleşik Krallık	136.752	155.912	157.287	170.127	165.990	2%	2%	2%	2%	2%
15	Diğer	1.578.575	1.648.537	1.682.926	1.635.078	1.615.404	22%	21%	20%	19%	19%

Türkiye ise 2016 yılında 200.241 ton ihracatı ile Dünya yassı alüminyum ihracat pazarından %2'lik pay alarak 10. sırada yer almıştır. Türkiye, yassı alüminyum ihracatında son 5 yıl içerisinde ortalama yıllık %6 oranında büyüme göstermiştir.

		Tutar (x1000 USD)				
	İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	26.968.516	28.933.185	29.505.594	28.419.052	26.147.314
1	Çin	3.460.795	4.737.743	4.846.436	4.767.406	3.784.490
2	Almanya	4.669.536	4.915.449	5.160.484	4.983.573	4.874.659
3	Amerika	3.765.164	3.944.620	3.873.181	3.773.318	3.579.287
4	Fransa	1.627.211	1.634.008	1.666.746	1.427.176	1.516.670
5	Güney Kore	1.135.912	1.222.427	1.318.739	1.376.254	1.112.258
6	İtalya	888.152	1.004.362	967.393	923.704	918.040
7	İsviçre	683.148	776.439	892.931	912.515	907.028
8	Belçika	871.605	1.059.345	991.336	979.491	921.437
9	Japonya	1.027.992	881.333	974.694	988.441	835.462
10	**Türkiye**	**485.051**	**501.936**	**530.818**	**503.893**	**492.887**
11	Yunanistan	717.331	661.032	723.689	631.166	609.939
12	Avusturya	646.057	646.940	643.664	637.859	683.102
13	Kanada	679.231	443.076	501.607	528.434	517.399
14	Birleşik Krallık	672.953	694.349	718.603	668.144	586.639
15	Diğer	5.638.375	5.810.113	5.695.273	5.317.678	4.808.017

Bir Önceki Yıla Göre Miktarsal Değişim			
2013	2014	2015	2016
9%	**6%**	**4%**	**-1%**
31%	11%	8%	-12%
5%	7%	7%	8%
7%	-3%	0%	0%
0%	4%	-6%	12%
13%	17%	11%	-9%
14%	0%	7%	9%
19%	18%	20%	15%
20%	-6%	11%	-1%
-6%	21%	9%	-14%
4%	**5%**	**6%**	**6%**
-6%	13%	-5%	3%
-7%	2%	3%	15%
-35%	8%	11%	6%
14%	1%	8%	-2%
4%	2%	-3%	-1%

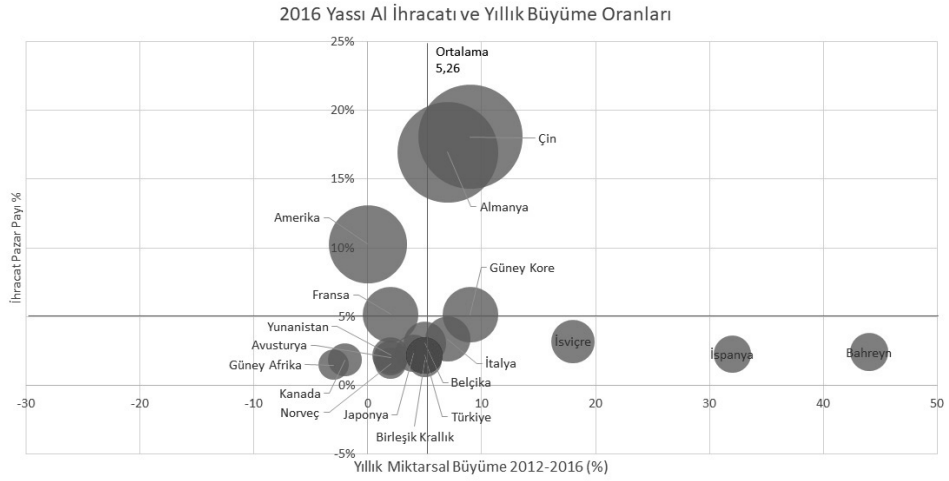
Dünya yassı alüminyum ihracatında Çin ve Almanya en büyük ihracatçı olmalarının yanı sıra ihracat pazarlarını çeşitlendirme başarısı da göstermiştir. Her iki ülke arasında Çin'in Almanya'ya göre dezavantajı uzak mesafelere ihracat yapıyor olmasıdır. Türkiye'de yassı alüminyum ihracatında düşük müşteri konsantrasyon ve yakın mesafe avantajlarını yakalamış konumdadır. Bu da Türkiye'yi yassı alüminyum ihracatçısı olarak güçlü bir konumda tutmaktadır.



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team, GeoDist: the CEPII's distances and geographical database

Yassı alüminyum ithalatındaki yüksek pazar payları ve hızlı büyüme oranları ile Çin ve Almanya en ciddi rakip pazarlar olarak görünmektedir. Bahreyn, İspanya ve İsviçre düşük ihracat pazar payına rağmen hızla artan ihracat oranları ile gelecek dönemde rekabetçi alternatifler olma yolunda tehdit oluşturmaktadır. Türkiye ise Dünya ortalamasında büyüme hızına rağmen ortalamanın altındaki pazar payı ile rekabette yol kat etme potansiyeline sahip ülkeler arasında yer almaktadır.

Dünya Yassı Alüminyum Ticareti



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Bu bölümdeki alt başlığımız ise Alüminyum Çubuk ve Profiller olacak.

Alüminyum Çubuk ve Profiller

2016 yılında Dünya alüminyum çubuk ve profil ithalatı toplamda 3,63 milyon tonu buldu. Bu rakam son 5 yılın en yüksek miktarı olarak gerçekleşti. Alüminyum çubuk ve profil ithalatının ilk sırasında 492,5 bin ton ile Almanya yer aldı. Almanya, toplam ithalat pazarının %14'ünü son 5 yıldır korumayı başardı ve en büyük pazar olma özelliğini kaybetmemeyi sürdürdü. Alüminyum çubuk ve profil ithalatının ikinci sırasını da bir diğer Avrupa ülkesi olan Fransa aldı. Fransa da son 5 yıl içerisinde %6'lık pazar payını korumayı bildi.

		Miktar (Ton)					Miktar %				
	İthalatçı Ülke	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	Dünya	3.571.601	3.285.769	3.465.427	3.519.111	3.630.772	100%	100%	100%	100%	100%
1	Almanya	501.793	466.927	477.570	476.817	492.482	14%	14%	14%	14%	14%
2	Fransa	218.008	210.716	212.048	213.094	229.792	6%	6%	6%	6%	6%
3	Amerika	150.257	156.978	175.004	191.663	202.757	4%	5%	5%	5%	6%
4	Birleşik Krallık	119.577	122.238	142.793	147.061	150.117	3%	4%	4%	4%	4%
5	Hollanda	100.033	100.338	106.491	82.741	142.401	3%	3%	3%	2%	4%
6	Belçika	114.220	121.541	119.521	110.377	120.621	3%	4%	3%	3%	3%
7	Meksika	450.926	169.637	110.660	87.871	106.386	13%	5%	3%	2%	3%
8	Suudi Arabistan	181.119	224.768	195.920	172.249	102.218	5%	7%	6%	5%	3%
9	Diğer	1.735.668	1.712.626	1.925.420	2.037.238	2.006.566	49%	52%	56%	58%	55%

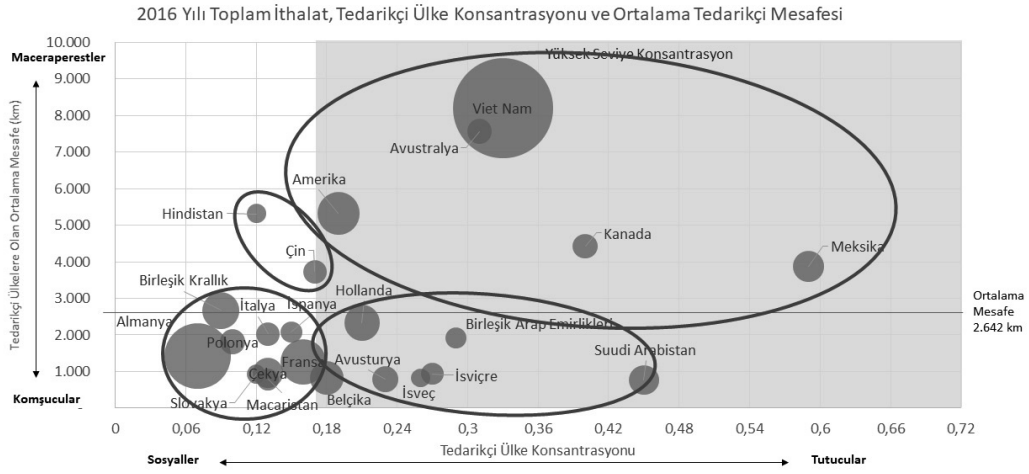
2016 yılı toplam alüminyum çubuk ve profil ithalatı bir önceki yıla göre 13,6 milyar dolara gerilemiş olsa da miktar olarak Suudi Arabistan dışında ilk 8 sırada yer alan ülkelerin tamamı ithalatlarını artırmıştır. Özellikle Hollanda 2016 yılında %72'lik büyüme oranı ile dikkat çekmektedir.

		Tutar (USD)					Bir Önceki Yıla Göre Miktarsal Değişim			
	İthalatçı Ülke	2012	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Sıra	Dünya	14.113.496	13.473.065	14.057.829	13.882.639	13.592.056	-8%	5%	2%	3%
1	Almanya	2.033.828	1.898.022	1.964.846	1.811.421	1.712.852	-7%	2%	0%	3%
2	Fransa	1.024.475	1.011.657	1.015.510	903.543	917.662	-3%	1%	0%	8%
3	Amerika	650.199	676.206	754.320	830.358	823.228	4%	11%	10%	6%
4	Birleşik Krallık	552.892	569.277	655.613	610.490	473.414	2%	17%	3%	2%
5	Hollanda	423.866	452.895	448.456	348.445	380.551	0%	6%	-22%	72%
6	Belçika	414.701	450.562	449.430	377.106	367.562	6%	-2%	-8%	9%
7	Meksika	1.113.800	505.555	373.596	329.341	385.036	-62%	-35%	-21%	21%
8	Suudi Arabistan	495.747	557.232	476.181	430.633	227.499	24%	-13%	-12%	-41%
9	Diğer	7.403.988	7.351.659	7.919.877	8.191.302	8.110.901	-1%	12%	6%	-2%

2016 yılı çubuk ve profil ticaretinde özellikle Avrupa ülkeleri birbirine yakınlıkları sebebiyle ithalatlarını komşularından yaparken Almanya, Fransa, Birleşik Krallık düşük tedarikçi yoğunlukları ile alımlarını dağıtmışlardır. Amerika, Kanada, Meksika, Avustralya ve Vietnam uzak mesafelerden ithalatlarını gerçekleştirirken yüksek seviyedeki tedarikçi konsantrasyonları ile daha az alternatif yaratmış görünümündedir. Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri ise yakın mesafeden ithalat tercihlerinin yanı sıra yüksek tedarikçi konsantrasyonuna sahiptir.

Dünya Alüminyum Çubuk ve Profil Ticareti

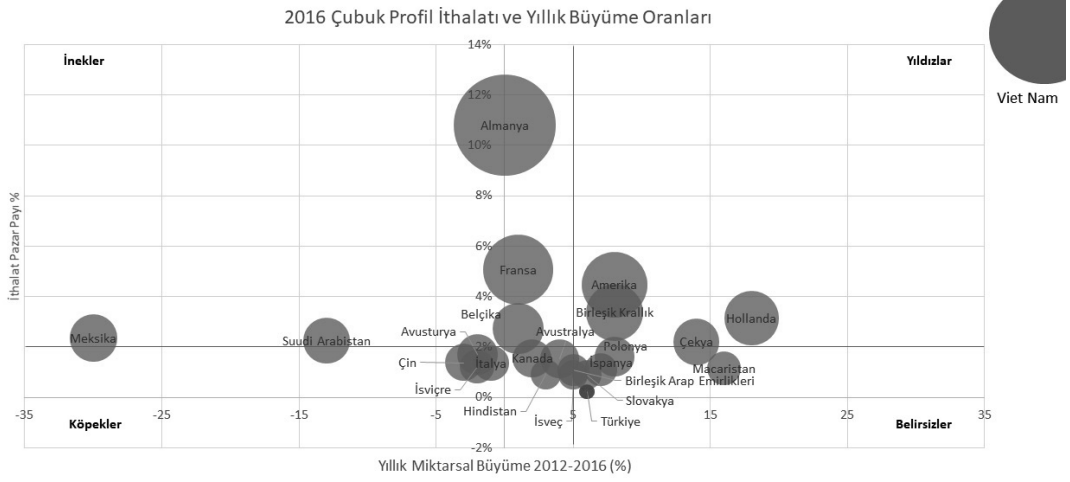
TALSAD TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

2016 yılı alüminyum çubuk ve profil ithalatı yapan ülkelerin stratejik konumlarını değerlendirdiğimizde ise Vietnam, Amerika, Birleşik Krallık, Hollanda ve Çekya'nın yüksek büyüme oranları ve toplam ithalat pazarından aldıkları yüksek pay ile en cazip pazarlar olma özelliği taşıdığını söyleyebiliriz. Almanya, Fransa, Belçika, Suudi Arabistan ve Meksika yüksek ithalat pazar paylarına sahip olmalarına rağmen düşük büyüme hızları ile yerini belirsizler bölgesindeki Birleşik Arap Emirlikleri, Macaristan, İspanya, Polonya ve Türkiye'ye kaybetmeleri muhtemel görünmektedir.

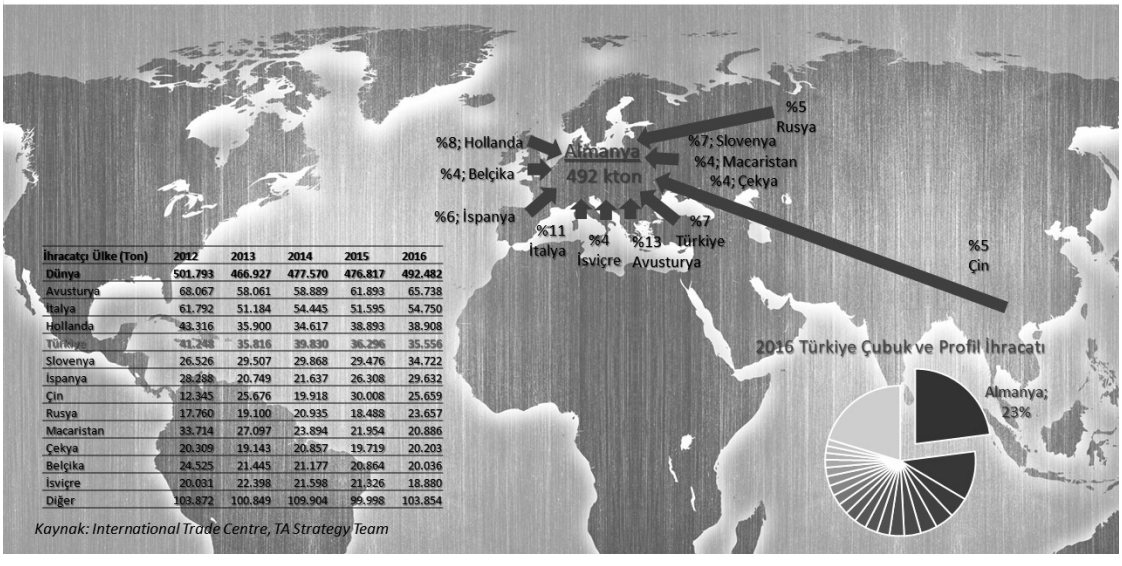
Dünya Alüminyum Çubuk ve Profil Ticareti



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

Dünya profil ithalatında ilk sırada yer alan Almanya ithalatında tedarikçi ülkelerini çeşitlendirme konusunda oldukça başarılıdır. En büyük ithalatçı ülkenin payının %13'ü geçmemiş olması Almanya'yı tedarik konusunda düşük bağımlılıkta kılmaktadır. Almanya'nın 2016 yılında en yüksek alımını gerçekleştirdiği ülke 65.738 ton ile Avusturya olmuştur. Türkiye ise Almanya'nın toplam ithalatından aldığı %7'lik pay ile 4. sırada yer almıştır. Türkiye'nin 2012'den beri Almaya'ya olan ihracatının sürekli azalıyor olması büyüyen Almanya ithalatında Türkiye'nin pay alamadığını göstermektedir. Diğer yandan Türkiye'nin ihracatında en büyük paya sahip olan ülke ise %23 'lük pay ile yine Almanya'dır. Türkiye'nin en büyük müşterisi olan Almanya'da büyümemesini negatif bir durum olarak değerlendirmekteyiz.

Dünya Alüminyum Çubuk ve Profil Ticareti



İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016
Dünya	501.793	466.927	477.570	476.817	492.482
Avusturya	68.067	58.061	58.889	61.893	65.738
İtalya	61.792	51.184	54.445	51.595	54.750
Hollanda	43.316	35.900	34.617	38.893	38.908
Türkiye	41.248	35.816	39.830	36.296	35.556
Slovenya	26.526	29.507	29.868	29.476	34.722
İspanya	28.288	20.749	21.637	26.308	29.632
Çin	12.345	25.676	19.918	30.008	25.659
Rusya	17.760	19.100	20.935	18.488	23.657
Macaristan	33.714	27.097	23.894	21.954	20.886
Çekya	20.309	19.143	20.857	19.719	20.203
Belçika	24.525	21.445	21.177	20.864	20.036
İsviçre	20.031	22.398	21.598	21.326	18.880
Diğer	103.872	100.849	109.904	99.998	103.854

Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

2016 yılı Dünya profil ihracatında ise 1,2 milyon ton ihracat ile Çin en yakın rakibi olan Amerika'nın iki mislinden daha fazla ihracat gerçekleştirmiş ve %23'lük ihracat pazar payı ile ihracat liderliğini perçinlemiştir. Çin'i sırasıyla 564 bin ton ile Amerika ve 530 bin ton ile Meksika takip etmektedir. Türkiye ise 155 bin ton ihracat ile toplam Dünya ihracatından %3 pay alarak 8. sırada yer almıştır. Türkiye, son beş yıl içerisinde en yüksek ihracatını 2014 yılında gerçekleştirmiştir. 2016 yılında ise yerinde sayar bir görüntü sergilemektedir. Bununla birlikte Türkiye, Avrupa'nın en büyük 4. ihracatçısı olma özelliğine de sahiptir.

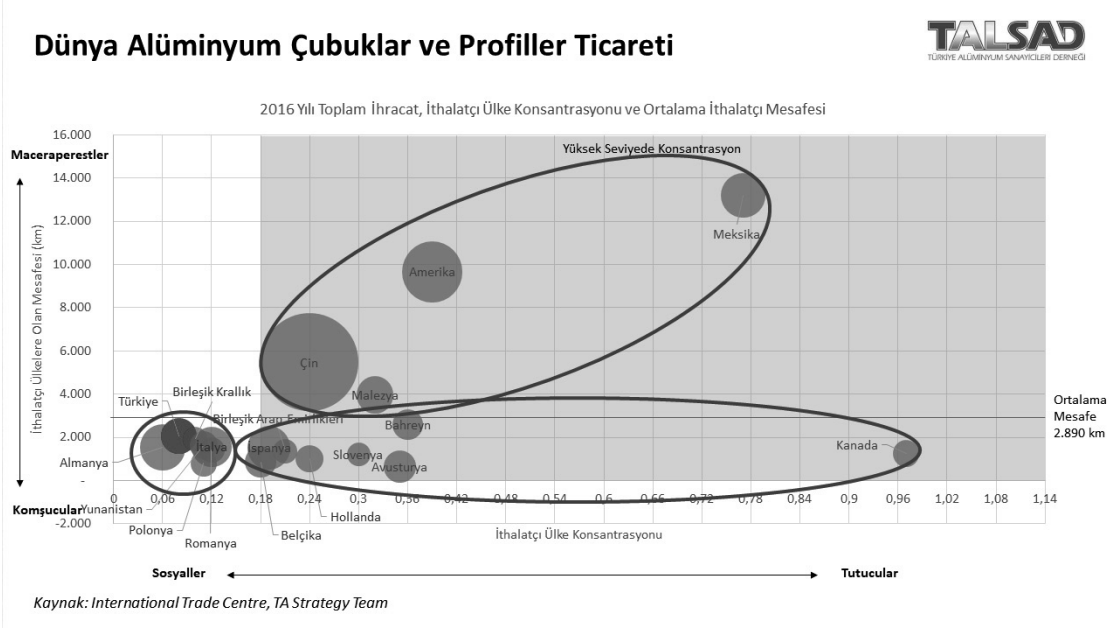
		Miktar (Ton)					Miktar %				
	İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**4.001.561**	**3.648.941**	**4.092.912**	**5.017.160**	**5.320.295**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
1	Çin	852.277	611.895	854.688	1.189.139	1.200.937	21%	17%	21%	24%	23%
2	Amerika	166.353	189.047	205.742	206.240	564.374	4%	5%	5%	4%	11%
3	Meksika	17.610	21.159	29.243	28.324	530.725	0%	1%	1%	1%	10%
4	Almanya	247.001	234.931	255.778	261.957	262.068	6%	6%	6%	5%	5%
5	İspanya	185.254	188.542	203.873	209.846	241.670	5%	5%	5%	4%	5%
6	İtalya	176.121	173.282	190.975	184.253	198.513	4%	5%	5%	4%	4%
7	Malezya	64.251	59.460	56.511	73.593	179.005	2%	2%	1%	1%	3%
8	**Türkiye**	**149.321**	**146.261**	**159.252**	**154.544**	**155.378**	**4%**	**4%**	**4%**	**3%**	**3%**
9	Avusturya	187.420	140.376	119.814	121.872	130.766	5%	4%	3%	2%	2%
10	Belçika	109.789	111.745	116.210	121.334	122.442	3%	3%	3%	2%	2%
11	Yunanistan	49.627	57.351	71.828	80.583	98.739	1%	2%	2%	2%	2%
12	Hollanda	94.492	87.880	82.968	94.539	95.785	2%	2%	2%	2%	2%
13	Kanada	95.032	80.756	85.422	92.506	87.571	2%	2%	2%	2%	2%
14	Polonya	53.488	65.780	69.389	81.906	85.715	1%	2%	2%	2%	2%
15	Romanya	61.786	66.602	73.444	65.647	80.982	2%	2%	2%	1%	2%
16	Bahreyn	491.362	410.427	376.881	215.829	80.557	12%	11%	9%	4%	2%
17	Birleşik Krallık	37.621	41.717	68.825	78.404	74.443	1%	1%	2%	2%	1%
18	Slovenya	50.793	56.628	65.812	65.492	71.765	1%	2%	2%	1%	1%

Dünya profil ihracat hacmi 2016 yılı itibarı ile 17,9 milyar doları bulmuştur. Bu rakam son beş yılın en yüksek rakamıdır. 2016 yılında %1774 oranında ihracatını artıran Meksika 937 milyon dolar ihracatı ile 18. sıradan 3. sıraya yükselerek 2016 yılındaki en büyük ihracat artışını sergileyen ülke olmuştur.

		Tutar (x1000 USD)					Bir Önceki Yıla Göre Miktarsal Değişim			
	İhracatçı Ülke (Ton)	2012	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Sıra	**Dünya**	**17.136.962**	**16.410.799**	**17.469.005**	**17.502.059**	**17.962.240**	**-9%**	**12%**	**23%**	**6%**
1	Çin	3.164.236	2.123.538	2.986.723	4.216.395	3.785.809	-28%	40%	39%	1%
2	Amerika	825.431	985.254	937.693	930.216	2.097.891	14%	9%	0%	174%
3	Meksika	66.824	80.413	111.489	108.939	937.172	20%	38%	-3%	1774%
4	Almanya	1.561.869	1.548.128	1.622.053	1.526.028	1.482.419	-5%	9%	2%	0%
5	İspanya	824.415	809.379	896.588	842.215	847.120	2%	8%	3%	15%
6	İtalya	779.960	773.184	847.030	753.189	740.554	-2%	10%	-4%	8%
7	Malezya	191.379	181.082	167.644	199.621	342.519	-7%	-5%	30%	143%
8	**Türkiye**	**613.759**	**617.611**	**656.502**	**605.673**	**576.558**	**-2%**	**9%**	**-3%**	**1%**
9	Avusturya	715.727	610.548	541.920	508.092	500.983	-25%	-15%	2%	7%
10	Belçika	534.508	550.211	578.817	531.559	500.260	2%	4%	4%	1%
11	Yunanistan	167.895	187.115	239.406	254.070	284.074	16%	25%	12%	23%
12	Hollanda	467.163	460.271	446.305	445.127	422.087	-7%	-6%	14%	1%
13	Kanada	364.730	318.229	339.710	371.733	341.371	-15%	6%	8%	-5%
14	Polonya	255.497	300.106	311.622	318.069	313.403	23%	5%	18%	5%
15	Romanya	216.851	228.042	243.840	210.812	224.506	8%	10%	-11%	23%
16	Bahreyn	1.301.367	1.511.962	971.448	529.911	169.490	-16%	-8%	-43%	-63%
17	Birleşik Krallık	147.191	156.687	177.471	143.741	151.130	11%	65%	14%	-5%
18	Slovenya	192.139	207.256	235.675	219.948	214.346	11%	16%	0%	10%

2016 yılı profil ihracatında Çin, Amerika, Meksika ve Malezya uzak mesafelere ihracat gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte bu ülkeler yüksek müşteri konsantrasyona da sahiptir. Bu durum pazar çeşitlendirmenin yeterli olmadığını gösterirken uzak mesafelere olan ihracat da rekabette bu ülkeleri zorlayan unsurlar arasındadır. İspanya, Belçika, Hollanda, Slovenya, Avusturya, Bahreyn ve Kanada yakın mesafelere ihracat yapan rakip pazarlar olmalarının yanında yüksek konsantrasyonda

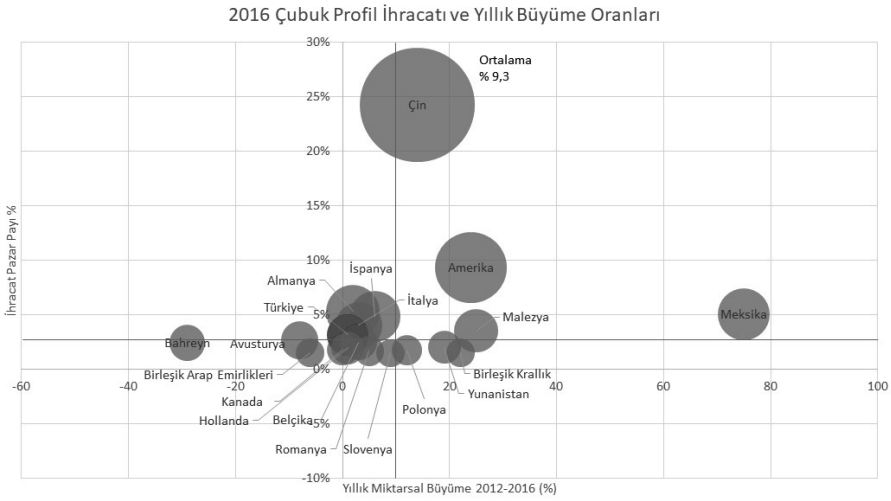
ihracatları ile yine pazar çeşitlendirmesi konusunda yetersiz görünmektedir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Almaya, Birleşik Krallık, İtalya, Polonya ve Romanya ile birlikte yakın mesafelere ihracat gerçekleştirmişlerdir. Bunun yanı sıra ihracat konsantrasyonlarının düşük olması ile de risklerini daha fazla dağıtmış durumdadır.



Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

2016 yılı profil ihracatında büyüme hızı ortalamanın üstünde olan Meksika, Malezya, Amerika ve Çin, Dünya profil ihracatındaki yüksek pazar payı ile en ciddi rakip pazarlar olarak ön plana çıkmaktadır. Almanya, İspanya, İtalya ve Türkiye yüksek ihracat pazar paylarına rağmen düşük büyüme oranları ile rekabette durağan konumda yer almaktadır. Yüksek büyüme oranları ile Polonya, Yunanistan ve Birleşik Krallık ihracat pazarında bu ülkelerin yerini almak konusunda rekabetçi olacaklarını göstermektedir.

Dünya Alüminyum Çubuklar ve Profiller Ticareti

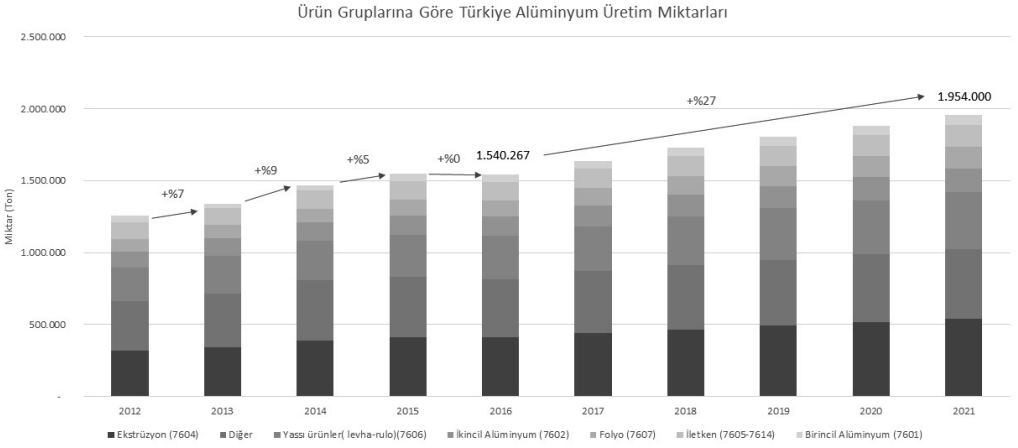


Kaynak: International Trade Centre, TA Strategy Team

"Türkiye, Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Büyümeyi Gerçekleştirebilir mi?" son bölümde bu sorunun cevaplarını Türkiye'nin son beş yılda göstermiş olduğu performans açısından değerlendireceğiz.

Türkiye 2012 yılından 1.254.685 ton tüm alüminyum ürünlerinde üretim gerçekleştirmiştir. Bu rakam beş yıl içerisinde toplamda %23 artış göstererek 2016 yılında 1,5 milyon tonu aşmıştır. 2012 yılında toplam alüminyum üretiminin %23'ünü ekstrüzyon ürünleri oluştururken %19'unu yassı mamuller %9'unu ikincil alüminyum, yine %9'unu iletken, %7'sini folyo ürünleri oluşturmuştur. 2016 yılında bu oranlar ekstrüzyonda bir birim artış ile %27'ye çıkmıştır. Bunun dışındaki diğer ürünlerde ise aynı seviyede kalmıştır. 2016 yılı Türkiye alüminyum sektörü açısından durgun bir yıl olmuştur. Özellikle 2016 yılında yaşanan darbe girişimi, terör olayları ve Suriye'de yaşanan savaş ülke ekonomisini negatif yönde etkilerken alüminyum sektörünün üretimini de %0 büyüme diğer bir değişle durağan geçmesine neden olmuştur.

Türkiye Alüminyum Üretimi

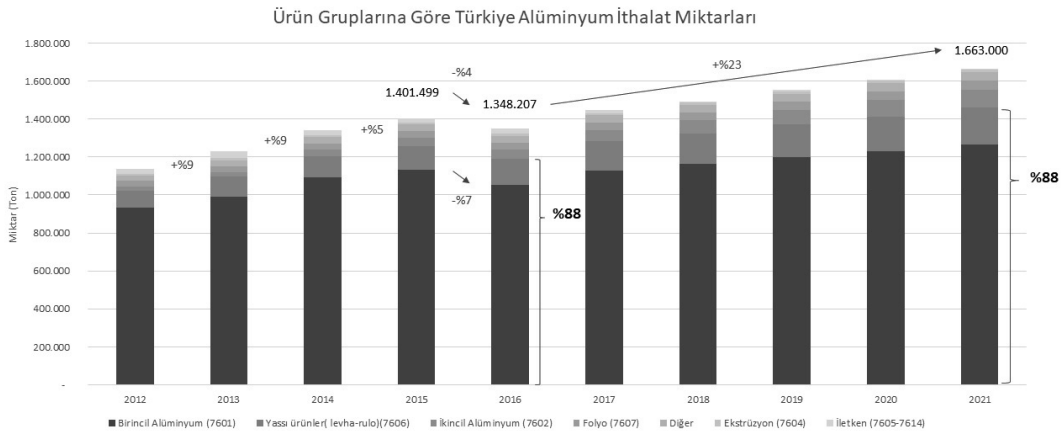


Kaynak: TALSAD

TALSAD olarak, 2016 yılındaki duraksamaya rağmen önümüzdeki beş yıl içerisindeki toplam alüminyum üretimin %27 artış göstererek 2021 yılında 1,95 milyon ton seviyesine çıkacağını tahmin ediyoruz.

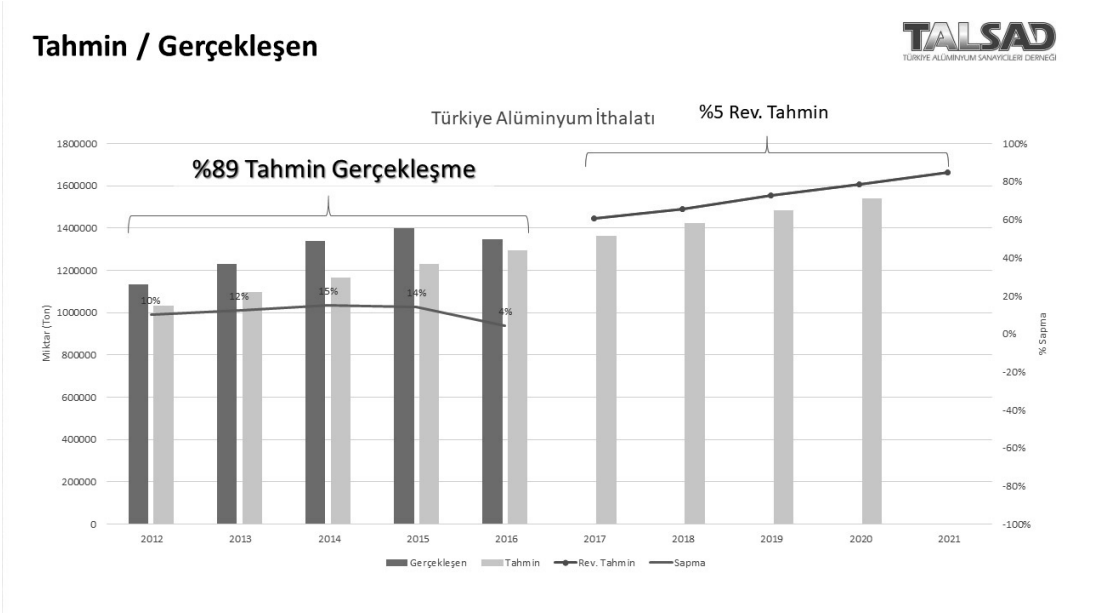
İthalatta ise Türkiye, 2015 yılına kadar sürekli olarak artış göstermiştir. 2016 yılında ise ithalat %4 oranında geri gelerek 1,35 milyon ton seviyesinde gerçekleştirmiştir. 2016 yılı toplam alüminyum ithalatının %88'ini birincil alüminyum ve yassı mamuller ithalatı oluştururken bu oranın 2021 'de de korunması beklenmektedir. Toplam alüminyum ithalatının önümüzdeki beş yıl içerisinde toplamda %23 oranında artış göstererek 2021 yılında 1,66 milyon tonu aşacağı tahmin etmekteyiz.

Türkiye Alüminyum İthalatı

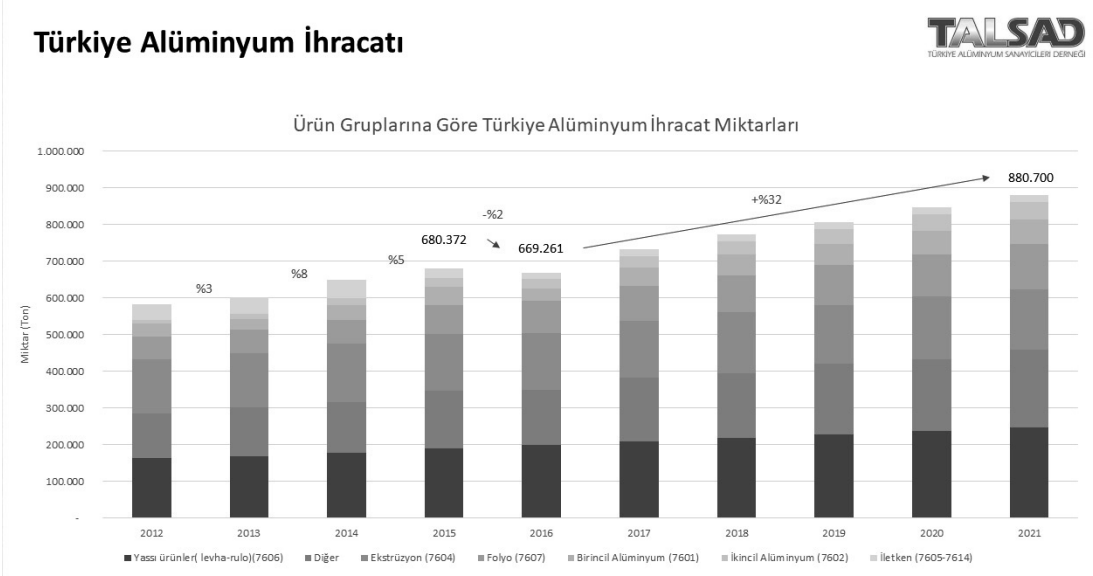


Kaynak: International Trade Centre

2011 yılında yapmış olduğumuz tahminlere göre ithalat rakamlarının beklentilerimizin üzerinde gerçekleşmesi, tahminlerimizin %89 tutarlılıkla gerçekleştiğini göstermiştir. Bu sapma neticesinde gelecek beş yıl için yapmış olduğumuz tahminleri %5 oranında artırmış bulunuyoruz.

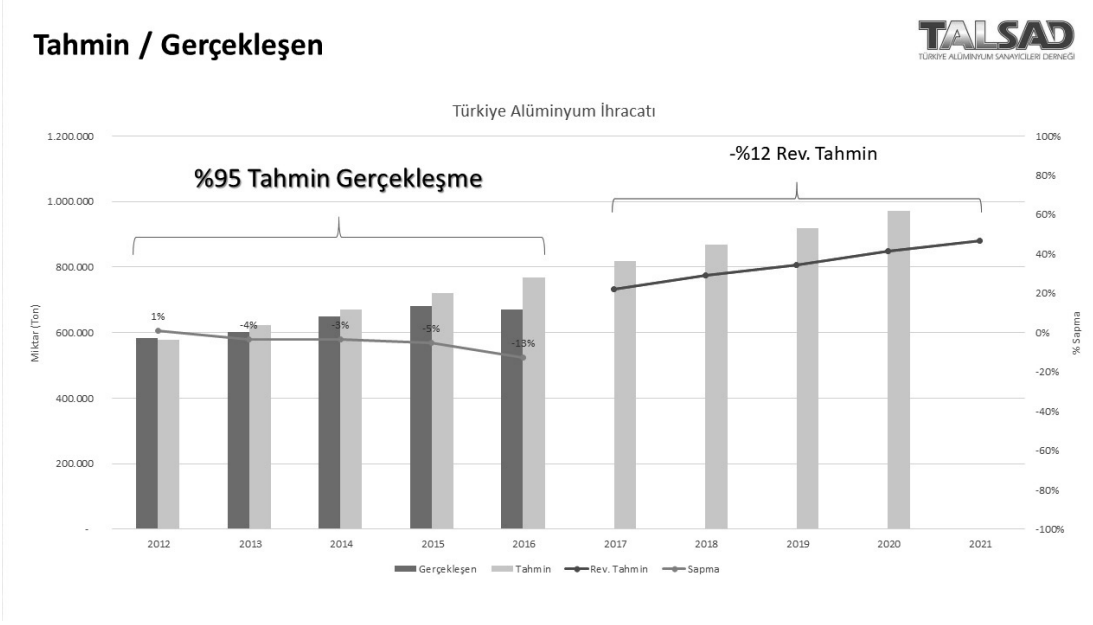


Türkiye'nin geçtiğimiz beş yıl içerisindeki ihracat performansını değerlendirdiğimizde 2015 yılına kadar artan ihracatın 2016 yılında %2 gerilediğini görmekteyiz. 2016 yılında toplam alüminyum ihracatı 669 bin ton ile gerçekleşirken bu rakamda en yüksek paya %28 ile yassı mamuller ve %23 ile ekstrüzyon ürünleri sahip olmuştur. Önümüzdeki beş yıl içerisinde alüminyum ihracatında toplamda %32'lik bir artış beklemekteyiz. Bu artış neticesinde 2021 yılında Türkiye'nin toplam alüminyum ihracatının 880 bin tonu aşacağını tahmin etmekteyiz.



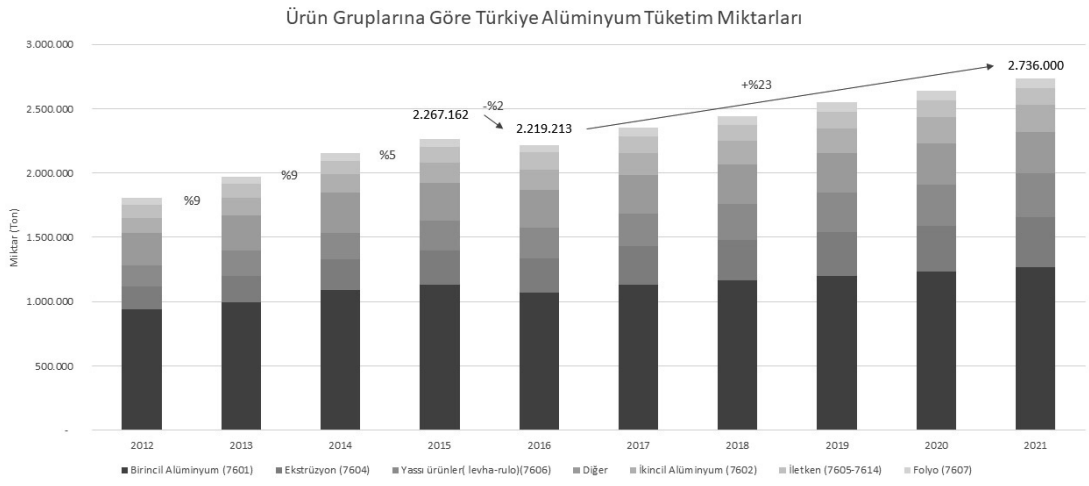
Kaynak: International Trade Centre

2011 yılında yapmış olduğumuz tahminlere göre toplam alüminyum ihracatımız tahminlerimizin %5 altında kalmıştır. Özellikle son üç senede artan sapma sebebiyle 2021 için yapmış olduğumuz gelecek beş yıllık tahminlerimizi %12 oranında negatif yönde revize etme gereği duyuyoruz. Bu da Türkiye'nin tahminlerimizin üç yıl gerisinde bir ihracat performansı gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Türkiye alüminyum tüketimi de üretim ve ihracat rakamları gibi benzer bir grafik sergilemiş ve 2015 'e kadar olan artışının ardından 2016'da %2 düşüş sergilemiştir. 2016 yılı itibarı ile tüm alüminyum ürün gruplarındaki tüketim toplamı 2.219.213 ton olmuştur. Bu rakam alüminyum tüketimi hesaplamasında kullanılan rakamdan farklıdır. Farklı olmasının sebebi ise bazı ürünlerin birbirinin hammaddesi niteliği taşıması ve tümünün toplamı alındığında mükerrer toplam olacağı sebebidir. Tahminlerimiz, tüm alüminyum ürün gruplarının tüketimlerinin toplamında önümüzdeki beş yıl içerisindeki artışın %23 oranında olması ve 2021 yılında bu rakamın 2,7 milyon tonu aşması yönündedir.

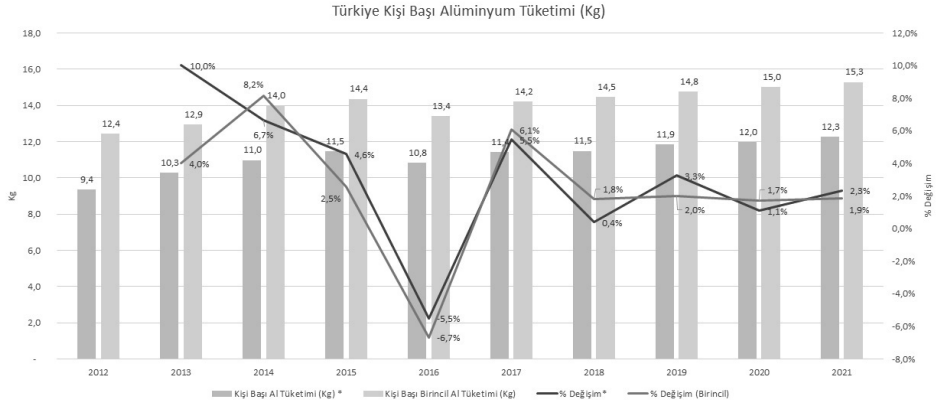
Tüm Ürün Grupları Türkiye Alüminyum Tüketimi



Kaynak: TALSAD

Türkiye'deki kişi başı alüminyum tüketimi 2012 yılında 9,4 kg iken bu rakam 2015 yılına kadar artarak 11,5 kg'ı bulmuş 2016 yılında ise ülke ekonomisinde yaşanan olumsuzluklar sebebi ile gerileyerek 10,8 kg seviyesine inmiştir. Önümüzdeki beş yıl içerisinde ise bu rakamın tekrar artışa geçerek 12,3 kg seviyesine ulaşması beklenmektedir. Kişi başı alüminyum tüketiminde bir diğer gösterge olan kişi başı birincil alüminyum tüketiminde ise 2012'de 12,4 kg olan tüketimimiz 2016 'da 13,4 kg 'a ulaşmıştır. Bu rakamın 2021'de 15 kg'ı aşması beklenmektedir.

Türkiye Kişi Başı Alüminyum Tüketimi



Kaynak: TALSAD * EAA 'nın hesaplama yöntemi ile hesaplanan kişi başı alüminyum tüketimi

Değerlendirmemizin sonunda 2016 yılında yaşanan ekonomik, siyasi olumsuz koşulların Türkiye alüminyum sanayisinde yarattığı olumsuz neticelere yer vereceğiz. 2016 yılında ülke ekonomisi Suriye savaşı, terör olayları ve darbe girişiminin yarattığı olumsuzluklardan ciddi şekilde sarsılmış, alüminyum sektörü de bu olumsuz sonuçlardan önemli ölçüde etkilenmiştir.

Tahminlerimize göre 2016 yılında bu olumsuzlular yaşanmasa idi ithalatımız 1,35 milyon ton yerine 1,5 milyon ton seviyesinde olacaktı. Bu da toplam ithalatımızın 269 milyon dolar daha fazla olacağı anlamına gelmektedir. İhracatımız ise 716 bin ton yerine 669 bin tonda kaldı. Bu da 168 milyon dolarlık ihracat kaybı anlamına geliyor. Bu sonuçların toplam dış ticaret hacmimizdeki etkisi ise 437,4 milyon dolar olmuştur. 2016 yılında üretimden kaybımız ise 114.600 tondur. Bu rakam aynı zamanda 483,3 milyon dolarlık üretimden kaybımız olduğunu da göstermektedir. Toplam alüminyum tüketiminden kaybımız ise 218 bin ton ve bu rakamın karşılığı olan yaklaşık 580 milyon dolardır.

	Miktar (Ton)			Tutar (x1000 USD)		
İthalat Miktarları (Ton)	**2016 T**	**2.016**	**Fark**	**2016 T**	**2016**	**Fark**
Birincil Alüminyum (7601)	1.208.629	1.051.215	-157.414	$2.131.949	$1.854.280	-277.669
İkincil Alüminyum (7602)	50.924	46.748	-4.176	$68.797	$63.155	-5.642
Ekstrüzyon (7604)	13.175	10.544	-2.631	$61.595	$49.296	-12.299
Yassı ürünler(levha-rulo)(7606)	134.575	139.152	4.577	$405.349	$419.135	13.786
Folyo (7607)	36.080	39.215	3.135	$145.316	$157.942	12.626
İletken (7605-7614)	17.952	25.924	7.972	$41.305	$59.648	18.343
Diğer	37.884	35.409	-2.475	$280.728	$262.386	-18.342
TOPLAM	**1.499.219**	**1.348.207**	-151.012	**$3.135.038**	**$2.865.842**	-$269.196

	Miktar (Ton)			Tutar (x1000 USD)		
İhracat Miktarları (Ton)	**2016 T**	**2.016**	**Fark**	**2016 T**	**2016**	**Fark**
Birincil Alüminyum (7601)	53.641	31.559	-22.082	$99.494	$58.536	-40.958
İkincil Alüminyum (7602)	27.802	26.841	-961	$29.474	$28.455	-1.019
Ekstrüzyon (7604)	160.166	155.378	-4.788	$594.323	$576.558	-17.765
Yassı ürünler(levha-rulo)(7606)	197.303	200.241	2.938	$485.655	$492.887	7.232
Folyo (7607)	82.325	88.782	6.457	$251.413	$271.133	19.720
İletken (7605-7614)	27.036	17.903	-9.133	$118.257	$78.310	-39.947
Diğer	168.327	148.557	-19.770	$812.926	$717.446	-95.480
TOPLAM	**716.599**	**669.261**	-47.338	**$2.391.542**	**$2.223.325**	-168.217

	Miktar (Ton)			Tutar (x1000 USD)		
Üretim Miktarları (Ton)	**2016 T**	**2016**	**Fark**	**2016 T**	**2016**	**Fark**
Birincil Alüminyum (7601)	50.000	50.000	$0	$88.329	$88.329	$0
İkincil Alüminyum (7602)	140.500	136.500	-4.000	$174.907	$169.927	-4.980
Ekstrüzyon (7604)	447.094	411.000	-36.094	$1.686.428	$1.550.283	-136.145
Yassı ürünler(levha-rulo)(7606)	313.647	303.101	-10.546	$842.837	$814.498	-28.339
Folyo (7607)	115.081	108.166	-6.915	$385.779	$362.597	-23.182
İletken (7605-7614)	136.125	130.000	-6.125	$428.492	$409.212	-19.279
Diğer	452.464	401.500	-50.964	$2.409.892	$2.138.452	-271.440
TOPLAM	**1.654.910**	**1.540.267**	-114.643	**$6.016.663**	**$5.533.298**	-483.365

Tüketim Miktarları (Ton)	**2016 T**	**2.016**	**Fark**	**2016 T**	**2016**	**Fark**
Birincil Alüminyum (7601)	1.204.988	1.069.656	-135.332	$2.128.718	$1.889.642	-$239.076
İkincil Alüminyum (7602)	163.622	156.407	-7.215	$203.691	$194.709	-$8.982
Ekstrüzyon (7604)	300.103	266.166	-33.937	$1.131.981	$1.003.972	-$128.009
Yassı ürünler(levha-rulo)(7606)	250.919	242.012	-8.907	$674.273	$650.338	-$23.935
Folyo (7607)	68.837	58.599	-10.238	$230.757	$196.437	-$34.320
İletken (7605-7614)	127.041	138.021	10.980	$399.898	$434.461	34.563
Diğer	322.020	288.352	-33.668	$1.715.132	$1.535.808	-$179.324
TOPLAM	**2.437.530**	**2.219.213**	-218.317	**$6.484.449**	**$5.905.367**	-$579.082

Ekonomik olumsuzlukların kişi başı alüminyum tüketimindeki etkisini değerlendirdiğimizde ise 12,2 kg olması gereken kişi başı alüminyum tüketimi 10,8 kg'a düşmüştür.

Kişi Başı Al Tüketimi	**2016 T**	**2016**		**Fark**
Alüminyum Tüketimi (Ton)	973.119	865.446	-	107.673
Birincil Al Tüketimi (Ton)	1.204.988	1.069.656	-	135.332
TC Nüfus	79.814.871	79.814.871		
Kişi Başı Al Tüketimi (Kg) *	**12,2**	**10,8**	-	**1,3**
Kişi Başı Birincil Al Tüketimi (Kg)	**15,1**	**13,4**	-	**1,7**

Sonuç

Türkiye, sürdürülebilir bir şekilde alüminyum sektöründe büyümeyi devamlı kılabileceğini, sahip olduğu potansiyel ve 2015 yılına kadar sergilemiş olduğu performansı ile göstermiştir. Ancak 2016 yılında yaşanan olumsuzluklar büyümenin nasıl durduğunu ortaya koymuştur. Bu noktada alüminyum sektörünün sürdürülebilir bir şekilde tekrar büyüme trendine girmesi sanayi performansının yanı sıra siyasi - politik unsurlara da bağlıdır. Özelikle ana tedarikçimiz konumundaki Rusya ve en büyük müşterimiz konumundaki Almanya ile politik-siyasi gerilimlerin devam etme durumu önümüzdeki dönemde Türkiye'nin alüminyum sektöründe önündeki en büyük soru işaretleri arasında yer almaktadır.

Kaynaklar: International Trade Centre, London Metal Exchange, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği, Metalsmarket, Metal Bulletin, European Aluminium Association, International Aluminium Institute, U.S. Geological Survey

alus ng

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

ALÜMİNYUM DÖKÜM PROSESLERİ

ALUMINIUM CASTING PROCESSES

Karbon Fiber Takviyeli 6063 Al Kompozit Üretimi

Fabrication of Carbon Fibre Reinforced 6063 Al Composite

Anıl Alten, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Abstract

In this study, carbon fibers were coated with electroless Ni to investigate composite fiber production conditions with A6063 aluminum alloy. Nickel-coated fibers produced in different thicknesses depending on the coating conditions such as temperature, pH, and time were used in the production of Al-matrix fiber composite using squeeze casting method. The chemical composition and thicknesses of the coatings on the fiber were determined using SEM and EDS techniques. The effects of fiber presence on the mechanical properties of 6063 alloy were investigated by performing impact and 3-point bending tests of the composites produced by using two different thicknesses of 1% and 3% by volume 6063 Al alloy.

Özet

Bu çalışmada karbon fiberler akımsız Ni ile kaplanarak A6063 alüminyum alaşımı ile kompozit fiber üretim şartları araştırılmıştır. Sıcaklık, pH, süre gibi kaplama şartlarına bağlı olarak farklı kalınlıklarda üretilen nikel kaplı fiberler, sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak Al-matriksli fiber kompozit üretiminde kullanılmıştır. Fiber üzerine gerçekleştirilen kaplamaların kimyasal bileşim ve kalınlıkları SEM ve EDS teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. 6063 serisi Al alaşımına hacimce %1 ve % 3 oranında ve farklı iki kalınlık kullanılarak üretilen kompozitlerin darbe ve 3 noktalı eğilme testleri gerçekleştirilerek fiber varlığının 6063 alaşımının mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

1. Giriş

Alüminyum ve alaşımları, hafifliği, düşük yoğunluğu, iyi elektriksel ve termal iletkenliği, yüksek korozyon dayanımı ve mekanik özellikleriyle başta otomotiv sektörü olmak üzere endüstrinin birçok kolunda büyük rağbet görmektedir. Ancak diğer metal veya alaşımlarda olduğu gibi alüminyum alaşımları da endüstrinin artan taleplerini karşılamada yetersiz kalmakta, bunun sonucu olarak da kompozit malzemeler başta olmak üzere yeni nesil malzemelere olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Otomotiv, havacılık ve denizcilik başta olmak üzere endüstrinin farklı alanlarında kullanılan alüminyum matriksli kompozit malzemelerin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları son on yılda dünya genelinde yoğunlaşmıştır. Yüksek çekme dayanımı ve modülü, düşük ısıl genleşme katsayısı, aşınma ve korozyon direnci, düşük yoğunluğu, iyi derecede olan boyutsal kararlılığa sahip karbon fiberler, matriks malzemesine takviye olarak ilgi çekicidir. Karbon fiber ile takviye edilmiş alüminyum alaşımlarının da sürtünme katsayısı düşmekte, aşınma direnci ve termal dayanımı artmakta, spesifik mukavemet ve spesifik young modülünde önemli artış meydana gelmektedir[1-3]. Ancak karbon fiber takviyeli alüminyum kompozit üretimi, karbon fiberlerin düşük ıslanılabilirlikleri ve alüminyum ile olumsuz etki yaratan kimyasal reaksiyonların oluşmasından dolayı her zaman zordur. 700-800 °C olan alüminyum-döküm sıcaklığında karbon fiberin ergimiş Al fazı içerisindeki ıslanabilirliği son derece sınırlıdır. Karbon fiberin yapı içerinde segregasyonu katılaşma sürecinde matriksin heterojen bir yapıya dönüşmesine neden olur. Artan sıcaklıklarda bu problem ortadan kalksa da bu kez Al ile karbon fiber arasında gelişen reaksiyon sonucu istenmeyen alüminyum karbür fazı ortaya çıkar. Başka bir değişle döküm sıcaklığının arttırılması segregasyona bağlı heterojen yapıyı iyileştirse de, karbür oluşumundan dolayı istenmez. Karbon fiberlerin ergimiş sıvı-metal içerisinde inert davranış gösteren refrakter metal ile kaplanması çalışma sıcaklıklarında iyi sonuç vermekle beraber yüksek maliyetten dolayı endüstriyel uygulamalarda talep görmemiştir. Litaratürde, karbon fiberlerin Cu veya Ni gibi metalik film ile kaplanması ergimiş Al fazı içerisindeki ıslanabilirliğini iyileştirdiği bildirilmiştir. Karbon fiberleri metalik kaplama da birçok teknik olsa da akımsız nikel kaplama tekniği, düşük işçilik maliyeti, kolay uygulanabilirliği ve kompozit yapısına mekanik zarar vermemesinden dolayı tercih edilmektedir. Akımsız kaplama, metalik sulu çözeltiden indirgeyiciler, kompleks yapıcılar, stabilizatörler, hızlandırıcı kimyasallar yardımı ile harici bir akım gerekmeden uygulanan indirgenme reaksiyonu ile kaplama biçimidir. Sıcaklık, pH değeri, banyo bileşenlerinin yüzdesini etkileyen önemli parametreler arasındadır[4-6].

Bu çalışmada Ni-P akımsız kaplama tekniği kullanılarak karbon fiberleri kaplamak böylece alüminyum döküm içerisinde ıslanılabilirliğini arttırarak karbon fiber takviyeli alüminyum kompozit üretimi amaçlanmıştır. Akımsız kaplama deneyi için pH değerinin ve indirgeyici hipofosfit miktarının kaplamaya etkisi incelenecektir. Kaplanan fiberler presli döküm sistemiyle üretilecektir. Elde edilecek numunelerde hacimce fiber miktarının ve kaplama kalınlığının eğilme ve darbe dayanıma etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Akımsız nikel kaplamak için, DowAksa firmasından sağlanan 12K karbon fiber kullanılmıştır. Kaplama işlemi aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

- Ultrasonik banyoda sırasıyla alkol, su, aseton, su ile temizleme
- Ultrasonik banyoda $SnCl_2$ (20 g/l $SnCl_2$, 20 g/l HCl) banyosuna daldırma
- Destile suda durulama
- Ultrasonik banyoda $PdCl_2$ (0,05 g/l $PdCl_2$) banyosuna daldırma
- Destile suda durulama
- Kaplama işlemi

Kaplama işlemi alkali banyolarda gerçekleştirilmiştir ve banyo bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

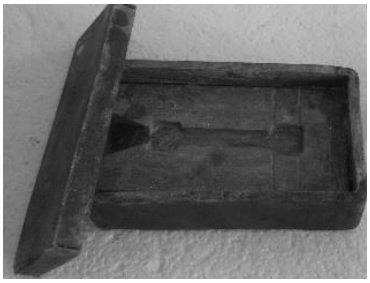
Çizelge 1. Banyo bileşimleri ve kaplama parametreleri

Banyo Bileşenleri	**B1**	**B2**	**B3**
$NiSO_4*6H_2O$ (g/L)	30	30	30
$NaPO_2H_2*H_2O$ (g/L)	10	30	50
$C_6H_5Na_3O_7*5,5H_2O$ (g/L)	30	30	30
NH_4Cl (g/L)	50	50	50
CH_4N_2S (mg/L)	2	2	2

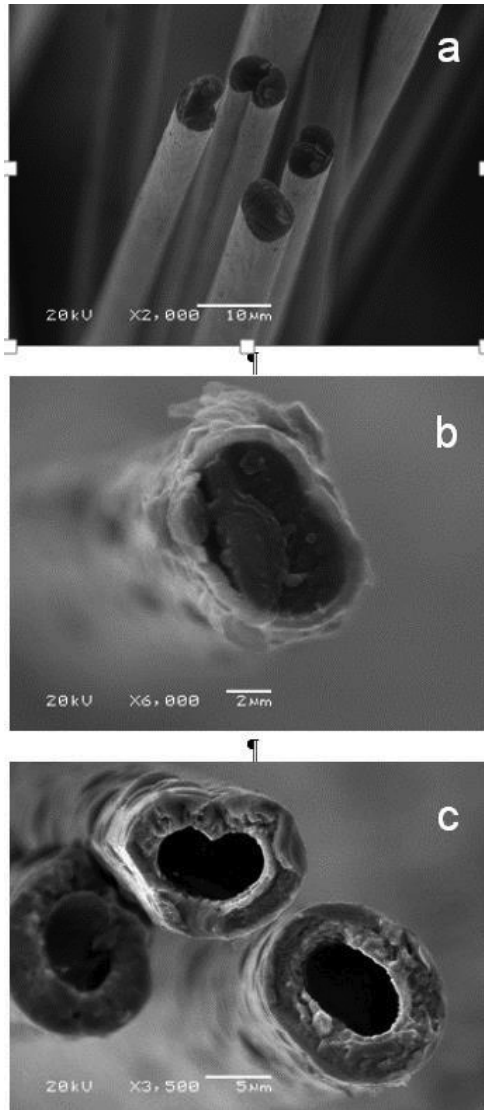
Nikel kaplı karbon fiberler ve 725 °C'de iki saat bekletilen Al alaşımı fiber kompozit üretmek amacıyla; i) kum ve kokil kalıp kullanılarak ve ii). sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak proses edilmiştir. Sıkıştırma dökümde 30 ton basma kapasitesine sahip hidrolik pres kullanılmıştır. Dökümde kullanılan kokil kalıp (Şekil 1) fırın içerisinde 450 °C'de bir saat bekletildikten sonra kullanılmıştır.

Kaplaması yapılmış karbon fiberler boyutlandırılarak 725° C'de 2 saat boyunca ergitilen A6063 alaşıma dağınık olarak takviye edilerek, döküm işlemine yukarıda verilen şartlarda geçilmiştir.

Nikel tabasının kalınlığı ve bileşimi SEM ve EDS kullanılarak tespit edilmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri ise universal test cihazları kullanılarak en az iki tekrarlı olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 1.Sıkıştırma döküm kalıbı



Şekil 2. Kaplanmamış ve farklı kaplama kalınlıklarına sahip karbon fiber görüntüsü (a) kaplanmamış fiber, (b) 30 (c) 60 dakika [B1 banyosu, pH=8]

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1.Ni-P Kaplamalar

Karbon fiberlerin akımsız Ni-P kaplanmasında; banyo bileşimi, sıcaklık, pH değeri ve kaplama süresi gibi çalışma parametrelerinin kaplama hızına ve kaplamadaki fosfor içeriğine etkisi incelenmiştir. B1 banyosunun 70, 80 ve 90 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, pH 8 değerinde ve bir saatlik akımsız kaplama sonrasında ölçülen kaplama kalınlıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık-Kaplama kalınlığı etkisi

Sıcaklık (°C)	Kaplama Kalınlığı (µm)
70	3,30 ± 0,02
80	4,15 ± 0,15
90	4,00 ± 0,20

Sıcaklığın 70 °C'den 80 °C'ye çıkmasıyla kaplama hızında bir artış belirlenmiş, ancak sıcaklığın 80 °C'nin üzerine artmasıyla kaplama hızında bir artış görülmemiştir.

B1 banyosunda, 80 ° C'de bir saat süreyle dört farklı pH değerinde gerçekleştirilen kaplamalara ait ölçülmüş kaplama kalınlıkları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'den görüldüğü gibi kaplama kalınlıkları artan pH ile artmıştır.

Kaplama süresi de, kaplama kalınlığını etkileyen önemli bir parametredir. Karbon fiberler, B1 kaplama banyosunda, pH 8 'de ve 80°C' de, 15, 30, 60 ve 120 dakika süreyle kaplama işlemine tabi tutulmuş ve kaplama kalınlıklarına ait sonuçlar Çizelge 4' de verilmiştir. Kaplama kalınlıkları beklenildiği üzere artan kaplama sürelerine bağlı olarak artmıştır.

Çizelge 3. pH değeri-kaplama kalınlığı ilişkisi

pH Değeri	Kaplama Kalınlığı (µm)
7	4,04 ± 0,18
8	4,15 ± 0,15
9	4,45 ± 0,10
10	5,95 ± 0,15

Çizelge 4. Kaplama süresinin kaplama kalınlığına etkisi

Kaplama Zamanı (dk)	Kaplama Kalınlığı (µm)
15	0,36 ± 0,02
30	0,93 ± 0,03
60	4,15 ± 0,15
120	5,25 ± 0,25

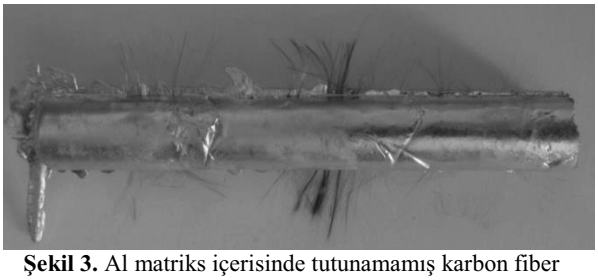
B1, B2, B3 banyoları kullanılarak banyo bileşimi içerisindeki hipofosfit miktarının kaplama kalınlığına etkisi incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. İndirgeyici sodyum hipofosfit miktarı banyo bileşiminde arttıkça genel olarak kaplama hızı ve kalınlığı artmaktadır.

Çizelge 5. Sodyum hipofosfit miktarının kaplama kalınlığına etkisi

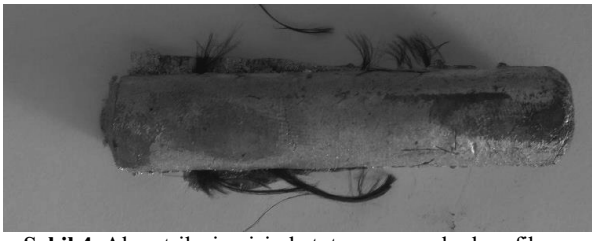
Sodyum Hipofosfit Miktarı (g/l)	Kaplama Kalınlığı (µm)
10	4,15 ± 0,15
30	11,3 ± 0,30
50	14,25 ± 0,05

3.2.Karbon fiber takviyeli kompozit üretimi

6063 alaşımı ve Ni kaplı karbon fiber kullanılarak kum ve kokil kalıba gravity döküm yöntemiyle kompozit üretimi başarılı sonuç vermemiştir (Şekil 3 ve 4). Kokil kalıba gerçekleştirilmiş döküm işleminde görüldüğü gibi karbon fiberler Al matriks içerisinde tutunamamış sonuçta karbon fiberin Al matriks içerisinde tutunması son derece sınırlı kalmıştır (Şekil 3). Hem kalıbın hem kullanılan karbon fiberlerin ısıtılarak döküm yapılmasına ve farklı kaplama kalınlıklarına sahip fiber kullanılmasına rağmen sonuç değişmemiştir. Kum kalıba yapılan döküm işleminde de bu sonuç değişmemiştir (Şekil 4).

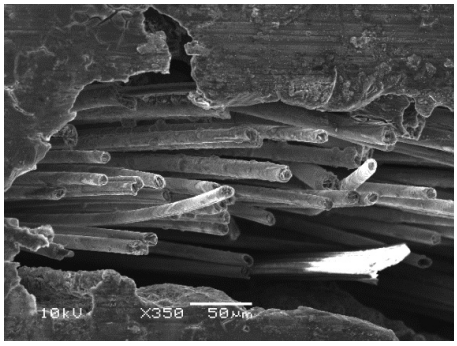


Şekil 3. Al matriks içerisinde tutunamamış karbon fiber görünümü (Kokil kalıp)



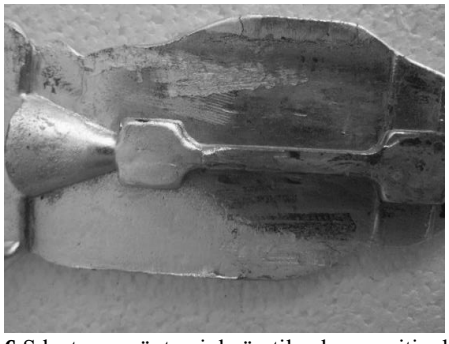
Şekil 4. Al matriks içerisinde tutunamamış karbon fiber görünümü (Kum kalıp)

Şekil 5'de kokil kalıba yapılan döküm sonrası kesit SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntüsünden de net olarak görüldüğü gibi Ni kaplı fiber yapısı, Al matriksi ıslatmayarak, matriksten ayrı bir demet şeklinde yer almıştır.



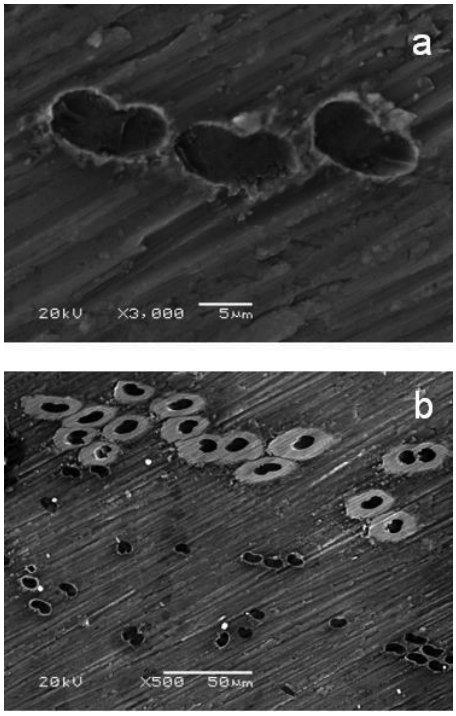
Şekil 5. Kokil kalıba gerçekleştirilen döküm numunesine ait kesit SEM görüntüsü

Döküm yöntemi olarak sıkıştırma yönteminin kullanılmayla Al matriks içerisinde tutunan, üniform kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Döküm numunesinin makro görüntüsü Şekil 3 ve 4'den farklıdır. Fiberlerin diğer döküm yöntemlerinden farklı olarak döküm yapısı içinde kaldığı ilk bakışta söylenebilir (Şekil 6).



Şekil 6.Sıkıştırma yöntemiyle üretilen kompozitin döküm sonrası makro görüntüsü

Şekil 7'de 30 dakika süreyle yapılan kaplama sonrası üretilen fiberlerin kullanımıyla (Şekil 7a) ve farklı sürelerde kaplama işlemine tabi tutulmuş dolayısıyla farklı kalınlıklara sahip fiberlerin kullanımıyla üretilen kompozitlerin (Şekil 7b) kesit görüntüsü verilmiştir. Şekil 7b'den görüldüğü gibi farklı kalınlıklarda Ni kaplamaya sahip fiberler matrik içerisine her yönde ıslatma sağlamıştır. Döküm yöntemine bağlı olarak Ni kaplı fiberlerin Al matriksi ıslatabilirliği ön deneyler çerçevesinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda görülmüştür (Şekil 3-7).



Şekil 7. (a) 0,9 mikron ve (b) 0,3 ve 4,2 mikron ortalama kaplama kalınlığına sahip karbon fiberlerin Al matriks içerisindeki dağılımı

3.3. Mekanik Deneyler

Ortalama 0,9 µm ve 4,2 µm kaplama kalınlıklarına sahip (30 ve 60 dakikalık kaplama sürelerinde gerçekleştirilen kaplamalar) karbon fiber kullanımıyla hacimce %1 ve %3 oranında fiber içeren Al matriksli kompozitler üretilmiştir. Döküm öncesi kalıp 450 °C'de bir saat bekletilmiştir. Deney prosedürüne göre hesaplanan fiberler kalıp içerisine yerleştirilmiş devamında alaşım fırından alınarak döküm yapılarak, sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Deney sonrasında döküm numunesi (Şekil 6) mekanik testlerin uygulanabilmesi amacıyla boyutlandırılmıştır.

Çizelge 6 ve 7'de verilen darbe ve üç nokta eğme test sonuçları üç farklı kompozit numunenin ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 6. Darbe deneyi sonuçları

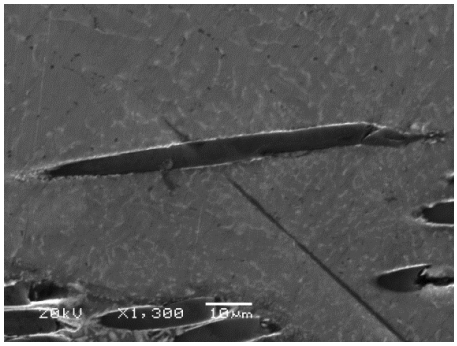
Kullanılan fiber ve miktarı	Darbe Dayanımı (Joule / mm^2)
Ort. 0,9 µm, Hacimce %1	3,45
Ort. 4,2 µm , Hacimce %1	3,68
Ort. 4,2 µm , Hacimce %3	4,05
6063 base alaşım	2,50

Çizelge 7. 3 nokta eğme deneyi sonuçları

Kullanılan fiber ve miktarı	Eğme Dayanımı (Newton / mm^2)
Ort. 0,9 µm, Hacimce %1	201
Ort. 4,2 µm , Hacimce %1	210
Ort. 4,2 µm , Hacimce %3	242
6063 base alaşım	186

Fiber takviyeli kompozitlerin, fiber içermeyen 6063 base alaşıma göre darbe ve eğme dayanımları artmıştır. Bununla beraber; fiber kompozitler içerisinde kaplama kalınlığı ve hacimce kullanım oranı arttıkça hem darbe hem de eğme dayanımları artmaktadır (Çizelge 6 ve 7). Kompozitlerin base alaşıma (fiber takviyesiz 6063 Al alaşımı) göre daha iyi mekanik özellik göstermesinin nedeni kompozit yapısıdır. Şekil 8'de kompozit içindeki karbon fiberin kesit görüntüsü verilmiştir. Matriks içerisinde darbe enerjisini sönümleyecek şekilde yerleşen fiber yapısı darbe dayanımının artmasına neden olmuştur. Benzer şekilde fiber ve Al matriks arasındaki nikelin varlığı eğme dayanımının kompozit malzemede, base alaşıma göre artışın nedeni olmaktadır.

Mekanik özelliklerin fiber takviyeli kompozitlerde base alaşıma göre iyileşmesini ortaya koyacak mekanizmayı tanımlayabilmek için ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Konu üzerine çalışmalar grubumuz tarafından devam ettirilmektedir.



Şekil 8. Kompozit içerisindeki fiberin kesit SEM görüntüsü

Referanslar

[1] J. Rams, A. Uren a, M.D. Escalera, M. Sanchez,(2007), Electroless Nickel Coated Short Carbon Fibres In Aluminium Matrix Composites. *Composites: Part A*,38,566–575

[2]- A. Daoud. (2005), Microstructure And Tensile Properties Of 2014 Al Alloy Reinforced With Continuous Carbon Fibers Manufactured By Gas Pressure Infiltration. *Materials Science and Engineering: Part A*,*391*,114-120

[3] E. Hajjari, M. Divandari, A.R. Mirhabibi, (2004), The Study Of Electroless Coating Of Nickel On Carbon Fibers.*Iranian Journal Material Science And Engineering*,*1*,1-6

[4] Junjia Zhang, Shichao Liu, Yiping Lu, Yong Dong, Tingju Li,(2016) Fabrication Process And Bending Properties Of Carbon Fibers Reinforced Al-Alloy Matrix Composites. *Journal of Materials Processing Technology*,*231*,366-373

[5] J.N.Balaraju, Praful Radhakrishnan, V.Ezhilselvi, A.Anil Kumar, Zhong Chenc, K.P.Surendran,(2016) Studies On Electroless Nickel Polyalloy Coatings Over Carbon Fibers/CFRP Composites. *Surface & Coatings Technology*,*302*,389-397

[6] Z. Abdel Hamid and A. Abdel Aal., (2010), Effect Of Electroless Process Parameters For Nickel-Phosphorous Coatings On Carbon Fibres, *Anti-Corrosion Methods and Material*,*57/4*, 173-179

Düşey Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilen 203 mm Çapında AA6063 Alüminyum Alaşımı Billetin Özelliklerinin Geliştirilmesi

Development of 203 mm AA6063 Aluminum Alloy Billet's Characteristics Properties Produced by Direct Chill Casting Method

Koray Turbalıoğlu, Bilgehan Tunca
Zahit Alüminyum Sanayi

ABSTRACT
In this study; At Billet Production Plant of Zahit Aluminum Inc., it was aimed to develop AA6063 alloy Aluminum alloy billet properties of 203 mm in diameter. For this purpose; metal temperature, casting and liquid metal height at the casting table. After the casting process, the homogenization process was carried out at different times, temperatures and different cooling rates. Microstructure studies were carried out on samples taken from the test billets and parameters for AA6063 alloy billet production of 203 mm in diameter were determined

ÖZET
Bu çalışmada; Zahit Alüminyum A.Ş.'nin Billet Üretim tesisinde 203 mm çapındaki AA6063 alaşımı Alüminyum alaşımı billetin özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için; döküm metal sıcaklığı, döküm hızı ve döküm masasında sıvı metal yüksekliğinin farklı değerleri ile deneme üretimleri yapılmıştır. Döküm işleminden sonra homojenizasyon prosesinde farklı süre, sıcaklık ve farklı soğuma hızlarında denemeler yapılmıştır. Denemeler sonrası billetlerden alınan numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılmış ve 203 mm çapında AA6063 alaşımı billet üretimi için parametreler belirlenmiştir.

1. Giriş

Endüstrinin ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte alüminyum ve alaşımlarının da kullanımı artmaktadır. Teknik özelliklerinin getirdiği birçok üstünlükler nedeniyle alüminyum, dünyada ve ülkemizde giderek daha çok kullanılmaktadır. Tüketimde, alüminyum ve alaşımlarının, demir-çelik ürünleri ile mukayese edebilecek duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya, tıp, inşaat, otomotiv ve havacılık sanayinde ve bunların yan sanayilerinde her geçen gün artan bir şekilde kullanılması önemini bir kat daha arttırmaktadır.

Alüminyum endüstrisinde önemli bir yere sahip olan ve 6xxx serisi olarak bilinen AlMgSi alaşımları, iyi ekstrüzyon edilebilirlilikleri, yüksek korozyon dayanımları, sıcak deformasyon sonrasında temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edebilmek için uygulanan süreçlerin maliyetinin düşük olması ile tanınırlar. AlMgSi alaşımları, kapsamlı bir alanda dayanım, iyi işlenebilirlik, yüksek korozyon dayanımı gibi özellikleri ile otomotiv ve havacılık endüstrisinde, inşaat sektöründe, taşımacılıkta, mimari ve süsleme uygulamaları gibi alanlarda kullanımlarını teşvik etmektedir [1-5].

Bu çalışmada; düşey sürekli döküm yöntemiyle üretilen AA6063 alüminyum alaşımının mekanik ve mikroyapı özelliklerine, döküm üretim parametrelerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, bileşimi Çizelge 1.'de verilen AA 6063 alüminyum alaşımı biletler, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen döküm parametreleri kullanılarak düşey sürekli döküm metodu ile üretilmiştir. Bu alaşımlar, hem döküm halinde hem de homojenleştirme ısıl işlemine maruz bırakılmış halde mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Uygulanan homojenleştirme ısıl işlemi 580^{o}C'de 8 saat olarak gerçekleştirilir iken homojenizasyon sonrası 2 farklı soğutma hızı ile denemeler yapılmıştır.

Çizelge 1. Biletlerin döküm numaralarına göre kimyasal kompozisyonları

	Fe	Si	Mg	Zn	Ti	Al
6645	0,228	0,39	0,51	0,008	0,014	98,54
6655	0,229	0,43	0,54	0,008	0,015	98,61
6658	0,218	0,41	0,57	0,01	0,016	98,57

Çizelge 2. Deneme dökümlerinde kullanılan metal sıcaklık (^{0}C) değerleri

Döküm No	Metal Sıcaklığı (^{o}C)	Döküm Hızı (mm/dak)	Tabladaki Metal Yüksekliği (mm)
6645	690	105	45
6655	700		
6658	710		

Çizelge 3. Deneme dökümlerinde kullanılan döküm hızı (mm/dak) değerleri

Döküm No	Metal Sıcaklığı (^{o}C)	Döküm Hızı (mm/dak)	Tabladaki Metal Yüksekliği (mm)
6645	690	100	45
6655		105	
6658		110	

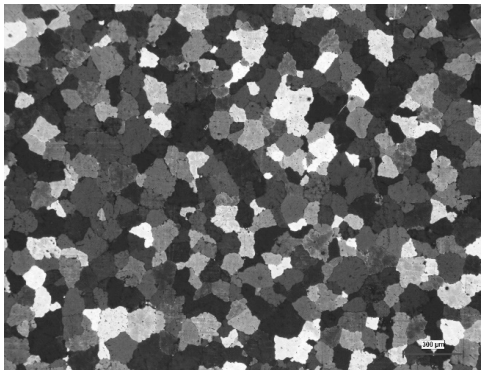
Çizelge 4. Deneme dökümlerinde kullanılan tabladaki sıvı metal yüksekliği (mm) değerleri

Döküm No	Metal Sıcaklığı (^{o}C)	Döküm Hızı (mm/dak)	Tabladaki Metal Yüksekliği (mm)
6645	690	105	25
6655			35
6658			45

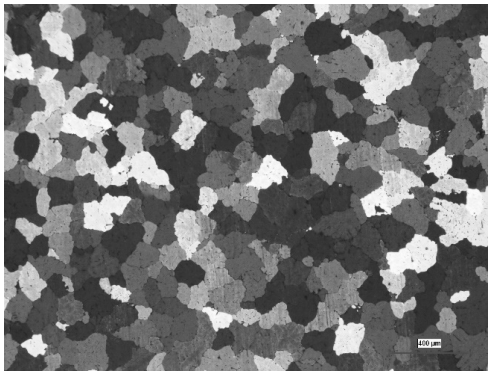
Düşey sürekli döküm metodu ile metal sıcaklığı değerleri değiştirilerek üretilen AA6063 alüminyum alaşımı billetlerin döküm ve homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulmuş halinin mikroyapısı optik mikroskopla incelenmiştir. Metalografik inceleme, numuneleri 1200 mesh'e kadar zımparalama ve sonrasında Al_2O_3 pasta ile parlatma işlemine tabi tutularak yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numune yüzeyleri hazırlanan Keller Çözeltisi (95 ml H_2O, 2,5 ml HNO_3, 1,5 ml HCL ve 1 ml HF) ile 2 dakika boyunca dağlanmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri saf su ve alkol ile yıkanıp kurutulmuş ve numuneler optik mikroskopta incelenmiştir.

3. Deney Sonuçları

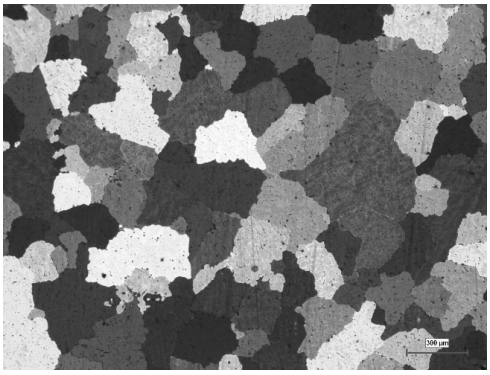
Zahit Alüminyum A.Ş.'nin billet döküm tesisinde sürekli döküm yöntemi ile üretilen AA6063 biletlerin her deney grubu için ayrı ayrı mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 1'de farklı metal sıcaklık değerleri için yapılan incelemeye ait mikroyapı görüntüleri, Şekil 1'de farklı döküm hızı değerleri için yapılan incelemeye ait mikroyapı görüntüleri, Şekil 3'te farklı sıvı metal yükseklik değerleri için yapılan incelemeye ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



a)



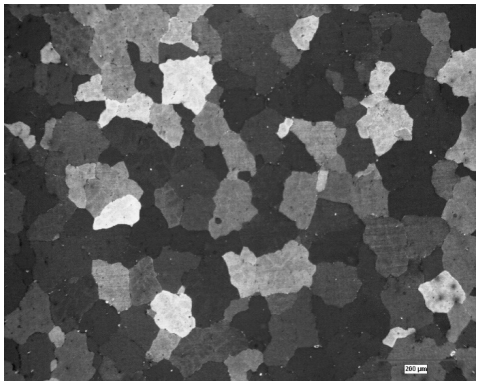
b)



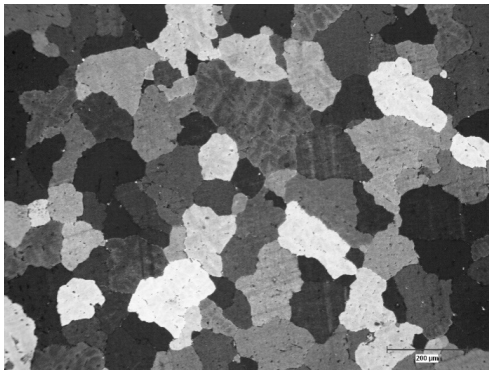
c)

Şekil 1. AA6063 alüminyum alaşımı billetlerin mikroyapı görüntüleri; a) 690^{0}C, b) 700^{0}C c) 710^{0}C

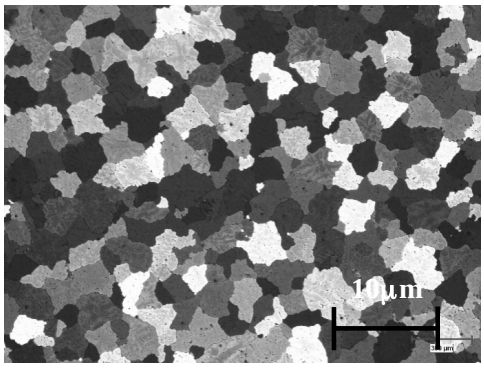
İncelenen numunelere göre 690^{0}C'de yapılan dökümdeki tanelerin diğerlerine göre daha küçük olduğu gözlenmiştir.



a)



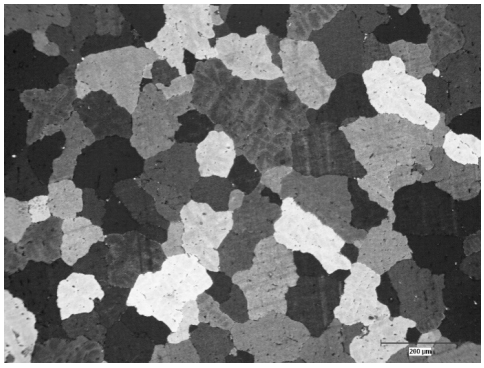
b)



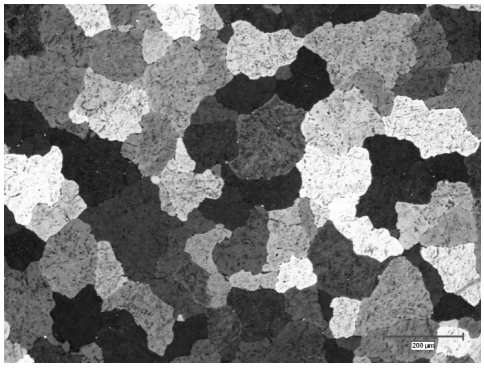
c)

Şekil 2 AA6063 alüminyum alaşımı billetlerin mikroyapı görüntüleri; a) 100 mm/dak, b) 105 mm/dak c) 110 mm/dak

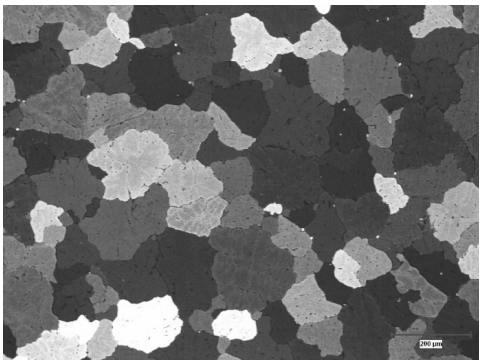
Farklı döküm hızları değerlerine göre yapılan dökümlerde; döküm hızı değeri arttıkça mikroyapıda tanelerin küçüldüğü gözlenmiştir.



a)



b)



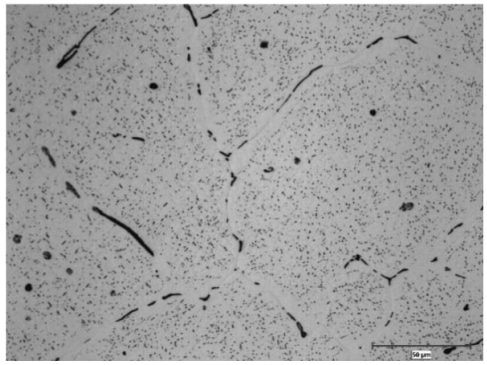
c)

Şekil 3. AA6063 alüminyum alaşımı billetlerin mikroyapı görüntüleri; a) 25 mm, b) 35 mm c) 45 mm

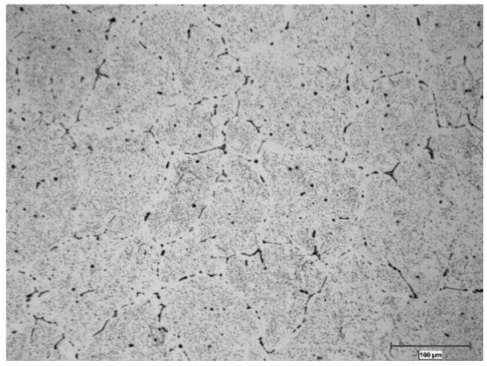
Döküm tablasındaki sıvı metal yüksekliğin farklı değerlerine göre yapılan dökümlerden alınan numunelerin sonucuna göre; 35 mm yüksekliğe sahip sıvı metal ile yapılan dökümün mikroyapısı diğerlerine göre daha küçük tanelere sahip olmuştur. 45 mm yüksekliğe sahip sıvı metal ile yapılan dökümün mikroyapısı diğerlerine göre daha büyük tanelere sahip olmuştur

Sürekli döküm yöntemiyle üretilen billetlere sonrasında homojenizasyon işlemi uygulandı. Bunun için 580^{0}C sıcaklıkta 8 saat süren homojenizasyon prosesinin sonrasında billetler soğutma işlemine tabi tutuldular. Homojenizasyon işlemi ve sonrasındaki soğutma işlemi sırasındaki sıcaklık değişimleri JumoLogoscreen Nt model data logger cihazı kullanılarak yapıldı. Bunun için homojenizasyon ve soğutma işlemi uygulanan billetlerin merkezine kadar gelecek şekilde thermocouple çakıldı ve sıcaklık değişimleri kayıt altında tutuldu. Soğutma işleminde isteinlen soğutma hızını elde edebilmek için soğutma bölümündeki hava fanları kontrollü olarak çalıştırıldı. 150^{0}C/saat ve 200^{0}C/saat soğuma hızı değerlerine göre numunelerin mikroyapı değerleri incelendi.

Homojenizasyon ve soğutma işlemi sonrasında billetlerin yüzey ve merkez bölgelerinden numuneler alındı ve mikroyapı incelemeleri yapıldı. Şekil 4'te 6645 lot numaralı billetin 150^{0}C/saat ve 200^{0}C/saat soğuma hızı değerlerine göre merkez bölgesinin mikroyapı görüntüsü, Şekil 5'te 6655 lot numaralı billetin 150^{0}C/saat ve 200^{0}C/saat soğuma hızı değerlerine göre merkez bölgesinin mikroyapı görüntüsü, Şekil 5'da 6658 lot numaralı billetin 150^{0}C/saat ve 200^{0}C/saat soğuma hızı değerlerine göre merkez bölgesinin mikroyapı görüntüsü verilmiştir.

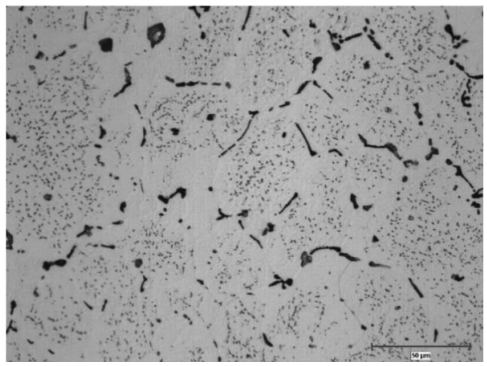


a)

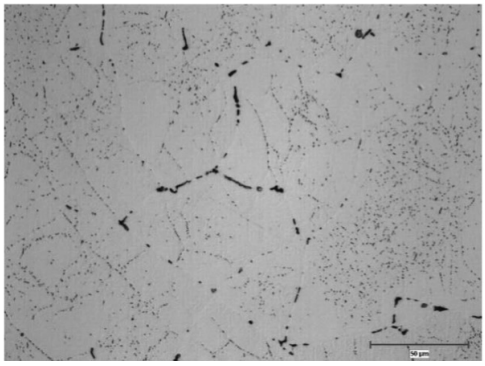


b)

Şekil 4. 6645 lot numaralı billetin merkez **b**ölgesinin mikroyapı görüntüsü ; a) 150^{0}C/saat, b) 200^{0}C/saat

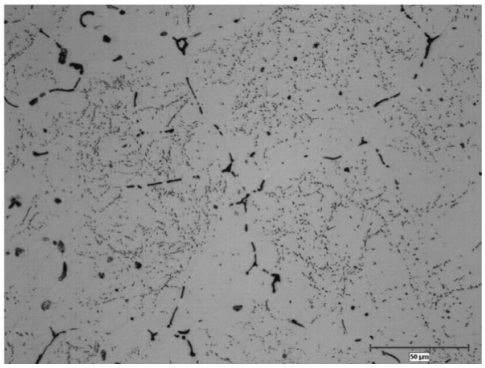


a)

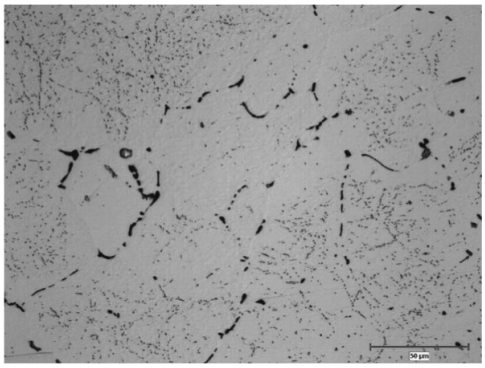


b)

Şekil 5. 6655 lot numaralı billetin merkez **b**ölgesinin mikroyapı görüntüsü ; a) 150^0C/saat, b) 200^0C/saat



a)



b)

Şekil 6. 6658 lot numaralı billetin merkez **b**ölgesinin mikroyapı görüntüsü ; a) 150^0C/saat, b) 200^0C/saat

Mikroyapı incelemelerinde soğuma hızı arttıkça gerek faz dönüşümünün gerekse tane içi çökelti davranışını daha iyi olduğu görülmektedir.

Düşey sürekli döküm yönteminde katılaşma çok hızlı şekilde meydana gelmektedir. Bu yüzden metal sıcaklığı katılaşmanın hızlı bir şekilde ilerleyebilmesi için düşük tutulmalıdır [7]. Katılaşma sırasında kalıp duvarına temas eden sıvı metal hemen katılaşarak bir kabuk oluşturur. Oluşan bu kabuk aslında katılaşma sırasında meydana gelen ilk çekirdeklerdir. Eğer döküm sıcaklığı yeteri kadar yüksek ise, biletin merkezindeki sıvı uzun bir süre likidüs sıcaklığının üzerinde kalacaktır. Bunun sonucunda kristallerin çoğunluğu kalıp duvarından uzaklaştıktan az sonra tekrar ergiyeceklerdir. Sadece bu geri kalan kristaller soğuma bölgesini oluşturmak için kalıp duvarının yakınında büyüyebileceklerdir ve bilet yüzeyinde gelişigüzel yönlenmiş küçük eş eksenli tanelerden oluşan ince bir kabuk oluşturacaktır. Diğer taraftan, eğer döküm sıcaklığı düşükse kalıptaki sıvının hepsi likidüs sıcaklığının altına hızla soğuyacak ve kristaller "bing-bang" çekirdeklenmesi olarak bilinen ergiyiğin içine doğru hızla ilerleyeceklerdir. Daha sonra tamamen eş eksenli bilet yapısı üretilecektir[8]. Alüminyum dökümlerinde metal sıcaklığı, katılaşmanın hızlı ilerleyebilmesi için olduğunca düşük tutulması gerekmektedir[7]. Bu yüzden metal sıcaklığı 690^oC olan dökümlerin mekanik özelliklerinin yüksek olarak ölçüldüğü düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

AA 6063 alüminyum alaşımı 203 mm çapındaki billetlerin düşey sürekli döküm yöntemiyle üretilmesi sırasında m parametreleri değiştirilerek yapılan bu çalışmadan aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Düşey sürekli döküm yöntemi ile üretilen AA6063 alüminyum alaşımının mikroyapısının, alüminyum katı eriyiği (matris) ve α+Mg_2Si ötektik fazından oluştuğu düşünülmektedir. Uygulanan homojenleştirme ısıl işlemi sonrası döküm haline göre daha ince taneli ve homojen bir mikroyapı elde edilmiştir.
2. Döküm sıcaklığı arttıkça mikroyapıdaki tanelerinin boyutunun arttığı gözlenmiştir.
3. Döküm tablasındaki metal yüksekliği için 35 mm olduğu zaman diğer yükseklik değerlerine göre daha iyi bir mikroyapı değerine ulaşılmıştır.
4. Homojenizasyon prosesi sonrasındaki soğutma işleminde 200^0C/saat soğutma hızının daha uygun olduğu gözlenmiştir.

Referanslar

1- Turbalıoğlu K., Yüksek Lisans Tezi, "AA 6063 Alüminyum Alaşımının Düşey Sürekli Döküm Yönteminde Üretim Parametrelerinin Geliştirilmesi", Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2008.

2- Altenpohl D**.,** Alüminyum, Etibank Alüminyum İşletmesi Müessesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları, Yayın No: 716-A-214, 1986.

3- Barry W. G., Hains R. W., Proceedings of the Second International Aluminium Extrusion Technology Seminar, Vol:1, 271-284., 1977.

4- Su Ş., Yüksek Lisans Tezi, "2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Alma Sıcaklık ve Süresinin Yaşlanma Sonrası Özelliklere Etkileri", Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988.

5- William F. S. Malzeme bilimi ve mühendisliği, Çeviren: Nihat G. Kınıkoğlu, Literatür yayınları, İstanbul, 2001.

6- Onurlu S., Onurlu S., Yorucu H., 6000 Serisi Alüminyum Alüminyum Alaşımlarının Homojenleştirilmesi, Tübitak Gebze Araştırma Enstitüsü Malzeme Araştırma Bölümü, Proje No: 03 1204 8701, Kasım 1987.

7- Eraslan Y., Doktora Tezi "Etial-60 Alaşımında Döküm ve Homojenizasyon Uygulamalarının Ekstrüzyon Kabiliyetine Etkileri", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.

7- Lalli L., Dauer R. A., Aluminium Technology, Institute of Metals, 86. 1987.

Direkt Soğutmalı Döküm Yöntemi ile 355 mm Çapında 7075 Alüminyum Alaşımlı Biyetlerin Döküm Parametrelerinin Optimizasyonu

Optimization of Casting Parameters of 7075 Aluminum Alloy Billets with 355 mm Diameter Produced by Direct Chill Casting Method

Mehmet Mümtaz Dokur[1], Özgül Keleş[2]

[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract

High strength Al-Zn-Mg alloys in the series of aluminum alloys have been the biggest competitors against to other metals used in aviation, defense and automotive industry in recent years. Nowadays, aluminum alloys are frequently preferred in these industries due to their low density. When a rifle's body is made of aluminum alloy instead of steel, it will increase the mobility of the soldier carrying it. On the other hand, in the aviation industry, where fuel consumption is high and costly, the components of a plane from the aluminum alloy will cause a significant reduction in fuel consumption. Due to the same expectation in other industries, both academic and industrial studies have led to increasing the strength of lightweight aluminum alloy materials.

In this study, 355 mm diameter Al-Zn-Mg alloyed billets were produced by direct chill casting method. The billet were cracked when the water flow rate (150 L/min) was high at constant casting speed. Cracking was prevented by reducing the water flow rate.

Özet:

Alüminyum alaşımları serisi içinde yüksek mukavemete sahip Al-Zn-Mg alaşımları havacılık, savunma ve otomotiv sanayinde kullanılmakta olan diğer metallerin son yıllarda en büyük rakibi olmuştur. Günümüzde alüminyum alaşımları düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle bu sanayi dallarında sıkça tercih edilmektedir. Savunma amaçlı kullanılan bir tüfekte gövdenin çelik yerine alüminyum alaşımından olması onu taşıyan askerin hareket kabiliyetini arttıracaktır. Öte yandan yakıt tüketiminin yüksek ve maliyetli olduğu havacılık sanayinde kullanılan bir uçağın bileşenlerinin alüminyum alaşımından olması yakıt tüketiminin büyük ölçüde azalmasına neden olacaktır. Aynı beklentiler diğer sanayi dallarında da olması nedeniyle hem akademik hem de sanayi çalışmaları, doğası gereği hafif olan alüminyum alaşımlı malzemelerin mukavemetini arttırmaya yöneltmiştir.

Bu çalışmada 355 mm çapında Al-Zn-Mg alaşımlı biyetler direkt soğutmalı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Sabit döküm hızında yüksek su debisi ile döküm gerçekleştirildiğinde biyette çatlama meydana gelmiştir. Su debisinin azaltılmasıyla biyette çatlama önlenmiştir.

1. Giriş

Yüksek mukavemete sahip 7075 alüminyum alaşımı uzay, havacılık ve savunma sanayi uygulamalarında yapısal bileşen olarak sıkça kullanılmaktadır. Literatürde ve endüstriyel çalışmalarda bu alaşım ile yapılan özellikle kompleks şekilli profil ekstrüzyonunun çok zor olduğu bilinmektedir. 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda yüzey kalitesi bozulmadan maksimum ekstrüzyon hızlarını

elde etmek 6xxx serisi alaşımlara göre daha zordur. 7075 alaşımı için ekstrüzyon hızı yaklaşık 1-2 m/dk iken, orta dayanıma sahip 6xxx serisi alüminyum alaşımlarında (6061) ekstrüzyon hızı 5-25 m/dk arasında değişmektedir. 7075 alaşımının düşük ekstrüde edilebilirliği kimyasal kompozisyonunda yer alan çinko, magnezyum ve bakır gibi ana alaşım elementlerinden kaynaklanmaktadır. Ekstrüzyon hızını etkileyen en önemli faktör alaşımın düşük ergime sıcaklığına (477°C) sahip olmasıdır [1].

Direkt soğutmalı döküm prosesi sonunda ingot olarak tanımlanan diktörgen kesitli veya biyet olarak tanımlanan silindirik kesitli ürünler üretilmektedir. Biyetlerin çapları 1100 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Üretilen biyetler ekstrüzyon prosesinde kullanılmaktadır. Direkt soğutmalı döküm prosesi sırasında sıvı alüminyum su soğutmalı kalıp içerisine dökülür. Sıvı alüminyum donmaya başladığında kalıp duvarlarına yakın bölgede kabuk şekillenmeye başlar. Bu şekillenmenin hemen ardından katılaşan alüminyum, kalıp içerisindeki alüminyum miktarı sabit bir yükseklikte kalacak şekilde sabit bir döküm hızı ile alçalır. Kabuk, su soğutmalı kalıp içerisindeki ısı akışına göre şekillenir. Bu oluşum sırasında biyetin dışı katı haldeyken, iç kısmı yarı sıvı ya da tam sıvı haldedir. Kalıbın alt kenarlarında yer alan su jetleri ile katılaşma devam ettirilir.

Direkt soğutmalı döküm prosesinde 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının soğuması sırasında katılaşmanın farklı evrelerinde biyet çatlamaya çok yatkındır. Soğuma sırasında meydana gelen bu çatlama literatürde "soğuk çatlama (*cold cracking*)" olarak adlandırılmaktadır. Soğuk çatlama tane sınırlarında yer alan düşük ergime sıcaklığına sahip kırılgan intermetaliklerden kaynaklanmaktadır [2]. 7xxx serisi alüminyum alaşımlarda soğuk çatlama ile ilgili yapılan en önemli çalışmalardan bir tanesinde 7050 alaşımının değişik döküm koşullarında ve iki farklı çapta (260 mm ve 315 mm) direkt soğutmalı döküm prosesi ile döküm çalışmaları yapılmıştır [3].

Bu çalışmanın amacı 355 mm çapında 7075 alüminyum alaşımının direkt soğutmalı döküm yöntemi ile dökümü ve döküm parametrelerinin optimizasyonunu amaçlamaktadır.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada direkt soğutmalı döküm yöntemi ile 7075 alüminyum alaşımlı biyetlerin dökümü gerçekleştirilmiştir. Döküm çalışmaları ASAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'nde yer alan prototip biyet döküm tesisinde gerçekleştirilmiştir. Prototip biyet döküm tesisinde 1500 mm uzunluğunda, 355 mm çapında ve endüstriyel döküm şartlarında biyet dökümü yapılabilmektedir.

7075 alüminyum alaşımının biyet dökümü için iki biyet döküm üretimi yapılmıştır. İki biyet dökümü sabit döküm hızında gerçekleştirilmiştir. Birinci biyet dökümünde yüksek su debisinde, ikinci biyet dökümünde ise düşük su debisinde dökümler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 : Deneme üretimlerinde kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonu

		Kimyasal Kompozisyon (%ağ.)							
		Si	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Zn**	**Ti**	**Cr**
7075 (EN573-3)	**Min.**	-	-	1,2	-	2,1	5,1	-	0,18
	Maks.	0,40	0,50	2,0	0,30	2,9	6,1	0,20	0,28
Döküm 1	-	0,20	0,22	1,25	0,01	2,27	5,74	0,12	0,22
Döküm 2	-	0,18	0,14	1,22	0,01	2,19	5,61	0,12	0,24

1 ve 2 numaralı dökümlerde sırasıyla 900 ve 800 mm uzunluğunda biyetler dökülmüştür. Biyetlerin karakterizasyonu için 355 mm çapında 50 mm uzunluğunda dilim numuneleri biyetlerden kesilmiştir. Mikroyapı analizi için numunelere zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

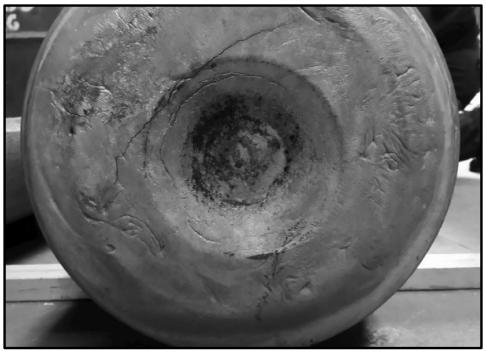
Döküm denemelerinden sonra biyetler incelendiğinde 1 numaralı biyetin kılavuz tarafında çatlak olduğu görülmüştür. Kılavuz tarafında meydana gelen çatlak,

biyet boyunca devam ettiği belirlenmiştir. Çatlağa ait görüntü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 : 1 numaralı döküm sonrası biyette meydana gelen çatlak

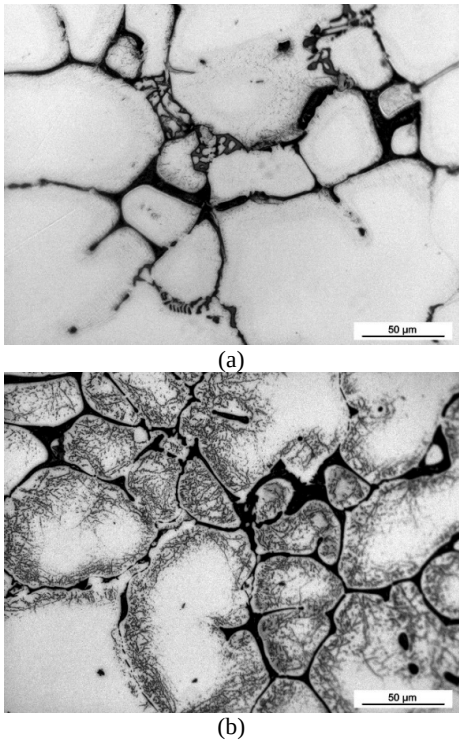
2 numaralı dökümde ise biyetin kılavuz tarafında 1 numaralı dökümdekine göre daha hafif bir çatlak görülmüştür. Ayrıca bu çatlak biyet boyunca ilerlemediği tespit edilmiştir. Çatlağın görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 : 2 numaralı döküm sonrası biyette meydana gelen çatlak

2 numaralı biyetin kılavuz tarafında meydana gelen çatlağın biyet boyunca ne kadar ilerlediğini tespit etmek amacıyla biyete ultrasonik test yapılmıştır. Ultrasonik testte çatlağın biyetin alt tarafından yaklaşık 200 mm ilerlediği tespit edilmiştir.

1 ve 2 numaralı biyetlerde mikroyapı analizi yapılmıştır. Biyetlerin mikroyapı görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.



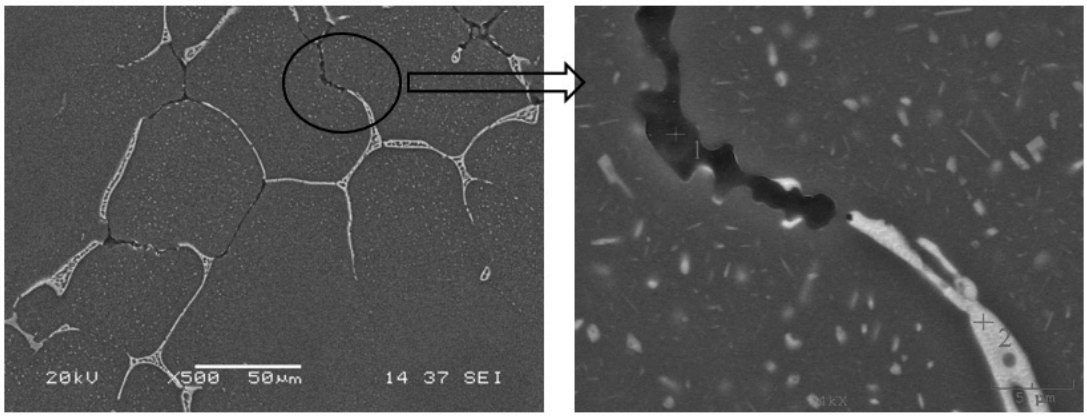
(a)

(b)

Şekil 3 : 1 numaralı (a) ve 2 numaralı (b) dökümlere ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 3-a'daki mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde tane sınırlarında siyah ve gri bölgelerin olduğu görülmektedir. Gri bölgeler lameler yapıda ve tane sınırlarına yakın bölgede çözünmemiş partiküller yer almaktadır. Şekil 3-b mikroyapı fotoğrafında ise tane sınırlarında siyah bölgelerin yer aldığı görülmektedir. Ayrıca tane içerisinde ve tane sınırlarına yakın bölgelerde ipliksi çökeltiler bulunmaktadır.

Şekil 3 a ve b mikroyapı görüntülerinde yukarıda bahsedilen bölgelerin hangi fazlar olduğunu belirlemek için elementel analiz yapılmıştır. Elementel analiz yapılan bölgelerin görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Elementel analiz sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir.



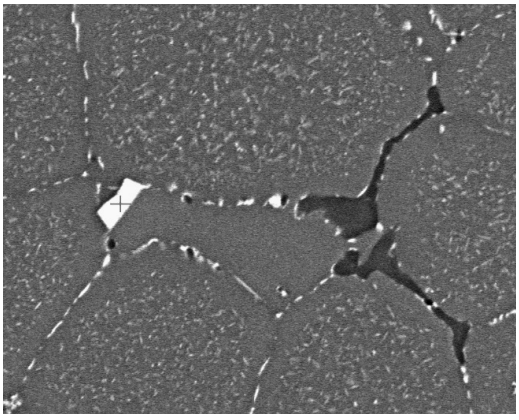
Şekil 4 : Tane sınırındaki fazların analizi

Çizelge 2 : Elementel analiz sonuçları

Bölge	Al (%)	Zn (%)	Mg (%)	Si (%)	Cu (%)
1 numaralı	43	-	31	26	-
2 numaralı	42	29	14	-	15

Çizelge 3'teki sonuçlar incelendiğinde Şekil 4'te 1 numaralı bölgede Al, Mg ve Si elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede Mg_2Si fazı yer almaktadır. 2 numaralı bölgede ise Al, Zn, Mg ve Cu elementleri bulunmaktadır. Döküm sonrası fazların (T, S ve Θ) belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada [3] S fazında bulunun elementlerin yüzdeleri 2 numaralı bölgede yer alan elementler ile yakın olduğu belirlenmiştir.

Yapı içerisinde yer alan intermetaliklerin görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 : 1 numaralı dökümde elementel analiz bölgesinin görüntüsü

Şekil 5'teki mikroyapı görüntüsü incelendiğinde tane sınırlarında siyah ve beyaz renkli bölgeler bulunmaktadır. Ayrıca tane sınırında yaklaşık 20 µm uzunluğunda intermetaliğin yer aldığı görülmektedir. Bu bölgenin elementel analizi yapıldığında yapı içerisinde Al %73, Fe %17 ve Cu %10 tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada [3] elde edilen bulgular ile karşılaştırıldığında bu bileşiğin Al_7Cu_2Fe olduğu belirlenmiştir. 1 numaralı dökümde Şekil 3-a'daki mikroyapı görüntüsünde görüldüğü üzere tane sınırında intermetalik fazların miktarı 2 numaralı döküme göre oldukça fazladır.

7075 alüminyum alaşımı düşük ergime sıcaklığına sahip intermetalik fazların varlığı nedeniyle katılaşma aralığı diğer alüminyum alaşımlarına göre oldukça geniştir. Katılaşma aralığı geniş olan bu alaşımın döküm sırasındaki katılaşma hızının artması ikincil fazların erken katılaşmasına neden olmaktadır. İkincil fazların erken katılaşması ile de yapı içerisinde hem boşlukların oluşması hem de gerilmelerin artması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. 1 numaralı dökümde katılaşma hızı yüksek olduğundan tane sınırlarında ve çevresinde intermetalik bileşiklerin oluşmasına ve fazla miktarda olmasına neden olmuştur. Bu durum yapının çatlamaya yatkınlığını arttırmıştır.

4. Sonuçlar

- Farklı su akış oranlarına sahip iki biyet dökümü yapılmıştır. Su akış oranı fazla olan biyette çatlama meydana gelmiştir.
- Döküm sonrası tane sınırlarında Mg_2Si ve S fazının yer aldığı belirlenmiştir.
- Su akış oranı fazla olan biyette tane sınırında yaklaşık 20 µm büyüklüğünde intermetalik partiküller tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu yayında yapılan çalışmalar 3140258 numaralı TÜBİTAK TEYDEB projesi tarafından desteklenmiştir. Metalografik numune hazırlama çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sayın Hüsnü ÖZTÜRK'e teşekkür ederiz.

Referanslar

[1] L. Bäckerud, E. Król, J. Tamminen. Solidifi cation Characteristics of Aluminium Alloys. Vol. 1: Wrought Alloys, Oslo: SkanAluminium/Univesitetforlaget, 1986.

[2] D.G. Eskin, M. Lalpoor, ve L. Katgerman. "Cold Cracking During Direct Chill Casting", *Light Metals 2011*, 669–674, 2011.

[3] Lalpoor, M., D.G. Eskin, D. Ruvalcaba, H.G. Fjær, A. Ten Cate, N. Ontijt, ve L. Katgerman. "Cold Cracking in DC-Cast High Strength Aluminum Alloy Ingots: An Intrinsic Problem Intensified by Casting Process Parameters", *Materials Science and Engineering: A* 528, sayı 6 (Mart 2011): 2831–42.

Birincil ve İkincil Al7Si0,3Mg (A356) Alaşımında Titreşimli Katılaşma Prosesinin Mikroyapı Rafinasyonuna Etkisinin Araştırılması

Influence of Vibration on Microstructure Refining During Solidification of Primary and Secondary AlSi70,3Mg (A356) Alloy

Çağlar Yüksel[1], Sezgin Yaşa[1], Ahmet Kabil[1], Emre Akgül[1], Özlem Çelikaslan[1], Eray Erzi[2], Derya Dışpınar[2], Mustafa Çiğdem[1]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, [2]İstanbul Üniversitesi

Abstract

Increasing demand for quality products in engineering materials has led to the continuous development of existing materials or necessity of the discovery of new materials. In this study, the effects of vibration casting on the grain refining mechanism of primary (ore) and secondary (scrap) Al7Si0,3Mg alloy which is one of the most commonly used aluminum alloy were investigated. The length of the dendrites whose morphology is modified due to the effect of vibration applied during solidification and the distances between the secondary dendrite arms (SDAS) were determined using light microscopy. The microstructural effects of these changes have been interpreted.

Özet

Mühendislik malzemelerinde artan kaliteli ürün talebi sürekli olarak mevcuttaki malzemelerin geliştirilmesi ya da yeni malzemelerin ortaya çıkarılması zorunluluğunu doğurmuştur. Bu çalışmada da en yaygın şekilde kullanılan alüminyum alaşımlarından biri olan Al7Si0,3Mg birincil (cevher) ve ikincil (hurda) alaşımlarının titreşimli dökümü yapılarak tane inceltme mekanizmasına etkileri araştırılmıştır. Işık mikroskobu kullanılarak katılaşma sırasında uygulanan titreşimin etkisi ile morfolojisi değiştirilen dendritlerin uzunluğu ve ikincil dendrit kolları arası mesafeler (SDAS) tayin edilmiştir. Bu değişimlerim içyapısal olarak etkileri yorumlanmıştır.

1. Giriş

Alüminyum–silisyum alaşımları, iyi termal iletkenlik, mükemmel dökülebilirlik, yüksek dayanım-ağırlık oranı, aşınma ve korozyon direnci, basınç sızdırmazlığı ve iyi kaynaklanabilirlik gibi pek çok avantaja sahip olduğu için en yaygın kullanılan döküm alaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Döküm işleminden çıkan içyapının doğru şekilde denetlenmesi bugünün döküm sanayinde karşılaşılan zorluklardan biridir [1].

Dökümde ince ve dendritik olmayan tane yapısının mekanik özellikleri dendritik ve iri taneli yapılara göre daha iyidir [2-4]. Döküm işleminde sıvı metale katılaşıncaya kadar uygulanan titreşim tane inceltme ve dendritleri parçalamak için yapılan tekniklerden biridir ve uygulanması basit olan bir yöntemdir. Bu yöntemde elektromanyetik titreşim, ultrasonik titreşim ve mekanik titreşim gibi Titreşim oluşturmak için uygulanabilecek birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerin içinde mekanik titreşim uygulanması ve kontrol edilmesi daha kolay olan yöntemdir [5-9].

Numan Abu-Dheir, mekanik titreşimin Al-Si alaşımındaki mikroyapı üzerine etkilerini incelemiştir. Uygulanan titreşimin alaşımın dendrit yapısına ve ötektik kompozisyon değişimine neden olduğunu keşfetmiştir. Başarılı bir şekilde uygulanan titreşimin dendrit yapılarını kırarak küçük parçalara ayırdığını gözlemlemiştir. Fakat yapılan çalışmalarda ikincil alüminyum kullanılmamış ve birincil alüminyum ile kıyaslama yapılmamıştır [10].

Bu çalışmada, titreşimli dökümün birincil ve ikincil Al7Si0,3Mg alaşımının tane inceltilmesi ve dendrit morfolojileri üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca sonuçlar titreşimsiz dökümdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

%100 birincil külçeden kesilen kısım tek parça halinde, %100 ikincil talaşları ise bir kovan yardımı ile 90 psi'de sıkıştırılarak biriketlenmiştir. Şarj malzemeleri 730 °C'deki elektrik dirençli fırına SiC pota ile birlikte fırına şarj edilerek ergitilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen metal kalıp 3 basamaklıdır ve basamaklar kare prizma şeklinde olup yüzey alanları birbirine eşittir (40mm x 40mm). Basamakların et kalınlıkları; alt basamakta 5 mm, orta basamakta 10 mm ve üst basamakta ise 20 mm'dir.



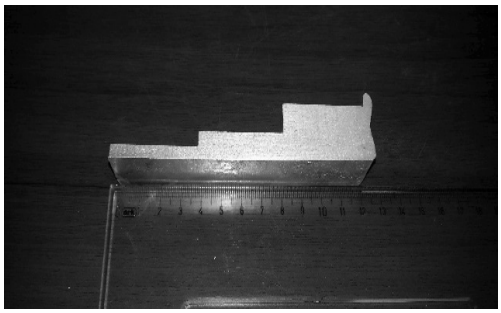
Şekil 1: Metal kalıp

Şekil 2'deki titreşim cihazının üzerine yerleştirilen 400 °C'ye ön-ısıtılmış metal kalıp 60 Hz sabit frekansta ve 3 mm genlikte titreşim üreten Octagon 200 marka elek analiz cihazında 90 saniye boyunca titreşerek katılaşması sağlanmıştır.



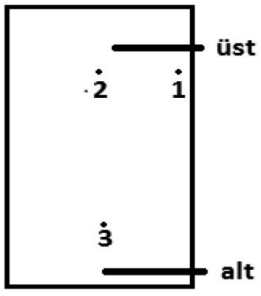
Şekil 2. Titreşim cihazı

Şekil 3'de döküm parçasının kesiti görülmektedir. Malzeme karakterizasyonu için yukarıdaki benzer usuller uygulanarak birincil ve ikincil alüminyum malzemelerinin birer adet de referans yani titreşim uygulanmadan dökümleri yapılmıştır.



Şekil 3. Döküm parçası

Her deneyin metalografik incelemesinde döküm parçaları ortadan kesilerek 180, 400, 600, 800 ve 1200 numaralı zımpara kâğıtlarıyla zımparalandıktan sonra 3 μm'luk elmas pasta ile ince parlatılmıştır. Şekil 4'de gösterilen her bir kesit için ışık mikroskobu kullanılarak incelenen bölgeler gösterilmektedir. Her bir kesit için 3 farklı bölgeden alınan görüntüler incelenmiştir. Görüntüler 20 mm et kalınlığındaki (kalın kesit) ve 10 mm et kalınlığındaki (orta boyutlu kesit) numuneden alınmış, 5mm et kalınlığındaki (ince kesit) numune üzerinde inceleme yapılmamıştır. Kesit kalınlığı farkına bağlı olarak soğuma hızından oluşan tane boyutu morfolojisi, birincil dendritlerin uzunluğu ve ikincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS) farklılıkları incelenmiştir.

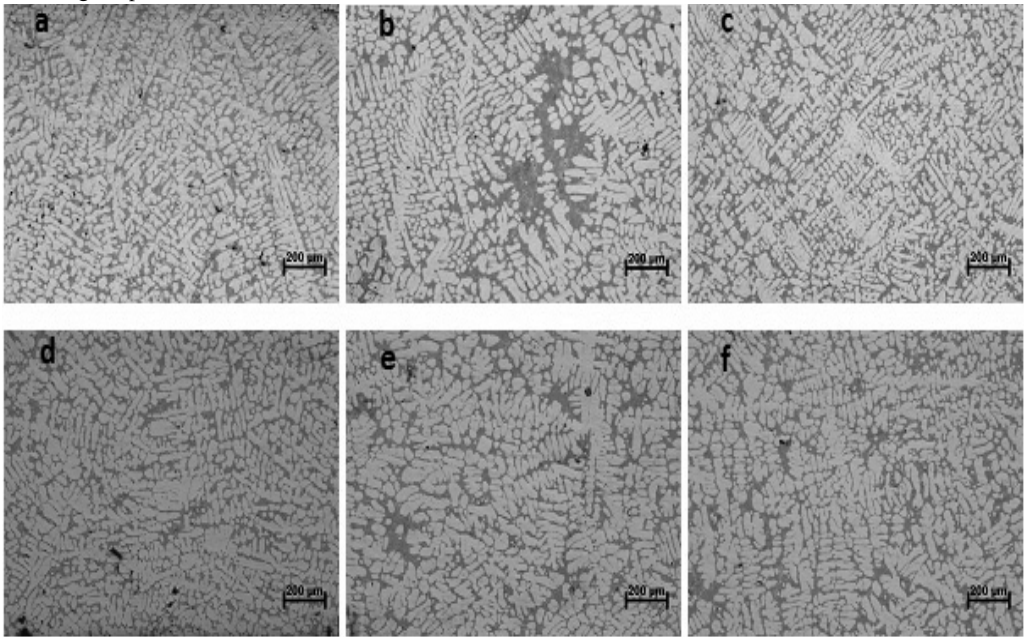


Şekil 4. numune yüzeyinde görüntü alınan bölgeler

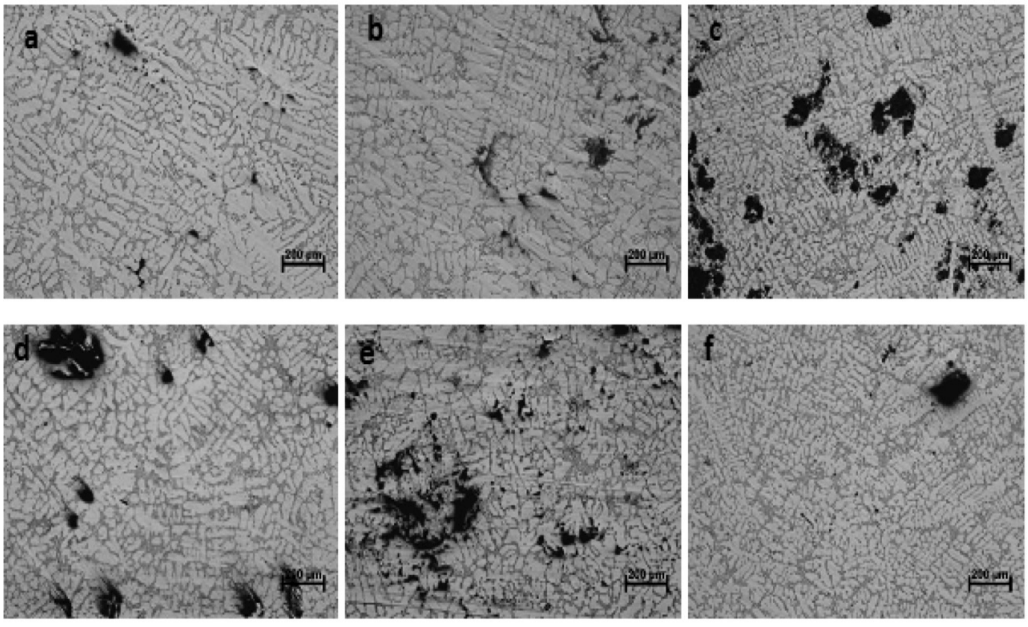
3. Sonuçlar ve Tartışma

Alüminyum ve alaşımlarında gözenekliğin sebebi çift katlı oksit filmleridir (bifilm) [11, 12]. Bu oksit filmleri yapı içerisinde nispeten yüksek (0,1 ml/100 gr Al) sevilerinde olması dahi gözenekliği teşkil edici durumu sağlamaktadır. Buna ilaveten bir de bifilmlerin katılaşma sırasında rastlantısal bir biçimde sıvı beslemesinin kesilebildiği dendrit kolları arasında sıkışıp kalması ile bu durum daha da içinden çıkılmaz bir hal almaktadır. Titreşimli döküm yöntemi uygulanarak birincil ve ikincil alüminyum malzemeleri kullanılarak olası böylesi bir senaryonun gelişmesini asgariye indirmek ve metal kalitesi farkının nihai döküm parçasına etkisi incelenmiştir.

Şekil 5 ve 6'da kesit kalınlığı aynı olan fakat malzeme kalitesi farklı olan iki farklı döküm gösterilmektedir. Şekil 5 ile 6 arasındaki en bariz fark yapı içerisindeki kirliliklerden ortaya çıkan gözenekli yapıları teşkil eden bifilmlerdir. Bu yapılar doğru proses edilmeden sıvı metalden giderilmediği takdirde döküm parçasının tüm özelliklerine olumsuz yönde etki eder [13, 14]. Her iki şekilden de görüldüğü üzere titreşim ile birlikte dendrit kolları parçalanarak birer taneye dönüşmesi sağlanmıştır.

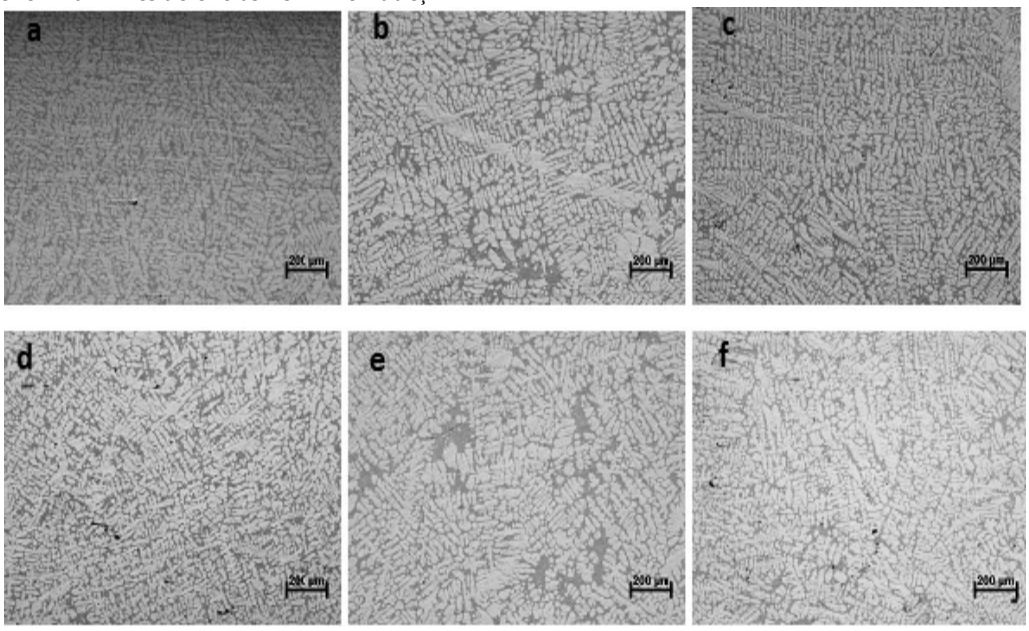


Şekil 5. Kalın kesitli (20mm) birincil Al7Si0,3Mg alaşımlı numune **a)** titreşimsiz 1. Bölge **b)** titreşimsiz 2. bölge **c)** titreşimsiz 3. bölge **d)** titreşimli 1. bölge **e)** titreşimli 2. bölge **f)** titreşimli 3. Bölge (50X).

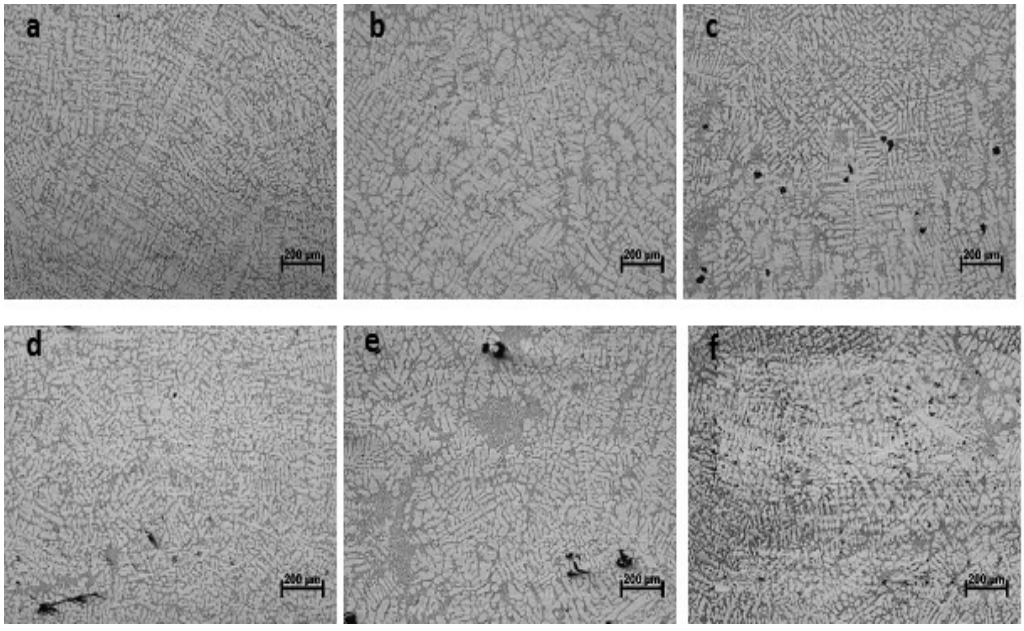


Şekil 6. Kalın kesitli (20 mm) ikincil Al7Si0,3Mg alaşımlı numune **a)** titreşimsiz 1. Bölge **b)** titreşimsiz 2. bölge **c)** titreşimsiz 3. bölge **d)** titreşimli 1. bölge **e)** titreşimli 2. bölge **f)** titreşimli 3. Bölge (50X).

Şekil 7 ve 8'de de benzer bir durum varmış gibi görünse de kalın kesitli kısımlara göre nispeten daha gözeneksiz bir yapı görülmektedir. Bunun temel sebebi daha kalın kesitli olan kısmın orta kesitli kısımdan soğuma hızları farkından dolayı daha geç katılaşmasıdır. Geç katılaştıkça hala sıvı olabilen kalın kesitlere olası bifilmler titreşimin etkisi ile yükselebilmektedir. Bu durum kalın kesitli Şekil 6'da d ve e'de çok belirgin biçimde görülmektedir. Numuneler ışık mikroskobunda tüm kesitte tarandığında bu durumun tesadüfen gerçekleşmediği orta kesitte de aynı durumun ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Orta kesitli (10mm) birincil Al7Si0,3Mg alaşımlı numune **a)** titreşimsiz 1. Bölge **b)** titreşimsiz 2. bölge **c)** titreşimsiz 3. bölge **d)** titreşimli 1. bölge **e)** titreşimli 2. bölge **f)** titreşimli 3. Bölge (50X)



Şekil 8. Orta boyut kesitli (10mm) ikincil Al7Si0,3Mg alaşımlı numune **a)** titreşimsiz 1. Bölge **b)** titreşimsiz 2. bölge **c)** titreşimsiz 3. bölge **d)** titreşimli 1. bölge **e)** titreşimli 2. bölge **f)** titreşimli 3. Bölge (50X)

Çizelge 2'de yukarıdaki şekillerin sayısallaştıralarak anlamlı hale getirildiği dendrit uzunlukları, ikincil dendrit kolları arası mesafeler ve dendrit oranları verilmektedir. Dökümlerin kalın kesitleri incelendiğinde birincil alüminyumdaki dendrit boylarında %37,32'lik ve ikincil dendrit kolları arası mesafede %11,05'lik kısalma ve birincil fazın oranı %5,02 oranında artar iken, ikincil alüminyum dökümlerindeki dendrit boylarında %36,39'lik ve ikincil dendrit kolları arası mesafede %27,09'lik bir kısalma ve birincil fazın oranı 28,84'lik bir azalma görülmüştür. Bu azalmanın sebebi kalın kesitli dökümlerin içyapılarından açık bir şekilde görülen gözenekliliktir. Yapı içerisinde dendrit yerine gözenek bulunarak birincil faz yani dendritlerin oranını düşürmüştür.

Dökümlerin orta kesitli kısımları incelendiğinde birincil alüminyum dökümlerindeki dendrit uzunluklarında %34,30 azalma, ikincil dendrit kolları arası mesafe %4,76 ve dendrit oranları %7,29 artar iken ikincil alüminyumdaki dendrit uzunluklarında %17,75 ve dendrit oranlarında %4,94 azalma ve ikincil dendrit kolları arası mesafe %39,21 artmaktadır.

Çizelge 1. Dendrit uzunluğu, SDAS ve dendrit oranları (N: titreşimsiz döküm, T: titreşimli döküm, 1-2-3: numuneden görüntü alınan bölge, K: Kalın (20mm), O: Orta (10mm)).

Numune	Dendrit uzunluğu (µm)	Fark (%)	SDAS (µm)	Fark (%)	Dendrit oranı (%)	Fark (%)
%100 birincil -N-1-K	209	-16,26	28	-10,71	66,42	6,54
%100 birincil -T-1-K	175		25		71,07	
%100 birincil -N-2-K	282	-41,49	31	-6,45	64,58	7,62
%100 birincil -T-2-K	165		29		69,91	
%100 birincil -N-3-K	321	-54,21	25	-16,00	68,50	0,90
%100 birincil -T-3-K	147		21		69,11	
%100 birincil -N-1-O	151	-23,17	21	-9,52	71,48	-4,14
%100 birincil -T-1-O	116		19		68,52	
%100 birincil -N-2-O	225	-37,33	21	14,28	64,23	2,34
%100 birincil -T-2-O	141		24		65,73	
%100 birincil -N-3-O	191	-42,41	18	0	64,89	9,09
%100 birincil -T-3-O	110		18		70,79	
%100 İkincil -N-1-K	241	-48,76	34	-13,33	77,75	-14,91
%100 İkincil -T-1-K	162		30		67,66	
%100 İkincil -N-2-K	222	-22,65	31	6,45	83,50	-17,65
%100 İkincil -T -2-K	181		33		70,97	
%100 İkincil -N-3-K	248	-37,77	23	-21,05	67,98	3,72
%100 İkincil -T-3-K	180		19		70,51	
%100 İkincil -N-1-O	186	-35,77	12	75,00	79,61	-10,91
%100 İkincil -T-1-O	137		21		71,78	
%100 İkincil -N-2-O	162	-12,50	23	-4,54	74,48	7,20
%100 İkincil -T-2-O	144		22		69,48	
%100 İkincil -N-3-O	211	-4,97	21	-31,25	71,49	-1,23
%100 İkincil -T-3-O	201		16		70,62	

4. Sonuç

Birincil alüminyum ile yapılan dökümlerde gözeneksiz yapının olması sebebiyle oluşan dendritler parçalanarak birincil faz oranını arttırmıştır. Titreşimin etkisi ile dendrit boyları, ikincil dendrit kolları arası mesafe kısalmıştır.

Temiz döküm yani temiz sıvı metal ile yapılan dökümlerde homojen bir yapı gözlemlenebilir iken nispeten daha kirli ya da doğru proses edilmemiş metallerin dökümü sakat parça üretilebileceğini

içyapı incelemelerinden açıkça görülebilmektedir. Böylesi düşük metal kalitesi malzemelerin kimyevi, fiziki ve mekanik özelliklerine doğrudan etki etmektedir.

İnce kesitlerde (5 mm) katılaşma hızlı bir şekilde olduğu için titreşim etkili olamamıştır, dolayısıyla sonuçlarda çok büyük farklılıklar görülmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

[1] G. Chirita, I. Stefanescu, D. Soares, F.S. Silva, (2008), Materials & Design, 30 (2009), 1575–1580.

[2] T. Haga, P. Kapranos, Journal of Materials Processing Technology, 130–131(2002), 594–598.

[3] P.K. Seo D.U. Kim, C.G. Kang, Journal of Materials Processing Technology, 162–163(2005), 570–578.

[4] H. Guo, X. Liu, X. Yang, A. Zhang, L. Yong, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 20 (2010), 815-820.

[5] X. Jian, Scripta Materialia, 54 (2006), 893-896.

[6] L. Zhang, D.G. Eskin, A. Miroux, L. Katgerman Light Metals 2012, TMS.

[7] X. Jian, H. Xu, TT Meek, Q. Han, Materials Letters, 59 (2005), 190–193.

[8] M. Faraji, D.G. Eskin, L. Katgerman, International Foundry Research, 62 (2010), 2.

[9] Pandel U., Sharma A. Goel D.B., Indian foundry Journal, 51(2) (2005). 42-45.

[10] Abu-Dheir, N., Marwan, K., Kozo, S., Alan, M., Mater Sci Eng A, 393 (2004), 109–117.

[11] Dışpınar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Di Sabatino, M., & Arnberg, L., Materials Science and Engineering: A, 527(16) (2010), 3719-3725.

[12] Dışpınar, D, ve Campbell, J., Journal of Materials Processing Technology 182(1) (2007), 405-410.

[13] Campbell, J. Castings: the new metallurgy of cast metals. Butterworth Heinemann, 2003, İngiltere.

[14] Ç. Yüksel, Alüminyum Alaşımlarının Sıvı Metal Kalitesinin Arttırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016, İstanbul, TÜRKİYE.

Düşük Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilen Al5Si0,3Mg Jant Alaşımında Tane İnceltme Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Manufacture of Low-Pressure Die Cast Al5Si0,3Mg Light Alloy Wheels with an Improved Grain Refining Process

Mertcan Kaba[1], Ayşegül Dönmez[1], Aydın Çukur[1], A.Faruk Kurban[1], H.Emre Çubuklusu[2], Uğur Aybarç[2], Uğur Malayoğlu[1], Yücel Birol[1]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]CMS Jant ve Makine Sanayii A.Ş

Abstract

Al7Si0.3Mg alloy has been widely used in the manufacture of light alloy wheels with the low pressure die casting method. Grain refinement of the wheel alloys offers significant improvement of the mechanical properties owing to improved melt feeding. Although the grain refiner Al-Ti-B alloy shows great performance on wrought aluminium alloys, it is not as much successful with foundry alloys because of the silicon content in the latter. The difficulties in the use of alternative grain refining alloys and their relatively higher cost have made the search for different solutions to this problem necessary. It is expected that decreasing the Si content in the standard wheel alloy, A356, could offer a solution. This work was undertaken to explore the potential of Al5Si0.3Mg alloy in the manufacture of light alloy wheels.

1. Introduction

According to environment-friendly consciousness, especially automotive manufacturers have started reducing the weight of vehicles to decrease emissions and save fuel. Aluminium and its alloys have become one of the most attractive materials in the automotive industry because of its relatively high specific strength [1,2]. Particularly, the hypoeutectic Al-Si foundry alloys are remarkable due to their low density and high strength, good castability-low shrinkage, low thermal expansion coefficient, high corrosion resistance and weldability. Al7Si0.3Mg (A356) alloy has been widely used in the manufacture of light alloy wheels [3,4]. Melt treatments such as grain refinement and modification are commonly applied in aluminium foundries to enhance mechanical properties of castings [5]. Grain refinement of the wheel alloys offers significant improvement of the mechanical properties owing to improved melt feeding [6,7,8]. Hence, the use of Al-Ti-B master alloy has become a standard practice. Grain refinement offers heterogeneous nucleation. Al-Ti-B master alloy contains nucleating agents, Al_3Ti and TiB_2 particles, and is stirred into the melt. Besides, Al_3Ti particles dissolve rapidly and supply solute Ti to restrict the growth process after nucleation, TiB_2 particles remain stable in the melt and provide sites for nucleation [9,10]. Grain refinement efficiency depends on these nucleating particles. Although the grain refiner Al-Ti-B alloy shows a remarkable performance on wrought aluminium alloys, it is not as much successful with foundry alloys because of the silicon content in the latter. While the silicon content in the foundry alloys is higher than 3%, efficiency of the Al_3Ti and TiB_2 particles decreases due to Ti-Si reactions that occur at high Si contents [7,11,12,13,14]. Many researchers have tried to solve this problem by developing new grain refiners. Yuan et al. investigated Al-3B master alloy and reported that AlB_2 could assist nucleation in aluminium melts [15]. Birol also investigated various types of Al-B based master alloys and indicated that AlB_2 particles could be efficient provided that there is at least 4% Si in the alloy. It is also reported that when grain refinement is carried out with B, TiB_2 particles would be formed and the activity of AlB_2 particles would be reduced when the Al-Si alloy contained even a small amount of Ti [12,16]. Additionally, SrB_6 particles could form when B is used to refine the grain structure, and thus, the efficiency of the modification process would be impaired [17]. The difficulties in the use of alternative grain refining alloys and their relatively higher cost have made the search for different solutions to this problem necessary. It is expected that decreasing the Si content in the standard wheel alloy, A356, could offer a solution. The present work was undertaken to explore the potential of Al5Si0.3Mg alloy in the manufacture of light alloy wheels in the T6 temper.

Table 1. Chemical compositions of the alloys.

	Si	Fe	Mg	Ti	Sr	Mn	B	Cu	Al
Al7Si0.3Mg	6,8315	0,0967	0,2844	0,1069	0,0226	0,0037	0,0016	0,0003	Bal.
Al5Si0.3Mg	4,9089	0,0903	0,2813	0,0987	0,0203	0,0038	0,0017	0,0011	Bal.

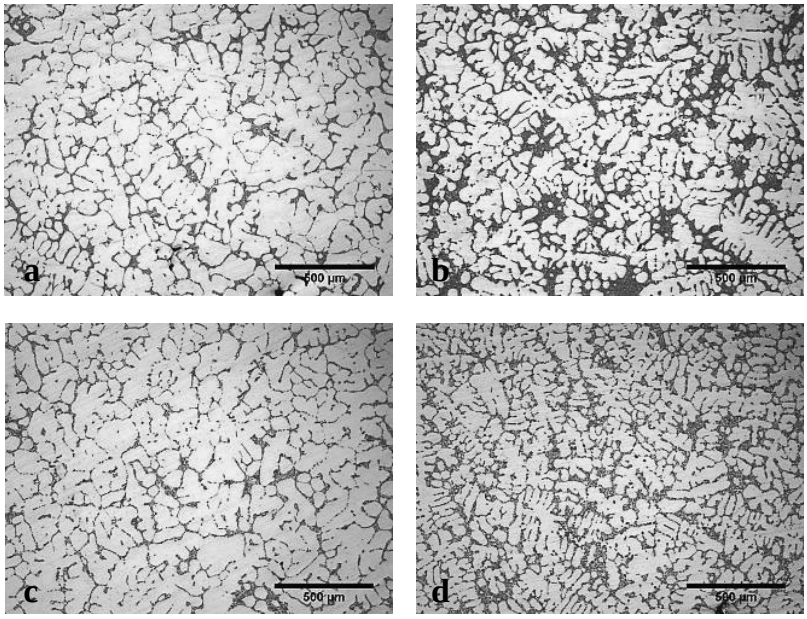


Fig 1. (a) as-cast Al5Si0.3Mg, (b) as-cast Al7Si0.3Mg, (c) heat treated Al5Si0.3Mg, (d) heat treated Al7Si0.3Mg alloys microstructures.

2. Experimental Procedure

In this process Al5Si0.3Mg alloy ingot was obtained by reducing the Si content of the commercial A356 alloy to 5% via the addition of pure aluminium. The alloy was melted at 745 °C in an electric resistance furnace.

The resulting Al5Si0.3Mg alloy and the reference A356 alloy were melted in laboratory conditions and grain refinement was performed by adding 100 ppm Al-5Ti-1B master alloy commonly used in the casting industry. In addition, a modification process was performed using 200 ppm Al-15Sr master alloy. The amount of Mg was arranged at about 3000 ppm Mg in Al5Si0.3Mg alloy. In order to eliminate the hydrogen gas that negatively affects casting quality; degassing was performed by circulating nitrogen gas in the melt for 30 seconds at 0.5 bar pressure before casting. The chemical compositions of the alloys were analysed by Optical Emission Spectrometry (OES) and are given in Table 1. 4 kg clay graphite crucibles were used and both alloys were cast in a mold preheated to 340 °C. A total of 12 casting samples were obtained for both alloys. Certain samples were subjected to T6 heat treatment and passed through dye conditions. There are 3 sets which consist of as-cast, heat treated and dye process after the heat treatment for both alloys. 20 tensile test specimens for each set were tested in accordance with DIN EN 10002-1 with a Zwick Roell model tensile testing machine under a load of 100 kN for measuring tensile properties. The hardness of the material was tested under a load of 250 kg with INNOVATEST NEMESIS 9000 model Brinell

hardness testing device according to the hardness test standards. The fluidity test was carried out at a mold temperature of 400 °C and under the same conditions for each alloy by using standard spiral mold. Microstructural observations of eutectic silicon and Mg_2Si phase characteristics were carried out after etching with a 0.3% HF solution using 5X lens on an optical microscope. In addition, macro-etching was carried out using iron (III) chloride hexahydrate ($Cl_3FeH_{12}O_6$) and macrostructures were examined.

3. Results and Discussion

The microstructures of the Al5Si0.3Mg alloy and the reference A356 alloy which consist of as-cast, T6 heat treated and paint baked conditions are illustrated in Figure 1. The eutectic silicon phase, which exhibits a lameller morphology in unmodified alloys, is transformed into small, mutually independent and globular eutectic silicon morphology in the modified and heat treated castings [18,19].

The Al7Si0.3Mg alloy exhibits a finer dendritic structure with respect to the Al5Si0.3Mg alloy. The volume fraction of the eutectic silicon phase is relatively higher in the A356 alloy due to the higher Si content.

Heat treatment results in the formation of a uniform distribution of fine Mg_2Si precipitates. In addition, it was observed that the eutectic silicon phase in both alloys was homogeneously distributed in the structure due to the heat treatment effect.

In this study, D method described in the study of Vandersluis and Ravindran to compare the SDAS measurement methods, was used [20].

SDAS of the Al5Si0.3Mg alloy is larger than the Al7Si0.3Mg alloy at each production step of the production process: as-cast, T6 heat treated and paint baked.

SDAS results are in agreement with those given in the literature. Djurdjevič and Grzinčič reported that the high concentration of alloying elements leads to the formation of finer dendrites. [23]

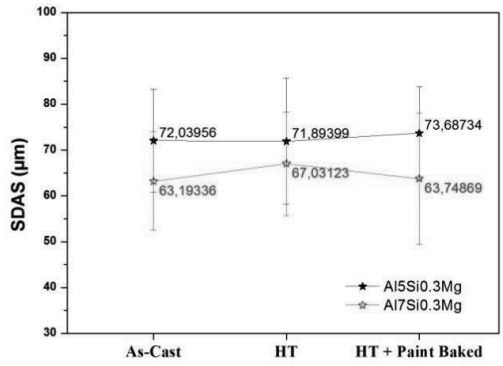


Fig 2. The SDAS values of the alloys.

The macrostructures of the grain refined and unrefined Al5Si0.3Mg and Al7Si0.3Mg alloys are shown in Figure 3. The grain size of Al5Si0.3Mg alloy is finer than Al7Si0.3Mg alloy.

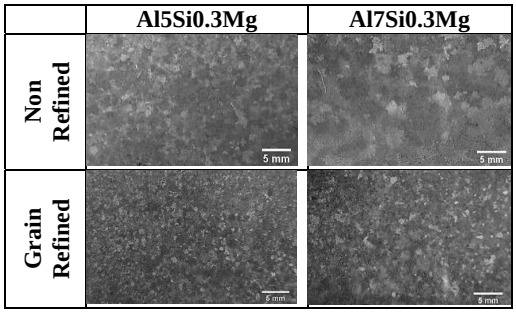


Fig 3. Macrostructures of non-refined and grain refined alloys.

According to Birol's work, Si-containing Al-Si alloys up to 5% by weight have been reported to have relatively small grain sizes compared to commercial pure aluminium. On the other hand, Al-Si alloys with higher Si (>5wt-%) have been reported to have very coarse grains along the entire cross section and also some columnar grains on the edges [12]. The grain structure of the Al5Si0.3Mg alloy is finer.

Typical yield, tensile strength and elongation values for the investigated alloys during the manufacturing process are illustrated in Figure 4. Effect of heat treatment and paint bake cycle on the hardness values for both alloys are given in Figure 5.

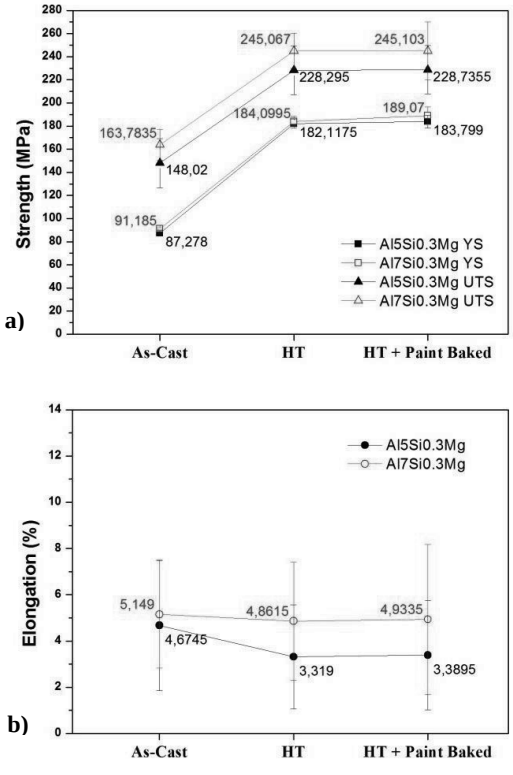


Fig 4. (a) Yield Strength and UTS, (b) elongation values of the alloys.

Tensile test results show that the Al7Si0.3Mg alloy offer relatively higher yield strength, tensile strength and elongation values with respect to the Al5Si0.3Mg alloy at every stage of the manufacturing process. The higher strength of the Al7Si0.3Mg alloy in the as-cast state can be explained by the reduction of the SDAS values by the increased Si content in spite of a relatively coarser grain structure.

The higher strength of the Al7Si0.3Mg alloy than the Al5Si0.3Mg alloy in the heat treated specimens can be accounted for by the higher Si content and thus a higher population of fine hardening Mg_2Si precipitates in the structure [19,21,22].

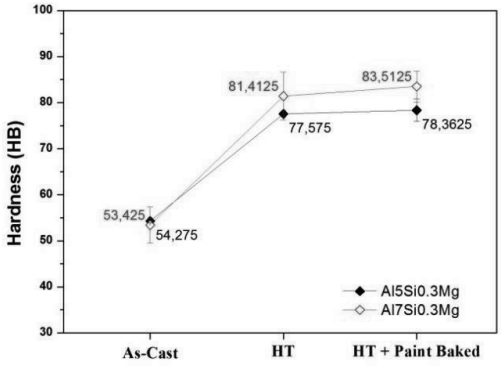


Fig 5. Hardness values of the alloys.

It is worth noting that the curing applied in the paint process increases the strength values further very slightly, owing to the additional partial artificial aging effect.

Studies by Zolotorevsky et al. show that the increase in Si concentration in the modified Al-Si alloys to ~ 14% Si improves the mechanical properties. This can be explained by the increase in the Si content and the decrease in the SDAS values [24]. As reported in the literature, the mechanical properties increase with decreasing SDAS values [23].

The fluidity test was employed using the spiral flow casting mold with a precise control of the mold temperature, the melt temperature and the flow rate. In a study by Di Sabatino and colleagues, it was noted that the casting temperature and alloy composition are the main parameters affecting fluidity [25]. Fluidity increased with the silicon content.

It is shown in Figure 6 that the A356 alloy filled the mold 11 cm more than the alloy of Al5Si0.3Mg alloy. The higher fluidity of the standard wheel alloy, A356, is believed offer better feeding characteristics, which in turn, improve the soundness of the casting and thus lead to the superior structural quality and mechanical properties.

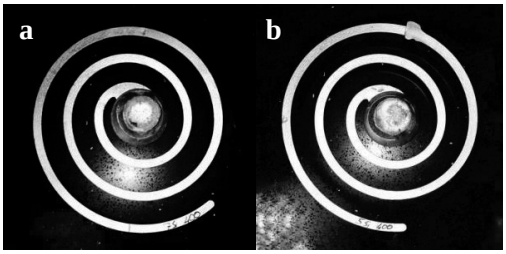


Fig 6. Spiral test results at 400 °C (a) Al7Si0.3Mg with fluidity length 205 cm, (b) Al5Si0.3Mg with fluidity length 194 cm.

4. Conclusions

This study has led to the following conclusions:

1. The wheel alloy containing %7 Si has a relatively finer dendritic structure than the alloy containing %5 Si. According to SDAS measurements, the SDAS value of Al7Si0.3Mg is smaller than Al5Si0.3Mg. This decrease in SDAS can be attributed to the fact that the greater amount of solute content during the solidification of the higher silicon containing alloy (%7 Si).
2. The T6 heat treatment results in the formation of fine Mg_2Si precipitates in the structure and provides a fine homogeneous distribution in the structure.
3. While the grain size of the Al5Si0.3Mg alloy is smaller than the Al7Si0.3Mg alloy, the mechanical properties of the Al7Si0.3Mg alloy in the all groups seem to be higher. This implies that the scale of the dendritic structure overrides the effect of the grain structure. The smaller SDAS in the Al7Si0.3Mg alloy is credited for the relatively superior mechanical properties. It is thus fair to conclude that the SDAS is indeed an important structural parameter in aluminium casting alloys and more effective than grain size on mechanical properties.
4. The higher fluidity of the standard wheel alloy, A356, is believed offer better feeding characteristics, which in turn, improve the soundness of the casting and thus lead to the superior structural quality and mechanical properties.
5. The Al5Si0.3Mg alloy as a potential alternative wheel alloy does not provide any advantage over the Al7Si0.3Mg alloy. When an industry-wide assessment is made, it appears that it is more appropriate to use the standard A356.0 alloy, which is widely used all over the world, as it is easier to manufacture and more economical than the Al5Si0.3Mg alloy, for wheel production.

Acknowledgement

It is a pleasure to thank Caner KALENDER for experimental work. The present work was supported by TUBITAK.

References

[1] G. S. Cole, A. M. Sherman Materials Characterization, 35 (1995) 3-9.

[2] <http://www.european-aluminium.eu> Tarih: 30.05.2017

[3] J. R. Davis, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 1993, Ohio, USA.

[4] J. E. Hatch, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, 1984, Ohio, USA.

[5] J. E. Gruzleski, B. E. Closset, The Treatment of Liquid Aluminium–Silicon Alloys, American Foundrymen´s Society Inc, 1999, Des Plaines, USA.

[6] A. Cibula, J. Inst. Met., 76 (1949) 321–360.

[7] P. S. Mohanty, J. E. Gruzleski, Acta Materialia, 44 (1996) 3749-3760.

[8] J. G. Kuauffman, E. L. Rooy, Aluminum Alloy Castings; Properties, Processes, and Applications, ASM International, 2004, Ohio, USA.

[9] Z. Fan, Y. Wang, Y. Zhang, T. Qin, X. R. Zhou, G. E. Thompson, T. Pennycook, T. Hashimoto, Acta Materialia, 84 (2015) 292-304.

[10] E. Samuel, B. Golbahar, A. M. Samuel, H. W. Doty, S. Valtierra, F. H. Samuel, Materials and Design, 56 (2014) 468-479.

[11] S. A. Kori, B. S. Murty, M. Chakraborty, Materials Science and Engineering A, 283 (2000) 94-104.

[12] Y. Birol, Materials Science and Technology, 28 (2012) 385-389.

[13] D. Qiu, J. A. Taylor, M-X. Zhang, P. M. Kelly, Acta Materialia, 55 (2007) 1447-1456.

[14] Y. C. Lee, A. K. Dahle, D. H. StJohn, J. E. C. Hutt, Materials Science and Engineering A, 259 (1999) 43-52.

[15] L. Yuan, D. Chao, L. Yan-xiang, Trans. Nonferrous Met. Soc. China,21 (2011) 1435-1440.

[16] Y. Birol, Journal of Alloys and Compounds, 513 (2012) 150-153.

[17] Y. Birol, Materials Science and Technology, 30 (2014) 1154-1161.

[18] El Sabei Elsebaie, O., Samuel, A. M., Samuel, F. H., (2011), Effects of Sr-modification, iron-based intermetallics and aging treatment on the impact toughness of 356 Al–Si–Mg alloy, Journal of Materials Science, 46, 3027-3045

[19] A. Manente, G. Timelli, Optimizing the Heat Treatment Process of Cast Aluminium Alloys, Ed. Z. Ahmad, Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminium Alloys, 2011, Intech, Rijeka, Croatia.

[20] E. Vandersluis, C. Ravindran, Metallography, Microstructure, and Analysis., 6, (2017) 89-94.

[21] G. E. Totten, D. S. MacKenzie, Handbook of Aluminum Volume 1: Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker Inc., 2003, New York, USA.

[22] ASM Handbook, Heat Treating, Volume 4, ASM International, 1991.

[23] M. B. Djurdjevič, M. A. Grzinčič, Archives of Foundry Engineering, 12 (2012) 342–355.

[24] V. S. Zolotorevsky, N. A. Belov, M. V Glazoff, Casting Aluminum Alloys, Elsevier Science, 2007, Oxford, UK.

[25] M. Di Sabatino, S. Akhtar, L. Amberg, Metallurgical Science and Technology, 30-1 (2012) 22-28.

A356 Al Alaşımında Katılaşma Hızı ve Sr Modifikasyonunun Mikroyapı ve Korozyon Davranışına Etkisi

Effect of Solidification Rate and Sr Modification on Microstructure and Corrosion Behaviour of A356 Al Alloy

İsmail Öztürk, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan

İstanbul Üniversitesi

Abstract

In this study, A356 Al alloy was produced by sand mold and die casting method with no Sr addition and 400 ppm Sr modification. Microstructure and corrosion properties of cast samples were investigated depending on production conditions. Microstructure and corrosion tests of the samples were carried out after the casting operations in which sand and core moldings were performed respectively at liquid metal temperature of 700 ± 10 °C. Microstructure analyzes were carried out under a light microscope and electrochemical tests were carried out in a 3.5% NaCl solution at room temperature using a potentiodynamic polarizing technique. As a result of the tests carried out, the mold material was found to be effective in determining the microstructure and corrosion properties of the alloys.

Özet

Bu çalışmada, A356 Al alaşımı Sr ilavesiz ve 400 ppm Sr modifikasyonu yapılarak kum ve kokil kalıba döküm yöntemi ile üretilmiş ve döküm numunelerinin olarak mikroyapı ve korozyon özellikleri üretim şartlarına bağlı olarak incelenmiştir. 700±10°C aralığındaki sıvı metal sıcaklığında sırasıyla kum ve kokil kalıplara gerçekleştirilen döküm işlemleri sonra numunelerin mikroyapı ve korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizleri ışın mikroskop altında, elektokimyasal testler ise %3.5 NaCI çözeltisinde, oda sıcaklığında potansiyodinamik polararizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştiilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda kalıp malzemesinin alaşımların mikroyapı ve korozyon özelliklerini belirlemede etkin olduğu görülmüştür.

1. Giriş

Alüminyum, diğer pek çok metale göre hafifliği, alaşımlandırıldığında istenen mukavemete ulaşabilmesi, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, yüksek korozyon direnci, geri dönüştürülebilirliği, yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti gibi özelliklerinden dolayı endüstride dikkat çekmektedir [1]. Özellikle yoğunluğunun (2,7 g/cm3) demirinkinin yaklaşık üçte biri olmasına rağmen alaşımlandırma ile mukavemetenin arttırılabilmesi sayesinde otomotiv ve havacılık alanlarındaki pek çok uygulamada tercih edilen malzeme olmuştur [3,4]. Al-Si alaşımları iyi mekanik özellikleri, iyi dökülebilirlik ve korozyon dirençleri nedeniyle havacılık ve otomativ sanayinde özellikle silindir kapağı, motor blokları ve silindir gömleği gibi hafifi parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Al–Si alaşımları, tüm alüminyum alaşımları arasında en yüksek akışkanlık kabiliyetine sahip olmasına karşın mukavemeti orta seviyededir [5]. Ancak tane inceltmesi ve silisyum modifikasyonu uygulanarak akışkanlığı azalmadan mukavemet değerleri oldukça arttırılabilmektedir [6]. Stronsiyum, silisyum modifikatörü; Ti-B master alaşımları da tane inceltici olarak uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Sr ilavesi ile gerilim birikmesine neden olan iğnemsi yapılar inceltilir ve Ti-B ilavesi ile de tane boyu azaltılır. Böylece mikroyapı istenen hale gelmiş olur [7,8]. Mikroyapıdaki bu değişim mekanik özellikleri de doğrudan olumlu olarak etkilemektedir [9]. Al–Si alaşımına yapılan az miktardaki bakır ilavesi de malzemenin mukavemet değerlerini arttırır; talaş kaldırma ve ısıl işleme uygunluk özelliklerini olumlu yönde etkiler [10]. A356 alaşımlarının mekanik özellikler dışında korozyon özelliklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur [11-13]. Huanhuan ve diğ. Yapmış oldukları çalıimada [11], A356 alaşımının korozyon özelliklerini alaşım yüzeyine gerçekleştirdikleri Ce film ile iyileştirmişlerdir.El-Khair ve arkadaşları A356 alaşımını A356- Al/ZrO2 kompoziti ile kıyaslayarak raporlamışlardır [12]. Arrabal yapmış olduğu çalışmada [13] A356 alaşımını Nd ile modifiye ederek korozyon özelliklerini incelemişlerdir.

Al-Si alaşımlarında Sr modifikasyonu döküm parçaları için bir çok avantaj sağlamaktadır. Özellikle, alaşımların mekanik özellikleri ve dökülebilirlikleri bu yöntemle iyileştirilebilmektedir. Sr modifikasyonu ile kaba Si ötektik fazı fiberli bir yapıya dönüştürülmekte ve alaşımın katılaşması sırasında meydana gelen değişimler nedeniyle daha ince bir mikroyapı elde edilmektedir. Oldukça düşük miktarlarda Sr ilavesi bile ötektik ve ötektik altı Al-Si alaşımlarının mikroyapılarını olumlu yönde etkilemekte ancak Sr'un oksijene olan yüksek bağlılığı, sıvı alaşımın bekletme süresine bağlı olarak yüzeyde $SrO.Al_2\ O_3$ gibi spinel oksit yapılar oluşturabilmektedir.

Bu çalışmada katılaşma hızı, modifiye metalin mikroyapıya etkileri ve mekanik-korozyon özelliklerinde değişim tekrarlı deneyler ile ayrıntılı oloarak incelenecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan A356 Al alaşımı Eti Alüminyum firmasından tedarik edilmiştir ve spektro çıktısı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. A356 Al alaşımına ait kimyasal bileşim (%)

Si	Fe	Mg	Ti	Sb	*
6.95	0.13	0.24	0.13	0.0011	0.0012

*P+B+Cu

Alaşım, 3.6 KW gücünde Daihan WiseTherm laboratuvar tipi ısıl işlem fırınında SiC potalara şarj edilen ergitilmiştir. Ergitme işlemi sonrasında döküm, gravite döküm yöntemi prensibine göre kum ve kokil kalıp içerisine doğrudan boşaltılarak gerçekleştirilmiştir.

Döküm işlemleri 700±10°C aralığındaki sıvı metal sıcaklığında uygulanmıştr. Her bir alaşımın fırın içerisinde 1 saat 15 dk bekletilmiş sonrasında Sr ilavelesi yaspılarak toplam 1 saat 30 dk fırın içerisinde sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Katılaşma işlemi için ayrıca bir soğutma uygulaması yapılmamış, parçanın kalıp içerisinde kendiliğinden katılaşması sağlanmıştır. Döküm numunelerinin oda sıcaklığına gelmesinden sonra gerekli testler için boyutlandırılmıştır.

Mikroyapı incelemeleri, Nikon ME600L marka ve model ışık mikrosbunda incelenmiştir. Elektrokimyasal testler ise, Gamry Instruments Reference 600 potansiyostat/galvanostat/ZRA model cihaz kullanılarak ve polarizasyon eğrileri için DC Corrosion 105 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Testler çift cidarlı, üç elektrodlu standart bir hücrede, %3,5'lik NaCI çözeltisi içerisinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Karşı elektot olarak platin folyo, referans elektrot olarak doymuş KCl çözeltisi içeren Ag/AgCl elektrot ve çalışma elektrodu olarak da yüzeyi çözeltiyle teması 1 cm^2 olacak şekilde maskelenmiş döküm alaşımları kullanılmıştır.

Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri bir saatlik bekleme süresini sonrasında ulaşılan denge potansiyelinden itibaren 0.5 mV s^{-1}'lik tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile Tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (i_{kor}) ve anodik ve katodik Tafel eğimleri (β_a, β_c) değerleri hesaplanmıştır. Bu dataları kullanarak ve Stren–Geary eşitliği (Eşitlik 1) yardımıyla alaşımların polarizasyon dirençleri hesaplanmıştır [3,4].

$$R_p = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 i_{corr}(\beta_a + \beta_c)} \quad (1)$$

Döküm numunelerine ait ait korozyon hızları (r_{kor}) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

$$r_{kor} = 3.27 \times 10^{-3} \times \frac{i_{kor} M}{nd} \quad (2)$$

Bu eşitlikte ; M: Atom ağırlığı (g/mol), i_{kor}: Korozyon akım yoğunluğu (mA cm^{-2}), n: Elektron sayısı, d: Yoğunluk (g/cm^3) tur.

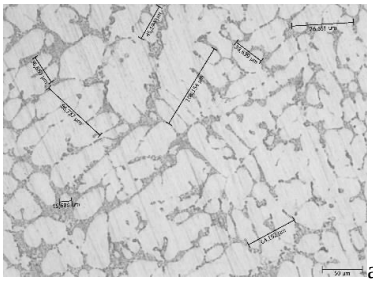
3. Sonuçlar ve Tartışma

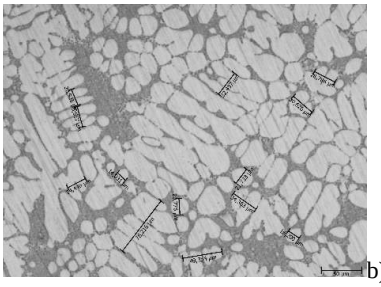
Şekil 1'de A356 alaşımına ait 700°C'de ergitilmiş, kokil ve kum kalıba dökülmüş numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı resimlerinden görüldüğü üzere kokil kalıba yapılan dökümlerde ötektik silisler ve α-Al dendritler kum kalıba oranla daha küçüktür. Sr modifikasyonun kokil kalıp için ötektik yapının daha ince ve küresel bir yapıya dönüşmesine neden olduğu görülmektedir. Ancak bu durum kum kalıp için geçerli değildir. Kum kalıba yapılan dökümlerde ise kokil kalıba yapılan dökümlere nazaran daha kaba bir α-Al fazı ve ötektik yapı elde edilmiştir. Bununla birlikte hızlı katılaşmanın etkisiylekokil kalıpda Sr modifikasyonu uygulanmayan dökümlerde bile nispeten ince bir ötektik yapı elde edilebilmiştir.

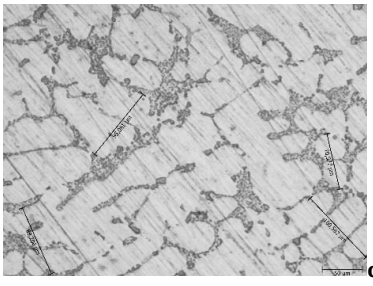
Çizelge 2' de Şekil 1'de verilen döküm numunelerine mikroyapılar üzerinden hesaplanan dentrit kolları arası mesafe değerleri verilmiştir.

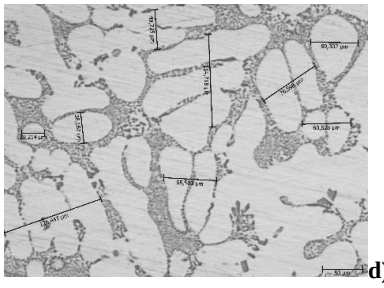
Çizelge 2. Döküm numunelerine ait hesaplanmış dentrit kolları arası mesafe (mikron)

	A356	**A356+400 ppm Sr**
Kokil	19.6	13.7
Kum	35.1	36.2


a)

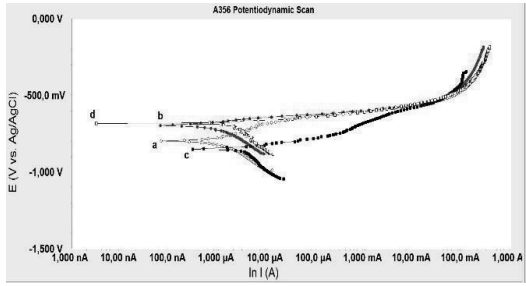

b)


c)


d)

Şekil 1. A356 Al alaşımlarına ait mikroyapı resimleri a) kokil-modifiyesiz, b) kokil-400 pm Sr, c) kum-modifiyesiz, d) kum-400 pm Sr

Şekil 2'de bu çalışma kapsamında üretilen döküm numunelerine ait potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve Çizelge 3'de ise bu eğrilerden hesaplanan korozyon parametreleri verilmiştir.



Şekil 2. A356 al alaşımına ait potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinumunelerine ait tafel eğrileri a) kokil-modifiyesiz, b) kokil-400 pm Sr, c) kum-modifiyesiz, d) kum-400 pm Sr

Şekil 2 ve Çizelge 3 beraber incelendiğinde katılaşma hızının ve Sr modifikasyonun alaşımın korozyon özelliklerini belirlemede önemli rol oynadığı görülür. Katılaşma hızına bağlı değişen mikroyapı beraberinde korozyon dayanımını değiştirmiştir. Kokil kalıpta hızlı katılaşan döküm numunesi, kum kalıpta yavaş katılaşan döküme oranla testlerin gerçekleştirildiği ortam olan NaCl çözeltisinde daha yüksek bir korozyon dayanımına sahiptir. Bununla birlikte kokil kalıba yapılan Sr modifikasyonu alaşımın korozyon özelliklerini daha da iyileştirmiştir.

Sr modifikasyonunun hem kokil hem de kum kalıp için için korozyon özellikleri açısından olumlu etkisi vardır. Korozyon hızı kokil kalıpta Sr modifikasyonu sayesinde yaklaşık 6 kat, kum kalıpta yine Sr modifikasyonu sayesinde yaklaşık 2 kat iyileşmiştir.

Çizelge 3. Tafel eğrilerinden elde edilen parametreler

	i_{cor} **(µA)**	$-E_{cor}$ **(mV)**	R_p **(kΩ)**	r_{cor} **(mm/y)**
a	1.89	790	24.5	0.0206
b	0.32	690	40.0	0.0035
c	3.88	850	5.5	0.0422
d	1.76	680	6.6	0.0191

Referanslar

1. Lumley, R., 2011, Fundamentals Of Aluminium Metallurgy, Woodhead Publishing, Cornwall, Bk, Isbn:978-1-84569-654-2.

2. Din, T., Campbell, J., 1996, High Strength Aerospace Aluminium Casting Alloys: A Comperative Study,Materials Science And Technology, 12, 644-650.

3. Din, T., Rashid A. K. M. B., Campbell, J., 1996, High Strength Aerospace Casting Alloys: Quality Factor Assessment, Materials Science And Technology, 12, 269-273.

4. Çolak M., Kayikci R., Dişpinar D., Influence Of Different Cross Sections On Fluidity Characteristics Of A356, Transactıons Of The Indıan Instıtute Of Metals, Vol.68, Pp.275-281, 2015

5. Dispinar D., Akhtar S., Nordmark A., Di Sabatino M., Arnberg L., Degassing, Hydrogen And Porosity Phenomena In A356", Materıals Scıence And Engıneerıng A-Structural Materıals Propertıes Mıcrostructure And Processıng, Vol.527, Pp.3719-3725, 2010

6. Ludwig T., Dişpinar D., Di Sabatino M., Arnberg L., Influence Of Oxide Additions On The Porosity Development And Mechanical Properties Of A356 Aluminum Alloy Castings, International Journal Of Metal Casting, Pp.41-50, 2012

7. Caceres, C. H., And B. I. Selling. Casting Defects And The Tensile Properties Of An Al Si Mg Alloy. Materials Science And Engineering: A 220.1 (1996): 109-116.

8. Dai, X., Et Al. Effects Of Runner System Design On The Mechanical Strength Of Al–7si– Mg Alloy Castings. Materials Science And Engineering: A 354.1 (2003): 315-325.

9. Wang, D., And R. A. Overfelt. Oscillating Cup Viscosity Measurements Of Aluminum Alloys: A201, A319 And A356. International Journal Of Thermophysics23.4 (2002): 1063-1076.

10. Dispinar D., Campbell J., Porosity, Hydrogen And Bifilm Content In Al Alloy Castings, Materıals Scıence And Engıneerıng A-Structural Materıals Propertıes Mıcrostructure And Processıng, Vol.528, Pp.3860-3865, 2011.

11. Huanhuan sun, hui Wang, Fanlig Meng, study of Corrosion Protection of the Composite Films A356 Alloy, j.of rare Earths, 29,10, 2011

12. El-Khair M.T, Abdel Aal A., Erosion Corrosion and Surface protection of A356 al/ZrO2 composites, materials Science and eng. A 454-455, 2007, 156-163.

13. Arrabal R., Ming B. ve diğ., Pitting Corrosion of Rheocast A356 aluminium alloy in 3.5wt. %NaCl solution, Corrosion Sc., 73, 2013, 342-355.

Endüstri 4.0'ın Alüminyum Döküm Sektörüne Sağlayacağı Yeni Fırsat Alanları

New Opportunities That Industry 4.0 is Going to Contribute to the Aluminum Casting Sector

Şener Muter
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

Abstract

Automotive and automotive supplier companies are among the best examples in the effective practice of Industry 4.0. The practice of Industry 4.0 provides new opportunities to aluminum casting companies that are the main suppliers to the automotive sector. Industry 4.0 has started the era of effective communication among machinery and equipment in the production line. Industry 4.0 has also started a breakthrough in innovative activities and the increase of efficient production. Industry 4.0 activities that have started under the leadership of Germany and USA has started the concept of smart production economy of the future. Industry 4.0 is important for those industrial enterprises that aim to be successful in the global competition. Awareness level of Industry 4.0 in Turkey has to be raised and the basic options are to be evaluated. Industry 4.0 and internet of things will drive efficiency and create new opportunities in the aluminium casting sector. These issues will significantly influence the strategies and the future of the aluminium casting sector.

Özet

Otomotiv ve otomotiv yan sanayi sektörleri Endüstri 4.0 sürecinin en etkili biçimde uygulandığı sektörler arasında yer almaktadır. Endüstri 4.0 uygulamaları otomotiv yan sanayi konumunda olan alüminyum döküm şirketleri için yeni fırsat alanları yaratmaktadır. Endüstri 4.0 makineler ve cihazlar arasında iletişim çağını başlatmakta, inovasyon ve verimli üretim artışı konularında yeni bir çığır açmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarıyla kapsamlı bir değişim ve dönüşüm süreci yaşanmaktadır. Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri öncülüğünde uygulanmaya başlayan Endüstri 4.0 geleceğin akıllı üretim ekonomisi kavramını gündeme getirmekte ve küresel rekabette başarılı olmak isteyen kuruluşlar için büyük bir önem taşımaktadır. Türkiye'de Endüstri 4.0 süreciyle ilgili farkındalık düzeyinin artırılması ve bu konuda birtakım temel görüşlerin değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti uygulamaları alüminyum döküm sektöründe verimliliği artıracak ve yeni fırsatlar yaratacaktır. Bu gelişmeler alüminyum döküm sektörünün stratejilerini ve geleceğini önemli boyutlarda etkileyecektir.

1.Giriş

Endüstri 4.0 uygulamalarıyla iş dünyasında birtakım sektörler kapsamlı bir değişim ve dönüşüm sürecine girmiş bulunmaktadır. Bilgisayar programlarının ve gelişmiş yazılımların makinelere ve cihazlara entegre edilmesi sonucu nesnelerin interneti ve akıllı üretime geçiş dönemi başlamıştır. Türkiye'nin alüminyum döküm sektöründeki konumunun incelenmesi ve geleceği ile ilgili bir vizyon belirlenmesi gerekmektedir.

Otomasyon sistemleri, robotlar ve yapay zeka uygulamaları şirketlerde mühendislik altyapısının ve rekabet gücünün geliştirilmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamaları yaygınlaştıkça beden gücüyle çalışan insan kaynaklarına duyulan talep azalmaktadır. Robotların ve otomasyon sistemlerinin yaygınlaşmasıyla nitelikli işgücü ihtiyacı giderek artmaktadır. Bunlara bağlı olarak yeni istihdam politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir. [1] İş dünyasının dijitalleşmesi ve makinelerin birer akıllı çalışma birimleri haline gelmeleri iş yasasıyla ilgili düzenlemelerin yeniden ele alınmasını gerektirmektedir.

Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalar 2011 yılında Almanya'da başlanmış olup öngörülen ekonomik ve teknolojik gelişmeler nedeniyle tüm dünyada yükselen bir değer olarak benimsenmektedir. Böylece çeşitli sektörlerde gerçekleştirilen kalite, karlılık ve verimlilik artışlarıyla ulusal ve uluslararası kapsamda rekabet gücünün artırılması söz konusu olabilmektedir. [2]

2. Dijitalleşme ve Ağ Yapılanması

İş dünyasında karşılaşılan sorunlara ve ekonomik darboğazlara bilişim teknolojileriyle çözüm aranması gerekmektedir. Dijitalleşme sosyal, ekonomik ve üretimle ilgili problemlerinin çözümüne katkı sağlayacak ortak bir proje konumunda bulunmaktadır. [3] Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri öncülüğünde uygulanmaya başlayan Endüstri 4.0, bir başka deyişle 4. Sanayi Devrimi dijital dönüşümün yaygınlaşması sonucu geleceğin akıllı üretim ekonomisi kavramını gündeme getirmekte ve küresel

rekabette başarılı olmak isteyen kuruluşlar için de yol gösterici olmaktadır.

Yoğun küresel rekabet karşısında şirketler varlıklarını ve pazar paylarını sürdürebilmek için dijitalleşme sürecini başarıyla gerçekleştirmek zorundadır. Endüstri 4.0 şirketler için teknolojik gelişme fırsatları sağlarken nitelikli iş gücünü zorunlu kılan yeni meslekler ve yeni istihdam alanları da gündeme gelmektedir. Şirketler elemanlarını robotlarla birlikte çalışacağı farklı geleceğe hazırlamaları konusunda önemli bir sorumluluk taşımaktadır. [4]

Yüksek katma değerli ürünlere duyulan talep dünya çapında hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye'nin ihracatında ileri teknoloji kullanılarak üretilen ürünlerin payı yüzde 4 dolaylarında bulunmaktadır. Türkiye Sanayi Stratejisi katma değeri yüksek ileri teknoloji ürünlerinin üretilmesini öngörmektedir. Bir başka deyişle Türkiye katma değeri yüksek ürünler üretme ve uluslararası üretim zincirinden daha çok pay alma hedefine yönelmektedir. [5]

Türkiye'nin 2023 yılında dünyanın ilk 10 ekonomisi arasında yer alması için yılda ortalama yüzde 8,5 oranında büyümesi gerekmektedir. Bu büyüme hedefi yeni teknoloji yatırımlarının yapılmasıyla ve teknolojinin daha etkin ve verimli yöntemlerle kullanılmasıyla gerçekleşebilecektir. Türkiye büyük bir genç işgücü potansiyeline sahip bulunmaktadır. Ülkemizde bilişim eğitiminde genç kuşaklara öncelik verilmesi, yetenekli yazılımcı ve programcıların sayılarının artırılması ve nesnelerin interneti uygulamalarının yaygınlaşması başarıya ulaşmada etkili olacaktır.

3. Otomotive Ana ve Yan Sanayi Açısından Endüstri 4.0

Nesnelerin birbiriyle iletişimi sağlayan tasarımlar "nesnelerin interneti" olarak tanımlanmaktadır. Endüstri 4.0 çalışmalarıyla nesnelerin interneti uygulamaları giderek artmaktadır. Internet ve mikro elektronik alanındaki gelişmeler sonucunda artık nesneler çevrelerini algılayabilmektedir. Ayrıca ileri düzeyde yazılımlarla algıladıkları verilerden anlamlı bilgiler çıkarabilmektedir. [6] Bireysel mobil ekipmanları olan müşteriler yeni teknolojiler yardımıyla sipariş verme, siparişi takip etme gibi konular başta olmak üzere lojistik süreçlerinde doğrudan yer almaktadır. Bu uygulamaların doğal bir sonucu olarak mobilite iş yapma standartlarına önemli kolaylıklar getirmektedir. İş dünyasındaki bu değişim etkili bir rekabet unsuru olarak kendini göstermektedir.

Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişimi ve koordinasyonu sağlayan tasarımlar Siber-Fiziksel Sistemler (CPS – Cyber-Physical Systems) olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0, modüler yapılı akıllı fabrikalarda, fiziksel işlemleri siber-fiziksel sistemler ile izleyerek, nesnelerin birbirleriyle ve insanlarla iletişime geçmesini ve merkezi olmayan kararların verilmesini hedef almaktadır.

Yeni dönemde fabrikaların öz denetim, kontrol ve sürekli geliştirme süreçleri insan duyuları yerine sensörlerle algılanıp, kendiliğinden harekete geçen robotik üretim araçlarıyla gerçekleştirilmektedir. Siber-fiziksel sistemlerin üretim, lojistik ve hizmetlerle entegrasyonu sonucunda günümüzdeki fabrikaların ekonomik potansiyele sahip Endüstri 4.0 fabrikalarına dönüşebilmesi mümkün olacaktır.

Teknolojideki yeni gelişmeleri izleyen şirketler Endüstri 4.0 uygulamalarına uyum sağlama çalışmalarına başlamış bulunmaktadır. Türkiye birtakım sektörlerde Endüstri 4.0 uygulamaları konusunda önemli bir potansiyele sahip bulunmaktadır. Otomotiv sektörü Endüstri 4.0'la ilgili çalışmalarda Türkiye'de öncü sektörler arasında yer almaktadır.

Türkiye'de otomotiv sektöründe uygulanmaya başlayan Endüstri 4.0 teknolojisi, verimliliği artırmakta ve ürünlerin pazara çıkış sürelerini kısaltmaktadır. Türkiye'de verimliliği, kaliteyi ve dijitalleşmeyi artırmak için endüstri yönetiminde daha çok uzmanlaşma gerekmektedir. Türkiye'de Endüstri 4.0 kapsamındaki çalışmalarda endüstri sektöründe daha fazla esneklik sağlanması da hedef alınmaktadır.

Ana otomotiv sanayi şirketleri yeni bir motorlu araç üretecekleri zaman yan sanayi konumundaki tedarikçi şirketlerin üretim deneyimi olan uzmanlarından yararlanmaktadır. Buna bir örnek olarak, alüminyum döküm şirketlerinin döküm parça tasarımı ve üretimi uzmanlarının yeni bir motorlu aracın tasarımı aşamasında otomotiv ana sanayi şirketlerinin proje ekibinde görev almaları ve kendi uzmanlık dallarında ana otomotiv sanayi şirketlerine katkıda bulunmaları gösterilebilir. [7]

4. Alüminyum Döküm Sektöründe Endüstri 4.0'ın Önemi

Endüstri 4.0 uygulamaları ileri teknoloji, ekonomik büyüme, nitelikli istihdam ve katılımcı yönetim anlayışını öngörmektedir. Bu nedenle ürünlerin tasarımından müşterilere erişimine kadar tüm aşamalarda kalite ve verimlilik artışı hedef alınmaktadır.

Bir alüminyum döküm şirketinin klasik yöntemlerle iş süreçlerini sağlıklı yönetebilmesi ve rekabet gücünü artırabilmesi kolay olmamaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarıyla şirketlerde verimlilik ve karlılık oranları artmaktadır. Verimlilik artışı mevcut tesislerde kullanılabilecek daha boş kapasitelerin bulunduğu ortaya çıkmakta ve bu boş kapasiteler daha az harcamalarla yeni yatırımlara dönüştürülebilmektedir.

Uluslararası pazarlarda yoğun rekabet, üretimde yüksek maliyet baskısı, yeni teknoloji ve verimlilik artırma yatırımları, enerji maliyetleri ve çevresel sınırlamalar alüminyum döküm sektöründe birtakım darboğazlar yaratmaktadır. Türkiye'de Endüstri 4.0 uygulamalarında hangi sektörlere öncelik verilebileceği de önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de otomotiv, otomotiv yan sanayi, makine, beyaz eşya, elektronik, tekstil, gıda ve mobilya üretimi gibi sektörler Endüstri 4.0 uygulamalarında öncelik verilebilecek sektörler arasında bulunmaktadır.

4.1. Endüstri 4.0 Uygulamalarıyla Alüminyum Döküm Sektöründe Rekabet Gücünün Artışı

Otomotiv sektöründe otomasyon uygulamaları ve robotların kullanımı giderek artmaktadır. Ülkemizde Endüstri 4.0 sürecinin somut olarak uygulanabileceği sektörler arasında ana otomotiv sanayi şirketlerinin önemli tedarikçileri arasında yer alan alüminyum döküm şirketleri de bulunmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamaları otomotiv yan sanayi konumunda olan alüminyum döküm şirketleri için yeni fırsat alanları yaratmaktadır.

Alüminyum döküm şirketleri Endüstri 4.0 uygulamalarıyla küresel ekonomideki konumunu güçlendirecek önemli bir dönüşüm fırsatının eşiğinde bulunmaktadır. Alüminyum döküm sanayisinin geliştirilmesini ve rekabet gücünün artırılmasını sağlamak amacıyla Endüstri 4.0 uygulamalarından yararlanılması büyük bir önem taşımaktadır.

Alüminyum döküm sektöründe şirketlerin rekabet güçlerini geliştirebilmeleri ve yeni teknolojilerle baş edebilmeler için dijitalleşme ve ağ yapılanması konularına öncelik vermeleri gerekmektedir. Dijitalleşme şirketlerin iş yapma biçimlerini olumlu yönde etkilemektedir. Dijitalleşme sonucu iş süreçleri daha izlenebilir hale gelmekte, yönetim şeffaf olmakta ve bilgiye daha hızlı ulaşılabilmektedir. Bu nedenle dijital dönüşümün bir devlet politikası olarak benimsenmesi ve tüm sektörlerle paylaşılması yararlı olacaktır.

4.2. Alüminyum Döküm Şirketlerinin Otonom Bir Yapıya Kavuşması

Alüminyum döküm şirketlerinde üretim hatlarının sadece otomatik bir yapıya kavuşturulması yeterli olmamakta, üretim hatlarının ayrıca kendi kendini yönetebilen otonom bir yapıya kavuşturulması da gerekmektedir. Bu gelişmelere bağlı olarak üretim süreçlerinde somut değişimler meydana gelmektedir. Akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar ve çeşitli sensörler aracılığıyla üretim ve lojistik süreçlerinde her geçen gün yeni gelişmeler göze çarpmaktadır. Bilgi transferi, yönlendirme, karar verme, gerçek zamanlı süreç takibi gibi destek fonksiyonlarının daha ucuza mal edilen sensörler aracılığıyla yapılması hız, kalite ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. [8]

Günümüzde Endüstri 4.0 yaklaşımı genel olarak teknolojik açıdan ele alınmaktadır. Endüstri 4.0 sadece teknolojiyle ilgili değildir. Endüstri 4.0'ın öngördüğü yeni iş organizasyonun ayrıntıları, iş dünyasının ekonomik ve ticari fırsatlar konusunda daha fazla bilgi sahibi olmasını gerektirmektedir. Ayrıca Endüstri 4.0 süreci yeni yönetim anlayışına duyarlı olmayı da zorunlu kılmaktadır. [9]

5. Alüminyum Döküm Süreçlerinde Üretim Parametrelerinin Gerçek Zamanlı Kontrolu

Alüminyum döküm parçaların üretimi için projelendirilen iş akış diyagramlarında genel olarak çok sayıda işlemler bulunmaktadır. Alüminyum döküm süreçlerinde yapılan bu işlemler sıradan işlemler olmayıp her bir işlemin kapsamında izlenmesi gereken çeşitli kontrol parametreleri bulunmaktadır.

Alüminyum döküm parçalar klasik yöntemlerle üretildiği zaman kontrol parametrelerinin gerçek zamanlı ve hassas verilerle izlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle Endüstri 4.0 uygulamaları kaliteli alüminyum döküm parçaların üretiminin güvence altına alınması açısından büyük bir önem taşımaktadır.

5.1. Alüminyum Döküm Parçaların Üretimini Gerçekleştiren İşlemler

Otomotiv sektöründe kullanılan alaşımlı alüminyum döküm parçalara örnek olarak motor bloğu, silindir kafası, diferansiyel kutusu, transmisyon kutusu, emme manifoldu, suspansiyon parçaları, fren sistemi parçaları ve jantlar gösterilebilir. Alaşımlı alüminyum döküm parçaların üretimi, her parçanın özelliklerine bağlı olarak, 30'a yakın farklı işlemlerden geçerek tamamlanmaktadır. Ayrıca her işlemin kapsamında farklı sayılarda kontrol parametreleri bulunmaktadır.

Alüminyum döküm parça üretimindeki işlemlerden örnekler:
- Döküm parçaların üretiminde kullanılacak alaşımlı alüminyum külçelerin kimyasal analizlerinin ve metalografik incelemelerinin yapılması,
- Alaşımlı alüminyum külçelerin kontrollu şartlarda ergitilmesi,
- Alüminyum döküm parçalarda kritik kesitlerden örnekler alınarak mikro yapının incelenmesi,
- Ergitme sırasında istenmeyen metal bileşiklerinin sıvı alüminyumdan ayrıştırılması,
- Sıvı alüminyum içinde gaz oluşumunun önlenmesi ve oluşan gazların giderilmesi,
- Alüminyum döküm parçaların üretiminde kullanılacak çelik veya pik kalıpların kesit kalınlıklarının hesaplanması ve yönsel katılaşmayı sağlayacak şekilde geometrik tasarımlarının yapılması,

- Üretilecek alüminyum döküm parçaların kesit kalınlıklarının hesaplanması ve yönsel katılaşmayı sağlayacak şekilde geometrik tasarımlarının yapılması,
- Bir alüminyum döküm parçanın üretileceği metal kalıpta zamana bağlı olarak meydana gelebilecek sıcaklık dağılımı değişimlerinin belirli sınırlar içinde tutulması,
- Döküm çevriminde döküm süresinin kısaltılması ve alüminyum döküm parçaların kalitesinde sapmaların minimuma indirilmesi,
- Alüminyum döküm sürecinde döküm kalıplarının basınçlı hava veya su ile soğutma sistemlerinin yönsel katılaşmayı sağlayacak şekilde hesaplanması ve tasarımlarının ona göre yapılması,
- Alüminyum parçaların dökümünde kullanılacak çelik veya pik döküm kalıpların duvar kalınlıkları, yolluk ve besleyici tasarımları döküm parçalarda yönsel katılaşmayı sağlayacak şekilde tasarlanması ve hesaplanması,
- Alüminyum döküm parçaların kullanım özelliklerine göre basınçlı hava ile sızdırmazalık testi yapılması,
- Alüminyum döküm parçaların üretimi sırasında önceden belirlenen iş akış diyagramındaki kritik işlemlerden örnek parçalar alınarak gözle incelemeler, mekanik özellikler, uzama katsayısı, kopma dayanımı, darbe testi, sertlik ölçümleri ve ölçü kontrollarının yapılması,
- Alüminyum döküm parçalarda iç çekintilerin, porositelerin ve döküm boşluklarının incelenmesi için röntgen kontrollarının yapılması, tarama yöntemiyle kabul sınırları dışına çıktığı belirlenen döküm parçaların fire olarak ayrılması,

5.2. Gerçek Zamanlı Kontrol Eksikliğinin Alüminyum Döküm Şirketlerine Maliyeti

Alüminyum döküm parçaların, baştan sona, tüm tasarım ve üretim aşamaları incelendiğinde nihai kaliteyi etkileyen yüzlerce kontrol parametresinin bulunduğu görülmektedir. Her işlemin çok sınırlı hata yapma toleransları ve hassasiyet gerektiren kalite kontrol yöntemleri bulunmaktadır. Bu işlemlerin herhangi birinde meydana gelebilecek tolerans limitlerinden sapmalar gerçek zamanlı kontrollar yapılamadığı zaman çok sayıda parçaların fireye ayrılmasına sebep olmaktadır. Bu durum alüminyum döküm şirketlerinde Endüstri 4.0 çalışmalarını engellemekte, verimliliği azaltmakta ve maliyeti artırmaktadır.

Alüminyum döküm parça üretim süreçlerinin her biri özel yazılımlarla takip edilmektedir. Üretim sırasında kontrol işlemleri sensörlerle yapılmaktadır. Kontrol kriterlerinin hassas ölçü birimleriyle tanımlanması gerekmektedir. Üretim hattındaki makinelerin ve cihazların akıllı olmalarını sağlayan en önemli etkenler arasında pratik bilgi birikimine sahip ve teknolojiye hakim olan elemanların katkıları bulunmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarında bir kişinin bilgi, tecrübe ve çabaları başarıya ulaşma konusunda yeterli olamamaktadır.

6. Sonuç

İş dünyasında Endüstri 4.0 uygulamaları çeşitli sektörlerde değer zincirinin tamamını ilgilendiren bir dönüşümü kapsamaktadır. Küresel pazarlarda Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşması Türkiye üzerindeki ticari rekabet baskılarını da giderek artırmaktadır. Endüstri 4.0'ın sağlayacağı fırsatlardan yararlanmak için bu konuda Türkiye sanayisinin çeşitli sektörlerde sahip olduğu potansiyelin incelenmesi ve bu dönüşümü gerçekleştirmeye yönelik fırsatların belirlenmesi gerekmektedir.

Nitelik ve uzmanlık gerektirmeyen meslekler Endüstri 4.0 sürecinde yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bulunmaktadır. İnsan kaynaklarının bilgi ve yeteneklerinin Endüstri 4.0 uygulamalarının öngördüğü teknolojik nitelikler kapsamında geliştirilmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum döküm süreçlerinde yaşanan engelleri aşmak için bilişim teknolojileriyle çözüm yolları aranmalıdır. Günümüzde şirketler üretimi artırma ve ekonomiyi geliştirme odaklı çalışmaları artık tek başına gerçekleştirememekte, sektörler arası dayanışma ve devlet desteği gerekli olmaktadır.

Ülkemizdeki işçilik ücretleri artık şirketlerin rekabet gücünü artırma konusunda yeterli olamamaktadır. Uluslararası pazarlarda rekabet gücünü artırmak için yeni teknoloji yatırımları, bilgi birikimi ve nitelikli işgücü zorunlu olmaktadır. Emek yoğun sektörlerde yaratılan katma değer zamanla hızlı bir şekilde azalmaktadır. Yeni teknoloji yatırımlarının finansal getirisi ve katma değer yaratma potansiyeli dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

Alaşımlı alüminyum döküm parçaların üretiminde, başta alüminyum külçeler olmak üzere, yüksek oranlarda ithal girdiye ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyum döküm sektöründe yeniliği, üretkenliği, verimliliği ve kaliteyi artırmak için yeni teknolojilerde uzmanlaşma zorunlu olmaktadır. Dijital teknolojilerin kullanımı üretim yönetiminde ve performans değerlendirme çalışmalarında başarıyı artırmaktadır. Ekonomilerin büyümesi, yeni teknolojiler, ithalat-ihracat dengelerinin değişmesi, farklı iş alanlarının geliştirilmesi üretim sistemlerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Akıllı üretim süreçleri ve uzaktan yönetilebilen sistemler, üretim süreçlerine esneklik kazandırmaktadır. Müşteriler sisteme entegre edilmekte ve küçük adetlerdeki taleplerin düşük maliyetlerle üretilmesi de mümkün olabilmektedir. Ayrıca yeni teknoloji yatırımları iş yapma modellerini ve şirketlerdeki yapılanmayı değiştireceği için insan

kaynaklarının eğitimi ve motivasyonu büyük bir önem taşımaktadır.

Referanslar

[1] Sanayi 4.0 – Uyum Sağlamayan Kaybedecek! Araştırma Müdürlüğü, EBSO, Ekim 2015
[2] Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası - Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı, TÜBİTAK, 3 Ocak 2017
[3] A. Bonomi, Industria 4.0, Tra manifattura e innovazione, asse per competere, Il Sole 24 ore - http://argomenti.ilsole24ore.com/industria-4-0.html 7 Maggio 2017
[4] Prof. Dr. S. Stowasser, Dijital Fabrika: Endüstri 4.0, Üretimin Geleceği Zirvesi, MESSummit, 13 Nisan 2017, İstanbul.
[5] Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0, Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, TÜSİAD, Mart 2016.
[6] A. Magone ve T. Mazali, Industria 4.0 - Uomini e macchine nella fabbrica digitale, Guerini e Associati, Prima Edizione, 2016, Italia.
[7] Ş. Muter, 4. Sanayi Devrimi – Sanayi 4.0, Yeni Asır, 15 Mayıs 2016, İzmir.
[8] L. Apillioğulları, Endüstri 4.0 ve Stratejik Planlama, http://www.sektorel.com 11 Nisan 2017
[9] Dr. B. Bunse, Industrie 4.0 Smart Manufacturing for the Future, GTAI Germany Trade & Invest. http://www.industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40 May 2017

Yenilikçi Kısmi-Katı Döküm Yönteminin Yüksek Basınçlı Alüminyum Dökümünde Uygulanması

An Application of Innovative Partial-Solid Method in High-Pressure Aluminum Die Casting

Yekta Berk Süslü[1], Mehmet Siraç Acar[2], Mithat Şenol[2], Gözde Uçucu[2], Muammer Mutlu[2], Özgül Keleş[1]

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, [2]Mita Kalıp ve Döküm Sanayi

ABSTRACT

Achieving high efficiency in the high pressure die casting technique is possible with improving production efficiency and reducing energy costs as all other production methods. Pressure die casting alloys are made of high-silicon and high-fluidity alloys and the quality problems of the products produced by this technique, are shrinkage and porosity in in cast structure. The viscosity of molten metal is reduced by the partial-solid casting method to be applied in the pressure die casting technique, thus making it easier to fill the mold by increasing the fluidity. Increase in mold filling.makes it possible to obtain a higher quality product by reducing porosity ratio. Moreover, an advantage of partial-solid casting; dendritic structure is prevented and a structure in globular grain form is obtained. The low porosity ratio and the spherical grain structure improve the toughness of the material thereby increasing the strength values of the material.

In this study; EN AC 43400 (AlSi10Mg (Fe)) aluminum alloys are produced with GISS (Gas Induced Semi-Solid) method and high pressure casting technique (HPDC). GISS method and possitive effects in casting temperature as well as alloy hardness, yield-tensile strength, elongation and microstructure.were observed.

ÖZET

Basınçlı döküm tekniğinde yüksek verimliliğin sağlanması, diğer tüm üretim yöntemlerinde olduğu gibi enerji maliyetlerinin azaltılması ve üretim verimliliğinin artırılması ile mümkündür. Basınçlı döküm alaşımları yüksek silisyum içeren ve akışkanlığı yüksek olan alaşımlardan olup ve bu teknikle üretilen ürünlerin kalite problemlerinin başında çekilme boşlukları ve iç yapıda gözlenen poroziteler gelmektedir. Basınçlı döküm tekniğinde uygulanacak olan kısmi-katı döküm yöntemi ile ergiyik metalin viskozitesi düşürülür, böylelikle akışkanlığı artırılarak metalin kalıbı doldurması daha da kolaylaştırılır. Kalıp doldurulabilirliğinin artması, porozite oranını düşürerek daha kaliteli ürün eldesine imkân verir. Ayrıca kısmi-katı dökümün bir avantajı olarak; dendritik yapı önlenir ve küresel taneli formda bir yapı elde edilir. Düşük porozite oranı ve küresel taneli yapı malzemenin tokluğunu artırır, böylece malzemenin mukavemet değerleri de artar.

Bu çalışmada; EN AC 43400 (AlSi10Mg(Fe)) alüminyum alaşımları, kısmi-katı şekillendirme yöntemi olan GISS (Gas Induced Semi-Solid) ve yüksek basınçlı döküm tekniği (HPDC) ile üretilmiştir. GISS yönteminin ve döküm sıcaklığının; alaşımın sertlik, akma-çekme dayanımı, uzama ve mikroyapı üzerindeki olumlu etkileri görülmüştür.

1. Giriş

Yüksek basınçlı döküm tekniği, başta otomotiv sanayi olmak üzere; beyaz eşya, elektronik, havacılık, gemi inşaat gibi endüstri kollarına parça sağlayan bir üretim tekniğidir. Yüksek basınçlı döküm tekniği ile diğer döküm teknikleri kıyaslandığı zaman avantajlarını görmek mümkündür. Özellikle, dökülen alaşımın hızlı katılaşması ile birlikte elde edilen düşük çevrim süreleri, seri üretim için oldukça önemli bir artıdır. Her ne kadar avantajlı bir teknik olsa da, tüm döküm yönteminde olduğu gibi, yüksek basınçlı dökümde de birtakım hatalar görülmektedir. Katılaşma esnasında meydana gelen çekintiler, poroziteler, mikro çatlaklar vb. iç yapı hataları, basınçlı dökümde verimi düşüren sorunlardan bazılarıdır. Bu sorunların önlenmesi için

vakum sistemi, kalıp yağlayıcıları gibi çözümler geliştirilmiş ancak kesin bir çözüm elde edilememiştir.

Yüksek basınçlı dökümde meydana gelen sorunların önlenmesi için çeşitli yöntemler izlenebilir. Kısmi-katı şekillendirme yöntemi de bunlardan birine örnek olarak gösterilebilir. Yaklaşık 45 sene önce M.C. Flemings ve asistanı tarafından MIT (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)' de yapılan çalışmalarda [1] keşfedilen kısmi-katı kavramı, günümüze kadar çeşitli geliştirmeler yapılarak basınçlı döküm ve dövme tekniğine uygulanabilir bir hale getirilmiştir.

Kısmi-katı şekillendirme yöntemi, döküm ve dövme tekniklerini birleştiren bir işlem olarak açıklanabilir [2]. Kısmi-katı döküm yöntemi, iki gruba ayrılır. Tiksodöküm ve Reodöküm olarak adlandırılan bu yöntemler, temelde aynı olmak ile birlikte bir noktada ayrılmaktadır. Tiksodökümde; katı-sıvı faz bölgesine kadar ısıtılan malzeme, oda sıcaklığına kadar soğutulur ve ekstrüzyon işlemlerinde kullanılana benzer, silindirik biyet adı verilen çubuk formunda dökülür. Üretilen yarı mamul biyetler, kullanılacakları zaman tekrardan katı-sıvı faz bölgesine çıkarılır ve basınçlı döküm ile şekillendirilir. Reodökümde ise, katı-sıvı faz bölgesine kadar ısıtılmış alaşım, karıştırılarak bulamaç haline getirilir. Elde edilen bulamaç doğrudan basınçlı döküme alınır ve şekillendirilir. Reodöküm; daha pratik ve ekonomik olmasından, ayrıca reodöküm tekniklerinin yıllar boyunca geliştirilmesinden dolayı, tiksodöküme göre daha tercih edilir duruma gelmiştir [3].

Reodöküm tekniklerini çeşitli biçimlerde görmek mümkündür. GISS yöntemi, kullanılan bu yöntemlerden birisidir. Ergime sıcaklığının üzerinde bir değere kadar ısıtılmış alaşıma, grafit bir yayıcı daldırılır ve inert gaz (Ar, N_2 vb.) takviye edilir. İnert gazın ergiyik içinde oluşturduğu akış, kısmi-katı dökümde kullanılan karıştırma faktörüne benzer bir etki yapar. Aynı zamanda gazın takviyesi ile ergiyik alaşımın sıcaklığı ani bir şekilde katı-sıvı faz bölgesine düşürülür. Elde edilen bulamaç, yüksek basınçlı döküm tekniği ile şekillendirilerek parça üretimi tamamlanmış olur. GISS yöntemi ile kısmi-katı şekillendirmenin avantajı olarak görülen küresel mikroyapı gözlenirken, bu konu hakkında yapılan çalışmalarda porozite oranının da düştüğü saptanmıştır [4].

Bu çalışmada Al-Si alaşımı kısmi-katı döküm teknoloji ile desteklenmiş basınçlı dökümü gerçekleştirilmiştir. Kısmi-katı döküm tekniğindeki gaz verme süresi ve döküm sıcaklığının döküm kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmada EN AC 43400 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alaşımın standart kimyasal bileşimi ve dökülen alaşımın kimyasal bileşimi Çizelge 1'de, verilmiştir.

Çizelge 1: EN AC 43400 Standart kimyasal bileşimi ve dökülen alaşımın kimyasal bileşimi (% ağ.)

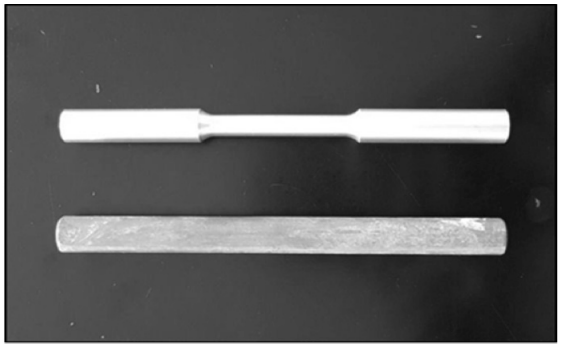
Element	Standart kimyasal bileşim	Dökülen alaşımın kimyasal bileşimi
Al	86-90,8	89
Si	9,0-11,0	9,6
Fe	0-1	0,8
Mg	0,2-0,5	0,2
Mn	0-0,55	0,01
Ti	0-0,2	0,04
Pb	0-0,15	0,004
Ni	0-0,15	0,005
Zn	0-0,15	0,04
Cu	0-0,1	0,05
Sn	0-0,55	0,006

Kısmi-katı şekillendirme yönteminin, parçaların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin görülmesi için çekme numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken, işlem parametreleri ve seviyeleri Çizelge 2'de gösterildiği gibi seçilmiştir. 3 no.'lu numune, kısmi-katı şekillendirmenin mekanik özellikler üzerindeki etkinin görülmesi için seçilmiş test numunesidir. Belirtilen parametreler dışında kalan makine ayarları (faz hızları, basınçları vb.) üç denemede de sabit tutulmuştur.

Çizelge 2: Deney parametreleri ve seviyeleri.

Numune No	Döküm Sıcaklığı (°C)	Azot Takviye Süresi (sn)
1	635-645	2
2	635-645	4
3	700-710	0

Belirlenen parametrelere göre döküm işlemi gerçekleştirilirmiştir. Dökümler, 550 ton kapasiteli Metal Pres Makina markalı basınçlı döküm makinelerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi 140 mm uzunluğunda, 11,0 mm çapında çubuk numuneler üretilmiştir. Çubuklar daha sonra Şekil 1'de görüldüğü gibi çekme testi numunesi olacak şekilde mekanik işlemle hazırlanmıştır.

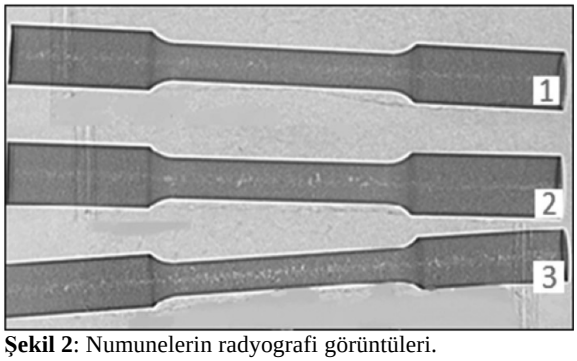


Şekil 1: Hazırlanan çekme numuneleri.

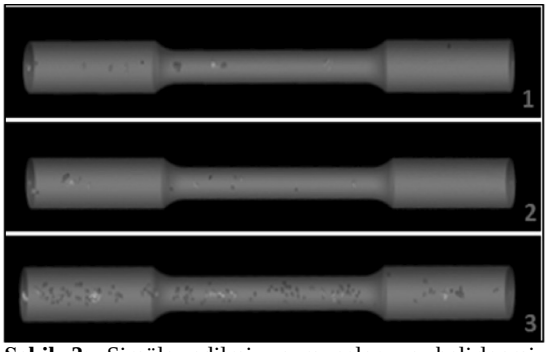
Hazırlanan çekme testi numuneleri, porozitelerin görülebilmesi için radyografik muayene ile Bosello Endüstriyel X-ray cihazı, 116kV ve 1.6mA'de gerçekleştirilmiştir. Numunelerin porozite oranının belirlenebilmesi için CT (Computed Tomography) taraması yapılmıştır ve daha sonra CT tarama sonuçları, VG Studio Max 3.0 programında simüle edilerek porozite oranları tespit edilmiştir. Yapılan kontrol sonrası numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik değerleri, Affri 206 RTD Brinell sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler, mekanik özelliklerinin saptanabilmesi için çekme hızı 1mm/dk ve L_0=5 D_0 olacak şekilde çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonra, kısmi-katı şekillendirme işleminin mikroyapı üzerindeki etkilerinin saptanabilmesi için numunelerin Nikon Eclipse LV100ND optik mikroskop cihazı ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan radyografik muayene sonucu, Şekil 2'deki görüntüler elde edilmiştir. Numunelerin içerdikleri poroziteler ve yoğunlukları görülebilmektedir. Radyografi testi ile yapılan CT (Computed Tomography) taramasının, VG Studio Max 3.0 programında simüle edilmesiyle Şekil 3'teki görüntüler elde edilmiştir. CT taraması, 360 kare çekilerek yapılmıştır. Numune simetrik ve basit bir parça olduğundan bu değer yeterli görülmüştür.



Şekil 2: Numunelerin radyografi görüntüleri.



Şekil 3: Simüle edilmiş numuneler ve belirlenmiş poroziteler.

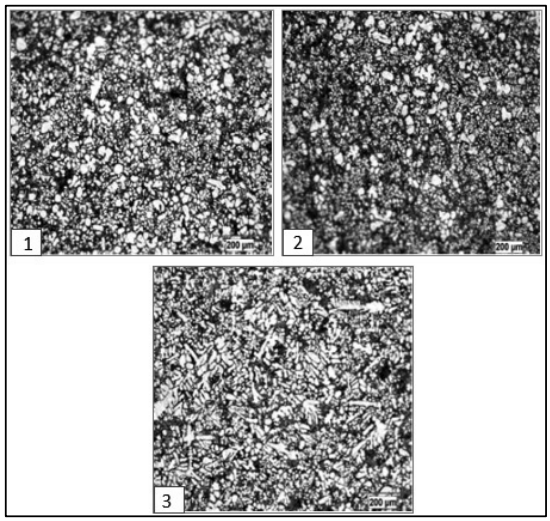
Yapılan simülasyon sonucu; radyografi sonuçlarıyla paralel sonuçlar elde edilmiştir. Porozite oranları sırasıyla; 1. numune için %0.112, 2. numune için %0,08 ve 3. numune için %0,388 olarak bulunmuştur. Görüntülere bakıldığı zaman, kısmi-katı şekillendirme yönteminin porozite ve çekintiyi azaltıcı bir etkide olduğu görülür. Geleneksel yöntemle dökülmüş parçadaki porozite yoğunluğu, kısmi-katı şekillendirme yöntemi ile üretilmiş parçalardaki porozite yoğunluğundan oldukça fazladır. Jumpol ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [5], GISS yöntemi uygulayarak porozite oranını azaltmışlardır. Ancak, azot süresinin artmasına bağlı olarak meydana gelen fazla katı oranı, malzemede segregasyon ve çekintiye sebebiyet vermiştir. Ticarileşmiş birçok reodöküm yönteminin çok daha fazla katı oranına (0,4-0,6) sahip bulamaç elde etmesinin aksine, yenilikçi yöntemler düşük katı oranına (0,1-0,3) sahip bulamaçlar ile çalışmaktadır. Wannasin'in yaptığı çalışmada, azot üfleme sürelerine bağlı olarak bulamacın içerdiği katı oranları tespit edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan yöntem ve koşullar göz önüne alındığında, bu çalışmada elde edilen katı oranının 0,05-0,1 olduğu düşünülmektedir [6].

Çizelge 3: Numunelerin ölçülen sertlik ve mekanik değerleri, standart EN AC 43400 mekanik değerleri

Numune No	Sertlik (HB)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
1	87,3	131	209	3,29
2	100	189	227	2,85
3	77,3	154	196	1,55
Standart	81	160	280	1,2

Mekanik test sonuçları ve alaşımın standart mekanik değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. EN AC 43400 alüminyum alaşımının standart çekme dayanımı, yapılan çalışmada bulunan değerlerin daha üzerindedir. Ji ve arkadaşlarının Al-Mg-Si alaşımı ile yaptığı çalışmada [7], artan Fe miktarı ile birlikte iğnemsi şekilde α-AlFeSi intermetalik fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu intermetalik fazların, kopma uzamasını ve akma dayanımını düşürdüğü

görülmüştür. Standart mekanik değerler ile test sonucu elde edilen mekanik değerler arasındaki farkların, Fe miktarının fazla olmasına bağlı olarak meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 4: Numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan çalışmalarda [8-9], kısmi katı döküm teknolojisinin etkisi ile dendritik morfolojinin küresel hale geldiği gözlemlenmiştir. Azot üfleme süresinin, küresellik üzerinde etkili olduğu saptanmıştır.

4. Sonuç

1) GISS yöntemi, basınçlı döküme kolay adapte edilebilen, malzemelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini geliştiren kullanışlı bir kısmi-katı şekillendirme yöntemidir.
2) Döküm sıcaklığının düşürülmesine bağlı olarak kalıp ömrünün artması beklenmektedir. Klasik yöntemle yaklaşık 80.000 baskı yapan kalıpların, yenilikçi yöntemle 150.000 baskıyı görmesi, hatta geçmesi mümkün olabilir.
3) Düşen döküm sıcaklıklarına bağlı olarak enerji sarfiyatları azaltılabilir. Sarf malzeme kullanımı (kalıp yağı, doğalgaz vb.) düşürülebilmektedir.
4) Kısmi-katı şekillendirmenin sağladığı düşük viskozite ile yüksek kalıp doldurulabilirliği elde edilmiştir. Bunun sonucunda porozite oranında azalma sağlanmıştır. Kısmi-katı şekillendirmeye uygun kalıp tasarımları ile birlikte vakum sisteminin basınçlı döküm tekniğinden tamamen çıkarılması mümkün olabilir.

Referanslar

[1] Flemings, M. C., R. G. Riek, and K. P. Young, "Rheocasting", Materials Science and Engineering, 25 (1976): 103-117.
[2] S. Nafisi ve R. Ghomashchi. "Semi-solid processing of aluminum alloys", Springer Nature, 2016, İsviçre
[3] Haga, Toshio, and P. Kapranos. "Simple rheocasting processes " Journal of Materials Processing Technology, 130 (2002): 594-598.
[4] Wannasin, J., et al. "Research and development of gas induced semi-solid process for industrial applications.", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20 (2010): 1010-1015.
[5] Jumpol, Waraporn, et al. "Effects of Solid Fractions in a Slurry Die Casting Process on Defects of 7075 Aluminum Alloy." Applied Mechanics and Materials. Vol. 752. Trans Tech Publications, 2015.
[6] Wannasin, Jessada. "Applications of semi-solid slurry casting using the gas induced semi-solid technique." Solid State Phenomena. Vol. 192. Trans Tech Publications, 2013.
[7] Ji, Shouxun, et al. "Effect of iron on the microstructure and mechanical property of Al–Mg–Si–Mn and Al–Mg–Si diecast alloys." Materials Science and Engineering: A 564 (2013): 130-139.
[8] Canyook, R., et al. "Evolution of microstructure in semi-solid slurries of rheocast aluminum alloy." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 20.9 (2010): 1649-1655
[9] Thanabumrungkul, S., et al. "Industrial development of gas induced semi-solid process."Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20 (2010): 1016-1021.

Yönlü Katılaşmanın Alüminyum Alaşımlı Jantların Sertliği Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Investigation of Effect of Directional Solidification on Hardness of Aluminum Alloy Wheels

Yunus Ercan, Ali Kara, Hakan Yavuz, H. Emre Çubuklusu

CMS Jant ve Makina Sanayi

Abstract

Aluminum alloy wheels are generally manufactured by Low Pressure Die Casting method (LPDC). In this method, cooling rates are substantially higher as a result of using die components made of high temperature tool steels. Forced cooling is utilized by equipping the die with cooling system to assure directional solidification, to obtain a controlled process and to minimize process related scrap such as due to porosity, and shrinkage. This process results in a gradual variation in mechanical properties through the section of wheels. This gradual variation can also be affected by the size of the wheels. Therefore in this study, local hardness of wheels was chosen as a measure of mechanical property variation through the section of wheels. Effects of solidification rate, solidification time, and wheel width were investigated. In the study numerical efforts were used to obtain solidification rates for selected wheels, and hardness measurements are also reported.

Özet

Alüminyum alaşımlı jantlar genellikle Alçak Basınçlı Döküm Yöntemi (ABDY) ile üretilmektedir. Bu yöntemde kullanılan sıcak iş takım çeliklerinden üretilmiş kalıplar dolayısıyla soğuma hızları oldukça yüksektir. Ayrıca kontrollü bir proses elde etmek ve porozite ve çekinti gibi proses kaynaklı fireleri minimize etmek amacıyla zorlanmış soğutma da kalıbı uygun bir soğutma sistemi ile donatmak ile mümkün olmaktadır. Bu süreç sonucunda jant mekanik özellikleri jant kesiti boyunca kademeli boyunca değişmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, jantların lokal sertliklerinin kesit boyunca değişimi jantın genel mekanik özellik değişiminin bir ölçüsü olarak belirlenmiştir. Soğuma hızı, katılaşma zamanı ve jant genişliğine göre sonuçların değişimi incelenmiştir. Çalışmada nümerik incelemeler de seçilen jantlarda soğuma hızlarının belirlenmesi için kullanılmış ve sertliğe karşılık soğuma hızları raporlanmıştır.

1. Introduction

Aluminum alloy wheels are the most widely used passenger car wheels due to their good mechanical properties along with their substantially low density [1-4]. Cast aluminum alloy wheels are generally manufactured by Low Pressure Die Casting (LPDC) method as a result of high productivity achieved due to the process and relatively lower scrap ratio comparing to other methods as a result of the good control on the process. The most widely used cast aluminum alloy is A356 and generally T6 heat treatment was applied in order to obtain good mechanical properties and obtain good results for wheel component tests such as impact and fatigue tests.

A lot of studies were devoted to reveal the effects of various parameters on mechanical properties of A356 alloy including the effects of alloying elements, modification elements, heat treatment process and conditions, and casting process conditions experimentally and/or numerically. The effect of alloying elements were reported by Barresi et al. [5] with the focus on Mg, Fe, and cooling rate. Another study reported that as Mg, Fe, and Fe and Mn levels were increased hardness increases too [6]. In another study Yavuz et al. [7] investigated the effect of filling characteristics numerically which are important in order to get a relatively lower turbulence in the LPDC method. Effect of modification was investigated by researchers [8] with the conclusion that a thresold value for Sr is obvious and below that threshold inappropriate modification resulted in lower mechanical properties reported in terms of yield strength, tensile strength, and failure strain.

Various investigations were on the effects of different parameteres on hardness of A356 alloy. Researchers [9], [10], [11] for instance investigated the effect of heat treatment on hardness of A356 alloy and compared T6 and T7 heat treatment procedures. Zhang et al. [12] reported that higher cooling rate resulted in fast solidification and a refined microstructure but DAS increases with increasing cooling rate. The importance of hardness value arises from that the tensile properties were mostly affected by hardness variation, and a strong relationship was reported between hardness and yield strength and hardness and tensile strength for A356 alloy [13].

This study consists of experimental and numerical efforts to investigate hardness variation through the section of aluminum alloy wheels. Due to filling and solidification sequence of wheels hardness varies

through the section and obviously this variation is affected by the geometrical and process parameters of the wheels. Besides numerical simulations were used to identify the local cooling rates and cooling sequence for the selected section of wheels.

2. Experimental and Numerical Study

In this study effect of wheel geometrical properties and process parameters were investigated. The wheels are made of A356 aluminum alloy. The chemical composition of A356 aluminum alloy is given in Table 1. In the manufacturing of wheels Low Pressure Die Casting Method was used.

Table 1. Chemical composition of A356 alloy.

Si	Mg	Fe	Cu	Zn	Ti	Sr	Al
7,0	0,3	0,15	0,02	0,01	0,03	0,01	Balance

T6 heat treatment was applied due to the nature of the alloy which is appropriate for artificial ageing as alloy includes Mg. T6 heat treatment parameters are also given in Table 2. As already mentioned heat treatment parameters are substantially effective on mechanical properties.

Table 2. T6 heat treatment parameters

Procedure	Temperature (°C)	Duration (minutes)
Solution Heat Treatment	540	240
Quenching	80	Immediately
Artificial Ageing	150	240



Figure 1. INNOVATEST NEMESIS 9000 universal hardness testing machine.

For the measurement of hardness in the Brinell hardness scale, INNOVATEST NEMESIS 9000 universal hardness testing machine was used. Specimens from the tire sections of wheels were leveled by using a mini milling machine and then sandpapered to have a surface as flat as possible. Test was applied by using a 5 mm diameter spherical tip, test load was 250 kgf, and test duration was chosen as 10 seconds. Results were analyzed by using INNOVIEW analysis software of the machine.

In the study numerical methods are also used to calculate solidification time and cooling rate distribution through the section of wheel. MagmaSoft V5.3 software was used in the filling and the solidification simulations. The properties of the melt and mold parts are imported from MagmaSoft Database.

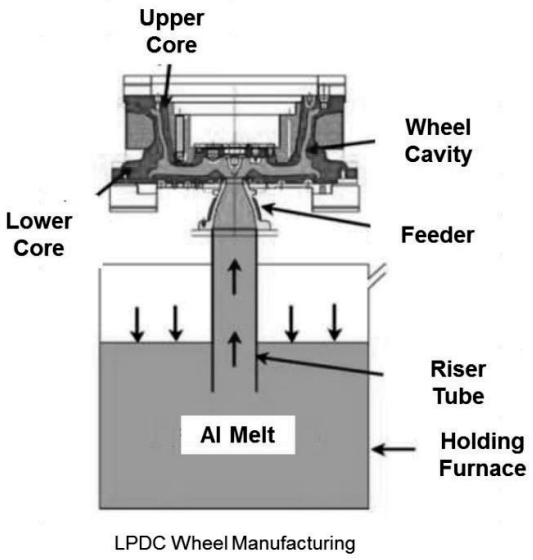


Figure 2. LPDC Wheel manufacturing [14].

A view of LPDC wheel manufacturing can be seen in Figure 2. LDPC mould filling was simulated by counter gravity flow. At the beginning of the casting process, molten aluminium is held in the holding furnace at 720 ˚C. Filling pressure is applied to airtight holding furnace according to filling process parameters with pressurizing gases. As furnace inner pressure increases, it pushes the melt up inside the riser tube. Therefore, molten metal starts to fill stalk and mould cavity due to pressure difference between furnace pressure and ambient atmosphere pressure [7].

Filing pressure parameters are kept constant for all calculations to assure filling parameters not to be effective on simulation results. Numerical calculations are made for cooling rate and temperature history for the selected section of the wheel.

3. Results and Discussions

In Figure 3 the positions that results were measured and calculated are given. These positions were chosen based on the directional solidification expectation that is the main concern in this study.

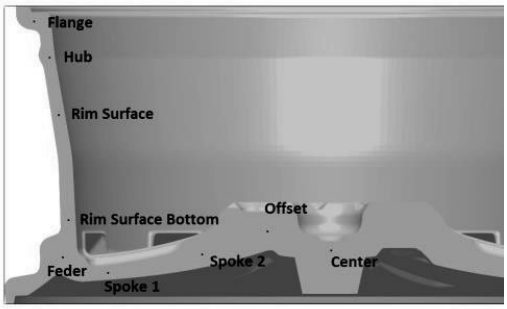


Figure 3. Measurement and calculation points.

In Figure 4 measurement results are given for two selected sections of a wheel from aforementioned points. With two identical sections prepared from the wheel, convenience of the measurements was guaranteed. These results were obtained from two different sections from a 16" wide wheel. Variation of the hardness implies that from inner rim through rim surface and outer rim hardness levels are similar and vary along a common mean. After, outer rim hardness levels decrease through the spoke and the hub region of the wheel sections. These indicate a process and metallurgical difference in different points of sections of wheels. Therefore study continued to investigate the effects of process parameters numerically by using a well proven numerical simulation.

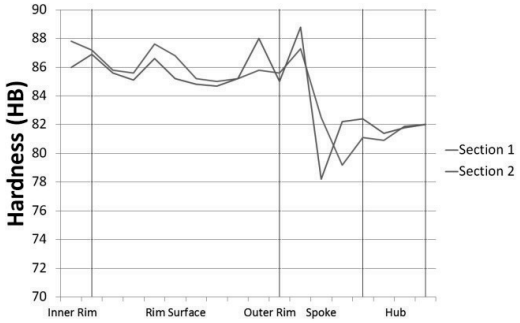


Figure 4. Hardness measurement result.

In Figure 5 cooling rate for selected points of the section of wheel is given that calculated numerically by using MagmaSOFT. As can be seen in the thinner portions of the cast cooling rate is higher. For instance in the inner rim and through the rim surface of the wheel colling rate is around 6-15 °C/s. On the other hand in the outer rim, spoke and hub region cooling rates are as low as nearly 1°C/s as shown.

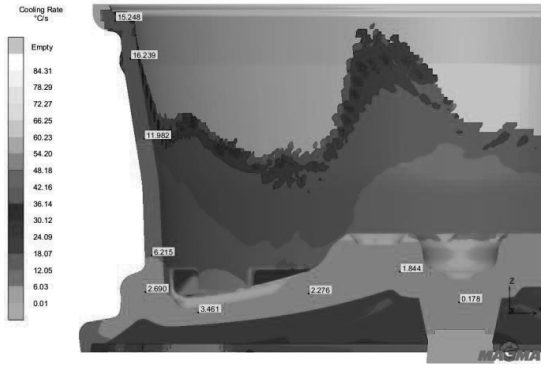


Figure 5. Cooling rate variation through the section of wheel.

This obvious cooling rate variation is one of the reasons that resulted in hardness variation through the section. As also reported in the literature [15], as cooling rate increases hardness increases too. This solely does not explain the hardness variation. Therefore solidification durations for the selected points were also calculated.

Figure 6 and 7 also reports the solidification durations through the section of the wheels of different widths.

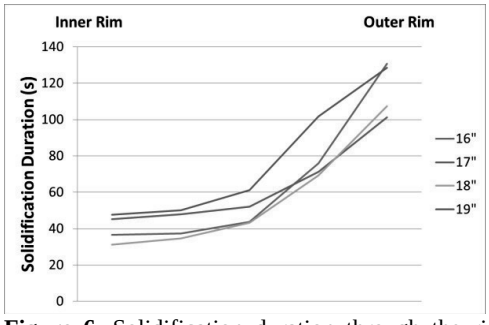
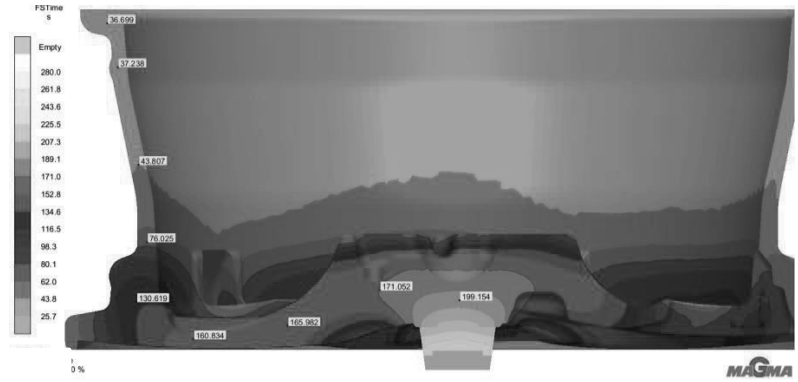


Figure 6. Solidification duration through the rim surface of wheels.

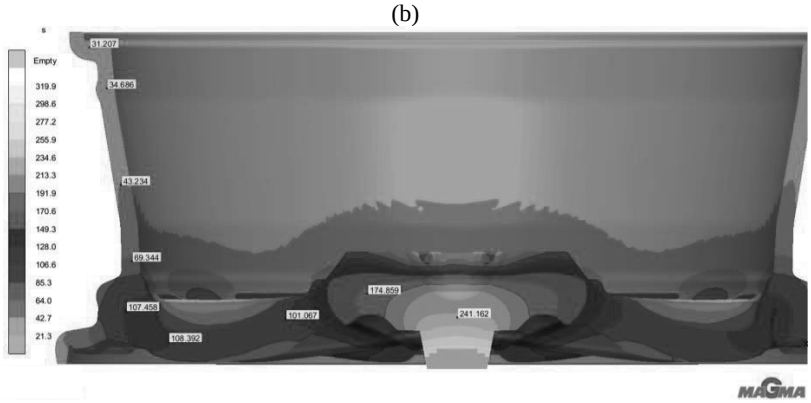
As seen from the Figure 6 that the highest duration clearly was needed to solidify the biggest wheel naturally. Here solidification duration stands for the total time until 72% of the point was solidified. This can be deduced from the solidification duration given in units of seconds. A little part of the difference can arise from the difference between the style geometry of wheels. In Figure 7 these results were given for wheels having different width. It is obvious from Figure 7 that solidification sequence starts from the upper portion of the wheel and continues through its section. It can be seen that solidification is faster in the inner rim portion this data also validates the cooling rate results and explains the higher hardness observed in that portion. In the spoke and hub region of the wheel solidification lasts more than 2 – 5 times longer than inner rim of the wheel. This also explains the difference in the mechanical properties of the different parts of wheels.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7. Solidification duration of wheels of different width: (a) 16", (b) 17", (c) 18", and (d)19".

As experimental results showed, hardness is lower in the spoke portion of the wheel than the rim surface. That is numerically explained as the difference in solidification sequence and cooling rate through the section of the wheel. Besides due to the longer time to solidify, spoke portion of the wheel is exposed to the higher temperature longer. This obviously results in a chemical composition change and a slightly lower Mg content was observed in the spoke portion of the wheels which is mainly responsible for the lower hardness as a result of aforementioned process and geometrical parameters.

4. Conclusions

In this study hardness variation through the section of aluminum alloy wheels made by Low Pressure Die Casting Method was investigated along with the numerical efforts to determine the thermal conditions during the course of casting process which results in varying microstructural properties through the section. It was shown that gradual change in hardness through the section of the wheel is obvious and resulted from the sequential solidification from upside (inner rim) down (outer rim) through the wheel. A 10% decrease was observed and a two-step variation was found depending on the location of the measurement. Effect of difference in chemical composition was explained which is related with hardness variation as a result of aforementioned parameters.

References

[1] G. Timelli, G. Camicia, S. Ferraro, Effect of Grain Refinement and Cooling Rate on the Microstructure and Mechanical Properties of Secondary Al-Si-Cu Alloys, Journal of Materials Engineering and Performance, 23 (2) (2014), 611-621.

[2] M.G. Büyükuncu, Ötektik Altı Al-Si Döküm Alaşımlarında Bileşimin Optimizasyonu ile Döküm Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklerin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010, İstanbul, Türkiye.

[3] M. Özcömert, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-68.pdf, Tarih: 27.04.2015.

[4] S. Alan, Alüminyum Raporu, Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, http://www.demirbirlik.org/Eklenti/23,aluminyum-rapor.pdf, Tarih: 27.04.2015.

[5] J. Barresi, M.J. Kerr, H. Wang, M.J., Couper, Effect of magnesium, iron and cooling rate on mechanical properties of Al-7Si-Mg foundry alloys. Transactions-American Foundrymens Society (2000) 563-570.

[6] M. Tash, F.H. Samuel, F. Mucciardi, H.W. Doty, Effect of metallurgical parameters on the hardness and microstructural characterization of as-cast and heat-treated 356 and 319 aluminum alloys, Materials Science and Engineering: A, 443(1) (2007) 185-201.

[7] H. Yavuz, A. Kara, H.E. Çubuklusu, Ö.B. Çe, U. Aybarç, The effect of filter type on filling during Low Pressure Die Casting: a numerical study. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 75(2) (2016) 71-77.

[8] Y. Ercan, Ö. Türkal, A. Kara, U. Aybarç, H.E. Çubuklusu, Ötektik Modifikasyon ve Soğuma Hızının Jantların Mekanik Özellikleri ve Mikroyapısına Etkisi, 16th International Materials Symposium (IMSP 2016), Denizli, TURKEY.

[9] M. Abdulwahab, I.A. Madugu, S.A. Yaro, S.B. Hassan, A.P.I. Popoola, Effects of multiple-step thermal ageing treatment on the hardness characteristics of A356.0-type Al–Si–Mg alloy. Materials & Design, 32(3) (2011) 1159-1166.

[10] M. Abdulwahab, I.A. Madugu, S.A. Yaro, A.P. Popoola, Effects of Temper Conditions and Step-Quenching-Ageing on the Hardness Characteristics and Yield Strength of A356.0-type Al-Si-Mg Alloy. Silicon, 4(2) (2012) 137-143.

[11] A. Amir, A. Asnul Hadi, Effect of Solution treatment temperature on Microstructure and mechanical properties of A356 alloy. International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), 8(1) (2014) 289-295.

[12] L.Y. Zhang, Y.H. Jiang, Z. Ma, S.F. Shan, Y.Z. Jia, C.Z. Fan, W.K. Wang, Effect of cooling rate on solidified microstructure and mechanical properties of aluminium-A356 alloy, Journal of Materials Processing Technology, 207(1) (2008) 107-111.

[13] L. Ceschini, A. Morri, A. Morri, G. Pivetti, Predictive equations of the tensile properties based on alloy hardness and microstructure for an A356 gravity die cast cylinder head. Materials & Design, 32 (3) (2011) 1367-1375.

[14] X.M. Shi, Defect Minimizing Control of Low Pressure Die Casting", M.Sc. Thesis, Northeastern University, 2012, China.

[15] Z. D. Kadhim, Effect of cooling rate on mechanical properties of eutectic and hypoeutectic al-si alloys. Journal of Engineering, 17 (2011) 1576-1583.

Sr ve Ti İlavelerinin AlSi10Mg0.3 Döküm Alaşımında Tane İnceltme ve Modifikasyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum İlave Miktarının Belirlenmesi

Investigation of the Effects of Sr, Ti Additions on Grain Refinement and Modification of AlSi10Mg0.3 Alloy and Optimization of Addition Rates

Ferhat Tülüce[1], Elvan Bilge Menteşe[2], Yücel Birol[1]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Componenta Dökümcülük A.Ş.

Abstract

It is known that grain refining and Si modification treatments provide benefits to aluminum alloys. Nowadays, Al-Ti-B, Al-Sr master alloys are widely used to provide grain refinement and modification. In this study, Al-Si-Mg alloy was treated with different addition rates of Al-Ti-B and Al-Sr. The effects of different addition rates on grain refinement and modification were investigated by using macrostructural and thermal analysis methods. Finally, optimum addition rates were identified.

Özet

Tane inceltme ve Si modifikasyonunun Al alaşımlarına fayda sağladığı bilinmektedir. Günümüzde döküm alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyonu sağlamak için Al-Ti-B, Al-Sr master alaşım ilaveleri yapılmaktadır. Bu çalışmada AlSi10Mg0.3 alaşımına farklı ilave miktarları ile yapılan deneylerin sonuçları sunulmuş, makroyapı incelemeleri ve termal analiz yöntemi kullanılarak farklı ilave miktarlarının tane inceltme ve modifikasyon üzerine olan etkileri incelenmiş, optimum ilave miktarları belirlenmiştir.

1. Giriş

Alüminyum döküm alaşımları dökülebilirliği, nispeten düşük maliyetleri, yeterli mukavemet değerlerini sağlayabilmeleri ve hafiflikleri ile otomotiv endüstrisinde jantların, fren ve motor parçalarının üretimi gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.[1]

Alüminyum döküm parçaların çok önemli bir kısmı Al-Si alaşım sisteminden üretilir [2]. Al-Si alaşımları, düşük yoğunlukla birlikte, üstün mekanik ve fiziksel özellikler, kaynaklanabilirlik, yüksek korozyon direnci ve mükemmel dökülebilirlik sergilerler [3, 4]. Al-Si alaşımlarının dökümünde istisnasız olarak 2 teknolojik işleme başvurulur: Tane inceltme ve modifikasyon.

İnce ve eş-eksenli bir tane yapısı ikincil fazların ve mikro porozitenin homojen dağılmasını sağlayarak döküm parçanın kalitesini arttırır [5–7]. Böylece döküm parçanın tokluğu, akma mukavemeti, şekil verilebilirliği, yüzey kalitesi ve işlenebilirliği artar. Başarılı bir tane inceltme operasyonu döküm parçasının kalitesini arttırdığı gibi, döküm sürecinde sıcak yırtılmaların önüne geçerek döküm operasyonunun verimini de arttırır.

Tane inceltme heterojen çekirdeklenmenin gerçekleşebilmesi için katı taneciklerin sıvı alaşıma ilavesi ile gerçekleşir. Bu nedenle, düşük aşırı soğutmalarda aktif hale gelebilecek ve katılaşmayı başlatacak çekirdeklere ihtiyaç vardır. Al için en uygun çekirdeklendiriciler TiB_2, Al_3Ti, AlB_2, TiC'dur. Yüksek bir çekirdeklenme hızı kadar düşük bir büyüme hızı da ince bir tane yapısının elde edilmesinde kritik olduğundan çekirdeklendiricilerin yanı sıra tane büyümesini yavaşlatacak alaşım elementlerine de ihtiyaç vardır [8]. Tüm alaşım elementleri arasında katı parçacıkların büyümesini en fazla etkileyen element Ti'dur. Bünyelerinde bu özelliklerde çekirdekleri ve fazladan bir miktar da Ti bulunduran master alaşımların kullanılması alüminyum dökümhanelerinde standart bir pratik haline gelmiştir.

Ticari master alaşımların büyük bir çoğunluğu Al-Ti-B üçlü sisteminden üretilmektedir. Ancak bu master alaşımların kullanımı ile ilgili halen problemler mevcuttur. Al-Ti-B master alaşımı Al-Si alaşımlarına ilave edildiğinde, Si, Ti ile reaksiyona girerek, tane inceltme verimliliğini düşüren Ti-Si intermetalik bileşiklerin oluşumuna neden olur. Bu nedenle Ti içeren master alaşımların kullanımı belirli bir noktaya kadar

mekanik özellikleri geliştirirken belirli bir miktardan sonra mekanik özelliklere zarar verecektir [9,10].

Modifikasyon işlemi de, döküm parça kalitesi için en az tane inceltme kadar önemlidir. Ötektik-altı Al-Si döküm alaşımlarının yapısında çok sayıda ötektik silisyum plakaları bulunur. Bu plakalar Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynarlar. Silisyum erken çatlamalara ve hızlı çatlak büyümesine neden olan kırılgan bir yapıdır ve bu nedenle Al-Si alaşımlarının döküm halinde sıkıntı yaratan mekanik özelliklerinin başlıca sebebidir [11]. Bu duruma çözüm olarak modifiye edici element ilavesi yapılır. Bu elementler ötektik fazın büyüme kinetiklerini ve böylece morfolojik yapıyı değiştirir [12]. Ötektik silisin morfolojisini yassı plakalardan ince ipliksiye dönüştürmek için ötektik-altı Al-Si alaşımlarına Na ve Sr gibi modifiye ediciler ilave edilir [13-22]. Na'a göre etkisi çok daha uzun ömürlü ve kontrolü daha kolay olduğu için bu 2 katkıdan çoğunlukla Sr tercih edilir. Sonuçta Al-Si döküm alaşımlarının mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamak için Sr ilavesi tüm alüminyum dökümhanelerinde standart bir pratik haline gelmiştir. Ancak burada da bir problem mevcuttur. Tane inceltme için kullanılan B ile ötektik Si'i modifiye etmek amacıyla kullanılacak Sr arasında karşılıklı bir zehirlenme etkisi söz konusudur [1].

Al-Ti-B ve Al-Sr master alaşımlarının ilavesi mekanik özelliklerde kesintisiz bir iyileşme sağlamaz ve yüksek miktarda bu ilavelerin kullanımı maliyet artışlarına ve hatta mekanik özelliklerin bozulmasına neden olur. Bu nedenle master alaşımların en verimli olduğu optimum ilave miktarları her bir alaşım için ayrı ayrı bilinmelidir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada Dubal AlSi10Mg0.3 külçeleri kullanılmış ve kullanılan AlTi5B1 ve AlSr5 master alaşımlarının etkisini gözlemlemek amacıyla alaşıma yapılan ilave miktarları sistematik olarak azaltılmıştır. Üretilen parçaların metalografi çalışmaları ve mekanik analizleri ile her bir seviyedeki ilavenin etkileri gözlemlenmiştir.

Kullanılan külçe ve master alaşımların kimyasal bileşim limitleri Tablo1 ,Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1 . AlSi10Mg0.3 külçe kimyasal bileşim limitleri

Kimyasal bileşim limitleri (%wt)									
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
0,50	9,00-10,00	0,10	0,40-0,60	0,30-0,45	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05

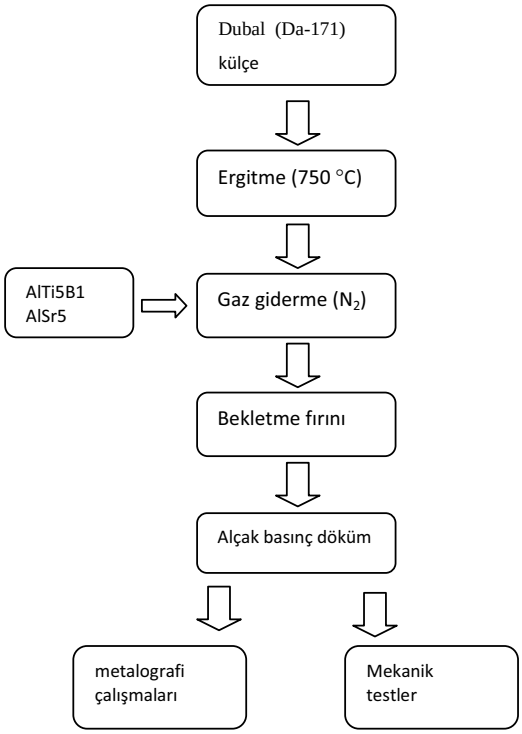
Tablo 2. Al-Ti5-B1 master alaşım kimyasal bileşim limitleri

Kimyasal bileşim limitleri (%ağ)							
Fe	Si	V	Ti	B	Be	Sn	Al
0.3	0.2	0.15	4.5-5.5	0.9-1.1	0.0001	0.02	bakiye

Tablo 3. Al-Sr5 master alaşım kimyasal bileşim limitleri

Kimyasal bileşim limitleri (%ağ)								
Fe	Si	Ba	Ca	Mg	Sn	F	Sr	Al
0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,02	0,01	4,5-5,5	bakiye

Deneysel çalışmalara ait iş akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel iş akış şeması

700 kg'lık potaya 750 °C sıcaklıkta gaz giderme işlemi sırasında master alaşım ilaveleri yapılmış ve alaşım eriyiği 3 dk karıştırılmıştır. Uygulanan karıştırmanın etkisi ile ilavelerin daha homojen dağılımı sağlanmıştır.



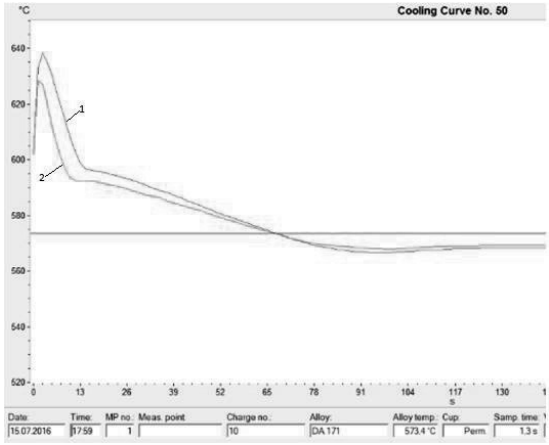
Şekil 2. Gaz giderme işlemi

Bu işlemin ardından SpectroLab Optik emisyon spektroskopi cihazından kimyasal analizler alınmıştır.

Modifikasyon ve tane inceltme faktörlerinin belirlemesi için termal analiz yöntemi kullanılmıştır. Termal Analiz (TA), soğutma sırasında sıvı alaşımın zaman içindeki sıcaklık değişiminin kaydedilmesi ve yorumlanmasıdır. Bir kalıp içinde katılaşan metalin soğuma eğrisi kaydedilir ve analiz edilir. Bu kaydedilen sıcaklık-zaman verileri katılaşma sürecinin parmak izi olarak işlev görür. Eğriler üzerinde ötektik silisyumun katılaşma sırasında ortaya çıkardığı ısı, kaydedilen soğuma eğrilerinde bir sıcaklık artışı ile kendini gösterir ve modifikasyon derecesinin sayısal eğri yorumlama yöntemleri ile hesaplanmasını sağlar [23]. Katılaşma işleminin başında soğuma eğrisinin şekli yapıdaki çekirdek sayısı ile ilgili fikir verir çok sayıda çekirdek olduğunda eğri düşük aşırı soğuma gösterir, çekirdek sayısı az olduğunda ise yüksek aşırı soğuma beklenir [24].

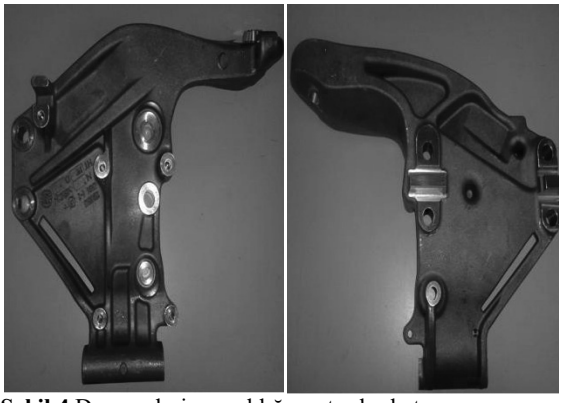
Örnek olarak cihazdan alınmış bir görsel Şekil 3'te paylaşılmıştır. 1 numaralı eğride daha düşük aşırı soğuma görüldüğünden, 2 numaralı eğriye göre bu soğuma durumunda daha fazla sayıda çekirdek oluştuğu söylenebilir. Benzer şekilde modifikasyon dereceleri de bu eğriler üzerinden belirlenmektedir.

MK-ta 110 termal analiz cihazı ile modifikasyon ve tane incelik faktörü değerleri ölçümü sonrasında sıvı alüminyum döküm tezgahından bekleme fırınına alınmış ve dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu dökümler



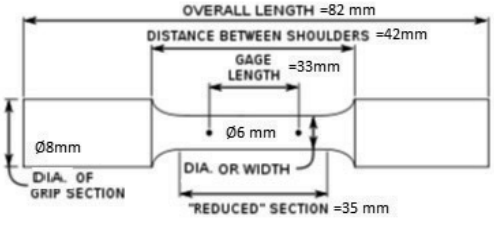
Şekil 3.MK-ta 110 termal analiz cihazından alınmış soğuma eğrileri

Gima alçak basınçlı döküm makinelerinde 6 bar basınç ile 705 °C sıcaklıkta yapılmış ve kalıp tam dolduktan 5 dakika sonra döküm parça kalıptan çıkarılmıştır. Üretilen motor braketi parçasına ait görsel Şekil 4'de verilmiştir.Parçanın işlenmemiş ağırlığı 4.5 kg dır.



Şekil 4. Denemelerin yapıldığı motor braket parçası

Mekanik testler için Şekil 4'te verilen döküm parçadan numuneler alınmış mekanik testler için çekme çubukları Şekil 5'te verilen ölçülere göre hazırlanmıştır.



Şekil 5. Çekme çubuğu ölçüleri.

AUTOGRAPH AG-X çekme cihazıyla (Şekil 6) yapılan testlerde çekme hızı 1mm/ dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. AUTOGRAPH AG-X çekme cihazı

Her bir ilave miktarında yapılan üretimlerden elde edilen döküm parçalardan alınan numunelerin çekme, akma mukavemeti ve uzama miktarları elde edilmiştir.

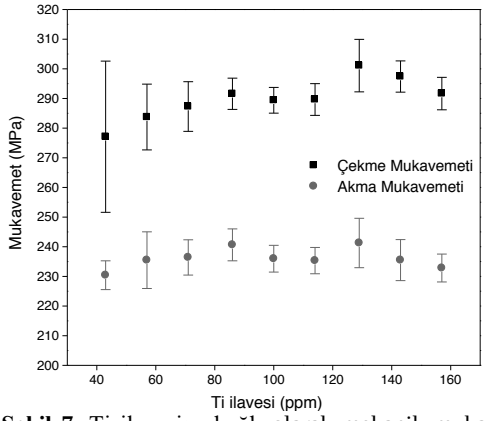
Makroyapı analizleri için döküm parçasından bir numune alınmış ve yüzeyi zımparalanıp temizlenerek dağlama işlemine hazırlanmıştır. Dağlama işlemi %50 HCl, %50 HNO_3 karışımı içerisinde 4 dakika süre ile yapılmıştır. Dağlama işlemi sonrasında farklı ilave miktarlarıyla yapılmış olan dökümlerin makroyapıları karşılaştırılmıştır.

Denemelere 700 kg Al için 2200 gr AlTi5B1 alaşım ilavesi ile başlanmış ve ilave miktarı sistematik olarak 200'er gr azaltılarak 600gr AlTi5B1 seviyesine kadar düşürülmüştür. Her bir ilave miktarı için bu analizler yapılmış, sonuçların doğrulanabilirliği için farklı döküm parçaları ile en az 3 'er kez tekrar edilmiştir.

Denemeler sırasında Sr ilavesi pek çok parametreden etkilendiği için belirli sayılarda master alaşım ilavesi yerine istenilen değerlere ulaşılacak şekilde ilaveler yapılmıştır. Ağırlıkça 0.035 ve 0.055 Sr aralığında modifikasyonun optimum olduğu ilave oranı belirlenip bu bölgede denemeler yoğunlaştırılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

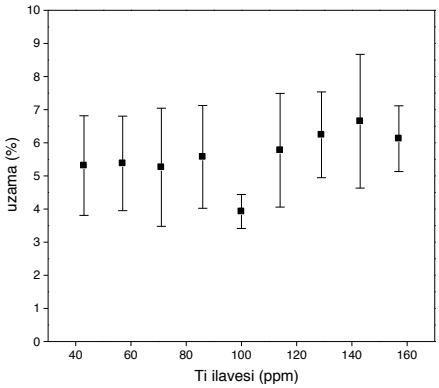
Al-Ti-B master alaşımı ile farklı oranlarda Ti ilave edilmiş döküm parçaların çekme ve akma mukavemeti değerleri Şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 7. Ti ilavesine bağlı olarak mekanik mukavemet değerlerinin değişimi.

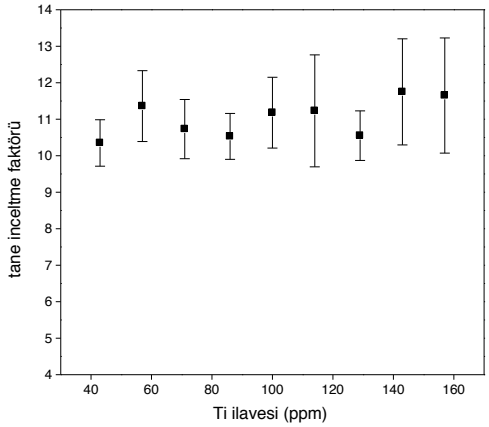
Ti ilavesi 40 ppm den 130-140 ppm seviyesine kadar mekanik özelliklerde bir artış trendi gözlenmektedir. Daha yüksek Ti ilave edildiğinde hem akma hem de çekme mukavemet değerlerinde düşme olmaktadır. Buradan da görüleceği gibi Ti, ne kadar çok ilave edilirse o kadar faydalı bir katkı değildir. Ti ilavesi arttıkça TiB_2 çözünmez bileşik partiküllerinin sayısı da artmaktadır. TiB_2 esasen bir inklüzyondur ve yapıda dağılmadığı takdirde mekanik özelliklere zarar verir.

Ti ilave miktarına bağlı olarak yüzde uzama değerlerinin değişimi de akma ve çekme mukavemetine benzer bir trend göstermektedir (Şekil 8). Çok belirgin olmamakla birlikte 140 ppm Ti seviyesinde en yüksek uzama değerlerine ulaşılmaktadır.



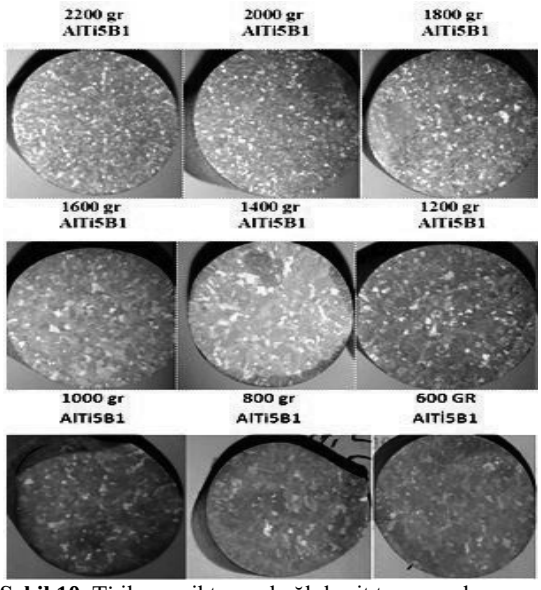
Şekil 8. Ti ilavesine bağlı olarak yüzde uzama değişimi.

Mk-TA 110 termal analiz cihazından alınan verilere göre tane inceltme faktörü artan Ti ilave miktarı ile birlikte genel olarak artmıştır (Şekil 9). Çekirdeklendirici sayısı arttıkça, daha yaygın bir heterojen çekirdeklenme yaşanacağından bu beklenen bir sonuçtur.



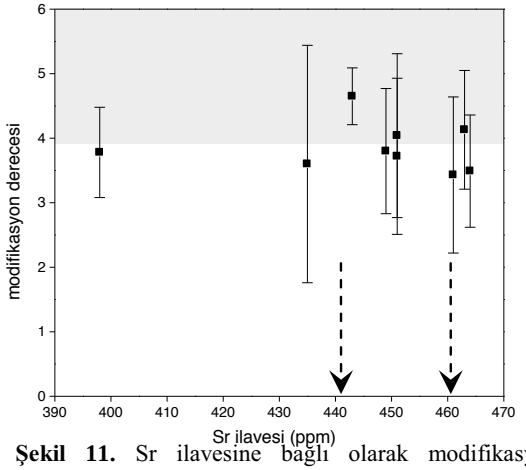
Şekil 9. Ti ilavesine bağlı olarak tane incelik faktörü değişimi.

Farklı AlTi5B1 ilave miktarlarında üretilmiş parçalardan alınan numunelerin kesit tane yapıları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Ti ilave miktarına bağlı kesit tane yapıları.

Ötektik silis fazının modifikasyonu için modifikasyon derecesi olarak en az 4 hedeflenmiştir. Sr ilave miktarlarına bağlı modifikasyon değerleri Şekil 11'deki gibidir. Denenen Sr ilave oranlarında modifikasyon derecesinde çok belirgin değişiklikler olmamıştır. Ancak güvenli bir yaklaşımla en az 4 modifikasyon derecesinin istikrarlı şekilde elde edileceği Sr ilave miktarı 440 – 460 ppm aralığındadır.



Şekil 11. Sr ilavesine bağlı olarak modifikasyon derecelerinin değişimi.

Sonuçlar

130-140 ppm seviyesine kadar Ti ilavelerinde mekanik özelliklerde bir artış trendi gözlenmektedir. Akma, çekme ve uzama değerlerinin tümünde bu Ti ilave seviyesinde en yüksek değerlere ulaşılmış ve daha yüksek ilave oranlarında düşme yaşanmıştır.

En az 4 modifikasyon derecesinin istikrarlı şekilde elde edileceği Sr ilave miktarı 440 – 460 ppm aralığındadır.

Kaynakça

1. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P.D. Smet, A. Haszler, A. Vieregge ,Recent development in aluminium alloys for the automotive industry Mater. Sci. Eng. A, 280 (2000), pp. 37–49
2. J.G. Kaufman, E.L. Rooy: Aluminum Alloy Castings; Properties, Processes, and Applications; ASM International, 2004.
3. J.R. Davis: ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys; ASM International, the Materials Information Society: Materials Park, OH, USA, 1994; pp. 1–30.
4. J.E. Hatch, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, Metals Park, Ohio: ASM 1984.
5. A. Cibula: J. Inst. Met., 1949, 76, 321–360.
6. B. S. Murty, S. A. Kori and M. Chakraborty: Int. Mater. Rev., 2002, 47, 3–29.
7. D. G. McCartney: Int. Mater. Rev., 1989, 34, 247–260.
8. W. Kurz and D. J. Fisher: 'Fundamentals of solidification'; 1989, Zurich, Trans-Tech Publications.
9. D. Qiu, J.A. Taylor, M.X. Zhang, et al. A mechanism for the poisoning effect of silicon on

the grain refinement of Al–Si alloys Acta Mater., 55 (4) (2007), pp. 1447–1456
10. P.S. Mohanty, J.E. Gruzleski Grain refinement mechanisms of hypoeutectic Al-Si alloys Acta Mater., 44 (9) (1996), pp. 3749–3760
11. M. Warmuzek, Aluminum-Silicon Casting Alloys Atlas of Microfractographs, 2004 ASM International.
12. S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P.D. Smet, A. Haszler, A. Vieregge ,Recent development in aluminium alloys for the automotive industry Mater. Sci. Eng. A, 280 (2000), pp. 37–49
13. G.K. Sigworth: The modification of Al-Si casting alloys: Important practical and theoretical aspects. International Journal of Metalcasting, 2008, 2, 19-40.
14. A.K. Dahle, K. Nogita, S.D. McDonald, C. Dinnis, L. Lu: Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys, Materials Science and Engineering A, 2005, 413-414, 243-248.
15. A. Kósa, Z. Gácsi, J. Dúl: Effects Of Strontium On The Microstructure Of Al-Si Casting Alloys, Materials Science and Engineering, 2012, 37, 43–50.
16. J.E. Gruzleski: The art and science of modification: 25 years of progress, Transactions of the American Foundryman's Society, 1992, 100, 673-683.
17. J.E. Gruzleski, B.E. Closset: The Treatment of Liquid Aluminium – Silicon Alloys. Des Plaines : American Foundrymen´s Society, Inc., 1999, 256.
18. M. Timpel, N. Wanderka, R. Schlesiger, J. Banhart, The Role of Strontium in Modifying Al-Si alloys, Acta Materialia, 60, 9 (2012) 3920-3928.
19. S. Hegde, K. Narayan Prabhu: Modification of eutectic silicon in Al–Si alloys, J Mater Sci., 2008, 43,3009–3027.
20. S. Z. Lu and A. Hellawell, Modification of Aluminum Silicon Alloys: Microstructure, Thermal Analysis, and Mechanisms, JOM, 1995, 47, 38-40.
21. COMALCO. Modification of foundry Al-Si alloys. Technical report No. 4, Comalco Aluminum Limited. Brisbane, Australia, 1997.
22. J. Campbell, Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design, 2: 244, (2011)
23. M. B. Djurdjevic, J. H. Sokolowski and H. Jiang, "On-Line Prediction of thenAluminum-Silicon Eutectic Modification Level Using Thermal Analysis",nMaterials Characterization, 2000, v. 45, 31-38.
24. M.B. Djurdjević, Z.Odanović, J.Pavlović-Krstić:Melt Quality Control At Aluminum Casting Plants , Association of Metallurgical Engineers of Serbia,2010

Alüminyum Sürekli Döküm Alaşımlarında Alaşım Kombinasyonuna Bağlı Olarak Cüruf İçeriğinin Yapısal ve Elementel Analizi

Structural and Elemental Analysis of Inclusions in Aluminum Continuous Casting With Respect to the Alloy Combination

Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Selim Ertürk[2], Cüneyt Arslan[2], Eda Dağdelen[1]

[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract

Melting, alloying, and refining are all completed in continuous casting lines prior to solidification. In order to ensure good casting quality, slagging should be done well, and inclusions; such as hydrogen, etc. must be removed. Especially the high proportion of aluminum in slag, adversely effects production efficiency and cost. In this study, the effects of alloy type and combination on slag composition were investigated. Elemental analysis with atomic absorption technique and phase analysis with XRD technique were performed on slag samples in order to determine the optimum alloy composition.

Özet

Sürekli döküm hatlarında katılaştırma öncesinde ergitme, alaşımlandırma, rafinasyon vb. işlemler yapılmaktadır. Döküm verimi ve kalitesinin iyi olması için cüruf çekme işlemi iyi yapılmalı, inklüzyon; hidrojen, vb. safsızlıklar giderilmelidir. Özellikle cüruf içerisindeki alüminyum oranının yüksek oluşu üretim verimini ve maliyetini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada alaşım cinsinin ve kombinasyonunun, cüruf bileşimine etkisi incelenmiştir. Cüruf numunelerine atomik absorbsiyon tekniği ile elementel analiz, XRD tekniği ile faz analizi yapılmış ve optimum alaşım bileşimi belirlenmeye çalışılmıştır.

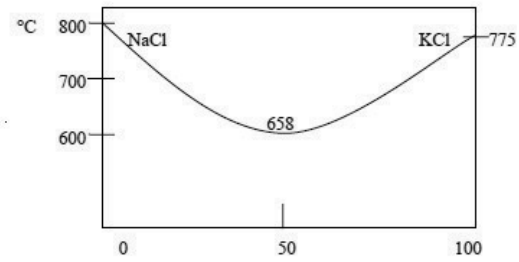
1. Giriş

Alüminyum ergitme ve döküm işlemleri sırasında yapılan rafinasyon işlemlerinden biri de çeşitli flakslar ile yapılan rafinasyonlardır. Flakslama kimyasal tuzlar ve karışımlar kullanılarak yapılan bir işlemdir. Katı flakslar genellikle inorganik olup inklüzyon, gaz giderme, alaşımlama, ergimiş metalin oksidasyondan korunması, ergitme fırınlarının korunması, tane küçültme gibi pek çok fonksiyonu yerine getirirler [1].

Flaks içindeki maddelerin 4 temel rolü bulunmaktadır:

- Düşük ergime noktası ve yüksek akışkanlık vermek. NaCl ve KCl karışımları bunun içindir.
- Anyon üretmek: Nitrat, karbonat ve sülfat gibi alüminyumdaki empüritelere reaksiyona girme kabiliyetine sahip ajanlara sahiptir.
- Tüketilen kg başına maliyeti düşürmek için dolgu malzemesi olmak.
- Flakslama işlemi sonucunda oluşan ürünlerin aglomerasyonu veya absorblanması [1].

Tüm bu işlemlerin yapılabilmesi için flaks bileşiminin ergime noktasının, kullanılacak metalin ergime noktasından düşük olması gerekmektedir.



Şekil 1: Flakslarda Kimyasal Bileşime Bağlı Ergime Noktası [2]

Alüminyum kimyasal olarak çok aktiftir. Eriyik haldeki alüminyum çok hızlı bir şekilde alüminyum oksit oluşturur [3]. Yüksek sıcaklık, uzun bekleme zamanı, türbülans, sıvı metalin alaşımı gibi parametreler, oksitlerin oluşum hızı ve miktarını belirler [4].

Cüruf, alüminyum oksit, alüminyum metal, karbür, çeşitli tuzlar ve diğer ergitme ürünlerinin karışımıdır [5]. Bu oluşum bir yandan, sıvı metal ile yapılan işlemler sırasında alüminyum içine karışarak bir kirlilik oluşturmakta diğer yandan hapsettiği sıvı alüminyum ile metal kaybına neden olmaktadır. Termodinamik olarak cüruf oluşumunu ortadan kaldırmak pratikte imkânsız olduğundan oluşacak cürufu azaltmak ve içeriğini kontrol edebilmek adına uygun metal bileşimi ve flaks bileşimi belirlenmelidir [6].

Metal bileşimi ve flaks kompozisyonu da cüruftaki metalin geri kazanımı üzerinde oldukça etkilidir. Bu çalışmada kullanılan NaCl ve KCl ana bileşenli ve Na_3AlF_6 ilaveli flaksın metal geri kazanımının %63'e kadar çıkarabildiği literatürde belirtilmiştir [5]. Geçmiş çalışmalarda belirtilen metal geri kazanım oranı en yüksek kimyasal karışımlardan bir tanesi bu karışım olduğundan flaks bileşimi NaCl + KCl + Na_3AlF_6 olarak belirlenmiş ve alaşımlar kendi içinde değiştirilerek AA3003 ve AA5005 serisinde kendi içindeki alaşım elementi değişimleri ile metal geri dönüşümünün maksimum olduğu kombinasyonun bulunması hedeflenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Alaşım Kombinasyonlarını Hazırlama ve Cüruf Çekme

Cüruf numuneleri alınacak alaşımlar olarak AA3003 ve AA55005 serisi alaşımlar seçilmiş ve çizelge 1'de belirtilen kombinasyonlarda üretilmişlerdir.

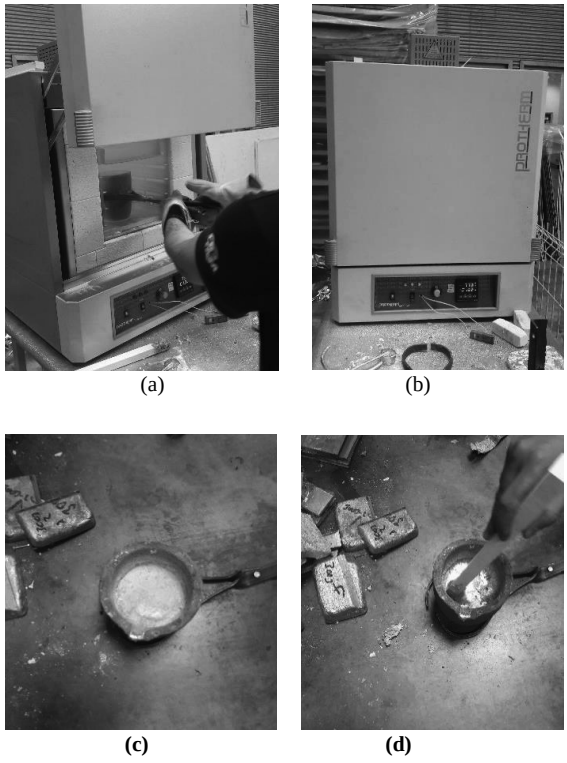
Çizelge 1: Deney Serisi Alaşımları

Numune Kodu	*% Si*	*% Fe*	*% Mn*	*% Mg*	*% Al*
AA3003 - 1	0,090	0,300	0,700	xxx	98,000
AA3003 - 2	0,090	0,450	0,700	xxx	98,000
AA3003 - 3	0,350	0,300	0,700	xxx	98,000
AA3003 - 4	0,350	0,450	0,700	xxx	98,000
AA3003 - 5	0,090	0,300	1,000	xxx	98,000
AA3003 - 6	0,090	0,450	1,000	xxx	98,000
AA3003 - 7	0,350	0,300	1,000	xxx	98,000
AA3003 - 8	0,350	0,450	1,000	xxx	98,000
AA3003 - 9	0,090	0,300	1,200	xxx	98,000
AA3003 - 10	0,090	0,450	1,200	xxx	98,000
AA3003 - 11	0,350	0,300	1,200	xxx	98,000
AA3003 - 12	0,350	0,450	1,200	xxx	98,000
AA5005 - 1	0,090	0,300	xxx	0,500	98,000
AA5005 - 2	0,200	0,300	xxx	0,500	98,000
AA5005 - 3	0,090	0,450	xxx	0,500	98,000
AA5005 - 4	0,200	0,450	xxx	0,500	98,000
AA5005 - 5	0,090	0,300	xxx	0,700	98,000
AA5005 - 6	0,200	0,300	xxx	0,700	98,000
AA5005 - 7	0,090	0,450	xxx	0,700	98,000
AA5005 - 8	0,200	0,450	xxx	0,700	98,000
AA5005 - 9	0,090	0,300	xxx	0,900	98,000
AA5005 - 10	0,200	0,300	xxx	0,900	98,000
AA5005 - 11	0,090	0,450	xxx	0,900	98,000
AA5005 - 12	0,200	0,450	xxx	0,900	98,000

Deney serileri AA3003 serisinde değişen Si, Fe ve Mn oranları ile 12 adet, AA5005 serisinde değişen Si, Fe ve Mg oranları ile 12 adet numune olarak hazırlanmıştır. A3 pota içerisine A8 birincil alüminyum hammadde ergitilmiş ve gerekli miktarlarda Si, Fe, Mn, Mg alaşımlama elementi eriyiğe katılmıştır. Her bir alaşım grubundan 1,5 kg eriyik hazırlanmıştır. Fırın 780 ºC'ye çıkarılmış, bu sıcaklıkta 1 saat beklenmiş, pota fırından çıkarılmış, üzerinde biriken kirlilikler alınmış, flaks uygulaması yapılmış, tekrar 780 ºC'deki fırına konulmuş, 10 dakika beklenmiş ve pota çıkarılarak yüzeyinden cüruf çekme işlemi yapılmıştır.

Çizelge 2: Flaks Kompozisyonu

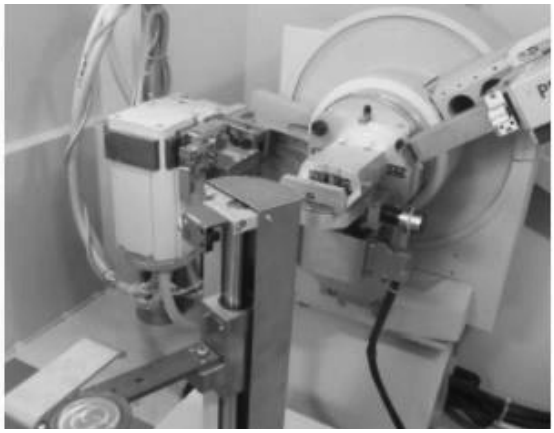
% NaCl	%KCl	%Na_3AlF_6
46,00	49,00	5,00



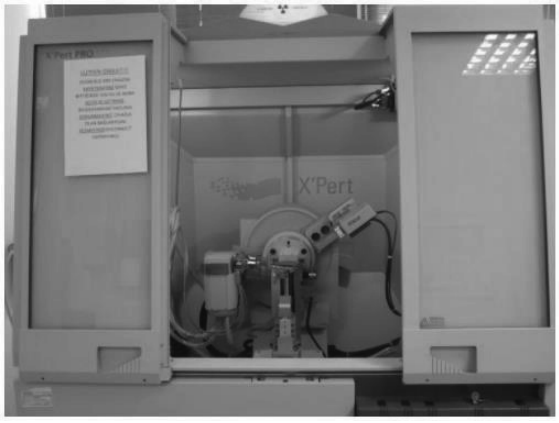
Şekil 2: (a) ve (b) Alaşımın Yapıldığı Ergitme Fırını, (c) Pota İçinde Ergimiş Alaşım ve (d) Cüruf Çekme İşlemi Görüntüleri

2.2. XRD (X- Işınları Difraktometresi) ile Faz Analizi

X- ışını difraksiyonu, malzemelerin kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan hasarsız analiz yöntemidir. Toz numunelere uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısının yanı sıra, tane boyutu ve tercihli yönlenmeler gibi özellikler belirlenebilir. Aynı zamanda, içerdiği fazlar hakkında bilgi sahibi olunmayan numunelerin analizi sonucunda elde edilen verilerin ilgili veri tabanı ile karşılaştırılması sonucu numunenin içerdiği fazlar belirlenir. Rietveld analizi gibi yöntemlerin kullanılmasıyla numunenin içerdiği bileşiklerin göreceli miktarsal oranları belirlenir.



(a)

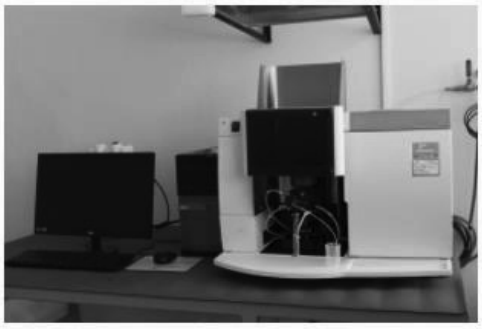


(b)

Şekil 3: (a) ve (b) XRD Cihazı

2.3. Atomik Absorbsiyon Tekniği ile Elementel Analiz

Atomik absorbsiyon spektrometresi (AAS), elementlerin derişiklerinin ppm seviyesinde ölçümünde kullanılan bir kantitatif analiz yöntemidir. Bu yöntemde karakterizasyon, özel bir radyasyon kaynağı kullanılarak elde edilen ışınların enerjilerinin soğurulması prensibine dayanmaktadır. Bu analiz tekniği kullanılarak karakterize edilmek istenen numune içerisindeki elementler, hava/asetilen veya azot-oksit/asetilen alevi kullanılarak iyonize hale getirilir. Elementler bu koşullar altında kendi çizgisel spektrumuna uyan bir bantta radyasyon soğurmaya uygundur. Analizi yapılmak istenen numune kaynaktan gelen ışına maruz kalır ve gelen ışınları absorblar. Işığı absorblayan atomlarda temel seviyede elektronlar, kararsız uyarılmış enerji düzeylerine geçerler. Absorbsiyon miktarı, temel düzeydeki atom sayısına bağlıdır. Soğurulan ışın miktarı, tayini yapılmak istenen elementin miktarını belirlemektedir.



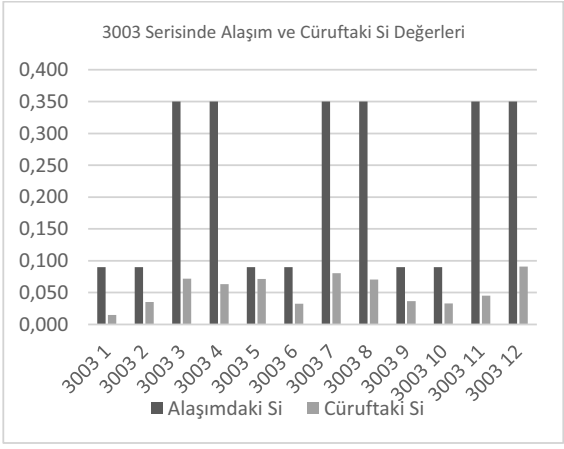
Şekil 4: Atomik Absorbsiyon Spektrometresi

3. Sonuçlar

3.1. Atomik Absorbsiyon Sonuçları

Çizelge 2: 3003 Serisinde Alaşımda ve Cüruftaki %Si Değerleri

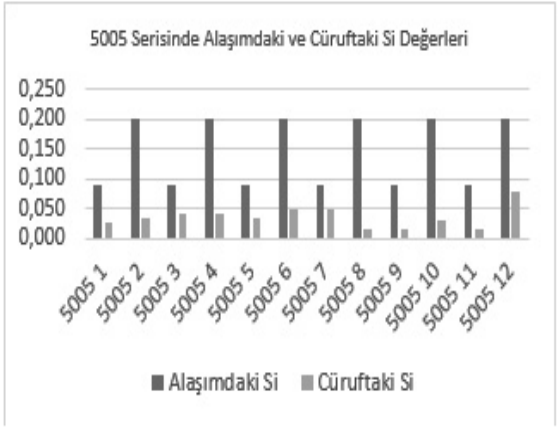
Seri No	Alaşımdaki Si	Cüruftaki Si
3003 1	0,090	0,014931
3003 2	0,090	0,035113
3003 3	0,350	0,071694
3003 4	0,350	0,063308
3003 5	0,090	0,071301
3003 6	0,090	0,032765
3003 7	0,350	0,080694
3003 8	0,350	0,07054
3003 9	0,090	0,036547
3003 10	0,090	0,032952
3003 11	0,350	0,045234
3003 12	0,350	0,090952



Şekil 5: 3003 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Si Değerleri

Çizelge 3: 5005 Serisinde Alaşımda ve Cüruftaki %Si Değerleri

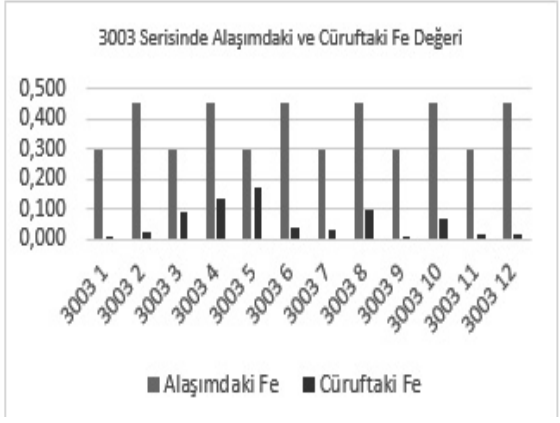
Seri No	Alaşımda %Si	Cürufta %Si
5005 1	0,090	0,025477
5005 2	0,200	0,032767
5005 3	0,090	0,041448
5005 4	0,200	0,042427
5005 5	0,090	0,035344
5005 6	0,200	0,050285
5005 7	0,090	0,050305
5005 8	0,200	0,017027
5005 9	0,090	0,014053
5005 10	0,200	0,03087
5005 11	0,090	0,015725
5005 12	0,200	0,07796



Şekil 6: 5005 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Si Değerleri

Çizelge 4: 3003 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Fe Değerleri

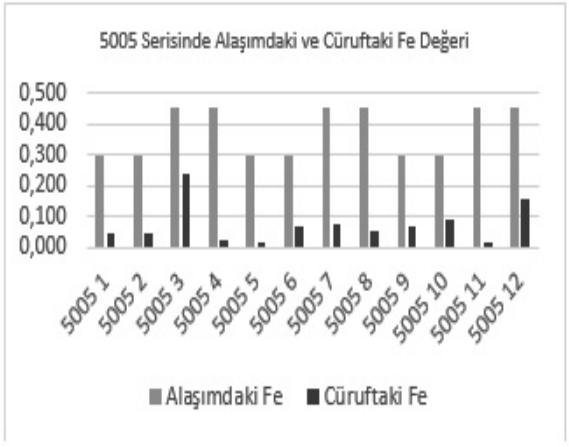
Seri No	Alaşımda %Fe	Cürufta %Fe
3003 1	0,300	0,006612
3003 2	0,450	0,026527
3003 3	0,300	0,087575
3003 4	0,450	0,132419
3003 5	0,300	0,175186
3003 6	0,450	0,036405
3003 7	0,300	0,034237
3003 8	0,450	0,10112
3003 9	0,300	0,012008
3003 10	0,450	0,067419
3003 11	0,300	0,019282
3003 12	0,450	0,018461



Şekil 7: 3003 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Fe Değerleri

Çizelge 5: 5005 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Fe Değerler

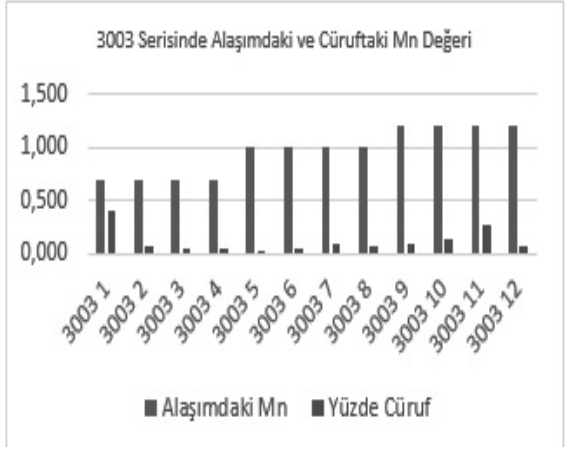
Seri No	Alaşımdaki Fe	Cüruftaki Fe
5005 1	0,300	0,041846
5005 2	0,300	0,043924
5005 3	0,450	0,240091
5005 4	0,450	0,022178
5005 5	0,300	0,014254
5005 6	0,300	0,067572
5005 7	0,450	0,071893
5005 8	0,450	0,052059
5005 9	0,300	0,064375
5005 10	0,300	0,088295
5005 11	0,450	0,018353
5005 12	0,450	0,157635



Şekil 8: 5005 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Fe Değerleri

Çizelge 6: 3003 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Mn Değerleri

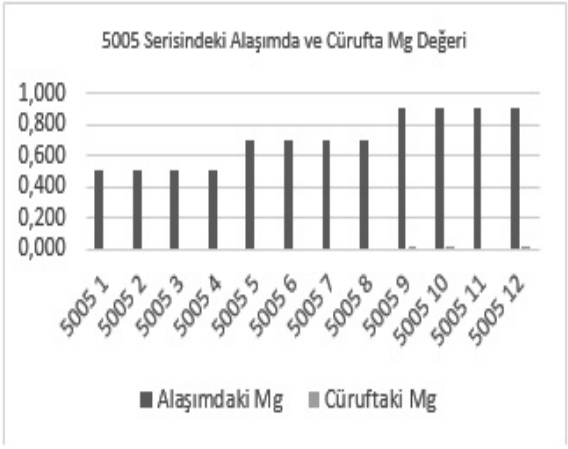
Seri No	Alaşımda%Mn	Cürufta %Mn
3003 1	0,700	0,401326
3003 2	0,700	0,073216
3003 3	0,700	0,038853
3003 4	0,700	0,05179
3003 5	1,000	0,012707
3003 6	1,000	0,043905
3003 7	1,000	0,08401
3003 8	1,000	0,071651
3003 9	1,200	0,092381
3003 10	1,200	0,126217
3003 11	1,200	0,259444
3003 12	1,200	0,065055



Şekil 9: 3003 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Mn Değerleri

Çizelge 7: 5005 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Mg Değerleri

Seri No	Alaşımda %Mg	Cürufta %Mg
5005 1	0,500	0,000
5005 2	0,500	0,000
5005 3	0,500	0,000
5005 4	0,500	0,000
5005 5	0,700	0,000
5005 6	0,700	0,000
5005 7	0,700	0,000
5005 8	0,700	0,000
5005 9	0,900	0,013
5005 10	0,900	0,004
5005 11	0,900	0,000
5005 12	0,900	0,008



Şekil 10: 5005 Serisinde Alaşımdaki ve Cüruftaki %Mg Değerleri

3.2. XRD Faz Analizi Sonuçları

Çizelge 8: 3003 1 ve 3003 2 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 1 XRD Sonuçları		3003 2 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	75,9	Al	68
Mn	10,8	Si	6
Al2,666O3,999		Mn3O4	6
AlO	5,0	Al13Fe4	8,6
Fe0,03Mn2,97	8,3	Fe3O4	1,2
MgO3Si	0,1	Al8,05Fe1,05Mg3,15O20Si1,75	10,1

Çizelge 9: 3003 3 ve 3003 4 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 3 XRD Sonuçları		3003 4 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Si	15,4	Al	61,7
Al	69,2	Si	18,4
MgO	0,7	Mn	0,4
Al12Mg17	0,3	Fe2O4Si	9,4
Fe3O4	0,6	SiO2	1,3
Al0,74Fe1,26MgO4	13,9	Al4,1MnSi0,74	8,8

Çizelge 10: 3003 5 ve 3003 6 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 5 XRD Sonuçları		3003 6 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	87,8	Al	81,1
Si	11,5	Si	4,9
AlFe3	0,2	Fe	0,3
Mg2O4Si	0,6	Al13Fe4	13,1
		Mg2O4Si	0,6
		AlFe2,19Mn0,81	0,1

Çizelge 11: 3003 7 ve 3003 8 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 7 XRD Sonuçları		3003 8 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	56,9	Si	16,3
Si	21,6	Al	48,8
Mg0,005Mn2,995O4	7,9	MgO	0,6
Al13Fe4	12,7	Mg2O4Si	
MnO2	0,8	Mn3O4	9,5
Fe11Si5	0,1	Al9,68Mn2,99	23,5
		MnO2	1,1
		Mn7O12Si	0,2

Çizelge 12: 3003 9 ve 3003 10 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 9 XRD Sonuçları		3003 10 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	85,8	Al	38,4
Si		Si	5,3
Mg0,841Mn0,159O	0,3	MgO	26,7
Fe2O3		Fe2O3	6,9
Al13Fe4	11,4	Fe2MnO4	
Al2Fe0,79Mn2,21O12Si3	0,5	MnO2	17,2
Mg2si	0,3	Al4,01Mn1Si0,74	5,5
Al2O3	1,6		

Çizelge 13: 3003 11 ve 3003 12 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

3003 11 XRD Sonuçları		3003 12 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	20,8	Al	77,8
Si	15,6	Si	
MgO	0,5	Al2O3	17,4
Mn7O12Si	1,7	Al1,94Fe0,76Mg0,3O4	2,8
SiO2	4,6	Al2MgO4	0,7
AlMgSi	56,9	SiO2	
Al8,05Fe1,05Mg3,15O20Si1,75	0,1	Fe2O3	1,3

Çizelge 14: 5005 1 ve 5005 2 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 1 XRD Sonuçları		5005 2 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	71,5	Al	76,4
Al2O3	10,3		
Si	1,6	MgO	0,3
SiO2	6,8	Mn2O3	0,4
MnSi	9,5	FeO	0,4
Al0,5Fe0,9Mn0,6	0,3	Al2,144O3,2	4,1
		Al4Fe1,7Si	0,2
		Al4,01Mn1Si0,74	18,1

Çizelge 15: 5005 3 ve 5005 4 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 3 XRD Sonuçları		5005 4 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	89,2	Al	81,3
Fe0,568Mg0,432O	1,9	Si	3,6
Si	5,1	Mg0,725Mn0,275O	0,1
MgO	1,1	Al167,8Fe44,9Si23,9	14,8
Fe3O4	2,7	Fe0,929O	0,2
SiO2			

Çizelge 16: 5005 5 ve 5005 6 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 5 XRD Sonuçları		5005 6 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	70,9	Al	65
Si	2,1	Si	7,3
Fe1,407Mg0,593	0	MgO	
Fe2,88993Si1,11	0,3	SiO2	12,8
MgO3Si	0,4	Fe2O4Si	1
SiO2	26,3	Fe0,902O	0,3
		Al13Fe4	10
		Al2Mg0,99O4	3,8

Çizelge 17: 5005 7 ve 5005 8 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 7 XRD Sonuçları		5005 8 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	84,8	Al	81,4
Si	14,3	Mg0,59Mn0,41	0,1
Mg2SiO4	0,3	Si	2,1
SiO2	0,1	MnSi	16,3
Al4Fe1,66Mg0,34O18Si5	0,5	Fe3Si0,93	0,1

Çizelge 18: 5005 9 ve 500510 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 9 XRD Sonuçları		5005 10 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	30,5	Al	38,4
MgO	32,5	Si	5,3
Si	1,3	MgO	26,7
Fe0,942O	12,6	Fe2O3	6,9
Fe2O4Si	21,6	Fe2MnO4	
Fe0,911O		MnO2	17,2
Mn3O4	1,2	Al4,01Mn1Si0,74	5,5
Al9,68Mn2,99	0,2		

Çizelge 19: 5005 11 ve 5005 12 nolu Numunelerin XRD Sonuçları

5005 11 XRD Sonuçları		5005 12 XRD Sonuçları	
Bileşen	%Ağ.	Bileşen	%Ağ.
Al	36,2	Al	75,5
MgO	48,6	Si	22,2
Si	1,3	MgO	2,2
SiO2	2,3	Fe3O4	0,1
Fe0,925O	0,3	SiO2	
Fe2,25O4Si0,75	11,4		

4. Yorumlar ve Tartışma

2) Atomik absorbsiyon sonuçlarına bakıldığında herhangi bir elementin alaşımdaki miktarı arttığında buna paralel olarak cürufa geçen element miktarında artış olduğu gözlemlenmemiştir.

3) Herhangi bir element miktarı alaşımda arttırılırken yanında intermetalik veya spinel faz oluşturabileceği element miktarı da alaşımda arttığında ikisinin veya üçünün birden cüruftaki miktarı artmıştır. Bu durumda bir alaşımda herhangi bir elementin miktarının artması cürufta da o elementin miktarının artacağı anlamına gelmez, bir elementin alaşımdan cürufa geçmesi için yanında mevcut şartlarda bileşik oluşturabileceği başka bir element olmalıdır.

4) Flakslarda kullanılan kriyolit cüruftaki Al_2O_3 filmini çözüp, oksit tabakanın içinde hapsolmuş metalik alüminyumun sıvı metal havuzuna geri salınması için kullanılır. Mevcut şartlarda kullanılan flaksta kriyolit bulunmasına rağmen XRD sonuçlarına göre cürufta %80'den fazla metalik alüminyum fazları görülmüştür. Bu durumda uygulama şartlarında kriyolitin Al_2O_3'ü çözdüğüne dair teoriler tartışılmalıdır.

5) Cüruftaki metalik alüminyum fazının yoğunluğu cüruf çekme işleminden de etkilenmektedir. Doğru cüruf çekme işlemi için ayırıcı flakslar kullanılabilir.

6) 5005 serisi magnezyum elementinde sıvı metalden cürufa hemen hemen hiç magnezyum geçişi olmamıştır. Bunun sebebi katılacak magnezyumun sıvı metal havuzuna bir aparat aracılığı ile batırılması ve atmosfer ile bağlantısının kesilmesidir. Döküm fırınlarında da magnezyum elementi sıvı alüminyum havuzuna doğrudan batırılarak uygulanmalıdır.

6) 3003 Serisinde 11 nolu bileşimde %20.8, 5005 Serisinde 9 nolu bileşimde %30.5 cüruf bileşim oranıyla en az alüminyum kaybı yaşanmıştır.

7) Sonraki çalışmada alaşımlardaki element miktarı sabit tutulurken sıvı metal/flaks oranı ve flaks kimyasal bileşenleri değiştirilecek ve cüruftaki element faz ve oranlarına flaks miktarı ve kimyasal kompozisyonunun etkisi incelenecektir.

5. Referanslar

[1] T.A. Utigard, K. Eriesen, R. Roy, J. Lim, A. Silny, C. Dupuis, JOM, pp 38-43, November 1998

[2] J.E. Gruzleski, B.M. Clooset, ''The Treatment of Liquid Aluminum – Silicon Alloys'', American Foundrymen's Society, 1990

[3] P.W. Baker, K. Nguyen, R. Kirkcaldy, 4th Australasian Asian Pasific Course and Cenference (Ed, M. Nilmani), TMS, 1995

[4] M. H. Fox, M. Nilmani, ''Role of Molten Salts in Secondary Remelting of Aluminum Scrap'', Aluminum Melt Treatment & Casting, (Ed. M. Nilmani), TMS, 1993

[5] D.J. Shell, M. Nilmani, M.H. Fox, W.J. Rankin, ''Aluminum Slags Treatment Using Salt Fluxes'', Light Metals, pp 133-146, 1995

[6] R.I.L. Guthrie, M. Nilmani, ''Impurity Sources and Control'', Aluminum Melt Treatment & Casting (Ed. M. Nilmani), TMS, 1995

AlFeMn Alaşımında Döküm Mikroyapısının Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Effect of As-Cast Microstructure of AlFeMn Alloy on the Material's Properties

Mert Gülver, Mert Günyüz, Onur Meydanoğlu, Onur Birbaşar
Assan Alüminyum Sanayi

Abstract

In this study, the effect of as-cast microstructure of twin roll cast AlFeMn alloy (8XXX) on microstructural and mechanical properties of soft annealed strips were examined. For this purpose, two 8XXX as-cast strips having different microstructures were processed involving homogenization annealing to achieve 0,2 mm thick soft annealed strips. Microstructural surveys show that as-cast microstructure has influence on microstructural evolution during downstream processes. 45 % cold rolling prior to homogenization annealing leads to grain growth in regions close to surface. Presence of coarse grains on the surface after homogenization annealing encourages grain growth on surface during soft annealing and leads to poorer Erichsen depth.

Özet

Bu çalışmada ikiz merdane sürekli döküm mikroyapısının nihai kalınlıkta uygulanan yumuşatma tavı sonrası AlFeMn alaşımlarının (8XXX) mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı mikroyapıya sahip 8XXX döküm levhaları homojen tavlı prosesler ile 0,2 mm'ye haddelenerek yumuşatma tavı uygulanmıştır. Mikroyapı incelemeleri döküm mikroyapısının alt proseslerde gelişen mikroyapı üzerinde etkisi olduğunu göstermiştir. % 45 soğuk haddeleme sonrası homojen tav uygulanmasının döküm kalınlığındaki mikroyapıdan bağımsız olarak yüzeye yakın bölgelerde tane büyümesine neden olduğu görülmüştür. Homojen tav sonrası yüzeyde büyümüş tanelerin bulunması nihai kalınlıkta uygulanan yumuşatma tavında tanelerin kabalaşmasını teşvik etmektedir ve nihai tav sonrası Erichsen derinliğini olumsuz etkilemektedir.

1. Giriş

Alüminyum, karakteristik özelliklerinin avantajları ile günümüzde kullanıldığı uygulama alanlarındaki yerini koruyup her geçen gün tüketim tonajını arttırken bir yanda da yeni uygulama alanlarında yer bulmaya devam etmektedir. Kullanıldığı uygulama alanlarında alüminyumu öne çıkaran özellikleri arasında spesifik mukavemet, hafiflik, ısıl ve elektriksel iletkenlik ile beraber korozyona karşı olan direncinin de yüksek olmasını sayabiliriz [1].

İkiz merdane döküm (TRC) metodunda alüminyum levha üretimi, sıvı metalin su soğutmalı iki merdane arasına seramik tip yardımıyla beslenmesi sonucunda oluşan ara yüzeyden ısının absorbe edilerek katılaşmanın sağlanması ve bu dengenin döküm prosesi boyunca korunması esasına dayanmaktadır. Isının su soğutmalı iki merdane tarafından absorbe edilmesi sonrasında katılaşma çok hızlı bir şekilde gerçekleşirken döküm yönünde de bir deformasyon gerçekleşir. Katılaşmadan hemen sonra gözlemlenen bu deformasyonun sonucunda yönlenen taneler nihai kalınlıkta yüksek şekil verme ve derin çekme kabiliyetlerinin önemli olduğu uygulama alanlarındaki ihtiyaca cevap veremezler [2-6].

AlFeMn alaşımları yüksek şekillenebilirliğin beklendiği uygulamalarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek şekil verilebilirliğin sağlanması için gereken malzeme özelliklerinden en önemlisi mikroyapısal karakteristiklerdir ve bunun yanında döküm mikroyapısının da nihai ürün mikroyapısı üzerinde direk etkisi olduğu bilinmektedir [7].

Bu çalışmada, ikiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilen AlFeMn alaşımında farklı döküm tane yapısının nihai üründeki mikroyapısal ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada farklı döküm mikroyapısının soğuk haddelenmiş 0,2 mm kalınlıktaki 8XXX alaşımına uygulanan yumuşatma tavı sonrası malzeme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Döküm levhalarından döküm kalınlığında (DK) veya % 45 soğuk haddeleme (SH) sonrası homojenizasyon tavı (HT) uygulanarak 0,2 mm kalınlıkta levhalar elde edilmiş ve bu kalınlıkta

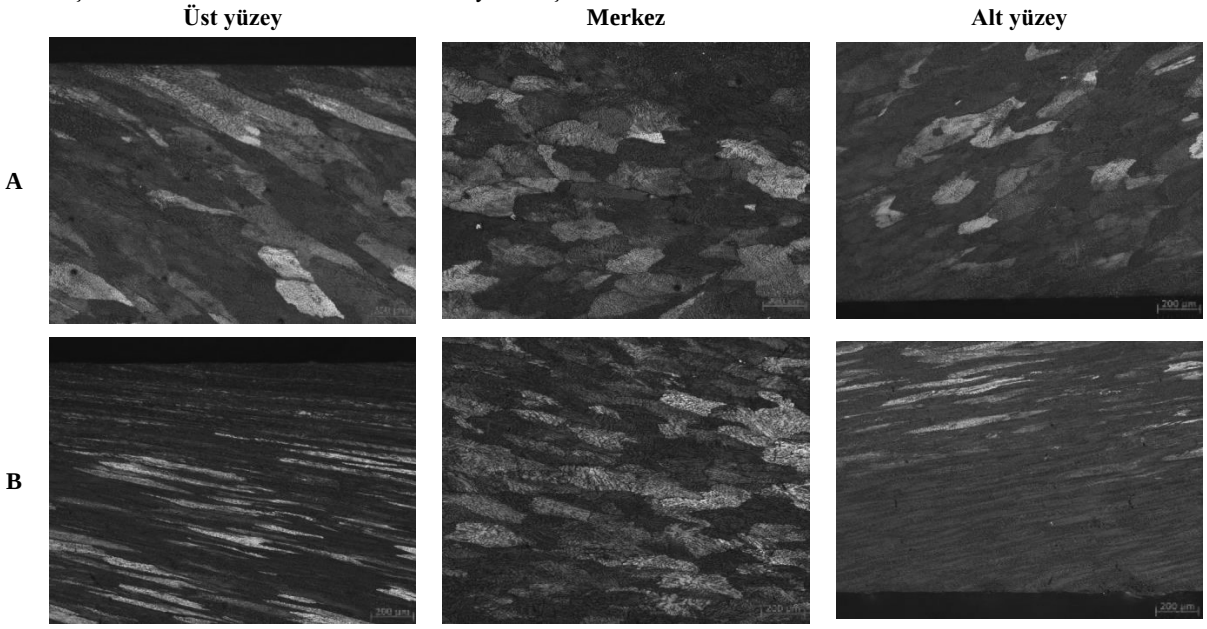
yumuşatma tavı uygulanmıştır. Bu şekilde döküm mikroyapısının ve homojenizasyon tav yerinin 0,2 mm kalınlıktaki 8XXX alaşımının yumuşatma tavı sonrası özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Döküm mikroyapısının ve homojen tav kalınlığının etkileri mikroskobik incelemeler ve mekanik testler ile belirlenmiştir. Mikroskobik incelemeler standart metalografik yöntemler ile hazırlanmış numunelerin kesitlerinde optik mikroskop ile polarize ışık altında gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikler oda sıcaklığında çekme ve Erichsen testleri ile belirlenmiştir.

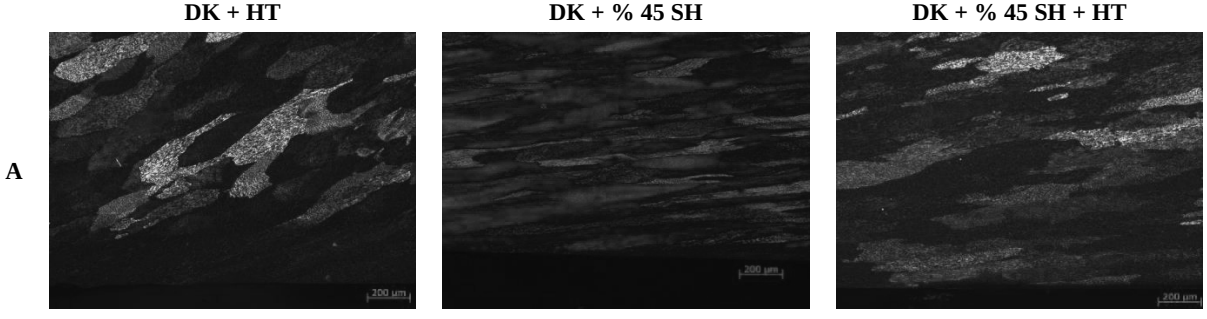
3. Sonuçlar ve Tartışma

Farklı döküm koşullarına bağlı olarak elde edilen döküm kalınlığındaki levhalara ait tipik tane yapıları Şekil 1'de verilmiştir. Levhalardan bir tanesi tüm kesit boyunca eş eksenli tane yapısana sahip iken (Numune A) diğer levha (Numune B) yüzeyde çok ince ve döküm doğrultusunda yönlenmiş, merkezde ise eş eksenli tane yapısı sergilemektedir.

Numune A ve B'ye döküm kalınlığında ve % 45 soğuk haddeleme sonrası uygulanan homojen tav ile elde edilen mikroyapılar Şekil 2'de verilmiştir. Döküm kalınlığında uygulanan homojen tav sonrası Numune A'nın eş eksenli tane yapısını koruduğu görülürken Numune B'de merkeze doğru yönlenmiş tane yapısının yerini yüzeylerde tane kabalaşmasına bıraktığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan % 45 soğuk haddeleme sonrası uygulanan homojen tav ile her iki numunenin yüzeyinde de tane kabalaşması olduğu görülmüştür. Ancak tane kabalaşması Numune B'de daha belirgindir.



Şekil 1. Farklı döküm koşullarına bağlı olarak elde edilen döküm kalınlığındaki levhalara ait tipik tane yapıları.



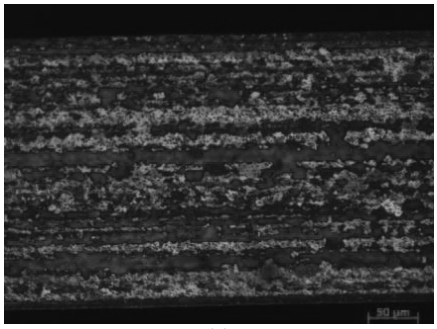
Şekil 2. Döküm kalınlığında ve % 45 soğuk haddeleme sonrası uygulanan homojen tav ile elde edilen mikroyapılar.

B

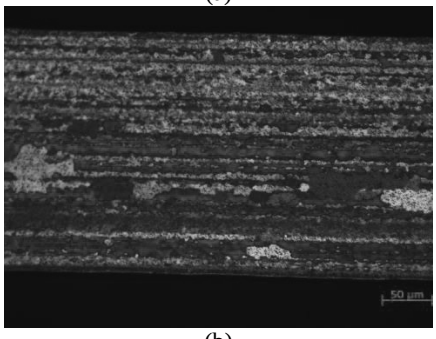


Şekil 2. Devam.

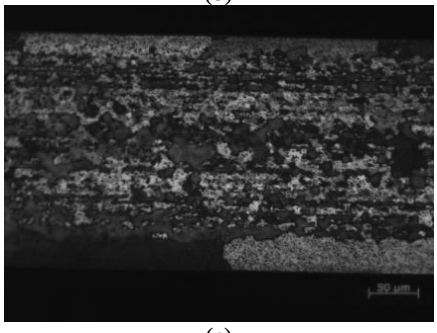
Farklı döküm mikroyapısına sahip levhaların değişken alt prosesler ile 0,2 mm'ye haddelenmesi ve yumuşatma tavı uygulanması sonrası elde edilen mikroyapılar Şekil 3'de ve mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



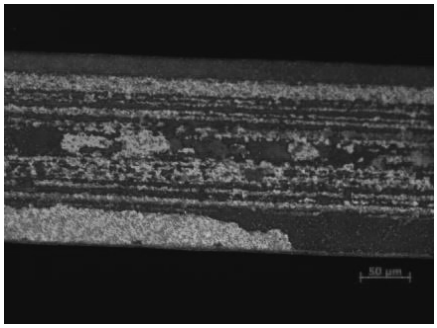
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3. Nihai kalınlıkta yumuşatma tavı sonrası elde edilen mikroyapılar (a) Numune A DK + HT, (b) Numune A DK + % 45 SH + HT, (c) Numune B DK + HT ve (d) Numune B DK + % 45 SH + HT**.**

Nihai kalınlıkta uygulanan yumuşatma tavı sonrasında döküm kalınlığında homojen tav uygulanan Numune A yüzeyde küçük taneler sergilerken % 45 soğuk haddeleme sonrası homojen tav uygulanması bölgesel tane kabalaşmasına neden olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan Numune B'nin nihai kalınlıktaki yumuşatma tavı sonrası yüzeyde kaba tanelerin oluştuğu ve % 45 soğuk haddeleme sonrası homojen tav uygulanmasıyla tane kabalaşmasının tüm kesitte olacak şekilde daha da belirginleştiği görülmüştür. Tüm bu bulgular dikkate alındığında homojen tav sonrası tane yapısının döküm mikroyapısından ve/veya homojen tav öncesi toplam soğuk haddeleme miktarından etkilendiği; homojen tav sonrası mikroyapının ise yumuşatma tavı sonrası nihai ürünün tane yapısını doğrudan etkilediği sonucu çıkartılabilir.

Mekanik özellikler incelendiğinde Numune B'in her iki homojen tav parametresinde (kalınlık) Numune A'ya göre daha düşük mukavemet değerleri ile yüzde uzama ve Erichsen derinliği sergilediği görülmektedir. Aynı zamanda homojen tavın % 45 soğuk deformasyon sonrası uygulanması Erichsen derinliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum Numune B için daha belirgindir ve kesitteki tane büyümesiyle ilişkilendirilebilir.

Tablo 1. Farklı döküm mikroyapısına sahip levhaların değişken alt prosesler ile 0,2 mm'ye haddelenmesi ve yumuşatma tavı uygulanması sonrası elde edilen mekanik özellikler.

Numune	Proses	Akma Muk., MPa	Çekme Muk., MPa	Uzama A100, %	Erichsen, mm
A	DK + HT	86	128	29,4	9,6
	DK + % 45 SH + HT	112	137	18,7	9,3
B	DK + HT	79	120	20,0	8,5
	DK + % 45 SH + HT	87	110	12,8	6,8

4. Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

AlFeMn alaşımında döküm mikoyapısının alt proseslerde gelişen mikroyapı üzerinde etkisi vardır.

Döküm kalınlığında yüzeyde merkeze doğru yönlenmiş ince tane yapısı bu kalınlıkta gerçekleştirilen homojen tav sırasında yüzeyde tane büyümesine neden olmaktadır.

% 45 soğuk haddeleme sonrası homojen tav yapılması döküm kalınlığındaki mikroyapıdan bağımsız olarak tane büyümesini teşvik etmektedir.

Homojen tav sonrası elde edilen tane yapısı nihai kalınlıkta uygulanan yumuşatma tavında mikroyapı gelişimini ve mekanik özellikleri etkilemektedir. Homojen tav sonrası yüzeyde büyümüş taneler nihai kalınlıkta yumuşatma tavı sonrasında da tekrar kaba tane olarak görülmektedir.

Kesitte kaba tane bulunması mekanik özellikleri ve Erichsen derinliğini olumsuz etkilemektedir.

Teşekkür

Metalografik çalışmalar ve mekanik testlerdeki çok değerli yardımlarından dolayı Sayın Nihat YILMAZ'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] C. Işıksaçan, M. Günyüz ve C. Konya, İkiz Merdane Döküm Yöntemi ile Üretilen Alüminyum Brazing (Sert Lehim) Alaşımlarının Korozyon Davranışlarına Zn Oranının Etkisi, 6. Alüminyum Sempozyumu (ALUS '06), 03-04 Ekim 2013, İstanbul, Türkiye.
[2] S.X. Zhou, J. Zhong, D. Mao ve P. Funke, Journal of Materials Processing Technology, 134 (3) (2003) 363-373.
[3] R.V. Tilak ve J. G. Morris, Materials Science and Engineering, 73 (1985) 139-150.
[4] O. Keles ve M. Dundar, Journal of Materials Processing Technology, 186 (2007) 125-137.
[5] T. Haga, K. Tkahashi, M. Ikawaand ve H. Watari, Journal of Materials Processing Technology, 153-154 (2004) 42-47.
[6] C.A. Santos, J.A. Spim ve A. Garcia, Journal of Materials Processing Technology, 102 (2000) 33-39.
[7] M. Aghaie-Khafri ve R. Mahmudi, Journal of Materials Processing Technology, 169 (2005) 38-43.

Alüminyum Sürekli Levha Ürünlerinde Alaşıma Bağlı Olarak Akışkanlık Karakterinin İncelenmesi ve Optimizasyonu

Examination of Fluidity Characteristics of 1xxx, 3xxx and 5xxx Aluminum Alloys with Different Compositions and Solidification Temperatures

S. Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Ali Ulus[1], Derya Dışpınar[2]

[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

Abstract

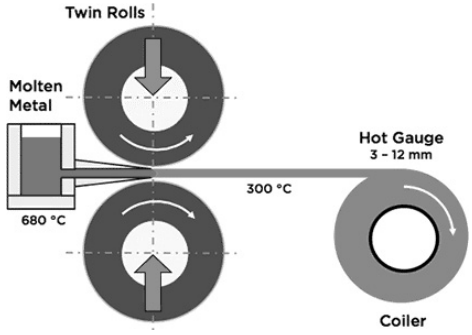
Among the aluminum production methods, one of the production methods with the highest (productivity / production cost) value is the "Twin Cast Continuous Casting" method. Production at high solidification rates is possible with this method. With this method, aluminum can be produced as a plate in the closest thickness to the final product according to other production methods. In the twin roll casting process, increasing production efficiency is possible by improving the boundary conditions in the casting operation. Differences in solidification temperatures and fluidity properties due to the different composition amounts of aluminum alloys are the most important parameters affecting production efficiency and final product behavior. In this study, kinematic viscosity determinations and viscosity changes examined according to temperature changes of 1xxx, 3xxx and 5xxx alloys. viscosity and fluidity measured with shear resistance of viscosity of melts and spiral fluidity mould test. With the results, fluidity changes were determined by temperature and composition changes of 1xxx, 3xxx and 5xxx alloys and optimum boundary conditions were defined for increasing casting efficiency.

Özet

Alüminyum üretim yöntemleri değerlendirildiğinde; verim/maliyet değeri en yüksek üretim yöntemlerinden biri "İkiz Merdaneli Sürekli Döküm" yöntemidir. Bu yöntem ile yüksek katılaşma hızlarında, oldukça düşük kalınlıklarda levha olarak üretilebilmektedir. Diğer üretim yöntemlerine göre avantajlı olan ikiz merdaneli döküm yönteminde üretim verimliliği sınır koşulların iyileştirilmesi ile mümkündür. Alüminyum alaşımlarının farklı elemental kompozisyonlar ile katılaşma sıcaklıklarındaki değişimler ve bu sıcaklık ve kompozisyonlardaki akışkanlık değerleri üretim verimliliği ve nihai ürün davranışını etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedirler. Bu çalışmada kendi içerisinde farklı kompozisyon dağılımları gösteren 1xxx, 3xxx ve 5xxx alaşımların sıcaklık değişimlerine bağlı kinematik viskozite tayinleri ve akışkanlık değişimleri, kesme direncine bağlı viskozite ölçümü ve spiral kalıp testi ile analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlar ile 1xxx, 3xxx ve 5xxx alaşımların sıcaklık ve kompozisyon değişimi ile akışkanlık değişimleri belirlenmiş ve döküm verimliliğinin artması için optimum sınır koşulları tanımlanmıştır.

1. Giriş

Alüminyumun döküm yöntemiyle üretimi sırasında temel konu sıvı fazdan katı faza geçiş olsa da, geçiş anındaki temel katılaşma farklılıkları, döküm verimliliğinden, ürün özelliklerinin farklılığına bir çok konunun temel çıkış kaynağıdır. İkiz merdaneli döküm yöntemi (TRC) ile üretilen alüminyum levhaların prosesleri sırasında temel çıkış noktası; döküm öncesi headbox içerisindeki metal sıcaklığının, soğutma operasyonu için çekirdek bölgesinde kanallar bulunan iki çelik merdane yüzeyinde kontrollü olarak yönlendirilmesi ve bu bölgede katılaştırılmasıdır.



Şekil 1: İkiz merdaneli döküm yönteminin şematik gösterimi.

Şekil 1' de görüldüğü üzere metalin iki merdane arasında baskı kuvveti altında katılaştırılmasına etki eden 4 temel parametre mevcuttur:

1. Sıvı metalin merdane öncesi sıcaklığı
2. Sıvı metalin çelik kabuklar üzerindeki toplam ısı transferi
3. Kabuk yüzeylerinin ısı iletim miktarı
4. Sıvı metalin faz dönüşümü sıcaklığı sırasındaki akışkanlık değeri

Dökülen farklı kimyasal bileşimlerin katılaşma sıcaklıkları ve katılaşmaları için gerekli ısı transfer değerlerinin farklı olmasından ötürü, sıvı metalin merdane arkasındaki operasyon sıcaklıkları değişkenlik göstermektedir. Alüminyum içerisindeki alaşım elementi miktarı arttıkça, ana alaşım elementine bağlı olarak katılaşma sıcaklıkları düşmektedir. Tablo 1 ve 2' de verilen bilgiler incelendiğinde alaşım sıvı metal içerisindeki çözünmüş alaşım elementi artışı sonrasında katılaşma sıcaklıklarındaki değişim gözlemlenebilir.

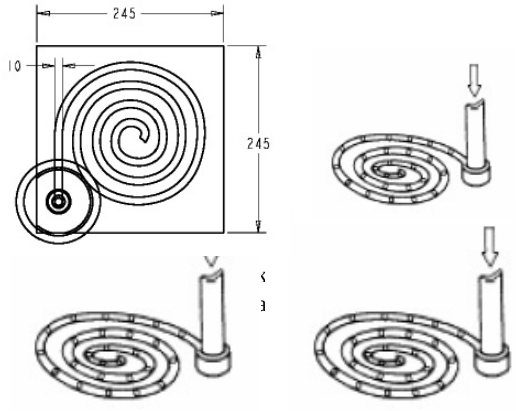
Tablo 1: Ticari 1050 alaşım için katılaşma sırasında oluşan fazlar ve sıcaklık değerler [2].

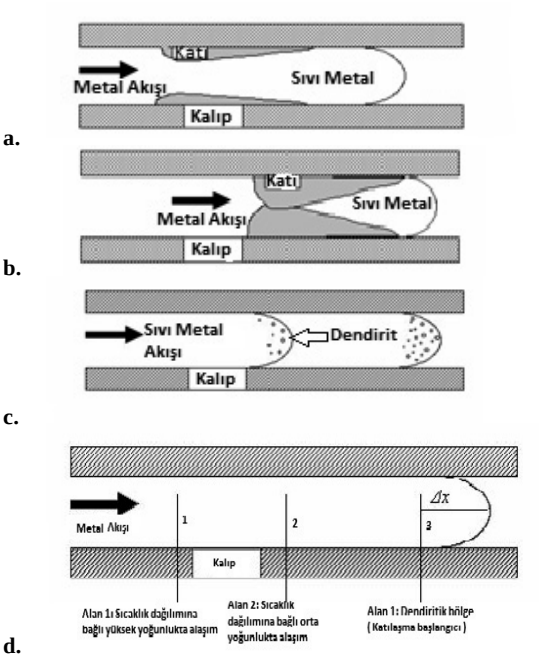
Reaction	Temperatures (°C) at a cooling rate		
	0.4 K/s	1.2 K/s	18 K/s
$L \Rightarrow (Al)$	659	659	659
$L \Rightarrow (Al) + Al_3Fe$	650	649	647
$L + Al_3Fe \Rightarrow (Al) + Al_8Fe_2Si$	–	642–638	630
Solidus	642	638	630

Tablo 2: Ticari 3003 alaşım için katılaşma sırasında oluşan fazlar ve sıcaklık değerleri [2].

Reaction	Temperatures (°C) at a cooling rate	
	0.5 K/s	17 K/s
$L \Rightarrow (Al)$	655	655
$L \Rightarrow (Al) + Al_6(FeMn)$	653	646–615
$L + Al_6(FeMn) \Rightarrow (Al) + Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ and/or $L \Rightarrow (Al) + Al_{15}(FeMn)_3Si_2$	641–634	589
Solidus	634	589

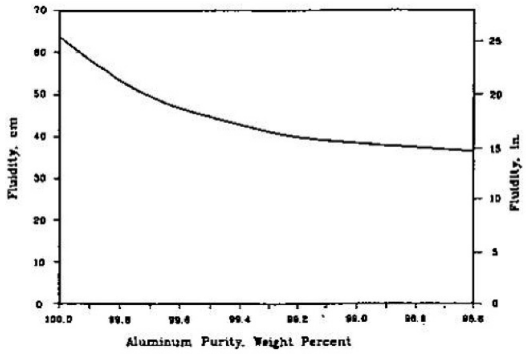
Belirtilen likidus ve solidus sıcaklık bölgelerine bağlı olarak alüminyum alaşımlarının farklı sıcaklıklardaki akışkanlık değerleri alaşım elementlerinin etkisi altında değişkenlik göstermektedir [3,4,5]. Gösterilen bu etkinin incelenmesi için farklı methodlar geliştirilmiştir [6]. Spiral geometriye sahip silindirik yapıdaki kalıp tasarımı ile gerçekleştirilen akışkanlık testi karşılaştırma testleri arasındaki en pratik etkiye sahip test olarak gözükmektedir. Akışkanlık değerleri uygulanan operasyona göre değişecek sıcaklık farklılıklarından etkileneceğinden modellenmesi istenen operasyona en yakın uygulama seçilmelidir. Kokil plaka arasında dar kesitte sıvı metalin ilerlemesi üzerine gerçekleştirilen spiral kalıp geometrisine ait şematik görseller Şekil 2'de verilmiştir.





Şekil 3: Sıvı metal ve kokil kalıp arasında ısı transferine bağlı oluşabilecek ilerleme mekanizmaları: (a) Katılaşmanın kalıp duvarından başlaması, (b) katı faz ilerlemesi nedeniyle sıvı metalin sıkıştırılması, (c) sıvı metal akışı ve katılaşmanın birlikte gerçekleşmesiyle kalıp/sıvı metal arayüzeyinde katılaşan dendiritlerin sürüklenmesi, (d) kalıp içerisinde sıcaklık dağılım bölgelerine bağlı olarak yönlenmiş katılaşmanın oluşması [3].

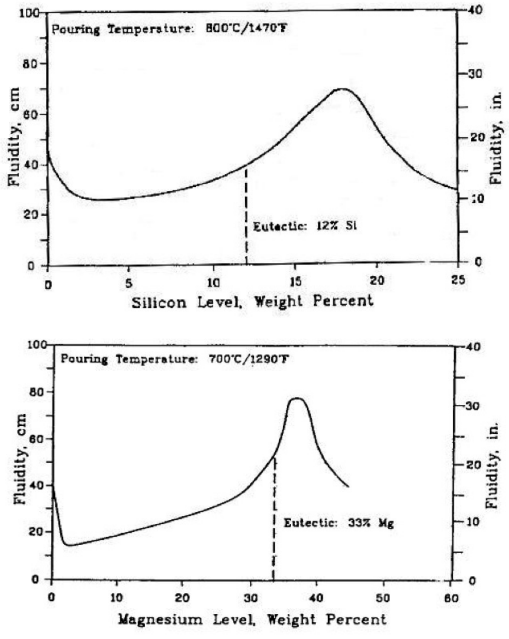
Şekil 2 ve 3' de görülen şematik çizimler incelendiğinde katılaşma tipinin kalıp sıcaklığı ve sıvı metal sıcaklığından etkilendiği görülmektedir. Bu duruma bağlı olarak spiral test karşılaştırması öncesinede kalıp sıcaklıkları ve sıvı metal sıcaklıkları benzer tutulmalıdır.



Şekil 4: Alüminyumun saflığına bağlı akışkanlık özelliklerinin değişimi [1].

Şekil 4' de belirtilen grafiğie göre C.R. Looper alüminyumun saflığı düştükçe akışkanlığının azaldığından bahsetmektedir. Saf metaller ve ötektik alaşımlar en yüksek akışkanlık özelliklerini göstermektedir. Empürite miktarı arttıkça

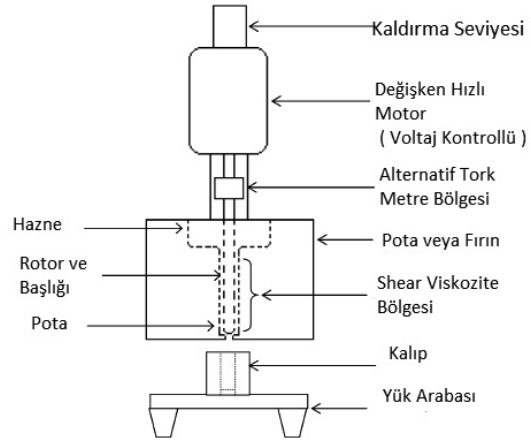
düşmeye başlayan akışkanlık ötektik noktada katılaşmanın homojen gerçekleşmesi halinde maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Silisyum ve magnezyum alaşımlarının alüminyum içerisindeki akışkanlık etkilerinin kimyasal kompozisyona göre değişimleri, gerçekleştirilen spiral testlere istinaden Şekil 5' de verilmiştir.



Şekil 5: Si ve Mg metallerinin alüminyum içersiindeki % alaşım oranlarına bağlı olarak sıvı metalin akışkanlık üzerine etkileri [1].

Şekil 5'de görüldüğü üzere akışkanlık miktarları azalsa dahi küçük bileşimlerde sıvı alüminyumun farklı akışkanlık özellikleri gösterdiği görülebilmektedir. Alaşım elementinin yanında sıvı metalin temizliği, tane inceltici miktarı, modifike edici elementlerin etkisi, kalıp yüzey özellikleri gibi farklı etkilerin akışkanlık özelliklerine etkileri mevcuttur [3].

İkiz merdaneli döküm yönteminde mush bölgesi olarak belirtilen sıvı fazdan katı faza geçiş bölgesinin karakteristik özelliklerinin alaşımlara bağlı değişimlerinin yorumlanabilmesi ve sınır koşullarının tanımlanabilmesi için gerekli bir diğer ölçüm ise viskozite özellikleridir. Viskozite ölçümü için kullanılan pratik ölçüm yöntemlerinden biri sıvı metalin sürüklenme direncine olan etkisinin incelendiği shear viskozite ölçümüdür. Test temel olarak sıvı metalin akışkanlığa karşı gösterdiği direnci bir rötorun sıvı metal içerisindeki döndürülmesine karşı verdiği direnç üzerinden hesaplanır. Ölçüm sonuçları tork, rötor çevrim akım değişimi veya sabit güçte dönüş hızı (rpm) üzerinden değerlendirilebilir. Sıvı metalin sıcaklık değişiminin bilinmesi hangi sıcaklıkta dayanım gösterdiğinin bilinmesi için önemlidir. Bu nedenden ötürü sıvı metal içerisinde test başlangıcı ve bitişine kadar sıcaklık ölçümü gereklidir.



Şekil 6: Kesme direncine bağlı yarı katı formdaki viskozitenin ölçülmesi için gerekli proses kurulumu [7].

Şekil 6' da belirtilen rötorun dönüş hızı veya dönmesi için gerekli güç verilerini takiben aşağıdaki denklemler üzerinden viskozite değeri uygulanabilir.

$$Ɗ=f\,(¥˙;\ t_s;\ T_a;\ T˙;\ C_o;) \qquad (1)$$

Ɗ: viskozite değeri
¥: kesme oranı (sheare rate)
T_s: kesme periyodu
T_a: yarı katı alaşımın sıcaklığı
T˙: soğuma oranı
C_o : alaşımın kompozisyonu

Belirtilen parametrelerin fonksiyonu olarak belirli bir radiusa sahip döner rötorun yarıçapına bağlı kesme gerilimi (2) ile belirtilen formülde belirtilmiştir. Burada T ile ifade edilen değer ölçülen torku, l sıvı metal içerisindeki rötor uzunluğunu ifade etmektedir.

$$\tau = \frac{T}{2\pi r^2 l} \qquad (2)$$

Kesme oran dağılımı ise ri radiusa sahip bir rötorun r0 bir kap içerisinde r radiuslu bir boşlukta Ω açısal hızınnda dönüşü ile ifade edilmektedir. İlgili formül (3) aşağıda belirtilmiştir.

$$\dot{\gamma} = \frac{2\Omega}{r^2}\left(\frac{r_i^2 r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}\right) \qquad (3)$$

2 ve 3 olarak gösterilen ilgili formüller rötor yüzeyinin büyüklüğü ve kap uzaklığı ile değişkenlik göstermektedir. Rötor radiusu ile ise r^2 ters orantılıdır [7].

2. Deneysel Çalışmalar

Alaşım farklılıklarının akışkanlık üzerine etkilerinin incelenmesi için deney serileri ticari olarak kullanılan 1050, 3003 ve 5005 alaşımlarında ana etkileyen alaşım elementlerinin alt, üst ve orta limitlerinde kombinasyonlarınca oluşturulmuştur. Her seri birbiri içerisinde düşük, orta ve yüksek elementel katkı olduğu durumda incelenmesi için hazırlanmıştır. Deney serileri Tablo 1, 2 ve 3' de görülebilir.

Tablo 3: 1050 alaşım deney serisi.

1050	Si	Fe	Mn	Mg	Al
1	0.09	0.175			99.5
2	0.15	0.175			99.5
3	0.09	0.35			99.5
4	0.15	0.35			99.5

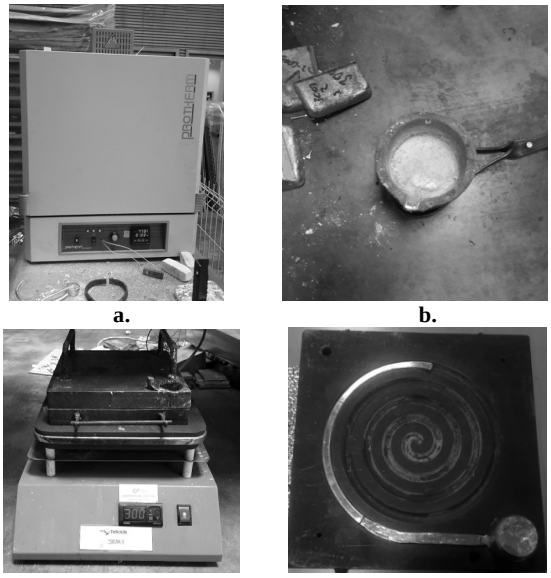
Tablo 4: 3003 alaşım deney serisi.

3003	Si	Fe	Mn	Mg	Al
1	0.09	0.3	0.7		98
2	0.09	0.45	0.7		98
3	0.35	0.3	0.7		98
4	0.35	0.45	0.7		98
5	0.09	0.3	1		98
6	0.09	0.45	1		98
7	0.35	0.3	1		98
8	0.35	0.45	1		98
9	0.09	0.3	1.2		98
10	0.09	0.45	1.2		98
11	0.35	0.3	1.2		98
12	0.35	0.45	1.2		98

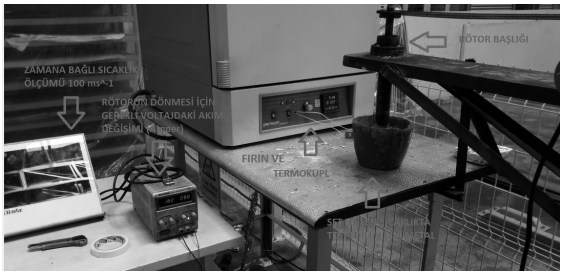
Tablo 5: 5005 alaşım deney serisi.

5005	Si	Fe	Mn	Mg	Al
1	0.09	0.3		0.5	98
2	0.2	0.3		0.5	98
3	0.09	0.45		0.5	98
4	0.2	0.45		0.5	98
5	0.09	0.3		0.7	98
6	0.2	0.3		0.7	98
7	0.09	0.45		0.7	98
8	0.2	0.45		0.7	98
9	0.09	0.3		0.9	98
10	0.2	0.3		0.9	98
11	0.09	0.45		0.9	98
12	0.2	0.45		0.9	98

Akışkanlık incelemeleri için spiral akışkanlık testi kullanılmış, viskozite ölçümleri için ise sıvıların reolojik özelliklerinden yararlanan shear viskozite testi kullanılmıştır. Oluşturulan deney düzeneklerine ilişkin görseller aşağıdaki gibidir.



Şekil 7: (a) ve (b) ergitme ve alaşımlandırma görselleri. (c) spiral kalıp ısıtma tablası ve görseli, (d) döküm sonrasında numune ilerleme miktarı.



Şekil 8: Shear viskozite ölçümleri için oluşturulan deney düzeneği görseli.

Akışkanlık testlerinde kalıp sıcaklığının akışkanlık üzerine etkisi bilinmesinden ötürü kalıplar ısıtma tablası ile 300 °C sıcaklığa set edilmiş ve her numune dökümü öncesinde alt ve üst tabla sıcaklıkları kontrol edilmiştir. Döküm operasyonu sabit 700°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş ve soğuma sonrası spiral numune boyları ölçülmüştür.

Shear viskozite ölçümleri için Şekil 8' de belirtilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan düzenekte çelik rötor kullanılmış ve fırın set sıcaklığı 710°C olarak tutulmuştur. Operasyon sırasında voltaj sabit tutularak rötor üzerine katılaşma sırasında viskoziteye bağlı amper değişim verileri kayıt altına alınmıştır. Deney ile paralel olarak Elimko PR-200 data logger yardımı ile 100 milisaniyede bir veri

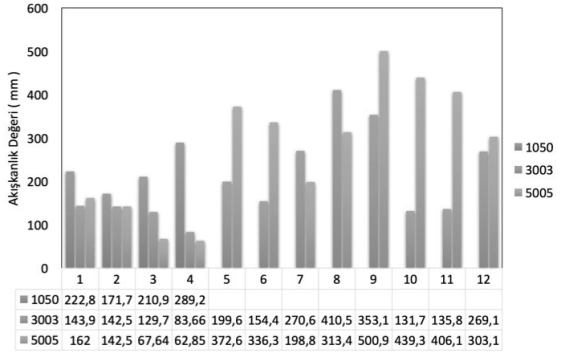
toplanacak şekilde potanın merkez ve kenarlar olmak üzere 3 farklı bölgesinden zamana bağlı sıcaklık ölçümü alınmış ve grafiklendirilmiştir. Sıcaklık ölçüm bölgeleri ve pota içerisindeki konumları Şekil 9' da görülebilir.



Şekil 9: Pota içerisinde shear viskozite testi ile paralel olarak sıcaklık alınan bölgelerin gösterimi.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3 farklı alaşımın farklı oranlarda alaşım elementine göre hazırlanması sonrası yapılan spiral akışkanlık test sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1050	222,8	171,7	210,9	289,2								
3003	143,9	142,5	129,7	83,66	199,6	154,4	270,6	410,5	353,1	131,7	135,8	269,1
5005	162	142,5	67,64	62,85	372,6	336,3	198,8	313,4	500,9	439,3	406,1	303,1

Grafikten de görülebileceği gibi 5005 alaşımı ortalama olarak alaşım elementi oranından bağımsız en yüksek akışkanlık değerini vermiştir.

1050 alaşımı ise Si ve Fe oranına bağlı olmaksızın ortalama 220 mm akışkanlık değeri vermiştir. Dolayısıyla 1050 alaşımında akışkanlığın bu çalışmada kullanılan Si ve Fe oranından (Tablo 3) etkilenmediği tespit edilmiştir.

3003 alaşımı ise en dağınık akışkanlık test sonucu vermiştir. 5005 ve 1050 alaşımlarında Si ve Fe oranı değişirken, 3003 alaşımında tek farklılık Mn oranıdır. Dolayısıyla bu çalışmalardan elde edilen en önemli verilerden birisi de Mn oranının akışkanlığı etkin bir biçimde etkilediğidir.

Referanslar

[1] C.R. Loper J., AFS Trans (1992) 533-538.
[2] N.A. Belov, D.G. Eskin, A.A. Aksenov, " Multicomponent phase diagrams (Applicastion for Commercial Aluminum Alloys)" , Elsevier, (2005) 28 - 127
[3] M. Di Sabation , L. Arnberg, "Fludity of aluminum foundry alloys", NTNU Report, (2005)
[4] M.Di.Sabation, S. Shankar, D. Apelian and L. ArnbergThe role of temperature and alloy chemistry on the fluidity of aluminum foundry alloys
[5] M. Colak, R. Kayikci, D. Dispinar, " Influence of Different Cross Sections on Fluidity Characteristics of A356", Transections of IIM, (2014)
[6] M. Di Sabatino, D. Apelian, and L. Arnberg , "Measurement of fluidity in Al cast alloys, , ACRC Spring Meeting, WPI, Worcester, MA, (2004)
[7] D.Brabazon, D.J. Browne, A.J.Carr, " Experimental investigation of the transient and steady state reheological behaviour of Al-Si alloys in the mushy state", Materials Science and Engineering A356 (2003) 69-80

Alüminyum Levha Üretimi: Döküm Prosesi İçin Rafinasyonun Genel Prensipleri

Aluminum Sheet Production: General Principles of Refining for Casting

Hamdi Ekici, Sadık Kaan İpek, Ali Ersel Selvi, Eda Dağdelen, Ali Ulus
Teknik Alüminyum Sanayi

Abstract

Aluminum usage in the world and our country is increasing day by day and a large part of usage goes aluminum sheet production. One of the economical method of producing aluminum sheets is the continuous casting technique with twin roll casting. After casting, cold rolled and annealing processes are applied to obtain final products. For mechanical and thermal processes, liquid metal quality is extremely important. Any mistake, in the quality of the casting process of the liquid metal negatively effects the subsequent operations, disposal and efficiency. One of the important issue that is must be checked to improve production efficiency and quality is liquid metal quality. In this study, refining processes such as degassing, inclusion removal, cleaning, filtration, slag formation etc. applied to liquid metal have been examined and explained in generally.

Özet

Dünyada ve ülkemizde alüminyum kullanımı her geçen gün artmakta ve kullanımın büyük bir kısmını alüminyum levha ürünleri oluşturmaktadır. Alüminyum levha üretiminin ekonomik yollarından biri de ikiz merdaneli sürekli döküm tekniğidir. Dökümden sonra nihai ürün eldesi için soğuk hadde, tav, vb. işlemler yapılmaktadır. Mekanik ve ısıl işlemler için sıvı metal kalitesi son derece önemli olmaktadır. Sıvı metal üretimindeki herhangi bir hata, sonraki proses akışlarını ve üretim verimini olumsuz etkilemektedir. Üretim verimliliğini ve kaliteyi arttırmak için üzerinde durulması gereken önemli konulardan biri de sıvı metal kalitesidir. Bu çalışmada gaz giderme, flakslama, filtrasyon, sıvı metalin temizlenmesi, vb. işlemler genel çerçevede anlatılmış, işlemlerin sıvı metal kalitesini iyileştirmeye etkileri üzerinde durulmaya çalışılmıştır.

1. Giriş

Dünyada alüminyum kullanımı her geçen gün artmakta ve alüminyum alaşımları kendisine sürekli yeni kullanım alanları bulmaktadır. Bu hızlı artış, yanında büyük bir rekabeti de getirmektedir. Alüminyum alaşımları demir esaslı metallerin yerini alırken demir-çelik grubu ile rekabet içinde olmakta ve bir yandan da farklı alüminyum üreticileri de fiyat ve kalite açısından birbirleri ile rekabet etmek durumundadırlar. Söz konusu rekabet olduğunda tüm şirketler kar maksimizasyonu için maliyet azaltması ve kalite optimizasyonu yapmalıdırlar.

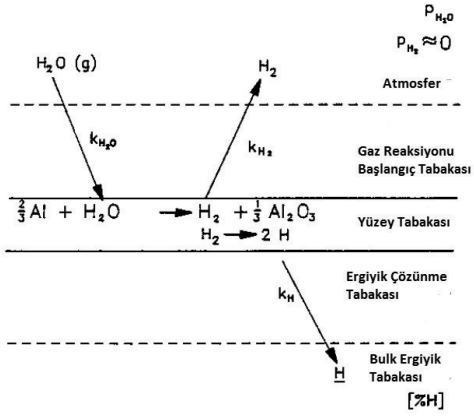
Döküm prosesinden başlayan bir alüminyum ürünü üretim firmasında tüm prosesleri etkileyecek olan kalite, öncelikle sıvı metal kalitesidir. Sıvı metal kalitesi ergitilecek hammaddenin kalitesi ile başlayan ve katılaşmadan hemen önceki ana kadar devam eden bir süreçtir.

2. Teorik Temeller

2.1. Sıvı Metal'de Görülen Safsızlıklar

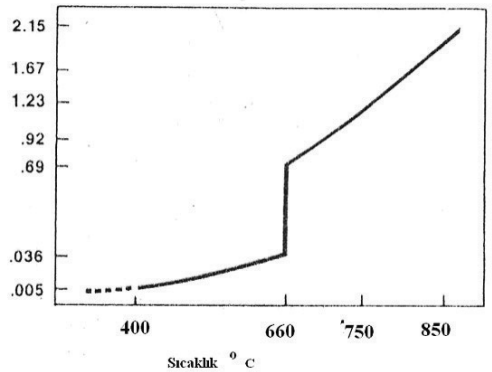
2.1.2. Hidrojen ve Hidrojen Giderme Yöntemleri

Sıvı alüminyumun hidrojen çözebilme kabiliyeti bu konu ile doğrudan ilgilidir. Hidrojenin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü alüminyum sıvı iken oldukça yüksek olmakta fakat alüminyumun katılaşması sırasında bu çözünürlük oldukça düşmektedir. Sıvı alüminyumda hidrojen çözünürlüğü 0,65 $cm^3/100$ g seviyesinde iken katı alüminyumda bu oran 0,034 $cm^3/100g$'a kadar düşebilmektedir. Bu durum da %95'e kadar çözünürlük kaybına yol açmaktadır [1]. Şekil 1'de hidrojenin sıvı metal içinde çözünme mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 1: Sıvı Metal İçerisinde Hidrojen Çözünmesi [1]

Bu durum sıvıdan katı faza geçerken alüminyumun içindeki hidrojeni gaz formunda dışarı atmasına sebep olmaktadır. Şekil 2'de alüminyum içerisinde hidrojen çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olarak verilmiştir.



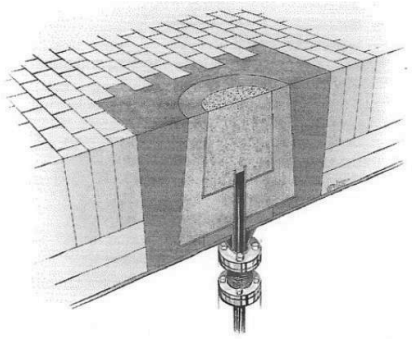
Şekil 2: Alüminyum İçinde Sıcaklığa Bağlı Hidrojen Çözünürlüğünü [1]

2.1.2.1. İnert Gaz Uygulaması

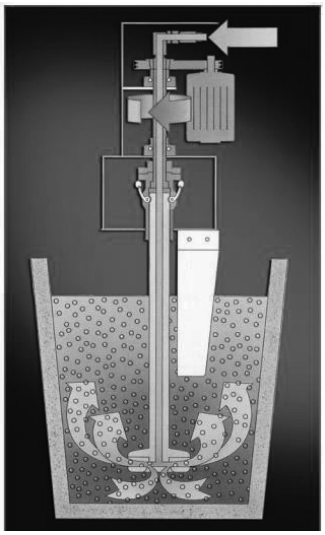
Sıvı metal içerisine, metal ile reaksiyona girmeyecek karakterde gaz verildiği zaman sıvı içerisinde kabarcıklar oluşmaktadır. Oluşan bu kabarcıklar öz kütle farkından dolayı sıvı yüzeyine doğru yükselirler ve sıvı içerisinde çözünmüş hidrojen için çekirdeklenme noktası oluştururlar. Çözünmüş hidrojen, kabarcıkların içine girerek asal gazda çözünür ve asal gazla beraber yüzeye çıkarak yüzeyden dışarı çıkar.

Burada etkinliği arttırabilmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Özellikle asal gazın sıvı metalin en düşük seviyesinden verilmesi ve kabarcık sayısının arttırılması daha fazla hidrojenin dışarı atılmasını sağlayabilir.

Aşağıdaki şekillerde çeşitli gaz giderme yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3: Sıvı Metal Tabanından Gaz Verme [1]



Şekil 4: Döner Tip Parçacık ve Gaz Giderme Sistemi [2]



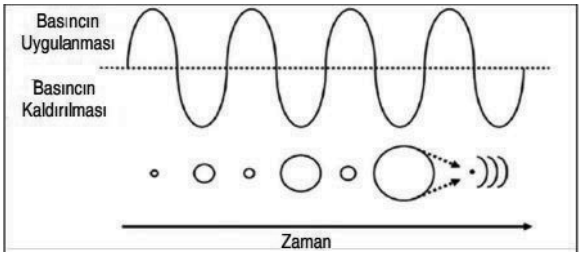
Şekil 5: Bir Boru Vasıtası ile Eriyik Dibinden Gaz Verme

2.1.2.2. Vakum Yöntemi

Bu yöntemde sıvı alüminyum vakum altına alınarak sıvı yüzeyindeki basınç düşürülür. Gaz çözünürlüğü düşen basınçla azalacağından sıvı metal içerisindeki hidrojeni yüzeyden kusar.

2.1.2.3. Ultrasonik Yöntem

Sıvı içinde dalgalar yaratarak çok küçük oyuklar oluşturma yöntemine ultrason ile gaz giderme denmektedir. Bu oyuklar oluştukları bölgeden sıvı yüzeyinde doğru ultrasonun itici gücü sayesinde hareket ederler. Boşluklar hidrojen için çekirdeklenme noktası oluşturacağından hidrojen de bu boşluklarda beraber sıvı yüzeyine hareket eder ve buradan boşalır. Yine bu yöntemde boşluk oluşumu inklüzyonların etrafında oluşacağından inklüzyon gideriminde de kullanılabilir [3]. Şekil 6'da uygulama gösterilmiştir.



Şekil 6: Ultrasonik Uygulama ile Oluşan Basıncın ve Kabarcıkların Değişimi [4].

2.2. Cüruf ile Oksit Safsızlıklar ve Giderme Yöntemleri

Alüminyum sıvı metal içerisinde çözünmüş halde birçok metal bulunmaktadır. Atmosfer, zaman ve sıcaklığın etkisi ile bu alaşım elementleri oksitlenebileceği gibi metale katılan alaşım elementlerinin içinde de bulunabilir. Aynı şekilde alüminyum havuzunda sıvı da sürekli atmosfer ile etkileşim halinde olduğundan oksitlenme meydana gelmektedir. Şekil 1'de bu oksitlenmenin mekanizması, Şekil 7'de oluşan cürufun çekilmesi gösterilmiştir.



Şekil 7: Cüruf Çekme İşlemi

Gaz giderme işlemi sırasında oluşan gaz boşlukları ile beraber oksitler ve cüruf da metal yüzeyinde doğru yönlense bile asıl olarak metal oksitleri ve spinel oksitleri, cürufu gidermenin yolu flakslamadır.

2.2.1. Örtü Flaksları

Örtü flaksları sıvı metal havuzu üzerinde akışkan bir tabaka oluşturarak sıvı havuzun atmosfer ile temasını keserek oksitlenmeyi engeller. Yüksek oksitleyici koşullar altında kullanılırlar. Kullanımında kritik olan nokta flaksın ergime noktası metalin ergime noktasından düşük olmalı, öz kütlesi metalden düşük olmalı ve akışkanlığı iyi olmalıdır [5].

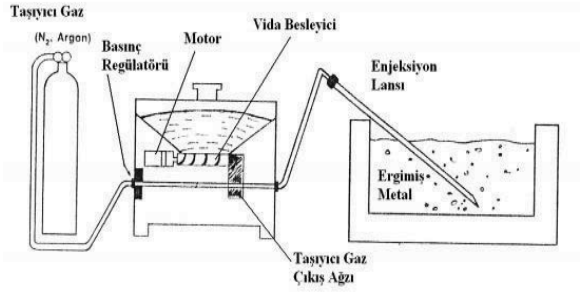
2.2.2. Rafinasyon Flaksları

Rafinasyon flaksları sıvı alüminyumda askıda kalmış ve çözünmüş alkaliler, oksit, nitrit, vs. empüritelerin giderilmesinde kullanılır. Alüminyumda kalsiyum poroziteye, sodyum ise hidrojen ile birleşerek ince ürünlerde delik oluşumuna ve proses sırasında yırtılmalara sebep olur. Bu tarz elementlerle ve magnezyum ile reaksiyon vererek söz konusu elementin cürufa çekilmesini sağlayan element klordur. Özellikle potasyum klorür bileşikleri rafinasyon flakslarının ana bileşenini oluşturmaktadır [5].

2.1-2.3.Cüruf Çekme Flaksları

Cüruf içerisinde bulunan ergimiş alüminyum ile cüruftaki alüminyum oksidin ayrılmasın için dizayn edilmişlerdir. Genellikle ekzotermik olarak reaksiyona giren, ısı veren ve ıslatılabilirliği geliştiren elemanlar bulundururlar [5]. Pratikte cüruf oluşturduktan sonra cüruf tabakasına ilave edilirler. Cüruf çekme flaksları şarj edilen metalin ağırlıkça %0,2-1'i oranında veya ergimiş metal yüzey alanına 2,5 kg/m^2 olacak şekilde katılırlar. Yüzeye genellikle 1 mm kalınlığında atılmış olurlar [5].

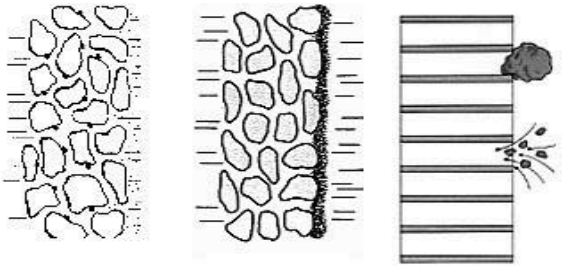
Flaks ugulaması sıvı metal yüzeyinde serpme veya sıvı metale ergiyik dibinden verme ile yapılabilir. Şekil 8'de flaks verme mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 8: Ergiyik İçine Gaz + Flaks Verme [6]

2.4. İnklüzyonlar ve Giderme Yöntemleri

Cüruftaki oksit formlarına benzer, daha büyük boyutta nitrür, oksit, karbür v.b. bileşiklerden oluşan safsızlıklardır. Fiziksel yöntemlerle giderilirler ve gidermenin en önemli yolu filtrasyondur. Filtrasyonda filtre deliğinden küçük parçalar geçebilirken, büyük parçalar filtrede takılır. Parçaların takılmaya başlamasıyla filtrede kek oluşur ve daha küçük parçalar da filtreye takılmaya başlar. Şekil 9'da filtrasyon mekanizması gösterilmiştir [7].

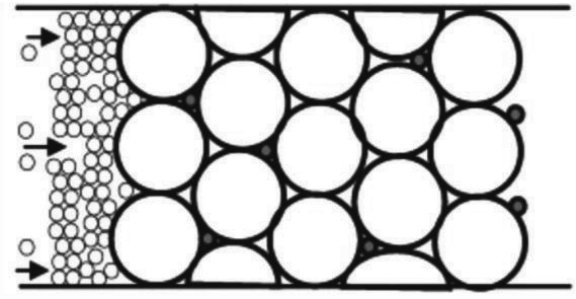


Şekil 9: Filtrasyon Mekanizması ve Kek Oluşumu

Filtre kek oluşumu, filtre yüzündeki ilk inklüzyonların yakalanması ile ilgilidir. Daha küçük parçacıklar büyük parçalara yakalanır. Kapanım katmanı kademeli olarak artar, filtrenin tamamen tıkana kadar metal akışı azaltılır. Filtre kek oluşumu mekanizması, 1-5 μm kadar küçük boyutlardaki çok küçük inklüzyonları bile yakalamayı mümkün kılar.

2.4.1 Depth Filtrasyon (Derinlik Filtrasyonu)

Tüm filtre hacminde inklüzyon tutumu gerçekleştirilir. Çalışma prensibi, seramik filtre duvarları üzerindeki inklüzyonların yapışmasına ve inklüzyonların karşılıklı bağlanmasına dayanır. Derinlik filtrasyonu sırasında, inklüzyonlar filtre seramiklerini sarar ve içerdiği parçacıklar filtre kanallarına tutturulmuş "köprüler" oluşturur. Derinlik filtrasyonunun etkinliği, metal sıcaklığı, filtre malzemesinin kimyasal bileşimi ve inklüzyonlardan (ıslanabilirlik) ve filtre kanallarının biçiminden etkilenebilir. Derinlik filtrasyonunda boşluk boyutları mesafe değiştikçe değişir. Şekil 10'da derinlik filtrasyonu gösterilmiştir.



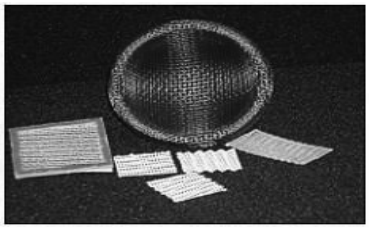
Şekil 10: Derinlik Filtrasyonu

2.4.2. Flat (Yassı-Düz) Filtrasyon

"İki boyutlu" gözeneklerinden dolayı, düz filtreler süzgeç damarları gibi davranırlar. Filtre deliklerinin boyutlarından daha büyük, bazen de daha küçük parçacıkların tüm safsızlıkları, bir filtre kekinin oluşturulduğu filtre giriş tarafında tutulur.

2.4.3. Kumaş Filtreler

Kumaş filtreler, refrakter kumaşlardan, metal ızgaralara benzeyen şekillere dokunmaktadır. Filtreler, örgü, profil ve bireysel ipliklerin kalınlığı bakımından farklılık gösterir. Filtrasyon verimliliğini artırmak için, filtre tekstili özel bir reçine ile emprenye edilerek etkinleştirilebilir. Düşük termal kapasiteleri nedeniyle, bir kalıba farklı yerlerde birçok filtre yerleştirmek mümkündür. Bu, ergimiş metal ile kalıba giren safsızlıkların birinci filtreden yakalanmasını ve kapılama sistemindeki akıştan dolayı oluşan diğer küçük inklüzyonların da yakalanmasını sağlar. Şekil 11'de kumaş filtre örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 11: Kumaş Filtre

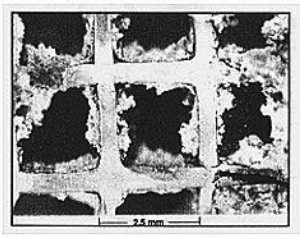
2.4.4. Pres Filtreler

Preslenmiş filtreler süzgeç damarlarına benzer. Metal kalıplarda yarı kuru seramik bir karışımın preslenmesiyle üretilirler ve düz akış delikleri aynı anda preslenir. Basmadan sonra filtreler tavlanır. Filtrelerin boyutları, kalınlığı, delik çapı ve filtre akış alanındaki yoğunlukları ile karakterizedir. Delik çapları genellikle 1 ila 3 mm arasındadır ve kalınlık aralığı 10 ila 22 mm arasındadır. Akış alanı toplam filtre alanının%45-%58'idir. Malzeme, dökülecek metalin türüne göre seçilir. Bu filtre tiplerinin avantajları: düşük fiyat, yüksek doğruluk ve mekanik mukavemet. Dezavantajlar şunlardır: daha düşük filtreleme verimliliği, yüksek ısı kapasitesi, yüksek yığın yoğunluğu ve imalatın düşük değişkenliği baskı aleti varlığı ile sınırlandırılmıştır.

2.4.5. Ekstrüde Filtreler

Düz raylı filtrelerdir. Dikdörtgen / kare delikli bir kalıptan plastik seramik malzeme ekstrüzyonuyla üretilirler. Pres filtreye kıyasla, ızgaralı duvarlar belirgin bir şekilde daha incedir ve dolayısıyla daha büyük bir akış kesiti (yaklaşık%65) ve daha düşük ısı kapasitesine sahiptir. Filtre kanallarının kare kesiti dairesel şekildekinden daha uygundur ve filtreler daha iyi derinlik filtrasyon etkinliği gösterirler. Preslenmiş filtrelerle karşılaştırıldığında, daha düşük ısı kapasitesi, daha yüksek döküm kapasitesi vardır, ancak doğruluk ve mekanik mukavemetlerini kaybederler. Filtrelerin şekil aralığı ekstrüzyon aletinin varlığı ile

sınırlıdır ve bu nedenle üretim değişkenliği düşük seviyededir. Şekil 12'de ekstrüde filtre şekli gösterilmiştir.



Şekil 12: Ekstrüde Filtre

2.4.6. Köpük Filtreler

Köpük filtreleri birbirine bağlı hücreler sistemini temel alır. Bir köpük filtresinde, yerel türbülansların ve akış istikametinde sık sık değişikliklerin meydana geldiği, dolayısıyla kapanımların filtre duvarları ile temas ettiği metal akışı modu derinlik filtrasyonu için uygundur. Şekil 13'te köpük filtreler gösterilmiştir.



Şekil 13: Köpük Filtre

3. Sıvı Metal Kalitesi Ölçüm Yöntemleri

3.1. Limca

20-300 mikron arası inklüzyonları belirlemek için elektrik direnci ölçüm yönteminden yararlanan bir cihazdır. İnklüzyonların hem miktarını hem de boyut dağılımını ölçmektedir. Ayrıca, gaz almada parçacık olarak analizi karıştıran gaz kabarcıklarını belirler. Küçük inklüzyonların ölçümü için uygundur.



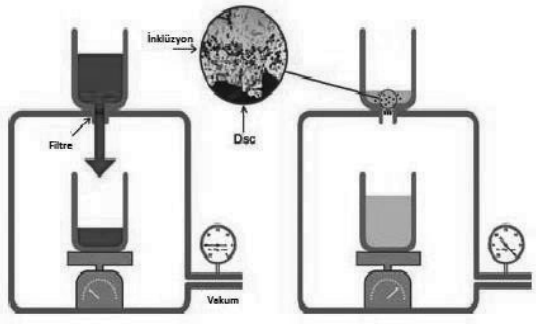
Şekil 14: Limca Cihazına Ait Bir Görsel [2]

4.2. Prefil-Ayak İzi

Belirlenen miktarda metalin basınçlı filtrasyon kullanarak filtreden geçmesi sağlanır ve yük hücresi kullanarak filtredeki ağırlık artışı hesaplanır.

4.2. PoDFA

Belirlenen miktarda metalin filtreden geçirilerek filtrenin yüzeyindeki inklüzyonların görüldüğü tekniktir. Daha sonra oluşan inklüzyonların miktarını ve tipini belirlemek için metalografik değerlendirme yapılır. Şekil 15'te PoDFA sistematiği gösterilmiştir.



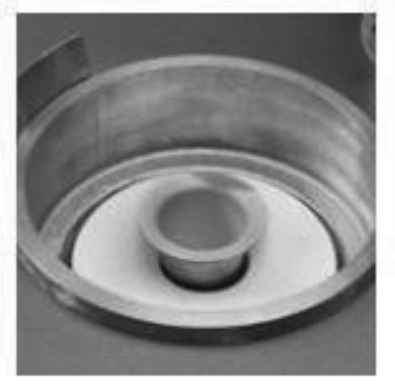
Şekil 15: PoDFA Çalışma Sistematiği [2]

4.3. Lais

PoDFA ile benzerdir. Burada numune sıvı metalden alınır ve kalıp ısıtılması yapıldıktan sonra sıvı metal bir kalıba konularak vakum altında katılaştırılır. Sonrasında numuneye metalografik analiz yapılır.

4.5. Yoğunluk Testi

Bu test yoğunluk indeksinin hesaplanması için vakum altında yoğunluklarının formüle edilerek hesaplanması yöntemine dayanmaktadır. Yöntemde değişkenler süre ve basınç olarak belirlenmiştir. Yaklaşık 80g sıvı metal numunesi önceden 260°C' ye ısıtılmış hazneye koyulduktan sonra vakum odasında 80mbar basınç altında 240sn sürede katılaştırılır. Sonuçların güvenilirliği açısından atmosferik ortamda katılaştırılacak sıvı metal numunesi eş zamanlı olarak aynı yerden alınmalıdır. Katılaşma sonrası elde edilen numunelerin hassas terazi vasıtasıyla tartılarak yoğunlukları hesaplanır. Hesaplanan yoğunluk değerleri yoğunluk indeksi formülünde yerine koyulur. Böylece elde edilen indeks ile metal saflığı hakkında fikir sahibi olunur.



Şekil 16: Yoğunluk Testi Haznesi

4.6. Cüruf Testi

Dross test numuneleri sıvı metal içerisinde metalik olmayan inklüzyonlar hakkında yorum yapabilmek için kullanılan en kolay ve hızlı yöntemlerden biridir. Test yaklaşık 230g kadar sıvı metalin 10mbar' dan daha düşük bir basınç altında vakum odasında katılaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde esas olan kontrollü basınç altında sıvı metal içerisinde bulunan kirliliklerin yapıdaki gaz kabarcıkları ile numune yüzeyine taşınmasıdır. Bu yöntemde değişken olan sadece basınçtır. Numunenin katılaşma süresince 10mbar basınçtan düşük bir vakum ortamında tutulması gerekmektedir. Test sonucu elde edilen numune yüzeyleri gözle incelenerek referans numune ile kıyaslaması yapılır. Böylece numune yüzeyinde oluşan metalik olmayan oksitlerin görünümüne göre metal kalitesi hakkında yorum yapılabilir.



Şekil 17: Cüruf Testi Numunesi

4.7. Straube Pfeiffer Testi

Gaz inklüzyonların belirlenmesi için yapılan bu testte yaklaşık 230g sıvı metal numunesi 30-50mbar basınç altında vakum odasında katılaştırılır. Bu yöntemde sıvı metal içerisinde bulunan gaz haldeki inklüzyonlar belirli bir basınç altında tutulduğundan ortam basıncını yenememesi nedeniyle katılaşma esnasında numunenin tam ortasında yüzeye doğru bir dağılım gösterir. Test sonrası katılaştırılan numune ortadan ikiye kesilerek iç yüzeyinden oluşmuş olan porların şekil, boyut ve dağılımına bakılır. Sıvı metalin mümkün mertebe gaz inklüzyonlar içermemesi beklenmektedir. Bu sebeple yapılan test sonucunda karşılaşılan iç yüzey görüntüsüne göre sıvı metal içerisinde bulunan gaz miktarı hakkında görsel olarak bir fikir edinilmiş olur.



Şekil 18: Straube Pfeiffer Test Numunesi

4.8. Hidrojen Ölçümü

Test öncesi sıvı metal sıcaklığına ısıtılmış hazneye alınan numunenin konmasının ardından cihaz üzerine entegre ısıtıcılı vakum odasında zamana bağlı olarak azalan ortam basıncında yüzeyde ilk kabarcığın görünmesi prensibine göre ölçüm gerçekleştirilir. Bu yöntemde, sıvı metal içerisindeki hidrojen basıncı, numunenin bulunduğu ortam basıncıyla eşitlendiği ya da ortam basıncından daha yüksek olduğu durumda numune yüzeyine doğru hareket eder ve numune yüzeyinde kabarcık yaparak ortama karışır. Hidrojen konsantrasyonu, ölçülecek numunenin alaşım bileşim oranlarına ve numune sıcaklığına doğrudan bağlıdır. Bu sebeple sıvı metal sıcaklığının ölçümünde ısıl çift (termokupl), alaşım bileşiminin tespitinde ise optik emisyon spektrometresi kullanılmaktadır. Cihaz otomasyonunda metal sıcaklığı, vakum odası basıncı, süre ve alaşım bileşim özellikleri değişkenlerdir. Bu değişkenlere bağlı olarak cihaz otomatik olarak hesaplama yapmakta ve

numune içerisindeki hidrojen miktarını "cm/100g" olarak belirleyebilmektedir.

4.9. Bifilm İndeks

Bu yöntem John Campbell ve Derya Dışpınar tarafından geliştirilmiştir. Alüminyum yüzeyinde oluşan ve türbülans etkisiyle sıvı metal içerisine karışan katlanmış amorf alüminyum (bifilm) oksit tabakasını kontrol etmeye, sayısını ve büyüklüğünü ölçmeye yönelik bir sistemdir. Alüminyum dökümünde bifilmler poroziteyi oluşturan temel etmen olarak kabul edilir.

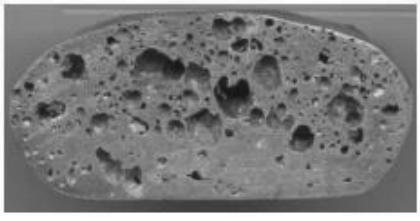
Döküm sırasında yüzey türbülansı ile hapsolmuş ise bifilmler dahili türbülans hareketleri ile sıkı yığınlar haline dönüşürler. 0,1–1,0 mm çaplarındaki bifilmler oldukça zararlıdırlar. Fakat katılaşma sırasındaki durgun koşullar kıvrımlı halinin yenden şekillenerek düz bir çatlak formuna sahip bifilmlerin açılmasına imkân verir. Bu hareketi ile bifilmler zararlı etkilerini 10 kat daha fazla arttırlar. Bu kusurlar bifilmlerin oldukça ince bir yapıda (sıklıkla nanometre mertebesinde) olmasından dolayı şüphelenilmeyen ve genellikle fark edilemeyen bir hale dönüşmesini sağlar [8].

Hidrojen gözenekliliği, çekinti gözenekliliği, demir seviyeleri ve kaba tane boyutunun sünekliği düşürdüğü iyi bilinmektedir. Bu durumların hepsi bifilmlerin sıkı yapısını açarak uzun düzlemsel çatlaklara neden olmaktadır [9]. Bu yüzden döküm metalinin mekanik özelliklerini denetim altına alabilmek için belki de bifilm en önemli unsurdur [6]. Bu sebeple bifilmlerin ölçümünü kolaylaştıran vakum altında katılaştırma testi (RPT) devreye girmektedir. Bifilm İndeksi ölçü olarak denklem 1'de olduğu gibi hesaplanabilir.:

$$Bifilm\ İndeksi = \sum (Gözenek\ Uzunluğu) = Lb \qquad (1)$$

Bu indeks milimetre cinsinden ölçülen bir değerdir ve sanayide uygulaması ve tekrarlanabilirliği oldukça basit bir yöntem olarak dökümhanelerin işlerini fazlasıyla kolaylaştırmaktadır [10].

Şekil 19'da bir RPT numunesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 19: Vakum Altında Katılaştırılmış ve Bifilmleri Açılmış Numune

Kaynakça

[1] Zalensas Donna L. 1986 Aluminum casting technology, Des Plaines 3. American Foundrymen's Society

[2] Foseco, Alüminyum Alaşımlarında Ergimiş Metal Kalitesi, Ergimiş Metal Treatmanı ve Ergimiş Metal Kontrolü

[3] New trends in aluminium degassing – A comparative study. H. Puga, J. Barbosa, E. Seabra, S. Ribeiro, M. Prokic. 4th International Conference on Advances and Trends in Engineering Materials. AES – ATEMA (2009) Hamburg.

[4] (Meidani, A. R. N., Hasan, M. 2004. "A Study of Hydrogen Bubble Growth During Ultrasonic Degassing of Al-Cu Alloy Melts," Journal of Materials Processing Technology, vol. 147 (3), p. 311-320

[5] T.A. Utigard, K.Friesen, R.R.Roy, J.Lim, A.Silny, C. Dupuis, JOM, pp 38-43, November 1998

[6] Zalensas Donna l. ''Aluminum Casting Technology''. Des Plaines, 3. American Foundrymen's Society, 1986

[7] J.E. Gruzleski, B.M. Closset, "The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys", American Foudrymen's Society,1990

[8] D.Dispinar and J.Campbell, Int. J. Cast Met. Res., 19 (5), 5-17, 2005

[9] J.Campbell: Proc. ASM Conference JT Staley, 2001.

[10] D.Dispinar and J.Campbell: Int. J. Cast Met. Res., 17 (5), 280-286, 2004.

alusing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

ISIL İŞLEM

HEAT TREATMENT

Sürekli Döküm ve Soğuk Haddeleme Rotası Sonrası Tavlama Sıcaklığının Korozyon Özellikleri Üzerine Etkisi

Effect of Annealing Temperature on the Corrosion Behaviour of Continuous Cast and Cold Rolled Aluminum

S. Kaan İpek[1], Ali Ulus[1], Gökçe Hapçı Ağaoğlu[2], Gökhan Orhan[2]

[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]İstanbul Üniversitesi

Abstract

This study investigates the change in corrosion behavior with different temper parameters in alloyed sheet products (1xxx and 5xxx) produced by twin roll continuous casting method. Corrosion properties of alloys were determined by electrochemical and salt test according to ASTM B117 standard. Experimental studies have shown that corrosion characteristics of the alloy composition and annealing temperature are greatly affected.

Özet

Bu çalışma ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen (1xxx ve 5xxx) alaşım serili levha ürünlerinde, farklı tav parametreleri ile korozyon davranışlarındaki değişim incelenmiştir. Alaşımların korozyon özellikleri, elektrokimyasal ve ASTM B117 standardına göre gerçekleştirilen tuz testine göre belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda alaşım bileşimi ve tavlama sıcaklığının korozyon özelliklerine büyük oranda etkisi olduğu görülmüştür.

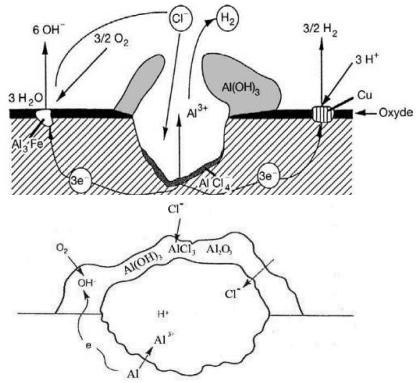
1. Giriş

Korozyon, düşük veya yüksek korozif özellikli metallerin: yüzey özelliklerine, mekanik özelliklerine, bulunduğu ortam koşullarına (atmosfer, su, deniz suyu, değişken solüsyonlar ve organik çevreler vb.), çözelti kinetiği ve ara yüzey davranışlarına bağlı davranış olarak tanımlanabilir [1,2]. Metallerin oksijene olan ilgisinden ötürü gerçekleşen "oksitlenme" davranışı günümüzde rastlanan en yaygın elektrokimyasal süreç olarak karşımıza çıkmasından ötürü oksitlenme tanımı genel olarak korozyonla birlikte anılmaktadır. Metallerin korozyon davranışları bulunduğu atmosferik, kimyasal koşullarda ve metallerin değişken kompozisyonlarında farklılık göstermektedir.

Alüminyum alaşımları inşaat, dış cephe, ticari araçlar, mutfak ekipmanları, güneş panelleri, ısı transfer elemanları vb. birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Birbirinden bu denli farklı ve geniş çaplı kullanım alanına sahip olması; düşük yoğunluk, hafiflik, istenilen mekanik özelliklerin sağlanması, iyi şekil alabilir ve işlenebilirlik, kaynaklanma kabiliyetinin iyi olması ve yüzeyindeki doğal oksidin atmosferik koşullarda stabil kalması kaynaklı korozyon davranışının çok iyi olmasından ileri gelmektedir.

Farklı kimyasal kompozisyonlar, üretim yöntemleri ve proses parametrelerine göre malzemelerin atomik yapıları, makro heterojenlikleri, malzeme iç gerilmeleri ve metal oksidasyon ve çözünme kinetiğinde yüzey özelliklerine bağlı değişimler olmakta, buna bağlı olarak da malzemelerin korozyon davranışları da farklılıklar görülmektedir [3].

Şekil 1'de NaCl çözeltisi içerisinde alüminyumun oyuklanma korozyonu mekanizması şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1. NaCl çözeltisi içerisinde alüminyumun oyuklanma korozyonu mekanizması. (a) Oyuklanma korozyonunda elektrokimyasal reaksiyonlar. (b) Oyuklanma korozyonu sonrası pasivasyon mekanizması [2-5].

C. Vargel alüminyum içerisindeki elektrokimyasal reaksiyonlara bağlı olarak gerçekleşecek reaksiyonları aşağıdaki şekilde tanımlamıştır [4]:

- Alüminyum iyonizasyonu (Alüminyum çözelti içerisinde çözünecek ve yükseltgenecektir.):

$$Al \rightarrow Al_{aq}^{3+} + 3e^- \quad (1)$$

- H^+ protonlarının indirgenmesi:

$$3H^+ + 3e^- \rightarrow \frac{3}{2}H_2 \quad (2)$$

- H^+ protonlarının suyun disosiyasyonu kaynaklı gerçekleşen reaksiyonu:

$$H_2O \underset{\leftarrow}{\rightarrow} H^+ + OH^- \quad (3)$$

- Su içerisindeki oksijenin redüklenmesi gerçekleşecektir :

- Nötral alkali çözeltilerde:
  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ (4)
- Asidik çözeltilerde:
  $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (5)
  - Toplam elektrokimyasal reaksiyon:

$$Al \rightarrow Al^{3+}_{aq} + 3e^-$$
$$H_2O \underset{\leftarrow}{\rightarrow} H^+_{aq} + OH^-_{aq}$$
$$3H^+_{aq} + 3e^- \rightarrow \frac{3}{2}H_2$$

$$Al^{3+}_{aq} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 3e^- + \frac{3}{2}H_2 \quad (6)$$

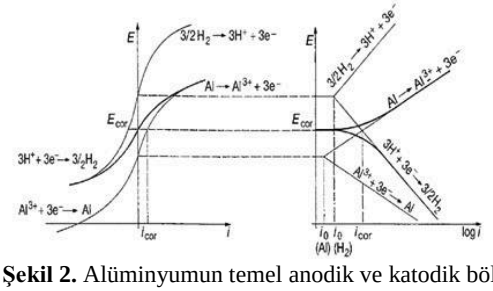
$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3.3H_2O \quad (7)$$

Ek olarak NaCl çözeltilerinde oluşan:

$$Al^{3+}_{aq} + l4C^- \rightarrow AlCl_4^- \quad (8)$$

Anodik ve katodik bölgelerde gerçekleşen reaksiyonlara istinaden devrede bir gerilim oluşmaktadır. Her iki bölgenin dengeye kavuştuğu nokta açık devre potansiyeli (EOC) olarak adlandırılmaktadır. Açık devre potansiyelleri metallerin EMF serilerindeki standart kalomel elektroda (SCE) göre hangisinin daha pozitif veya negatif olduğunu göstermektedir ancak reaksiyon gerçekleşmesi ve korozyon olayının anlaşılması için yeterli değildir. Arayüzey olaylarının anlaşılabilmesi için AC ve DC akımlar altında elektrokimyasal test metodları, anodik ve katodik bölgelerdeki reaksiyon davranışlarını hızlandırmasından ötürü tercih edilmektedir (Tafel Ekstrapolasyon, EIS, Potensiyodinamik Polarizasyon). Elektrokimyasal test metotlarının ise kontrollü olarak gerçekleştirilmesi ve belirlenen ortam koşullarınca tuz testi gibi (SSTest) gerçek zamanlı verilere daha yakın sonuçlar verecek test metotlarının ağırlık kaybı ile birlikte doğrulanması gerekmektedir [5-6].

Korozyon direncinin elektrokimyasal inceleme yöntemlerinde; kaplamasız metallerde en çok kullanılan yöntemler Tafel ekstrapolasyon yöntemidir. Şekil 2' de yöntem sürecinde elde edilen anodik ve katodik eğriler şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2. Alüminyumun temel anodik ve katodik bölge reaksiyonlarının tafel ve lineer ekstrapolasyon grafikleri üzerinde gösterimi [5].

2. Deneysel Çalışmalar

İkiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş, 1050 ve 5005 alaşımlarının kimyasal bileşimi Çizelge 1' de verilmiştir. Alaşımlar; 1 mm kalınlığa haddelenmiş ve 250, 300, 350, 400, 450 °C olmak üzere beş farklı tav sıcaklıklığına tabi tutulmuştur. Ek olarak tavsız numuneler (F) de bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Elektrokimyasal korozyon incelemeleri ve çalışmaları %3,5 NaCl çözeltisi ile incelenmiştir. Tuz testi ASTM B117 standardına göre %5 NaCl çözeltisi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan alüminyum alaşımları ve kimyasal bileşimleri (%)

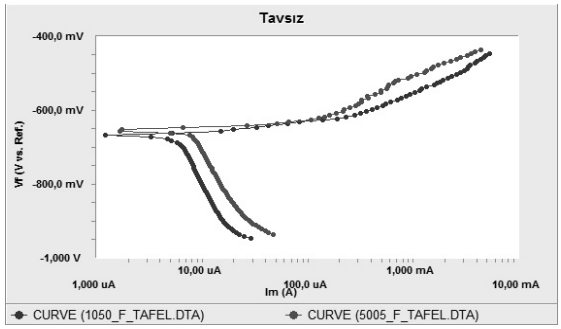
Alaşım	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Al
1050	0,098	0,272	0,004	0,001	0,001	99,539
5005	0,102	0,351	0,002	0,609	0,001	98,854

Elektrokimyasal testler Gamry Instruments Reference 600 galvonastat/potentiostat cihazının kullanımıyla, çift cidarlı, üç elektrodlu standart bir hücrede gerçekleştirilmiştir. Testler, %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde ve oda sıcaklığında ölçülmüştür. Test hücresinde karşı elektot olarak platin folyo, referans elektrot olarak doymuş KCl çözeltisi içeren Ag/AgCl elektrot ve çalışma elektrodu olarak da yüzeyi çözeltiyle teması 1 cm^2 olacak şekilde maskelenmiş alaşımlar kullanılmıştır. Elektrokimyasal incelemelerde Tafel bağıntılarından yararlanılarak i_{corr}, E_{corr} değerleri ve anodik ve katodik bölgelerdeki r_{corr}, (mm/yıl) hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

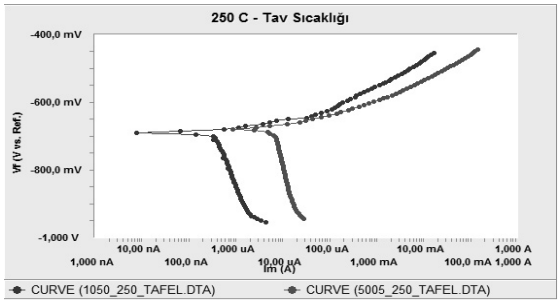
Tuz testleri 5x10 cm^2 boyutlarındaki numunelere 96 saat süresince %3,5 NaCl çözeltisi ile hazırlanmış ortam ile gerçekleştirilmiştir. Tuz testi operasyonu öncesinde ve sonrasında malzemelerin ağırlık ölçümleri kayıt altına alınmış ve makro görüntüleri çekilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

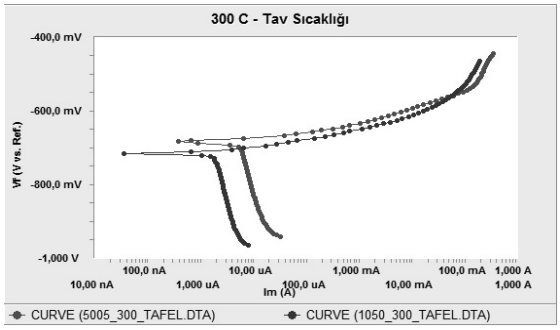
Şekil 3–8 arasında tavsız ve beş farklı tav sıcaklığında gerçekleştirilen korozyon testlerine ait tafel eğrileri 1050 ve 5005 alaşımları için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekil 9 ve 10' da ise sırasıyla 1050 ve 5005 alaşımlarının tavsız ve farklı tav sıcaklıkları için ölçülen tafel eğrileri toplu olarak verilmiştir.



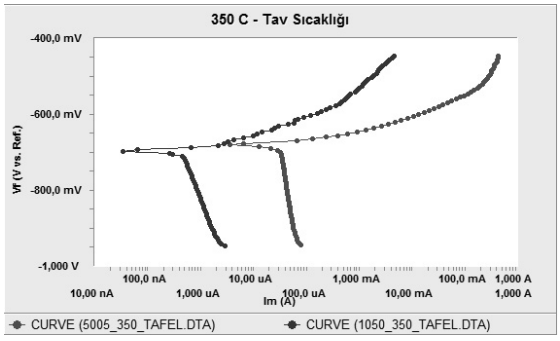
Şekil 3. Tavsız 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



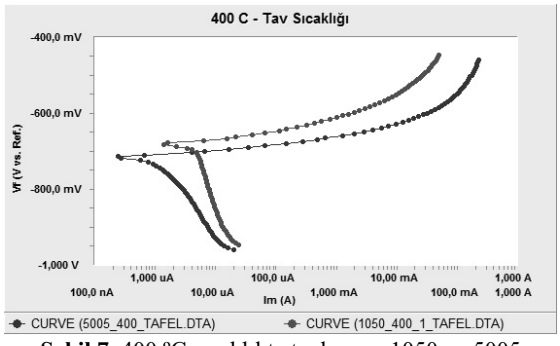
Şekil 4. 250 ºC sıcaklıkta tavlanmış 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



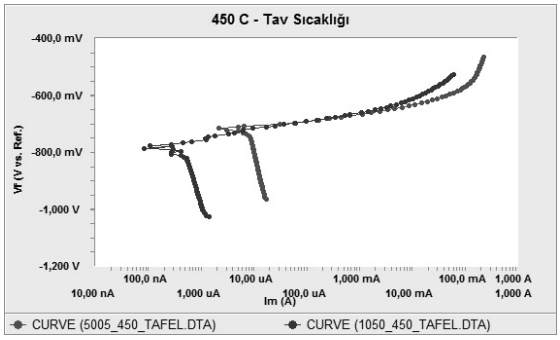
Şekil 5. 300 ºC sıcaklıkta tavlanmış 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



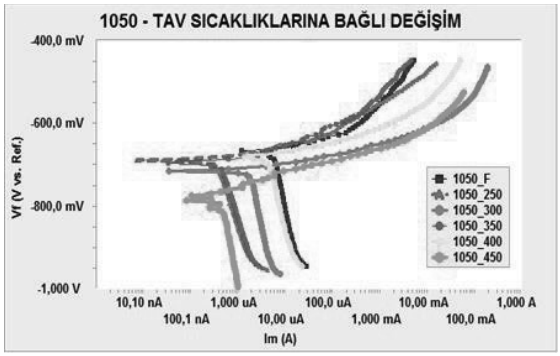
Şekil 6. 350 ºC sıcaklıkta tavlanmış 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



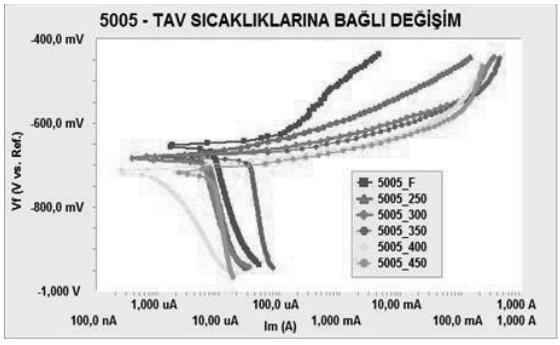
Şekil 7. 400 ºC sıcaklıkta tavlanmış 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



Şekil 8. 450 ºC sıcaklıkta tavlanmış 1050 ve 5005 alaşımlarına ait tafel eğrileri



Şekil 9. Tavsız ve farklı sıcaklıklarda tavlanmış 1050 alaşımına ait tafel eğrileri.



Şekil 10. Tavsız ve farklı sıcaklıklarda tavlanmış 5005 alaşımına ait tafel eğrileri.

Çizelge 2 ve 3' de tafel eğrilerinden elde edilen *i*cor ($\mu A/cm^2$) , E_{cor} (mV) ve korozyon hızı (mm/yıl) gibi korozyon karakteristikleri verilmiştir.

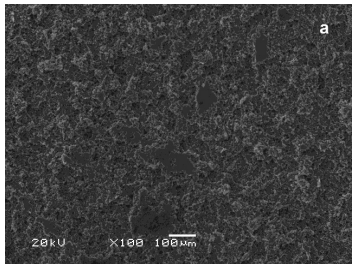
Şekil 11'de elektrokimyasal korozyon testi sonrasında 1050 ve 5005 numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Korozyon testi sonrasında yüzey bütünlüğünü bozacak çatlak yada oyuklanma korozyonuna bağlı çukurlaşma her iki alaşım grubu için de görülmemiştir. 5005 alaşımlarında 1050'ye oranla daha ince yapılı bir korozyon tabakasının varlığı dikkat çekicidir. SEM görüntülerinden elde edilen bu sonuçlar elektrokimyasal test sonuçları ile uyumludur.

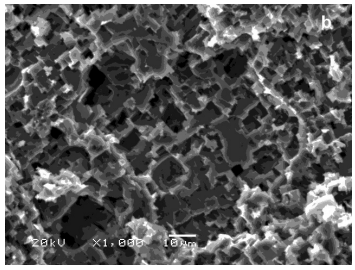
Çizelge 2. 1050 alaşımına ait tafel eğrilerinden elde edilen korozyon büyüklükleri

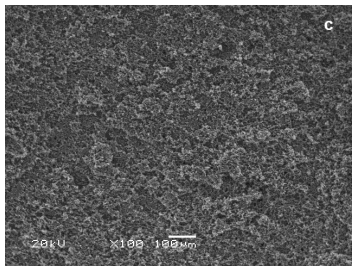
Tav Sıc. (°C)	1050		
	i_{cor} (µA /cm^2)	-E_{cor} (mV)	r_{cor} (mm/yıl)
F	6.63	665	0.0720
250	0.33	689	0.0036
300	1.79	715	0.0200
350	0.49	695	0.0053
400	4.75	680	0.0520
450	0.40	773	0.0044

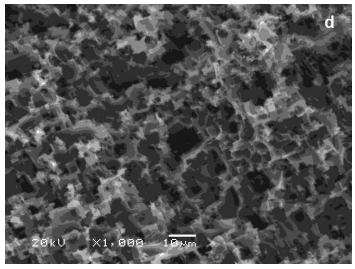
Çizelge 3. 5005 alaşımına ait tafel eğrilerinden elde edilen korozyon büyüklükleri

Tav Sıc. (°C)	5005		
	i_{cor} (µA /cm^2)	-E_{cor} (mV)	r_{cor} (mm/yıl)
F	9.38	654	0.1022
250	6.92	679	0.0754
300	3.47	681	0.0378
350	28.60	680	0.3117
400	1.04	713	0.0113
450	7.51	717	0.0819



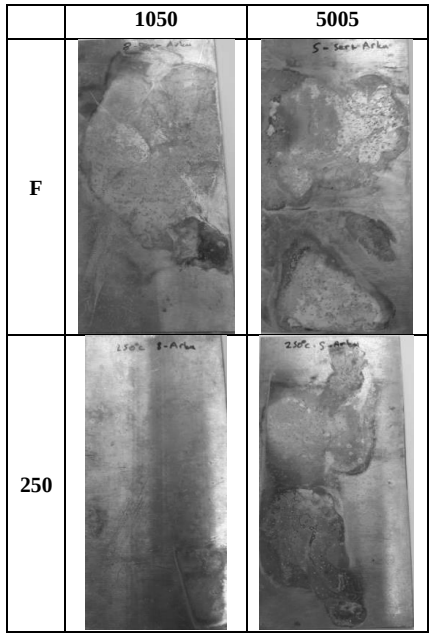


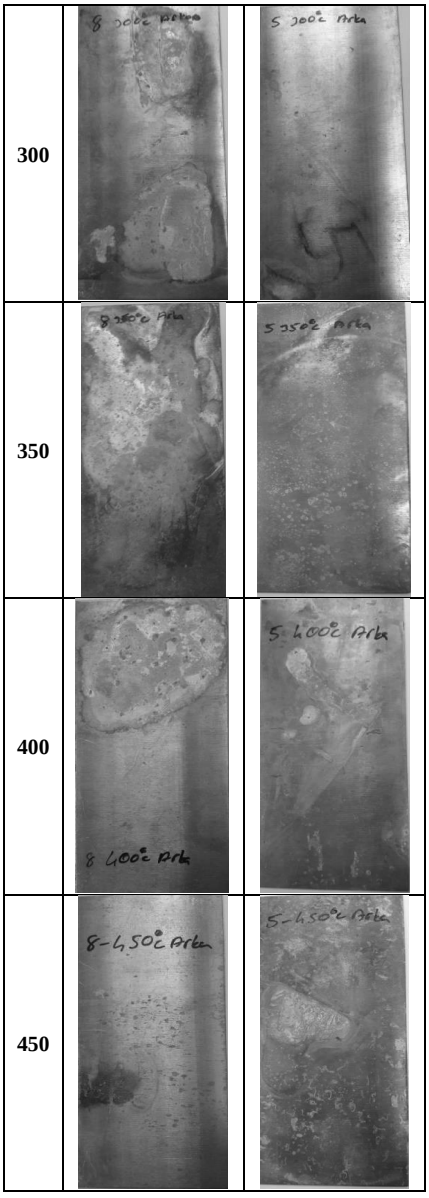




Şekil 11. Elektrokimyasal test sonrası 1050 ve 5005 alaşımlarına ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri a) ve b) 1050 c) ve d) 5005

Şekil 12' de ise aynı alaşım gruplarına ait ASTM B117 standardına göre gerçekleştirilen 96 saatlik tuz testi sonrasında arka yüzlere ait makro fotoğraflar verilmiştir. sonuçları verilmiştir. Numunelere ait tuz testi sonrası makro fotoraflar ile tafel eğrilerinden hesaplanan korozyon hızı arasındaki ilişki uyumludur.





Şekil 12. 1050 ve 5005 alaşımlarına ait numunelerin ASTM B117 standardına göre gerçekleştirilen tuz testi görselleri (Arka yüzey görüntüleri).

Referanslar

[1] C. Vargel, "Corrosion of aluminum Chapter B1 – Intruduction to the Corrosion of Aluminum", Elsevier, (2004)
[2] L.L. Shreir, R.A. Jarman, G.T. Burstein, " Corrosion – Metal/Environment Reactions", Baskı: 1, sf. 12
[3] C. Vargel, " Corrosion of aluminum Part B2 The Types of corrosion on aluminum alloys", Elsevier, (2004)
[4] C. Vargel, " Corrosion of aluminum Part B4 Testing Methods", Elsevier, (2004)
[5] G. Bereket, H. Gerengi, " How truly electrochemical measurements are evaluated in corrosion researches?" Korozyon 21(1-3) pp. 33-44 (2015)

İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Dökülüp Üretilen Boyalı 3004 Alüminyumun Korozyon Dayanımının İncelenmesi

Investigation of Corrosion Resistance Behaviour on Coated 3004 Aluminum by Twin Roll Casting

Ali Ulaş Malcıoğlu, Seda Ertan
Asaş Alüminyum Sanayi

Abstract

Corrosion of aluminum alloy is an electrochemical reaction that consists of dissolution of metal atoms due to aluminum's high affinity to oxygen. 3xxx aluminum alloys have high corrosion resistance and these alloys are used in packaging, automotive, beverage and building industries due to high strength and good bendability. On the contrary, there are some segregation on the surface aluminum called ripple. These areas gives rise to faster corrosion rate. In this present study, thermo-mechanical processes and characterization were done for 3004 aluminum alloys which produced from twin roll casting. The aluminum sheet coated with PVDF paint. Coated aluminum exposed to gloss, chemical resistivity, pencil hardness, eriksen, T-Bend and dry film thickness measurement test. Determining corrosion resistance of 3004 alloy salt spray test was carried out for coated surface. Salt spray test determines corrosion behavior which are more appropriate in natural conditions.

Özet

Alüminyum alaşımlarında korozyon; alüminyumun oksijene yüksek afinitesinden dolayı metal atomlarının çözünmesine bağlı gerçekleşen elektrokimyasal bir reaksiyondur. 3xxx serisi alüminyum alaşımları, yüksek korozyon direncine sahiptir ve yüksek sertlik ile iyi bükülebilirlik özelliklerinden dolayı ambalaj, otomotiv, içecek ve yapı endüstrilerinde kullanılmaktadır. Buna karşılık alüminyum yüzeyinde korozyon oranını arttıran segregasyonlar bulunmaktadır. Sürekli levha dökümünde malzeme alt yüzeyinde segrege olmuş bu alanlara ripple adı verilmektedir. Bu çalışmada, ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilmiş 3004 alaşımı levhaların karakterizasyonu yapılmış ve termo-mekanik prosesleri incelenmiştir. Elde edilen 3004 alaşım rulo PVDF olarak boyanmıştır. Boyanmış malzemeye parlaklık, kimyasal direnci, kalem sertliği, eriksen, T-Bend ve kuru film kalınlığı testleri yapılmıştır. Buna ilave olarak, korozyon direncini belirlemek amacı ile tuzlu sis testi gerçekleştirilmiştir. Tuzlu sis testi doğal koşullardaki korozyon direncini tespit etmek adına optimum sonuçları vermektedir.

1. Giriş

Alüminyum ve alaşımlarının; ısıl ve elektriksel iletkenlik, hafiflik, korozyon dayanımı gibi özelliklerinin malzemenin önemli avantajları arasında görüldüğü bilinmektedir. Bu nedenle alüminyum alaşımlarının; ulaşım, ambalaj ve yapı gibi birçok sektörde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Muhtelif kullanım yerlerinde de agresif çevre şartlarına karşı korozyon davranışını geliştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleşmektedir [1-3].

Korozyon, metallerin içinde bulundukları ortam ile girdikleri kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyon sonrası özelliklerinde değişiklik gerçekleşmesidir. Alüminyum üzerinde, atmosfer altında ince pasif bir oksit tabakası oluşmakta ve bu tabaka metali korozyona karşı belli bir seviyeye kadar korumaktadır. Alüminyum üzerinde organik kaplama uygulamaları ile yüzey özelliklerine tesir edilmekte ve malzemenin korozyon direnci arttırılmaktadır [4-5].

Boyama ve yüzey işlemleri; estetik görünüm için yapılmasının yanı sıra metalik malzemelerin mühendislik özelliklerini geliştirmek içinde kullanılmaktadır. Günümüzde alüminyum malzemelerin alüminyum rulo halinde kaplamasının yapılması, toz boya gibi yöntemlere nazaran daha ekonomik olduğundan sektörde daha çok tercih edilmesine sebep olmuştur. Günümüzde, yapı sektöründe kaplanmış alüminyum levhaların kullanımı çok yaygındır [6].

Poliviniliden florür (PVDF), organik polimerik kaplama olup çatı ve dış cephe sistemlerinde kullanılmaktadır. C-F bağları çok kuvvetlidir ve kimyasal ataklara çok dirençli olmakla birlikte foto-kimyasal stabilitesi çok iyidir. C-F bağları hidrofobiktir ve non-reaktif bir malzemedir. Floropolimer ailesinin özel bir plastik elemanıdır. Saflık, mukavemet, asit ve solvente dayanım ve yangın halinde düşük ısı ve duman oluşturması gibi özelliklerinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Diğer floropolimerlerle kıyaslandığında ergime noktasının düşük olması (177ºC) kullanılmasını kolay kılmaktadır. Ayrıca diğerleri ile kıyaslandığında daha düşük yoğunluklu ve daha düşük maliyetlidir.

Malzemelerin korozyon direncini tespit etmek amacı ile tuzlu sis testi gerçekleştirilmekte ve kaplama içerisindeki por, oksit ve diğer süreksizlikler ilgili test ile belirlenmektedir. Alüminyum üzerindeki organik kaplamalar, anodik oksit kaplamalar ve bir kısım metal alaşımları, tuzlu sis testi ile deneye tabi tutulabilmektedir [7].

Çalışmada, termo-mekanik proseslerin mekanik ve mikroyapısal özelliklere etkisi ile PVDF boyalı malzemenin karakterizasyonu ve korozyon direnci araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

3004 alaşım; ASAŞ Alüminyumda ikiz merdane döküm yöntemiyle endüstriyel ölçekte dökülmüş olup kimyasal alaşımı Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan 3004 alaşım kimyasal içeriği.

Alloy	Fe	Si	Mn	Mg	Cu
wt.%	0,3-0,6	0,1-0,-3	1,0-1,3	0,9-1,2	0,1-0,3

Elde edilen levhalar laboratuvar tipi haddeleme makinası ve tav fırınları kullanılarak çeşitli termo-mekanik proseslere tabi tutulmuştur.

Hedeflenen kalınlıktaki numunelerin mekanik özellikleri, dikey ve düzlemsel anizotropi değerleri; Zwick/Roel Z050 model çekme testi cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

SiC zımpara kağıtları kullanılarak hazırlanan numuneler mekanik parlatma ve elektrolitik dağlama işlemleri ile metalografik olarak hazırlanmıştır.

Numunelerin mikro-yapı görüntüleri ZEISS Scope A1 model optik mikroskop ile polarize ışık modu altında, T büküm fotoğrafları ise ZEISS Stemi 2000-c model Stereo optik mikroskop ile çekilmiştir.

Numunelerin faz analizi SEM-EDS görüntüleri; Fransa'da JEOL IT 300 ve Sakarya Üniversitesinde FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskoplarıyla gerçekleştirilmiştir.

Termo-mekanik proses çalışmaları Çizelge 2'de verilmektedir. Numuneler, nihai kalınlık olan 0,90 mm'e haddelendikten sonra toparlanma tavına tabi tutulmuş ve üç proses içinde H24 kondisyon elde edilmiştir.

Çizelge 2. Termo-mekanik proses çalışmaları

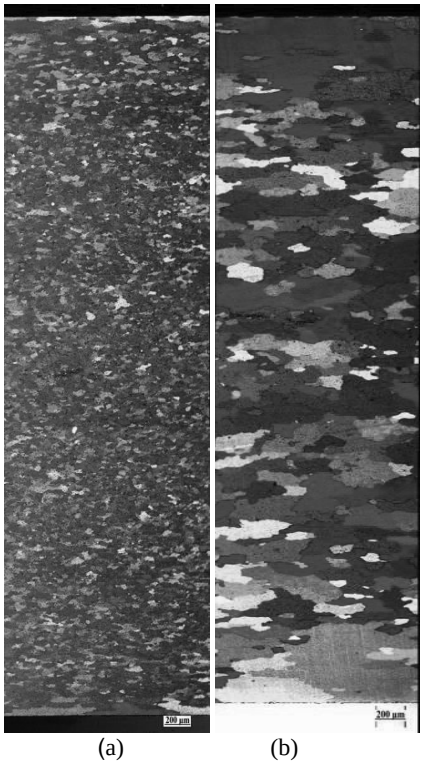
Proses 1	**Proses 2**	**Proses 3**
Döküm Kalınlığı	Döküm Kalınlığı	Döküm Kalınlığı
Haddeleme	Homojen Tav	Homojen Tav
Homojen Tav	Haddeleme	Haddeleme
Haddeleme (Nihai Kalınlık)	Ara Tav (Düşük Sıcaklık)	Ara Tav (Yüksek Sıcaklık)
Toparlanma Tavı	Haddeleme (Nihai Kalınlık)	Haddeleme (Nihai Kalınlık)
	Toparlanma Tavı	Toparlanma Tavı

Prosesi tamamlanan numunelerin mekanik özellikleri ve büküm performansları dikkate alınarak 3 numaralı proses ile işletmede rulo üretimi gerçekleşmiştir. ASAŞ Alüminyum boya işletmesinde üst ve alt yüzeyinden ayrı ayrı PVDF boyama yapılmıştır. Boyalı malzemeden numune alınmış ve ASAŞ Alüminyum Boya laboratuvarında kuru film kalınlığı, parlaklık, kalem sertliği, eriksen, T-büküm ve kimyasal aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler sonrasında Akzo Nobel firmasına Tuzlu Sis Testi için gönderilmiştir. Test süresi 500 ve 1000 saat olarak belirlenmiş olup her iki yüzeye de yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1 Mikroyapı İncelemeleri

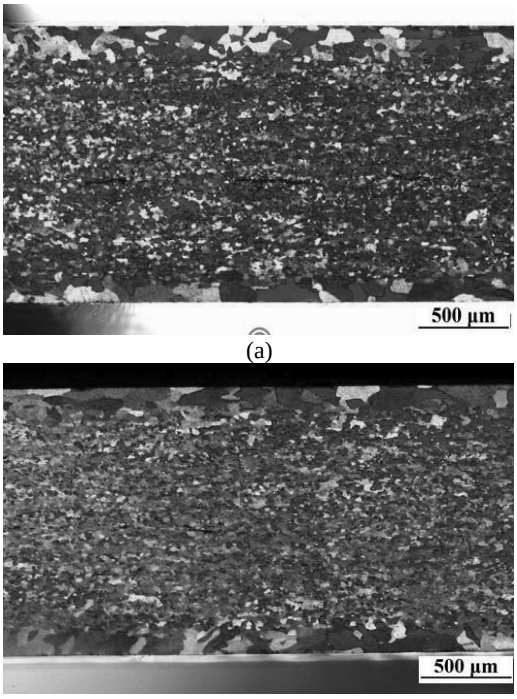
Şekil 1'de döküm kalınlığında homojen tavlanan numune ile deformasyona uğradıktan sonra homojen tavlanan numunenin tane yapıları arasındaki fark göze çarpmaktadır. Buna göre döküm kalınlığında tavlanan malzemenin tane yapısının daha kaba olduğu görülmektedir. Deformasyona uğramadan homojen tavı yapılan numunenin dislokasyon yoğunluğu, haddelenen numuneye göre daha azdır ve bu duruma istinaden tane yapısında kabalaşma meydana gelmiştir. Proses 1,2 ve 3 için yüzeydeki tane yapısı merkeze göre daha kaba yapıdadır. Bunun sebebi döküm sırasında hızlı katılaşma nedeni ile yüzeylere yakın alanlardaki 1-2 mikrondan daha küçük intermetaliklerin sebep olduğu pinning etkisinden dolayıdır.



(a) (b)

Şekil 1. a) Proses 1 için; haddeleme sonrası b) Proses 2-Proses 3 için döküm kalınlığında, homojen tavlanmış malzemelerin kesit boyunca tane yapısı optik mikroskop mikroyapı görüntüleri [8].

Şekil 2'de Proses 2 ve 3 için numunelere farklı sıcaklıklarda yapılan ara tav işlemi sonucu ara tavlı mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Homojen tavdan sonra yüzeye yakın bölgelerdeki kabalaşmış yapının ara tav sonrasında da mevcut olduğu görülmüştür.

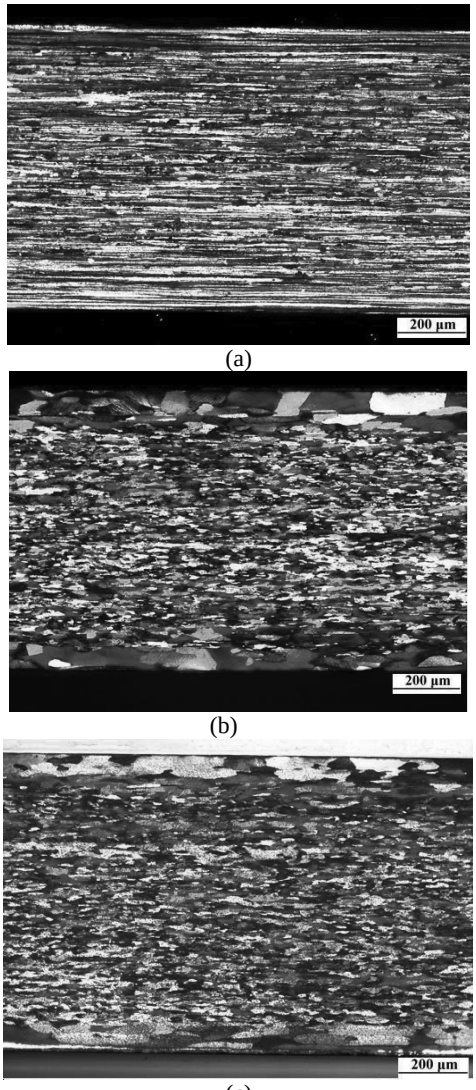


(a)

(b)

Şekil 2. a) Proses 2 için düşük sıcaklıkta ara tavlı b) Proses 3 için yüksek sıcaklıkta ara tavlı döküm yönüne dik kesit boyunca tane yapısı optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.

Şekil 3'de Proses 1-2-3 numuneleri için nihai kalınlıktaki toparlanma tavlı tane yapıları görülmektedir. Proses 2-3 için yüzeye yakın bölgelerdeki kabalaşmış yapının hala kendini koruduğu görülmüştür. [8].



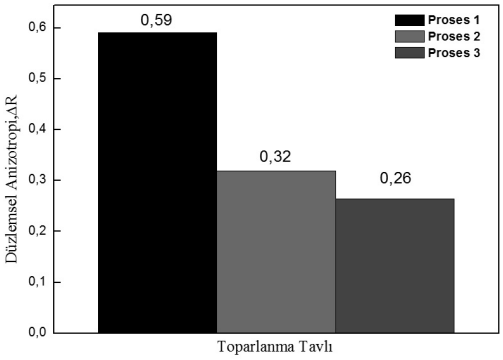
(a)

(b)

(c)

Şekil 3. Toparlanma Tavlı, a) Proses 1 b) Proses 2 c) Proses 3 döküm yönüne paralel kesit optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.

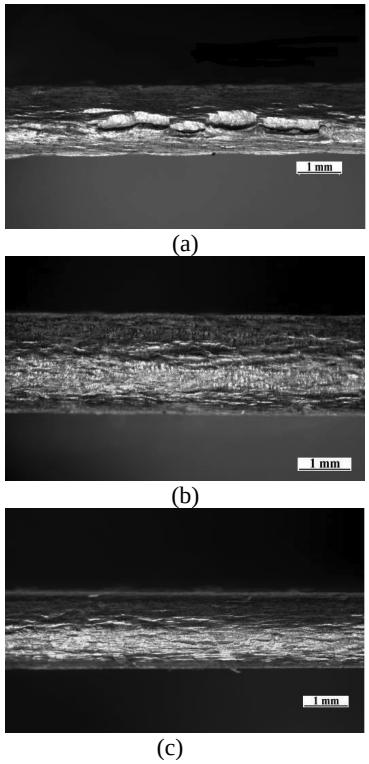
Şekil 4'de Proses 1-2-3'de H24 kondisyon değerlerine karşılık gelen düzlemsel anizotropi değerleri görülmektedir. Düzlemsel anizotropi değerleri açısından Proses 2 ve 3 daha başarılı bulumuştur.



Şekil 4. Proses 1 (siyah), Proses 2 (kırmızı) ve Proses 3 (mavi) için H24 kondisyondaki numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları.

3.2 T Büküm İncelemeleri

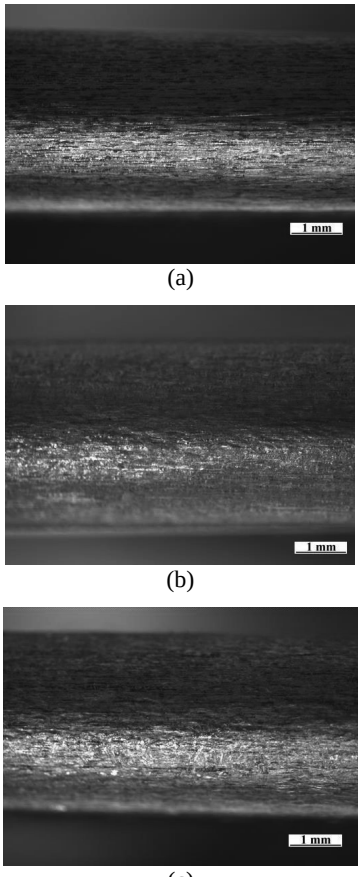
H24 kondisyonundaki Proses 1-2-3 numuneleri için 0 T ve 1 T büküm sonuçları Şekil 5-6'da görülmektedir. Bu ürün için talep edilen T büküm değeri max 1 dir. Şekil 5'deki 0T büküm sonuçlarına göre Proses 1 için büküm sonrası yapıda çatlamalar göze çarpmaktadır. Proses 2 ve 3 için toparlanma tavlu numunelerde liflenme görülmektedir. Ara tavlı malzemelerin 0 T büküm davranışının daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. [8].



(a)
(b)
(c)

Şekil 5. a) Proses 1 b) Proses 2 c) Proses 3 için 0 T büküm stereo mikroskop görüntüleri.

Şekil 6'daki 1T büküm sonuçlarına göre tamamını büküm özellikleri uygun bulunmuştur.



(a)
(b)
(c)

Şekil 6. a) Proses 1 b) Proses 2 c) Proses 3 için 1 T büküm stereo mikroskop görüntüleri.

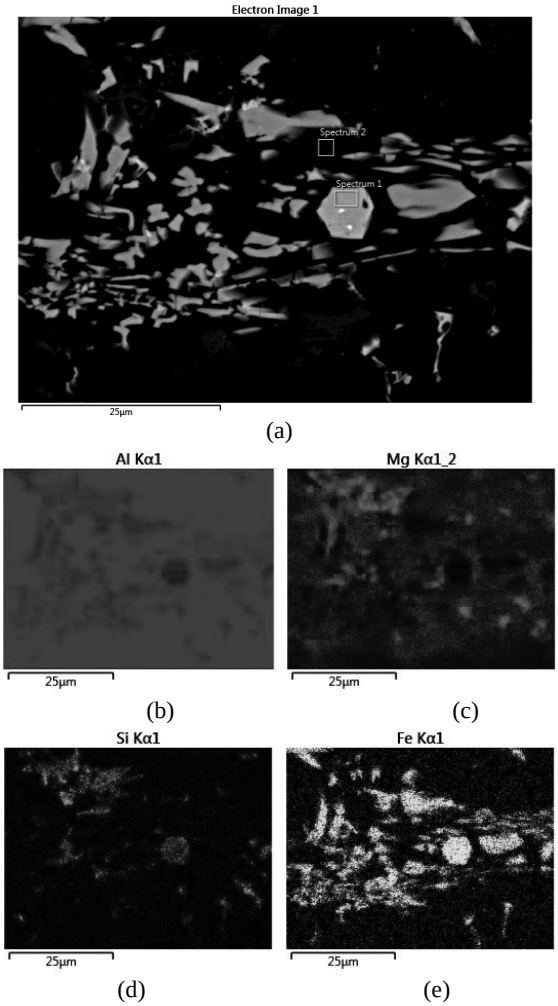
3.3 SEM Analizleri

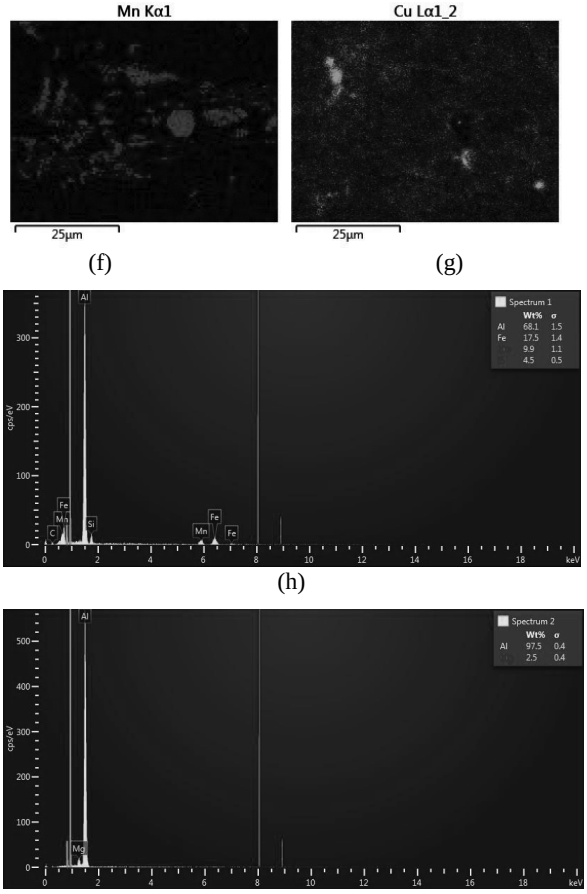
3004 alaşımıın intermetalik faz yapısı incelendiğinde, Fe'in alüminyum içinde çözünebilme kabiliyeti Mn dan daha düşük olduğu için, homojenizasyon sırasında mangan hızlıca difüze olmaktadır. Matris Mn açısından maksimum çözünürlüğe ulaşana kadar Al_6(Mn,Fe) fazı yapıda kalır. İntermetalik tipleri alaşım kompozisyonu ve homojenizasyon ışıl işlemine göre değişmektedirler. α-Al(MnFe)Si fazı yüksek Si seviyesinde çökelmekteyken Al_6(MnFe) fazı ise düşük Si seviyesinde stabil kalmaktadır. Bu iki tip intermetalik yapısında, mangan ve demir birbirlerinin yerine geçerken α-Al(MnFe)Si yapısında Fe/Mn oranı arttıkça, basit kübik kristal yapısı, BCC (hacim merkezli kübik) kristal yapısına dönüşmektedir. Öte yandan α-Al(MnFe)Si intermetaliği yavaşça çözünürken Al_6(MnFe) intermetalik, homojenizasyon sıcaklığı ve süresininin

arttırılması ile çökelmektedir. Literatür derlemelerinden edinilen bilgiler ışığında, α-Al(MnFe)Si intermetaliği matris ile kısmen uyumlu olduğu belirlenmekte ve bu sebeple mekanik özellikleri geliştirmektedir [9-10].

Şekil 7'de döküm kalınlığındaki 3004 malzemenin SEM görüntüsü ve faz haritalaması verilmektedir. Görüntüde siyah olarak görülen faz Mg_2Si; gri olarak görülen faz Al_6(Mn, Fe) ve açık gri olarak görülen faz ise α-Al(Mn, Fe)Si fazı olarak tanımlanmaktadır. [11].

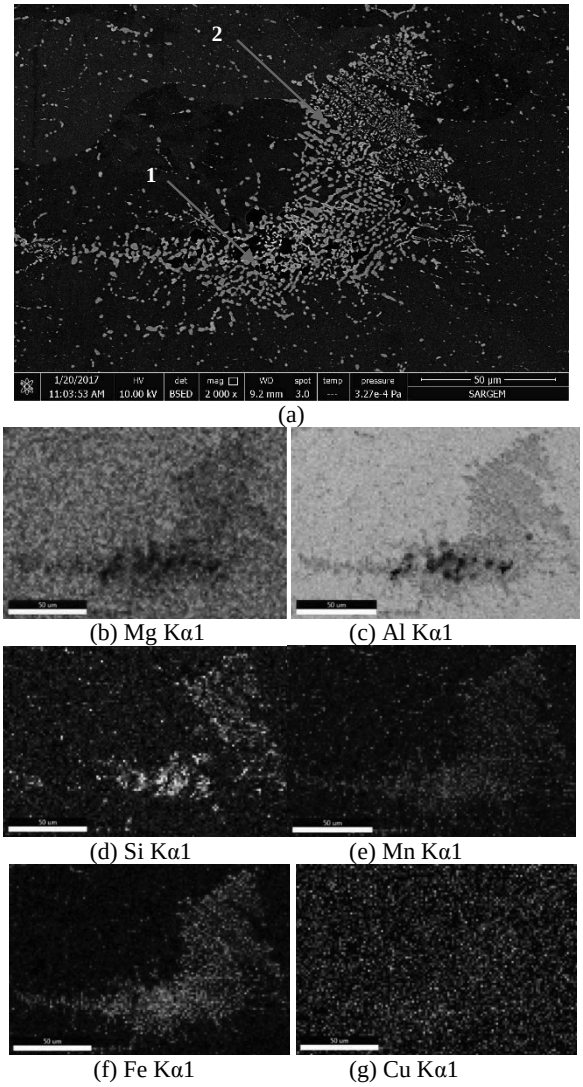
Buna göre Cu'nun Al_6(MnFe), α-Al(Mn, Fe)Si ve Mg_2Si inter-metalikleriyle bileşik oluşturmadığı ve yapıda çözündüğü belirlenmiştir. Magnezyumun bir kısmının Mg_2Si yaparken bir kısmının matriste çözündüğü anlaşılmış ve bu durum Spectrum 2'deki spektral analizle doğrulanmıştır. Şekil 7 deki elementel dağılım haritasına bakıldığında Si in matriste kalmadığı Mg_2Si ve α-Al(Mn, Fe)Si inter-metaliklerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Mangan da büyük ölçüde inter-metalikler içindedir.





Şekil 7. Döküm Kalınlığı elementel EDS analizi. a) Back Scatter Electron görüntüsü. b-c-d-e-f-g) Elementel phase mapping h) Spectrum 1 EDS analizi i) Spectrum 2 EDS Analizi

Şekil 8'de Proses 2-3 için EDS Analizi sonucunda 2 no.lu noktada Al_6(Mn, Fe), 1 no.lu noktada α-Al(Mn, Fe)Si intermetaliği belirlenmiştir. Mg_2Si fazının çözündüğü tespit edilmiştir.



(a)

(b) Mg Kα1 (c) Al Kα1

(d) Si Kα1 (e) Mn Kα1

(f) Fe Kα1 (g) Cu Kα1

Şekil 8. Döküm Kalınlığında homojen tavlı elementel EDS analizi. a) Back Scatter Electron görüntüsü. b-c-d-e-f-g) Elementel phase mapping

3.4 PVDF Boyama Sonrası

PVDF kaplı malzemenin endüstriyel ölçekte istenilen kriterleri karşılayıp karşılamamasını belirlemek adına kuru film kalınlığı, parlaklık, kimyasal aşınma, eriksen ve kalem sertliği ölçümleri yapılmış ve Çizelge 3'de sonuçları gösterilmektedir. Belirtilen testler EN 13523 standardının ilgili bölümleri referans alınarak yapılmıştır. Parlaklık için 30 ±5 GU, kuru film kalınlığı için 25 ±3 mikron, kalem sertliği için HB-2H, T-Bend için maksimum 1, kimyasal aşınma için (MEK-metil etil keton) 30 N yük altında minimum 100 gidiş-geliş hedeflenmiştir. Eriksen testi sonrası yüzey değerlendirmede ASTM ye göre 5B ve ISO ya göre Class 0 hedeflenmiştir. Çizelge 3'de sonuçlarının hedeflenene uygun çıktığı görülmüştür.

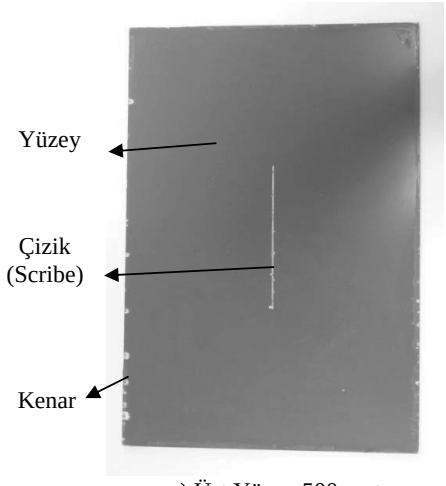
Çizelge 3. Boyalı numune test sonuçları.

	Kuru Film Kalınlığı mikron	**Parlaklık GU**	**Kalem Sertliği**	**Yapışma (Cupping Sonrası)**
	EN 13523-1	EN 13523-2	EN 13523-4	ASTM 3359-09
Kenar 1 (Üst Yüzey)	26	27	*	-
Merkez (Üst Yüzey)	26	27	2H	5B Class0
Kenar 2 (Üst Yüzey)	26	27	*	-
Kenar 1 (Alt Yüzey)	30	28	*	-
Merkez (Alt Yüzey)	30	28	2H	5B Class0
Kenar 2 (Alt Yüzey)	30	28	*	-
	T-Büküm	**Yapışma (Büküm Sonrası)**	**Kim. Aşınma Testi**	
Kenar 1 (Üst Yüzey)	EN 13523-7	ASTM 3359-09	EN 13523-11	
Merkez (Üst Yüzey)	0,5T	-	100	
Kenar 2 (Üst Yüzey)		OK	100	
Kenar 1 (Alt Yüzey)	0,5T	-	100	
Merkez (Alt Yüzey)	0,5T	-	100	
Kenar 2 (Alt Yüzey)	-	OK	100	

*Sadece merkez kısmından ölçüm yapılmıştır.

3.5 Tuzlu Sis Testi

Şekil 9'da Tuzlu Sis Testi gerçekleştirilen PVDF kaplı numunelerin ön ve arka yüzeyin 500 ve 1000 saat sonrası görüntüleri verilmektedir. ISO 4628'e göre test sonrası, numunenin yüzey, kenar ve çizik bölgesi gösterilmektedir.



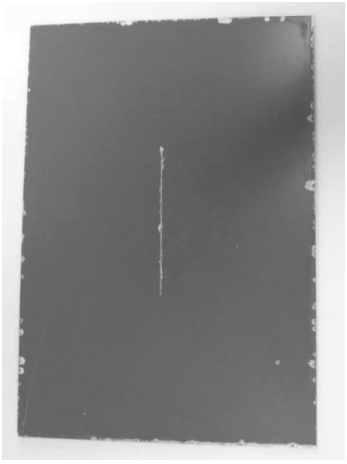
a) Üst Yüzey 500 saat



b) Alt Yüzey 500 Saat



a) Üst Yüzey 1000 saat



b) Alt Yüzey 1000 Saat

Şekil 9. Boyalı levhalara uygulanan tuzlu sis testi sonucu yüzey görüntüleri.

Korozyon test sonuçlarının değerlendirilmesi için ISO 4628 standardı kullanılmıştır. Buna göre test sonuçları Çizelge 4'te, kodlamaların anlamları ise Çizelge 5'te verilmiştir. "s" harf kodu çıplak gözle görülebilen sayıca az ama önemli defectler olduğunda rakamın yanına yazılmaktadır. 500 saatin sonunda alt ve üst yüzeyin arasında dikkate değer bir farklılık görülmemiştir. 1000 saatin sonunda ise alt yüzeyin sonundaki korozyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 4. Tuzlu sis testi sonuçları.

Mazeme	**Yüzey**	**Kenar**	**Scribe (Çizik)**	**Kenar maks./ort.**	**Scribe maks./ort**
D. Üst Yüzey 500 saat	0	2s3	2s2	2mm/0,5 mm	1mm/0,5 mm
D. Alt Yüzey 500 saat	0	2s3	2s2	2,5mm/0,5 mm	1mm/0,5 mm
D. Üst Yüzey 1000 saat	0	3s3	2s2	3mm/1,5 mm	1mm/0,5 mm
D. Alt Yüzey 1000 saat	2s2	3s3	2s2	3mm/1mm	1mm/0,5 mm

Çizelge 5. Tuzlu sis EN 4628 standardı.

Yoğunluk		Boyut
ISO	ASTM	
0	Hiç	
1	Nadir	1x10 Büyütme
2	Az	Görünür
3	Orta	0.5mm'e kadar 0.5-5mm
4	Orta-Yüksek	>5mm
5	Yüksek	

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesine metalografik numune hazırlaması ve mekanik testlerin yürütülmesiyle alakalı katkı gösteren Ar-Ge teknisyeni Sn. Samet Sevinç'e teşekkür ederiz. Tuzlu Sis testini gerçekleştiren Akzo Nobel Kemipol' e teşekkür ederiz.

4. Sonuçlar

-Deformasyon sonrası homojen tava giren malzemeler döküm kalınlığında homojen tava girenlere göre homojen tav sonrası daha ince bir tane yapısı vermektedir.

-Proses 1-2-3'de H24 kondisyon için düzlemsel anizotropiye baktığımızda en iyi düzlemsel anizotropi değerinin Proses 3'te elde edildiği görülmektedir.

- SEM incelemeleri sonucunda döküm kalınlığındaki malzemede; Mg_2Si, Al_6(Mn, Fe) ve α-Al(Mn, Fe)Si intermetalikleri tespit edilmiştir. Homojen tavlı malzemelerde Mg_2Si gözlenmemiş Al_6(Mn, Fe) ve α-Al(MnFe)Si inter-metalikleri bulunmuştur.

- Tuzlu Sis Testi sonuçlarına bakıldığında 500 saatin sonunda alt ve üst yüzeyin korozyon dayanımı ve 1000 saat sonrası üst yüzeyin korozyon dayanımı benzer şekildedir. 1000 saatin sonunda alt yüzeyin korozyon dayanımı bir miktar daha düşük tespit edilmiştir.

Referanslar

1. Zhu, Z. ve Starink, M.J., Solution strengthening and age hardening capability of Al-Mg-Mn alloys with small additions of Cu *Materials Science and Engineering:* (2008) *A*, 488, 125-133.
2. Ehsani A., Ahmadi M., Mohammed G., Inhibitory Effect of Newly Synthesized Orga Compund in Corrosion of Aluminum Electrochemical Investigation, Advances in Chemistry (2015) 5(3A), 19.25
3. Mei-jun Z., Dong-yan D., Yong-jin G., Guo-zhen C., Ming L., ve Da-li M. Effect of Zn content on tensile and electrochemical properties of 3003 Al alloy, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20(2010) 2118−2123
4. Peabody, A.W., Definiton of Corrosion,Control of Pipeline Corrosion, National Associaton of Corrosion Engineers, Texas, (2001) 1-7
5. Shabani-Nooshabadi, M., Ghoreishi, Sm. M., ve Behpour, M. Electropolymerized Polyaniline Coatings on Aluminum Alloy 3004 and Their Corrosion Protection Performance, Electrochim. Acta. (2009), 54, 6989-6995
6. Gupta, G., Pathak, S.S., ve Khanna, A.S., Anticorrosion Performance of eco-friendly silane primer for coil coating applications, Progress in Organic Coatings 74 (2012) 106–114
7. Baloğlu, A., Alüminyum Alaşımlarına Anodik Oksit Filmi İçerisine Gümüş Katılması Yolu İle Antibakteriyel Özellik Kazandırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2008) 56-57
8. Malcıoğlu, A.U., ve Ertan, S., Production of 3004 Aluminum Alloy Sheet for Structural Applications from Twin Roll Casting, Light Metals 2017, (2017) 173-180
9. Alexander, D.T.L., ve Greer, A.L., Solid-state intermetallic phase transformation in 3xxx aluminum alloys. Acta Mater. 50, (2002) 2571-2583.
10. Liu, K., ve Chen, X., Development of Al–Mn–Mg 3004 alloy for applications at elevated temperature via dispersoid strengthening. Mater. Des. 84, (2015) 340–350.
11. Li, Y.J., ve arkadaşları, Precipitation of partially coherent a-Al(MnFe)Si dispersoids and their strengthening effect in AA 3003 alloy. Acta Mater. 60, (2012) 1004–1014.

İkiz Merdane Döküm Tekniği İle Üretilen Soğuk Haddelenmiş 5754 Alüminyum Alaşımının Yumuşama Davranışı

Softening Behavior of Cold Rolled Twin-Roll Cast 5754 Aluminum Alloy

Ozan Deniz Altundal, Zülal Öziş, Onur Meydanoğlu, Cemil Işıksaçan

Assan Alüminyum Sanayi

Abstract

In this study, recovery and recrystallization behavior of twin-roll cast 5754 aluminum alloy was investigated. For this purpose, 5754 aluminum as-cast strips were processed to achieve 1 mm thick samples with processes having different cold rolling amounts after intermediate annealing and final annealed at different temperatures and time. Softening behavior of 1 mm thick cold rolled samples were evaluated by tensile tests, hardness measurements and microscopic examinations. Increased temperature and amount of cold rolling after intermediate annealing lead to enhanced softening kinetics. Formation of larger grains is observed after recrystallization with decreased amount of cold rolling after intermediate annealing.

Özet

Bu çalışmada ikiz merdane döküm tekniği ile üretilen 5754 alaşımının toparlanma ve yeniden kristalleşme davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 5754 döküm levhaları ara tav sonrası farklı haddeleme miktarlarına sahip prosesler ile 1 mm kalınlığa haddelenip farklı sıcaklık ve sürelerde nihai tav işlemine tabi tutulmuşlardır. 1 mm kalınlığa sahip soğuk haddelenmiş numunelerin yumuşama davranışları çekme testi, sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri ile irdelenmiştir. Yumuşama kinetiğinin artan sıcaklık ve ara tav sonrası haddeleme miktarı ile arttığı belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde ara tav sonrası soğuk hadde miktarının azalmasıyla yeniden kristalleşme sonrası daha büyük tanelerin oluştuğu tespit edilmiştir.

1. Giriş

Günümüzde küresel ısınmadan dolayı geliştirilen çevresel yönetmelikler gereği çelik yerine hafif metallerin mühendislik uygulamalarında önemi her geçen gün artmaktadır. Hafif metaller arasında alüminyum yüksek spesifik mukavemet ile korozyon dayanımı ve geri dönüşümü sayesinde hafif metaller sektöründe öncü görev almaktadır [1-3]. Ancak alüminyumun deformasyon karakteristiği ve şekil alma davranışı çeliğinkinden çok farklıdır [1]. Alüminyumun şekillendirilmesi magnezyum ile alaşımlandırılarak geliştirilebilir. 5XXX serisi olarak adlandırılan alüminyum-magnezyum alaşımları yüksek spesifik mukavemet ile kabul edilebilir şekil alma kabiliyetini bir arada sağlamaktadır [3,4].

Yüksek magnezyum içerikli mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşımları doğrudan soğutma (direct chill, DC) yöntemi ile üretilmektedir [5]. Bu teknikte döküm sonrasında frezeleme, homojenizasyon tavı, tekrarlı sıcak haddeleme ve gerekli ise soğuk haddeleme gibi çok sayıda termo-mekanik işlem gerçekleşmektedir ve bu nedenle pahalı bir üretim yöntemidir [2,5]. Diğer taraftan ikiz merdane sürekli döküm tekniğinde doğrudan 3-7 mm kalınlıkta döküm levhası üretilmesi nedeniyle doğrudan soğutma tekniğinde gerçekleştirilen frezeleme, homojenizasyon tavı ile tekrarlı sıcak haddeleme termo-mekanik operasyonlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu şekilde ikiz merdane sürekli döküm yöntemi yüksek magnezyum içerikli alüminyum mekanik işlem alaşımlarının üretimini enerji tüketimini, operasyonel maliyetleri ve hurda oranını azaltarak ekonomik hale getirmektedir ve sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır [2,3,5-7]. İkiz merdane sürekli döküm tekniğinde sıvı metal, su soğutmalı döner iki merdane arasına beslenerek çok kısa sürede katılaştırılarak levha haline getirilir ve daha sonra soğuk hadde ile tav kombinasyonları kullanılarak istenilen kalınlık ve kondisyon elde edilir. Bu nedenle ikiz merdane sürekli döküm tekniğinde katılaşmanın kolay sağlanabilmesi için katılaşma aralığı dar olan alaşımlar tercih edilmektedir. Ancak alüminyuma magnezyum ilavesi katılaşma aralığının genişlemesine neden olur ve bu durum yüksek magnezyum içerikli alaşımların ikiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilmesini zorlaştırmaktadır [8].

Bu çalışmada ikiz merdane sürekli döküm yöntemi ve ara tav sonrası farklı soğuk haddeleme miktarı ile üretilen 1 mm kalınlıktaki 5754 alüminyum alaşımının farklı sıcaklık ve sürelerdeki yumuşama davranışı incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile 5,5 mm kalınlıkta 5754 levhaları üretilmiştir. Levhalar ara tav sonrası % 20 ve % 60 soğuk haddeleme miktarına sahip prosesler ile laboratuvar ölçekli hadde ve tav fırınları kullanılarak 1 mm kalınlığa haddelenmiştir. Proses çalışmalarında ara tav sonrası farklı soğuk haddeleme miktarı uygulanarak elde edilen 1 mm kalınlıktaki levhalar değişken sıcaklık ve sürelerde tav işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu şekilde nihai tav sıcaklığının ve ara tav sonrası soğuk deformasyon miktarının yumuşama davranışı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

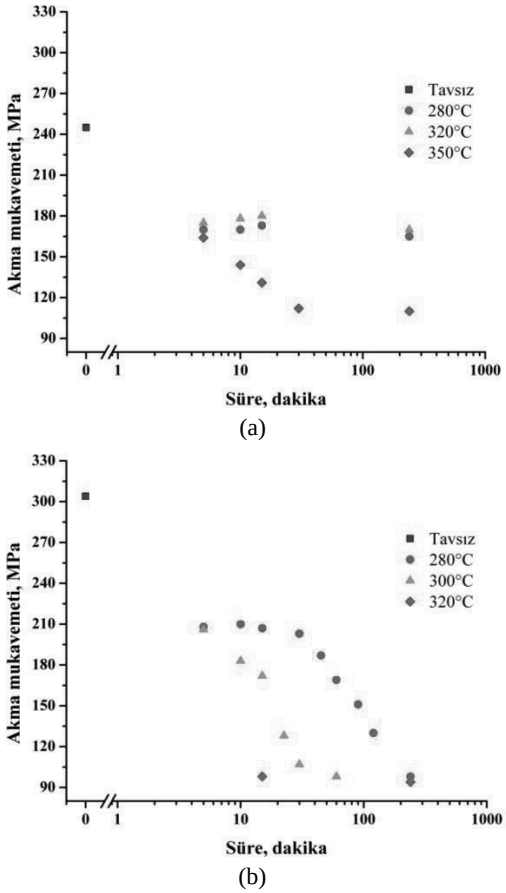
Parçaların yumuşama davranışı mikroskobik incelemeler ve mekanik testler ile belirlenmiştir. Mikroyapısal karakterizasyon standart metalografik yöntemler ile hazırlanan numunelerin kesitlerinde polorize ışık altında optik mikroskop çalışmaları ile yapılmıştır. Mekanik özellikler ise çekme testleri ve sertlik ölçümleri ile belirlenmiştir. Çekme testleri hadde yönüne dik yönde çıkartılan kaşık numuneler üzerinde oda sıcaklığında sabit çene hızında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri numunelerin kesitlerinde mikro sertlik test cihazı ile Vickers batıcı uç kullanılarak 10 gr yük altında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Ara tav sonrası iki farklı soğuk haddeleme miktarı ile üretilen 1 mm kalınlıktaki numunelerin nihai tav sıcaklığı ve süresiyle akma mukavemetlerinin değişimi Şekil 1'de verilmiştir. 1 mm kalınlıktaki nihai tav öncesi akma mukavemeti değerleri incelendiğinde ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarı ile akma mukavemetinin yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarından kaynaklı artan deformasyon sertleşmesi ile açıklanabilir.

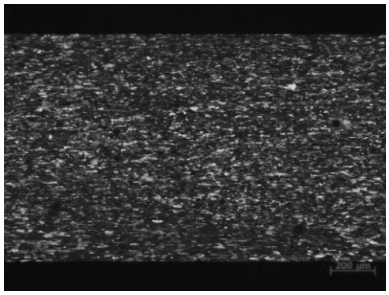
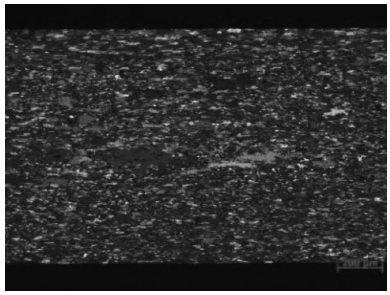
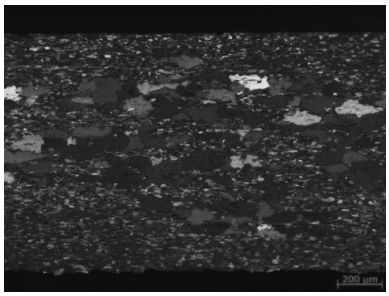
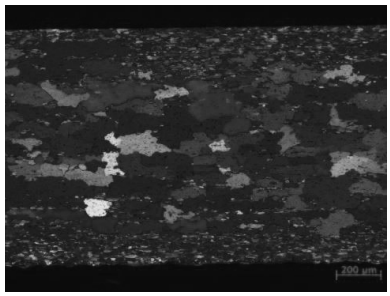
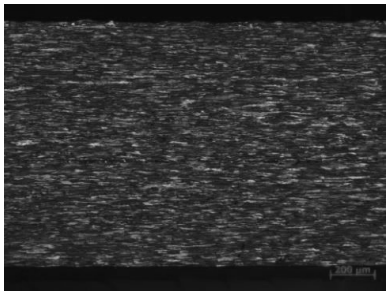
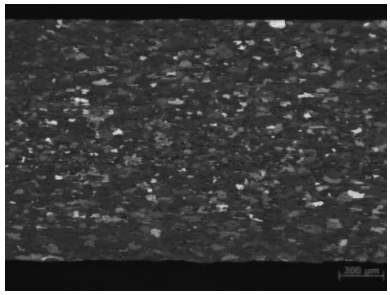
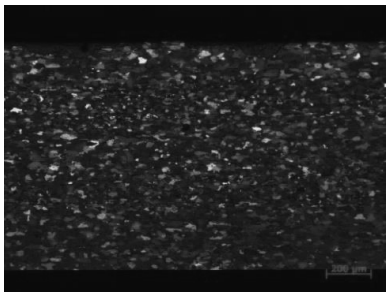
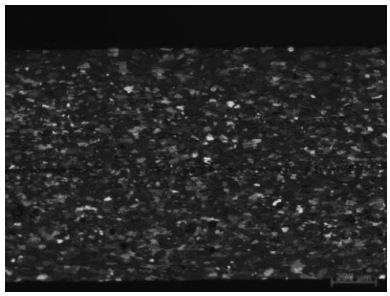
Ara tav sonrası % 60 soğuk deformasyon miktarına sahip proses ile üretilen numunelerin akma mukavemetleri 280°C ve 300°C'de uygulanan nihai tavlar sonrası artan tav süresiyle kademeli olarak azalmış ve 95-100 MPa mertebelerine düşmüştür. Bu durum numunelerin tamamen yumuşayarak O kondisyon akma mukavemeti değerlerine ulaştıklarını göstermektedir [9]. Ancak 300°C'de tavlanan numunenin akma mukavemeti 1 saat sonra 95-100 MPa mertebelerine gelirken 280°C'de tavlanan numunenin akma mukavemeti daha uzun nihai tav süresiyle bu mertebelere ulaşmaktadır. Benzer şekilde 320°C'de tavlanan numunenin 15 dakikada yumuşadığı ve artan tav süresiyle akma mukavetinin değişmediği tespit edilmiştir. Bu gözlemler artan sıcaklık ile yumuşama hızının arttığını göstermektedir.

Diğer taraftan ara tav sonrası % 20 soğuk haddeleme miktarına sahip proses ile üretilen numunelerin 280°C ve 320°C uygulanan nihai tav işlemlerinden sonra akma mukavemetlerinin tav süresi ile kayda değer şekilde değişmediği ve 160-180 MPa aralığında akma mukavemeti sergiledikleri belirlenmiştir. Ancak tav sıcaklığının 350°C'e arttırılmasıyla ve artan tav süresiyle numunenin tamamen yumuşadığı görülmektedir. 350°C'de yumuşamış numuneler ara tav sonrası % 60 soğuk deformasyon sonrası nihai tavda tamamen yumuşamış numunelere kıyasla daha yüksek akma mukavemeti (~110 MPa) sergilemektedir. Bu bulgular azalan ara tav sonrası soğuk haddeleme miktarı ile yumuşama hızının düştüğünü ve yumuşama için gerekli olan sıcaklığın yükseldiğini göstermektedir. Bu gözlem ara tav sonrası % 20 soğuk deformasyon miktarının yeniden kristalleşme için gerekli olan minimum enerji için yeterli olmadığını ve yeniden kristalleşme için gerekli sıcaklığın yükseldiğini işaret etmektedir.



Şekil 1. Ara tav sonrası (a) % 20 ve (b) % 60 soğuk haddeleme miktarı ile üretilen 1 mm kalınlıktaki numunelerin nihai tav sıcaklığı ve süresiyle akma mukavemetlerinin değişimi.

Ara tav sonrası iki farklı soğuk haddeleme miktarı ile üretilen ve farklı parametrelerde nihai tav işlemi uygulanan numunelerine ait hadde yönüne paralel (L) optik mikroskop kesit görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Nihai tav sonrası kesit görüntüleri ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarı ile sabit nihai tav parametreleri (320°C 15 dakika / 240 dakika) altında mikroyapının yeniden kristalleşerek nispeten eş eksenli tane yapısına dönüştüğünü göstermektedir. Diğer taraftan ara tav sonrası düşük soğuk haddeleme miktarında nihai tav sıcaklığının 350°C yükseltilmesiyle yeniden kristalleşmenin gerçekleştiği ancak tanelerin ara tav sonrası yüksek soğuk haddeleme sonrası yeniden kristalleşen tanelere kıyasla daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

		Nihai tav sıcaklığı, °C	Süre, dakika	
			15	240
Ara tav sonrası soğuk haddeleme miktarı	20	320		
		350		
	60	280		
		320		

Şekil 2. Ara tav sonrası iki farklı soğuk haddeleme miktarı ile üretilen ve farklı parametrelerde nihai tav işlemi uygulanan numunelerine ait hadde yönüne paralel (L) optik mikroskop kesit görüntüleri.

Ara tav sonrası düşük soğuk haddeleme ile üretilen numunenin sertliğinin 320°C'de uygulanan nihai tav sonrasında tav süresinden bağımsız ve 65-69 $HV_{0,01}$ mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan nihai tav sıcaklığının 350°C'ye yükseltilmesiyle sertliğin artan tav süresiyle 65 $HV_{0,01}$'den (5 dakika) 56 $HV_{0,01}$ (240 dakika) mertebesine düştüğü tespit edilmiştir. Bu düşüş akma mukavemetinde gözlemlenen düşüş ile uyum göstermekte olup mikroyapıdaki tane büyümesiyle ilişkilendirilebilir. Ara tav sonrası % 60 soğuk haddeleme uygulanması 280°C'de gerçekleştirilen nihai tav sırasında sertliğin tav süresine bağlı olmasına neden olduğu görülmüştür. Ancak sıcaklığın 320°C arttırılması sertliğin 15 dakikada 55 $HV_{0,01}$ mertebesine düşmesine ve ilerleyen tav süresinden bağımsız hale gelmesine neden olmuştur. Bu gözlemler ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarının kademeli sertlik düşüşü (yumuşama) için gerekli olan sıcaklığın azalmasına ve sabit sıcaklıkta daha hızlı sertlik düşüşüne neden olduğunu göstermektedir. Tüm bu sonuçlar akma mukavemeti ölçümleri ve mikroyapı sonuçları ile paralellik göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarı 1 mm nihai kalınlıkta soğuk deformasyon sertleşmesi mekanizması ile daha yüksek akma mukavemeti sağlamaktadır.

Ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarı numuneye daha yüksek enerji kazandırarak yeniden kristalleşme sıcaklığını düşürmektedir. Ara tav sonrası sabit soğuk haddeleme miktarında artan nihai tav sıcaklıklığı ile beraber yumuşama hızlanmaktadır. Ara tav sonrası artan soğuk haddeleme miktarı ve artan nihai tav sıcaklığı yeniden kristalleşmeyi teşvik etmektedir.

Ara tav sonrası azalan soğuk haddeleme miktarı ile nihai tav hassasiyeti azalmaktadır ve malzeme sertliği (mukavemeti) artan tav süresinden etkilenmemektedir.

Ara tav sonrası azalan soğuk haddeleme miktarı yeniden kristalleşme sonrası daha kaba tane yapısının oluşmasına neden olmaktadır.

Teşekkür

Metalografik çalışmalar ve mekanik testlerde çok değerli yardımlarından dolayı Sn. Nihat YILMAZ'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Z. Yu, Z. Lin ve Y. Zhao, Materials and Design, 28 (2007) 203-207.
[2] Y.S. Lee, H.Y Kim ve JH. Cho, Journal of Materials Processing Technology, 218 (2015) 48-56.
[3] G. Zhu, X. Hu, J. Kang, R.K. Mishra ve D.S. Wilkinson, Materials Science and Engineering A, 528 (2011) 4187-4198.
[4] N. S. Barekar, S. Das, X. Yang, Y. Huang, O. E Fakir, A. G. Bhagurkar, L. Zhou ve Z. Fan, Materials Science and Engineering A, 650 (2016) 365-373.
[5] S. Kumar, N.H. Babu, G.M. Scamans ve Z. Fan, Materials Science and Technology, 27 (12) (2011) 1833-1839.
[6] N.S. Barekar ve B.K. Dhindaw, Materials and Manufacturing Processes, 29 (2014) 651-661.
[7] Ch. Gras, M. Meredith ve J.D. Hunt, Journal of Materials Processing Technology, 167 (2005) 62-72.
[8] A. Tewari, S. Vijayalakshmi, S. Tiwari, P. Biswas, S. Kim, R. K. Mishra, R. Kubic ve A. K. Sachdev, Metallurgical and Materials Transactions A, 44A (2013) 2382-2398.
[9] TS EN 485-2, Alüminyum ve alüminyum alaşımları – Sac, şerit ve plaka – Bölüm 2: Mekanik özellikler.

alus ing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

İŞ GÜVENLİĞİ ve İNSAN SAĞLIĞI

SAFETY and HUMAN HEALTH

Alüminyum Dökümhanelerinde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Riskleri ve Güncel Çözüm Önerileri

Risk Evaluation and Solution Proposal Up to Date in Aluminium Foundry on Occupatioanal Safety and Worker Health

Ali Ulus, Özgür Özşahin, Elif Dalkılıç, Hamdi Ekici, Ali Ersel Selvi
Teknik Alüminyum Sanayi

Abstract

It is a concept accepted by everyone that aluminum casting is a special place in terms of production methods. With this perspective, castings are the starting point of all production methods; As well as in other metal products, and also has a critical prescription for aluminum. This stage of production, which includes the most severe working conditions of our industry, also poses serious risks in terms of occupational safety and worker health. In this study, we tried to describe the possible risks in aluminum casting houses and suggest solutions for these risks with a holistic view. Firstly, the analysis of the distribution of the accidents occurred until the day was made; then, with what measures and solutions these headings can be removed. Regulations on the subject of the European Union and of our country will also be observed during these studies.

Özet

Alüminyum üretim yöntemleri açısından döküm aşamasının özel bir yeri olduğu herkes tarafından kabul edilen bir hususdur. Bu noktada tüm üretim yöntemlerinin başlangıç noktası olan dökümhaneler; diğer metal üretimlerinde olduğu gibi, alüminyum açısından da kritik bir öneme sahiptir. Sektörümüzün en ağır çalışma şartlarını içinde ihtiva eden bu üretim aşaması, aynı zamanda iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından da ciddi riskleri barındırmaktadır. Bu çalışmamızda alüminyum dökümhanelerinde olası risklerin tanımlanması ve bu risklere ait çözüm önerileri de bütünsel bir bakışla anlatılmaya çalışılmıştır. Öncelikle günümüze kadar yaşanmış kazalara ait dağılım analizi yapılmış olup; ardından, bu başlıkların hangi önlem ve çözümlerle ortadan kaldırılabileceği anlatılmıştır. Bu çalışmalar esnasında Avrupa Birliği ve ülkemizin konu ile ilgili regülasyonları da gözden geçirilmiş olacaktır.

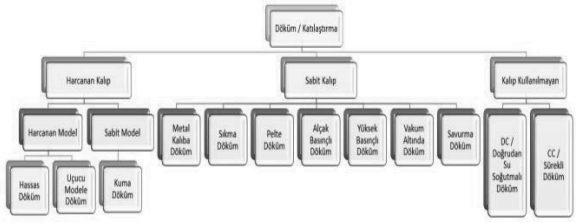
Giriş

Endüstride rutin olarak kullanılmaya başlanılan ve halihazırda denemeleri devam eden teknolojiler ve mühendislik uygulamaları ile her geçen gün iyileşen iş güvenliği ve işçi sağlığı şartlarının; varılması gereken nokta olan sıfır kaza, sıfır meslek hastalığı, teorik miktarlardaki atık oluşumu ve bunların bilinçli bertaraf şartlarının oluşturulmasına değin devam etmesi gereken bir süreç olduğu tüm taraflarca kabul edilen bir husustur. Alüminyum imalat sektörünün temel ürün oluşturma süreci olan döküm aşaması ise her ürünün mutlaka uğradığı başlangıç noktası olması ve içinde barındırdığı zorlu şartlar nedeniyle iş güvenliği ve işçi sağlığı hususlarında yapılacak olan çalışmaların en yoğun olarak gerçekleştirilmesi gereken üretim aşamasıdır.



Şekil 1. Döküm Prosesi ve Adımları

Dökümhanelerde, nihai üründen istenilen temel özelliklere bağlı olarak farklı teknolojik yöntemler ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerdeki farklılaşmalar çok olmasına rağmen temel döküm prosesi ve prosese ait adımlar aynı kalmaktadır.



Şekil 2. Farklı Döküm Teknikleri

Bu ortak noktalar temelinde tüm dökümhanelerde iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından benzer bir yaklaşım kurgulamak mümkün olmaktadır. Çalışmamızda, konu bu bakış açısı ile değerlendirilecek, çalışma ortamının şartları, görsel fabrika uygulamaları, döküm teknolojisi ve otomasyon, atık yönetimi ve koruyucu ekipman başlıkları altında incelenecektir.



Şekil 3. Dökümhanelerde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Yaklaşımı

1. Dökümhaneler:

Dökümhanelerde süreç, alüminyum veya çeşitli alaşımların ergitilmesi ile başlar. Alüminyum döküm yapan işletmelerde birçok faktör çalışma şartlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Dökümhanelerde fiziksel, kimyasal, biyolojik, psiko-sosyal ve ergonomik olarak birçok risk faktörleri bulunmaktadır. Bu risklerin doğru algılanması ve düzenli kontrol edilebilmesi için istatistiki verinin oluşturulması ve analiz edilmesi şarttır. Ardından risklerin tespit edilmesi için risk değerlendirme ekibi kurulmalıdır. Risk faktörleri yerinde ekiple birlikte tespit edilip "Risk Değerlendirme Çalışması" hazırlanmalıdır. Bu listelerden ortaya çıkan risk derecelendirmesi ile acil aksiyon planı, kısa/orta/uzun vadeli iş planları oluşturulmalı ve bu planlara yeterli miktarda kaynak (insan/para/bilgi…) tahsis edilerek konunun ciddiyetle üzerine gidilmelidir. Ayrıca yaşanan kazaların tekrarını önlemek için kaza tespit ve aksiyon tutanakları çok faydalı uygulamalar olmaktadır. Yine, önleyici faaliyetler adına saha çalışanlarının tespitleri ve önerileri ile "ramak kala" gibi bilgiler ile çalışma kültürünün de pekiştirilmesi sağlanacaktır. Dökümhanelerde çalışma koşullarını etkileyen risk faktörlerinin kabul edilebilir seviyelere çekilmesi için göz önünde bulundurulan hususlar aşağıda tarif edilmiştir.

1.1.Malzeme Taşıma

Tüm endüstriyel proseslerde mutlaka bir veya birden fazla malzeme taşıma aşaması yer almaktadır. Bu nedenle ilk incelenmesi gereken hususların başında gelmektedir. Kullanılan ekipmanlardaki farklılaşma ile birlikte, ekipmanların kullanımlarına ait eğitimler, ekipmanların periyodik bakım ve kontrolleri gibi hususlar ön plana çıkmaktadır. Özellikle ekipmana özel kapasite ve kabiliyetlerin net tanımlanmış olması çok önemlidir.

1.1.1.Vinçler

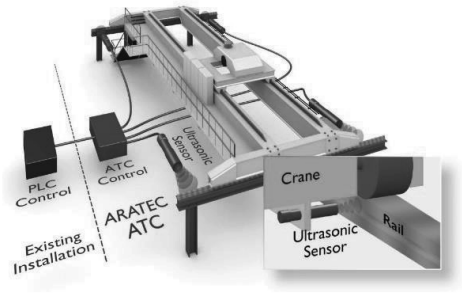
Dökümhanelerin vazgeçilmez taşıma ekipmanları olan vinçler için ilk dizayn aşamasında tasarlanan makine kapasitesi ve işe uygun kabiliyetteki ekipmanın seçimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu durum farklı döküm teknikleri hatta aynı fabrika içinde farklı zamanlı yatırımlarda dahi farklılaşmalara ve işe özel dizaynlara dönüşmektedir. Bu kadar farklılaşmanın olduğu bir konuda temel önlemlerin alınabilmesi için mutlaka belirli standardizasyonlar gerekmektedir.



Şekil 4. Dökümhanelerde Vinç ile Taşımalar **[1]**

Ayrıca yaşanılan geçmiş tecrübelere bağlı olarak mutlaka önleyici çalışma ve teknolojik modernizasyonlar yapılmalıdır. Vinçler ile ilgili sayabileceğimiz iyileştirme kalemleri;

- Çelik konstrüksiyonların kaynak ve mekanik dayanım kontrolleri
- Pozisyon ve anahtar kapama kontrollü otomatik başlangıç kontrol sistemleri
- Maksimum ağırlık kısıtlı sistemler
- Hareket alanı tarama ve güvenli durdurma sistemleri
- Görsel ve sesli pozisyon uyarı sistemleri
- Uzaktan kontrol ve pozisyon kontrollü hareket mekanizmaları



Şekil 5. Pozisyon Kontrollü Vinçler **[2]**

1.1.2.Mobil Cihazlar

Dökümhanelerde en temelde kullanılan mobil ekipmanlar forkliftler ve temel iş makineleridir. Bu araçlar işe ait özel gereksinimleri karşılayabilmek adına farklı şekillere ve

kabiliyetlere sahip araçlara dönüşmüşlerdir. Bu dönüşüme rağmen dikkat edilmesi gereken hususlar temelinde aynı kalmaktadır. Özellikle kişiye bağlı hareket kabiliyetinin olduğu veya üst düzey otomasyon ile yönetilen cihazlarda personelin konu ile ilgili uzmanlığı ön plana çıkmaktadır. Özellikle fırın şarjı ve sıvı metal manipülasyon ekipmanları ile ilgili uzmanlık çok daha ön plana çıkmaktadır. Tüm ekipmanlarda olduğu gibi mobil cihazlarda da periyodik kontroller ve düzeltici önleyici faaliyetler mutlaka dikkat edilmesi gereken hususlar olmaktadır.



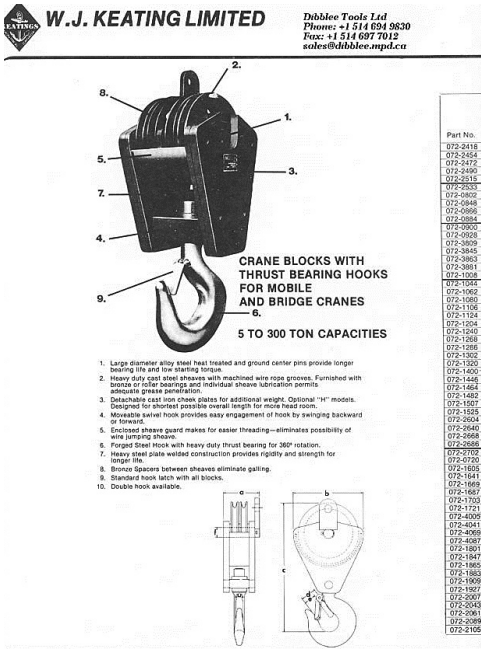
Şekil 6. Fırın Şarj Makinesi (Kaza Sonrası) **[3]**



Şekil 7. Sıvı Metal Transfer Araç Kazası **[4]**

1.1.3. Aparatlar

Taşıma aparatlarındaki farklılaşma ürüne bağlı değiştiği için ekipmanlara kıyasla çok daha fazla olmaktadır. Temel husus ekipmanın her açıdan tanımlanmış olmasıdır. Özellikle taşıma kapasitesi, çalışma sıcaklığı gibi birçok husus mutlaka ekipmana ait sertifika ve eğitim dokümanlarında yer almalıdır. Ayrıca aparata özel çalışma şartlarına bağlı olarak değişen kapasite ve kabiliyetler de bu dosyalarda yer almalıdır.



Şekil 8. Bir Taşıma Aparatına Ait İlk Tanımlama Sayfası **[5]**

1.2. Çalışma Ortamı

İşletmede bulunan ekipman ve malzemeler kadar çalışma ortamı da değerlendirilmesi gereken hususlardandır. Çalışma ortamında bulunan pek çok risk faktörü çalışanları aynı anda etkilemektedir. Çalışma ortamında bulunan risk faktörleri risk değerlendirme ekibi ile birlikte tespit edilmeli ve kaynağında yok edilmesi araştırılmalıdır. Riskleri kabul edilebilir seviyeye indirilmesi için PUKO döngüsü izlenmelidir. Ayrıca altta yer alan başlıklar ile çalışma ortamına ait temel hususlar açıklanmaktadır.

1.2.1.Aydınlatma

İşyerlerinde güvenli bir çalışma ortamı sağlanmasında, görsel işlerin kolaylıkla yapılmasında ve uygun bir görüş alanı oluşturulmasında en önemli faktörlerden biri aydınlatmadır. Aydınlatma şiddeti arttıkça çalışanlar görsel olarak yaptığı işe daha iyi adapte olup daha az hata yapmaktadır. Yapılan araştırmalara göre yüksek aydınlatma şiddetleri konsantrasyon ve motivasyonu arttırdığından iş kazaları da azalmaktadır. İş kazalarının büyük bir oranı aydınlatma şiddetinin 200 lüksten az olduğu işyerlerinde gerçekleşmektedir. Işık şiddetinin az olduğu ortamlarda insanların göz bebekleri ışığı daha fazla alabilmek için büyümekte ve bu da göz yorgunluğu ile beraber baş ağrısına sebep olmaktadır. Baş ağrısı dikkat dağınıklığına sebebiyet verip iş kazası yaşanmasına sebep olmaktadır. Aydınlatma şiddeti az ortamda çalışmanın bir diğer etkisi de görme bozukluklarının başlamasıdır. Aydınlatmayı arttırmak için led aydınlatmalardan ve pencerelerden faydalanılabildiği

gibi işletme duvarları açık renklerde boyanması ve şeffaf çatı uygulamaları da faydalı olabilmektedir. **[6]**



Şekil 9. Şeffaf Çatı Uygulaması **[7]**

1.2.2.Titreşim

Çalışma ortamında titreşim, kişinin çalışma verimini, sağlık ve güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Endüstride iki tip titreşimden bahsedilir. Birincisi el- kol titreşimi, ikincisi tüm vücut titreşimidir.

El-kol titreşimi; mevcut titreşimin el–kol sistemine aktarıldığında, çalışanların sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan titreşim şeklidir. El- kol titreşimine en sık mekanik bakım işlerinde maruz kalınmaktadır. Özellikle kalıplama hatlarında bu tip titreşim aktarımları görülmektedir.

Tüm vücut titreşimi ise; vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanların sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan titreşim şeklidir. (25325 sayılı Titreşim Yönet.) Tüm vücut titreşiminden en çok etkilenenler mobil cihazları kullanan personeldir. Titreşimin 3 farklı bileşeni mevcuttur. Bunlar; maruziyet yüzeyi, titreşimin frekansı ve titreşime maruz kalma süresidir. Belirtilen bu etkenlere göre kişinin titreşim maruziyeti de değişiklik göstermektedir.

Alüminyum dökümhanelerde sınır seviyeleri aşacak titreşim oluşturacak faaliyetler az sayıdadır. Ancak düşük maruziyetlerin de uzun süre sonra etkileri kalıcı olabildiğinden göz ardı edilmemelidir. **[6]**



Şekil 10. Sallantılı Kalıplama **[8]**

1.2.3.Toz Toplama ve Havalandırma

Toz dökümhanelerde değerlendirilmesi gereken önemli faktörlerden biridir. Bu sebeple işyeri havalandırma durumunun çalışanların sağlıkları ve çalışma güçleri üzerinde ciddi etkileri vardır. İşçilerin çalışma tempolarının yüksek olması ve yüksek tempoda devam etmesinin ilk şartı çalışma ortamındaki havanın temizliğidir. Kapalı çalışma alanlarına sahip işyerlerinin havası, işçilerin terleme ve solunumları ile işyerinde kullanılan makinalara bağlı olarak ortaya çıkan gaz, buhar ve tozlara bağlı olarak kirlenir. Çalışma ortamındaki hava kirliliği, işçilerin yeterli oksijen soluyamamasına ve bu sebeple yorulup rahatsızlanmalarına neden olur. Yeterli oksijen alamayan çalışanda dikkat dağınıklığı dolayısı ile iş kazalarında artış meydana gelir. Tozlu ortamın bir diğer etkisi de pnömokonyoz adı verilen tozun sebep olduğu akciğer meslek hastalıklarıdır. Tozlu ortam riskinin ilk etapta kaynağında yok edilmesi araştırılmalıdır. Düzenli olarak işyeri ortam analizleri yaptırılıp askıda bulunan toz miktarı ölçülmelidir. Bu ölçümler mevzuat ya da işyeri üretim akışı değiştiğinde yenilenmelidir. Mümkün olmuyorsa en son çare olarak işyeri ortam ölçümü sonucuna göre uygun toz maskesi seçilmeli ve çalışanların kullanması sağlanmalıdır. Tüm bunların yanı sıra düzenli akciğer grafileri çektirilerek çalışanların sağlık durumu takip altında tutulmalıdır. Alüminyum tozunu ayrı olarak ele alacak olursak;

Alüminyum dökümhanelerinde meydana gelen alüminyum tozu genel olarak zararsız olarak bilinmektedir. Fakat yine de alüminyum tozunun suda çözünebilen iyon şeklindeki formu zararlı etkilere sebep olabilmektedir. Bu etkileri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz; **[9]**

- Merkezi sinir sistemine zarar
- Demans
- Hafıza kaybı
- Halsizlik
- Ciddi titreme

İyice bölünmüş alüminyum ve alüminyum oksit tozunun solunmasının pulmoner fibrosis eve akciğer hasarına neden olduğu rapor edilmiştir. Bu etki Shaver Hastalığı olarak da bilinmektedir. İnce Alüminyum tozu silis ve demir tozu içeren hava ile karıştığında Alzheimer hastalığına sebep olabileceği kesinleşmemiş bilgiler arasında yer almaktadır. Tüm bu kötü sonuçları ortadan kaldırabilmek için tozun oluştuğu kaynağın ortadan kaldırılmasından başlayarak; engellenemeyen kısmın toplanması ve sonrasında filtrasyon ile iç sahadan uzaklaştırılması gerekmektedir. **[9]**



Şekil 11. Merkezi Toz Toplama Sistemleri **[10]**

Alüminyum dökümünde en çok duman oluşumuna sebep olan kaynaklar ergitme prosesi ve kalıba ilk döküm anı olarak tanımlayabiliriz.



Şekil 12. Tozun Oluştuğu Kaynağa Örnek Olarak Döner Fırın Ergitmesi **[11]**

Bu noktada özellikle cüruf oluşumu ve soğutma esnasında dumanın bertaraf için cüruf presleri ve kontrollü atmosfer altında soğutma teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır.
Fabrika içinde davlumbazlar vasıtası ile toplanan kirli hava torbaları veya seramik tüplü filtreler vasıtasıyla jet pulse filtreler ile temizlenerek dış ortama verilmiş olacaktır.



Şekil 13. Modern Toz Toplama ve Filtrasyon Sistemi **[12]**

1.2.4.Gürültü

Teknolojideki tüm aşamalara rağmen iş yerinde gürültü hala önlenememiş problem olarak karşımızda durmaktadır. Gürültü hem bedensel hem de ruhsal çeşitli sağlık sorunları yaratırken, 85 dB (A) düzeyini aştığı takdirde bir meslek hastalığı olarak kabul edilen sağırlığa neden olmakta, duyma yeteneğini kaybettirmektedir. Dökümhanelerde gürültü hemen hemen her proseste sınır seviyeleri aşmaktadır.
Gürültü ile mücadelede ilk olarak gürültü kaynağının kaynağında yok edilmesi, ya da daha az gürültülü bir alternatif ile değiştirilmesi esastır. Gürültü yok edilemiyor ya da azaltılamıyorsa son çare olarak çalışanlara kulak tıkacı verilmesi gerekmektedir. Gürültünün zararlarının önceden tespit edilebilmesi için periyodik olarak odyometri testi yapılıp çalışanların kulak sağlığı takip altına alınmalıdır. Böylelikle olası işitme kayıpları önceden fark edilip önlem alınabilmektedir. **[13]**

1.2.5.İklimlendirme ve Termal Konfor Şartları

Termal konfor şartları çalışanların rahat etkili ve verimli çalışmasını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Isı, ışıma, nem ve hava akım hızı termal konfor şartları arasında yer alır ve optimum seviyelerde olması için iklimlendirme yapılması gerekmektedir. Termal konfor şartlarının ortam ölçümleri ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
Dökümhanelerde metal ergitme işlemi olduğu için ortam ısısının çok yüksek olması her mevsim ciddi sıkıntılara yol açabilmektedir. Yaz aylarında ısınan havalarla birlikte dökümhanelerde çalışan işçiler sıcak iş ortamı sebebiyle ciddi sıvı kayıpları yaşamakta ve dikkat dağınıklığı sebebi ile iş kazalarına sebep olmaktadır. Kış aylarında ise ciddi sıcak ortamlarda bulunulup dışarı çıkıldığında soğuk havaya maruz kalmak ışıma farkı sebebiyle çeşitli hastalıklara da sebep olabilmektedir.

1.2.6.Yangın Söndürme Sistemleri

İşletmelerde en büyük tehlikelerden biri de yangın çıkarabilecek prosesler ve operasyonlardır. Önceliğimiz, yangının söndürülmesinden daha ziyade olmamasıdır. Yangına veya patlamaya sebebiyet verebilecek

operasyonlar, makineler, kimyasallar ve enerji kaynakları belirlenmelidir. Otomatik algılama sistemleri kurulmalı ve otomatik söndürme sistemleri ile desteklenmelidir. İşletmede her alanda yangın söndürme cihazları bulunmalı ve kontrolleri 6 ayda bir düzenli olarak yapılmalıdır. Tüm bunların yanı sıra bu sistemlerin yılda birden az olmamak kaydı ile çalışanlara yangın söndürme tatbikatı ile kullanımı öğretilmelidir. Dökümhanede erimiş metal olması ayrıca bir ısı kaynağı ve yangın sebebidir. Dökümhanelerde çıkabilecek yangınlara asla sulu söndürücüler ile müdahale edilmemesi gerekmektedir. Erimiş metal ile su teması sıvı metal patlamalarına ve buna bağlı etrafa sıçrayan metallerden ötürü yangına sebep olabilmektedir.



Şekil 14. Dökümhane Yangını **[14]**

1.2.7.Yerinde Hekimlik Hizmeti

Her işyerinde bir revir olması gerekmekte ve bir işyeri hekimi bulundurulması gerekmektedir. Dökümhaneler gibi çok tehlikeli işyeri sınıfına giren işyerlerinde işyeri hekiminin yanı sıra diğer sağlık personeli de bulundurulması zorunludur. İşyeri hekimleri, sağlık taramaları, iş sağlığı eğitimleri ve poliklinik hizmetlerini vermekle birlikte iş güvenliği risklerinin tespit edilmesinde risk değerlendirme ekibinde yer almaktadır. Aynı zamanda kurulda da görev alarak iş güvenliği çalışmalarında da iş güvenliği uzmanı ile birlikte çalışmaktadır.

Dökümhanelerde yılda bir kere sağlık taraması yaptırılması gerekmektedir. Sağlık taraması kapsamında aşağıdaki kontrollerin yapılması gerekmektedir.

- İşitme testi (odyometri)
- Akciğer grafisi
- Solunum fonksiyon testi (SFT)
- Aşı uygulamaları (Tetanoz v.b.)
- Laboratuvar tetkikleri (kan tahlilleri)
- Görme bozuklukları ve renk körlüğü taramaları
- Portör taramaları

Sağlık taramaları olumsuz çıkan çalışanların görevlendirildikleri operasyonlar işyeri hekimi tarafından tekrar değerlendirilip gerekirse görev değişikliği yapılmalıdır.

1.3. Görsel Fabrika

Alınan önlemlerin ya da risklerin görselliği ile ilgili uygulamalar arttırılarak daha dikkat çekici hale getirilmesi iş kazalarının azalması yönünde ciddi rol oynamaktadır. Özellikle görsel iletişim araçlarının çok geliştiği günümüzde bu kaynağın etkili kullanımı çok önemli hale gelmiştir.



Şekil 15. Görsel Algının Arttırılması **[15]**

1.3.1.Yerinde Eğitim Ekranları

İşletmelerin çeşitli yerlerine ekranlar konularak, ISG videoları, ISG karikatürleri, tek nokta eğitimi gibi kısa bilgiler, benzer sektörlerdeki iş kazaları v.b. görseller yayınlanabilmektedir. Bu ekranlar yemekhane, dinlenme alanları ya da fabrika girişi gibi toplu kullanım alanlarına konularak tüm çalışanların görmesi sağlanabilir.

1.3.2. Alan Tanımlamaları

Tüm işletmelerde her bölüm, makine, alet edevat ve kullanılan malzemeler tanımlı olmalıdır. Her bölgedeki toz, gürültü, aydınlatma ve termal konfor sıcaklıkları belirli olmalı ve buna uygun olarak bölgelerde gerekli uyarı işaretleri konulmalıdır.

1.3.3.Alan Korumaları

Geçici olarak tehlikeli bir operasyon oluşmuşsa etrafı emniyet şeridi ile çevrilerek çalışanların tehlikeden uzak kalması sağlanmalıdır. Sürekli tehlike arz eden bir çalışma mevcut ise etrafının tamamen kapatılması gerekmektedir. Tehlikeli makinelerin etrafı anahtarlı çitler yardımı ile kapatılmalıdır. Çitler açıldığında makinenin durmasını

sağlayacak anahtarlar sürekli çalışır vaziyette olmalı ve düzenli olarak kontrol edilmelidir. Yine alan korumalarının yanına uyarı işareti koyarak görünürlüğü arttırılmalıdır.

1.3.4.Uyarı Görselleri

Uyarı işaret levhaları;

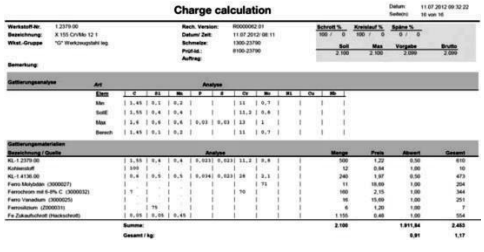
- Yasaklayıcı işaretler,
- Uyarılar ve bilgilendirme işaretleri,
- Emredici ve zorunlu işaretler,
- Acil durum ve ilkyardım işaretleri
- Yangınla mücadele ekipmanının yerlerini belirten işaretler,

şeklinde sınıflara ayrılmaktadır.

Uyarı işaretleri dökümhanelerde ısıya dayanıklı ve kafa karıştırmayacak şekilde aşağıdaki tabloda belirtilen özelliklere uygun olmalıdır.

1.3. Döküm Teknolojisi ve Otomasyon

Dökümhanelerde son dönemlerde yoğun bir şekilde insandan bağımsız kontrol ve döküm alma sistemleri dizayn edilmeye çalışılmaktadır. Bu noktada özellikle akıllı şarj optimizasyon programları ile ergimiş metal reçetelerinin doğruluğunu tam olarak sağlayabilen yazılımlar ön plana çıkmaktadır.



Şekil 16. Şarj hesaplama programları

Bu yazılımlarla birlikte fırın içi sıvı metal miktarının tam olarak bilinebilmesi için yeni dizayn edilen fırınlar load cell ağırlık hücreleri ile birlikte dizayn edilmektedir. Ayrıca eski tip dizaynlara sahip fırınlarda ise radar ve lazer sensörler vasıtası ile sıvı metal miktarına yönelik ekipmanlar ve sistemler geliştirilmiştir.

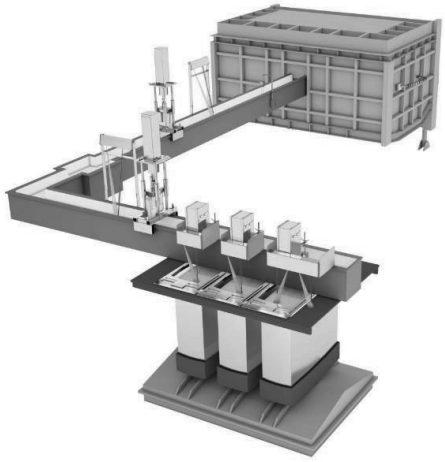


Şekil 17. Seviye tespit için kullanılan radar sensörler **[16]**

Ayrıca PLC kontrol sistemleri, hiyerarşik ekipman ve proseslere ait alarmlar, personel giriş izinlerine ait tanımlamaları ve görselleştirilmiş anahtar parametre takibi ve kişisel ekipman kullanımına ait eksiklikleri bildiren görsel uyarı sistemleri üzerinde çalışılmaktadır.
Bu sistemleri canlı hayata geçirebilmek için uzaktan SCADA görüntüleme sistemleri, video görüntüleme sistemleri ve alarm ve otomatik uyarı ve tavsiye sistemleri kurgulanmaktadır.
Tüm bu çalışmaları alttaki başlıkla altında toplamak mümkündür.

1.3.1.Otomatik Algılama ve Kontrol Sistemleri

Özellikle hareket algılama ve akışkan seviye kontrolleri dökümhanelerde ön plana çıkmaktadır. Bu noktada mekanik anahtarların yanında lazer, endüktans ve kapasitans teknolojilerine dayalı sıvı akış seviye ölçümleri yapılabilmektedir.

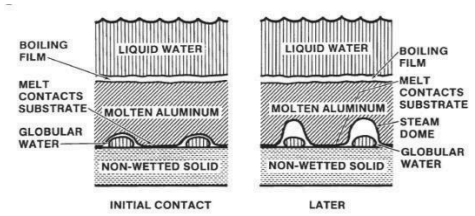


Şekil 18. Tam Otomasyon Destekli Seviye ve Akış Kontrolü **[17]**

1.3.2.Uzaktan Kontrol Sistemleri

Döküm operasyonlarının en kritik anı dökümün başlangıç noktası olan döküm alma sürecidir. Bu süreçte katılaşmanın

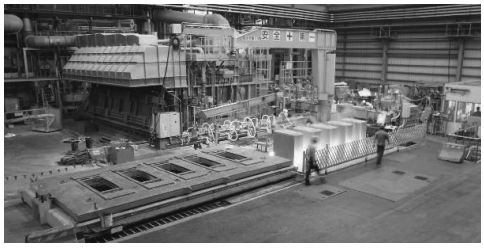
gerçekleştiği ortam (su vb.) nedeniyle patlama riskinin yoğun yaşandığı bilinmektedir.



Şekil 19. Suyun Temas Yüzeyinde Patlama Anı **[18]**

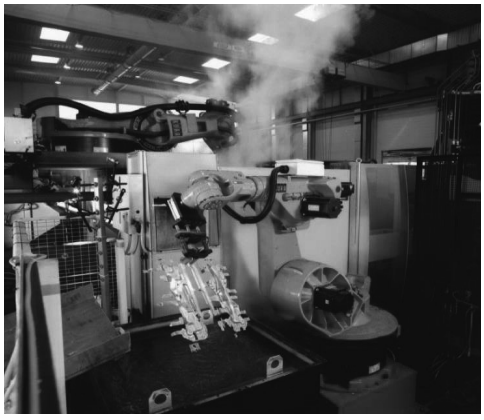
Su damlacıklarının sıvı alüminyumun altında kaldığı durumlarda meydana gelen buharlaşma esnasındaki hacim değişimi ve bu hacmin doğal yukarı hareketi nedeniyle metal filmi yırtılarak sıçrama olayı gerçekleşir. Bu durum dökümhanelerde metal patlaması olarak da adlandırılır.

Bahsettiğimiz gibi bu riskin en yüksek olduğu döküm alma anında personelin döküm alma alanından uzaklaştırıldığı teknolojiler bu konuda kesin çözümler oluşturmaktadır.



Şekil 20. Uzaktan Kontrollü İngot Dökümü **[19]**

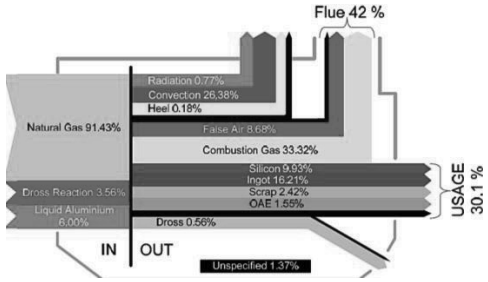
Tam otomasyonun olduğu döküm alma ve döküm sonlandırmanın; sıvı metal tahliyelerinin tamamen sistemler üzerinden yapıldığı bir yapı bu noktada hedef olmalıdır. Ayrıca robotik uygulamalar da bu konuda ciddi verim ve kalite artışlarını da beraberinde getirmektedir.



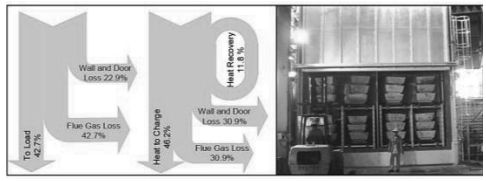
Şekil 21. Döküm Alanında Kullanılan Robotlar [**20]**

1.3.3. Nem ve Su Bertaraf Sistemleri

Bu konuda teknolojik olarak su ve nem algılamasının dışında uygulanan önleyici yaklaşımlar daha etkin olmaktadır. Teknolojik olarak ön ısıtma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Fırın içinde kullanılabilecek olan enerjinin %42'si atık gaz olarak dış ortama verilmektedir. Hem sürdürülebilir enerji kullanımı hem de nem ve su bertarafı açısından bu enerji çok kıymetlidir.



Şekil 22. Ergitme Fırını Sankey Diyagramı [**21]**



Şekil 23. Ön Isıtma Kabini ve Sankey Diyagramı [**21]**

Özellikle en yüksek nem ve su ihtiva eden hammaddelerin ısıtılarak hem patlama riskinin ortadan kaldırılması hem de enerji verimliliğinin sağlanması adına ön ısıtma kabinleri/fırınları güzel uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ancak tüm bu teknolojilerin öncesinde bahsettiğimiz önleyici yaklaşım daha değerli ve sonuç üreten bir yöntem olmaktadır.

1- Sıvı metal patlama reaksiyonun tam olarak anlaşılması
2- Patlama esnasında ve sonrasında gerçekleşmeleri görselleştirmek
3- Uyarı sinyallerini algılayabilecek sistemler kurmak
4- Risk kontrol mekanizmasının özümsenerek öz kontrol haline getirilmesi

maddeleri bu konudaki anahtar prensiplerdir ve tüm çalışanlar tarafından her gün, her an ve her yerde uygulanması gerekmektedir.

Özellikle bir damla suyun buharlaşması sonucu hacminin 1700 kat daha yüksek bir boyuta ulaşması ve 1 kg alüminyumun oksitlenme reaksiyonunda ortaya çıkan enerjinin 3 kg TNT patlamasına eşdeğer bir enerji ile

gerçekleştiğini çok net bir şekilde anlaşılması gerekmektedir.



Şekil 24. İngot Dökümünde Yaşanan Patlama Anı [**22]**

Bu noktada en dikkat çekilmesi gereken hususlar:

- Girdi malzemeye uygulanması gereken nemlilik kontrolü
- Şarj malzemelerinin kapalı alan stoklanması
- Tüm şüpheli ve açık istif malzemelerin ön ısıtmaya tabi tutulması
- Yakma sistemi ve üst sıcaklık değerlerinin sürekli kontrolü
- Fırın ekipmanları ve potaların sürekli kuru tutulmasının dışında Interturf 132 HS tipinde kaplamalar ile boyanması
- Özellikle magnezyum ve tüm alaşım katkılarının nemli veya tozlu olmasının önüne geçilmesi
- Döküm esnasında kullanılan metal veya seramik tüm kalıpların sıcak döküme başlatılması
- Döküm alanında su kaçağına kesinlikle müsaade edilmemesi.

1.4. Atık Yönetimi

Atığın daha ilk oluştuğu andan itibaren, ürün olarak ele alınması yaklaşımı her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Özellikle metalürjik proseslere ait atıklar; farklı proseslerde girdi oluşturabilecek yan ürünler olabilir mahiyettedir. Örneğin alüminyum işlenmiş cüruflarının atıkları düşük alüminyum terörüne rağmen demir çelik sektöründe ekonomik bir oksijen giderici olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 25. Görsel Algının Arttırılması **[23]**

1.4.1.Atık Tanımlama

İşletmelerde her prosesten çıkan atıklar tanımlı olmalı, bertaraf ya da geri dönüşümü ile ilgili talimatlar ve prosedürler oluşturulmuş olmalıdır. Her atık için ayrı bir depolama yeri olmalı ve depolandığı alan atık kodu belirtilerek tanımlanmış ve işaretlenmiş olmalıdır.

1.4.2.Atık Ayrıştırma

Atık ayrıştırmanın en etkili yolu kaynağında ayrıştırmak yani hiç karıştırmamaktadır. Bunu sağlamak için çalışanlara Çevre ve Atık Yönetimi eğitimleri vermenin yanı sıra renkli atık kutularından da faydalanılması gerekmektedir. Renkli atık kutuları ile ilgili aşağıdaki görselde bir örnek verilmiştir.



Şekil 26. Ayrıştırmanın İlk Aşaması Tanımlama **[24]**

1.4.3.Lisanslı Atık İşletmeciliği

Bertaraf edilen ya da geri dönüştürülen her atık için lisanslı bir atık firması ile sözleşme imzalatılıp ulusal atık taşıma formu doldurularak lisanslı araçlarla gönderiminin yapılıyor olması gerekmektedir. Gönderilen her atığın kaydı tutulup, Şubat ve mart aylarında beyanlarının yapılması gerekmektedir. Dökümhanelerde özellikle de alüminyum dökümhanelerinde ilave bir prosese gerek olmaksızın işletme içinde çıkan hurda alüminyumlar tekrar eritilerek atık kaynağında yok edilmiş olabilmektedir.



Şekil 27. Profesyonel Atık Bertarafı- İzaydaş **[25]**

1.4.4.Faydalı Atıkların Geri Dönüşümü

Geri dönüşebilen tehlikeli ya da tehlikesiz atıkların geri dönüşemeyen atıklarla karıştırılmaması esastır. Faydalı atıkların geri dönüşümü işletmelere ve topluma aşağıdaki kazançları sağlamaktadır

- Doğal kaynakların tüketiminin azalması
- Enerji tüketiminin azalması,
- Maliyetin azalması,

- Çevre kirliliğinin azalması
- Toplum sağlığının korunması,
- Gelecek nesillerin korunması

1.5. Koruyucu ve Önleyici Ekipman

Bu konuda ilk anlatılması gereken koruyucu ve önleyici ekipmanlar konusunda ciddi iyileşmeler sağlanmıştır. Özellikle koruyuculuğunun yanında ergonomikliğinde ön plana çıktığı ürünler günümüzde sanayinin yaygın bir şekilde hizmetine sunulmuştur. Bu konu ile ilgili birçok test metodu ve standart yazılmış ve ürünlerin bu şartlara uygun olup olmadığı da kullanıcı tarafından ciddi anlamda kontrol edilir hale gelmiştir. Ayrıca standart malzemenin standart forma sahip olabilmesi adına CE regülasyonları gibi ciddi zorlayıcı ancak faydalı şartlarda gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

1.5.1.Kişisel Koruyucular

Bu ekipmanların görevleri çalışanın tehlike bölgesinde maruz kalacağı riskin minimize edilerek; kalıcı hasar almasını önlemektir. Bu konuda en temel yanlış, koruyucu ekipmanın %100 koruma sağlayacağının düşünülmesidir.



Şekil 28. Yüksek Risk Bölgesinde Koruyucu Giysi Uygulaması **[26]**

1.5.2.Prosese Ait Koruyucu ve Önleyici Donanımlar

Bu yaklaşım personelin ciddi risk altında olduğu bölgenin izole edilmesi ve olası tehlike anında maruziyetin sıfırlanmasına yönelik bir uygulamadır.



Şekil 29. Yüksek Risk Bölgesinde Alan İzolasyonu Uygulaması **[27]**

Son Söz

Tüm anlatılan hususlar yaşanmış bir kazanın veya tehlikenin birer tecrübesi sonrasında ortaya çıkmış iyileşmeler olduğundan; bu tedbirlerin alınması ve bu öğrenme eğrisinin tekrardan yaşanmaması dileğiyle.

Referanslar

[1]http://ellsenoverheadcrane.com/wpcontent/uploads/2016/10/Metallurgy-Overhead-Crane-For-Sale.jpg
[2]http://www.psi-technics.com/Media/Content-Images/lagerlogistik/ARATEC-ATC-Advanced-Track-Control-System-EN.jpg?id=1375&time=1467027234
[3] C. Pluchon, JP. Riquet, F. Fehrenbach, GM. Raynard, B. Hannart, L. Joset-Pastre; **"**Molten Metal Safety Approach Through a Network", Light Metals 2011 TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)
[4]https://imgur.com/Qkai24I
[5]https://www.dibbleetools.com/images/products/50.jpeg
[6] www.anadoluissagligi.com/img/file_972.doc
[7]https://2.imimg.com/data2/DO/RG/MY-925967/factory-roof-sheds-250x250-250x250.jpg
[8]http://www.maratondokum.net/images/dokum_1.jpg**)**

[10]http://aluminium-middleeast.com/ez/ProdImage/exhiReg84Imageprid3646847.jpg
[11]https://www.google.com.tr/search?q=aluminium+dross+recycling+rotary+furnace&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjb_8nS3abUAhWLWywKHcbiDKcQ_AUIBigB&biw=1517&bih=735#imgrc=AJPR5JDQT7kPHM:
[12]http://newimg.globalmarket.com/PicLib/731/2862731/prod/f409e301c9a7d0a940b0f9d8c6569b00_64bbf1_l.jpg
[13]www.isgebrar.com/ebr/104.pdf
[14]http://3.bp.blogspot.com/-u0QmPN5S7n4/VcNkG54jroI/AAAAAAAACpI/3uHFx1ecTio/s1600/8480469_G.jpg**)**

[15]https://www.cgatechnology.com/wp-content/uploads/2013/02/BUSINESS-workplace-accident.png)
[16]http://krohne.com/en/products/level-measurement/non-contact-level-transmitters/)
[17]http://www.precimeter.com/content/uploads/Precimeter_Slabcasting_banner1-903x606.jpg
[18] Lloyd S. Nelson, Maureen J. Eatough, and Kenneth P. Guayb; "Why Does Molten Alumi"num Explode at Underwater Or Wet Surfaces?", Essential Readings in Light Metals: Cast Shop for Aluminum Production. 2013
[19]http://mechatherm.com/assets/media/galleries/CSAC2.jpg
[20]http://alphajet.ru/sites/default/files/custing.jpg
[21] Daniel Albert, "Design of heat recovery system in an aluminium cast house", Master of Science in Engineering and ICT; 2012, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering
[**22]** Gus Hornsby, Explosion Risks in a Casthouse, Aluminium Casthouse Seminar Richards Bay 14 April 2013
[23]http://www.alcircle.com/uploads/images/alum_dross.jpg
[24]http://www.fenehli.com/wp-content/uploads/2016/02/At%C4%B1k-Madde-Ayr%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1rma-Kutular%C4%B1-1024x377.jpg
[25] http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG1-isyerinde_aydinlatma.pdf
[26]http://www.ilocis.org/documents/images/iro05fe.gif
[27]https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1ch.VHXXXXXcqXpXXq6xXFXXX7/220579504/HTB1ch.VHXXXXXcqXpXXq6xXFXXX7.jpg

Ergimiş Alüminyum Metali ile Çalışan İşletmelerde Patlama Riskleri ve Önlenmesi

Explosion Risks and Prevention in Aluminium Plants Work with Molten Metal

Erman Car[1], Müzeyyen Gencer[1], Pınar Sezer[2]

[1]METEM, [2]Gedik Üniversitesi

Özet

Ergimiş alüminyum ile çalışan birincil ve ikincil alüminyum tesisleri ve dökümhaneler, alüminyum metaline özgü ergiyik davranışları nedeni ile, diğer bir çok metalürjik tesislerden farklı riskler taşımaktadır. Bu riskler makine-ekipmanın korozyonundan, can kaybına yol açabilecek patlamalara kadar farklı boyutlarda ve niteliklerde olabilir. Bu çalışma, en sık karşılaşılan riskler, bu risklerin nedenleri ve önlenmesine ilişkin farkındalık yaratmak amacı ile hazırlanmıştır.

Summary

Primary and secondary aluminium plants and casthouses have especial risks compared with other metallurgical plants related specific molten aluminium properties. These risks might be caused highly damaged to the plant also serious injuries for the workers. We try to define most common risks and prevention methods, and also create awareness for aluminium engineers.

1. Giriş

Ergimiş alüminyum ile çalışılan işletmelerde karşılaşılan en önemli güvenlik riski patlamalardır.

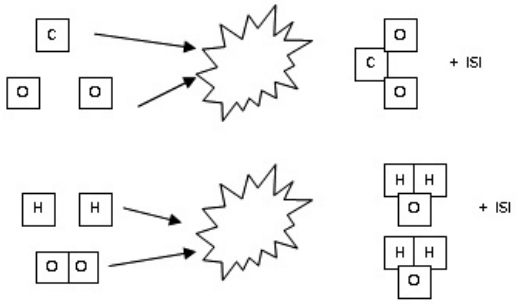
Alüminyum işletmelerinde görülen başlıca patlama çeşitleri:

- Ergimiş metal ve su teması (buhar patlamaları),
- Toz patlamaları,
- Diğer Patlama Riskleri
    - Ergimiş alüminyumun oksitlenmiş bakır, kurşun, bizmut ve demir ile termit reaksiyonu,
    - Ergimiş metal içine nüfuz etmiş bazı kimyasallar (amonyum nitrat, amonyum sülfar, amonyum fosfat) ile şiddetli kimyasal tepkimleler,
    - Basınçlı kapların ergiyik ile teması

2. Yanma ve Patlama

En basit tanımı ile yanma, yakıt ile oksijenin, yakıtın depoladığı ısıl enerjiyi, yüksek sıcaklığa sahip gazlar üreterek, açığa çıkmasına yol açan kimyasal tepkimedir.

Yanma, O2 (Oksijen), yanıcı madde ve ısıdan oluşan yanma üçgeninin tamamlanması ile oluşan olaydır.



Gaz ve sıvıların yanması, yani dökümhanelerde kullanılan fırın yakıcılarının neden olduğu yanma işlemi, yakıtların içerdiği karbon ve hidrojenin havanın oksijeni ile (hava hacimce % 21 oksijen, % 78 azottan oluşur) tepkimesi sonucu oluşur. Temel yanma tepkimeleri:

Karbon + Oksijen = Karbondioksit + Isı

Hidrojen + Oksijen = Su buharı + Isı

Şekil 1: Tipik gaz ve sıvılar için yanma tepkimeleri (Fırınlarda yakıcının yanması)

Yanma bir oksidasyon tepkimesidir.

Yanma tepkimeleri (ekzotermik=ısıveren) tepkimelerdir, Yangın ise yanma olayının isteğimiz ve kontrolümüz dışında meydana gelen ***kimyasal reaksiyonlar zinciridir***, yani ***kimyasal zincirleme reaksiyon*** yangını yanmadan ayıran en önemli adımdır).

Patlama ise, gerçekte yanmanın bir özel durumudur.

Oksidasyon tepkimelerinin hızı yanma ve patlama olaylarının gelişimi için belirleyicidir:

Yavaş oksidasyon (Yavaş Yanma) : Hücresel solunum, demirin paslanması,

Hızlı oksidasyon (Hızlı Yanma) : Yanma, (yanmanın bütün belirtileri ile oluştuğu bir olaydır. Yanmanın belirtileri alev, ısı, ışık ve korlaşmadır).

Çok hızlı oksidasyon : Patlayıcı ortam oluştuğunda patlama,

Süper hızlı oksidasyon : Patlayıcı madde patlamaları ve infilak.

NFPA 69' a göre patlama "bir yanma sonucu oluşan iç basınç etkisiyle bir kapalı alanın ya da kabın tahrip olması veya parçalanması, yüksek basınçlı bir gazın ortama çok hızlı bir şekilde yayılması"dır.

Patlama, büyük miktarda enerjinin, çok kısa bir zaman diliminde serbest kalarak, ortamda büyük bir basınç artışına neden olur.

Patlama sonucu oluşan şok dalgaları, tahribatın asıl nedenidir. Şok dalgaları, patlama etkisi güçlendirir.

Patlama reaksiyonunun mekanizması: $4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3 + Enerji$

Alüminyumun oksidasyon reaksiyonu çok hızlı ve güçlü gerçekleşir.

Alüminyumcular Birliği (The Aluminium Association) patlamaları şiddetlerine göre üç gruba ayırmıştır. Birinci grup patlamalar, suyun buharlaşması sonucu oluşan buhar patlamalarıdır. İkinci grup ise, birinci grubun daha şiddetli tipidir. Üçüncü grup ise büyük tahribatlara yol açan, kimyasal tepkime sonucu oluşur.

Yaklaşık olarak yarım kg alüminyumun oksijen ile verdiği tepkime sonucu oluşan enerjinin neden olduğu patlama, 1.5 kg TNT patlamasının verdiği şiddete eşittir.

Tablo 1: Patlamaların gruplanması (Aüminyumcular Birliği)

	Şiddet		
	1	**2**	**3**
Yaratacağı zarar	-	küçük	büyük
ışık	minimum	parlak	aşırı
ses	çatlak sesi	yüksek	çok güçlü
vibrasyon	kısa ve keskin	kısa patlama	masif ve uzun
metal saçılma çapı	5 mt	5-15 mt	15 mt

3. Ergimiş Alüminyumun Özellikleri

Umulanın aksine, düşük ergime sıcaklığına sahip metal ve alaşımların (örneğin alüminyum) yaratacağı patlama riski ve şiddeti, daha yüksek ergime sıcaklığına sahip metal ve alaşımlardan (örneğin çelik) yaratacağı patlama riski ve şiddetinden daha az değildir.

Alüminyum oldukça aktif bir metaldir.

Tablo 2 : Bazı metallerin buhar basınçları

	Ergime sıcaklığında eşdeğer buhar basıncı (mmHg)	**680 °C de eşdeğer buhar basıncı (mmHg)**	**720 °C de eşdeğer buhar basıncı (mmHg)**
Mg	2.69 (650 °C)	4.65	9.14
Al	$6x10^{-9}$ (650 °C)	$1.4x10^{-8}$	$6.7x10^{-8}$
Sn	$3.44x10^{-23}$-(232 °C)	$9x10^{-9}$	$4.1x10^{-8}$
Au	$6.17x10^{-6}$-(1063 °C)	-	-
Pb	$3.6x10^{-9}$-(328 °C)	$3.98x10^{-3}$	$2.8x10^{-2}$

Pilling-Bedworth oranı (PBO), metallerin oksitlenmeye olan yatkınlığını bellirlemede kullanılan önemli bir parametredir.

PBO_{metal}=oksitlerin hacmi/metalin hacmi ve

$PBO_{alaşım}$= B_xO_y alaşımının bir molünün hacmi/alaşım içindeki x mol B elementinin hacmi bağıntısı ile tanımlanır.

PBO<1 ise poröz oksidsyon tabakası, sürekli oksidasyon, oluşan oksit tabakası ardıcıl oksidasyonları önleyecek bir tabaka oluşturmaz (örneğin Na, Mg),

1>PBO<2 yoğun oksit tabakası, pasivasyon, oluşan ince ve sert oksit tabakası tüm yüzeyi kaplar ve ardıcıl oksidasyonlardan korur (örneğin Al,Ti,Cr),

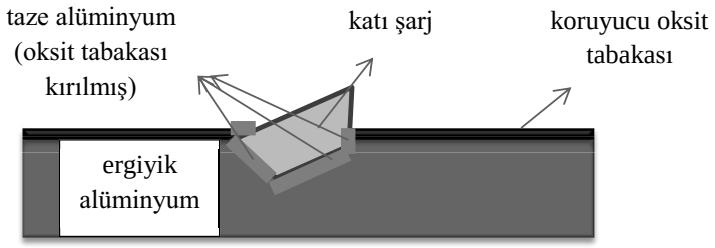
PBO>2 oksit tabakası çok kalın gelişir ve kırılgandır, kırık aralıklarından oksitlenme sürekli devam eder (örneğin Fe).

Tablo 3: Bazı elementlerin Piling-Bedworth Oranları:

Element	Cu	Fe	Ni	Mg	Al	Zn	Pb	Sn	Ca	Na	K	Be	Si
PBO	1.74	2.18	1.50	0.81	1.27	1.64	1.27	1.33	0.65	0.58	0.45	1.68	1.88

Alüminyumun, atmosfer ile teması sonucu yüzeyinde oluşan oksit tabakası inert ve koruyucudur. Bu nedenle katı alüminyum, eğer toz halinde değilse, yanma ya da patlama riski taşımaz. Ancak toz halinde ise, tutuşma sıcaklığına ısıtıldığında aniden okside olur.

Alüminyum sıvı halde iken, sıcaklık artışı ile birlikte yüzeyindeki oksit tabakası kırıldığında, oksijen, tabakanın altından gelen taze sıvı metal ile temas ettiğinde risk başlar.



Şekil 2: Katı şarj ile, oksit tabakasının kırılması

Alüminyumun oksijene olan yüksek kimyasal ilgisi, fiziksel bir olay olan patlama olayının ötesinde, farklı sorunlar doğurur. Alüminyumoksidin yani alüminanın direkt redüksiyon yöntemleri ile üretilemeyişi ve elektroliz hücrelerinde ancak yüksek elektrik enerjisi tüketimi ile eldesi, bu oksijene karşı olan aşırı kimyasal ilginin sonucudur. Ergimiş alüminyum su, nem, havadaki oksijen ya da oksitlenmiş bir malzeme ile tepkimeye girdiğinde büyük miktarda enerji açığa çıkar. Aynı zamanda katı alüminyumun ergime için gerekli olan yüksek füzyon ısısı da enerji boşalımının nedenlerindendir.

Sıvı alüminyum katılaşırken yaklaşık olarak %12 oranında çekilme boşluğu oluşur. Bu, döküm yapısında boşluklar oluşmasına neden olur. Bu boşlukların içine dolan hava ve nem ergitme sırasında oksijen kaynağı olarak davranır. Benzer şekilde, sıvı alüminyumun düşük viskozite ve yüksek akışkanlığa sahip olması, çatlak kabuklardan sızma, akma ve sıçramalara yol açabilir.

Sıvı ya da toz formundaki alüminyum, oksijen ile tepkimeye girdiğinde, bu yüksek kimyasal ilgiden ötürü, büyük miktarda enerji açığa çıkar. Termit tepkime olarak tanımlanan bu tepkimenin temel gerekçesi alüminyumun oksijene olan yüksek kimyasal ilgisidir.

$Al_{(sıvı\ ya\ da\ toz)}$ + oksijen → enerji

Al + metal oksit → Al_2O_3 + metal + enerji

$2Al + 3H_2O = Al_2O_3 + H_2$ + enerji

Tablo 4: Alüminyumun oksijen ile tepkimeleri ve üretilen enerji

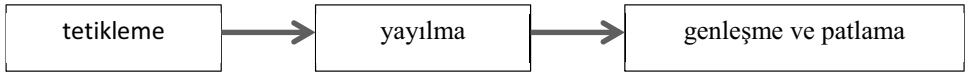
Tepkime	Enerji (kJ/g)	TNT patlaması eşdeğeri
$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$	17 /g H_2O	X 4.3
$2Al + 3/2O_2 \rightarrow Al_2O_3$	31 / g Al	X 7.4
$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$	16 / g Al	X 3.8
$6Al + 3NH_4NO_3 \rightarrow 3Al_2O_3 + 4NH_3 + N_2$	25 / g Al	X6

4. Buhar Patlamaları (Ergimiş Alüminyum ile Su Teması)

Genellikle patlama tepkimeleri ergimiş metal ile su bir araya geldiğinde gerçekleşir. Aralarındaki sıcaklık farkı yüksek olan iki sıvı birbiri ile temas ettiğinde ve özellikle daha düşük sıcaklığa sahip olan sıvı daha düşük kaynama noktasına sahip olduğunda, patlama oluşur. Bu fiziksel bir olaydır. Sıcaklık farkı büyüdükçe, patlama riski artar.

Ancak tepkimenin gerçekleşmesi için ısı gerekir. Ergimiş metal ile katı yüzey arasında tutulan su, çok hızlı bir şekilde buharlaşır ve binlerce kat hacimsel genleşmeye uğrar. Bu hacimsel genleşme, sıcaklığında artışı ile birlikte patlamaya neden olur.

Patlamalar, gaz oluşumu ve böylece ani hacim artışı ile gerçekleşir.



Şekil 3: Buhar patlamalarının aşamaları

Buhar patlamaları üç aşamada gerçekleşir:

Tetikleme aşaması (triggerring), buhar filmi bozulmaya başlamıştır ve dengesizlik hali artar,

Yayılma aşaması (propagation), ardından genleşme başlar ve ilerler,

Genleşme aşaması (expansion) ve sonunda yüksek basınca sahip buhar genişleyerek, çevre için yıkıcı olabilecek şiddette patlar.

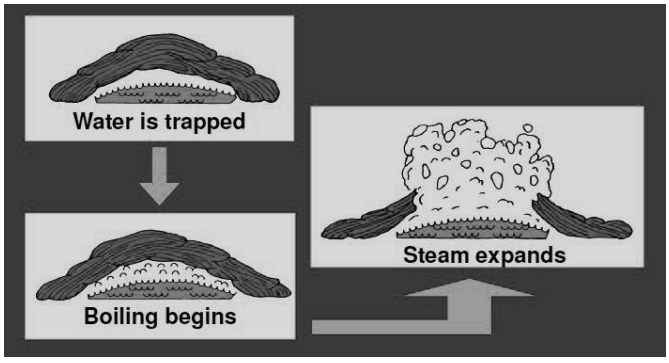
Ergimiş metal tarafından tutulan su, çok hızlı bir şeklide buhar haline gelir ve yaklaşık 1 cm^3 su, 1700 cm^3 buhar oluşturur. Bu faz değişimi çok büyük miktarda enerjini serbest kalmasına

ve metal patlamalarına neden olur. Çünkü enerji çok hızlı bir şekilde serbest kalır ve ergimiş metalin hızla etrafa saçılmasına neden olur.

Patlamaya neden olan kuvvetlerin öngörülmesi çok zordur ve bu nedenle önlemler alınması zorunludur.

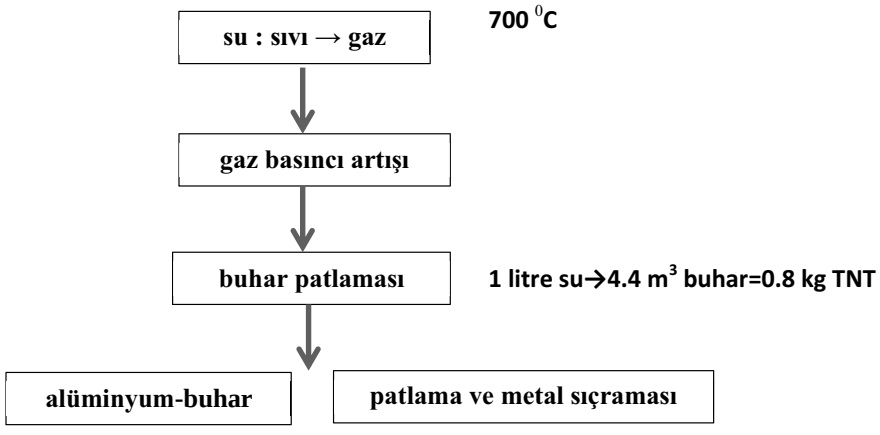
Patlamalar 0.5 milisaniyeden daha kısa bir zaman içerisinde başlayabilir. Mekanik şoklar patlamanın tetiklenmesinde rol oynayabilir.

Patlamanın oluşması için ergiyik miktarı önemli değildir. Çok küçük miktarlarda bile patlama olabilir. Ancak patlama sonrası sıçrayan ergiyiğin ulaştığı mesafe önemlidir.



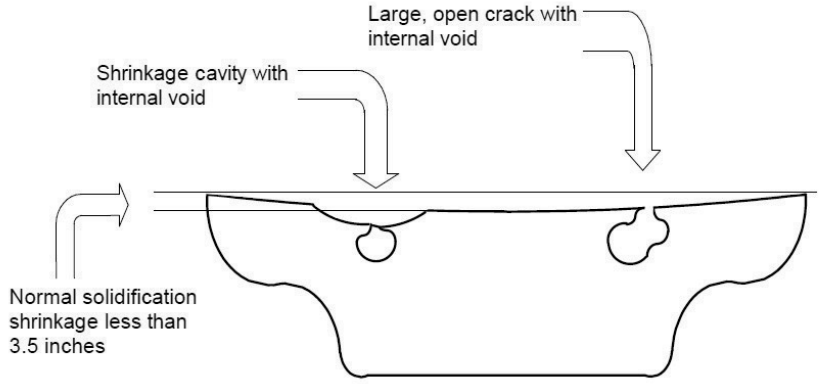
Şekil 4: Şematik olarak buhar patlaması oluşumu[15]

Buhar patlamalarında ergiyiğin temas ettiği suyun sıcaklığı da önemlidir. 32 ℃'nin üstünde patlamalar daha az sıklıkta görülmesine rağmen, belirli koşullar sağlandığında altında 60 ℃'nin üstünde bile meydana gelecektir.

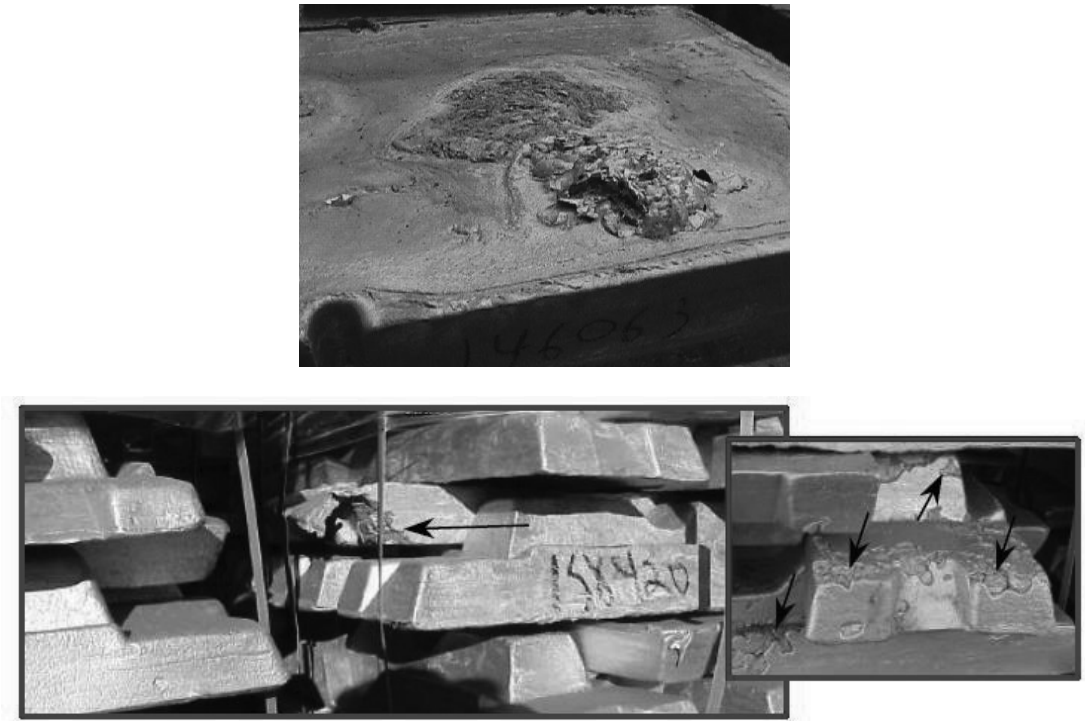


Şekil 5: Buhar patlamasının mekanizması

Alüminyum tesislerinde şarj malzemelerinin nem içeriği buhar patlamalarının en önemli nedenlerindendir. Bu nem hurda içindeki fiziksel su olabildiği gibi, külçelerin içindeki boşluklara ve çatlaklara hapsolmuş nem ya da curuflu külçe yüzeylerinde sıkışmış nem de olabilir.



Şekil 6: Büyük külçe dökümünde çekinti boşluğu oluşumu



Şekil 7: Külçelerde cüruf kalıntıları

Dikey biyet ve slab dökümde, soğutma amaçlı olarak su kullanımı nedeni ile risk yüksektir. Burada patlama riski ile su havuzu derinliği arasında bir ilişki bulunmaktadır. Havuz derinliği 70-150 mm olduğunda, patlama riski 670̊C'ye yaklaştıkça artar. Havuz derinliği 250 mm

olduğunda ise 670 ̊C'de risk düşüktür, ancak 750̊C tehlikelidir. Havuz derinliği 25 mm altına indiğinde ise, patlama riski oldukça düşüktür.

Diğer nem kaynakları ise, iyi kurutulmamış refrakter yüzeylerdir. Bu refrakter yüzeyler, fırın içinde olabileceği gibi, tandiş, yolluk, rafinasyon üniteleri ve seramik filtre kutular ve döküm tablaları da olabilir.

Rafinasyon amaçlı olarak kullanılan tuz esaslı flakslar da nem tutma özelliğine sahip kimyasallardır. Özellikle magnezyum klorür gibi oda sıcaklığında hidroskopik tuzlar içeren flaks kalıntılarıdır. Bu nedenle flaks seçimi, kullanımı ve depolanması da önemlidir.

Patlama nedenlerinden birisi de, ergimiş metalden curuf almak, rafinasyon ekipmanlarını temizlemek vb amaçlarla kullanılan el aletleridir. Bu aletler temiz tutulmaz ise, yüzeyinde kalan flaks artıkları ve nemi hapseden cüruf parçaları patlamalara neden olabilir.

Son olarak, metal taşmaları önemli bir risk kaynağıdır. Beton zemine sahip tesislerde, betonun her zaman bir miktar nem içereceği gerçeğinden yola çıkarak, metal taşmaları ciddi patlama riskleri taşır.



Şekil 8: Ağustos 2007'de Çin Binzhou'da 16 işçinin yaşamını kaybettiği, 64 işçinin yaralandığı alüminyum tesisi patlaması

5. Toz Patlamaları

Eskiden fırıncılar, mutfaklardaki sinekler başta olmak üzere haşereleri uzaklaştırmak için ilginç bir yöntem kullanıyorlardı. Bir avuç unu havaya serpiyor ve oluşan beyaz bulutu bir alevle ateşliyorlardı. Böylece küçük bir patlama sesi sonrasında, bütün haşerelerden kurtuluyorlardı. Bazen fırında camlar kırılıyor, çalışanlar da ufak tefek yanmalar oluyorsa da, bu yöntem uzun süre işe yaramıştı.

Ancak Sanayi Devrimi sonrasında hem fırınlarda hem de maden ocaklarında yaşanan patlamalar, toz patlamalarının ne kadar tehlikeli olabileceğini gösterdi.

Toz patlamaları, gaz patlamalarından çok daha şiddetli etkilere sahip bir patlama türüdür. Yanabilir metal tozları, hava ve bir tutuşturucu ile bir araya geldiğinde patlama gerçekleşir.

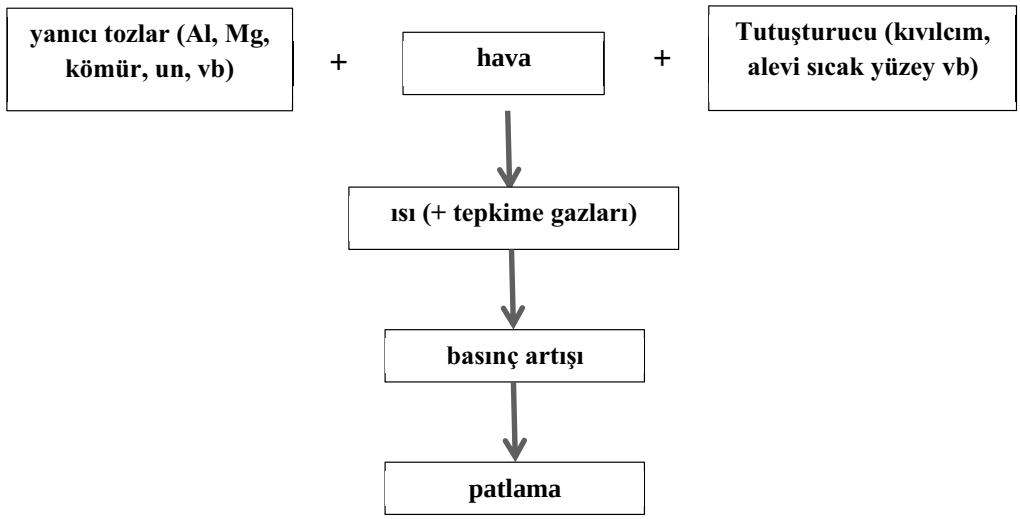
Hava ile patlamaya yetecek oranda karışım oluşturan tozun bu sırada herhangi bir ateş kaynağı ile temas kurması sonucu aniden alev alması ile patlama meydana gelir. Bunun neden, patlama sonrasında çevredeki diğer tozların da reaksiyona girmesi ve zincir reaksiyon oluşmasıdır

Yanıcı toz malzemeler, organik ve metaller olmak üzere ikiye ayrılır: tahıllar ve şeker gibi doğal organik maddeler, plastik ve boyalar gibi sentetik organik maddeler ve kok ve kömür gibi yakıtlarda organik maddeler grubundadır. Metaller grubunda ise yüksek oksidasyon eğilimine sahip, kalsiyum, magnezyum, alüminyum gibi metaller sayılabilir.

En önemli yanabilir metal tozları alüminyum ve magnezyum tozlarıdır.

Toz patlamaları, gaz patlamalarına göre daha karmaşık bir mekanizma izler. Gaz patlamalarında, gaz/hava yoğunluğu düştükçe, yani gaz miktarı azaldıkça, yanma işlemi devam etmez. Buna karşın toz patlamaları iki aşamada gerçekleşebilir. İnce toz parçacıkları havada asılı kalarak birikebilir. Bu birikinti tutuşma sıcaklığına ulaştığında yanar patlama gerçekleşir. Genelde kapalı bir ortamda, örneğin toz tutma ünitesinde, siklonlarda oluşan "birincil patlama" sonucunda ortaya çıkan şok dalgaları hasarlara neden olur. Ardından yanma bir parçacıktan diğerine, bir toz birikintisinden alanın diğer bölgelerindeki diğer birikintilere hızla iletilir ve daha şiddetli ikincil patlamalar gerçekleşir. Toz patlamalarının tahrip edici etkisinin altında bu ilişki yatar.

Ayrıca patlama ürünlerinin yayılması sonucunda, tutuşturucu etkisi ile, ortamda birikmiş olan tozlar daha güçlü bir "ikincil patlama"ya neden olabilir.



Şekil 9: Toz patlamalarının mekanizması

Tablo 5: Bazı malzemelerin tutuşma sıcaklıkları

Malzeme	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Minimum tutuşma enerjisi (mJ)
Alüminyum	610	10
Kömür	730	100
Tahıl	430	30

Gaz ve sıvıların yanması için yakıt, oksijen ve bir tutuşturucu kaynağı yeterli iken, tozların yanması ve patlayabilmesi için aşağıdaki koşullar gerekir:

- Toz tipi yani tozların yanabilir olması,
- Yanıcı tozların havada asılı kalabilmesi,
- Toz konsantrasyonu patlama için yeterince miktarda olmalı,
- Toz parçacıklarının ölçü ve şekli, tane küçüldükçe yüzeyi büyür. Bu nedenle katı halde patlama riski olmayan bir malzeme toz haline geldiğinde, oksijen ya da hava ile temas yüzeyi artacağından yanma ve patlama riski de artacaktır,
- Tutuşma sıcaklığı, tepkimenin başlaması için yeterli olmalı,
- Yanmanın başlaması ve devamı için ortamda yeterince oksijen bulunmalıdır.

Tozların patlamalarının şiddetini ölçebilmek amacı ile "toz patlama indeksi" tanımlanmıştır. Bu indeks Pittsburgh kömürünün patlayabilme özelliği 1 kabul edilerek oluşturulmuştur:

Tablo 6: Toz patlama ineksi

Göreceli patlama riski	Patlama indeksi
Yok	0
Az	< 1
Orta	0.1-1.0
Pittsburgh kömür tozu	1.0
Güçlü	1.0-10.0
Şiddetli	> 10

Tablo 7: Farklı malzeme tozlarının patlama indeksleri

Malzeme	Patlama İndeksi
Atomize alüminyum	> 10
Magnezyum	> 10
Silisyum	0.9
Mangan	0.1
Krom	0.1
Demir	< 0.1
Çinko	< 0.1

Alüminyum tozu ve amonyum perklorat karışımı roket yakıtı olarak kullanılır.





Şekil 10: Alüminyum toz patlamasından kaynaklanan yangın örnekleri

Patlama riski olan toz partikül büyüklüğü DIN normuna göre 0.5 mm'nin altı, NFPA ve Alüminyumcular Birliği (Aluminum Association) 'ya göre ise 420 mikron ve altıdır.

Tablo 8: Minimum patlamaya uygun toz konsantrasyonları:

Minimum patlamaya uygun konsantrasyon (kg/m^3)	**Patlama riski**
0.020-0.060	Çok şiddetli
0.060-0.120	Şiddetli
0.120-0.300	Orta şiddette
0.300-0.600	Zayıf
>0.600	Yok

Tablo 9: Bazı metal tozlarının patlama riskleri:

Metal tozu	**Patlama riski**
Alüminyum, Titanyum, Magnezyum, Lityum	Çok şiddetli
Demir karbonil, Ferrotitanyum	Şiddetli
Silisyum, Kalay, Hidrojenle redüklenmiş demir	Şiddetli
Çinko, Bakır, Sünger demir	Zayıf
Paslanmaz çelik, Nikel	Yok

6. Diğer Patlama Riskleri

Ergimiş alüminyum için diğer bir patlama riski de kimyasal reaktivitedir.

Başta demir ve bakır olmak üzere, ağır metal oksitlerin alüminyum ile verdikleri ekzotermik tepkimelerdir (termit tepkime). Özellikle alüminyuma alaşım elementi olarak eklenen okside olmuş ağır elementler termit tepkimelere neden olabilir.

Aynı zamanda çelik esaslı bu malzemelerin içerdiği pas da bir patlama kaynağıdır.

Ergimiş alüminyum ile oksitlenmiş malzeme temas ettiğinde, enerjinin serbest kalması yani patlama olması için dışarıdan bir tutuşturucu ya da tepkime başlatıcı maddeye ihtiyaç yoktur.

Bu nedenle bu aletlerin, curuf ve flaks kalıntılarından temizlenmesi, koruyucu boya ile kaplanması ve ergiyik metale temas ettirilmeden önce ön-ısıtılması önemlidir.

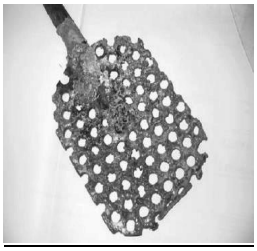
Demir esaslı alet ve kalıplardaki pas ve kireç patlamaları teşvik ederken, gres, yağ ve organik koruyucu kaplamalar önleyici etki yapar.

$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe + Enerji$ (1xTNT)

Tuz kaynaklı flakslar, aynı zamanda nitrat, sülfat ve diğer oksitlenebilir tuzları içerirler. Gübre artıkları ile aynı kimyasal karaktere sahip bu kimyasallar güçlü patlamalara yol açar:

$6Al + 3NH_4NO_3 \rightarrow 3Al_2O_3 + N_2 + 4NH_3 + Enerji$ (4XTNT)





Şekil 11: Deforme olmuş aletler

Ergimiş alüminyum bütan ile (örneğin sigara çakmakları) ile temas ettiğinde, yaklaşık 3 dinamit lokumunun patlaması ile açığa çıkacak enerjiye eşdeğer miktarda enerji serbest kalır.

Fırın içinde yanma gazlarının birikmesi sonucu, bu gazlarla ergimiş alüminyumun teması da patlamalara neden olur. Bu nedenle fırınların kontrol sistemleri ve kontrolü çok önemlidir.

Diğer bir tehlike de, ergimiş metalin pota ile taşınması ya da pota içinde rafinasyon işlemi sırasında, pota içinde biriken hidrojen gazının varlığıdır. Bunun önlemek için potalar havanın neminden korunmalı, kapağı açıldıktan sonra yaklaşık 10 dakika beklenerek, içerideki hidrojen gazının dışarıya çıkması beklenmeli ve ardından ergiyik doldurulmalı ya da potalarda havalandırma valfleri kullanılmalıdır.

6.1.Curuftan Kaynaklanan Patlamalar

Alüminyum cüruflarının ve tuz keklerinin açık alanlarda depolanması, malzemenin su ve ortam nemine ve yağmur sularına olan yüksek reaktiviteleri liç olabilmeleri nedeniyle zehirli, zararlı, yanıcı, hatta patlayıcı ve çevreye kötü kokular yayan, NH_3, CH_4, PH_3, H_2 ve H_2S gibi gazlar oluşturmalarına neden olur.

Amonyak gazı (NH_3), tuz keki içindeki nitrürlerin hidrolize olması ile oluşur:

$2AlN + 3H_2O \rightarrow 2NH_3 + Al(OH)_3$

$2AlN + 4H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + NH_4(OH)$

$Al_5O_6N + H_2O \rightarrow 2Al_2O_3 + Al(OH)_3 + NH_4(OH)$

$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4(OH)$

Amonyak su içinde kolayca çözünebilir ve aynı zamanda pH değerinin 9 ve üstüne çıkmasına neden olur. Amonyak gazının en tipik özelliği çevreye yaydığı kötü kokudur.

Yüksek pH değeri, ince taneli metalik alüminyumun yüzeyinde mevcut alüminyum oksit filminin çözünmesine ve metalik alüminyum taneciklerinin hidrolize olarak, hidrojen gazı oluşturmalarına yol açmaktadır.

$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$ (+ ısı)

Sıcak $H_2 + O_{2(hava)} \rightarrow Al_2O_3$ + yanıcı maddeler → yangın

Benzer şekilde yapıda mevcut Al_4C_3'ün su ile reaksiyona girerek aşağıdaki reaksiyon uyarınca metan gazı oluşturabilmektedir:

$Al_4C_3 + 6H_2O \rightarrow 3CH_4 + 2Al_2O_3$

Stoklama sahasının iç yüzeylerindeki sıcaklığın ve basıncın artışı sonucu, alüminyum karbür, alüminyum siyanata dönüşebilmektedir.

$Al_4C + 6N_2 + 9C \rightarrow 4Al(CN)_3$ ve sonuç olarak;

$4Al(CN)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al_2O_3$ + 12 HCN bileşiklerinin oluşumu mümkündür.

Alüminyum curuflarının içerdiği AlN, AlC_4 ve metalik alüminyum su ile tepkimeye girdiğinde zehirleyici ya da patlayıcı olabilen NH_3, H_2 ve CH_4 oluşur.

Bunun dışında özellikle patlayıcı kimyasallar ve gübre gibi şarja karışan maddeler de ciddi patlama nedenlerindendir. Kimyasallar ergimiş alüminyumla tepkimeye girerek nitrat, sülfat, fosfat ve kromatlar oluştururlar. Oksijen içere tuzlar da benzer etki yaratır.

Özellikle ikincil alüminyum tesislerinde, aerosol kutuları, basınçlı gaz içeren alüminyum kaplar, ve kimyasallar içeren hurdalar da sıvı alüminyum ile temas ettiğinde patlar.

Bunu dışında hurdanın içerdiği organikler ya da koruyucu amaçlı olarak kullanılan ama uygun şekilde olmayan organikler de çeşitli patlamalara neden olur.

7. Korunma

Patlama ve yangınlardan korunmak için iki önemli alan kontrol edilmelidir:

- İşletme ve makine-ekipman tasarımı:
    - Riskleri minimize eden (sıvı metal trafiğini minimize eden, uygun yerleşim planı vb),
    - Güvenli çalışma koşullarına olanak veren,
    - Güvenli kısa ya da uzun süreli duruşlara olanak veren.

- Operasyon:
  - Malzeme girdilerinin kontrolü,
  - İyi makina-ekipman koşulları,
  - Tanımlanmış ve denenmiş proses koşul ve prosedürleri,
  - İyi ve düzenli temizlik.

Öncelikle tesis tasarımı yapılırken, kapalı alanın boyutları, rüzgar ve güneş durumu, günlük şarj sahasının konumu ve boyutları, fırın ve şarj kapağı tip, fırın pozisyonları, fırın çalışma platformlarının boyutları, metal alma deliklerinin çapı, yolluk mesafeleri ve genişlikleri, tahilye ve curuf kovalarının konumları ve adetleri, işlem aletlerinin tipleri, sayıları ve konumları, mekanik araçlar (forklift, şarj arabası vb) ve işçi hareketlerinin alanları, döküm sisteminin konumu, soğutma suyu kullanılıyorsa suyun toplanması ve sirkülasyonu, toz tutma ünitelerinin tipleri ve boyutları, yangın ya da patlama durumunda önleme sistem ve malzemelerinin sayısı ve konumu, bina içi havalandırma, acil sağlık hizmetleri için gerekli altyapı ve işletmenin tehlike zonlarına göre çalışanların uygun giysi ve koruyucularla donanımı da dikkate alınmalı ve bu sayılanlara en az yatırım hesabına gösterilen kadar özen ve dikkat gösterilmelidir.

Standart bir dökümhane iş akışına uygun olarak, alınması gereken önlemler aşağıda sıralanmıştır:

Hammadde ve yardımcı malzemeler:

- Öncelikle bütün hammadde ve yardımcı madde girdileri kontrol edilerek,işletme içine alınmalıdır. Alüminyum ve magnezyum külçelerin çatlaksız, curufsuz ve temiz olması, diğer alaşım elementlerinin temiz ve minimum toz içermesi sağlanmalıdır.



Şekil 12: Şarja uygun temiz külçeler

- Eğer hurda kullanılıyorsa, hurdanın içinde yanıcı, patlayıcı malzemelerin ve heryeri kapalı basınçlı olmadığından emin olunmalıdır. Parçalanmış (shredded) hurda kullanımı, ergitme performansını arttıracağı gibi, basınçlı kaplardan kaynaklanan patlamaları da önleyecektir.





Şekil 13: Parçalanmış ve ön-ısıtılmış içecek kutusu hurdası

- Rafinasyon amaçlı kullanılan flaksların bileşimi kontrol edilmeli, iş ortamına ve çevreye zararlı ve patlama riski olan tuzlardan üretilmiş flaks kullanımından kaçınılmalıdır,

- Ekonomik avantaj yaratma kaygısı ile, oldukça hidroskopik olan tuzlar ile işletme içinde flaks üretiminden kaçınılmalıdır. Başta NaCl, KCl ve $MgCl_2$ olmak üzere, tuzlar ciddi oranda nem tutabilir.

- Bütün hammadde ve yardımcı maddeler, yağmur, nem ve aşırı güneş ışığından uzak, kapalı alanlarda depolanmalıdır,

- Yangın ya da patlamayı tetikleyebilecek özel malzemeler (örneğin alüminyum, magnezyum, silisyum toz ve pullar (flake), izole ortamlarda saklanmalıdır,

- Fırın tasarımı, fırın çelik ve refrakter yapısı standartlara uygun olmalı, aynı zamanda çalışma ergonomisi dikkate alınmalıdır. Yakıcı kapasitesi ve ergimiş metal seviyesi risk almadan hesaplanmalıdır. Katı alüminyumun ergimesi, ısı üretimi kadar ısı iletimi ile de ilişkilidir. Büyük yakıcı ya da büyük fırın her zaman çok üretkenlik anlamına gelmez. Tam tersine eğer tasarım hesapları uygun değilse, daha fazla enerji ve metal kaybı ve çalışma riski anlamına gelir.

- Fırın celik saç ve refrakter kontrolleri düzenli olarak yapılmalı ve soğuk yüzey (cold face) sıcaklığı her vardiya ölçülmelidir,

- Fırın bilgisayar kontrol sistemleri düzenli olarak kontrol edilmeli, özellikle hava/yakıt oranı, iç basınç ve sıcaklık ölçümleri "köprü atılarak" devreden çıkarılmamalıdır,

- Yanma ve yakıcı sisteminin kontrol edilmeli ve fırın içerisinde yanma gazlarının birikmesi önlenmelidir,

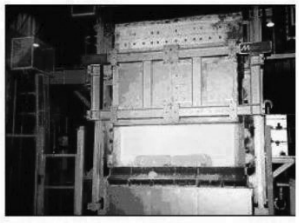
- Sıcaklık kontrolü yapılamlı ve ergimiş metal ve curufun aşırı ısınmasından kaçınılmalıdır,

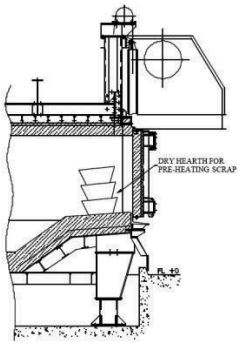
- Devreye alma öncesinde fırın refrakterleri kontrol edilmeli, refrakterlerin kuru ve hasarsız olduğundan emin olunmalıdır,

- Fırın içindeki ergiyik metal seviyesinin kontrolü çok önemlidir. Özellikle topuk metali ile çalışan işletmelerde, topuk metalinin yüksekliği kritiktir. Teorik olarak 30 cm üzerindeki metal seviyesi "yüksek" olarak kabul edilir.

- Mekanik ya da elektromagnetik pompa kullanan işletmelerde, popanın yarattığı sirkülasyon nedeni ile, daha yüksek metal seviyelerinde çalışma eğilimi, güvenlik anlamında riskler yaratır,

- Bütün metalik girdiler, şarj öncesi ön-ısıtma işlemine tabi tutulmalıdır,





Şekil 14 : Ön-ısıtma rampası



Şekil 15: Şarj arabası

- Şarj sırası önce ince kesitli malzemeler (kuru talaş, kenar kesme), ardından orta ağırlıkta hurdalar ve en son külçe şeklinde yapılmalıdır,

- Şarj işlemleri olabildiğince mekanik araçlarla yapılmalıdır.

- Fırın işlemlerinde kullanılan aletlerin, numune alma kaplarının ve metal kalıpların passız, kuru, temiz ve uygun koruyucu ile kaplanmış olmasına özen gösterilmelidir,

- Curuf alma işlemlerinin olabildiğince mekanik araçlarla yapılmalıdır,

- Yolluk refrakteri ve tandişler ön-ısıtılmış ve kuru olmalıdır,

- Yolluk birleşme noktalarının sızıntıya olanak vermemelidir,

- Sıvı metal tahliye kovalarının kuru, temiz ve passız, koruyucu boya ile kaplanmış olması sağlanmalıdır,

- Rafinasyon üniteleri ve seramik filtre kutularının ön-ısıtılmış ve kuru olması, koruyucu boya ile kaplanmasına dikkat edilmelidir,

- Transfer potalarının ön-ısıtılmış olması gereklidir.



Şekil 16: Mekanik curuf alma



Şekil 17: Potaya metal transferi

- Dikey biyet/slab döküm sırasında aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

  - Başlangıç bloklarında minimum çatlak olmalıdır,
  - Başlangıç bloklarının kuru olması sağlanmalıdır,
  - Yolluk ve metal dağıtım tablasının kuru olduğundan emin olunmalıdır,
  - Kalıpların bakımı yapılmış olmalı ve su soğutma sisteminin iyi çalışmalıdır,
  - Kalıpların uygun koruyucu ile kaplanmalıdır,
  - Kuyu içindeki su miktarının minimum oranda ve yeterli miktarda olması sağlanmalıdır,
  - Suyun kaynama noktası altındaki sıcaklıklarda yoğuşamayan gazların uzaklaştırılması gerekir, aksi takdirde bunlar ergimiş alüminyum içinde hava boşluğu oluşturarak patlamalara yol açar,
  - Ergimiş metalin herhangi bir paslı yüzey ile teması önlenmelidir,
  - Ergimiş alüminyum döküm tablası üzerine düzenli dağılmalı ve taşma olmadan kalıplar beslenmelidir.

<u>Toz Patlamaların Önlenmesi</u>

- İşletme prosese bağlı olarak oluşacak olan tozların patlama riskine göre zonlara ayrılmalıdır,

- Toz önlemek için işlemler ve prosedürler hazırlanmalı ve uygulanmalıdır,

- Oluşan tozların düzenli olarak temizlenmesi sağlanmalıdır,

- Özellikle toz tutma sistemleri seçilirken güvenlik özellikleri dikkate alınmalıdır,

- Hammadde ve alaşım elementleri satın alınırken toz içeriğine dikkat edilmelidir,

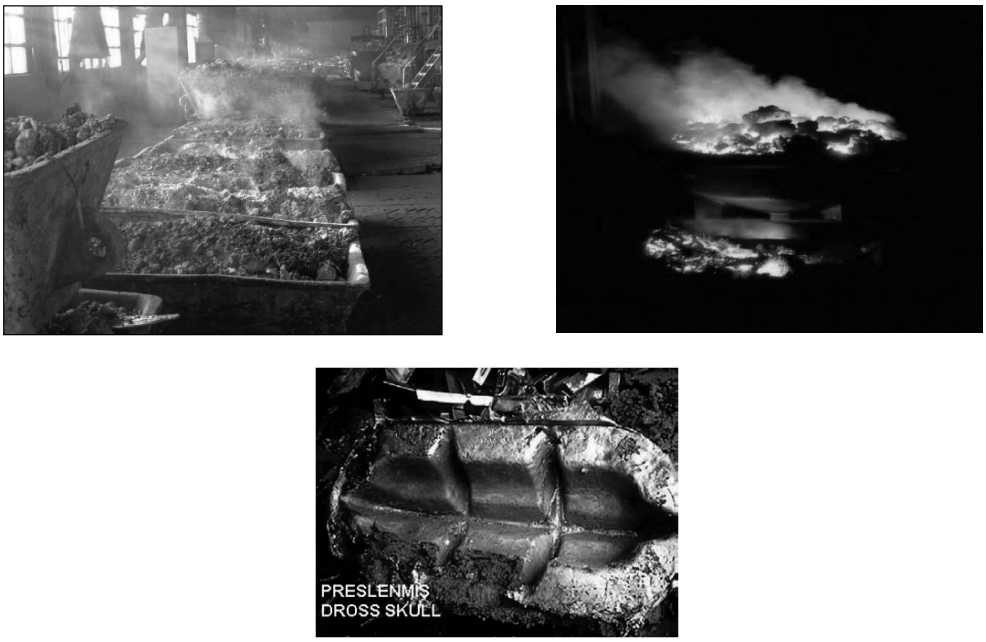
<u>Sıcak Curuf Kaynaklı Patlamaların Önlenmesi</u>

- Curuf kovaları ön-ısıtılmış, kuru olmalı ve pas içermemelidir,

- Curuf mümkün olduğunca kısa sürede soğutulmalıdır, bu aynı zamanda metalik alüminyum laybını da önler,

- Curuflar kapalı kovalarda taşınmalıdır,

- Curuf dolu açık kovalar, açık havaya kesinlikle bırakılmamalıdır,
- Curuflarda toz oluşumu kontrol edilmelidir.



Şekil 18: Sıcak cüruf ve soğutulmuş cüruf

8. Sonuç

Sıvı alüminyum ile çalışan işletmeler, yukarıda sıraladığımız neden ve mekanizmalardan dolayı, her zaman patlama riski ile karşı karşıyadır. Kural ve prosedürlere uygun üretim, yalnızca patlama risklerinin azaltılması için değil; aynı zamanda genel işçi sağlığı ve iş güvenliğinin oluşturulması ve korunması ve çevreye duyarlı üretim anlamında da gelmektedir.

Ancak bu kural ve prosedürlerin hazırlanması, uygulanması ve izlenmesi yönetim niyeti, kararı ve inadı ile mümkün olacaktır.

Referanslar

1. Norbert Hort-Björn Wiese,-Hajo Dieringa-Karl Ulrich Kainer, State of the Art in Magnesium Melt Protection, IMA 72nd Annual World Magnesium Conference, (2015)
2. R.P. Taleyarkhan, Preventing Melt-Water Explosions, JOurnal of Metallurgy, February 1998, TMS
3. J.Martin Ekenes, Tortein Seather, Cause and Prevention of Explosions Hot-Top Casting of Aluminium Extrusion Inogt, Light Metals 2013

4. J. Martin Ekenes, Training for PReventing MOlten Metal Explosions in Aluminium Cast Houses, Light Metals 2007
5. Logan Aluminum, Meltable Specification Manuel, (2004)
6. Seymour G. Epstein, An Update on the Reported Causes of Molten Metal Explosions, Light Metals 2007
7. Edward M. Williams, Ray T. Richter, Jake J. Niedling, Donald Stewart, Preventing Molten Explosions Related to Skim Tools and Salt, Lİght Metals 2005
8. John E. Jacoby, Investigating Molten Aluminum Explosions, Light Metals 2003
9. Seymour G. Epstein, The Aluminium Industry's Efforts to Prevent Molten Metal Explosions, Lİght Metals 2003
10. Safety Coatings Reduce Risk of Molten Aluminium Explosions, Aluminium Times, Volume 11, No 3, (2009)
11. John G. Banker, Explosion Metalworking, DMC Dynamic Materials Corporation, 2007
12. Gus Hornsby, Explosion Risks in a Casthouse, Aluminium Casthouse Seminar, Richards Bay, (2013)
13. Tatyana A. Davletshina, Nicholas P. Cheremisinoff, Fire and Explosion Hazards Handbook of Industrial Chemicals, Noyes Publication, USA, (1998)
14. NFPA (National Fire Protection Association), Guide for Fire and Explosion Investigations, NFPA 921, (2004)
15. Rolf K. Eckhoff, Water Vapour Explosions-A Brief Review, Journal of PRevention in the Process Industries, Vol: 40, (2016)
16. H. Sevil Ergür, Makine Endüstrisinde Karşılaşılan Toz Patlaması Olayı ve ATEX Yönergeleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt XXV, Sayı 2, (2012)
17. Federica Franzoni-Massimo Milani-Luca Montorsi-Valeri Golovitchev, Combined Hydrogen Production and Power Generation from Aluminium Combustion with Water: Analysis of the Concept, International Journal of Energy, Vol:35, (2010)
18. Kemal Üçüncü, Toz Patlamaları, (2011)
19. Mehmet Demirkol, Malzeme Bilimi Ders Notları, Işık Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
20. Prof.Dr. Onuralp Yücel – Erman Car, Alüminyum Curuflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Curuf Yapıcı Üretimi, Metalurji Dergisi, Sayı 175, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası
21. The Aluminum Association, Recomendations for Storage and Handling of Aluminium Powders and Paste, Fourth Edition, (2006)
22. Aluminum Association, Guidelines for Handling Aluminum Fines Generated During Various Aluminum Fabrication Operations.
23. Inductotherm, The Induction Foundry Safety Fundamentals Guide That Might Save Your Life, 2011
24. C. Pluchon-J.P. Rriquet,-F. Fehrenbach-G.M. Raynaud-B. Hannart-L. Joquet-Pastre-M. Bertherat-J. Hennings-J. Mathieu-R. Wood-V. Brockhagen, Molten Metal Safety Approach Through a Network, Lİght Metals 2011
25. David D. Leon, Casthouse Safety – A Focus on Dust, Light Metal 2005

Gıdaya Temas Eden Malzeme Uygulamalarında Alüminyum Alaşımı Folyolar

Aluminum Foils in Food Contact Applications

Hatice Mollaoğlu Altuner
Assan Alüminyum Sanayi

Abstract

Due to its superior properties, aluminum foil has been safely used in many packaging solutions including flex packaging, household foils, lids and containers for many years. With its absolute barrier effect against light, gases and moisture, aluminum foil provides perfect preservation of aroma, odour and freshness of foods. Besides, its rigidity, convenience to different usage temperatures and suitable forming characteristics make it preferred material for food container applications. On the other hand, all food contact materials should conform to national and/or international legislations and regulations to ensure food safety. This paper includes information about applications areas of aluminum foil as a food contact material, related legislations and regulations as well as food contact declarations.

Özet

Alüminyum alaşımı folyolar, üstün özellikleri nedeni ile gerek ambalaj gerek mutfak folyosu, buruşuk ya da düz kenarlı kap (tek kullanımlık saklama kabı) uygulamalarında uzun yıllardır güvenle kullanılmaktadır. Oksijen ve nem geçirgenliğinde üstün bariyer özelliği nedeni ile vazgeçilmez bir ambalaj malzemesi olan alüminyum folyolar gıdaların tat ve kokularının uzun süre korunmasını mümkün kılmakta, rijitlik, farklı kullanım sıcaklıklarına uygunluk, şekil alma kabiliyeti gibi özellikleri nedeni ile saklama kabı uygulamalarında tercih edilmektedir. Gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için gıdaya temas eden malzemelerin gerekli yerel ve/veya uluslararası mevzuat ve yönetmeliklere uygun olması gerekmektedir. Bu bildiri, alüminyum alaşımı folyoların gıdaya temas eden kullanım alanlarındaki uygulamaları, ilgili mevzuat ve yönetmelikler, gıdaya uygunluk deklarasyonları hakkında bilgiler içermektedir.

1. Giriş

Alüminyum %7,5 oranı ile yer kabuğunda en çok bulunan 3. elementtir. Hafif metaller sektörünün öncüsü niteliğindeki alüminyumun doğada bulunduğu oksit formundan metalik olarak ekonomik bir şekilde eldesi 1900'lü yılların başında ancak mümkün olabilmiştir. Ancak hafif oluşu, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek düktilitesi, iyi bir ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olması, görece düşük ergime sıcaklığı, korozyon dayanımı ve spesifik mukavemetinin yüksek oluşu gibi bir çok üstün özelliği nedeni ile kullanımı hızlıca artmış, bir çok teknik alanda arzu edilen bir malzeme konumuna ulaşmıştır. Sürdürülebilirliğin öneminin her geçen gün hızla arttığı günümüzde, alüminyum ve alaşımlarının %100 geri dönüştürülebilir oluşu, bu metali önemli ve vazgeçilmez kılan bir diğer özelliktir. Tüm bu özellikleri nedeni ile alüminyum ve alaşımları, inşaat ve mimari, ulaşım, havacılık ve uzay, otomotiv, ambalaj, dayanıklı tüketim, elektronik başta olmak üzere birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımları, yüksek şekillendirilebilirlik ve haddelemeye uygun olmaları nedeni ile 6-7 µm kalınlık değerinde dahi sorunsuz bir şekilde üretilebilirler. Teknikte 200 µm ve üzeri kalınlık değerine sahip yassı mamul alüminyum ürünleri levha olarak adlandırılırken bu değerin altında kalınlıklara sahip olan ürünler folyo olarak adlandırılmaktadır. 2016 yılı verilerine göre yaklaşık 25 milyon ton olan dünya toplam alüminyum üretiminin 11,8 milyon tonunu folyo grubu ürünlere dönüştürülen folyostok ve içecek kutularına dönüştürülen canstok oluşturmaktadır [1]. Alüminyum folyolar, izolasyon, ısı değiştiriciler (finstok) ve kablo folyosu gibi teknik uygulamaların yanısıra, mutfak folyosu, saklama kapları, esnek ambalaj gibi gıda maddeleri ile temas eden uygulama alanlarında kullanılmaktadır [2]. EAFA 2016 verilerine göre üye şirketlerin toplam folyostok üretiminin %75'ini gıda ile temas eden uygulamalar oluşturmaktadır.

Gıdaya temas eden madde ve malzemeler, gıda güvenliğinin sağlanabilmesi dolayısı ile tüketici sağlığının korunabilmesi için belli özelliklere sahip olmalı, içerikleri ve üretim koşulları çeşitli yasal mevzuat ve yönetmeliklere uygun olmalıdır.

2. Gıda ile Temas Eden Uygulama Alanları

Dünyadaki ilk alüminyum hadde tesisi Robert Viktor Neher'in 1910 yılında sürekli haddeleme prosesine aldığı patent ile Kreuzlingen, İsviçre'de kurulmuştur. Alüminyum folyonun ilk ticari kullanımı bir yıl sonra 1911 yılında Bern merkezli Tobler firmasının ürettiği, içerisinde üçgen kesitli Toblerone'nun da bulunduğu çikolata barlarını alüminyum folyolar ile sarması ile gerçekleşmiştir. 1912 yılında ise Maggi hazır çorba ve et suyu tabletlerinin paketlemesinde alüminyum folyo kullanmaya başlamıştır. 1930'lu yıllarda mutfak folyosu kullanımının yanı sıra tereyağı ve peynirin tazeliğinin korunmasında alüminyum folyonun kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. İlk alüminyum folyo kap kullanımı, 1948 yılında fırıncılık sektöründe gerçekleşirken, günümüzde Tetrapak olarak bilinen aseptik ambalajlarda alüminyum folyo kullanımı 1960'larda keşfedilmiştir. 1980'lerde gıda ambalajlarının yanı sıra bu kez ilaç ambalajlarında da alüminyum folyo (blister) kullanılmaya başlamıştır. İnovatif yaklaşımlarla gıdaların paketlenmesinde kullanımı her geçen gün giderek artan alüminyum folyoların günümüzde en yenilikçi uygulama alanlarına örnek olarak evcil hayvanlar için hazırlanan gurme mama kapları verilebilir [3].

Günümüzde üretilen gıdaların büyük bir bölümü çeşitli nedenlerle çöpe gitmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde üretilen gıdanın yaklaşık %50'si yetersiz saklama nedenleri ile bozulmaktadır. Diğer yandan gelişmiş ülkelerde de tüm tedarik zinciri içerisindeki fire ve israf miktarı da oldukça yüksektir. Örneğin sadece Avrupa'da hanelerin yıllık gıda israfı toplamı 71 milyon ton karşılığında 90 milyar dolar değerine ulaşmaktadır [4]. Dolayısı ile gerek gıdaların tazeliğinin korunması, raf ömrünün arttırılması gerekse uygun miktarlarda porsiyonlanarak israfın azaltılabilmesi için uygun ve etkin bir şekilde ambalajlanması büyük önem taşımaktadır.

Alüminyum folyolar sahip oldukları üstün özellikleri nedeni ile ambalaj malzemelerin içerisinde büyük öneme sahiptir. Gıdaların paketlenmesinde 100 yılı aşkın süredir etkin bir şekilde kullanılan alüminyum folyoların, ambalaj malzemesi olarak tercih edilmesinin başlıca nedenleri olarak;

- 6-200 µm arasında istenilen kalınlıkta üretilebilmesi
- Oksijen ve nem geçirgenliğine karşı mükemmel bariyer özelliği göstermesi
- Hijyenik olması
- Dekoratif olması
- Derin dondurucu, ısıtma, pişirme gibi farklı sıcaklıklarda kullanıma uygun olması
- Laminasyon, baskı, gofraj gibi farklı ikinci proseslere uygun olması
- Rijit ya da dead-fold özellikte eldesinin mümkün olması
- Isıl iletkenliğinin yüksek olması (230 W/mK)
- Düşük yoğunluğa sahip olması
- Geri dönüşüme uygun olması

gibi özellikleri sayılabilir [5, 6].

Alüminyum folyolar, ince esnek ambalajlar, saklama kapları içerisinde yer alan buruşuk kaplar ve düz kenarlı kaplar, mutfak folyosu, sıyrılabilir kapaklar ve şişe kapakları gibi gıda ile temas eden uygulamalarda güvenle kullanılmaktadır. Alüminyum folyolar ayrıca ilaç sektöründe blister folyosu olarak da kullanım bulmuştur. Gıdaya temas eden bir diğer uygulama alanına içecek kutularıdır, ancak içecek kutularının yapımında kullanılan alüminyum kalınlığı genellikle 200-300µm arasında olduğundan folyo yerine levha uygulaması olarak değerlendirilmektedir.

Esnek Ambalaj: Kahve, şekerleme, hazır çorbalar, çeşitli gıda miksleri vb. birçok gıda maddesi ince ambalaj olarak adlandırılan ve kompozit bir yapıdan oluşan ambalaj malzemeleri ile paketlenmektedir. Çok katmanlı olan bu ambalaj malzemesi 6-12 mikron kalınlık aralığındaki alüminyum folyoların PET ve/veya PP filmler ile lamine edilmesi ile elde edilir ve düz ya da kese, torba vb. birçok şekilde üretilebilir. Bu yapıda alüminyumun temel görevi ısı, ışık, nem ve oksijen geçirgenliğine karşı bariyer özelliği sağlamaktır [7]. Şekil 1'de çeşitli esnek ambalaj örnekleri görülmektedir.



Şekil 1. Farklı esnek ambalaj çeşitleri [8].

Alüminyum folyolar, aynı amaçla polietilen film, karton ve alüminyum folyo katmanlarından oluşan, UHT prosesine uygun aseptik ambalajların yapısında da bulunmaktadır. Aseptik ambalajlar sterilizasyon işlemi ile gıdaların steril bir şekilde dolumuna imkan veren ve soğutucu koşullarına gerek duyulmaksızın gıda ömrünün en az 6 ay olmasını sağlayan ambalaj çeşididir. 28 gr ağırlığındaki bir UHT süt ambalajı, içerdiği 1,5 gr

alüminyum folyo sayesinde 1 litre sütün aylarca soğutucu koşullarına gerek duymadan korunmasını sağlamaktadır [4]. Beltrán-González ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği araştırmaya göre, alüminyum folyo içermeyen karton ambalajlardaki portakal suyunun raf ömrü 54 gün iken, ince bir tabaka alüminyum folyo içeren karton ambalajlardaki portakal suyunun raf ömrü 90 günden fazladır [9].

Buruşuk Kaplar: Genellikle 40-150 mikron kalınlık aralığındaki 1xxx-3xxx-8xxx serisi alüminyum alaşımlarının tercih edildiği buruşuk kaplar gıdaların saklanması, ısıtılması ya da servis edilmesinde kullanılırlar. Farklı büyüklüklerde, tek gözlü ya da çok gözlü (tabldot) çeşitleri olan buruşuk kaplar fırıncılık, tatlı ve servis sektöründe yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Düz Kenarlı Kaplar: Buruşuk kaplarla birlikte saklama kapları içerisinde yer alan düz kenarlı kaplar (smoothwall) daha yüksek rijitliğin beklendiği uygulamalarda tercih edilmektedir. Daha çok 3xxx ve 8xxx serisi alüminyum alaşımlarından derin çekilerek farklı hacimlerde üretilmektedirler. Rijitliğin yanı sıra düz kenarlı kapların sağladığı bir diğer avantaj ise ısı ile kapatılmaya uygun (heat sealable) özellikte olmalarıdır. Üst kenarlarının da düz olması nedeni ile gerek plastik gerekse alüminyum folyo içeren lamine filmler ısı ile kapatılarak, gıdaların çok daha uzun süre güvenle saklanmasına imkan sağlarlar. Bu nedenle dondurulmuş, ön pişirilmiş&dondurulmuş gıdaların saklanmasında daha çok tercih edilirler [6].

Buruşuk ve düz kenarlı kapların yapımında kullanılan alüminyum folyoların üzerine şekillendirme işlemini kolaylaştırıcı ve gıda ile temasa uygun kaydırıcı yağlar uygulanır. Şekillendirmeyi kolaylaştırma görevinin yanı sıra yapışmazlık (non-stick) özelliğine sahip yağlar da kullanılmaktadır. Uygulamada çıplak alüminyum folyolar tercih edilebildiği gibi laklı folyoların da kullanımı mümkündür. Şekil 2'de çeşitli buruşuk kap ve düz kenarlı kap örnekleri görülmektedir.



Şekil 2. Çeşitli buruşuk ve düz kenarlı kaplar [8]

Mutfak folyosu: Alüminyum folyoların en eski ve en yaygın kullanım alanını oluşturan mutfak folyoları genellikle 10-16 mikron kalınlığında 8xxx serisi alüminyum alaşımlarından üretilmektedir. Mükemmel bariyer özelliği nedeni ile gıdaların tat ve kokusunun uzun süre korunmasını sağlar. Mutfak folyoları dead fold özelliği göstererek sarıldığında yeniden açılmaz. Bu nedenle sandviç, et vb. gıdaların ısı, ışık, nem ve oksijenden korunarak hijyenik bir şekilde paketlenmesinde vazgeçilmez bir malzemedir. Ayrıca pişirme sırasında yanmayı engellemek, buhar etkisi ile pişmeyi sağlamak vb. nedenlerle pişirme kaplarının üzerinin kapatılmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı metrajlarda rolü ya da hazır yaprak olarak, düz ya da dokulu formda bulunabilen mutfak folyoları günlük hayatta mutfak dışında da birçok farklı şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3. Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan mutfak folyoları [8]

Sıyrılabilir kapaklar: Yoğurt, peynir, tereyağı, margarin ya da ayran gibi süt ürünlerinin raf ömrünün arttırılması amacıyla alüminyum folyolar düz kapak adı da verilen sıyrılabilir kapaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 28-50 µm kalınlık aralığının tercih edildiği bu uygulamada alüminyum folyo, bariyer özelliği ile gıdanın tazelik, tat ve kokusun korunmasına hizmet etmesinin yanı sıra dağıtımı, depolanması sırasında ürünün hasarlanmaması için gerekli olan mukavemeti sağlarken, kap üzerinden kolayca yırtılmadan sıyrılabilecek özelliktedir.

Yukarıda özet bilgiler verilen kullanım alanları dışında alüminyum folyolar her ne kadar gıda olmasa da ilaç endüstrisinde blister folyosu olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca gıdaya temas eden uygulama alanlarında önemli bir bölümü tercih edilen kalınlık değerinin genellikle 200 µm'nin üzerinde olması nedeniyle folyo olarak değerlendirilmeyen içecek kutuları ve şişe kapakları oluşturmaktadır.

Blister ambalajlar: Alüminyum folyoların bir diğer kullanım alanı da ilaç tabletleri paketleridir. Tablet ya da kapsül şeklindeki ilaçların tek doz alımı için kullanılan ambalaj sistemleri, her kabarcığında tek doz ilacın bulunduğu ve genellikle şeffaf plastik filmlerden imal edilen taşıyıcıların tablet ya da kapsülün itilmesi ile yırtılarak açılan alüminyum folyolar ile kapatılması ile oluşur. Günümüzde tüm sisteminin alüminyum folyodan oluştuğu tablet ambalajları da mevuttur. Blister ambalajlar ilaçların doğru dozda alınmasını sağlarken, hasara uğramalarına, kontamine olmalarına engel olurlar [6, 10]. Bu uygulamada tercih edilen itme kuvveti ile yırtılan alüminyum folyolar genellikle 8xxx serisi alüminyum alaşımlarından H18 (sert) kondisyonda imal edilir.



Şekil 4. Blister ambalajlar

İçecek kutuları: Alüminyumun gıda ile temas eden en geniş kullanım alanlarının başında her türlü gazlı ya da gazsız içecek ve bira kutuları gelmektedir. İçecek kutularının gövdesinde genellikle 200-300 µm kalınlık aralığında 3104 alaşım tercih edilirken, üst kapaklarında (can-end) 5182 alaşımı kullanılmaktadır. Mükemmel bariyer özelliğinin yanı sıra hafif olması, hasarlanmaya karşı dayanıklı olması ve geri dönüşüme uygun olması, alüminyumu bu kullanım alanında lider malzeme yapmıştır. Alüminyum alaşımlarının derin çekilmesi ve ütülenmesi aşamaları ile üretilen içecek kutularının iç yüzeyi laklıdır, dış yüzeyleri ise dekoratif ve koruma amacıyla kaplanır. Yıllık global alüminyum içecek kutu üretimi 180 milyar adettir. Günümüze kadar üretilen alüminyum içecek kutularının en az %60'ı geri dönüştürülmüştür [6, 11,12].



Şekil 5. Çeşitli boyutlarda alüminyum içecek kutuları

Şişe kapakları: Su şişeleri, zeytinyağı şişeleri, meyve suyu şişeleri ve alkollü içecek şişelerinin kapaklarında alüminyum kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Genellikle vida dişli olan bu kapaklar, pilfer-proof adı verilen güvenli kapak formunda dolum işleminin sonunda roll forming yöntemi ile şişe ağızlarına geçirilir. Kapağa uygulanan perfore işlemi sayesinde ilk kez açıldığında kapağın alt kısmından bir parça halka şeklinde şişede kalır, böylece kullanıcının şişenin ilk kez açıldığından emin olması sağlanır [6].

Şarap şişelerinde mantar yerine alüminyum kapak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Alüminyum kapakların mantar yerine kullanımı viski şişlerinde 1926 yılında başlamasına rağmen şarap endüstrisi muhafazakar tutumu ile bu değişikliğe uzun süre gitmemiştir. Yapılan araştırmalara göre her 20 şarap şişesinden biri çeşitli mantar hasarlarından ötürü zarar görmektedir. Bu durum alüminyum kapakların tercih edilmesini kolaylaştırmıştır. 2000'li yıllardan sonra şarap sektöründe alüminyum kapak kullanımı hızla artmaya başlamıştır. Alüminyum şarap kapaklarının Pazar payı Yeni Zelanda'da %95, Avustralya'da %80, Şili ve Güney Afrika'da %60'a ulaşmıştır. 2005 yılından sonra İngiltere ve Almanya başta olmak üzere Avrupa'da da hızla artarak %50-60 oranına ulaşmıştır [12,13] .



Şekil 5. Çeşitli alüminyum şişe kapakları [13]

3. Gıda ile Temas Eden Alüminyum Folyoların Tabi Olduğu Standartlar, Mevzuatlar ve Yönetmelikler

Gıda ile temas eden madde ve malzemeler, bileşimleri ya da kullanım koşulları nedeni ile gıdaların kontamine olmasına yol açabilirler. Plastik ya da kağıt malzemelerde bu kontaminasyon çeşitli kimyasal bileşiklerin migrasyonu ile gerçekleşirken, metal esaslı malzemelerden gıdaya salınan metal iyonları ile gerçekleşir. Gıdanın çevre ile temasını kesmede bariyer görevini gören bu malzemelerden gıdaya metal iyonlarının geçişi belirli toksikolojik referans değerleri aştığında tüketici sağlığı açısından riskler oluşur ve gıdanın bileşimi, kokusu ve tadında değişimler meydana gelebilir. Bu nedenle gıdaya temas eden tüm madde ve malzemeler gibi alüminyum folyolar da bazı ulusal ve uluslararası standartlara, gıda ile temas eden malzemelere yönelik çeşitli mevzuat ve yönetmeliklere uygun olmakla yükümlüdür.

İnsan vücudunun 35-50 mg alüminyum ihtiva ettiği tahmin edilmektedir. Bu miktarın %50 si akciğerlerde, %25'i yumuşak dokularda kalan %25'i ise kemiklerde bulunmaktadır. İnsan vücudunda bulunan alüminyumun herhangi bir biyolojik katkısı olmadığı bilinmektedir. İnsanlar, aldıkları gıda ve ilaçlar ile alüminyum alımına maruz kalmaktadır. Ancak insan vücudu alınan alüminyum ancak çok küçük bir miktarını absorblar, alınan alüminyum büyük bir kısmı böbreklerde süzülerek hızla boşaltıma uğrar. Ortalama bir yetişkinin diyetindeki alüminyum miktarı, bulunduğu ülkeye ve beslenme alışkanlıklarına göre farklılık göstermekle birlikte 0,2-1,5 mg/kg vücut ağırlığı/hafta arasında değişmektedir. Bu miktar alüminyum ihtiva eden ilaçları kullanan yetişkinlerde daha yüksek olabilmektedir. Yapılan araştırmalar bu miktarın ancak %0,01'in sağlıklı bir vücut tarafından absorbe edilebildiğini göstermektedir [14]. EFSA'nın (European Food Safety Authority) 2008 yılında yayınladığı rapora göre alüminyum için PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake/ Geçici Tolere Edilebilir Haftalık Alım Miktarı) 1 mg/kg-vücut ağırlığı iken JECFA(Joint FAO/WHO expert Committee on .food Additives) bu değeri 2011 yılında 2 mg/kg-vücut ağırlığı olarak belirlemiştir.

Alüminyum alımının büyük bir kısmı gıda ya da içeceklerin yapısından kaynaklanmaktadır. Yumurta, elma, mısır, salatalık vb. işlenmemiş gıda maddelerinin birçoğundaki alüminyum miktarı 0.1 mg/kg-gıda iken, çay ve bitki çaylarında bu miktar 4.5 mg/kg ile 67 mg/kg arasında olabilmektedir. Endüstriyel olarak işlenmiş gıdalarda ise alüminyum tuzlarının gıda katkısı olarak kullanılması sebebi ile bu miktar daha yüksek değerlerde olabilmektedir. Yapılan araştırmalar, alınan alüminyumun ancak çok küçük bir miktarının gıdaya temas eden alüminyum malzemelerden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Stahl vd.'in gerçekleştirdiği çalışmaya göre bu miktar ihmal edilebilecek düzeydedir [15].

Metaller ve alaşımları korozyona uğradıklarında temas eden gıdaya metal iyonları geçişi olur. Metal iyonlarının salınımının belirli toksikolojik referans değerlerine ulaşması istenmeyen bir durumdur. Alüminyum ve alaşımlarının korozyon direnci çok yüksektir. Alüminyum hava ile temas ettiğinde hızla oksidasyona uğrar ve yüzeyinde çok ince bir Al_2O_3 film oluşur. Oluşan bu oksit film koruyucu özelliği ile alüminyumun hava ile temasını keser, daha fazla oksitlenmesine engel olur. Renksiz ve koruyucu özellikteki bu film yüzeyden ayrılmaz, dökülmez ve birçok kimyasala karşı oldukça dayanıklıdır [16]. Diğer yandan alüminyum, asitlerle reaksiyona girmektedir. Alüminyum hidroksitin nötr pH değerlerinde çözünürlüğü oldukça düşük iken, pH'ın 4,5'in altında ya da 8,5'in üstünde olması durumda çözünürlüğü hızla artar [17]. Bu nedenle gıdaya temas eden çıplak alüminyum alaşımı folyolardan gıdaya alüminyum salınımı gerçekleşebilir. Bu durum direkt olarak korozyon reaksiyonlarına (elektrokimyasal reaksiyon) bağlı olduğundan salınım miktarı, gıdanın muhteviyatına, pH değerine, temas sıcaklığı ve temas süresine bağlı olarak değişir.

Gıda güvenliğinin ve dolayısı ile tüketici sağlığının korunması için gıdaya temas eden madde ve malzemelerin uymakla yükümlü olduğu standartlar, mevzuatlar ve yönetmelikler mevcuttur. Aşağıda gıdaya temas eden alüminyum folyolar için geçerli olan standartlar, mevzuat ve yönetmelikler hakkında özet bilgiler yer almaktadır.

3.1 Gıdaya Temas Eden Alüminyum Folyolar İçin Geçerli Standartlar

BS EN 573-3:2003 Alüminyum ve alüminyum alaşımları - Kimyasal bileşim ve biçimlendirilebilir ürünlerin şekli - Bölüm 3: Kimyasal bileşim

Alüminyum folyoların kimyasal bileşimi, dövülebilir alüminyum alaşımlarından imal edildikleri için bu sınıf için geçerli olan EN 573-3'e uygun olmalıdır. Bu standartta levha ya da folyo formunda kullanılan tüm dövülebilir alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri yer almaktadır [18].

BS EN 602:2004 Alüminyum ve alüminyum alaşımları - Biçimlendirilebilen mamuller - Gıda maddeleriyle temas eden malzemelerin yapımında kullanılan yarı mamullerin kimyasal bileşimi

Gıdaya temas eden alüminyum malzemelerin kimyasal bileşimi EN 573-3'e uygun olmakla birlikte EN 602'ye de uygun olmalıdır.

Standardın 4. bölümünde gıdaya temas eden uygulamalar için müsaade edilebilir maksimum element içerikleri

belirlenmiş ve içeriklerine göre alüminyum ve alüminyum alaşımlarının tanımı yapılmıştır. Standardın 4.1 nolu maddesine göre gıdaya temas eden uygulamalarda kullanılan alüminyum şu özellikleri sahip olmalıdır:

- demir+silisyum ≤ %1
- krom, magnezyum, mangan, nikel, çinko, titanyum, kalay elementlerinin her biri ≤ %0,1
- bakır ≤ %0,1, bakır için müsaade edilebilir sınır krom ve manganın %0,05'i aşmaması durumunda daha yüksek olabilir, ancak %0,2'yi geçemez.
- Diğer elementlerin her biri ≤ %0,05

Standardın 4.2 nolu maddesinde alüminyum alaşımı olarak adlandırılan sınıf için müsaade edilen maksimum element içerikleri verilmiştir [19].

Çizelge 1. EN 602 Tablo 2'ye göre alüminyum alaşımlarının maksimum element içerikleri

Element	Maksimum içerik (%ağ)
Silisyum	13,5
Demir	2,0
Mangan	4,0
Magnezyum[a]	11,0
Krom	0,35
Nikel	3,0
Çinko	0,25
Zirkonyum	0,3
Titanyum	0,3
Diğer elementler[b]	0,05 her biri 0,15 toplam

[a] basınçlı pişime uygulamalarında kullanılan alaşımlar %5'den daha fazla magnezyum içeremez.
[b] Gümüş gibi bazı elementler yukarıda diğer elementler adı altında yer alıp, gıda ile temas davranışları tam olarak bilinmediğinden içerikleri %0,5 ile sınırlandırılmıştır. Daha fazla bilgi edinilmesi durumunda limiti arttırılabilir.

3.2 Gıdaya Temas Eden Alüminyum Folyoların Tabii Olduğu Mevzuat ve Yönetmelikler

Gıda ile temas eden tüm madde ve malzemeler "EC 1935/2004" ve EC 2023/2006 yönetmeliklerine uymakla yükümlüdür. Çerçeve bir yönetmelik olan EC 1935/2004 Madde 3'e göre gıdaya temas eden madde ve malzemeler AB iyi imalat uygulamalarına (GMPs-good manufacturing practices) göre üretilmeli ve bileşenlerini normal ve öngörülebilir koşullarda temas eden gıdaya aşağıdaki durumlara yol açacak miktarlarda geçirmeyecek özelikte olmalıdır:

(a) İnsan sağlığını tehdit
(b) Gıdanın muhteviyatında kabul edilemez değişikliğe yol açma
(c) Gıdanın duyusal özelliklerinde (koku, tat, renk) bozulmaya yol açma

Yukarıdaki koşullara ek olarak olarak gıdaya temas eden malzemelerin etiketleri ya da reklam içeriklerinin tüketicileri yanıltıcı bilgiler içermemesi gerekir [20].

EC 2023/2006 [21] ise, gıdaya temas eden madde ve malzemeler için geçerli iyi imalat uygulamalarına dair bir yönetmelik olup, bu tür madde ve malzemelerin üretiminin her aşamasında kalite kontrolün ne şekilde uygulanması gerektiğini açıklamaktadır.

EC 1935/2004 çerçeve yönetmeliğine ek olarak gıdaya temas eden plastik ve seramik gibi bazı madde ve malzemeler için özel olarak hazırlanan harmonize yönetmelikler de mevcuttur. Ancak gıdaya temas eden metal esaslı madde ve malzemeler için geçerli olan harmonize yönetmelik henüz mevcut değildir.

Gıdaya temas eden plastik esaslı madde ve malzemeleri kapsayan EU 10/2011 nolu yönetmelik [22], plastik esaslı malzemelerin hangi koşullarda hangi gıda maddeleri ile temas edebileceğini açıkladığı gibi, bu malzemelerin gıda ile temasa uygunluğunun hangi koşullarda ne tür simulantlar kullanılarak test edileceğini de içermektedir. Plastik esaslı maddelerden çeşitli kimyasal madde ve bileşiklerin gıdaya geçmesine migrasyon adı verilir. Yönetmelik plastik esaslı malzemelerden gıdaya geçen maddeler için toplam migrasyon limitini (OML) 10 mg/dm^2 ya da 60 mg/kg-gıda olarak belirlemiş ve ayrıca bazı özel maddeler için spesifik migrasyon limitlerini (SML) de tanımlamıştır. 25 Ağustos 2016 tarihinde EU 10/2011'in revize edilmesi ile yürürlüğe giren EU 2016/1416 yönetmeliğine göre alüminyum için SML değeri 1 mg/kg-gıda'dır [23]. Ancak bu yönetmeliğin gıdaya temas eden plastik malzemeler için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Gıdaya temas eden yüzeyinde plastik bir kaplama ya da film içeren alüminyum ambalaj malzemeleri, yüzeylerindeki plastik esaslı maddeler nedeni ile bu yönetmeliğe göre test edilmesi gerekirken, çıplak alüminyum folyo ya da folyodan imal edilen kaplar bu yönetmeliğe tabi değildir.

Gıdaya temas eden metal esaslı malzemeler için geçerli harmonize bir yönetmelik bulunmadığından, çoğu zaman üreticilerden çıplak alüminyum folyo ve folyodan imal edilen ürünler için de EU 10/2011 nolu yönetmeliğin gerekliliklerini yerine getirmesi beklenebilmektedir. Ancak bu beklenti, çıplak alüminyum folyoların plastik esaslı olmaması gerçeği nedeni ile yasal bir dayanağa sahip değildir. Bununla birlikte plastik malzemeler için tanımlanan migrasyon testleri tamamen metalik esaslı olan alüminyum alaşımları için teknik olarak uygun değildir.

Gıdaya temas eden metal esaslı malzemeler için harmonize bir yönetmeliğin olmayışı nedeniyle oluşan

boşluk, 2013 yılında Avrupa Konseyi Avrupa İlaç Kalitesi ve Sağlık Direktörlüğü altında yer alan Gıda ve İlaç Ambalajları Uzmanlar Komitesi tarafından yayınlanan "Gıdaya Temas Eden Madde ve Malzemelerde Kullanılan Metal ve Alaşımları- Üreticiler ve Düzenleyiciler için Kılavuz" isimli rehber [24] ile önemli ölçüde giderilmiştir. Bu belge her ne kadar tavsiye niteliğinde bir doküman olup yasal bir bağlayıcılığa sahip olmasa da kullanımı hızla artmaktadır. Gıdaya temas eden metal ve alaşımları için rehber niteliğinde olan bu kılavuzda belirlenen spesifik salınım değerleri ve test yöntemleri ulusal ve uluslararası gıda enstitüleri ve diğer ilgili otoriteler tarafından da kabul görmektedir.

Kısaca CoE EDQM 2013 olarak adlandırılabilecek bu kılavuzda, gıdaya temas eden metal esaslı madde ve malzemelerden gıdaya salınabilecek her bir metalik element ve empürite olarak bulunan elementler için geçerli limit değerler (SRL-spesifik release limit) kılavuzun 4 nolu maddesinde yer alan Tablo1 ve Tablo2'de verilmiştir. SRL değerlerinin belirlenmesi, elementlerin insan vücudu tarafından tolere edilebilen haftalık miktarları (PTWI) göz önünde bulundurularak ALARA (As Low As Reasonably Achievable/ Ulaşılması teknik olarak mümkün olan en düşük değer) yaklaşımı esas alınmıştır. Al için bu değer 5 mg/kg-gıda'dır.

Kılavuza göre salınım testleri mümkünse gerçek kullanım koşullarında gıdanın kendisi kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Diğer yandan, gerçek kullanım koşullarının ve temas eden gıdanın içeriğinin tam olarak bilinmediği durumlarda salınım testleri gıda yerine geçen simulantlarla öngörülebilen en kötü koşullarda gerçekleştirilir. Sulu, alkollü ve yağlı gıdalar için yapay musluk suyu simulant olarak kullanırken, pH değeri 4,5'in altında olan asitli gıdalar için geçerli olan simulant %0,5'lik sitrik asittir.

İçi doldurulabilir kaplar için geçerli olan test koşulları;

- oda sıcaklığında kullanım için 40°C'de 10 gün
- sıcak dolum yapılan ve oda sıcaklığında kısa süre temas için 70°C'de 2 saat + 40°C'de 24 saat
- kaynama koşulları için, simulantın kaynama sıcaklığında 2 saat

olarak belirlenmiştir. Mutfak folyoları, kesme tahtaları ya da kapaklar gibi gıdaya temas eden ancak içi doldurulamayan malzemeler için ise test koşulları şu şekildedir:

- kısa süreli temas için 70°C'de 2 saat
- oda sıcaklığında uzun süreli temas için 40°C'de 10 gün
- pişirme koşulları için 100°C'de 2 saat

Kılavuz ayrıca, salınım değerlerinin minimize edilebilmesi için çıplak alüminyum folyo ve malzemelerin asitli, alkali ve tuzlu gıdalar ile uzun süreli temasa maruz bırakılmaması gerektiğini de belirtmektedir. Son kullanıcılar uygun etiketler ile bu konuda üreticiler tarafından bilgilendirilmelidir.

Gerçekleştirilen bazı çalışmalara göre, salınım testlerinde gerçek gıdalar yerine gıda yerine geçen simulantların kullanılması durumunda salınım değerlerinin çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca farklı içerikteki birçok gıda ile gerçekleştirilen testler, Al salınım değerinin gerçek kullanım koşullarında büyük oranda 5 mg/kg-gıda değerinin çok altında kaldığını ortaya koymuştur [25,26].

Ülkemizde de gıdaya temas eden metal esaslı malzemeler için geçerli yasal bir mevzuat yoktur. Bununla birlikte, CoE EDQM 2013'ün yayınlanmasının ardından Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 16 Ağustos 2014 tarihli 29090 nolu Resmi Gazete'de yayınlanan "Türk Gıda Kodeksi Gıda İle Temas Eden Madde Ve Malzemeler Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile Türk Gıda Kodeksi Gıda İle Temas Eden Madde Ve Malzemeler Yönetmeliği'nin Ek 3'ü değiştirilmiştir. Değişiklikte gıdaya temas eden alüminyum ve alüminyum alaşımı madde ve malzemeler ile ilgili olarak (g) ve (ğ) bendinde şu ifadeler yer almaktadır:

(g) Gıda ile temas eden alüminyum ve alüminyum alaşımı madde ve malzemelerden gıdaya geçen alüminyum miktarı en fazla 5 mg/kg gıda olacaktır. Gıda ile temas eden kaplamasız alüminyum ve alüminyum alaşım madde ve malzemelerin etiketlerinde 8 inci maddenin birinci fıkrasının (a) bendinin (2) numaralı alt bendi gereğince; 'asidik (pH < 4,5), bazik (pH > 8,5) ve tuz içeriği %3,5 NaCl'den fazla olan gıdaların depolanması, pişirilmesi ya da işlenmesi için kullanmayınız' veya 'sadece buzdolabı koşullarında muhafaza için kullanınız' ifadelerine yer verilir.

(ğ) Alüminyum folyolarda, alüminyum tüplerde ve tek kullanımlık alüminyum kaplarda alüminyum miktarı en az %95 olur [27].

EC 1935/2004'e göre gıdaya temas eden madde ve malzeme üreticileri ürünlerinin gıdaya temasa uygun olduğunu beyan etmekle yükümlüdür. Gıdaya uygunluk deklerasyonu, üretici ya da ithalatçının adını, adresini, tarihi, gıdaya temas eden madde ya da malzemenin Avrupa Birliği'nin yasal mevzuatlarına ve ilgili ulusal mevzuatlara uygun olduğu bilgilerini içermelidir. Ulusal ya da Avrupa Birliği mevzuatı mevcut değilse konuyla ilgili diğer standart, referans ya da uluslararası kısıtlamalarda adı geçen spesifikasyonlara uygun olduğu belirtilmelidir. Deklarasyon, ayrıca malzemenin hangi gıdalar ile temasa ne koşullarda uygun olduğu, özel bir kullanım şartı olup olmadığı (ön yıkama vb..), malzemenin uygunluğu için geçerli olan yüzey

alanı/hacim oranı bilgilerinden ilgili olan bir ya da bir kaçını da içermelidir.

Sonuç

Gıdaya temas eden alüminyum folyo ve folyodan imal edilen diğer ürünler, gıdaların hazırlanması, saklanması ısıtılması ya da pişirilmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Üstün bariyer özelliği nedeni ile alüminyum folyo tek başına ya da lamine formda gıdaların tat, koku ve görünümlerini koruyarak uzun süre saklanabilmesini mümkün kılmakta, raf ömrünü uzatmaktadır. Alüminyum folyolar, çeşitli formlarda farklı kullanım şekilleri ile gıda israfının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Gıdaya temas eden metal esaslı madde ve malzemeler için geçerli olan harmonize bir AB yönetmeliği mevcut olmadığı gibi bu konuda çoğu ülkede de özel bir ulusal mevzuat bulunmamaktadır. Gıdaya temas eden metal esaslı madde ve malzemeler üzerinde bağlayıcılığı olan tek harmonize yönetmelik, gıdaya temas eden tüm madde ve malzemeler hakkında genel özelliklerin tanımlandığı EC 1935/2004 çerçeve yönetmeliktir. Bununla birlikte CoE EDQM'in 2013 yılında yayınladığı gıdaya temas eden metal ve alaşımları üzerine kılavuzun kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve otoriteler tarafından kabul edilmektedir.

Gıdaya temas eden alüminyum folyo ve folyolardan imal edilen ürünler ulusal ve uluslararası ilgili tüm standart ve yönetmeliklere uygun olmak durumundadır.

Gıda ile alınan alüminyum miktarının ancak çok küçük bir bölümü gıdaya temas eden alüminyumdan kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile maruz kalınan alüminyum miktarı hesaplanırken kişilerin beslenme alışkanlıklarının göz önüne alınması gerektiği gibi, gıdaya temas eden alüminyum folyo ve folyo ürünlerinin ne sıklıkta ve hangi koşullarda kullandığı da mutlaka dikkate alınmalıdır.

Referanslar

[1] CRU 2016 Raporu
[2] Aluminum Foil-Multitalented Lightweight Packaging, GDA, Tarih: 01.06.2017 <http://packaging.world-aluminium.org/fileadmin/_migrated/content_uploads/FS6_Foil_3.pdf >
[3] <http://www.alufoil.org/history.html > Tarih: 25.05.2017
[4] More Is Less, EAFA Tarih: 25.05.2017 < http://www.alufoil.org/media/more-is-less.html>
[5] < http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1435#> Tarih: 26.05.2017
[6] D.G. Altenpohl, Aluminum: Technology, Applications, and Environment- A Profile of Modern Metal, TMS 1999, Pennsylvania, USA
[7] A. Dutta and G. Dutta, Journal of Applied Packaging Research, 8(3) (2016) 52-60.
[8] < http://www.alufoil.org/media/imagegalleries.html> Tarih: 02.06.2017
[9] F. Beltran-Gonzales, AJ. Perez-Lopez, JM. Lopez-Nicholas and AA. Carbonell Barachina , J Food Quality 31(5) (2008) 596-611.
[10] Aluminum Foil Protects Medicines Perfectly, GDA, Tarih: 01.06.2017 <http://packaging.world-aluminium.org/fileadmin/user_upload/GDA_Foil_Protects_Medicines_2014.pdf >
[11]<http://www.aluminiumleader.com /application/packaging/ > Tarih: 26.05.2017
[12] P.K.T Oldring and U. Nehring, Packaging Materials 7. Metal Packaging For Foodstuffs, ILSI Reports, 2007
[13]< http://www.aluminium-closures.org/cap-facts/#.WT7-Z-QcSmE > Tarih: 02.06.2017
[14] < http://european-aluminium.eu/media/1611/fact-sheet-2-aluminium-in-the-body_revised-jan-2015.pdf >
[15] T. Stahl, H.Taschan and H.Brunn, Environmental Sciences Europe, 23:37 (2011)
[16] R.P. Beliles,The Metals, Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 4th Edition, Vol 2, Part C, Wiley&Sons Inc., 1994
[17] C.G. Elinder, B. Sjörgen, Aluminium, Handbook on Toxicology of Metals, Elsevier, 1986
[18] BS EN 573-3:2003
[19] BS EN 602: 2004
[20] EC 1935/2004
[21] EC 2023/2006
[22] EU 10/2011
[23] EU 2016/1416
[24] Metals and Alloys Used in Food Contact Materials and Articles- A Practical Guide for Manufacturers and Regulators, EDQM, Council of Europe, 2013
[25] A. Maggio, Experiences in the determination of Al release, Metals And Alloys In Contact With Food- How to Establish Compliance With European Regulations And Recommendations, 6-7 November 2014, Ljubljana, Slovenia
[26] R. Bonacina and C. Sinagra, Italia Imballagio, 10 (2014) 69-75.
[27] 16 Ağustos 2014 tarihli Resmi Gazete No: 29090 "Türk Gıda Kodeksi Gıda İle Temas Eden Madde Ve Malzemeler Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"

alus ng

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

GERİ DÖNÜŞÜM ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

ALUMINIUM RECYCLING and SUSTAINABILITY

İkincil Alüminyum İşlem Alaşımları ve Sıvı Metal Kalitesi

Secondary Aluminium Wrought Alloys and Molten Metal Quality

Erman Car[1], Onuralp Yücel[2]

[1]Metkim Ltd, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract

Aluminium is one of the most important materials for sustainable development due to lightweight, high mechanical strentgh and recyclability. Secondary wrought alloys production is increasing, but there are many constraints. Scrap quality, scrap processing, melting and refining technologies are directly effected secondary wrought aluminium cost and quality for subsequent processes. We try to analyse importance of recycled aluminium related production technology and metal quality in this paper.

Özet

Sürdürülebilirlik bağlamında, alüminyum metali ve alaşımları başta hafiflik, yüksek mekanik dayanım ve geridönüşüme uygunluğu nedeni ile çok önemlidir. İkincil alüminyum malzemelerin başta hadde ve ekstrüzyon işlemlerinde kullanım oranları her geçen gün artmaktadır. Ancak alüminyumun çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması nedeni ile, alüminyum hurdalar da nitelik açısından farklılıklar gösterirler. Bu bağlamda ikincil alüminyum işlem alaşımlarının üretim süreçleri ve elde edilen sıvı metalin kalitesi, ardıcıl proseslerin kalite ve maliyetine doğrudan etki etmektedir. Bu çalışma da, ikincil alüminyum üretim yöntemleri ve elde edilen sıvı metalin kalitesi incelenmiştir.

1. Sürdürülebilir Gelişme ve Metalurjik Eğilimler

Bugün insanlığın ulaştığı tüketim düzeyini (!) karşılamak için dünyanın kaynakları yetmiyor, yaşadığımız dünya bir tane ama 1.25 tane dünyaya eşdeğer kaynak tüketiyoruz. Bu 2030'da 2 tane dünya eşdeğer olacak. Sonuç olarak ekosistem artık çalışamıyor, kaynaklar tükeniyor ve toprağı, havayı ve suyu çöp yığınları ile dolduruyoruz.

Ekosistemdeki bu yıkım sonucunda yaşam sürdürülebilir olmaktan çıkıyor. Önümüzde iki büyük sorun var:

- Kaynak kısıtları (hammadde ve enerji),
- Küresel iklim değişimi.

Bu süreç, hem teknik hem de ekonomik anlamda yeni bir kavramın doğmasına yol açtı: "Sürdürülebilir Gelişme". Çevresel yatırımları ölü yatırımlar olarak gören geleneksel sanayi anlayışı, sürdürülebilir gelişme yaklaşımı sayesinde, çevre ile beraber aynı zamanda ekonomik çıkarlarının da korunduğunu görmeye başladı.

Daha 30 yıl önce çevresel duyarlılık, mühendisler için bir engel olarak görülürken, bugün bütün mühendislik etkinliklerinde asal kriterlerden biri olmuştur. Metalurji bilimi, bu yeni teknolojilere öncülük etmektedir. Tüm bu gelişmeler malzemelerin üretim miktarını etkilediği gibi, üretim teknolojilerini ve bilgi gereksinimlerini etkilemektedir.

Sürdürülebilir gelişme bağlamında metalurji ve malzeme mühendislerinin gündeminde dört önemli konu vardır:

- Metalürjik tesislerde, üretimin her aşamasında enerji tüketiminin azaltılması (birincil teknolojilerde iyileştirmeler) ve birincil malzemelerin ikincil malzemelerle ikame edilmesi,
- Metalik ürünlerin yaşam döngülerinin kapalı döngü haline getirilmesi, yani kullanım ömrünü doldurmuş ürünlerin geridönüşüm ile (olabildiğince aynı işleve sahip) "yeni ürün" formuna getirilmesi,

yan- ürünlerin ve atıkların başka endüstrilerde hammadde olarak kullanım olanaklarının araştırılması ve kullanılamayan yan ürün ya da atıklardan enerji üretimi,
- Tasarım aşamasında daha hafif alternatif malzemeler seçilerek ya da yeni alaşımlar üretilerek, malzeme miktarlarının azaltılması (dematerya lizasyon, en tipik örneği taşıtlarda ağırlık düşümü),
- Aynı işlevi görecek daha çevreci, geridönüşüme uygun malzeme ve proseslerin seçimi.

2. Alüminyum Pazarı

Birincil Alüminyum

2015 yılında birincil alüminyum üretimi yaklaşık 58 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.Çin, 32 milyon ton birincil alüminyum üretim kapasitesi ile, dünyanın en büyük kapasitesine sahiptir. Çin'in ardından 3.5 milyon ton ile Rusya gelmektedir ve 2015 yılında, dünyada üretilen toplam birincil alüminyumun yarısı Çin tarafından tüketilmiştir. 2025'de bu oranın % 59'a çıkması tahmin edilmektedir.

Rusal, 2016-2021 yılları arasındaki küresel birincil alüminyum talep artışını % 4.2 olarak tahmin etmektedir. Bunun anlamı, 5 yıl içerisinde 13.5 milyon tonluk ilave bir talep daha doğmasıdır (31).

Bu talep artışının kırınımına bakılacak olursa;

- ~2 milyon tonu, artan otomobil talebi, hızlı kentleşme ve taşıtlarda ağırlık düşümü amacıyla başta otomobil üretimi olmak üzere taşımacılık sektöründen,
- ~800 bin tonu, nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak inşaat sektöründen,
- ~900 bin tonu bakır iletkenlerin alüminyuma dönüştürülmesi nedeni ile elektrik sektöründen,
- ~250 bin tonu artan orta sınıf nüfusu nedeni ile dayanıklı tüketim malları sektöründen,
- ~430 bin tonu değişen tüketici davranışları nedeni ile ambalaj ve folyo sektöründen,
- ~200 bin tonu endüstrileşme ve teknolojik gelişimlere bağlı olarak mühendislik ve makine sektöründen kaynaklanacaktır (31).

Çin dışındaki küresel birincil alüminyum üretim ve tüketim dengesine bakıldığında ise, özellikle Amerika'da birincil tesislerin kapatılması ve küresel olarak herhangi bir yeni yatırım beklentisi olmaması nedeni ile, küresel denge 1-2 milyon ton/yıl açık verecektir.

Alüminyum endüstrisinde, son 20 yıl içinde yaşanan eğilimler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Son 20 yıl içerisinde kurulan yeni birincil alüminyum tesisleri, geleneksel eğilim olan hammadde kaynakları yakınına değil, enerji kaynaklarının yakınlarına kurulmuştur. Örneğin Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Katar ve Bahreyn,
- Başta Çin, Uzak Asya ve Orta Doğu olmak üzere yeni orta sınıfın geliştiği, yeni tüketim bölgeleri oluşmuştur,
- Birincil alüminyum üretim teknolojilerine yönelik araştırma-geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Her ne kadar karbotermik redüksiyon ve inert anot teknolojileri henüz endüstriyel ölçekte kullanılabilir hale gelmese de, Uluslararası Alüminyum Enstitüsü'nün verilerine göre küresel ölçekte ton birincil alüminyum başına elektrik enerjisi tüketimi 1980 yılında 16 951 kWs iken 1990 yılında 15 381 kWs'e ve 2016 yılında 14 318 kWs'e düşürülmüştür. Burada Çin Alüminyum endüstrisinin gösterdiği gelişim ilginçtir. 2000 yılında ton birincil alüminyum başına elektrik enerjisi tüketimi Çin'de 15 479 kWs ve Kuzey Amerika'da 15 772 kWs iken, 2016 yılında Çin'de 13 599 kWs'e ve Kuzey Amerika'da ise sadece 15 613 kWs'e gerilemiştir. Burada temel neden, Çin'in Bütün Soderberg anotlu tesisleri kapatması ya da ön-pişirilmiş anotlu tesislere çevirmesi ve Kuzey Amerika'da ise halen Soderberg anotlu tesislerin çalışmasıdır. Benzer iyileşim anot etkisine bağlı olarak perflorokarbon salınımlarında da gözlenmektedir. Küresel ölçekte 1990 yılında ton alüminyum başına 5.06 ton CO_2 eşdeğeri perflorokarbon salınmı yapılırken, bu değer 2000 yılında 2.31 tona ve 2016 yılında 0.63 tona düşürülmüştür (10).
- Sürdürülebilir gelişme anlayışı içinde, kaynak verimliliği, çevresel kaygılar, hammadde maliyetini düşürmek ve bulunabilirliğini çeşitlendirmek amacı ile ilerleyen döküm teknolojilerine bağlı olarak, ikincil malzeme kullanımı artış halindedir. Yarı-ürün üreten tesislerde hurda kullanımı artmakta ya da bu tesisler ikincil alüminyum üreten tesislerle bir araya gelmektedirler. Örneğin Novelis 2016 yılı Sürdürülebilirlik Raporu'nda açıkladığı üzere 2009 yılında sadece % 30 oranında ikincil malzeme kullanırken, 2016 yılında bu oranı % 53'e çıkartmıştır (11).Commonwealth Aluminum ve Imco Recycling birlikte Aleris'i oluşturmuşlardır,

- BRIC ülkeleri (Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin), Avrupalı ve Amerikalı alüminyum tesislerini satın almaya yönelmiştir. Örneğin Hindalco Novelis'i satın almıştır,
- Başta otomotiv olmak üzere taşıtlarda ağırlık düşümü önemli bir gündem haline gelmiştir. Küresel sera gazı salınımının yaklaşık % 19'u taşımacılık kaynaklıdır ve salınımın azaltılmasının en önemli yöntemlerinin başında, güvenlik kriterlerinden ödün vermeden araçlarda ağırlık düşümü ve dolayısı ile daha az yakıt tüketimi gelmektedir.

Allied Market Research'ın 2017 yılında hazırladığı bir rapora göre, küresel alüminyum pazarının büyüklüğü 2015 yılında 133 milyar 564 milyon dolardır ve 2022 yılında yıllık % 3.3 büyüme öngörüsüyle 167 milyar 277 milyon dolara ulaşması beklenmektedir (22).

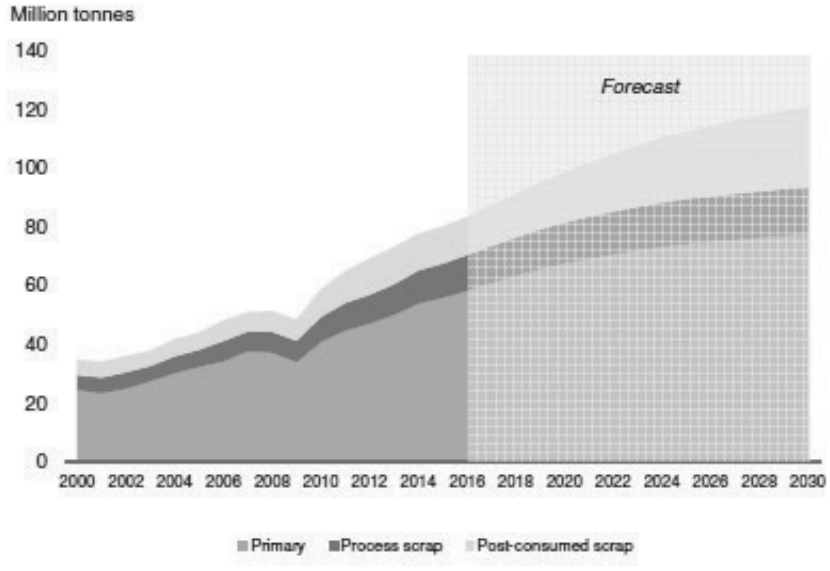
2015 yılında üretilen toplam alüminyumun yaklaşık % 25'i taşımacılık sektöründe tüketilmiştir ve sektör içinde alüminyum kullanımının artış hızı 2016-2022 aralığında % 3.6 olarak tahmin edilmektedir. Yani küresel alüminyum talebinin artışında itici güç taşımacılık sektörü olmuştur ve bu ağırlık daha da devam edecektir.

Ağırlık düşümü hedeflerine ulaşma amacı ile 2015 sonrası çalışmalar, araç gövdesinde hadde, ekstrüzyon ve dövme ürünlerinin kullanımına yoğunlaşmıştır.

Öte yandan otomobillerde ağırlık düşümü yalnızca yakıt ekonomisi ve CO_2 salınımının azaltılması için değil, aynı zamanda elektrikli araçların, biyodizel yakıt kullanımının ve hibrit araçların geliştirilmesi için de kritik bir öneme sahiptir.

Son yıllarda, alüminyum ve alaşımları geleneksel endüstrilerin yanında yenilenebilir enerji sistemleri ve elektronik endüstrilerinde de gittikçe artan oranlarda kullanım alanı bulmaktadır.

Alüminyum endüstrisine gittikçe yerleşen "kent madenciliği" kavramı, birincil malzemelerin ikincil malzeme ile ikame edilerek döngüsel ekonomi yaklaşımının işlevsel hale gelmesi ve özellikle Çin ve Hindistan'da ikincil alüminyum üretiminin artması, parlak bir gelecek sunmaktadır. Çin 2008 yılında 2.1 milyon ton alüminyum hurda kullanırken bu değer 2014'de 4.3 milyon tona çıkmıştır ve artması gözlenmektedir.



Şekil 1: Küresel birincil ve ikincil alüminyum talebi (21).

3. İkincil Alüminyum Üretimi

Bilindiği gibi cevherden üretilen metalik malzeme üretimi "birincil üretim", hurda ve curuftan metal kazanımı ise "ikincil üretim" olarak tanımlanır.

Metaller, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında sistematik geridönüşüme daha uygun malzemelerdir. Çünkü;

- Metalik hurdaların ekonomik bir değeri vardır,
- Hurda üretim miktarları yüksektir ve ikincil bir ekonomi söz konusudur,
- Ancak, geridönüşümü kısıtlayan, metal ve metal-dışı kirlilikler prosesin sorunlu hale gelmesine neden olur (23).

Birincil alüminyum üretimi enerji yoğun bir üretimdir. Dünyada üretilen toplam elektriğin % 3'ünü ve hidroelektrik santrallerinde üretilen elektriğin % 10'nunu tüketir.

UNEP'in 2011 yılında hazırladığı bir rapora göre, periyodik tabloda yer alan elementler için; toplam üretimde ikincil hammaddelerin payı aşağıdaki tabloda verilmiştir (2).

Birincil alüminyum üretimi için yaklaşık ton alüminyum başına 174 GJ enerji gerekirken, ikincil üretim sadece 13.6 GJ gerekmektedir. Buna karşın örneğin AB ülkelerinde 1 ton birincil alüminyum üretimi ve dökümü sırasında 1.5-2.7 ton arasında CO_2 üretilirken, ikincil üretimde bu salınım değeri 0.2 t/CO_2'ye düşmektedir.

Teknolojik eğilim, yenilenebilir enerji sistemleri, daha hafif taşımacılık araçları, düşük karbon salınımları ve sera gazının kontrolü ve ikincil metal üretimlerinin arttırılması konuları üzerinde odaklanılacağını göstermektedir.

Tablo 1: Bazı metaller için ikincil metal üretiminin toplam üretim içindeki payı (2):

› % 50	**% 25-50**	**% 10-25**	**% 1-10**	**‹ % 1**
Nb, Ru, Pb	**Al**, Mg, Mn, Fe, Co,Ni,Ge, Rh, Pd, Mo, Ag, In, W, Pt, Hg	Be, Cr, Ti, Cu, Ga, Zn, Cd, Sn, Sb, Ta, Re, Ir	Se, La, Cu, Pr, Nd, Gd, Dy	Li, As, Y, Ba, tl, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Alüminyum ürünlerin yaşam döngüsü analizinde, yarı-ürün üretimine kadar çevreye "zarar" verme söz konusu iken, final üretim ve kullanım ömrü süresince geridönüştürülebilir oluşu ve özellikle taşımacılık sektöründe hafifliği nedeni ile CO_2 salınımı azaltıcı etkilerinden dolayı çevreye "yarar" getirir.

Dilimize "geridönüşüm" olarak çevrilen ve yerleşen "recycling" kavramı, temelde referans bir kavramdır. Yani, kabaca alüminyum içeren hurda ve curufların yeniden proses edilerek, alüminyumun gerikazanımını ve üretim döngüsüne dahil edilmesi anlamına gelir. Eğer alüminyum hurda aynı işeve sahip özgün ürüne dönüştürülebilirse, bu döngü kapalı üretim döngüsüdür. Kullanılmış alüminyum içecek kutuları, kapalı döngü üretime örnek verilebilir. Kapalı döngü ikincil üretim çoğunlukla kısmen hurda kullanan haddehane dökümhaneleri ve biyet dökümhanelerinde, işlem alaşımlı hurdalarının kullanımına uygundur. Kapalı döngü üretim, hem proses kolaylığı ve standardizasyonu, hem minimum ya da hiç alaşım elementi ilavesi gereksinimi ve kalite açısından "ideal" üretim şeklidir.

Ancak, farklı standartlarda tanımlanmış 450 den fazla alaşımı ile alüminyum metali hemen hemen her endüstride kullanım alanı bulmuştur ve bu aynı zamanda, kalite ve fiyat anlamında çok geniş ölçekli hurda ve curuf üretimine neden olmaktadır. Endüstriyel geridönüşüm uygulamalarında sistem, genellikle açık döngü çalışır, yani alüminyum hurdadan, özgün ürün değil, farklı ürünler üretiliebilir. Bu noktada karşımıza iki alt kavram daha çıkarır: "astgeridönüşüm (downcycling)" ve "üstgeridönüşüm (upcycling)". Astgeridönüşüm, belirli bir kaliteye sahip ikincil hammadde ile, daha düşük kaliteli ürün üretmek (örneğin profil ve levha hurdaları ile demir-çelik sanayinde oksijen giderme amaçlı olarak kullanılan alüminyum oksijen giderici deoksidant üretimi); üstgeridönüşüm, belirli bir kaliteye sahip ikincil hammadde ile, daha kaliteli alüminyum ürün üretmek (örneğin kullanılmış alüminyum içecek kutuları ve birincil külçenin %25:%75 oranlarında karıştırılarak otomotiv sanayinde kullanılan AA5754 alaşımlı levha üretmek) olarak tanımlanabilir. Günümüz ikincil alüminyum sürecinde, hurda toplama ve hazırlama zorlukları nedeni ile "açık döngü üretim" daha yaygındır.

<u>İkincil Alüminyum Üretiminde Yaşanan Zorluklar:</u>

Birincil alüminyum üretimi için elektrik enerjisi ne kadar önemli ise, ikincil alüminyum üretimi için de hurda bulunabilirliği o kadar önemlidir. İkincil alüminyum üretiminde en önemli kısıt hurda bulunabilirliğidir. Ülkelerin çevre politikaları, tüketici bilinç seviyesine ve yasal düzenlemelere bağlı olarak ikincil kaynaklar genellikle tanımsız ve kontrol dışıdır ve erişim kısıtlıdır. Son yıllarda Çin ve Hindistan'ın da hurda ithalatına başlaması ile Jeopolitik etkiler de (örneğin Çin'in Afrika üzerindeki etkisi) önem kazanmıştır.

Öte yandan alüminyum ürün çeşitliliğine bağlı olarak, hurda çeşitliliği ve çoğu zaman alüminyum hurdaların diğer metal ve metal-dışı yapılarla birlikte oluşu hurda ayırma, hurda hazırlama, ergitme ve rafinasyon sırasında sorunlar yaratır ve aynı zamanda prosesin açık ya da kapalı döngü halinde ilerleyip ilerlemeyeceğini belirler. Yüksek kaliteli işlem hurdaları, çoğu zaman istatistiklere dahi girmeden, işletme içinde tüketilmektedir. Bütün bu etmenlerin sonucunda pratikte astgeridönüşüm yaygındır, ancak başta metal kaybı, malzemenin orijinal işlevsel özelliklerinin kaybı, verimsiz kaynak kullanma ve çoğu zaman daha kaliteli hurda ya da birincil malzeme ile düzeltme gerektirir.

Bu bağlamda, sürdürülebilir bir alüminyum endüstrisi için önemli bir görev de, "geridönüştürülebilir alaşımlar tasarımı (recycle-friendly alloys)"dır. Geridönüştürlebilir alaşımlar tasarlanırken, daha az sayıda alaşım çeşidi ve hurda hazırlama sırasında alüminyumun diğer metal ve/veya metal-dışı eklentilerden daha kolay serbest kalması dikkate alınmaktadır.

İkincil Hammaddeler

İkincil alüminyum endüstrisinin hammaddeleri genel aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

İşlem hurdası (process scrap, runaround scrap) : Alüminyum üretim süreçlerinde oluşan işlem hurdalarıdır. İşlem hurdaları büyük oranda istatistiklere dahi giremeden işletme içinde tüketilirler.

Eski hurda (old scrap, capital scrap, post-consumer scrap): Kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum ürünlerdir.

Curuf (dross) : Alüminyum ergitme, rafinasyon, metal transferi ve döküm süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve diğer (oksit, nitrür, karbür vb) içeren yapılardır.



Şekil 2: Kısmen hurda işleyen haddehane ve billet dökümhaneleri için tipik yeni ve eski hurdalar

İkincil Alüminyum Üretiminde Kısıtlar

İkincil alüminyum proseslerinde üç tip metal kaybından söz etmek olasıdır:

- Malzeme kayıpları: Hurda hazırlama sırasında oluşan fiziksel kayıplar ve ergitme ve rafinasyon işlemleri sırasında oksidasyon nedeni ile oluşan kayıplar,
- Kalite kayıpları: Ergitme ya da rafinasyon işlemine giren metalin kimyasal kompozisyonu ile çıkan metalin kimyasal kompoziyonu arasındaki fark ile anlaşılabilen kayıplar,
- Düzeltme kayıpları: Hedef alaşıma ulaşmak için, ikincil metalin içerdiği istenmeyen elementlerin konsantrasyonunu azaltmak amacı ile yapılan birincil metal ilavesidir.

Bu üç temel kayıp alüminyum alaşımlarının termodinamik, özelliklerine ve proses teknolojilerine bağlıdır ve proses maliyetinin ana teknolojik gerekçeleridir.
İkincil alüminyum üretiminde -özellikle dar kimyasala bileşim aralığına sahip işlem alaşımlarında- proses koşullarının doğası gereği alaşımın kimyasal bileşimi değişime uğrar. Bu değişimin nedenleri:

- Alaşım elementlerinin bileşimleri değişir, çünkü alüminyumun oksidasyon potansiyeli magnezyum dışındaki diğer tüm alaşım elementlerinden (Si, Cu, Mn, Zn, Fe) daha yüksektir. Bu nedenle ergime sırasında bir miktar magnezyum ile birlikte alüminyum da okside olur,
- Ergime sürecinde başta oksitler olmak üzere bir ya da birden çok farklı inklüzyonlar oluşur,
- Hurdanın içerdiği organikler ve diğer metallere bağlı olarak, ikincil ergiyiğe özgün yapısına bozan ilave elementler bulaşır.

Endüstriyel deneyimlere göre, alüminyum alaşımlarında alaşım elementleri de dahil yaklaşık 45 element yer alabilir. Bu elementlerden ancak 6 tanesi (magnezyum ve çinko başta olmak üzere ve alkaliler) ergitme sırasında oksidasyon ya da rafinasyon sırasında gaz ve katı flakslarla giderilebilir. Diğerleri için tek yöntem daha temiz hurda ya da birincil külçe ilavesidir. Benzer şekilde, ikincil ergitme sırasında alaşım elementlerinde olan eksilme de ancak yeni alaşım elementleri ilavesi ile karşılanabilir.

Hurda ayırma ve hazırlama teknolojileri, ergitme sistemleri ve rafinasyon teknolojileri ile birlikte başta birincil malzeme ve alaşım elementleri katkısı gereksinimi, flaks ve diğer katkılar, metal ve enerji verimi ve yetkin işgücü dikkate alındığında, LME değişimlerine bağlı olarak zaman zaman ikincil alüminyum üretim maliyetleri –özellikle işlem alaşımlarının geridönüşümünde- birincil alüminyum üretimine göre, proses maliyeti anlamında ekonomik olmayabilir.

Bunun yanında teknik nedenlerle de birincil alüminyum gereksinimi devam edecektir. Çünkü eski hurdaların ayrılması ve işlenmesi sırasında gereken ileri teknoloji ve bunun kullanımı, yeterince esnek olmayan ergitme ve rafinasyon teknolojileri ve engellenemeyen metal ve enerji kayıpları ve yetkin işgücü ihtiyacı ikincil alüminyum üretiminin en önemli teknolojik kısıtlarıdır. Öte yandan ikincil alüminyum üretiminin birçok avantajı olmasına karşın, en önemli dezavantajı metal saflığıdır. Ulaşılabilecek metal saflığı çok büyük oranda hurda ayırma ve hazırlama proseslerine bağlıdır. Bu anlam da ikincil metal üretimi, henüz küresel talebi karşılamaktan uzaktır:

- Başta folyo ve elektrik uygulamaları olmak üzere, birincil metal talebi vardır,
- Genel alüminyum talep artışını, ikincil alüminyum tek başına karşılayamamaktadır,
- Alüminyum ürünlerin uzun kullanım ömrü, hurda bulunabilirliğini kısıtlamaktadır,
- Proses kayıpları, ikincil alüminyum üretim ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. (8)

İkincil Hammadde Stoğu

Avrupa Alüminyum Birliği'nin tahminlerine göre, alüminyum metalinin endüstriyel olarak kullanımına başlandığı 1880 yılından günümüze kadar, yaklaşık 900 milyon ton alüminyum üretilmiştir. Bunun yaklaşık % 35', inşaatlarda, % 30'u elektrik iletimi ve makine imalatında ve % 30'u ise ulaşım araçlarında kullanılmıştır. Bu metal, ikincil hammadde kaynağı olarak düşünüldüğünde, dünyanın 17 yıllık birincil alüminyum gereksinimine eşdeğer miktardadır.

Günümüzde yalnızca alüminyum metalinin ikincil üretimi ile yılda 90 milyon tondan fazla CO_2 salınımı azaltılmakta ve 100 000 GWsaat'ten fazla elektrik enerjisi tasarruf edilebilmektedir. Bu değer Hollanda'nın yılık elektrik enerjisi tüketimi kadardır.

Eğer bütün koşullar ideal olsaydı, yani kullanım ömrü dolmuş eski hurdanın % 100'ü toplanabilseydi, bu hurdalar % 2 kayıp ile hazırlanıp, % 5 kayıp ile yeniden üretilseydi eski hurdaların % 93'ü yeniden tüketime katılacaktı. Ancak bugünkü dünya pratiği henüz bu ideal koşullardan çok uzaktadır. Üretilen ve ömrünü dolduran hurdanın ancak % 50'si toplanabilmekte, bu hurdalar % 20 kayıp ile hazırlanmakta ve % 10 kayıp ile yeniden üretim sürecinden çıkmaktadır. Yani pratikte eski hurdanın sadece % 36'sı yeniden kullanıma girebilmektedir. Bütün amaç hurda toplamanın yasalarla desteklenmesi, hurda hazırlama, ayırma, ergitme ve metal rafinasyonu tekniklerinin geliştirilmesi ve yeniden üretilebilirliğe uygun yeni alaşım ve tasarımlar üzerinde çalışmalar yaparak, bu % 64'lük potansiyeli maksimum oranda değerlendirebilmektir.

İkincil Alüminyum Tesisleri

İkincil alüminyum endüstrisi içinde iki tesis grubu değerlendirilebilir:

1. Tamamen hurda kullanarak ağırlıklı olarak döküm alaşımı külçe ve deoksidant üreten tesisler,
2. Kısmen ve temiz hurda kullanarak billet, slab ve dökme levha üreten dökümhaneler

Alüminyumun ikincil üretimi alüminyumun yüksek oksidasyon potansiyeli ve ikincil hammadde çeşitliliği nedeniyle, diğer metallerin ikincil üretimine de göre daha karmaşık ve zordur.

İkincil tesislerin ana hammaddesi "kent madenleri" olduğu için, kent merkezine yakın yerlerde kurulurlar. Bu nedenle tesisin kendi teknolojisinin de çevreye dost olması gerekir.

İkincil İşlem Alaşımları

İkincil işlem alaşımı üretimi, ikincil döküm alaşımları üretiminden daha karmaşık ve maliyetlidir. Çünkü döküm alaşımlarının alaşım sınırları ve impurite toleransları daha geniştir. Yaygın döküm alaşımları olan Al-Si

grubunun tüm alt alaşımları birlikte kullanılabilirken; işlem alaşımları, dar kimyasal bileşim aralığına sahip olduğu için çoğu zaman alaşım bazında ayırım gerektirir.

Günümüz ikincil malzeme üretiminde önemli bir konu da, kalite kayıpları yaşamamak için uygulanan proselerin maliyetlerinin ve hammadde karışımlarının sonucunda oluşan maliyetin, birincil üretim maliyetleri rekabet edebilmesidir.

İkincil üretim maliyetleri;

- Düzenli ve sürdürülebilir hurda temini,
- Hurda ayırma ve hazırlama teknolojileri,
- Birincil üretim maliyetleri ile rekabet edebilir ikincil üretim maliyetleri,
- İkincil işlem alaşımı ürün kalitesinin pazar tarafından kabul edilmesine bağlıdır (9).

Düşük kaliteli hurda daha ucuzdur, ancak uygulanacak olan teknolojiye bağlı olarak kayıplar iyi hesaplanmalıdır. Yani daha ucuz hurdanın daha pahalı maliyetle proses edilmesi ile, daha pahalı hurdanın daha ucuz maliyetle proses edilmesi arasındaki dengenin kurulması önemlidir.

4. İkincil İşlem Alaşımları Üretim Riskleri

İkincil alüminyum üretim süreci, birincil alüminyum üretim sürecine göre daha karmaşık ve özgün bir üretim sürecidir. Metalürjik prosesler arasında "örtük bilgiye" en çok gereksinim duyulan endüstrilerden birisidir. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanının artması aynı zamanda ikincil alüminyum kaynaklarının çeşitlenmesi anlamına gelir. Bu bağlamda, ikincil alüminyum üretimi standart bir proses değildir. Farklı hurdalar farklı ergitme sistemlerinde farklı verimlilik ve kalite sonuçları verir. Her bir durum için sorunu analiz etme ve çözüm bulma yetisi gerekir. Aynı zamanda verimli bir üretim prosesi için diğer mühendislik disiplinleri ile yakın ilişki ve etkileşim gerekmektedir.

<u>Ergitme ve Döküm Sırasında Yaşanabilecek Sorunlar</u>

a. Patlama Riski :

Eğer ikincil hammadde nem, su, pas ya da nitratlar gibi kimyasallar içeriyorsa, ergitme sırasında patlama riski doğabilir.

b. Curuf Oluşumu ve Metal Kaybı :

Birincil ya da ikincil ergitme, ergimiş metal transferi ve rafinasyon süreçlerinde alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden ötürü, yani oksidasyon sonucu oluşan ve şarja bağlı olarak metalik ya da metalik olmayan bileşenler içeren amorf (düzensiz) yapıdır. Oksidasyon ile cüruf oluşumu tersinir olmayan bir tepkimedir. Yani oluşan oksitin termodinamik kararlılığı yüksektir (Gibbs serbest enerjisi negatiftir).

Alüminyum curufu, alüminyum, alüminyum oksit ile hurda ve alaşım elementleri ve kullanılan flakslara bağlı olarak diğer metal oksit, alkali ve halojenli bileşiklerden oluşur. Alüminyum curufunun başlıca özelliği, var olan oksit zarlarından kafes benzeri yapılar oluşturarak, ergitme sırasında tiksotropik (durunca donan, sallanınca sıvılaşan) davranışı ile metal damlacıklarını hapsetmesidir. Curuf içinde hapsolan metal damlacıkları, ergitme sürecindeki metalik alüminyum kaybının temel nedenidir. Ancak curufun içerdiği metal miktarı ile curuftan kazanılabilen metal miktarı, metal ergitme, curuf soğutma ve curuf ergitme işlemlerine bağlı olarak farklıdır. Diğer bir deyişle curuf içine hapsolan metalin tamamını kazanmak olanaksızdır. Soğuma sırasında termit reaksiyon (ince toz alüminyum taneciklerinin büyük ölçüde ısı salan reaksiyonları) sonucu tipik olarak dakikada % 1-2 oranında metalik alüminyum kaybı söz konusudur.

Genel anlamda şarjın kimyasal kompozisyonu –her bir bileşenini farklı oksidasyon davranışından ötürü- oksidasyon oranını etkiler. Bu her bir bileşenin oksidasyona katkısı Pilling-Bedworth Oranı (PBR) ile hesaplanabilir.

PBR >1 olduğunda, oksit yapısı kırılgan ve koruyucudur. Oksit filmi ouştuktan sonra oksidasyon oranı hızla düşer.

PBR <1 olduğunda, oksit yapısı gözenekli (porous) ve hapsettiği metali minimum hacim ile örtebilir şekildedir. Yani, koruyucu oksit filmi oluşmaz ve ergitme sonrası oksidasyon oranı hızla artar.

Tablo 2: Bazı elementlerin Piling-Bedworth Oranları:

Element	Cu	Fe	Ni	Mg	Al	Zn	Pb	Sn	Ca	Na	K	Be	Si
PBO	1.74	2.18	1.50	0.81	1.27	1.64	1.27	1.33	0.65	0.58	0.45	1.68	1.88

Tablodan görüldüğü gibi, PBR <1 koşulunu sağlayan Mg.Ca,Na ve Li gibi elementler oksit-yapıcı olarak bilinir.

Burada özellikle Mg en kritik olanıdır. Çünkü oksijene olan ilgisi alüminyumdan daha yüksektir ve selektif oksidasyon ile curufa çok daha kolay geçer.

c. Metal Kalitesi

Birincil alüminyum tesislerinde ana katışkı (inklüzyon) kaynağı elektroliz hücrelerindeki elektrolit, elektrolitten tutma fırınlarına taşıma sırasında ortamdaki nem ve tutma fırını işlemlerinden gelen katışkılar (impüriteler) iken, ikincil tesislerde hurda ve ergitme koşullarından gelen katışkılardır.

İkincil metallerde ise ergitilen hurda ve curufun kompozisyonuna, yapısına ve ergitme prosesine bağlı olarak çok çeşitli impüriteler görülür. Fe ve Zr, Alkali metaller, alüminyum ve diğer metal oksitler, Ti, B_2 bunların arasındadır. Hurdalar çeşitli hidrokarbonlar, boya ve lak ve yağ içerirler. Furanlar, dioksinler ve çeşitli gaz bileşikleri bu tür hurdaların ergitilmesi sırasında üretilir. Ayrıca ergitilen malzemenin analizine bağlı olarak, açık döngü yeniden üretim işlemlerinde çeşitli metaller sorun yaratır. 7XXX serisi hurdalardan gelen Li ve Zn, 2XXX serisi hurdalardan gelen Cu, 3XXX serisi hurdalardan gelen Mn, 4XXX serisi hurdalardan gelen Si, 5XXX serisi hurdalardan gelen Mg ve 8XXX serisi hurdalardan gelen Fe başlıcalarıdır.

Tablo 3: Birincil metalden gelen tipik safsızlıklar.

Birincil metal	**Tipik özellikler**
Kimyasal bileşim	≥ % 99.5 Al
Hidrojen	0,1-0,3 ppm
Alkaliler	
Na	30-150 ppm
Ca	2-5 ppm
Li	0-20 ppm
İnklüzyonlar (Podfa ölçümünde)	>1 mm^2/kg Al_4C_3

Tablo 4: İkincil metalden gelen tipik safsızlıklar

İkincil metal	**Tipik özellikler**
Kimyasal bileşim	Alaşımlandırılmış ya da hedef bileşime yakın
Hidrojen	0.2-0.6ppm
Alkaliler	
Na	≤10 ppm
Ca	5-40 ppm
Li	<1 ppm
İnklüzyonlar (Podfa ölçümünde)	0.5<5.0 mm^2/kg Al_2O_3, MgO, $MgAl_2O_4$, Al_4C_3, TiB_2
Metalik safsızlıklar	Fe, Zr, Zn, Pb, Mg

Bunlara ek olarak, dökümhane işletmeciliği sırasında, aşağıda sıralanmış gerekçeler nedeni ile metalin içine katışkıların girmesi sık rastlanan durumlardır:

- Fırın işletmeciliği sırasında kullanılan, koruyucu boya ile kaplanmamış el aletleri, ergiyiğin demir kapmasına,
- İşletme ortamının kirli olması, ergiyiğe toz ve kalıntıların girmesine,
- Kontrolsüz yakıcılar, hem curuflaşma eğiliminin artmasına hem de ergiyiğin hidrojen kapmasına,
- Fırın kapısının fazla açılıp kapanması ve yetersiz izolasyon nedeni ile fırın içine kaçak hava girmesi ergiyiğin hidrojen gazı kapma riskinin artmasına,

- Doğrudan alev teması, hurda üzerindeki organiklerin yanarak oksit ve kalıntı oluşturmasına ve böylece hem ergiyiğin kirlenmesine hem de metal kaybına neden olur.

Ergimiş alüminyum yüzeyinde oksit filmi oluşumu, malzemenin doğası gereği kaçınılmazdır. Oksijenin ergimiş alüminyum içindeki çözünürlüğü neredeyse yoktur. Ancak α-Al_2O_3, ϒ- Al_2O_3, $MgAl_2O_4$ (magnezyum alüminat spinel) gibi formlarda segrege olabilir- ve bu formlar ergiyik içinde çözünemez.

Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr and Mo, Bor ile bir araya geldiğinde ergimiş alüminyum içinde düşük çözünürlüğe sahip kararlı, eş biçimli (isomorphous) diboridleri oluşturur. Alaşım içinde çok küçük miktarlarda olan bu elementler, uzaklaştırılmadığı takdirde, ayrı ayrı diborid formunda çökelerek, malzeme özelliklerini bozar. Küçük boyutlu diborid parçacıklarının çöktirme ya da filtrasyon ile ergiyikten uzaklaştırılması zordur. Uzaklaştırılamayan parçacıklar demetler halinde tabakalar oluşturarak, oksit filmi parçaları içine girerler ve malzemenin özellikle kırılma tokluğunun düşmesine, yüzey kusurlarına ve işleme sırasında zorlanmaya ve işleme aletlerinin çabuk aşınmasına neden olurlar.

Genellikle Bor, titanyum ile birlikte tane inceltme amacı ile ergiyiğe verilir. İkincil üretimde, hurdanın da bir miktar Ti ve B içereceği dikkate alınarak, tane inceltici miktarı hesaplanmalıdır. Aşırı miktarda ti ve B yukarıda sözünü ettiğimiz kalıntı sorunlarına yol açabilir.

Diğer bir kalıntı ise Al_4C_3'dür. Alüminyum karbür elektroliz hücrelerinden gelebileceği gibi, ergiyik metalin grafit rotor ya da karıştırıcılarla temasından, pik demirden yapılmış tandiş ve seramik filtre kutularından, özellikle yakıt olarak fuel oil kullanıldığında yakıcılardan ve hurdanın içerdiği yağ, boya ve organik kirliliklerin karbonlaşmasından kaynaklanabilir. Küçük Al_4C_3 parçacıkları, ergiyik yüzeyinde askıda bulunan alüminyum oksit filmi içerisine demetler halinde girer ve oksit filmi ile birlikte döküm sırasında kalıba taşınarak, kalıntı oluşturur. Bu kalıntılar, katılaşma sırasında metal yüzeyinde oylumlu kabarıklıklar oluşturarak yüzey kalitesini bozarlar. Saf alüminyumun ergime sıcaklığında Al_4C_3 çözünürlüğü % 0.001'dir. Genellikle karbür kalıntılarının % 0.0002'den az olması istenir.

Bazı işlem alaşımlarında, döküm koşullarında gevrek intermetalik fazların oluşumuna neden olan iri birincil kristaller oluşabilir. Bu intermetalik fazlar ardıcıl işlemlerde alaşımının mekanik özelliklerini ve işlenebilme yeteneklerini bozar. Bu sorundan kaçınmak için, alaşımımn kimyasal bileşimi özenle korunmalıdır. Örneğin AA7075 alaşımında $CrAl_7$ fazının % 0.236'dan yüksek olması istenmez ve bu değeri korumak için "krom eşdeğeri" bağıntısı geliştirilmiştir: Cr + 2.03 V + 0.54 Ti + 0.24 Mn + 0.55 Fe. Bu katsayılar, $CrAl_7$ fazının oluşumu için çeşitli elementlerin Cr atomlarının yerini alma eğilimi ile ilgilidir. Bu eğilim farklı alaşımlar için farklı bağıntılarla ifade edilir. AA5083 alaşımında krom eşdeğeri: Cr + 3.09 V + 0.79 Ti + 0.15 Mn + 0.027 Fe şeklindedir ve % 0.250'yi geçmesi istenmez.

Benzer şekilde bazı alaşımlarda da $ZrAl_3$ tipi fazların oluşumunu kontrol etmek için " zirkonyum eşdeğeri" bağıntısı kurulmuştur. AA2219 alaşımı için Zr + 0.2 Ti + 0.02 V > 0.13. $MnAl_6$ tipi fazların oluşumu için de "mangan eşdeğeri" hesaplanabilir. AA5XXX serisi alaşımlar için bu değer Mn + Fe + 3Cr + 5 Ti + 0.2 Mg + 0.3 Cu + 0.7 Si > 1.9 şeklindedir.

Gaz Boşluğu

Katılaşma sıcaklığındaki alüminyum içindeki hidrojen çözünürlüğü, ergime sıcaklığındaki hidrojen çözünürlüğünün yalnızca % 10'u kadardır. Bu ergiyik içinde bulunan hidrojenin katılaşma sırasında aşırı doymuş olarak ve soğuyan alüminyumda normalden daha fazla bulunabileceği anlamına gelir. Ticari döküm tekniklerinde hızlı katılaşma uygulanır. Bu durumda hidrojen katılaşan alüminyumdan kaçmak için zaman bulamaz ve katı alüminyum içinde hidrojen boşluklarının oluşmasına neden olur.

En önemli hidrojen kaynağı, genellikle atmosferde nem olarak bulunan su ile ergimiş alüminyum arasındaki reaksiyondur. Su buharı içinde bulunan hidrojen gazı, ergimiş alüminyum ile kimyasal reaksiyona girerek, alüminyum içinde çözünür.

$$3H_2O_{(gaz)} + 2Al_{(sıvı)} \rightarrow Al_2O_{3(katı)} + 3H_{2(gaz)}$$

Reaksiyon sonucu oluşan moleküler hidrojen, sıvı alüminyum içinde yeniden çözünerek monoatomik hale geçer:

$$H_{2(gaz)} \rightarrow 2\underline{H}_{(Al)}$$

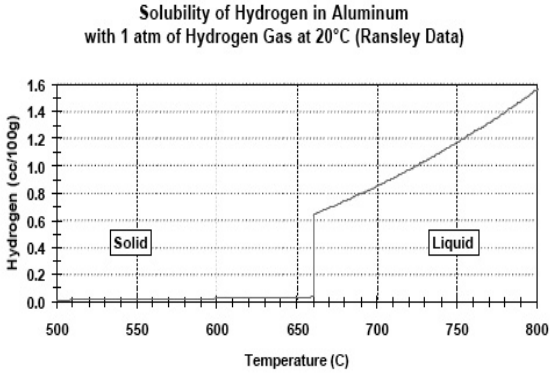
Monoatomik hidrojen katı alüminyum kübik yüzey merkezli kristal kafes yapısı içinde çözünebilir.

Hidrojen gazının ergimiş alüminyum içindeki çözünürlük oranı, alüminyumun ergime sıcaklığı olan 660.4°C'de, 100 gram alüminyum içinde 2.2 cm^3 'dür. Bu oran katılaşma sırasında, katılaşma sıcaklığında 100 gram alüminyum içinde 0.05 cm^3 'e düşer.

Li ve Mg hidrojenin ergimiş alüminyum içindeki çözünürlüğünü arttırırken, Cu, Si ve Fe tersine azaltır.

Bu reaksiyon yağlı, yaş ve korozyona uğramış hurdaların yeniden ergitilmesi ile, sıvı alüminyumun havadaki nem ile reaksiyonuyla ve yakıtlardan gelen nem ile oluşabilir.

Sıvı alüminyumun hidrojen ile reaksiyonunda oluşan bir diğer ürün ise Al_2O_3 olacaktır. Alüminyumoksit sıvı metal yüzeyinde toplanır ve ergiyik için impürite kaynaklarından birisidir.



Şekil 3: Alüminyum içinde hidrojen çözünürlüğü

Hidrojen kaynakları:

- Atmosferdeki nem,
- Islak malzeme şarjı,
- Özellikle taşıma potalarının kullanıldığı işlemlerde ıslak pota astarı ve metal transferi sırasında ıslak yolluk astarı,
- Fırın operasyonları sırasında kullanılan aletlerin içerdiği nem,
- Nemli flaks ve alaşım elementi kullanımı,
- Fırınlarda yanma ürünlerinin içerdiği hidrojen gazı olarak sayılabilir.

d. Slab ve Billetlerde Çatlak Oluşumu

Isıl işlem alabilen işlem alaşımlarının dökümünde "soğuk çatlak" riski her zaman vardır. Tane sınırları ve dendritik hücre segregasyonu, düşük ergime noktalı ötektikler ve gevrek intermetalik bileşikler metalin şekillendirilebilirliğini zayıflatır. Katılaşma sırasında tane sınırlarındaki düşük dayanım çatlak oluşumunun ana nedenlerindendir. Gevrek intermetalik bileşiklerle birlikte Fe ve Si varlığı çatlama riskinin arttırır. Bu nedenle hurdadan gelebilecek metalik kirliliklerin kontrolü önemlidir.

Plastik Şekil Verme Sırasında Yaşanabilecek Sorunlar

a. Sıcak Gevreklik:

% 2'den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımları özellikle Na'a karşı çok hassastır. Örneğin AA5182 alaşımında Na, % 0.0002'den fazla istenmez. Yüksek miktarda sodyum varlığında, sodyum tane sınırları yüzeyinde, düşük ergime sıcaklığına sahip bir faz olarak birikir ve ardıcıl haddeleme ve diğer plastik şekil verme işlemlerinde sıcak gevreklik sorununa yol çar.

In, Tl, Sn, Bi, Cd ve Pb'un saf alüminyum içinde katı halde çözünürlükleri oldukça düşüktür. Ancak çözünürlük sınırları aşıldığında 330°C'nin altında katılaşan monotektik ya da ötektikler oluşturular. Bu sıcaklık, işlem sıcaklığının altındadır ve sıcak gevreklik sorununa neden olur.

Pb ve Sn bu nedenle Al-Mg alaşımlarında istenmeyen elementlerdir. Ancak örneğin AA2011 alaşımında % 0.6, AA6262 alaşımında % 0.7 Pb ve Bi ilavesi alaşımların işlenebilirlik yeteneklerini iyileştirir. Buna karşın AA2024 alaşımında % 0.005 Pb varlığı sıcak hadde sırasında çatlak oluşumuna neden olur.

b. Yeniden Kristalleşme

% 99.999 saflığındaki alüminyum oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yeniden kristalleşirken, Fe ve Si kalıntıları içeren birçok ticari alüminyum alaşımının yeniden kristalleşme sıcaklığı275-350 °C aralığındadır. Alaşım elementlerinin çoğu yeniden kristalleşme sıcaklığını etkilemez. Ancak Zr % 0.082i aştığında yeniden kristalleşme sıcaklığı 425 °C'ye yükselir. % 0.12'den fazla V ve % 0.15'deb fazla Cr varlığı da, yeniden kristalleşme sıcaklığını arttırır.

c. Isıl İşlem

Isıl işlem görebilir alüminyum işlem alaşımlarında Cr ve Mn derişimlerinin artışı, malzemenin tavlama özelliklerini değiştirir, tavlamanın daha hızlı yapılmasını gerektirir.

% 0.05 Cd, In ya da Sn varlığında, Al-4Cu-0.15 ti alaşımında bakırın çökelme davranışı değişir. Al-Zn-Mg alaşımlarına % 0.1 Ag ilavesi ile yaşlandırma özellikleri iyileşir.

<u>Alaşım Özellikleri ve Uygulanabilirliğe Yönelik Sorunlar</u>

a. Süneklik, Dayanım ve Kırılma Tokluğunda Düşme

Bütün alüminyum alaşımları çok fazlı yapılardır. Genel ilke olarak olarak, süneklik ile birlikte dayanım ve kırılma tokluğu değerlerini optimize etmek için ikincil fazların, alüminyum katı çözelti matriksi içinde çok ince ve olabildiğince homojen bir şekilde dağılmış olması gerekir. Alaşım elementi ilavesi sırasında alüminyum matriks içinde düşük çözünürlüğe sahip ve yüksek miktarda alüminyum içeren intermetalik fazların oluşumundan kaçınılmalıdır. Si ve Fe+Si bu sorunu yaratan elementlerin başında gelir.

b. Elektrik İletkenliğinde Düşme

Yüksek elektrik iletkenliğinin gerektiği durumlarda, v, Cr, Ti ve Mn, tane inceltici B ile birleşerek, Elektrik iletkenliği önemli ölçüde düşüren diboridleri oluşturur.

<u>İkincil İşlemlerde Yaşanan Sorunlar</u>

a. İşlem Aletlerinin Aşırı Aşınması

Oksit filminden kaynaklanan kalıntıların ve diboridlerin sahip olduğu yüksek sertlik değerleri, alüminyum ürünlerin döküm ya da plastik şekil verme sonrasında işlenmesi sırasında işlem aletlerinin aşırı aşınmasına neden olur. İntermetalik fazlardan α-AlMnSi ya da $(Mn,Fe)_3Si_2Al_{12}$ fazlarının sertliği 940 DPH değerindedir ve alaşımlı çelik aletlerin aşınması için yeterli sertliğe sahiptir. Özellikle AA3003 ve AA3004 alaşımlarında Si, % 0.12'nin altında olduğunda bu fazların oluşumundan kaçınmak mümkü olabilir.

b. Kristallografik yapı

Fe, Si ve bu lementlerin birbirine oranı, alüminyum haddelemede ve haddelenmiş levhaların derin çekme işlemlerinde oldukça önemlidir.

<u>Kimyasal Özellikler</u>

a. Toksiklik

Kaynak tellerinde, kaynakçının sağlığını korumak amacı ile Be, % 0.0008'den fazla olmamalıdır. Bu nedenle özellikle % 4-5 Mg içeren alaşımlarda Be miktarı % 0.0004 civarında tutulmaya çalışılır.

Gıda koruma amaçlı kullanılan alüminyum folyolarda da Pb, As ve Cd içeriği % 0.01'den fazla olmamalıdır.

b. Korozyon

AA1145 folyo alaşımı, Li % 0.003'ü aştığında yada Mg % 0,0006'yı aştığında nemli ortamlarda korozyona uğrar.

Ni ve Al, korozyon direncini düşüren ve yüksek katodik özelliğe sahip $NiAl_3$ oluşturabilir.

c. Yüzey İşlemleri

AA6063 alaşımında % 0.02 civarında Zn derişimi anodik oksidasyon kalitesini olumsuz etkiler.

5. İkincil İşlem Alaşımları Üretimi

Hurda Ayırma ve Hazırlama

Gerek ikincil üreticiler, gerekse haddehane ve billet dökümhaneleri eğer dışarıdan "hazırlanmış" hurda satın alıyor ise, sonraki bölümlerde açıklanan tüm ergitme teknolojilerini kullanabilirler. Ancak, özellikle hazırlanmış hurdanın maliyeti ve Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde hurda hazırlama sektörünün hem miktar hem de kalite açısından yetersiz oluşu, çoğu ikincil tesisi kendi bünyesinde satın aldığı hurdayı hazırlama yoluna itmektedir

Tamamen ya da kısmen hurda kullanan tesislerde, optimum giydirilmiş metal maliyetine –yani hurda hazırlama ve ergitme kayıpları dahil, ergimiş metal maliyeti- ulaşmak için hem uygun hurda hazırlama işlemlerini hem de uygun ergitme teknolojisinin seçimini birlikte düşünmek gerekir. Verimli bir ergitme işlemi:

- hurdanın oksit içeriğine,
- hurdanın üzerindeki boya, lak, kaplama gibi metal dışı kirliliklerin miktarına,
- hurdanın fiziksel şekline,
- hurdanın içerdiği alüminyum-dışı malzeme oranına,
- hurdanın geometrisine (yüzey/ağırlık oranı ve et kalınlığı),
- ergitme teknolojisine,
- aynı anda farklı hurda tiplerinin tek bir fırında ergitilebilmesi ile optimum enerji tüketimine,
- şarj yapma sıklığına,
- metal rafinasyon yöntemlerine,
- üretiecek malzemenin kimyasal kompozisyonuna ve
- işletme koşullarına bağlıdır.

Haddehane ve billet dökümhanelerinde temel kaygı, üretilecek ürünün izin verdiği ölçüde, enerji yoğun ve pahalı olan birincil külçe yerine, olabildiğince hurda kullanmak olmalıdır. Bu büyük ölçüde teknolojik yapıları ile ilintilidir. Öreğin AA 3105 alaşımı üreten bir haddehane, bu üretimini % 100 birincil külçe yerine, her %10'luk içecek kutusu kullanımı metalik alüminyum maliyeti açısından bakıldığında % 2-3 oranında tasarruf sağlar.

Bu işletmelerin daha fazla oranda hurda kullanabilmesi için;

- Hem yatırım hem proses hem de performans olarak daha gelişkin hurda hazırlama ekipmanlarına,
- Maksimum hurda kullanmaya uygun kimyasal kompozisyona sahip yeni alaşımlara,
- Daha verimli ve çevreye daha az zararlı metal rafinasyon tekniklerine ve,
- Daha esnek çalışabilen döküm sistemlerine ihtiyaçları vardır.

Toplama sürecinin ardından hurda hazırlama süreci başlar. Yeniden değerlendirme olgusuna "yerüstü madenciliği" anlamında bakıldığında hurda hazırlama süreci birincil üretimdeki cevher hazırlama ve zenginleştirme süreci ile koşut mantıkta çalışır.

Mekanik hurda hazırlama işlemleri, ilk aşamadır. Hurda yığınları, öncelikle kırıcı ve kıyıcı (shredder) işlemlerinden geçirilerek boyutları küçültülür. Demir ve çelik manyetik ya da Eddy Current ayırıcılarla, plastik ve köpük gibi metal dışı kirlilikler hava ile ayırma yöntemi kullanılarak, Mg,Cu, Zn ve Pb "batırma-yüzdürme (sink-float) yöntemi ile ayrılır.

Özellikle işlem alaşımlarda kaliteli hurda hazırlama amacı ile son yıllarda yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Hurda yığını içerisindeki işlem ve döküm alaşımlarının birbirinden ayırmak için "sıcak kırma (hot crushing) yöntemi kullanılır. Yöntem ısıtma, kırma ve eleme aşamalarını içerir. Karışık durumda bulunan işlem ve döküm alaşımları, döküm alaşımlarının ergime noktasının çok az altında bir sıcaklığa ısıtılır. Ardından hurda yığını kırıcıya gönderilir. Döküm alaşımları, tane sınırlarına yakın zayıf bölgelerden kırılırken, işlem alaşımları formunu korur. Isıtma işlemi aynı zamanda, kısmen de olsa hurdanın içerdiği boya ve kaplamaların da uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Kırıcıdan çıkan parçalar, kırılmış döküm alaşımlarının ayrılması için elek ya da tambur eleğe (trommel) beslenir. Sıcak kırma ile işlem ve döküm alaşımları % 96 oranında ayrılabilmektedir.

Metalleri ve alaşımları birbirinden ayırabilmek için "el ile ayırma" yöntemine alternatif olarak "renk ayırma (colour sorting)" yöntemi geliştirilmiştir. Örneğin kullanılmış alüminyum içecek kutularının farklı alaşıma sahip kapak (AA5182) ve gövdelerinin (AA3004) ayrılması için tasarlanmıştır. Hurdalar 3 farklı çözelti ile dağlanır ve her bir solüsyon alaşıma göre farklı renk verir.

Özellikle alüminyum ve magnezyumun, bakır, pirinç ve çinko gibi ağır demir-dışı metallerden ayrılmasında yaygın kullanılan teknoloji XRF teknolojisidir. XRF'ler el tipi olduğu gibi, hat üzerine de monte edilebilir. Ancak kısıtlı ayrım yeteneklerinden ötürü, genellikle "tamamlayıcı aygıt" olarak tercih edilirler.

Hem işlem ve döküm alaşımlarının birbirinden ayrılmasında, hem de alaşım bazında ayrım yapmada kullanılan yeni ve tek yöntem LIBS (laser induced breakdown spectroscopy) yöntemidir. Mobil optik emisyon spektrometresi alüminyum ve diğer metal hurdaların ayrılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. LIBS yönteminde, hurdanın üzerine atımlı lazer uygulanır ve hurdanın kimyasal bileşimine bağlı olarak farklı spektrumlar oluşur.

LIBS el tipi bir cihaz olarak kullanılabildiği gibi, hurda taşıma hattı üzerine de monte edilebilir. LIBS, kritik elementler olarak tanımlanan Li, Be, B, Na Mg ve Al'u da ölçebilen bir teknolojidir. LIBS ile,

- Gerçek zamanlı malzeme kalitesinin kontrolü,
- Proses optimizasyonu (minimum zaman, maksimum kalite kontrol),
- Daha etkin araç kullanımı ve proses iyileştirme mümkün olmaktadır.

Bunun yanında LIBS ve mobil optik emisyon spektrometrelerine tamamlayıcı olarak mobil XRF kullanımı da yaygınlaşmaktadır.



Şekil 4: LIBS kullanımı (33).

Boya ve Lak Giderme

Çok geniş kullanım alanına sahip alüminyum malzemelere dekoratif ya da koruyucu amaçla çeşitli yüzey işlemleri uygulanır. Bununla birlikte alüminyum parçaların çalıştığı ortamlar çoğu zaman yağlı ortamlardır. Sonuç olarak alüminyum hurdaların içerdiği boya, lak, mürekkep, plastik ve yağ gibi fiziksel kirlilikler ergitme

öncesi olabildiğince giderilmelidir. Bu işlemlere "boya-lak giderme işlemleri" adı verilir. Boya ve lak giderme işlemi mekanik ve pirometalurjik ön-işlemlerin bir kombinasyonudur.

Alüminyum yüzeyine uygulanan bu kaplamalar, organik, inorganik ya da her ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Bu kompleks yapılar, pirometalurjik işlemler sonucunda ısıl bozunma ve/veya oksidayon sonucu temel bileşenlerine ayrışırlar. Örneğin polipropilen, ısı altında CO, CO_2, hidrojen ve su buharına ayrışır. Bu ayrışma sırasında aynı zamanda bazı zararlı gazlar da ortama salınır.

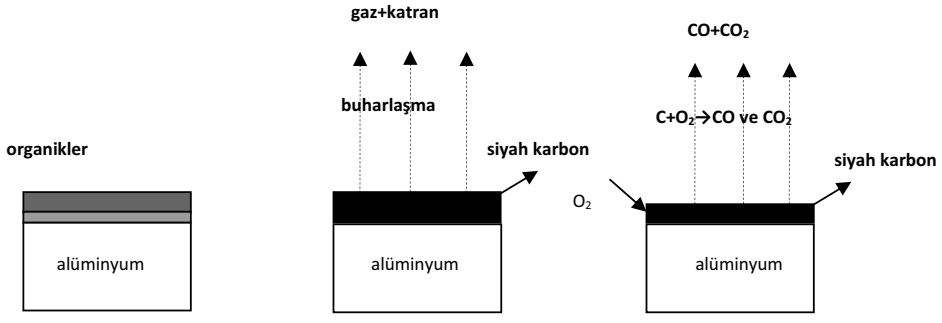
Ön-ısıtma işlemi ile;

- Ergitme sırasında metal kaybının azaltılması:
- Metal kaybının tek nedeni curuf oluşumu değildir, aynı zamanda uçma ve yanma kayıpları da artar,
- Ergitme işleminin kısalmasına ve birim zamandaki ergitilecek metal miktarının artışı anlamına gelir,
- Ergitme işlemi sırasında daha az flaks ve tuz kullanımına gerek duyulur,
- Boya-lak giderme hatları, iyi bir mühendislik ile ön-ısıtma için gerekli olan enerjinin büyük bir bölümünü entegre oldukları ergitme-tutma fırınlarının baca gazlarından sağlayabilirler ve böylece hem üretim hattının toplam enerji verimi artar hem de baca gazları ile boşa giden ısı değerlendirilmiş olur,
- Hurdanın içerdiği nem nedeni ile oluşabilecek patlama ve metal sıçrama riski minimize edilerek, daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanmış olur.
- Kaplama malzemesi içeren hurdanın sahip olduğu organik ve/veya inorganik malzemeler, aynı zamanda enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Lak yakma fırınlarında şarj tutuştuktan sonra, içerdiği bu kimyasallar yanarak, fırının gereksinimi olan enerjinin bir kısmını sağlar. Örneğin 3 ton/saat kapasiteli bir boya-lak yakma hattında teorik ısı gereksinimi kg hurda başına 400 kcal iken, eğer hurda % 5 civarında organik içeriyorsa, bu değer 190 kcal'ye düşer.
- Hurda kullanımında esneklik sağlar ve düşük kaliteli hurdaların ergitilerek değer kazanmasına neden olur,
- Hurdanın fiziksel formu ve kaplama malzemesinin içeriği ve kalınlığı, daha sonraki hurda hazırlama, lak giderme ve ergitme işlemlerinin verimliliğini ve salınacak olan zararlı gaz kompozisyon ve miktarını doğrudan etkiler. Özellikle kağıt ya da plastik ile lamine kaplamalar, hem kaplama malzemesinden hem de kaplandığı alüminyumun ince bir tabaka halinde olmasından dolayı, en zor lak/boya giderme işleminin uygulanabildiği hurda malzemelerdir. Aynı zamanda laminatların içerdiği plastik, polimer ve laklar, ciddi zararlı gaz salınımına kaynaklık ederler.

Boya-lak giderme işleminin temeli hurda ile birlikte bulunan organiklerin, yüksek sıcaklıklarda (450-530 °C) buharlaşma ve oksidasyon yolu ile uzaklaştırılmasıdır.

Boya ve lak giderme işlemi sırasında hurdadan uzaklaştırılan organikler 3 tip olabilir: gaz, katran ve siyah karbon. Her bir organik kirliliğin uzaklaştırılma verimi organiklerin kimyasal özelliklerine bağlıdır. İşlem sıcaklığı arttıkça, salınan gaz miktarı artar iken, katran ve siyah karbon miktarı düşer.

Lak-boya giderme fırınları kamara ya da silindirik döner fırın tipinde fırınlardır. İşlem buharlaştırma ve yanma kademelerini içerir. Katı hurdanın üzerindeki kaplamalar direkt ya da indirekt sıcak gaz teması ile uzaklaştırılırlar. Bu işlem için gerekli olan sıcak gazlar, sistemin entegre olduğu ergitme ya da tutma fırınlarının baca gazlarından sağlanabilir. Fırın içinde kontrolsüz yanmayı engellemek için O_2 sürekli olarak ölçülür ve gerektiğinde taze hava beslenir.



Şekil 5: Lak-boya giderme işlemi

Tablo 5: Yaygın alüminyum hurdaların ağırlıkça kaplama içeriği (39):

Hurda tipi	**Yüzey kirliliği**	**Ağırlıkça kirlilik %**	**Hurda kalınlığı (mikron)**
Aeresol	Lak ve boya	2-3	300-400
Şişe kapağı	Polimer ve lak	30	250
Baskılı folyo	Mürekkep ve lak	7	12-40
Epoksili levhalar	Epoksi ve boya	6	85
Ofset baskı plakası	Fenolik reçine kağıt	<4	290-350
Folyo	Hadde yağı	<10	50-400
Lamine kağıt	Kağıt ve mürekkep	50-60	7
Lamine plastik	Polimer, boya ve cila	40-90	7-14
Cephe kaplamaları	Boya	3	
Lamine tüpler (diş macunu tüpü)	Polimer ve lak	70	40
Talaşlar	Kesme yağları	<20	
Kullanılmış içecek kutuları	Lak ve boya	2-3	<300
Pencere profilleri	Termolak ve reçine	21	



Şekil 6: Döner boya-lak yakma fırını (Novac)

Ergitme

Hurda çeşitliliğindeki zenginlik nedeni ile ikincil alüminyum tesislerinde ergitme teknolojisi seçimi çok daha kritik bir konudur.

İkincil alüminyum ergitme teknolojileri, farklı hurda tiplerinin tek bit fırında, istenilen verimlilik değerleri ile ergitilmesine henüz olanak tanımamaktadır. Bu nedenle, hurda hazırlama ve hurda tipine uygun ergitme teknolojisi seçimi kritiktir. Bu kısıtlar hem çeşitli fırın tiplerinin hem de destek elemanlarının tasarımı ile çözülmeye çalışılır.

Bu çözümler hem geleneksel reverber ve döner fırınların modifikasyonları ve fırınlara entegre edilen yardımcı ekipmanlar (sirkülasyon pompaları, mekanize şarj ve curuf alma ekipmanları) şeklinde tasarım anlamında hem de rejeneratif ve oksijenli yakıcıların kullanımı ile operasyon anlamında gelişmelere neden olmuştur.

Düşük ya da orta düzeyde organik kaplama içeren hurdaların ergitilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Bu tip hurdalar teorik olarak geleneksel reverber fırınlarda ergitilebilirse de, yüksek metal kaybı nedeni ile tercih edilmezler.

Yüksek oranda kaplama/boya/lak malzemesi ya da alüminyum-dışı impüriteler içeren düşük kaliteli hurdaların ergitilmesinde döner fırınlar başarı ile kullanılır. Ancak döner fırınlarda bu tip hurdaların ergitilmesi için neredeyse içerdikleri metal dışı maddelerin yarısı kadar tuz/flaks kullanımı gerekir. Flaks hurda üzerindeki bu yabancı maddelerin kimyasal olarak dekompoze olmasını sağlarken, metalik alüminyumu oksidasyondan korur. Ancak bu yöntem alüminyum ile birlikte siyah curuf ve tuz keki de üretir. Bunlar, işlenmesi ya da atılması çevre açısından sorunlu ve pahalı atıklardır. Aynı zamanda flaks bileşimine bağlı olarak, proses sırasında çıkan florürlü ve klorürlü gazların temizlenmesi için gelişkin gaz temizleme sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Yeni kuşak döner fırınlar hem fiziksel hem de yakıcılarda yakma havası olarak oksijen kullanımı nedeni ile, oluşan katı ve gaz atık miktarının azalmasına ve metal ve enerji veriminin artışına yol açmıştır.

Tablo 6: Boya/lak içeren hurda ergitmede farklı fırın tiplerinin performanslarının karşılaştırılması:

	Standart Reverber fırın	**Devrilebilir döner fırın**	**Balkonlu Reverber fırını ve lak/boya giderme hattı**	**İndüksiyon fırını**	**İkiz kamaralı Fırın**
Hurda tipi	Düşük oranda uçucu organik içeren hurdalar <%3	Orta-yüksek oranda uçucu organik içeren hurdalar <%10	Lak/boya giderme işlemi görmüş, düşük-orta-yüksek pranda uçucu organik içeren hurdalar <%3	Düşük oranda uçucu organik içeren hurdalar <%3	Düşük oranda uçucu organik içeren hurdalar <%5
Ergitme verimliliği	Düşük	Orta	Orta	Orta	Yüksek
Çalışma şekli	Sürekli	Parti	Sürekli-parti beraber (eğer hurda girdap içine şarj ediliyorsa)	Parti	Sürekli-parti birlikte
Yatırım maliyeti	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
Proses maliyeti	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta
Flaks gereksinimi	Orta	Orta	Düşük	Orta	Düşük ya da orta
Enerji verimliliği	Düşük	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Metal verimi	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Çevresel koşullar- baca gazı filtrasyonu gereksinimi	Var	Yok	Yok	Var	Var
Curuf oluşturma eğilimi	Yüksek	Orta (tuz keki)	Düşük (siyah curuf)	Orta	Düşük

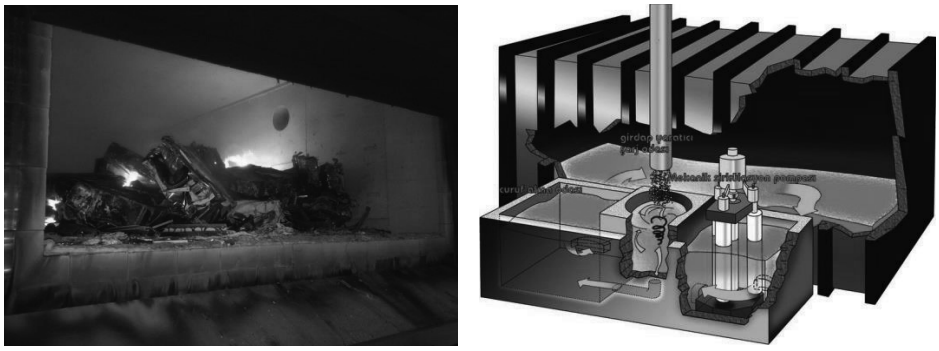
Döner fırın ergitme işlemleri parti tipli işlemlerdir ve alaşımlandırma ve metal rafinasyonu için döner fırınlar genellikle reverber tipli bir tutma fırını ile entegre olarak çalışırlar.

İnce kesitli ve organik kaplama içeren hurdaların ergitilmesinde diğer bir seçenek ise lak/boya giderme hattı ile entegre olarak çalışan balkonlu reverber fırınlarıdır. Bu fırınlar aynı zamanda sirkülasyon pompası ve "girdap yaratıcı şarj odası" ile donatılmıştır. Böylece lakı/boyası giderilmiş ince kesitli hurdalar (ya da yağı kurutulmuş talaşlar), girdap altında, ergiyik yüzeyinde kalmadan ve oksitlenmeye fırsat bulamadan ergitilebilirler. Aynı fırın içinde, eşzamanlı olarak ana gövdeden kalın kesitli temiz hurda ve külçe şarjı da mümkündür. Ancak yatırım maliyeti diğer sistemlere göre daha yüksektir. Buna karşın özellikle içecek kutusu yeniden üretiminde oldukça popüler teknolojilerdir.

Çekirdeksiz indüksiyon ocakları % 85'i geçen enerji verimi ve teknolojisi gereği yarattığı karıştırma hareketi nedeni ile hem külçe ve kalın kesitli temiz hurda hem de ince kesitli hurda ergitmeye uygun fırınlardır. Karıştırma hareketinin ölçüsü frekansa bağlıdır ve ikincil alüminyum tesislerinde genellikle 80-120 Hz frekans aralığı tercih edilir. Bu karıştırma hareketi, alaşımlandırma işlemlerinde de büyük kolaylık sağlar. Ancak kaplama/boya/lak içeren hurdaların ergitlmesi sırasında yoğun curuf oluşumu ve bu curufun fırından uzaklaştırılması için harcanan zaman ve işçilik dikkate alındığında, bu tip hurdalarda çok tercih edilmezler.

İkinci bir dezavantajı ise, hurda ile beraber gelen alüminyum-dışı diğer metallerin –özellikle serbest demirin- fırından uzaklaştırılmasında yaşanan güçlüktür. İndüktif ergitme işlemleri parti tipi işlemlerdir ve fırın metal tutma kapasitesinin sınırlı oluşundan dolayı, büyük kapasiteli işletmelerde ancak yardımcı fırın olarak kullanılır.

Ergitme esnekliği açısından ikiz kamaralı fırınlar birçok avantaja sahiptir. Genellikle elektromanyetik pompa ile donatılmışlardır. Aynı anda ergitme kamarasından külçe ya da temiz ve yüksek et kalınlığına sahip hurda, hurda kamarasından kaplama içeren ancak yüksek et kalınlığına hurda ve elektromanyetik pompadan doğrudan ince kesitli hurda beslenebilir. Bu fırınlar aynı zamanda balkonlu fırınlar gibi lak/boya giderme hattı ile entegre olarak çalışabilir. Hem parti tipi hem de sürekli ergitmeye uygun fırınlardır.



Şekil 7: Katı şarja doğrudan alev teması (geleneksel Reverber) ve alev temasını engelleyen balkonlu ergitme (side-well Reverber)

Metal Rafinasyonu

Alüminyumun gittikçe ileri teknoloji gerektiren uygulamalarda-örneğin havacılık endüstrisi- kullanımının yaygınlaşması, metal kalitesinin ve dolayısı ile rafinasyon yöntemlerinin gelişmesine neden olmuştur.

Bütün rafinasyon işlemleri sonucunda metal tamamen temizlenemez, ancak her işlem, metali daha çok temizlenmesine katkı sağlar.

Yüksek kaliteli alüminyum üretimi için, fırın içinde, hat ya da yolluk üzerinde rafinasyon ve filtrasyon işlemleri uygulanır.

Bunlara ek olarak, dökümhane işletmeciliği sırasında, aşağıda sıralanmış gerekçeler nedeni ile metalin içine safsızlıkların girmesi sık rastlanan durumlardır:

- Fırın işletmeciliği sırasında kullanılan, koruyucu boya ile kaplanmamış el aletleri, ergiyiğin demir kapmasına,
- İşletme ortamının kirli olması, ergiyiğe toz ve inklüzyonların girmesine,
- Kontrolsüz yakıcılar, hem curuflaşma eğiliminin artmasına hem de ergiyiğin hidrojen kapmasına,
- Fırın kapısının fazla açılıp kapanması ve yetersiz izolasyon nedeni ile fırın içine kaçak hava girmesi ergiyiğin hidrojen gazı kapma riskinin artmasına,
- Doğrudan alev teması, hurda üzerindeki organiklerin yanarak oksit ve inklüzyon oluşturmasına ve böylece hem ergiyiğin kirlenmesine hem de metal kaybına neden olur.

Metal rafinasyonu işleminin faydaları ise aşağıda sıralanmaktadır.

- Döküm parça kalitesinin iyileştirilmesi ve yüzey kusurlarının en aza indirilmesi,
- Ergitme ve tutma/döküm fırınlarında daha az flaks kullanımı, daha kısa flakslama süresi ve saha az klorürlü ve florürlü gaz salınımı,
- Hadde, dövme ve ekstrüzyon ürünlerinde daha az ultrasonik kusur oluşumu,
- Daha uzun hadde ve döküm merdanesi, ekstrüzyon ve dövme kalıbı ömrü,
- Daha az geri dönen ürün miktarı,
- Daha iyi yüzey işlem alabilme özelliği,
- Final uygulamalarda daha iyi performans,
- Döküm ve sonraki işlem kademelerinde daha az iç çatlak oluşumu,
- Curuf oluşumunda azalma,
- Yüksek mekanik dayanım ve süneklik,
- Yüksek tokluk ve plastik şekil alabilme yeteneği,
- Yüksek korozyon dayanımı,
- Daha iyi mikroyapı kontrolü,
- Daha iyi yeniden üretim performansı.

Rafinasyon işlemleri ile çoğu zaman aynı anda tüm safsızlıkların kısmen ya da istenilen ölçüde giderilmesi mümkün olabilir.

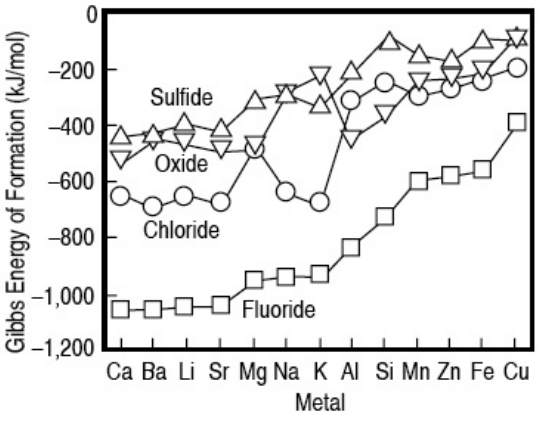
Sıvı alüminyum rafinasyon işlemlerinde halojenlerin ya da halojenli bileşiklerin kullanımı yaygın bir yöntemdir. Klorun alüminyuma olan yüksek kimyasal ilgisi ve metalklorürlerin termodinamik kararlılıkları rafinasyon işlemlerini olanaklı kılar.

Şekil 8'de sülfür, oksit, klorür ve florürlerin Gibbs serbest enerjileri görülmektedir. Bilindiği gibi bileşiğin stabilitesi serbest enerji değeri azaldıkça artmaktadır. Söz konusu bileşikler için bu sıralama florürler > klorürler > oksitler > sülfürler şeklindedir. Burada Al_2O_3 ve $MgCl_2$ diğerlerinden farklı olarak, özel önem taşırlar. Al_2O_3 yüksek stabilitesinden dolayı, elektroliz hücresinde inert florürlerden oluşan elektrolit içinde metalik alüminyum üretilir ve $MgCl_2$ diğer alkali klorürlere göre düşük stabilitesinden ötürü NaCl-KCl-$CaCl_2$ bazlı inert elektrolit içinde metalik magnezyum üretilir.

Tablo 7: Alüminyum rafinasyon işlemleri

Tutma fırınında dinlendirme	Karıştırma olmadan, sakin alüminyum banyosunun dinlendirilmesi ile, alüminyumdan daha yüksek yoğunluğa sahip olan partiküller tabana çöker.
Gaz flakslama	Klor, azot, argon ve bunların karışımları ile, gaz flotasyonu mekanizması sonucu, gaz baloncukları ergiyik içinden yüzeye doğru çıkarken hidrojen, alkali ve inklüzyonları süpürür. Magnezyum konsantrasyonunun düşmesini sağlar.
Katı flakslama	
Örtü flaksları	Ergimiş alüminyumun hidrojen gazaı kapmasını engeller, oksidasyonu yavaşlatır,
Temizleme flaksları	Alüminyum ile oksit tabakasının ayrılmasını ve fırın duvarlarını temizler,
Curuflaştırıcı flakslar	Curuf içinde hapsolan alüminyum taneciklerinin ayrılmasını sağlar,
Rafinasyon flaksları	Alkali ve inklüzyonların curufa geçmesine katkı verir.
Filtrasyon	İnklüzyonları tutar.
Birincil alüminyum ya da yüksek kaliteli hurda şarjı	Alaşımın düzeltilmesine ve metalik safsızlıkların konsantrasyonlarının azalmasını sağlar.
Alaşım elementleri	Hedef alaşım kimyasal kompozisyonuna ulaşmak için eklenir.

Diğer klorürlerin standart serbest enerjileri $AlCl_3$'den daha düşüktür. Diğer bir deyişle $AlCl_3$'den saha stabildirler. İşte bu bilgi klor bazlı metal rafinasyonunun temel nedenidir. Çünkü ergimiş alüminyum içine klor gazı enjekte edildiğinde, klorür tercihli olarak alüminyum ile değil, diğer safsızlıklarla reaksiyona girer. Benzer durum florürler için de geçerlidir. Li, Na, K, Ca, Mg ve Ba'un tüm bileşikleri, klorürlü ve florürlü bileşiklerinden daha stabildir. Sonuç olarak bu metalik impüriteler Cl_2, F_2 ve SF_6 enjeksiyonu ile ergimiş alüminyum içinden uzaklaştırılabilir.



Ergimiş alüminyum içindeki Zn, Si, Fe ve Cu gibi diğer metalik safsızlıklar, klorür ya da florürler ile uzaklaştırılamazlar. Na'un uzaklaştırılması için ise AlF_3 kullanılır:

$AlF_3 + 3Na_{(Al)} = Al + 3NaF$

Birincil alüminyum tesislerinde, elektroliz hücrelerinden tutma fırınlarına sıvı metal taşınırken, pota içinde yapılan rafinasyonun temeli bu reaksiyondur.

Şekil 8: Sülfür, oksit, klorür ve florürlerin 723°C'de standart Gibbs serbest enerjileri

Başarılı bir flakslama işlemi, sıcaklığa, flaks ergimiş metal temas yüzeyi ve süresine ve flaks bileşenlerinin reaktifliğine bağlıdır. Bu nedenle kullanım yeri ve amacına göre farklı flaks kompozisyonları tercih edilir.

Kullanım amaçları:

- Oksidasyon yolu ile curuf oluşumu ve böylece metal kaybının azalması,
- Ergimiş metalin hidrojen gazı kapmasını ve kapma riskini azalması,
- Metal-dışı inklüzyonların ergiyik içinde askıda kalmasının sağlanması,
- Fırın ve taşıma potalarının duvarlarında oluşan ve büyüyen oksit tabakalarının temizlenmesi,
- Curuf içine kaçan metalik alüminyum miktarının azaltılması,
- Ergiyiğin kaptığı hidrojenin uzaklaştırılması,
- Katılaşma sırasında alüminyum tanelerinin rafinasyonunun yapılması,
- Ergiyik içinden gerekli durumlarda magnezyumun uzaklaştırılmasıdır.

Tablo 8: İkincil tesis ve dökümhaneler için klor kullanılmayan işlem akış şeması (38):

	(2) Döner rotor ile katı ya da gaz flaks enjeksiyonu	**(3) Hat üzerinde döner rotor ile gaz flaks besleme**	**(4) Seramik köpük filtre (CFF)**	**(4) Derin yatak fitresi (DBF)**
Ana amaç	Alkali ve inklüzyon giderme	Hidrojen giderme	İnklüzyon giderme	İnklüzyon giderme
İkincil amaç	Eriyiğin karıştırılması	İnklüzyon giderme		
Yerleşim	Ergitme/tutma fırını içinde	Tutma fırını ve filtre arasında	Gaz giderme ve döküm hattı arasında	Gaz giderme ve döküm hattı arasında
Tipik değerler (ppm) alkaliler ve H_2	Giriş: 3 Na, 11 Ca Çıkış: <1 Na ve 4 Ca	Giriş: 0.20-0.30 H_2 Çıkış: 0.10-0.20	Giriş: 0.5<5 mm^2/kg Çıkış: <0.1 mm^2/kg	Giriş: 0.5<5 mm^2/kg Çıkış: <0.1 mm^2/kg
İnklüzyon giderme	Çıkış: 0.01-0.06 mm^2/kg, alaşıma bağlı olarak		%40-90	%90
Curuf oluşumu	Lens ile gaz vermeye göre %25-30 daha az	Klor kullanılmadığında daha fazla		

Tablo 9: İkincil tesis ve dökümhaneler için klor kullanılan işlem akış şeması (38):

	(2) Döner rotor ile katı ya da gaz flaks enjeksiyonu	**(3) Hat üzerinde döner rotor ile gaz flaks besleme**	**(4) Seramik köpük filtre (CFF)**	**(4) Derin yatak fitresi (DBF)**
Ana amaç	Alkali ve inklüzyon giderme	Hidrojen giderme	İnklüzyon giderme	İnklüzyon giderme
İkincil amaç	Eriyiğin karıştırılması	İnklüzyon ve alkali giderme		
Yerleşim	Ergitme/tutma fırını içinde	Tutma fırını ve filtre arasında	Gaz giderme ve döküm hattı arasında	Gaz giderme ve döküm hattı arasında
Tipik değerler (ppm) alkaliler ve H_2	Giriş: 31 Na, 12 Ca Çıkış: <1 Na ve 4 Ca	Giriş: 0.20-0.30 H_2 Çıkış: 0.10-0.20	Giriş: 0.5<5 mm^2/kg Çıkış: <0.1 mm^2/kg	Giriş: 0.5<5 mm^2/kg Çıkış: <0.1 mm^2/kg
İnklüzyon giderme	Çıkış: 0.01-0.6 mm^2/kg	% 70	% 40-90	% 90
Curuf oluşumu	Lens ile gaz vermeye göre %25-30 daha az	Her bir işlemde birkaç kg		

Katı flakslar ile yapılan flakslama işlemi el ile ya da flaks besleyiciler ile ergiyik yüzeyine serpilir ve ardından karıştırılır. Gaz flakslar ise fırın içine doğrudan ya da fırın dışında ve hat üzerine yerleştirilmiş ayri bir ünitede inert taşıyıcı gazlar olan azot ve argon gazları ile verilir.

Özet olarak bütün flakslarda 4 temel özellik aranır:

1. Düşük ergime sıcaklığı ve yüksek akışkanlık, bu nedenle flaksların çoğunda ana bileşen NaCl ve KCl karışımlarıdır.
2. Dekompoze olduklarında ergimiş alüminyum içindeki safsızlıklarla reaksiyona girme yeteneğine sahip nitrat, karbonat ve sülfat anyonlarını oluşturmaları beklenir.
3. Ergiyik yüzeyinde dağılabilir ve flaks etkin maddesini taşıyabilir ucuz bileşenlerden oluşmalıdır.
4. Flakslama sonucu oluşan reaksiyon ürünlerini absorbe edebilir ya da aglomere edebilir olmalıdır.

Alkalilerin Uzaklaştırılması

Ergimiş alüminyum içinde çözünmüş durumda bulunan Na,Li,Ca ve K klor gazı ile reaksiyona girerek, alkali tuzlar oluşturur. Oluşan bu katı tuzlar baloncuklar tarafından taşınır. Eğer katı klor tuzları yerine sıvı klor tuzları oluşursa, döküm ve sonraki proseslerde ciddi kalite sıkıntıları yaratır. Çözünmüş alkalilerin küçük bir bölümü baloncuk içinde buharlaşabilir. Eğer klor miktarı fazla olursa, klor gazı Al ve Mg ile reaksiyona girerek hem metal kayıplarına, hem döküm kalitesinin bozulmasına hem de çevreye yoğun gaz salınımına neden olur.

Reaksiyonlar:

$2Na + Cl_{2(gaz)} \rightarrow 2NaCl_{(katı)}$ $\quad Na \rightarrow Na_{(gaz)}$

$2Li + Cl_{2(gaz)} \rightarrow 2LiCl_{(katı)}$ $\quad Li \rightarrow Li_{(gaz)}$

$Ca + Cl_{2(gaz)} \rightarrow CaCl_{2(katı)}$ $\quad Ca \rightarrow Ca_{(gaz)}$

$2K + Cl_{2(gaz)} \rightarrow 2KCl_{(katı)}$ $\quad K \rightarrow K_{(gaz)}$

Alkaliler klor gazı ya da katı flaksdan gelen klorür ile reaksiyona girerler. Aynı zamanda metalik alümniyumda fazla klorun varlığında klor ile reaksiyona girerek gaz $AlCl_3$ üretir. Oluşan $AlCl_3$ ortam havasındaki nem ile reaksiyona girerek HCl gazı oluşumuna neden olur.

Fazla klorun varlığında:

$Mg + Cl_{2(gaz)} \rightarrow MgCl_{2(sıvı)}$

$2Al + 3Cl_2 \rightarrow 2AlCl_3$

$2AlCl_3 + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6HCl$

Bu nedenle alkali rafinasyonunda işlem gazı olarak genellikle % 5 Cl_2 +Azot ya da Argon karışımları tercih edilir.

İnklüzyonların Uzaklaştırılması / Metal Filtrasyonu

Küçük inklüzyonlar ısıl ve metal türbulansı edeni ile birleşerek, iri kümeler oluştururlar ve inklüzyon ya da inklüzyon kümeleri, işlem gazının oluşturduğu baloncuklar tarafından tutulurlar. Yüzeyde kalan inklüzyonlar, curuf tabakasına geçerler,

İri inklüzyon ya da inklüzyon kümeleri, ince ya da küçük olanlardan daha verimli olarak uzaklaştırılabilir.

Ancak flotasyon ile yani gaz ya da katı flaksların olurşturduğu baloncuklara yapışarak, ergiyik yüzeyinde toplanamayan daha küçük inklüzyonlar için seramik filtreler ile filtrasyon işlemi uygulanır.

Ergitme ve tutma fırınlarında genel olarak rastlanan, ergimiş metal içinde çözünmeyen metal-dışı inklüzyonların miktarları ve fiziksel boyutları önemlidir. Aynı zamanda, ergimiş metal banyosunun sakin ya da karıştırılıyor olması da bu inklüzyonların banyo içindeki boyut ve dağılımını etkiler.

Ergimiş alüminyum içinde çözünemeyen inklüzyonlar:

- Katı partikül ve filmler,
- Sıvı alkali klorür ve alkali florür tuzları,
- Katı kompleks aglomere parçalar,
- Sıvı-katı kompleks aglomere parçalar,

İnklüzyon boyut aralığı 0.1 den 5,000 mikrona kadar değişebilir.

Döküm işlemi öncesinde en son uygulanan rafinasyon işlemi metal filtrasyonudur. Katı inklüzyonların sıvı metalden uzaklaştırılması ile metal akışkanlığı ve dolayısı ile metalin dökülebilme yeteneği artar.

Seramik Filtreler

Reaktif gaz ya da katı flakslar ile flotasyon mekanizması uyarınca tutulamayan küçük boyutlu inklüzyonlar, filtrasyon ile ergimiş metalden uzaklaştırılır. Flotasyon işleminde inklüzyonlar serbest ve oluşan baloncuklar tarafından tutulabilenler yüzeye çıkarak uzaklaştırılırken, filtrasyon işleminde tam tersine sıvı metal serbest olarak hareket eder ve inklüzyon parçacıklarının hareketleri filtre tarafından sınırlanır.

Seramik köpük filtrelerin yapısı yüksek iç yüzey alanına sahip, ağ şeklindedir.

Seramik filtreler küçük pencerelerin bir araya gelmesi ile oluşan hücrelerden meydana gelir.

Filtre yatağı çok tabakalı alümina toplar ve uygun boyutlarda yığılmış çakıl taşı benzeri malzemeden oluşur. Seramik filtre gözenekli bir ortamdır.

Filtre içinde tutulan inklüzyonların boyutları, filtre gözeneklerinin boyutlarından çok daha küçüktür. Kalan inklüzyonlar, filtre içindeki metal akışı boyunca, filtre duvarları tarafından tutulur. Bu nedenle metal akış hızı ve filtre kutusunun mekanik şok ve çalkantılardan uzak tutulması verimli bir rafinasyon için önemlidir.

Filtreler filtrasyon işlemi öncesi kesinlikle ısıtılmalıdır. Aksi takdirde, donan metal parçacıkları, filtrenin işlevini göremeden tıkanmasına neden olur.

En yaygın kullanılan filtre tipleri seramik köpük filtreler ve derin yatak filtreleridir. Seramik köpük filtreler fosfat bağlı alümina gibi gözenekli seramik malzemelerden üretilirler. Derin yatak filtrelerinin işlem verimi, seramik köpük filtrelerden çok daha iyi olmasına karşın ucuz ve kolay uygulanabilir oluşu nedeni ile daha çok tercih edilirler.

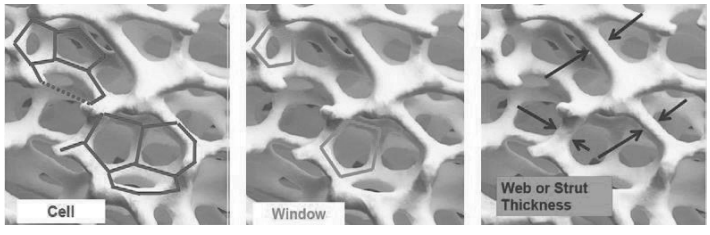
Derin yatak filtrasyonunda inklüzyon parçaları filtre yapısının derinliklerinde tutulur,

En büyük inklüzyon konsantrasyonu iç yüzeydedir ve filtrenin derinliğine inildikçe azalır.

Filtrasyon, alüminyum ergiyiğinin inklüzyonlardan temizlindiği fiziksel bir işlemdir.

Metal filtrasyon işlemi bir çok parametre bağlıdır. Bunlar arasında; filtreye bağlı olan geometrik ölçüler, filtre yapısal birimlerinin, yani pencere ve hücrelerin boyutları ve dağılımı, inklüzyonlara bağlı olan, inklüzyon boyutları, tipi ve sayısı, prosese bağlı olarak alaşım, metal akış hızı, filtrasyon işlemi öncesi yapılan gaz ya da katı flakslama ve tane inceltme işlemlerinin koşulları ve filtrasyon sonrası işlemler başlıcalarıdır.

Eğer inklüzyon boyutları, filtre gözeneklerinden daha büyük ise, inklüzyonlar filtre yüzeyinde birikerek kek oluşturur. Böylece yüzeyfe toplanan inklüzyon kekinin varlığı, hedef değerlere bağlı olarak, filtrasyon işleminin bir ölçüde başarılı olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 9: Şematik filtre hücre yapısı

6. Sonuç

Başta taşımacılık sektörü olmak üzere, alüminyum işlem alaşımları –her ne kadar kompozitler ve karbon fiber gibi yeni malzemeler üzerinde çalışılsa da- daha uzun yıllar güncelliğini koruyacaktır. Ancak bugün devam eden ve planlanan tüm birincil alüminyum tesisleri, enerji yoğun ergimiş tuz elektrolizi teknolojisine dayanmaktadır. Bu bağlamda birincil alüminyumun , tüketim değerleri azalmadan ikincil alüminyum ile ikamesi hem çevre hem de ekonomik açıdan çok önem taşımaktadır.

Teknik olarak ikincil alüminyum mühendislerinin önünde 6 temel ve potansiyel çalışma alanı bulunmaktadır:

- Hurda hazırlama ve hurda ayırma (özellikle döküm ve işlem alaşımlarının birbirinden ayrılması yani alaşım bazında ayırım) teknolojilerinin geliştirilmesi (temassız ve ana alaşım elementi bazında ayırım yapabilen LIBS: laser induced breakdown spectroscopy, XRF: X-ray fluorescence ve PGNAA: prompt gamma neutron activation analysis teknolojilerin geliştirilip yaygınlaştırılması),
- Alüminyum hurda üzerindeki alüminyum dışı metallerin ve metal dışı kirliliklerin (lak, boya, yağ vs) temizlenme teknolojilerinin geliştirilmesi,
- Hurda hazırlama-ayırma ve hurda temizlemedeki gelişmelere bağlı olarak ve düşük kaliteli hurdaların verimli olarak kullanılabilmesine olanak yaratılması,
- Ergitme sırasında enerji tüketiminin en aza indirilmesi atık ısının yeniden kullanılması,
- Curuf ve tuz keki üretimini azaltacak ve bu atıkların yeniden farklı sektörlerde değerlendirilmesine olanak verecek teknolojilerin üretilmesi,
- Ergimiş alüminyumu birincil alüminyum kalitesine yaklaştıracak ve böylece kullanım alanlarını arttıracak ergimiş metal rafinasyonu işlemlerinin geliştirilmesi.

Bu potansiyel alanlar ikincil alüminyum endüstrisinin önünde çözülmeyi bekleyen sorunlar olarak durmaktadır.

Kaynakça

1. Sue Girmes, John Donaldson, Gabriel Cebrian Gomez, Report on the Environmental Benefits of Recycling, Bureau of International Recycling (BIR), (2008)
2. Metal Stocks in Society, Scientific Sythesis / International Panel for Sustainable Resource Management / UNEP / 2010
3. Dimos Paraskevas, Karel Kellens, Wim Dewulf, Joost R. Duflou, Environmental Modelling of Aluminium Recycling: A Life Cycle Assesment Tool for Sustainable Metal Management, Journal of Cleaner Production, 1-14, (2014)
4. J.B. Hess, Physical Metallurgy of Recycling Wrought Alloys, Metallurgical Transactions A, Volume 14 A, March (1983)
5. Geoff Scamans, Zhongyun Fan, Aluminium from Cans to Cars: Closing the ELV Recycling Loop, Aluminium in Automotive Conference, (2011)
6. Pradip K. Saha, Çev: Ergün Keleşoğlu, Yaman Eraslan, Alüminyum Ekstrüzyon Teknolojisi, ASM International (2005)
7. Canan İnel, Ahmet Turan, Erman Car, Alüminyum Biyet Döküm Teknikleri ve Kalite Kontrolü Eğitim Notları, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi (METEM) Yayımı, (2017)
8. G. Rombach, J. Krüger, Understanding of Sustainable Primary and Secondary Aluminium Production
9. Varuzan Kevorkijan, Recycling of Wrought Aluminium Alloys from Lower Grades of Scrap Challenges for Higher Competitiveness
10. http://www.world-aluminium.org/statistics
11. Novelis, Sustainability Report 2016, www. novelis.com
12. David Paterson, Latrobe Magnesium, AGM Presentation, (2015)
13. Jim Dickson, Meeting Fuel Economy&Amissions Regulation with Aluminium, The Aluminium Association's Aluminium Transportation Group
14. Tom Farley, Technology Challenges in a Changing Downstream Aluminium Industry, Innoval Technology 30508
15. Mark E. Schlesinger, Aluminum Recycling, CRC Press (2007)
16. Catherine Athenes, The Essential contribution of Recycling in a Sustainable Aluminium Value Chain, Metal Bulletin 24th Recycled Aluminium Conference, (2016)
17. Geoff Scamans (Innoval), Zhongyun Fan (BCAST), Upcycling of Aluminium by Melt Conditioning Scrap
18. Hoberg H, Wolf S., Recycling of Aluminium and the Effect on Sustainable Development, Chair for Mineral Processing, Beneficiation and Waste Treatment, RWTH, Aachen

19. Franz Niedermair, Benchmark Remelt Plant for HAI Romania, Automated Billet PRoduction Dross-Quo Vadis, OEA 2011, Vienna, (2011)
20. http://mtt.co.za/true-story-aluminium-twins-hall-heroult/
21. Kathrine Fog, Market Outlook, HYDRO Investor Presentation, (2017)
22. http://www.alcircle.com/primary_aluminium/newscircle/market/detail/28119/global-aluminium-market-projected-to-reach-167277-million-by-2022?utm_medium=social&utm_source=facebook.page&utm_campaign=postfity&utm_content=postfity6fadd
23. Zeljko Kamberovic, Endre Romhanji, Mirjana Filipovic, Marija Korac, The Recycling of High Magnesium Aluminium Alloys Estimation of the Most Reliable Procedure, Association of Metallurgical Engineers of Serbia, UDC: 669.721.5'71, (2009)
24. European Aluminium Association, Recycled Aluminium: a Pathway to Sustainable Economy, www.european-aluminium.eu
25. Joel S. Yudken (High road Strategies), AndreaM. Bassi (Millenium Institute), Climate Policy and Energy-Intensive Manufacturing, (2009)
26. Cord Fricke Begemann, Sensors and Measurement Techniques LAser-based Analysis MEthods, VALEAF Seminar, (2015)
27. S.Bell, B. Davis, A. Javaid, E. Essadiqi, Final Report on Scrap Management, Sorting and Classification of Aluminum, The Goverment of Canada Enhanced Recycling, Action plan 2000 on Climate Change, Minerals and Metals Program, (2003)
28. Oscar Iribarren, High Recovery Decoating&Melting Process, Alumminio E Leghe, 2, (2010)
29. Constantin Adrian Ungureanu, Design for Sustainability: Product Life-Cycle Analysis in Aluminium Auto Body Applications, University of Kentucky, (2007)
30. Silvio Porto, HYDRO, Opportunities and Challenges in the Global Bauxite&Alumina Market, Metal Bulletin Bauxite and Alumina Conference, (2016)
31. Oleg Mukhamedshin, RUSAL, Creating Value Through The Cycle, Global Metals&Mining Conference, (2017)
32. Daniel B. Müller, Material Flow Analysis (MFA) Projects on Aluminium a NTNU, NRC Dialog Meeting, (2009)
33. Serge Roy, Advanced Sorting to Create New Scrap Flows, Light Metal Age, August 2016
34. NTNU, SINTEF, The Research Council of Norway, Roadmap from Europe and North America Workshop on Aluminium Recycling, (2010)
35. Erman Car, Alüminyum Üretim Süreçleri, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Yayını, 2011
36. Prof.Dr. Onuralp Yücel, Erman Car, Alüminyum Curuflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Curuf Yapıcı Üretimi, Metalurji Dergisi, Sayı 175, Ağustos 2015
37. Cristoph Schmitz, Handbook of Aluminium Recycling, Vulkan-Verlag, (2014)
38. Martin B. Taylor, Molten Metal Fluxing/Treatment: How to Best Achieve the Desired Quality Requirements, Alcastek, India, (2002)
39. Richard Evans, Graham Guest, *The Aluminium Decoating Handbook*, Stein Atkinson Stordy, www.gillespiepowers.com
40. Subodh K. Das, *Designing aluminium Alloys for a Recycle-Friendly World*, Light Metal Age, June 2006
41. Scott Kennedy, *Aluminium Melting and Metal Quality Processing Technology For Continuous High Quality Castings*, INDUCTOTHERM, American Foundary Society, 2001
42. Fuat Yavuz Bor, *Ekstraktif Metalurji Prensipleri*, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, YayIn No:1, 1985
43. Hoberg H., Meier-Kortwig J., Wolf S., *A New System for the Classification of Aluminium Scrap Material*, Institute for Mineral Processing, Coking and Briquetting and Chair for Processing and Recycling of Solid Waste Material , RWTH, Aachen
44. P.E. King, J.J. Hatem , B.M. Golchert, *Energy Efficient Operation of Secondary Aluminum Melting Furnaces*, Furnace Systems Technology Workshop: Emerging Technologies and Energy Efficiency, TMS 2006

Atık Tetra Pak Ambalajlarından Kağıt, Polietilen ve Alüminyum Bileşiklerinin Kazanımı

Recovery of Paper, Polyethylene and Aluminium Compounds From Waste Tetra Pak Packages

Fatih Bayıroğlu[1], Uğur Öztürk[1], Didem Saloğlu Dertli[1], Ahmet Turan[1], Onuralp Yücel[2]

[1]Yalova Üniversitesi, [2]İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract

Tetra Pak package materials are composite structures which consist of 75% carton, 21% polyethylene and 4% aluminium layers by weight. In the present study, firstly, carton and PEAl (polyethylene-aluminium) phases, in the content of Tetra Pak packages, were separeted from eachother by using Hydropulp process. Paper was produced from the carton phase by the Kraft Method and the microstructure images of the produced paper were examined to determine that the fiber sizes were similar to those of the same type of paper used commercially. In order to separate the remaining PEAl phases, HCl leaching was applied to the samples. In the experimental studies conducted for increasing solution molarities and temperatures, the most suitable leaching parameters were 0.1312 M HCl concentration, 25 °C solution temperature, 1/60 solid/liquid ratio, 20 minutes and 450 rpm. In the relevant experimental conditions, Al in the PEA1 phase passed through the solution in 100% in $AlCl_3$ form. In addition, the remaining polyethylene phase was subjected to FTIR analysis and, it was determined that it did not decompose during leaching, in LDPE form and in commercial grade.

Özet

Tetra Pak ambalaj malzemeleri, ağırlıkça %75 karton, %21 polietilen ve %4 alüminyum katmanlarından oluşan kompozit yapılardır. Bu çalışmada, ilk olarak atık Tetra Pak ambalajlarının içeriklerindeki karton ve PEAl (polietilen-alüminyum) fazları birbirlerinden Hidropulp Prosesi ile ayrılmıştır. Karton fazından elde edilen selüloz lapasından Kraft Yöntemi ile kağıt üretilmiş ve üretilen kağıdın mikroyapı görüntüleri incelendiğinde lif boyutlarının ticari olarak kullanılan aynı türden kağıtlara benzer olduğu tespit edilmiştir. Geriye kalan PEAl fazının birbirinden ayrılması için söz konusu numunelere HCl liçi uygulanmıştır. Artan çözelti molaritesi ve sıcaklıkları için yürütülen deneysel çalışmalarda,en uygun liç parametreleri 0,1312 M HCl konsantrasyonu, 25 °C çözelti sıcaklığı, 1/60 katı/sıvı oranı, 20 dk. liç süresi ve 450 rpm karıştırma hızı olarak tespit edilmiştir. İlgili deneysel şartlarda PEAl fazı içerisindeki Al %100 oranında $AlCl_3$ formunda çözeltiye geçmiştir. Ayrıca PEAl yapısından kalan polietilen fazına FT-IR analizi uygulanmış ve yapının liç esnasında bozunmadığı, LDPE formunda ve ticari olarak değerlendirebilir kalitede olduğu tespit edilmiştir.

1. Giriş

Tetra Pak Aseptik ticari bir ambalaj malzemesidir. Gıdaları bozulmadan tutmak için kullanılmaktadır ve kimyasal içeriği Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Atık Tetra Pak Aseptic ambalajlarını oluşturan bileşenlerin miktarları (ağ. %).

Karton	Polietilen	Alüminyum
75	21	4

Karton katmanlar rijitlik, polietilen (PE) katmanlar dayanıklılık ve alüminyum (Al) katmanları ise ışık ve oksijenin etkilerine karşı geçirimsizlik sağlamaktadır [1].

Günümüzde üretilen gıdaların 2/3'ünün Tetra Pak paketleri ile paketlenmektedir. İlk üretimi 1969 yılında yapılan Tetra Pak Aseptik ambalajları dünya üzerinde kullanılan en yaygın ambajlardır. 2013 yılındaki verilere göre, kullanılmış Tetra Pak karton kutularının geri dönüşüm oranı %40 olarak verilmiştir. 2020 yılında bu geri dönüşüm oranını 2 katına çıkartmak hedeflenmektedir [1, 2].

Atık Tetra Pak veya benzer ambalaj malzemelerinin geri dönüşümü, kazanılan malzemeler esasına göre üç ana kategoriye ayrılmaktadır;

- Karton kısımların geri dönüşümü,
- PEAl kısımların birlikte veya ayrı olarak geri dönüşümü,
- Tüm kısımların bir arada geri dönüşümü [2].

Bu çalışmada, atık Tetra Pak Aseptic ambalajlarından karton (selüloz) ve polietilen eldesindeki optimum parametrelerin belirlenmesine dair yürütülen deneysel çalışmaların sonuçları ve geri dönüşüm sonucunda elde edilen ürünlerin özellikleri paylaşılmaktadır. Ayrıca

Tetra Pak ambalajlarından çeşitli alüminyum içeren bileşiklerin eldesi için de öneriler de bulunulmuştur.

2. Deneysel Çalışmalar

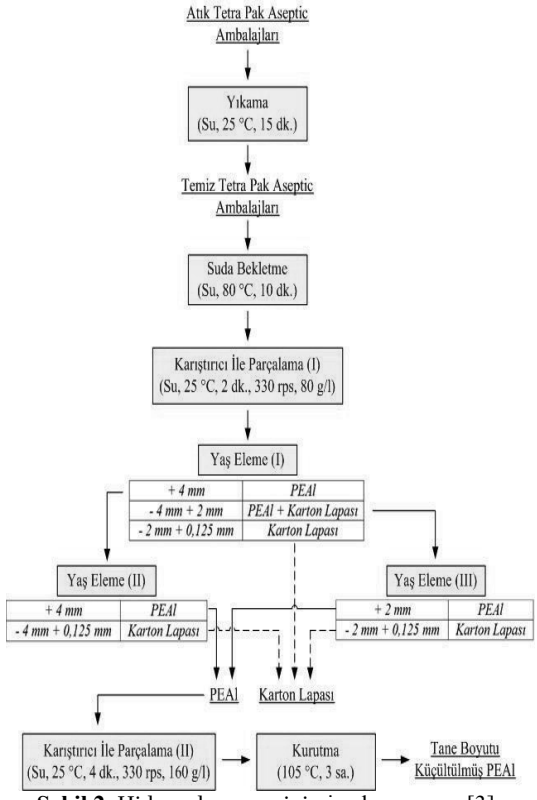
Deneysel çalışmaların genelleştirilmiş iş-akış şeması Şekil 1'de verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere deneysel çalışmalar üç temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada Tetra Pak ambalaj malzemelerini oluşturan PEAl ve karton kısımların hidropulp prosesi ile ayrımı sağlanırken ikinci aşamada kartondan ayrılmış PEAl fazını HCl ile muamele ederek PE ve Al yapılarının birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Üçüncü aşamada ise geri kazanılan geri kazanılan fazların ve üretilen malzemelerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmaların genelleştirilmiş iş-akış şeması.

2.1. Tetra Pak kutularının karton - PEAl kısımlarının ayrılması ve kağıt üretimi

Deneysel çalışmaların ilk aşamasını oluşturan PEAl – karton kısımlarının ayrılma sırası; yıkama, suda bekletme, karıştırıcı ile parçalama (1), yaş eleme, karıştırıcı ile parçalama (2) ve son olarak da kurutma aşamaları şeklindedir. Uygulanan hidropulp prosesi Şekil 2'de genel haliyle özetlenmiştir. İlgili hidropulp deneyleri Akoğlu ve arkadaşları tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen deneysel çalışmalara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. PEAl - karton ayrımı sürecinin ilk aşamasında atık ambalaj kutuları ortalama 1,5 cm kenar uzunluğuna sahip kare şeklinde kesilmiştir. Daha sonra kesilmiş ambalaj malzemeleri üzerindeki kirliliğe neden olan gıda atıklarından arındırılması için 15 dakikalık süre ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Kirlilikten arındırılmış temiz ambalaj malzemelerinin PEAl - karton kısımlarının aralarındaki yapışmayı azaltarak birbirinden daha kolay ayrılmalarını sağlamak için 80 °C sıcaklığa sahip su içerisinde 10 dakika boyunca bekletilmiştir.



Şekil 2. Hidropulp prosesinin iş-akış şeması [3].

2.2. PEAl'den PE kazanımı

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında, elde edilen PEAl fazının HCl (ağ.%37) asidi ile muamele edilip alüminyumun çözeltiye alınmasının optimum şartları araştırılmıştır. İkinci aşamada gerçekleştirilen deney setleri iki alt gruba ayrılmaktadır. Birinci deney setinde, asit molaritelerinin alüminyum çözümlendirme üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Çizelge 2). Söz konusu deney setinde katı faz olarak kullanılan 1 g PEAl (ağ. %18,94 Al) için sabit tutulan parametreler şunlardır; 25 °C deney sıcaklığı (oda sıcaklığı), 20 dakika liç süresi, 450 rpm karıştırma hızı ve 1/60 katı/sıvı oranı.

Çizelge 2. Asit molaritelerinin araştırıldığı deney setinde uygulanan parametreler.

No	HCl, ml	H_2O, ml	Molarite, M
1	15	45	0,0437
2	30	30	0,0875
3	45	15	0,1312
4	60	0	0,1750

İkinci deney setinde ise düşük asit molaritelerinde (0,0437 M ve 0,0875 M) gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda deney sıcaklığının Al çözeltiye geçme

verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Çizelge 3). 1 ve 2 nolu deneylerdeki HCl konsantrasyonları temel alınarak sırasıyla 35 °C, 45 °C ve 55 °C için deneyler gerçekleştirilmiş olup, ikinci deney setinde sabit tutulan parametreler; 20 dakika liç süresi ve 450 rpm karıştırma hızıdır.

Çizelge 3. Deney sıcaklığının araştırıldığı deney setinde uygulanan parametreler.

No	HCl, ml	H_2O, ml	Molarite, M	T, °C
5	15	45	0,0437	35
6	15	45	0,0437	45
7	15	45	0,0437	55
8	30	30	0,0875	35
9	30	30	0,0875	45
10	30	30	0,0875	55

Yapılan deneysel çalışmalarda çözeltiye geçen %Al'nin çözeltiye geçme veriminin (ÇGV) hesaplanması için (1) numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$ÇGV = \left(\frac{Çözeltiye\ geçen\ Al\ miktarı,g}{PEAl\ içerisindeki\ Al\ miktarı,g}\right) \times 100 \qquad (1)$$

3. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

3.1. Tetra Pak kutularının karton - PEAl kısımlarının ayrılması ve kağıt üretimi çalışmalarının sonuçları ve irdelenmesi

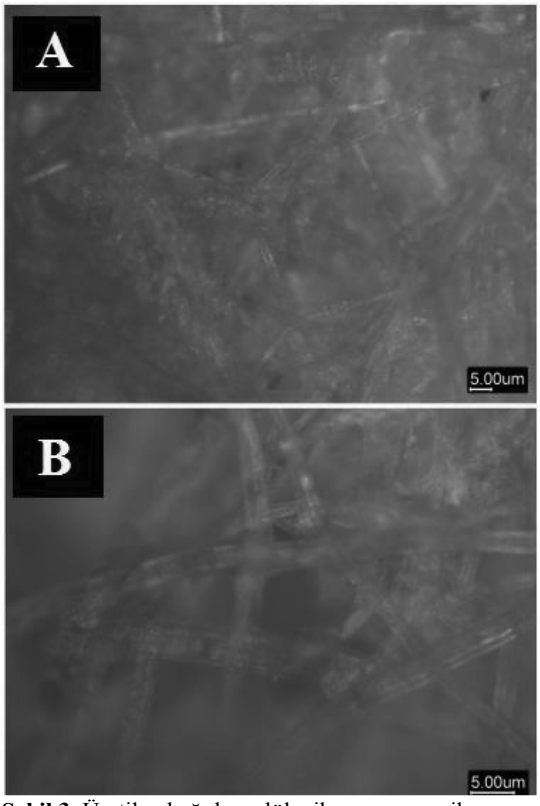
Deneysel çalışmaların ilk aşamasını oluşturan Tetra Pak kutularından PEAl ve karton fazlarının ayrılmasında kullanılan hidropulp prosesinde, yaş eleme sırasında -2 mm +0,125 mm arasında kalan selülozik kısımdan ''Kraft Yöntemi'' kullanılarak kağıt elde edilmiştir. Elde edilen kağıdın optik mikroskop yardımıyla mikroyapı görüntüleri alınmış ve Şekil 3'te paylaşılmıştır.

Elde edilen bilgiler ışığında selülozik esaslı karton kısımlarının kağıt endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilecek kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Selüloz lifleri ortalama 3,25 µm kalınlığında ve kağıt üretimine uygun uzunluktadır.

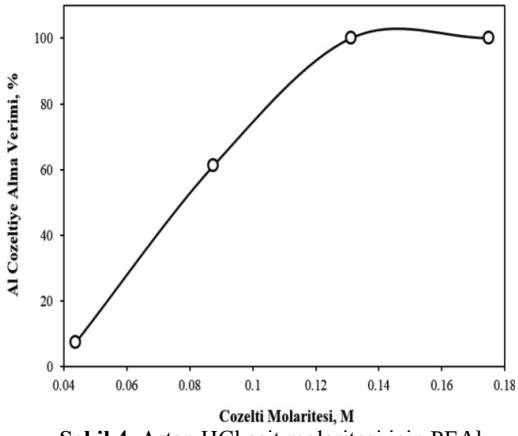
3.2 PEAl'den PE kazanımı çalışmalarının sonuçları ve irdelenmesi

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında, HCl asidi ile liç edilerek PEAl fazından Al fazı çözeltiye alınmıştır. Alüminyum fazının çözeltiye alma deneyleri artan asit molariteleri için oda sıcaklığında ve düşük asit molariteleri için artan sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Artan asit molaritesi ile çözeltiye alınan Al miktarının da yükseldiği tespit edilmiştir (Şekil 4, Çizelge 4).

0,1312M ve 0,1750 M asit konsantrasyonlarında %100 çözeltiye alma verimini geçmemizin nedeni. Tartım aldığımız 1 g numunenin pulsu ve homojenliği nispeten az olabilecek yapısıdır. Bu durum metalürji de külçe efekti olarak tanımlanmaktadır ve Au-Ag cevherlerinin analizinde de sıkça karşılaşılan bir durumdur [4]. Bu yüzden %100 verimi geçtiğimiz 0,1312 M ve 0,1750 M asit konsantrasyonlarındaki deneyler %100 verime ulaştığımız yeterli şartları göstermektedir.



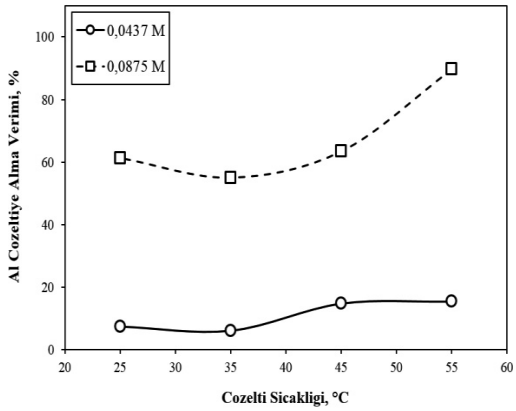
Şekil 3. Üretilen kağıdın selülozik yapısının mikroyapı incelemeleri, (A) 100X, (B) 200X büyütme.



Şekil 4. Artan HCl asit molaritesi için PEAl içerisindeki Al'nin çözeltiye geçme verimi.

0,0437 M ve 0,0875 M asit konsantrasyonlarında çözeltiye geçme verimlerini geliştirebilmek için, söz konusu molarite değerlerindeki deneysel çalışmalar artan deneysel sıcaklıklar için de tekrar edilmiştir

(Şekil 5, Çizelge 4). Artan deneysel sıcaklıklar ile çözeltiye geçme verimlerinin arttığı gözlemlenilmiştir. Ancak araştırılan en yüksek sıcaklık olan 55 °C'de dahi %100 Al çözeltiye geçme verimine ulaşılamamıştır.



Şekil 5. Artan çözelti sıcaklıklarında PEAl içerisindeki Al'nin çözeltiye geçme verimi.

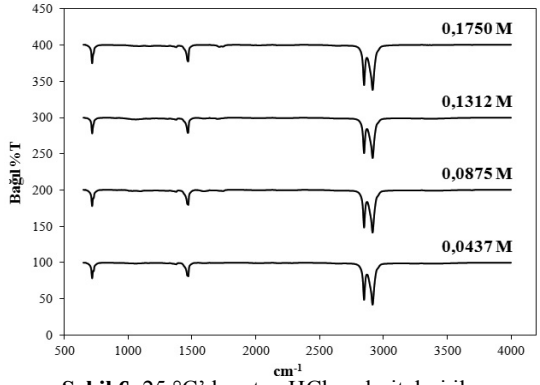
Çizelge 4. PEAl içerisindeki Al'nin çözeltiye alınması için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve çözeltiye geçme verimleri.

No	Molarite, M	T, °C	ÇGV, ağ.%
1	0,0437	25	7,40
2	0,0875	25	61,25
3	0,1312	25	100,00 (116,68)
4	0,1750	25	100,00 (100,42)
5	0,0437	35	6,07
6	0,0437	45	14,78
7	0,0437	55	15,42
8	0,0875	35	54,96
9	0,0875	45	63,41
10	0,0875	55	89,76

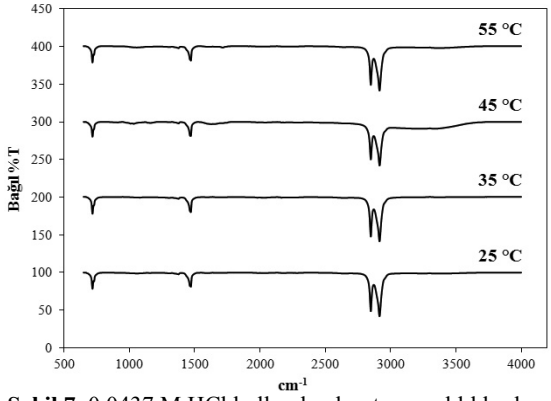
Asit ile muamele işleminden sonra filtre kekinde elde edilen PE fazının bileşimi FT-IR ile belirlenmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi 4 farklı HCl molarite değerinde PE fazlarının net olarak elde edildiği saptanmıştır. 500 cm^{-1} ile 4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında yapılan FT-IR analizlerinde polietilene ait spesifik bantlar 3000 cm^{-1} – 2800 cm^{-1} aralığında belirgin şekilde elde edilmiştir. 2900 cm^{-1} ile 2850 cm^{-1} dalga boyları arasındaki pik CH_2 asimetrik bağlarını temsil etmektedir ve bu pik polietilenin moleküler yapısıyla tamamen uyumludur.

Şekil 7'de 0,0437 M asit konsantrasyonun ve artan deney sıcaklıkları için elde edilen FT-IR paternleri, Şekil 8'de ise 0,0875 M asit konsantrasyonunda artan deneysel sıcaklıklar için elde edilen filtre keklerinin FT-IR paternleri verilmektedir.

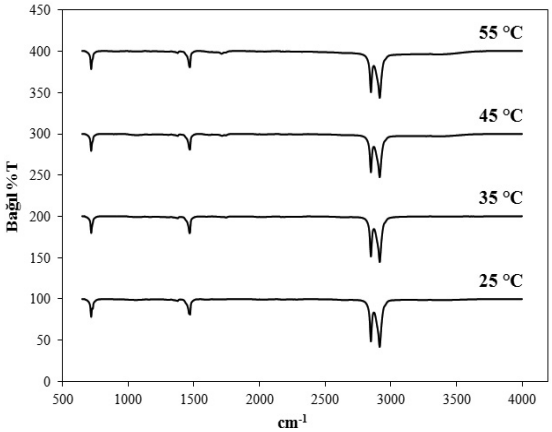
Yapılan çalışmalarda HCl ile muamele edilen PE-Al numunelerinde kalan Al'nin saptanması için AAS analizleri yapılmış ve yapılan analizler sonucunda, yüksek molaritedeki HCl konsantrasyonları için, keklerin bileşiminde Al bulunmadığı ancak düşük molaritedeki HCl çözeltilerinde (0,0437 M HCl ve 0,0875 M HCl) sistemde az miktarda da olsa Al kaldığı saptanmıştır.



Şekil 6. 25 °C'de artan HCl molariteleri ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen filtre keklerinin FT-IR paternleri.



Şekil 7. 0,0437 M HCl kullanılarak artan sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen filtre keklerinin FT-IR paternleri.



Şekil 8. 0,0875 M HCl kullanılarak artan sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen filtre keklerinin FT-IR paternleri.

Yüksek konsantrasyonda kullanılan HCl ile stokiyometrik olarak reaksiyona giren Al'nin (2) numaralı eşitliğe göre $AlCl_3$ formuna kolaylıkla dönüşebildiği ve $AlCl_3$'ün çözünerek sıvı faza geçtiği bu nedenle de liç işlemi sonrasında kek fazında bulunmadığı düşünülmektedir.

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2 \quad (2)$$

Reaksiyon mekanizmasına göre, yüksek konsantrasyonlardaki HCl miktarlarında Al ile reaksiyon sonrasında aşırı maddenin HCl olduğu, bu nedenle de Al'nin tamamının reaksiyon esnasında tükenerek $AlCl_3$ formunda artan HCl ile rafinat faza geçtiği düşünülmektedir. Bu nedenle yüksek konsantrasyondaki HCl ile yapılan liç deneylerinde kekte Al'ye rastlanmamıştır.

Ancak HCl molaritesi düşürüldüğünde (0,0437 M ve 0,0875 M), ortamda düşük konsantrasyondaki HCl'den kaynaklanan fazla miktardaki su molekülleri sebebiyle, oluşan $AlCl_3$'de ortamda bulunan aşırı H_2O ile (3) numaralı eşitliğe göre reaksiyona girebilmektedir.

$$AlCl_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3HCl \quad (3)$$

Oluşan reaksiyon sonucunda çöken alüminyum hidroksit sebebiyle, düşük konsantrasyondaki HCl çözeltisi ile yapılan liç işleminde, kek fazında alüminyum görülmüş olabileceği düşünülmektedir.

Başka bir yaklaşım olarak, ortamda yeterince su molekülü varsa, (4) numaralı eşitlikteki reaksiyon mekanizması ile alüminyum oksit tuzu meydana gelebilmektedir.

$$2AlCl_3 + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6HCl \quad (4)$$

Bu reaksiyon ile meydana gelen alüminyum oksit tuzu da yine çökme özelliği göstererek kek fazında alüminyuma rastlanmasına sebep olabilmektedir.

Düşük molarite değerlerinde filtre kekinde kalan Al'nin giderilebilmesi için liç işlemleri yüksek sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir, ancak kek fazında rastlanan alüminyum çözelti fazına alınamamıştır. Bunun sebebi, yukarıda açıklanan reaksiyon mekanizmaları ile meydana geldiği öngörülen $Al(OH)_3$ ve Al_2O_3 bileşiklerinin çözünürlük sabitlerinin çok düşük olması ve sıcaklığın arttırılması ile çözünürlüğün rafinat faza geçecek düzeye gelmemesidir.

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, atık Tetra Pak Aseptik ambalajlarından kağıt, polietilen ve alüminyum bileşiklerinin hidrometalurjik yöntemler ile kazanım şartları araştırılmıştır.

Deneysel çalışmaların ilk kısmı olan hidropulp prosesinde, elde edilen selülozik kısımdan Kraft yöntemiyle A4 büyüklüklerinde kağıt üretilmiş ve optik mikroskop yardımı ile mikroyapısı incelenmiştir. Üretilen kağıdın endüstride hammadde olarak kullanılabilecek kalitede olduğu gözlemlenilmiştir.

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında elde edilen PEAl fazı HCl asidi ile muamele edilip, alüminyumun çözeltiye alınıp polietilen fazının kazanılması için optimum şartlar araştırılmıştır. Bu amaç ile ilk deney setinde asit molaritelerinin çözeltiye alma verimi üzerindeki etkileri, ikinci deney setinde ise düşük asit molaritelerinde çözelti sıcaklığının çözeltiye alma verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, düşük asit molaritelerinde (0,0437 M ve 0,0875 M) çözeltiye alma sıcaklıkları arttırılsa dahi çözeltiye geçen Al miktarının çok fazla artmadığı tespit edilmiştir. Yüksek asit molaritelerinde ise (0,1312 M ve 0,1750 M) 1/60 katı-sıvı oranında 25 °C deney sıcaklığında, 20 dakika deney süresi ve 450 rpm karıştırma hızında çözeltiye alma verimlerinin %100 olduğu belirlenmiştir. Ancak, çözeltiye alma verimleri her iki deneysel çalışmada da aynı olduğu için en verimli şartların daha az asit kullanılan 0,1312 M HCl konsantrasyonu olduğu kanaati oluşmuştur.

Deneysel çalışmalarda elde edilen liç kekleri FT-IR kullanılarak karakterize edilmiş ve HCl liçinin liç keklerinde elde edilen PE'nin yapısına zarar vermediği, liç keklerinin düşük yoğunluklu PE yapısında ve ticari kalite de olduğu tespit edilmiştir.

Referanslar

[1] Tetra Pak, ''Tetra Pak – Development in Brief'', Rapor, 2014.
[2] <http://www.tetrapak.com/tr> Tarihi: 18.04.2017.
[3] B. Akoğlu, K. Azgı, S. İncir, M. Çopur, A. Turan, Production of Polyethylene – Aluminum Composites from Waste Tetra Pak Packages, 18th International Metallurgy and Materials Congress (IMMC2016), 29 Eylül – 1 Ekim 2016, İstanbul, Türkiye.
[4] A. Turan, O. Yucel, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, 47 (2) B (2011) 219 – 227.

Cüruflardan Kazanılan Alüminyum Kalitesinin ve Miktarının Belirlenmesi

Determination of Aluminium Quality and Quantity Gained From Slags

Bora Yay[1], Hüseyin Çağdaş Karakuş[1], Basri Şen[1], Özgür Türkal[2]

[1]Lodos Teknik A.Ş., [2]CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş.

ABSTRACT

In the production of aluminum, slag is taken periodically from melting furnaces and low pressure casting workbenches (dosing furnaces). Slags are structures which contain highly undesirable oxides but which also contain high levels of metallic aluminum. Recycling of aluminum in slag is important in terms of efficient use of this material, which is 100% imported in wheel manufacturing. Therefore, we have produced different equipment in our company for the recycling aluminum from the slag. Experiments with slag mixer equipment have resulted in up to 70% gain.
In addition, the slag press machine was designed in order to achieve a more rapid recovery during production, and up to 20% of aluminum was recovered from this machine. Spectrometric and metallographic quality analyzes of metals from both equipment were carried out. It has been found that the quality of the resulting metal is suitable for use in production.

ÖZET

Alüminyum üretiminde ergitme fırınlarından ve döküm yapılan alçak basınçlı döküm tezgahlarından periyodik olarak cüruf alınmaktadır. Cüruflar, içerisinde yoğun olarak istenmeyen oksitler içeren, ancak yüksek oranda metalik alüminyum da barındıran yapılardır. Cüruf içerisindeki alüminyumun geri kazanımı jant üretiminde %100 ithal edilen bu malzemenin verimli kullanılması açısından önemlidir. Bu nedenle cüruftan alüminyum kazanımı için firmamızda farklı ekipmanlar üretilmiştir. Cüruf mikseri olarak üretilen ekipman ile yapılan denemelerde %70 oranına kadar kazanım sağlanmıştır. Ayrıca üretim sırasında daha hızlı bir şekilde kazanım sağlaması amacıyla cüruf pres makinası tasarlanmıştır ve bu makinadan %20 ye kadar alüminyum kazanımı gerçekleştirilmiştir. Her iki ekipmandan alınan metallerin spektrometre ve metalografik kalite incelemeleri yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen metalin kalitesinin üretimde kullanılmak için uygun olduğu görülmüştür.

1. Giriş

Alüminyum jant üretimi ve kullanımı her geçen gün üretim sektöründe payını genişletmektedir. Otomotiv sektöründe araçların ağırlıklarındaki azalma çevreye salınan gazları ve emisyon oranını azaltacağından, alüminyum jantının sağladığı avantajlar da otomobil üreticileri için tercih sebebi olmaktadır. Özellikle jant üretimi için gerekli olan alüminyum metali yurt dışından temin edildiği için yüksek miktarlarda hammadde ithalatı gerçekleşmektedir. Alüminyum metali geri dönüşüme elverişli olduğundan dolayı üretim sırasında geri dönüştürülen alüminyum miktarı, ithal edilen hammadde oranında azalma sağlayacaktır. Dökümü yapılan jantların talaşlı imalatı sırasında elde edilen talaşların geri dönüşümü en bilinen geri dönüşüm proseslerinden birisidir. Fakat alüminyum dökümhanelerinde elde edilen cüruflar da yüksek oranda alüminyum ihtiva etmektedir. Beyaz cüruf olarak adlandırılan cüruflar %70 e kadar metalik alüminyum içerir ve birçok yöntem kullanılarak tekrar üretimde kullanılacak hale getirilebilir. Bu nedenle yaptığımız çalışmada CMS Jant ve Makina Sanayi firmasında elde edilen cürufların yapısı incelenmiş, farklı yöntemler ile geri kazanım oranı ve kazanılan alüminyumun kalitesi belirlenmiştir. Cüruftan alüminyumu kazanım için Lodos Teknik mühendisleri tarafından tasarlanan cüruf mikser makinası ve cüruf pres makinası kullanılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Alüminyumun geri kazanımı için yapılan çalışmalarda ilk olarak cüruf mikseri makinası ile kazanım ve metal kalitesi incelemeleri yapılmıştır. Farklı bölgelerin cüruflarından yapılan denemeler ile ilk olarak kazanım oranları belirlenmiştir.

2.1. Cüruftan Alüminyum Kazanım Çalışmaları

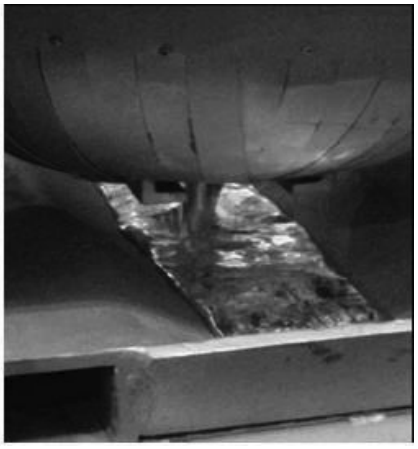
2.1.1. Cüruf Mikseri



Şekil 1. Cüruf geri kazanım makinasının genel görünümü

Geri kazanım denemesi yapılan alanlar;

- Alçak basınç döküm tezgahı bekletme ocağından çekilen cüruf,
- Sürekli ergitme fırını bekletme haznesinden çekilen cüruf,
- Talaş ergitme tesisi ana bekletme haznesinden çekilen cüruf,
- Talaş ergitme fırını girdap kuyusu bölgesi havuzundan çekilen cüruf.



Şekil 2. Cüruftan alüminyumun kazanımı

2.1.1.1. Alçak Basınçlı Döküm Tezgahlarında Yapılan Denemeler

Alçak basınç döküm tezgahı bekletme ocağından geri kazanım amacı ile 3 defa deneme yapılmıştır. İlk denemede 4 tezgahtan, ikinci denemede 3 tezgahtan, son denemede ise 6 tezgahtan çekilen cüruflar reaksiyona sokularak geri kazanım miktarları ölçülmüştür.

Çizelge 1. Alçak basınçlı döküm tezgahlarında yapılan deneme sonucu çıkan cüruf ve kazanılan alüminyum miktarı

Deneme No	Çekilen Toplam Miktar (Kg)	Reaksiyon Sonucu Çıkan Cüruf Miktarı (Kg)	Geri Kazanılan Alüminyum Miktarı (Kg)	Geri Kazanım Oranı
1	28	11	17	60,71 %
2	32	12	20	62,50 %
3	22	12	10	45,50 %
Ortalama Sonuç	82	35	47	57,32 %

2.1.1.2. Sürekli Ergitme Fırınında Yapılan Denemeler

Sürekli ergitme fırınının bekletme bölgesinden alınan cüruflarla yapılan denemelerin sonuçları aşağıdaki gibidir (Çizelge 2.).

Çizelge 2. Sürekli ergitme fırınlarında yapılan deneme sonucu çıkan cüruf ve kazanılan alüminyum miktarı

Deneme No	Çekilen Toplam Miktar (Kg)	Reaksiyon Sonucu Çıkan Cüruf Miktarı (Kg)	Geri Kazanılan Alüminyum Miktarı (Kg)	Geri Kazanım Oranı
1	9	5	4	44,44 %
2	40	16	24	60,00 %
Ortalama Sonuç	49	21	28	57,14 %

2.1.1.3. Talaş Ergitme Fırını Ana Bekletme Haznesinde Yapılan Denemeler

Alüminyum talaşlarının ergitildiği talaş ergitme fırınından alınan cüruflarla yapılan denemelerin sonuçları aşağıdaki gibidir (Çizelge 3.).

Çizelge 3. Talaş ergitme fırınlarında yapılan deneme sonucu çıkan cüruf ve kazanılan alüminyum miktarı

Deneme No	Çekilen Toplam Miktar (Kg)	Reaksiyon Sonucu Çıkan Cüruf Miktarı (Kg)	Geri Kazanılan Alüminyum Miktarı (Kg)	Geri Kazanım Oranı
1	28	14	14	50,00 %
2	17	7	10	58,82 %
Ortalama Sonuç	45	21	24	53,33 %

2.1.1.4. Talaş Ergitme Fırını Girdap Kuyusu Bölgesinde Yapılan Denemeler

Talaş ergitme fırınında girdap oluşturulmasını ve metal sirkülasyonunu sağlayan bölgeden alınan cüruflarla yapılan denemelerin sonuçları aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.).

Çizelge 4. Talaş ergitme fırınlarında yapılan deneme sonucu çıkan cüruf ve kazanılan alüminyum miktarı

Deneme No	Çekilen Toplam Miktar (Kg)	Reaksiyon Sonucu Çıkan Cüruf Miktarı (Kg)	Geri Kazanılan Alüminyum Miktarı (Kg)	Geri Kazanım Oranı
1	22	13	9	40,91 %
2	26	15	11	42,31 %
3	14	4	10	71,43 %
Ortalama Sonuç	62	32	30	48,39 %

2.1.2. Cüruf Pres

Alüminyum ergitilmesi sırasında elde edilen sıcak cürufun preslenerek içerisindeki alüminyumun kazanılması bu yöntemle sağlanmaktadır. Geri kazanım verimi cüruf mikserine göre daha az olsa da kullanım kolaylığı açısından tercih edilmektedir.



Şekil 3. Cüruf Pres Makinası

2.1.2.1. Cüruf Pres İle Yapılan Denemeler

Alüminyumun ergitildiği fırınlardan elde edilen cüruflar sıcak halde cüruf presinde preslenerek içerisindeki alüminyum süzdürülür. Bu yöntemle kazanılan alüminyum miktarları aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.).

Çizelge 5. Cüruf preste yapılan deneme sonucu kazanılan alüminyum miktarı

Deneme No	Çekilen Toplam Miktar (Kg)	Reaksiyon Sonucu Çıkan Cüruf Miktarı (Kg)	Geri Kazanılan Alüminyum Miktarı (Kg)	Geri Kazanım Oranı
1	1699	1359	340	20,01 %
2	2602	1975	627	24,10 %
3	2049	1649	400	19,52 %
Ortalama Sonuç	6350	4983	1367	21,52 %

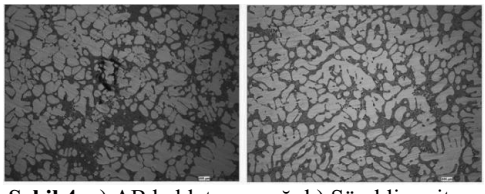
2.2. Metal Kalitesinin İncelenmesi

Cüruflardan elde edilen alüminyumun yeniden üretimde kullanılabilmesi için içerisinde empürite ve oksit barındırmaması gerekmektedir. Bu nedenle cüruflardan kazanılan alüminyumların kalite incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle elde edilen alüminyumların spektral analizleri incelenmiştir.

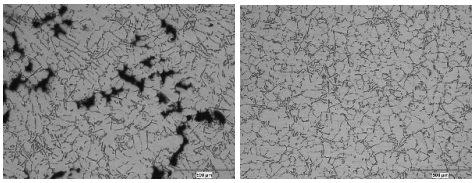
- Spektral analiz sonucunda elde edilen alüminyumun kimyasal bileşiminde flaks ile reaksiyon sonucu Magnezyum ve Stronsiyum değerlerinin limit değerlerimizin altına düştüğü görülmüştür. (Ortalama olarak Mg ≈ % 0,11, Sr ≈ % 0,0023)
- Mg ve Sr oranlarındaki düşüş haricinde kimyasal bileşimde herhangi bir anormallik tespit edilmemiştir.

2.2.1. Mikro Yapı İncelemeleri

Cüruf mikserden ve cüruf presten elde edilen alüminyumların metal kalitesini incelemek için mikro yapı görüntüleri incelenmiştir. Belirli kesitlerde numuneler alınarak zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapıldıktan sonra optik mikroskopta 50X büyütmede mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. a) AB bekletme ocağı b) Sürekli ergitme fırınından kazanılmış alüminyumun mikro yapı kesitleri



Şekil 5. a) Cüruf presten elde edilen metalin döküm porozitesi maksimum olan bölgesi b) porozitesiz bölge

Cüruf mikserden kazanılan metalin mikro yapı analizinde metal içerisinde oksit olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan incelemede oksite rastlanmamıştır. Bazı noktalarda katılaşma esnasında oluşan döküm boşlukları mevcuttur. Bunların ise metal kalitesine etkisi yoktur.

Fakat cüruf presten kazanılan metalin mikro yapısı incelendiğinde çok sayıda döküm boşluğuna rastlanmış ve yapıdaki Sr ve Mg un yanması ve katılaşma parametreleri yüzünden silisyumun modifikasyonu gerçekleşmemiştir. Yapıdaki bu modifikasyon kaybı metalin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyecektir.

A356 alaşımında Stronsiyum ilavesi ile silisyum modifikasyonunun etkileri birçok çalışmada incelenmiştir [1,2]. Yapılan çalışmalardaki sonuçlara göre Stronsiyum ilavesinin yapıdaki silisyumu ipliksi hale modifiye ederek mekanik özelliklerde geliştirme sağlamaktadır. İlave edilen flaksların etkisi ve cüruf oluşumu sırasındaki reaksiyonlar sonucu yapıdaki Stronsiyum oranında azalma meydana geldiğinden Şekil 5 teki gibi bir mikro yapı ortaya çıkmıştır.

Sıvı metalin katılaşması sırasındaki parametreler de mikro yapıda önemli etkiler yaratmaktadır. Pres ile kazanılan metalde katılaşma verimsiz olduğundan dolayı böyle bir mikro yapı oluşabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda katılaşmanın mikro yapı üzerine etkileri incelenmiştir ve katılaşma sonucu iç yapıdaki değişimler aldığımız sonuçlara benzerlik göstermektedir [3].

3. Sonuç

Alüminyum üretiminde elde edilen ve beyaz cüruf olarak nitelendirilen alüminyum bakımından zengin cürufların kazanımı ve üretimde kullanılması, üretim verimliliği açısından çok önemlidir. Yapılan çalışmalarda farklı yöntemlerle farklı bölgelerden alınan cüruflarla kazanım çalışmaları yapılmıştır ve kazanılan metalin kalitesinde tekrardan kullanılmak için herhangi bir probleme rastlanmamıştır.

Cüruf oluşumu ve cüruf kazanımı sırasında kullanılan flakslar ve katılaşma parametreleri sebebiyle sıvı metal kompozisyonunda meydana gelen değişimler ilave alaşımlar ile düzenlenebilir. Sr ve Mg kaybı döküm sırasında şarjdaki miktara göre giderilerek yapıdaki silisyumun modifikasyonu tekrar sağlanabilir.

Döküm için sorun yaratacak oksitlere veya empüritelere kazanılan metallerde rastlanmamıştır. Cüruf kalıntıları veya oksit miktarında artış gözlemlenirse filtrasyon uygulaması yapılabilir.

Sıvı metal kazanım oranlarına ve kalite sonuçlarına göre cüruf mikseri ile kazanılan alüminyum hem verim açısından hem de metal seviyesi bakımından cüruf pres yöntemine göre daha avantajlıdır. Yapılacak olan geliştirmeler ile sıvı metal kazanım oranı arttırılarak üretimde geri dönüşüm miktarı arttırılabilir.

Referanslar

[1] M. Marzouk, M. Jain n, S. Shankar," Effect of Sr-modification on the bendability of cast aluminum alloy A356 using digital image correlation method", Materials Science & Engineering A 598 (2014) 277–287.

[2] M. Amne Elahi, S. G. Shabestari," Effect of various melt and heat treatment conditions on impact toughness of A356 aluminum alloy", Trans. Nonferrous Met. Soc. China 26(2016) 956−965.

[3] K.T. Akhil, S. Arul, R. Sellamuthu," The effect of section size on cooling rate, microstructure and mechanical properties of A356 aluminium alloy in casting", Procedia Materials Science 5 (2014) 362 – 368

Dönüşüm için Alüminyum Akademisi

Aluminium Academy for Transformation

Birol Büyüksivri, Gülşen Özal, Çağla Nüman
Asaş Alüminyum Sanayi

Abstract

Increasing compexity of the production process due to diversification of aluminium applications, and each application requiring different specifications has made the existance of an organization that learns intelligently and manages intelligence mandatory. At this point, Asas has strategically focused more on the transformation and development of the organization as a whole, rather than the information providing aspect of training to meet the immediate requirements and personal development of the employees.

According to the strategies of Asas shaped by its vision, mission and values, training and development activities are no longer merely a sub-function of the HR division. The Asas Academy has been established as a strategic business partner during the realization phase of the corporate strategies.

Özet

Alüminyumun kullanım alanının çeşitlenmesi ve her uygulamanın farklı özellikler gerektirmesiyle karmaşıklaşan üretim safhaları, beraberinde "akıl"lı öğrenen" ve "akıl" yönetimi yapabilen bir organizasyonun varlığını zorunlu kılmıştır. Bu noktada Asaş, eğitimin bilgi edindirme ve anlık ihtiyaçları karşılama boyutundan çok stratejik boyutuna yönelmiş, çalışanların bireysel gelişimine değil, organizasyonun bütün olarak dönüşüm ve gelişimine odaklanmıştır.

Asaş'ın Vizyon, Misyon ve Değerler örüntüsüyle şekillenen stratejileri doğrultusunda, eğitim ve gelişim faaliyetleri insan kaynaklarının bir alt fonksiyonu olmaktan çıkmış, kurumsal stratejilerin gerçekleştirilmesi sürecinde, stratejik iş ortağı olarak konumlandırılan Asaş Akademi kurulmuştur.

1. Giriş

Büyümek ve büyümenin varlığını sürdürülebilir kılmak, hemen tüm şirketlerde olduğu üzere Asaş'ın da en önemli hedeflerinden birini oluşturmaktadır. Kurulduğu ilk yıldan itibaren Asaş bu hedefine odaklanmış, izlediği politikalarla hızlı ve istikrarlı bir büyüme trendi yakalamıştır. Elbette ki bu büyüme, yönetilmesi gereken daha karmaşık işleri ve daha geniş ekipleri de beraberinde getirmiştir.

Büyüme politikaları sadece daha çok üretmek, farklı sektörlere girmek ve daha çok satış yapmak üzerine kurgulandığında, büyümenin tam olarak sindirilememesi, kontrol kaybı ve iş gücünün niteliksel olarak aynı oranda büyüyememesi riskleriyle karşı karşıya kalınacaktır.

Bu gerçekten hareketle Asaş, önceliği vizyon, misyon ve değerlerini gözden geçirmeye vermiş, hem bu süreçte, hem de hedefe ulaştıracak olan strateji haritalarının oluşturulması sürecinde tüm iş birimlerini ve bu iş birimlerindeki her kademeden yöneticiyi sürece ortak etmiştir. Ardı ardına yapılan strateji çalıştayları sonucunda vizyon, misyon ve değerler şekillenirken, hissedarlarımız, müşterilerimiz, iş ortaklarımız, çalışanlarımız ve toplumu da içine alan, proaktif büyüme hamlelerinin adım adım işlendiği "Yönetim Makinesi Yol Haritası" ortaya çıkmıştır.

Bu yol haritası aynı zamanda, Asaş'ın, vizyon ve hedeflerine birlikte yürüyebileceği yetkinliklere sahip insan kaynağının gelişimi için, eğitim faaliyetlerinin kurumsal bir akademi çatısı altında yürütülmesinin gerekliliğini de ortaya koymuştur.

1.1. Asaş Akademi'ye giden adımlar

Asaş Akademinin kuruluşu öncesinde atılan adımlar aşağıdaki gibidir:

1.1.1. Asaş Akademi Yönetim Kurulu üyelerinin ve bu üyelerin görev ve sorumluluklarının belirlenmesi

1.1.2. Asaş Akademi'nin varoluş sebebini açıklayan ve geleceğini resmeden misyon ve vizyonunun belirlenmesi

1.1.3. Akademinin hangi fonksiyonlara ve amaçlara hizmet edeceğinin; geniş mi yoksa daha dar bir odakla mı başlaması gerektiğinin ortaya konması

1.1.4. Eğitim ve gelişim ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik iç ve dış kaynakların belirlenmesi
1.1.5. Paydaşların ve ihtiyaçların belirlenmesi
1.1.6. İhtiyaçların karşılanmasına yönelik yenilikçi ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi
1.1.7. İhtiyaçların karşılanması sürecine destek verecek partnerlerin; kişi ve kuruluşların belirlenmesi
1.1.8. İletişim teknolojilerindeki gelişmelerden faydalanarak verimliliği artıracak, paylaşımı ve sürekli öğrenmeyi destekleyecek yazılımların devreye alınması
1.1.9. Kritik KPI'ların, ölçüm metodlarının ve süreçlerin tasarlanması
1.1.10. Operasyonel süreçlerin nasıl yürütüleceği, takibi ve raporlamasıyla ilgili sistem kurulumu ve tüm sürecin yazılı hale getirilmesi

1.2. Asaş Akademi'nin İlkeleri

Asaş'ın İnsan kaynakları stratejisinin temeli olan; bağlı ve memnun Asaş'lı kültürü oluşturma amacından yola çıkılarak, gücünü kendi iç eğitmenlerinden alacak, tüm paydaşların kendilerini, geliştirerek gerçekleştirebilecekleri bir organizasyon tasarlanmıştır. Bu organizasyonun temel ilkeleri ise şunlardır:

1.2.1. Kurumsal stratejiye uygun proaktif bir yaklaşım
1.2.2. Öğrenen organizasyon kültürüne hizmet eden, merkezi bir yapı
1.2.3. Orta ve uzun dönemli iş performansını hedefleyen süreklilik
1.2.4. Organizasyonel ve profesyonel birimler arası paylaşım
1.2.5. Yönetim, personel ve aileleri tarafından benimsenen ve yaşatılan bir yapı
1.2.6. Kazanımların ve kuruma olan katkılarının sürekli ölçüldüğü bir sistem

1.3. Asaş İş Ailesi Yetkinlik Gelişim Modeli

"Çalışanların kendi işlerinde başarılı performans göstermelerine olanak sağlayan kişisel yetenekleri, bilgi, tecrübe ve beceri birikimleri", yetkinlik olarak adlandırılmaktadır. Yetkinlik, bilmekle yapabilmek arasındaki farktan kaynaklanır.

Asaş Akademi çalışmalarına, dönüşümü sağlayacak olan yetkinliklerin belirlenmesi ve belirlenen yetkinlikler dâhilinde her kademeden ihtiyaçların ortaya çıkarılmasıyla başlamıştır.

Asaş'ta yetkinlikler;
Temel Yetkinlikler: Asaş'ın tüm çalışanlarında bulunması gereken ortak yetkinlikler

Teknik/Fonksiyonel Yetkinlikler: Mesleklere ve iş ailelerine özgü yetkinlikler

Yönetici/Liderlik Yetkinlikleri: Asaş'taki yönetici, yönetici adayları ve liderlerin sahip olması gereken yetkinlikler olarak üç ana kategori altında toplanmıştır.

Bu kategorilerin altında, her biri en az bir kurumsal değerle eşleşmiş olan toplam 23 yetkinlik başlığı bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra söz konusu bu 23 yetkinliğe ait beklenen davranış göstergelerinin neler olduğu ortaya konmuş ve detaylı bir yetkinlik sözlüğü hazırlanarak tüm çalışanların bilgi ve kullanımına sunulmuştur. HAY Group'la birlikte yapılan iş değerlemesi çalışmalarının sonuçları da dikkate alınarak her bir iş ailesi içindeki statü unvanlarına uygun yetkinlik dağılımları ve ilgili yetkinliğin, davranış göstergelerine ulaşılmasına destek verecek olan eğitim başlıkları belirlenmiş, yetkinlik kartları oluşturularak çalışanlara ulaştırılmıştır.

Çizelge 1. Kategorilerine göre yetkinlik başlıkları

Temel Yetkinlikler
Farklılıkları Yönetme/Saygı
İletişim Ve Takım Ruhu
Kurumsal Sistem Ve Standartlara Uyum
Müşteri Odaklılık
Sorumluluk Üstlenme Ve İşi Sahiplenme
Yenilikçilik Ve Proaktivite
Teknik/Fonksiyonel Yetkinlikler
Analitik Düşünme Ve Problem Çözme
Değişime Yardımcı Olma
İnisiyatif Kullanabilme
İş, Kaynak Ve Zaman Yönetimi
Karar Verme
Yönetici/Liderlik Yetkinlikleri
Değişim Liderliği
Delegasyon
Ekip Geliştirme
İşbirliği Oluşturma
Koçluk Geliştirme
Kültür, Vizyon Ve Değerlerle Liderlik
Performansı Başarıya Yönlendirme/Geri Besleme
Planlama Ve Organize Etme
Sonuç Odaklılık
Stratejileri Hayata Geçirme
Tanıma Ve Takdir Etme
Yeteneği Seçme, Geliştirme Ve Elinde Tutma

Yetkinlik - eğitim eşleştirmeleriyle eş zamanlı olarak, eğitim ve gelişim ihtiyaçlarını karşılayacak olan iç ve dış kaynaklar belirlenmiş, bilgi ve birikimleri ile genç kadroları geleceğe hazırlayan, deneyimli ve gönüllü personelimizin oluşturduğu Asaş Eğitmenler Kulübü kurulmuştur.

1.4. Eğitmenler Klübü Amaç ve Hedefleri

Amaç: Kaynaklarımızı etkin kullanarak, ASAŞ içinde sahip olduğumuz entelektüel sermayeyi paylaşmak ve sürekliliğini sağlayarak çalışanlarımızın yetkinliklerini geliştirmek, kaynaşmayı sağlamak, bağlılığı ve motivasyonu artırmak.

Hedefler:

1.4.1. Sahip olunan bilginin ve kazanılan deneyimlerin, bireysellikten çıkarılması,
1.4.2. Paylaşımın ve gelişime katkının ASAŞ kültürü haline getirilmesi,
1.4.3. ASAŞ içindeki yeteneklerin ortaya çıkarılması ve geliştirilmesiyle çalışan yetkinliğinin artırılmasına katkı sağlanması,
1.4.4. İç eğitimlerde kalifikasyon standartlarının belirlenerek sürekli gelişiminin sağlanması,
1.4.5. Deneyimlerle kazanılmış olan bilgilerini aktaracak eğitmenlerin, hedef kitleye, doğru yöntemlerle yaklaşmalarının sağlanması,
1.4.6. Dış firma (eğitim firmaları) bağımlılığının azalmasıyla birlikte, eğitim organizasyonlarının, ihtiyaca hızlı cevap veren esnek bir yapıya kavuşturulması,

1.5. ASAŞ Eğitmenler Kulübü Teşvik Modeli

ASAŞ Eğitmenler Kulübü Teşvik Modeli, eğitmenlerimizi, eğitim vermeye ve dönüşümün bir parçası olmaya teşvik etmek amacıyla kurulmuştur. Bu sistemde, eğitmenlerin teşvik modeline dâhil olabilmesi için, eğitim sunumunun eğitmen tarafından hazırlanmış olması ve taahhüt edilen eğitim gün ve saatlerine uyulması ön koşul olmakla birlikte puanlama ve ödüllendirme süreci "tanıma ve takdir "sisteminde yer alan puanlama sistemine göre işletilmektedir.

1.6. Eğitim İhtiyaçlarının Belirlenmesi

Eğitim İhtiyaçları, aşağıdaki enstrümanlardan yararlanarak belirlenmektedir.

1.6.1. İş ailesi ve statü unvanı temelli yetkinlik kartları,
1.6.2. Asaş Akademi tarafından hazırlanan formatta ilgili yöneticilerden alınan Bireysel Gelişim Planları (BGP),
1.6.3. Bir önceki yıl ile ilgili olarak Üst Yönetimin gelişim alanı olarak değerlendirdiği konular,
1.6.4. Şirketin yeni yıl için belirlediği hedefler,
1.6.5. Çalışan Memnuniyet Anketi sonuçları,
1.6.6. Çıkış Mülakatı sonuçları,
1.6.7. Görev tanımlarının gerektirdiği yeterliliklerdeki eksiklikler,
1.6.8. Yasal zorunluluklar ve kalite yönetim sistemleri gerekleri.

Yukarıda yer alan başlıklar dışında, organizasyon ya da iş dünyasında yaşanan değişiklikler sonucu ortaya çıkan ihtiyaçlar, ilgili yönetici ve personelden gelen talepler de eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesinde yardımcı olur.

1.7. Eğitim Kategorileri

Asaş'ta eğitimler, "giriş eğitimleri" ve "gelişim eğitimleri" olmak üzere iki ana kategori altında gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Eğitim Kategorileri

1.7.1. **Giriş Eğitimleri**

Genel Oryantasyon Eğitimleri:

Haftalık olarak, Asaş Akademi tarafından hazırlanan ve personelin işe başladığı ilk gün, ASAŞ'ın geçmişi ve bugünü, organizasyon yapısı, bölümler, üretilen mal ve hizmetler, şirket kural ve politikaları, kalite uygulaması, hedefleri, misyonu, vizyonu, şirketin fiziki yapısı, Sağlık Emniyet Çevre (SEÇ) kural ve uygulamaları,...vb. konularda bilgi verilerek şirket tanıtımının yapıldığı, diğer taraftan deneme süresi, ücret ödeme şekli, ödeme günleri, fazla mesai, resmi tatil ve izinler, çalışma ve ara tatili saatleri, yemek ihtiyacının sağlanma durumu, eğitim olanakları, personele sağlanan diğer olanaklar ve hizmetler, iş yeri hekimi çalışma gün ve saatleri, sosyal haklar gibi konuların aktarılması ile de özlük haklarıyla ilgili bilgilendirmenin yapıldığı eğitim ve tanıtım programıdır.

Yeni çalışanın yöneticilerle, çalışma arkadaşlarıyla, İnsan Kaynakları çalışanlarıyla, iş yeri hekimiyle, eğitmenlerle, pozisyonu gereği daha çok iletişimde olabileceği bölüm çalışanlarıyla tanıştırılması da Genel Oryantasyon kapsamında gerçekleştirilir.

Beyaz yakalı çalışanlar için ise, her iş birimi için ayrı hazırlanmış oryantasyon matrislerinde yer alan, tüm departmanların gezildiği, saha turu aşamasına geçilir. Bu aşamada çalışanlara, işbaşı tarihinden önce kendisine yardımcı olmak üzere atanmış, Arkadaşım Hoş Geldin Programı üyesi "arkadaşı" eşlik eder. Departman tanıtımları ise; önceden belirlenmiş bölüm oryantasyon sorumluları aracılığıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2. Arkadaşım Hoş Geldin Programı Logosu

Mesleki Oryantasyon (İşbaşında Eğitim):

İşe başlayan tüm mavi yakalı ve beyaz yakalı personele görev tanımında belirtilen konulara ilişkin "İşbaşında Eğitimleri" verilir. Çalışanların, kendi çalışma alanları içinde, gerçek çalışma koşullarında yürütülen, işin yapılmasına yönelik talimatlar, yönergeler, çalışma alanına özgü fiziki bilgileri içeren ve max.60 güne kadar devam eden eğitimlerdir.

Mesleki Oryantasyon kapsamında uygulamaya alınan işbaşında eğitimlerle, işbaşı yapan yeni personelin, gerçek iş koşullarında öğrenme etkinliğinin arttırılması ve öğrenme sürecinin gözlem altında geçirilmesinin sağlanmasıyla, çalışan verimliliğinin kısa sürede artırılabilmesi hedeflenmektedir. İşbaşında eğitimleri, işe başlayan personelin ilk sicil amiri ya da ilgili bölüm yöneticisinin belirleyeceği diğer çalışan / çalışanlar tarafından verilir.

1.7.2. **Gelişim Eğitimleri**

Kişisel Gelişim Eğitimleri:

Çalışanların bireysel yetkinliklerini ve becerilerini geliştirmeyi hedefleyen eğitimlerdir.

Teknik/Fonksiyonel Gelişim Eğitimleri:

Çalışanın yürütmekte olduğu görevin gerektirdiği bilgi, beceri ve pratik uygulama yeteneklerinin kazandırıldığı yada var olan yeteneklerin geliştirildiği eğitimlerdir.

Bu doğrultuda özellikle, mesleki ve teknik eğitimlerin gerçekleştirilebilmesi ve katılımcılara mümkün olan en üst seviyede uygulama fırsatı sağlanabilmesi için "Teknik Eğitim Atölyesi" kurulmuş ve çalışanlarımızın hizmetine sunulmuştur.



Şekil 3. Alaattin Doğru Teknik Eğitim Atölyesi

Yönetici Gelişim Eğitimleri:

Şirket stratejisi ve planları doğrultusunda, şirket yöneticilerine özel olarak tasarlanan ve belirli bir kitleye hitap eden (ilk, orta, üst kademe yönetim) gelişim programlarıdır.

E-learning Eğitimler:

Eğitmen ve katılımcının aynı ortamda ve aynı anda bulunmalarına gerek kalmadan, zamandan ve mekândan bağımsız, elektronik ortam aracılığı ile gerçekleştirilen görüntülü ve sesli eğitim ve öğrenim faaliyetleridir. İhtiyaçlar doğrultusunda tüm ASAŞ çalışanlarının "Asaş Portal" aracılığıyla elektronik ortamda katılım gösterebileceği eğitimlerdir.

Stajyer Eğitimleri:

Mesleki Eğitim Kanunu ve Yüksek Öğretim Kanunu'nda belirtilen maddelerle tanımlanmış, mesleki eğitim gören, meslek liseleri veya yükseköğrenimleri sırasında staja tabi tutulan ve staj dönemlerini ASAŞ'ta geçirecek olan öğrencilere sunulan eğitimlerdir.

Bayi Eğitimleri:

ASAŞ'ın "Müşteri Odaklılık" ve "Mükemmeli Aramak" değerleriyle paralel, rakiplerimize göre daha iyi hizmet verebilmenin gereği olan etkin bayi gücü oluşturmaya yönelik hazırlanan eğitim programlarıdır.

1.8. Asaş Portal Eğitim Modülü

Tüm ASAŞ çalışanlarının ASAŞ Akademi faaliyetlerini takip edebilmesi, eğitim talebinde bulunabilmesi ve geçmiş eğitim kayıtlarına ulaşabilmesi için Asaş portal üzerinde eğitim modülü kurulmuş olup; eğitmen havuzu oluşturma, eğitim kataloğu oluşturma, eğitim takvimi hazırlama ve eğitimlerin talep-onay süreçleri, bütçe takibi, eğitim firması referans araştırması süreçleri de yine bu portal üzerinden işletilmektedir. Aynı zamanda Asaş Akademi çatısı altındaki tüm eğitim salonlarına yerleştirilen kart okuyucular vasıtasıyla eğitim yoklamaları otomatik olarak alınmakta, elde edilen veriler ışığında aylık KPI raporlarına anlık olarak ulaşılabilmektedir. Benzer şekilde eğitim ön-test / son test ve sınav uygulamaları da optik okuyucu aracılığıyla değerlendirilmekte ve sonuçlar otomatik olarak portal üzerinden alınabilmektedir.



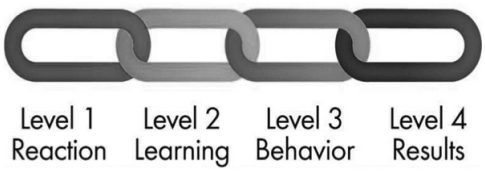
Şekil 4. Elektronik Yoklama – Kart Okuyucu

1.9. Eğitim Değerlendirme ve Katılım Sonuçlarının Ölçülmesi

Eğitim verimliliğinin ölçülmesinde genel olarak iki model kullanılmaktadır. 1950'li yıllarda Donald Kirkpatrick, öğrenme ölçümünün dört seviyede yapılabileceği bir model oluşturmuştur.

Kirkpatrick Modelinin Dört Seviyesi:

1. Tepki/Memnuniyet
2. Bilgi/Öğrenme
3. Davranış
4. İş Sonuçlarına Etkisi



Şekil 5. Kirkpatrick Modeli

Kirkpatrick modelinde, eğitimin iş sonuçlarının ve yararının belirlendiği 4. seviyenin bittiği noktada,

Jack Phillips tarafından geliştirilen "Eğitim Yatırımının Geri Dönüşünün Ölçülmesi, ROI (Return On Investment)" modeli devreye girmekte ve eğitim verimliliğinin ölçülmesi sürecinde 5. aşamayı oluşturmaktadır. Jack Phillips, geliştirdiği bu modelle faydaları parasal değerlere dönüştürmekte ve bunları maliyetlerle karşılaştırarak eğitimden sonra kuruma sağlanan finansal katkının ölçümünün yapılmasını hedeflemektedir.
Genellikle yüzde cinsinden ifade edilen ROI değeri için şu formül kullanılır:

$$\text{ROI (\%)} = \frac{\text{Programın Finansal Faydası} - \text{Program Maliyeti}}{\text{Program Maliyeti}} \text{ x } 100$$

Asaş Akademi, çalışmalarının temelinde eğitim sonuçlarının ölçümüne yönelik bu iki modeli esas almış ve akıllı öğrenmeye giden yol haritasını bu doğrultuda hazırlayarak uygulamaya başlamıştır.



Şekil 6. Asaş Akademi Eğitim Değerlendirme Aşamaları

Referanslar

[1] <http://www.wise.tv/blog/yetkinlik-nedir.html> Tarih: 27.05.2017.

[2] <http://www.kirkpatrickpartners.com/Our-Philosophy/The-Kirkpatrick-Model> Tarih: 29.05.2017

[3] <http://www.roiinstitute.net/jack-phillips/>Tarih: 29.05.2017

Alüminyum Eloksal Tesislerinde Qualanod Kalite Belgelendirmesinde Yeni Güncelleme İle Yapılan Değişiklikler

Recent Updates in Qualanod Quality Labeling of Aluminium Anodizing Plants

Metin Yılmaz
AYİD - Alüminyum Yüzey İşlem Derneği

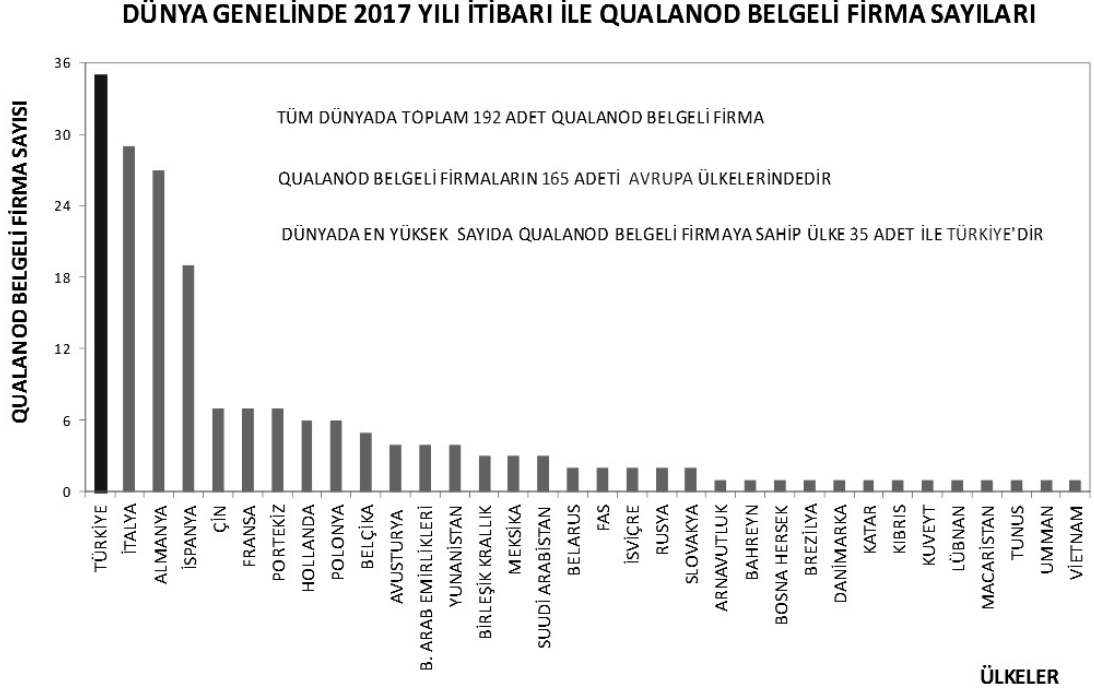
ÖZET
Bu çalışmada alüminyum üzerine yapılan sülfirik esaslı eloksal kaplama işlemleri için kalite belgelendirmesi olan Qualanod spesifikasyonlarında 2017 yılı içinde yapılan değişiklikler çalışılmış olup, geçmiş dönem ile önemli fark ve yenilikler açıklanarak karşılaştırılmıştır. Daha önceleri sadece mimari alanda geçerli olan Qualanad kalite belgelendirmesi 2017 itibarı ile kapsamını genişletmiş olup temelde mimari, endüstriyel, dekoratif ve sert eloksal olmak üzere dört ana bölüme ayrılmıştır.

ABSTRACT
In this study, the new version by 2017 of Qualanod specifications which are known as the quality label for sulfuric acid-based anodizing of aluminium, are explained and compared with old version. While, Qualanod was known as the quality label for architectural anodizing of aluminium, in the new version the scope is enlarged by adding industrial, decorative and hard anodising beside architectural anodizing.

1.GİRİŞ

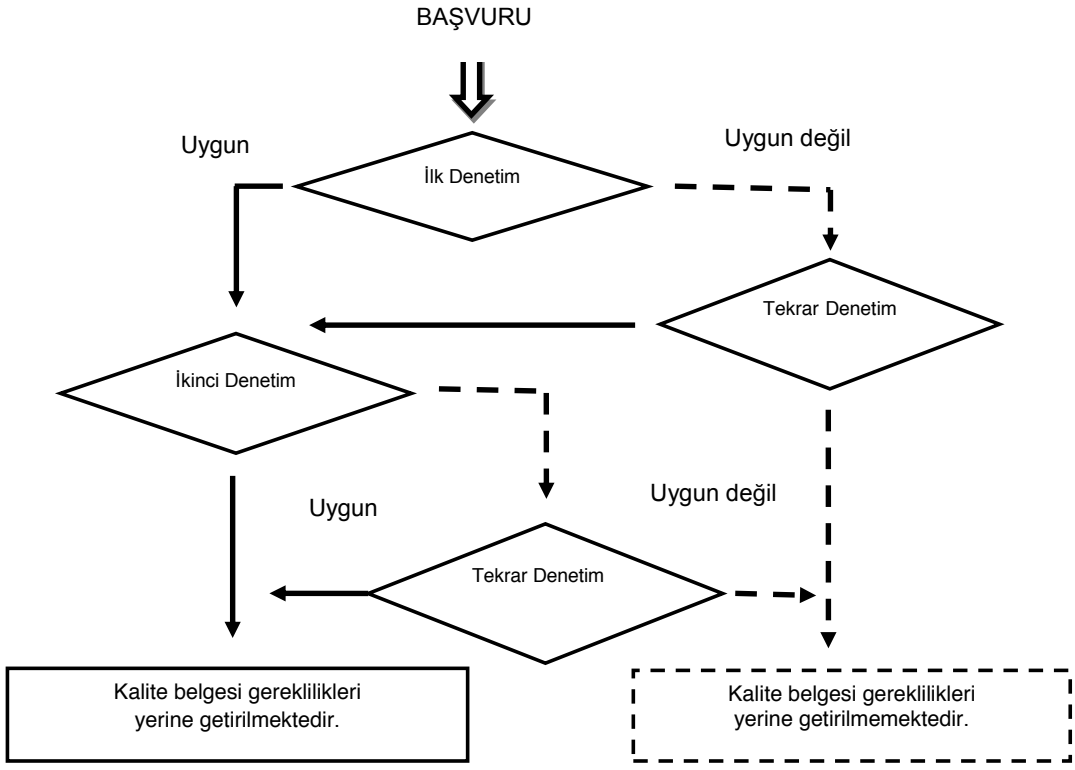
Alüminyumun eloksal kaplanması Avrupa'da 1950'li yıllardan beri yapılmaktadır. Bugüne kadar olan sürede, pek çok Avrupa ülkesinde konu ile ilgili normlar hazırlanmış ve gelişen teknoloji ile birlikte, eloksal tabakasının dayanıklılığı arttırılmış ve renkli eloksalin ultra viyole (UV) dayanımı, natürel eloksal tabakasının dayanımı ile aynı seviyeye taşınmıştır.
Ülkemizde 40 yılı aşkın süredir yapılmakta olan Eloksal kaplamanın uluslararası normlara ve şartnamelere uygun hale gelmesi amacıyla 1986 yılında Türkiye'de alüminyuma eloksal kaplama işleminde önde gelen yedi firmanın temsilcileri kurucu vasfı ile bir araya gelerek "ELOKSALCILAR BİRLİĞİ DERNEĞİ" kısaca "ELBİR" adı ile bir dernek kurmuşlardır. Bu firmalar, kısa adları ve alfabetik sıra ile; ALSAN Alüminyum, ALTINDAĞ Alüminyum, ÇUHADAROĞLU Alüminyum, FENİŞ Alüminyum, PALMEK Profil, TEKNİK Eloksal, TERME Metal firmalarıdır. [1]
ELBİR, 1989 yılında Avrupa Eloksalcılar Birliği (EURAS) üyeliğine kabul edilmiştir ve ardından 1992 yılında Avrupa'da ESTAL'in (Avrupa Alüminyum Yüzey İşlem Birliği) ne üye olması ile birlikte, dernek tüzük ve ismi değiştirilerek dernek Alümnyum Yüzey İşlem Dereneği (AYİD) adı ile devam etmiştir. Bu sayede, Türkiye'de QUALANOD (Avrupa

Alüminyum Eloksal Kalite Belgelendirme Kurluşu) ve QUALICOAT (Avrupa Alüminyum Boyama Kalite Belgelendirme Kuruluşu) kalite belgelendirilmesi, bu kuruluşların tensilcisi olan AYİD organizasyonu ile yapılmaktadır.
2017 yılı 6. ay itibarı ile dünyadaki Qualanod lisanslı firmaların sayısı Şekil 1'de ülkelere göre sıralanmıştır. Dünya genelinde toplamda 192 adet lisanlı firma bulunurken, bunların 165 adeti Avrupa içindedir. Ülkemiz Qualanad'a bir çok ülkeden çok daha sonra katılmasına rağmen, bugün dünyada en fazla lisansa sahip firması olan ülkedir. Öte yandan, Avrupa ülkelerinde lisanslı firma sayısı göreceli olarak daha düşük olmasına rağmen firmaların kapasiteleri daha yüksektir.



Şekil 1: 2017 Haziran tarihi itibarı ile Qualanod belgesine sahip firmaların ülkelere göre dağılımı.

Qualanod kalite belgesi Qualanod kapsamına giren ürünlerin fiilen tedarik edildiği bir sülfürik asit esaslı eloksal tesisi sahibi firmaya verilir ve devredelimez. Qualanod kalite belgesini yenilemek veya alabilmek için, bir eloksal tesisi, bu spesifikasyonlara uygunluğu tespit edilmek üzere denetimden geçirilmektedir.
Eloksal tesislerinin denetimleri şema A'da gösterilen takvime uygun şekilde gerçekleştirilir. Kalite kapsamına giren her bir ürün için en fazla dört denetime izin verilmektedir. İlk denetimin tarihi, eloksal tesisinin sorumlu personelinin tesiste hazır bulunmasını sağlayacak şekilde kararlaştırılır ve geriye kalan denetimler duyuru yapılmaksızın habersiz olarak gerçekleştirilir.
Denetçi her bir denetimin sonuçlarını Qualanod tarafından verilen denetim raporu formuna kaydeder. Denetim ziyareti sonunda, denetçinin görüşlerini özetleyen bir form hem denetçi hem de kendi yorumlarını da ekleyebilecek olan eloksal tesisi tarafından imzalanır. Akabinde, denetim raporu AYİD'e ibraz edilir ve AYİD denetim raporunun sonuçlarını değerlendirir ve sonuçların tatmin edici olup olmadığına karar verir. Bu kararı vermesinde rehberlik etmesi için Qualanod 'a danışabilir.



Şekil 2. Kalite belgesi kapsamına giren her bir ürün için denetim prosedürü. [2]

Qualanod kalite belgesi kapsamına giren her bir ürün için, her bir takvim yılında habersiz yapılan en az iki denetimin uygun olması halinde, bir eloksal tesisinin lisansı AYİD tarafından yenilenir.

2. QUALANOD KAPSAMINDA OLAN ELOKSAL TÜRLERİ

Qualanod'un bugüne kadar alışılagelmiş yetkinliği alüminyumun mimari kullanımlar için sülfürik asit esaslı eloksal kaplama işlemi için olmuş ve temelde eloksal teknolojisinin geliştirilmesi ve belgelendirilmesini sağlamıştır. Ancak 1 Ocak 2017 tarihi itibarı ile yayınlanan yeni spesifikasyon ile Qualanod artık dört ayrı tipte eloksal işlemini kapsamı içine almış durumdadır. Bunlar, mimari eloksal, dekoratif eloksal, endüstriyel eloksal ve sert eloksal kaplamalardır. Qualanod kapsamı içinde sadece sülfürik asit esaslı eloksal işlemleri olup, bu işlemler içinde, litografik eloksal kaplama, boya veya yapıştırma işlemleri için eloksal yoluyla ara-yüzey oluşturma ve eloksal işlemi içeren kombine kaplama işlemleri kapsam dışında tutulmuştur.

Ayrıca 1 Ocak 2017 tarihi itibarı ile mevcut Qualnod logosu da değiştirilmiştir. Bu tarih itibarı ile tek logo yerine Şekil 3'de görüldüğü gibi her bir eloksal türü için ayrı Qualanod logosu kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, Qualanod sekretaryasının kullanacağı jenerik bir logo da oluşturulmuştur. Eski logoların 2018 sonuna kadar kullanılabilir olmasına rağmen yeni logoların mümkün olduğunca hızlı değiştirilmesi tercih edilmektedir.



a) b) c) d) e)

Şekil 3. Yeni Qualanod logoları. a)Jenerik, b)Mimari, c) Endüstriyel, d)Dekoratif, e)Sert eloksal logoları. [2]

Qualanod kalite belgesi, eloksal tesisinin kullanabileceği kalite belgesi kapsamındaki ürünlerin tanımlamalarını Qualanod Spesifikasyonlarda; Mimari eloksal, Endüstriyel eloksal, Dekoratif eloksal ve Sert eloksal olmak üzere dört ayrı grup şeklinde yapmaktadır.

2.1. Mimari eloksal

Mimari elokasal sınıfı hem görsellik hem de yüksek koruma ve dayanım seviyesine hitap eden bir sınıftır. Mimari eloksal yapılmış ürünler dış cephelerde yıllarca agresif ortamlara dayanabilecek özellikler yanı sıra, görsellik, estetik ve fonksiyonellik özelliklere de sahip olmak zorundadır. Bu eloksal tipi otomativ ve taşımacılık sektörüne de hizmet edebilecek özelliklere sahiptir.

Dış mimari uygulamalara yönelik eloksal kaplamalarda en yaygın şekilde kullanılan alaşımlar AA 1000, 5000 ve 6000'dir; haddelenmiş ürünler için bazen 3000 serisi ve haddeden çekilmiş ürünler için 6000 serisi de kullanılmaktadır. Tablo 1 'te eloksal kaplama için uygun alaşımlar hakkında yönlendirme bulunmaktadır; bu tablo ayrıca dekoratif ve koruyucu uygulamalar açısından normalde iyi bir eloksal tepkisi verdiği kabul edilen diğer alaşımları da içermektedir. Bu maddeler eloksal kaplama sonrasında bazen aynı alaşım için bile aynı görünüme sahip olmamaktadır. Bunun nedeni ön işleme ve eloksal kaplama sonrasında görünümün alaşımın mikro yapısından ciddi oranda etkilenmesidir. Mikro yapı hem kullanılan metalürjik proseslere hem de alaşımın kompozisyonuna bağlıdır. Buna ek olarak, ulusal ve uluslararası standartlar içerisinde alaşım kompozisyonuna ilişkin olarak belirtilen spesifikasyonlar oldukça geniştir; eloksal kaplama için uygun alaşımların üreticileri kendi müseccel/özel spesifikasyonlarına sahiptir ve bunlar çok daha dar bir kapsama sahiptir. Eurocode (Avrupa Tüzük ve Yönetmelikleri) (EN 1999-1-1) kapsamına giren alüminyum yapıları için sadece Eurocode içerisinde listelenen alaşımlar kullanılabilir. Bu alaşımlar Tablo 1'de yıldız (*) işareti ile gösterilmiştir. Müşteri talep ettiği takdirde, Tablo 1 'te belirtilen alaşımlardan başka alaşımlar da kullanılabilir; bu durumda müşteri eloksala ilişkin kalınlık sınıfını yazılı olarak belirtmelidir.

Tablo 1. Mimari eloksal için uygun alaşımlar. [2,3]

Alaşım Elementleri	**Metal Özellikleri**	**Alaşımlar (AA)**	**Eloksal Özellikleri**
Yok	Yumuşak İletken	1050 A 1080 A	Net ve Parlak
Son kat önerisi: kaplama altı için bu yumuşak madde kullanılırken dikkatli olunmalıdır; parlak ürünler için iyi, aşındırma renklendirmesine karşı duyarlı.			
Magnezyum	Mukavim Sünek	5005* 5005A* 5050 5251 5657 5754*	Net ve İyi Koruma özelliği

Son kat önerisi: 5005 ve 5005A için Si < %0,1 ve Mg ise %0,7 ve 0,9 arasında olmalıdır; oksit şeritler olup olmadığı incelenmelidir; 5005 ve 5005A mimari uygulamalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır.			
Magnezyum ve silikon	Mukavim Sünek	6060* 6063* 6063A* 6463	Net ve İyi Koruma özelliği
Son kat önerisi: mat bir son kat için, Fe > %0,22, parlat bir son kat için Fe < %0,15 olmalıdır; 5005 ve 5005A için 6060 ve 6063 en uygun seçim olabilir; kimyasal parlatma için 6463 en iyi seçim olabilir; Demir içeriğindeki ve diğer elementlerdeki varyasyonlar eloksal kaplama sonrasında nihai görünümü etkileyebilir			

Daha önceki versiyonda da olduğu gibi mimari eloksalin sağlaması gereken şartlar arasında;

- Kaplama kalınlığı
- Kütle kaybı testi
- Boya lekesi testi ve/veya admitans testi
- Aşınma testi
- Görsel yüzey kusurları

belirgin karakteristik testler ve şartlardır.

Eloksal kaplama kalınlık sınıfı veya nominal kalınlık ile sınıflandırılabilir. Kalınlık sınıfı ortalama kalınlık ve lokal kalınlık için minimum izin verilen değerler aracılığıyla belirlenir. Kalınlık sınıfları "AA" harfleri ile gösterilir. Tipik kalınlık sınıflarının tanımlamaları Tablo 2 'de verilmiştir. Qualanod şatnamesinde kalınlık sınıfları ve nominal kalınlıklar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. [2,3]

Tablo 2. Mimari eloksal kaplama için kalınlık sınıfları. [2,3]

Kalınlık sınıfı	Minimum ortalama kalınlık (μm)	Minimum lokal kalınlık (μm)
AA10	10	8
AA15	15	12
AA20	20	16
AA25	25	20

2.2. Endüstriyel Eloksal

Bu tip eloksal kaplamada görsellik ikinci planda kalırken eloksal tabakasının erozyon, aşınma, korozyon, elektrik ve termal yalıtkanlık özellikleri uygulama şekline göre sağlaması gereken özellikler olarak öne çıkmaktadır. Bazı endüstriyel eloksal uygulamaları da aşınmış parçalarının tamir maksadı ile yapılan eloksal uygulamalarıdır. Genellikle endüstriyel eloksal uygulaması çeşitli makine parçaları, dişliler, yataklar gibi parçalara yapılmaktadır.

Tablo 3 'te endüstriyel eloksale yönelik alaşımların seçimi konusunda yönlendirme ve tavsiyeler sunulmuştur. Eloksal kaplama öncesinde, tabakanın yanmasının önlenmesi için keskin kenarlar hedeflenen kaplama kalınlığının en az 10 katı bir yarıçapa kadar işlenerek tesviye edilmesi önerilmektedir. Genel olarak eloksal kaplama sonrasında ürünler üzerinde her hangi bir ısıl işlem, makine, kaynak, şekil verme ve delme işlemleri uygulanmaz; ancak boyut toleranslarına ulaşılabilmesi için bazen taşlama yapılabilir.

Tablo 3. Endüstriyel ve sert eloksalda kullanılan alaşımlara yönelik kılavuz. [2,3]

Alaşım (AA)	**Korozyon korunması**	**Aşınma dayanımı**
1080, 1050A	Mükemmel	Mükemmel
1200	Çok iyi	Mükemmel
2011, 2014A, 2017A, 2024, 2030, 2031	Orta	İyi

3003, 3103, 3105	İyi	İyi
4043A	İyi	İyi
5005, 5050, 5052	Mükemmel	Mükemmel
5056A	İyi	Mükemmel
5083	İyi	İyi
5154A, 5251, 5454, 5754	Çok iyi	Mükemmel
6005A, 6061, 6463	Çok iyi	Çok iyi
6060, 6063	Mükemmel	Mükemmel
6082, 7020, 7022, 7075	İyi	İyi

Endüstriyel eloksal için sağlanması gereken özellik ve şartlar arasında;

- Kaplama kalınlığı
- Kütle kaybı testi
- Boya lekesi testi
- Yüzey kusurları

yer alırken, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı ve mikrosertlik gibi özellikler uygulama yerine göre ve müşteri talebine göre belirlenebilir.

Endüstriyel eloksal genel olarak 15 µm - 150 µm kalınlığındadır. Mil yivleri ve vida dişleri gibi ürünler 25 µm kalınlığa kadar kaplamaya sahip olabilir. Yalıtkanlık adına yapılan kaplamalar ise çoğunlukla 15 µm - 80 µm kalınlıkta yapılır. 150 µm kalınlıktaki kaplamalar genellikle onarım amaçlı kaplamlardır.

2.3. Dekoratif Eloksal

ISO 7583'de tanımlandığı gibi dekoratif eloksal görsellik ve estetiğin ön planda olduğu bir kaplama türüdür. Dekoratif eloksal kaplamaya en güzel örnekler, aydınlatma reflektörleri, duşakabin profilleri, mutfak eşyalarının ve kozmetik ürünlerinin bir kısmının üzerine yapılan eloksal kaplamalardır.

Özellikle dekoratif efektler veya özel bir türdeş görünüm meydana getirebilmek için, eloksal kaplama kalitesinde alaşımlar kullanılmalıdır. Bunlar özel üretim teknikleri kullanılarak üretilir. Ne yazık ki, dekoratif eloksal kaplama kalitesine yönelik her hangi bir ulusal veya uluslararası standart bulunmamakta ve üreticiler tarafından geliştirilen özel üretim reçetelerine atıfta bulunulmaktadır.

Yüksek parlaklığa sahip bir yüzey meydana getirebilmek için yüksek saflıkta alüminyum veya özel alaşımlar kullanılmalıdır. Alaşım elementlerinin genel etkileri aşağıdaki gibidir:

- Demir Speküler parlaklığı azaltır. Yüksek demir – silikon oranları koyu şeritleri oluşmasına yol açar.
- Silisyum Katı çözelti kalmadığında bulanıklığa yol açar. %5 'ten fazla silikon kullanımı koyu gri veya siyah kaplamalara neden olur.
- Magnezyum %3 'e magnezyum renksiz kaplamalara yol açar.
- Bakır Speküler parlaklığı artırır. %2 'nin üzerinde bakır renk solmasına neden olur.
- Mangan %1 ' kadar manganez, alaşımın mikro yapısına bağlı olarak, şeffaf, gümüş, gri, kahverengi veya değişik renk tonlarındaki kaplamalara neden olur.
- Çinko %5 'e kadar çinko, alaşımın mikro yapısına bağlı olarak, renksiz, kahverengi veya damarlı kaplamalara neden olabilir.
- Krom %3 oranında krom sarı kaplamalara neden olur.

Belirli renklerin meydana getirilmesi için sülfürik veya sülfürik-okzalik prosesleri için

integral renkli eloksal kaplama ve "öz renklendirme" alaşımları kullanılabilir.
Dekoratif eloksalin sağlaması gereken özellik ve testler arasında başlıca;

- Kaplama Kalınlığı
- Kütle kaybı testi (ön daldırmalı veya daldırmasız)
- Boya lekesi testi veya admitans testi
- Görsel kusurlar ve tekstürler (iç ortamda 2m den, dekoretaif ürünlerde 0.5m den)

yer alırken, parlaklık, renk UV dayanımı gibi diğer özellikler uygulama yerine göre veya müşteri tarafından belirlenir. Tipik dekoratif eloksal kalınlıkları ile ilgili sınıflama Tablo 4 'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Tipik kalınlık sınıfları. [2,3]

Kalınlık Sınıfı	Minimum ortalama kalınlık (µm)	Minimum lokal kalınlık (µm)
AA3	3	Belirtilmemiş
AA5	5	4
AA10	10	8
AA15	15	12

2.4. Sert Eloksal

Sert eloksal kaplama türü aşınma dayanımının ve kaplama sertliğinin en önemli olduğu eloksal türüdür. Sert eloksal uygulama alanları aynı endüstriyel eloksal gibi olup, ancak kaplama sertlik ve aşınma dayanımı daha yüksek olan kaplamalardır.
Sert eloksal işleminde kullanılan alüminyum alaşımları Tablo 3'de gösterilen endüstriyel eloksal ile benzerlik göstermektedir. Sert eloksal her ne kadar pek çok alaşım için uygulanabilse de, %5 'ten fazla bakır ve/veya %8 'den fazla silikon içeren alaşımlar ve pres döküm alaşımları özel eloksal prosedürlerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Düşük alaşım elementi içeriğine sahip alaşımlar en iyi mikro sertlik ve aşınma dayanımı ve en düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını verir.
ISO 10074 sert eloksalı tanımlayan bir standart olup, sağlaması gereken özellik ve testlerin başında;

- Kaplama kalınlığı
- Yüzey kusurları
- Aşınma dayanımı
- Son boyut toleransları

yanı sıra, mikrosertlik, korozyon, elektrik direnci, yüzey yoğunluğu gibi özellikler uygulama yerine göre veya müşteri talebine göre belirlenir.

3. ELOKSAL TÜRLERİNE GÖRE ÜRÜN TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Tablo 5 Qualond kalite belgesi sahibi firma tarafından veya bir denetim sırasında eloksal kaplama türüne bağlı olarak gerçekleştirilmesi gereken testleri özetlemektedir. Bu tablo eloksal kaplama türüne göre gerçekleştirilmesi gereken testleri belirtmektedir. Tabloda "X" sembolü ile kalite belgesi sahibi firma tarafından gerçekleştirilen testler, "O" sembolü ile müşteri ile mutabakat sağlanması durumunda kalite belgesi sahibi tarafından gerçekleştirilen testler gösterilmiştir. Tablo5'de yer alan gölgeli hücreler, denetim kapsamına giren testleri göstermektedir. Görsel hatalar müşteri tarafından kolaylık ile görülebilir olduğundan, denetimlere, görsel kusur testleri ve yüzey doku ve renk testlerinin dâhil edilmemiştir.

Tablo 5. Kalite belgesi sahibi tarafından ve bir denetim sırasında gerçekleştirilecek ürün testleri. [2,3]

ÜRÜN TESTI	ELOKSAL KAPLAMA TÜRÜ			
	MİMARİ	ENDÜSTRİYEL	DEKORATİF	SERT
Kaplama kalınlığı	X	X	X	X
Son boyut toleransları		O		X
Ön daldırmalı kütle kaybı	X	O	X	
Ön daldırmasız kütle kaybı				
Boya lekesi	X	O	X	
Admitans				
Yüzey kusurları		X		X
Yüzey kusurları	X			
Yüzey kusurları			X	
Doku & renk	X	O	X	
Işık yansıması			O	
Korozyon dayanımı (AASS)		O		
Korozyon dayanımı (NSS)				O
Yüzey aşınması dayanımı	X			
Yüzey aşınması dayanımı	X			
Aşınma dayanımı (aşındırıcı disk)		O	O	X
Aşınma dayanımı (aşındırıcı jet)				
Aşınma dayanımı (kum düşürme)				
Aşınma dayanımı (Taber yöntemi)				
Mikro sertlik		O		O
Deformasyon kaynaklı çatlama dayanımı	O	O	O	
Işık haslığı (solmazlık)	X		O	
Morötesi ışınım dayanımı			O	
İletkenlik yitimi potansiyeli		O		O
Kaplamanın sürekliliği	O	O	O	
Yüzey yoğunluğu		O		O
Termal çatlama dayanımı			O	
Pürüzlülük		O		O
Hizmet simülasyon testleri		O	O	O

4. SONUÇ

Bu çalışmada 1 Ocak 2017 tarihi itibarı ile geçerli yeni Qualand spesifikasyonlarındaki geçmiş dönem ile olan farklar açıklanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışma yenilenen Qualanod spesifikasyonlarına açıklık getirme ve farkındalık oluşturma adına yapılmış olup, bu çalışmadaki açıklama ve bilgilerin Qualanod açısından bir bağlayıcılığı yoktur.

KAYNAKLAR

1. Alüminyum Yüzey İşlem Derneği Kayıtları.
2. "Specifications for the QUALANOD Quality Label for Sulfuric Acid-Based Anodizing of Aluminium" J.Schoppig. Qulanod. 01.01.2017.
3. "Alüminyum Sülfirik Asit Esaslı Eloksal Kaplanması İçin Qualanod Şartnamesi" AYİD, Ocak 2017.

Eloksal Proseslerinde Üretim ve Kaliteyi Güçlendirici ve Birim Maliyetleri Azaltmaya Yönelik Fikir ve Tecrübe Edilmiş Yorumlar

Ideas and Observations to Improve Productivity and Quality and May Reduce Total Costs (Per Unit) in Anodizing Lines

Oliver Katschmareck
Chemetall Sanayi Kimyasalları

ABSTRACT

It is not any overstatement to say that the supply chain for surface finishing of aluminium will witness greater consolidation. For anodizing applicators the past decades that were characterized by routine and repetitive task are already replaced by increasingly competitive and globalized market environments where value added services often appear undifferentiated.

The outcome is that applicators start to and/or are forced to compete by dividing existing demand and focus on trying to outpace one another in delivering the minimum standard quality at lowest possible cost.

In such a competitive market companies often search for new ideas and innovations that can give them a competitive advantage.

Like the pioneers of 'blue ocean thinking' central to the narrative of this paper is ideas are often are not from innovating in terms of technology or science, but by looking at familiar 'standard' processes from new perspectives.

This paper will present some ideas for improvement of single treatment steps within the anodizing process and use case study results of customer experiences collected globally.

With references to practical experiences it will be shown that demands that the industry has assumed and taken as granted in the anodizing process steps could in future be eliminated or substituted – additionally some process standard could even be created that the industry has never offered.

Of special interest are special developments for extending sealing bath life and shortening sealing times, energy and time savings in the anodizing bath.

Endüstriyel Ortaklaşma (Simbiyoz) Yaklaşımı ve Alüminyum Endüstrisinde Uygulanabilirliği

Industrial Symbiosis Approach and Workability in Aluminium Industry

Erman Car
Metkim Ltd

Abstract

The term industrial symbiosis refers to an industrial system that operated much like a natural ecosystem in symbiotic relation. While a plant produces same wastes, another can be used as raw material. The workability of industrial symbiosis approach is utilized in aluminium industry in this paper.

Özet

Endüstriyel ortaklaşma (simbiyoz) kavramı, doğal yaşamda görülen, birbirleriyle benzer olmayan türlerin ortak yaşayabilme çabalarına yönelik olarak, enerji ve madde değişimini tanımlayan "simbiyotik ilişki" kavramından esinlenerek türetilmiştir. Endüstriyel simbiyoz uygulamalarında, bir tesisin ürettiği atık malzeme ve enerji, sistemdeki diğer tesisler hammadde ya da yardımcı hammadde olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışmada endüstriyel ortaklaşma (simbiyoz) kavramının alüminyum sektörlerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır.

1. Giriş

Charles Dickens, 1859 yılında yazdığı "İki Şehrin Hikayesi" adlı romanında, Sanayi Devrimi'ni ve bu süreçte yaşadıklarını şu çarpıcı cümlelerle betimler: "Zamanların en iyisiydi, zamanların en kötüsüydü; hem akıl çağıydı, hem aptallık, hem inanç devriydi, hem de kuşku, aydınlık mevsimiydi, karanlık mevsimiydi; hem umut baharı, hem de umutsuzluk kışıydı; her şeyimiz vardı, hem hiçbir şeyimiz yoktu; hepimiz ya doğruca cennete gidecektik ya da tam öteki yana-sözün kısacası şimdikine öyle yakın bir dönemdi ki …".

Kısacası şimdikine öyle yakın bir dönemdi. Birinci Sanayi Devrimi'nin getirdiği karmaşanın, başka bir boyutunu yaşıyoruz bugünlerde: bir yandan adına "post-endüstriyel dönüşüm", "bilgi toplumu", "network toplumu" ya da "risk toplumu" denen yeni bir çağa girdiğimiz üzerine sıkça tartışmalar yapılırken, diğer yandan da son üç yüz yılda yarattığımız uygarlık büyük bir kriz içinde. Başta, küresel ısınma ve iklim değişikliği, doğal kaynakların sürdürülemez şekilde aşırı tüketimi, yenilenemeyen enerji tüketimi ve enerji bunalımı, artan atık üretimi, çevre kirliliği, aşırı nüfus artışı ve bunlara bağlı olarak su ve gıda güvenliğine yönelik sorunlar, gelir dağılımdaki eşitsizlik ve toplumsal sorunlar olmak üzere yaşamsal ve küresel sorunlarla karşı karşıyayız.

2. Bilim-Teknoloji-Sanayi

Cahit Arf, bilimi, doğayı ve evreni bütünüyle algılama çabası olarak tanımlar. Teknolojinin temel amacı ise doğayı kavramak değil, doğayı değiştirmek ve ardından "yeni olanı üretmektir".

Bilimsel çalışma salt "insan odaklı" değildir. Yani içinde insan olsun ya da olmasın, doğada ve evrende olan biten olayları açıklamaya çalışır. Teknoloji ise "insan odaklı" bir kavramdır ve teknolojinin her aşamasında insan vardır. Teknoloji tarihi insanlık tarihi ile birlikte başlar.

Ahmet İnam, teknolojik gelişimi şöyle tarif ediyor:

" Dünya dediğimiz bu gezegende insan "bilgi" ve "hüneri" ile var olmakta. Eski Yunanlılar insan hünerine "tekhne" diyorlardı. Topraktan ürün alma, hayvan yetiştirme, yol, köprü, bina yapımı, ev eşyası imali, silah üretimi, tıp ve bugünkü anlamıyla mühendislik tümüyle "tekhne" kavramı altında toplanıyordu. Çağımızda kullanılan "teknik" ve "teknoloji" sözcükleri bu kavramdan türetilmişti. Batı kültürünün bilim ve felsefede beşiği sayılan Eski Yunan toplumunda o zamanın bilim adamları filozoflar, bilgileriyle *hakikati* arıyorlar; evrende olup biteni anlama, açıklama çabası içinde, çıkarsız bir *saf bilgiyi* elde edebilme amacıyla, bilgelik sevgisi (philo-sophia, felsefe) taşıyarak, ona ulaşma yolunda kendilerini bilim hayatına adıyorlardı. Teknoloji kendi iç işleyişi içinde, ustadan çırağına aktarılarak sürdürülüyor, insan kullanımına bir araç olarak sunuluyordu. Thales gibi kimi filozofların, bugünkü anlamıyla mühendislik becerileri varsa da, bilgi ve hüner, dünyayı olduğu gibi

çıkarsız anlama, kavrama, olayları önceden kestirme ve teknolojik bilgilerle beceriler olarak ayrı ayrı gelişimlerini sürdürüyordu"[5].

Bilsay Kuruç, 2015 yılında TMMOB Sanayi Kongresi'nde yaptığı açılış konuşmasında "sanayi" kavramını şu şekilde tanımlamaktadır:

"Sanayi daima bir devrim boyutuyla çıkar. Eğer devrim boyutu ile ortaya çıkmıyorsa, o zaman bir sanayileşme hareketinden bahsedemeyiz. Sanayilerden bahsedebiliriz; ama sanayileşmeden bahsediyorsak, sanayileşme ancak bir devrim boyutuyla; yani toplumu eskisine benzemeyen bir şekilde şekillendiren bir motor, bir lokomotif olmasıyla ortaya çıkar. O nedenle, sanayi dediğimiz zaman, yanı başında hemen devrim sözcüğünü kullanmak zorundayız ve biliyoruz ki, tarihin akışında büyük bir değişme yaratma görevini sanayi üstlenmiştir"[24].

Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkışında metalurji çok önemli bir rol oynamıştır. Demir ve çelik üretimi sonucunda Sanayi Devrimi'nin altyapısı olan ray demiri üretilmeye başlanmış ve ardından demiryolları kurulmuş, böylece malzeme ve insan hareketinin sağlanmıştır. Bu bağlamda Selahattin Şanbaşoğlu sanayileşmeyi, "büyük bir malzeme hareketi olarak" tanımlar.

3. Uygarlık Krizi : Sürdürülemezlik Hali

Sanayi Devrimi'ne kadar, hakikati arayan ve saf bilgiye ulaşmaya çalışan, çıkarsız anlama ve kavrama çabası ile gelişen bilimsel anlayış ile bilime dayalı olarak gelişen, yani bilimden etkilenen ve birbirini destekleyen bilim-teknoloji ilişkisi ya da bütünlüğü, Sanayi Devrimi sonrasında teknoloji lehine bozulmuştur.

Bunun anlamı, teknolojik çalışmalarda önceliğin, bilimin temsil ettiği evrensel ve kamusal yarardan önce sanayicinin çıkarlarına evrilmesidir.

Sanayici konumu gereği "kar etmek" üzerine odaklanmıştır ve uyguladığı teknolojiyi, kar etmesine olanak verdiği ölçüde geliştirme çabasındadır. 1960'li yıllara kadar, teknolojik ilerleme ve buna bağlı olarak toplumların bilgi ve becerilerinin artması, doğanın zarar görmesiyle eşzamanlı olarak gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda, insanlık, üç temel sorun ile karşı karşıya kalmıştır:

- Endüstriyel üretim süreçlerinde oluşacak olan "çevresel zararın" ihmali:
  Sanayici için çevre kirliliği, hammadde olarak kullanılmasının ekonomik bir getirisi olmayan, üretim dışı malzeme ya da enerji akımıdır. Oysa toplum için "çevresel bozunum anlamına gelen kirlilik", yaşam olanaklarını sınırlayan, doğa ile ilişkisini bozan, gelecek kuşakların yaşamını tehdit eden, doğrudan etkilendiği ve zarara uğradığı bir olgudur.

- Hammadde ve enerji kaynaklarının plansız ve hesapsız kullanımı:
  Azalan doğal kaynaklar nedeni ile cevher ve enerji maliyetlerindeki büyük dalgalanmalar yaşanmakta ve küresel ekonomik krizler daha sık görülmektedir. Bu aynı zamanda sadece bizim yaşamımızı değil, tükettiği kaynaklar, değişikliğe uğrattığı yaşam tarzı, kültür ve değerler gibi nedenlerle gelecek nesillere bırakacağımız mirası da etkilemektedir.

- Gelir dengesizliği:
  Bütün bunların sonucunda ise toplumsal refah azalmakta, ortalama insanların yaşam kalitesi bozulmakta ve ekonomik gelir dengesizliği sürekli büyümektedir. Pek çok toplum, pek çok ülke, teknoloji odaklı bu değişikliklerin kararlaştırıldığı süreçlerin çok dışında kalmasına karşın, değişimlerden doğrudan etkilenmektedir.

3.1. Ekolojik Limit Aşımı

Ekosistem terimi, bir ortamdaki canlıların kendi nüfusu, diğer canlılar ve toprak, su gibi canlı olmayan etmenlerle olan yaşam ilişkilerini kapsamaktadır. Ekosistemlerin en önemli işlevi, yaşamın sürdürülebilmesi için organik ve inorganik maddelerin dönüştürülmesidir. Organik maddeler ayrışıp, bozuşarak inorganik maddelere dönüşürken, inorganik maddeler de (fotosentez gibi yöntemlerle) canlılar tarafından özümsenerek organik maddelere dönüştürülmektedir. Başlıcaları karbon ve azot olan bu maddelerin dönüşümleri ise "madde döngüsü" olarak tanımlanır[34].

Bir ekosistemin sağlayabileceği gıda ve barınma kaynakları sınırlı olduğundan, barındırabileceği canlı sayısı da kısıtlıdır. Buna "ekolojik taşıma kapasitesi" denmektedir. Ancak ekolojik taşıma kapasitesi sabit değildir, iklim, çevre kirliliği gibi nedenlerle değişebilir[34].

İnsanoğlu bugün 7 milyarı aşan nüfusu ile, yeryüzü ekosistemlerini büyük ölçüde değiştirerek, belirleyici rol oynayan bir anahtar türdür. Hatta bazı biliminsanları, bu nedenle, içinde bulunduğunuz jeolojik dönemi, Yunanca "holosen" yani "tamamen yenilenmiş" dönemden"; antropos" yani insan" sözcüğünden türetilen ve "insan etkisi altında" anlamına gelen "antropojen dönem" olarak adlandırmaktadır.

Dünya Bankası'nın 2016 yılında hazırladığı bir rapora göre küresel sera gazı salınımı sektörel bazda;

- Taşımacılık sektörü , 1970'de 2.8 $GtCO_{2eq}$ iken, 2010'da 7 $GtCO_{2eq}$,
- Endüstriyel salınım, 1970'de 5.4 $GtCO_{2eq}$ iken, 2010'da 8.8 $GtCO_{2eq}$,
- Binalardan oluşan salınım 1970'de 2.5 $GtCO_{2eq}$ iken 2010'da 3.2 $GtCO_{2eq}$,
- Tarımsal kaynaklı salınım 1970'de 9.9 $GtCO_{2eq}$ iken, 201'da12 $GtCO_{2eq}$. değerlerine ulaşmıştır[7].

Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF)'nın hazırladığı 2016 raporuna göre, insanlığın 2015 yılı içerisinde tükettiği doğal kaynak ve hizmetlerin karşılanabilmesi için 1,6 Dünya'ya eşdeğer bir biyolojik kapasiteye gereksinim vardır[3].

İklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğe yönelik tehditler, ormansızlaşma ve su krizi açıkça gösteriyor ki, doğal kaynak kullanımımız artık sürdürülebilir değildir.. Bugün, ortalama bir Amerikalı için beş, ortalama bir Avrupalı için üç, Türkiye'de yaşayan ortalama bir yurttaş için iki gezegen gerekiyor. Ancak yine de eyaşadığımız bu ekolojik krizi geri çevirme olanağına sahibiz.

Ekolojik limit aşımını önlemek için gezegenimizin sahip olduğu kaynakların kendini yenilemesini sağlamak ve bu kaynakları sağlayan ekosistemleri daha iyi yönetmemiz gerekmektedir.

4. Sürdürülebilir Gelişme

Son yıllarda hem mühendislerin hem de ekonomistlerin gündeminde, yaşadığımız uygarlık krizinin yarattığı "sürdürülemezlik haline" karşı yeni bir kavram ortaya çıktı: "sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir büyüme ya da sürdürülebilir gelişme".

Sürdürülebilir gelişme en yalın anlatımla, "kişi başına gelecek dönemlerde de azalmayan tüketim potansiyeli –ya da refah düzeyi- biçiminde tanımlanabilir. Brundtland Raporu'ndaki tanım da buna koşut olarak, "yeryüzünde artan insan sayısı ile var olan kaynaklar arasındaki dengenin kurulması" olarak yapılmıştır.

Sürdürülebilir Gelişme kavramı içinde üç önemli bileşen bulunmaktadır:

- Ekonomik boyut, niteliksel ekonomik büyüme,
- Teknik boyut ve
- Adil paylaşım sistemi.

Ekonomik Boyut, yani niteliksel ekonomik büyüme, ekonomik büyümeyi, sadece nicel boyutu ile düşünmeyerek, doğanın taşıma kapasitesini aşmadan gerçekleştirme düşüncesi olarak tanımlanabilir. Ekosistem içerisinde anahtar bir tür olan insan, doğanın taşıma kapasitesini olumsuz anlamda etkilemektedir. Bunun anlamı, yani doğanın taşıma kapasitesinin aşılması, çevrenin ve doğal sistemlerin kendilerini yenileyebilme yeteneklerinin azalması ve böylece yaşam tarzının uzun dönemde sürdürülemez olmasıdır. Sürdürülebilir gelişme kavramı, bu bağlamda, ekonomik büyüme ile birlikte çevresel duyarlılığı da içermektedir.

Sanayi, ekonomik değişmenin ve gelişmenin, teknolojik ilerlemenin temel aracıdır ve bu nedenle de toplum ve çevre üzerinde doğrudan etkileri vardır. Öyle bir sanayileşme modeli bulunmalıdır ki, bir yandan ekonomik büyüme ve gelişme sağlansın, öte yandan da çevre ve toplum üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirilsin ya da hiç olmasın.

Teknik Boyut ise ekonomik bağlamda aranan sürdürülebilir sanayileşme modeli içinde, sorunu teknik düşmanlığı ile değil, yine insanlığın yüzlerce yılda oluşturduğu teknolojik birikim ile çözülmesi anlayışıdır.

Karl Raumund Popper'in de belirttiği üzere, "hayat problem çözmektir"[21].

"Hataların düzeltilmesi teknoloji ve öğrenmenin en önemli yöntemidir. Biyolojik evrimde bu, ilerlemenin tek yöntemi gibi görünmektedir… Biyolojik gelişme hatalarla doludur, hataların düzeltilmesi ise çok yavaş gerçekleşmektedir. Demek ki biz de bir sürü hatamız için, sadece o çok sevdiğimiz yeşil doğayı taklit ettiğimiz

bahanesi arkasına saklanabiliriz. Hatta hatalarımızı düzeltmede, genellikle yeşil doğadan daha hızlı olduğumuzu da söyleyebiliriz. Çünkü aramızdan bazıları bizim hatalarımızdan ders almaya çalışmaktadır. Örneğin bütün bilim adamları, teknologlar ve teknisyenler bunu yapmaktadır, eğer yapmıyorsa yapmalıdırlar; çünkü bütün mesleki becerileri bundan ibarettir"[21].

"Hayat problem çözmektir. Bütün organizmalar, teknik sorunların çözümünde iyi ya da daha az iyi, başarılı ya da daha az başarılı olan mucit ve teknisyenlerdir. İnsanların tekniği insanların problemlerini çözer, kanalizasyon, su ve besin bulma de depolama gibi, ki bunları arılar da yapmaktadır"[21].

"Bu nedenle teknik karşıtlığı saçmalıktır, çünkü bu yaşam karşıtlığı demektir. Ama tekniğin iyileştirilmesi tabii ki saçmalık değil, bilakis acilen gereklidir. Her insan farklı şekillerde bunu yapabilecek kapasitededir ve yapmalıdır. Eleştiri de teknisyenin mesleki becerisi olduğuna göre bu, özellikle de teknisyenlerin sürekli meşgul oldukları bir şeydir"[21].

Teknik karşıtlığı yerine teknolojinin kendi içinde barındırdığı birikim ve olanaklarla, yaşadığımız bu uygarlık krizinden çıkarak yani sürdürülemezlik halinden sürdürülebilir bir yaşam kurmak, büyük ölçüde mühendislerin ödevidir.

Veblen, sanayi sisteminin optimum işleyişi için, "faal sınıf" olarak tanımladığı mühendislere ağır bir sorumluluk yükleyerek, mühendislerin ortak bir anlayış etrafında birlikte çalışması koşuluyla, böyle bir duruma ulaşılabileceğini ileri sürer. Ama öncelikle, "birbirleriyle çelişen farklı amaçlarla çalışmaması koşuluyla" diye de ekler. "Bir bütün olarak olarak sanayi sistemi içerisindeki mevcut kaynak ve kapasite kullanımında gelişme sağlanmasının ilk koşulu, faal sınıfın ortak bir bakış açısı, bir başka deyişle sanayi birimleri arasındaki bağlılıkların teknik olarak değerlendirilmesine zemin sağlamanın yanı sıra, onları sanayinin otonom "failleri" olarak kurabilecek bir özdeşleşme duygusu veren belirli bir ortak zihin alışkanlığı etrafında bir araya gelmesidir"[2]. Bugün yaşadığımız kriz itibarı ile aynı zihin alışkanlığı birlikteliği, sürdürülebilirlik için de kurulmalıdır.

Adil Paylaşım Sistemi, ekonomik ve teknik açmazların doğal bir sonucu olarak karşımıza çıkar. Yeryüzündeki gönencin sanayileşmiş ülkelerle azgelişmiş ülkeler arasındaki dengesiz dağılımı ile doğanın acımasızca tahrip edilmesi ve sömürülmesinin yarar ve maliyetinin adaletsiz dağılımı büyük bir karşıtlık oluşturmaktadır.

Alışılagelmiş bir ayrımla, gelişmiş-azgelişmiş diye nitelenen iki grup ülkedeki çevre sorunları da, bu ayrıma bağlı olarak nitelik ve nicelik farkı göstermektedir[8].

Gelişmiş ülkelerdeki çevre kirliliği "bolluk kirlenmesi" iken, azgelişmiş ülkelerdeki kirlenme "yoksulluk kirlenmesi" biçiminde tanımlanmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerdeki kirlilik ise, yaşam standartlarının kötülüğünden değil, tersine sanayileşmenin yarattığı üretim ve buna bağlı olarak da tüketim artışından kaynaklanmaktadır. Bu ülkelerdeki ileri teknolojik gelişim de, çevrenin hızla ve geri dönülemez bir biçimde kirlenmesine neden olmaktadır. Örneğin ABD, dünya nüfusunun % 4.4'üne sahip iken, üretilen enerjinin %17'sini tüketmektedir. Buna karşın azgelişmiş ülkelerdeki yaşam koşulları ve yaşam standartları başlı başına bir sorun olmakta, bu yetersiz koşulların yarattığı yoksulluk çevre sorunlarına da kaynaklık etmektedir. Hızlı nüfus artışı, besin yetersizliği, işsizlik, göç ve bunun sonucunda hızlı ve sağlıksız kentleşmenin yarattığı düşük standartlı barınma koşulları, sağlık ve eğitim standartlarının düşüklüğü ve çevresel yıkımın küresel boyutu azgelişmiş ülkelerdeki çevre sorunlarının kendisidir[8].

5. Endüstriyel Ortaklaşma (Simbiyoz)

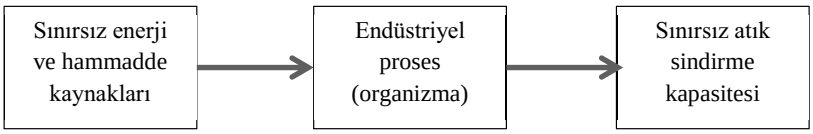
"Endüstriyel ekoloji", "endüstriyel ekosistem" ya da "endüstryel ortaklaşma (simbiyosis) kavramları, endüstri ile doğal yaşam ve ekolojik sistemler arasındaki benzeşime (analojiye) dayanmaktadır.

Metabolizma, biyolojide "canlı bir organizmanın yaşamını sürdürmesi sırasında gerçekleşen tüm prosesler" olarak tanımlanır. Organizmalar enerji açısından zengin, entropisi düşük maddeleri (yani besinleri) yiyerek, yaşamsal fonksiyonlarını yerine getirebilmekte, aynı zamanda büyüme ve çoğalma için de fazladan enerji sağlayabilmektedir. Yaşamsal fonksiyonların sonucunda ise, entropisi yüksek atık maddeler oluşturmaktadır[10]. Entropi düzensizliğin ölçüsüdür. Bu anlamda yüksek entropili atıklar, doğanın düzenini bozmaktadır ve doğa düzenini sürdürebilmek için bu atıkları belirli sınırlar içinde sindirme yeteneğine sahiptir. Bu sindirme yeteneğinin yani ekolojik sınırın kapasitesi, iklim, çevre kirliliği, biyolojik çeşitliliğin değişmesi bir çok etkene bağlıdır. Bugün yaşadığımız süreç, ekolojik sınır aşımının bir sonucudur.

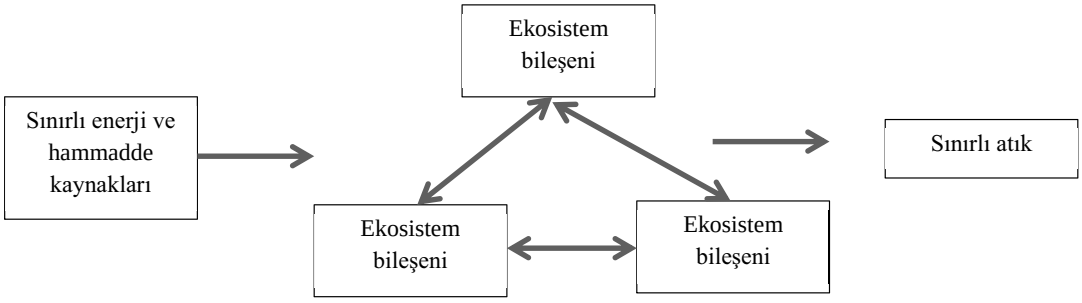
Biyolojik organizmalar ve endüstriyel faaliyetler arasında çok ilginç bir analoji bulunmaktadır. Her ikisi de hem serbest enerji akışıyla maddeyi proses eden sistemlerdir, hem de kapalı halde işleyen "dönüştürücü sistemlerdir" (madde döngüsü)[10].

Sürdürülebilir üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması son derece önemli ve etkin olmakla birlikte, firma ya da fabrika sınırları içinde kaldığında, çevresel performansı geliştirme yeteneği sınırlıdır. Daha fazla kazanım elde edebilmek firma sınırlarının ötesine geçebilmeyi ve çoğunlukla firmalar arası işbirliğini gerektirmektedir. Aynı zamanda ekonomik olmayan, bilinmeyen ya da daha önce üzerinde çalışılmamış bazı prosesler, bu ilişkiler içerisinde ekonomik ve belirgin hale gelebilir. Bu durum " endüstriyel ortaklaşma (simbiyoz)" kavramına gereksinim duyulmasının temel nedenlerindedir.

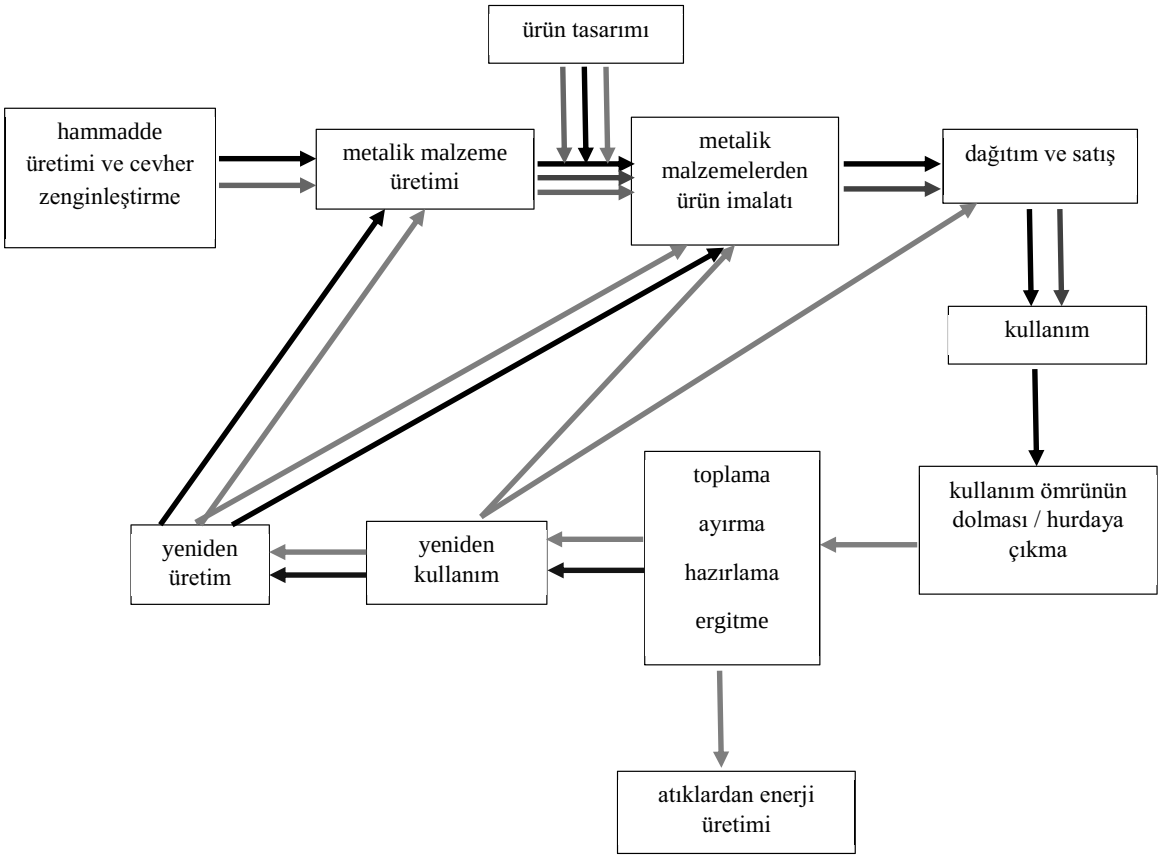
Endüstriyel ortaklaşmanın ortaya koyduğu en önemli boyutlardan biri, hammaddelerin kullanılarak ürün, yan-ürün ve atıkların oluştuğu doğrusal yapıdaki" üretim sisteminden, atıkların farklı bir ürün ya da proses için enerji ya da hammadde olarak "tekrar kullanıldığı", "döngüsel yapıdaki" sistemlere geçiş sağlanmasıdır. Bu yapı, malzeme, enerji, su ve yan ürünlerin fiziksel değişimi de dahil olmak üzere, her türlü varlığın, lojistik ve uzmanlık kaynaklarının paylaşımı anlamına gelmektedir. Bu sayede sadece endüstriyel kaynaklı çevresel ve sosyal problemlerin önüne geçmekle kalmayıp, aynı zamanda ekonomik getiri de sağlanmış olmaktadır.



Şekil 1: Geleneksel endüstri sistemlerinde, dünyadaki kaynakların ve atık sindirme kapasitesinin sınırsız olduğunu varsayarak yürütülen, doğrudan üretim süreci, geleneksel ekonomi anlayışı:



Şekil 2: Kaynakların "sınırlı" olduğu dikkate alınarak, atıkların kısmen tekrar kullanıldığı ve bir miktar atığında oluştuğu, daha çok günümüz endüstri uygulamaları:



Enerji tüketiminin azaltılması Ürünün yaşam döngüsünün kapatılması Demateryalizasyon

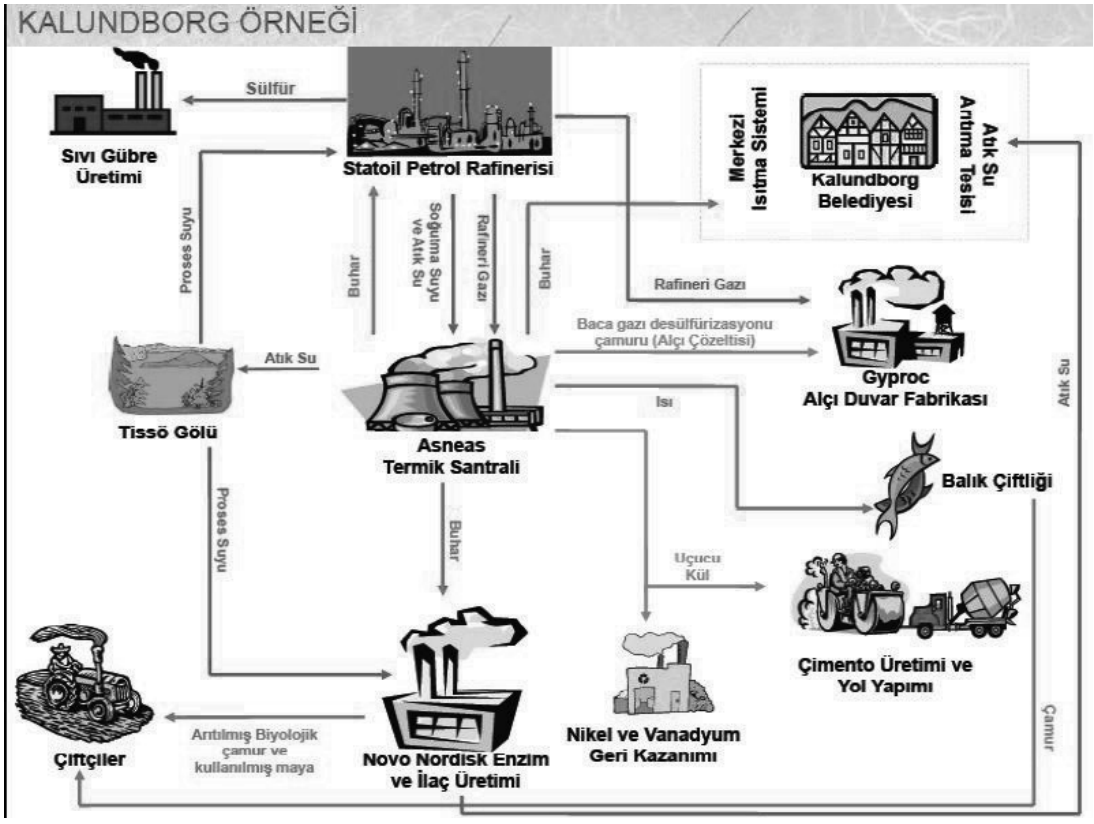
Asal malzeme yerine aynı performansta daha çevreci malzeme kullanımı

Şekil 3: Tam kapalı, tüm madde ve enerjinin çevrim içinde olduğu "sıfır atık", yani tam döngüsel sistem:

5.1. Endüstriyel Simbiyoz ve Eko-endüstriyel Parklar

Eko-endüstriyel parklar, endüstriyel simbiyoz yaklaşımının somut bir uygulamasıdır. Bu uygulamada birbirinden bağımsız ve tercihan birbirine yakın konumlanmış endüstriyel tesisler ortak fayda sağlamaya yönelik olarak ilintilendirilir[11].

Eko-endüstriyel parklarda üretim ve hizmet sektöründe yer alan ve çevresel ekonomik performanslarını arttırmak isteyen firmalar, bir araya gelerek çevresel ve kaynak (enerji, su, madde, atık vb) eldesine ilişkin konuları birlikte yönetmeye yönelik olarak işbirliği yaparlar. Birlikte çalışarak elde edilecek toplam fayda firmaların sadece kendi işleyişlerini optimize ederek elde edecekleri firma bazındaki faydaların toplamından daha fazla olacaktır[12].



Şekil 4: Kalundborg, Danimarka eko-endüstriyel park[12]

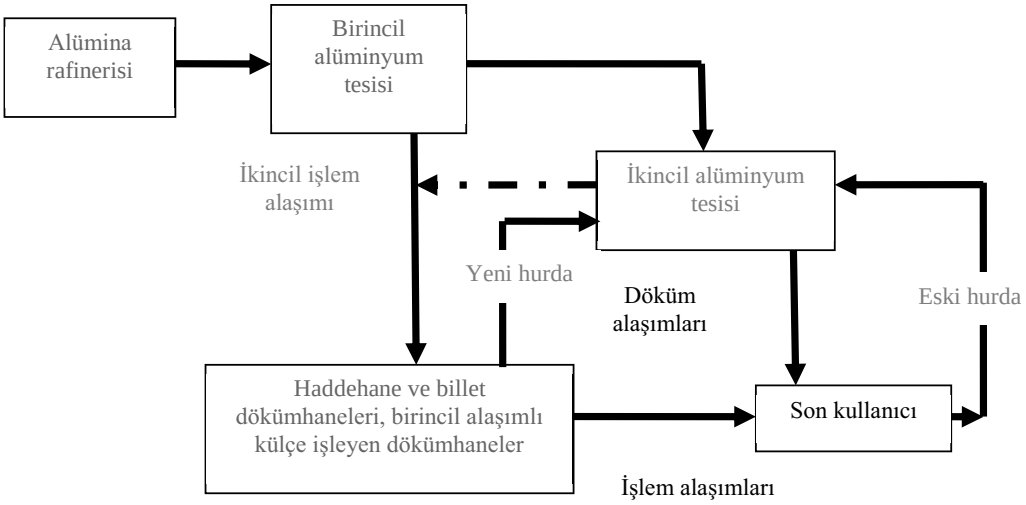
6. Alüminyum

Alüminyum metali ve alaşımları, esnek, çok yönlü ve yeniden değerlendirilebilme (reccyling) yeteneğinden ötürü enerji tüketen değil enerji depolayan bir metaldir. Bu özellikleri işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği ile kombine edildiğinde bugün ve gelecek için birçok ürünün alüminyum metalinden ve alüminyum alaşımlarından üretilmesi mümkündür.

Bununla birlikte çevre açısından bakıldığında hafifliği nedeni ile başta taşımacılık olmak üzere birçok endüstriyel uygulamada enerji tüketiminin azalmasına yol açar. Enerji tüketiminin azalması, aynı zamanda enerji üretim süreçlerinde oluşan CO_2 salınımının da azalması anlamına gelir.

Birincil alüminyum ürtimi boksit cevherlerinden Bayer Prosesi ile alümina ve ergimiş tuz elektrolizi ile metalik alüminyum üretimi aşamalarından oluşur. İkincil alüminyum üretimi ise, alüminyum prosesleri sırasında oluşan "işlem hurdası", kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum ürünlerden hazırlanan "eski hurda" ve ergitme, tutma, transfer, rafinasyon ve döküm sırasında oluşan curufların yeniden üretim döngüsüne katılması ile gerçekleşir.

Birincil alüminyum üretimi enerji yoğun bir endüstridir. Boksit cevherinden yarı-ürün üretimine kadar geçen süreçte tüketilen enerjinin yaklaşık %80'i elektroliz işleminde kullanılmaktadır. Birincil alüminyum endüstrisi, toplam dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık % 3'ünü tüketmektedir. Buna karşın küresel sera gazı salınımlarının yaklaşık %1-2'si birincil alüminyum endüstrisi kaynaklıdır.



Şekil 5: Birincil ve ikincil alüminyum üretimi



Şekil 6: Birincil alüminyum üretimi malzeme dengesi

6.1. İkincil Alüminyum Üretimi (Kent Madenciliği)

Sürdürülebilir gelişme kavramı ile hem tüketim bilinci artarken, hem de yeni hammadde kaynakları seçeneklerinin aranması da doğal olarak gündeme gelmiştir. Ancak bu yeni hammadde kaynakları çok uzakta değil, hemen yanı başımızdadır. Sıradan insanların "çöp" olarak tanımladığı atıklar, öncelikle günümüz teknolojisin izin verdiği ölçüde ikincil hammadde, teknolojinin malzeme olarak değerlendiremediği atıklar ise enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. İkincil üretim, yeniden değerlendirme (geridönüşüm) ya da kaynak yönetimi kavramları yeni bir mühendislik alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Artık "kentlerde" üretilen atıklar, endüstri için çok önemli "hammadde" kaynağıdır. Yeni madenlerimiz artık kentlerdedir.

Küresel ölçekte genel eğilim, özellikle alüminyumun düşük özgül ağırlığı nedeni ile yarattığı "hafiflik" avantajından yararlanmak için, alüminyum tüketimini teşvik etmek, ancak birincil alüminyumun ikincil alüminyum ile ikamesini sağlamak yönündedir. Günümüzde üretilen toplam alüminyumun % 70'i birincil kaynaklardan, % 30' ikincil kaynaklardan elde edilmektedir. İkincil üretim, daha düşük enerji tüketimi (birincil üretimin %5'i) ve daha düşük karbon salınımı (birincil üretimin %5'i) nedeni ile, her geçen gün önem kazanmaktadır.

Alüminyum üretim süreçlerinde, enerji tasarrufu yapabilmenin en önemli yöntemi ikincil malzeme kullanımıdır.

Günümüzde yalnızca alüminyum metalinin ikincil üretimi ile yılda 90 milyon tondan fazla CO_2 salınımı azaltılmakta ve 100 000 GWsaat'ten fazla elektrik enerjisi tasarruf edilebilmektedir. Bu değer Hollanda'nın yılık elektrik enerjisi tüketimi kadardır.

UNEP'in 2011 yılında hazırladığı bir rapora göre, periyodik tabloda yer alan elementler için; toplam üretimde ikincil hammaddelerin payı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

İkincil hammadde kullanım oranları incelendiğinde, başta alüminyum, magnezyum ve nadir toprak elementleri olmak üzere çok ciddi bir potansiyel olduğu görülmektedir.

Çizelge 1: Bazı metaller için ikincil metal üretiminin toplam üretim içindeki payı:

› % 50	**% 25-50**	**% 10-25**	**% 1-10**	**‹ % 1**
Nb, Ru, Pb	**Al**, Mg, Mn, Fe, Co,Ni,Ge, Rh, Pd, Mo, Ag, In, W, Pt, Hg	Be, Cr, Ti, Cu, Ga, Zn, Cd, Sn, Sb, Ta, Re, Ir	Se, La, Cu, Pr, Nd, Gd, Dy	Li, As, Y, Ba, tl, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

AB ülkelerinde 1 ton birincil alüminyum üretimi ve dökümü sırasında 1.5-2.7 ton arasında CO_2 üretilirken, ikincil üretimde bu salınım değeri 0.2 t/CO_2'ye düşmektedir.

Bugün 1 ton birincil alüminyumun elektroliz yöntemi ile üretilmesi için gerekli olan elektrik enerjisi 15 000 kWs civarındadır (dünya ortalaması). Yakalanan en iyi değer ise 12 500 kWs'dir. Bu, toplam birincil alüminyum üretim maliyetinin yaklaşık % 35'ina karşı gelimektedir.

Avrupa Alüminyum Birliği'nin tahminlerine göre, alüminyum metalinin endüstriyel olarak kullanımına başlandığı 1880 yılından günümüze kadar, yaklaşık 900 milyon ton alüminyum üretilmiştir. Bunun yaklaşık % 35', inşaatlarda, % 30'u elektrik iletimi ve makine imalatında ve % 30'u ise ulaşım araçlarında kullanılmıştır. Bu metal, ikincil hammadde kaynağı olarak düşünüldüğünde, dünyanın 17 yıllık birincil alüminyum gereksinimine eşdeğer miktardadır.

Eğer bütün koşullar ideal olsaydı, yani kullanım ömrü dolmuş eski hurdanın % 100'ü toplanabilseydi, bu hurdalar % 2 kayıp ile hazırlanıp, % 5 kayıp ile yeniden üretilseydi eski hurdaların % 93'ü yeniden tüketime katılacaktı. Ancak bugünkü dünya pratiği henüz bu ideal koşullardan çok uzaktadır. Üretilen ve ömrünü dolduran hurdanın ancak % 50'si toplanabilmekte, bu hurdalar % 20 kayıp ile hazırlanmakta ve % 10 kayıp ile yeniden üretim sürecinden çıkmaktadır. Yani pratikte eski hurdanın sadece % 36'sı yeniden kullanıma girebilmektedir. Bütün amaç hurda toplamanın yasalarla desteklenmesi, hurda hazırlama, ayırma, ergitme ve metal rafinasyonu tekniklerinin geliştirilmesi ve yeniden üretilebilirliğe uygun yeni alaşım ve tasarımlar üzerinde çalışmalar yaparak, bu % 64'lük potansiyeli maksimum oranda değerlendirebilmektir.

6.2. Endüstriyel Ortaklaşma (Simbiyoz) ve Alüminyum

Çizelge 2: Alüminyum üretim süreçlerinde oluşan hava kirletici salınımlar, atıklar ve yan-ürünler :

Üretim süreci	Hava kirletici salınımlar	Atıklar	Yarı-ürün ve katı atıklar	Enerji
Bayer Prosesi ile Alumina rafinasyonu	Parçacıklar (partikül)	Kostik ve silika içeren atık su	Kırmızı çamur, sodyum okzalat	Buhar üretimi ve kalsinasyon
Boksit-dışı kaynaklardan alumina üretimi	Parçacıklar (partikül), asit buharı, CO ve CO_2	Tüksek alkaliniteye sahip atık suyu	Beyaz çamur, silika kumu, birincil ve ikincil alumina, çimento hammaddesi, dolgu maddeleri, refrakter hammaddeleri	Buhar üretimi ve kalsinasyon,
Anot üretimi	Parçacıklar, florürler, polisiklik organik maddeler, SO_2	Katı asıltı (suspended), florür ve organik içeren atık sular	Karbon tozu, zift ve refrakter atıkları	Anot pişirme fırını
Alüminyum elektrolizi	CO_2, CO, SO_2 ve gaz ya da parçacık formunda partiküller, perfluorokarbon (CF_4, C_2F_6), polisiklik organik maddeler	Kuru ya da yaş gaz temizleme sistemi atıkları	Ömrünü doldurmuş elektroliz hücrelerinden çıkan atıklar (spent pot lining)	
Hurda hazırlama	Parçacıklar, organik maddeler ve klorürler	Toz tutma sistemi atıkları	Kırıcı ve parçalayıcı atıkları (fluff)	
Hurda ergitme ve sıvı metal rafinasyonu	İz elemetleri de içeren parçacıklar, organik maddeler, klorür ve florürler	Magnezyum ve alkali giderme sırasında oluşan atıklar	Curuf ve tuz keki	Ergitme ve tutma fırınları
Yarı-ürün üretimi (hadde, dövme ve ekstrüzyon)	Parçacıklar, klorürler, organic sıvı ve buharlar.	Soğutma suyu atıkları, boya hattı atıkları	Gres yağı ve diğer işlem yağları	Ergitme, tutma ve döküm fırınları, ısıl işlem fırınları

Bayer Prosesi'nde Oluşan Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi

Çöktürme aşamasında, cevher içindeki alümina, sodyum alüminat şeklinde çözülür. Boksit içerisindeki silisyum reaksiyona girer ve çözeltiden sodyum alüminyum silikat olarak çöker. Demir ve titanyum oksit ve diğer safsızlıklar kimyasal olarak etkilenmezler ve katı olarak, çözeltiden çökerek ayrılırlar. Kırmızı çamur olarak bilinen bu atık madde sodyum alüminat çözeltisinden ayrılır, kostik sodanın geri kazanılması için yıkanır ve sonra depolama alanına pompalanır. Kırmızı çamur, Fe, Al, Ti, Si, Na ve Ca oksitleri ile birlikte yüksek oranda NaOH içerir. Bu nedenle yüksek alkalineteye sahiptir (pH 12.2 'den büyük). Kırmızı çamur bilinenin aksine toksik bir atık değildir, ancak miktar açısından çevresel sorun olarak ortaya çıkabilir. Ton alümina başına, boksit kompozisyonuna bağlı olarak 700 kg ile 2 ton arasında kırmızı çamur atık olarak üretilir.



Şekil 7: Kırmızı çamur

Birincil alüminyum üretiminin ağırlıkça en önemli atığı kırmızı çamurdur.

Çizelge 3: Kırmızı çamurun yaklaşık kimyasal kompozisyonu (%)

	Al_2O_3	SiO_2	CaO	P_2O_5	Fe_2O_3	TiO_2	Na_2O	H_2O
Gibsit	16.52	3.05	5.68	1.32	49.53	6.80	1.40	13.40
Böhmit	16.35	7.99	9.06	0.91	42.33	5.99	4.60	10.20

Çizelge 4: Kırmızı çamurun değerlendirme olanakları :

Kullanım alanı	**Proses**	**Kazanılabilecek ürünler**
Metalurji sanayi	Kurutma, indirgeme	Demir cevheri, vanadium pentaoksit, galyum, skandiyum, titanyum oksit ve ikincil alümina
İnşaat sanayi	Kurutma-sinterleme, kavurma, presleme, pişirme, granülize etme.	İkincil alumina ve çimento katkısı, beton dolgu malzemesi, tuğla, özel betonlar için agrega.
Cam ve seramik sanayi	Kurutma, peletleme, kavurma	Katkı maddesi
Kimya sanayi	Kurutma vekimyasal işlemler	Katalizür, adsorbent, boya katkısı, reçine katkısı ve plastikler için dolgu malzemesi.
Tarım	Düşük demirli topraklara katkı maddesi, yüksek asitli topraklarda nötralizasyon için katkı maddesi, adsorbant.	Toprak özelliklerini iyileştirme.
Atık su rafinasyonu	Adsorpsiyon ve koagülasyon.	Atık suların yeniden kullanımında koagülan.
Diğer	Kurutma ve kimyasal işlemler, adsorpsiyon.	Filtrasyon malzemesi, acidic maden drenajlarında nötrleştirici.

Miktar olarak birincil alüminyum sürecinde üretilen en büyük atık kırmızı çamurdur. Kırmızı çamurun değerlendirilmesine yönelik, birçok seçenek bulunmasına karşın, miktarsal büyüklük, proseslerin ekonomik olmasını engellemektedir. Ancak simbiyotik ilişki ile farklı değerlendirme alanları, ekonomik olarak yaratılabilir.

Boksit-dışı Alüminyum Kaynaklarından Metalurjik Kalite Alümina Üretimi

Bayer Prosesi ile boksit cevherlerinden alümina üretimi yaklaşık 130 yıldır uygulanan bir prosestir. Bu 130 yıl içerisinde prosesin ana kurgusu, yani kostik liçi değişmemiş, ancak alümina rafinerileri özellikle enerji tüketimini düşürmeye, alümina kalitesini arttırmaya ve proses otomasyonuna yönelik bir çok yeniliği proseslerine monte etmişlerdir.

Ancak, her ne kadar alüminyum cevherleri yerkabuğunun yaklaşık % 8'ini oluştursa da, teknolojik olarak işlenebilen böhmitik ve gibsitik kaynaklar sınırlıdır. Bu anlamda alternatif kaynakların kullanımı üzerinde çalışmalar sürmektedir.

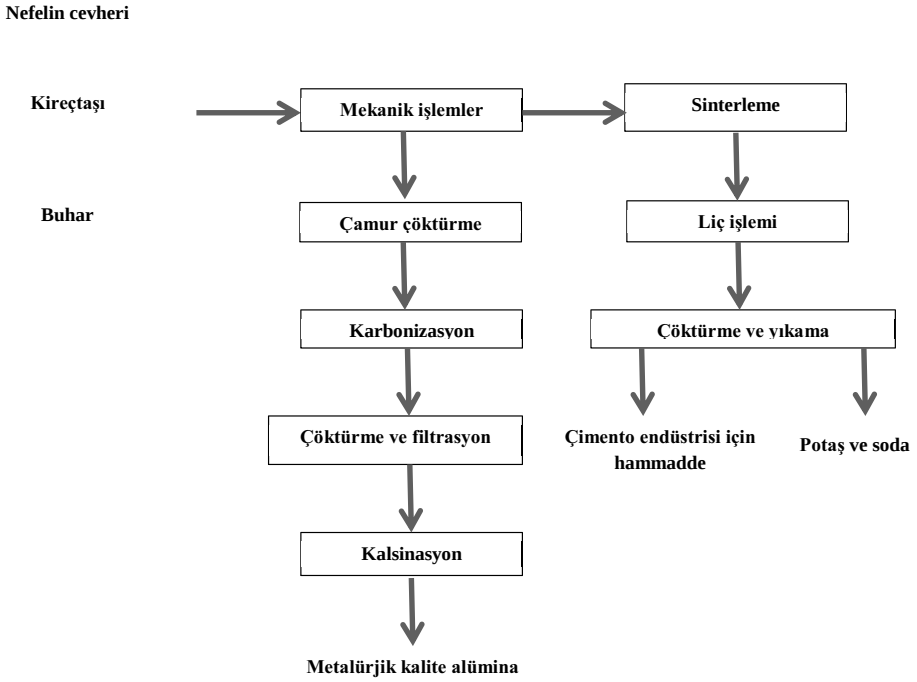
Şu an ekonomik olarak görülmeyen, boksit dışı, alternatif kaynaklardan (nefelin, alünit ve kömür tozu) metalürjik kalite alümina üretimi, değerli, yarı-ürünler ile birlikte ya da alüminanın yan-ürün olarak üretilmesiyle ekonomik hale gelebilir.

Nefelin ($(Na,K)AlSiO_4$) cevherlerinden alumina üretimi ile, yarı ürün olarak çimento endüstrisinde kullanılabilecek hammaddeler ve gübre üretimine uygun kalitede potaş ve soda yarı-ürünleri üretmek mümkündür.

Termik santral ve çöp yakma tesisi kömür külleri ise hem alüminyum hem de magnezyum üretimine uygun yarı-ürün üretirler. Liç işlemi sonrası oluşan kalsiyum silikat ise, çimento endüstrisinde kullanılabilir.

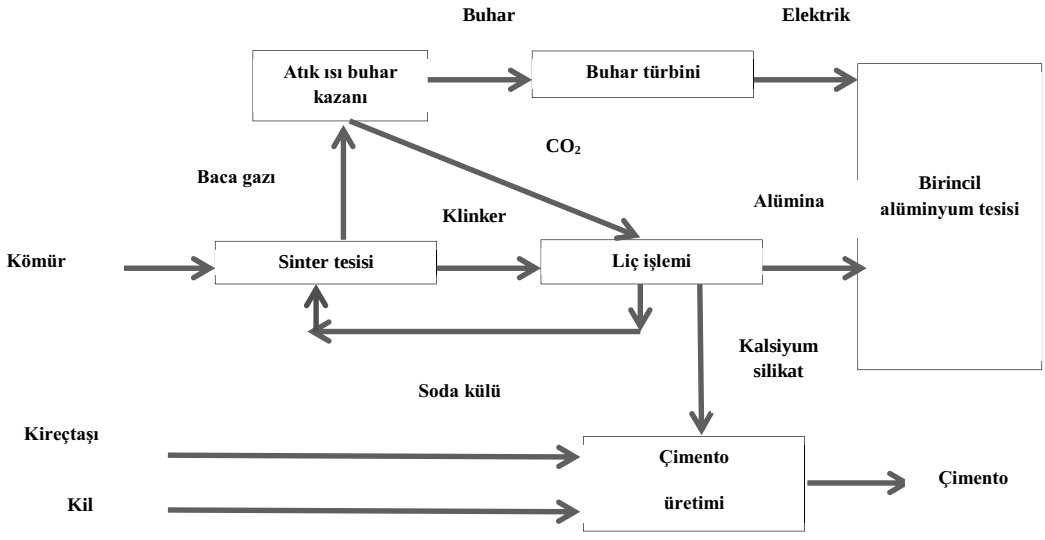
Alünit ($KAl_3(SO)_4(OH)_6$) cevherlerinin işlenmesi ile ise, ana ürün olarak potasyum sülfat gübresi üretilirken, yarı-ürün metalürjik kalite alümina olacaktır.

Nefelinden cevherlerinden alümina üretimi



Şekil 8: Nefelinden alumina üretimi

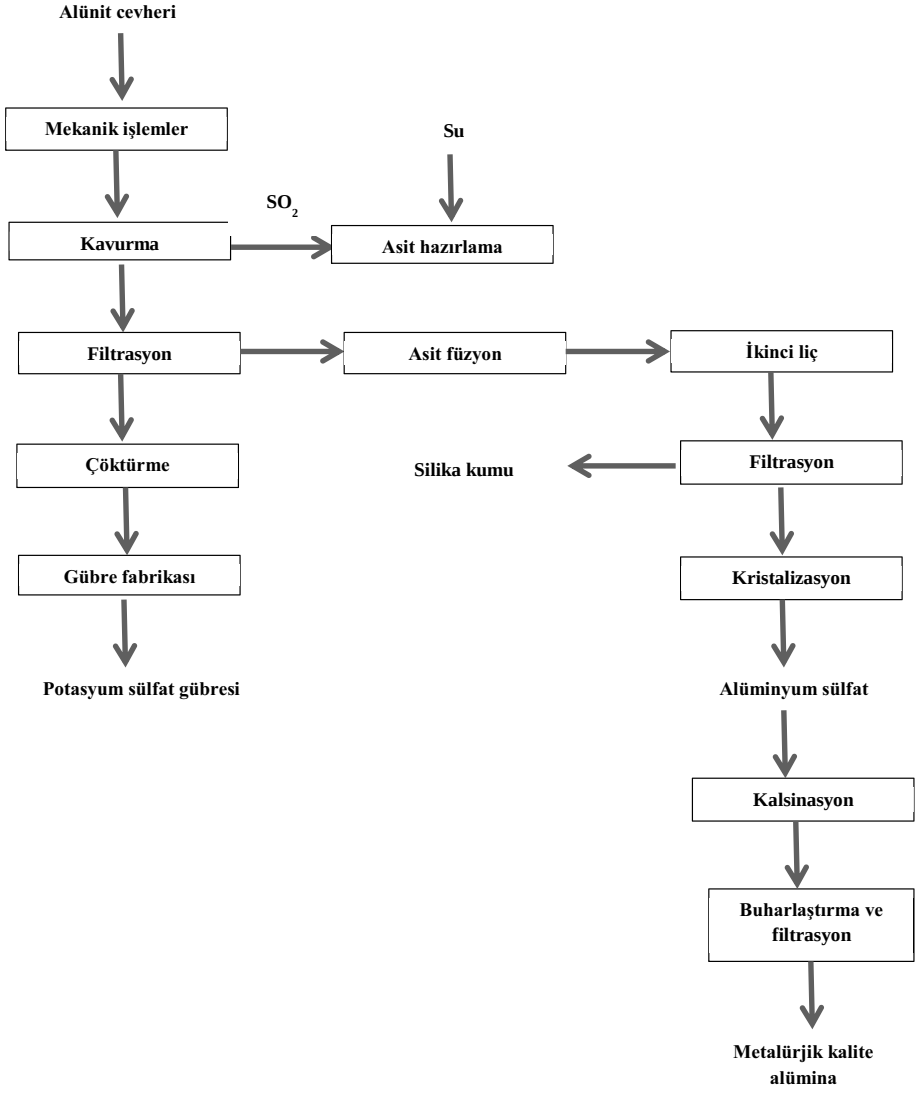
Kömür den elektrik enerjisi ve alümina üretimi:



Şekil 9: Kömürden elektrik enerjisi ve alümina üretimi:

Gittikçe önem kazanan kömür santrallerinde atık olarak oluşan kül, aynı zamanda alüminyum ve magnezyum içeren zengin bir ara-üründür. Örneğin Avustralya'da kurulan Latrobe Magnesium tesisi, termik santral küllerinden termal redüksiyon yöntemi ile metalik magnezyum üretmeye 2017 yılı itibarı ile başlamıştır. Benzer prosesler, ikincil alumina ve dolayısı ile alüminyum üretimi için de kurgulanabilir. Bu proseslerin diğer önemli bir avantajı da, kömürden elektrik üretimi sırasında oluşan CO_2'in, çimento hammaddesi olan kalsiyum silikat üretiminde kullanılabilmesidir.

Alünit cevherlerinden metalürjik kalite alümina üretimi



Şekil 10: Alünit cevherlerinden metalürjik kalite alümina üretimi

Alüminyum Tesislerinde İkincil Malzeme Kullanımı

Gerek birincil alüminyum tesisi dökümhanelerinde gerekse alüminyum yarı ürün üreten biyet ve haddehane dökümhanelerinde ikincil malzeme kullanımı ile enerji tüketimi ve karbon salınımı avantajlarının yanı sıra hammadde çeşitliliği ve bulunabilirliği olanağı genişler, hammadde maliyeti düşer ve ikincil malzemelerden gelen alaşım elementleri sayesinde alaşım elementi maliyeti düşer.

Birincil Alüminyum Dökümhanelerinde Hurda Kullanımı:

Özellikle Batı dünyasında yerleşen birincil alüminyum tesislerinde, dökümhane kapasitesi her zaman, elektroliz kapasitesinden daha yüksek tutulur. Bunun temel nedeni, üretilecek alaşımın kalitesine bağlı olarak, sıvı metali bir miktar temiz hurda ve/veya ikincil külçe ile karıştırmaktır.

Birincil alüminyum tesislerinde, elektroliz hücrelerinden çekilen metal yaklaşık olarak 960 ̊C sıcaklığa sahiptir. Taşıma potaları ile dökümhane fırınlarına ulaştığında ise, sıcaklığı 900-920 ̊C civarındadır. Üretilecek alaşıma göre, bu sıcak metalin 720-760 ̊C aralığındaki döküm sıcaklığına ulaşması, yani soğutulması için 1-2 saat kadar beklemek gerekecektir. Oysa yaklaşık toplam sıvı metal ağırlığının % 8' kadar temiz hurda ya da ikincil külçe şarjı ile bu bekleme süresi minimuma indirilebilir. Aynı zamanda bu temiz hurda ya da ikincil külçe hiçbir ilave enerji kullanılmadan ergitilmiş olur.

Alüminyum Yarı-ürün Üreten Tesislerde Kısmen Hurda Kullanımı:

Alüminyum yarı-ürün üreten haddehane ve biyet dökümhanelerinde temel kaygı, üretilecek ürünün izin verdiği ölçüde, enerji yoğun ve pahalı olan birincil külçe yerine, olabildiğince hurda kullanmak olmalıdır. Bu büyük ölçüde teknolojik yapıları ile ilintilidir. Örneğin AA 3105 alaşımı üreten bir haddehane, bu üretimini % 100 birincil külçe yerine, her %10'luk kullanılmış içecek kutusu kullanımı ile, sıvı alüminyum maliyeti % 3-5 aralığında düşürülebilir. Alaşım elementi olarak eklenen mangan ve magnezyum büyük oranda içecek kutusu şarjından sağlanabilir.



Şekil 11: Kısmen hurda kullanabilen haddehane ve biyet dökümhaneleri için üretim akışı



Şekil 12: Kısmen hurda işleyen haddehane ve biyet dökümhaneleri için tipik hurdalar

Ömrünü Doldurmuş Elektroliz Hücrelerinden Çıkan Atıklar (spent pot lining) Değerlendirilmesi

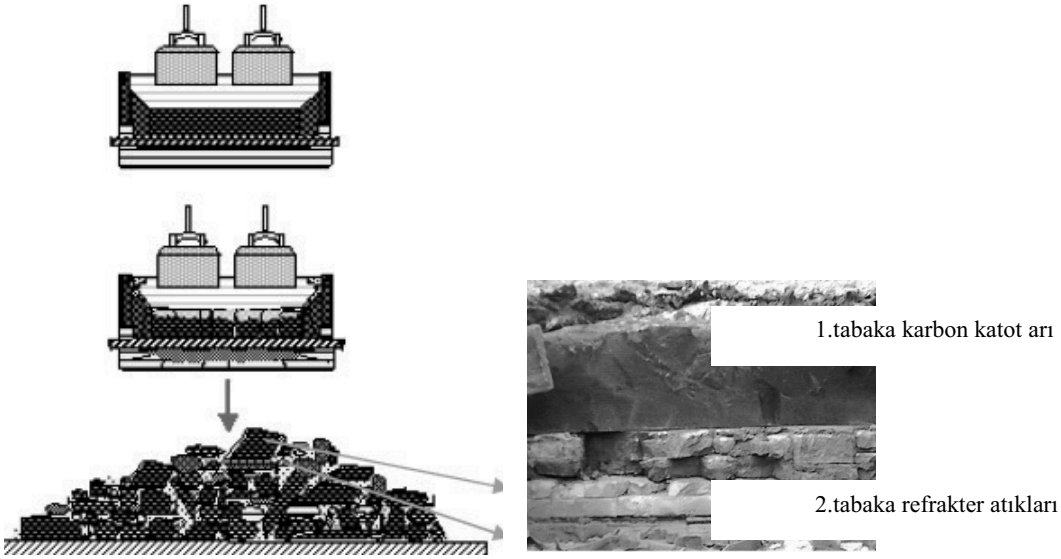
Ömrünü doldurmuş elektroliz hücrelerinin sökülmesi sırasında, ton birincil alüminyum başına yaklaşık olarak 18-20 kg atık çıkar. Bu atık iki grupta incelenebilir:

- Katottan gelen karbon fraksiyonları,
- Refrakter atıkları.

Atıklar, özellikle elektrolit kalıntıları nedeni ile reaktif atıklardır ve nemli ortamda hidrojen ve metan gazları üreterek toksik siyanür ve çözülebilir florür oluşumuna neden olurlar.

Ömrünü doldurmuş hücre atıkları, yaklaşık olarak %12 F, %0.15 CN, %25 C, %10 Al, %15 Na, %10 Si, % 2.5 Ca, % 0.5 Fe ve % 20 O içerir. Liç işlemi sonucunda kg atık başına 40 000 mg F ve 800 mg CN oluşumu mümkündür.

Hücre atıklarının,katot kısmı çimento üretiminde florür ve alkali katkısı, kayayünü üretiminde yakıt, çelik üretiminde karbon verici ve ferroalaşım üretiminde redükleyici olarak değerlendirilebilir. Refrakter kısmı ise, atık gaz temizleme sistemlerinde kullanılanrefrakter tuğlalarda dolgu maddesi olarak kullanılır.



Şekil 13: Kullanım ömrünü doldurmuş elektroliz hücresi

Alüminyum Curuflarının Değerlendirilmesi

Gerek birincil alüminyum tesislerinden, gerek dökümhanelerden gerekse ikincil alüminyum tesislerinde oluşan curuf bir ara üründür ve içerdiği yüksek metalik alüminyum nedeni ile atık olarak değil, yarı-ürün olarak düşünülmelidir.

Alüminyum üretiminin artışı yani daha fazla ergitme yapılması, doğal olarak curuf oluşumunu arttıracaktır. Birincil tesisler, dökümhaneler ve hurda ergiten ikincil tesislerin curufları aynı zamanda ikincil tesisler için hammadde olurken, bu süreç de oluşan ikincil curufun işlenmesi "hem çevre hem de ekonomik açıdan" oldukça önemlidir.

Soğutulmuş curuf zenginleştirilerek, içerdiği metalik alüminyumu kazanmak için döner fırınlarda tuz altında ergitildiğinde oluşan tuz kekinin ana bileşenleri;

- Metalik alüminyum,

- İkincil tuz ve
- Metal dışı ürünler olacaktır.

Döner fırınlarda üretilen metal dışı ürünler, yüksek alümina içeriği nedeni ile (% 40-80) ikincil alümina üretimine uygun yapılardır.



Şekil 14: Soğutulmuş cüruf blokları



Şekil 10: Tuz keki

Cüruf atıklarının değerlendirilmesine yönelik prosesler :

- Yüksek sıcaklıkta liç,
- Tuzların aseton ilavesi ile çöktürülmesi ve
- Elektrodializ prosesleri olarak sıralanabilir.

Bu ikincil curuf, çeşitli mekanik ve hidro-metalurjik işlemler sonucunda;

- Demir-çelik sektörü için sentetik curuf yapıcı,
- Kimya endüstrisi için çeşitli reaksiyon aktivatör/katalizör üretimi,
- İkincil alümina üretimi,
- İçme suyu rafinasyonu için şap üretimi ve
- Çimento üretimi için çeşitli katkı maddeleri üretiminde kullanılır.

7. Sonuç:

Sürdürülebilir gelişme, Sanayi Devrimi'nden bu yana, sanayi güdümünde gelişen teknoloji ile evrensel ve kamu ağırlığını temsil eden bilimsel çalışmalarla gelişen teknoloji olgularının "karşılıklı çıkarlarının –tamamen olmasa bile büyük ölçüde- örtüştüğü bir ara noktadır. Çevresel yatırımları ölü yatırımlar olarak gören geleneksel sanayi anlayışı, bu yaklaşımla çevre ile beraber aynı zamanda ekonomik çıkarlarının da korunduğunu görür.

Alüminyum metali ve alaşımları, sahip oldukları özellikler nedeni ile hemen hemen her sektörde kullanım alanı bulan malzemelerdir. Özellikle hafiflikleri, küresel sera gazı salınımının ana etmenlerinden olan taşımacılık endüstrisinde önemli avantajlar yaratmaktadır. Ancak birincil alüminyum üretimi, enerji yoğun bir endüstri oluşu ve prosesler sırasında oluşturduğu karbon salınımı ve atıklar nedenleriyle masum bir endüstri değildir. Buna karşın alüminyumun özelliklerini kaybetmeden "yeniden değerlendirilebilir/üretilebilir" oluşu, bu dezavantajı avantaja çevirmektedir. Bu bağlamda, alüminyum tüketimini teşvik ederek, ama birincil alüminyum kullanımını ikincil alüminyum kullanımı ile ikame etmek, yaşadığımız uygarlık krizinin çözümlerinden birisi olabilir.

Ulaştığımız teknolojik birikimi ve yeteneği, Popper'in de belirttiği üzere, doğayı örnek olarak, doğanın kendini yenilemesine olanak verecek biçimde kullanmak biz mühendisler için, artık yaşamsal önem taşımaktadır. Endüstriyel ortaklaşma (simbiyoz) yaklaşımı, elimizdeki önemli argümanlardan birisidir. Alüminyum metali, sadece kullanım avantajları ile değil, üretim süreçlerinde ürettiği yarı-ürün ve atıklar ile de, endüstriyel ortaklaşma (simbiyoz) kavramı içinde yer alabilecek nadir malzemelerden birisidir.

Referanslar

1. Charles Dickens, İki Şehrin Hikayesi, Çev: Meram Arvas,Can yayınları, 2011
2. Thorstein Veblen, Mühendisler ve Fiyat Sistemi, Çev: Ahmet Öncü, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları, 2011
3. www.wwf.org.tr,Yaşayan Gezegen Raporu 2016 (Özet), WWF.
4. Peter R. Whiteley, The Potroom/Casthouse Interface, Aluminium Casthouse Technology,Ninth Australasian Conference, 2005
5. Ahmet İnam, 21. Teknoloji-Bilim İlişkisinin İnsan Yaşamındaki Yeri, Teknoloji, TMMOB 50.Yıl Yayımı, Mayıs 2004
6. Murray Bookchin, Ekolojik Bir Topluma Doğru, Ayrıntı Yayınları, 1988
7. Etienne Kechichian – Alexios Pantelias - Ari Reeves – Guy Henley – Jiemei Liu, A Greener Path to Competitiveness – Policies for Climate Action in Industries and Products, Worldbank Gruop, July 2016
8. Ayşegül Kaplan, Küresel Çevre Sorunları ve Politikaları, Mülkiyeliler Birliği Vakfı Yayınları-Tezler Dizisi:3, 1999
9. Laura Saikku, Eco-Industrial Parks, Publications of Regional Council of Etela-Savo 71, 2006
10. Ferda Ulutaş, Endüstriyel Ekoloji, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları VI
11. Prof.Dr. Göksel N. Demirer, Endüstriyel Simbiyoz: Kavramsal Çerçeve ve Uygulama Örnekleri-Temiz Gelecek Projesi, Hitit Üniversitesi, 2014
12. Prof.Dr. Göksel N. Demirer, Bölgesel Kalkınma Açısından Endüstriyel Simbiyoz Yaklaşımı, Kalkınma Ajansları ve Bölge Planları Endüstriyel Simbiyoz Çalıştayı, 2013
13. Daniel B. Müller, Material Flow Analysis (MFA) Projects on Aluminium a NTNU, NRC Dialog Meeting, 2009
14. Energetics, Energy and Environmental Profile of the U.S. Aluminium Industry, Prepared for U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies, 1997
15. Carlos Ruiz de Veye, Total Recovery of Spent Pot Liner (SPL) Using the Befesa Process, Metal Bulletin 27th International Conference, 2012
16. Paulo von Krüger, Use of Spent Pot Lining in Ferro Silico Manganese Smelting, Light Metals 2011
17. Finn Olesen, The Elkem SPL Project, MEEE 2008
18. Olli Salmi, Industrial Ecology in Practice: Substituting Aluminium Raw Materials, Helsinki University of Technology
19. George Basalla, Teknolojinin Evrimi, Doğubatı Yayınları, 2011
20. Karl Raimund Popper, Daha İyi Bir Dünya Arayışı, Çev: İlknur Aka, Yapı Kredi Yayınları, 2016
21. Karl Raimund Popper, Hayat Problem Çözmektir, Çev: İlknur Aka, Yapı Kredi Yayınları, 2016
22. Veysel Bozkurt, Endüstriyel&Post-Endüstriyel Dönüşüm: Bilgi, Ekonomi, Kültür, Ekin Yayınları, 2014
23. http://needtoknow.nas.edu/energy/energy-efficiency/more-for-less/
24. Prof. Dr.Bilsay Kuruç, Sanayi, Geçmişten Geleceğe ve Sanayi 4.0, TMMOB Sanayi Kongresi Açılış Konuşması, 2015
25. H. Aykut Göker, Bilim Teknoloji Sanayi Üçlemesi ve Türkiye Üzerine Söyleşiler, Sarmal Yayınevi
26. Pal Vigeland, Aluminium Recycling : The Commercial Benefits, the Technical Issues and The Sustnainability Imperative, Metal Bulletin 9th International Secondary Aluminium Conderence, 2001
27. Mahmut Kiper, Teknoloji, TMMOB 50. Yıl Yayımı, 2004
28. Prof. Dr. Tuncay Neyişçi, Katı Atıkların Geri Dönüşümü, Akdeniz Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü, ANSİAD, 2003
29. Prof. Dr. Hacer Ansal, Geçmiş ve Gelecekte Ekonomik Gelişmede Teknolojinin Rolü, Teknoloji, TMMOB 50. Yıl Yayımı, 2004
30. Mark Schlesinger, Aluminum Recycling, CRC Press, 2006
31. Doğan Kuban, Yarını Baştan Yaratmak,Cumhuriyet Kitapları
32. Lester R. Brown, Christopher Flavin, Sandra Postel, Gezegenimizi Kurtarmak - Küresel Ekonominin Çevresel Olarak Sürdürülebilirliği, Tubitak-Tema Vakfı Yayınları
33. Erman Car, Alüminyum Üretim Süreçleri, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Yayını, 2011
34. Prof.Dr. Onuralp Yücel – Erman Car, Alüminyum Curuflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Curuf Yapıcı Üretimi, Metalurji Dergisi, Sayı 175, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası
35. Nükhet Barlas, Küresel Krizlerden Sürdürülebilir Topluma – Çağımızın Çevre Sorunları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2013
36. www.latrobemagnesium.com

Alüminyum Şekillendirme Tesislerinde Enerji Verimliliği ve Sera Gazlarının Azaltılması

The Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction in Aluminium Forming Plants

Ebubekir Koç, Yaşar Akça, Savaş Önder
FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Abstract

Aluminium has a lower forming temperature (min 300°C) compare to other conventionally formed metals like steel (min. 1100°C) and copper (min. 650°C). Because of the low forming temperature, it is not possible to find any significant study on the energy efficiency of Aluminium forming plants. A general survey was conducted by Aluminium Test, Training and Research Centre (ALUTEAM) on energy efficiency and greenhouse gas reduction in the aluminum sector in 2014. In this study, it has learnt that the maintenance is delayed or not performed due to the low temperatures operations, and inappropriate equipments are used. In addition, equipments are damaged due to thermal-induced losses and production losses occur. Energy efficiency field studies of this work are still in progress. Scope of this study is to establish and widen the energy efficiency awareness in the aluminium industry.

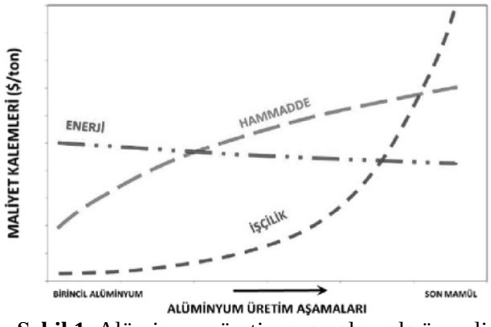
Özet

Alüminyum, konvansiyonel yöntemlerle şekillendirilebilen metaller arasında çelik (en düşük 1100°C) ve bakıra (en düşük 650°C) göre daha düşük sıcaklıklarda (en düşük 300°C) şekillendirilebilmektedir. Düşük şekillendirme sıcaklığından dolayı enerji verimliliği konusunda yeterli seviyede çalışma bulunmamaktadır. Alüminyum sektöründe enerji verimliliği ve sera gazlarının azaltılması konusunda Aluminyum Test, Eğitim ve Araştırma Merkezi (ALUTEAM) tarafından 2014 yılında Türkiye'de Alüminyum sektörünün durumunu tespit amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonrasında; ekipman bakımlarının geciktirildiği veya hiç yapılmadığı ve uygun olmayan ekipmanların kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ısıl kaynaklı kayıplardan dolayı kullanılan ekipmanlar zarar görmekte ve üretim kayıpları oluşmaktadır. Bu kapsamda, alüminyum sektörüne özel enerji verimliliği saha çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmaların temel amacı alüminyum sektöründe enerji verimliliği bilincinin oluşturulmasıdır.

1. Giriş

Türkiye'deki alüminyum sektörü dünya alüminyum sektörüne paralel olarak hızla gelişmektedir. Ocak 2016 – Ocak 2017 birincil alüminyum üretimi 64.158 metrik ton olarak gerçekleşmiştir [1]. IAI'nın 2030 yılı projeksiyonlarına bakıldığında büyümenin ortalama %7 olarak gerçekleşeceği ön görülmektedir [2]. Türkiye, 2014 yılında dünya birincil alüminyum ithalatının %4,4 (1,09 milyon ton) gerçekleştirmiştir [3]. Türkiye, ekstrüzyon sektöründe dünya ticaretinin %4'ünü gerçekleştirerek dünyada 7. sıradadır, yassı ürünlerde %2,2'si ile 11. sırada, folyada %2,5'i ile 7. sırada ve demetlenmiş teller, kablolar, vb.'lerde ise %8,5 pay ile 4. sıradadır [3].

Alüminyum sektöründe birincil üretim hariç, ürün maliyetine etkileri incelendiğinde önemli maliyet giderleri Şekil 1'de verilmiştir. Hammadde ve işçilikten sonra enerji ikinci sırada yer almaktadır.



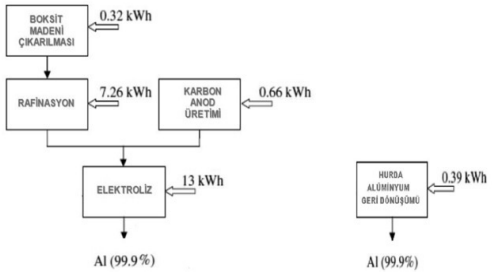
Şekil 1. Alüminyum üretim aşamalarında önemli maliyet kalemlerinin ürün maliyetine etkisinin değişimi [3].

Birincil üretim verileri incelendiğinde boksitten itibaren ortalama 284 kg petrol türevi ve 15.334 kWh doğrudan enerji tüketimleri mevcuttur [4]. Bu tüketimler sonrasında oluşan CO_2 eşdeğer tonları Çizelge 1.'de görülmektedir.

Çizelge 1. Birincil alüminyum hammadde üretiminde oluşan CO_2 eşdeğer tonları [4].

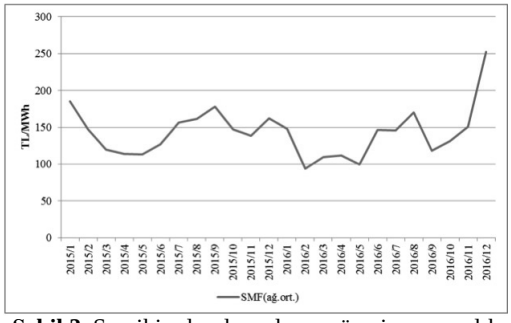
Üretim Aşaması	Madecilik	Rafinasyon	Anotlama	Smelting	Toplam
İştirakçi	CO2e/t_Al	CO2e/t_Al	CO2e/t_Al	CO2e/t_Al	CO2e/t_Al (%)
İşlem	-	-	388	1.582	1.970 (21,3)
Fuel Oil	16	754	135	133	1.038 (11,2)
Perflorakarbonlar (PFC)	-	-	-	960	960 (10,4)
Elektrik	-	58	63	5.147	5.268 (57)
Alt Toplam	16	812	586	7.822	9.236
Toplam Yüzdelik	0,17	8,79	6,34	84,69	-

Alüminyumun birincil elde edilmesine kıyasla geri dönüşüm ve şekillendirmede enerji maliyetleri Şekil 2'de ortalama %0,02 seviyelerinde olduğu görülmektedir [5].



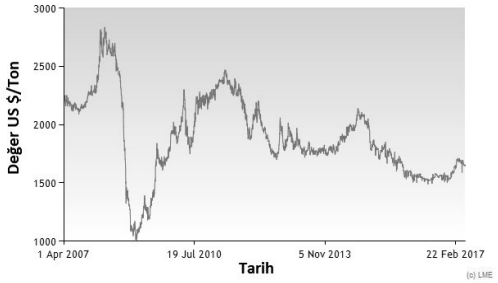
Şekil 2. Birincil ve geri dönüşümünde enerji tüketimleri [5].

Şekil 2 incelendiğinde geri dönüşümde çok ciddi oranda enerji tasarrufu sağlandığından dünyada geri dönüşüme yoğun bir yönelim olmuştur. Hammadde ve enerji fakiri Türkiye'de de durum aynıdır. Türkiye birincil üretim verileri incelendiğinde 60.000 tonlardan, 30.000 tonlara düştüğü görülmektedir [6]. Bu düşüşün temel nedenleri olarak da Alüminyum fiyatlarındaki düşüş ve enerji fiyatlarındaki artış gösterilmektedir. Enerji fiyatlarındaki artışın Şekil 3'de son iki yıl verileri incelendiğinde düzensizde olsa sürekli bir artış eğiliminde olduğu ve 2015 yılına göre ortalama %20 arttığı görülmektedir (dengeleme fiyatları baz alınmıştır) [7].



Şekil 3. Son iki yılın dengeleme güç piyasası aylık ağırlıklı ortalama fiyatları [7].

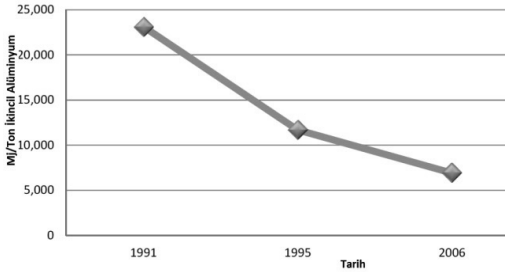
Dünyada ise alüminyum fiyatlarının düşmesi (Şekil 4'de LME alüminyum alaşımlarının fiyat değişimleri grafiğinde görüldüğü gibi) ve enerji fiyatlarının artmasından dolayı firmalar kar marjlarını korumak/arttırmak için farklı alanlara yönelmiştir [8]. Bu kapsamda, özellikle enerji konusunda çalışmalar odaklanılmıştır. Bir diğer faktör ise ülkelerin imzalamış oldukları Kyoto protokolü ve karbon ayak izi konusundaki çalışmalardır.



Şekil 4. LME alüminyum alaşımlarının 2007 – 2017 yılları arasındaki fiyat değişimleri [8].

Avrupa ülkelerinde enerji geri kazanımı konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonrasında birincil alüminyum üretiminde 1995'den günümüze kadar %26'lık enerji kazanımı ve buna bağlı olarak karbon ayak izinde %37'lik bir azalma gerçekleştiği görülmektedir [9].

Dünyada ikincil alüminyum üretim aşamalarında da Şekil 5 görüldüğü gibi 1991 – 2006 yılları arasında yapılan çalışmalarda %75'lere varan enerji kazanımlarının elde edildiği görülmektedir [10].



Şekil 5. Birincil enerji talebinin ikincil alüminyum üretimi için eğilimini temsil eder. 2006 yılında içecek kutuları, ikincil külçe üretimini temsil eder [10].

Türkiye de enerji konusunda benzer çalışmalara 1995 yılına kadar ulaşılabilmektedir. Tarihte temel üreticiler baz alınmış olup Çizelge 2'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır [11].

2013 demir çelik sektörü raporunda, demir çelik sektörü özelinde enerji tüketimi ve verimliliği konusunda çalışmalar yapılmış olup Çizelge 3 oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Erdemir üretim ve enerji tüketim durumu [11].

	1995	1996	1997	1998	1999
Üretim (* 1000 Ton)	1633	2621	2925	2734	2862
Enerji Tüketimi (Mcal/THÇ)	6105	5865	5408	5296	5160

Çizelge 3. Türkiye demir çelik sektörü enerji tüketimi [12].

	2011 yılı Elektrik Tüketimi (Ton Eşdeğer Petrol)	Pay (%)
Demir Çelik Sektörü	1734,3	%21,6
Tüm sektörler	8011	%100

Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Verileri 1 Tep=11630KWh

Türkiye'de alüminyum sektörü özelinde gerek büyük kuruluşlar gerekse yetkili kuruluşlar tarafından enerji eksenli çalışmalar hakkında bilgilere ulaşılamamıştır. Bunun nedeni de başta belirtildiği gibi alüminyum sektöründe enerji tüketiminin, demir çeliğe kıyasla düşük olması ve düşük sıcaklıklarda çalışılmasıdır. Türkiye'de alüminyum sektöründe enerji ile ilgili çalışmalar hakkında en eski veriler 2015 yılında ALUTEAM' in ALUS'07'de sunduğu bilgilerdir [13]. Günümüzde firmalar özellikle artan rekabet, düşen kar marjları ve yasal yaptırımlardan dolayı enerji eksenli çalışmalara odaklanmıştır. Fakat Türkiye alüminyum sektöründeki üreticilerin çoğu küçük çaplı üreticiler olduğundan özellikle enerji eksenli bir yatırım yapılması taraftarı değildir. Bunun nedeni enerji kaybının miktarsal olarak bilinmemesi ve iyileştirme çalışmalarının olası maliyetlerinin yüksek görülmesidir. Büyük firmalar da enerji verimliliği konusunda yaptıkları çalışmaları kendi bünyelerinde tutmaktadır. Bu çalışma ile firmaların enerji kayıplarının miktarsal oranları ve olası geri kazanımları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmalar sayesinde yazılı kaynaklar oluşturulmakta ve ilgili kişilerin ulaşabileceği ortamlarda sunulmaktadır.

2. Saha Çalışmaları

Bu çalışma 2014 yılında itibaren devam etmektedir. Çalışma kapsamında şu ana kadar alüminyum şekillendirme ve ikincil üretim yapan 42 farklı firmada aşağıdaki listede yer alan başlıklarda çalışmalar yapılmıştır.

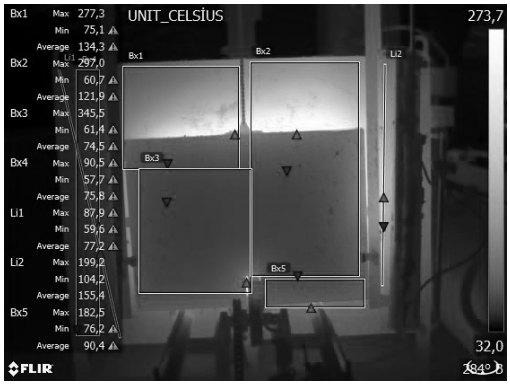
- İzolasyon kaynaklı kayıplar,
- Yanma verimi,
- Ürün, üretime etkileri ve çalışma ortamının değerlendirilmesi,
- Enerji kalitesi,

2.1. İzolasyon Kaynaklı Kayıplar

Fırın dış duvarlarında uygun olmayan izolasyon sonrası ışıma (radyasyon) ve ısı transferi (konveksiyon) ile dış ortama geçen enerjidir. İzolasyon kaynaklı kayıpların tespitinde termal kamera, infared kamera ve termografi (sıcaklık ölçüm ve kayıt) cihazları kullanılmıştır. Temelde termal görüntü üzerinde Şekil 6'da görüldüğü gibi fırını yüzeyinin ortalama sıcaklığı çıkarılmaktadır.

Saha çalışmalarının sonuçlarına göre

- Toplam 1.215.705,85 kW/Ay, 14.588.470,2 kW/Yıl enerji kaybı olmaktadır.
- Toplam ayda 104,5 TEP ve yılda 1.254,4 TEP kayıp mevcuttur.



Şekil 6. Kalıp tav fırını termal görüntüsü.

Elde edilen değerler aşağıdaki formüller doğrultusunda kW.Ay'a dönüştürülmektedir [14].

$$Q_{fd} = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$
$$Q_{3-8} = (H_{t\,1-6} + H_{I\,1-6})\ (T_{3-8} - T_5)\ A_{1-6}\ t$$
$$h_{t\,1-4} = 2{,}2\ \ 4T3-6-TS$$
$$h_{t\,5} = 2{,}8\ \ 4T7-TS$$
$$h_{t\,6} = 2{,}2\ \ 4(T8-Ts)/d$$
$$h_{\,i\,1-6} = 4{,}88\ \{(T_{3-8}/100)^4 - (T_s/100)^4\}\ (e/(T_{3-8} - T_s)$$
$$Q_9 = S_{ocak}\ k\ [(T_9-T_s)/L_f]\ A_7\ t$$

2.1.1. Kalıp Tav Fırınları

Alüminyum ekstrüzyon işleminde temel şekillendirici olan kalıpları alüminyum şekillendirme sıcaklığına çıkarmak için kullanılan fırınlara kalıp tav fırını denir. Genel çalışma sıcaklıkları 480°C - 500°C arasındadır. Kalıp tav fırınlarında ısı %95 oranla elektrik enerjisinden elde edilmektedir. Ölçümler ve gözlemler sonrasında Çizelge 4'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4. İşletmelerde yapılan ölçüm ve tespitler sonrasında kapak yönüne göre aşağıdaki temel farklar gözlemlenmiştir.

Üstten Kapaklı Kalıp Tav Fırınları	Önden Kapaklı Kalıp Tav Fırınları
• Kapak izolasyon fitillerinin ısınının üst kapak etrafında yoğunlaşmasından dolayı hızla yıprandığı görülmektedir. • Hidrolik veya pnomatik	• Kapak üst ve alt kısımlarında ısı kayıpları daha fazladır. Kapağın alt bölümünde tepsi

kapanma sistemi tercih edilmeyen yapılarda daha fazla ısı kaybı gerçekleşmektedir. • Kapak etrafında darbe sonucu ezilmeye bağlı olarak boşluk oluşmasından dolayı ısı kayıpları daha fazladır. Bu bölgelerden 500°C'ye (set sıcaklığı) varan ısı kayıpları ölçülmüştür. • Kapak açık kalma süresi çok kalıplı fırınlarda daha uzundur. • İş güvenliği açısından çok kalıplı fırınlarda çalışanlar için risk unsuru (sıcak çarpması, vücutta yanıkların oluşması, vb.) daha yüksektir.	rayının etrafında ısı kaybı daha fazladır. • Kalıp alma işlemi sırasında tüm kalıpların fazla hava ile temas etmesine bağlı olarak nitrasyon tabakaları ve sertlikleri zarar görmektedir. • Ağırlık ile kapanan sistemlerde ısı kayıpları daha fazladır.

2.1.2. Billet Tav Fırınları

Ekstrüzyon preslerinde hammaddeyi şekillendirme sıcaklığına çıkarmak için kullanılan fırınlara billet tav fırını denilmektedir. Billet tav fırınları hammaddeye göre 380°C - 480°C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Billet tav fırınlarında ısı çoğunlukla doğalgazdan elde edilmektedir. İşletmelerde %58 oranında tünel tipi, %42 oranında kutu tipi fırın kullanıldığı tespit edilmiştir. Ölçümler ve gözlemler sonrasında Çizelge 5'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 5. Sahada yapılan ölçüm, gözlem ve deneysel çalışmalar sonrası fırınların değerlendirilmesi

Tünel Tipi Fırınlar	Kutu Tipi Fırınlar
• Fırınların %95'inde reküperatör sistemleri enerji avantajı sağlamaktadır. • Cehennemlik denilen ön kısımlarında izolasyonun yetersiz ve boşluklu olması nedeniyle yoğun ısı kaybı (380 °C) mevcuttur. Ayrıca reküpartörde ve bağlantı noktalarında yoğun ısı kayıpları mevcuttur. • Termal kamera taramalarında fırın alt kısmında, kutu tipi fırınlara göre daha fazla ısı kayıpları mevcuttur. • Giriş ve çıkışlarda reküperatör ile hava perdesi oluşturulan sistemlerde ısı kaybı yok denecek kadar azdır.	• Ölçülen fırınların %25'inde reküperatör mevcut olup diğer sistemler reküperatör takılmaya uygun değildir. • Sistemlerin billet giriş ve çıkış kısımlarındaki kapaklar %90 oranında açık kalmaktadır. Açık kalan kapaklar nedeniyle iç ortamdaki ısınan hava dış ortama geçmektedir. • Brülör ön ağzındaki ateşleme sıcaklığı yaklaşık 600°C'ye ulaşmaktadır. • Boy tipi kutu fırınlarda alüminyum billet fırın içinde ortalama 5 dakika kadar kalmaktadır. Yapılan deneylerde tünel tipi fırınlara göre kabuk kalınlaşması ve tane büyümesinin gerçekleştiği görülmüştür.

2.1.3. Termik ve Homojenizasyon Fırınları

Termik fırınlar alüminyum profillerin mekanik özelliklerinin arttırılmasında (yapay olarak yaşlandırılmasında) kullanılmaktadır. Termik fırınlarının ortalama çalışma sıcaklığı 180°C'dir. Homojenizasyon fırınları döküm sonrası billetlerin mekanik ve karakteristik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Homojenizasyon fırınlarının çalışma sıcaklığı ortalama 500°C civarındadır. Her iki sistemde de ısı elde etmek için doğal gaz kullanılmaktadır. Ölçümler ve gözlemler sonrasında Çizelge 6'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 6. Termikve homojenizasyon fırınınlarını saha gözlem ve ölçüm analizleri

Termik	Homojenizasyon
• Termal kamera taramalarında kapıların %95'inin alt kısımlarında ve etrafında 180°C civarında ısı kayıpları gerçekleştiği tespit edilmiştir. • Termik fırınlarında yapılan termografi ölçümlerinde iç ortamda gerçekleşen ısı kayıpları nedeniyle profillerin istenilen mekanik özelliklere ve homojen yapıya ulaşmadıkları tespit edilmiştir.	• Kapak üst kısmında ve fan motorlarının etrafında 235 °C'ye varan ısı kayıpları tespit edilmiştir.

2.1.4. Statik Toz Boya Sistemleri

Alüminyum profillerin (ürünler) yüzeylerinin reçineyle kaplanması ile; pigment ve diğer malzemelerden oluşan toz partiküllerinin elektriksel yüklenerek profil yüzeylerine yapışması sağlanmaktadır. Yüzeylerin kimyasallar ile temizlenmesi ve statik toz boya ile kaplanarak fırınlanması olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Yüzeylerin kimyasalla temizlenmesi işleminden sonra 100°C fırınlarda yüzeydeki nemin kurutulması ve 140°C ve 220°C sıcaklık aralığında çalışan fırınlarda kürlenmesi işlemlerinden oluşmaktadır. Ölçümler ve gözlemler sonrasında Çizelge 7'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 7. Sahada yapılan ölçüm ve gözlemlerin değerlendirilmesi

Kürleme Fırınları	Kurutma Fırınları
• Fırınların %90'ında giriş ve çıkışlarda hava perdesi bulunmadığından ısı kayıpları gerçekleşmektedir. • Termal kamera taramalarında fırınların brülör, fan ve zemin birleşme noktalarından yoğun olarak enerji kaybı gerçekleştiği tespit edilmiştir. • Kullanılan statik toz boyaların %65'i 200°C'de kürlenen boyalardır. 140°C'de kürlenen boyalar ile ortalama %10 enerji tasarrufu sağlanabilir.	• Termal kamera taramaları sonrasında kullanılan fırınların %90'ının kapak kısımlarında ortalama 90°C ısı kaybı gerçekleştiği görülmüştür. • Sahada yapılan çalışmalarda fırınların %80'inin kapak kısımlarının deformasyondan dolayı tam kapanmadığı görülmüştür. • Fan ve brülör kısımlarında 65°C civarında ısı kaybı gerçekleşmektedir.

2.1.5. Eloksal Sistemi

Alüminyum profillerin yüzeylerindeki oksit tabakasının (Al_2O_3) kontrollü olarak büyütülmesi işlemi eloksal (anodik oksidasyon) olarak tanımlanmaktadır. Buhar kazanı, buhar taşıma boruları, vanalar, havuzlar ve tespit sonrası yüzey kurutma fırını eloksal sisteminin birleşenleridir. Eloksal sisteminde ısı kaynağı buhar kazanıdır ve buhar kazanlarında doğalgaz kullanılmaktadır. Buhar kazanları genel itibari ile 6 bar basınçla çalışmaktadır. Sıcak buhar kazanından havuzlara ve kurutma fırınına borular vasıtasıyla taşınmakta olup çalışma süresince aktarma birimi olarak tanımlanmıştır. Ölçümler ve gözlemler sonrasında Çizelge 8'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 8. Eloksal sistemi saha gözlem ve ölçüm analizleri

Buhar Kazanı	Aktarma Sistemi
• Ön ve arka kapakların bulunduğu yüzeylerde ortalamada 165°C'ye varan ısı kayıpları görülmektedir. • Bazı sistemlerde brülör konumlamasının hatalı olmasından dolayı arka yüzeyde 295°C'ye varan ısınmalar tespit edilmiştir.	• Yapılan gözlemlerin %95'inde vana yalıtımlarının yapılmadığı tespit edilmiştir. • Yapılan gözlemlerin %95'inde aktarma sistemlerinin yalıtımlarının lokal olarak yapıldığı tespit edilmiştir. Özellikle küçük çaplı borularda yalıtımlarının yapılmadığı gözlenmiştir. • Yapılan ölçümlerde aktarma sistemleriyle 8.500 kWh/Ay işletme başına enerji kaybı gerçekleştiği hesaplanmıştır.
Havuzlar	**Kurutma Fırını**
• İzolasyonu yapılmış bir tespit havuzunun yüzeyinde gerçekleşen enerji kaybı 1.412 kWh/Ay iken kaplamasız bir tespit havuzunda gerçekleşen enerji kaybı 20.687 kWh/Ay olarak ölçülmüştür (İzolasyonu yapılmamış bir havuz %93 daha fazla enerji tüketmektedir). • Maddi olarak ölçüldüğünde kaplamasız havuza sahip bir işletmenin ortalama 3.181 TL/Ay fazladan para ödediği hesaplanmıştır.	• Fırınların kapaklarında özellikle askı ayaklarının konulduğu boşluklarda ortalama 90°C ısı kaybı olduğu tespit edilmiştir. • Kapak bileşim noktalarından ısı kaybı gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2.1.6. Ergitme ve Bekletme Ocakları

Alüminyum ergitilerek geri kazanım veya kullanımında ergitme ocakları kullanılmaktadır. Bekletme ocakları uzun süreli dökümlerde sıvı alüminyumun işlem süresince hedeflenen sıcaklıkta bekletilmesinde kullanılmaktadır. Ergitme ocaklarında Alüminyumun sıvı metal sıcaklığı en fazla 835°C sıcaklığa çıkarılmaktadır. Sıvı metali bu sıcaklığa çıkarmak için fırın iç ortamını en fazla 1200°C sıcaklığı çıkarıldığı tespit edildi. Ocaklarda ısı kaynağı olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Ergitme ocakları yapıları itibariyle kare veya oval (eski) geometrik formlara sahiptirler. Geometrik formlar baz alınarak ve ölçüm ve gözlem verilerine göre Çizelge 9'daki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 9. Ergitme ve bekletme ocakları gözlem ve ölçüm analizleri.

Kare Ocaklar	Oval Ocaklar
➢ Kapak kısımlarından ortalama 600°C varan ısı kayıpları gerçekleştiği tespit edildi. ➢ Kapakların açık kaldığı ve iç ortamdaki basıncı düşürerek dış ortama sıcak hava geçişi gerçekleştiği tespit edildi. Kapağın açık kalmasından dolayı oksitlenmeye bağlı olarak curuf oranı artmaktadır. ➢ Termal konfor test cihazında radyan sıcaklık değerinin (ocağa 3 metre mesafede) 63°C sıcaklıklara ulaştığı tespit edildi. Bu değerin çalışanlarda deri kanseri riskini arttırmaktadır.	➢ Ocakların yüzeylerinden çok fazla ortalama 125°C varan ısı kayıplarının gerçekleştiği görülmektedir. ➢ Kapak kısımlarının dar olmasından dolayı yükleme süresi ortalama 10 dakika kadar uzadığı ve bundan dolayı %23 fazladan enerji kayı gerçekleştiği hesaplanmıştır.

2.2. Yanma Kaynaklı Kayıplar

Brülörlü sistemlerde yakıtın (doğalgaz veya fuel oil) hatalı yakılması (eksik hava, fazla hava, vb.) veya baca bakımlarının yapılmamasıyla oluşan enerji kayıplarının ölçülmesine yanma verimi denilmektedir. Proje kapsamında saha çalışmalarında buhar kazanları, termik fırınlar, statik toz boya kurutma ve kürleme fırınları, döküm ocakları, homojenizasyon fırınları ve kaplama fırınlarında ölçüm yapılmıştır. Billet tav fırınlarında açık sistem olmalarından dolayı ölçülmemiştir. Kullanılan sistemler bacagazları analiz cihazları ve islilik ölçüm cihazları kullanılmıştır. Sistemlerde oluşan toplam enerji kaybı aşağıda verilmiştir.

- Toplam aylık 22.535,5 m^3'lük ve yıllık 270.425,8 m^3'lük doğal gaz fazladan tüketilmektedir.
- Toplam aylık 6.896€ ve yıllık olarak 83.832€ doğalgaz fazladan ödenmektedir.
- Fazladan yakılan doğal gaz ile 18,32 TEP'lik enerji boşa harcanmaktadır.

Sistemlede oluşan kirletici ve sera gazlarının bilgileri Çizelge 10'da verilmektedir.

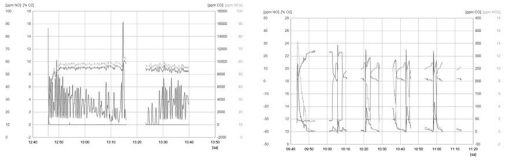
Çizelge 10. Saha çalışmalarında ölçülen sanayi

kaynaklı kirleticilerin kütlesel debileri.

Emisyonlar	Bacadan (kg/saat)	Baca Dışındaki Yerlerde (kg/saat)
Hidro karbonlar	20	2
Hidrojen sülfür	4	0,4
Karbon monoksit	500	50
Kükürt dioksit	60	6
Azot dioksitler	40	4

Bu sistemlerde karşılaşılan problemler benzer olduklarında (farklı olanlar belirtilecektir) aşağıda liste olarak verilmektedir.

- Sistemlerde genel olarak fazla veya az hava ile yanma gerçekleştiği tespit edildi.
- Termik ve homojenizasyon fırınlarında ortalama %67 verimle yandığı tespit edilmiştir. Ölçümlerde ideal yanmanın olduğu ve olmadığı veriler Şekil 7'de görülmektedir.
- Sistemlerde baca ile taşınan atık ısı miktarının fazla olduğu (özellikle kurutma fırınlarında) tespit edilmiştir.
- Statik toz boya kürleme fırınlarında brülör harici hava ile beslenmediğinden yoğun kirleticilerin oluştuğu (islilik değerleri ortalama 5) ve sera gazları ile kirleticiliğin arttığı tespit edildi. Krili havadan dolayı yanma verimleri ortalama %66 olarak gözlemlendi.
- Termik ve homojenizasyon fırınlarında iç ortam hacimlerinden daha fazla hava verildiği ve iç ortamı (yanma odası) soğuttuğu ölçüldü.
- Sistemlerin bakım ve ölçümlerinin yapılmadığı tespit edildi.



(a) (b)

Şekil 7. Yanma verimi grafiği, (a) ideal yanma, (b) ideal olmayan yanma.

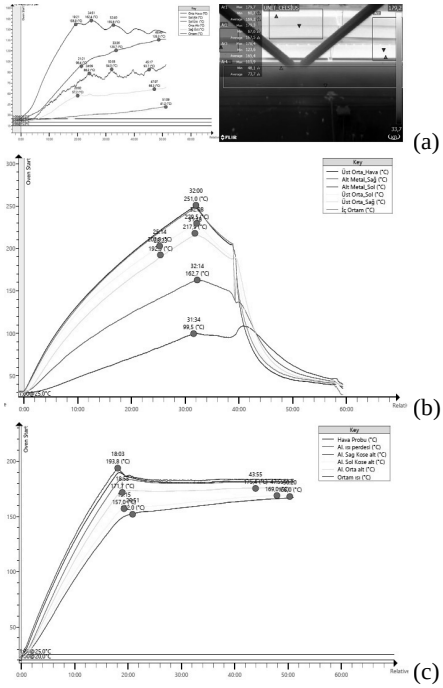
2.3. Ürün, Üretime Etkileri ve Çalışma Ortamının Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında kalıp tav fırınları, billet tav fırınları, termik fırınları ve statik toz boya fırınlarına yönelik enerjinin verimsiz kullanılmasının ürün ve üretime etkileri de araştırıldı. Çalışmalarda özelikle;

- Fırının izolasyon yapısı,
- İç ortam ısı sirkülasyon yapısı,
- Termokupların konumu ve yapısı
- Isıtma sistemlerinin yapısı,
- Basınç değişimleri (ergitme fırınları),

Analiz edildi ve ürün incelemeleri yapıldı. Çalışmalarda termografi test cihazı, termal kamera ve yüksek sıcaklık uzaktan ölçüm test cihazları kullanıldı. Yapılan çalışmalarda;

- Fırınların iç ısı değişimleri (izolasyon) ve açık ısıtma yapıları gibi nedenlerden dolayı kalıpların yüzey özelliklerinin zarar gördüğü tespit edildi.
- Billet tav fırınlarında ısıl dalgalanmalar nedeniyle billetin homojenliğinin bozulduğu (bazı fırınlarda lokal olarak 700oC varan ısıl artışların olduğu) tespit edildi.
- Termik fırınlarında ısıl kayıplar ve Şekil 8'de görüldüğü gibi homojen olmayan ısıl dalgalanmalardan dolayı ürünlerde isetenilen mekanik özelliklere ulaşılmadığı (firmalarda teyit etmekteler) belirlendi.



(a) (b) (c)

Şekil 8. Termik fırınları termografi verileri, (a) ısı kayıplarından dolayı ideal olmayan fırın atmosferi, (b) termokupların konumu/bakımı nedeniyle ideal olmayan fırın atmosferi, (c) ideal olan fırın atmosferi.

- Ergitme fırınlarında fırın iç atmosferinin dışarıyla aynı olduğu ve fırın duvarlarında ısıl dalgalanmaların oluştuğu tespit edildi. Bu durumdan dolayı cüruf miktarı artmaktadır.
- Çalışma ortamında ısıl stres oluşmakta hem çalışanların iş verimi ve üretkenlikleri %15 varan oranlarda düşmektedir. Isı stres sonucunda çalışanlarda dikkat dağınıklığı, odaklanamama, zihinsel aktivitelerde azalma, halsizlik ve hareket kabiliyetlerinde azalmaya neden olarak iş güvenliği ve işçi sağlığı riski

oluşturmaktadır. Ölçümlerde ısıl stres kaynağı olarak Çizelge 11'de görüldüğü gibi ısınan metaller (radyan ısı kaynağı) ve çevre şartları etkindir.

Çizelge 11. Üretim ortamı insan çalışan verimi ve üretkenliği etkileyen şartlar tablosu.

Tanım		Ortalama	En Fazla
İç Hava Kalitesi (CO_2 ppm)		456	509
Türbülans (m/sn)		0,31	0,07
Termal Değerler (^oC)	WGBT	21,4	28,1
	WGBTS	20,9	25
	Radyan Sıcaklık	26,2	43,8
	Çevre Sıcaklığı	33,6	28,3
	Nem Sıcaklığı	19,3	21,4
Gürültü (dB)		87	91

2.4. Enerji Kalitesi

Çalışma kapsamında firmalarda toplam harmonikler ve transient akımları incelenmiştir.

Harmonikler

Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara (gerilim ve akım dalga şeklinin ideal formundan uzaklaşmasıdır) harmonik denir. IEC 519-1992 standardına göre Gerilim için %3, Akım için %5 hormonik distorsiyon sınır değerler olarak verilmiştir. Harmonikler;

- İş gücüne çevrilmeyen enerji oluşturması
- Nötr noktasında aşırı yüklenme
- Transformatörlerin aşırı ısınması
- Kapasitörlerde dielektrik zorlanma,
- Elektronik kartlarda bozulmalar (motor sistemleri dahil),
- Elektrik devrelerinde hasarlar (yalıtım malzemesinin zarar görmesi)
- Sıfır noktasına bağlı çalışan kumanda devreleri yanlış çalışır.

Saha çalışmalarında yapılan enerji - harmonik ölçümlerinde;

- Ölçüm yapılan sistemlerin %40'da yaklaşık 6 kat Toplam Harmonik Distorsiyon oluştuğu gözlemlendir (Grafik 8).
- Ölçülen sistemlerin %100 IEC 519-1992 standardına göre %3 ve %5 sınır değerleri geçmektedir.
- Ölçüm yapılan firmaların %40 kurulu kapasitelerin üstünde akım çektikleri tespit edildi.
- Ölçüm yapılan firmaların %20'si ana pano üzerinde ortalama %10 akım kaçakları tespit edildi.

2.4.1. Transient Akımları

Sistem kapatıldığında veya beklemeye alındığında sistemden standart akım geçmektedir. Fakat sistemde bir arıza var ise kısa devre arızası oluşmakta ve bu da iki nokta arasında ihmal edilebilir bir empedans oluşturmaktadır. Özellikle kestirimci bakımların planlanmasında yoğun olarak kullanılmaktadır. Sistemde olması istenmemektedir. Saha çalışmaları sırasında aşağıdaki veri elde edilmiştir.

- Sistemler üzerinde yapılan çalışmalarda %80'nin transient akımları tespit edildi. tespit edilen akımların ortalama 11 noktada ortalama 0,11 amperlik akımlar oluştuğu tespit edildi. Firmalara erken bakım yapılması konusunda bilgi verildi.

3. Geri Kazanım ve Sürdürülebilirlik

Ölçümler ve gözlemler sonucunda firmalara raporlar hazırlanmıştır. Raporlar sonrasında iyileştirme çalışması yapan firmaların iyileştirme yapılan sistemlerinde tekrar ölçüm çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 12'de verilmektedir.

Çizelge 12. İyileştirme çalışmaları yapılan sistemlerde tekrar ölçüm sonuçları

Sistem Adı	İyileştirme Öncesi Enerji Kaybı	İyileştirme Sonrası Enerji Kaybı	% iyileştirme	İşlem amacı	Maliyet* (TL)
Kalıp Tav Fırını	11.263 kW.Ay	5.175 kW.Ay	54	İzolasyon	200
Billet Tav Fırını	42.439 kW.Ay	31.319 kW.Ay	26	İzolasyon	500
Termik	14.467 kW.Ay	10.422 kW.Ay	28	İzolasyon	668
Kurutma Fırını	5.978 kW.Ay	2.298 kW.Ay	62	İzolasyon	-
Termik	%74	%83	%9	Yanma verimi	500
Enerji	%50 (Sapma)	%5	%2	Enerji	-

* Firmaların belirtmiş oldukları harcamalar. "-" ile belirtilenlerde firmalar harcama beyan etmediler.

Firmalar ile yapılan görüşmeler yapılan iyileştirme çalışmalarında maliyetlerin temel kaynağı olarak alınan malzemeler olarak belirtiler. İşçilikleri kendi imkanları ile yaptıkları ile yaptıklarını beyan ettiler.

4. Sonuç

Alüminyum sektöründe enerji verimliliği ve sera gazlarının azaltılması çalışması 2014 yılından itibaren devam etmektedir. Çalışmalar kapsamında hazırlanan veriler belirli periyotlarla (dönemsel olarak) sunulmaktadır. Şu ana kadar yapılan çalışmalar sonucunda; Alüminyum sektörü özelinde enerji tüketimi ve kaybı konusunda gerçek veriler toplanmaya başlanmıştır. Ölçümler sonucunda düşük sıcaklıklarda çalışılmasına rağmen, durmaksızın ve yüksek ısıl kayıplarla çalışıldığından gerçekleşen enerji kayıplarının rakamsal veriler ile firmalara sunulması ile firmaların enerji kayıplarının beklentilerinin üstünde çıktığı görülmüştür. Firmaların düşük maliyetli ve hızlı çözümlemeler ile enerji kayıplarını %20'ler den daha fazla engelleyebilecekleri tespit edilmiştir. Çalışmalar dolaylı olarak işçi sağlığı ve iş güvenliği arttırmaktadır. Çalışanların iş verimi ve üretkenliklerindeki düşüşün ne kadarının çalışma ortamı kaynaklı olduğu hesaplanmıştır. Firmalarda enerji kaybı ve sürdürülebilirlik konusunda bir bilinç oluşmuştur. 2014 yılında küçük ve orta ölçekli işletmeler enerji verimliliği ve sera gazlarının azaltılması çalışmalarına talep ederken 2016 sonrasında ise orta ve büyük ölçekli firmalar bu çalışmaları talep etmiştir. Sektör temsilcileri ile yapılan görüşmeler enerji verimi ve sera gazlarının azaltılması konusunda bilinç oluşmaya başlandığı gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Alüminyum sektörü için enerji verimliliği ve sera gazlarının azaltılması projesinin yürütülmesinde maddi katkılarından dolayı Kalkınma Bakanlığı'na ve İstanbul Kalkınma Ajansı'na (İSTKA), projenin uygulanması için gerekli destekleri sağlayan Girişimci Alüminyum Sanayi ve İşadamları Derneği'ne (GALSİAD) teşekkür ederiz.

Referanslar

[1] Primary Aluminum Report, http://www.world-aluminium.org/statistics/#histogram, 25.05.2017
[2] Global Mass Flow Model 2015, http://www.world-aluminium.org/publications, 25.05.2017
[3] M. Yılmaz, Alüminyum Sektör Değerlendirmesi, Metalurji Dergisi, 177,23-29
[4] OECD Enviroment Directorate, 2010
[5] M. Yılmaz, Türkiye Alüminyum Sektörünün 2023 Projeksiyonu, 6. Alüminyum Sempozyumu, 2013
[6] Türkiye Alüminyum Sektörü Üretim İstatistikleri, TALSAD, 2015
[7] Elektrik Piyasayı 2016 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2017
[8] Alüminyum Alaşımları 2007-2017 Yılları Fiyat Değişimleri, https://www.lme.com/metals/non-ferrous/aluminium-alloy/#tab2, 27.05.2017
[9] Aluminum's Environmental Footprint Report, http://www.aluminum.org/sites/default/files/SemiFabLCA_FINAL_1.jpg, 27.05.2017
[10] Aluminum: The Element of Sustaninability, The Aluminum Association, 2011
[11] M. E. Ertem, Entegre Demir-Çelik Tesisnlerinde Enerji Tasarrufu Potansiyeli, 1. Demir-Çelik Sempozyumu, 2001
[12] Demir Çelik Sektörü Raporu, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, 2010
[13]F. Yılmaz, E. Koç, Y. Akça, Alüminyum Şekillendirilmesinde Enerji Verimliliği ve Sera Gazları, 2015
[14] A. Hepbaşlı, Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Esen Ofset Matbaacılık, 2010

Alüminyum Levha Üretiminde Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı ve Çevresel Etkileri

Sustainable Source Using and Minimization of the Environmental Effects in Aluminum Sheet Production

Eda Dağdelen, Ali Ulus, İhsan Yakay, İbrahim Pelvan, Sadık Kaan İpek, Erhan Ceyhan
Teknik Alüminyum Sanayi

Abstract

The future of our world depends on how much you protect the universe that humans are in. On the one hand, technology that facilitates our lives and determines the future of humanity threatens life on the other hand. The materials that are used in the industry are in pursuit of environmental problems in the production process up to the product. These environmental problems are also causing great debate all over the world. The most important environmental problems that have been discussed in countries where industrialization is developed are the reduction of the amount of gases, cleaning and preservation of the global atmosphere and the rehabilitation of the people exposed hazardous substances by recycling of used materials, water and land.

Due to the activities of aluminum sheet production; It is aimed to control the environmental effects such as energy, water consumption, emissions and waste generation. In this study, the solutions brought to the environmental problems in the sector by using unique technologies; all innovations followed, research and development work, activities to support sustainable developments.

Özet

Dünyamızın geleceği, insanların içinde bulunduğu evreni ne kadar koruduğuna bağlıdır. Bir yandan hayatımızı kolaylaştıran ve insanlığın geleceğini belirleyen teknoloji, bir yandan yaşamı tehdit eder durumdadır. Endüstride kullanılan malzemelerin ürüne kadar olan üretim sürecinde çevresel problemleri peşinde taşımaktadır. Bu çevresel problemler aynı zamanda tüm dünyada büyük tartışmalara neden olmaktadır. Endüstrinin gelişmiş olduğu ülkelerde tartışılan en önemli çevresel problemler, gazların miktarının düşürülerek global atmosferin temizlenmesi ve korunması, tüm doğanın yanında bölgesel ve genel olarak zararlı gazların tehdidine maruz kalan insanların, bu zararlı maddelerin etkisinden kurtarılması, kullanılan malzemelerin geri dönüşüm çemberi ile tekrar değerlendirilip, atıkların azaltılarak suların ve toprağın kurtarılması olarak yoğunlaşmaktadır.

Alüminyum levha üretimi faaliyetlerinden dolayı oluşan; başta enerji, su tüketimi, iklim değişikliği, emisyonlar ve atık oluşumu gibi çevresel etkilerin kontrol altında tutulması, geri dönüşümün arttırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmamızda da sektörde çevre sorunlarına özgün teknolojiler kullanarak getirilen çözümlere; takip edilen tüm yeniliklere, araştırma ve gelişme çalışmalarına, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek faaliyetlere yer verilmiştir.

1.Giriş

Yüksek teknolojik düzey ve bunun yarattığı çevresel sorunlar, hammadde kaynaklarının sınırlı olması gerçeği, enerji üretimi ve enerji teknolojileri yönetimi, enerjinin çevresel etkileri ve toplumsal maliyeti gibi konuların yaygınlaşması ve zorlayıcı olması ile birlikte sürdürülebilir kalkınma kavramı sık sık gündeme gelmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını ellerinden almadan; insan ve doğa arasında denge kurarak, doğal kaynaklara zarar vermeden, kaynakların bilinçli olarak tüketilmesini sağlayarak şimdiki neslin ihtiyaçlarının karşılanabildiği gelişme sürecidir. [1] Kalkınmanın odağında insan vardır ve sürdürülebilir kalkınma kavramının genellikle kabul edilen ekonomik, çevresel, sosyal olmak üzere üç boyutu mevcuttur.

Enerji güvenliği üretici ve tüketici ülkelerin etkileri, jeopolitiği, teknolojik gelişmelerin etkisi ile birlikte küresel ekonominin en önemli konularından biridir. Yenilenebilir, sürdürülebilir, güvenli, etkin, akıllı enerji çözümlerinin geliştirilmesi hem ekonomik kalkınma hem de sosyal refah için en kritik konulardan biridir. Enerji yönetimi; fiziksel ve finansal enerji piyasalarının işleyişi, sanayi politikalarıyla, kamu politikalarıyla, çevre politikalarıyla, dış politikayla yakından ilgili bir alan olup, şirket içi etkileşim, denetim,

finansman ve Ar- Ge faaliyetleri gibi çok disiplinli bir yaklaşımı ve itici güçleri de içerisinde bulundurması gerekmektedir. [2]

1.1. Alüminyum Metali

Alüminyum; hafiflik, hafifliğine karşın alaşımlı hale getirildiğinde yeterli mukavemeti sağlama, yüksek elastiklik, geri dönüşebilirlik, yeniden üretilebilirlik, yüksek korozyon direnci, kolay işlenebilirlik, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, ışık ve ısı yansıtma kabiliyeti, çevreci olma özellikleri sayesinde çok farklı endüstrilerde milyonlarca farklı üründe kullanılmaktadır. [3]

Alüminyum üstün özelliklerinin ve yeni alaşımların sağladığı ekstra avantajlar sayesinde sanayinin tüm alanlarında kullanılmaktadır, bazı kullanım alanlarında çeliğe ikame malzeme olarak da değerlendirilmektedir. Alüminyum genel anlamda üretim yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte ulaşım, ambalaj, inşaat, yapı dekorasyon, su arıtma, dayanıklı tüketim, elektrik elektronik, makine imalatı sektörlerinde kullanılmaktadır. [4]

Yeni nesil metal olarak adlandırılan alüminyum; yeniden üretilebilirlik özelliği, birincil üretim sürecinde harcanan enerjiyi bünyesinde depolayarak, yeniden ergitme sürecinde daha düşük enerji harcaması ve uygun koşullarda yeniden işlenmesi; bu işlemler sırasında da metalin özelliklerinde herhangi bir değer kaybetmemesi sayesinde çevreci bir metaldir. 1 ton alüminyum hurda yeniden üretim sürecine sokularak, yaklaşık olarak proses kayıpları dikkate alındığında 0,9 ton yeni alüminyum malzeme üretilmektedir.

Alüminyum doğal, yenilenebilir enerji ile üretilebilirken, aynı zamanda geri dönüşüm çemberi ile tekrar geri kazanılmaktadır. Alüminyum, hammaddeden üretim için gerekli enerjinin sadece %5'i kadar bir enerji ile tekrar ergitilebilir ve yeni ürünler için kullanılabilir. Bu sonsuz bir çevrimdir. Konstrüksiyon parçalarının %70'i, proses ve işlem hurdalarının %100'ü tekrar geri kazanılabilir. [5]

Çevresel problemler çerçevesinde hafif malzeme kullanımı için iyileştirmeler yapılmasına karşın bir taraftan da çevre örgütlerini, üretim sürecinde ortaya çıkan zararlı atıklar nedeniyle rahatsız etmektedir. En önemli neden, alüminyum üretimi için daha fazla enerji gerektiğidir. Alüminyum üretimi için gerekli olan enerji son yıllarda geliştirilen yöntemlerle yarıya indirilmiştir. Sonra, bu enerjinin üçte ikisi çevre dostu sudan elde edilmektedir. Tükenir bir kaynak olan petrol, kömür, doğalgaz gibi kaynaklar bu amaçla kullanılmaktan uzaklaşmıştır. Dolayısıyla alüminyum üretmek için gerekli enerji, diğer alternatif malzemelere göre daha pozitif bir anlam taşımaktadır.

Alüminyum hammaddesi olan boksitin yeryüzünde fazla sayıda yatağa sahip olması sayesinde alüminyum, silisyum ve oksijenden sonra doğada en sık rastlanan üçüncü metaldir. [5]

Bu üstün özellikleri ve en önemlisi yeniden üretilebilirlik özelliği sayesinde alüminyum, sürdürülebilir kalkınma kavramının üç ayağını oluşturan, ekonomik, çevresel ve sosyal yararları sağlamaktadır.

Alüminyum sektörü, cevherden birincil alüminyum ve hurdadan ikincil alüminyum üreten, birincil, ikincil alüminyumu ve ithal hammadde ürünlerini (ingot ve külçe) döküm, soğuk haddeleme, sıcak haddeleme, presleme, ekstrüzyon, dövme ve çekme metotları ile şekillendirerek mamul ya da yarı mamul üreten kurumları kapsamaktadır. Ülkemizde birincil alüminyum üreten tek kuruluş, "Eti Alüminyum A.Ş." dir. Diğer kuruluşlar ise ağırlıklı olarak ikincil alüminyum ve buna bağlı olarak yarı ürün ve/veya nihai ürün üretimi alanında faaliyet gösteren, alüminyum işleyen kuruluşlardır. [4]

Birincil alüminyum üretimi konusunda enerji yoksunluğu nedeniyle geri planda kalan ülkemizde alüminyum sektörü giderek büyüme göstermeye devam etmektedir; özellikle ara mamul üretimi olarak adlandırdığımız döküm, yassı ve ekstrüzyon sektörlerinde ciddi oranda büyüme gerçekleştirilmiştir. [6]

Alüminyum ile 1950'li yıllarında tanışan Türkiye, son yıllarda alüminyum hammadde ithalatında %4,4 'lük pazar payı ile birlikte 7. büyük küresel ekonomisidir. 2014 yılı hammadde ithalatımız miktar olarak 1,09 milyon ton, değer olarak 2,5 milyar dolardır. Türkiye toplam alüminyum satışında 21. sırada yer almaktadır. Türkiye toplam alüminyum ithalatında dünyada %2 pay ile 15. sıradadır. Türkiye'nin 2014 toplam alüminyum ihracatı 3,3 milyar dolardır. [7]

1.2. Alüminyum Üretimi

Alüminyum üretiminde iki kaynak söz konusudur.

- Cevherden üretilen alüminyum (Birincil Alüminyum)
- Hurdadan üretilen alüminyum (İkincil Alüminyum)

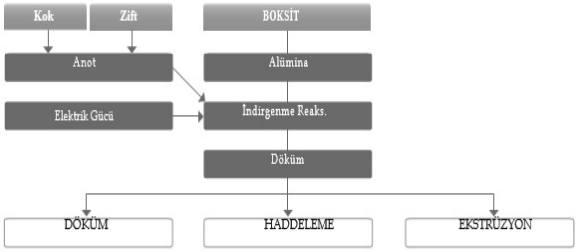
1.2.1. Birincil Alüminyum Üretimi

Birincil alüminyum üretiminde birbirlerini takip eden beş ana üretim aşaması uygulanmaktadır.

- Boksit madeni işletmeciliği,
- Boksit cevherinden alümina üretimi (Kırma, öğütme, çözümlendirme, çöktürme, kalsinasyon)
- Alüminadan elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi (Ergimiş tuz elektrolizi)
- Sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökümü,
- Döküm ürünlerinden ekstrüzyon ve haddeleme işlemleriyle yarı ve son ürün üretimi. [8]

Kabaca 4-7 ton boksitten, 2 ton alümina ve 1 ton alüminyum üretilmektedir. [9]

Tablo 1. Birincil Alüminyum Üretim Şematik Gösterimi [9]



Uzun vadede birincil üretimin yarı – mamul alüminyum talebini karşılayacak olmasına karşın ekolojik baskıların artması ve ekonomik kriterler nedeniyle birincil alüminyuma olan talep giderek azalmaktadır.

Birincil alüminyum endüstrisinde temel maliyet faktörü aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Yüksek enerji tüketimi ve elektrik enerjisi maliyetleri,
- Yüksek yatırım maliyetleri
- Çevresel etkiler, yüksek oranda kirli gaz salınımı
- Tesisin üretime geçme süresinin uzun olması,
- Doğal boksit kaynaklarının hammadde olarak kullanılması,

1.2.2. İkincil Alüminyum Üretimi

Alüminyum üretiminde bir döngü söz konusudur. İkincil alüminyum üretiminde metal kaynağı olarak alüminyum hurda kullanılmaktadır. Alüminyum hurdaların üç kaynağı vardır:

- İşlem ve döküm ürünlerinin üretimi sırasında oluşan geri kazanma olasılığı %100 olan yeni hurda,
- Kullanım ömrünü doldurmuş metallerin geri kazanılma olasılığı, yapısı, şekli ve et kalınlığına göre %30-95 arasında değişmekte olan eski hurda,
- Cüruf, alüminyum ergitme, rafinasyon süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksitler olarak adlandırılmaktadır.

1.3. Alüminyum Geri Dönüşümü

Defalarca yeniden kullanılabilir bir metal olan alüminyumun alanlarına göre kullanım ömürleri ve teknolojik gelişmelerin sağladığı geri kazanılma oranları da günden güne artmaktadır. [4]

İkincil alüminyum endüstrisinde birincil alüminyum endüstrisine nazaran düşük yatırım maliyeti, tesisin üretime geçme süresinin kısa olması, enerji tasarrufu, düşük oranda kirli gaz salınımı ve düşük proses maliyeti avantajları ortaya çıkmaktadır. [10]

Yeniden değerlendirme ile hem doğal kaynak tüketimi hem de enerji kaynakları azaltılarak, alüminyum yaşam döngüsü sonuna kadar tüm süreçlerde olumsuz çevresel etkilerin de azaltılması sağlanacaktır.

1 ton birincil alüminyum üretimi için alümina rafinasyonundan, döküm aşamasına kadar yaklaşık 180.000 MJ enerji harcanırken (%80 i elektrolizde), ikincil alüminyum üretimi için hurda hazırlama ve cüruf işleme operasyonları da dahil olmak üzere harcanan enerji değeri 11.200 MJ' dur. Birincil üretimin %5-7'si kadar enerji harcandığı görülmektedir. [11]

1 ton alüminyumun birincil üretimi sırasındaki açığa çıkan kirli gaz, ikincil üretime göre daha fazladır, bu fark 9100 kg $C0_2$ eşdeğerindedir. [12]

Tablo 2. Birincil ve İkincil Alüminyum Enerji Tüketimi ve Sera Gazı Salınımı Değerleri [10]

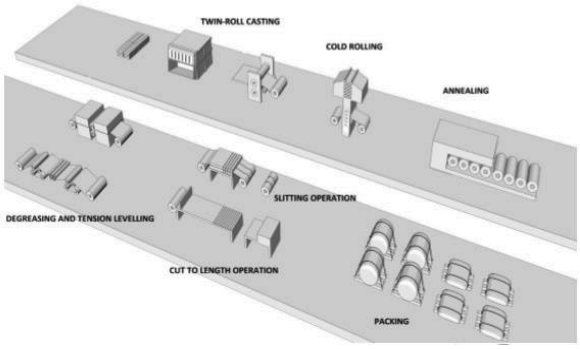
	1 ton birincil alüminyum külçe için	**1 ton ikincil alüminyum külçe için**
Enerji tüketimi		
Toplam (MJ)	193,702	10,321
Yenilenebilir enerji (MJ)	57,352	452
Fosil yakıtlardan sağlanan enerji (MJ)	136,350	9,869
Kömür (MJ)	50,807	937
Petrol (MJ)	21,268	1,319
Doğal gaz (MJ)	36,335	7,151
Nükleer enerji (MJ)	8,282	419
Diğer enerji (MJ)	0	44
Boksit madenciliği + alümina üretimi (MJ)	19,657	0
Sera gazı salınımı		
CO2 (kg)	10,470	620
Perflorokarbon (kg)	0.30	0
PFC, CO2 eşdeğeri (kg)	2,227	0

1.4. Yassı Alüminyum Sektöründe Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre İlişkisi: Endüstriyel Uygulama

Ülkemizdeki yassı alüminyum sektöründeki firmalar, kalitenin boyutları olarak tanımlanan performans, ek unsurlar, uygunluk, güvenilirlik, dayanıklılık, hizmet görürlük, estetik konusunda yüksek kalite beklentisini karşılayarak ulusal ve uluslararası platformda kalite düzeyinde yeterlilik göstermektedir.

Teknolojik alt yapı, sanayinin teknolojik alt yapısının, makine parkurlarının genel olarak uluslararası düzeyde olması sayesinde de ekonomik olarak söz sahibi olmaktadır.

Sürekli döküm yöntemi ve soğuk haddeleme prensipleri ile üretim yapan firmanın genel üretim akışı aşağıdaki gibidir.



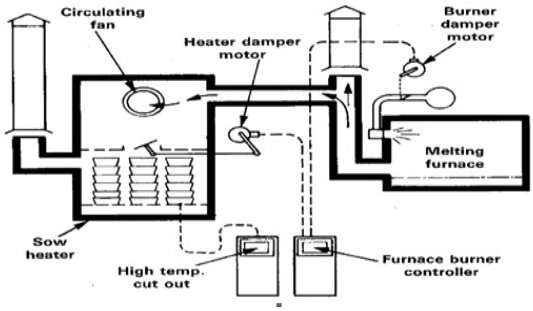
Şekil 1. Yassı Alüminyum Üretim Yöntemi Şematik Görünümü

Global yarış, hızla değişen ekonomik koşullar, çevre ve güvenlik yasaları sonucunda, proses endüstrisinde proseslerin ve kontrolün sürekli olarak önemi artmaktadır. Çalışmamızda sektörde yapılan iyileştirme çalışmalarına yer verilmektedir.

- Firmalarda son yıllarda ikincil hammadde kullanımı arttırılmaktadır.

- Fabrika iç hurdaların yönetimine daha çok önem verilmektedir. Alüminyum hurdaların cinslerine göre gruplandırmalar yapılmaktadır. Ergitme oranını yükseltmek, sıvı metalin kirlenmesini önleyerek kalitesini arttırmak, emisyonu önlemek amacıyla yağlı malzemeler fırına şarj edilmeden önce yağlarından arındırılmaktadır.

- İngot, külçe ve hurda malzemelerin neminin giderilmesi amacıyla ergitme öncesi ön ısıtma işlemi yapılmaktadır.



Şekil 2. Ön Isıtma Şematik Görünümü [13]

- Fırın kapaklarındaki kaçakların önüne geçilmektedir, şarj esnasında kapakların açık kalma süresi minimuma indirilmektedir.

- Baca gazının hammadde ve yanma havasının ön ısıtmada kullanılmaktadır.

- Baca gazının hammadde ve yanma havasının iç tüketimi karşılamaya yönelik kullanılmaktadır.

- Tavlama ve ergitme fırınlarının ısı yalıtımlarında iyileştirmeler yapılarak minimum düzeye getirilmektedir.



Şekil 3. Ergitme Fırını Görseli [14]

- Proses kontrol ekipman ve ölçüm cihazları ile otomasyon yapılmaktadır.

- Makine bazlı elektrik, doğalgaz, hava, su tüketimlerinin sürekli kayıt altına alınmakta ve değerlerin takibinin yapılarak iyileşmelerin sağlanmaktadır.

- Kızgın su sirkülasyon pompalarında inverter uygulaması ile elektrik enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır.

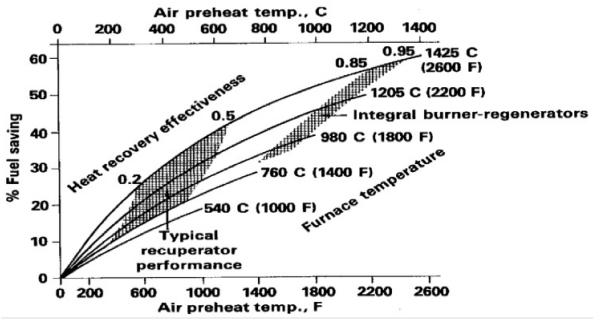
- Kızgın su hatlarındaki yalıtımsız boru ve vanalardan kaynaklanan kaçakların giderilmektedir.

- Üretim makinalarında bulunan DC motorların AC motorlarla değiştirilerek enerji ve bakım maliyetlerinde iyileştirmeler yapılmaktadır.

- AC motorların direk yol verilenlerin inverterle sürülmesi ve ayrıca incelenerek yüksek verimli olan AC motorlarla değiştirilerek enerji maliyetleri azaltılmaktadır.

- Ergitme ve tutma fırınlarında yeni teknolojik gelişmeler ile birlikte doğalgaz kullanımı azaltılmaktadır.

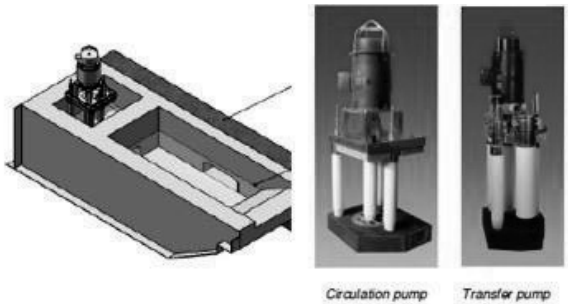
- Reküperatif fırınlardan çıkan atık gazların sıcaklığı, soğuk yakma havasına verilmek suretiyle alev sıcaklığını arttırmak temel işlevidir. Baca gazları fırını terketmeden önce reküperatörden geçirilmektedir. Reküperatör içindeki kanallardaki yakma havası ısınarak alev sıcaklığını arttırmaktadır. Rejenerasyon, harcanmış alev gazlarından absorblanan ısıyı depolamayı içeren ve bu ısıyı yakma havasında kullanarak ekonomik yakma sağlayan operasyon döngüsüdür Reküperasyon arasındaki fark ise döngü olmasıdır. Reküperatif ve rejenaratif sistemlerde soğuk yakıcılara göre enerji tasarrufları aşağıdaki tablodaki gibidir. [15]



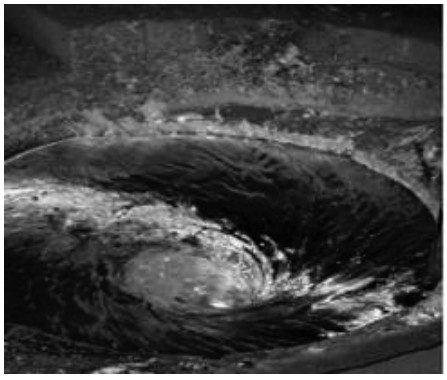
Şekil 4. Rejenaratif ve Reküperatif Sistemlerde Verimlilik [13]

- Fabrika ve idari binalarda bulunan aydınlatma sistemlerinde yeni nesil led sistemine geçilmesi.

- Elektromanyetik karıştırma uygulaması; aralıklı şarja uygun yandan uygulanan elektromanyetik karıştırma %25'e kadar metal kaybını azaltır ve %15'e kadar enerji kazanımı sağladığı bilinmektedir. Bu uygulamalar ile daha homojen metal sıcaklığına erişmek, döküm metal sıcaklığı düşürülmesi ve curuf oluşum miktarı düşürülerek aluminyum kaybı önlenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 5. Sirkülasyon Pompası [16]



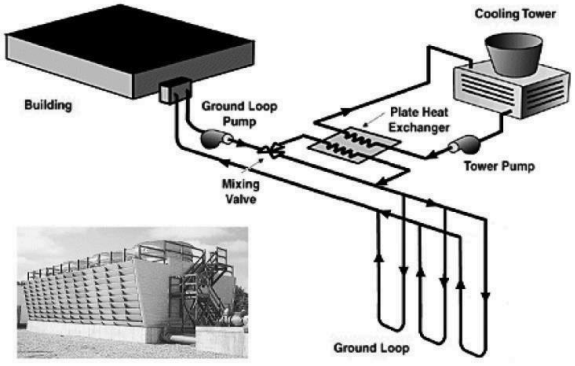
Şekil 6. Sirkülasyon Pompası Kullanımı ile Sıvı Metalin Görünümü [16]

- Katı şarjlar yerine sıvı metal ilk üretildiği noktadan son kullanıma kadar sıvı metal transferleri yapılmaktadır.
-



Şekil 7. Sıvı Metal Transfer Potası [17]

- Yeni nesil enerji jeotermal enerjinin kullanımı değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil dostu yani doğa dost bir enerji türüdür. Jeotermal enerji yerkürenin iç ısısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır. Jeotermal kaynakların ısı kaynağı, ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan, suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliği olmak üzere üç önemli bileşeni mevcuttur. [18]



Şekil 8. Jeotermal Enerji Şematik Görünümü [19]

Sonuçlar

Alüminyum sektörünün en önemli girdisini oluşturan enerji konusundaki zayıflıklarımız, enerji darboğazı, sektörün tehditleri arasındadır.

Alüminyum geri dönüştürülebilir olma avantajını kullanma kabiliyetimizi geliştirmemiz gerekmektedir. İkincil alüminyum ürünler genellikle tanımlanabilen malzemeler değildirler ve diğer malzemelerle bulunabilirler. Bu nedenle toplanmaları sonrasında proses edilmeleri gerekmektedir. Endüstriyel atıkların değerlendirilmesi ile, çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınma hedefine hizmet etmesi sağlanacaktır.

Modern teknolojiler ve proses iyileştirmeleri ile birlikte enerji kullanımını ve doğal kaynak kullanımını minimize etmek, minimum enerji tüketimi ile maksimum üretim sağlamak, hurda toplama oranımızı arttırmak ile çevreci metal olan alüminyum üretiminde değerlidir.

Geri kazanım organizasyonları, eğitim, reklam, pazarlama ve teknik yardım konuları ile geri kazanıma dikkat çekilmeli ve hurda toplam konusunda toplumların yetiştirilmesi önem kazanmaktadır.

Tesislerin çevre ile ilgili yol haritalarının ve eylem planlarının ortaya konulması, muhtemel kirletici kaynakların ve alınması gereken önlemlerin belirlenmesi ve bu konuda çalışmalara başlanılması daha yaşanabilir bir dünya bırakmak amacıyla önemlidir.

Referanslar

[1] World Commission on Environment and Development, 1987
[2] Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli, Tübitak, 2023
[3] Car, Erman, Sürdürülebilir Kalkınma ve İkincil Alüminyum Üretimi, Metalurji Mühendisleri Odası, 2015
[4] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Raporu, 24. Dönem Çalışma Raporu, ss.123-127
[5] Dağdelen, E., Tuğsuz B., Hafif Metaller, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2007
[6] Dağdelen, E., Alüminyum Yassı Mamul Endüstrisinde B2B Pazarlar, İstanbul Bilgi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
[7] Yılmaz, M., Alüminyum Sektör Değerlendirmesi, 2015
[8] Baydur, G.,1991, Malzeme, Milli Eğitim Bakanlığı Devlet Kitapları, İstanbul
[9] Hydro , Alıminium, Environment and Society Report, 2012, Norway .
[10] Car, E., İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bir Bakış, Metalurji Mühendisleri Odası
[11] Kirchner, G., Aluminium Recycling and Europe Status and Prospects, Organisation of Aluminium Refiners and Remelters , EAA
[12] Gerber, J., Global Aluminum Recycling, the Global Energy Cycle and the Role of the Society Regarding Collection , IEA-IAI Workshop, Alcan, 2007
[13] North American Combustion Handbook, Third Edition, Volume 2
[14] http://www.mecatherm.fr/en_index-en.html
[15] Scholes ,S.R.Dr, Modern Glass Practice, Cahners books, Massachusetts
[16] Pyrotek, https://www.pyrotek.com/
[17]http://g02.s.alicdn.com/kf/HTB1TAvXHXXXXXaEXpXXq6xXFXXXa/200197190/HTB1TAvXHXXXXXaEXpXXq6xXFXXXa.jpg
[18] http://www.eie.gov.tr
[19]http://www.earthrivergeo.com/geothermal-hvac-loop-systems-information.php

alus ing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

ŞEKİLLENDİRME

ALUMINIUM FORMING

Otomotivde Alüminyum Sac Metal Şekillendirme

Aluminum Sheet Metal Forming on Automotive Industry

Adem Karşı[1], Taner Karagöz[1], Mustafa Yenice[1], Serkan Toros[2]

[1]Coşkunöz Metal Form A.Ş., [2]Ömer Halisdemir Üniversitesi

Abstract

The automotive industry in which the competition reaches to the highest stage is one of the important factor that affects the world ecological system. The studies on the lightening of the vehicles still continue due to the providing the low fuel consumption. Recently, in this respect, the usage of the Aluminum alloys in car components increase remarkably since the requirements can be met. Besides the low density, energy absorption capability, corrosion resistance and specific stiffness, the recycling feature make this material famous among the commercially available materials that used in automotive components. Despite its numerous advantages, it is also possible to see many hardships during the manufacturing like high springback, burr formation during the cutting and trimming operations which leads the scratching on the surfaces and specific welding condition requirements. In this study, the executed projects and their results about the springback compensation and burr formation during the trimming operations are mentioned.

Özet

Rekabetin en üst seviyede gerçekleştiği alanlardan biri olarak otomotiv endüstrisi dünya ekolojik sistemini etkileyen faktörlerinde başında gelmektedir. Temel amaç olarak daha düşük yakıt tüketimi amacıyla taşıtların hafifletilmesi için araştırma çalışmaları devam etmektedir. Bu amaca yönelik olumlu sonuçları nedeniyle Alüminyum malzeme kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Düşük yoğunluk; enerji absorbsiyonu, korozyon direnci ve spesifik rijitliğinin yanında geri dönüşüm avantajı malzemeyi otomotiv endüstrisinde ticari olarak elde edilebilir malzemeler arasında ön plana çıkarmaktadır. Otomobil endüstrisinde sağladığı avantajların yanında parça imalat aşamasında yüksek geri yaylanma, seri üretim kalıplarında kesme sırasında partikül oluşumu, üretilen parçalarda çizik oluşumu, yaşlanma, kaynak işleminde özel koşulların gerekliliği gibi bazı zorlukları da görmekteyiz. Bu bildiride alüminyum sac metalin seri üretimi sırasında yaşanan geri yaylanmanın telafisi ve kesilmesinde yaşanan partikül oluşumunu aşmak amacıyla yapılmış araştırma projelerinden bahsedilecektir.

1. Giriş

Son yıllarda özellikle araçlardaki yakıt sarfiyatının azaltılmasın yönelik yapılan uygulamalarda düşük hacimli motorların kullanımın yanı sıra demir alaşımları dışında düşük yoğunluğa sahip alternatif malzemelerin kullanılması yönündeki çalışmalar oldukça yoğunlaşmıştır [1]. Bu çalışmaların önemli bir kısmı gerek ticari olarak ulaşılabilirliği gerekse de beklentileri önemli ölçüde sağlayabilmesinden ötürü alüminyum alaşımları üzerinde yoğunlaşmaktadır [2,3]. Alüminyum alaşımlarının birçok türü olmasına karşın otomotiv endüstrisinde özellikle 5XXX ve 6XXX serisi olanları yaygın olarak kullanılmaktadır. Araçlarda 5XXX (Temel alaşımlandırma elementi Mg'dur) serisi alüminyum alaşımları malzeme sığ form seviyesindeki iç yapı parçalarda kullanılırken, 6XXX (Temel alaşımlandırma elementleri Mg-Si) [4] serisi alüminyum alaşımı ise dış yüzey görünür kalitesinin yüksek olması nedeniyle (örneğin 6016-T4) iç parçalarla birlikte dış yüzey görünür parça üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet özelliği ile 7XXX (Al-Zn) serisi alüminyum alaşımları ise havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte otomotivde özellikle yüksek mukavemet gereksinimlerinin olduğu bölgelerde de kullanılabilmektedir. Bu alaşımlar seri üretim sonrası araç boyama işlemi sonrasında uygulanan kurutma işlemi aşamasında (185 °C) sertleşebilme özelliği ile istenilen mekanik özellikler kazandırılabilmektedir.

Alüminyum alaşımlarından parça imalatına geçiş sürecinde de bir takım sıkıntılar yaşanabilmektedir. Özellikle malzemenin sac parça seri üretimini incelediğimizde, üretim esnasında ve parçaların taşınması sırasında çizik oluşumları meydana gelebilmektedir. Bu da özellikle boya kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra bazı alüminyum alaşımları için (örn. 6XXX seri) üretim öncesi malzeme tedarik noktasında rulo ya da tabaka halinde paketlenen hammadde sacın stok süreside göz önünde bulundurulmalıdır. Bu malzemeler ortam koşullarında da yaşlanabilme kabiliyetleri bulunduğundan mekanik özellikleri değişebilmektedir, bu nedenle başlangıç durumdaki mekanik özelliklerin kullanılarak yapılacak şekillendirme işlemlerinde olumsuz istenen sonuçlar elde edilememektedir. Bu anlamda sac üreticilerinin özellikle oda koşullarında yaşlanabilme kabiliyeti gösteren malzemeler için zamana bağlı % uzama, akma sınırı ve kopma sınırı gibi bir takım mekanik özelliklerin değerlerinin sacı kullanacak firmalara bilgi olarak sağlaması gerekmektedir.

Otomotiv endüstrisinde sac işçiliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biriside şekillendirme işlemi sonrası parçalarda gözlemlenen ve boyutsal tamlığın sağlanamadığı geri yaylanma problemleridir. Literatürde sac malzemelerin geri yaylanma kabiliyetinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik birçok çalışma yer almaktadır [5-7]. Buna karşın bu uygulanan yöntemlerden bazıları ek sistemler gerektirdiğinden (Isıtma maliyetleri ve fırın hattı gereksinimi) parça üreticileri noktasında öncelikli yöntem olarak değerlendirilmemektedir. Bunun yerine daha sık olarak otomotiv sac parçası üretiminde malzemenin şekillendirme sonrası geri yaylanmasının önlenmesi için yüzey geometrisi yaylanmanın ters istikametinde deforme edilerek (telafi çalışması) işlem sonunda üretilen parçanın istenen geometrik toleranslara getirilmektedir. Bunun yanı sıra kalıp imalat aşaması öncesi, bilgisayar ortamında tasarlanan kalıplardan çıkacak parçalardaki problemlerin önceden belirlenmesi, gerek kalıp yüzeylerinde gerekse de uygulanan proses basamaklarında bir takım revizyonlar sağlanarak bu problemler minimize edilebilmektedir. Bu sürecin geliştirilmesi

ve iyileştirilmesi noktasında son yıllarda sonlu elemanlar programlarının katkısı oldukça büyük olmuştur. Sac şekillendirme analiz programlarından elde edilen simülasyon sonuçlarının deneysel verilere olan yakınlığı ise bu yazılımlarda kullanılan plastisite modellerinin malzeme özelliklerini temsil etme kabiliyeti ile direkt olarak ilgilidir.

Coşkunöz Kalıp Makine A.Ş. olarak bu amaca yönelik birçok çalışma ve proje yürütmüştür. Bu konu kapsamında yürütülen son projemiz '*OTOMOTİVDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ESASLI SACLARDA GERİ YAYLANMA TAHMİN DOĞRULUĞUNUN ARTTIRILMASI*' adlı Santez projemiz olup hedef bir araç bileşeni üzerinde yürütülen sonlu elemanlar analiz çalışmalarını ve bu analizler kapsamında elde edilen geri esneme sonuçlarının deneysel verilerle uyumu irdelenmiştir. Çalışmada son yıllarda birçok araştırmacının malzemelerin geri esneme kabiliyetinin doğru olarak belirlenebilmesi noktasındaki modelleme çalışmalarına yön veren Yoshida-Uemori iki yüzeyli pekleşme modeli [8] ile izotropik pekleşme modelleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir sonuçlar irdelenmiştir.

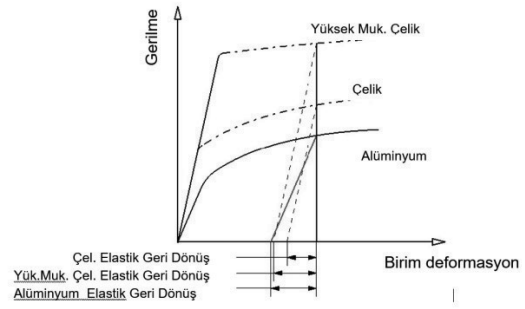
Alüminyum alaşımlarında otomotiv parça üreticilerinin karşılaştığı bir diğer önemli problem ise şekillendirme sonrası nihai geometriyi kazandırmak amacı ile uygulanan kesme işlemleri esnasında malzemelerin kesme hattı boyunca oluşan çapak ve bu alanda döküntü şeklinde biriken metal tozlarının malzeme yüzeylerini sonradan bozarak yüzey kalitesini azaltmasıdır. Literatürde her ne kadar alüminyum malzemelere uygulanmış kesme proses parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunsa da gerçek ortamdaki sac özelliklerini karşılamamasından dolayı elde edilen sonuçlar farklı olabilmektedir. Bu anlamda Coşkunöz Kalıp Makine A.Ş olarak hedef bir alüminyum malzeme için geri esneme çalışmalarının yürütüldüğü geometri üzerinde kesme prosesi sonrasındaki çapak oluşumunu ve bu çapak oluşumuna etki eden bir takım parametreler *"ALÜMİNYUM SAC METAL ŞEKİLLLENDİRME KESME OPERASYONUNDA ÇAPAK PARTİKÜLÜ OLUŞUMUNUN ENGELLENMESİ VE KESME KALIBI STANDARDININ OLUŞTURULMASI"* başlıklı TEYDEB projemizde incelenmiştir.

Bu çalışmada yukarda değinilen projelerimizden elde edilen sonuçlar verilmiş olup alüminyum alaşımlarının otomobil parça bileşenlerindeki kullanımı esnasında karşılaşılan problemlerin giderilmesine yönelik yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar özetlenmiştir.

2. Otomotiv Alüminyum Sac Parça Geri Yaylanma Tahmin Doğruluğunun Arttırılması

2.1. Geri Yaylanma ve Sonlu Elemanlar Analizi

Daha öncede belirtildiği üzere sac metal formlama işlemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biriside geri yaylanmadır. Malzemelerin şekillendirme işlemi sonrası depolanan elastik enerjinin geri verilmesi ile oluşan hedef geometrinin tasarım özelliklerinden uzak bir şekilde çıkması geri yaylanma (geri esneme) olarak tanımlanmaktadır. Geri yaylanma direkt olarak malzeme tabanlı olup farklı malzemelerde farklı değerler alabilmektedir. Örnek olarak çeliklerle ile bir kıyaslama yapılacak olursa; çeliklere göre daha düşük şekillendirilebilirlik ve daha yüksek elastik geri dönüşe sahipler. Şekil 1 de açıkça görülen farkın yanında diğer bir konuda bu geri dönüşün sonlu eleman analizinde tahmininin doğruluğudur. Her ne kadar çelikler üzerinde uzun yıllardır yapılmış çalışma ve tecrübelerin ışığında bu konuda sac metal seri üretiminde iyi sonuçların alınıyor olsa da alüminyum malzemelerde bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu aşikardır. Alüminyum sac malzemenin şekillendirilmesinde en sık karşılaşılan problemlerden biri alüminyum alaşımlı sacların çekme prosesindeki mekanik davranışı ve geri yaylanma davranışının simülasyonuyla gerçek durumun farklı olmasıdır. Malzeme şekillendirme baskı kuvveti ortadan kalktıktan sonra serbest hale geçtiğinde eski formuna dönmek için bir miktar şekil değiştirmektedir ve bu şekil değişimi kalıp tasarım aşamasında yapılacak toleranslama işlemlerinden oldukça büyük değerleri göstermektedir.



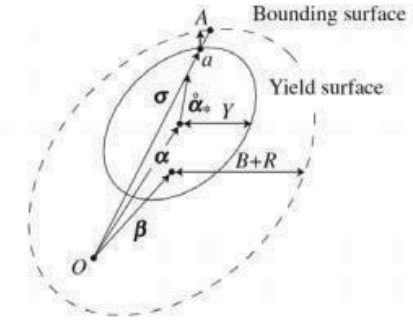
Şekil 1. Akma Eğrisi

Bu çalışmada otomotiv parçalarında yaygın olarak kullanılan AA6016, AA5182 ve AA5754 alüminyum alaşımlarının geri esneme kabiliyetinin belirlenmesine yönelik hedef bir parçanın şekillendirme analizleri Autoform ve Ls-Dyna programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekillendirme simülasyonu sonrasında malzemelerdeki geri esneme davranışı da incelenmiştir. Elde edilen simülasyon verilerinin doğruluğunu belirlemek için hedef parçaya ait kalıplar imal edilmiş ve deneysel olarak şekillendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalıplarda şekillendirilmiş parça daha sonra yüzey tarama işlemine tabi tutularak parçadaki ve analizlerdeki sonuçlarının birbiri ile örtüşme oranının belirlenmesi adına bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Malzemelerin geri yaylanma analizlerinin doğruluğunu etkileyen en önemli parametreler analizlerde kullanılan malzeme modelleridir. Kullanılan malzeme modellerinin, malzemelere ait mekanik özellikleri temsil etmedeki kabiliyeti ne kadar iyi ise elde edilen sonuçlarında deneysel sonuçlara olan uyumu o kadar yüksek olmaktadır. Alüminyum saclarda geri yaylanma konusunda yapılan literatür araştırmasında Yoshida-Uemori iki yüzeyli pekleşme modelinin deneysel verilerle büyük oranda uyum gösterdiği belirlenmiş, çalışma kapsamında da bu model üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte Autoform analiz programında Yoshida-Uemori model tanımlı olmamasından dolayı bu modelle analizler Ls-Dyna ile gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte Autoform programı ile gerçekleştirilen geri yaylanma simülasyonları Autoform genel kütüphanesinde bulunan A5182, A5754 ve A6016 malzeme verileri ile kurulmuştur. Autoformda akma yüzeyi olarak Barlat 89 kullanılırken Ls-Dyna'da ise Hill-48 kullanılmıştır. Ayrıca kinematik pekleşme kullanılarak yapılan analizlerde Autoform'da default olarak tanımlanan malzeme model parametreleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Şekillendirme simülasyonları sırasında parçanın kalınlığının orta yüzeyi referans olarak alınmış olup, geri yaylanma karşılaştırmaları için orta yüzeyin parça kalınlığının yarısı kadar offseti alınarak üst yüzey elde edilmiştir. Deneysel tarama datası ile yapılan kıyaslama değerlendirmelerinde üst yüzey kullanılmıştır.

2.2. Yoshida-Uemori iki yüzeyli pekleşme modeli

Geri yaylanma konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde alüminyum saclar konusunda en iyi sonuç veren modellerden birinin Yoshida-Uemori (Y-U) [8] iki yüzeyli pekleşme modeli olduğu belirlenmiştir. Bu modelin ticari olarak ulaşılabilinen bir seri yazılımlarda olması, ilgili modelle analizlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Yoshida-Uemori modelinde Şekil 2 'de görüleceği gibi birleştirilmiş izotropic ve kinematik pekleşme kabulü ile iki akma yüzeyi tanımlanmıştır.



Şekil 2 Yoshida-Uemori Modelinde Akma Yüzeyi Kabulü

Pekleşme durağanlığı, Bauschinger etkisi ve kalıcı yumuşama gibi deformasyon etkilerini göz önüne aldığından çevrimli yüklemeli testler ile elde edilmektedir. Y-U model parametrelerini elde etmek için, çevrimsel çekme-basma testi, çevrimsel 3 noktadan aşağı ve yukarı bükme testi, H numunesi ile kayma testi ve ikiz köprü (twin bridge) numunesi ile kayma testi verileri kullanılarak model parametreleri belirlenebilir [9-12]. Y-U modelinde malzemeyi tanımlamak için yedi farklı parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler aşağıdaki çizelgede açıklanmıştır.

Çizelge-1 Yoshida Uemori Parametreleri ve Açıklamaları

Y	İlk akma gerilmesi
B	Akma sınırı yüzeyinin büyüklüğü
C	Her yük değişimi başlangıcında oluşan geçiş
m	Pekleşme üsteli
h	Pekleşme durağanlaşması
b	Kinematik pekleşme büyüklüğü
Rsat	İsotropic pekleşmenin doyma değeri

Bu parametrelere bağlı olarak tek eksenli çekme deneyinde akma gerilmesinin yüzey sınırları aşağıdaki denklem ile ifade edilebilmektedir.

$$\sigma_{sınır} = B + (R_{SAT} + b)(1 - e^{-m\varepsilon_p}) \quad (1)$$

Son yıllarda yapılan çalışmalarda malzemelerin elastisite modülünün uygulanan plastik şekil değiştirme miktarına bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Öyle ki başlangıç durumda 210 GPa elastisite modülüne sahip bir yüksek mukavemetli bir çelik deformasyon sonuna yakın 145 GPa'lık elastisite modülüne sahip olmaktadır. Bu durum geri yaylanma modellerinde önemli olup analiz sonuçlarının doğruluğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Yoshida-Uemori modelinin diğer birtakım modellere olan üstünlüğü, modelinde elastisite modülündeki bu değişimi barındırıyor olmasıdır. Bir malzemenin elastisite modülünün plastik deformasyon ile değişimi aşağıdaki denklem ile ifade edilebilmektedir.

$$E = E_0 - (E_0 - E_A)(1 - \exp(- \xi \bar{\varepsilon})) \quad (2)$$

Burada E_0 başlangıç durumdaki elastisite modülü değeri olup E_A ve ξ model parametreleridir. Bu parametreler yükleme boşaltma tarzı deformasyon uygulayarak elde edilen elastik bölgelerin her birinin ayrı ayrı eğiminin hesaplanması ile belirlenebilmektedir.

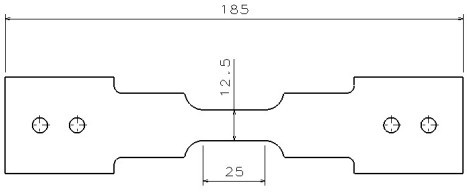
2.3. Deneysel ve Sayısal Çalışmalar

Yoshida-Uemori model parametrelerinin belirlenmesi amacı ile çevrimli çekme basma testi kullanılmıştır. Deneyler için tasarlanan ve imal edilen deney sistemi Şekil 3'te gösterilmektedir. Çekme-basma deneylerinde malzeme basma aşamasına geçilmesi ile burkulma oluşmasını engellemek için malzeme her iki yönden cıvatalı plakalarla sabitlenmiştir. Deney düzeneğinde malzeme üzerinde oluşan deformasyonun video tipi extensometre ile ölçülebilmesi amacı ile destek plakaları pleksi glasdan imal edilmiştir. Tutucu çenelerde basma yönünde de verimli çalışabilmesi için sabit olarak üretilmiştir.



Şekil-4 Saydam Malzemeden Üretilen Burkulma Önleyici Aparat

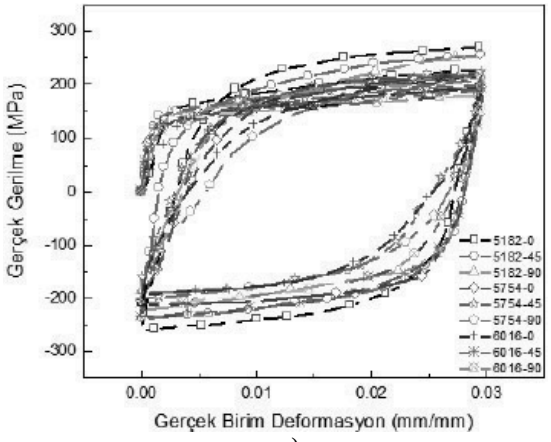
Çekme basma deneylerinden ileri deformasyon bölgelerdeki davranışlarının belirlenebilmesi adına deney numunesinin geometrik özellikleri büyük önem arz etmektedir. Literatürde yer alan birkaç geometri kestirilerek cihazda denemeler yapılmış ve en iyi sonuçlar Şekil 5'de gösterilen deney numunesinden elde edilmiştir.



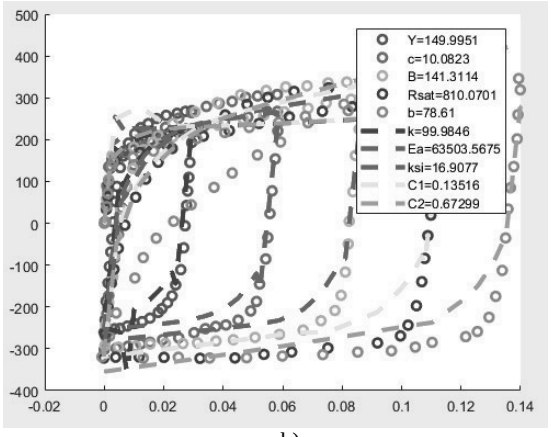
Şekil 5. Çekme-Basma Deney Numunesi

Sonuç olarak farklı alüminyum alaşımları için gerçekleştirilen çekme basma deney sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Deney

numunesine öncelikle %3'lük bir çekme uygulandıktan sonra ters yönde aynı oranda basma uygulanmıştır. Malzeme üzerindeki deformasyon miktarı tekrar sıfıra ulaştığında ise tekrar çekme yönünde %3'e kadar deforme edilerek deney tamamlanmıştır. Yapılan deneysel incelemelerde %14'e kadar çekme basma deneyi uygulanabilmiştir.



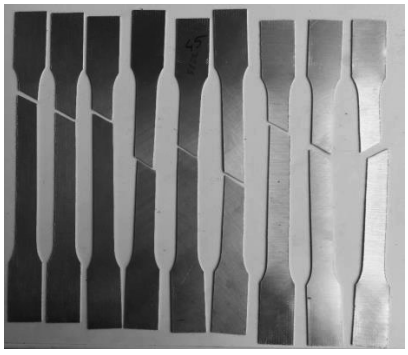
a)



b)

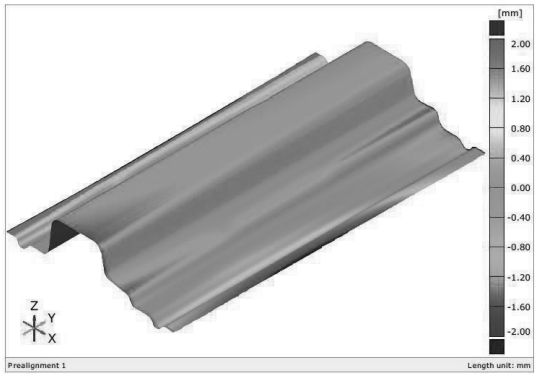
Şekil 6 %3 Gerinim Değeri için Çevrimli Çekme Basma Testi Eğrileri (a), 5182 Al-Mg alaşımının Yoshida-Uemori model tahmini (b)

Bununla birlikte analizlerde Yoshida-Uemori farklı anizotropik akma kriterleri ile birlikte kullanılabilmektedir. Bu anlamda malzemelerin gerçek gerilme birim deformasyon eğrilerinin ve Lankford parametrelerinin belirlenebilmesi adına hadde yönüne 0°,45°,90° açı yapacak şekilde numuneler kestirilmiştir. Şekil 7'de çekme deneyleri için kullanılmış deney numuneleri gösterilmiştir.

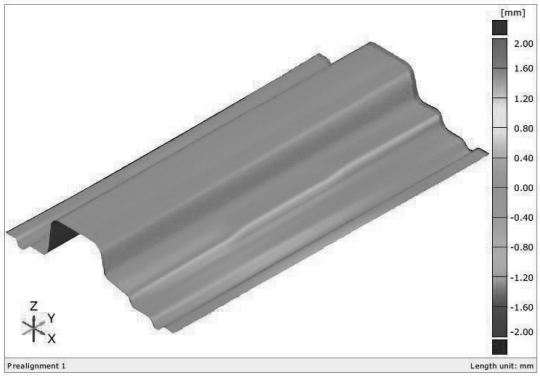


Şekil 7 AA5182 Malzemesine Ait Çekilmiş Test Numuneleri

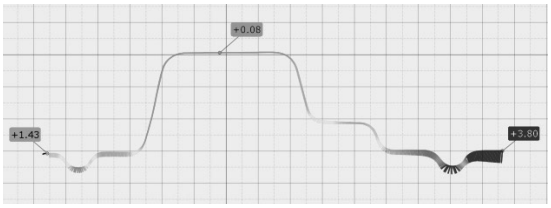
Yukarda elde edilmiş model parametreleri analizlerde kullanılarak şekillendirme ve geri yaylanma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Geri yaylanmış olarak elde edilen geometriler sonrasında GOM yazılımı kullanılarak üst üste oturtturulmuş ve model sonuçlarının deneysel verilere olan yakınsaması değerlendirilmiştir. Şekil 8-11'de bu durum 3 boyutlu yüzeyler üzerinde ve parçada belirli bir kademeden alınan kesit üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



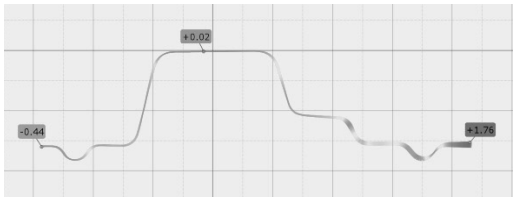
Şekil 8
AA6016 için Tarama Datası ve Barlat89 Modeli Simülasyon Çıktılarının Kıyaslanması (Best-Fit Alignment)



Şekil 9
AA6016 için Tarama Datası ve Y-U Modeli Simülasyon Çıktılarının Kıyaslanması (Best-Fit Alignment)



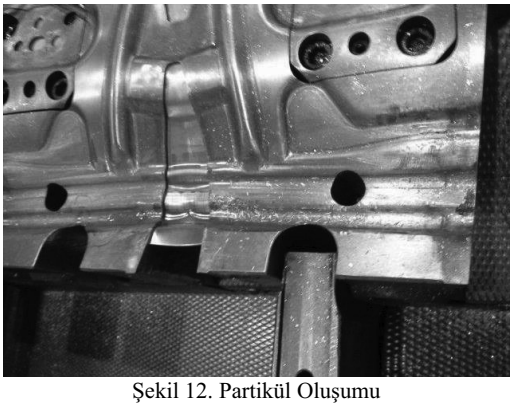
Şekil 10
AA6016 Y-U Modeli Simülasyonu Geri Yaylanma Tahminindeki Sapmalar



Şekil 11
AA6016 Barlat Modeli Simülasyonu Geri Yaylanma Tahminindeki Sapmalar

3. Alüminyum Sac Parça Kesme İşleminde Partikül Oluşumunun Azaltılması

Alüminyum malzemelerin şekillendirilme işleminin tamamlanması akabinde eğer geometri üzerinde bir takım trimlenecek bölgeler varsa kesme kalıplarında nihai geometri parçaya kazandırılır. Her ne kadar kesme operasyonu basit ve genel bir uygulama olarak görülse de özellikle alüminyum alaşımlarında bir takım sıkıntılar oluşabilmektedir. Özellikle OEM (orijinal parça üreticiler)'lerin üretilecek parçalar üzerinde belirlemiş oldukları kısıtlamalar bu prosesin önemini daha da artırmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere kesme işlemi esnasında kesme hattı boyunca oluşan çapakların giderilmesi ikinci bir iş yükü teşkil etmekte olup termin sürelerinde gecikmelere neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra kesme operasyonu ile oluşan çapak partikülleri kesme kalıpları yüzeylerinde sürekli olarak birikerek sonrasında parça yüzeylerinde ciddi miktarlarda çizikler oluşturabilmektedir. Bu ise sonrasında boya işlemleri esnasında büyük sıkıntılara yol açabilmektedir. Öyle ki OEM'ler tarafından bu parçalar kabul edilmemektedir. Şekil 12'de kalıp yüzeylerinde birikmiş çapak partiküllerinin parça üzerinde oluşturdukları tahribat açıkça görülebilmektedir.



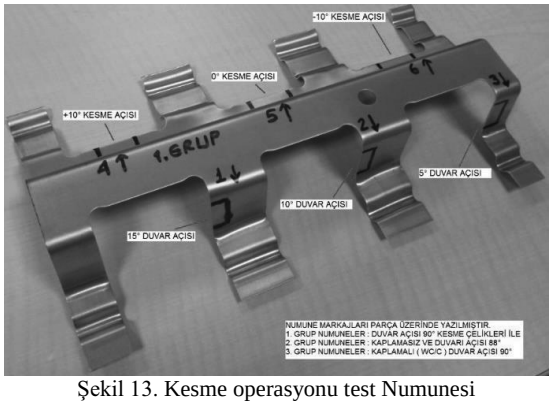
Şekil 12. Partikül Oluşumu

Bu çalışmada alüminyum sac metalin, otomotiv seri üretim kalıplarında kesilmesi sırasında ortaya çıkan çapak partikülü ve parça kenarında kalan çapak miktarının azaltılması amacıyla bir seri çalışma yapılmıştır. Yapılmış çalışma ile optimum kesme koşullarının tespit edilerek standardının oluşturulması amaçlanmıştır.

Tasarımı yapılmış farklı kesme açıları barındıran test geometrisi önce form kalıbında şekillendirilmiş sonrasında kesme operasyonunda ardışık kesme işlemleri ile çıkan partikül miktarı ve kesme numunelerinin kesme çapağı incelenmiştir. Kesme koşulları değiştirilerek (kesme açısı, kesme çeliklerinin kaplanması, kesme boşluğu vs.) optimum kesme koşulu tespit edilerek standart oluşturulmuştur.

3.1. Test Numunesi Tasarımı

Otomobil parçaları tasarımları itibari ile oldukça karmaşık geometrilere sahip olabilmektedir. Karmaşık şekilli bir parçaya uygulanan kesme işlemi neticesinde beklenen çapak oluşumu ile düz bir sacın kesme işlemi ile oluşan çapak özellikleri aynı olamamaktadır. Literatürde özellikle düz sacların kesme işlemleri neticesindeki çapak oluşum özelliklerinin belirlenmesi ve bu alanda kesme işlemlerini etkileyen kesme boşluğu, kesme açısı gibi parametreler değerlendirilmektedir. Bu anlamda bu çalışma kapsamında literatürden farklı olarak üzerinde farklı kesme açılarını bulunduran test numunesi tasarlanmıştır. Test numunesi yüzeyinde farklı bölgelerde +10° , 0° ve – 10° açıları üzerinde barındırmaktadır ve ilgili geometri Şekil 13' de gösterilmiştir.



Şekil 13. Kesme operasyonu test Numunesi

Şekil üzerinden de görülebileceği üzere kritik olan her bir bölge işaretlenmiştir. Parçaya istenen son geometriyi kazandırmak için uygulanan kesme işlemlerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 2'de verilmektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere malzemeye ait farklı duvar açıları ile kesici takıma ait kaplama bilgisi ve kesici takım açısı ile elde edilmiş numunelerin kodları verilmektedir. İlgili kesici takımlar ise Şekil 14'de gösterilmektedir.

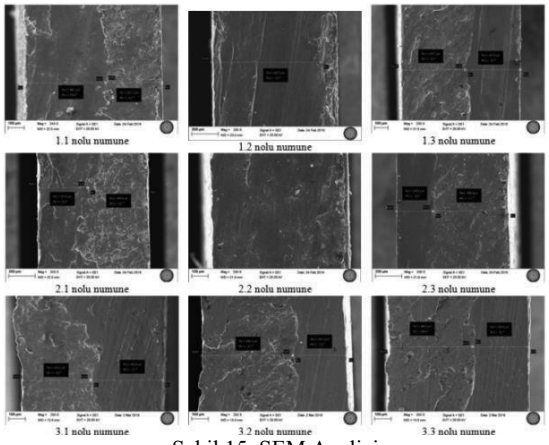
Çizelge 2. Kesme koşulları ve farklı duvar açıları için kodlanmış numuneler

	Duvar Açısı 15°	Duvar Açısı 10°	Duvar Açısı 5°	Kesme Açısı 10°	Kesme Açısı 0°	Kesme Açısı -10°
Duvar Açısı 90° Kaplamasız Kesme Çeliği	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Duvar Açısı 88° Kaplamasız Kesme Çeliği	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Duvar Açısı 90° WC/C Kaplamalı Kesme Çeliği	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6

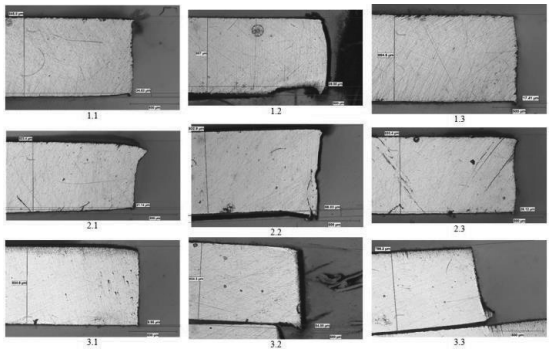


Şekil 14. Kesme Çelik Grupları

Kesme işlemleri sonrası malzemelerin kesme bölgeleri SEM ve optik mikroskop altında incelenmiş ve malzemede farklı bölgelerdeki çapak oluşumları ve kırılma yüzeyleri ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 15 ve 16 gösterilmektedir.



Şekil 15. SEM Analizi



Şekil 16. Optik Mikroskop Analizi

Optik mikroskop ile elde edilen iki boyutlu görüntülerden çapak boyu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak ta maksimum çapak boyu 10^o lik duvar açısına sahip kısım için 89.55 µm olarak tespit edilmiştir. Bu da kesme işlemlerine bir tek kesici takımlarla alakalı parametreler değil aynı zamanda trimlenecek parçaların geometrisinin de etkisinin olduğu belirlenmiş olmaktadır.

4. Sonuç

Alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisi için yakıt sarfiyatının azaltılmasının sağlanması noktasında vaz geçilmez bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda özellikle alüminyum alaşımlarının gerek şekillendirme kabiliyetlerinin belirlenmesi gerekse de bu özelliklerin tahmin edilmesinde kullanılan simülasyon çalışmalarının önemi artmaktadır. Öyle ki bu özelliklerin belirlenmesine kullanılan modellerin seçimi dahi büyük önem arz etmektedir. Uygun şekillendirme koşullarının belirlenmesi, malzeme davranışlarını en iyi şekilde temsil edebilecek malzeme modellerinin kullanılması sonraki kalıp revizyon işlemlerindeki gereksiz kullanılan sürelerin azalmasına vesile olacaktır. Ayrıca alüminyum için gerçekleştirilen kesme çalışmalarından elde edilen koşullar ve bu koşullardaki sağlanma noktasındaki uygunluk değerlendirmesi Çizelge 3'de sonuç olarak verilmiştir.

Çizelge 3. Alüminyumun Sac Metalin Seri Üretim Kaliplarinda Kesilme Koşullari ve Uyumluluk Değerlendirmesi

	Değişken	Uygunluk	Yorum
Kesme Boşluğu	Sac Kalınlığı (mm) x 0,05		Kesme işleminde olumlu yönde etkisi görülmedi , kalıbı hassaslaştırması nedeniyle tercih edilmiyor.
	Sac Kalınlığı (mm) x 0,1		Kesme bölgesinin istenilen koşullarda üretimi sağlanıyor.
Alt Kesme Çeliği Kaplama Türü	AlCrN		Özel durumlar dışında Alt grup kesme çeliklerinde kaplama yapılmasına gerek yoktur.
	WC/C (a-C:H:W)		
	DLC (a-C:H)		
Üst Kesme Çeliği Kaplama Türü	AlCrN		Partikül oluşumunu azaltıcı etkisi gözlemlenmedi.
	WC/C (a-C:H:W)		Partikül oluşumunu azaltıcı etkisi gözlemlendi.
	DLC (a-C:H)		Alüminyum partiküllerinin kesme çeliklerine yapışmasını engellediği biliniyor.
Kesme Açısı	> 15 °		Parça üzerinde yüksek çapak boyu ve seri üretim şartlarında partikül oluşumu artıyor.
	10 ° > A ° > 15 °		Müşteri kalite standardına göre bu aralıkta kabul edilebilir seviyede parça üretilebilir.
	< 10 °		Uygun kesme koşulu olarak parça kalitesi yeterli.
Üst Kesme Çeliği Duvar Açısı	90°		Kesme çeliğinin kesme sonunda geri dönüşü sırasında saca teması devam ettiğinden partikül oluşumuna etkisi var.
	88º (Çelikte 2° duvar boşaltısı yapılmış)		Kesme çeliğinin geri dönüşte teması önlenerek minimum partikül oluşumu sağlanabiliyor.
Kesme Çeliği Sertliği	58 - 60 HRC		Kesme çeliğinin kaplanmaması durumunda uygun sertlik değeridir.

Teşekkür

Bu çalışmalar TÜBİTAK tarafından SANTEZ ve TEYDEB projeleri kapsamında desteklenmiş olup, desteklerinden ötürü ilgili kuruma teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

[1] G.S. Cole, A.M. Sherman, Light weight materials for automotive applications. Mater. Charact. 35,(1995), 3–9.

[2] T. Naka, G. Torikai, R. Hino, F. Yoshida,, The effects of temperature and forming speed on the forming limit diagram for type 5083 aluminum–magnesium alloy sheet. J. Mater. Process. Technol. 113, (2001), 648–653.

[3] T. Naka, Y. Nakayama, T. Uemori, R. Hino, F. Yoshida, Effects of temperature on yield locus for 5083 aluminum alloy sheet. J. Mater. Process. Technol. 140,(2003), 494–499.

[4] ASM Metal Handbook, 1988. Volume 14 Forming and Forging. 9th ed. ASM International, Metals Park, Ohio, pp. 791–804.

[5] A. Swiatoniowski, Compensatıon of Sprıngback Deformatıon in Sheet Metal Formıng Analysis, Journal of KONES Powertrain and Transport, 19-3, (2012),459-468.

[6] H. Wie, W. Chen, L. Gao, Sprinback Investigation on Sheet Metal Incremental Formed Parts, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 5-7,(2011), 1273-1277.

[7] W.A. Siswanto, A. D. Anggono, B. Omar, K. Jusoff, An Alternate Method to Springback Compensation for Sheet Metal Forming, The Scientific World Journal, 2014,(2014), 1-13.

[8] F. Yoshida, T. Uemori, A model of large-strain cyclic plasticity describing the Bauschinger effect and

workhardening stagnation. Int J Plasticity 18, (2002), 661-686.

[9] R.K. Boger, R.H. Wagoner, F. Barlat,, M.G. Lee,, K. Chung, Continuous, large strain, tension/compression testing of sheet material. Int J Plasticity 21, (2005), 2319-2343.

[10] J.H. Kim, D. Kim, Y.S. Lee, M.G. Lee, K. Chung,, H.Y. Kim,, R.H. Wagoner, A temperature-dependent elasto-plastic constitutive model for magnesium alloy AZ31 sheets. Int J Plasticity 50,(2013), 66-93.

[11] Hiroshi Hamasaki, Shuhei Nakamura, Vassili V. Toropov, Yoshida, F., 2011. Parameter Identification For Elasto-Plastic Constitutive Equation By Means of Cyclic Bending Experiment and Optimization, 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Shizuoka, Japan.

[12] M.G. Lee, D.Y. Kim, C.M. Kim, M.L Wenner, K. Chung, Spring-back evaluation of automotive sheets based on isotropic-kinematic hardening laws and non-quadratic anisotropic yield functions, part III: applications. Int J Plasticity 21, (2005b), 915-953.

Azot Soğutmalı Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarında Soğutma Sisteminin Modellenmesi ve Profil Yüzeyine Etkisinin İncelenmesi

Modeling of Cooling System in Nitrogen Cooled Aluminum Extrusion Molds and Investigation of Its Effect on Profile Surface

Murat Konar[1], Mehmet M. Dokur[1], Sadık M. Ayan[1], Ertan Karaismail[2]

[1]Asaş Alüminyum Sanayi, [2]Figes A.Ş.

Abstract

In the aluminum extrusion process, the billet is exposed to the heat due to the friction that forms when the profile is shaped in the mold. The temperature rises to high levels over time, leading to extrusion mistakes. This prevents high temperatures and allows production at higher speeds and tonnages. 3D drawings of the nitrogen-cooled aluminum extrusion mold were made and modeled with the extrusion conditions used in production in the ANSYS Fluent program. The liquid nitrogen pressure is set at 5 bar. There is no slip condition on the walls. Pressure-based solvent type is used. VOF model was used as a two-phase flow modeling option for the solution of both liquid and gas phase in the inner volume of the liquid nitrogen channel. The evaporation model has been included for analysis of the liquid and gas phase. The aluminum starting temperature was set around 500 ^{o}C and modeled with time dependent cooling. With the thermal flow analyzes performed, the phase, velocity and flow of nitrogen in the cooling channel were determined. The cooling effect on the profile surface of the nitrogen channel and the determination of the phase of the gas in this case were determined. Simulation results were compared with the samples from the trial production.

Özet

Alüminyum ekstrüzyon prosesinde, billet kalıpta profil şeklini alırken oluşan sürtünmelerden dolayı açığa ısı çıkmaktadır. Isı zamanla yüksek seviyelere çıkarak ekstrüzyon hatalarına yol açmaktadır. Bu yüksek sıcaklıkları engelleyerek daha yüksek hız ve tonajlarda üretim yapılabilmektedir. Azot soğutmalı alüminyum ekstrüzyon kalıbının 3d çizimleri yapılarak ANSYS Fluent programında üretimde kullanılan ekstrüzyon koşulları ile modelleme yapılmıştır. Sıvı azot basıncı 5 bar üzeri olarak ayarlanmıştır. Duvarlarda no slip condition sınır şartı uygulanmıştır. Pressure-Based çözücü tipi kullanılmıştır. Sıvı azot kanalının iç hacminde hem sıvı hemde gaz fazının çözümü için 2 fazlı akış modellemesi seçeneklerinden VOF modellemesi kullanılmıştır. Sıvı ve gaz fazının

çözülebilmesi için Evaporation (buharlaşma) modeli analize dahil edilmiştir. Alüminyum başlangıç sıcaklığı 500 ºC civarında ayarlanmış ve zamana bağlı soğuması modellenmiştir. Yapılan termal akış analizleri ile soğutma kanalı içerisindeki azot'un fazı, hızı ve debisi tespit edilmiştir. Azot kanalının profil yüzeyine soğutma etkisi ve bu durumdaki gazın fazının tespiti belirlenmiştir. Deneme üretimden alınan numuneler ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

Ekstrüzyon üreticilerinin en çok üzerinde durdukları nokta, profil üretim hızlarını arttırarak saatlik üretim miktarlarını en üst seviyeye çıkarmaktır. Profil üretim hızını arttırabilmek amacıyla farklı çalışmalar yürütülmektedir. Alaşım geliştirme, billet sıcaklıkları, kalıp tasarımları üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan bazılarıdır. Billet kalıpta profil şeklini alırken oluşan sürtünmelerden dolayı açığa bir ısı çıkmaktadır. Bu ısı zamanla artmakta ve zaman zaman yüksek seviyelere çıkarak ekstrüzyon hatalarına yol açmaktadır. Amaç üretim esnasında biletlin kalıp geçişlerinden akması esnasında sıcaklık artışını engellemek ve profil sıcaklığını sabit seviyede tutmaktır. Sıcaklığın kalıp çıkışında sabit tutabilmek amacıyla kalıp soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sayede profil çıkış sıcaklığı sabit tutularak daha yüksek hızlarda profil üretimine imkan sağlanmıştır.[1]

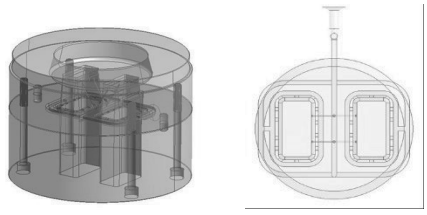
Soğutma kanallarından profilin yüzeyine temas eden soğutma şeklinin sıvı fazda mı gaz fazda mı olduğunun önemi profil yüzeyini soğutma yetkinliği olarak önemlidir. Bu etkiyi ilk defa Johann Gottlob Leidenforst tarafından ileri sürülmüş ve araştırılmıştır. Leidinfrost'a göre bir sıvı kaynama noktasından yüksek sıcaklıktaki bir yüzeye damlatıldığında yüzeye yapışmak yerine temasa en yakın noktası buharlaşarak damla halindeki sıvının altında boşluk oluşturarak damlacığı yüzeye dokunmayacak kadar yüksekte tutar. Bu sayede damlacık, sıcak yüzeyde sürtünmenin çok düşük olduğu ortamdan dolayı hızlı bir biçimde kayar ve yüzey soğutması gerçekleştirilemez [2].

Sıvı azot soğutma tekniği endüstriyel uygulamalarda hem yurt içi hem de yurtdışında üretim hızının ve yüzey kalitesini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sıvı azotun -196 ºC ve ekstrüzyon kalıbı sıcaklığının 450-500 ºC derecelerde olduğu, kalıp içeresindeki sıvı akışı, ısı transferi ve faz dönüşümü kapsamlı ºC olarak analiz edilerek soğutma kanalları içerisinde davranış tespiti yapılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. 3 boyutlu tasarım kriterleri

Deneme üretimlerinde kullanılması için tasarımı yapılan ve simülasyon çalışmasında kullanılacak olan azot soğutmalı alüminyum ekstrüzyon kalıbı şekil 1' de verilmiştir.

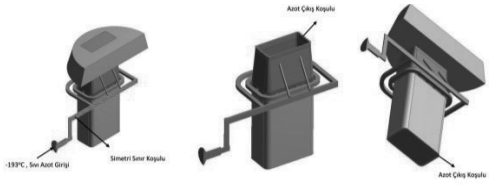


Şekil 1. Boyutlu kalıp tasarımı

2.2. Simülasyon sınır şartları

Problemin çözümünde ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. 3D tasarımı yapılan azot soğutmalı alüminyum ekstrüzyon kalıbı simetri koşulu uygulanmıştır. Zamana bağlı (transient) ve 0.001 saniye zaman adımlarıyla modellenmiştir. Sıvı azot basıncı 5 bar üzeri

olarak ayarlanmıştır. Duvarlarda no slip condition sınır şartı uygulanmıştır. Sıvı azot kanalının iç hacminde hem sıvı hemde gaz fazının çözümü için 2 fazlı akış modellemesi seçeneklerinden VOF modellemesi kullanılmıştır. Sıvı ve gaz fazının çözülebilmesi için Evaporation (buharlaşma) modeli analize dahil edilmiştir. Alüminyumun aktığı durumun analizi 2 saniye süresince modellenmiştir. Alüminyum başlangıç sıcaklığı 500 ^{o}C civarında ayarlanmış ve zamana bağlı modellenmiştir.

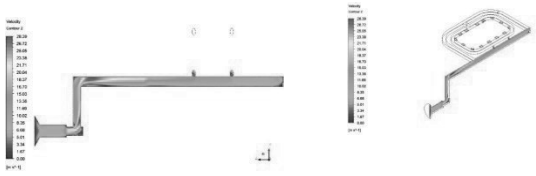


Şekil 2. Simülasyon sınır koşulları

3. Sonuçlar ve Tartışmalar

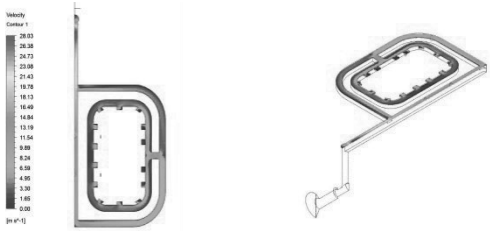
3.1. Hız dağılımı

Dikey kesit soğutma kanalı hız dağılımı görüntüsünde gösterilen hız dağılımına göre, azot hızı ani daralmanın olduğu yerlerde arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3). Dönüş yapılan dirseklerde ise dönüş açısının keskin olmasından kaynaklanan problemler oluşmuştur. Bu kısımlarda, ölü bölgeler ve sirkülasyon bölgeler oluşmuştur.



Şekil 3. Dikey kesit soğutma kanalı hız dağılımı

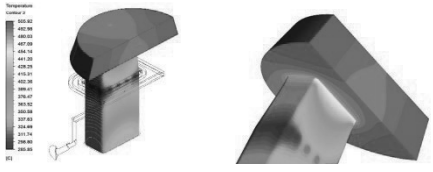
Yatay kesit soğutma kanalı hız dağılımından görüldüğü üzere, keskin dönüş yapılan yerlerde sirkülasyon bölgeleri oluşmuştur (Şekil 4). İstenmeyen bölgelerin oluşması basınç kaybına ve düşük debi değerlerine neden olmaktadır. Verimli bir dağılım için bu bölgelerde modifikasyon yapılması gerekmektedir.



Şekil 4. Yatay kesit soğutma kanalı hız dağılımı

3.2. Alüminyum duvarı üzerindeki sıcaklık dağılımı

Alüminyum duvarı üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.'da gösterilmektedir. Duvar üzerinde, sıvı azotun çıkış yaptığı deliklerin tam karşısına denk gelen bölgeler de daha hızlı soğumaktadır. Bu bölgeden sağlanan soğuma iletim (conduction) yoluyla duvar üzerinde diğer bölgelerin soğumasını sağlamaktadır. Alüminyumun üst kısmı, diğer bölgelerden daha sıcak kalmaktadır.

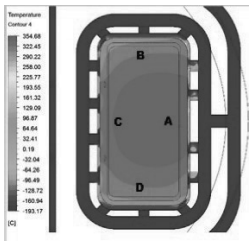


Şekil 5. Alüminyum duvar sıcaklık dağılımı

Azotun çıkış yaptığı deliklerin tam ortasına denk gelecek şekilde atılan yatay kesit üzerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.' de gösterilmektedir. Hız dağılımlarının gösterildiği şekil 6. 'de debi dağılımlarındaki homojen olmayan durumdan belirlenmişti. Şekle göre c tarafında bulunan deliklerdeki debiler diğerlerine oranla daha yüksek olduğu için bu taraftaki soğuma daha etkindir. Dolayısıyla

alüminyumun iç sıcaklığının soğuması şekle göre c tarafta daha hızlı gerçekleşmektedir.

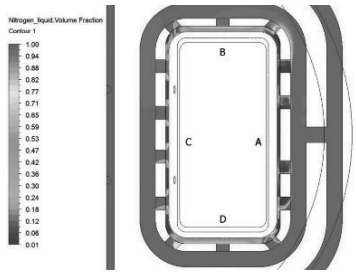
+



Şekil 6. Yatay kesit sıcaklık dağılımı

3.3. Azot hacimsel oranın değişimi

Azot hacimsel dağılımını incelenmesi için alınan yatay kesit Şekil 6' de gösterilmiştir. C bölgesinde bulunan deliklerdeki debiler diğerlerine oranla daha yüksek olduğu için bu taraftaki soğuma daha etkindir. Dolayısıyla c tarafında bulunan deliklerden çıkan sıvı azot sıcak yüzeyle temas etse bile, soğuma miktarı etkin olduğu için gaz fazının oranı daha düşüktür. Ancak sağ tarafta bulunan soğuma etkin olmadığı için buradaki gaz fazının oranı daha yüksektir. Leidenforst etkisi simülasyonda modellenememektedir. Yapılan deneme üretimi ve literatür araştırmaları sonucu profil yüzeyine sıvı azot temasından etkin soğutma gerçekleştirilmediği görülmüştür.



Şekil 7. Yatay kesit azot hacimsel dağılımı

4. Sonuç

193 ^{o}C'de ki sıvı azotun kanaldan çıkıp 500 ^{o}C civarında başlangıç sıcaklığında bulunan alüminyum hacminin soğutulmasının HAD analizi gerçekleştirilmiştir.

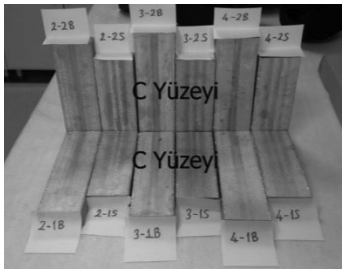
Kanal çıkışlarındaki debi dağılımlarının homojen olmayışı soğutma performansını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiş ve tasarımda revizyon yapılarak bu durumun ortadan kaldırılabileceği ön görülmüş ve belirlenmiştir.

Sirkülasyon bölgelerini en aza indirgemek için dönüş yapılan yerlerde daha yumuşak dönüşlerin yapılması gerekmektedir. Tasarımda revizyon yapılarak sirkülasyon bölgelerinin oluşumu minumuma indirilebilir.

Şekil 7' de gösterilen Azot hacimsel dağılımını incelenmesi için alınan yatay kesit yorumladığında

- A bölgesinde profile temas eden yüzeyde azot kararlı gaz haldedir.
- A ve B yüzeylerinin kesişiminde sıvı-gaz karışık haldedir.
- B ve D yüzeylerinde ise kararsız gaz halindedir
- C yüzeyinde ise kararlı sıvı ve kararlı gaz karışık halde olduğu görülmüştür.

Termal akış analizi yapılan kalıbın imaltı ve deneme üretimi sonucu alınan numunelere makro dağlama yapılmış ve profillerin kusurlu yüzeyleri olan C yüzeylerinin görüntüsü Şekil 8'da görülmektedir



Şekil 8. Deneme üretiminden alınan numuneler

Denem üretiminden alınan numuneler yorumlandığından

- Profilin C yüzeyinde aşırı tane büyümeleri (bozulmalar) görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre kararlı gaz ve kararlı sıvı karışık halde bulunmasından dolayı C yüzeyindeki aşırı tane büyümesi olduğu düşünülmektedir.
- Profilin A yüzeyindeki bozulmaların az olması analiz sonuçlarına göre kararlı gaz haldeki azotun etkisinden olduğu düşünülmektedir.
- Köşelerde (A-B, B-C, C-D ve D-A) kararlı gaz ve kararlı sıvı halinin bulunmasından dolayı gerçek sonuçlarda aşırı tane büyümesi görülmüştür.

Teşekkür

Proje kapsamında yapılan çalışmalarda desteğini esirgemeyen FİGES Mühendisliğe teşekkür ederiz.

Referanslar

[1] Saha K, P., 2005, Alüminyum Ekstrüzyon Teknolojisi, ASM International.

[2] Leidenfrost, J.G., 1756. On the fixation of water in diverse fire (Trans. C. Wares, 1966). Int. J. Heat Mass Transf. 9, 1153-1166.

Deney Tasarımı Yöntemiyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi

Improvement of Aluminum Extrusion Process by Design of Experiment Method

Esra İncel, Fatih Zafer Zorlu
Asaş Alüminyum Sanayi

Abstract

Experiment design is a method determination of the factors having significant effect on the product quality of the selected characteristic of the response variable. This quality is evaluated to determine which levels of these factors to obtain the desired value of the characteristic. In order to form a stable production process, experimental design method is used to minimize losses of time and cost on production experiment. This study has served following strategic goals of Asaş Aluminum Industry and Trade Inc.: "use productively capacity, increase efficiency and productivity on production" and "achieve a high level of quality and provide stability". Taguchi Method which is one of the experimental design method is utilized to achieve this goal. Extrusion process is analyzed within the context of our study. Results were analyzed with MINITAB 16 statistical software program.

Özet

Deney tasarımı, bir ürünün seçilen kalite karakteristiği olan yanıt değişkeni üzerinde önemli etkiye sahip faktörlerin belirlendiği bir yöntemdir. Bu kalite karakteristiğinin istenilen değerde elde edilebilmesi için söz konusu faktörlerin hangi seviyelerde belirleneceği araştırılır. Kararlı bir üretim prosesi oluşturmak amacıyla deney yapımındaki zaman ve maliyet kayıplarını en aza indirmek için deney tasarımı yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışma Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.' nin şu stratejik hedeflerine hizmet etmiştir: "kapasiteyi verimli kullan, üretimde randıman ve verimliliği arttır" ve "yüksek kalite seviyesini yakala ve kararlılığı sağla". Bu hedefe ulaşabilmek için deney tasarımı yöntemlerinden biri olan Taguchi Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ekstrüzyon prosesi incelenmiştir. Sonuçlar MINITAB 16 istatistiksel paket programı ile analiz edilmiştir.

1.Giriş

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; düşük ağırlık, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyona karşı direnci, kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilme, geri dönüştürülebilme ve uygun mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle inşaat, kimya, gıda, ulaştırma (karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu taşıtları), elektrik ve elektronik, makine ve ekipman imalatı, ambalaj ve mobilya sektörlerinde kullanım alanına sahiptir.

Ekstrüzyon, biyet adı verilen metal bir bloğun basma kuvveti etkisiyle kendisinden daha küçük kesitli bir kalıp boşluğundan akmasının sağlandığı bir plastik şekillendirme yöntemidir. Ekstrüzyon dolaylı bir basma işlemidir. Dolaylı-bası kuvvetleri; kovan, kalıp ve iş parçası arasındaki tepkiden ortaya çıkmakta ve oldukça yüksek değere ulaşmaktadır [1]. Saf alüminyum mukavemet açısından çok yetersiz olduğundan endüstride alaşımlandırılarak kullanılır. En önemli alaşım elementleri ise silisyum, magnezyum ve bakırdır. Bu çalışmada 6XXX serisi alüminyum alaşımı incelenmiştir.

2.Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada 6005 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirmek için bir deney tasarımı yöntemi olan Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak her yanıt değişkeni için en yüksek değere hangi faktör ve seviye kombinasyonu ile ulaşılacağı belirlenmiştir. Taguchi deney tasarımı uygulaması 5 aşamada açıklanmıştır;

- Problemin belirlenmesi
- Faktör ve seviyelerin belirlenmesi
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi
- Deneyin uygulanması ve verilerin analizi
- Doğrulama deneyinin yapılması

2.1.Problemin Belirlenmesi

Müşteriler istediği ürün özelliklerini işletmeye göndererek siparişin değerlendirmesini istemektedir. Mevcut durumda teklif değerlendirme aşamasında müşterilerin standart dışı mekanik özellik taleplerine cevap verebilmek için teklif değerlendirme ekiplerinin eski verileri incelemesine veya tecrübeye gereksinim duyulmaktadır. Yıllık gelen siparişlerin %5' inde standart dışı mekanik özellikler

istenmektedir. Teklif değerlendirme bölümü bu tekliflere her durumda zamanında ve yeterli cevabı verememektedir. Her talep için deneme üretimi yapılması maliyet ve zaman açısından mümkün olmamaktadır. Bu aksaklığı gidermek amacıyla 6005 alaşımı ile üretilen profillerin en yüksek akma, çekme, uzama, sertlik ve elektrik iletkenliği elde edilebilmesi için üretimde hangi parametrelerin kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

2.2. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

Ürünün mekanik özelliklerini etkileyen 5 faktör ve bu faktörlere ait 4 seviye Çizelge 1' de bulunmaktadır.

Çizelge 1. Faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Seviyeler
Hız	5 ile 17 m/dk aralığında 4 seviye
Soğutma tipi	• normal hava, • kuvvetli hava, • sprey su ve • su havuzu olmak üzere 4 seviye
Termik süre	2 saat ile 12 saat aralığında 4 seviye
Termik sıcaklık	100 °C ile 200 °C aralığında 4 seviye
Biyet sıcaklığı	400 °C ile 600 °C aralığında 4 seviye

2.3. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Buna göre v faktörünün serbestlik derecesi ve k faktöre ait seviye sayısı olmak üzere i. faktörün serbestlik derecesi;

$$v_i = k_i - 1 \quad (1)$$

Eşit seviyede n faktörün toplam serbestlik derecesi de

$$v_T = \sum v_i = n * v_i = N - 1 \quad (2)$$

eşitliğinden bulunur (N: toplam deneme sayısıdır).

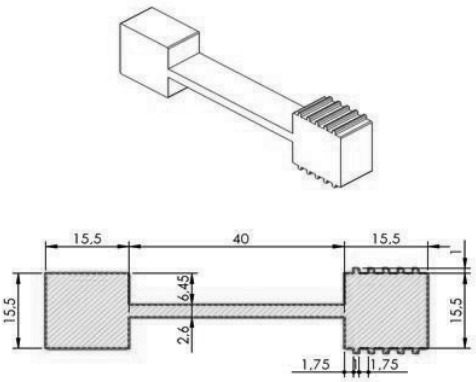
Bu çalışmadaki beş faktörün hepsi dört seviyeli olduğundan her faktörün serbestlik derecesi eşittir. Formül (1)' e göre bütün faktörlerin serbestlik derecesi 3 ve toplam serbestlik derecesi olan v_T değeri 15 olarak bulunur. Bulunan toplam serbestlik derecesi değerine göre Çizelge 2' de dizilimi bulunan L_{16}ortogonal dizisi seçilmiştir.

Çizelge 2: L_{16} ortogonal dizisi.

Deney No	FAKTÖRLER				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

2.4. Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi

Deneyde kullanılan biyetin kimyasal bileşimi için TS EN 573-3 (Alüminyum ve alüminyum alaşımları- Kimyasal bileşim ve biçimlendirilebilir ürünlerin şekli - Bölüm 3: Kimyasal bileşim) standardında belirtilen değerler referans olarak alınmıştır. Kullanılan profilin teknik çizimi Şekil 1' de bulunmaktadır. Profilde 2,6 mm ve 15,5 mm olmak üzere 2 farklı et kalınlığı bulunmaktadır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan profilin teknik çizimi.

Yanıt değişkeni için 3 farklı numuneden ölçüm yapılarak ortalama değer elde edilmiştir. Tüm yanıt değişkenlerinin en yüksek değere ulaşması istendiği için "daha büyük daha iyi" fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen değerler MINITAB 16 programı kullanılarak analiz edilmiştir

Akma sonuçları

2,6 mm et kalınlığı için bulunan akma değerleri Çizelge 3' te bulunmaktadır. 15,5 mm için elde edilen sonuçlar 2,6 mm et kalınlığı ile bulunan sonuçlarla benzerlik göstermektedir. MİNİTAB programından elde edilen sonuç Çizelge 4' te gösterilmiştir.

Çizelge 3: 2,6 mm için akma yanıt değişkeni değeri.

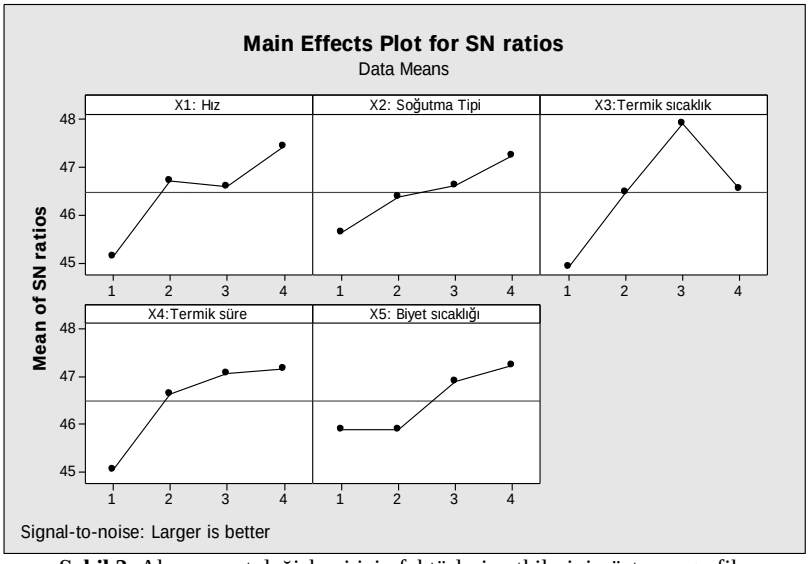
Deney No	Ortalama Akma Değeri
1	109,26
2	170,47
3	244,11
4	235,19
5	230,06
6	203,92
7	176,82
8	266,54
9	231,3
10	213,23
11	202,59
12	208,83
13	230,84
14	255,13
15	243,76
16	215,79

Çizelge 4: Akma (et kalınlığı 2,6 mm) verileri S/N oranına göre elde edilen sonuçlar.

Seviye	X_1 Hız	X_2 Soğutma Tipi	X_3 Termik sıcaklık	X_4 Termik süre	X_5 Biyet sıcaklığı
1	45,15	45,64	44,94	45,06	45,90
2	46,72	46,38	46,50	46,64	45,89
3	46,60	46,64	47,92	47,06	46,90
4	47,46	47,26	46,56	47,16	47,23
Delta	2,31	1,62	2,98	2,10	1,35
Rank	2	4	1	3	5

Şekil 2' de profilin akma değerini en çok etkileyen faktörün termik sıcaklık olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla hız, termik süre, soğutma tipi ve biyet sıcaklığı etken faktör olarak rol oynadığı tespit edilmiştir. Akma değeri hız, soğutma tipi, termik süre ve biyet sıcaklığı değerleri ile doğru orantılıdır. Termik sıcaklık değeri üçüncü seviyeye kadar artan, üçüncü seviyeden sonra azalan bir doğru şeklindedir. Ekstrüzyon hızının ve termik sıcaklığın (üçüncü seviyeye kadar) artışı profil akma değerinde yüksek bir artışa sebep olurken biyet sıcaklığındaki artış profil akma değerine aynı oranda yansımamaktadır.

Benzer şekilde diğer yanıt değişkenleri için grafikler elde edilerek yorumlanmıştır.



Şekil 2. Akma yanıt değişkeni için faktörlerin etkilerini gösteren grafik.

2.5. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Taguchi yönteminden elde edilen sonuçlara göre (Çizelge 5) üretim gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5: Doğrulama deneyi faktör ve seviyeleri.

Değişkenler		X_1 Hız	X_2 Soğutma Tipi	X_3 Termik Sıcaklık	X_4 Termik süre	X_5 Biyet sıcaklığı
Akma	Seviye	4	4	3	4	4
Çekme	Seviye	4	4	3	4	4
Uzama	Seviye	3	1	1	1	4
Sertlik	Seviye	4	4	3	4	4
Elektrik İletkenliği	Seviye	1	1	4	4	1

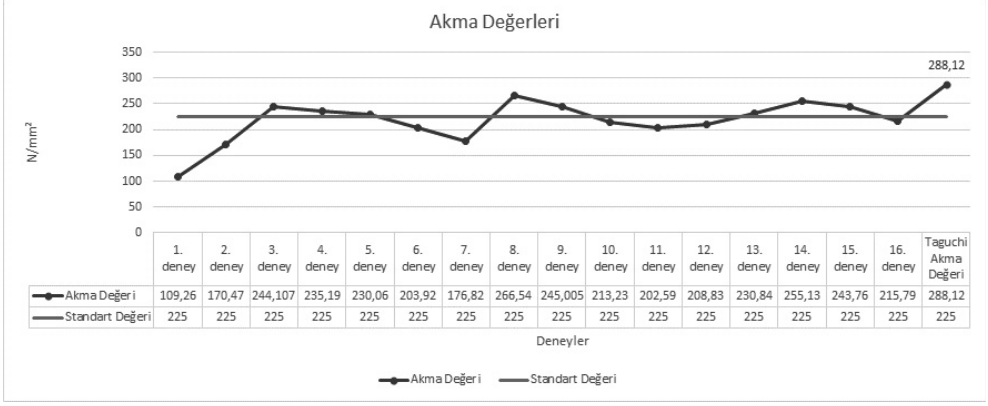
3. Sonuçlar

Akma, çekme ve uzama yanıt değişkeni için 16 deneyin sonucu ve doğrulama deneyinin sonucu Şekil 3-5' te bulunmaktadır. TS EN 755-2 standardındaki kabul edilebilir en küçük değer grafiklerde belirtilmiştir. Sertlik ve elektrik iletkenliği için belirli bir değer sınırlaması bulunmamaktadır. Sertlik ve elektrik iletkenliği yanıt değişkeni için 16 deneyin sonucu ve doğrulama deneyinin sonucu Şekil 7 ve Şekil 8' de bulunmaktadır.

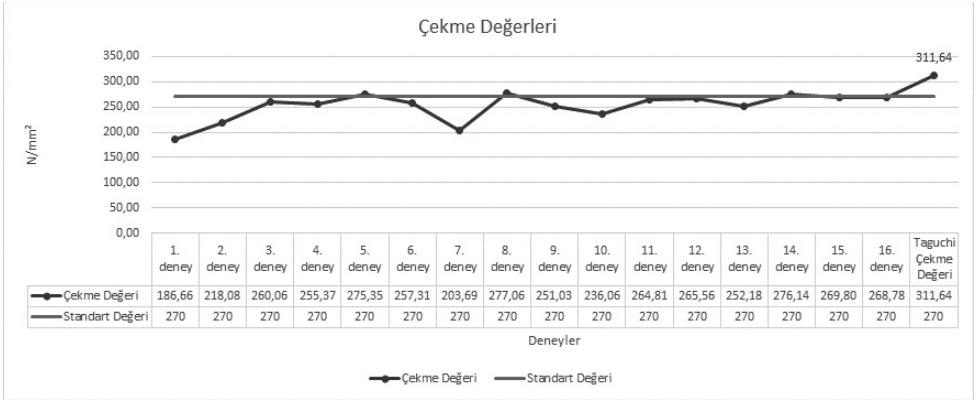
Sonuç olarak belirlenen her faktörün etkili olduğu görülmüştür. Doğrulama deneyi sonucunda bulunan değerler, işletmede daha önce 6005 alaşımı ile üretilen profillerin mekanik özellikleri ile karşılaştırıldığında daha önce elde edilmemiş mekanik özelliklere ulaşıldığı görülmüştür.

Ürün ve prosese yönelik kalite karakteristiklerinin eniyilenmesinde Taguchi metodu etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Maliyet ve deney sürelerinden sağlanan kazanç endüstriyel uygulamalar için iyi bir çözüm niteliğindedir.

6005 alaşımı ile yapılan bu çalışmanın devamında işletmede kullanılan diğer alaşımlar içinde uygulanması ve elde edilen sonuçlara göre alaşım bazlı mekanik özellikler diyagramı oluşturulması hedeflenmektedir.

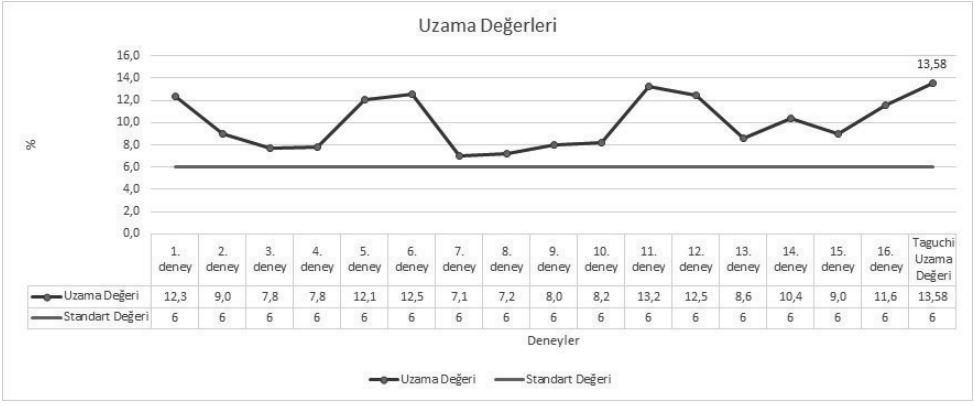


Şekil 3: Akma yanıtının 16 deney ve doğrulama deneyi için değerleri.



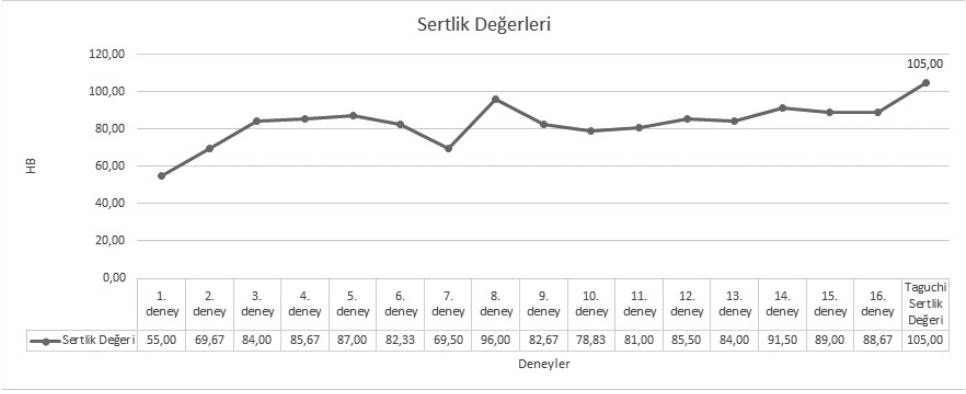
	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney	10. deney	11. deney	12. deney	13. deney	14. deney	15. deney	16. deney	Taguchi Çekme Değeri
Çekme Değeri	186,66	218,08	260,06	255,37	275,35	257,31	203,69	277,06	251,03	236,06	264,81	265,56	252,18	276,14	269,80	268,78	311,64
Standart Değeri	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270

Şekil 4: Çekme yanıtının 16 deney ve doğrulama deneyi için değerleri.



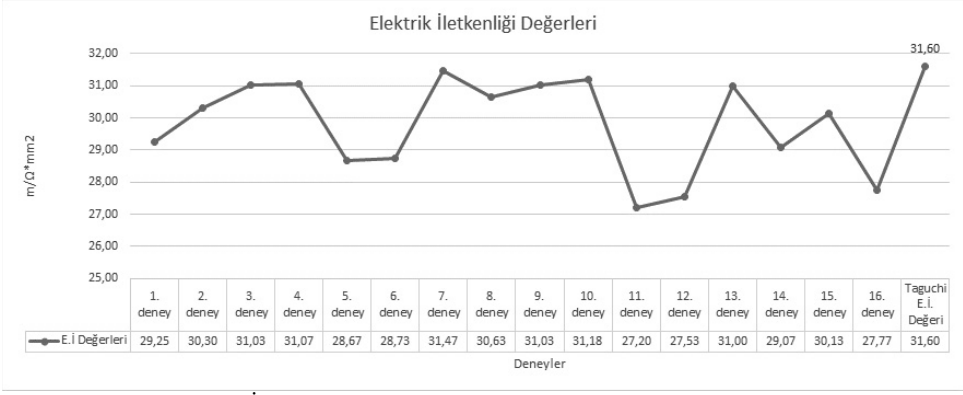
	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney	10. deney	11. deney	12. deney	13. deney	14. deney	15. deney	16. deney	Taguchi Uzama Değeri
Uzama Değeri	12,3	9,0	7,8	7,8	12,1	12,5	7,1	7,2	8,0	8,2	13,2	12,5	8,6	10,4	9,0	11,6	13,58
Standart Değeri	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Şekil 5. Uzama yanıtının 16 deney ve doğrulama deneyi için değerleri.



	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney	10. deney	11. deney	12. deney	13. deney	14. deney	15. deney	16. deney	Taguchi Sertlik Değeri
Sertlik Değeri	55,00	69,67	84,00	85,67	87,00	82,33	69,50	96,00	82,67	78,83	81,00	85,50	84,00	91,50	89,00	88,67	105,00

Şekil 6. Sertlik yanıtının 16 deney ve doğrulama deneyi için değerleri.



Şekil 7. Elektrik İletkenliği yanıtının 16 deney ve doğrulama deneyi için değerleri.

Teşekkür

Bu bildiri Yrd.Doç.Dr. Kadriye Ergün tarafından danışmanlığı yapılan Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği yüksek lisans programındaki tezimin bir bölümüdür. 2210-D sanayiye yönelik yurt içi yüksek lisans burs programı kapsamında bu çalışma ile lisansüstü eğitimimi destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)' na teşekkürlerimi sunarım.

Referanslar

[1] P.K. Saha, Alüminyum Ekstrüzyon Teknolojisi. (çev. E. Keleşoğlu ve Y. Erarslan), 2005, İstanbul

[2] E. İncel, Deney Tasarımı ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2016, Balıkesir, Türkiye.

Alüminyum Sürekli Levha Dökümü, Soğuk Haddeleme ve Isıl İşlem Prosesleri Sonrasında Levha Kesitinde Elementel Dağılımın İncelenmesi

Investigation of Elemental Distribution in the Sheet Cut After Aluminum Continuous Plate Casting, Cold Rolling and Heat Treatment Processes

Eda Dağdelen[1], Ali Ulus[1], Sadık Kaan İpek[1], Hamdi Ekici[1], Zafer Çağatay Öter[2], Ebubekir Koç[2]

[1]Teknik Alüminyum Sanayi, [2]FSMVÜ Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Abstract

Aluminum; It is used in millions of different products in very different industries thanks to its lightness, sufficient strength when it is alloyed, high elasticity, recyclability, high corrosion resistance, easy workability, high heat and electrical conductivity, high heat reflectivity and environmental friendliness. Casted coils produced by twin roll casting process through cold rolling process are converted into flat plates or rolled products in order to provide the desired thickness, surface quality, mechanical and metallurgical properties. The amount of deformation applied to the material by the rolling process changes the internal structure of the material. Besides, the phase distribution / elemental distribution in aluminum sheets is an important metallurgical condition affecting the final mechanical properties as well as determining the character of the structure. Aluminum low strength values can be increased considerably by alloying with other metals. The most important alloying elements for aluminum are Cu, Mg, Si, Mn, Fe and Zn. In this study, elemental analysis distributions were investigated depending on the amount of mechanical deformation in rolling alloys, heat treatment temperature and durations also process differences.

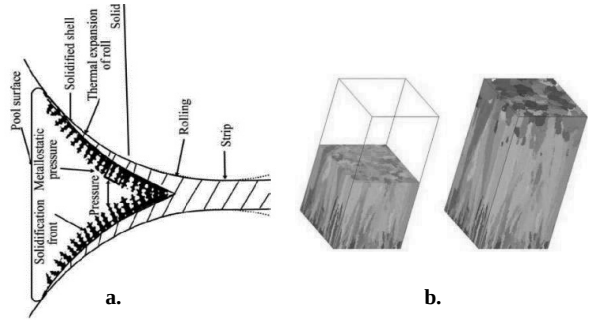
Özet

Alüminyum; hafiflik, hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti sağlama, yüksek elastisite, geri dönüştürülebilirlik, yüksek korozyon direnci, kolay işlenebilirlik, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, ışık ve ısı yansıtıcılığı, çevreci olma özellikleri sayesinde çok farklı endüstrilerde milyonlarca farklı üründe kullanılmaktadır. Soğuk haddeleme işlemi vasıtasıyla ikiz merdaneli döküm yöntemiyle üretilen dökme rulolar, istenen kalınlık, yüzey kalitesi, mekanik ve metalürjik özellikleri sağlayacak şekilde düz plakaya veya haddelenmiş ürün haline getirilmektedir. Haddeleme işlemi ile malzemeye uygulanan deformasyon miktarı malzemenin iç yapısında değişimler sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, alüminyum levhalarda faz dağılımı /elementel dağılım, yapının karakteristiğini belirlemesinin yanında nihai mekanik özellikleri etkileyen önemli bir metalürjik durumdur. Alüminyum düşük mukavemet değerleri, diğer metallerle alaşımlandırma yapılarak oldukça yükseltilebilmektedir. Alüminyum için en önemli alaşım elmentleri Cu, Mg, Si, Mn, Fe ve Zn 'dur. Bu çalışmada, dövme alaşımlarında mekanik deformasyon miktarına, ısıl işlem sıcaklığı ve süresine, proses farklılıklarına bağlı olarak elementel analiz dağılımları incelenmiştir.

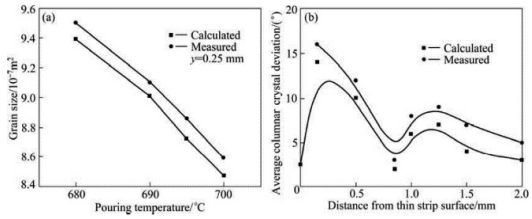
1. Giriş

İkiz merdaneli döküm yöntemi rulo ve geniş en levha üretim yöntemleri arasında nihai forma en yakın üretim yöntemlerinden biridir. Nihai ürüne en yakın üretim yöntemi olmasının bir avantajı da diğer yöntemlere göre birçok ara prosese gerek bırakmaması ve bu nedenden ötürü enerji kazanımına neden olmasıdır. İkiz merdaneli döküm yönteminde soğutma hızının çok yüksek olması nedeniyle mikro yapı ve malzeme karakteristikleri diğer döküm yöntemlerine göre bazı avantajlar ve dezavantajlar sağlamaktadır [1-2]. Yarı katı bölgesinde malzemenin yüksek basınçlar altında ezilmesi ile mekanik özellikler ve uzama dayanımı artmaktadır. İkiz merdaneli döküm yönteminde üretilen malzemelerin yapısal değişimlerinin incelenmesi istenilen nihai mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için kontrol altında olması gerekmektedir. Mikro değişimlerin nihai mekanik özellikler ve işlenebilirlik davranışlarına etkisi oldukça fazladır.

İkiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilen alaşımların katılaşma aralıkları ve ara faz bileşenleri düşünüldüğünde [3], katılaşma hızları arasındaki farklardan ötürü mikro segregasyon ve faz yönlenmelerinde değişimler görülmesi beklenen bir sonuçtur. Faz dağılımlarının farklı tav ve hadde parametrelerine göre değişimi ve yönlenmeleri ile nihai mekanik özellikler ve şekillendirilebilirdik kabiliyetleri tanımlanmaktadır. Şekil 1'de katılaşma davranışı gösterilmiştir.



Şekil 1: (a) Merdaneler arasındaki bölge tanımları ve katılaşma rejiminin gösterimi, (b) 5 sn süre içerisinde 0,8 m/dk döküm hızında, 690 °C' de alınan veriler [2].



Şekil 2: Katılaşma sonrasında tane boyutunun Operasyon sıcaklığına ve süresine bağlı gösterimi [2].

Kullanılan merdaneler soğutma suyu ile soğutulmasından ötürü ilk katılaşmanın gerçekleşmesi için başlangıç noktası oluşturmaktadır. Katılaşmanın devamında basıncın etkisi ile iki bölge yarı katı formda birbirleri ile buluşmaktadır. Faz dönüşümü ilk olarak alüminyumun yüzeyde bir pasif oksit filimi yaratması ile gerçekleşmektedir. Merdane/sıvı metal ara yüzeyinde oluşan bu ani reaksiyon α-Al dendritlerinin büyümeye çalışmasıyla devam etmektedir. Yapı içerisinde disperse veya kısmi çözünme gösteren alaşım elementleri sıvının faz dönüşüm sıcaklıklarını düşürdüğü için bu fazlar orta bölgeye doğru segrege olmaktadır. Nihai levha ürünlerinin mikro yapı analizleri gerçekleştirildiğinde; katılaşma profiline bağlı olarak merkez bölgede diğer alaşım elementlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca katılaşma hızına bağlı olarak levhanın dış bölgesi ile iç bölgesi arasındaki oluşacak sıcaklık farkı ve katılaşma sırasındaki hacimsel farktan ötürü oluşan mekanik etki, sıcaklık farkına bağlı fazların bu bölgeye ani disperse olması gibi nedenlerle merkez hattı segregasyonu olarak tanımlanan bu yöntemde en çok karşılaşılan segregasyon tipi oluşmaktadır [4]. 1050 alaşımın katılaşması sırasında gerçekleştirdiği faz dönüşümleri ve oluşan faz bileşenleri Çizelge 1' de görülebilir.

Çizelge 1: 1050 alaşım katılaşması sırasında gerçekleşen faz dönüşümleri ve farklı soğutma hızlarındaki oluşum sıcaklıkları [3].

Reaction	Temperatures (°C) at a cooling rate		
	0.4 K/s	1.2 K/s	18 K/s
$L \Rightarrow (Al)$	659	659	659
$L \Rightarrow (Al) + Al_3Fe$	650	649	647
$L + Al_3Fe \Rightarrow (Al) + Al_8Fe_2Si$	–	642–638	630
Solidus	642	638	630

Hızlı soğutmanın etkisi oluşacak faz yapılarının aşırı doygun olmasına neden olmaktadır. Alaşım ve kompozisyona bağlı katılaşma hızlarının değişmesinden dolayı malzemelerin nihai mekanik özelliklerine hızlı katılaşmanın etkisi fazladır. Oluşan faz yapıları ve bileşenleri katılaşma profiline göre değişebilmektedir.

Yüksek entropi değişimi sonrasında malzeme içerisinde oluşan iç gerilmelerin azaltılması ve iç yapıdaki fazların düzenlenmesi ile istenilen nihai mekanik özellikler sağlanmaktadır. İstenilen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için farklı kalınlıklarda tavlama operasyonu gerçekleştirilebilir. Farklı tav operasyonlarına bağlı olarak faz yönlenmeleri ve segregasyon davranışları değişmektedir. İkiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilen malzemelerin soğuk hadde operasyonu sırasında merkez hattı segregasyonu ince kalınlıklarda ekstra gerilim noktası oluşturmadığı, aksine α-Al dendritlerinin soğuk haddeleme ile beraber bu ötektik benzeri yapının etrafına sıvandığı ve kopmanın segregasyon üzerinden gerçekleştiğini Grass, Puchi ve Saeter tarafından yürütülen çalışmalarca belirtilmiştir [6-7-8].

2. Deneysel Çalışmalar

Döküm, hadde ve tav operasyonlarına bağlı mikro yapı değişimi ve faz yönlenmesinin incelenmesi için 6 mm döküm kalınlığında 1050, 3005,3105, 8006 alaşımlı malzemelerin ikiz merdaneli döküm prosesi sırasında dökme levhanın orta bölgesinden numune alımları gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler Çizelge21' de belirtilen serilere bağlı olarak prosesleri laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiş ve klasik metalografi işlemleri ile mikro, makro yapı görüntüleri incelenmiştir.

Çizelge 2: Mikroyapı ve elementel dağılım incelemeleri için 1050, 3105, 3005, 8006 alaşımlarında gerçekleştirilen farklı hadde ve tav prosesleri.

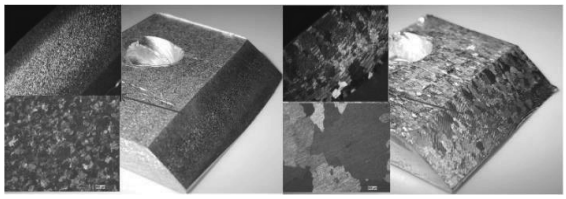
Proses
6 mm
6mm- Homojen Tav
6 mm- Homojen Tav- 1 mm
6 mm- Homojen Tav- 1 mm- Son Tav
6 mm- 1 mm
6 mm- 1 mm- Son Tav

Döküm kalınlığındaki numunelere ortak 520 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle homojen tavlama operasyonu gerçekleştirilmiştir Son tav sıcaklıkları her malzemenin H14 kondisyonda olacak şekilde ayarlanmıştır. Dökme rulo kalınlığında incelenen malzemelerin farklı kalınlık katmanlarındaki kimyasal kompozisyonları spektrometre analizi ile gerçekleştirilmiştir. Kimyasal kompozisyonun yarı kantitatif olarak incelenen bölgede elementel dağılımının yorumlanabilmesi için EDS haritalama yöntemi kullanılmış ve numuneler elektron mikroskobunda incelenmiştir. Ana faz yapısında bulunan ve alaşım değişikliği yaşanabilecek elementler tüm alaşımlar için tek tek ve birlikte olacak şekilde 300x büyütmede 15 kV değerde incelenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

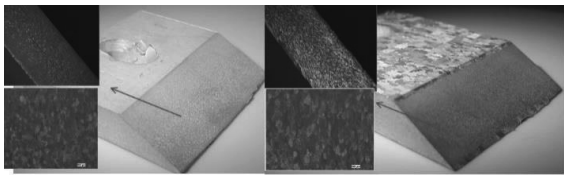
3.1 Makro ve Mikro Yapı Görüntüleri, EDS Elementel Dağılım ve Yorumlar

Malzemelerin 6 mm kalınlıkta çapraz kesit alınarak her bölgesi keller çözeltisinde makro olarak dağlanmıştır. Dağlama operasyonu sonrasında makro görüntüler, stereo görüntüleri ve mikro yapı görselleriyle desteklenmiştir. Şekil 3,4,5 ve 6'da dökme levhaların makro ve mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



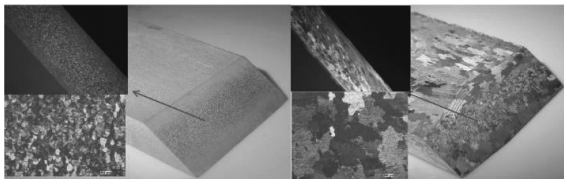
a. **b.**

Şekil 3: 1050 alaşım serisinin döküm kalınlığında (a) tavsız , (b) homojen tav görmüş halinin mikroyapı incelemeleri



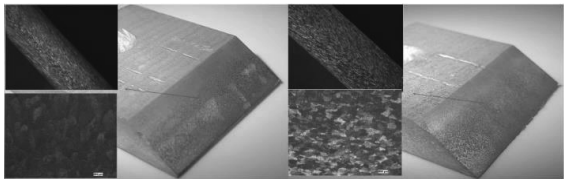
a. **b.**

Şekil 4: 3005 alaşım serisinin döküm kalınlığında (a) tavsız , (b) homojen tav görmüş halinin mikro yapı incelemeleri



a. **b.**

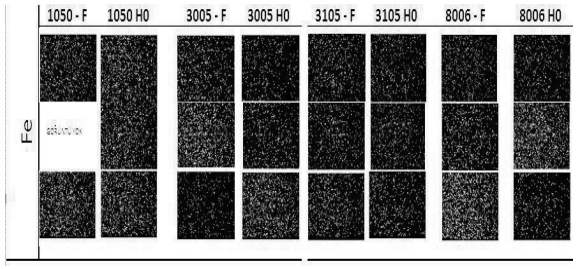
Şekil 5: 3105 alaşım serisinin döküm kalınlığında (a) tavsız , (b) homojen tav görmüş halinin mikro yapı incelemeleri



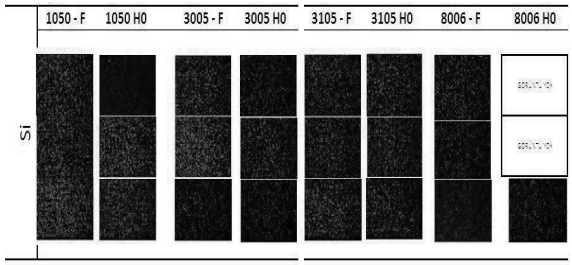
a. **b.**

Şekil 6: 8006 alaşım serisinin döküm kalınlığında (a) tavsız , (b) homojen tav görmüş halinin mikro yapı incelemeleri

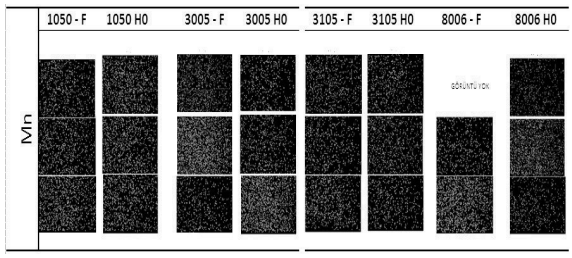
Şekil 3 – 6 aralığında alaşımların 6 mm döküm kalınlığında dökülmüş hallerinin tavsız ve homojen tavlı olarak görsellerine dikkat edildiğinde; homojen tav kaynaklı yeniden kristalleşme sonucu tane büyümesini gördüğümüz alaşımlar 1050 ve 3105 olarak karşımıza çıkmaktadır. Makro görüntülerden de anlaşılacağı üzere tane büyümesi ilk olarak dış çeperlerden gerçekleşmekte ve merkeze doğru ilerlemektedir. 3005 serisi malzeme homojen tav sıcaklığında dış çeper bölgelerinin etkilendiği ancak yapının tamamen yeniden kristalleşmeye geçmesi için daha uzun süreye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. 3005, 3105 ve 8006 serilerinin 45 ° kesitine dikkat edildiğinde merkez hattı segregasyonu makro görüntülerde mevcuttur. Homojen tav sonrasında tane irileşme mekanizması 1050 alaşımda her bölgede homojen olarak gerçekleşirken, 3105 ve 3005 alaşımda deformasyona en hızlı uğrayan bölgelerden, 8006 alaşımda ise merkez hattı segregasyonu olan bölgede tane irileşmesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Homojen tav operasyonu sonrasında 6 mm döküm kalınlığında alaşımların hadde yönüne dik kesitinden incelenen kimyasal kompozisyon değişimi ve yönlenmeleri Şekil 7 – 8 – 9 ve 10'da gösterilmektedir.



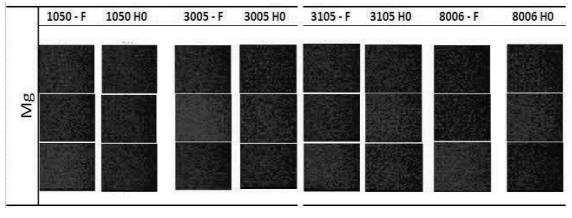
Şekil 7: Döküm kalınlığında; tavsız ve tavlanmış malzemelerin kesit bölgelerinin elementel (Fe) analizi.



Şekil 8: Döküm kalınlığında; tavsız ve tavlanmış malzemelerin kesit bölgelerinin elementel (Si) analizi.



Şekil 9: Döküm kalınlığında; tavsız ve tavlanmış malzemelerin kesit bölgelerinin elementel (Mn) analizi.



Şekil 10: Döküm kalınlığında; tavsız ve tavlanmış malzemelerin kesit bölgelerinin elementel (Mg) analizi.

EDS haritalama yöntemi ile incelenen malzemenin kesit boyunca alaşım farklılıklarına dikkat edildiğinde aşağıda belirtilen konular dikkat çekmektedir:

- 1050 alaşım içerisinde alaşım elementi ilavesinin çok düşük olması sebebiyle toplanan verilerin homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Homojen tav sonrasında bölgesel olarak demir ve silis verilerinin bir arada daha güçlü sinyaller vermesi bizi yeniden kristalleşme sırasında demir ve silisin tane sınırlarına difüze olduğu yorumuna götürmektedir [9].

- 3005 serisinde demir için toplanan veriler homojen tav operasyonu sonrasında malzemenin merkez kesitinden alt kesitine segrege olduğu ve bu bölgede tane sınırlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

- 8006 alaşımın homojen tav sıcaklığı sonrasında demirin merkez bölgeye segrege olduğu görülmektedir. Makro görsel değerlendirildiği taktirde 8006 alaşımının tane büyümesinin merkez hattından başladığı görülmüştür.

Çizelge 3: 3xxx serilerinde Al – Mn yapısında Fe ve Si olması durumunda katılaşma sırasında gerçekleşebilecek reaksiyonlar ve faz bileşenleri [3].

$L \Rightarrow (Al)$	652–648	652–649
$L \Rightarrow (Al) + Al_6(FeMn)$	644–643	639
$L + Al_6(FeMn) \Rightarrow (Al) + Al_{15}(FeMn)_3Si_2$	630	630
$L \Rightarrow (Al) + Al_{15}(FeMn)_3Si_2 + Mg_2Si$	587	586
Solidus	583	580

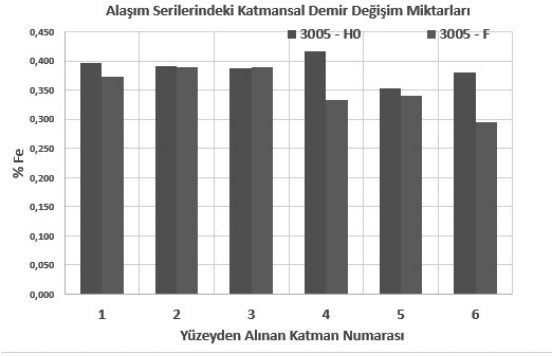
Tablo 2' de verilen faz bileşenleri değerlendirildiğinde katılaşma sırasında Al_6Mn fazı $Al_6(FeMn)$ yapısı ile yer değiştirmektedir. Ve ardından demir ve silisin artmasıyla diğer fazlar oluşmaktadır. $Al_6(FeMn)$ fazı homojen tav sonrasında daha kararlı olan $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ fazına dönüşmektedir [3].

- Oluşan $Al_6(FeMn)$ ve $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ fazlarından ötürü Fe ve Mn elementlerinin homojen tav sonrası difüzyon mekanizmaları 3005 ve 8006 alaşımlarda bariz bir şekilde benzediği görülmektedir. Bu durum bu iki fazın birlikte difüze olduğunu göstermektedir.

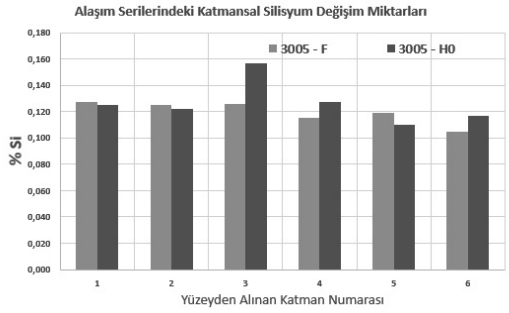
- 3005 alaşımda homojen tav sonrası Fe ve Mn bileşimleri alt kesite yönlenmesi gerçekleşirken, 8006 alaşımda tam tersi olarak homojen tav sonrası alt kesitte yoğunlaşan Fe ve Mn bileşimleri merkez hattına segrege olduğu görülmektedir.

- Silisyum elementinin yapısı incelendiğinde alaşımlarda tavsız dökme rulo yapısında bölgesel olarak merkez ve alt kesitte yoğun olarak gözükmektedir. Homojen tav sonrasında tüm alaşımlar içerisinde bölgelere homojen yayılım gösterme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum literatürde artan soğutma oranlarına bağlı olarak yapı içerisinde silisyumun taşınımını kolaylaştıracak $Al_8FeMg_3Si_6$ fazlarının bulunmasından kaynaklandığı söylenmektedir [3-10]

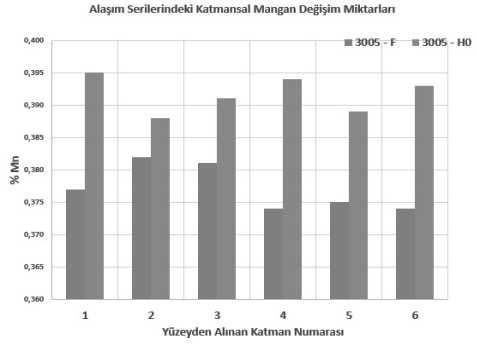
EDS haritalama yönteminde, malzeme yüzeyinden yansıyan elektronun, dedektörler tarafından algılanması ile incelemeler gerçekleştirilmesinden ötürü kantitatif olarak analiz gerçekleştirmek olası değildir. Yarı kantitatif olarak sonuçların doğrulanması adına 3005 alaşımda döküm kalınlığında incelenen malzemelere yüzeylerinden katmansal olarak spektral analiz gerçekleştirilmiş ve katmanlar arasındaki kimyasal kompozisyon değişimi % bileşimi olarak incelenmiştir. İncelemelere ait katmanlardaki % alaşım değerleri Grafik 1-4 aralığında gösterilmiştir.



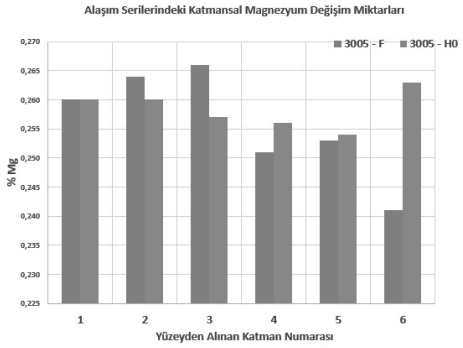
Grafik 1: 3005 alaşım serisinin döküm kalınlığında, H0 (homojen tavlı) ve F (tavsız) kondüsyonlarında katmansal % Fe değişimi.



Grafik 2: 3005 alaşım serisinin döküm kalınlığında, H0 (homojen tavlı) ve F (tavsız) kondüsyonlarında katmansal % Si değişimi.



Grafik 3: 3005 alaşım serisinin döküm kalınlığında, H0 (homojen tavlı) ve F (tavsız) kondüsyonlarında katmansal % Mn değişimi.



Grafik 4: 3005 alaşım serisinin döküm kalınlığında, H0 (homojen tavlı) ve F (tavsız) kondüsyonlarında katmansal % Mg değişimi.

Yüzeyden katmansal spektral analiz ile % kimyasal kompozisyon tayininde incelenen malzemenin kesit boyunca alaşım farklılıklarına bağlı olarak aşağıda belirtilen konular değerlendirilebilir.

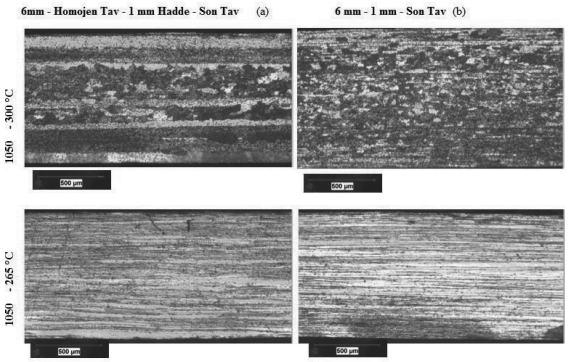
- 3005 alaşım için demir bileşimi yüzeyden merkez bölgeye gidildikçe tavsız ve homojen tavlı kondüsyonlar için azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 7' de belirtilen EDS haritalama yöntemi ile paralel sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Tavsız kondüsyon için demir (Fe) elementinin üst katman ve merkez katmanda daha fazla olduğu görülürken, homojen tav ile birlikte demir alt kesitlerde tane sınırlarına segrege olmaktadır. Grafik 1' de belirtilen değerlere istinaden 6. Kesite yaklaştıkça homojen tavlı malzemede demir bileşiminin kısmen arttığı gözlemlenebilir.

- Benzer şekilde Si değerleri incelendiğinde homojen tav operasyonu sonrasında Si elementinin disperse olarak alt ve üst yüzeye istinaden merkez kesitte daha fazla bulunduğu Şekil 8' de görülebilir.

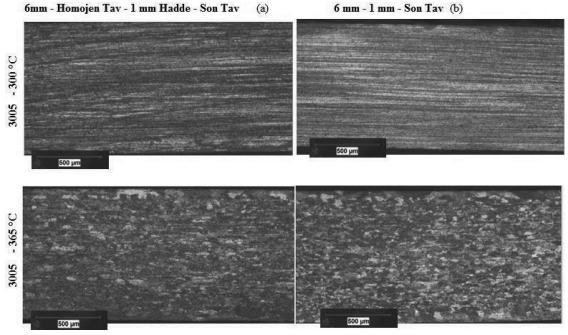
- Şekil 9 değerlendirildiğinde döküm kalınlığında tavsız malzemede Mn elementi merkez bölgede bulunurken homojen tav sonrasında alt kesite Fe elementi ile birlikte segrege olmaktadır. Grafik 3 değerlendirildiğinde benzer sonuçlar spektral analiz sonuçlarında gözükmektedir.

- Homojen tavlı bileşimde tüm kesitlerde daha homojen bir karışıma sahip olmasına istinaden Mg tavsız olarak incelenen numunede yüzeyden içeriye gidildikçe % kimyasal bileşim olarak azaldığı gözükmektedir. Grafik 4 ve Şekil 10' da belirtilen % kimyasal bileşim değişim grafiği ve elementel haritalama yöntemi birbirleri ile paralellik göstermektedir. Katmansal spektral analiz ölçümleri elementel dağılımı ve segregasyonu yansıtmaktadır.

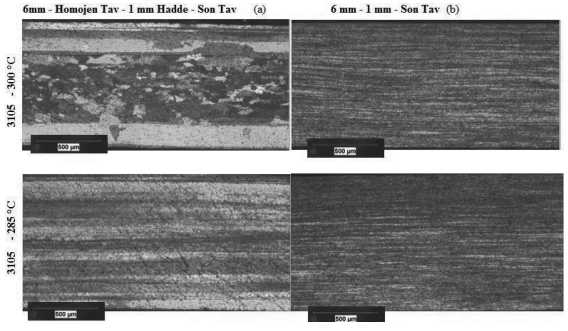
3.2. Döküm Sonrası 1 mm Kalınlığa Haddelenmiş ve Son Tav İşlemine Tabi Tutulmuş Numunelerin Mikro Yapı Görüntüleri, EDS Elementel Dağılımları ve Yorumlar



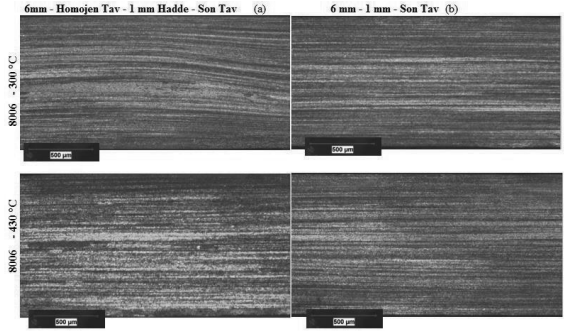
Şekil 11: 1050 alaşımına ait proseslerde mikro yapı görüntüleri



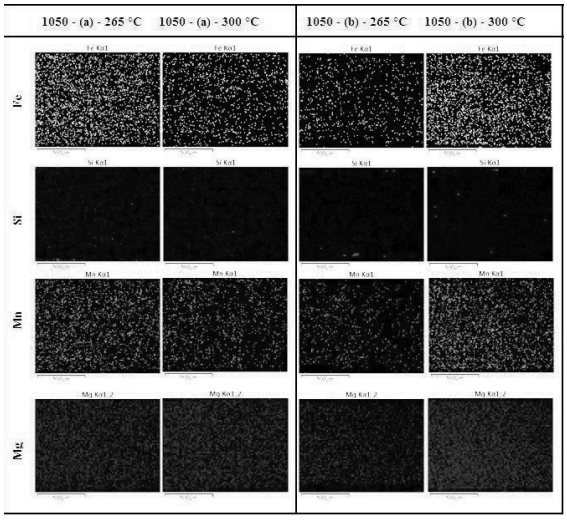
Şekil 12: 3005 alaşımına ait proseslerde mikro yapı görüntüleri



Şekil 13: 3105 alaşımına ait proseslerde mikro yapı görüntüleri



Şekil 14: 8006 alaşımına ait proseslerde mikro yapı görüntüleri



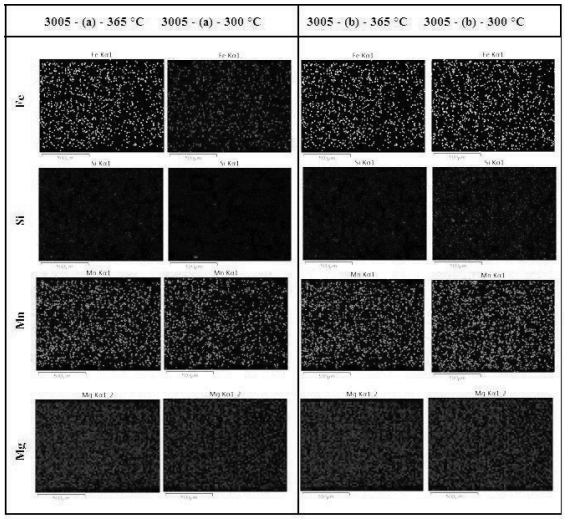
Şekil 15: A ve B proseslerini tamamlamış, 1050 alaşıma ait EDS haritalama yöntemi ile tayin edilen elementel analiz değerleri.

1 mm malzemelerin farklı proseslere bağlı olarak mikroyapı görüntüleri incelendiğinde;

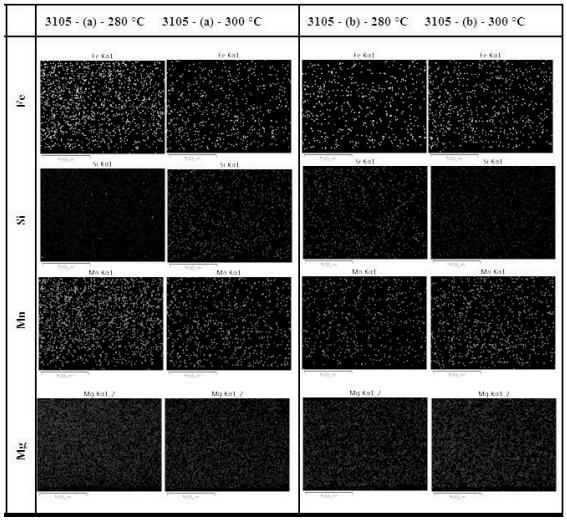
- Dökme rulo kalınlığında homojen tav görmüş malzemenin, görmemiş malzemeye oranla daha fazla yeniden kristallendiği gözükmektedir. Alaşım elementleri içerisinde elementel olarak incelendiğinde tüm faz bileşenlerinin homojen bir yapıda bulunduğu görülmektedir.

- 1 mm plakalarda segregasyon dökme rulolarda görüldüğü kadar etkili olmadığı elementel haritalama yönteminde ortaya çıkmaktadır.

- Artan son tav sıcaklıkları ile birlikte tane sınırlarına disperse olan demir ve mangan bileşikleri 1 mm kalınlıktaki alüminyum levha üzerinde EDS haritalama yöntemine göre sonuç taşımamaktadır.



Şekil 16: A ve B proseslerini tamamlamış, 3005 alaşıma ait EDS haritalama yöntemi ile tayin edilen elementel analiz değerleri.



Şekil 17: A ve B proseslerini tamamlamış, 1050 alaşıma ait EDS haritalama yöntemi ile tayin edilen elementel analiz değerleri.

Referanslar

[1] S.D. Chen, J.C. Chen, "Solidification of microstructures in solidification of aluminum twin roll casting", Trans. Nonferrous Met. Soc. China pp. 1452-1456, (2002)

[2] Yang Ming-bo, Pan Fu-Sheng. Analysis about forming mechanism of equaxed crystal zone for 1Cr18Ni 9Ti stainless steel twin roll thin strip, Journal of Materials Processing Technology, 209:2203-2211, (2009)

[3] Nikolay A. Belov, Dmitry G. Eskin, Andrey A. Aksenov, (Multicomponent Phase Diagrams: Application for Commercial Aluminum Alloys, Elsevier Science, (2005)

[4] W. Kurz, B.Giovanola, Theory of micro structural development during rapid solidification, Acta Metall, 34: 823-830, (1986)

[5] G. Bereket, H. Gerengi, "How truly electrochemical measurements are evaluated in corrosion researches?" Korozyon 21(1-3) pp. 33-44 (2015)

[6] Ch. Gras, M. Meredith, J.D. Hunt, " Microstructure and texture evolution after twin roll casting and subsequent cold Rolling of Al-Mg-Mn aluminum alloys", Journal of Materials Processing Technology 156-163 (2005).

[7] E.S. Puchi, M. Staia, M. Eschorhe, Y.Perez, Cold Rolling annealing of commercial twin roll cast 3003 aluminum alloy, vol 1, TMS 183-186 (2005)

[8] J.A. Saeter, H.E. Vatne, "Experimental inverstigation of particle break up during cold Rolling deformation of non heat treatable aluminum alloys, Mater. Sci. For. 331-337 (2000)

[9] K. Osinski, "The influence of aluminum and silicon on the reaction between iron and zinc", pp. 42,

[10] Vadim S. Zolotorevsky, Nikolai A. Belov, M.N. Gazoff, "Casting Aluminum Alloys",Elsevier, (2007)

alusing

05-06 OCT 2017

8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

ALÜMİNYUM KULLANIM ALANLARI

ALUMINIUM APPLICATIONS

Alüminyum Folyo Yüzeylerine Uygulanan Kaydırıcı Miktarının Taşınabilir FTIR Spektrometresi ile Ölçümü

Measurement of Lubricant Amount Applied on the Aluminum Foil Surface by Using Portable Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer

Özlem İnanç Uçar[1], Fırat Kurtal[1], Ayberk Muharremoğlu[1], Süleyman Barış Yılmaz[1], Onur Birbaşar[1], Durmuş Özdemir[2,3]

[1]Assan Alüminyum Sanayi, [2]İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, [3]OBA Kemometrik Yazılım

Abstract

The production of aluminum containers used for food packaging industry shows an increasing trend in recent years. This trend requires preference of having thinner products with increased strength in the market. For the reguirement of forming operation, a lubricating agent is applied on the surface of semi-finished aluminum foil produced for smoothwall container products in the sector. Mechanical properties and surface characteristics of aluminum foil material are extremely critical due to requirements of the high-formability properties for smoothwall application. In this study, a novel method based on portable Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was developed for non-destructive inspection and quantification of the amout surface lubricant which is critical for the properties of aluminum foil products. In order to develop a calibration model based on FTIR spectral data, a series of foil samples were prepared with diffrent amounts of lubicants. Applications with different quanities of lubricants were conducted under controlled laboratory conditions where total amout of lubricant was determined by a sensitive electronic balence and the FTIR spectra of these referance samples were recorded by the portable FTIR system. The resulted FTIR spectra and gravimetric referance data were modelled by chemometric univariate and multivariate calibration methods. As a result, a fast and practical method providing the determination of lubricant amount on the foil surfaces on the production line was developed by using a non-destructive technique. This new method can be used during production of foils in real time and provides sensitive results in a short period. Therefore, it could be very useful compared to conventional methods which require intense labour and time.

Özet

Alüminyum folyo ürün gamında yer alan, gıda sektöründe kullanılmakta olan saklama kabı üretimi, her geçen yıl artış göstermekte ve bu artış daha ince ve dayanımı yüksek ürünlerin pazarda tercih edilmesini de beraberinde getirmektedir. Bu sektörde kullanım alanı bulan düz kenarlı kap ürününe yönelik olarak üretilen yarı mamul alüminyum folyo yüzeyine şekillendirme işleminin gereksinim duyduğu kaydırıcı ajan uygulanmaktadır. Düz kenarlı kap uygulaması yüksek şekillenebilir özelliklerine gereksinim duyduğu için hem alüminyum folyo mekanik özellikleri hem de folyo yüzey özellikleri son derece kritiktir. Bu çalışmada, kritik özelliklerden biri olan yüzey kaydırıcı miktarının doğrudan üretim hattı üzerinde tahribatsız ölçümü için taşınabilir Fourier transform infrared spektroskopisine (FTIR) dayalı özgün bir metod geliştirilmiştir. Laboratuvar ortamında kontrollü olarak farklı miktarlarda kaydırıcı uygulaması yapılmış ve doğrudan üretimden alınıp gravimetrik analiz ile referans analizi yapımış folyo örneklerinin spektrumları taşınabilir FTIR sistemi ile kaydedilmiştir. Elde edilen spektral veri istatistik, matematik ve kimya biliminin gelişmiş bilgisayar teknolojisi ile buluşturulması ile ortaya çıkan kemometrik kalibrasyon metotları ile modellenmiştir. Böylece, yüzeye uygulana kaydırıcı miktarının tahribatsız olarak doğrudan üretim hattı üzerinden ölçülmesine olanak sağlayacak hızlı ve pratik bir analiz metodu geliştirilmiştir. Konvasiyonel yaklaşımda sofistike cihazların kullanıldığı zaman alan, yoğun bir işgücü gerektiren metod yerine, üretim koşullarında bile kullanılabilen, kısa sürede sonuç alınan yeni bir metod geliştirilerek yüzeydeki kaydırıcı miktarı yüksek doğruluk ve hassasiyette tespit edilebilmiştir.

1. Giriş

Demir dışı metallerin metalurjisinde, artan tüketim ve üretim miktarları ile alüminyum lider bir konumda yer almaktadır. Bu trende parallel olarak alüminyum üretim ve proseslerinin geliştirilmesi her geçen gün önem kazanmaktadır. Alüminyum ve

alüminyum alaşımlarından yarı mamul levha ve folyo ürünlerinin üretiminde kullanılan bir yöntem de ikiz merdane döküm yöntemidir. Bu üretim yönteminde, sıvı metalin merdaneler ile direk teması sonucu katılaşmanın gerçekleşmesiyle belirli en ve kalınlıklarda döküm levha üretimi gerçekleşmektedir. Sonrasında ise elde edilen levha soğuk haddeleme süreçleri ile alt kalınlıklara inceltilmektedir. 200 µm ve altı kalınlıklara haddeleme ile elde edilen alüminyum yarı mamuller folyo olarak isimlendirilmektedir. Alüminyum folyonun yaygın kullanım alanları olmakla birlikte finstok, mutfak folyosu, izolasyon folyosu ve saklama kabı uygulamaları bu kullanım alanlarından birkaçıdır [1-4].

Saklama kabı kullanım alanı, gıda paketleme sektöründe gıdaların işlenmesi ve paketlenmesinde kullanılan, yarı mamul alüminyum folyo malzemesinin şekillendirilmesi ile elde edilen bir ürün grubudur. Saklama kabı üretimi, belirli enlerde ve kalınlıklarda bobin halinde üretilen yarı mamul alüminyum folyonun preslerde ürün formunda şekillendirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, folyo üretim sürecinin sonunda, preslerde şekillendirme işleminin gereksinim duyduğu kaydırıcı ajan alüminyum folyo malzeme yüzeyine tatbik edilmektedir. Kaydırıcı uygulaması malzemenin preslerde ürün formunun verilmesinde kalıp ile malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltarak şekil almayı kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle folyo yüzeyindeki kaydırıcı miktarının istenen değerlerde olması üretim süreci açısından oldukça önemlidir.

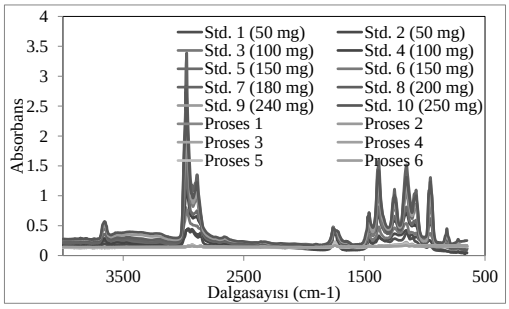
Alüminyum folyo malzeme yüzeyindeki kaydırıcı miktarının ölçümü gravimetrik yöntemle veya karbon kalıntı cihazı ile ölçülebilse de her iki yöntemin üretimde uygulamalarında getirdiği dezavantajlar bulunmaktadır. Bu nedenle üretim sahasında elde taşınabilir FTIR spektrometresi ile yüzeye tatbik edilen kaydırıcı ajanın ölçümü için metot geliştirilmesi bu çalışmada amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntem ve uygulamayla taşınabilir FTIR spektrometresi kullanılarak pratik ve güvenilir bir şekilde yüzey kaydırıcı miktarı ve dağılımının ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, özellikle bir genetik algoritma temelli değişken seçimine dayalı kemometrik çok değişkenli kalibrasyon metotlarından kısmi enküçük kareler (GPLS) ve basit en küçük kareler (SLS) metotları [5-7] kullanılarak kaydırıcı miktarı için kalibrasyon modelleri oluşturulmuştur.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında kemometrik kalibrasyon modellerinin oluşturulması için 10 adet farklı miktarlarda (50 mg – 250 mg) kaydırıcı ajan uygulaması yapılmış alüminyum folyo örneği hazırlanmıştır. Uygulanan kaydırıcı miktarının belirlenmesi için hassas terazi kullanılarak gravimetrik yöntem uygulanmıştır. Elde edilen standard örneklerin FTIR spektrumları 4000 – 600 cm-1 dalgasayısı aralığında hava zemin spektrumu alınarak Grazing Agle ATR aksesuarı ile donatılmış Agilent Marka taşınabilir FTIR spektrometresi ile 8 cm-1 çözünürlükte absorbans modunda kaydedilmiştir. Bunun yanında, çalışma kapsamında oluşturulan kemometrik kalibrasyon modellerinin test edilmesi amacı ile 6 adet prosess örneğinin FTIR spektrumları doğrudan hat üzerinde alınmıştır.

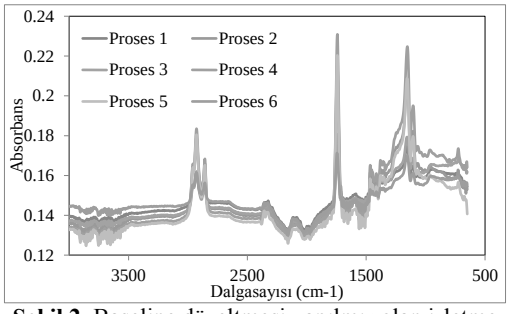
3. Sonuçlar ve Tartışma

Deneysel çalışmalar bölümünde belirtilen 10 adet standard örnek ve 6 adet proses örneğinin FTIR spektrumları ile gravimetrik analizden elde edilen kaydırıcı mikrarı verileri kullanılarak öncelikle basit tek değişkenli kalibrasyon modellemesi (SLS) aşamasına geçilmiştir. Şekil 1'de elde edilen standart örnek spektrumları ve proses örneklerinin FTIR spektrumları birlikte verilmiştir.



Şekil 1. Grazing Angle ATR aksesuarı ile elde edilen FTIR spektrumları.

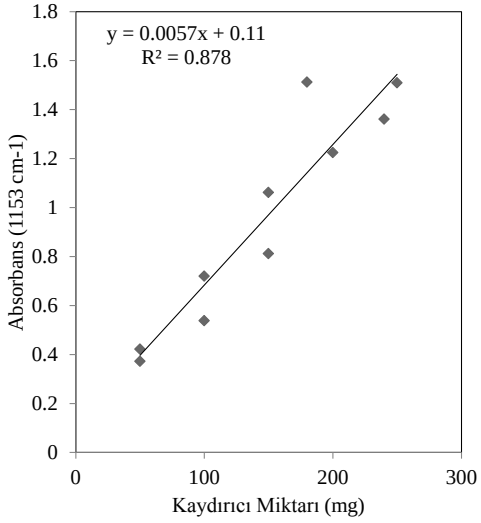
Yukarıda verilen Şekil 1'deki spektrumlar yakından incelendiğinde proses örneklerinin FTIR spektrumları standard örneklere göre oldukça düşük absorbans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle söz konusu proses örneklerinin spektrumlarının daha net görülebilmesi için Şekil 2'de sadece bu örneklere ait spektrumlar verilmiştir.



Şekil 2. Baseline düzeltmesi yapılmış olan işletme örneklerinin diğer standartlarla beraber çizilmiş FTIR spektrumları.

Şekil 2'den de anlaşılacağı gibi folyo örneklerine uygulanan kaydırıcının proses örneklerindeki varlığı spektumlarda net olarak görülmektedir.

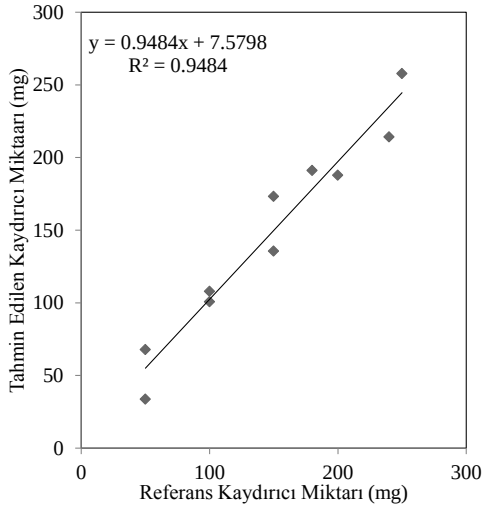
Hem Şekil 1 hemde Şekil 2'de görüldüğü gibi uygulan kaydırı ajan özellikle parmak izi bölgesinde bir çok dalga sayısında pikler vermektedir. Bu bağlamda öncelikle bir genetik algoritma yardımı ile spektrumlar üzerinde en iyi SLS modelini sağlayacak bölgenin belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Elde edilen verilerden doğrusallığın en yüksek olduğu 1153 cm^{-1}deki pik seçilmiştir. Şekil 3'te oluşturulan SLS modelinden elde edilen kalibrasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 3. Basit enküçük kareler (SLS) metodu kullanılarak elde edilen kalibrasyon grafiği.

Yukarıda verilen SLS kalibrasyon grafiğinde de görüldüğü gibi 1153 cm^{-1} laboratuvarda hazırlanan standard örneklerle 50 – 250 mg kaydırıcı aralığında başarılı bir model oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Ancak, ilgili modelin R^2 değeri 0.88 civarında olup ilgili modelin standard kalibrasyon hatası (SEC) 28.6 mg gibi görece yüksek bir değerde olduğu tespit edilmiştir. Bunun en büyük nedenlerinde bir tanesi özellikle 180 mg kaydırıcı içeren standard örneğin absorbans değerinin beklenenden daha yüksek çıkmış olmasıdır. Bunun yanında SLS ile oluşturulan model sadece tek noktaya dayalı bir yaklaşım sonucu elde edildiği için söz konusu modelin spektral gürültüye dayalı değişimlerden çok daha şiddetli etkilenmiş olmasıdır.

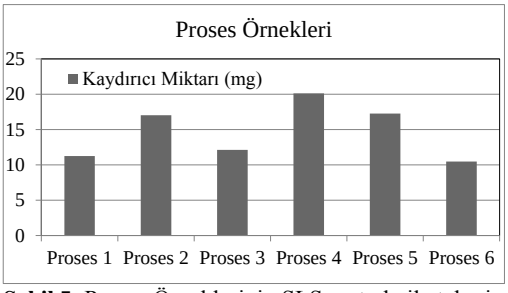
SLS ile gerçekleştirilen modelin zayıf noktasının geliştirilebilmesi amacıyla aynı veriler kullanılarak kemometrik çok değişkenli kalibrasyon yaklaşımlarından biri olan kısmı enküçük kareler metudu (PLS) kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır. PLS metodu elde edilen spektral verilerin tamamını kullanarak model oluşturduğu için SLS'e nazaran gürültüye bağlı değişimlerden çok daha az etkilenmektedir. Öte yandan SLS yaklaşımda olduğu gibi absorbans değerlerine karşı konsantrasyon değerlerinden elde edilen kalibrasyon grafiği PLS metodu ile doğrudan çizilememekle birlikte PLS metodu ile tahmin edilen konsantrasyon değerlerine karşı referans konsantrasyon değerlerinin korelasyon grafiği bu bağlamda ele alınmaktadır. Şekil 4'te referans değerlere karşı PLS ile tahmin edilen kaydırcı miktarlarının grafiği verilmiştir.



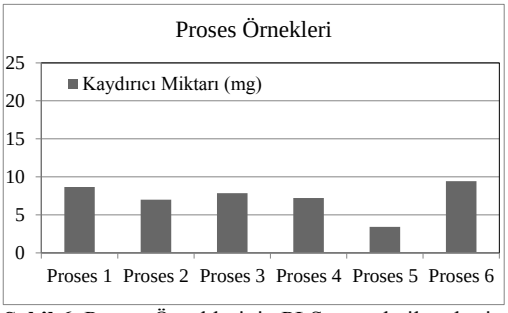
Şekil 4. PLS ile elde edilen modelin referans değerlere karşı tahmin grafiği.

PLS ile elde edilen modelin R^2 değeri 0.95 civarında olup SLS modelinde daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanda oluşturulan PLS modelinin SEC değeri 17.3 mg olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda PLS ile elde dilen modelin daha başarılı olduğu görülmektedir. Ancak, söz konusu hata değrlerinin yüzdesel bazda büyüklükleri dikkate alındığında SLS modelinin yaklaşık olarak %11 (w/w %) civarında bir bağıl hataya tekabül ettiği görülürken PLS ile elde edilen yüzde hata değerinin yaklaşık olarak %6.8 (w/w %) civarında olduğu anlaşılmaktadır. Her iki metot ile elde edilen hata değerleri %5 üzerinde olmakla birlikte modelleme aşamasında kullanılan örnek sayılarının artırılması ile bu değerlerin daha aşağılara çekilebileceği düşünülmektedir.

SLS ve PLS ile gerçekleştirilen modelleme aşmasından sonra söz konusu modeller proses örneklerin tahminlenmesinde kullanılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla SLS ve PLS modelleri ile gerşekleştirlen tahminleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5. Proses Örneklerinin SLS metodu ile tahmin edilen kaydırıcı miktarları.



Şekil 6. Proses Örneklerinin PLS metodu ile tahmin edilen kaydırıcı miktarları.

Yukarıda Şekil 5'verilen SLS modelinden gelen kaydırıcı miktarları tahminleri ile Şekil 6'da verilen PLS modelinden elde edilen kaydırı miktarları tahminleri arasında ciddi bir ofset olduğu görülmekte olup SLS değerlerin PLS değerlerine göre kısmen daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu nokrada, Şekil 2'de verilen proses örneklerinin FTIR spektrumlarının standard örneklere göre çok daha düşük absorbans değerlerine sahip oldukları göz önüne alındığında PLS ile elde edilen değerlerin nispeten daha anlamlı sonuçlar olduğu anlaşılmaktadır.

4. Sonuç

Saklama kabı amacı ile üretilen folyo yüzeylerine uygulanan kaydırıcı miktarının doğrudan üretim hattı üzerinde tahribatsız olarak incelenmesine yönelik basit ve hızlı yeni bir metot geliştirilmesini hedefleyen bu çalışma kapsamında oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu bağlamda taşınabilir FTIR spektrokopisi metodunun kemometrik çok değişkenli kalibrasyon yaklaşımı ile birleştirilmesi sonucunda klasik yöntemlere göre daha avantajlı bir çözüm üretilmesi mümkün olabilmektedir. Öte yandan elde edilen modellerin hata değerlerinin daha da azaltılabilmesi açısından daha çok standard örnek ile çalışılması bu konuda daha güvenilir modellerin elde edilmesine olanak sağlayabilecektir. Bu açıdan ele alındığında sunulan bu çalışmanın bir başlangıç olduğunu vurgulamakta fayda vardır.

Referanslar

[1] M. Dündar, M. Günyüz, C. Işiksaçan, and A. Pastirmaci, "Effect of Zn Content and Process Parameters on Corrosion Behaviour of Twin-Roll Cast Aluminum Brazing Alloys", Light Metals 2013, (2013)

[2] N. S. Barekar, B. K. Dhindaw, "Twin-Roll Casting of Aluminum Alloys – An Overview", Materials andManufacturing Processes, 29:6, 651-661 (2014).

[3] O. Keles, M. Dundar "Aluminum foil: Its typical quality problems and their causes", Journal of Materials Processing Technology, Volume 186, Issues 1–3, 7 May 2007, Pages 125–137.

[4] H. Dunlop, M. Benmalek, "Role and Characterization of Surfaces in the Aluminum Industry", Journal de Physique IV Colloque, 1997, 07 (C6), pp.C6-163-C6-174.

[5] Ö. İ. Uçar, A. E. Meşe, O. Birbaşar, M. Dündar, and D. Özdemir, "Determination of Aluminum Oxide Thickness on the Annealed Surface of 8000 Series Aluminum Foil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy", Light Metals 2017, pp 273-278.

[6] A. Yalçın, D. Ergun, Ö. İ. Uçar, D. Özdemir, "Determination of aluminum rolling oil additives and contaminants using infrared spectroscopy coupled with genetic algorithm based multivariate calibration", Vibrational Spectroscopy 54, 10–20 (2010).

[7] D. Özdemir ve B. Öztürk, ''Genetic Multivariate Calibration Methods for Near Infrared (NIR) Spectroscopic Determination of Complex Mixtures'', Turkish Journal of Chemistry, 28, 497-514 (2004).

Al-Mg-Si-Zr Alaşımında Çökelti Kinetiği ve Rekristalizasyon Davranışının İncelenmesi

Investigation of the Phase Transformation Kinetics and Recrystallization Behavior in Al-Mg-Si-Zr Alloy

Fulya Kahrıman, Muzaffer Zeren
Kocaeli Üniversitesi

Abstract

In this study, the effect of zirconium on the phase transformation kinetics and recrystallization of Al-0.80Mg-0.85Si alloy was investigated. The alloy composition was modified with 0.1% and 0.2% Zr by weight, and the alloys were produced by the vertical semi-continuous casting method. The experimental study was carried out in two sections. In the first section, the modified alloys were solution annealed at 550 ° C for 3 hours, quenched and then artificially aged at 180 ° C for 0-20 hours. The phase transformation kinetics were calculated by the Avrami approach using the change in the electrical conductivities of the alloys as a function of time. In the second section, solution annealed and quenched alloys were cold rolled in the reduction of approximately 70%. After annealing at 375 ° C for different times, % -recrystallized volumes of alloys were determined. The results have shown that phase transformation kinetics and the rate of recrystallization in the alloys decrease as a consequence of increased zirconium content.

Özet

Bu çalışmada, Al-0.80Mg-0.85Si alaşımının çökelti oluşum kinetiği ve rekristalizasyonu üzerine zirkonyumun etkisi araştırılmıştır. Alaşım kompozisyonu ağırlıkça % 0.1 ve 0.2 Zr ile modifiye edilmiş olup alaşımlar dikey yarı sürekli döküm yöntemi ile biyet şeklinde üretilmiştir. Çalışma kapsamında iki kademede ısıl işlem çalışmaları yapılmıştır. Birinci kademede, modifiye alaşımlar 550 °C'de 3 saat çözeltiye alınıp su verilmiş ve 180 °C'de 0-20 saat yaşlandırılmıştır. Zamanın bir fonksiyonu olarak alaşımların elektriksel iletkenliklerindeki değişimi kullanılarak çökelti oluşum kinetiği Avrami yaklaşımı ile hesaplanmıştır. İkinci kademede ise, çözeltiye alınıp su verilen alaşımlar kesitte yaklaşık % 70 oranında soğuk deforme edilmiştir. Alaşımlar 375 °C'de farklı sürelerde tavlandıktan sonra alaşımların %-rekristalize hacimleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, artan zirkonyum içeriğinin bir sonucu olarak alaşımda çökelti oluşum kinetiğinin ve rekristalizasyon oranının azaldığını ortaya koymuştur.

1. Giriş

6xxx serisi alüminyum alaşımlarında özellikle proses esnasında yeniden kristalleşmeyi yavaşlatmak için Mn, Cr, Zr ve Sc gibi bazı alaşım elementi ilaveleri yapılmaktadır. Bu elementlerin oluşturduğu ikincil faz partikülleri, Al matrikste tane içinde ve tane sınırında dislokasyon hareketlerini engellerler. Bu partiküller yüksek sıcaklıkta da oldukça kararlıdırlar. Tane sınırlarının hareketini yavaşlatarak tane büyümesini engellerler ve yapının yüksek sıcaklıklarda da korunmasını sağlarlar [1-11].

Çökelti sertleşebilen alaşımların faz dönüşüm kinetikleri, elektriksel iletkenlik ve matris içindeki çökeltilerin hacim oranları arasındaki lineer ilişkiye dayanarak Avrami eşitliğinin hesaplanması ile bulunabilir. Bu yaklaşım bazı bakır alaşımlarında yaşlandırma kinetiğine alaşım elementlerinin etkisini anlamak için kullanılan yararlı bir model olmuştur [12-15]. Bu çalışmada, aynı model bir Al-Mg-Si alaşımının yaşlanma kinetiğine Zr elementinin etkisini incelemek için kullanılmıştır.

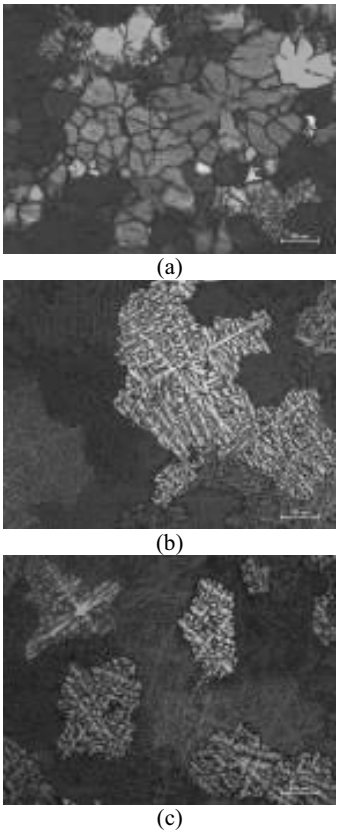
2. Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Alaşımların kimyasal analizi optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir ve elementel değerler üç analizin ortalama değerini göstermektedir.

Tablo 1. Alaşımların kimyasal kompozisyonu (ağ.-%).

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Zr
Alaşım 1	denge	0.87	0.28	0.01	0.64	0.84	0.01	0.03
Alaşım 2	denge	0.86	0.22	0.02	0.46	0.84	0.01	0.13
Alaşım 3	denge	0.84	0.28	0.03	0.48	0.80	0.01	0.23

Alaşımlar dikey yarı sürekli döküm yöntemi ile 2000 mm uzunluğunda ve 152 mm çapında biyet şeklinde dökülmüştür. Biyetlerden alınan numuneler 320, 600, 1000 ve 2500 mesh nolu SiC aşındırıcı içeren zımpara kağıtları ile zımparalandıktan sora 3µm ve 1 µm elmas solüsyon ile parlatılarak metalografik olarak hazırlanmıştır. Numuneler daha sonra elektrolitik olarak dağlanmıştır. Döküm konumundaki alaşımlar ışık mikroskobu (OM) ile incelenmiştir. Mikroskopik incelemede Zeiss Axiotech 100 refleksiyon tipi ışık mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 1, döküm konumdaki alaşımların katılaşma sırasında oluşan dendritik yapılarını göstermektedir. Alaşım 2 ve Alaşım 3, Zr'un Al ile oluşturduğu çökeltilerden dolayı daha ince bir mikroyapıya sahiptir.



(a) (b) (c)

Şekil 1. Döküm konumdaki alaşımların katılaşma sırasında oluşan dendritik yapıları, a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Yaşlanma kinetiği

Çalışmanın ilk basamağı olarak, alaşımlar bir seri yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler 550 °C'de 3h çözeltiye alınarak su verildikten sonra 180 °C'de 0-20 h arasında yaşlandırılmıştır. Numunelerin yüzeyleri incelemeler için metalografik olarak hazırlanmıştır. Elektrik iletkenlikleri 60 kH'de Autosigma 3000 Girdap akımları (Eddy Current) yöntemi ile ölçülmüştür.

Yaşlandırma sırasında matriks içinde ikincil faz partiküllerinin çökelmesi alaşımın elektrik iletkenliğinin değişmesine neden olmaktadır. Yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak iletkenlik değişimi ile faz dönüşüm kinetiği bulunmuştur. Avrami eşitliği kullanılarak alaşımların iletkenlik değerleri hesaplanmış olup, ölçülen ve hesaplanan iletkenlik değerleri karşılaştırılmıştır. Alaşımların çökelti hacim oranları ve iletkenliklerine bağlı olarak faz dönüşüm kinetik eğrileri grafiksel olarak çizilmiştir.

3.1.1. Çökelti hacim oranlarının hesaplanması

Yaşlanma sırasında, aşırı doymuş katı çözeltinin dekompozisyonu ile birlikte ince ikincil faz çökeltileri matriks içinde dağılmaktadır. Çökelti hacim oranı yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak eşitlik 1'de verilen gibi hesaplanabilir:

$$f = \frac{V^P}{V_B^P} \tag{1}$$

Burada, V^P: belirli bir zamanda birim hacim içerisinde oluşan çökelti hacmi, V_B^P: faz dönüşümü tamamlanıncaya kadar yeteri uzun bir zaman boyunca birim hacimde çökeltilerin balans hacmidir. Yaşlandırma prosesi öncesinde hem V^P hem de f değeri sıfır olarak kabul edilir ve alaşımın elektriksel iletkenliği σ_0 olarak ifade edilir. Yaşlandırmada belirli bir zaman sonrasında veri bir sıcaklıkta, (i) faz dönüşümünün tamamlandığı, (ii) V^P ve V_B^P değerlerinin eşdeğer olduğu, (iii) hacim kesrinin "1" değerine ulaştığı kabul edilir. Bu durumda, alaşım maksimum bir elektriksel iletkenlik değerine (σ_{max}) ulaşır. σ ve f arasındaki lineer ilişki eşitlik 2 ve 3'de verilmiştir:

$$\sigma = \sigma_0 + (\sigma_{max} - \sigma_0) f \tag{2}$$

$$f = \frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_{max} - \sigma_0} \tag{3}$$

Çökelti hacim kesri, herhangi bir zamanda elektriksel iletkenlik değerinin bilinmesi ile eşitlik 3'e göre hesaplanabilir. 180 °C'de 0-20 h yaşlandırılan alaşımların ölçülmüş elektriksel iletkenlik ve hesaplanmış çökelti hacim kesir değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 180 °C'de 0-20 h yaşlandırılan alaşımların ölçülmüş elektriksel iletkenlik ve hesaplanmış çökelti hacim kesir değerleri.

	Alaşım 1		Alaşım 2		Alaşım 3	
t (h)	σ (MS/m)	f (%)	σ (MS/m)	f (%)	σ (MS/m)	f (%)
0	22.43	0.11	22.63	0.00	23.03	0.00
2	22.87	15.06	22.98	14.77	23.43	15.28
4	23.15	24.83	23.40	32.49	23.50	17.80
6	23.63	41.49	23.70	45.15	23.90	32.95
8	24.00	54.14	23.80	49.37	24.00	36.74
10	24.53	72.53	23.95	55.70	24.20	44.32
12	24.83	82.87	24.03	59.21	24.50	55.68
14	25.05	90.34	24.27	69.06	24.80	67.05
16	25.27	97.82	24.50	78.90	25.07	77.12
18	25.30	98.97	24.77	90.15	25.33	87.25
20	25.33	100.00	25.00	100.00	25.67	100.00

3.1.2. Avrami eşitliklerinin belirlenmesi

Avrami eşitlikleri, zaman bağımlı birçok faz dönüşüm kinetiğinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılır [12]. Dönüşen hacim aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

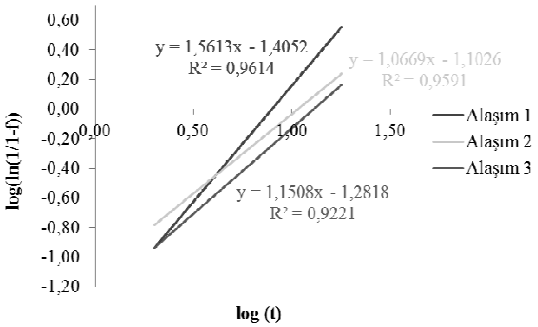
$$f = 1 - \exp(-bt^n) \quad (4)$$

Burada, f dönüşen hacim oranı (örneğin, çökelti hacmi), b reaksiyon sabiti, n Avrami üsteli, t yaşlandırma süresidir. Faz dönüşümünün türü ve çekirdekleşme yöreleri de n sabitini etkiler. b ve n sabitleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir:

$$1 - f = \exp(-bt^n) \quad (5)$$

$$\lg(\ln\frac{1}{1-f}) = \lg b + n\lg t \quad (6)$$

Tablo 2'deki değerler kullanılarak lg[ln(1/1-f)] - lg t diyagramı çizilebilir (Şekil 2). Şekil 2'deki eğrilerin eğiminden ve interseptinden sırası ile n ve b değerleri elde edilir.



Şekil 2. 180 °C'de yaşlandırılan alaşımlar için lg[ln(1/1-f)] - lg t ilişkisi.

Tablo 3'de 180 °C'de 0-20 h aralığında yaşlandırılan alaşımlar için Avrami eşitliklerinde kullanılan sabitler verilmiştir. Tablo 4 ise alaşımlar için hesaplanan Avrami faz dönüşüm eşitliklerini ve hesaplanan elektriksel iletkenlikleri göstermektedir.

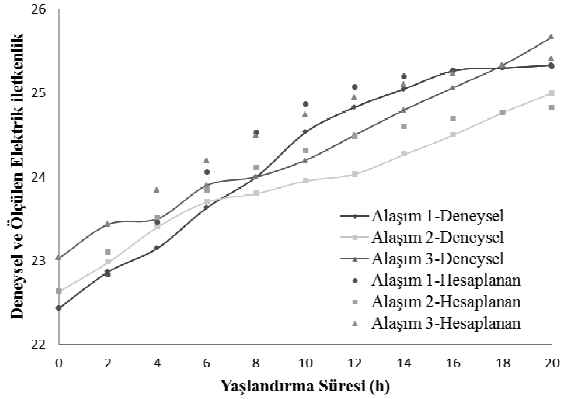
Tablo 3. 180 °C'de yaşlandırılan alaşımlar için σ_{max}-σ_0, n ve b değerleri.

Alaşım	σ_{max}-σ_0	n	b
1	2.90	1.5613	0.0501
2	2.37	1.0669	0.1062
3	2.64	1.1508	0.0741

Tablo 4. 180 °C'de yaşlandırılan alaşımlar için Avrami faz dönüşümü ve elektriksel iletkenlik kinetik eşitlikleri.

Alaşım	Eşitlik
1	σ = 22.43 + 2.90 f f = 1- exp (-0.0501 $t^{1.5613}$)
2	σ = 22.63 + 2.37 f f = 1- exp (-0.1062 $t^{1.0669}$)
3	σ = 23.03 + 2.64 f f = 1- exp (-0.0741 $t^{1.1508}$)

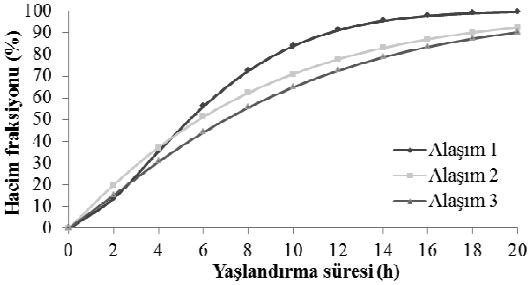
Hesaplanmış iletkenlik değerleri ile ölçülmüş iletkenlik değerleri benzerlik göstermektedir (Şekil 3). Zr oranının artmasıyla birlikte yaşlandırma boyunca daha yüksek iletkenlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. 180 °C'de yaşlandırılan alaşımların deneysel ve hesaplanmış elektriksel iletkenlik değerleri.

3.1.3. Faz dönüşüm kinetik eğrileri

Tablo 4'deki eşitlikler kullanılarak Şekil 4'de gösterildiği gibi dönüşüm dinamiğini gösteren tipik S-eğrileri çizilebilir. Eğriler, Zr içeren alaşımlarda % 50 dönüşümün gerçekleşmesinin daha uzun sürelere ihtiyaç duyduğunu göstermiştir. Bu sonucu anlamak için alaşımların fiziksel metalurjisinin anlaşılması gerekmektedir.



Şekil 4. 180 °C'de yaşlandırılan alaşımların faz dönüşümünü gösteren kinetik eğriler.

Literatürdeki diğer çalışmalara benzer olarak, bu çalışmada da matriks içinde çökelen çöktiltilerin etkisi incelenmiştir [13-15]. Alaşımların döküm yapısında blokvari Al_3Zr çöktiltilerinin yanında çeşitli Mg/Fe/Al-Si esaslı çöktiltiler bulunmaktadır. Çözeltiye alma işlemi 550 °C'de 3h gerçekleştirilmesine rağmen, bu çöktiltilerin birçoğu su verilmiş matriksde ve yaşlandırılmış mikroyapıda kısmen kalırlar. Bilindiği üzere, yaşlanma sırasında Al-Mg-Si alaşımlarında çökelti sıralaması aşağıdaki gibidir:

A (Aşırı doymuş çözelti) → Guinier-Preston (GP) zonu → β'' → β' → β

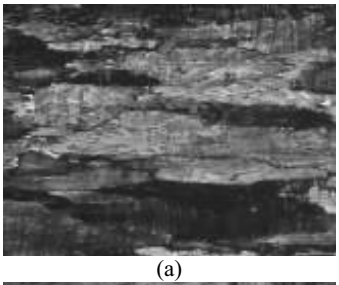
Bu çökelme sıralamasında, (i) koherent GP zonu disk benzeri şekle sahiptir, (ii) matriks ile uyumlu iğnesel şekilli β'' çöktiltileri maksimum sertlik elde edilmesinde önemli rol oynarlar, (iii) çubuk şeklindeki β' çöktiltileri yarı uyumlu hekzagonal metastabil yapılardır (iv) β çöktiltisi kübik yapıda ve uyumsuz denge fazı olarak bilinir. Yaşlanma sırasında, denge dışı uyumlu çöktiltilerin oluşumu, çöktiltilerin etrafında oluşan gerinme alanının varlığından dolayı mukavemet artışı sağlar. Uyumsuz denge çöktiltilerinin oluşumu sertlikte bir miktar düşüşe neden olur. Devam eden yaşlandırma süreleri, çöktiltilerin kabalaşmasına ve mukavemetin daha fazla düşmesine neden olur [16-19]. Al-Mg-Si alaşımlarında uyumlu çöktiltiler nedeniyle meydana gelen çökelti sertleşmesi, çökelti-matriks arasında uyum nedenli gerinme alanı, istif hata enerjilerinin etkileşimi, modülus etkileşimleri, ara yüzey enerjileri ve kafes sürtünme gerilmesi nedenlidir. Oluşan gerinme alanı yerel olarak yüksek mukavemete sebep olabilir. Yerel mukavemet artışı, uyumlu çöktiltilerin hacim oranının, çökelti yarıçapının, gerinme alanının artışı ile artar ve dislokasyon vektörlerinin yer değişimi ile azalır [19]. Zr ilavesinin olumlu katkısı, aşırı doymuş katı çözeltinin dekompozisyonu sırasında uyumlu metastabil Al_3Zr çöktiltilerinin yüksek yoğunluğuna bağlıdır [18]. Bazı çalışmalar, Al alaşımlarına ağr. % 15 Zr ilavesinin, dönüşümün sonraki aşamalarını önemli derecede yavaşlatırken, çökelme reaksiyonun başlangıç aşamasını düşük oranda etkilediğini göstermiştir. Bu alaşımlarda Zr içeren partiküllerin kabalaşma oranının, Zr içermeyen çöktiltilerinkinden çok daha yavaş olduğu bulunmuştur [20]. Al içinde Zr'un difüzyonu Al_3Zr çöktiltilerinin termal kararlılığını etkiler. 400 °C'de Al içinde Zr'un difüzyon katsayısı (1.20x10-20 m^2/s), Cu'ın (2.27x10-14 m^2/s) ve Mg'un (6.14x10-14 m^2/s) difüzyon katsayılarından daha düşüktür. Bu nedenle Al_3Zr çöktiltileri, mukavemet artışı sağlayan θ'-Al_2Cu ve β'-Mg_2Si gibi diğer geleneksel çöktiltilerden termal olarak daha kararlıdır [21]. Tüm bu bilgiler, Zr içeren alaşımda dönüşüm kinetiğinin neden yavaş olduğunu açıklamaktadır.

3.2. Rekristalizasyon davranışlarının incelenmesi

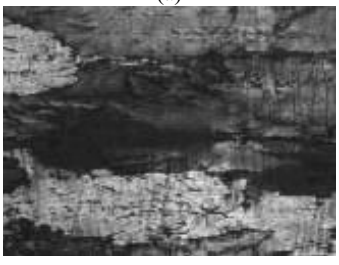
Çalışmanın ikinci basamağında, 560 °C'de 4 h çözeltiye alınıp su verilen alaşımlar 10 mm kalınlıktan 3 mm kalınlığa soğuk deforme edilmiştir. Daha sonra alaşımlar 375 °C'de 8 farklı sürede tavlanmıştır. Rekristalize olmuş tane yapısını incelemek için numuneler metalografik olarak hazırlanarak elektrolitik olarak dağlanmıştır. Numuneler ışık mikroskobunda polarize kontrast ile incelenmiştir. Zeiss Axiotech ışık mikroskobu NIS elements basic research programında görüntü analizi uygulanarak alaşımların % rekristalizasyon oranları bulunmuştur.

3.2.1. Soğuk deformasyon

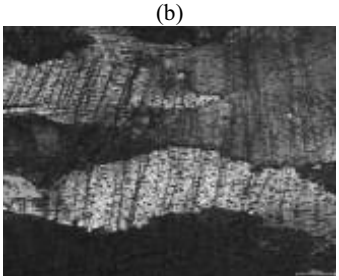
10 mm kalınlığında ve 152 mm çapında biyet dilimleri soğuk haddelenerek birkaç paso sonrasında 3 mm kalınlığa indirilmiştir. Alaşımların deforme olmuş tane yapıları Şekil 5'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

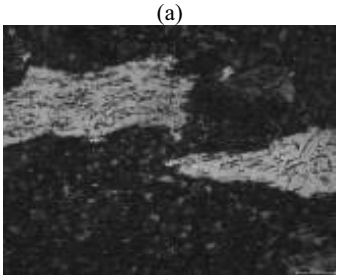
Şekil 5. Soğuk deforme edilmiş alaşımların tane yapıları, a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.

3.2.2. Tavlama

Deforme edilmiş alaşımların her birinden sekiz numune alınarak rekristalizasyon davranışlarının incelenmesi için 375 °C'de 5, 10, 30, 60, 180, 300, 600 ve 900 dk sürelerde tavlanmıştır. 900 dk tavlanmış alaşımlarda tane yapısı Şekil 6'da verilmiştir. Alaşım 1, 900 dk tavlama sonucunda neredeyse tamamen rekristalize olmuş yapı gösterirken, Alaşım 2 ve Alaşım 3'de Zr oranının artmasıyla birlikte rekristalize olmuş taneler azalmıştır. Alaşımlar için tavlama süresine bağlı olarak rekristalizasyon oranları Şekil 7'de verilmiştir. 375 °C'de 900 dk tavlama sonucunda Alaşım 1~% 100, Alaşım 2~% 77 ve Alaşım 3~ % 35 oranlarında rekistalize olmuştur. Ayrıca Şekil 7'deki eğrilerin eğiminden görüldüğü gibi gibi rekristalizasyon öncesinde kuluçka süresi de Zr oranının artmasıyla birlikte uzamıştır.



(a)

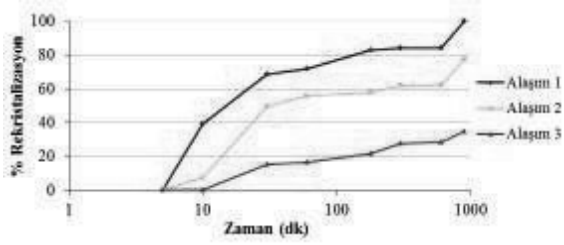


(b)



(c)

Şekil 6. 375 °C'de 900 dk tavlanan alaşımın tane yapısı, a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.



Şekil 7. 375 °C'de tavlanan alaşımların tavlama süresine bağlı olarak rekristalizasyon oranları.

4. Sonuç

Bu çalışmada, zirkonyumun Al-Mg-Si alaşımının faz dönüşüm kinetiği ve rekristalizasyon özelliklerine etkisi incelenmiştir. Elektrik iletkenlik değerleri bulunarak Avrami kinetik eşitliklerinin hesaplanması ile dönüşüm kinetiği bulunmuştur. Bu sonuçlara göre Al-Mg-Si alaşımına artan Zr ilavesi, (i) yaşlanma sırasında kinetiğin yavaşlamasına neden olmuştur. (ii) artan Zr oranıyla birlikte rekristalize olmuş tane yapısının azaldığı görülmüştür. Bu veriler alüminyum alaşımlarının örneğin ekstrüzyonu sırasında Zr içeren alaşımlarda rekristalizasyonun kısmen önlenmesini açıklamaktadır.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmayı finansal olarak destekleyen Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 2013/072) ve deneysel çalışmada deformasyon prosesinin gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı Almesan Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederler.

Referanslar

[1] G. Mrówka-Nowotnik, J. Sieniawski, M. Wierzbiñska, Intermetallic phase particles in 6082 aluminum alloy, AMSE 28 (2007) 69-76.

[2] Y. Birol, Impact of partial recrystallization on the performance of 6005A tube extrusions, Eng. Fail. Anal. 17 (2010) 1110-1116.

[3] V. Ocenasek, M. Slamova, Resistance to Recrystallization due to Sc and Zr Addition to AlMg Alloys, Mater. Charact. 4 (2001) 157-162.
[4] V V. ZakHarov, Effect of Scandium on the Structure and Properties of Aluminum Alloy, Met. Sci. Heat Treat. 45 (2003) 246-253.
[5] M. Cabibbo, E. Evangelista, A TEM Study of The Combined Effect of Severe Plastic Deformation and (Zr), (Sc+Zr)-Containing Dispersoids on an Al-Mg-Si Alloy. J Mater Sci. 41 (2006) 5329-5338.
[6] Z. Yin, Q. Pan, Y. Zhang, F. Jiang, Effect of Minor Sc and Zr on the microstructure and mechanical properties of Al-Mg Based Alloys. J. Mater. Sci. Eng. A. 280 (2000) 151-155.
[7] J. Røyset, U. Tundal, O. Eiso, T. Furu, Al-Mg-Si Alloys with Improved crush Properties, Hydro Aluminium R&D and Technology. Norway.
[8] J. Røyset, M M. Rødland, U. Tundal, O. Reiso, Effect of Alloy Chemistry and Process Parameters on the Extrudability and Recrystallization Resistance of 6082 Aluminum Alloy, Hydro Aluminium R&D and Technology. Norway.
[9] R. Saral, Process control in aluminum extrusion. Master of Science Thesis, Yıldız Technical University, 2005, İstanbul Turkey.
[10] H. Hallem, Precipitation Behaviour and Recrystallisation Resistance in Aluminium Alloys with Additions of Hafnium, Scandium and Zirconium. The Norwegian University of Science and Technology, NO-7491, 2005Trondheim Norway.
[11] E. Clouet, A. Barbu, L. Lae´, G. Martin, Precipitation kinetics of Al3Zr and Al3Sc in aluminum alloys modeled with cluster Dynamics, Acta Mater. 01-038 (2005) 1-13.
[12] I. Sinha, R K. Mandal, Avrami exponent under transient and heterogeneous nucleation transformation conditions J. of Non-Cryst. Solids. 357(3) (2011) 919-925.
[13] J. Lei, P. Liu, X. Jing, D. Zhao, J. Huang, Aging kinetics in a CuNiSiCr alloy. J. Mater. Sci. Technol. 20 (2004) 727-730.
[14] Q. Lei, Z. Li, Z Y. Pan, M P. Wang, Z. Xiao, C. Chen, Dynamics of phase transformation of Cu-Ni-Si alloy with super-high strength and high conductivity during aging. T. Nonferr. Metal. Soc. 20 (2010) 1006-1011.
[15] Ş H. Atapek, Effect of cobalt on the aging kinetics and the properties of a CuCoNiBe alloy, Mater. Test. 57(1) (2015) 17-21.
[16] H. Zhang, Y. Wang, S L. Shang, C. Ravi, C. Wolverton, L Q. Chen, Z K. Liu, Solvus boundaries of (meta)stable phases in the Al-Mg-Si system: First-principles phonon calculations and thermodynamic modeling. CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry 34 (2010) 20-25.
[17] L. Lityńska-Dobrzyńska, Effect of heat treatment on the sequence of phases formation in Al-Mg-Si alloy with Sc and Zr additions. Arch. Metall. Mater. 51(4) (2006) 555-560.
[18] M. Liu, Z. Wu, R. Yang, J. Wei, Y. Yu, P C. Skaret, H J. Roven, DSC analyses of static and dynamic precipitation of an Al-Mg-Si-Cu Prog. Nat. Sci.: Materials International. 25 (2015) 153-158.
[19] P. Mukhopadhyay, Alloy Designation, Processing, and Use of AA6XXX Series Aluminium Alloys. International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy (2012) 1-15.
[20] J. Røyset, N. Ryum, Scandium in aluminium alloys. Int. Mater. Rev. 50(1) (2005) 19-44.
[21] Y. Fan, Precipitation Strengthening of Aluminum by Transition Metal Aluminides. Master of Science Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA 01609, April 2012, ABD.

Yüksek Sıcaklıklarda Dayanımı Artırılmış Alüminyum İletken İmalatı

Production of Improving Thermal Resistivity Aluminum Conductor

A.Tamer Ertürk[1], E.Asım Güven[1], Sedat Karabay[1], Ümit Galip Uncu[2], İsmail Binbuğa[2]

[1]Kocaeli Üniversitesi, [2]EMTA Kablo Sanayi

Abstract

Copper has been used in the conductor industry for many years. But in recent years, aluminum has been used instead of copper in the conductor sector. Because the density and price of aluminum is more convenient than copper. But the conductivity of aluminum is 63% of copper. Sustainable electricity is dangerous because of the rapidly growing population of the world. Housing and industrial electricity use reach its maximum level, especially in summer. To solve this problem, the wires in the transmission lines must be replaced with larger diameters, which is a larger weight. Moreover, this investment causes heavy financial burden. Another consideration for the problem is to increase the current-carrying capacity of the wire materials and to maintain the lightness properties. Heat-resistant aluminum conductors have been developed and are offered for electricity demands in major cities. The service temperature, which is normally 70 °C, is 150 °C for heat-resistant conductors. For this reason, thermal-resistant aluminum conductors are the only solution for the electricity needs of fast-growing cities. In this article, details of the manufacturing process of the thermally resistant alloy are mentioned.

Özet

Bakır uzun yıllardan beri iletken sektöründe kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda iletken sektöründe bakır yerine alüminyum kullanılmaya başlamıştır. Çünkü alüminyumun yoğunluğu ve fiyatı bakıra göre daha uygundur. Fakat alüminyumun iletkenliği bakırın %63'ü kadardır. Sürdürülebilir elektrik enerjisi, dünyanın hızla büyüyen nüfusu yüzünden tehlikeli boyuttadır. Özellikle yaz mevsiminde konut ve endüstriyel elektrik kullanımı azami düzeye ulaşır. Bu sorunu çözmek için, iletim hatlarındaki teller daha büyük çaplar ile değiştirilmelidir, bu da daha büyük ağırlık demektir. Ayrıca bu yatırım ağır mali yüke neden olur. Sorun için bir diğer düşünce, tel malzemelerin mevcut taşıma kapasitesini arttırmak ve hafiflik özelliklerini korumaktır. Isıya dayanıklı alüminyum iletkenler geliştirilmiş ve büyük şehirlerdeki elektrik talepleri için sunulmuştur. Normalde 70 °C olan servis sıcaklığı ısıya dayanıklı iletkenler için 150 °C'dir. Bu sebeple termal dayanıklı alüminyum iletkenler hızlı büyüyen şehirlerin elektrik ihtiyacı için tek çözümdür. Bu makalede ısıl dirençli alaşımın imalat süreç detaylarına değinilmiştir.

1. Giriş

Dünyada ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji kullanımı her geçen gün nüfus ve endüstrileşmeye paralel olarak radikal bir şekilde artmaktadır. Söz konusu elektrik enerjisi talebinin karşılanması ve iletimi konusunda ilgili sektörün teknolojik olarak geliştirilmesi ve teknik donanımın servis şartları altında yüksek performansla çalışması gerekmektedir. Ne var ki global ölçekte gereken teknolojik gelişim için alt yapısını tamamlayamayan birçok ülke bulunmaktadır. Genel olarak gelişmekte olan ülkeler kategorisinde sürekli büyüyen ve yatırıma açık yerlerde artan enerji ihtiyacı ve alt yapı yetersizliği kendini daha belirgin şekilde hissettirmektedir. Bu ülkelerde alt yapı kurma faaliyetleri dünya bankası kredileri ve ticari iş birlikleri elde edilerek yürütülmeye çalışılmaktadır. Gelişen ülkeler enerji nakil hatlarında yapılacak altyapı çalışmaları için ihale şartnameleri konusunda yetersiz olmaları nedeniyle diğer ülkelerden danışmanlık hizmeti almak durumundadırlar. Alt yapı tesis edilirken ilgili ülkenin nüfusu, doğum ve yapılaşma oranları, fiziki konumu ve iklimi, planlanan enerji santralleri, sanayi ve telekomünikasyon yatırımları gibi pek çok faktör göz önünde bulundurulmak durumundadır. Oldukça yüksek maliyetli olan söz konusu yatırımlarda doğru karar almak kaynak kullanımı yönünden kritiktir. Enerji alt yapı yatırımlarının oldukça yüksek maliyetinin amortismanı için uzun vadelerle hizmet verebilecek teknolojiye sahip başta iletken olmak üzere donanımlara ihtiyaç vardır [1-3].

İletken seçiminde göz önünde bulundurulması gereken başlıca parametreler şöyledir:

- 50 yıl ve üzeri servis ömrü,
- Uzun sürünme ömrü,

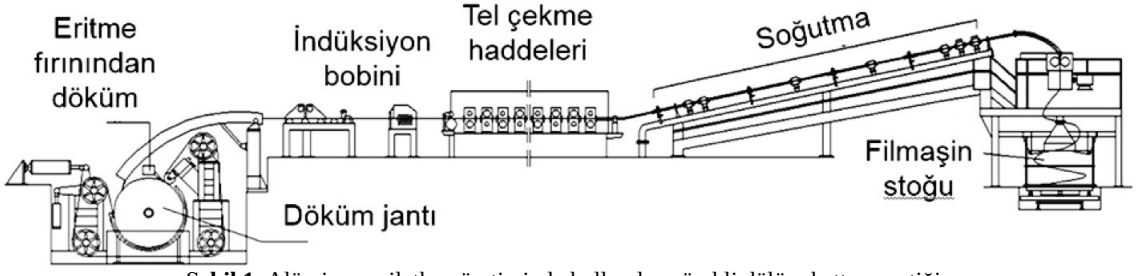
- Düşük fiyat,
- Nakliye ve montaj kolaylığı,
- Düşük bakım gereksinimi,
- Ani aşırı yüklemelere dayanım,
- Standart montaj elemanlarına uyum,
- Galvanik korozyona direnç,
- Servis yüklerine dayanım,
- Yüksek akım taşıma kapasitesi

Bu isterleri karşılayabilecek iletken malzemeleri tahmin edilebileceği gibi kısıtlıdır. Uluslararası platformda kabul gören türlerden biri SS–4240813 numaralı İsveç standardı olan, ekonomik krizlerin yoğun olduğu 1970'li yıllarda geliştirilen iletken malzemesi Al–59 dur. Kodlama içerisinde belirtilen 59 sayısı iletkenliğin 59 %IACS olduğunu ifade etmektedir. Al–59 kodlu iletkenin kimyasal bileşimi AA–6000 serisi malzeme bileşimi olan Al–Mg–Si gurubuna yakın bir bileşimdedir. Bundan başka Avustralya merkezli Olex firması 1978 yılında AS–1531 numaralı standardı ile fiziksel ve elektriksel parametreleri ve AS–2848 standardında alaşımının kimyasal bileşimi tariflenen 1120 kodlu iletken türünü sunmuştur. 1120 kodlu iletken yüksek epüriteli AA–1000 alaşımından geliştirilmiş bir malzemedir. Bu benzer malzemelerin kod numaralarının farklı olması sadece ülkelerin kendine özgü kodlama sisteminden kaynaklanmaktadır. Bunlardan başka bir diğer iletken İngiltere'de transmisyon hatları için geliştirilmiş EHC (extra high conductivity) malzemedir. EHC tipi iletken AA–6000 serisi alaşım özelliğinde Mg–Si kombinasyonu içeren AA–6101 ve AA–6201 bileşimindeki Ti, V ve Cr gibi iletkenliği düşüren empüritelerin modifikasyona maruz bırakılarak iletkenliğin arttırıldığı bir malzemedir [4-7].

Bu çalışmada yüksek sıcaklıklarda dayanımı artırılmış alaşımlar aslında bir EC grade alüminyum malzeme içine kontrollü katışkı ilavesiyle hazırlanan malzemeler olup nasıl iletken haline getirildikleri ve neden tercih edildikleri anlatılıp malzeme fiziksel özellikleri tanıtılacaktır. Ayrıca bu makalede, İsveç tarafından geliştirilen Al–59 alaşımı tanıtılıp daha sonra Avustralya Olex firması tarafından lisansı alınarak 1120 adı altında imal edilen malzemelere ait süreç ele alınacaktır. Ayrıca geliştirilen Al-Zr alaşımı, mevcut iletken sektöründe kullanılan 6000 serisi alaşımı olan AAAC iletken malzemelerinin fiziksel özellikleri verilip diğer alaşım malzemeleri olan Al–59 ve 1120 ile mukayeseleri sunulacaktır. Mevcut çalışmanın genel amacı, soğuk çekimden sonra mümkün olan en iyi kristalleşme dayanımına sahip iletken üretimi için yenilikçi bir termal dirençli alaşım sağlamak için Zr elemanlarından farklı ek bileşimler imal etmektir. İletim hatlarında Al-Zr alaşımı kullanılması sayesinde malzeme sınırlamaları aşılır. Bu amaçla, zirkonyumun EC saflıkta alüminyum imalatında alaşım elementi olarak kullanılması ile çeşitli kompozisyonlarda imalatı ele alınmıştır. Tel çubukların üretim prosedürü tanıtılmış ve çekme mukavemeti, ısıl direnç özellikleri ve elektrik iletkenliği değerleri sunulmuştur.

2. Alüminyum İletken Üretim Metodu

Alüminyum iletkenlerin üretimi EMTA Kablo'ya ait Kadirli OSB'de kurulu tesiste gerçekleştirilmiştir. İletken üretimi üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar sürekli döküm hattı (continuous casting line, CCL), tel çekme hattı ve iletken örme hattı. Şekil 1'de çok yönlü bir sürekli döküm hattına ait şematik düzen görülmektedir. Genel itibariyle hat sistemi ASTM-B398M'ye göre AA6101 (AlMgSi) alaşımı ve ASTM-B230 standardına göre AA1070 alüminyum dökümü için kullanılır [4,6].



Şekil 1. Alüminyum iletken üretiminde kullanılan sürekli dölüm hattı şematiği.

Hammadde üretimi başlatıldığında, tutma fırınındaki erimiş haldeki alüminyum metal bakır tekerlek kalıbına alınır. Ardından kontrollü katılaşma ve kristalleştirme için su soğutması uygulanır. Trapez çubuk formunda bakır tekerlekten takribi 550°C'de çıkar. Haddeleme işlemini takiben 9.5 mm çaplı filmaşin halinde 250-270°C'ye sahiptir ve hava soğutması için sepet bobin birimine taşınır. Hammadde sıcaklığının 20-25°C'ye düşürülmesinden sonra tel çekme makinelerine tedarik edilir. AlMgSi alaşımlarının üretimi AA1070 alaşımından farklılıklar barındırır. Erimiş AlMgSi alaşımı ASTM B399 ve DIN 48201 standartlarına göre tutma fırınında hazırlanır. Ardından 750°C'de katılaştırma tekerleğine beslenir. AlMgSi çubuğu tekerlekleri 400—450°C'de tutulmalıdır.

3. Üretim Uygulaması ve Test Sonuçları

Gerçekleştirilen üretim uygulaması ve elde edilen bulgular aşağıda ele alınmıştır. Söz konusu üretimlerde öncelikle sürekli döküm hattında pota içeriğinin ayarlanması gerçekleştirilmiştir. Ardından sürekli döküm hattında Filmaşin formunda yarı mamul elde edilmiştir. Son olarak Yarı mamul tel çekme hattında kademeli olarak 3,44 mm çaplı tel formuna getirilmiştir. Üretimde kullanılan mastır alaşıma ait kimyasal analiz bilgileri Çizelge 1'de görülmektedir. Söz konusu bileşim elektrik iletkeni üretimi kullanımında genel olarak tercih edilen içeriğe sahip bir mastır alaşımdır.

Çizelge 1. Eritilen alüminyum külçe kimyasal analiz sonuçları.

Al	Si	Mg	Fe	Cu
99,87	0,041	0,00215	0,062	0,00029

Çizelge 1'de belirtilen sonuçlar doğrultusunda aşağıda Çizelge 2'de belirtilen hesaplama ile potaya ilave edilecek alaşım elementleri hesaplanmış ve eklemeler yapılmıştır. Eklemelerle ilgili bilgiler Çizelge 2'de görülmektedir.

Bu doğrultuda 3 ton malzeme için gerekli alaşım malzemeleri dinlendirme fırınında karıştırılmıştır. Manyetik karıştırıcı kullanılmamıştır. Gelberi ile karıştırma ve gaz alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Fırında kullanılacak malzeme miktarı.

Element	Mevcut Kimyasal	İlave Edilen Malzeme Miktarı
Si	0,042	Ekleme yapılmamıştır.
Mg	0,00215	Mg =0,7*10*3 =2,1 Kg
Cu	0,00029	Cu =(0,09*10*3)/0,75 =3,5 Kg
Fe	0,062	Fe =(0,10-0,062)*3*10)/0,70 = 1,7 Kg

Sürecin bu adımında kimyasal bileşim kontrolü için yeniden numune alınarak analize gönderilmiştir. Çıkan sonuçlar Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3. Malzeme ekleme sonrası kimyasal analiz sonuçları.

Al	Si	Mg	Fe	Cu
99,54	0,041	0,09181	0,089	0,04

Hazırlık aşamasında yapı içerisine zirkonyum aşılaması yapılarak toplam 4 sepet olacak şekilde döküm gerçekleştirilmiştir. Döküm ve üretim parametreleri Tablo 4'de görülmektedir. Elde edilen filmaşinlere uygulanan test sonuçları Tablo 5'de görülmektedir. Elde edilen filmaşin tel çapı 3,44 olacak şekilde tel çekme prosesine tabi tutulmuştur. Ardından mekanik ve elektriksel özellikleri karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da görülmektedir.

Çizelge 4. Malzeme ekleme sonrası kimyasal analiz sonuçları.

Sepet No	Fırın Sıcaklığı	Bara Çıkış Sıcaklığı	İndüksiyon Giriş Sıcaklığı	İndüksiyon Çıkış Sıcaklığı	Emülsiyon Sıcaklığı	Teker Devri	Akım
1	740	400	400	430	44,3	852	70
2	745	429	400	yok	44,7	853	83
3	740	444	444	512	45,5	1003	52,7
4	735	438	438	530	45,9	1003	46

Çizelge 5. Filmaşin imalatı sonrası karakterizasyon sonuçları.

Sepet No	Kopma	Uzama%	İletkenlik (IACS)	Çap	Kesit
1	211	17,5	49,35	9,63	72,38
2	206	10,5	49,19	9,63	72,38
3	271	30,3	50,24	9,50	70,88
4	225	33,4	50,38	9,50	70,88

Çizelge 6. Tel çekme sonrası karakterizasyon sonuçları.

Sepet No	Kopma (MPa)	Uzama%	İletkenlik (IACS)	Çap	Kesit
1	244	3,5	52,73	3,44	9,29
2	271	4,2	51,74	3,44	9,29
3	246	2,8	53,56	3,44	9,29
4	215	4,4	52,64	3,44	9,29

Al-Zr faz diyagramında incelendiğinde, zirkonyum alüminyum ile peritektik reaksiyon gösterdiği ve alüminyum içerisindeki maksimum çözünürlüğünün ağırlıkça %0,28 olduğu görülmektedir. Zirkonyum yüksek konsantrasyonlarda (%2) alüminyum alaşımlarını üzerinde tane boyutu küçültücü etki göstermektedir. Bununla birlikte, alüminyumda tane küçültme özellikleri iyi olan hem Fe, Si safsızlıkları hem de Ti, B alaşım elementlerinin bulunması zirkonyumun tane küçültme özelliğini olumsuz etkilemektedir.

Al-Zr alaşımları için homojenizasyon prosedürünün ortam sıcaklığından 475 °C'ye ısıtma ardından bu sıcaklıkta 5-20 saat tavlama süresi içinde tutulmaktadır. Tel çekme işleminden sonra deforme olmuş bir durumda olan alüminyum alaşımının gerilme sertleştirmesi sonucu mekanik özelliklerinde artış görülmektedir. Bu artışın korunması için yüksek sıcaklıklarda servis koşullarında oluşabilecek yeniden kristalleştirmeden kaçınılmalıdır. Zirkonyumun rolü yüksek sıcaklıklarda yeniden kristalleşme direncinde artışı temin etmektir. Zirkonyum dispersoidleri, tane sınırlarında mevcut olduğunda, hareketli tane sınırlarının sabitlendiği Zener adı verilen bir mekanizma yoluyla tane büyümesini engellenmiş olur.

Zirkonyumun katı çözelti sistemindeki tane büyümesi kinetiğini etkileyen bir rolü bulunmaktadır. Tanecik sınırlarında meydana gelen düzensiz yönlenme birincil yeniden kristalleşme sırasında tanelerin sınır hareketi ve alaşımda depolanmış enerji tane büyümesine neden olmaktadır. Çeşitli noktalarda karşılaşılan tane sınır hareketliliği bileşimde zirkonyum içeriğinin değişimleri ile bağlantılıdır. Endüstride söz konusu alaşımın kullanımı için alüminyum zirkonyum alaşımlarında zirkonyum aşılamanın ısıl direnci nasıl değiştireceği bilinmesi gereken bir konudur.

Elementel olarak zirkonyumun çok düşük eriyik yüzdeleri ile ilavesi şiddetli bir şekilde sıkışmış halde tane sınırlarının meydana gelmesiyle sonuçlanır. Bu nedenle zirkonyum dispersiyonları ve diğer metallik fazlar arasında enerji bariyeri oluşur. Bu olgu zirkonyum atomlarının boyut uyuşmazlığına ve enerji faktörlerine bağlı olarak daha yüksek bir enerji bariyeri sağlayan çözünen sürüklenme olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, bir alüminyum matrisindeki zirkonyum atomları belirgin bir boyut uyumsuzluğu sergiler ve çözünen sürüklenme etkisine neden olur. Birincil yeniden kristalleşme bu enerji bariyeri aşıldığında gerçekleşir.

Enerji talebindeki sürekli artış, elektrik altyapı tedarikçileri tarafından karşılanması gereken mutlak bir gerekliliktir. Alüminyum alaşımlarına uygulanan zirkonyum aşılaması, iletken boyutu aynı olan elektrik iletken alaşım sınıfına kıyasla, akım taşıma kapasitesinin daha fazla olmasını sağlamaktadır. İletken malzeme olarak alüminyum zirkonyum alaşımı kullanıldığında, kesit alanının azalması ve iletken ağırlığının veya düşük kapasiteli trafo merkezlerinin ağırlığının azaltılabilme imkanını doğurmaktadır. Elektrik iletkeni alaşım içeriğindeki iletkenlerin alüminyum zirkonyum alaşımlı iletkenlerle değiştirilmesi, iletim sistemi kapasitesinin büyümesini mümkün kılmaktadır. Alüminyum zirkonyum alaşımından mamul iletken, aşırı yük altında veya kısa devre ve şimşek maruziyeti gibi acil durum koşullarında iletim hattının güvenilirliğini arttırır.

4. Sonuç

Özetle, zirkonyumun iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri, ağırlıkça düşük yüzde miktarlarında yapılan aşılama ile geliştirilerek termal dirençli alüminyum elde edilmektedir. Soğuk çekme öncesinde gerçekleştirilecek ısıl işlem prosedürlerinin gerçekleştirilmesi deneme üretimlerinde tespit edilmiştir. Tel çekme işleminden sonra ki mekanik özelliklerinde artışın yeniden kristalleştirmeden kaçınılmalıdır. Tane sınırlarındaki zirkonyum dispersoidleri Zener mekanizması ile istenilen özelliklere ulaşmayı sağlamaktadır.

Teşekkür

Yazarlar söz konusu çalışmayı 1501 kodlu Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı altında 3151035 numaralı proje kapsamında sağlamış olduğu destekten ötürü Tübitak'a şükranlarını sunarlar.

Referanslar

[1] A. T. Ertürk, E. A. Güven, S. Karabay, Transactions of the Indian Institute of Metals, 68(4) (2015) 535-541.
[2] A. T. Ertürk, E. A. Güven, S. Karabay, Acta Physica Polonica-A, 127 (2015) 1292-1294.
[3] S. Karabay, E. A. Güven, A. T. Ertürk, Engineering Failure Analysis, 31 (2013) 153-160.
[4] S. Karabay, Materials and Design 27(10) (2006) 821–832.
[5] F. Liu, R. D., Findlay, Electric Power Systems Research 78(2) (2008) 209-216.
[6] S. Karabay, F. K. Önder, Electric Power Systems Research, 72(2) (2004) 179-185.
[7] Y. Wuhua, L. Zhenyu, Materials and Design, 32 (2011) 4195–4200.

A356 Matrisli TiB_2 Takviyeli İn-Situ Kompozit Üretimi

A356 Matrix TiB_2 Reinforced In-Situ Composite Production

Ayşegül Ayça Kısasöz, Alptekin Kısasöz, Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

Abstract

Aluminium matrix composites are widely used owing to its higher mechanical properties as specific strength, hardness and wear resistance. Wetting between matrix and reinforcement and homogenous distribution of particulates in the matrix are the main problems that occur during the fabrication of aluminium matrix composites. Reinforcement particulates are constituted in molten metal by various chemical reactions during the fabrication of in-situ composites. Thus, in-situ composites can be fabricated with both lower particulate dimension and homogenous distribution. In this study, aluminium matrix TiB_2 reinforced in-situ composite fabrication was investigated. For this purpose, A356 aluminium alloy was chosen as matrix material and K_2TiF_6 / KBF_4 powders were used for constitution of TiB_2 particulates in molten metal. A356 alloy was melt at 800˚C and 850˚C, K_2TiF_6 / KBF_4 powders are mixed in molten metal to obtain 2.5% reinforcement ratio. Specimens were characterized by optical microscopy and hardness test.

Özet

Alüminyum matrisli partikül takviyeli kompozitler; yüksek özgül dayanım, sertlik ve aşınma dayanımı gibi mekanik özellikleriyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kompozit malzemenin üretiminde partiküllerin dışarıdan ilave edilmesi sırasında, partiküllerin ergiyik metal içine emdirilememesi ve homojen dağıtılamaması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Insitu kompozitlerin üretiminde takviye elemanı ergiyik metal içerisinde çeşitli tepkimeler yardımıyla oluşturulmaktadır. Böylece, hem daha küçük boyutlu partiküllerin elde edilmesi hem de daha homojen bir partikül dağılımının oluşması mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, insitu yöntemiyle alüminyum matrisli TiB_2 matrisli kompozitlerin üretimi araştırılmıştır. A356 alaşımı matris malzemesi olarak seçilmiş ve TiB_2 partiküllerin oluşturulması için K_2TiF_6 ile KBF_4 tozları kullanılmıştır. Bu amaçla 800˚C ve 850˚C'de A356 alaşımı ergitilmiş, %2,5 TiB_2 takviye oranını sağlayacak şekilde A356 alaşımı ve K_2TiF_6 ile KBF_4 tozları karıştırılmıştır. Üretilen numuneler mikroyapı incelemeleri ve sertlik testleri ile karakterize edilmiştir.

1. Giriş

Alüminyum alaşımları hafiflik, şekil alma kabiliyeti, korozyon dayanımı, süneklik, ısıl ve elektriksel iletkenlik gibi birçok özelliği bir arada bulundurduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunun yanında; alüminyum alaşımlarının, seramik takviye elemanlarıyla güçlendirilmesiyle mekanik dayanımı ve aşınma direnci yüksek olan malzemeler elde edilmiş olur [1-3].

Alüminyum matrisli seramik takviyeli kompozitlerin üretiminde genel olarak SiC, B_4C, Al_2O_3, TiC, TiB_2 gibi seramik parçacıklar takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek termal iletkenlik ve özgül mukavemet ile düşük termal genleşme katsayısı gibi özellikler, alüminyum matrisli seramik takviyeli kompozit malzemelerin üretilmesiyle elde edilebildiği için bu alandaki çalışmalar oldukça yaygındır [4-7].

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde matris ve takviye elemanı arasında ıslatmanın sağlanamaması, uygun arayüzeyin elde edilememesi, takviye elemanının matris içerisinde homojen dağılmaması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar uygun üretim yönteminin ve matris alaşımının seçimi gibi değişkenler ile giderilmektedir. Akışkanlığı ve dökülebilirliği yüksek alüminyum döküm alaşımlarının kullanımı üretim prosesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, alüminyum döküm alaşımlarının kullanımıyla daha yüksek dayanım değerleri elde edilmektedir [8-10].

Alüminyum matrisli seramik takviyeli kompozitlerin üretiminde istenen arayüzeyin oluşmaması ve takviye elemanın yapı içerisinde homojen dağılmaması gibi sorunlar insitu (yerinde üretim) yöntemiyle çözülmektedir. Insitu tekniği matris malzemesi içinde takviye parçacıklarının üretimini kapsamaktadır. 1990'larda bu teknik geliştirilmeye başlanmış, o tarihten itibaren

araştırma konularında yerini almıştır. Bu teknikle, diğer üretim yöntemlerine göre daha küçük boyutlu takviye elemanına sahip kompozit malzemeler üretilmesi de mümkün olmaktadır [7-13].

Bu çalışmada, insitu yöntemiyle alüminyum matrisli TiB_2 matrisli kompozitlerin üretimi araştırılmıştır. A356 alaşımı matris malzemesi olarak seçilmiş ve TiB_2 partiküllerin oluşturulması için K_2TiF_6 ile KBF_4 tozları kullanılmıştır. Bu amaçla 800˚C ve 850˚C'de A356 alaşımı ergitilmiş, %2,5 TiB_2 takviye oranını sağlayacak şekilde A356 alaşımı ve K_2TiF_6 ile KBF_4 tozları karıştırılmıştır. Üretilen numuneler mikroyapı incelemeleri ve sertlik testleri ile karakterize edilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda kullanılan A356 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. A356 alaşımının kimyasal bileşimi (%ağ.).

Si	Mg	Fe	Zn	Mn
7,288	0,354	0,144	0,008	0,028
Cu	Cr	Ni	Ti	Al
0,011	0,003	0,0031	0,123	Kalan

Alüminyum matrisli TiB_2 takviyeli in-situ kompozit malzemenin üretimi 800˚C ve 850˚C olmak üzere iki ayrı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. A356 alaşımının belirtilen sıcaklıklarda ergitilmesinden sonra, ergiyik içine %2,5 TiB_2 takviye oranını sağlayacak şekilde K_2TiF_6 ile KBF_4 tozları ilave edilmiştir. Her bir döküm prosesinde ergiyik metal 15 dakikada bir 150 saniye karıştırılmış ve proses toplam 1 saat sürmüştür. 800˚C'de iki ayrı döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemlerinden ilkinde grafit çubukla elle karıştırma uygulanırken, diğer döküm işleminde bor nitrür kaplı karıştırıcıyla mekanik karıştırma uygulanmıştır. 850˚C'de gerçekleştirilen proseste ise mekanik karıştırma uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen numuneler Çizelge 2'de verildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2. Numunelerin sınıflandırılması

Numune Numarası	Döküm Sıcaklığı	Karıştırma
1	800˚C	Grafit çubukla karıştırma
2	800˚C	Mekanik karıştırma
3	850˚C	Mekanik karıştırma

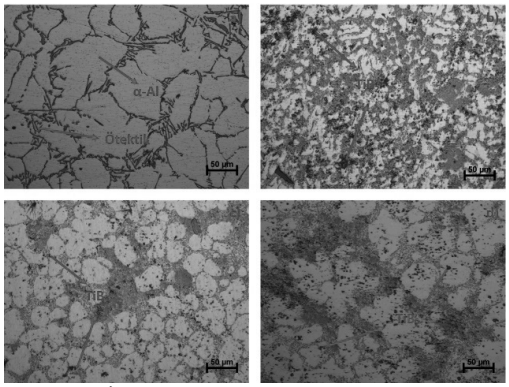
Numunelerin mikroyapı özellikleri, ışık mikroskobu incelemeleriyle araştırılmıştır. Mikroyapı incelemeleri öncesinde standart numune hazırlama işlemi uygulanmıştır. Numuneler 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımparalar ile zımparalanmış ve 1 µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler Keller çözeltisi (1 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5ml HNO_3, 95 ml H_2O) ile dağlanmıştır. Numunelerin mekanik özellikleri Brinell sertlik testiyle incelenmiştir. Sertlik testleri 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında çelik bilya kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen dökümler sonucunda, (1)'de verilen kimyasal tepkime elde edilmiş ve insitu kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.

$$K_2TiF_6+KBF_4+Al > TiB_2+KFAlF_3+KF+AlF_3 \quad (1)$$

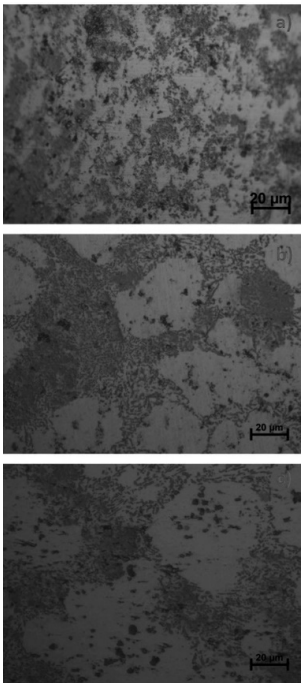
Bu reaksiyonun Gibbs serbest enerji değeri -981990+112,8T $Jmol^{-1}$'dir ve reaksiyon ekzotermiktir [11].



Şekil 1. İşlem görmemiş A356 alaşımı ve insitu kompozit mikroyapıları a) A356 alaşımının mikroyapısı b) 1 numaralı numunenin mikroyapısı c) 2 numaralı numunenin mikroyapısı d) 3 numaralı numunenin mikroyapısı.

Şekil 1'de ışık mikroskobu incelemeleri sonucunda elde edilen mikroyapılar görülmektedir. Şekil A356 alaşımı işlem görmemiş halde mikroyapısında; birincil kristalleri (α-Al) ile Al-Si içeren ötektik yapıyı bulundurmaktadır (Şekil 1a). Şekil 1b, 1c ve 1d'de ise deneysel çalışmalar sonucunda üretilen insitu kompozit malzemelerin mikroyapıları görülmektedir. Her üç işlem parametresinde de insitu kompozit malzeme üretimi başarıyla gerçekleşmiş ve matris yapısı içerisine dağılmış partiküller elde edilmiştir. Mekanik karıştırma uygulanarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapısı incelendiğinde, α-Al'de belirgin bir küreselleşmenin meydana geldiği görülmüştür.

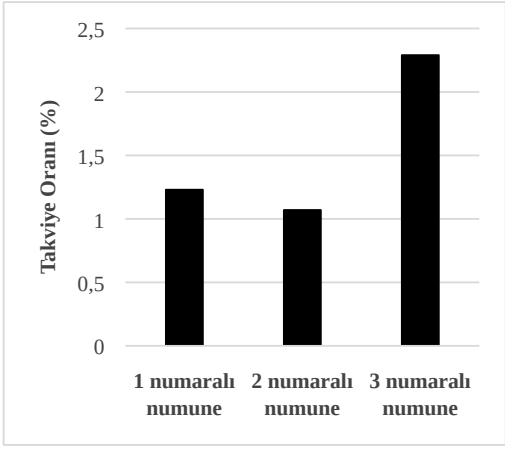
Şekil 2'de farklı işlem parametreleriyle üretilmiş A356 matrisli TiB_2 takviyeli insitu kompozit malzemelerin daha yüksek büyütmelerdeki ışık mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Mekanik karıştırma ile üretilen malzemelerde, α-Al kristallerindeki küreselleşme açıkça görülmektedir. 1 numaralı numunede, takviye elemanı olan partiküllerin ötektik faz içerisinde dağıldığı görülürken, mekanik karıştırma ile birlikte α-Al içerisinde de takviye elemanı partiküllerin oluştuğu belirlenmiştir. Özellikle hem mekanik karıştırmanın kullanıldığı hem de döküm sıcaklığının arttırıldığı (850˚C) 3 numaralı numunede, α-Al içerisinde yoğun bir partikül oluşumu meydana gelmiştir.



Şekil 2. A356 matrisli TiB_2 takviyeli kompozitlerin mikroyapısı a) 1 numaralı numune b) 2 numaralı numune c) 3 numaralı numune

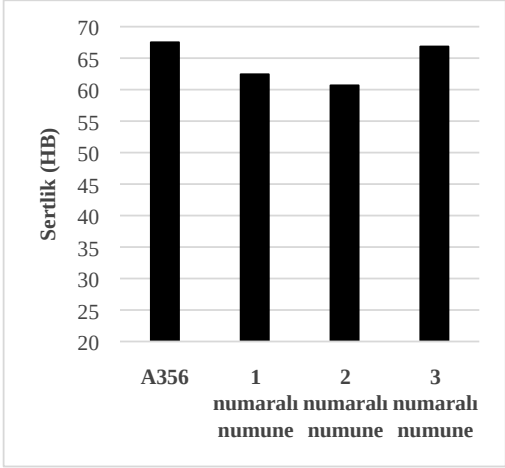
Şekil 3'te üretilen kompozit malzemelerin ışık mikroskobu görüntülerinden, görüntü analizi yardımıyla belirlenen takviye oranı değişimi görülmektedir.

Kompozit malzemelerin üretiminde insitu TiB_2 takviye elemanının oluşturulması amacıyla K_2TiF_6 ve KBF_4 tozları kullanılmıştır. Bu tozlar takviye elemanı %2,5 olacak şekilde sitokiyometrik olarak hesaplanmış ve uygun miktarda ilave edilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde en yüksek takviye oranının döküm sıcaklığının yüksek olduğu ve mekanik karıştırma uygulanan 3 numaralı numunede elde edildiği görülmektedir. 1 ve 2 numaralı numunelerde ise çok daha düşük oranlarda (~%1,1) takviye oranı elde edilmiştir.



Şekil 3. Kompozit malzemelerin takviye oranları(%)

Kompozit malzemelerin sertlik değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Kompozit malzemelerin sertlikleri birbirine oldukça yakındır. Takviye elemanı oranı daha yüksek olan 3 numaralı numunenin sertliği, 1 ve 2 numaralı numunelerin sertliklerinden bir miktar daha yüksektir. Buna karşın, her üç kompozit malzemenin sertliği de A356 alaşımının sertliğinden daha düşüktür. Mandal vd. tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş, %5 TiB_2 takviye oranlarına kadar kompozit malzeme sertliğinin, matris sertliğinden daha düşük olduğu belirlenmiştir [5].



Şekil 4. Kompozit malzemelerin Brinell sertlik değerleri

4. Sonuç

Deneysel çalışmalarda A356 matrisli TiB_2 takviyeli insitu kompozit malzeme üretimi 800˚C ve

850˚C'deki dökümler ile gerçekleştirilmiştir. İstenen takviye oranı (%2,5), sitokiyometrik hesaplamalar sonucunda belirlenen oranlarda ilave edilen KBF_4 / K_2TiF_6 toz karışımı ile elde edilmiştir.

Her üç numunede de insitu kompozit üretiminin başarıyla gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Özellikle mekanik karıştırma uygulanan 2 ve 3 numaralı numunelerde, α-Al'de belirgin bir küreselleşmenin meydana geldiği görülmüştür.

En yüksek takviye oranı, döküm sıcaklığının yüksek olduğu ve mekanik karıştırma uygulanan 3 numaralı numunede elde edilmiştir.

3 numaralı numunenin sertliğinin 1 ve 2 numaralı numunelerin sertliğinden bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, her üç numunenin de sertlik değerleri, A356 alaşımının sertlik değerinden daha düşüktür.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

[1] A. Kısasöz, K. A. Güler ve A. Karaaslan, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 22 (2012) 1563-1567.

[2] K. A. Güler, A. Kısasöz, Ç. Yüksel ve A. Karaaslan, Materialprufung, 54 (2012) 189-192.

[3] A. Kısasöz, K. A. Güler ve A. Karaaslan, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 54 (2013) 320-324.

[4] C. S. Ramesh, A. Ahamed, B. H. Channabasappa ve R. Keshavamurthy, Materials and Design, 31 (2010) 2230-2236.

[5] A. Mandal, R. Maiti, M. Chakraborty ve B. S. Murty, Materials Science and Engineering, 386 (2004) 296-300.

[6] C. Mallikarjuna, S. M. Shashidhara, U. S. Mallik ve K. I. Parashivamurthy, Materials and Design, 32 (2011) 3554-3559.

[7] M. Wang, D. Chen, Z. Chen, Y. Wu, F. Wang, N. Ma ve H. Wang, Materials Science and Engineering, A 590 (2014) 246-254.

[8] B. Dang, C. Lıu, F. Lıu, Y. Lıu ve Y. Lı, Transactions Nonferrous Metals Society of China, 26 (2016) 634−642.

[9] M. Çolak ve R. Kayıkcı, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg., 15(3) (2009) 345-351.

[10] C. Yang, Y. Lı, B. Dang, H. Lü ve F. Lıu, Transactions Nonferrous Metals Society of China, 25 (2015) 3189−3196.

[11] S. Lakshmi, L. Lu ve M. Gupta, Journal of Materials Processing Technology, 73 (1998) 160-166.

[12] R. Keshavamurthy, S. Mageri, G. Raj, B. Naveenkumar, P. M. Kadakol ve K. Vasu, Research Journal of Material Sciences, 1(10) (2013) 6-10.

[13] T. Hong, X. Li, H. Wang, D. Chen ve K. Wang, Materials Science and Engineering, A 624 (2015) 110-117.

A356 Alaşımının Eğimli Soğutucu ile Dökümü ve Yarı-Katı Dövme İşlemi

Thixoforging of A356 Alloy Cast Through Cooling Copper Tube

Nazım Açıcı, Serhat Acar, Kerem Altuğ Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi

Abstract

In this study, the alloy (A356) was poured from the inclined copper tube with the angle of 60^0, length of 650mm and diameter of 50mm at a pouring temperature of 635 ^{0}C. The pouring was carried out on an inclined tube without vibration through cast iron die. Low superheat casting (LSC) technique was used for ingot fabrication in thixoforging process. LSC can be summarized; pouring of molten metal at a temperature very close to liquidus followed by rapid solidification. Low heat input combined with sudden cooling suppresses dendritic growth and conventional casting structure converts into more spherical structure. The billets that were produced by aforementioned procedure, were reheated between 20-80 min at 595 C which 20 ^{0}C below the melting temperature of the alloy. Reheated samples were formed with semi-solid forging at a rate of 50% deformation in an open die. The specimens formed by semi-solid forging were compared with as-cast and quenched specimens via optical microscope and Brinell hardness measurements in terms of microstructure and hardness properties, respectively.

Özet

Bu çalışmada, A356 alaşımının dökümü 650mm uzunluğunda ve 50mm çapında eğimli soğutucu bakır boru kullanılarak 60˚ açıyla, 635 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu üretim tekniği; alaşımın likidüs eğrisine çok yakın bir noktadan dökümünü takiben hızlı katılaşması prosesleriyle özetlenebilir. Düşük ısı girdisi ve hızlı soğumanın kombinasyonu dendritik büyümeyi baskılar ve mikroyapı küresel bir hal alır, bu da daha ileri yarı-katı şekillendirme proseslerine olanak sağlar. Bahsedilen teknikle üretilen biyetler, alaşımın ergime sıcaklığının 20˚ C altında, 595 ˚ C'de, 20 – 80 dk arası değişen sürelerde yeniden ısıtılmıştır. Yeniden ısıtılmış numuneler % 50 deformasyon oranında açık kalıpta yarı-katı dövme ile şekillendirilmiştir.

Yarı-katı dövme ile şekillendirilen numuneler; döküm hali ve yeniden ısıtma sonrası deforme edilmeden suda soğutulan numunelerle, mikroyapı ve sertlik özellikleri açısından sırasıyla optik mikroskop incelemeleri ve Brinell sertlik ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

1. Giriş

Geleneksel katılaşma proseslerinde kontrolsüz dendiritik büyümeler meydana gelir. Malzemenin mekanik özelliğini de etkileyen bu büyümeler imalat proseslerinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu oluşum ve oluşumdan doğan olumsuz sonuçları elemine etmek yarı-katı şekillendirme yöntemleri geliştirilmiştir [1]. Bu yöntemler ile dendiritik oluşum baskılanabilir; daha iyi mekanik özellikler ve çekinti boşluklarının azalması sağlanabilir. Bu yöntemler katı hal ve sıvı hal yöntemleri olarak ayrılabilir. Sıvı hal yöntemleri; mekanik karıştırmalı dökümler, elektromanyetik alan teknikli dökümler, osprey prosesi, Yeni Reodöküm Yöntemi, Eğimli soğutuculu döküm yöntemi vb. Katı hal Yöntemleri; titreşimli su soğutmalı döküm yöntemi, ultrasonik titreşimli mekanik karıştırma yöntemi vb. [2]

Bir sıvı hal yöntemi olan 'Eğimli soğutucu döküm yöntemi'; genel olarak sıvı metalin soğutucu iletken bir metal vasıtasıyla kalıba dökülmesi proses adımlarından oluşur. Ergiyik metal katılaşma sıcaklığına yakın (düşük üst ısılı) bir sıcaklıkta soğutucu metale dökülerek, yarı katı form oluşturulur ve sonuç olarak çok çekirdekli bir yapı elde edilir. Bu yöntem ile geleneksel döküm yapısından farklı küresel bir mikro yapı elde edilir. Daha ileri yarı katı şekillendirme adımlarında (dövme, ekstrüzyon) bu tür küresel mikro yapılar tercih edilir. [3, 4]

Bu çalışmada A356 Alüminyum alaşımı 635 °C'den 20 derece aşağıda(düşük üst ısıda) bakır borunun iletkenliği ve soğutucu işlevlerinden yararlanılarak dökme demir kalıp içerisine dökülmüştür. Elde edilen biyetler; çeşitli yeniden ısıtma süreleri sonrasında %50 deformasyon oranında yarı katı şekillendirilmiştir. Ayrıca as-cast ve hızlı soğutulmuş numunelerin de mikro yapı ve sertlik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir

2. Deneysel Çalışmalar

A356 Alüminyum ile 635 °C sıcaklıkta ve 60 derece eğimle kokil kalıba döküm işlemi yapılmıştır. Döküm yolunda soğutucu olarak 50mm çapında 650mm boyunda bakır boru kullanılmış ve biyetler 40mm çapında çelik bir kalıba yaklaşık 300mm boyunda dökülmüştür.

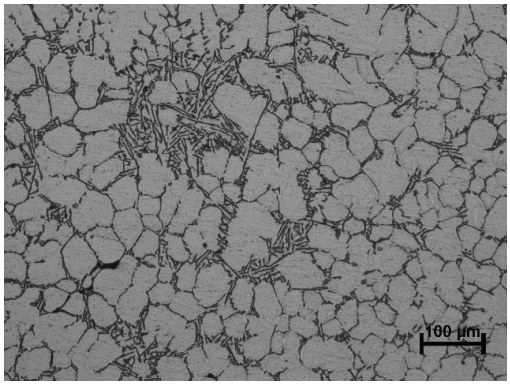
Elde edilen biyetler 20,40,60 ve 80 dakikalık yeniden ısıtmalar sonrası % 50 deformasyon olacak şekilde hidrolik pres vasıtasıyla yarı katı şekillendirilmiştir. Ayrıca her yeniden ısıtma süresinde bir numune de suda soğutulmuştur.

Metalografik inceleme için 1200'lük zımpara derecesine kadar zımparalanan, 1 mikronluk elmas pasta ile parlatılan ve %0,5'lik HF çözeltisiyle dağlanan numuneler Nikon Eclipse MA100 markalı optik mikroskopta incelenmiştir. Bu incelemeler sonrasında mikro yapı ile birlikte küresellik indeksi ve ortalama tane çapı incelenmiştir. Son olarak numunelerin sertliği; Brinell sertlik cihazı vasıtasıyla 62,5 kgF yük altında ölçülmüştür ve bilye çapı 2,5 mm'dir.

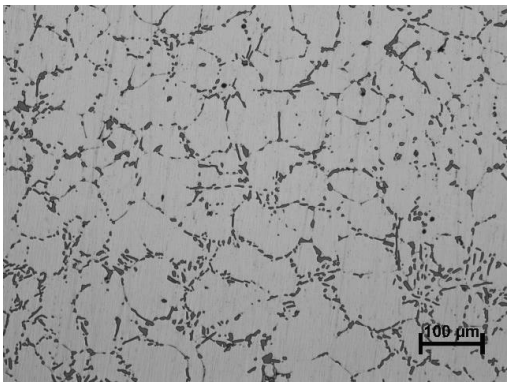
3. Sonuçlar ve Tartışma

Yarı katı şekillendirme prosesleri sonrası elde edilen numunelerin tamamı optik mikroskop altında incelenmiştir. İlgili numunelerin mikro yapıları Şekil 1. ile Şekil 9. arasında verilmiştir. Bu görüntüler ışığında eğimli soğutucu bakır boru kullanılarak gerçekleştirilen düşük üst ısılı döküm prosesi ile dendritik büyümenin baskılandığı ve yarı katı şekillendirme prosesleri için uygun hammadde üretilebildiği görülmüştür.

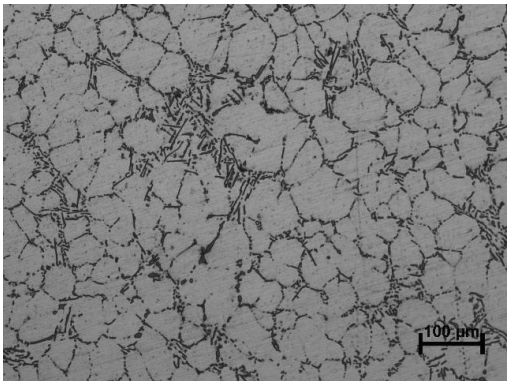
Verilen mikroyapı görüntüleri incelendiğinde artan yeniden ısıtma süresiyle küresellik ve ortalama tane çapındaki artışla birlikte, yarı katı şekillendirilmiş numunelerdeki deformasyon tekstürü kabaca göze çarpmaktadır.



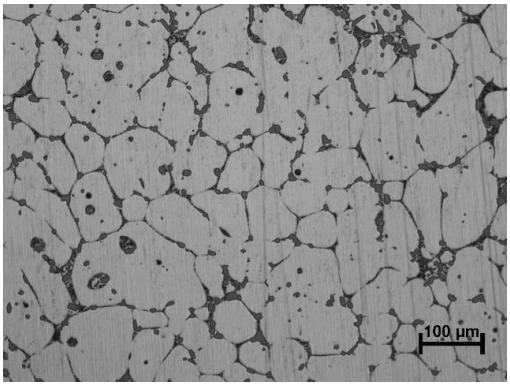
Şekil 1. As-cast numune



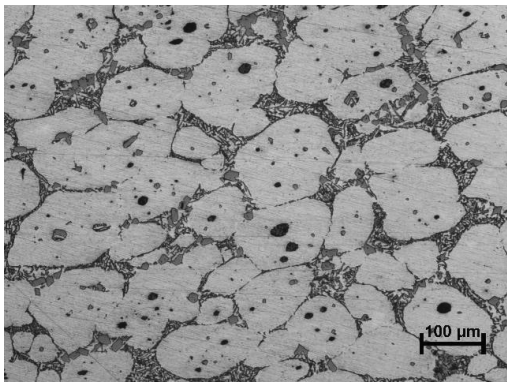
Şekil 2. 20 dk ısıtılıp suda soğutulan numune



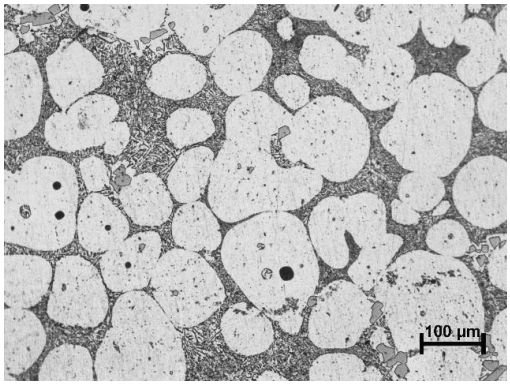
Şekil 3. 20 dk ısıtılıp yarı-katı şekillendirilmiş numune



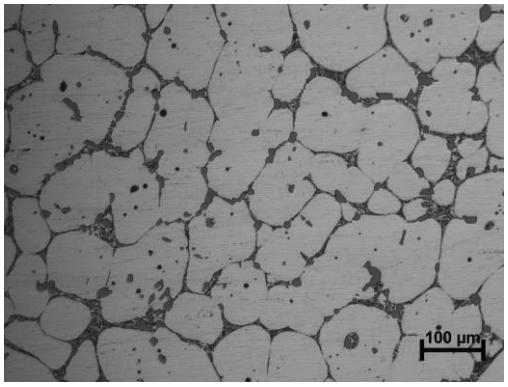
Şekil 4. 40 dk ısıtılıp suda soğutulan numune



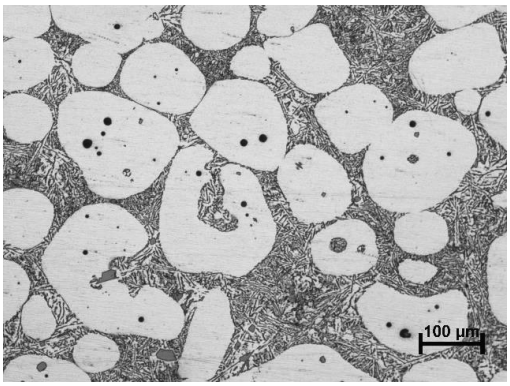
Şekil 5. 40 dk ısıtılıp yarı katı şekillendirilmiş numune



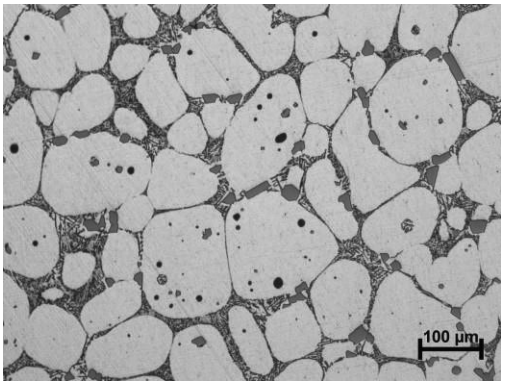
Şekil 6. 60 dk ısıtılıp suda soğutulan numune



Şekil 7. 60 dk ısıtılıp yarı-katı şekillendirilmiş numune



Şekil 8. 80 dk ısıtılıp suda soğutulan numune



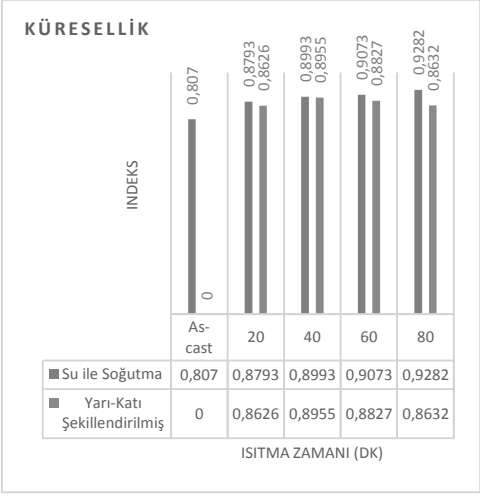
Şekil 9. 80 dk ısıtılıp yarı katı şekillendirilmiş numune

Mikroskop altında incelenen mikroyapılar üzerinden küresellik indeksi ve ortalama tane çapı ölçümleri yapılmış ayrıca tüm numunelerin sertlik değerleri incelenmiştir. Şekil 10'de küresellik indeksi, Şekil 11'te ortalama tane çapı, Şekil 12'te ise sertlik verileri çapı verileri görülmektedir. Küreselliğin yeniden ısıtma süresi ile birlikte suda soğutulan numunelerde arttığı gözlenmiştir. Küresellikteki bu artışı ortalama tane çapında da artış takip etmiştir.

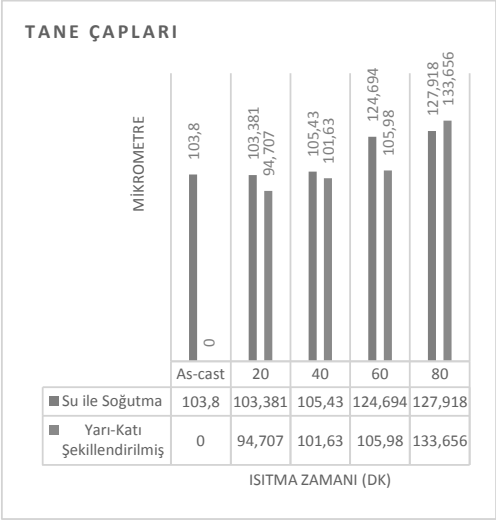
Yarı katı şekillendirilmiş numunelerde ise 40 dk yeniden ısıtma süresinden sonra küresellik indeksinde düşüş meydana gelmiştir. Bu düşüşün, proses esnasında ötektik yapının kısmi ergimesinin ardından meydana gelen deformasyon sonrası yapının daha düşük küresellikte organize olmasıyla ilintili olabileceği düşünülmektedir. Sertlik verileri incelendiğinde ise, suda soğutulan numunelerde yeniden ısıtma süresine bağlı olarak ciddi bir değişim olmazken yarı katı şekillendirilmiş numunelerde ise tane kabalaşmasına bağlı olarak artan yeniden ısıtma süresiyle sertlikte düşüş gözlenmektedir.

Ayrıca suda soğutulan numunelerin yarı-katı şekillendirilmiş numunelere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durum verilen mikroyapılarda da görülebileceği üzere suya atılan numunelerin daha ince düzenlenmiş ötektik yapısına sahip olduğu görülmektedir. Bu sebeple suda soğutulmuş numuneler, yarı katı şekillendirilmiş numunelere göre, 80 dk yeniden ısıtma süresi hariç, daha kaba taneli olsalar da her ısıtma süresi için daha yüksek sertlik göstermişlerdir.

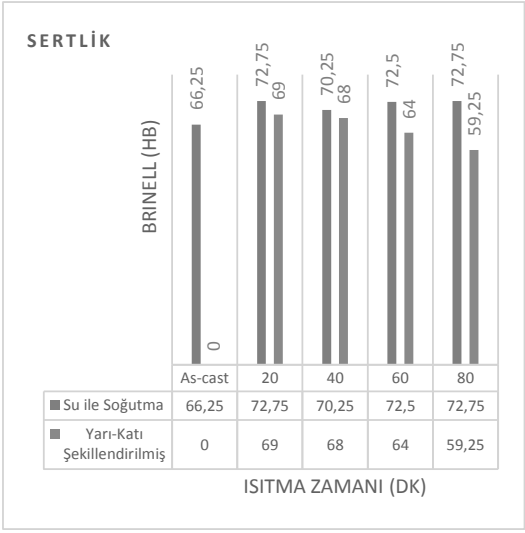
Şekil 10: Su ile Soğutulmuş ve Yarı-Katı Şekillendirilmiş numunelerin küresellik verileri



Şekil 11: Su ile Soğutulmuş ve Yarı-Katı Şekillendirilmiş numunelerin tane çapları verileri



Şekil 12: Su ile Soğutulmuş ve Yarı-Katı Şekillendirilmiş numunelerin sertlik ölçüm kıyaslamaları



4. Genel Sonuçlar

Yapılan incelemeler sonucunda küresellik değeri ele alındığında; suda soğutulan numuneler için ısıtma süresi arttıkça küresellik indeksinin arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 40 dk ısıtmadan sonra yarı katı şekillendirilmiş numuneler için küresellik değeri azalmaktadır. Genel olarak suda soğutulmuş numunelerin küresellik indeksi yarı katı şekillendirilmiş numunelere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Hem suda soğutulan hem de yarı katı şekillendirilen numunelerinin tamamının tane çapları ısıtma süresine bağlı olarak artmaktadır. 80 dk ön ısıtma süresinde ise yarı katı şekillendirilen numunenin ortalama tane çapı ölçümler arasındaki en yüksek değere ulaşmaktadır.

Sertlik değerleri yarı katı şekillendirilmiş numunelerde ön ısıtma süresi arttıkça azalmaktadır. Öyle ki; 60 ve 80 dakikalık ön ısıtma derecelerinde as-cast değerinin de altına düşmüştür. Suda soğutulan numunelerde ise; keskin sertlik değişimleri gözlenmemiştir.

Referanslar

[1] M. Li, Y. Li, X. Huang, C. Cao ve Y. Ma, China Foundry, 14 (2017) 1-9
[2] Z. Xiaoli, L. Xiangjum, W. Tongmin, ve L. Tingju, China Foundry, 11 (2014) 423-427
[3] M.Nili-Ahmadabadi, F. Pahlevani ve P. Babaghorbani, Tsing Hua Science & Technology, 13 (2008) 147-151
[4] L. Yanlei, L. Yuandong, , L. Chun and W. Huihui, China Foundry, 9 (2012) 328-336

2024 Al Alaşımlarında Katılaşma Hızının Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi

The Effect of Solidification Rate of Mechanical and Corrosion Characteristics in 2024 Aluminum Alloy

Zeynep Güneş, Gökçe Hapçı Ağaoğlu, Derya Dışpınar, Gökhan Orhan
İstanbul Üniversitesi

Abstract

In this study, the effect of 2024 Al alloy on the mechanical and corrosion properties of the cooling rate after casting was investigated. For this purpose, specimens prepared by casting 2024 alloy at room temperature and heated to 200 ° C were subjected to hardness and electrochemical corrosion tests. As a result of the hardness tests carried out under a load of 10 g, it was determined that the hardness values of the pile fabricated by heating to 200 ° C were higher than the pile temperature at room temperature. However, as a result of corrosion tests in 3.5% NaCl solution, room temperature castings have been found to have better corrosion resistance than mold castings heated to 200 ° C.

Özet

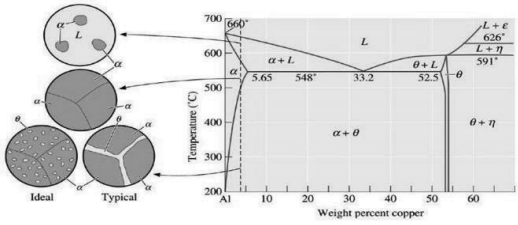
Bu çalışmada, 2024 Al alaşımının döküm sonrası soğuma hızının mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi nincelenmiştir. Bu amaçla 2024 alaşımın oda sıcaklığında ve 200 °C'ye ısıtılmış kokil kalıba dökülmesiyle hazırlanan numuneler sertlik ve elektrokimyasal korozyon testlerine tabi tutulmuştur. 10 g yük altında yürütülen sertlik testleri sonucunda 200°C ye ısıtılan kalıba yapılan gerçekleştirilen döküme ait sertlik değerlerinin oda sıcaklığında döküme göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte %3.5 NaCl çözeltiisinde gerçekleştirilen korozyon testleri sonucunda oda sıcaklığında yapılan dökümlerin, 200°C'ye ısıtılan kalıba yapılan döküme göre daha iyi korozyon dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

1. Giriş

Çökelme sertleşmesi terimi, genel bir ifadeyle birbirleri içerisinde sınırlı çözünürlüğe sahip (tek faz bölgesi içeren) alaşımlara uygulanan bir sertleştirme yöntemidir. Bu işlem, ikinci fazın bir matris içinde katı çözeltiden çökelmesi sonucu alaşımın mukavemetinin artmasını sağlar. Çökelme sertleşmesi, demir dışı malzemelerde özellikle alüminyum esaslı alaşımlarda diğerlerine göre daha geniş çaplı bir kullanım alanına sahiptir.

Al-Cu faz diyagramından da (Şekil 2) görüldüğü gibi ergimiş fazdan ayrışan Al_2Cu arafazı ana faz içerisinde homojen olarak dağılır ve sonuçta alşımın mukavemetinde artış görülür. Al-Cu alaşımlarında katılaşma aralığının genişliği nedeniyle yapısal aşırı soğuma dikkate alınarak teknik olarak alaşımdaki bakır oranı %4.5 ile sınırlandırılmıştır. Al-Cu faz diyagramı incelendiğinde ötektik sıcaklığın altında bakırın alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından, çökelme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur.

Çökelme sertleşmesi işlemi; solüsyona alma, su verme ve yaşlandırma işlemlerinden oluşmaktadır. Alaşım solvüs sıcaklığının biraz altına kadar ısıtılarak tane sınırlarında çökelen ikinci fazlar çözündürülüp, homojen α katı eriyiği bu sıcaklıkta yeterli süre bekletilerek elde edilir (çözeltiye alma). Bu işlemden sonar atomların potansiyel çekirdeklenme yerlerine difüze etmesi için yeterli zamanı bulmasını engelleyerek, istenmeyen ikinci fazın oluşmasını önlemek ve solüsyonu aşırı doymuş katı solüsyon haline getirmek için, alaşım hızla daha düşük bir sıcaklığa soğutulur (su verme).



Şekil 1: Al-Cu faz diyagramı [1]

Böylece yapıda ikinci faz içeren, aşırı doymuş ve dengeli olmayan α katı solüsyonu oluşturulur. Alaşımı su vermeden soğumaya terk etmek, katı eriyiklerin

tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökelmesine ve dolayısıyla şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasına sebep olur. α fazı, fazla bakır içeren aşırı doymuş katı eriyiktir ve dengeli bir yapıda değildir. Son olarak aşırı doymuş α içerisindeki dengeli yapıda olmayan ikinci fazların çökelmesini sağlayarak homojen ve kararlı bir mikroyapı elde etmek için, malzemenin yaşlandırma işlemine tabi tutulması gerekir. Yaşlandırma işlemi doğal (oda sıcaklığında) veya yapay olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir [2]. Yaşlandırmaya bağlı olarak mikro yapıdaki değişikler alaşımın mekanik ve korozyon özelliklerini belirler.

2. Deneysel Çalışmalar

Çizelge 1'de bu çalışmada kullanılan 2024 Al alaşımına ait kimyasal bileşim major metaller dikkate alınarak verilmiştir.

Çizelge 1. 2024 Al alaşımına ait kimyasal bileşim (%)

Al	Cu	Mg	Mn	*
90.7-94.7	3.8-4.9	1.2-1.8	0.3-0.9	0-0.15

*Zn, Ti, Zr, Cr

Alaşım 735°C' de elektrik direnç fırınında ergitilerek, ısıl işlem değişimi ve korozyon özelliklerini saptamak amacı ile çubuk kalıba (Şekil 2) ve farklı soğuma hızlarındaki mikro yapı değişimini belirlemek amacıyla basamak kalıba (Şekil 3) dökülmüştür. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen döküm işlemeleri ve deney kodları :

- Oda Sıcaklığındaki Kokil Kalıplara ilavesiz 2024 Alaşım (K25)
- 200ºC' ye ısıtılmış Kokil Kalıplara ilavesiz 2024 Alaşımı (K200)

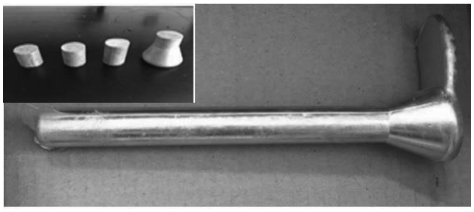
şeklindedir. Çubuk döküm numunesi Şekil 4'de ve çubuk dökümden elde edilen numuneler ise yine Şekil 4'de iç resim olarak verilmiştir.



Şekil 2. Silindirik çubuk kalıp



Şekil 3. Basamak kalıp



Şekil 4. Çubuk döküm numunesi ve bu dökümden elde edilen numuneler (iç resim)

Döküm sonrası hazırlanan parçaların 535°C de farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası i) su verme ile ani soğutuldu ve sertlik değerleri ölçülmüştür ii) sonrasında 15 günlük doğal yaşlandırmaya bırakılarak bu sürenin sonunda tekrar sertlik değerleri alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Elektrokimyasal testler ise, Gamry Instruments Reference 600 potansiyostat/galvanostat/ZRA model cihaz kullanılarak ve polarizasyon eğrileri için DC Corrosion 105, EIS analizleri için EIS 300 yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Testler çift cidarlı, üç elektrodlu standart bir hücrede, %3,5'lik NaCI çözeltisi içerisinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Karşı elektot olarak platin folyo, referans elektrot olarak doymuş KCl çözeltisi içeren Ag/AgCl elektrot ve çalışma elektrodu olarak da yüzeyi çözeltiyle teması 1 cm^2 olacak şekilde maskelenmiş döküm alaşımları kullanılmıştır.

Tafel polarizasyon eğrileri bir saatlik bekleme süresinde sonar ulaşılan denge potansiyelinden anodik ve katodik yöne doğru 200 mV aralığında ve 0.5 mV s^{-1}'lik tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile Tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (i_{kor}) ve anodik ve katodik Tafel eğimleri (β_a, β_c) değerleri hesaplanmıştır. Bu dataları kullanarak ve Stren–Geary eşitliği (Eşitlik 1) yardımıyla alaşımların polarizasyon dirençleri hesaplanmıştır [3,4].

$$R_p = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 i_{corr}(\beta_a + \beta_c)} \quad (1)$$

Döküm numunelerine ait ait korozyon hızları (r_{kor}) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

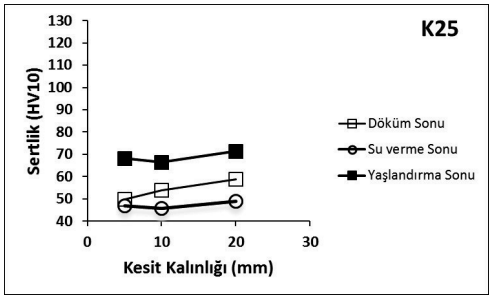
$$r_{kor} = 3.27 \times 10^{-3} \times \frac{i_{kor} M}{nd} \quad (2)$$

Bu eşitlikte ; M: Atom ağırlığı (g/mol), i_{kor}: Korozyon akım yoğunluğu (mA cm^{-2}), n: Elektron sayısı, d: Yoğunluk (g/cm^3) tur.

Elektrokimyasal impedans spektroskobi ölçümleri 0.01 Hz ile 100000 Hz frekans aralığında gerçekleştirlmiştir.

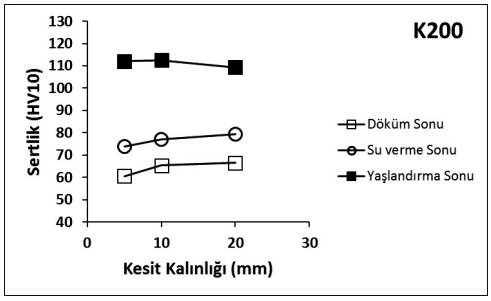
3. Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 5 ve 6'da sırasıyla K25 ve K200 numunelerine ait sertlik-kesit kalınlığı ilişkisi verilmiştir. Kesit kalınlığına göre değişen soğuma hızı dikkate alındığında, kalın kesitli kısmın soğuma hızı ince kesitli kısmın soğuma hızına göre daha yavaş olduğu görülmektedir. Kesitler arasındaki bu soğuma hızından oluşan süre farklılığı içerisinde katılaşma esnasında 2024 Alüminyum alaşımında oluşan $CuAl_2$ intermetalik fazının segregasyon bölgelerinden tane içerisine difüzyonu gerçekleşmektedir [5].



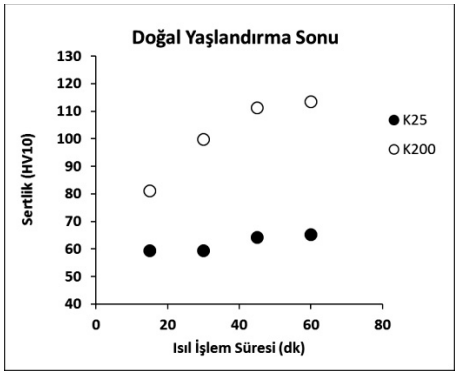
Şekil 5. K25 döküm numunesine ait sertlik-kesit kalınlığı ilişkisi

Bu nedenle kesit kalınlığı fazla olan kısımların ince olan kısımlara göre sertlik değerleri daha yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde oda sıcaklığına yapılan döküm 200°C'deki kalıba yapılan dökümden daha hızlı katılaştığı için intermetalik fazın difüze olmasına zaman tanımamış ve sertlik değerinin daha düşük olmasına sebep olmuştur (Şekil 5 ve 6).



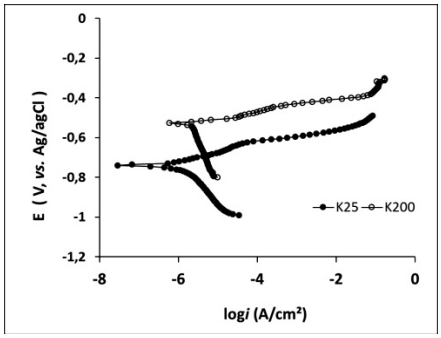
Şekil 6. K200 döküm numunesine ait sertlik-kesit kalınlığı ilişkisi

Şekil 7'de doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerin (K25 ve K200) farklı ısıl işlem sürelerine göre değişen sertlik değerleri verilmiştir. Isıl işlem süresi arttıkça her iki numunde de serlik değeri artmakta, K200 için bu artış daha belirgin görülmektedir. K200 numunesine ait sertlik değerleri her ısıl işlem seviyesinde K25 numunesine göre daha yüksek olmakla birlikte fark artan ısıl işlem süresine göre artmaktadır.



Şekil 7. K25 ve K200 numunelerine doğal yaşlandırma sonucu sertlik değerleri

Şekil 8'de ise K25 ve K200 döküm numunelerine ait Tafel eğrileri, Çizelge 2'de ise bu eğrilerden hesaplanmış kinetik büyüklükler verilmiştir. Şekil 8 ve Çizelge 2 incelendiğinde numunelere ait korozyon özelliklerinin, mekanik özelliklerin aksine K25 numunesinde K200 numunesine göre daha iyi olduğu görülmektedir. K25 numunesine ait korozyon potansiyeli, K200'e göre 211 mV daha negatif yöndedir. Ancak malzemelerin korozyon özelliklerini belirlemede daha önemli bir paremetre olan korozyon akım yoğunluğu K25'de K200' göre 3.25 kat daha düşük, polarizasyon direnci 4.2 kat yüksektir. Benzer şekilde K200' e ait korozyon hızı K25'e göre yaklaşık 3.5 kat daha fazladır.

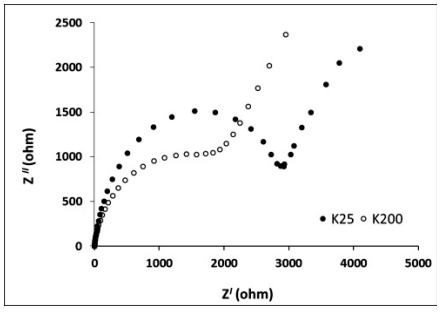


Şekil 8. K25 ve K200 numunelerine ait tafel eğrileri

Çizelge 2. Tafel eğrilerinden elde edilen parametreler

	i_{cor} (μA)	E_{cor} (mV)	β_A (mV)	β_C (mV)	R_p (kΩ)	r_{cor} (mm/y)
K25	0,85	-739	65	176	24,3	0,0092
K200	2,76	-528	39	467	5,66	0,030

Şekil 9'da ise K25 ve K200 numunelerine ait Nyquist Eğrileri verilmiştir. Nyquist eğrileri bir adet yarım daire ve bir adet lineer eğriden oluşmaktadır. Eğri üzerinde görülen yarım daire korozyon direncini temsil ederken, lineer kısım korozyon ürünlerinin difüzyonu ile ilişkilidir. Empedans eğrileri birbiri ile kıyaslandığında, K25'e ait empedans değerlerinin K200'e göre daha yüksek korozyon dayanımını işaret ettiği görülmektedir. Bu sonuç, tafel polarizasyon eğrilerinden elde edilen sonuçlar ile uyumludur.



Şekil 9. K25 ve K200 numunelerine ait Nyquist eğrileri

Referanslar

[1] http://docplayer.biz.tr/122231-Aluminyum-ala-imlari.html

[2] Anonymous, 2002. EngineeringHandbook Series for Aircraft Repair General Manual forStructuralRepair, Second Edition; NAVWEPS

[3]. P.Baghery, M.Farzam, A. Mousavi, M. Hosseini, 2010, Ni–TiO_2 nanocomposite coating with high resistance to corrosion and wear, Surface & Coatings Technology, 204, 3804-3810.

[4]. B. Ranjith, G Kalaignan, 2010, Ni–Co–TiO2 nanocomposite coating prepared by pulse and pulse reversal methods using acetate bath, 2010, Applied Surface Science, 257, 42-47.

[5] E. Raffat ve D. Aberdam, 1979. An auger electron spectroscopy study of tin diffusion and surface segregation in aluminium, in the limit of very small concentration, Acta Metallurgica, 27, 1381-1389.

Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen EN AW-6082 Alüminyum Alaşımlı Profillerde Mn Elementinin ve Ekstrüzyon Proses Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Mn and Process Parameters on Mechanical Properties of EN AW-6082 Aluminum Alloy Produced by Extrusion Method

Elif Dokur, Mehmet Mümtaz Dokur, Sadık Mutlu Ayan
Asaş Alüminyum Sanayi

Abstract

The EN AW6082 aluminum alloy with medium strength in the Al-Mg-Si alloy series is often used in the automotive industry. It is demanded that the materials used in automotive parts should have easy shaping, lightness, low production costs, weldability and high strength. EN AW6082 aluminum alloy is preferred by many automotive manufacturers in Europe, especially since it has the highest strength and excellent corrosion resistance in the 6xxx series. Strength of extruded solid or hollow aluminum profiles depends mainly on the chemical composition of the alloy. Various parameters such as temperature, extrusion rate, quenching type which can be controlled during the process affect the metallurgical structure of the final product as much as the chemical composition. In this study, the influence of the Mn element and process parameters on the mechanical properties of the final product was investigated within the limits of the Al-Mg-Si alloy composition. Cylindrical profiles with diameters of 90, 130 and 170 mm which providing the standard of TS EN 755-2 have been obtained.

Özet

Al-Mg-Si alaşım serisi içinde yer alan orta sertlik özelliğine sahip EN AW6082 alüminyum alaşımı otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça yaygındır. Otomotiv parçalarında kullanılan malzemelerden kolay şekil alması, hafiflik, düşük üretim maliyetleri, kaynak edilebilirlik ve yüksek dayanım özelliklerinde olması istenmektedir. EN AW6082 alüminyum alaşımını 6xxx serisi içinde en yüksek mukavemete ve mükemmel korozyon direncine sahip olması nedeniyle özellikle Avrupa'daki birçok otomotiv üreticisi tercih etmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş içi dolu veya boş alüminyum profillerinde mukavemet, temelde alaşımın kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. En az kimyasal kompozisyonu kadar proses sırasında kontrol edilebilen biyet sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, soğutma şekli gibi çeşitli parametreler de nihai ürünün metalurjik yapısına etki etmektedir.

Yapılan bu çalışmada Al-Mg-Si alaşım kompozisyonu sınırları içerisinde Mn elementinin ve proses parametrelerinin nihai ürünün mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. TS EN 755-2 standardını karşılayan 90, 130 ve 170 mm çaplarında silindirik profiller elde edilmiştir.

1. Giriş:

EN AW6082 alüminyum alaşımı yüksek korozyon dayancına sahip orta dayanımda bir alaşımdır. 6xxx serisi alaşımlar içinde en yüksek dayanıma sahip EN AW6082 alaşımının T6 kondisyonu işleme operasyonunda çok iyi performans göstermektedir. İyileştirilmiş mekanik özelliklerin gerekli olduğu birçok yapısal uygulamada EN AW6061 alaşımının

yerine kullanılmaktadır. Bu alaşım taşımacılık ve yapısal parçalarda sıkça kullanılmaktadır.

EN AW6082 alaşımında ana alaşım elementleri olan Mg ve Si elementlerinin yanı sıra Mn yapı içerisinde %0,4 ile %1 arasında yer almaktadır. Mn elementi alüminyum alaşımlarının çekme mukavemetini arttırır. Al-Si alaşımlarında Fe elementinin mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderme imkanı sağlar. Böylece mekanik mukavemet ve korozyon direnci artar [1]. Mn elementi ilavesi yapılmış EN AW-6082 alaşımı, yüksek dayanımlı yük taşıyan profillerde kullanılmaktadır. Yüksek dayanım elde etmek için ürünün diğer alaşımlara kıyasla daha hızlı bir şekilde soğutulması gerekir [2].

Ekstrüzyon ürünün pres çıkışında ani soğutulmasıyla yapılan işlemlerde üründe metalurjik değişimler meydana gelmektedir. Alaşım türü ve ekstrüzyon şekli/kalınlığına bağlı ani soğutma ortamı olarak hava veya su ya da her ikisi kullanılabilmektedir [2].

6xxx serisi alaşımlardan ekstrüde edilen ürünler ekstrüzyon presi çıkışında doğrudan soğutulabilmektedirler. Genel olarak fan üflemeli soğutma sistemleri yeterli olmaktadır ancak et kalınlığı fazla olan Ekstrüzyon ürünlerinde sertlik ve dayanım gibi mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için su havuzu veya sprey ile soğutma yöntemi ve yaşlandırma uygulanmaktadır. [2].

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada EN-AW6082 alüminyum alaşımı direkt soğutmalı dikey döküm sistemi ile 7000 mm boyunda ve 355 mm çapında biyet olarak dökülmüştür. EN-573 standardında belirtilen kimyasal kompozisyon limitleri içerisinde kalarak iki farklı Mn oranına sahip biyet dökümü gerçekleştirilmiştir. 6082-A ve 6082-B olarak kodlanan bu alaşımlarda 6082-A biyetinde düşük Mn oranı, 6082-B biyetinde ise yüksek Mn oranı kullanılmıştır. EN-AW6082 alaşımının EN 573-3 standardında belirtilen kimyasal kompozisyon limitleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu

		Kimyasal Kompozisyon (%)							
		Si	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Zn**	**Ti**	**Cr**
6082 EN573-3	**Min.**	0,7	-	-	0,4	0,6	-	-	-
	Maks.	1,3	0,5	0,1	1,0	1,2	0,2	0,1	0,25

Biyetlere homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon işlemi sonrası biyetler sabit soğutma hızında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Biyetlere ekstrüzyon prosesi için ön ısıtma uygulanmıştır. Ekstrüzyon prosesi sonrası profilin çıkış sıcaklığının değişken olması için ön ısıtmada farklı sıcaklıklar belirlenmiştir. Bu çalışmada 90, 130 ve 170 mm çapa sahip içi dolu profiller kullanılmıştır.

Ekstrüzyon presi çıkışında profiller su havuzundan geçirilerek profillere ani soğutma yapılmıştır. Ekstrüzyon prosesi sonrası profillere T6 kondisyonunda yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

Profil çıkış sıcaklığı 20°C aralıklarla kademeli olarak arttırılmıştır. Üç farklı çıkış sıcaklığı ile üretimler gerçekleştirilmiştir. Profillere uygulanan deneme planı Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneme planı

Alaşım	**Profil Çıkış Sıcaklığı**	**Profil Çapı (mm)**
6082-A	Düşük Sıcaklık	90, 130 ve 170
6082-B	Düşük Sıcaklık	
	Orta Sıcaklık	
	Yüksek Sıcaklık	

Yaşlandırma prosesi sonrasında profillerin mukavemet değerleri ölçülmüştür. Mukavemet değerleri EN 755-2 standardı ile karşılaştırılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

EN AW6082 kimyasal kompozisyon limitleri içerisinde Mn oranı düşük ve yüksek olan iki farklı alaşım ile ekstrüzyon prosesi uygulanmıştır. Kimyasal kompozisyonda yapılan değişimin yanı sıra profilin ekstrüzyon prosesi sonrası çıkış sıcaklığı da değiştirilmiştir. Yaşlandırma prosesi sonrası profillerin sertlik değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Profillerin sertlik sonuçları

Alaşım	Profil Çıkış Sıcaklığı	Ortalama Sertlik Değeri (HB)
6082-A	Düşük Sıcaklık	65
6082-B	Düşük Sıcaklık	85
	Orta Sıcaklık	100
	Yüksek Sıcaklık	105

Çizelge 3'teki sonuçlar incelendiğinde profilin çıkış sıcaklığının 480°C olduğu iki ekstrüzyon üretiminde Mn oranı düşük olan alaşımda sertlik değeri 65 HB, Mn oranı yüksek olan alaşımda ise 85 HB elde edilmiştir. Mn oranının yüksek olduğu alaşımda profil çıkış sıcaklığının artmasıyla sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Çapı 250 mm'ye kadar ekstrüde edilmiş içi dolu profillerde T6 kondisyonu için EN AW6082 alaşımının tipik sertlik değeri EN 755-2 standardında 95 HB olarak belirtilmiştir. Çizelge 3'teki sertlik sonuçlarına göre standartta belirtilen sertlik değeri, Mn oranı profil çıkış sıcaklığının yüksek olduğu üretimlerde elde edilmiştir.

Mn oranı ve profil çıkış sıcaklığının yüksek olduğu ekstrüzyon üretimlerinden elde edilen profillerin çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama değerlerini belirlemek için çekme testi yapılmıştır. 130 ve 170 mm çaplarında ekstrüde edilmiş içi dolu profillerin çekme testi sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Ekstrüde edilmiş profillerin çekme testi sonuçları

Alaşım	Profil Çapı (mm)	Profil Çıkış Sıcaklığı	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
EN 755-2	130	-	Min. 260	Min. 310	Min. 8
6082-B		Orta Sıcaklık	319	346	13
6082-B		Yüksek Sıcaklık	338	362	12
EN 755-2	170	-	Min. 240	Min. 280	Min. 6
6082-B		Orta Sıcaklık	298	335	13
6082-B		Yüksek Sıcaklık	304	349	14

Çizelge 4'teki sonuçlar incelendiğinde çıkış sıcaklığının artmasıyla profillerin çekme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. 130 mm çapında olan profilde çıkış sıcaklığı 20°C arttığında çekme dayanımı 346 MPa'dan 362 MPa'a artmıştır. 170 mm çapında olan profillerde ise çekme dayanımı 335 MPa'dan 349 MPa'a yükselmiştir. Profil çapının 130 mm'den 170 mm'ye çıktığında mekanik özelliklerde düşüş görülmüştür. Çıkış sıcaklığının yüksek olduğu üretimlerde 130 mm çapındaki profilin çekme dayanımı 362 MPa iken 170 mm çapındaki profilde ise 349 MPa olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

- EN AW-6082 alaşımının kimyasal kompozisyon limitleri içerisinde Mn oranının artmasıyla ekstrüde edilmiş profillerin sertlik değerlerinde artış görülmüştür.
- Profil çıkış sıcaklığının kademeli olarak artmasıyla profillerin sertlik ve çekme dayanımı değerleri artmıştır.
- 130 mm çapındaki profilde çekme dayanımı 362 MPa iken 170 mm çapındaki profilde 349 MPa bulunmuştur.

- Profil çapının artmasıyla profilin mekanik özellikleri düşüş göstermiştir.

5. Kaynaklar

[1] Yüksek Lisans Tezi Met. Müh Zait Turhan, *ALUMİNYUMUN MEKANİK ÖZELLİKLERiNE VE AŞINMADAVRANIŞINA MAĞNEZYUMUN VE SİLİSYUMUN ETKİSİ,* Mayıs 2002

[2] Pradip K. Saha, *ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON TEKNOLOJİSİ,* , Mart 2000

TaC İlavesinin Alüminyum Tozlarının Preslenebilirliği Üzerine Etkisi

Effect of TaC Addition to the Compressibility of Aluminium Powders

Rifat Onur Ülküseven, Aydın Şelte, Burak Özkal
İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract

In this study compaction behavior of Al-TaC powders were investigated. For this purpose Al and TaC elemental powders were mixed to constitute 100Al, 95Al-5TaC, 90Al-10TaC and 85Al-15TaC (all in wt. %) compositions. In order to see the effect of binder zinc stearate was used and a comparative set was prepared. All powder sets prepared were compacted in a cylindirical die using single action press against increasing loading. In order to investigate the powder state properties, basic powder characterization studies were applied prior to compaction. After compaction, green density measurements were applied to calculate relative density values and SEM was used for microstructural observations.

Özet

Bu çalışma kapsamında Al-TaC tozlarının preslenebilirlik davranışları incelenmiştir. Bu amaçla elementel Al ve TaC tozları 100Al, 95Al-5TaC, 90Al-10TaC ve 85Al-15TaC (hepsi % ağ. olarak) oranlarını oluşturacak şekilde toz halde karıştırılmıştır. Bağlayıcı etkisini görmek için çinko stearat katkısı karşılaştırma setlerinde kullanılmıştır. Hazırlanan tüm toz setleri tek eksenli pres kullanılarak silindirik direngen kalıp içerisinde artan yükleme sıkıştırılmıştır. Toz haldeki özellikleri incelemek için presleme öncesi temel toz karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Presleme sonrası ham yoğunluk ölçümleri ve SEM kullanılarak mikroyapısal gözlemler gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Alüminyumun hafiflik ve üstün korozyon direnci gibi niteliklerine ilave olarak bir çok mühedislik tasarım için gösterdiği fiziksel ve mekanik özelliklerin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması bu metali ve alaşımlarını geniş çaplı kullanım alanlarında dikkat çekici ve ekonomik bir seçenek haline getirmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının özellikle ağırlık kazanımları nedeniyle özellikle otomotiv ve havacılık uygulamalarında tercih edilmektedir [1,2].

Özellikle son dönemde yüksek potansiyele sahip metal matrisli kompozitler içerisinde de en çok çalışmanın yapıldığı matris malzemeleri arasında Al yeralmaktadır [3]. Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler, ağırlık kazanımının kritik olduğu tasarımlarda, benzer malzemelere kıyasla gösterdikleri üstün fiziksel ve mekanik özellikleriyle önemli potansiyele sahiptir. Bununla birlikte Al yoğunluğu ile takviye olarak kullanılan katkıların yoğunlukları arasındaki farklılıklar, özellikle sıvı Al içeren klasik metalurji işlemlerinde homojen mikroyapısal dağılımın elde edilmesinde sorunludur [4]. Bu nedenle gerek Al'nin gerekse diğer katkıların katı halde karışım haline getirilmesine olanak sağlayan toz metalurjisi (T/M) yaklaşımı literatürde ilgi görmektedir. Toz halden hareketle üretimde Al tozların sıkıştırılabilirliği oldukça önemli bir aşamadır [5].

Genellikle tozların sıkıştırılabilme kabiliyeti preslenmiş numunenin yoğunluğu ve sıkıştırma basıncına bağlı olarak ifade edilir. Sıkıştırılabilme; partikül şekli, yoğunluk, bileşim, partikül sertliği, partikül boyut ve dağılımı gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişebilmektedir [6]. Toz partikül boyut ve dağılımı, partikül şekli ve ferdi toz partküllerinin sertliği tozların sıkıştırılabilirliğinde önemli değişkenlerdir. Bu değişkenlerin eşzamanlı değişerek etkileşim gösterdiği mekanik alaşımlama gibi işlemler tozların sıkıştırılabilirliğini büyük ölçüde değişmektedir [7]. Alüminyumun sıkıştırılabilirliği üzerine nadir toprak elementlerinin etkisi [8], nano boyutlu alumina katkısının etkisi [5] ve mekanik alaşımlamanın etkisi [7] literatürde çalışılmış bu alandaki bazı örneklerdir.

Tantal karbür (TaC); koruyucu kaplama, fırın bileşeni ayrıca uçaklarda ve uzay araçlarında tahrik silindir gömleği gibi kullanım alanları olan bir malzemedir [9]. Ancak

alüminyum ve tantal karbürün beraber bulunduğu toz karışımlarının sıkıştırılabilirliği ve buna bağlı olarak elde edilen yoğunluklar konusunda çok çalışma yapılmamıştır. Oldukça yeni olarak Al-TaC sisteminin spark plasma sinterlemesi ile üretimi üzerine bir çalışma literatüre girmiştir [10].

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, Al (-325 mesh, % 99,5 saflık) ve TaC (-325 mesh, % 99,5 saflık) başlangıç tozları kullanılmıştır. Elementel Al tozları içerisine % ağ. 0, 5, 10 ve 15 TaC ilavesi yapılarak hazırlanan tozlara herhangi bir bağlayıcı ilavesi yapılmadan (100Al, 95Al-5TaC, 90Al-10TaC ve 85Al-15TaC) ve % 0,5 çinko stearat ilavesi yapılarak (100Al-0.5ZS, 95Al-5TaC--0.5ZS, 90Al-10TaC--0.5ZS ve 85Al-15TaC--0.5ZS) hazırlanan iki toz seti homojen karışım elde etmek için turbula karıştırıcıda 30 dk. süre ile karıştırılmıştır.

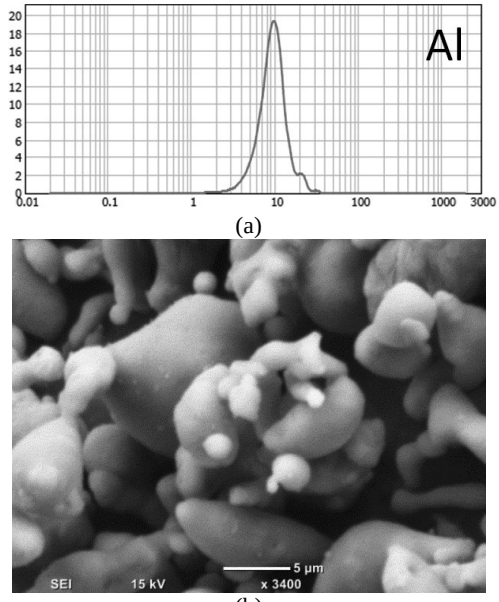
Başlangıç tozların partikül boyutları ve morfolojisi SEM gözlemleri, partikül boyutları ve ortalama partikül boyut dağılıları ise lazer ışıksaçılması prensibine göre Malvern Instruments Mastersizer 2000 ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. .Hazırlanan toz karışımlarının görünür yoğunlukları Arnold metre kullanılarak ölçülmüştür. Bağlayıcı içeren ve içermeyen toz karışımlarının preslenebilirlikleri artan tek eksenli yüklemeye karşı direngen sertleştirilmiş kalıp içerisinde 0-250 MPa basınç aralığında gerçekleştirilmiştir. Preslenmiş numunelerin ham yoğunluk hesaplamaları boyutsal ölçümlerden hareketle yapılmış ve sonrasında SEM destekli çalışma ile mikroyapısal gözlemler gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Başlangıç Toz Özellikleri

Başlangıç Al tozunun ortalama partikül boyutu 9,56 μm olarak ölçülmüş olup nispeten homojen bir partükül boyutu dağılımı gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 1.a) . Bu tozun SEM ile yapılan incelemesinde lazer ışık saçılma prensibine göre yapılan ölçümleri destekleyen sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte çalışma kapsamında kullanılan Al tozu karakteristik bir morfoloji göstermemektedir (Şekil 1.b). Al tozunun görünür yoğunluğu 0,79 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

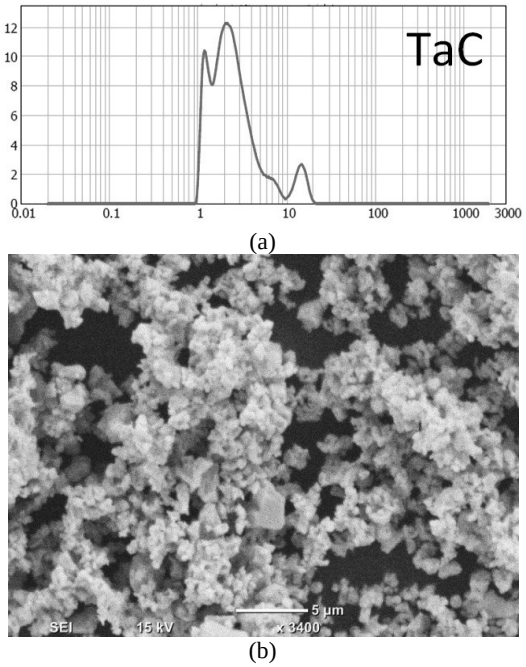
Başlangıç TaC tozunun ortalama partikül boyutu 2,26 μm olarak hesaplanmış olup homojen olmayan bir partükül boyutu dağılımı gösterdiği tespit edilmiştir(Şekil 2.a). TaC tozununda SEM ile yapılan incelemesinde, lazer ışık saçılma prensibine göre yapılan ölçümlerden kısmi farklıkıklar tespit edilmiştir. (Şekil 2.b) Yüksek büyütmelerde yapılan ölçümlerde. Tozun poligonal morfoloji gösterdiği ve ferdi partiküllerin ağırlıklı olarak mikron altı boyutta olduğu bununla birlikte aglomerasyon eğilimi neticesinde lazer ışık saçılmasına göre elde edilen ortalama ölçüm değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. TaC tozunun görünür yoğunluğu 2,89 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 1. Başlangıç Al tozunun (a) partikül boyut dağılımı (b) SEM görüntüsü.

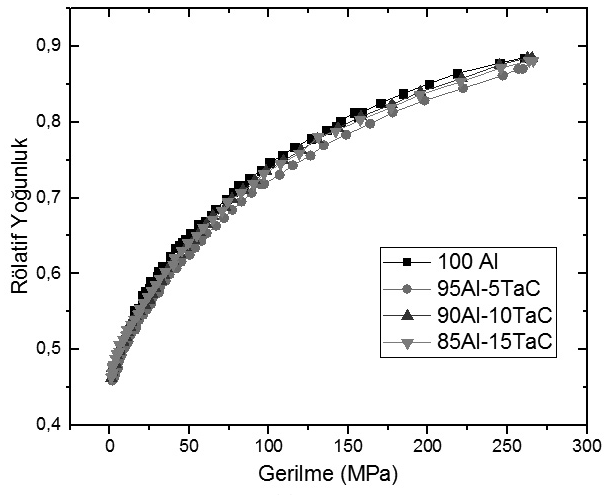


(a)

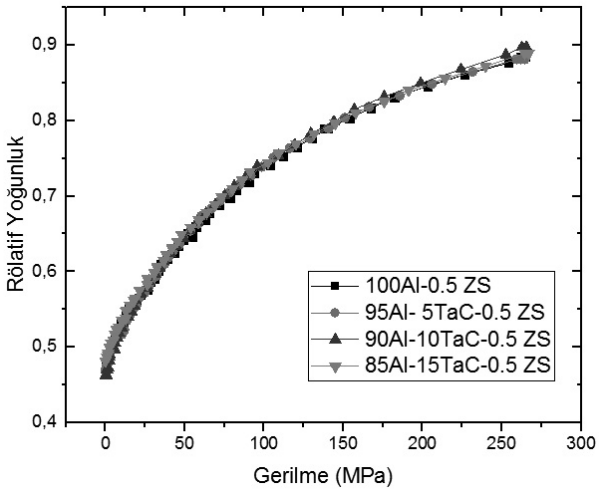
(b)

Şekil 2. Başlangıç TaC tozunun (a) partikül boyut dağılımı (b) SEM görüntüsü.

3.2. Presleme Sırasında Yoğunlaşma



(a)



(b)

Şekil 3. Hazırlanan tozların preslenebilirliği(a) bağlayıcı katkısız, (b) 0.5 çinko stearat katkılı

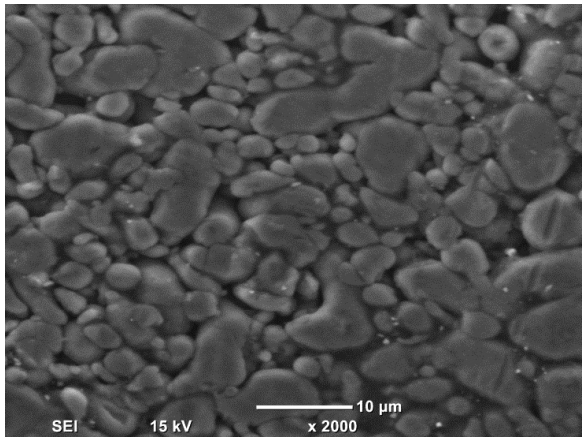
3.3. Preslenmiş Sonrasında Ham Yoğunluklar ve Mikroyapılar

Hazırlanan toz karışımlarının preslenmesi sonrasında elde edilen silindirik numunelerin kütleleri ve boyutsal ölçümlerinden hareketle hesaplanan ham yoğunluk değerleri ilgili tozlara ait görünür yoğunluk ölçümleriyle karşılaştırmalı olarak Çizelge 1.'de verilmiştir.

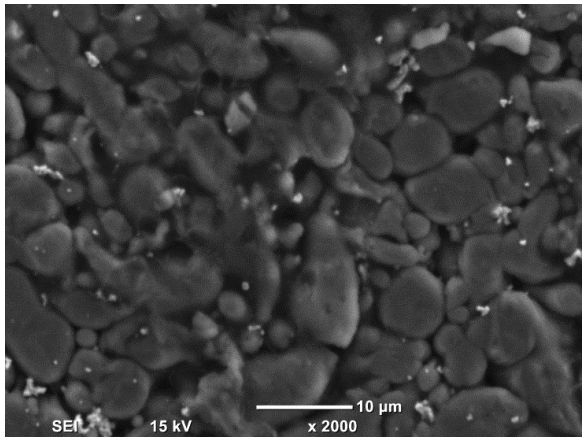
Çizelge 1. Numunelerin karşılaştırmalı görünür yoğunluk ve ham yoğunluk değerleri.

Numune Kodu	Görünür Yoğunluk (g/cm^3)	Ham Yoğunluk (g/cm^3)
100 Al	0,79	2,39
100 Al-ZS	0,72	2,37
100 TaC	2,89	-
95Al-5TaC	0,77	2,45
95Al-5TaC-ZS	0,78	2,46
90Al-10TaC	0,80	2,60
90Al-10TaC-ZS	0,78	2,61
85Al-15TaC	0,82	2,70
85Al-15TaC-ZS	0,77	2,71

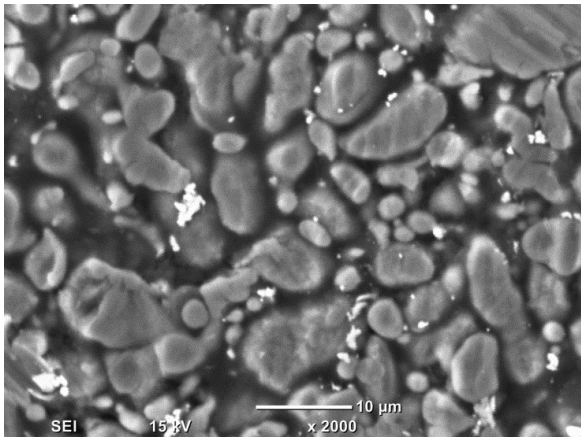
Toz karışımlarının preslenmesi sonrasında elde edilen silindirik mikroyapıları SEM ile incelenmiş olup karakteristik görüntüler karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de verilmiştir.



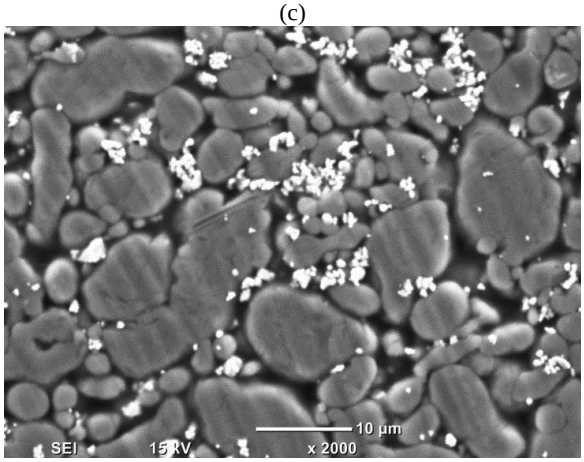
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. Presleme sonrasında mikroyapı (a) 100Al, (b) 95Al-5TaC, (c) 90Al-10TaC ve (d) 85Al-15TaC.

Al tozlarının presleme sırasında optimum toz paketlenmesine ulaşılması sonrasında komşu partikül temas noktalarında yoğunlaşan deformasyon neticesinde şekil değiştirdiği buna karşın daha sert karakterli TaC tozlarında ise mevcut aglomerasyonların basınç etkisiyle kırılıp ufalanması dışında bir deformasyon gözlenmemiştir. Al ve TaC yoğunlukları arasındaki ciddi farklılık nedeniyle segregasyon riski ve kullanılan TaC tozunun aglomerasyon eğilimi mikroyapı homojenliğine etki edecek başlıca etmenler olarak değerlendirilmektedir. Şekil 4'de verilen mikroyapılar incelendiğinde 95Al-5TaC kodlu numunenin presleme sonrası mikroyapısında daha homojen TaC dağılımı gözlenirken 90Al-10TaC ve 85Al-15TaC kodlu numuneler incelendiğinde TaC dağılımının homojen olmadığı tespit edilmiştir. Ghasali ve çalışma arkadaşları da benzer gözlemi spark plazma sinterleme ile hazırladıkları numunelerde gözlemlemişlerdir [10].

4. Sonuç

Çalışılan presleme basınç aralığında Al tozları presleme sırasında gösterdiği deformasyon ile gerek bağlayıcı içeren gerekse bağlayıcı içermeyen durumlarında yüksek yoğunluklara preslenebilmiştir. TaC içeren numunelerde bağlayıcı katkısı içermeyen durumlarda alüminyum tozuna kıyasla preslenme sırasında rölatif yoğunluk değerlerinde kısmi düşüşler görülürken, bağlayıcı ilavesi bu farklılığı ortadan kaldırmıştır.

TaC içeriğinin artmasına rağmen preslenebilirliğin kötü etkilenmemesi ferdi TaC partikül boyutunun Al partiküllerine göre daha küçük olmasına bağlanmıştır. Aglomere TaC tozlarının presleme sırasında artan basıncın etkisiyle parçalansa da ferdi partikül şekillerinde değişiklik tespit edilmemiştir.

% ağ. 5 TaC içeren numunedeki TaC dağılımı, % ağ. 10 ve % ağ. 15 TaC içeren numunelere kıyasla presleme sonrasında mikroyapıda daha homojen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Yük. Müh. Emre Tekoğlu'na SEM çalışmalarına verdiği destek ve değerli yorumları için, Dr. Ceren İmer ve Kadir Yener'e numune hazırlama aşamalarında verdikleri teknik destek ve değerli katkıları için teşekkür ederiz.

Kaynakça

[1] E.Schubert, M. Klassen, I. Zerner, C. ve G. Sepold, Journal of Materials Processing Tech. 115 (2001) 2-8.
[2] T. Dursun ve C. Soutis, Materials & Design. 56 (2014) 862-871.
[3] M. K. Surappa, Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences, 28 (2003) 319-334.
[4] J. Hashim, L. Looney ve M.S.J. Hashmi, Journal of Materials Processing Tech. 93 (1999) 1-7.
[5] Z. R. Hesabi, H.R. Hafizpour ve A. Simchi, Materials Science and Engineering A 454–455 (2007) 89–98.
[6] E.. Hryha, E. Dudrova ve S. Bengtsson, Powder Metallurgy 51 (2008) 340–342.
[7] J. B. Fogagnolo, E. M. Ruiz-Navas b, M.H. Robert, ve J. M. Torralba, Materials Science and Engineering A 355 (2003) 50–55.
[8] A. I. Rudskoy, V. N. Tsemenko ve S. V. Ganin, Metal Science and Heat Treatment, 56 (2015) 542-547.
[9] K. Balani, G. Gonzalez ve A. Agarwal, J. Am. Ceram. Soc., 89 (2006) 1419–1425.
[10] E. Ghasali, K. Shirvanimoghaddam, A. H. Pakseresht, M. Alizadeh ve T. Ebadzadeh, Journal of Alloys and Compounds, 705 (2017) 283-289.

İnşaat Yapı Malzemelerinde Alüminyum Toz Kullanımı: Gaz Beton Karışım, Yapı ve Mukavemetinin Taguchi Deney Tasarımı ile Optimizasyonu

Aluminium Powder Usage in Construction Materials: Optimisation of Gas Concrete Mixture, Structure and Strength by Taguchi Test Design

Dila Sivlin, Ceren Yağsi, Özgül Keleş
İstanbul Teknik Üniversitesi

Abstract
In recent years, the use of closed porous construction materials has become widespread both due to energy laws and as filler to reduce the weight of the buildings. Especially construction sector, aereted concrete stands forward due to its lightweight and durability. It has closed porous structure, these pores are created by hydrogen gas results from the reaction between aluminum powder and the lime in the cement mixture. In this work, using a experimental design method which named as Taguchi method the effect of lime type, mixing rate, aluminum morphology and amount on aereted concrete structure were investigated. In the study, cement, slaked lime, quicklime and as a foaming agent several morphology and amount of Al powder were used. The morphologies of the pores formed in the aerated concrete structure and the distributions of the pores in the concrete and the effects on the density of the produced aerated concrete were examined as the result variables. Aluminum powder morphology and distribution were found to be a very effective parameter in the structure of concrete in the study. According to L9 taguchi experimental design result, 1.5 rates of Al paste powder was mixed with slaked lime at 500 rpm for optimum gas concrete production. It has been observed that density is decreased and pore sizes are increased by testing optimum conditions with the control experiment.

Özet
Son yıllarda hem enerji yasaları gereği hem de binalarda ağırlıklarını azaltma amacıyla dolgu elemanı olarak kapalı gözenekli yapı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafiflik ve sağlamlığı ile gaz beton ön plana çıkmaktadır. Gaz beton kapalı gözenekli yapıya sahip olup alüminyum tozlarının beton karışımındaki kireç ile reaksiyonu sonucunda çıkan hidrojen gazı ile bu gözenekler oluşturulmaktadır. Bu çalışmada bir deneysel tasarım metodu olan Taguchi metodu kullanılarak kireç çeşidi, karıştırma hızı, alüminyum toz morfolojisi ve miktarının gaz beton yapı ve mukavemetine etkisi incelenmiştir. Çalışmada çimento, sönmüş ve sönmemiş kireç, köpürtme ajanı olarak ise çeşitli morfoloji ve miktarda alüminyum tozları kullanılmıştır. Sonuç değişkenler olarak gaz beton yapısında oluşan gözeneklerin morfolojileri ve gözeneklerin beton içerisindeki dağılımları, üretilen gaz betonların yoğunluğu incelenmiştir. Çalışmada alüminyum toz morfoloji ve dağılımlarının betonun yapısında oldukça etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir. L9 taguchi deneysel tasarım sonucuna göre optimum gaz beton üretimi için 1,5 oranında Al pasta toz, sönmüş kireç ile 500 rpm hızında karıştırıldığında elde edilmiştir. Yapılan kontrol deneyi ile optimum koşullar test edilerek yoğunluğun azaldığı, por büyüklüklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

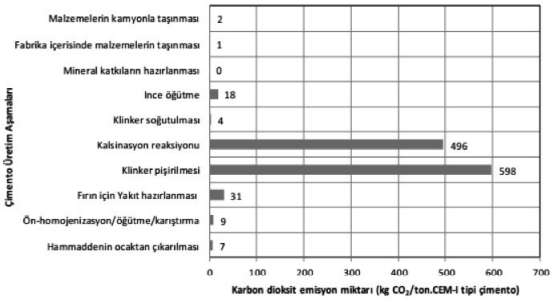
1. Giriş

Yapı malzemelerinin en temeli olan çimento, üretimi sırasında hem çok enerji tüketimi olması hem de açığa çıkan CO_2 miktarının fazla olmasından dolayı dünyanın üzerinde en çok çalışma yaptığı konulardan biri haline gelmiştir. Dünyada çimento üretimi 4 milyon ton civarındadır ve ülkemizin dünya çimento üretimindeki yeri 2011 yılında 64 milyon ton ile 4. sıradır (Çizelge 1) [2,8]. 1 metreküp çimento için harcanan enerji miktarı 272,1 MJ olmaktadır [1].

Çizelge 1. Dünya Çimento Üretim Sıralaması [2,8].

	Çimento üretimi (milyon ton)			
	1995	2000	2005	2011
Çin	445.6	583.2	1,040.0	2,000.0
Hindistan	70.0	95.0	145.0	210.0
ABD	78.3	89.5	101.0	68.0
Türkiye	33.2	35.8	42.8	64.0
Brezilya	25.5	39.2	36.7	62.6

Sektör başına düşen karbondioksit gazı emisyonu çalışmaları incelendiğinde ise 5- 7 %'lik bir kısmın çimento sektörüne ait olduğu görülmektedir [7]. 1 ton çimento üretimi sonucu açığa çıkan CO_2 miktarı 1,165 ton olarak belirtilmiştir [2]. Şekil 2'de çimento üretimde açığa çıkan CO_2 miktarları belirtilmiştir. Çizelge 1'deki veriler esas alınarak ülkemizin çimento üretimi sonucu yarattığı CO_2 miktarı 2011 yılında yaklaşık 74 milyon ton olmaktadır.



Şekil 1. Çimento Üretiminde Oluşan CO_2 Miktarı [2].

NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, ABD) tarafından 2016 yılının Nisan ayında yapılan açıklamaya göre atmosferdeki CO_2 oranı 400 ppm (parts per million) olarak geri dönüşü olmayacak seviyeye ulaşmıştır. 1988 yılında ölçülen değerin 350 ppm olması ve geçtiğimiz 27 yılda atmosferdeki CO_2 oranının artışı dünyayı ciddi sorunlara sürükleyeceği tartışılmaktadır. Araştırmacılar tarafından 2100 yılında dünyanın yüzey sıcaklığının 3,5 derece artacağı öngörülmektedir [4].

Devletler dünyayı korumak adına anlaşmaya vararak Kyoto Protokolünü imzalamış ve CO_2 emisyonunu azaltacaklarını gündeme getirmişlerdir. Kyoto Protokolü kapsamında Amerika ve Avrupa ülkelerinde içlerinde çimento sektörünün de olduğu enerji yoğun sektörlere emisyon sınırlaması getirilmiştir. Ülkemizde bu protokole imza atmış olup protokol gereklerini yerine getirmek durumundadır [6].

Yapı malzemelerinde emisyon azaltımı ve enerji tasarrufu sağlamak adına bir çok iyileştirme çalışması bulunmaktadır. Gürsel ve arkadaşları, kalsiyum karbonatın ($CaCO_3$) kalsinasyonu sırasında çıkan CO_2 miktarını azaltmak için puzolanik özelliğe (Puzolan, kendi halinde bağlayıcı özelliği olmayan fakat ince öğütülmüş halde nem ve kalsiyum hidroksit varlığında kimyasal reaksiyon verip bağlayıcı özelliğe sahip yapılar meydana getiren silisyum ve alüminyum içeren malzemeler) sahip uçucu kül katkılı çimento üretiminin hem emisyon değerlerini hem de çimento maliyetini düşürmek açısından etkili olduğunu YDA analizi yaparak göstermişlerdir [2].

Bir başka bakış açısı ise çimentoya alternatif olarak gazbeton üretmektir. Gerek hammadde gerek üretimi esnasında tüketilen enerji miktarı açısından normal betona kıyasla çok daha azdır. Çizelge 2'de üretiminde kullanılan hammadde ve enerji miktarları verilmiştir.

Çizelge 2. Yapı Malzemeleri Üretiminde Harcanan Enerji Miktarları [12].

Malzeme	Kwh/ton	Kwh/m³
Normal beton	200	460
Gazbeton	500	250
Tuğla	1200	2200
Mineral yün	6000	180

1 m^3 gazbeton için harcanan enerjinin normal betona kıyasla yaklaşık %50 oranında daha düşük olduğu görülmektedir [14]. Rajoria, yaptığı çalışmada çeşitli tuğlalara gömülü olan CO_2 miktarını incelemiş ve gazbetonların en düşük CO_2 gömülü yapı malzemeleri olduğunu göstermiştir [13].

Gazbeton ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif beton olarak tanımlanmaktadır [9]. Üretiminde kullanılan hammaddeler kuvars kumu, sönmemiş kireç, çimento, alçı taşı ve köpürtücü olarak alüminyum tozudur. Belirli oranlarda kum, kireç, çimento ve alüminyum tozu mikserde yaklaşık iki dakika boyunca karıştırılır ve kalıplara dökülür. Kalıplarda betonun kabarması beklenir [9, 10].

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 278\ Kcal/kg \quad (1)$$

$$2Al + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO.2Al_2O_3 + 3H_2 + 3676\ Kcal/kg \quad (2)$$

$$5Ca(OH)_2 + 6SiO_2 + 5,5H2O \rightarrow 5CaO.\ 6SiO_2.5,5H_2O + 5H_2O \quad (3)$$

Alüminyum tozunun kalsiyum hidroksit ile reaksiyonu gaz boşluklarının oluşumunu sağlamaktadır. Bu reaksiyon sonucu çıkan H_2 sulu betonun hacminin artmasını sağlayarak, gazbetonun ana özelliği olan mikro gözenekli yapısını oluşturmaktadır. Daha sonra otoklavlarda belirli bir süre ve sıcaklıkta kürlenerek veya otoklav kullanmadan oda şartlarında belirli bir süre beklenerek mukavemet ve dayanıklılık değerlerine ulaşılır [9-11,15].

Bu çalışmada kireç çeşidi, karıştırma hızı, alüminyum toz morfolojisi ve miktarının gazbeton yapısına etkisi, bir deneysel tasarım yöntemi olan Taguchi metodu ile incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Tartılan çimento su ile 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra kireç eklenip karışım 3 dakika karıştırılmıştır. Oluşan çamur homojenleştiğinde alüminyum süspansiyonu eklenip 1 dakika karıştırma işlemi uygulanmış ve elde edilen harç kalıplara dökülmüştür. Deneyler boyunca alüminyum toz, alüminyum pasta ve öğütülmüş alüminyum tozu olmak üzere üç farklı alüminyum tozları farklı miktarlarda kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca

çimento ve kireç miktarları sabit tutulmuş, katı/su oranı 0,51 olarak belirlenmiştir. Karıştırma hızı ve kireç çeşidi değiştirilmiştir. Üretilen gaz betonların mukavemet kazanması için oda şartlarında 28 gün beklenmiştir [16,17]. Yapılan çalışmada ideal por yapısına sahip gazbeton üretimi için üretime etki eden parametreler olarak kireç çeşidi, karıştırma hızı, alüminyum toz morfolojisi ve miktarı seçilmiştir. Bu parametrelerin farklı seviyelerini kullanarak en az sayıda deneyle en uygun por yapısına ulaşmak hedeflenmiştir. Bu nedenle 3^4 (L9 Taguchi Tasarımı) deney tasarımı kullanılarak 9 deney yapılmıştır. Deneylerde 4 parametrenin 3 seviyesi incelenmiştir. Seçilen parametreler ve seviyeleri Çizelge 3'de verilmiştir. L9 tasarımına göre yapılan deneylerin parametre değerleri ise Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Seçilen parametreler ve seviyeler.

SEVİYELER	PARAMETRELER			
	Al Cinsi	Karıştırma Hızı(rpm)	Kireç Çeşidi	Al Miktarı (Oran)
Seviye 1	Al Toz	350	Sönmüş	0,5
Seviye 2	Al Pasta Toz	500	Kireç Karışımı	1
Seviye 3	Öğütülmüş Al Toz	700	Sönmemiş	1,5

Çizelge 4. L9 Taguchi tasarımına göre deney parametreleri.

Numune Kodu	**Alüminyum Cinsi**	**Rpm**	**Kireç Çeşidi**	**Alüminyum Miktarı (Oran)**
1	Alüminyum Toz	350	Sönmüş Kireç	0,5
2	Alüminyum Pasta	500	Sönmüş Kireç	1
3	Öğütülmüş Toz	700	Sönmüş Kireç	1,5
4	Alüminyum Toz	500	Kireç Karışımı	1,5
5	Alüminyum Pasta	700	Kireç Karışımı	0,5
6	Öğütülmüş Alüminyum Toz	350	Kireç Karışımı	1
7	Alüminyum Toz	700	Sönmemiş Kireç	1
8	Alüminyum Pasta	350	Sönmemiş Kireç	1,5
9	Öğütülmüş Alüminyum Toz	500	Sönmemiş Kireç	0,5

3. Sonuçlar ve Tartışma

Alüminyum toz numunesinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 5'te ve alüminyum pasta numunesi ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Alüminyum toz numunesinin kimyasal analizi.

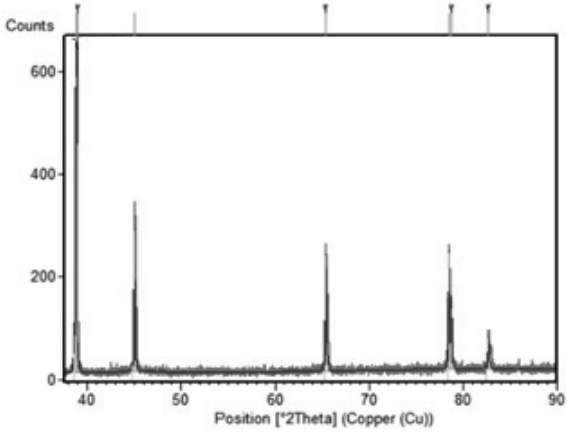
Al	Si	S	Ca	Fe
97,26	0,25	1,37	0,78	0,19

Çizelge 6. Alüminyum pasta numunesinin kimyasal analizi.

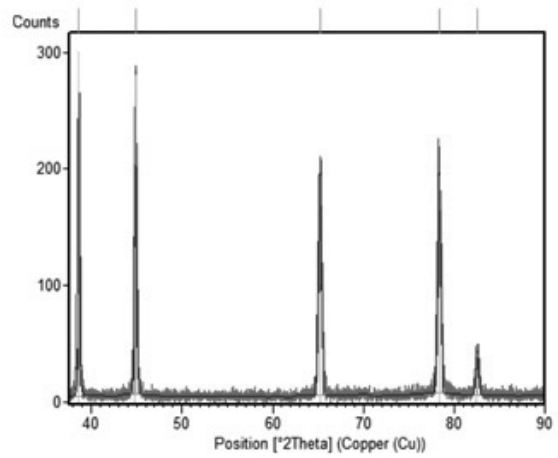
Al	Si	S	Ca	Fe
95,17	0,79	0,20	0,37	1,75

Çizelgelerdeki veriler incelendiğinde alüminyum pasta numunesinin toz numunesine göre daha az miktarda alüminyum içerdiği görülmüştür. Fakat bu tozlar kullanılarak üretilen gaz betonlardaki kabarma oranı incelendiğinde, alüminyum toz ile üretilmiş numunelerde kabarma miktarı ortalama %59 kadar olduğu, alüminyum pasta ile üretilmiş numunelerinde ise %64 kadar olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerdeki kabarma oranları Çizelge 7'de belirtilmiştir. Pasta numunesi daha az alüminyum oranına sahip olmasına rağmen gaz betonlardaki hacim artışı daha fazla olmuştur.

Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla alüminyum toz ve alüminyum pasta numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. İki numunede de alüminyum oksit pikine rastlanmamıştır.

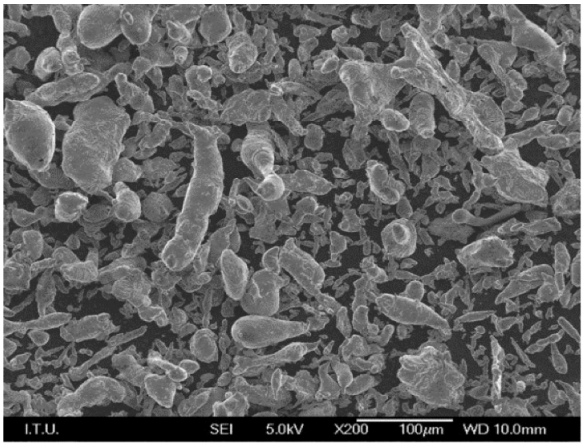


Şekil 3. Alüminyum toz numunesine ait XRD grafiği.

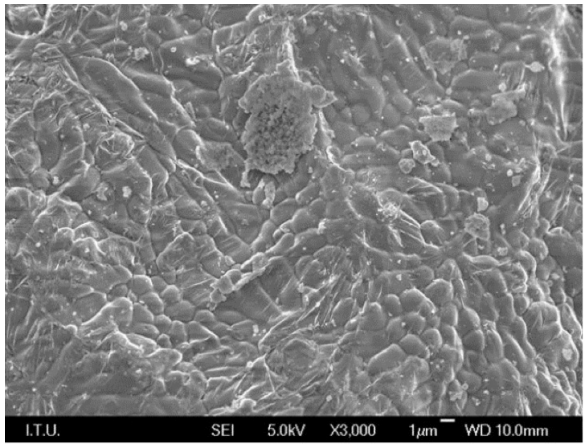


Şekil 4. Alüminyum pasta numunesine ait XRD grafiği.

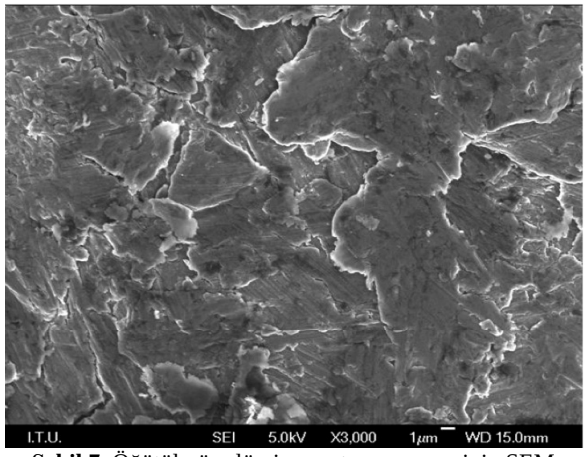
Alüminyum toz, alüminyum pasta ve öğütülmüş alüminyum toz numunelerine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Alüminyum toz numunesinde taneler küremsi yapıda dağılmış olduğu görülmektedir. Pasta numunesindeki alüminyumları yüzeyleri daha bulanık görülmektedir. Gözlenen bulanıklık bu numunenin oksitlenmesini önlemek amacıyla di-etil glikol ile kaplanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Öğütülen tozun morfolojik yapısı incelendiğinde ise diğer iki numuneye benzediği görülmektedir.



Şekil 5. Alüminyum toz numunesinin SEM görüntüsü.



Şekil 6. Alüminyum pasta numunesinin SEM görüntüsü.



Şekil 7. Öğütülmüş alüminyum toz numunesinin SEM görüntüsü.

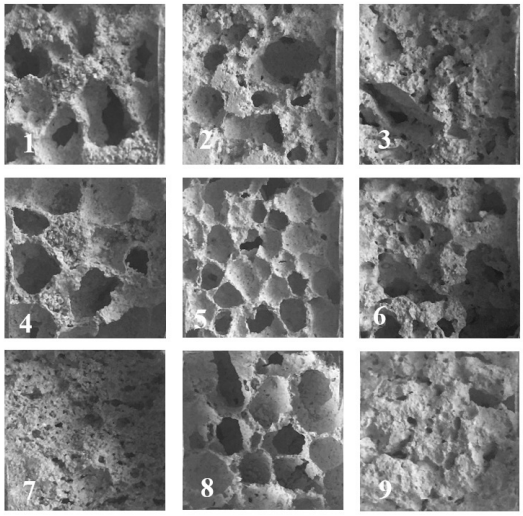
Üretilen gaz betonların yoğunlukları Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Ölçülen yoğunluklar Çizelge 7'de belirtilmiştir.

Çizelge 7. Numunelerin por sayısı, yoğunlukları ve kabarma oranları.

Numune Kodu	**Birim Alandaki Por Sayısı (cm^2 alan)**	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Kabarma Oranı (%)**
1	6	2,25	60
2	16	3,65	30
3	37	3,09	62,5
4	5	1,5	82,5
5	10	1,57	78
6	19	3,10	47

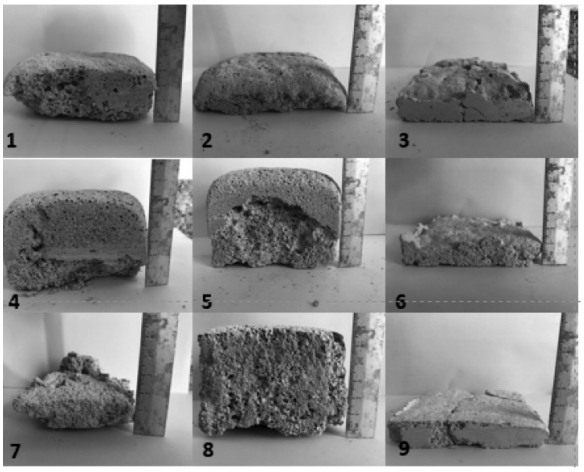
7	108	3,01	37
8	8	1,42	83
9	42	3,24	61

Davraz ve arkadaşları, çeşitli çalışmaları incelemiş ve gaz betonların yoğunluklarının 300-1800 kg/m^3 arasında değiştiğini belirtmişlerdir [18]. Yapılan çalışmada 4, 5 ve 8 numaralı numunelerin yoğunluk değerleri Davraz ve arkadaşlarının çalışmasında belirtilen sınır değerlerin içinde kalmaktadır. Yoğunluğu etkileyen faktörler ise su/ katı oranı, üretimde eklenen diğer katkı maddeler, kürleme türü ve por miktarı ve şekli olmaktadır [19]. Şekil 8'de numunelerin birim alandaki görüntüleri verilmiştir.



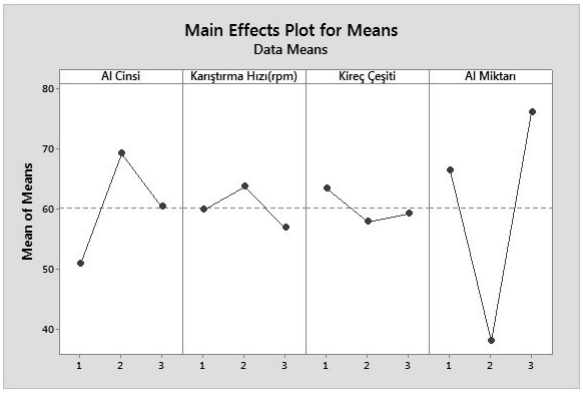
Şekil 8. Numunelerin birim alan görüntüleri.

Kullanılan toza bağlı olarak porların büyüklüklerinin ve birim alandaki por sayısının değiştiği gözlemlenmiştir. Aynı alüminyum tozu kullanılmış numunelerin por büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 7'de belirtilen yoğunluk değerleri ile por büyüklükleri incelendiğinde por boyutu büyük olan numunelerinin daha düşük yoğunluğa sahip oldukları ve hacimlerinde daha fazla artış olduğu görülmüştür. Birim alanda daha fazla por bulunan numunelerde ise hacim artışı daha az olmuş ve yoğunluklarının daha fazla olduğu görülmüştür. Nambiar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada por boyutu arttıkça gaz betonların yoğunluklarının azaldığını gözlemlemişlerdir [20]. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Nambiar ve ekibinin çalışmasıyla paralellik göstermektedir.



Şekil 9. Numunelerin Kabarma Görüntüleri

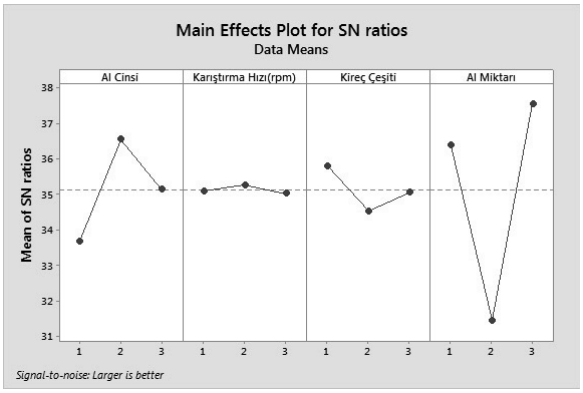
Üretilen gazbetonların kabarma oranlarına göre Minitab programında analizi yapılmıştır ve kabarma görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Numunelerden alınan görüntülere göre kabarmanın etkisiyle numunelerin por büyüklüğü arttıkça, cm^2 alana düşen por sayısı azalmaktadır. Numunelerin kabarma oranı arttıkça yoğunluklarının düştüğü ve por büyüklüklerinin arttığı gözlemlendiğinden sonuç değişken olarak "büyük iyidir" yaklaşımına göre analiz yapılmıştır. Analiz sonucuna göre ortalama etki değerleri grafiği Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Gazbeton üretimine etki eden parametrelerin ortalama etki değerleri.

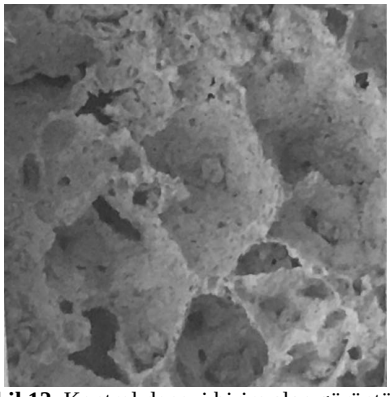
Taguchi deney tasarımında parametrelerin sonuç üzerindeki etki sıralamaları, seviyelerin ortalama etki değerleri ile anlaşılmaktadır. Seviyelerin ortalama etkilerinin minimum ve maximum değerleri arasındaki fark (aralık değeri) ile parametrelerin sonuç değişkeni üzerindeki etken rol sıralamaları saptanabilecektir. Buna göre en büyük aralık değerine sahip olan parametre sonuç değişkeni üzerinde en etkili parametredir. Şekil 10'a göre gazbeton üretiminde

por yapısı üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla; Al miktarı, Al cinsi, karıştırma hızı ve kireç çeşitidir.
Yapılan deneyde parametrelerin istenilen por yapısı için en optimum seviyelerinin hangisi olduğunu belirlemek için ise S/N grafiği yorumlanır. Bu grafikte parametrelerin en iyi değerleri en optimum olarak seçilmektedir. Yapılan çalışmanın S/N grafiği Şekil 11'de verilmiştir.

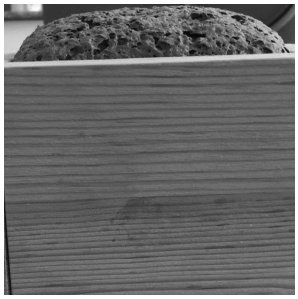


Şekil 11. Parametrelerin S/N grafiği.

S/N grafiğine bakılarak en optimum seviyelerin Al cinsi için 2., karıştırma hızı için 2., kireç çeşiti için 1. ve Al miktarı için 3. seviye olduğu görülmektedir. En optimum gaz beton üretiminin Al pasta toz, 500 rpm karıştırma hızı, sönmüş kireç ve 1,5 oranında Al toz kullanıldığında elde edileceği analiz sonucunda elde edilmiştir.
Optimum seviyelere göre kontrol deneyi yapılarak por yapısı incelenmiştir. Yapılan deneye göre birim alandaki por dağılımı Şekil 12'de kabarma görüntüsü ise Şekil 13'te verilmiştir. Üretilen gazbeton numunesinde kabarma oranını %87 ve yoğunluk 1,39 g/cm^3 olarak hesaplanmıştır. Birim alandaki por sayısının 4 olduğu gözlemlenmiştir. L9 deney tasarımına göre yapılan 9 deney sonucuna göre kontrol deneyi ile daha porlu ve düşük yoğunluklu gazbeton üretilmiştir.



Şekil 12. Kontrol deneyi birim alan görüntüsü.



Şekil 13. Kontrol deneyi kabarma görüntüsü

4. Sonuç

Bu çalışmada çeşitli morfolojilerde alüminyum tozu, farklı kireç ve farklı karıştırma hızlarının gaz beton por morfolojisine etkisi incelenmiştir. Kullanılan alüminyum tozlarında herhangi bir Al_2O_3 bileşiğine rastlanmamıştır. SEM görüntülerinde toz morfolojileri incelenmiş alüminyum toz numunesinin küresel şekilde olduğu pasta ve öğütülmüş tozun benzer morfolojide olduğu gözlenmiştir. Yapılan deneysel tasarım sonucunda optimum gaz beton üretimi 1,5 oranında Al pasta toz, sönmüş kireç ile 500 rpm hızında karıştırıldığında elde edilmiştir.

Referanslar

[1] Federation International edu Beton, Environmental Design: State of Art Report, (2004) 28-32.
[2] A. P. Gürsel ve Ç. Meral, Türkiye'de Çimento Üretiminin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 13-16 Eylül 2012, İzmir, Türkiye.
[3] Mitsubishi Research Institute, International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO_2 Intensty, (2014).
[4] <http://research.noaa.gov/News/NewsArchive/LatestNews/TabId/684/ArtMID/1768/ArticleID/11153/Greenhouse-gas-benchmark-reached-.aspx> Tarih: 21.06.2017.
[5] <http://www.ankaratb.org.tr/lib_upload/50_Kyoto%20Protokol%C3%BC_10_06_2008.pdf> Tarih: 21.06.2017.
[6] A. Erdoğan, İklim Değişikliği İle Mücadele Faaliyetlerinin Türk Çimento Sanayiine Etkileri. Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, 2008.
[7] H. Justnes ve T. A. Martius – Hammer, Hazır Beton, (2016) 77-82.
[8] Ş. Gülen ve H. Yalap, Çimento Sektörüne Genel Bakış. 2003.
[9] Y. E. Çiçek, Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002, İstanbul, Türkiye.

[10] G. Özel, Uçucu Külün Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.
[11] C. Narattha, P. Thongsanitgarn ve A. Chaipanich, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,122 (2015) 11-20.
[12] C. Taşdemir ve N. Ertokat, Gazbetonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Değerlendirme, 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, 9-13 Ekim 2002, İstanbul, Türkiye
[13] R. Rajoria, Study of Carbon Emission During Manufacturing of Different Types of Bricks, Lisans Tezi, Rajıv Gandhı Prodyogıkı Vıshwavıdhyalaya Bhopal Üniversitesi, Bhopal, Hindistan.
[14] S. Schnitzler, Autoclaved Aerated Concrete as a Green Building Material, (2006).
[15] N. Narayanan ve K. Ramamurthy, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 457-464.
[16] K. Ramamurthy, E. K. K. Nambiar ve G. I. S. Ranjani, Cement and Concrete Composites, 31 (2009) 388-396.
[17] L. Yang, Y. Yan ve Z. Hu, Construction and Building Materials, 44 (2013) 600-606.
[18] M. Davraz, Ş. Kılınçarslan ve M. Koru, Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri, 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan 2015, Antalya, Türkiye.
[19] K. Ramamurthy ve N. Narayanan, Magazine of Concrete Research, 52 (2000) 163-168.
[20] E.K. K. Nambiar ve K. Ramamurthy, Cement and Concrete Research, 37 (2007) 221-230.

6082 Rod Profili Solüsyona Alma Prosesinde Fırın Çıkış Sonrası Bekleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of Waiting Time after Furnace Exit on Mechanical Properties of AA6082 Rod Profile

Osman Halil Çelik, Berk Yörüker, Hüsnü Öztürk, Onur Gülbaba
Asaş Alüminyum Sanayi

Abstract

Solution treatment is a thermal process that generally applies to profiles produced by extrusion method or after thermic process when profile could not be as hard as it is needed because of the unsuitable extrusion or thermic process parameters. Process starts with the heating of the profile to exact temperature to dissolve phases inside grains after that wait in that temperature as it required and finally quenching in a water or special solutions to get supersaturated solution. The treatment process's temperature, holding time and quenching type usually depend on the alloy, profile type and thickness of profile. In this study, 21.5 mm diameter 6082 aluminum alloy rod profiles produced by extrusion process were used in solution treatment experiments. Effect of waiting time after furnace exit on electrical conductivity, hardness, metallographic structures and mechanical properties are studied. Waiting time were found so effective on hardness and mechanical properties in solution treatment process.

Özet

Solüsyona alma prosesi ekstrüzyon veya termik işleminden çıkan profillerin istenilen sertlik ve mukavemet değerini elde etmemesi sonucunda ekstrüzyon sonrası yapıya dönülmek üzere yapılan bir işlemdir. Genel olarak, alaşımın uygun bir sıcaklığa ısıtılması, o sıcaklıkta alaşım türü, profil cinsi ve kalınlığa göre değişebilecek şekilde belli süre beklenilmesiyle bir veya daha fazla bileşenlerin katı- katı çözünmesi gerçekleştirerek yapı içerisinde çözünmesi ve ardında hızlı bir şekilde soğutarak çözünmüş yapının tekrar çökmesinin engellenmesinden oluşan bir prosestir. Bu çalışmada 6082-T6 alaşımından ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş fakat istenilen çıkış sıcaklıkları elde edilememiş 21,5 mm çapındaki rod profilin solüsyona alma işleminde fırın çıkışındaki bekletme süresinin sertlik ve iletkenlik üzerine etkisi incelenmiştir.

1. Giriş

Isıl işlem geniş bir aralık içerisinde düşünüldüğünde metal ürünlerin mekanik özellikleri, metalürjik yapısı ve stresi azaltmak için uygulanan belli ısıtma ve soğutma işlemleridir [1,2]. Alüminyum alaşımlarından ürün eldesi sürecinde içyapı, fiziksel ve mekanik özelliklerin kontrolü için çeşitli ısıl işlem metotları çökelme sertleşmesi gösteren sert ve döküm alaşımlarına uygulanmaktadır. Bu alaşımlara ısıl işleme uygun alaşımlar da denilmektedir. Isıl işlem ile mukavemet arttırma işlemleri solüsyona alma, su verme ve yaşlandırma işlemlerinden oluşmaktadır [3].

Son yıllarda askeri, savunma ve ulaşım sektörlerinde sert alüminyum alaşımlarının kullanımı artmıştır [4]. Çelik ile kıyaslandığında yaklaşık üçte bir ağırlığı ve belli alaşımlarda standart birçok çeliğe nazaran üstün mekanik özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımlarının kullanımı daha da artacaktır [5]. Özellikle 2000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımlarının bu sektörlerde kullanımı fazladır. Parçaların büyük bir çoğunluğu hadde yöntemiyle üretilse de kritik alanlardaki birçok parça ekstrüzyon tekniği ile üretilmektedir [5]. Ekstrüzyon yöntemi ile üretim sonrası parçaların birçoğu O ve T4 kondisyonlarında olmaktadır [6]. Bu kondisyonlardaki profillerin mekanik özellikleri askeri, savunma ve ulaşım sanayinde istenilen değerlerin çok altındadır. Bu sorunun üstünden gelmek için farklı termik – yaşlandırma işlemleri gerçekleştirerek istenilen mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Çökelme sertleşmesinin verimli bir şekilde olması için öncelikli olarak katı çözeltinin homojen bir şekilde olması gerekmektedir. Ekstrüzyon veya termik işlemi sırasında oluşan problemler nedeniyle istenilen mekanik özellikler elde edilemediği zaman profilin T4 kondisyonuna (başlangıç – ekstrüzyon çıkışı) geri getirilmesi için solüsyona alma işlemi yapılmaktadır [7]. Solüsyona alma işlemiyle alaşım içindeki çözünebilir sert elementlerin yapı içerisinde çözünmesi sağlanmış olur. Bu işlem yapılırken ürün belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bu sıcaklıkta bekletilir ve su veya farklı çözeltiler içerisinde soğutulması ile yapılmaktadır. Solüsyona alma sıcaklığını etkileyen yegane faktör alaşımın kimyasal kompozisyonudur. Kimyasal kompozisyon değiştiğinde

alaşımın faz diyagramındaki yeri de değiştiği için solüsyona alma sıcaklığı değişmektedir. Genel olarak sıcaklık belirlenirken solvüs ve ötektik başlangıç sıcaklıkları arasındaki bölgede kalınır. Belli alaşımlarda sıcaklık aralığı 6-10 °C değişiklikten etkilenmezken, sert alaşımlarda bu aralık çok daha dar belirlenmektedir. Bekletme süresi kullanılan malzemenin kalınlığı ile doğru orantılıdır. Kalın malzeme için sürenin uzun tutulması içyapıdaki fazların homojen bir şekilde çözünmesi için yeterli sürenin verilmesidir. Bekletme süresi ardından soğutma işlemi, su, yağ, sıvı azot vb sıvılar kullanarak yapılabilir. Soğutma işleminin ana amacı, çözünmüş ve aşırı doymuş çözelti oluşturmuş fazların yapı içerisinde hapsolmasını sağlayarak tekrar çökelmesinin önüne geçmektir[8,9].

Bu çalışmada 6082 alaşımdan üretilmiş ve T6 kondisyonu/sertliği istenilen değerde olmayan 21,5 mm çapında rod profillerden 50 ve 200 mm boylarında kesilmiş 540 °C'ye çıkarılarak 2 saat bekletilmesi ardından fırından çıkarılarak; farklı sürelerde bekletilerek su içerisinde soğutulmasının sertlik, iletkenlik, akma ve çekme mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir. Termik işlemleri ardından metalografik olarak inceleme de yapılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda direkt soğutmalı döküm yöntemi ile 8 inch çapında 6082 alüminyum alaşımlı billet üretilmiştir. Billetin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 6082 alaşımlı billetin kimyasal kompozisyonu

Alaşım	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ti	Al
6082	0,861	0,600	0,211	0,404	0,016	0,013	0,105	0,018	Kalan

Üretilmiş bilet ekstrüzyon tekniği kullanılarak iki figürlü olacak şekilde 21,5 çapında rod profil üretimi gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon üretim parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Üretim ile ilgili görsel Şekil 1'de verilmiştir.

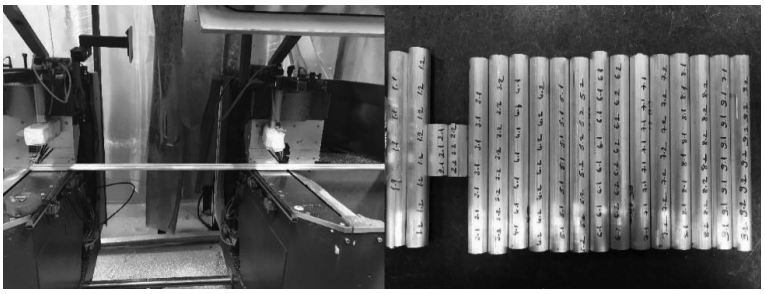
Çizelge 2. Ekstrüzyon prosesi için üretim parametreleri

Kalıp sıcaklığı (°C)	450
Gaz fırın sıcaklığı (°C)	400
Billet boyu (mm)	900
Hız (mm/dk)	5000



Şekil 1. Ekstrüzyon üretim görseli

Üretilen rod profillerin ilk ve son kısımları hurdaya ayrılmıştır. Kalan kısımlardan 50 ve 200 mm boylarında numuneler kesilmiştir. 50 mm kesilmesinin nedeni kısa ve uzun boylar arasında soğumanın ürün boyutuna etkisi incelenmesidir. Solüsyona alma deneylerinde kullanılacak numunelere ait görsel Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Solüsyona alma deneyleri için numune hazırlanması

Deneyler aşamasında iletkenlik değeri Fisch SMP 10, sertlik değeri EMKO Test M4C 025 G3M ve çekme testi Zwick Roell Z 250 cihazları ile ölçülmüştür.

2.2. Solüsyona Alma Deneyleri ve Termik İşlemi

Deneyler sırasında 9 adet deneme oluşturulmuştur. Her deneme için 2 adet profil ile ölçümler yapılarak verilerin doğruluğu arttırılmaya çalışılmıştır. Deney planı Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Solüsyona alma deney planı

Set No	No	Boy (mm)	SA* Sıcaklığı (°C)	Bekleme Süresi (dk)	Soğutma Şekli
1	1.1	200	540	120	Fırın çıkışı direk su içinde soğutma
	1.2	200	540	120	
2	2.1	50	540	120	
	2.2	50	540	120	
3	3.1	200	540	120	Fırın çıkışı t1 + su içinde soğutma
	3.2	200	540	120	
4	4.1	200	540	120	Fırın çıkışı t2 bekletme + su içinde soğutma
	4.2	200	540	120	
5	5.1	200	540	120	Fırın çıkışı t3 bekletme + su içinde soğutma
	5.2	200	540	120	
6	6.1	200	540	120	Fırın çıkışı t4 bekletme + su içinde soğutma
	6.2	200	540	120	
7	7.1	200	540	120	Fırın çıkışı t5 bekletme + su içinde soğutma
	7.2	200	540	120	
8	8.1	200	540	120	Fırın çıkışı t6 bekletme + su içinde soğutma
	8.2	200	540	120	
9	9.1	200	540	120	Fırın çıkışı t7 bekletme + su içinde soğutma
	9.2	200	540	120	

SA=Solüsyona alma, t7 > t1, t7:60 dk, t1: 1 dk

Solüsyona alma ve termik işlemleri Nabertherm B150 fırını ile yapılmıştır. Deneyler sırasında çekilen görseller Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deneyler sırasında çekilen görseller-1



Şekil 4. Deneyler sırasında çekilen görseller-2

3. Sonuçlar

Deneyler sırasında hazırlanan profillerin sertlikleri ve iletkenlikleri; solüsyona alma işlemi öncesi, sonrası ve termik işlemi sonrasında ölçülmüştür. Sertlik ve iletkenlik ölçümleri sonrasında çekme test numunesi hazırlanarak akma ve çekme mukavemetleri belirlenmiştir.

3.1. İletkenlik ve Sertlik Sonuçları

Deneylerde kullanılan 6082-T6 rod profillerinin solüsyona almadan önceki iletkenlik ve sertlik değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Solüsyona alma işlemi öncesi ölçülen iletkenlik ve sertlik değerleri

Deney No	İletkenlik Değeri				Sertlik Değeri			
	1. Değer (µS)	2. Değer (µS)	3. Değer (µS)	Ortalama (µS)	1. Değer (HB)	2. Değer (HB)	3. Değer (HB)	Ortalama (HB)
1.1	28,1	28,2	28,4	**28,2**	90,7	89,3	93,2	**91,1**
1.2	28,3	28,2	28,3	**28,3**	90,8	90,7	89,2	**90,2**
2.1	28,1	28,4	28,1	**28,2**	89,5	90,2	89,3	**89,7**
2.2	28,1	28,3	28,3	**28,2**	86,9	89,7	89,8	**88,8**
3.1	28,1	28,3	28,0	**28,1**	90,2	89,3	89,8	**89,8**
3.2	28,4	28,3	28,3	**28,3**	89,2	88,7	88,1	**88,7**
4.1	28,2	28,1	28,1	**28,1**	89,3	88,9	89,1	**89,1**
4.2	28,2	28,3	28,2	**28,2**	88,4	87,6	87,7	**87,9**
5.1	28,2	28,0	28,0	**28,1**	87,6	87,6	87,7	**87,6**
5.2	28,2	28,2	28,2	**28,2**	89,3	88,9	89,8	**89,3**
6.1	28,3	28,6	28,6	**28,4**	90,3	89,8	89,3	**89,8**
6.2	28,1	28,3	28,3	**28,2**	91,4	91,4	90,3	**91,0**
7.1	28,3	28,3	28,2	**28,3**	90,5	89,8	89,5	**89,9**
7.2	28,1	28,1	28,1	**28,1**	87,9	90,1	89,5	**89,2**
8.1	28,3	28,2	28,3	**28,3**	89,7	90,3	89,8	**89,9**
8.2	28,5	28,3	28,3	**28,4**	88,5	89,8	88,4	**88,9**
9.1	29,4	28,3	28,4	**28,7**	89,7	89,5	90,2	**89,8**
9.2	28,4	28,3	28,3	**28,3**	90,7	88,7	91,1	**90,2**

Çizelge incelendiğinde deneyler sırasında kullanılan malzemelerin iletkenlik ve sertlik değerleri oldukça yakındır. Kullanılan 6082 alaşımının T6 termik kondüsyondaki sertlik değeri normalde 95 ve üzeri çıkmaktadır. Bu çalışmada özellikle düşük sertlikteki profiller üretilerek kullanılmış ve solüsyona alma işleminin etkisi incelenmiştir. Solüsyona alma işlemi 540 °C'de 2 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Solüsyona alma işlemi sonrasında ölçülen iletkenlik ve sertlik değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. İşlemden 15 saat sonra ölçümler yapılmıştır.

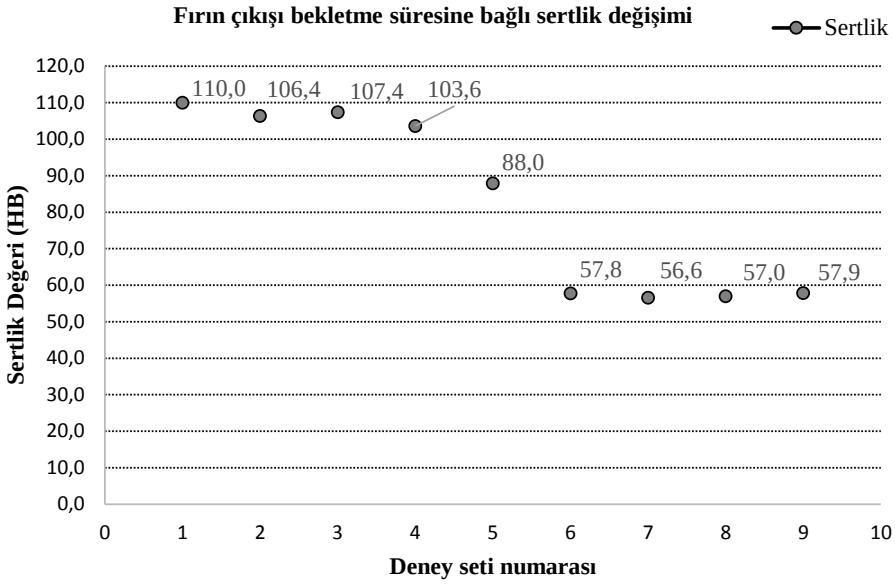
Çizelge 5. Solüsyona alma işlemi sonrası ölçülen iletkenlik ve sertlik değerleri

Deney No	İletkenlik Değeri				Sertlik Değeri			
	1. Değer (µS)	2. Değer (µS)	3. Değer (µS)	Ortalama (µS)	1. Değer (HB)	2. Değer (HB)	3. Değer (HB)	Ortalama (HB)
1.1	25,2	24,9	25,0	**25,0**	73,4	74,6	73,5	**73,8**
1.2	25,0	25,2	24,9	**25,0**	74,6	74,1	74,6	**74,4**
2.1	24,5	25,1	25,0	**24,9**	73,4	72,8	73,1	**73,1**
2.2	25,1	25,3	25,2	**25,2**	73,1	73,2	72,9	**73,1**
3.1	25,0	25,1	25,1	**25,1**	73,9	74,8	74,8	**74,5**
3.2	25,3	25,1	25,0	**25,1**	73,1	73,5	73,1	**73,2**
4.1	25,6	26,1	25,7	**25,8**	67,5	67,5	67,2	**67,4**
4.2	25,5	25,4	25,6	**25,5**	69,2	70,2	69,7	**69,7**
5.1	27,7	27,7	27,7	**27,7**	64,3	62,3	54,7	**60,4**
5.2	26,5	26,4	26,8	**26,6**	63,2	41,9	62,2	**62,4**
6.1	28,8	28,5	29,1	**28,8**	48,6	48,4	49,2	**48,7**
6.2	28,3	28,7	28,8	**28,6**	48,1	48,0	46,7	**47,6**
7.1	28,9	28,7	28,8	**28,8**	47,1	46,7	47,2	**47,0**
7.2	28,8	28,7	29,0	**28,8**	48,4	47,4	47,3	**47,7**
8.1	28,9	28,9	28,7	**28,8**	47,2	47,8	47,5	**47,5**
8.2	28,6	28,9	28,6	**28,7**	47,1	47,3	48,1	**47,5**
9.1	28,1	28,3	28,1	**28,2**	48,9	48,6	49,1	**48,9**
9.2	27,8	28,2	28,1	**28,0**	48,7	48,5	47,8	**48,3**

Solüsyona alma işlemi sonrasında profillere termik işlemi uygulanarak T6 kondisyonu elde edilmiştir. Termik işlemi bir gün sonrasında ölçülen iletkenlik ve sertlik değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Termik işlemi sonrası ölçülen iletkenlik ve sertlik değerleri

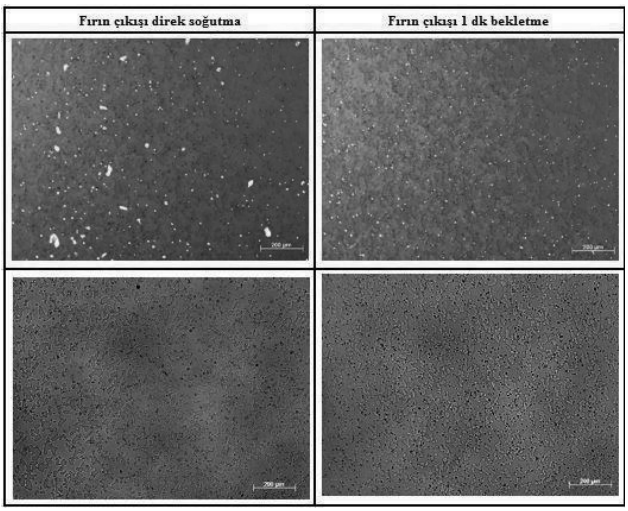
Deney No	İletkenlik Değeri				Sertlik Değeri			
	1. Değer (µS)	2. Değer (µS)	3. Değer (µS)	Ortalama (µS)	1. Değer (HB)	2. Değer (HB)	3. Değer (HB)	Ortalama (HB)
1.1	28,2	28,2	27,7	**28,0**	109,4	108,7	111,1	**109,7**
1.2	27,9	27,6	27,9	**27,8**	110,7	110,7	109,6	**110,3**
2.1	28,1	28,0	27,9	**28,0**	103,5	105,8	105,6	**105,0**
2.2	28,1	28,1	28,1	**28,1**	107,3	107,9	108,1	**107,8**
3.1	28,2	28,1	28,2	**28,2**	106,8	106,8	106,8	**106,8**
3.2	28,2	28,0	28,1	**28,1**	107,9	108,5	107,7	**108,0**
4.1	28,3	28,4	28,6	**28,4**	103,5	102,8	103,6	**103,3**
4.2	28,2	28,3	28,5	**28,3**	104,1	105,1	102,7	**104,0**
5.1	29,0	29,2	29,4	**29,2**	85,9	86,4	82,7	**85,0**
5.2	28,9	29,0	28,8	**28,9**	88,9	92,1	91,7	**90,9**
6.1	29,6	29,5	29,4	**29,5**	59,1	61,9	58,4	**59,8**
6.2	29,3	29,2	29,5	**29,3**	54,4	56,3	56,7	**55,8**
7.1	29,3	29,2	29,4	**29,3**	56,6	55,3	58,5	**56,8**
7.2	29,3	29,3	29,3	**29,3**	56,2	57,6	55,6	**56,5**
8.1	29,3	29,2	29,3	**29,3**	53,6	58,7	58,2	**56,8**
8.2	29,2	29,3	29,4	**29,3**	54,5	58,8	58,3	**57,2**
9.1	29,2	29,0	29,3	**29,2**	61,7	60,3	51,5	**57,8**
9.2	29,3	29,1	29,3	**29,2**	57,9	57,6	58,1	**57,9**



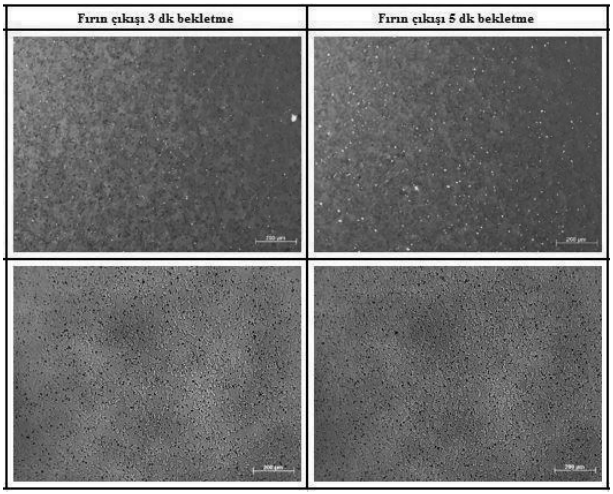
Şekil 5. Fırın çıkış sonrası bekletme süresinin sertlik üzerindeki etkisi

3.2 Metalografik İncelemeler

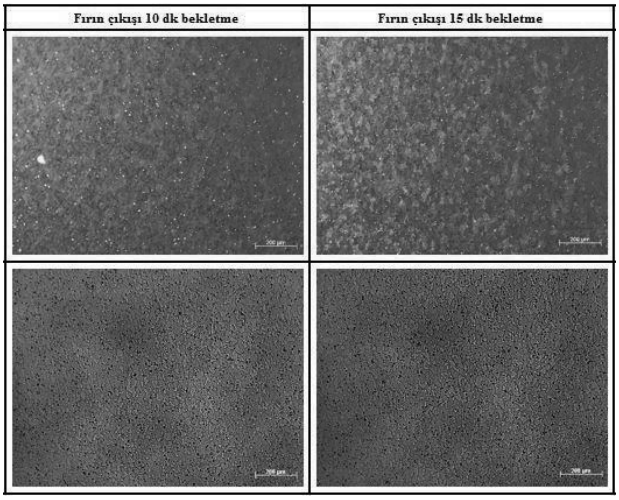
Termik işlemleri tamamlanmış profillerin metalografik incelenmeleri için numune hazırlama işlemleri yapılmıştır. Şekil 6,7,8 ve 9'da yapılan incelemeler sonucunda elde edilen siyah-beyaz ve polarize metalografik sonuçlar gösterilmiştir. Metalografik incelemeler için Zeiss Axio Scope A1 modeli ile yapılmıştır.



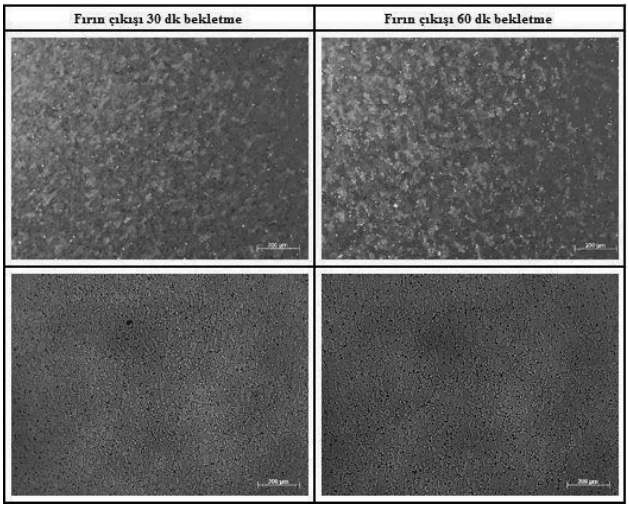
Şekil 6. Fırın çıkışı direk ve 1 dakika bekletilerek soğutulmuş numune incelemeleri



Şekil 7. Fırın çıkış sonrası 3 ve 5 dakika bekletilerek soğutulmuş numune incelemeleri

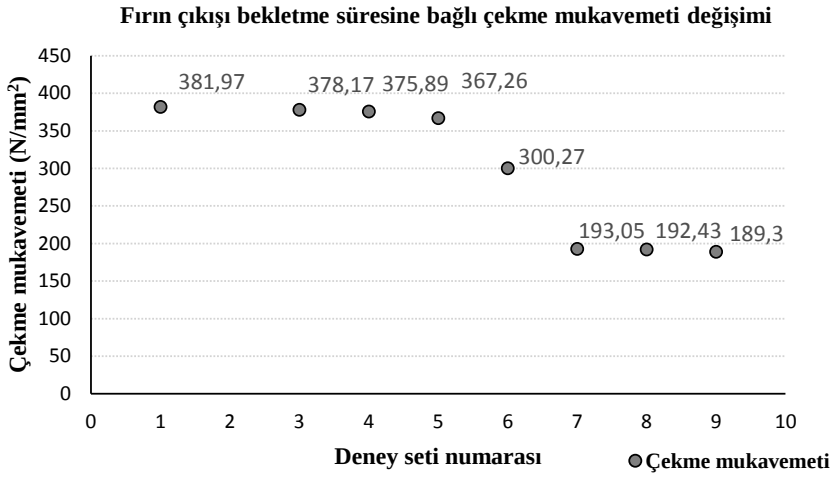


Şekil 8. Fırın çıkış sonrası 10 ve 15 dakika bekletilerek soğutulmuş numune incelemeleri



Şekil 9. Fırın çıkışı 30 ve 60 dakika bekletilerek soğutulmuş numune incelemeleri

3.3. Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 10. Fırın çıkışı bekletme süresinin çekme mukavemetine etkisi

4. Genel Değerlendirme

Solüsyona alma işlemi profil ve levha ürünlerinin belirli sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta bekletilmesi ve soğutulması ile yapılan bir işlemdir. Genellikle otomotiv, savunma, uçak ve uzay sanayinde yüksek sertlik ve mukavemet istenen durumlarda ısıl işlem sürecinin ilk adımı olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada 21,5 mm çapında 6082 alüminyum alaşımlı rod profilin solüsyona alma işleminde fırın çıkışı sonrası bekletme süresinin iletkenlik, sertlik ve çekme mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda iletkenlik değeri ve sertlik değeri arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir fakat iletkenlik değerinde 1-2 μS birimlik yükseliş sertlik değerinde 40-50 Brinell düşmeye karşılık geldiği belirlenmiştir.

Solüsyona alma işlemi sonrasında bekletme süresinin iletkenlik, sertlik ve mukavemet değerleri üzerine etkisinin fazla olduğu yapılan çalışma sonucunda gözlemlenmiştir. Bekleme süresi ne kadar artarsa sertlik ve mukavemet değeri o derece düşmektedir. Özellikle beş dakikadan fazla bekletilmiş numunelerde sertlik ve çekme mukavemeti değerinin düştüğü görülmüştür. Fırın çıkış sonra beklemeden soğutma işlemine tabi tutulan profilin sertliği 110 Brinell gelirken, 1 saat bekletilmiş profilin sertliği 58 Brinell civarında ölçülmüştür. Aynı durum çekme mukavemeti için de geçerli olduğu belirlenmiştir. Direk soğutulan profillerin çekme mukavemeti değeri yaklaşık 382 N/mm^2 gelirken, 1 saat bekletilen numunenin yaklaşık 190 N/mm^2 gelmektedir.

Referanslar

[1] T. Sheppard, Mater. Sci. Technol., Vol 4, July 1988, p 636

[2] J.E. Hatch, in Aluminum Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, 1984, p 165-166

[3] MK Banerjee, Fundamentals of Heat Treating Metals and Alloys, Jaipur, 2017, Hindistan

[4] HMMA Rashed and AKM Bazlur Rashid, Heat Treatment of Aluminum Alloys, Dhaka, 2017, Hindistan

[5] King, F. Aluminium and Its Alloys; Ellis Horwood: Chichester, 1987.

[6] Garrett, R. P.; Lin, J.; Dean, T. A. An Investigation of the Effects of Solution Heat Treatment on Mechanical Properties for AA 6xxx Alloys: Experimentation and Modelling. International Journal of Plasticity 2005, 21 (8), 1640–1657.

[7] Toda, H.; Nishimura, T.; Uesugi, K.; Suzuki, Y.; Kobayashi, M. Influence of High-Temperature Solution Treatments on Mechanical Properties of an Al–Si–Cu Aluminum Alloy. Acta Materialia 2010, 58 (6), 2014–2025.

[8] Ma, W.; Wang, B.; Yang, L.; Tang, X.; Xiao, W.; Zhou, J. Influence of Solution Heat Treatment on Mechanical Response and Fracture Behaviour of Aluminium Alloy Sheets: An Experimental Study. Materials & Design 2015, 88, 1119–1126.

[9] Cuniberti, A.; Tolley, A.; Riglos, M. V. C.; Giovachini, R. Influence of Natural Aging on the Precipitation Hardening of an AlMgSi Alloy. Materials Science and Engineering: A 2010, 527 (20), 5307–5311.

ASTM A 360 Alaşımının Döner Gaz Giderme Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Evaluations and Investigation of ASTM A360 Alloy by Using a Rotary Degassing Method

Canan Saykal[1], Mustafa Hinnap[1], Murat Can Kadıköy[1], Ahmet Türker[1], Haydar Kahraman[1,2], Murat Alkan[1]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, [2]Çukurova Kimya

Abstract

This study consists of the degassing of hydrogen gas from aluminum alloy which causes gas porosity in aluminum alloy casting. In this direction, ASTM A360 (ETI-Al 171) alloy is selected as raw material. Among the degassing methods investigated, the rotary degassing method was utilized in lab-scale study. Because it is more economic and eco-friendly technology than the others. In the first stage of experiments, standard specimens with verified amount of porosity content were produced and cast. Secondly, standard casting specimens were remelted with purging inert gas during melting. A laboratory scale of rotary-degassing system is designed. Factorial design is selected as design of experiments (DoE). The operation parameters (duration of degassing, flow rate of the gasses, blowing type) were optimized due to DoE. A laboratory scale of reduced pressure testing (RPT) system were also designed. The raw material, by-product and final products were characterized by using an optical microscopy with density measurements.

Özet

Bu çalışmada, aluminyum döküm alaşımlarında gaz porozitesine neden hidrojen gazının giderilmesi amaçlanmıştır. Çalışmalarda ASTM A360 (Eti-Al 171) alaşımı kullanılmıştır. İrdelenen çalışmalar sonucunda döner gaz giderme sisteminin, daha ekonomik ve çevre dostu olması nedeniyle, laboratuvar ölçekli çalışmalarda kullanılmasının uygunluğuna karar verilmiştir. İlk olarak gaz giderme işlemi yapılmadan döküm alınmış olup porozite miktarı ölçülmüştür. Laboratuvar ölçekli döner gaz giderme sistemi tasarlanarak yeniden ergitme ve gaz giderme işlemleri uygulanmıştır. Aynı zamanda laboratuvar ölçekli düşük basınç test düzeneği oluşturulmuştur. İki seviyede üç parametreli tam faktöryel tasarımı (2^3) seçilerek faktörlerin etkileri incelenmiştir. Hammadde, ara ürün ve ürünlerin makro ve mikroyapıları incelenmiş ve karakterize edilmiştir.

1. Introduction

Al alloys are one of the commonly utilize alloys in automotive industries for their improved properties. Al casting alloys are named by international specifications and standards related with the compositions and production routes [1]. Despite the fact that casting of Al-alloys is easier than copper alloys and steel, it is a tricky process. For cleaner and high quality castings, different parameters have to be controlled. The rules of castings and its metallurgy were reported by Campbell in details [2,3]. Porosity and inclusions affect the quality of Al-alloy castings. Pore volume fraction and stress concentrations at voids due to the porosity decreases the effective area and causes the material failure [1]. Hydrogen is the major source of internal porosity in Al-alloy castings due to the high difference in the solubility range between solid and liquid phases [4,5]. Rotary degassing method is one of the effective processes used as improving of casting qualities. Because it raises the rate of degassing and lowers the rate of regassing [3].

In this study, a laboratory scale of rotary-degassing system is designed and effects of the degassing duration, flow rate of the inert gas and blowing type is studied.

2. Experimental Procedure

In experimental studies ASTM A360 (Eti-Al 171) Al-alloy was selected and sand casting process was applied to obtain a standard sample. The chemical composition of alloy was measured by optical spectrometer (SpektraMax SMA-11) and given in Table 1. Standard sample was obtained after melting and pouring in a sand mold. The measurements of the sand mold is given in Figure 1.

Table 1. Chemical composition of ASTM A360 Al-alloy.

Element	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Other
Mass %	90.04	8.76	0.20	0.13	0.37	0.31	0.13	0.06

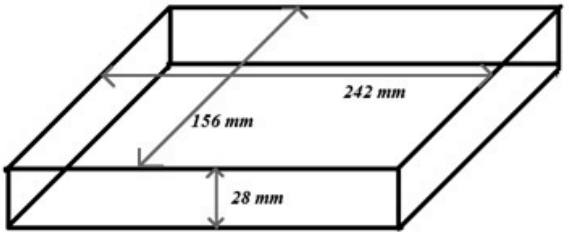


Figure 1. The measurements of the sand mold.

After obtaining the standard sample, it was sliced into smaller pieces (80×25×28 mm) for laboratory scale studies. The weights of each pieces (degassing samples) were between 100-130 g. Melting and degassing process was realized in a laboratory scale resistance (Ni-Cr resistance) furnace. A graphite crucible with a capacity of 130 cm^3 was utilize for charging and melting the degassing samples. The measurements of the graphite crucible is given in Figure 2.

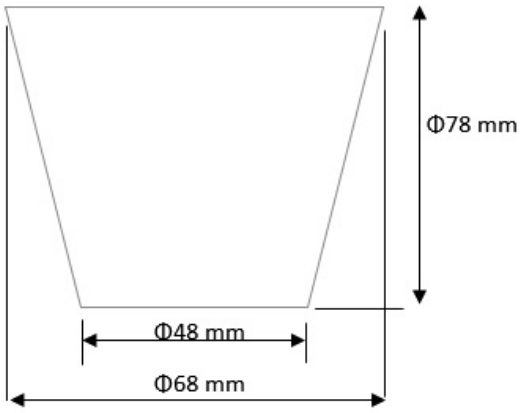


Figure 2. The measurements of the graphite crucible.

The resistance furnace was firstly heated up to 700 °C, then degassing sample was charged into the furnace in the graphite crucible. Melting duration was selected and fixed as 30 minutes for homogenous and effective melting. After 30 minute melting duration, rotary degassing system was mounted at the top of the furnace and degassing process initiated in order to the selected parameters. After degassing, the graphite crucible was taken out and molten metal was poured into two smaller sized graphite crucibles (has a 30 cm^3 volume). Solidification of alloys were realized under both atmospheric condition and vacuum. Solidification under vacuum is important for calculating porosity amounts. This method is called as reduced pressure test (RPT) [6].

Two laboratory scale systems were design during this study. The first system was used for degassing process (Figure 3). System contained a mechanical mixer, stainless steel impeller (rotor), and a rotary joint. Yellow Line OST20 basic model mechanical mixer was utilize for rotating. The rotary joint was obtained from Rototech Makina, has a dimension of 1/4"(DN08) - 2" (DN50) (Rototech® 3000 series) and only one side has rotating ability. Stainless steel impeller has a diameter of 10mm and height of 600mm. Argon gas was used as inert gas.

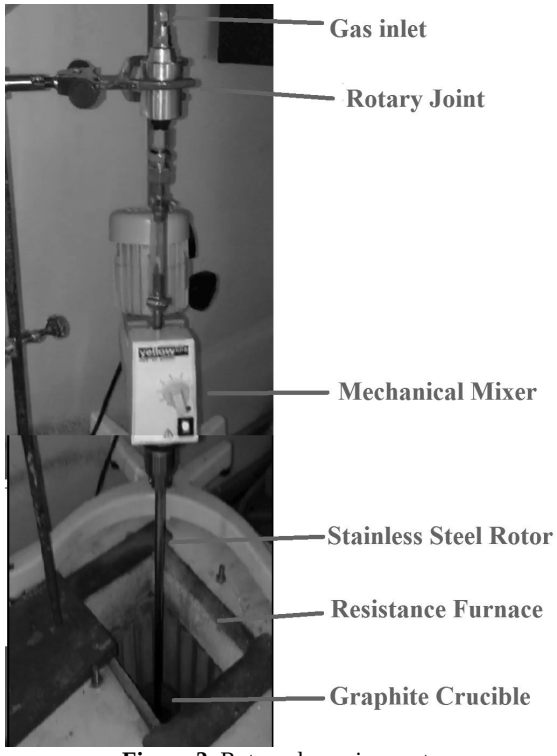


Figure 3. Rotary degassing system.

The second system was used for RPT studies (Figure 4). A vacuum pump has a 0.05 mbar suction was utilize and solidification was realized in a glass desiccator during 3 minutes. Inner pressure of the desiccator was measured by a vacuum gauge.

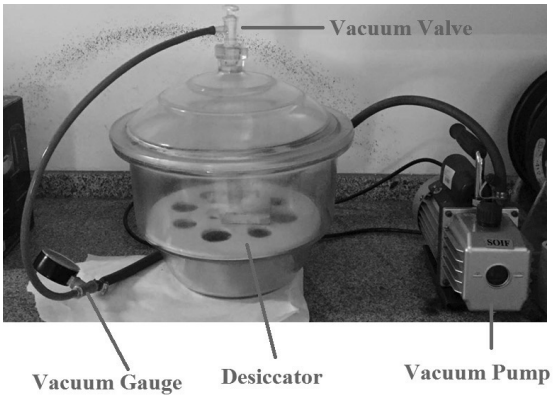


Figure 4. RPT system.

The raw materials, by-products and final alloys were characterized by using optical spectrophotometer (SpektraMax), optic microscopy (Olympus GX41, Nikon ME600). Density measurements and porosity index were also calculated for characterization.

3. Results and Discussions

Factorial design is selected as design of experiments (DoE). The operation parameters (duration of degassing, flow rate of the gasses, blowing type) were optimized due to DoE. The lists and details of the experiments were given in Table 2.

Table 2. Lists of the experiments.

Exp. No	Flow rate of Ar (L/min)	Degassing duration (min)	Blowing type (# of head)
0	-	-	-
1	3	10	2
2	3	2	2
3	6	10	2
4	6	2	2
5	3	10	3
6	3	2	3
7	6	10	3
8	6	2	3

The chemical compositions of final alloys after degassing were given in Table 3. When the degassing duration was increased the amount of Fe dissolving in Al was increased.

Table 3. Chemical compositions of final alloys.

Exp. No.	Mass %					
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
0	90.6	8.18	0.19	0.149	0.386	0.310
1	90.0	7.95	0.72	0.150	0.390	0.297
2	90.8	7.93	0.21	0.157	0.381	0.319
3	90.1	8.10	0.60	0.152	0.389	0.312
4	90.4	7.85	0.30	0.143	0.408	0.327
5	90.2	8.22	0.44	0.155	0.394	0.317
6	90.8	8.02	0.20	0.146	0.377	0.304
7	90.2	7.92	0.62	0.143	0.399	0.305
8	90.3	8.03	0.27	0.152	0.409	0.305

Chemical compositions were also used for calculation of theoretical densities of the alloys. Theoretical densities were measured in order to Eq. (1) and calculated as 2.676, 2.691, 2.676, 2.686, 2.686, 2.681, 2.676, 2.688, and 2.685, respectively.

$$\rho = \frac{\sum \text{mass\% of elements}}{\sum \frac{Ma}{d\ teo}} \quad (1)$$

Porosity index was calculated in order to Eq. (2) where i as porosity index, ρ_{vac} as density measurement under vacuum and ρ_{teo} as theoretical density of the alloy. The results of the porosity index was given in Table 4. Vacuum values were measured as 100 mm-Hg (133 mbar) after 60 sec, 60 mm-Hg (80 mbar) after 90 sec, 40 mm-Hg (53 mbar) after 120 sec, and 20 mm-Hg (26 mbar) after 180 sec, respectively.

$$i = 1000\ (\ 1/\rho_{vac} - 1/\rho_{teo}\ ) \quad (2)$$

Exp. No	Porosity Index
0	6,077
1	3,854
2	5,617
3	5,756
4	6,773
5	1,545
6	10,878
7	3,617
8	5,478

The comparison of the macrostructure obtained after solidification under both atmospheric and vacuum conditions was given in Figure 5. The porosities could be more easily seen in vacuum samples than atmospheric samples. Porosity intensities were reduced while the degassing duration increases. Also, higher amount of argon gas purged into the alloys made the porosity values decreased.

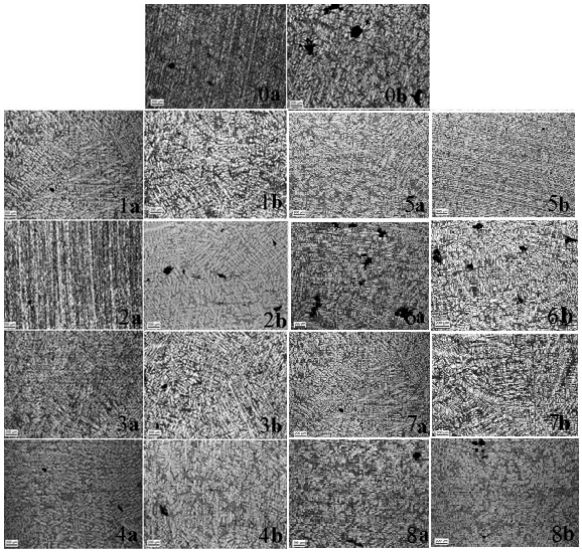


Figure 5. The comparative macrostructure images of final alloys obtained after solidified a) under atmospheric conditions, b) under vacuum conditions.

The result of the DoE for selected parameters and its effects was given in Figure 6. It can be easily seen that the most effective parameter is degassing duration. For longer degassing durations the lowest porosity index values can be achieved. The flow rate and number of blowing head had slightly decreases the porosity rates.

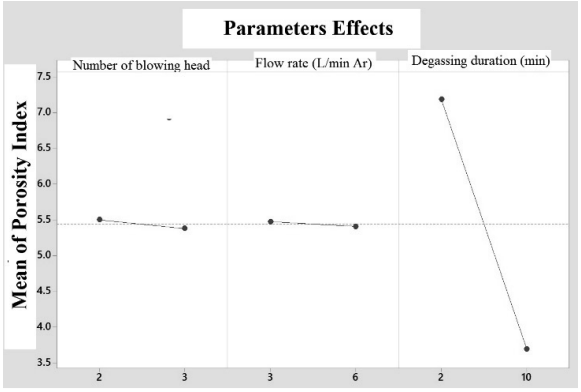


Figure 6. The results of DoE calculated by Minitab 15.

4. Conclusions

In this study, casting defects of aluminum alloys were experimentally investigated by designing a period to remove gas porosity depending on the difference in hydrogen solubility. It was planned to use the rotary degassing method for the casting of the ASTM A360 alloy. A resistance furnace was used and the cut A360 alloy ingots were melted in a graphite crucible. A two-level, three-factor experimental design method was chosen to reduce gas porosity and hydrogen solubility. As the parameters affecting the gas porosity and hydrogen solubility, the flow rate of the inert gas(3L/min,6L/min.), duration of gas flushing(2 min., 10 min.) and the design of the blow pipe were chosen. After melting and degassing processes, molten metal was poured into graphite crucible and solidification was provided both under normal atmospheric conditions and under vacuum conditions.

Acknowledgement

The authors thank Prof. Dr. Murat Baydoğan, Faiz Muhaffel, Kağan Benzeşik and Emre Tekoğlu (İstanbul Technical University); Bekir Benzeşik and Murat Benzeşik (Benzeşik Döküm), Serkan Kaya (Rototech Makina), Özgür İlter (CMS Jant), Prof. Dr. Kazım Önel, Ramazan Dalmış, Coşkun Yolcu and Faik Soysal for their support and assistance during this study.

References

[1] J.G. Kaufman, E.L. Rooy, Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, ASM International, 2004, Ohio, ABD.
[2] J. Campbell, Castings 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, 2003, Oxford, Birleşik Krallık.
[3] J. Campbell, Casting Practice The 10 Rules of Castings, Elsevier, 2004, Amsterdam, Hollanda.
[4] D. Dispinar, S. Akhtar, A. Nordmark, M. Di Sabatino ve L. Arnberg, Materials Science and Engineering A, 527 (2010), 3719-3725.
[5] D. Dispinar ve J. Campbell, Materials Science and Engineering A, 528 (2011), 3860-3865.
[6] D. Dispinar ve J. Campbell, International Journal of Cast Metals Research, 17 (5) (2004), 280-286.

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes

Notlar / Notes



05-06 OCT 2017

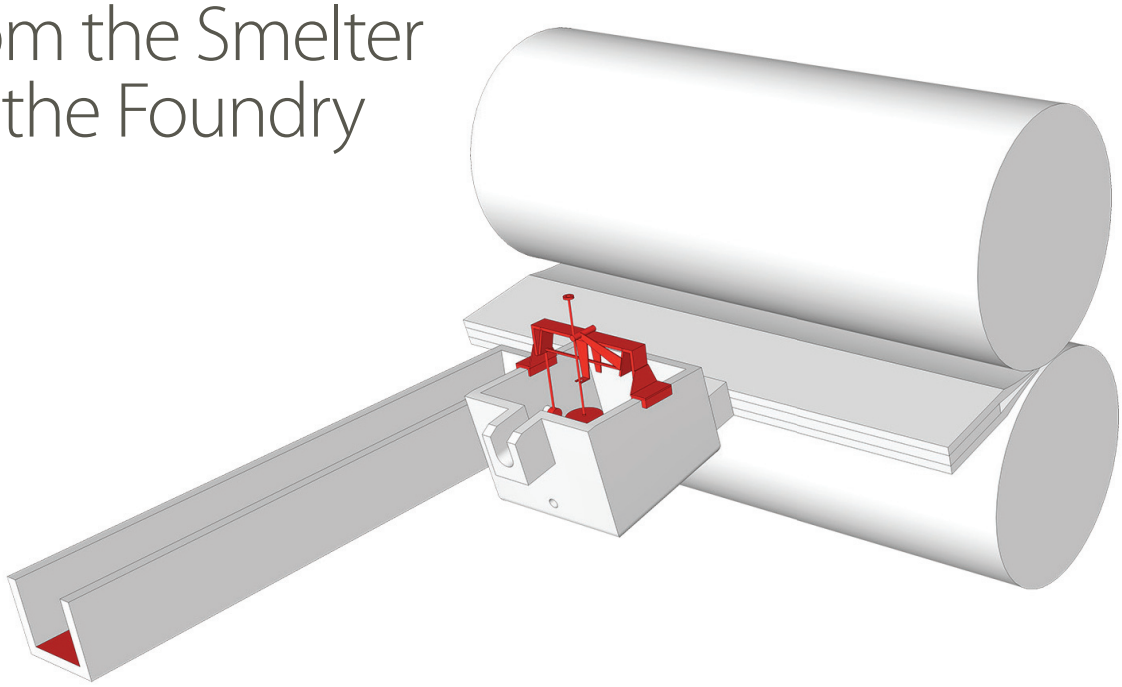
8th Aluminium Symposium

8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

REKLAMLAR
ADVERTISEMENTS

Pyrotek®

Aluminium Expertise from the Smelter to the Foundry



Solutions for continuous sheet casting

- Casting tips
- Circulation and recovery
- Degassing and flux injection
- Filtration systems
- Furnace refractory
- Headboxes and tundishes
- Launder systems
- Release agents
- Steady eddies
- Thermocouples
- Vacuum-formed refractory

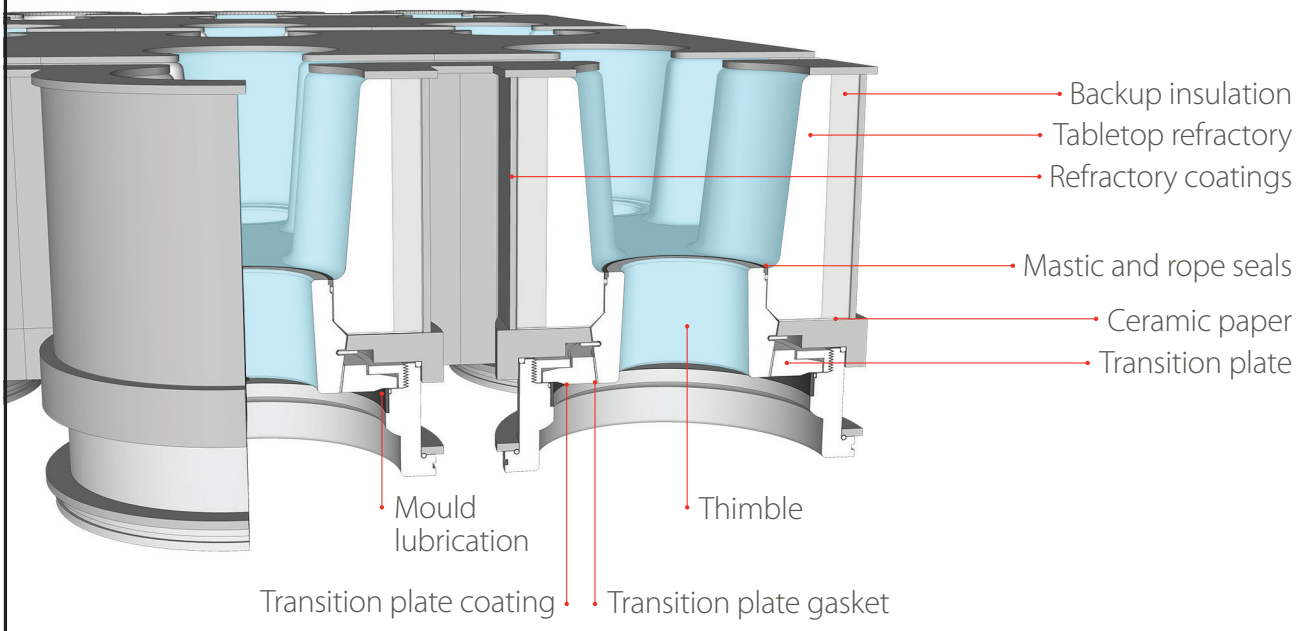
aluexpo 2017

Visit booth D120

pyrotek.com

Pyrotek®

Aluminium Expertise from the Smelter to the Foundry



Solutions for vertical direct chill billet casting

- Circulation and recovery
- Degassing and flux injection
- Filtration
- Furnace refractory
- Gaskets and seals
- Mastics and coatings
- Transfer systems
- Tabletop refractory and components
- Thermal insulation
- Thermocouples

aluexpo 2017

Visit booth D120

pyrotek.com

ACHENBACH BUSCHHÜTTEN

TECHNOLOGY FOR FUTURE CONCEPTS

Aluminium Rolling Mills · Rolling Foil Slitting Machines · Rolling Oil Management







alusinq 8. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU 8th Aluminium Symposium

Istanbul, Expo Center, 5 - 6 October 2017

Visit us on booth A160

We are the Specialists

We are Leaders in technology and quality

We are your Partner

www.achenbach.de

ASAŞ

Sizlere Hep Daha İyisini
Sunmak İçin Çalışıyoruz

Sektörün Bakanlık Onaylı İlk AR-GE Merkezi

Sektörde Sanayi ve Sanatı Buluşturan İlk Sanat Atölyesi

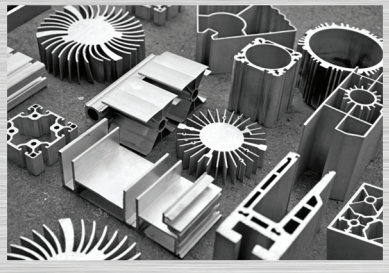
6 Kıtada 80'den Fazla Ülkeye İhracat

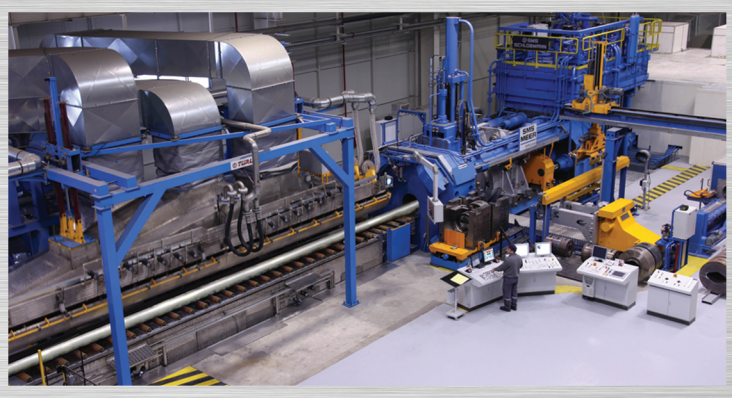
Haberleşme Uydusu için Türkiye'den İlk Ekstrüzyon Profili Üreticisi

CERN'ün Sektördeki İlk ve Tek Türk Tedarikçisi















Aluexpo

5–7 Ekim 2017

İstanbul Fuar Merkezi Salon: **9** Stand: **D100**

asastr.com

GELECEĞİ BİRLİKTE ŞEKİLLENDİRELİM

İş ortaklarımızın her koşulda yanındayız.
Sizlere özel ve yenilikçi çözümler üretiyoruz.
Yapı taşlarımız olan güvenilirlik, esneklik ve yenilikçilik
değerleriyle sizi geleceğe taşıyoruz.



Kibar 45.yıl

aluexpo 2017
5-7 Ekim | H9-C100

ASSAN ALÜMİNYUM

MARMARA METAL
MAMÜLLERİ TİC. A.Ş.

Premier Choice of the World's Aluminium, Iron & Steel Foundries.







FERRO ALLOYS
Ferro Silicon Manganese
Ferro Silicon
Ferro Manganese
Ferro Chrome
Ferro Molybdenum
Ferro Vanadium
Ferro Phosphorus
Ferro Titanium
Ferro Boron
Ferro Sulphur
Ferro Niobium
Ferro Wolfram
Ferro Nickel

NON FERROUS
Silicon Metal
Chrome Metal
Magnesium Metal
Manganese Metal

BASE METALS
Aluminium
Nickel
Copper
Lead
Zinc
Tin

MINOR METALS
Antimony Metal
Cadmium Metal
Chromium Metal
Cobalt Metal
Manganese Metal
Molybdenum Metal
Niobium Metal
Selenium Metal
Silicon Metal
Wolfram Metal
Zirconium Metal

MASTER ALLOYS
Nickel Magnesium
Aluminium Titanium Boron
Aluminium Chrome
Aluminium Manganese
Aluminium Silicon
Aluminium Stronsium
Silicon Calcium
Calcium Carbide
Aluminium Nickel
Aluminium Cobalt
Copper Phosphorus

PIG IRON
Nodular Grade Pig Iron
Foundry Grade Pig Iron
Basic Pig Iron
Steel Scrap

INOCULANTS
Ferro Silicon Magnesium
Ferro Silicon Zirconium
Ferro Silicon Barium
Ferro Silicon Aluminium
Ferro Silicon Calcium

MINERALS/ORES
Chromite Ore
Iron Ore
Manganese Ore
Fluorspar
Alumina / Bauxite

WATER TREATMENT
Ductile Iron Pipe
Aluminium Sulphate
Chlore

OTHERS
Graphite Electrode
Metallurgical Coke
Foundry Coke
Silicon Carbide
Chromite Sand
Magnesium Granule
Graphitized Petroleum Coke
Calcinated Petroleum Coke
Steel Shot
Steel Grit
Foundry Resin
Foundry Coating
Ceramic Foam Filters
Refractories
Ferro Titanium Cored Wire
Calcium Sillicon Cored Wire
Crucibles
Mica Sheets & Rolls
Fluxes
Shell Sand

İstasyon Mah. E-5 Üstü Fatih Otağı Sk. TUZLA - İSTANBUL - TURKEY T.: (+90 216) - 447 29 55 (pbx) F.: (+90 216) 447 29 69

www.marmarametal.com

marmara@marmarametal.com

MorganMMS · Rodabell Group Accurate Partner · KBM AFFILIPS Master Alloys · V-Smart · Lungmuß Feuerfest
PERMATECH Shaping the Future of Refractory Technology · Drache · SNAM · NiMag · aluminiummartigny

Acarer Metal
San. Ve Tic. A.Ş.

Ürün çeşitliliği ile;

sektörde 40 yıl



FERRO ALYAJLAR
FERRO SİLİSYUM
FERRO SİLİSYUM D.AL
FERRO MANGANEZ H/C
FERRO MANGANEZ L/C
FERRO SİLİKO MANGANEZ
FERRO KROM H/C
FERRO KROM L/C
FERRO FOSFOR

İKİNCİL ARA METALLER
ANTİMUAN
KOBALT

NOBLE ALYAJLAR
FERRO MOLİBDEN
FERRO TİTANYUM
FERRO BORON
FERRO WOLFRAM
FERRO NİOBYUM
FERRO VANADYUM

PİK DEMİR
SFERO PİKİ

MASTER METALLER
NİKEL MAGNEZYUM
BAKIR FOSFOR

DİĞERLERİ
KARBON VERİCİ (PİK ÇELİK)
KARBON VERİCİ (SFERO)
GRAFİT TOZU (YAĞLI)
SİLİSYUM KARBÜR
KROMİT KUMU
PERLİT

AŞILAYICILAR
FERRO SİLİKO MAĞNEZYUM
FERRO SİLİKO BARYUM
FERRO SİLİKO ZİRKONYUM
FERRO SİLİKO KALSİYUM
KALSİYUM SİLİSYUM

DEMİR DIŞI METALLER
METALİK MAGNEZYUM
METALİK MANGANEZ
METALİK SİLİSYUM
METALİK KROM
METALİK MOLİBDEN

TEMEL / ESAS METALLER
KALAY ANOT
KALAY ÇUBUK
KALAY KÜLÇE
NİKEL ANOT
NİKEL KATOT

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

MERKEZ: Büyükdere caddesi Apagiz plaza No : 191 Kat : 11 Levent / Şişli / İstanbul / TÜRKİYE
Tel: +90 212 280 50 50 Fax: +90 212 280 50 51 info@acarermetal.com.tr
DEPO: Birlik Organize Sanayi Bölgesi Aydınlı mah.Tem yan yolu 1 No'lu cadde No : 14 -17
Tuzla / İstanbul / TÜRKİYE Tel: +90 216 593 08 41- 42 Fax: +90 216 593 08 43

acarermetal.com.tr

Sadece Binaları Değil, Geleceği de İnşa Ediyoruz

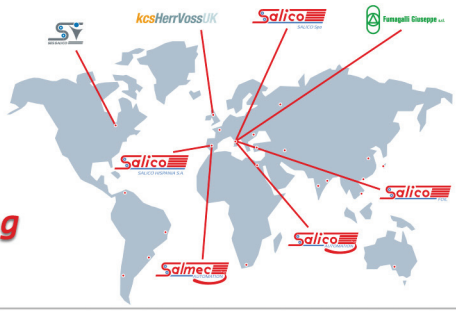


ÇUHADAROĞLU
Alüminyum Sistemleri

Yakuplu Mah. Hürriyet Bulvarı No:6-8 34524 Beylikdüzü / İstanbul / Türkiye T: (0212) 224 20 20 F: (0212) 224 20 40 www.cuhadaroglu.com

Salico

Technological edge in Strip Finishing and Cutting















Follow us on Linkedin

TENSION LEVELING ☆ CUT TO LENGTH

DEGREASING ☆ PACKAGING ☆ SLITTING

Madrid Office
C/ Mahón, 6 - 2°
28290 Las Rozas, Madrid - SPAIN
Tel: +34 91 630 56 92
Fax: +34 91 630 36 70
info.spain@salico.net

www.salico.net
www.linkedin.com/company/salico

Milano Office
Viale Lombardia, 10
23847 Molteno, Lecco - ITALY
Tel: +39 031 870 598
Fax: +39 031 870 616
info.italy@salico.net



Ana Sponsor

detaysoft

Platin Sponsorlar

itelligence · mbis · Microsoft

Altın Sponsorlar

ACRON · ARETE · BTC · cozumevi · GOLIVE · Hibizz · NEC · renova · varucon · vektora

Salon Sponsoru

FIT

Gümüş Sponsorlar

armolis · ekomera · esri Türkiye · Hewlett Packard Enterprise · ibss · improva · innova · KoçSistem · MDS ap · OpenText · Regna · Solvia · SUG TURK

Özel Oturum Sponsorları

METRIC · Vistex

Bronz Sponsorlar

PLUSE LABS · Xap · METRIC · SUSE · T-MaaS · TRIOMOBIL · VIS

Kahve Köşesi Sponsoru

PRO

Basın Sponsorları

Bloomberg Businessweek · CIO · tele.com.tr



A KABLO SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
Orta Mahalle, Atayolu Caddesi No: 22, 34959, Orhanlı Tuzla / İstanbul / TÜRKİYE
E-mail: info@akablo.com Tel: + 90 216 304 05 06 - Faks: +90 216 304 05 05
www.akablo.com

ŞAHİNLER METAL SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

Şahinler Metal San. ve Tic. A.Ş. Kuruluşudur.

ESKİ KÖYE
YENİ
ÂDET

ING BANK yazılır, DÜNYANIN EN İYİ BANKASI diye okunur!



Finans dünyasının en itibarlı yayınlarından "Global Finance" dergisi tarafından **"Dünyanın en iyi bankası"** seçildik.

ingbank.com.tr | 0850 222 0 600

ING BANK

METEM

TMMOB METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ

www.facebook.com/metem.org







TMMOB METALURJİ VE
MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI

MARMARA METAL
MAMÜLLERİ TİC. A.Ş.

Premier Choice of the World's Aluminium, Iron & Steel Foundries.







FERRO ALLOYS
Ferro Silicon Manganese
Ferro Silicon
Ferro Manganese
Ferro Chrome
Ferro Molybdenum
Ferro Vanadium
Ferro Phosphorus
Ferro Titanium
Ferro Boron
Ferro Sulphur
Ferro Niobium
Ferro Wolfram
Ferro Nickel

NON FERROUS
Silicon Metal
Chrome Metal
Magnesium Metal
Manganese Metal

BASE METALS
Aluminium
Nickel
Copper
Lead
Zinc
Tin

MINOR METALS
Antimony Metal
Cadmium Metal
Chromium Metal
Cobalt Metal
Manganese Metal
Molybdenum Metal
Niobium Metal
Selenium Metal
Silicon Metal
Wolfram Metal
Zirconium Metal

MASTER ALLOYS
Nickel Magnesium
Aluminium Titanium Boron
Aluminium Chrome
Aluminium Manganese
Aluminium Silicon
Aluminium Stronsium
Silicon Calcium
Calcium Carbide
Aluminium Nickel
Aluminium Cobalt
Copper Phosphorus

PIG IRON
Nodular Grade Pig Iron
Foundry Grade Pig Iron
Basic Pig Iron
Steel Scrap

INOCULANTS
Ferro Silicon Magnesium
Ferro Silicon Zirconium
Ferro Silicon Barium
Ferro Silicon Aluminium
Ferro Silicon Calcium

MINERALS/ORES
Chromite Ore
Iron Ore
Manganese Ore
Fluorspar
Alumina / Bauxite

WATER TREATMENT
Ductile Iron Pipe
Aluminium Sulphate
Chlore

OTHERS
Graphite Electrode
Metallurgical Coke
Foundry Coke
Silicon Carbide
Chromite Sand
Magnesium Granule
Graphitized Petroleum Coke
Calcinated Petroleum Coke
Steel Shot
Steel Grit
Foundry Resin
Foundry Coating
Ceramic Foam Filters
Refractories
Ferro Titanium Cored Wire
Calcium Sillicon Cored Wire
Crucibles
Mica Sheets & Rolls
Fluxes
Shell Sand

İstasyon Mah. E-5 Üstü Fatih Otağı Sk. TUZLA - İSTANBUL - TURKEY T.: (+90 216) - 447 29 55 (pbx) F.: (+90 216) 447 29 69

www.marmarametal.com

marmara@marmarametal.com

MorganMMS · Rodabell Group · KBM AFFILIPS Master Alloys · V-Smart · Lungmuß Feuerfest
PERMATECH · Drache · SNAM · NiMag · aluminiummartigny