



İKİZ MERDANE YÖNTEMİ İLE 1XXX SERİSİ VE 3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM LEVHA
ÜRETİMİNDEKİ PROSES PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLER

ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Naciye Merve CENGİZ

Yüksek Lisans Tezi

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran - 2018

İKİZ MERDANE YÖNTEMİ İLE 1XXX SERİSİ VE 3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM LEVHA
ÜRETİMİNDEKİ PROSES PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Naciye Merve CENGİZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. Remzi GÖREN

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN

Haziran - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Naciye Merve CENGİZ'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "İKİZ MERDANE YÖNTEMİ İLE 1XXX SERİSİ VE 3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİNDEKİ PROSES PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

01/ 06 /2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitüsü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. İskender IŞIK

Bölüm Başkanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Remzi GÖREN

Danışman, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN

Ortak Danışman, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Remzi GÖREN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet TÜRK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi

Doç. Dr. Veli UZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Metin ÖZGÜL

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 5 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Remzi GÖREN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN

Ortak Danışman

Naciye Merve CENGİZ

İKİZ MERDANE YÖNTEMİ İLE 1XXX SERİSİ VE 3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİNDEKİ PROSES PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Naciye Merve CENGİZ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Remzi GÖREN

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada ikiz merdaneli sürekli döküm tekniği ile üretilen 1xxx ve 3xxx alaşımlarının alüminyum levha ve rulo üretimi gerçekleştirilmiştir. 1xxx ve 3xxx alaşımları ile üretilen alüminyum levhaların günümüz teknolojisinde avantajları ve dezavantajları, üretimdeki proses parametreleri, dökümü etkileyen parametreler ve döküm anında oluşabilecek hatalara karşı alınacak önlemlerin neler olduğu araştırılmıştır.

Tez çalışmasında 1050 ve 3105 alaşımlı levha üretimi için 1310 mm genişliğinde, 5,50 mm ve 6,00 mm kalınlığında sürekli döküm yöntemi tekniği kullanılarak levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden sonra nihai ürün şeklini alıncaya kadar ki soğuk haddeleme, tavlama işlemi, gerdirme hattı, kalın-ince dilme hattı ve boy kesme hattındaki proses aşamalarında karşılaşılan sorunlar ve yapılan iyileştirmeler hakkında bilgiler verilmiştir.

Döküm denemeleri TS EN 573-3 standardına göre yapıldı. Zwick Z050 markalı çekme test cihazı ile dökümden alınan malzemelerin mekanik özellikleri ölçüldü. 1050 alaşımlı malzemeler 1,90 mm, 2,00 mm ve 2,20 mm kalınlığına soğuk haddeleme işlemi ile 3 adımda nihai ürün şekline getirilmiştir. Döküm içerisindeki alaşım elementlerinin (Si, Mn ve Ti) elektriksel iletkenliğe etkilerinin yanında soğuk haddeleme sonrasında, nihai tav denemeleri uygulanarak iletkenlikleri ölçülmüştür.

3105 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki malzemelerde oluşan tane büyümesi üzerinde (portakallanma) döküm içerisindeki alaşım elementlerinin etkisi incelenmiştir. Dökümden alınan beş farklı malzemenin soğuk haddeleme ve ara tavlama işlemlerinde denemeleri yapılmış, nihai tavlama işlemi uygulanarak sıcaklığın tane büyümesi (portakallanma) üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum levha, iletkenlik, tane büyümesi.

THE INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON PROPERTIES IN 1XXX AND 3XXX SERIES ALUMINUM SHEET PRODUCTION BY TWIN ROLLER METHOD

Naciye Merve CENGİZ

Material Science and Engineering, MSc. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Remzi GÖREN

Thesis Advisor: Prof. Dr. Hediye AYDIN

SUMMARY

In this project, the production of aluminum sheets and roll from 1xxx and 3xxx alloys produced by twin roll continuous casting technology is realized. Advantages and disadvantages of aluminum sheets produced from 1xxx and 3xxx alloys in modern technology, process parameters in the production, parameters affecting casting and precautions that should be taken for probable mistakes in casting area are analysed.

In the thesis project, with the aim of production of 1050 and 3105 alloyed sheet, the production of 1310 mm wide and 5,50 mm - 6,00 mm thick sheet is realized by continuous casting technology. The explanations about the problems occurring in cold rolling, annealing process, stretch line, thick- thin slitting line and cut-to-length line levels and improvements about these problems are given.

Casting trials are conducted according to the TS EN 573-3. Mechanical properties features of materials extracted from casting are measured by Zwick Z050 tensile testing device. 1050 alloyed materials are converted to 1,90 mm, 2,00 mm and 2,20 mm thickness by cold rolling and to final product in 3 steps. In addition to the effects of alloy elements (Si, Mn ve Ti) in casting on electrical conductivity, also conductivity of them after cold rolling is measured by implementing final annealing experiments.

The grain growth arising in 3105 alloyed and 0,35 mm thick material and the effects of alloys in casting are examined. Five different materials from the casting were tested in cold rolling and intermediate annealing processes and the effects of temperature on grain growth (orangeing) were examined by applying final annealing process.

Keywords: Aluminum sheet, conductivity, grain growth.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans hayatımda bana hayatımın her alanında yardımcı olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Remzi GÖREN'e ve ortak danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Hediye AYDIN Hediye AYDIN'a, bana bu yapılan araştırmaların imkânını sağlayan P.M.S. Alüminyum (Bursa) sahibi Süleyman ÖNSEVER'e ve P.M.S ailesine,

Her şeyden önemlisi her zaman yanımda olan, maddi ve manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen eşime ve aileme,

Teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ	1
2. TEMEL ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLAR.....	2
2.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	2
2.2. Alüminyumun Genel Özellikleri.....	2
2.3.Alüminyum Alaşımları	2
2.4. Alüminyum Kullanım Alanları	3
2.5. Alüminyum Sektörü: İthalat ve İhracat.....	4
3. İKİZ MERDANE SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ SÜREÇ AŞAMALARI.....	8
3.1. İkiz Merdane Sürekli Döküm Yöntemi Tarihçesi	8
3.2. Döküm Yöntemi.....	9
3.3. Döküm Öncesi İşlemler	10
3.3.1. Flakslama	10
3.3.2. Gaz giderme	12
3.3.3. Saflaştırma.....	13
3.3.4. Filtrasyon.....	13
3.4. Döküm Kalitesini Etkiyen Faktörler	13
3.4.1. Alaşım bileşimi	13
3.4.2. Döküm hızı	14
3.4.3. Tip mesafesi (set- back)	14
3.4.4. Sıcaklık.....	15
3.4.5. Besleme kutusu (head- box).....	15

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.4.6. Mordane yüzey görünümü.....	15
3.4.7. Tane inceltmesi	16
3.5. Döküm Sürecinde Oluşan Hatalar ve Nedenleri	16
3.6. İkiz Mordane Döküm Yöntemi Avantaj ve Dezavantajları.....	18
3.7. Soğuk Haddeleme	18
3.8. Sürekli Döküm Yönteminde Alüminyum Isıl İşlem Uygulamaları	20
3.8.1. Homojenizasyon.....	21
3.8.2. Yeniden kristalleşme	21
3.8.3. Toparlanma tavrı.....	22
3.9. Gerdirme Hattı	23
3.10. Kalın-İnce Dilme Hatları.....	23
3.11. Boy Kesme Hatları.....	23
3.12. Sürekli Döküm Yöntemi Prosesindeki Kalite Hataları	24
3.13. 1xxx Serisi Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	24
3.13.1. 1050 alaşımı	25
3.13.2. 1100 alaşımı	25
3.14. 3xxx Serisi ve Özellikleri.....	25
3.14.1. 3003 alaşımı	26
3.14.2. 3004 alaşımı	26
3.14.3. 3103 alaşımı	26
3.14.4. 3105 alaşımı	27
3.15. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarında Etkileri.....	27
3.15.1. Bakır (Cu).....	27
3.15.2. Silisyum (Si).....	27
3.15.3. Magnezyum (Mg).....	27
3.15.4. Titanyum (Ti)	28
3.15.5. Krom (Cr).....	28
3.15.6. Mangan (Mn).....	28
3.15.7. Nikel (Ni)	28
3.15.8. Çinko (Zn).....	28
3.15.9. Galyum (Ga).....	29
4. MATERYAL VE METOD	30

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1. Kullanılan Malzemeler.....	30
4.2. Kullanılan Cihazlar	31
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	34
5.1. 1050 ve 3105 Alaşımlı Malzemelerin Döküm Analizleri	34
5.2. 1050 ve 3105 Alaşımlı Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	36
5.3. 1050 ve 3105 Alaşımlı Malzemelerin Tav Sıcaklıkları ve Elektriksel İletkenliklerinin İncelenmesi	39
5.4. Döküm ve Kalite Hatalarının İncelenmesi	42
5.5. Elektriksel İletkenlik Etkilerinin İncelenmesi.....	47
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	49
6.1. Döküm ve Kalite Hataları	50
6.2. Elektriksel İletkenlik	50
7. ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR DİZİNİ	53

EKLER

- Ek-1: TS EN 573-3 standarttı
- Ek-2: TS EN 573-3 standarttı.
- Ek-3: TS EN 485-2 standarttı.
- Ek-4: TS EN 485-2 standarttı.

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ülkelerarası 2016 Ocak-Kasım ayları alüminyum ihracat karşılaştırılması	6
2.2. Ülkelerarası 2017 Ocak-Kasım ayları 2017 alüminyum İhracat karşılaştırılması	7
3.1. Sürekli döküm hattı şeması	8
3.2. Yatay ikiz merdaneli döküm işleminin şematik gösterimi	9
3.3. Levha ve rulo yüzeyleri arasındaki etkileşim.....	10
3.4. Alüminyumda hidrojen çözünürlüğü sıcaklık grafiği	12
3.5. Tip mesafesi ayarlaması	14
3.6. Haddeleme işlemi şematik gösterimi.	19
3.7. Toparlanma ve yeniden kristalleşmenin tane yapısına etkilerinin şematik gösterimi	22
4.1. Çekme testi numunesi.	32
4.2. Elektriksel iletkenlik ölçümü.	33
5.1. Gerilim-gerinim eğrisi.....	37
5.2. Gerilim-gerinim eğrisi.....	38
5.3. Gaz boşluğu hatası.	42
5.4. Kenar çatlağı hatası.	43
5.5. Ripple izi hatası.....	43
5.6. Kazıntı hatası.....	44
5.7. Batık izi hatası.....	44
5.8. Deterjan lekesi hatası.	45
5.9. Balık sırtı hatası.	45
5.10. Kenar dalgası hatası.	46
5.11. Tane büyümesi (portakallanma) hatası.	46
5.12. Dağlama sonrası tane yapılarının hali.	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

2.1. Alüminyum sınıflarının (Ocak-Ekim) 2016-2017 yılı USD cinsinden ihracat ve ithalat durumu	5
3.1. TRC sırasında döküm parametrelerinin ve eriyiklerin termofiziksel özelliklerinin karter derinliği ve merkez hattı ayırımına etkisi	16
3.2. Döküm hataları ve nedenleri	17
3.3. Temper işaret tanımları	20
3.4. Soğuk işlem, toparlama tavlama ve yeniden kristalleşmenin dislokasyon ve yoğunluklarının incelenmesi	23
3.5. Sürekli döküm yöntemi prosesinde kalite hataları ve nedenleri	24
4.1. Dökümde kullanılan ergitme ve tutma fırının özellikleri	31
4.2. Alaşımların döküm ortamı ve özellikleri	32
5.1. 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları	34
5.2. 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları	35
5.3. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki numunelerinin spektrometre analiz sonuçları	35
5.4. 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı numunelerin spektrometre analiz sonuçları	36
5.5. 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetlerinin (MPa) sonuçları, % uzama sonuçları	36
5.6. 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları	37
5.7. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları	38
5.8. 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı malzemelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları	38
5.9. 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları	39
5.10. 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları	40
5.11. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları	40

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**Çizelge****Sayfa**

5.12. 3105 – H24 alaşımlı farklı malzemelerinin 1,15 mm kalınlığında iken uygulanan ara tav sıcaklıkları (4 saat), 0,35 mm kalınlığında iken uygulanan nihai tav sıcaklıkları (4 saat), sonuçları.	41
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
İMD	İkiz Merdaneli Döküm Yöntemi
TRC	İkiz Merdane Döküm Yöntemi (Twin Rool Casting)
DC	Direct-Chill (Direkt Soğutmalı Döküm)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
AA	Alüminyum Birliği
Rm	Çekme Dayanımı
Rp _{0,2}	Akma Dayanımı
A (%)	Uzama
rpm	Dakikada Devir Sayısı
TTMA	Tip ve Merdane Merkezi Aralığı
ASTM	Amerika Malzeme ve Test Derneği
d	Döküm tabaka kalınlığı
λ	Isıl iletkenlik
Tf	Merdane yüzey sıcaklığı
g	Yoğunluk
Hf	Malzemenin gizli ısısı
σ_{akma}	Verim ortalama gerilme stresi
W	Şerit genişliği
R	Ruloların dış yarıçapı
h	Şeridin kalınlığı katılaşma noktasının tamamı
h ₂	Kalınlığı çıkış noktasındaki şerit alanı
h _{ort}	Şeridin ortalama kalınlığı
R	Merdane çapı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
d	Tip kalınlığı
d ₂	Tipin ölçülen kalınlığı
l	Merdane aralığı
X	Tip mesafesi
ra	Alt merdane yarıçapı
rb	Üst merdane yarıçapı
X ₂	Seramik tipin uç kısmı ile master arasındaki mesafe

1.GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları eşsiz özellikleri bütünü, çok yönlü kullanılabilirliği ile ekonomik ve elverişli metal malzemeler sınıfında yer almaktadır. Korozyon direnci, hafifliği, iletkenliği, göreceli olarak ekonomikliği, sünekliği ve mekanik özellikler bütünlüğü ile birçok alanda kullanım tercihi olmaktadır.

Yapılan bu çalışma endüstriyel alandaki iyileştirmelere yönelik olarak hazırlanan ve katkı sağlayan bir tez çalışmasıdır. Bu çalışmada: ikiz merdaneli sürekli döküm yönteminin süreç parametreleri incelenmiştir. Sürekli döküm yöntemi ile üretilen alüminyum levhaların üstünlükleri hakkında bilgiler toplanmış, bu yöntem ile üretilen levhaların üretim sürecindeki parametrelerin eksiklikleri ya da yapılan hataları iyileştirerek daha düşük maliyetli üretimle endüstriyel alanda üretim potansiyelini artırma hedeflenmiştir.

Dökümden sonra 1050 ve 3105 alaşımlı levhalar sırası ile soğuk haddeleme, tav işlemleri, gerdirme hattı, ince-kalın dilme ve boy kesme hattından geçirilerek nihai ürün şeklini alıncaya kadar ki üretim süreç parametrelerinde karşılaşılan sorunlar ve yapılan iyileştirmeler hakkında bilgi verilmiştir. 1050 ve 3105 alaşımlı malzemelerin mekaniksel özellikleri incelenmiştir. 1050 alaşımlı malzemelerin elektriksel iletkenliğe etkileri araştırılırken, 3105 alaşımlı malzemelerde en sık karşılaşılan tane büyümesi (portakalanma) adı verilen kalite hatasının nedenleri araştırılmış ve iyileştirmeleri yapılmıştır.

2. TEMEL ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLAR

2.1. Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyumu oksit halindeki bileşiğinden ilk ayıran ve elde eden kişi (1807 yılında) Sir Humprey Davy olmuştur. Alüminyumun gelişimi ise 1886'da daha ucuz bir elektrolitik üretim yönteminin keşfiyle değişmiştir. Fransız mühendis Paul Héroult ve Amerikalı öğrenci Charles Hall tarafından bağımsız olarak ve aynı zamanda kriyolit içerisinde alüminyum oksidin indirgenmesini bulunmasıyla geliştirilmiştir. Avusturyalı kimyacı Karl Joseph Bayer, 1889 yılında St. Petersburg'da Tentelevsky üretim tesisinde çalışırken ucuz ve uygulanabilir bir alümina (Al_2O_3) üretim yöntemi icat etmiş ve alümina alüminyum üretimi için temel hammadde olmuştur. Günümüzde endüstriyel alanda kullanılan alüminyum üretim süreçleri Bayer ve Hall-Héroult süreçlerine dayanmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

Alüminyum döküm ve geri dönüşüm teknolojisinde teknolojik gelişmelerin devam etmesi ile rekabet gücü artarak alüminyum döküm piyasalarının büyümesi hızlanmıştır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

2.2. Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum dünyanın en bol metalidir. Yerkabuğunun % 8' ini oluşturan ikinci en yaygın elementtir (Özakın, 2014).

Alüminyumun çok yönlülüğü, çelikten sonra ikinci sırada tercih edilen metal yapmaktadır. Saf alüminyum yumuşak, sünek, korozyona dayanıklı ve yüksek elektrik iletkenliğe sahiptir. Genellikle folyo ve iletken kablolar üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer üretimleri çeşitlendirmek için ise yüksek mukavemetli ürünler elde edebilmek için alaşım elementleri takviye edilmektedir (Davis, 2001: 371-441).

Korozyon direnci, mukavemetli ve hafif olması, geri dönüştürülebilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi avantajlı özelliklerinin farklı kombinasyonlarını kullanarak, giderek artan sayıda uygulamada alüminyum kullanılmaktadır (Car, 1998).

2.3. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları farklı yöntemler ile kolaylıkla elde edilebilir ve daha düşük işlenebilirlik derecesine sahip, ucuz malzemelerdir (Davis, 2001: 371-441).

- 1xxx: Kontrollü alaşımlardır. Elektrik ve kimya endüstrilerinde sık kullanılmaktadır.
- 2xxx: Al-Cu alaşımlarıdır. Ana alaşım elementi bakırdır. Yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe etkin bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3xxx: Al-Mn alaşımlarıdır. Ana alaşım elementi mangandır. Genellikle mimari uygulamalarda, tanklarda kullanım sağlamaktadır.
- 4xxx: Al-Si alaşımlarıdır. Ana elementi silisyumdur. Özellikle kaynak çubuklarında, lehim levhalarında ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.
- 5xxx: Al-Mg alaşımlarıdır. Ana element magnezyumdur. Korozyon direnci yüksek alaşım gruplarıdır. Özellikle deniz sularına maruz kalan ürün grupları için tercih edilmektedir.
- 6xxx: Al-Mg-Si alaşım gruplarıdır. Ana alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilebilen ve ekstrüzyon ile üretilebilen ürünlerdir. Yaygın olarak da otomotivler sektörü için tercih edilmektedir.
- 7xxx: Al-Zn alaşımlarıdır. Ana alaşım elementi çinkodur. Çok yüksek mukavemetli uygulamalarda tercih edilir. Özellikle uçak parçaları üretilmektedir.
- 8xxx: Al-Li alaşımlarıdır. Ana alaşım elementi lityumdur. Bu grup için lityum kadar önemli diğer bir alaşım ise kalaydır. Tokluk ve yorulma dirençleri oldukça yüksektir. Uçak ve uçak sanayide tercih edilmektedir.
- 9xxx: Lityum esaslı alaşımları içermektedir. Gelecek uygulamalar için düşünülmektedir (Davis, 2001: 371-441).

2.4. Alüminyum Kullanım Alanları

Dövülmüş alüminyum ürünlerinin başlıca tüketicilerinden biri, ağırlık azaltmanın birincil hedef olduğu otomotiv endüstrisidir. Çelik yoğunluğunun sadece üçte birine sahip alüminyum, çelik yerine kullanıldığında yaklaşık % 50 kütle azalması sağlayabilmektedir. Yüksek hacimli alüminyum levhaların yaygın olarak kullanılması için en büyük engel, yüksek üretim maliyetidir (Barekar ve Dhindaw, 2014: 651-661).

Alüminyum alaşımlarına uygun sitokiyometrik sert seramik parçacıklar eklendiğinde mekanik, fiziksel ve tribolojik dengeleri olan gelişmiş metal matrisli kompozitlerle elde edilmektedir. Fren rotorları, pistonlar, bağlantı çubukları ve entegre döküm motor blokları otomotiv endüstrisindeki başarılı uygulamalardan bazılarıdır (Prasad ve Asthana, 2004).

Alüminyum alaşımları yüksek dayanıma sahip oluşundan dolayı ulaşım sektöründe tercih edilmektedir. Dünya’da alüminyum çoğunlukla otomobillerde, uçaklarda, ulaşım sistemlerinde, gemi sanayisinde kullanılmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

Alüminyum iletkenliğinin yüksek olması elektrik-elektronik sektörlerinde yer altı kabloları, trafo koruyucuları, şaseler, elektrik boruları ve birçok alanda kullanım olanağı sağlamaktadır. İnşaat sektöründe hafifliği, estetik oluşu ve mukavemetinin yüksek olmasından dolayı kapı ve pencerelerde, çatı ve cephe kaplamalarda, merdivenlerde kullanım sağlamaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

Alüminyum çoğu metale göre korozyona karşı dirençlidir. Doğal alüminyum oksit kaplaması hava, sıcaklık, nem ve kimyasal saldırılara karşı oldukça etkilidir. Nem, hava, koku, ışık ve mikroorganizmalara karşı mükemmel bir bariyerin yanı sıra alüminyum, mükemmel yüzey görünümü, üstün yumuşaklık ve şekil verilebilirlik potansiyeline sahiptir. Geri dönüşüm için ideal bir malzeme olduğundan, geri kazanılması ve yeni ürünlere dönüştürülmesi kolaydır. Alüminyumun hafif olmasından dolayı meşrubat, konserve kutuları ve kapaklarının da ambalajlanması için tercih edilmektedir (Marsh ve Bugusu, 2007).

2.5. Alüminyum Sektörü: İthalat ve İhracat

1950’lerde ülkemize kullanılmaya başlayan alüminyum asıl gelişimini 1960’ların ilk yıllarında sağlamıştır. Alüminyum, hafifliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle endüstriyel sanayide büyük paya sahiptir. 2016 yılında Alüminyum sektörü ihracatının sektöründeki oranı %36 olup söz konusu dönemde 2,2 milyar dolar ihracat gerçekleştirilmiştir. Alüminyum sınıflarının ithalat ve ihracat durumları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

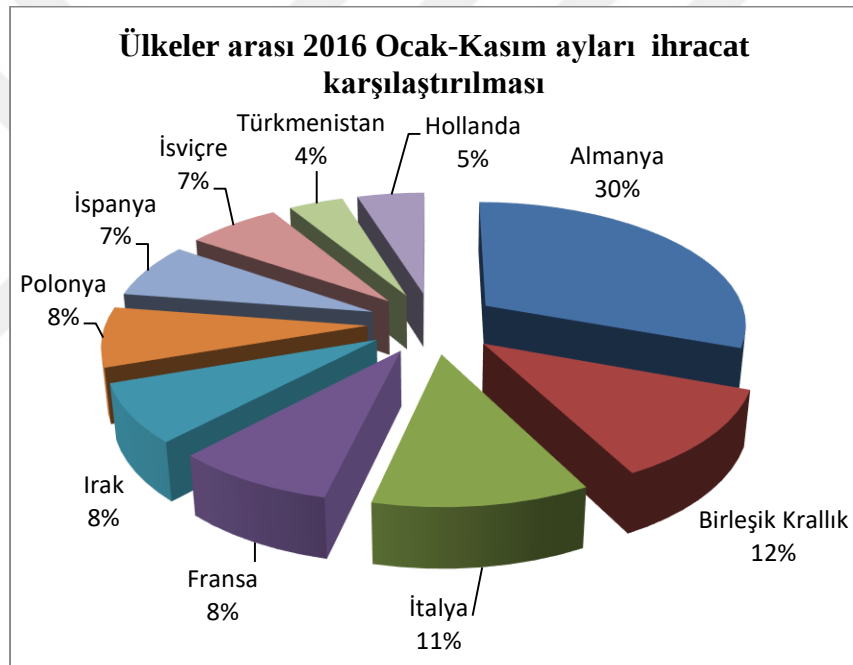
Çizelge 2.1. Alüminyum sınıflarının (Ocak-Ekim) 2016-2017 yılı USD cinsinden ihracat ve ithalat durumu (Turkishmetals, 2017).

Alüminyum ürünlerin sınıfları	2016		2017	
	İhracat	İthalat	İhracat	İthalat
İşlenmiş alüminyum	60.986.650	1.544.219.589	75.330.206	1.763.960.897
Alüminyum döküntü ve hurdaları	23.142.571	49.531.879	25.735.579	96.568.943
Alüminyum tozları ve ince pulları	5.214.563	11.800.254	3.530.038	10.147.338
Alüminyumdan çubuklar ve profiller	481.138.077	40.163.440	548.356.966	51.356.681
Alüminyum teller	32.665.213	32.837.432	27.656.352	78.157.339
Alüminyum saçlar ve levhalar (0,2 mm'yi geçenler)	417.714.659	347.674.917	428.290.062	147.751.249
Alüminyum saçlar ve levhalar ($\leq 0,2$ mm)	224.253.053	131.145.820	256.858.298	147.751.249
Alüminyum ince ve kalın borular	30.191.537	30.202.567	29.450.301	33.584.871
Alüminyum boru bağlantı parçaları	12.428.643	6.247.439	19.199.212	8.244.434
Alüminyum inşaat ve İnşaat aksamaları	185.060.141	32.761.634	173.125.023	28.531.786
Alüminyumdan depo, sarnıç, vb. kaplar (<300 l sıkıştırılmış ve sıvılaştırılmış gazlar)	2.083.488	258.771	1.642.917	2.216.607
Alüminyumdan depo, fıçı, varil vb. (≤ 300 l sıkıştırılmış ve sıvılaştırılmış gazlar)	54.664.067	40.434.215	66.192.835	27.688.366
Sıkılaştırılmış ve sıvılaştırılmış kaplar	7.613.815	3.579.154	10.803.860	6.116.782
Alüminyumdan teller, kablolar ve örme halatlar vb.	37.049.730	11.360.907	33.572.446	8.188.188
Alüminyum sofr, mutfak eşyaları vb.	90.573.555	23.668.256	115.612.881	10.347.056
Alüminyumdan diğer eşyaları	206.734.023	76.885.735	231.132.685	76.146.458

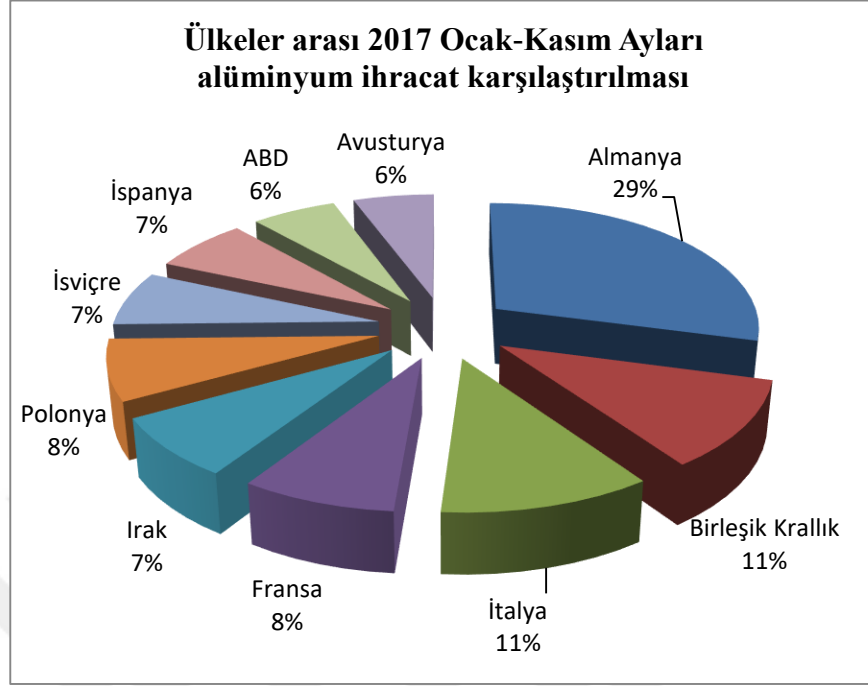
Alüminyum sınıflarının 2016-2017 yılları arasındaki ithalat ve ihracat durumlarını karşılaştırılan Çizelge 2.1'ye göre alüminyum sac, levha ve şerit (kalınlığı 0,2 mm' yi geçenler) ürünlerin ihracat rakamlarında % 2,7'lik artış gösterirken, ithalat rakamlarında % 58'lik azalma

meydana gelmiştir. Alüminyum sac, levha ve şerit (kalınlığı $0,2 \leq \text{mm}$) ürünlerin ihracat rakamları %14'lük, ithalat rakamlarında ise %12'lik bir artış meydana gelmiştir (Turkishmetals, 2017).

Alüminyumun ülkeler arası ihracat oranları, Şekil 2.1 ve 2.2'de görüldüğü gibi verilmiştir. 2016 ve 2017 yıllarında ihracatta en büyük paya sahip ülke Almanya olmuştur. 2017 yılında ABD ve Avusturya alüminyum ihracatında ilk ondaki yerini almıştır. Levha ve sac ihracatında Avusturya ve Fransa, külçede Küba, hurdada Mısır birinci sırayı almaktadır. 2017 yılında ihracat oranlarında alt grup sınıflarındaki örme halat grubu, İngiltere ve Belçika da sınıflar arasında en çok artış gösteren grup olmuştur (Turkishmetals, 2017).



Şekil 2.1. Ülkelerarası 2016 Ocak-Kasım ayları alüminyum ihracat karşılaştırılması (Turkishmetals, 2017).



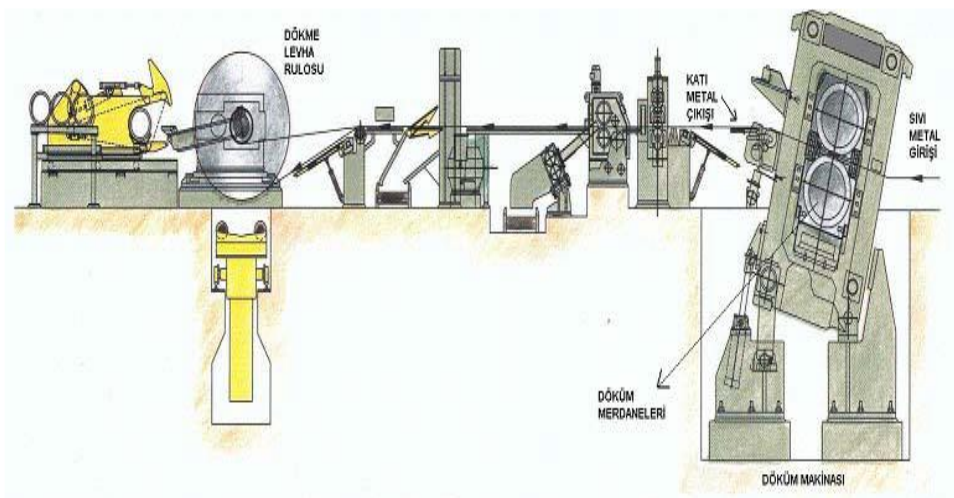
Şekil 2.2. Ülkelerarası 2017 Ocak-Kasım ayları 2017 alüminyum İhracat karşılaştırılması (Turkishmetals, 2017).

3. İKİZ MERDANE SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ SÜRECİ AŞAMALARI

3.1. İkiz Merdane Sürekli Döküm Yöntemi Tarihçesi

Hareketli çelik merdaneler arasında metalin katılaşması kavramı, 1846 yılında Sir Henry Bessemer tarafından ortaya atılmıştır. Şekil 3.1’de ikiz merdane sürekli döküm yönteminin şematik gösterimi yer almaktadır. Bununla birlikte, 1954’te ilk başarılı alüminyum merdaneleri gelişimi sağlayan Joseph Hunter olmuştur. Günümüzde FATA-Hunter ve Novelis PAE eski adıyla (SCAL-Pechiney), Alcoa, Hazelett, CRM gibi önemli firmalar alüminyum şerit üretimi ve gelişimi için büyük katkılara sahiptirler (Sanders, 2012: 291-299).

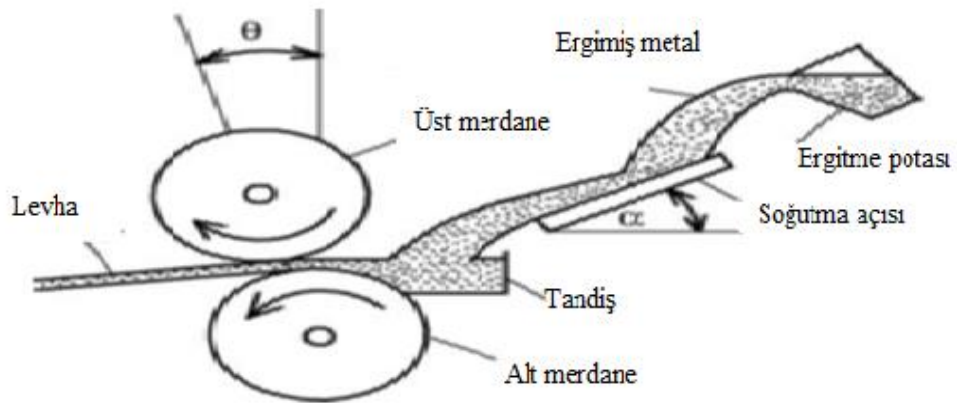
Sürekli döküm teknolojilerinin en büyük avantajı, konvansiyonel teknolojilere kıyasla levha ve rulo üretiminde çeşitli üretim adımlarının tasarruf edilmesidir. Ergimiş metalleri doğrudan soğuk haddeme için uygun olup sonsuz bir sargı şeridine veya tel çekme için tel çubuklara dönüştürmektedir. Sürekli döküm yöntemi, modern alüminyum endüstrisinde kullanılan yassı haddelenmiş ürünlerin önemli bir bölümünü elde edebilme kabiliyetleri için geliştirilmiştir (). Sürekli dökümde genellikle yüksek sermaye maliyeti gerektiren düşük bir işletme maliyetine sahiptir. Sürekli döküm yöntemiyle nihai ürün şekline daha yakın net şekiller üretilmektedir. Dolayısıyla daha az deformasyona ve mekanik işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da sürekli döküm işlemine alternatif süreçlere göre enerji ve maliyet avantajı sağlamaktadır (Cook vd., 1995: 76-94; Watari vd., 2007; Sanders, 2012: 291-299).



Şekil 3.1. Sürekli döküm hattı şeması (Eraktan,1991).

3.2. Döküm Yöntemi

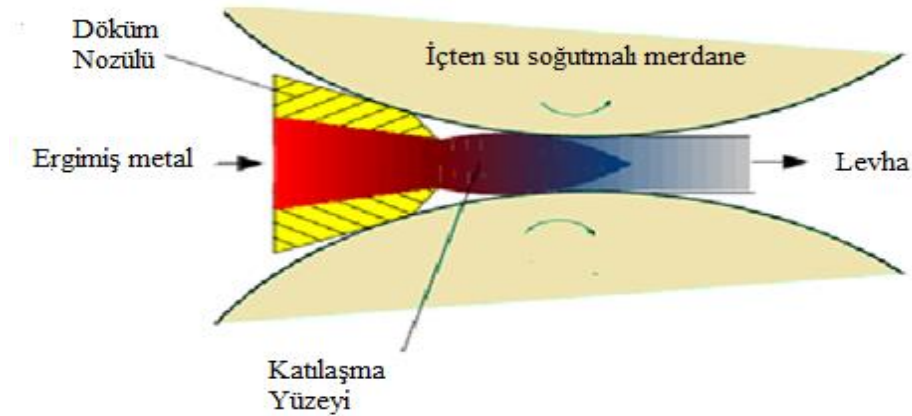
İkiz merdaneli döküm yöntemi doğrudan ergimiş, ince alüminyum rulonun ya da levhanın ekonomik olarak üretilmesi için şekillendirilmiş bir teknoloji yöntemidir. Şekil 3.2’de yatay döküm yönü için ikiz merdaneli şerit tekerleri şematik olarak gösterilmektedir. İkiz merdaneli döküm yönteminde ergitme potasından çıkan sıvı metal refrakter bir besleme ucu vasıtasıyla yolluklardan tandişe doğru gönderilir. Tandişte sıcaklığı kontrol edilen ergimiş metal ise içten su soğutmalı birbirine zıt yönde hareket eden iki merdane arasından boşluğa doğrulara gönderilir, sıcak deformasyon etkisi altında ergimiş metal katılaşması sonucu şerit oluşumu sağlanır. Merdane ile katılaştırılmış şerit arasındaki metalin yapışmasını engellemek için grafit veya magnezyum hidroksit kullanılmaktadır (Yun vd., 2000; Kopeliovich vd, 2001).



Şekil 3.2. Yatay ikiz merdaneli döküm işleminin şematik gösterimi (Watari vd., 2007).

Sürekli şerit döküm yöntemi ile 3 mm'den 20 mm kalınlığa ve 2150 mm genişliğe kadar şerit üretimine izin verilmektedir. Dökümden sonra şerit doğrudan sarılabilmektedir. Geleneksel döküm yöntemi ile karşılaştırıldığında verimlilik % 15-20 daha yüksektir. Malzeme tüketimi ise % 1.5 - 2 daha düşüktür (Kammer, Goslar, 1999).

Katılaşma süreci, Şekil 3.3’ te şematik olarak daha net şekilde gösterilmeye çalışılmıştır. Katılaşma sürecinde levha ve rulo yüzeyleri arasındaki hataları önleyebilmek için merdanelerin basıncının, temas süresinin, ergimiş metal akış hızını ve ergimiş metalin sıcaklığının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Alüminyum alaşımlarının sürekli döküm yönteminde, ergimiş metalin merdane boşluğundan geçtikten sonraki sıcaklığı 250 °C’den daha düşük olduğu bilinmektedir (Barekar ve Dhindaw, 2014).



Şekil 3.3. Levha ve rulo yüzeyleri arasındaki etkileşim (Barekar ve Dhindaw, 2014).

Aşağıdaki (3.1) eşitlikte dökümde istenilen kalınlık hesabının formülü verilmiştir. Eşitlikte d ; döküm tabaka kalınlığı, T_f ; merdane yüzey sıcaklığını, λ ; malzemenin termal iletkenliği, ρ ; yoğunluğu, H_f ; malzemenin gizli ısısını, t ; katılma süresini göstermektedir (Watari vd., 2007).

Eşitlik (3.1)

$$\frac{d}{2} = \sqrt{\frac{\lambda(T_f - T_r)t}{2\rho H_f}}$$

3.3. Döküm Öncesi İşlemler

3.3.1. Flakslama

Döküm alınmadan önce tutma fırınlarında hammadde veya hurdalar belirli bir sıcaklık altında beslenerek ergitilmektedir. Ergimiş metale flakslama işlemi uygulanmaktadır. Flakslama işlemi sıcaklığa bağlı bir süreçtir ve amacı; ergimiş metalde çözünmüş olan hidrojen ve metalik olmayan kalıntıları, dönen bir motor yardımıyla üfleyerek ergimiş metalden, bu kalıntıların uzaklaşmasını sağlamaktır (Güler, 2017).

Flakslama işlemi, ergimiş metale uygulanan kimyasal bir işlemdir. Bu amaçla kullanılan kimyasal bileşikler inorganik tuz karışımlarıdır. Bunun dışında ergimiş metal içinde katı ve gaz kalıntıları gidermek için inert veya reaktif gazlarla yapılan işlemler de flakslama sürecine dahil olmaktadır (Güler, 2017).

Flaks çeşitleri ve özellikleri

Örtülü flakslar: Fırın içerisinde sıcaklığın $>775\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması durumunda ve yüksek oksitlenme durumlarında fiziksel bir set oluşturmak için kullanılabilir. (Ertan vd., 2003). Klor ve kriyolit karışımları örtülü flaks grupları içerisinde etkili kullanım sağlamaktadır. Örneğin; %85 NaCl ve %15 CaCl_2 , %15 Na_3AlF_6 gibi örtülü flaks çeşitleri kullanılmaktadır (Türker, 2005).

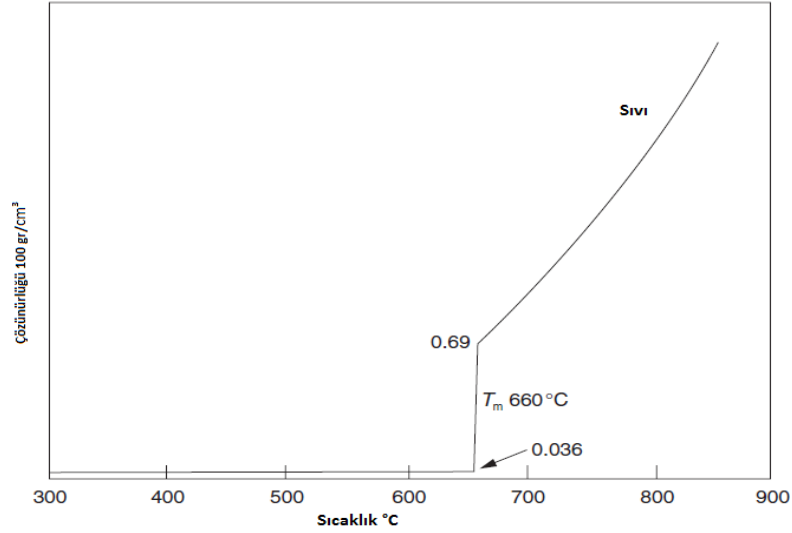
Rafinasyon flaksları: Ergimiş metalin çözünmüş haldeki alkalilerin, oksidin ve safsızlıkların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Alüminyum içerisindeki Ca miktarı porozite oluşumuna, Na ise H ile birleşerek alüminyum içerisinde deliklere sebep olmaktadır. Belli orandaki Cl miktarı içeren kompozisyonlar Mg başta olmak üzere Ca, Na, Li ve K bulunduran elementlerle tepkimeye girerek, ergimiş metali kirletir. Kirletilmiş metali temizlenmek için ise maliyeti yüksek olan en çok MgCl_2 tercih edilmektedir (Ertan vd., 2003).

Curuf çekme flaksları: Cüruf içerisindeki bulunan ergimiş alüminyum ile cüruf içerisindeki alüminyum oksidin ayrılması için kullanılır. NaCl ve KCl içerikli flaksların içine florit eklenerek alüminyum içerisindeki metalin kazanımı sağlanır. Örneğin; Na_3AlF_6 , NaF, AlF_3 gibi flaks çeşitleri kullanılmaktadır (Ertan vd., 2003).

Temizleme flaksları: Fırın duvarlarına cürufun yapışmasından dolayı flor içerikli sıvı flakslar kullanılır. Oksit tabaka parçalarını yüzeye çıkartır ve yüksek kaliteli ergimiş metal elde edilir. Örneğin; C_2Cl_6 , K_2TiF_6 ve KBF_4 gibi flakslar tercih edilmektedir (Türker, 2005).

Duvar temizleme flaksları: Fırının iç duvarına yerleşen oksit tabakasını fırın ömrünü azalttığı gibi performansında düşürmektedir. Duvar temizliği için genellikle Na_2SiF_6 refrakter püskürtme cihazları ile uygulanabilmekte olup yumuşatılarak kolayca temizlenmesini sağlanmaktadır (Ertan vd., 2003).

Gaz giderme flaksları :



Şekil 3.4. Alüminyumda hidrojen çözünürlüğü sıcaklık grafiği (Ertan vd., 2003).

Şekil 3.4'deki grafikte alüminyum içerisinde sıcaklık oranı 660 °C'ye kadar önemsenmemektedir. Alüminyum sıcaklığının 660 °C geçmesi ile gaz miktarı hızla artış göstermektedir. Oluşan gazı engelleyebilmek için flaks veya katı halde tablet atılır, buda Cl₂ ve Co₂ gazları reaksiyonla beraber gaz kabarcıklarını oluşturmaktadır. Gaz giderici flakslar genelde Cl içeriklidir. En çok tercih edileni C₂Cl₆ 'dir. Flaks kompozisyonu ayarlanarak, metalik olmayan inklüzyonların alımı, modifikasyon veya tane küçültme işlemleri yapılabilir (Ertan vd., 2003).

3.3.2. Gaz giderme

Alüminyum ve alaşımlarının dökümündeki hidrojen porozitenin temel kaynağını oluşturmaktadır. Bununla birlikte fırın içindeki nem, refrakterin içerisindeki nem, hammadde içerisindeki nem, döküm fırını içinde kullanılan aletlerde bulunan nemlerde porozite oluşumuna neden olmaktadır. Hidrojen, ergimiş alüminyum içinde atomik halde önemli ölçüde kolayca çözünmektedir. Çözünmüş hidrojen, katılaşma süresince moleküler halde çökerek sıvı ve katı alüminyum alaşımlarında porların oluşumunu hızlandırmaktadır. Yapı içerisinde porozitenin oluşması dökümün mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Döküm esnasında meydana gelen poroziteye, katılaşma sırasında gazın çözeltide çökmesi ya da hacimsel çekmelerin önlenmesi amacı ile sıvı metalin taneler arası boşluk bölgelerini beslemesindeki yetersizlikleri neden olmaktadır (Önel vd., 2015).

3.3.3. Saflaştırma

Ergimiş metalde oluşan inklüzyonları (Li, Na, Ca ve Mg) döküm içerisinde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem için ise AlF_3 ilavesi ya da Cl gazı verilmektedir (Demiray, 2016).

3.3.4. Filtrasyon

Alüminyum alaşımları oksitlenmeye son derece uygun alaşımlardır ve metalik olmayan kalıntılar içermektedir. Kalıntılar alaşımın fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Filtrasyon işlemi yolluk üzerinde ve ergimiş metal döküm makinesine girmeden hemen önce yapılan işlemdir. Filtrasyon işleminde ergimiş metal gözenekli süzme düzeneklerinden geçirilerek ergimiş metal içerisindeki kalıntıların filtrasyon sistemi tarafından yakalanması sağlanmaktadır. Filtre malzemesinin seçimi önemli bir konudur. Filtre malzemesi, işlevini yerine getirmek için mekanik dayanım, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısıl şok direnci ve korozyon direnci gibi özelliklere sahip olmalıdır (Önel vd., 2015).

Döküm işlemlerinde, metal veya cam yünü setler, döner gaz giderme, yatak filtreler, sıkıştırılmış parçacık filtreler, kartuş filtreler ve seramik köpük filtreler gibi çok değişik tipte filtreler kullanılmaktadır. Döküm işleminde filtrenin türünün seçimi, kullanım kolaylığı, maliyet, yer kısıtlamaları, yardımcı metal işleme yetenekleri, istenilen süzme verimi ve son ürünün kullanım yeri gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Günümüzde seramik köpük filtreler yaygın bir şekilde ve başarıyla kullanılmaktadır (Önel vd., 2015).

3.4. Döküm Kalitesini Etkiyen Faktörler

İkiz merdaneli döküm yöntemi sürecinde dökümün kalitesini birçok faktör etkilemektedir. Bunlar alaşım bileşimi, döküm hızı, sıcaklık, besleme kutusu, tip mesafesi, merdane yüzeyi gibi faktörlerden oluşmaktadır.

3.4.1. Alaşım bileşimi

Alaşımların bileşimi, belirli fiziksel ve mekanik özelliklere ulaşma potansiyelini belirlemektedir. Alaşım içeriği ise karakteristik özellikler üretmek üzere tasarlanmaktadır. Döküm kabiliyeti ve istenen performans özellikleri bileşimi ile sağlanmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

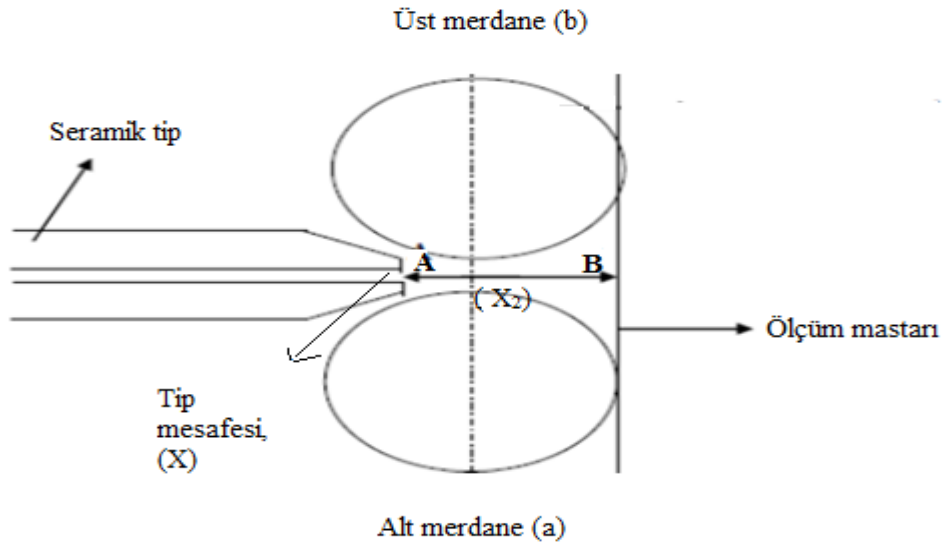
3.4.2. Döküm hızı

İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminde üretilen alaşımın cinsi, levhanın ya da rulonun kalınlığı ve merdane kabuğunun (shell) cinsi döküm hızı için oldukça önemli faktördür. Alüminyumun safsızlık oranı arttıkça döküm hızı artmaktadır. Örneğin; Alüminyum kompozisyonları olarak birlikte dökülen Al - Fe -Si alaşımının döküm hızı Al-Fe-Si-Mn alaşımına göre daha hızlıdır (Demiray, 2016).

3.4.3. Tip mesafesi (set- back)

İkiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretimde döküm esnasında tip mesafesi (set-back) oldukça önemli bir parametredir. Tip ile merdane merkezi arasındaki mesafe ayırma kuvveti etkisi ile tip dudağının çıkışında oluşan kalınlık ile doğru orantılıdır. Tip eksen mesafesi arttıkça merdane ayırma kuvveti parametresi artmaktadır. Set-back mesafesinin kısa tutulması makinaların ömrü içinde oldukça önemlidir (Demiray, 2016).

Şekil 3.5’de verilen tip mesafesinin şematik hali gösterilmiştir. Tipin yerleşeceği mesafenin belirlenmesi ve tip mesafesinin ölçülebilmesi için aşağıda eşitlikte verilen hesaplamalar yapılır (Demiray, 2016).



Şekil 3.5. Tip mesafesi ayarlaması (Demiray, 2016).

Tipin Yerleşebileceği Mesafenin Belirlenmesi: R; Merdane çapı, d; tip kalınlığı, d₂; tipin ölçülen kalınlığı, l; merdane aralığı (GAP), X; Tip mesafesi.

$$X = \sqrt{R \times (d - l)}$$

$$d = d_2 + 1,2$$

Tip Mesafesinin Ölçülmesi: ra; alt merdane yarıçapı, rb; üst merdane yarıçapı, Seramik tipin uç kısmı ile mastar arasındaki mesafe (A ve B arasındaki mesafe).

$$X = X_2 - [(ra + rb) / 2]$$

3.4.4. Sıcaklık

Döküm anında ergimiş metalin akışkanlığı için sıcaklığı sabit olmalıdır. Ergimiş metal gereğinden yüksek olması durumunda üretilecek malzeme tip ve merdane arasından akma gösterirken, gereğinden düşük olması durumunda donmaya neden olmaktadır. Döküm ısısının ayarlanması besleme kutusunda kontrol edilir (Ünal, 2005).

3.4.5. Besleme kutusu (head- box)

Besleme kutusu içerisinde ergimiş metalin ısısı bir amper yardımı ile ölçülerek standartlar içinde tutulması sağlanır. Ergimiş metalin seviye oranı istenilen seviyeden düşük olduğu anda besleme yetersizliğine, fazla olduğunda ise tip dudağının kalınlaşıp kırılmasına sebep olmaktadır (Ünal, 2005).

3.4.6. Merdane yüzey görünümü

Merdane yüzeylerinde yapışmanın varlığı ayırma kuvvetinin artmasına ve dökümün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Döküm ömrünü tamamlayan merdaneler sonra tekrardan taşlanıp hazırlanmalı ya da tamamen değiştirilmelidir (Cook vd., 1995).

İkiz merdane sürekli döküm yönteminde kullanılan merdanelerin soğuma hızlarının yüksek olması nedeni ile katılaşma tek yönlüdür. Geleneksel döküm yöntemine göre avantajı daha homojen bir mikro yapı elde edilmesidir. Ancak bunun yanında yüksek soğuma hızı düzensiz katılaşma ve homojen olmayan yapıların ortaya çıkma ihtimalini artırmaktadır (Demiray, 2016).

3.4.7. Tane inceltmesi

Ürünlerde istenen kaliteyi sağlayabilmek ve işlenebilirliğini kolaylaştırmak için döküm sonrası katılaşmış üründe tane boyutları önemlidir. Tane inceltmek için döküm anında (TiB_2) beslemesi yapılmaktadır. İyi bir çekirdekleyici özellikte olan TiB_2 neredeyse hiç çözünmeyerek mükemmel tane inceltme sağladığı görülmüştür (Çolak ve Kayıkçı, 2009).

İkiz merdaneli döküm yöntemi sırasında döküm parametrelerinin ve ergimiş metallerin termofiziksel özellikleri karter derinliği ve merkez hattı ayırımına üzerinde etkisi bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de verildiği gibi döküm hızı, yüksek ısıtma hızı, set-back mesafesi, donma aralığı, karter derinliğini ve merkez çizgi ayırımı ile doğru orantılı, rulo şerit arabirimi ısı transferi karter derinliği ve merkez çizgi ayırımı ise ters orantılıdır.

Çizelge 3.1. TRC sırasında döküm parametrelerinin ve eriyiklerin termofiziksel özelliklerinin karter derinliği ve merkez hattı ayırımına etkisi (Barekar ve Dhindaw, 2014).

Süreç değişkenleri	Karter derinliği üzerindeki etki (D) / merkez çizgi ayırımı (Sc)
Döküm hızı (V_s)	$V_s \uparrow, D \uparrow, Sc \uparrow$
Yüksek ısıtma hızı (ΔT_s)	$\Delta T_s \uparrow, D \uparrow, Sc \uparrow$
Set-back (d)	$d \uparrow, D \uparrow, Sc \uparrow$
Donma aralığı (ΔT)	$\Delta T \uparrow, D \uparrow, Sc \uparrow$
Merdanelerin şerit arabirim ısı transferi (q)	$q \downarrow, D \uparrow, Sc \uparrow$

3.5. Döküm Sürecinde Oluşan Hatalar ve Nedenleri

Çizelge 3.2’te döküm anında oluşabilecek hata çeşitleri ve hataların oluşmasının nedenlerinden bahsedilmiştir (Çatalbaş, 2001).

Çizelge 3.2. Döküm hataları ve nedenleri.

OLUŞAN HATALAR	NEDENLERİ
Oksit atma	Tip dudağında ve iç kısımda biriken kalıntıların ayrışması sonucunda oluşan levha yüzeyinde koyu tonlu noktaların oluşması durumudur.
Sıcak delik	Metalde sıcaklığın yükselmesi sonucunda yüzeyde oluşan deliklerdir.
Donuk delik	Metalin istenilen sıcaklık altına düşmesinden dolayı yüzeyden kenara doğru oluşan donuk deliklerdir.
Seviye deliği	Isı kutusunda ergimiş metalin seviyesinin düşmesi sonucunda oluşan hatalardır.
Grafit deliği	Grafit püskürten spreyn ayarlanamamasından dolayı merdane yüzeyinde birikinti oluşturarak deliğe neden olur.
Hidrojen (gaz boşluğu)	Gaz giderme işleminin yetersizliğinden dolayı oluşur. Aynı zamanda alüminyumun sıcaklığı 660 °C geçmesiyle hidrojen gazı almaya başlar buda gaz deliğine neden olur.
Besleme yetersizliği	Yüzeyin ortasında veya kenarında gözlenen yarık şeklinde hatalardır.
Ripple izi	Görünüm bozukluğu ile anlaşılmaktadır. Metal seviye yüksekliği ,tip eksenin merdaneye yakınlığıve yüksek sıcaklıktan dolayı levhada oluşan düzensiz izlerdir.
Tane boyutu E bandı	Döküm anında sıcaklığın ve hızın ayarlanamamasından dolayı tıbor yeterli besleme yapamaz. Levha yüzeyinde iri kaba taneler oluşarak E bandı hatasına neden olur.
Yapışma izi	Metal sıcaklık yüksekliği alaşımında bulunan Si,Pb gibi elementlerin miktarlarının fazla olması ve grafit miktarının ayarlanamamasından kaynaklı oluşan hatalardır.
Kenar çapağı	Döküm anında kenar kesme bıçaklarının aksaklığı ve kesme zorluğu nedeni ile kenarda oluşan çapaklardır.
Kenar çatlağı	Soğuk hadde iş merdanelerinin kenarlarının fazla açılması ve malzemeyi fazla ezmesine bağlı kenar çatlakları oluşum hatalardır.
Kenar şişmesi	Tip eksenin geride bırakılması ve deformasyonun fazla olmasından kaynaklı oluşan hatalardır.
Merdane vuruk izi	Merdanenin bağlanma ve taşıma sırasında aldığı darbelerden kaynaklı oluşturduğu izlerdir.
Teleskobik sarım	Rulonun iki kenardan sarılırken mandreden sapma diklik açısıdır.
Bombenin fazla olması	Levha ortalama kalınlık değerinin %1,5 üzerinde olmasıdır.Set-back mesafesinin geride bırakılması alaşım cinsine göre hızın ve seviyenin doğru ayarlanamamasından kaynaklı bombe miktarı artar.
Bombenin düşük olması	Levha kenar kalınlık farkının merkez bölgeden düşük olması durumudur. Merdane bombesi fazla ve tip dudağı merdaneye yakınsa düşük bombe oluşmaktadır.

3.6. İkiz Merdane Döküm Yöntemi Avantaj ve Dezavantajları

İkiz merdane döküm yönteminin avantajları:

- Çok ince tane yapısına ve yüksek soğutma hızına sahiptir. Alüminyum ve alaşımların homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır.
- Yüzey işleme gerektirmemektedir.
- Yüzey hataları ihmal edilebilmektedir. Dökme şeritler, sabit kalıplarda (su soğutmalı grafit kalıbı, batık grafit kalıp) dökülenlere kıyasla, sargıyla sarılabilmekte ve yüzey işleme olmadan (öğütme) haddelenebilmektedir.
- Çok yüksek akış hızına sahiptir.
- Son derece yüksek soğutma hızı, çekme oranını 40 inç/dakika (1000 mm/dakika) artırmaya olanak tanımaktadır (Kopeliovich vd., 2001).

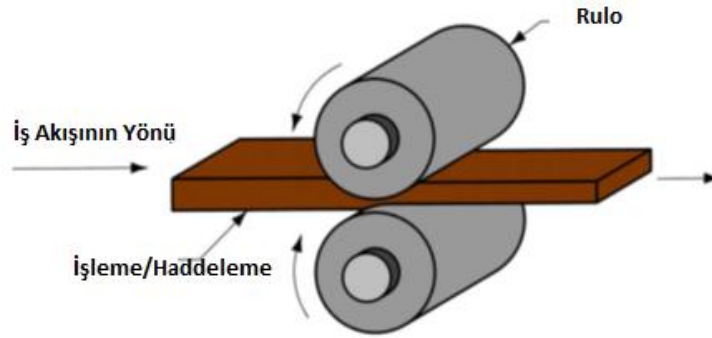
İkiz merdane döküm yönteminin dezavantajları ise;

- Ekipman maliyeti yüksektir.
- Çok hızlı soğutma ve katılaşmadan kaynaklanan yüksek ısıl gerilmeler meydana getirmektedir.
- Dökümler haddelenmeden önce tavlama gerektirmektedir. Bu işlemde maliyet artırmaktadır (Kopeliovich vd, 2001).

3.7. Soğuk Haddeleme

Haddeleme, işlenecek parçanın kendi eksenleri etrafında dönen merdaneler arasında geçirilerek uygulanan basma kuvvetleri etkisiyle plastik şekil verme işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Haddeleme, üretim hızı, sürekliliği ile işlemin ve ürünün takibinin kolay olmasından dolayı en fazla kullanılan şekillendirme yöntemlerindendir. Kullanım alanları ve silindirlerin özellikleri, yüksek ısıl direnç ve uzun ömür, yüksek kırılma ve çatlamalara karşı direnç, iyi yüzey kalitesi, uygun sertlik, aşınma direnci, rijitlik, uygun tasarım istenmektedir. Merdanenin ezme oranının yüksek olduğu yerlerde sertliği düşük, tokluğu yüksek malzeme tercih edilmektedir (Meran vd., 2006).

Soğuk haddeleme esnasında merdaneler arasında şerit hafif bir plastik deformasyona sahip olmaktadır. Dökümden sonra malzemenin soğuk haddelenmesi gerekmektedir. Soğuk haddeleme yüzeyin kalitesini artırmaktadır (Kammer, Goslar, 1999).



Şekil 3.6. Haddemeleme işlemi şematik gösterimi.

Şekil 3.6 ‘da haddemeleme işlemi şematik olarak verilmiştir. Haddemeleme “yassı” ve “profil” haddemeleme olarak ikiye ayrılmaktadır. İşlem sıcaklığı olarak ise çok büyük şekil değişimlerinin verilebildiği “sıcak haddemeleme” ve daha sınırlı olarak sacların yassı haddelenerek üretildiği “soğuk haddemeleme” olarak ikiye ayrılmaktadır.

Soğuk haddemeleme levha, rulo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitlerin üretimi için kullanılmaktadır. Düzgün bir yüzey, minumun hatalı boyutlar ve yüksek mukavemet sağlamasına neden olmaktadır. Malzeme soğuk hadde merdaneleri arasında geçirilerek istenilen şeklin alınması sağlanır (Meran vd., 2006).

Haddemeleme kuvveti, merdanelerin malzemeyi bastırmak için uyguladığı kuvvetidir. Aynı zamanda “merdaneleri birbirinden ayırma kuvveti” olarak da bilinmektedir. Aşağıdaki eşitlik (3.2)’de bulunan denklem ise soğuk haddemeleme işlemi ile kuvveti ve şeridin ortalama kalınlığı hesaplanabilmektedir. Eşitlik (3.2.)’de σ_{akma} ; verim ortalama gerilme stresi, W ; şerit genişliği, h_1 ; şeridin kalınlığı katılaşma noktasının tamamı, h_2 ; kalınlığı çıkış noktasındaki şerit, R ; ruloların dış yarıçapı, h_{ort} ; şeridin ortalama kalınlığını vermektedir.

$$F = 1,55\sigma_{verim}W \left[1 + \frac{\sqrt{R(h_2 - h_1)}}{4(h_1 - \frac{h_{ort}}{2})} \right] \sqrt{R(h_2 - h_1)}$$

$$h_{ort} = \left[h_1 - \frac{(h_2 - h_1)}{2} \right]$$

Soğuk haddeleme sırasında oluşan kalite problemlerinin engellenmesi haddeleme şekline ve kalınlık kontrolüne bağlıdır. Merdanelerde yeterli soğutulma yapılması, merdane aralıklarının ayarlanması, sarıcı ve çözücüde ki gergi ayarları, haddeleme hızın kontrolü düzgün bir levha ve rulo üretimi elde etmek için önemlidir (Okumuş, 2003).

3.8. Sürekli Döküm Yönteminde Alüminyum Isıl İşlem Uygulamaları

Çizelge 3.3. Temper işaret tanımları.

F O T	İmal edildiği şekilde (mekanik özellikleri belirtilmemiş) Tavlanmış Farklı miktarlarda ısıtılma işlemi tabi tutulmuş
H	Belirli miktarlarda soğuk işlem görmüş 1: son basamağının haddeleme olduğunu belirtir. 2: son basamağının ısıtılma işlem olduğunu belirtir. 3 son basamağının gerilim giderme ısıtılma işlem olduğunu belirtir.
W	Solüsyona alma ısıtılma işlem görmüş
H12 H14 H16 H18 H19	Soğuk işlemle sertleştirilmiş ¼ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ½ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ¾ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş 4/4 sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş çok sert
H22 H24 H26 H28	Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış ¼ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış ½ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış ¾ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış 4/4 sertlik
H32 H34 H36 H38	Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kararlı hale getirilmiş ¼ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kararlı hale getirilmiş ½ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kararlı hale getirilmiş ¾ sertlik Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kararlı hale getirilmiş 4/4 sertlik

Sürekli döküm yönteminde kullanılan alaşımlar, endüstriyel pazarlarında birçok gereksinimi karşılamak için son derece geniş bir yelpazede özellik sunmaktadır. Yassı alüminyum ürünlerinde ısıtılma işlem uygulamalarında kullanılan tanımlar ve işaretler vardır. Çizelge 3.3'te temper işaret tanımları verilmiştir. Bunlara temper ve temper işaretleri denilmektedir. Haddelenmiş alüminyum alaşımının temperi denilince kontrollü soğuk haddeleme ve ısıtılma işlemle elde edilen fiziksel bir durum akla gelmektedir. Soğuk haddeleme sonrasında malzeme maksimum mukavemete sahip olurken, tam tavlama sağladıktan sonra maksimum uzama eğilimi gösterir (Okumuş, 2003).

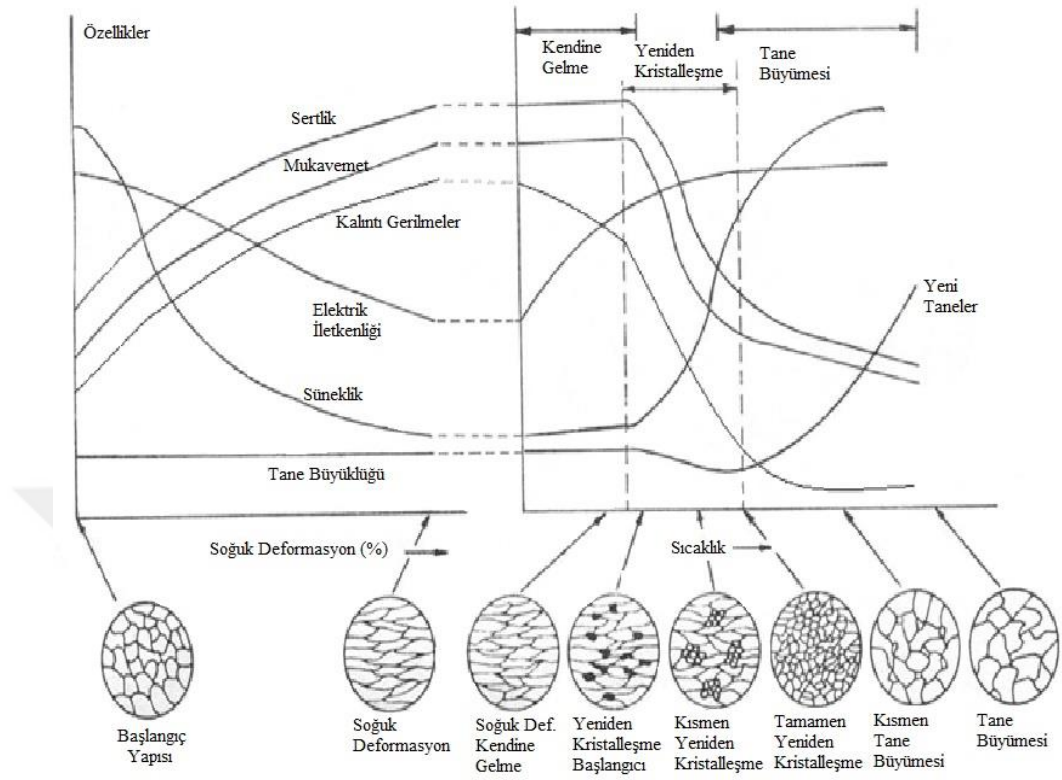
3.8.1. Homojenizasyon

Hemen hemen tüm alüminyum alaşımlarına uygulanan ilk ısıtıl işlem, “homojenleştirme” tavlaması olmaktadır. Bu ayrılmış dökümün tüm izinin engellenebileceği en yüksek sıcaklıklarda uzun bir tavlama işlemidir (Büyükakkaş, 2001).

Homojenizasyonun amacı, magnezyum, bakır, çinko ve silisyum olmak üzere daha hızlı difüze olan çözünen elementin difüzyonuna izin vererek çözelti dağılımını daha da üniform hale getirmektir. Bu termal süreç, yavaş yayılmakta olan ve çoğunlukla manganez, krom ve zirkonyumdan oluşan alüminyum yüksek erime geçiş elementlerinde az çözünen maddeleri çöktürmektedir. İşlevsel olarak, yüksek sıcaklıktaki tane gelişimini ve bazı durumlarda çözelti işlemi sırasında sıcak işlenmiş malzemenin yeniden kristalleşmesini önlemektir. Ağırlıkça % 0,15-0,5 oranlarında demir ticari alüminyum alaşımlarında kaçınılmaz bir yabancı madde sınıfında yer almaktadır (Staley, 1989: 4-6).

3.8.2. Yeniden kristalleşme

Atomlar arasındaki hareketliliğin artması ile sıcaklık yükselmekte ve yeniden kristalleşme hızı artmaktadır. Yeniden kristalleşmenin aktifleşmesi alaşım cinsine ve malzemenin haddede ne kadar deformasyona maruz kaldığına bağlıdır. Şekil 3.7’de, toparlanma ve yeniden kristalleşmenin tane yapısına etkilerini şematik olarak verilmiştir. Yeniden kristalleşme malzeme içerisindeki alaşım ilaveleri, tavlama zamanı ve soğuk haddeleme oranı ile etkili olmaktadır. Alaşım içerisindeki Cr, Fe, Mn ve Zn gibi geçiş metalleri, tavlama süresinin kısa oluşu ve soğuk haddeleme oranı artışı yeniden kristalleşme sıcaklığını artırmaktadır (Altenpohl, 1998).



Şekil 3.7. Toparlanma ve yeniden kristalleşmenin tane yapısına etkilerinin şematik gösterimi (Çarboğa ve Dal, 2014).

3.8.3. Toparlanma tavlı

Toparlanma tavlı alüminyum alaşımlarının soğuk haddeleme sonrasında oluşan dislokasyonların kısmi olarak giderilmesi için uygulanmaktadır. Çizgisel oluşan kusurların toplam sayıları azaltmadan, düşük enerji dağılımı düzenlenmektedir. Böylece malzemede durdurulmuş kayma düzlemi yeniden harekete geçerek akma dayanımını, çekme kuvvetini azaltırken, uzamanın artması sağlanmalıdır (Büyükakkaş, 2001).

Soğuk işlem, toparlama tavlı ve yeniden kristalleşmenin dislokasyon ve yoğunluklarının değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.4'te verilmektedir. Soğuk işlem sonrası dislokasyon yoğunluğunun toparlama tavlı ve yeniden kristalleşme tavlına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.4. Soğuk işlem, toparlama tavlı ve yeniden kristalleşmenin dislokasyon ve yoğunluklarının incelenmesi (Büyükakkaş, 2001).

İşlem	Dislokasyon Yoğunluğu (Çizgisel Hatalar) (1/cm ²)
Soğuk işlem sonunda	10 ¹²
Toparlanma tavlı sonunda	10 ¹⁰
Yeniden kristalleşme sonunda	10 ⁷ - 10 ⁸

3.9. Gerdirme Hattı

Soğuk haddeleme işleminden sonra malzeme gerdirme hattına iletilerek burada malzemeye gergi verilmesi sağlanmaktadır. Gerginin ayarlanması; malzemenin düzgünlüğü, kalınlığı, alaşım ve kondüsyonuna göre belirlenmektedir. Verilen gergi sayesinde malzemede belirli bir uzama meydana (% uzama değeri) gelmektedir. Aynı zamanda soğuk haddeleme sonrasında malzeme üzerinde kalan yağın kontrolü yapılmaktadır. Tavlama sırasında kalan yağın yanmaması için malzemeden arınması gerekmektedir. Bunun için de gerdirme hattında yıkılarak temizlenmesi sağlanır. Termometre yardımı ile yıkama ve durulama banyolarının sıcaklıkları ölçülmektedir. Yıkama banyosunun sıcaklığı 70°C-80°C, durulama banyosu sıcaklığı 50°C-55°C civarında olmalıdır (Kavakoğlu, 2008).

3.10. Kalın-İnce Dilme Hatları

Soğuk haddeden veya gerdirme hattından gelen ürünler istenilen enlere uygun olarak kalın ya da ince dilme hatlarına gönderilir. Dilme makinalarında yatay boşluklara göre ayarlanan bıçaklar istenilen enlere göre ayarlanmaktadır. Metaller bıçaklar arasından geçerek kopma mukavemetini aşana kadar nüfuz etmesi sağlanarak hattın hidroliği çalıştırılmaktadır. Mandren ileri alınarak, bıçaklar ve merdaneler arasından levha geçirilir ve sarıcı mandrene bağlanmaktadır. Sarıcı ve bıçak hızı oldukça önemlidir. Aynı zamanda bu hatlarda malzemelerin yüzey kontrollü yapılarak hurda kısımları ayıklanmaktadır (Okumuş, 2003).

3.11. Boy Kesme Hatları

Tüm proses aşamalarından geçerek boy kesme hattına gelen alüminyum levhalar burada istenilen uzunluğa göre ayarlanarak kesilmelidir. Boy kesme makinasının hızı, malzemenin kalınlığı, alüminyum levhanın alaşımı ve kondüsyonu dikkate alınarak kesme işlemi gerçekleştirilmelidir (Kavakoğlu, 2008).

3.12. Sürekli Döküm Yöntemi Prosesindeki Kalite Hataları

Çizelge 3.5'te döküm yöntemindeki proseslerden kaynaklı kalite hataları ve nedenleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sürekli döküm yöntemi prosesinde kalite hataları ve nedenleri (Çatalbaş, 2001).

Kalite hataları	Nedenleri
Oksit lekesi	Malzemeler yüzeyinde gri, beyaz veya sarımtırak renk tonları oluşturarak içe doğru ilerlemesine neden olan lekelerdir. Bir diğer sebebi ise alüminyumda bulunan nem ve sudur.
Kenar dalgası	Merdanelerin negatif eğilmesi sonucu ruloların kenarları ortadan daha ince olmasına yol açarlar. Bunlarda kenar dalgası yaparlar.
Balıksırtı	Hadde kuvvetinin ayarlanamamasından ve hadde yağ miktarının yeterli verilmemesinden dolayı balık iskeleti şeklinde oluşan kalite hata türüdür.
Gofraj hatası	Merdane aralık ölçüsünün doğru ayarlanamamasından ve uygulanan baskının yeterli olmamasından kaynaklı hata türüdür.
Batık izi	Merdane yüzeyinde herhangi bir parçanın bıraktığı noktasal izlerdir.
Kazıntı /Çizik	Malzemede kesikli ya da sıralı, parlak ya da mat şeklinde olan ince çizgilerdir. Sarımdan ve malzemenin temiz bir yere konulmamasından kaynaklanır.
Yağ lekesi	Tavlama sırasında haddeleme işleminden sonra kalan yağların yanması olayıdır. Genellikle malzeme kenarında oluşan koyu kahverengi tonlardır.
İğne delikleri	Karanlık alanda, aydınlık masada görülen küçük iğne şeklinde deliklerdir. Havadaki toz partiküllerinin birikmesinden kaynaklanabilir.
İç bukle	İç kısımdaki bazı noktaların kenarlara göre daha uzun olmasından doğan düzgünsüzlük hatalarıdır.
Ortada bukle	Orta kısımda oluşan dalgalar. Verilen gerginin düşük olması, grafitin orta bölgeleri yeterince yağlayamayıp yapılmasına neden olan ve tip dudağının kırılmasından kaynaklı kalite hataları olarak bilinir.
Çeyrek bukle	Düşük gergi verilmesinden dolayı levha çeyrek noktalarda dalgalar bırakır.
Tane büyümesi	Malzeme yüzeyinde elle hissedilebilen pürüzlüklerdir. İri tanelerin bir araya gelmesi ve aşırı gergi verilmesinden kaynaklanır.
Zebra deseni	Tüm levha yüzeyine yayılmış dallar şeklindeki ton farklılıklarıdır. Hadde ve yağ sıcaklık farkından kaynaklanabilir.
Isı yolu izleri	Metal sıcaklıklarının bölgesel farklılığı ve yüksek oluşu haddeleme boyunca görülen beyaz bant izlerin ortaya çıkmasıdır.

3.13. 1xxx Serisi Özellikleri ve Kullanım Alanları

1xxx serisi, % 99,00 veya daha yüksek alüminyum saflığına sahip birçok uygulamada kullanılırlar. Özellikle elektrik ve kimya alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1xxx serisi,

mükemmel korozyon direnci, yüksek termal ve elektrik iletkenlikleri, düşük mekanik özellikler ve mükemmel işlenebilirlik ile karakterize edilmektedir. Mukavemette ılımlı artışlar gerinim sertleştirmesi ile elde edilebilmektedir (Davis, 2001: 371-441).

1xxx alaşımlarının mukavemet seviyeleri çok düşük olduğundan, bu alaşımlar genellikle gerinim sertleştirmesi ile güçlendirilmektedir. Yeniden kristalleşmenin başlangıcına gerilimsiz yüksek açılı tane sınırlarının neden olduğu kuvvette hızlı bir düşüş ve süneklik artışı eşlik etmektedir. Parçacık uyarılmış çekirdeklenme (PSN) ve Zene sürüklenme kavramları, soğuk haddelenmiş 1xxx tabakanın yeniden kristalleşme davranışını tanımlamaktadır (Sanders vd., 1989 : 66 -98).

3.13.1. 1050 alaşımı

Saf alüminyum sınıfında yer alan 1050 alaşımları, derin çekilebilir malzemelerde, elektrik kaplamalarda ve ısı yalıtım cephelerinde yaygın olarak kullanım sağlamaktadır. 1050 alaşımındaki hatalar genellikle yüzeyindeki çatlaklar, kabuklanma ve derin kesikler oluşmasıdır. Bu hataları önleyebilmek için merdanelerin yeterli soğutulması, döküm alaşımının sıcaklığı ve döküm sırasında verilen hızın kontrollü olması gerekmektedir (Emley, 1976: 75-79).

3.13.2. 1100 alaşımı

Ticari olarak saf alüminyum, kimyasallara karşı dayanıklı ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Düşük maliyet, sünek derin çekilebilirliği ve kaynak kolaylığı gibi avantajlara sahiptir. 1100 alaşımlı malzemeler reklamcılık, havalandırma sistemleri, depolama teçhizatı, basınçlı kaplar, mutfak eşyaları gibi birçok sektörler içinde kullanım sağlamaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20; Korumaz Levha, 2018).

3.14. 3xxx Serisi ve Özellikleri

3xxx serisinin ana alaşım elementi mangandır. Yüksek mukavemete sahip 3xxx alaşımları genellikle ısıyla muamele edilememektedir (Davis, 2001:371-441).

3xxx serisi alaşımlarında Mn alaşımının dökümünde sıcaklık en önemli faktördür. Sıcaklığın yüksek olması şerit yüzeyinde yırtılmaya, kabuklanmaya ya da patlamalara neden olmaktadır. Şerit dökümün potansiyel avantajı ise metal ve enerji tasarrufunun yanında sıcaklığın kolay kontrol edilebilir olmasıdır (Emley, 1976: 75-79).

Alüminyum matrisinde bulunan iri birincil parçacıkların parçalar soğuk haddeleme deformasyona uğramaktadır. Bütün durumlarda parçacıklar haddeleme yönünde hizalanmaktadır (Gras vd., 2005).

3xxx alaşımlarında silisyuma ek olarak magnezyum, bakır, nikel veya berilyumun ilave edilebilir. Genel olarak Al-Si-Mg, Al-Si-Cu veya Al-Si-Cu-Mg olarak üç farklı kombinasyona sahip 3xxx alaşımlarında yüksek sıcaklık altında göstermiş olduğu mukavemet değeri oldukça iyidir. Yüksek silisyum içerikli alaşımlar kalıcı döküm için tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra 3xxx alaşımların sahip olduğu termal genleşme katsayısı, silisyum ve nikel içeriği arttıkça azalmaktadır (Davis, 2001: 371-441).

3.14.1. 3003 alaşımı

3003 alaşımları yaygın olarak kullanılan alaşımlardan birisidir. İyi işlenebilirlik sağlayan bir alaşım grubu olduğu için tercih edilmektedir. 1100'den daha iyi şekillendirilebilirlik ve kaynaklanabilirlik sağlamaktadır. Genel kullanım için yakıt tankları, kimyasal ekipmanlar, konteynırlar, olukları, ev ve mutfak eşyaları, basınçlı kaplar, mimari uygulamalar, elektronik alanlarda kullanılmaktadır (Davis, 2001: 371-441).

3.14.2. 3004 alaşımı

3004 alaşımları yüksek korozyon direnci, iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. Genellikle derin çekilebilir ürünlerde, iç mimari kaplamalarda, asma tavan, reklam panoları, uyarı levhaları, dış cephe kaplamaları, cami kubbeleri, mutfak ekipmanları, ses ekipmanları, kimyasal ürünler işleme gibi birçok kullanım sağlamaktadır (Ankara Metal, 2018).

3.14.3. 3103 alaşımı

3103 alaşımı yalnızca soğuk haddeleme ile güçlendirilebilmekte ve yaygın olarak otomotiv endüstrilerinde kullanılmaktadır. Isıl işleme uygun olmayan bu alaşımlar mükemmel bir korozyon direncine ve işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptirler. Uygulama alanları arasında yalıtım levhaları, kimya- gıda sanayi ekipmanları, radyatörler, transistorlar, yiyecek ve içecek kutu kaplamaları havalandırma sistemleri, mutfak gereçleri gibi birçok alan vardır (Metal Uzmanı, 2018).

3.14.4. 3105 alaşıımı

Yangına, korozyona ve iklim koşullarına karşı dayanıklıdır. Kolay şekillendirebilme, hafif ve sert yapı özelliğine sahiptir. Yağmur oluğu, çatı ve cephe kaplamaları, savunma ve ulaşım sanayi, elektrik tesisatı ve konektörleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Deü, 2018).

3.15. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarında Etkileri

3.15.1. Bakır (Cu)

Yaygın olarak kullanılan alüminyum döküm alaşımları silisyum ve bakır içermektedir. Bakır, alüminyum alaşımlarının sahip olduğu mukavemete ve işlenebilirlik özelliğine katkıda bulunmaktadır. Alüminyum içerisinde elektriksel iletkenliği artırır. Fakat bakır içeren alüminyum alaşımları korozyona karşı daha az dayanıklıdır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

3.15.2. Silisyum (Si)

Alüminyum ve silisyum alaşımları mükemmel akışkanlığa sahip döküm özelliği ve sergilemektedir. Bu alaşımlar düşük dayanım ve zayıf işlenebilirlik sergilemektedir. Silisyum fazı mükemmel aşınma direnci ve olağanüstü süneklik özelliği kazandırmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

3.15.3. Magnezyum (Mg)

Üretim teknolojilerinin gereksinimi nedeniyle toplam ürün ağırlığını azaltmak için magnezyum ürünlerinin üretimi ve uygulanması son zamanlarda artış göstermiştir. Magnezyumun düşük özgül ağırlığı ve nispeten yüksek mukavemet özelliğine sahiptir. Birim hacim başına alüminyumdan % 36, demirden % 78 daha hafiftir (Watari vd., 2007).

İkili alüminyum ve magnezyum alaşımları, uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al-Mg alaşımları endüstriyel sanayide genellikle % 8'e kadar değişen oranlarda Mg içermekte ve ısıl işlemle sertleştirilememektedir. Mekanik özelliklerinin geniş bir aralıkta değişmesi, korozyona karşı yüksek direnç göstermesi, kaynak edilebilirlik, düşük ağırlık ve maliyet gibi özelliklerinden dolayı birçok endüstri alanda kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı Al-Mg alaşımlarının üretimi ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

3.15.4. Titanyum (Ti)

Alüminyum alaşımlarında titanyum tane yapısını inceltmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

Titanyum (Ti) ve bor (B) elementlerinin %0,01 gibi az bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi gösterdiği uzun yıllardır bilinmektedir. Tane inceltme işlemi uygulanmış alüminyum, dökümlerinde inceltme uygulanmamış olanlara göre daha iyi beslenebilirlik ve daha gözeneksiz bir yapıya sahip olmaktadır. İnce taneli dökümler, düşük segregasyon dağılımı, yüksek mekanik özellikler ve sızdırmazlık direnci gibi üstün özelliklere sahiptirler. Buna bağlı olarak titanyum ve borun birlikte katılması sonucu oluşan TiB_2 bileşiğinin iyi bir çekirdekleyici olduğu ve TiB_2 partiküllerinin sıvı alüminyum içerisinde neredeyse hiç çözülmeyle düşük ilave oranlarında bile mükemmel tane inceltme sağladığı görülmektedir (Çolak ve Kayıkçı, 2009).

3.15.5. Krom (Cr)

Alüminyuma ve krom ilaveleri yaygın olarak düşük konsantrasyonlarda yapılmaktadır. Krom, tipik olarak $CrAl_7$ bileşiğini oluşturur. Tane büyüme eğilimlerini bastırmak için kullanılmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004: 7-20).

3.15.6. Mangan (Mn)

Mangan alüminyum dökülebilirliği iyileştirmek için Fe ile birlikte kullanılmaktadır. Alaşımın çekme mukavemeti azaltarak, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırmaktadır (Alüminyum Döküm, 2018).

3.15.7. Nikel (Ni)

Korozyon direnci yüksektir. Alüminyum içerisinde parlaklık sağlamaktadır. Nikel ile bakır ile beraber kullanılarak alüminyum alaşımında kullanım sıcaklığının artması sağlanır. Aynı zamanda alüminyum içerisinde ısıl genleşme katsayısını da azaltmaktadır (Ünal, 2005).

3.15.8. Çinko (Zn)

Alüminyum ve çinko birlikte kullanıldığında mukavemet oranını ve işlenebilirlik özelliğini artırmaktadır. Çinko dökülebilirliği düşürülürken, zaman zaman yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ya da yırtılmalar veya soğuma çekmesine neden olabilmektedir. Bakır alaşımı katılarak bu yırtılmalar önlenabilmektedir (Ünal, 2005).

3.15.9. Galyum (Ga)

Galyum, boksit ve çinkonun saflaştırılması sırasında alüminyumla beraber elde edilen yan üründür. Dökümde alüminyum içerisinde kırılmalığa neden olmaktadır (Makaleler, 2018).



4. MATERYAL VE METOD

Bu yüksek lisans çalışmasında içerik bakımından 1xxx serisi ve 3xxx serisi alüminyum alaşımlarından elde edilen levha ve ruloların proses parametrelerinin özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Döküm hattında oluşan hataların nedenleri araştırılarak iyileştirilmeler yapılmıştır. Dökümden sonra sırası ile soğuk haddeleme, tavlama, gerdirme hattı, kalın-ince dilme hatları ve boy kesme hatlarından geçirilerek elde edilen nihai ürünlerin mekanik özellikleri ve kalite hataları incelenmiştir.

Çalışma için 1050 alaşımlı 14 adet farklı numune üzerinde elektriksel iletkenlik incelemesi yapılmıştır. Bu incelemelerde döküm hattından alınan numunelerin spektrometre cihazı ile döküm analizleri yapılmıştır. 1310 mm genişliğinde ve 5,50 mm kalınlığındaki numuneler soğuk haddeleme hattında 3 adımdan geçerek 2,20 mm, 2,00 mm ve 1,90 mm kalınlığına getirilmiştir. Soğuk haddeleme hattından çıkan 3 adet farklı kalınlıklardan alınan tüm numunelerin elektriksel iletkenliklerinin ölçümleri yapılmıştır. 1,90 mm kalınlığındaki malzemeler 397, 400, 404, 415, 416 ve 421 °C farklı sıcaklıklar verilerek 4 saat süre ile 2,00 mm kalınlığındaki malzemeler 363, 378, 392, 395, 398 ve 402 °C farklı sıcaklıklar verilerek 4 saat süre ile 2,20 mm kalınlığındaki malzemeler ise 382 ve 417 °C farklı sıcaklıklarda 4 saat süre ile tavlanaştırılmıştır. Tavlama işleminden sonra nihai ürünlerden alınan numunelerin sıcaklıkları oda sıcaklığına getirilerek elektriksel iletkenlik cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.

3105 alaşımında ise tane büyümesi (portakallanma) adı verilen kalite hatasını önleyebilmek için 5 farklı numune incelenmiştir. Döküm hattından alınan numunelerin spektrometre cihazı ile döküm analizleri yapılmıştır. 1350 mm genişliğinde, 6 mm kalınlığındaki malzemeler 7 adımdan geçirilerek 0,35 mm nihai ürün halini getirildi. Malzemeler soğuk haddeleme de 1,15 mm kalınlığında getirildiğinde sırası ile 324, 323, 318, 316 ve 321 °C farklı sıcaklıklar da 4 saat süre ile ara tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Aynı malzemeler soğuk haddeleme sonrasında 0,35 mm kalınlığında nihai ürün şekline getirildiğinde ise 241, 237, 225, 223 ve 221 °C farklı sıcaklıklar verilerek 4 saat süre ile nihai tavlama işlemi uygulanmıştır. Nihai ürünlerin proses parametreleri yüzey hataları ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Yapılan deneylerde 1050 ve 3105 alaşımlı malzemeler kullanılmıştır. Bu alaşımların dökümleri TS EN 573-3 standartlarında gerçekleştirilmiştir. Dökümden alınan numunelerin spektrometre cihazı ile analizleri yapılmıştır. 1050 ve 3105 alaşımlarından alınan numunenin

mekanik karakterizasyonunu gerçekleştirmek amacıyla uzama ölçer (ekstensometreli) çekme cihazı ile çekme-akma mukavemetleri saptanmıştır ve % uzama miktarlarını belirlemek için ise çekme testleri uygulanmıştır. Çekme testleri TS EN 485-2 standartlarına göre yapılmıştır.

4.2. Kullanılan Cihazlar

Deneyler Bursa’da bulunan P.M.S alüminyum firmasında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki levha üretimi, ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile yapılmıştır. Dökümden alınan numunelerin kimyasal analizlerini belirlemek için laboratuvar ortamındaki spektrometre (Bruker Qantron) markalı cihaz kullanılmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Zwick Z050 markalı çekme test cihazı kullanımıyla belirlenmiştir. Tav denemeleri için laboratuvar tipi Protherm markalı Kül Fırını HLF50 (0-1050°C) kullanılmıştır. Malzemelerin elektrik iletkenliği Helmut Fischer GmbH markalı elektrik iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge 4.1’ de sürekli döküm yönteminde kullanılan ergitme ve tutma fırınlarının özellikleri verilmiştir. Döküm makinasının günlük üretim kapasitesi 30 ton civarındadır. Bu miktar kalınlığa ve alaşım türüne göre değişkenlik göstermektedir. Levhalar 1600 mm genişliğinde ve 5 – 10 mm kalınlığına kadar dökülmektedir. Merdanelerin basma kuvvetleri 2000 tona kadar çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. Dökümde kullanılan ergitme ve tutma fırının özellikleri.

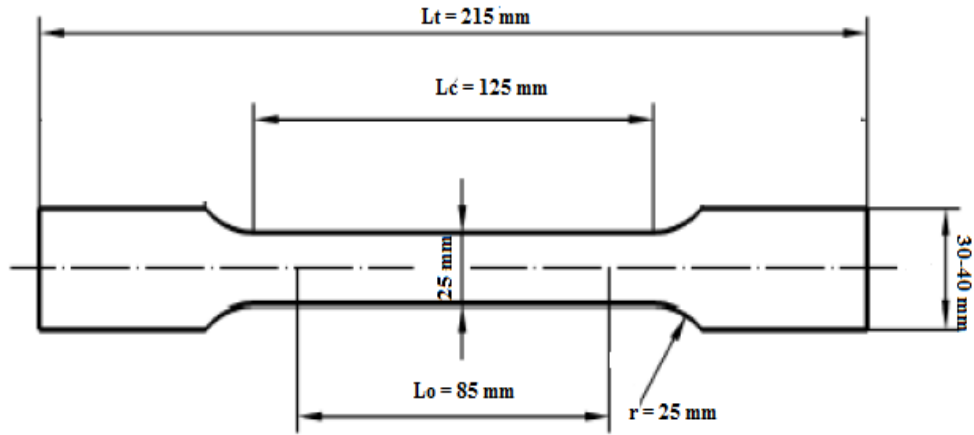
	Ergitme fırını özellikleri	Tutma fırını özellikleri
Sıvı metal kapasitesi	25 ton	15 ton
Brülör tipi	Rejenatif	Soğuk hava
Brülör sayısı	2 adet	2 adet
Toplam ısı kapasitesi	3 x10 ⁶ kcal	1,5 x 10 ⁶ kcal
Dış boyutlar	6164 mm x 5788 mm x 4000 mm	4435 mm x 4000 x 3190 mm
Refrakter tipi	Dökme refrakter	Dökme refrakter
Metal yüksekliği	700 mm	700 mm

Çizelge 4.2’de çalışmalarımız için üretilen 1050 ve 3105 alaşımlarının döküm ortamı ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Alaşımların döküm ortamı ve özellikleri.

Alaşım	Su giriş-çıkış sıcaklığı (°C)	TMMA (set – back) (mm)	Tandış sıcaklığı (°C)	Merdane çapı Ø (mm)	Döküm hızı (cm / dk)	Merdane bombesi (µm)
1050	37-41	46	700	629,00	140	0,28
3105	38-41	39	700	660,21	124	0,23

Döküm yönünden dik kesit halinde alınan numuneler giyotin tipi makas yardımı ile kesilip, uzamanın kolay tespit edilebilmesi için numuneler orta bölgesinden inceltilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin inceltilmiş kısımları ortalanarak çekme cihazına yerleştirilerek ölçümleri yapılmıştır. Çekme testlerinin sonuçları TS EN 485-2 standartlarına göre uygunlukları kontrol edilmiştir. Şekil 4.1’ de çekme numune testinin şematik olarak nasıl hazırlanması gerektiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çekme testi numunesi.

Şekil 4.1’de; Lo: orijinal ölçüm boyutu, Lc: paralel boy, Lt: toplam uzunluktur.

Dökümden çıkan malzemeler soğuk haddeme hattına alınır. Haddeme tezgâhı 4 merdaneli ve tek yönlüdür. Destek merdanesi 1100 mm, iş merdanesi ise 430 mm çapındadır. 8 mm kalınlığında giren malzeme 0,20 mm kadar haddelenebilir. 1600 ton basma kuvvetine, 400 mm/ dk civarında da sarma hızına sahiptir.

Malzemelerin elektriksel iletkenliği Helmut Fischer GmbH markalı DIN EN 2004-1 ve ASTM E 1004 göre ayarlanan uluslararası ölçüm standartları (mS/m) cinsinden hassas

elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın ucundaki prob yardımı ile alüminyum doğrulama numunesinde doğrulandıktan sonra oda sıcaklığında her numune için farklı noktalardan 5 kez ölçüm alınıp, ortalama değerleri baz alınmıştır. Şekil 4.2’de malzemenin elektriksel iletkenlik ölçümü verilmiştir.



Şekil 4.2. Elektriksel iletkenlik ölçümü.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde incelenen 1050 ve 3105 alaşımlı malzemelerin mekanik özellikleri, döküm ve kalite hataları incelenmiştir. Özellikle 1050 alaşımının elektriksel iletkenliği üzerinde etken parametreler ve 3105 alaşımının tane büyümesi (portakallanma) diye adlandırılan kalite hatası araştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçları mevcut literatürle karşılaştırılarak genel bir değerlendirilme yapılmıştır.

5.1. 1050 ve 3105 Alaşımlı Malzemelerin Döküm Analizleri

Çizelge 5.1’de 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığından alınan farklı numunelerin spektrometre analiz sonuçları incelenmiştir. 1050 alaşımların da görüldüğü gibi alüminyum saflık oranı oldukça yüksektir.

Çizelge 5.1. 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları.

Kimyasal bileşimleri, (% ağırlık)													
No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
1	0,127	0,261	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,012	0,011	0,007	0,000	99,573
2	0,119	0,206	0,001	0,004	0,002	0,001	0,006	0,008	0,011	0,009	0,014	0,001	99,618
3	0,121	0,256	0,001	0,010	0,003	0,001	0,006	0,002	0,013	0,011	0,008	0,001	99,568
4	0,124	0,263	0,000	0,019	0,010	0,000	0,006	0,003	0,015	0,010	0,006	0,000	99,544
5	0,115	0,244	0,001	0,028	0,008	0,000	0,006	0,007	0,020	0,010	0,010	0,000	99,551
6	0,128	0,266	0,001	0,019	0,013	0,001	0,006	0,002	0,023	0,011	0,008	0,001	99,521

Çizelge 5.2’de 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.1’deki gibi spektrometre analizlerine göre alüminyum saflık oranı yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2. 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları.

Kimyasal bileşimleri, (% ağırlık)													
No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
1	0,116	0,238	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005	0,008	0,013	0,010	0,009	0,000	99,596
2	0,117	0,234	0,000	0,011	0,004	0,000	0,007	0,005	0,010	0,009	0,008	0,000	99,592
3	0,125	0,247	0,001	0,009	0,000	0,001	0,006	0,004	0,010	0,009	0,012	0,001	99,575
4	0,111	0,273	0,000	0,031	0,011	0,000	0,006	0,026	0,021	0,018	0,011	0,000	99,492
5	0,137	0,243	0,001	0,013	0,000	0,001	0,005	0,014	0,018	0,011	0,013	0,001	99,543
6	0,128	0,230	0,000	0,007	0,021	0,000	0,006	0,005	0,012	0,010	0,011	0,000	99,570

Çizelge 5.3’ de 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin spektrometre analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’deki gibi alüminyum saflık oranı oldukça yüksektir.

Çizelge 5.3. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki numunelerinin spektrometre analiz sonuçları.

Kimyasal bileşimleri, (% ağırlık)													
No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
1	0,103	0,206	0,000	0,013	0,007	0,000	0,007	0,011	0,013	0,012	0,009	0,000	99,619
2	0,114	0,227	0,000	0,026	0,003	0,000	0,006	0,010	0,019	0,011	0,010	0,000	99,574

Çizelge 5.4’de 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı numunelerin spektrometre analiz sonuçları verilmiştir. 1050 alaşıma göre alüminyum saflık oranları daha düşük iken içerisindeki alaşım miktarlarının yüzde oranları daha yüksektir.

Çizelge 5.4. 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı numunelerin spektrometre analiz sonuçları.

Kimyasal bileşimleri, (% ağırlık)													
No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
1	0,154	0,418	0,018	0,309	0,210	0,007	0,006	0,021	0,027	0,011	0,012	0,000	98,807
2	0,169	0,386	0,008	0,301	0,342	0,006	0,007	0,010	0,029	0,012	0,011	0,000	98,719
3	0,180	0,430	0,009	0,418	0,320	0,004	0,007	0,012	0,028	0,010	0,012	0,001	98,569
4	0,149	0,403	0,011	0,350	0,202	0,006	0,006	0,016	0,033	0,012	0,012	0,000	98,800
5	0,137	0,455	0,007	0,330	0,304	0,000	0,006	0,017	0,028	0,012	0,013	0,000	98,691

5.2. 1050 ve 3105 Alaşımlı Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Çizelge 5.5’de 1050 – H0 alaışımının 1,90 mm kalınlığından alınan farklı numunelerin çekme-akma mukavemetlerinin (MPa), % uzama sonuçları verilmiştir. 3105 alaışımına göre çekme-akma mukavemetleri düşük iken % uzama değerleri yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

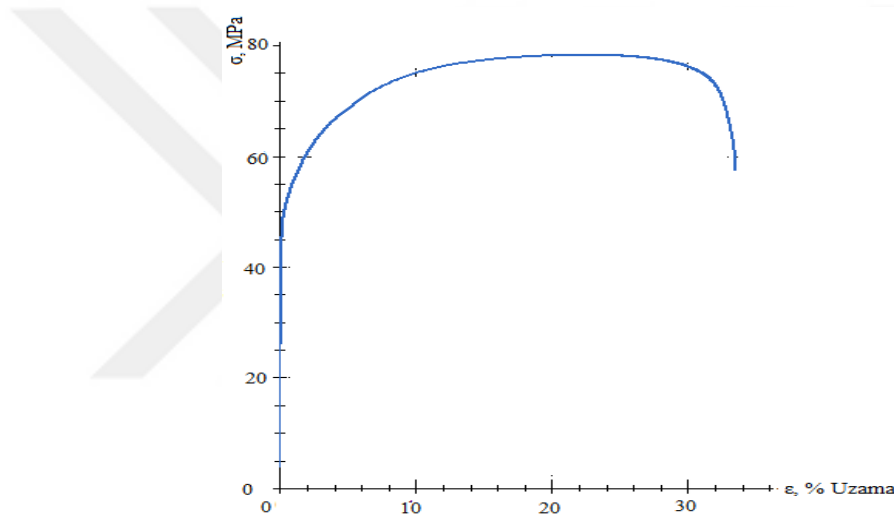
Çizelge 5.5. 1050 – H0 alaşımlı 1,90 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetlerinin (MPa) sonuçları, % uzama sonuçları.

No	R _m (MPa) Çekme Dayanımı	R _{p0,2} (MPa) Akma Dayanımı	% uzama (mm)
1	75,46	43,73	31,88
2	75,08	43,65	40,10
3	74,09	43,25	40,34
4	73,46	42,43	40,71
5	72,65	42,40	42,63
6	68,06	41,15	43,13

Çizelge 5.6’da 1050 – H0 alaışımı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları verilmiştir. 1050 alaşımlı malzemelerin Çizelge 5.2’de olduğu gibi 3105 alaşımlarına göre çekme-akma mukavemetleri azalırken, % uzama değerleri arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.6. 1050 – H0 alaşımı 2,00 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları.

No	R _m (MPa) Çekme Dayanımı	R _{p0,2} (MPa) Akma Dayanımı	% uzama (mm)
1	78,69	50,08	29,11
2	77,19	58,87	30,40
3	76,54	43,89	36,35
4	75,80	41,68	38,45
5	71,43	41,37	40,89
6	70,67	40,01	43,11



Şekil 5.1. Gerilim-gerinim eğrisi.

Şekil 5.1’de örnek olarak çekme cihazından alınan gerilim-gerinim eğrisi verilmiştir. Bu eğri Çizelge 5.6’da ki 1050 alaşımlı ikinci numuneyle aittir. Grafikte akma dayanımının (58,87, MPa) üzerine çıkıldığında plastik şekil değişimi gerçekleşmeye başlamıştır. Numune bir yandan uzarken, diğer yandan numunenin kesit alanı daralmaktadır. En yüksek tepe noktası çekme dayanımı (77,19, MPa) olduğu yerdir. Yük tepe noktasında ulaşıldıktan sonra düzgün uzama göstermemektedir. Teoride plastik kararsızlık olarak adlandırılan bu durum sadece numunede boyun veren kısımda uzamaya devam ettirmektedir. Uzama boyun kısmına hapsedikten sonra kopma gerçekleşmektedir (Mühendishane, 2018).

Çizelge 5.7’de 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 ‘daki gibi çekme-akma mukavemetleri azalırken,% uzama değerleri artmakta olduğu gözlemlenmiştir.

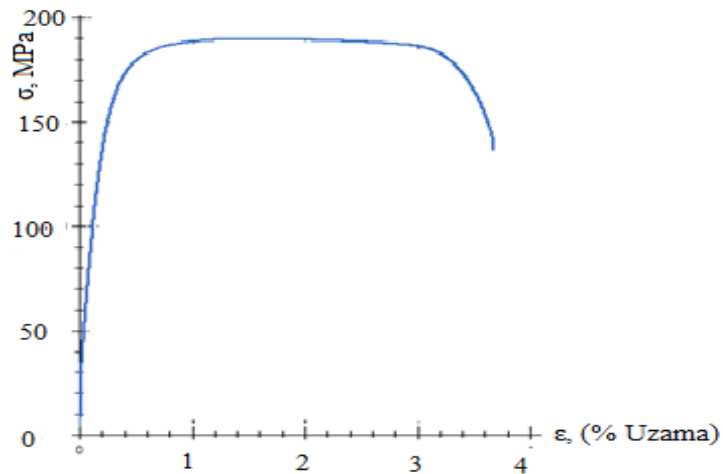
Çizelge 5.7. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki farklı numunelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları.

No	R _m (MPa) Çekme Dayanımı	R _{p0,2} (MPa) Akma Dayanımı	% uzama (mm)
1	74,44	43,68	39,87
2	73,22	42,72	40,26

Çizelge 5.8’de 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı malzemelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları verilmiştir. 3105 alaşımlı malzemelerde çekme-akma mukavemetleri artar iken % uzama değerlerinin azalmakta olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.8. 3105 – H24 alaşımlı 0,35 mm kalınlığındaki farklı malzemelerinin çekme-akma mukavemetleri (MPa), % uzama sonuçları.

No	R _m (MPa) Çekme Dayanımı	R _{p0,2} (MPa) Akma Dayanımı	% uzama (mm)
1	163,74	153,73	3,88
2	183,21	172,27	3,61
3	186,89	177,34	2,99
4	188,17	174,43	1,48
5	189,43	177,66	1,61



Şekil 5.2. Gerilim-gerinim eğrisi.

Şekil 5.2’ de örnek olarak alınan çekme cihazından 3105 alaşımlı numunenin gerilim - gerinim eğrisi verilmiştir. Bu eğri Çizelge 5.14 ‘te verilen ikinci numunesine aittir. Grafikte

akma dayanıcının (172,27, MPa) üzerine çıkıldığında plastik şekil değişimi gerçekleşmeye başlamıştır. Numune bir yandan uzarken, diğer yandan numunenin kesit alanı daralmaktadır. En yüksek tepe noktası çekme dayanıcı (183,21, MPa) olduğu yerdir. Numune bir müddet daha uzamakta (% 3,61, mm) ve numunenin kopması ile çekme testi son bulmaktadır. 1050 ve 3105 malzemeleri karşılaştırıldığında 3105 malzemelerde bulunan alaşım miktarları mukavemet değerlerini artırırken , % uzama değerlerini düşürmektedir.

5.3. 1050 ve 3105 Alaşımli Malzemelerin Tav Sıcaklıkları ve Elektriksel İletkenliklerinin İncelenmesi

Çizelge 5.9’da 1050 – H0 alaşımli 1,90 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.5’de de gözlemlendiği gibi sıcaklık artıkcı çekme-akma mukavemetleri azalırken, % uzama değeri arttığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.9. 1050 – H0 alaşımli 1,90 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları.

No	Tav sıcaklığı (°C)	İletkenlik (mS/m)
1	397	35,3
2	400	35,5
3	404	35,2
4	415	35,0
5	416	34,7
6	421	34,1

Çizelge 5.1’de gözlemlendiği gibi alüminyum saflık derecesi artıkcı iletkenlik artırmaktadır. Aynı zamanda Mangan ve Tibor (Al5Ti1B) % miktarları artıkcı ise elektriksel iletkenliğin olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 5.10’da 1050 – H0 alaşımli 2,00 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.6’da görüldüğü gibi sıcaklık artıkcı çekme-akma mukavemeti azalırken, % uzama miktarları arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın belli bir değere göre elektriksel iletkenliği artırdığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.10. 1050 – H0 alaşımlı 2,00 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları.

No	Tav sıcaklığı (°C)	İletkenlik (mS/m)
1	363	35,0
2	378	35,5
3	392	35,7
4	395	34,1
5	398	34,5
6	402	34,6

Çizelge 5.11’de 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’daki gibi sıcaklık arttıkça çekme-akma mukavemetleri azalırken, % uzama değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’daki gibi elektriksel iletkenliğin sıcaklık parametresinin yanında Çizelge 5.3’deki spektrometre analiz sonucundaki alaşım değerlerindeki etki edebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.11. 1050 – H0 alaşımlı 2,20 mm kalınlığındaki ayrı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları (4 saat) sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (mS/m) sonuçları.

No	Tav sıcaklığı (°C)	İletkenlik (mS/m)
1	382	35,1
2	417	34,6

Çizelge 5.12’de 3105 – H24 alaşımlı farklı malzemelerinin 1,15 mm kalınlığında iken uygulanan ara tav sıcaklıkları (4 saat), 0,35 mm kalınlığında iken uygulanan nihai tav sıcaklıkları (4 saat), sonuçları verilmiştir. 3105 alaşımlı malzemeler dökümden 6 mm kalınlığında üretilerek 7 pasdan geçtikten sonra 0,35 mm nihai kalınlığa ulaşmıştır. Soğuk hadde tezgahında 1,15 mm kalınlığında iken ara tav işlemlerine tabi tutulmuştur. 0,35 mm kalınlığındaki iken nihai tavlama sıcaklıkları uygulanmıştır. 3105 alaşımlı farklı malzemelerde sıcaklığın artması ile tane büyümesi (portakallanmanın) oluşumu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.12. 3105 – H24 alaşımlı farklı malzemelerinin 1,15 mm kalınlığında iken uygulanan ara tav sıcaklıkları (4 saat), 0,35 mm kalınlığında iken uygulanan nihai tav sıcaklıkları (4 saat), sonuçları.

No	Kalınlık (mm)	Ara tav sıcaklığı (°C)	Kalınlık (mm)	Nihai tav sıcaklığı (°C)
1	1,15	324	0,35	241
2	1,15	323	0,35	237
3	1,15	318	0,35	225
4	1,15	316	0,35	223
5	1,15	321	0,35	221

Yapılan literatür araştırmalarına göre 3003 ve 1235 alaşımlarında alaşım miktarlarının artması ile birlikte mukavemetin arttığı, uzama kabiliyetinin ise azaldığı belirtilmiştir (Okumuş, 2003).

Üretimde yapılan deneyler sonucu merdane sıcaklığı 250 °C altına düşmesi ergimiş metalin yapışmasına neden olmaktadır. Kaliteli bir döküm alınabilmesi için merdane sıcaklığı 250 - 270 °C civarında olması gerekmektedir.

Merdanenin çıkış kısmındaki sıcaklığı <300 °C civarında olması merdane ile levha ara yüzeyinde ki sürtünme kuvvetini oluşturmaktadır. Sürtünme kuvveti dökülen ergimiş metalin akma mukavemetinden daha yüksek basınçlara neden olmaktadır (Okumuş, 2003).

Yapılan araştırmalarda ise soğuk haddelemede kalınlık miktarı azaldıkça çekme ve akma mukavemeti artarken, uzama miktarı azalmaktadır. Bunun sebebi ise iç yapı kusurları ve malzemede meydana gelen dislokasyon yoğunluğunun sonucu olmasıdır (Demiray, 2016).

Yapılan deneylerde 1050 alaşımlı levhaların tavlama süreleri sabit tutularak, nihai tavlama sıcaklıkları artırıldığında akma ve çekme mukavemeti azalmakta ve uzama miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda 3105 alaşımlı malzemelerde tavlama süreleri sabit tutularak, ara tav sıcaklıkları ve nihai tav sıcaklıkları artırılması sonucu ise levhaların akma ve çekme mukavemeti azalmakta ve uzama miktarlarının arttığı düşünülmektedir. Sürekli döküm yönteminde üretilen levhaların sıcaklığının artması ile ürünlerde yumuşamaya neden olarak kondüsyonlarını düşürmektedir.

Literatür araştırmalarında dikkat çeken diğer bir nokta ise tavlama sıcaklıkları ve sürelerine göre malzemelerin mekanik özellikleri değişkenlik göstermektedir. Sabit sıcaklıkta, tavlama süresi artıkça, mukavemetin azaldığı incelenmiştir (Demiray, 2016).

Tanelerin büyümesinin sebebi olan yeniden kristalleşen taneler, tavlama sıcaklığında uzun süre tutulması veya yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda tavlanması sonucu yayınma ile zamanla büyüme eğilimi göstermektedirler. Büyüme miktarı, tavlama süresi ve sıcaklık ile artmaktadır (Kavaklıoğlu, 2013).

5.4. Döküm ve Kalite Hatalarının İncelenmesi

Yapılan çalışmalarda ikiz merdaneli sürekli döküm yönteminde üretilen levhaların döküm hattında ve diğer proses parametrelerinde en sık karşılaşılan kalite hatalarının nedenleri araştırılmıştır. Üretimde oluşan kalite hatalarının fotoğrafları Samsung Galaxy J7 markalı cep telefonu ile x 1,0 piksel görüntüde çekilmiştir.

Şekil 5.3’de verilen gaz boşluğu hatası gaz giderme işleminin yetersizliğinden dolayı meydana gelmiştir. Aynı zamanda alüminyumun sıcaklığının 660 °C geçmesiyle hidrojen gazının açığa çıkması gaz deliğine neden olmaktadır. Levha yüzeyi sürekli gözlenerek hata önlenmeye çalışmaktadır.



Şekil 5.3. Gaz boşluğu hatası.

Şekil 5.4’de verilen kenar çatlağı hatası soğuk hadde iş merdanelerinin kenarlarının fazla açılması ve malzemeyi fazla ezmesine bağlı kenar çatlakları oluşum hatalardır.



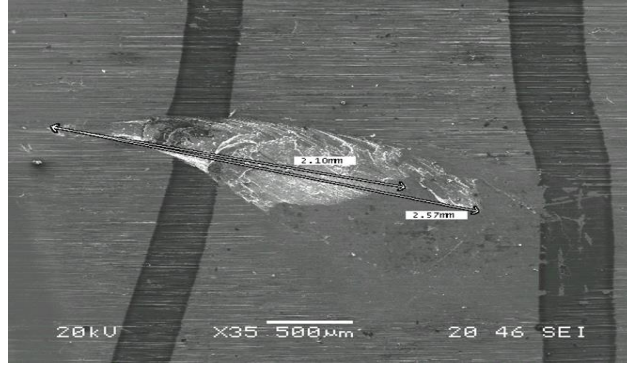
Şekil 5.4. Kenar çatlağı hatası.

Şekil 5.5'te verilen Ripple İzi hatası döküm esnasında levha yüzeyinde düzgün sıralanmış bant şeklindeki renk farklılıklarından oluşan hata türüdür. Söz konusu hata görünüm bozukluğu ile anlaşılmaktadır. Metal seviye yüksekliği, tip eksenin merdaneye fazla yakınlığı ve yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan hatalardır. Hatanın önlenmesi için metal seviyesi ve sıcaklık sürekli kontrol edilmelidir.



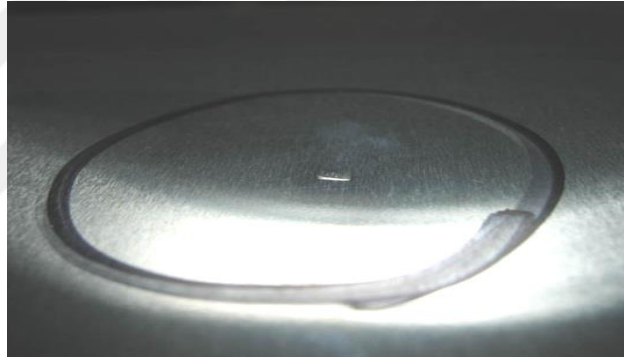
Şekil 5.5. Ripple izi hatası.

Şekil 5.6 'da SEM görüntüsü ile verilen kazıntı hatası kesikli veya sürekli çizgisel izlerdir. Parlak veya mat görünümlüdür. Genelde sarım sırasında levha mandreninin diklik açısından sapması veya levhanın sabit bir yere sürtünmesinden dolayı oluşmaktadır.



Şekil 5.6. Kazıntı hatası.

Şekil 5.7’te verilen batık izi noktasal halinde oluşan hata türleridir. Levhanın sarım sırasında üzerine herhangi bir parçanın isabet etmesi sonucu oluşan izlerdir.



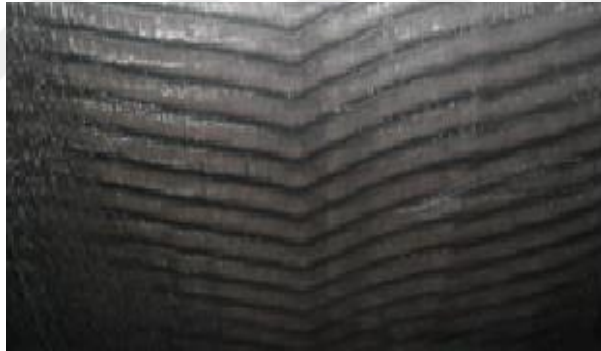
Şekil 5.7. Batık izi hatası.

Şekil 5.8’ da verilen deterjan lekesi gerdirme hattında oluşmaktadır. Soğuk haddelemeden çıkan levhaların yağlardan arındırılması gerdirme hattında yıkama ve durulama banyolarından geçirilmiştir. Banyolarda bulunan deterjan konsantrasyonunun iyi ayarlanamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.8. Deterjan lekesi hatası.

Şekil 5.9 'de verilen balık sırtı hatası, hadde merdane kuvvetlerinin baskı tonajını ayarlayamaması ve hadde yağ miktarının yeterli miktarda verilmemesinden dolayı balık iskeleti şeklinde oluşturduğu izlerdir. Hadde yağının ve hadde merdane baskı tonajının kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.9. Balık sırtı hatası.

Şekil 5.10'da verilen kenar dalgası hatası soğuk haddeleme sırasında merdanelerin negatif eğilmesi sonucu rulo kenarlarının ortadan daha ince olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise kenar dalgası hatası ortaya çıkmaktadır. Baskı merdaneleri ve iş merdaneleri kontrol edilmelidir.



Şekil 5.10. Kenar dalgası hatası.

Şekil 5.11’da tane büyümesi (portakallanma) hatası verilmiştir. Döküm sırasında yeterli tıbor (AlTi5B1) besleme yapılamamasından dolayı levhanın iç yapısından kaynaklanan hata türüdür. 3105 alaşımlarında en sık karşılaşılan hatalardır. Tane büyümesindeki diğer bir önemli faktör ise tavlama sıcaklıklarının yüksek tutulmasıdır. Malzeme sıcaklıkla birlikte yumuşayarak iri taneleri bir araya getirir. Elle hissedilebilen pürüzlülüklerdir. Gerdirme hattındaki aşırı gergi verilmesi ile de tane büyümeleri ortaya çıkmaktadır. Gerdirme hattındaki gerginin ayarları levha kalınlığına ve levha içerisindeki alaşım miktarına göre yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.11. Tane büyümesi (portakallanma) hatası.

Şekil 5.12’da 3105 alaşımlı malzemelerde karşılaşılan tane büyümesi (portakallanma) hatasının makro dağılama sonucundaki tane yapılarının hareketi gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Dağlama sonrası tane yapılarının hali.

Literatür araştırmalarında tane büyümesi (portakallanma), ikiz merdane yöntemi ile üretilen levhaların yüzeyindeki kaba tanelerin rulo yüzeyinin yakınındaki ince parçacık yoğunluğunun bir sonucu olduğu görülmektedir. 3xxx alaşımlarının üretiminde karşılaşılan problemleri azaltmak için alaşım kompozisyon sınırları içinde tutarak, katılaşma koşullarındaki farklılıklar ve döküm şeridinde homojenizasyonluk sağlanmıştır (Sanders, 2012: 291-299).

5.5. Elektriksel İletkenlik Etkilerinin İncelenmesi

Literatür çalışmaları incelendiğinde alüminyumun elektriksel iletkenliği için yapılan çalışmalarda ergimiş demirin elektriksel iletkenlik üzerine kuvvetli etkisi bu kalite özelliğinin imalat teknolojisine bağlılığının sebebi olduğu düşünülmektedir. Döküm sırasında hızlı soğutma demirin alüminyum karma kristali içinde doymaya erişmesine neden olması ve böylece ergimiş metalin, ötektik sıcaklıkta maksimum ergimeye ile daha çok demir içerdiği incelenmiştir. Dengeli durumda tekrar imal edilebilen ve demir kısmı kısmen ayrılmış durumda olan yumuşak tavlama ile elektrik iletkenlik belirgin şekilde düzeltilebildiği gözlemlenmiştir. Döküm içerisindeki Fe, Mn, Ti, Zn elementleri elektrik iletkenliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu elementlerin ortak özelliği kristal şekle sahip olmalarıdır. Endüstriyel alanda sık kullanılan diğer bir alaşım metali olan Zr'un da elektriksel iletkenliği azalttığı görülmüştür (Demiray, 1980).

Yapılan deneyler sonucu 1050- H0 alaşımlarının döküm içerisindeki Mangan oranları % 0,10, Tibor (AlTi5B1) oranının ise % 0. 13'den büyük olduğunda levhanın elektriksel iletkenliği azalttığı gözlemlenmiştir. Döküm alaşımlarının miktarlarının yanında elektrik iletkenliğine etki eden diğer bir önemli faktör ise sıcaklıktır. 1050 alaşımlı alüminyumlu levhaların tavlama sıcaklıkları 390-400 °C' ye kadar elektrik iletkenliğini artırdığı, 390-400 °C' den daha yüksek tavlama sıcaklıklarında ise elektrik iletkenliğini düşürdüğü görülmektedir. Soğuk haddelemeden çıkan levhaların elektriksel iletkenlikleri, ısıtılmalardan sonra ölçülen

elektriksel iletkenlikler ile karşılaştırıldığında her bir numune için yaklaşık 3 mS/m daha düşük olduğu incelenmiştir.



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen 1050 levhaların döküm için yapılan tüm deneylerin sonuçlarını özetlersek;

- 1050 – H0 alaşımlı alüminyum levha, döküm hattında 1310 mm genişliğinde, 5,50 mm kalınlığında sürekli döküm yöntemi ile üretilmiştir. Soğuk haddeleme işlemi ile 3 pasoda (adım) 1,90 mm, 2,00 mm ve 2,20 mm kalınlıkta nihai ürün şeklini alan 14 adet farklı numune sonuçları incelenmiştir. 1050 alaşımlı numunelerin tavlama sıcaklıkları arttıkça çekme-akma mukavemeti azalırken, % uzama miktarlarının artmıştır. Bunun nedeni ise sıcaklık artması ile dislokasyonlar hareketlenerek çekme-akma mukavemetini azaltarak, % uzama değerini artıracaktır.

İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen 3105 alaşımlı alüminyum levhaların döküm için yapılan deneylerin sonuçlarını özetlersek;

- 3105-H24 alaşımlı alüminyum levha döküm hattında 1350 mm genişliğinde, 6 mm kalınlığında sürekli döküm yöntemi ile üretilmiştir. Soğuk haddeleme işlemi ile 7 pasoda (adım) 0,35 mm nihai ürün halini almıştır. 1,15 mm kalınlığında iken numuneler ara tav işlemine tabi tutularak farklı sıcaklıklar verilmiştir. 0,35 mm kalınlığında nihai ürün şeklini aldığı anda ise farklı nihai tav sıcaklıkları uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.12’de verilen sonuçlara göre sıcaklık arttıkça tane büyümeleri ilk üç numunede gözlenirken son iki numunede gözlenmemiştir. İri taneli yapıların bir araya gelmesi ise tane büyümesi (portakanma) olarak adlandırılmaktadır. Döküm hattında yeterli tibor (AlTi5B1) besleme yapılamaması malzemeler içinde iç yapısal kusurlara neden olmuştur. 3105 alaşımlı malzemelerde döküm alaşımlarının miktarları da göz önünde bulundurularak, tavlama süreleri sabit tutularak ara tav sıcaklıkları 315 - 320 °C arası, nihai tav sıcaklıkları 218- 223 °C arası uygulanmalıdır. Bunun yanında malzemelere gerdirme hattında aşırı gergi verilmesi önlenerek tane büyüme (portakallanma) hatasının önlenilmektedir.
- Dökümden alınan deneylerin sonuçları incelendiğinde 3105 alaşımlı levhaların, akma-çekme mukavemetleri artarken, % uzama miktarları azalmaktadır. 1050 alaşımlı levhaların ise akma- çekme mukavemetleri azalırken, % uzama miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum alaşım miktarlarına bağlıdır. Alaşım miktarları arttıkça çekme-akma mukavemetler artarken , % uzama miktarları azalacaktır.

- Kondüsyon olarak TS-EN 485-2 standarttı ile karşılaştırıldığında 1050 alaşımı soğuk haddeleme işlemi ile 3 pasodan (adım) geçerek H0'a, 3105 alaşımı ise soğuk haddeleme işlemi 7 pasodan (adım) geçerek H24 kondüsyonuna karşılık gelmiştir. 1050 alaşımı ile 3105 alaşımlarının mekanik özelliklerin sonuçlar karşılaştırıldığında 3105 alaşımının içerisindeki Zn, Mn ve Si gibi kimyasal elementler akma ve çekme mukavemetlerini artırırken, % uzama miktarlarını azalttığı gözlemlenmiştir. Alüminyum içerisinde Mn, Si, Zn ve Mg elementlerinin akıcılığı ve mukavemeti artırdığı belirtilmiştir (Zeren, 2008).

6.1. Döküm ve Kalite Hataları

İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen 1xxx ve 3xxx serili alaşımlı malzemelerin döküm ve kalite hataları incelenmiştir. Dökümden kaynaklı oluşan oksit atması, sıcak delik, donuk delik, seviye deliği, grafit deliği, gaz boşluğu, besleme yetersizliği, ripple izi, tane boyu E bandı, yapışma, kenar çapağı, kenar çatlağı, kenar şişmesi, merdane vuruk izi gibi hataların nedenleri ve alınan önlemler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Soğuk haddeleme, tavlama ve gerdirmе hattında karşılaşılan oksit lekesi, kenar dalgası, balıksırtı, gofraj hatası, kazıntı, yağ lekesi, deterjan lekesi, iğne delikleri, iç bukle, çeyrek bukle, orta bukle, zebra deseni ve tane büyümesi (portakallanma) adı verilen kalite hatalarının nedenleri ve alınan önlemler Çizelge 3.5' de verilmiştir. Döküm alaşımlarının miktarı, döküm sıcaklıkları, merdane yüzeyi, set-back mesafesi ayarı, tane küçültücü etkisi, soğuk haddeleme tezgâhında merdane baskı kuvveti ve hızı, hadde yağ miktarı, gerdirmе hattı yıkama-durulama banyo sıcaklıkları, gerdirmе hattı deterjan konsantrasyonu ayarı, gergi hızı, dilme ve kesme bıçak ayarları, mandren sarımı gibi birçok parametrelere kontrol altına alınarak döküm anında ve diğer proses süreçlerinde karışımıza çıkabilecek hatalar iyileştirilmiştir.

6.2. Elektriksel İletkenlik

Sürekli döküm yöntemi ile üretilen 1050 alaşımlı alüminyum levhaların içeriğinde bulunan tıbor (AlTi5B1) ilavesi akışkanlığı azaltırken, çekme mukavemetini artırmaktadır (Zeren, 2008). Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11 1050-H0 alaşımlı malzemelerin tav sıcaklıkları ve iletkenlik ölçümleri incelendiğinde elektriksel iletkenliği kalınlığa ve alaşım miktarına da bağlı olarak tav sıcaklığının 390-400 °C'ye kadar artırdığı fakat sıcaklık 390-400 °C üzerinde uygulandığında ise elektriksel iletkenliği azalttığı görülmektedir. Dökümde alaşım değerlerinin artması da elektriksel iletkenliği azaltmaktadır.

Döküm içerisindeki Silisyum, Mangan ve Tibor (AlTi5B1) alaşımlarının değerlerinin yüksek olmasının elektrik iletkenliğini azalttığı gözlemlenmiştir. 1050 alaşımlarında elektriksel iletkenliğin artması için döküm analizlerinde Tibor (AlTi5B1) oranının % 0,15'den, Mangan oranının ise % 0,10'dan fazla miktarda dökülmemesi gerekmektedir.



7. ÖNERİLER

Çalışmalar boyunca 1xxx serisi ve 3xxx serisi alaşımlarının döküm ve kalite hatalarının nedenleri ve önlemleri daha fazla araştırılarak, üretim proses parametrelerinde daha geniş kapsamlı iyileştirmeler yapılabilir. 1xxx serisi alaşımlı malzemelerin elektrik iletkenliğine etkileri hakkında döküm alaşımlarının etkileri, farklı tavlama süreleri ve sıcaklıklar ile daha fazla deneyler üzerinden incelemeler yapılabilir. 3xxx serisinde en sık karşılaşılan kalite hataları daha detaylı araştırılarak bunlar üzerinde iyileştirmelere gidilebilir. Böylece 1xxx serisi ve 3xxx serisi alüminyum alaşımlı malzemelerin endüstriyel alana daha az maliyetli daha çok üstün özelliklere sahip yeni ürünlerin kazanımı sağlanabilir. Elektriksel iletkenliği değerlerinde görülen değişimin nedenleri yapısal karakterizasyonlar ile aydınlatılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Altenpohl, D. G., (1998). Aluminum Technology, Applications and environment. TMS and Aluminum Association.

Barekar, N.S., Dhindaw, B.K., (2014). Twin Roll Casting of Aluminum Alloys An Overview, 29:, 651-661.

Büyükakkaş, F., (2001). Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi İle Üretilmiş Aa3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Car, E. (1998). İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bir Bakış, Teknik Yazı, 42-43.

Cook, R., Grocock , P.G., Thomas, P.M., Edmonds, D.V., Hunt, J.D., (1995). Development of the twin-roll casting process, Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi, 55, 76-84.

Çarboğa, C., Dal, S., (2014). Laboratuvar I Dersi, Metalürji ve Malzeme Bölümü, Nevşehir.

Çatalbaş, Z. B., (2001). Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinin Alüminyum Levha ve Folyo Üretimi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çolak, M., Kayıkçı. R., (2009). Alüminyum Dökümlerde Tane İnceltme, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Dergisi, 13(1), 11-17.

Davis, J.R., (2001). Aluminum and Aluminum Alloys Alloying: Understanding the Basics. (Birinci Baskı). Ohio: ASM international, 371-441.

Demiray, O. Z., (1980). İletken Malzeme Olarak Alüminyum, 318-319, 92-97.

Demiray, Y., (2016). İkiz Merdane Döküm Yöntemi ile Alüminyum AA5754 Alaşımı Levha Üretimi, Döküm ve Termomekanik Proses Parametrelerinin etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eraktan, A., (1991). Sürekli Döküm Metodu ile Elde Edilen Alüminyum Yassı Ürünlerin Geleceği, Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 11:15,17, İstanbul.

Ertan, S., Kavakoğlu, B., ve Büyükakkaş, F., (2003). Teknik Alüminyum San AŞ, 2. Aluminium Symposium, Seydişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Emley, E.F., (1976),. Continuous, 'tasti'ng of aluminium, 206, 75-79.

Gras, Ch., Meredith, b. M., Hunt, J.D., (2005). Microstructure and texture evolution after twin roll casting and subsequent cold rolling of Al–Mg–Mn aluminium alloys. Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi, 169, 156-161.

Güler, M., (2017). Alüminyum Alaşımlarında İnküzyon Çeşitleri ve Önleyici Faaliyetler, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, 184, 36-41.

<http://www.aluminyumdokum.org/>, 2018.

<https://www.ankarametal.com.tr/>, 2018.

<http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/>, 2018.

<http://www.korumaz.com/levha.html>, 2018.

<https://www.makaleler.com/>, 2018.

<http://www.metaluzmani.com/>, 2018.

<https://muhendishane.org/>, 2018.

<http://www.turkishmetals.org>, 2017.

Kammer, Goslar, C., (1999), Continuous casting of aluminium , 27.

Kavakoğlu, B., (2008). P.M.S Alüminyum Teknik Notları Kavakoğlu, B., (2013). Alüminyum Alaşımlarında Yeniden Kristallenme. 6. Aluminium Symposium, İstanbul.

Kopeliovich, D., Shapiro, A., Shagal, V., (2001). Aluminum bismuth bearing alloy and methods for its continuous casting.

Marsh, K., Bugusu, B., (2007). Food packaging roles, materials, and environmental issues, 72(3), 39-55.

Meran, C., Kovan, V., Berberoğlu, O., (2006). Hadde Merdanelerinde Karşılaşılan Hasarlar ve Analiz, Tasarım İmalat Analiz Kongresi, 178-179, Balıkesir.

Okumuş, F., (2003). A framework to implement strategies in organizations. 41(9), 871-882.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Önel K., Dokumacı, E., Eken, C., Çubuklusu, H.E., Aybarç, U., Çe, Ö.B., Kalender, C., Kızılkaya, M.,(2015). Alüminyum Gaz Giderme İşleminde Ultrasonik Yöntemin Kullanımı, 56 (667), 17-18.

Özakın, B., (2014). Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyona Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Prasad, S.V., Asthana, R., Aluminum, (2004). Metal Matrix Composites for Automotive Applications: Tribological Considerations ,17(3), 445-453.

Sanders, R.E., Baumann, Jr. S. F., Stumpf, H. C., (1989). Wrought Non-Heat Treatable Aluminum Alloys. 31, 66-98.

Sanders, R.E., (2012). Continuous Casting for Aluminum Sheet a Product Perspective, 64(2), 291-299.

Seçgin, N., Haşçalık, A., (2003). Al-Mg Alaşımlarında Mg Oranın Yorulma Dayanımına Etkisi,Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ.

Staley, J.T., (1989). History of Wrought Aluminum Alloy Development. 31, 4-6.

Türker, E., (2005). Alüminyum ve Alaşımlarının Dökümde Rafinasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ünal, A., (2005). 1050 A, 3003, 3105, 5005 Alüminyum Alaşımlarının Çift Merdaneli Döküm Yöntemiyle Levha Şeklinde İmalatı ve Mikro yapının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zeren, M., (2008). Demir Dışı Düşük Sıcaklık ve Alaşımları Ders Notları, Malzeme ve Metalürji Bölümü, Kocaeli.

Watari, H., Hagab, T., Kogac, N., Daveyd, K., (2007). Feasibility study of twin roll casting process for magnesium alloys, Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi, 192–193, 300–305.

EKLER

Ek-1: TS EN 573-3 standarttı

Alaım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ca	V	Diğer Elementler	Ti	Diğer		Minimum Alüminyum
													Herbiri	Toplam	
1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	-	-	0.05	-	0.05	-	0.03	0.03	-	99.50
1050A	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	-	-	0.07	-	-	-	0.05	0.03	-	99.50
1070	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	-	-	0.04	-	0.05	-	0.03	0.03	-	99.70
1070A	0.20	0.25	0.03	0.03	0.03	-	-	0.07	-	-	-	0.03	0.03	-	99.70
1080	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	-	-	0.03	0.03	0.05	-	0.02	0.02	-	99.80
1080A	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	-	-	0.06	0.03	-	-	0.02	0.02	-	99.80
1100	0.95Si+Fe	-	0.05-0.2	0.05	-	-	-	0.10	-	-	-	-	0.05	0.15	99.00
1200	1.05Si+Fe	-	0.05	0.05	-	-	-	0.10	-	-	-	0.05	0.05	0.15	99.00
1250	0.20	0.40	0.10	0.01	0.01	0.01	-	0.05	-	-	0.02V+Ti	-	0.03	-	99.50
1350	0.10	0.40	0.05	0.01	-	0.01	-	0.05	0.03	-	0.03B 0.02V+Ti	-	0.03	0.10	99.50

1000
Serisi

Ek-2: TS EN 573-3 standarttı.

Alayım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ca	V	Diğer Elementler	Ti	Diğer	
													Herbiri	Toplam
3003	0.6	0.7	0.05-0.2	1.0-1.5	.	.	.	0.10	.	.	.	.	0.05	0.15
3103	0.50	0.7	0.10	0.9-1.5	0.30	0.10	.	0.20	.	.	0.10Zr-Ti	.	0.05	0.15
3004	0.30	0.7	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3	.	.	0.25	.	.	.	.	0.05	0.15
3104	0.6	0.8	0.05-0.25	0.8-1.4	0.8-1.3	.	.	0.25	0.05	0.05	.	0.10	0.05	0.15
3005	0.6	0.7	0.30	1.0-1.5	0.2-0.6	0.10	.	0.25	.	.	.	0.10	0.05	0.15
3105	0.6	0.7	0.30	0.3-0.8	0.2-0.8	0.20	.	0.40	.	.	.	0.10	0.05	0.15
3008	0.40	0.7	0.10	1.2-1.8	0.01	0.05	0.05	0.05	.	.	0.10-0.50Zr	0.10	0.05	0.15
3009	1.0-1.8	0.7	0.10	1.2-1.8	0.01	0.05	0.05	0.05	.	.	0.10Zr	0.10	0.05	0.15
3010	0.10	0.20	0.03	0.2-0.9	.	0.05-0.4	.	0.05	.	0.05	0.03-0.05	0.10	.	.

3000
Seri

Ek-3: TS EN 485-2 standarttı.

EN AW-1050 [99,5]



Temper	Belirtilen Kalınlık (mm)		Çekme M. Rm		Akma M.Rp0.2		Uzama		Eğme Yarıçapı		Sertlik
	dan çok	' e	(MPa)		(MPa)		%		180	90	
		kadar	min.	maks.	min.	maks.	A 50mm	A			
F	2,5	150,0	65								
0 / H111	0,2	0,5	65	95	20		20		0 t	0 t	20
	0,5	1,5	65	95	20		22		0 t	0 t	20
	1,5	3,0	65	95	20		26		0 t	0 t	20
H 12	0,2	0,5	85	125	65		2		0,5 t	0 t	28
	0,5	1,5	85	125	65		4		0,5 t	0 t	28
	1,5	3,0	85	125	65		5		0,5 t	0,5 t	28
H 14	0,2	0,5	105	145	85		2		1 t	0 t	34
	0,5	1,5	105	145	85		2		1 t	0,5 t	34
	1,5	3,0	105	145	85		4		1 t	1 t	34
H 16	0,2	0,5	120	160	100		1			0,5 t	39
	0,5	1,5	120	160	100		2			1 t	39
	1,5	4,0	120	160	100		3			1,5 t	39
H 18	0,2	0,5	135		120		1			1 t	42
	0,5	1,5	140		120		2			2 t	42
	1,5	3,0	140		120		2			3 t	42
H19	0,2	0,5	155		140		1				45
	0,5	1,5	150		130		1				45
	1,5	3,0	150		130		1				45
H 22	0,2	0,5	85	125	55		4		0,5 t	0 t	27
	0,5	1,5	85	125	55		5		0,5 t	0 t	27
	1,5	3,0	85	125	55		6		0,5 t	0,5 t	27
H 24	0,2	0,5	105	145	75		3		1 t	0 t	33
	0,5	1,5	105	145	75		4		1 t	0,5 t	33
	1,5	3,0	105	145	75		5		1 t	1 t	33
H 26	0,2	0,5	120	160	90		2			0,5 t	38
	0,5	1,5	120	160	90		3			1 t	38
	1,5	4,0	120	160	90		4			1,5 t	38
H 28	0,2	0,5	140		110		2			1 t	41
	0,5	1,5	140		110		2			2 t	41
	1,5	3,0	140		110		3			3 t	41

Ek-4: TS EN 485-2 standarttı.

EN AW-3105 [AlMn0.5 Mg0.5]

Temper	Belirtilen Kalınlık (mm)		Çekme M. Rm		Akma M. Rp0.2		Uzama		Eğme Yarıçapı		Sertlik
	den çok	' e	(MPa)		(MPa)		%		180	90	
		kadar	min.	maks.	min.	maks.	A 50mm	A			
F	2,5	80,0	100								
O / H111	0,2	0,5	100	155	40		14		0 t		29
	0,5	1,5	100	155	40		15		0 t		29
	1,5	3,0	100	155	40		17		0,5 t		29
H 12	0,2	0,5	130	180	105		3		1,5 t		41
	0,5	1,5	130	180	105		4		1,5 t		41
	1,5	3,0	130	180	105		4		1,5 t		41
H 14	0,2	0,5	150	200	130		2		2,5 t		48
	0,5	1,5	150	200	130		2		2,5 t		48
	1,5	3,0	150	200	130		2		2,5 t		48
H 16	0,2	0,5	175	225	160		1				56
	0,5	1,5	175	225	160		2				56
	1,5	3,0	175	225	160		2				56
H 18	0,2	0,5	195		180		1				62
	0,5	1,5	195		180		1				62
	1,5	3,0	195		180		1				62
H19	0,2	0,5	215		190		1				67
	0,5	1,5	215		190		1				67
H 22	0,2	0,5	130	180	105		6				41
	0,5	1,5	130	180	105		6				41
	1,5	3,0	130	180	105		7				41
H 24	0,2	0,5	130	200	120		4		2,5 t		47
	0,5	1,5	150	200	120		4		2,5 t		47
	1,5	3,0	150	200	120		5		2,5 t		47
H 26	0,2	0,5	175	225	150		3				55
	0,5	1,5	175	225	150		3				55
	1,5	3,0	175	225	150		3				55
H28	0,2	0,5	195		170		2				61
	0,5	1,5	195		170		2				61

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Konya’da doğmuştur. Dumlupınar Üniversitesi Malzeme Bilimi Mühendisliğinde 2014 yılında Lisans eğitimini tamamladı. 4 yıldır özel sektörde çalışmaktadır. Sürekli öğrenmeye ve kendini geliştirmeye açıktır. Tasarım, kalite ve ar-ge departmanlarında görev almıştır. Tasarım programları, kalite sistemleri ve üretim süreçleri üzerine birçok eğitimler almış ve deneyimler kazanmıştır. Ür-ge ve Ar-ge merkezleri çalışmaktan en çok keyif aldığı birimlerdir. İkinci üniversite olarak Sosyal Hizmetler bölümünü tamamlamıştır. Girişimci, aktif ve akademik kariyer hedefleri olan biridir.

