

**1050 ALÜMİNYUM ALAŞIM VE H00 KONDİSYONDA
FARKLI SİLİSYUM ORANLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl KAYA

DANIŞMAN

Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**1050 ALÜMİNYUM ALAŞIM VE H00 KONDİSYONDA FARKLI
SİLİSYUM ORANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİLERİ**

Anıl KAYA

DANIŞMAN

Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Anıl KAYA tarafından hazırlanan "1050 Alüminyum Alaşım ve H00 Kondisyonunda Farklı Silisyum Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkileri" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr.Mustafa Serhat BAŞPINAR

Başkan : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ
A.K.Ü Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. M.Serhat BAŞPINAR
A.K.Ü Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rıza KARA
Uşak Üniversitesi Tek.Bil.MYO

İmza

.....
T. Talas

.....
Serhat

.....
R. Kara

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. İbrahim Erol

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede ve başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

24/07/2019

Anıl KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

1050 ALÜMİNYUM ALAŞIM H00 KONDİSYONDA FARKLI SİLİSYUM ORANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Anıl KAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

Bu araştırmada, ikiz merdane döküm yöntemi ile üretilen AA1050 alaşımının sürekli dökümünde silisyum oranındaki değişimlerin alüminyum levhaların, mekanik özelliklerine olan etkiler incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı; işletme şartlarında üretilen AA1050 alüminyum alaşımlarının döküm ve H00 tavı sonrası elde edilen mekanik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bu amaçla AA1050 alaşımında silisyum elementi ele alınmış ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça farklı oranlarda silisyum ile alaşımlandırılarak dökülen 6 mm kalınlığındaki levhalar haddeleme hattında 2.90 mm kalınlığına getirildikten sonra homojenizasyon tavı uygulanmıştır. Homojenizasyon tavı sonrası belirli numuneler belirli ezme oranları ile 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlığa haddelenerek nihai kalınlıklara getirilmiş ve H00 şartlarında tavlanarak alüminyum levha örnekleri haline getirilmiştir. Farklı silisyum içeriklerinin özellikle mekanik özellik, tane boyutu ve numune içyapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca döküm sonrası levha ve H00 tavı sonrası levhaların sertlik değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır.

2019, xv + 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Alaşım, Silisyum, Mekanik Özellikler, Kalite Kontrol

ABSTRACT
M.Sc Thesis

THE EFFECTS OF DIFFERENT SILICON RATES ON MECHANICAL
PROPERTIES IN 1050 ALUMINUM ALLOY H00 CONDITION

Anıl KAYA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Metallurgical And Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. M. Serhat Başpınar

In this research, the effects of silicon ration changes in the continuous casting of AA1050 alloy produced by twin roll casting method on the mechanical properties of aluminum sheets were investigated.

The aim of this study is; is to improve the mechanical properties of AA1050 aluminum alloys which are produced under operating conditions after the casting and H00 annealing. For this purpose, it is aimed to observe the effects of the change in the amount of alloy elements which contribute to the strength of AA1050 alloy. The silicon element has been studied and its effect on mechanical properties has been investigated. The 6 mm thick plates, which were poured by using different rations of silicon in weight, were applied with a rust rolling and 2.90 mm thick homogenization annealing. After homogenization annealing, certain samples were rolled to the final thicknesses of 0.32, 0.41 and 0.59 mm with specific crushing rates and turned into aluminum plate samples by annealing at H00 conditions. The effects of different silicon contents on mechanical properties, grain size and sample internal structure were investigated. In addition, the hardness values of the slab and H00 annealing plates were measured and compared. 6 mm thick sheets, which have been used in different proportions by using silicon, were turned into final thicknesses of 0.32, 0.41 and 0.59 mm by rolling and turned into aluminum plate samples by annealing under H00 conditions. The effects of different

silicon contents on the mechanical properties and particle size, the internal structure of the sample were examined and the hardness values of the post-cast and H00 annealed plates were measured.

2019, xv + 83 page

Keywords: Aluminum, Alloy, Silicon, Mechanical Properties, Quality Control

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminde, araştırma ve deneysel çalışma aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR' a teşekkür eder, saygı ve Őükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışma aşamasında yardımları bulunan ve destekleri bulunan VİG Metal Sanayi A.Ő Kalite Kontrol birimi ekibine çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sabırla ve hiçbir karşılık beklemeden, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok sevgili ailem ve hayat arkadaşım İlayda TURAN'a sonsuz kez teşekkür ederim.

Anıl KAYA

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Alüminyum Tarihçesi ve Dünyada Alüminyum	3
2.2 Genel Özellikler.....	4
2.3 Alüminyum ve Alaşımları	5
2.3.1 AA1XX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	7
2.4 İsimlendime Kriterleri ve Standartları.....	8
2.5 Alüminyum ve Alaşımlarının Kondisyon Tanımları.....	10
2.5.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Temel Kondisyon Tanımları.....	11
2.6. Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	13
2.6.1 Silisyumun Alüminyum Üzerine Etkisi.....	14
2.7. Alüminyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	15
2.8 Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler.....	18
2.8.1 Tavlama	19
2.8.2 Yeniden Kristalleşme Tavı	20
2.8.3 Homojenizasyon	21
2.9 Alüminyum Üretim Yöntemleri	22
2.9.1 Sürekli Döküm Tekniği İle Alüminyum Sac ve Levha Üretimi.....	23
2.9.1.2 Döküm Parametreleri.....	28
2.10 Alüminyum Alaşımlarında Deformasyon, Yeniden Kristalleşme ve Toparlanma	31
2.10.1 Deformasyon Sertleşmesi	32
2.10.2 Toparlanma	33
2.10.3 Yeniden Kristalleşme	34

3. MATERYAL VE METOT	37
3.1 Deney Malzemeleri.....	38
3.2 Alüminyum Sürekli Döküm İşlemi İle Numune Üretimi.....	38
3.3 Soğuk Haddelme İşlemi.....	39
3.4 Homojen ve H00 Tavlama İşlemi.....	41
3.5 Kimyasal Analiz Yöntemi	42
3.6 Mikrosertlik Ölçüm Yöntemi	44
3.7 Mekanik Özelliklerin Tespiti.....	45
3.8 Soğuk Deformasyon Sonrası Elde Edilen Mekanik Özellikler	47
3.9 Optik Mikroskop İncelemeleri.....	47
3.10 Tane Boyutu İncelemeleri	51
4. BULGULAR.....	52
4.1 Döküm ve H00 Tavı Sonrası Sertlik Ölçümleri	52
4.2 AA1050 Alaşım Mekanik Özellik Standartları ve Çekme Diyagramları	54
4.3 Kimyasal Analiz Standartları ve Elde Edilen Analiz Sonuçları	64
4.4 Mikroyapı İncelemeleri	66
4.5 Tane Boyut Analizleri	71
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	75
6. KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

e	% Mühendislik Uzaması
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
Mn	Manganez
MPa	Mega Paskal
N	Newton
Si	Silisyum
μ	Mikron
σ_a	Akma Dayanımı
σ_{φ}	Çekme Dayanımı

Kısaltmalar

AA	Amerikan Alüminyum Birliği
AECMA	Avrupa Uçak Malzemeleri Üreticileri Birliği
AFNOR	Fransa Standart Komitesi
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
CSA	Kanada Standartlar Enstitüsü
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
GOST	Rusya Standartlar Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği
TRC	İkiz Merdane Döküm Teknolojisi
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Alüminyumun çeşitli elementler ile kombinasyon yapılan alaşımlarının şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.2 AA'nın işlem alaşımları için isimlendirme kriterleri	9
Şekil 2.3 Alüminyum-Silisyum denge diyagramı	15
Şekil 2.4 Deformasyona bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme	19
Şekil 2.5 Birinci alüminyum üretimi	22
Şekil 2.6 Elektrolitik alüminyum fırını	23
Şekil 2.7 İkiz merdane sürekli döküm makinası çalışma şeması	24
Şekil 2.8 Döner tip parçacık gaz giderme sistemi	25
Şekil 2.9 İkiz merdane sürekli döküm makinesi	26
Şekil 2.10 TRC sırasında katılaşma sürecinin şematik gösterimi	27
Şekil 2.11 Baş kutu metal seviyesinin besleme ucu ile merdaneler arasındaki metal akışına etkisinin şematik görüntüsü.....	29
Şekil 2.12 Döküm merdaneleri ve besleme sisteminin şematik görüntüsü	30
Şekil 2.13 Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişimin grafiksel gösterimi	34
Şekil 2.14 Toparlanma ve yeniden kristalleşmenin tane yapısına etkilerinin şematik gösterimi	35
Şekil 2.15 Tanelerin tav sırasında toparlanma, rekristalizasyon ve tane büyümesi hallerinin şematik gösterimi	36
Şekil 3.1 Deney Akım Şeması.....	37
Şekil 4.1 0.32 mm kalınlıkta %0.076 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	55
Şekil 4.2 0.32 mm kalınlıkta %0.131 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	55
Şekil 4.3 0.41 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	56

Şekil 4.4	0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	56
Şekil 4.5	0.59 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	57
Şekil 4.6	0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı	59
Şekil 4.7	0.32 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı	60
Şekil 4.8	0.41 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı	60
Şekil 4.9	0.59 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı	61
Şekil 4.10	Farklı kalınlıklı deney numunelerinin en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre çekme dayanımındaki değişimin grafiksel gösterimi	62
Şekil 4.11	Farklı kalınlıklı deney numunelerinin en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre akma dayanımındaki değişimin grafiksel gösterimi	63
Şekil 4.12	Farklı kalınlıklı deney numunelerinin en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre yüzde uzama değerindeki değişimin grafiksel gösterimi	63
Şekil 4.13	Farklı kalınlıklı deney numunelerinin en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre % uzama miktarındaki değişimin grafiksel gösterimi	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Alüminyum elementinin genel özellikleri.....	4
Çizelge 2.2 Döküm alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi	6
Çizelge 2.3 Alüminyum alaşımlarının önemli kullanım yerleri	17
Çizelge 2.4 Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen bazı alüminyum alaşımları.....	27
Çizelge 2.5 Toparlanma ile yeniden kristalleşmenin kıyaslanması.....	33
Çizelge 3.1 0.32 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları... ..	40
Çizelge 3.2 0.41 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları... ..	40
Çizelge 3.3 0.59 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları... ..	40
Çizelge 4.1 0.32 mm kalınlıkta % 0.131 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavı sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları... ..	52
Çizelge 4.2 0.41 mm kalınlıkta % 0.155 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavı sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları... ..	53
Çizelge 4.3 0.59 mm kalınlıkta % 0.134 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavı sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları... ..	53
Çizelge 4.4 Deney numunelerinin dökümü öncesi ortalama silisyum değeri % 0.091 olan son 5 dökümün ortalama sertlik değerleri... ..	54
Çizelge 4.5 AA1050 alaşım ve H00 kondisyon mekanik özellik standartları.....	54
Çizelge 4.6 Farklı kalınlıklarda ve farklı silisyum oranlarında uygulanan çekme deneyi neticesinde elde edilen mekanik özellikler... ..	58
Çizelge 4.7 Numunelerin kalınlıklarda farklı silisyum oranlarına göre mekanik özelliklerindeki değişim... ..	58

Çizelge 4.8 Numunelerin 2.90 mm kalınlıkta homojen tava girmeden önceki mekanik değerleri.....	61
Çizelge 4.9 AA1050 alüminyum alaşımlarının TSE kimyasal bileşim standartları.....	64
Çizelge 4.10 0.32 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi	65
Çizelge 4.11 0.41 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi	65
Çizelge 4.12 0.59 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi.....	65
Çizelge 4.13 Farklı kalınlık ve ağırlıkça farklı silisyum oranlarında döküm ve H00 tavı sonrası tane boyutları.....	74

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Kenar çatlakları.....	28
Resim 2.2 Gaz boşluğu	28
Resim 3.1 Soğuk haddeleme hattı.....	39
Resim 3.2 Homojen ve H00 tavlari için kullanılan tav fırınları.....	41
Resim 3.3 Kimyasal Analizde Kullanılan Spektrometre.....	42
Resim 3.4 Kimyasal Analiz Numunesi	43
Resim 3.5 Spektrometrede Analiz İşlemi.....	43
Resim 3.6 Alaşımlandırılmada Kullanılan Ferro Silis (%75 Si)	44
Resim 3.7 EMCO Sertlik Cihazı.....	45
Resim 3.8 Sertlik ölçüm örneği.....	45
Resim 3.9 INSTRON 3369 Marka Çekme Cihazı (50 kN).....	46
Resim 3.10 Çekme numunesi ölçüleri	46
Resim 3.11 Bakalite alma cihazı.....	48
Resim 3.12 Numunelerin bakalite alınmadan önceki hali	48
Resim 3.13 Numunelerin bakalite alındıktan sonraki hali	49
Resim 3.14 Zımparalama cihazı.....	49
Resim 3.15 Elektrolitik dağlama cihazı	50
Resim 3.16 Mikroyapısal analizde kullanılan optik mikroskop.....	51
Resim 4.1 6 mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü	66
Resim 4.2 0.32 mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren H00 tavlannmış numunelerin 100x büyütmdeki görüntüsü	66
Resim 4.3 6 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x	

	büyütmedeki görüntüsü	66
Resim 4.4	6 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren döküm numunelerinin 200x büyütmedeki görüntüsü	66
Resim 4.5	0.32 mm kalınlıkta %0,131 Silisyum içeren H00 tavllanmış numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü	67
Resim 4.6	0.32 mm kalınlıkta %0,131 Silisyum içeren H00 tavllanmış numunelerin 200x büyütmedeki görüntüsü	67
Resim 4.7	6 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü	67
Resim 4.8	0.41 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren H00 tavlı numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü	67
Resim 4.9	6 mm kalınlıkta %0,155 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü	68
Resim 4.10	6 mm kalınlıkta %0,155 silisyum içeren döküm numunenin 200x büyütmedeki görüntüsü	68
Resim 4.11	0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü	68
Resim 4.12	0.41 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren H00 tavlı numunelerin 200x büyütmedeki görüntüsü	68
Resim 4.13	0.59 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü	69
Resim 4.14	0.59 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü	69
Resim 4.15	6 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü	69

Resim 4.16 6mm kalınlıkta % 0.134 silisyum içeren döküm numunenin 200x büyütmedeki görüntüsü	69
Resim 4.17 0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren H00 tavllanmış numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü	70
Resim 4.18 0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 200x büyütmedeki görüntüsü	70
Resim 4.19 6 mm kalınlıkta %0.076 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	71
Resim 4.20 0.32 mm kalınlıkta %0.076 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	71
Resim 4.21 6 mm kalınlıkta %0.131 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	71
Resim 4.22 0.32 mm kalınlıkta %0.131 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	71
Resim 4.23 6 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	72
Resim 4.24 0.41 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	72
Resim 4.25 6 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	72
Resim 4.26 0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	72
Resim 4.27 6 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren döküm numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.....	73
Resim 4.28 0.59 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x	

büyütmedeki tane boyut analizi.....	73
Resim 4.29 6 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren döküm numunenin 100x	
büyütmedeki tane boyut analizi.....	73
Resim 4.30 0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x	
büyütmedeki tane boyut analizi.....	73

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımlarında yer alan malzemelerin özellikleri ve bu malzemelerin çok başka uygulama alanlarında aranılan ürünler olması ile sıkça kullanılan bir metaldir. Malzemenin özelliklerinden ziyade ham maddesinin sık bulunuyor olması, üretim prosesinin sürekli gelişmesi ve kolay olması , üretim maliyetinin düşük olması sıklıkla kullanılmasının diğer sebepleridir.

1800'lü yıllardan günümüze sektörde kullanılan alüminyum metali; hafifliği, korozif dayanıklılığı ve ısı işlem uygulaması neticesinde yüksek mekanik değerler göstermesi nedeniyle; otomotiv, inşaat, havacılık ve uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılan metallerdendir (TMMOB 1976). Alüminyumun eski yıllarda bileşiklerinden ayrılması ve kullanılması çok maliyetli olduğu için; üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi ile bugün demir dışında kullanılan metallerin arasında üretimi en çok yapılan ve en fazla ihtiyaç duyulan metal haline gelmiştir (Robert and Sanders 2001).

Daha önce yapılan çalışmalarda (Milind and Pradeep 2013, Vipin vd. 2015) silisyum elementinin mekanik özelliklere etkisi konusu kum kalıba döküm yönteminde kullanılmıştır. Bu etki sürekli döküm yönteminde daha önce uygulanmamış ve çalışmalarda AA1050 alüminyum alaşımında değil, genel alaşımlara uygulanmıştır. Bu yöntem işletme şartlarına uygun bir şekilde, proses düzenini bozmadan, işletme ve kalite standartlarına uygun bir şekilde yapılmıştır. Deneyde kullanılan tüm parametreler üretilen malzemenin standart prosesindeki parametreler olup (Döküm sıcaklığı, döküm hızı, tav sıcaklığı, süresi, hadde ezme oranları, hadde hızı vs.) bu parametreler değiştirilmemiştir. Sadece silisyum oranı değiştirilerek çalışma sonuçlandırılmıştır.

İkiz merdane döküm (Twin Roll Casting) yöntemi sıvı metalden 0,5 – 10" mm kalınlığında alüminyum rulo üretimini sağlayan bir döküm yöntemidir. İkiz merdane döküm makinalarında rulonun kalınlığı genellikle 6 mm olur ve dar katılma aralığına sahip döküm alaşımları için uygun bir yöntemdir.

Bu çalışmanın amacı, ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilmiş AA1050 alaşım serisinin sürekli döküm yönteminde sıvı metal içerisinde bulunan elementlerden olan silisyum elementinin farklı oranlarda kullanılarak mekanik özelliklere etkisinin incelenmesidir. Bu çalışmada sektörde kullanılacak ve derin çekme prosesi uygulanacak malzemenin mekanik özelliklerin artırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle işletme şartlarında, derin çekme istenilen malzemelere uygulanan homojenizasyon tavlama numunelere uygulanmıştır. Genel olarak, bu tür malzemelerde uygulanan homojenizasyon tavlama ve H00 tavlama uygulamasının sıcaklığı ve proses süresinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Numunelerin mekanik özelliklerinin silisyum ve diğer alaşım elementleri vasıtasıyla artırılması hedeflenmiştir. Bu proses uygulanırken prosesin içeriğindeki alaşım standartları bozulmamış ve silisyum elementi miktarı 1XXX serisi alaşım standartlarına uygun şekilde en yüksek ve en düşük değerler göz önünde bulundurularak değiştirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Alüminyum Tarihçesi ve Dünyada Alüminyum

Alüminyumu diğer metallere göre öne çıkaran en önemli genel özellikleri; hafifliği, çeşitli metallere alaşım oluşturulduğunda yüksek mukavemet göstermesi, tekrar kullanılabilir olması, yüksek düzeyde gösterdiği korozyon direnci, kolay şekil alması, dövülebilir olması, işlenebilir olması, yüksek ısı ve elektrik iletkenlik özelliği ile ışık ve ısı yansıtma özelliğidir (TMMOB 2004).

Yer kabuğunda %8 oranında en fazla bulunan elementlerden olan alüminyum, doğada bileşikler halinde bulunur. Bu nedenle keşfedilmesi 1800'lü yıllarda, endüstride üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin uygulanması ile başlamıştır. Alüminyumu oksit şeklinde bulunan bileşiminden ilk ayırarak ve saf alüminyum elde eden kişi, 1807 yılında Sir Humphrey Davy'dir. Daha sonra Hans Christian Oersted, Frederick Wöhler ve Henri Sainte-Claire Deville alüminyumun saf olarak üretilmesinde sektöre yenilikler getirmişlerdir (Davis 1993, Özakin 2014).

Alüminyum bileşiklerinden, saf alüminyumun elde edilmesi çok zor bir işlemdir. 1825 yılında Danimarkalı bilim insanı H. C. Oersted tarafından alüminyumu bileşenlerinden ayırtmak için metalik potasyumu kullanana kadar dünyada alüminyum üretimi hiç yapılamamıştır. Bu nedenle o yıllarda alüminyum metali, altından daha yüksek bir maliyete ve değere sahip olmuştur (Higgins 2006).

Alüminyumun elde edilmesinde kullanılan cevherler, genel olarak boksit adıyla bilinirler. Cevherin içindeki diğer maddelerden alüminyum oksidi saf şekilde eldesi için bilinen ve uygulanan en klasik metot ilk olarak 1899 yılında geliştirilen Bayer metodudur. Bu metot da orijinal şekliyle veya kısmi değişiklikler ile dünyanın her yerinde alüminyum üretiminde uygulanmaktadır.

Bayer metodu ile eldesi yapılan saf alüminyum oksit, elektrik fırınlarında oksit kısmı ayrıştırılarak metal olan saf alüminyuma dönüştürülmektedir (Cankut 1976). Türkiye'de birincil alüminyum üretimi ilk kez 1974 yılında Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde başlanmıştır.

2.2 Genel Özellikler

Bir çok alanda kendisine kullanım alanı bulan alüminyum elementinin genel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Alüminyum elementinin genel özellikleri.

Sembol	Atom No	Yoğunluk	Ergime Sıcaklığı	Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Elastiklik Modülü
Al	13	2,6978 g/cm ³	660 °C	250-300 °C	61782 N / mm ²

Buradaki verilen özellikler %99,996 saflıktaki alüminyum için geçerlidir. Bu genel özellikler, içerikteki alaşım elementleri ve bunların oranına göre değişiklik göstermektedir.

- a) Hafiflik
- b) Yüksek mukavemet-kütle oranı
- c) Mükemmel işlenebilme özelliği
- d) Yüksek termal ve elektriksel iletkenlik
- e) Yüksek derecede korozyon direnci
- f) Yüksek yansıtma özelliği
- g) Ani yüklemelere karşı yüksek elastiklik
- h) Düşük sıcaklıkta tokluk

Alüminyum metaline ait olan bu özellikler hadde, ekstrüzyon ve döküm uygulamalarında alüminyumun kullanılmasının sebebinin oluşturur (TALSAD 1995).

2.3 Alüminyum ve Alaşımları

Saf halde bulunan alüminyum yumuşak, sünek ve elastik özelliktedir. Mukavemeti iyileştirilmek istendiğinde ise alüminyum başka elementlerle alaşımlandırılır. Birçok element alüminyum ile alaşımlandırılabilir. Bunların bir kısmı ticari olarak kullanılan elementlerdir. Alüminyumun düşük mukavemet değerleri, alaşımlandırma yapılarak oldukça yükseltilebilmektedir.

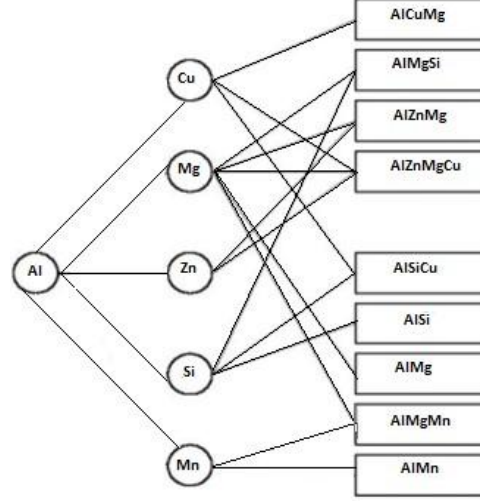
Alüminyum alaşımları farklı prosesler ile kolay şekilde elde edilebilen ve daha düşük işlenebilirlik özelliğine sahip malzemelerdir (Davis 2001). Alüminyum alaşımlarında kullanılan en önemli elementler Cu, Mg, Si, Mn ve Zn dir. Diğer alaşım elementleri Ni, Co, Cr, Fe, Pb ve Ti'dir (Totten *et al.* 2003).

Bakır; alüminyumun sertliğini ve mukavemetini artırırken, magnezyum ilavesi malzemenin şekillendirilebilme ve işlenebilme kabiliyetini iyileştirir. Ayrıca iyi bir korozyon direnci ve süneklik elde edilir. Silisyum ilavesi ile ergiyik alüminyumun akışkanlığı artar ve korozyon, aşınma direnci, kaynak edilebilme özelliklerinde iyileşme sağlar. Çinko ise alüminyum alaşımlarına yüksek mekanik dayanım kazandırmak için ilave edilen ve havacılık-uzay endüstrilerinde kullanılan 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının temel alaşım elementidir. Ayrıca sıcak yırtılmayı tetiklese de bakır ilavesi bu etkiyi azaltmaktadır (Rogers and Anderson 1985).

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında Amerikan Alüminyum Birliği (Aluminum Association - AA) sistemi standartlarda kabul edilmektedir. Bu sınıflandırmada, alüminyum alaşımları genel olarak dövme ve döküm alüminyum alaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır.

Döküm alaşımları ile işlem alaşımları arasındaki en bilinen farklılık; döküm alaşımları, alüminyum döküm parçalarının üretiminde kullanılır. İşlem alaşımları ise haddeleme, ekstrüzyon, dövme şekillendirme, derin çekme vb. plastiklik gösteren işlemler için uygun alaşımlardır (Consera *et al.* 1992, Hatch 1984, Singh 2000). Şekil 2.1'de alüminyumun

alaşımının kombinasyonu şematik olarak gösterilmiştir. (ASM 1991). Çizelge 2.2’de ise döküm alaşımlarının sınıflandırma sistem özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Alüminyumun çeşitli elementler ile yaptığı alaşımlarının şematik gösterimi (Conserva and Donzelli 1992).

Çizelge 2.2 Döküm alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi (ASM 1991).

Döküm Alaşımları	Ana Alaşım Elementi	Isıl İşlem Yapılabilir
1XXX	Ticari Saflıkta Alüminyum	Hayır
2XXX	Al-Cu	Evet
3XXX	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Bazıları
4XXX	Al-Si	Hayır
5XXX	Al-Mg	Hayır
7XXX	Al-Mg-Zn	Evet
8XXX	Kullanılmamış seri	Evet

2.3.1 AA1XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

1XXX serisi alaşımlar genel olarak saf alaşımlar ve diğerleri (1050 ve 1200 gibi) olarak 2 gruba ayrılır. Saf alaşımlar (1199,1198) rafine derecesi % 99.90 ve 99.999 olan alaşımlardır. Bu alaşımların rafine dereceleri endüstride kullanım alanlarına göre değişmektedir.

AA1050 alüminyum alaşımları ise içerisinde %99.50 oranında alüminyum ihtiva eden, ve sektörde en çok kullanılan alaşımlardır. Mekanik ve plastik deformasyon özellikleriyle dekoratif uygulamalarda da çok kullanılan alaşımdır. Çok geniş uygulama alanlarıyla paketleme, inşaat, levha, ısı kalkanı, elektrik iletkenliği gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. AA1050 alaşımı paketleme ve mutfak eşyası uygulamasında plastik şekil alma özelliği sayesinde yerini bulmaktadır (Vargel 2004).

1XXX serisi diğer serilerle karşılaştırıldığında, içeriğinde çok az çözünen alaşım elementi bulundurduğundan mukavemeti çok düşüktür. Dislokasyonların hareketine karşı halde bulunan çok az engel içerdiğinden kolay olarak plastik deformasyon gerçekleşir. Bu da 1XXX serisinin kolay şekillendirme kabiliyetinin olmasını sağlar. Korozif koşullarda direnci yüksektir. Alaşımdaki katkı elementlerinin kompozisyonu arttıkça korozyon direnci de buna paralel olarak düşmektedir. Demir, silisyum ve bakır elementleri bu alaşım içerisinde yüksek bir yüzde içinde yer almaktadır. 1XXX serisinde bulunan bütün empüriteler korozyon direncine olumsuz yönde etkide bulunmaz. Elementler bazı alaşımların korozyon direncini düşürürken, diğerlerine karşı etkisi yoktur. Isı ve termal iletkenliği çok iyidir. 1XXX serisindeki %1'den az demir ve silisyum içeriği rafine halde bulunan alüminyuma göre mukavemeti sağlamaktadır.

Yüksek yansıtma yüzeyleri olumlu yönde etkide bulunarak dekoratif uygulamalar için ideal alaşım sınıfı haline getirir. Yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri ile, ısı kalkanı ve elektronik uygulamaları için en çok kullanılan alaşımlardır. Bu üstün özellikleri ile 1XXX serisi; ambalaj, elektrik-elektronik araç, ısıtma ekipman ve malzemelerinde sıkça kullanılmaktadır (Smith 2001).

2.4 İsimlendirme Kriterleri ve Standartları

Alüminyum malzemeleri standart olarak iki gruba ayrılırlar:

- 1) Döküm alaşımları: Döküm parçalarının üretimi için kullanılır.
- 2) Dövme alaşımları: Hadde, ekstrüzyon ve dövme ürünleri üretimi için kullanılır.

Alüminyum alaşımlarının içeriklerinin tanımlanması için iki adet standart isimlendirme kriterleri vardır. Bu kriterlerden biri veya diğeri standartlarda kullanılmaktadır:

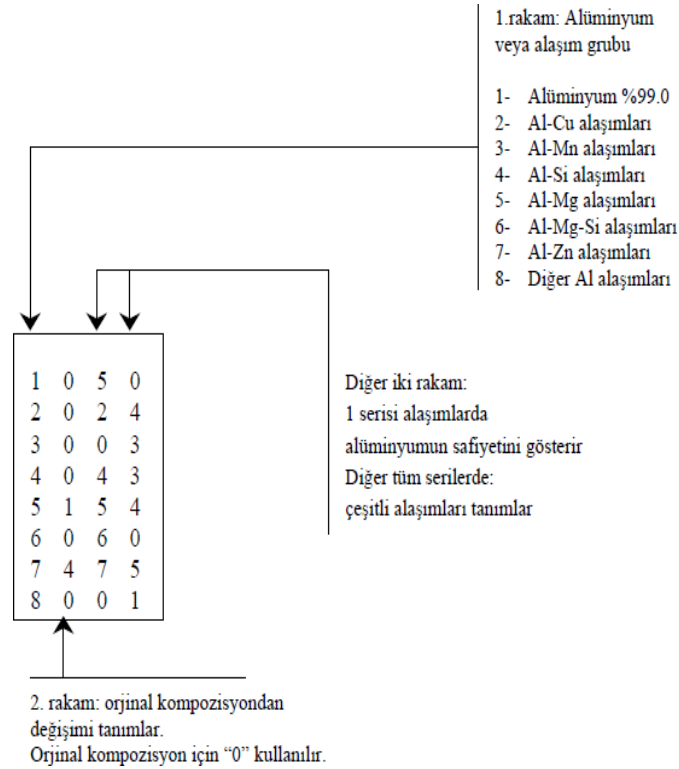
- a) Numerik sınıflandırma
- b) Alfa numerik sınıflandırma

Numerik sınıflandırmaya göre alaşım içerikleri anlamlı bir şekilde düzenlenmiş rakamlar ile tanımlanmaktadır. En bilinen kodlama sistemleri olan; Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) tarafından adapte edilen Amerikan Alüminyum Birliği (AA), İngiliz Standart Enstitüsü (BSI) ve Alman Standart Enstitüsü (DIN) bu özellikteki metoda göre sınıflandırmışlardır (Conserva *et al.* 1992).

Alfa numerik sistem ise her alaşım içeriği, harf grupları ve rakamlardan oluşturulan ve ikiye bölünmüş kod yazım şekli ile tanımlanır. İlk harf ana metali gösterir (Alüminyum metali ise bu harf A veya kimyasal sembolü Al veya AL) genel olarak bir sonraki alaşım çeşidini (döküm veya işlem alaşımı) gösterir. Harf grubunu arkadan takip eden ikinci grup ana alaşım elementini ve alaşımın içindeki kompozisyonunu gösterir. En çok kullanılan Avrupa standartlarında (Alman DIN, Fransız AFNOR, İtalyan UNI, İsviçre VSM) genel olarak bu alfa numerik kod gösterimini kullanılır. ISO (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu) ve AECMA (Avrupa Uçak Malzemeleri Üreticileri Birliği) de bu gösterimi kullanmaktadır.

Malzemelere yapılan ısısal işlemleri ve metalurjik durumunun tayin edilmesinde hala pek çok kodlama yöntemi kullanılmaktadır. Bunun ile birlikte, bugün oluşan gelişmeler belirsiz seri numaralar ve başlıca ısısal işlem proseslerinin kısaltmalarını kullanan tarif etme metotlarını bırakma, harflerin ve rakamların muayyen kombinasyonlarını içinde barındıran yöntemlerin yararına gelişmektedir (Conserva *et al.* 1992). Günümüzde önemli sanayileşmiş ülkeler Amerikan Alüminyum Birliği aracılığıyla geliştirilmiş; basit, uluslararası dört rakamlı basit gösterim yöntemini kullanmayı kabullenmişlerdir.

Bu yöntem rakamlar ile kurulu bulunan bir sistemdir. Bu nedenle numerik isimlendirme yöntemi olarak bilinir. Şekil 2.2’de bu yöntemin kodlama ilkeleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2 AA işlem alaşımları için isimlendirme kriteri (Conserva *et al.* 1992).

TS: Türk Standartları

DIN: Alman Standartları

AA: Amerikan Alüminyum Birliği

CSA: Kanada Standartları

ASTM: Amerikan Malzeme Muayenesi ve Malzeme Kurumu

ISO: Uluslararası Standartlar Birliği

GOST: Rus Standartları

SAE: Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği

Son yıllarda Amerikan Alüminyum Birliğinin oluşturduğu gösterim sistemi en sıklıkla kullanılmaya başlanan isimlendirme yöntemidir. Bu yöntem, nümerik sınıflandırma temeline dayanmaktadır.

2.5 Alüminyum ve Alaşımının Kondisyon Tanımları

Herhangi bir alaşımın fiziksel özelliklerini eksiksiz olarak tarif etmek için çeşitli temperleri (kondisyon) ve temper kodları oldukça önem arz etmektedir. Eksiksiz bir tanım için, uygulanan üretim aşamaları ve pratiklerini anlatan temper tanımları kullanılmaktadır. Bu temper anlatma sistemi hem dövülebilen alaşımalar hem de döküm alaşımalarında kullanılmaktadır.

Genel olarak bilinen temperler harf gösterimiyle tanımlanır. Eksiksiz bir tanım için harflerle beraber bir veya daha fazla rakam gösterimi de kullanılmaktadır. Bu rakamlar, ürün

kalitesine tesir eden kompleks temel hareket akışını göstermekte kullanılır (Hatch 1984, Singh 2000).

2.5.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Temel Kondisyon Tanımları

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler farklı yöntemlerde uygulanabilir ve uygulanan işlem TX simgesi ile alaşım numarasının bitişiğine yazılır. Bu yöntemler şu şekilde anlatılmaktadır:

O: Tavlanmış

F: Üretildiği gibi

H: Sertleştirilmiş

F: Malzemenin üretiminin yapıldığı kondisyonda olduğunu göstermektedir. Bu kodlamada malzemenin olası herhangi bir kondisyon durumunu bulmak amacıyla ısıl durumunun kontrol edilmediği, yalnızca şekillendirme ve imalat işlemlerinin uygulandığını belirtilir. F malzemenin sertlik, çekme ve akma mukavemeti, yüzey sertliği vb. özelliklerini göstermez.

O: Dövme alaşımlarının tam olarak yeniden kristalleştirildiğini ve mukavemetinin belli seviyelere indirildiği anlamına gelir. Gerçekleştirilen yöntemlerin sonucunda malzemenin % uzama özelliği, buna paralel olarak şekillendirilmesinde artış sağlanır. Bu özelliği, malzemelerin bilhassa derin çekme işlemi için uygun bir duruma erişmelerini sağlar. Bu gösterim dövme alaşımlarından başka, dökme alüminyum ve dökme alüminyum alaşımlarına da uygulanmaktadır.

H: Yalnızca deformasyonla sertleştirilebilen işlem alaşımlarında kullanılır. Deformasyon sertleşmesini elde eden işlem kondüsyonunda değişiklik yapmak amacıyla ardından bir ısıl işlem aşaması da içerebilmektedir. H gösteriminin sonunda her zaman iki veya daha fazla rakam bulunmaktadır.

H kondüsyonunun ilk rakamı: “H” temper gösterimi aşağıda buluna şekilde üç farklı grup ve temperi belirtir.

1. Yalnızca deformasyon sertleşmesi, H1
2. Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış, H2
3. Deformasyonla sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş, H3

H1 gösterimi deformasyon sertleşmesine maruz bırakılmış malzemeye başka bir işlem uygulanmadığını göstermektedir. Deformasyon ile sertleştirilmiş malzeme yarı yumuşatmak amacıyla tabii tutulmuş (H2) olabilir. H2 temperi olarak bilinen kondüsyonu, muadili olan H1 temperiyle aynı çekme mukavemetine sahip olmasına rağmen daha fazla yüzde uzamaya sahiptir. Deformasyonla sertleştirilmiş ve sonrasında düşük sıcaklıkta stabilizasyon işlemine maruz bırakılmış ürünler için H3 gösterimi kullanılmaktadır. Kimş durumlarda stabilizasyon tesiri ürünün kullanımı esnasında gerçekleştirilen sıcaklık esnasında da gözlemlenmektedir. Fakat bu işlemin oda sıcaklığında yaşlanma ile yumuşama meyilinde olan ürünlere gerçekleştirilmesi gereklidir.

H Kondüsyonunun İkinci Rakamı: İkinci sayısal ek sertlik göstergesini göstermektedir. Yüksek büyüklükte deformasyona maruz bırakılmış (soğuk işlemle takribi %75 oranında indirgemeye uğratılmış) ürün için H18 kodu kullanılır ve tam-sert olarak adlandırılır. H19 temperi H18’den daha fazla uygulanan bir deformasyonu ifade eder. “9” rakamı “8” rakamıyla isimlendirilen temperden minimum 10 MPa daha fazla mukavemet göstermektedir. H16, H14, H12 temperleri daha düşük oranlarda soğuk deformasyon uygulandığını gösterir ve 3/4 sert, 1/2 sert ve 1/4 sert olarak adlandırılır.

H Kondüsyonunun Üçüncü Rakamı: Bazen iki rakamlı temper notasyonlarında belirtilen değerlerden ufak farklar içeren temper değerlerini göstermek için 9’a kadar olan rakamlar da kullanılır. Minimumu çekme mukavemetleri eşdeğeri olan iki rakamlı temperlere yakındır.

W: “W” harfi ısıtma işlemi uygulanabilen alaşımların sabit olmayan temper uygulamalarında kullanılmaktadır. Alaşımın çözeltiye alma işleminin akabinde hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğutulduğu yaşlandırma işlemi oldukça hızlı bir şekilde uygulanmaktadır. Eksiksiz bir tanım yapmak için için “W” harfini dakika olarak zaman süre devam ettirir.

T: “T” harfi sabit temper hâllerini (F ve H temperlerinden ayrı olarak) göstermektedir. Bu temper grubu bir ısıtma işlemle sertlik kazandırılmış malzemeleri tanımlamak için kullanılır. Özel temper durumunu eksiksiz bir şekilde isimlendirmek için “T” harfinin akabinde iki veya üç rakam bulunmaktadır.

Rastgele bir alaşımla alakalı olarak fiziksel özelliklerin betimlenebilmesi için temper kodlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu temper kodları hem döküm alaşımları hem de dövme alaşımları için kullanılmaktadır. Genel temperler harf gösterimi ile belirtilmektedir. Öte yandan harf tanımları ile birlikte kullanılan rakam gösterimleri ile malzeme kalitesine tesir eden kompleks temel operasyon prosesi belirtilir.

2.6 Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alüminyum alaşımlarında belli başlı kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, krom, kalay, manganez, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

Alüminyumun olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi için alüminyum alaşımları geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Alaşım elementlerinin ilk işlevi; yüksek uzama kabiliyeti ve korozyon direnci gibi iyi özelliklerine kötü yönde tesir etmeden saf haldeki alüminyumun düşük olan akma sınırını yükseltmektir.

Bu özelliği kazandıran elementler ; mangan , magnezyum , silisyum , bakır ve çinko olup düşük ölçülerde bile istenilen maksada ulaştırırlar. Kübik yüzey merkez kafes yapısına sahip olan alüminyum, yalnız çok düşük oranlarda bu elementlerden alabilir ve bileşim kristali

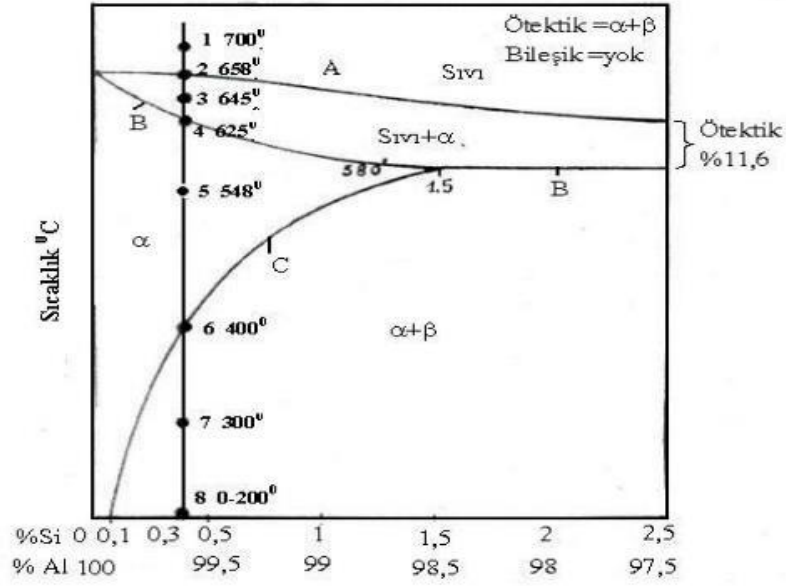
teşkil edebilir. Alüminyum bir hayli metal ile sıvı şekilde de kolaylıkla karışabilir. Alüminyum içerisinde katı durumda hiçbir element eksiksiz bir şekilde çözünmez.

Alüminyumun alaşımlandırılması esnasında eklenen alaşım elementleri belli sınırların içinde kalmak mecburiyetindedir. Çoğunlukla alaşım elementlerinin toplamda yüzdesi %15'i aşmaz. Bilinçli şekilde eklenen alaşım elementlerinin yanı sıra istenmeyen elementler de sıvı banyo içerisinde bulunabilmektedir. Bu elementlerin belli bir ölçüğü aşmaması istenilir. Bu durum arzu edilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için gereklidir. Son dönemlerde alüminyum alaşımları arasında 2XXX , 3XXX , 4XXX ,5XXX , 7XXX serileri sıklıkla kullanılmaktadır (Tekin 1984).

2.6.1 Silisyumun (Si) Alüminyum Üzerine Etkisi

Silisyum elementi alüminyumun alaşımlandırılmasında en çok öneme sahip elementlerden birisidir. Silisyum, sıvı metalin akışkanlığını artırmakta ve buna karşın sıcak çatlama meyilini azaltmaktadır. Maksimum % 13 oranında alaşıma eklenebilir. % 3'ten fazla içeriğinde silisyum alaşımların işlenebilmesi oldukça zordur. Mukeymeti arttır ve tane boyutunu küçültücü etkide bulunur. Ayrıca silisyum, alaşımdaki yüksek korozyon direncini arttırmaktadır Örnek olarak % 13 silisyum ihtiva eden alüminyum alaşımı deniz ve otomotiv sektöründe yüksek korozyon direnci ve şok dayanımı istenilen parçalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Doğan 1989).

Alüminyum alaşımlarında silisyumun alaşıma tesiri de bakırın tesiri gibidir. Silisyum ile alaşımlandırma oranı %11.7' ye kadar arttığıında, ergitme sıcaklığı 577 °C'ye düşer ve bu sıcaklık akabinde ansızın yükselir. Mevcut sıcaklıkta silisyumun çözünebilirliği yaklaşık %1.6 olup, sıcaklık düşmeye devam ettikçe bu çözünebilirlik miktarı hızlı bir şekilde azalır ve 200 °C civarında tamamiyle kaybolur. Şekil 2.3'de alüminyum-silisyum denge diyagramında sıcaklık ve silisyum değerlerine göre oluşan bileşimler verilmiştir.



Şekil 2.3 Alüminyum-Silisyum denge diyagramı (Ersümer 1960).

2.7 Alüminyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Alüminyum, çelik yoğunluğunun üçte birine sahip olması nedeniyle, çeliğin yerine kullanıldığında yaklaşık kütlede %50 tasarruf edilebilmektedir. Çok fazla olan üretim maliyeti yüksek hacimli alüminyum levhaların çok fazla kullanılması için en büyük engel olarak görülmektedir (Barekar and Dhindaw 2014).

Alüminyum elementinin korozyona karşı direnci diğer elementlere göre çok yüksektir. Alüminyum yüzeyinde kendiliğinden oluşan oksit tabakası; hava, sıcaklık, nem ve kimyasal etkenlere karşı oldukça dayanıklı etkili bir duvar gibidir. Alüminyumun mükemmel ve parlak yüzeyi, çok iyi yumuşaklık ve şekil verilebilirlik özelliğinin yanında; nem, hava, koku, ışık ve mikroorganizmalara karşı mükemmel bir bariyer olma özelliğine sahiptir. Geri dönüşümde kullanılması ile ideal bir metal olması nedeniyle, geri kazanımı ve yeni ürünlere dönüştürülmesi kolay bir uygulamadır. Alüminyum çok hafif olması nedeniyle meşrubat, konserve kutuları ve bu kutuların kapakları gibi gıdasal ürünlerin ambalajlanmasında kullanılan ve tercih gören bir malzemedir (Marsh and Bugusu 2007).

Alüminyum alaşımlarındaki uygun element ölçüsü, sert seramik eklemesi yapıldığında mekanik, fiziksel ve tribolojik özellikleri güçlü olan gelişmiş metal matrisli kompozitler elde edilmektedir. Fren motorları, pistonlar, bağlantı çubukları ve entegre döküm motor blokları alüminyum metalinin otomotiv sektöründe iyi olduğu uygulamalardan bazılarıdır (Prasad and Asthana 2004). Alüminyum alaşımları yüksek dayanım özelliği nedeniyle ulaşım sektöründe de tercih edilen bir metaldir. Dünya’da alüminyum elementi genellikle otomotiv sektöründe, uçaklarda, ulaşım sistemlerinde, gemi ve tersane sanayisinde fazlasıyla kullanılmaktadır (Kaufman and Rooy 2004).

Çizelge 2.3’de Alüminyum alaşımlarının önemli kullanım yerleri ve alternatif kullanılan malzemeler verilmiştir. Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra üstün mekanik özellikleri sayesinde uzay, havacılık, silah ve savunma sanayinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Alüminyum alaşımları roket ve füze sistemlerinde değişik şekil ve oranlarda kullanılmaktadır (Zhao and Jiang 2008).

Çizelge 2.3 Alüminyum alaşımlarının önemli kullanım yerleri.

Sektör	Önemli Kullanım Yerleri	Alternatif Olduğu Malzeme
Uçak / Uzay	Yapı Elemanları Uçak Gövdeleri	Çelik / Plastik / Magnezyum Karbon Elyafı / Kompozit Malzemeler
İnşaat	Duvar Kaplamaları Çatı Kaplamaları	Ağaç / Çelik / Plastik Ağaç / Galvanizli Çelik / Kurşun Plaka
Ambalaj	Meşrubat Kutuları Konserve Kutuları Aerosol Kutuları Folyo Kapaklar	Teneke / Plastik / Cam / Kompozit Teneke / Cam Teneke Plastik Kağıt Plastik / Teneke
Elektrik	İletkenler Baralar Transformatörler Jeneratörler Telefon Kabloları	
Makine	Yataklar Isı Eşanjörleri Hidrolik Sistemler	Döküm Malzeme Paslanmaz Çelik
Dayanıklı Tüketim Malları	Buzdolapları Klimalar	Özel Çelikler / Bakır / Plastik

Alüminyum, çelik yoğunluğunun üçte birine sahip olması nedeniyle, çeliğin yerine kullanıldığında yaklaşık kütleden %50 tasarruf edilebilmektedir. Çok fazla olan üretim maliyeti yüksek hacimli alüminyum levhaların çok fazla kullanılması için en büyük engel olarak görülmektedir (Barekar and Dhindaw 2014).

Alüminyum elektrik ve ısıyı iyi iletmesi nedeniyle, elektrik-elektronik sektöründe; yer altı kabloları, trafo koruyucuları, şaseler, elektrik boruları ve birçok alanda kullanım alanı sağlamaktadır. İnşaat sektöründe ise hafif olması, estetik duruşu ve mukavemetinin yüksek olması nedeniyle kapı ve pencerelerde, çatı uygulamalarında ve cephe kaplamalarda kendisine kullanım alanı bulmaktadır (Kaufman and Rooy 2004).

Alüminyum alaşımları yüksek elektrik ve ısıl iletkenliği nedeniyle; elektrik, otomotiv sektörlerinde iletken ve ısı kalkanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ulaşım, inşaat, gıda, ambalaj vb. sektörlerde kendisine kullanım alanı bulmaktadır.

2.8 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl işlem, katı durumdaki malzemeye bir veya birkaç metot uygulanarak sıcaklık değişimleri ile istenilen belirli özellikleri kazandırmaktır. Bu metotlar; ısıtma, bekletme, soğutma gibi kombine devirleri anlatmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi esnasında ortaya çıkan özellik değişimi; çözünme, belli bileşenlerin çökmesi metodu ile oluşur. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlem sıcaklıkları; 120°C - 550°C aralığında değişmektedir. Alüminyum dövme alaşımları ısıl işlem özelliği olarak ikiye ayrılmaktadır.

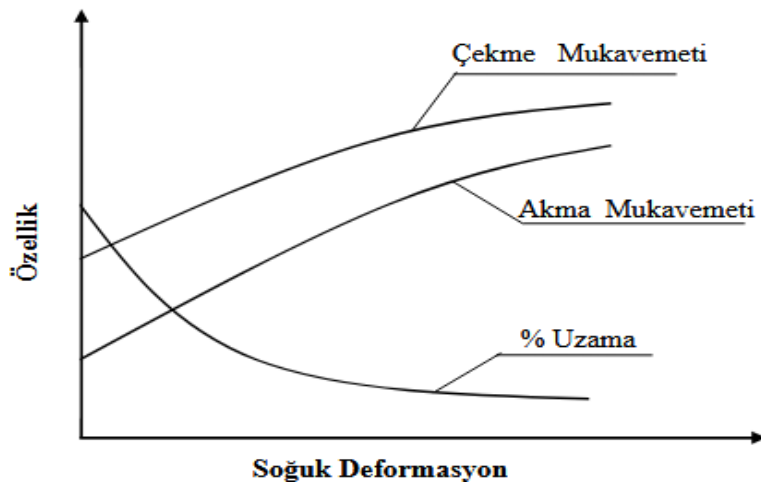
Isıl işlemler ile mukavemeti artırılabilen alaşımlar: Bu alaşım grubuna örnek olarak Al-Mg-Si-Cu, Al-Cu-Mg-Mn ve Al-Zn-Mg işlem alaşımları verilebilir. Bu gruptaki alaşımlara su verme, yaşlandırma ve tavlama gibi işlemler uygulanır.

Isıl işlemler ile mukavemeti artırılmayan alaşımlar: Bu gruba örnek olarak Al-Mn, Al-Mg işlem alaşımları verilebilir.

2.8.1 Tavlama

Rastgele bir metale uygulanan soğuk proses sonunda, düzenli bir atom bünyesine sahip olan kristal taneleri çok sayıda fazla küçük kristallere ve kristal parçalarına ayrılmaktadır. Bu sırada kayma düzlemlerinin sayısı azalır ve metalin plastik deformasyona oluşan mukavemeti artar. Sözün kısası metale deformasyonla sertleşme verilmiş olur. Şekil 2.4'de soğuk deformasyon miktarının malzemenin akma-çekme dayanımı ve % uzamaya olan tesirleri görülmektedir.

Tavlama, burada anlatılan plastik deformasyon neticesinde meydana gelen etkilerin yok edilmesi veya yaşlandırılmış malzemenin yumuşak hale getirmek için alüminyum ve alaşımlarına tatbik edilen bir ısı işlem türüdür. Burada uygulanan tavlamanın maksadı, metale akabinde uygulanacak olan deformasyon işlemleri için metali istenilen yeteri kadar yumuşatmaktır. Bu işlem uygulanırken özen gösterilmesi ve üzerinde durulması gereken bir durum da tanelerin çok fazla büyümesinin önüne geçmektir. Çünkü malzemede oluşacak tane büyümesi mukavemete olumsuz yönde tesir edecek ve metalde yeniden şekillendirme sırasında portakal kabuğu gibi bir pürüzlenmeye neden olmaktadır. Isıl işlem uygulanabilen neredeyse bütün alüminyum alaşımları 350 °C civarında tavlansak, oluşan deformasyon sertleşmesini engellenmektedir (Doğan 1989).



Şekil 2.4 Deformasyona bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme (Deliküçük 1989).

Tavlama sistemi yüksek ve düşük şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yüksek tavlama çoğunlukla soğuk işlem uygulanmış ve yüksek mukavemetli alaşımlara yapılan bir ısıl işlemdir. Bu şekilde malzemede durdurulan kayma düzlemi yeniden hareket ederek akma ve çekme dayanımını azaltırken, uzama artması elde edilmelidir (Büyükakkaş 2001).

Bu süreçte tavlama sıcaklığının seçilmesine ve yeniden kristalleşmeden imtina etmek maksadı ile bekletme süresine dikkat edilmelidir. Yüksek tavlama ısıtma hızı mümkün olduğunca yüksek seçilmelidir. Düşük tavlama genellikle; ısıl işlem ile mukavemeti arttırılamamış alüminyum alaşımlarından soğuk işlem uygulanmış alaşımlar için tavsiye edilmektedir. Tav sıcaklığı ise alaşımdaki orana paralel olarak belirlenmektedir (Ersümer 1960).

2.8.2 Yeniden Kristalleşme Tavı

Tavlama sırasında ortaya çıkan enerjinin en yüksek seviyeye ulaştığı ikinci sıcaklık değerleri arasında yeniden kristalleşme olayı açığa çıkar (Deliküçük 1989). Tavlamanın bu aşamasında bozulmuş, deformasyon sertleşmesine maruz bırakılmış tanelerin yerlerini; düzgün ve bir daha düzelmiş bir atom dizilişine sahip taneler alır. Prosedür, soğuk deformasyon işlemine uğratılmış yapının bütün taneleri yeni ve düzelmiş taneler oluncaya dek devam eder. Alüminyum alaşımlarında, yeniden kristalleşme sıcaklığı safhası çoğunlukla malzeme kompozisyonuna ve uğramış olduğu soğuk işlem meblağına bağımlı olarak değişir. Alaşım içerisindeki Cr, Fe, Mn ve Zn gibi geçiş metalleri, tavlama süresinin kısa oluşu ve soğuk haddeleme oranı artışı yeniden kristalleşme sıcaklığını arttırmaktadır (Altenpohl 1998).

Alüminyum alaşımlarının çoğunda tavlama fırınının ilk sıcaklığı ne kadar fazla olursa, prosesin sonunda oluşacak tane büyüklüklerinin buna paralel olarak küçük olacağı neticesine ulaşılmıştır. Yeniden kristalleşme tavını takiben malzemenin çekme mukavemeti ve sertliği azalırken, sünekliğinde artış görülmektedir. Yeniden kristalleşmeye tesir eden temel faktörler aşağıda sayılmıştır (Deliküçük 1989, Doğan 1989).

- a) Sıcaklık
- b) Zaman
- c) Soğuk deformasyon miktarı
- d) Malzeme saflığı
- e) Başlangıçtaki tane boyutu

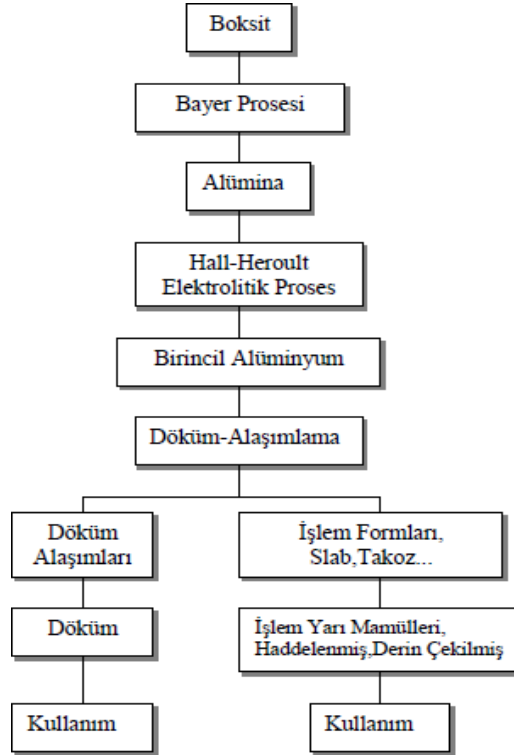
2.8.3 Homojenizasyon

Homojenleştirme adı verilen özel bir ön ısıtma yöntemi ile malzeme yapısı homojen şekle getirilebilir. Genel olarak bütün alüminyum alaşımları ilk ısıl işlem olarak, "homojenleştirme" tavlamasına maruz bırakılırlar. Bu dökümün bıraktığı tüm izlerin önlenebileceği yüksek sıcaklıklarda uzun süreli uygulanan bir tavlama işlemidir (Büyükakkaş 2001).

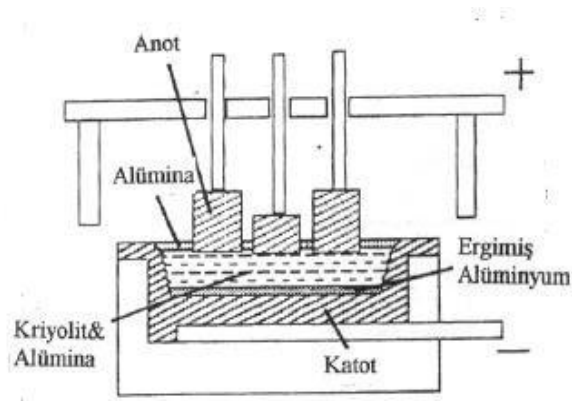
Bu proses ile malzeme alüminyum alaşımlarında bulunan elementlerin ergime sıcaklıklarının biraz altında ısıtılır ve katı halde difüzyon oluşabilene dek uzun bir süre bekletilir. Belirlenen sıcaklık değeri 480 - 540 °C arasında seçilir. Homojenizasyon işleminde istenilen magnezyum, bakır, çinko ve silisyum olmak üzere daha hızlı difüze olan çözünen elementlerin daha kolay difüze olarak çözeltiyi daha tek düzen hale getirmektir. Katı difüzyon söz dizisi; her ikisi de katı halde olmak koşulu ile , metaller arası bir bileşiğin bir diğerine hareket etmesi veya karışması için kullanılır. Katılaşma esnasında meydana gelen ilk kristaller saf alüminyum olmakta, sonrasında meydana gelen kristaller ise artan alaşım yoğunlukları içermektedirler. Bu duruma bakarak taneler içerisindeki kristaller ile dışındaki kristaller ayrı bir yapıda oluşmaktadırlar. Homojenizasyon tavı ile alaşım yoğunluğuna göre zengin olan dış kristaller iç yapıya hareket ederek istenmeyen merkezi yapının engellenmesi sağlanır (Staley 1989).

2.9 Alüminyum Üretim Yöntemleri

Alüminyumun üretimi ve elde edilmesi, iki seviyede gerçekleşir. Birinci seviyede, Bayer yöntemi ile boksit cevherinden alümina elde edilir. İkinci seviyede ise, elektroliz yöntemi ile alüminadan alüminyum elde edilmesi sağlanır. Alümina tesisleri, çoğunlukla boksit cevherlerinin yakınına kurulmaktadır. Madenden çıkarılan boksit cevheri, südkostik sıvısı ile tepkimeye sokularak alüminyum hidroksit elde edilir. Bu işlem neticesinde oluşmakta olan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile alümina (alüminyum oksit) eldesi sağlanır. Şekil 2.5’de birincil alüminyum üretim adımları görülmektedir.



Şekil.2.5 Birinci alüminyum üretim adımları.



Şekil 2.6 Elektrolitik alüminyum fırını.

Şekil 2.6'da görüleceği üzere bir sonraki aşama, alüminadan saf alüminyuma elde edilmesidir. Beyaz bir toz görünüşüne sahip olan alümina, elektroliz prosedürünün yapılacağı hücre isimli özel alanlara alınır. Burada kasıt, alüminyum elementini oksijenden ayırmaktır. Elektroliz için 4-5 volt gerilimde doğru akım tatbik edilir. En altta biriken saf alüminyumun alınması ile işlem sonuçlandırılır.

2.9.1 Sürekli Döküm Tekniği ile Alüminyum Sac veya Levha Üretimi

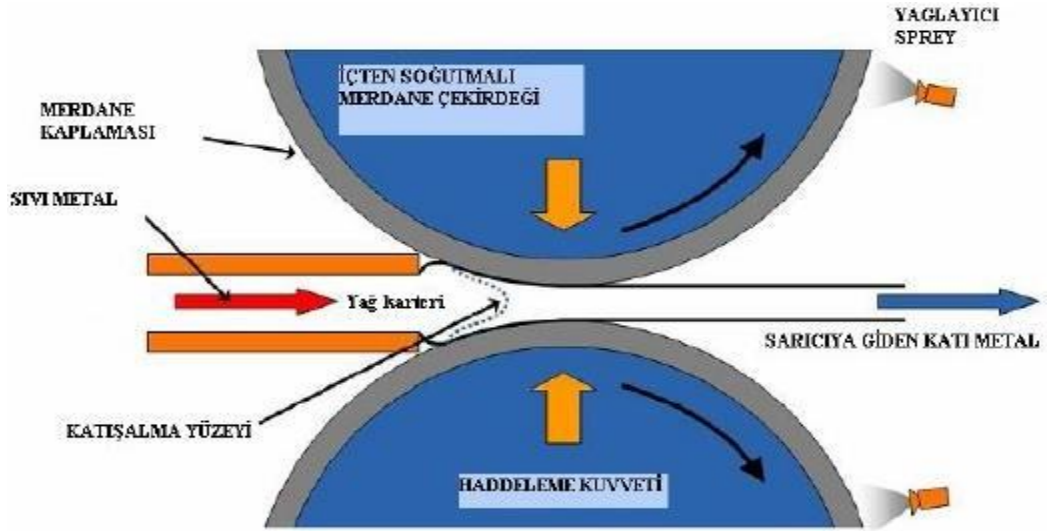
İkiz merdane sürekli levha döküm prosesi, alüminyum rulo eldesinde yaklaşık son 50 yıldır kullanılmaktadır. Bu yöntem 19. yüzyılda Sir Henry Bessemer tarafından bulunmuştur ve 1950'li yıllara kadar proses doğru bir şekilde kullanılamamıştır. Bu prosesin ilk olarak ticari olarak gerçekleştirilmesi 1950'li yıllarda Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından olmuştur. Bugünlerde % 60'ı Kuzey Amerika ve Avrupa'da olarak 180 kadar ikiz merdane döküm makinesi imalatı yapmaktadır (Okumuş 2003, Alper 2003).

İkiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilebilen alüminyum alaşımlarının katı hale geçme sıcaklıkları birbirine yakındır ve levha kalınlıkları 0,1 mm - 6 mm arasındadır. Bu nedenle ekonomik ve pratik bir yöntemidir. Bu yöntem, döküm ve haddelemeyi tek seferde birleştirerek doğruca ergiyik metalden ince sac ve levha imalatına fırsat sağlar ve üretilen

levhanın mikro yapısını ve mekanik özelliklerinin çok daha iyi kontrol edilmesine katkıda bulunmaktadır.

İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminde şekilde de bulunduğu gibi, ergitme fırınından yolluklar vasıtasıyla yönlendirilmiş ergiyik metal su ile soğutulan merdanelerin arasına yönlendirilir ve burada merdaneyle temas ettiği an katılışır , haddeleme işlemine tabii tutulur. Bu sebeple bu prosesi, İkiz Merdane Döküm Prosesi (Twin-Roll Casting-TRC) olarak tanınmaktadır. Bu proseste deformasyon ve katılışma işlemi aynı anda meydana gelmektedir. Şekil 2.7’de ikiz merdane sürekli döküm makinası çalışma şemasında bu katılışma prosesi görülmektedir (Vangala *et al.* 1992).

Dik ve yatay olarak iki tip ikiz merdaneli sürekli döküm makinesi vardır. Dikey veya yatay tiplerin merdane boyutları sektörde farklı olmaktadır. Tip çıkışı ile döküm merdanelerinin eksenleri arasındaki aralığa “tip eksen” adı verilmektedir. Üretilmiş rulonun merdanelere yapışmasını engellemek kasıtı ile merdanelerin yüzeyine tabancalar ile sürekli olarak su bazlı grafit veya bor nitrür püskürtülür.



Şekil.2.7 İkiz merdane sürekli döküm makinası çalışma prensibi şeması.

Bu prosesin, diğerlerine göre birkaç avantajı bulunmaktadır. İkiz merdane döküm prosesi, katılaşmayı ve sıcak haddelemeyi tek bir işlem altında birleştirmesi nedeniyle sıcak haddeleme işlemine ihtiyaç duyulmamakta bu şekilde enerji ve proses maliyeti düşmektedir. Bu yöntemin yatırım maliyeti de diğer proseslerin yatırım maliyetine oranla oldukça azdır (Dieter 1984).

Yöntemde alaşımlandırma, ergitme ve tutma fırınlarında ergiyik metal banyosuna alaşım elementlerinin eklenmesi yöntemi ile yapılmaktadır. Sıvı metalde arzu edilmeyen bileşikleri uzaklaştırmak için flaks kullanılır. Flakslar, inorganik olup gaz giderme, temizleme, rafinasyon , oksidasyon ve oksijen giderme özelliğindedir (Alper 2003).

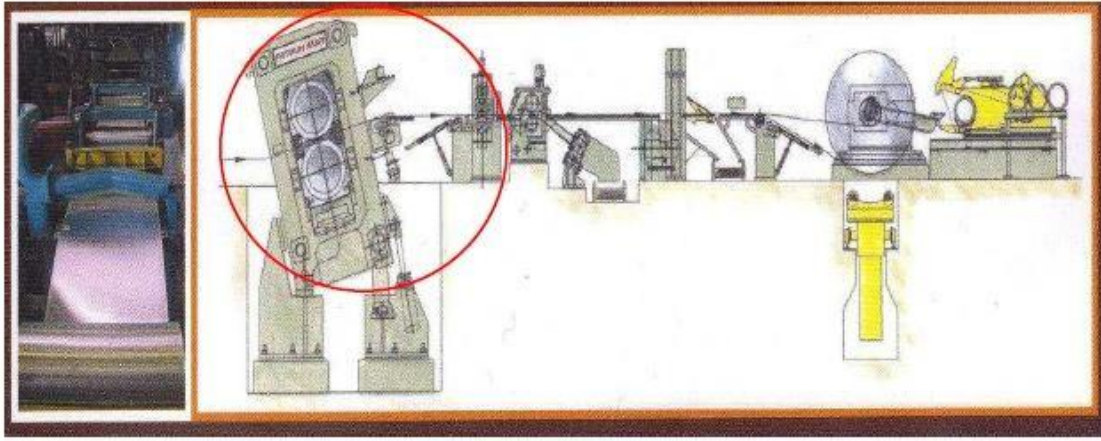
Ergiyik halde bulunan sıvı metalin ergitme fırınından, merdanelere iletilmesi sırasında refrakter yolluklar kullanılmaktadır ve alkali halde bulunan safsızlıkları uzaklaştırmak gaz giderme (degasser) işlemi uygulanmaktadır. Şekil 2.8’ de görüleceği üzere, gaz giderme işleminde sıvı metal işleme argon verilerek sıvı içerisinde kabarcıklar oluşturulur. Oluşan bu kabarcıklar öz kütle farkından dolayı sıvı yüzeyine doğru yükselirken asal gaz içerisine girerek çözünür ve gaz ile beraber yüzeyden dışarı atılır (Zalensas 1986).



Şekil 2.8 Döner tip parçacık gaz giderme sistemi (Puga *et al.* 2009).

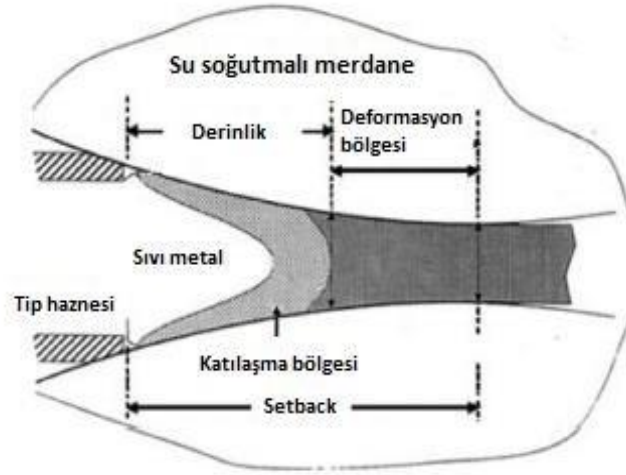
Şekil 2.9’da görülmekte olan ikiz merdane döküm makinasının bölümleri;

- 1) Ergitme fırını
- 2) Tutma fırını
- 3) Gaz giderme ünitesi
- 4) Tane küçültücü besleme istasyonu (TiB)
- 5) Eriyik metal filtrasyon ünitesi
- 6) Eriyik metal seviye kontrol sistemi
- 7) Merdaneli döküm sistemi



Şekil 2.9 İkiz merdane sürekli döküm makinesi.

İkiz merdane döküm yöntemine göre eriyik metal su ile soğutulan merdanelerin arasındaki boşluğa dökülünce hemen soğumaya ve katılaşmaya buna paralel olarak haddelenmeye başlar. Döküm esnasında uygulanan bu işlemde sonra soğuk haddeleme prosesi uygulanır. Bu sebeple diğer metotlar ile üretimi yapılan levhalar ile karşılaştırıldığında ikiz merdane sürekli döküm prosesi ile üretimi yapılan levhaların dayanımı oldukça yüksektir. Şekil 2.10 ‘da sıvı metalin katılaşmasının şematik gösterimi görülmektedir. Sürekli yöntem ile üretilmiş levhanın merdanelerden çıkışındaki düşük sıcaklığı (ortalama 300°C), döküm sırasında oluşmakta olan sıcak haddelemede malzemenin tamamen kristalleşmesine fırsat vermez. Bu nedenle sürekli dökülmüş levhada kalıntı gerilmelerin bulunmasına sebep olur.



Şekil 2.10 TRC sırasında katılaşma prosesinin şematik gösterimi.

Çizelge 2.4 Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen bazı alüminyum alaşımları (Kavaklıoğlu 1999).

1XXX Serisi	3XXX Serisi	5XXX Serisi	6XXX Serisi	7XXX Serisi	8XXX Serisi
1050	3003	5005	6063	7072	8006
1060	3004	5010			8010
1100	3005	5034			8011
1145	3006	5154			8014
1090	3105	5454			8111
1200					
1230					
1245					

Çizelge 2.4’de sürekli döküm yöntemi ile üretilen malzemeler her satırda 1XXX,3XXX,5XXX,6XXX,7XXX,8XXX serisi şeklinde gösterilmiştir.

2.9.1.1 Döküm Parametreleri

İkiz merdane sürekli döküm tekniğinde döküm değişkenleri; sıcaklık, baş kutu seviyesi, döküm hızı, tip ekseni ve merdane değişkenleridir. Bu döküm değişkenlerinin, dökülen alaşıma göre cazip bileşim temin edilmediği durumda, levhada arzu edilmeyen hatalar oluşmaktadır. Resim 2.1 ve Resim 2.2’de gösterilen bu tip hatalar (sıvı metal donması, yetersiz besleme, levha yüzeyinde lekeler ve izler, gaz boşlukları vs.) levhanın kullanılmasına engel teşkil etmektedir.



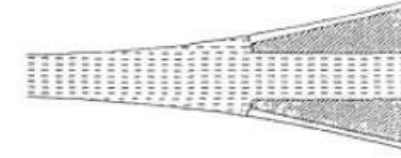
Resim 2.1 Kenar çatlakları.



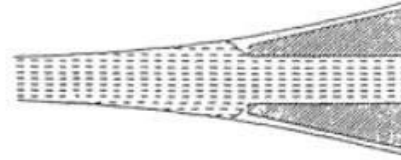
Resim 2.2 Gaz boşluğu.

Sıcaklık uniform tutulduğu takdirde metalin akışkanlığının kontrol edilmesi çok önemli bir değişkendir. Metalin sıcaklığı yüksek ise merdaneler ile tip dudağı arasından akışkanlığı ile yere akabilir. Metalin sıcaklığı düşük ise, tip dudağının içerisinde veya dökme levhanın kenar kısımlarında donmaların neticesinde girintili çıkıntılı yüzeyler oluşmaktadır. Döküm için cazip sıcaklık, alaşım türüne bağlaşıklık olarak farklılaşmaktadır. Döküm sıcaklıkları başkütuda ölçülmekte ve sürekli olarak kontrollü bir şekilde tutulmaktadır (Doğan 1998).

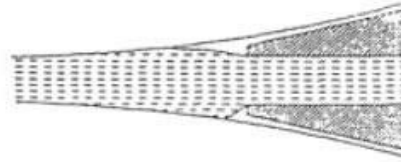
Baş kutu, döküm makinasının sıcaklığın ve sıvı metal seviyesinin kontrol edildiği bölümdür. Sıcaklığın arttırılıp azaltılması bu bölümden alınan verilerle uygulanır. Baş kutu düzeyinin yüksek olması halinde, ergiyik metal besleme ucuna daha yakın bir aralıkta merdaneye değmekte ve besleme ucu sonrasındaki ergiyik metal havuzunun hacmi fazlalaşmaktadır. Bu halde, kenarlarda oluşabilecek yer yer katılaşmalar besleme ucunun deforme olmasına neden olabilir. Seviyenin cazip olduğu halde, ara yüzeyde yastık işlevi yapan hava boşlukları yer almaktadır. Seviyenin düşük olması ise yetersiz metal beslemesi sebebiyle dökme levhanın yüzeyinde kusurlar meydana gelmesine neden olabilir (Vangala *et al.* 1992). Şekil 2.11’de baş kutu seviyesinin besleme ucu ile merdaneler arasındaki ergiyik metalin akışına tesiri bulunmaktadır.



a)Başkutu Seviyesi Yüksek



b)Başkutu Seviyesi Doğru.



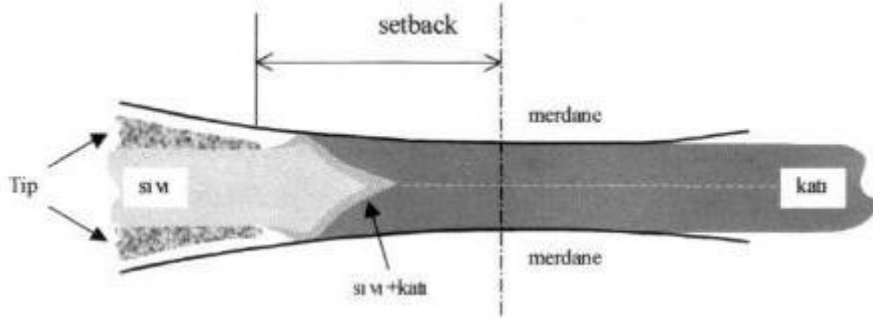
c)Başkutu Seviyesi Düşük

Şekil 2.11 Baş kutu metal seviyesinin besleme ucu ile merdaneler arasındaki metal akışına etkisinin şematik görüntüsü (Vangala *et al.* 1992).

En uygun olan döküm hızı; alaşımın türüne, dökme levhanın kalınlığına ve merdane kabuğunu oluşturan alaşıma bağlıdır. Alüminyumun saflık oranı arttıkça buna paralel olarak döküm hızı artmakta, alaşım elementlerinin oranı arttıkça tam tersine azalmaktadır (Doğan 1998).

Ergiyik metal katılaşma esnasında merdane aracılığıyla belli miktarda deformasyona uğrar. Deformasyon oranının sabit olmaması dökme levhanın karakteristiğinde ayrılıklar oluşturacağından, arzu edilmeyen bir durum oluşturmaktadır.

“Setback” olarak isimlendirilen, besleme ucu ile merdanelerin eksenindeki aralık görülmektedir. Setback, deformasyon miktarını etkileyen en önemli değişkendir. Setback değeri yüksek olur ise dökme levhadaki deformasyon yüksek olurken, düşük olması azaltılmaktadır. Setback değerinin hattın hızı ve merdanelerin ömrüne de tesiri vardır. Setback değerinin yüksek olması döküm hızında ufak miktarda artışlara sebep olurken, merdane ömrünü negatif olarak etkilemektedir. Şekil 2.12’de olması gereken setback durumunun şematik gösterimi verilmiştir (Doğan 1998).



Şekil 2.12 Döküm merdaneleri ve besleme sisteminin şematik görüntüsü (Doğan 1998).

Sürekli levha döküm yönteminde merdaneler, hem katılaşmayı sağlamak için lazım olan soğumayı, hem de haddeleme işlemini yaptıkları için önemli parametredir. Gerilim hesaplamaları, kimyasal kompozisyon değişimleri gibi sorunlara çare olarak çelik merdaneler geliştirilmiştir.

Merdane kabuğunun ilk işlevi, sıvı alüminyumun katılaşmasını sağlamak için ısıyı metalden alarak merdanelere iletmektir. Döküm makinesinin verimi, termal transfer yeteneğine paralel durumdadır. Merdane kabuğunun malzemesi için ilk önemli şart iyi bir ısı iletkenliktir. Merdanenin kabuğu mekanik kaynaklı gerilim-genlemelere uğramaktadır. Merdanenin malzemesi, mekanik dayanıklılık ve istenilen tokluğu sağlayabilecek özellikte olmalıdır. Demir bazlı alaşımlar, çelikler, döküm yönteminin istenilen koşullarına en iyi uygunluk gösteren malzemelerdir. Döküm hızını yükseltmek veya besleme ucu eksen mesafesini düşürmek, ayrışmanın oluşma tehlikesini artırmaktadır.

Döküm değişkenleri ve dökme levhadaki mikro ve makroyapılar arasındaki bağı gösterebilmek için yapılan bir çok deneysel çalışmada; setback, hız, başkutu sıcaklığının (döküm sıcaklığı) tesirleri araştırılmıştır. Malzemeye döküm sırasında uygulanan sıcak deformasyon; setback değeri arttıkça yükselmektedir (Ertan *et al.* 2000).

2.10 Alüminyum Alaşımlarında Deformasyon, Yeniden Kristalleşme Ve Toparlanma

Metal esaslı malzemelerden döküm prosesinden sonra, dövme, haddeleme, ekstrüzyon gibi plastik şekil verme metotları ile ara veya nihai çıktılar elde edilebilir. Bu aşamalar, sıcak veya soğuk olabilir, ara tav ihtiva edebilir, ve bütün bu yöntemler termomekanik yöntemler olarak bilinmektedir.

Toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi bu yöntemlerin başlıca öğeleridir. Metallerin mekanik özellikleri, dislokasyonların muhtevasına ve yapısına, tane boyutuna ve tanelerin yönlenmesine etkindir.

2.10.1 Deformasyon Sertleşmesi

Malzemelerin mutlak ergime sıcaklıklarından çok daha az sıcaklıklarda plastik deformasyona maruz kalmaları nedeniyle mukavemetlerinin ve sertliklerinin yükselmesi deformasyon sertleşmesi olarak adlandırılır. Bu epeyce önemli bir sertleştirme işlemidir. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının genellikle bir plastik şekil verme metodu (örneğin haddeleme) ile deformasyon sertleşmesine maruz bırakıldıktan sonra kullanılmaktadır. Deformasyon sertleşmesi, türlü yapı unsurlarının güvenliğini artırma bakımından da istenilen bir işlemdir. Şayet bir yapı unsuru çok fazla kuvvete maruz bırakılırsa, plastik deformasyona maruz kalır ve bu duruma paralel bir şekilde deformasyon sertleşmesi sebebiyle mukavemetinde artış gözlemlenir. Fakat, deformasyon sertleşmesinin oluşabilmesi için, malzemeye plastik deformasyon gerçekleştirilmesi lazım olduğundan, sünekliği yüksek olan malzeme seçilmelidir (Kayalı ve Çimenoglu 1986).

Deformasyon sertleşmesi, dislokasyon hareketi ve etkileşimi ile alakalıdır. Dislokasyonlar, gerilme bölgelerine sahip olduklarından, birbirleri etkileyen kuvvetler oluşturmaktadırlar. Deformasyon sertleşmesi, dislokasyonların hareketi ve etkileşimi ile ilgilidir. Dislokasyonlar, gerilme alanlarına sahip olduklarından, birbirlerini etkileyen kuvvetler oluşturmaktadırlar (Kayalı ve Çimenoglu 1986).

Şekil verme işleminde, deformasyon sertleşmesi istenilen veya arzu edilmeyen bir vaziyet oluşabilir. Bazen benzer anda iki durum da oluşabilir. Örnek olarak, bir soğuk haddeleme prosesinde; deformasyon sertleşmesi, sürdürülen deformasyona karşı olarak metalin direncini devamlı bir şekilde artırır ve deformasyonu sürdürebilmek için devamlı artış isteyen bir güç lazımdır. Ayrıca deformasyon sertleşmesi metalin gevrekliğini devamlı bir şekilde artırır ve bu şekilde deformasyonun sonraki aşamalarında çatlak veya yarık meydana gelme tehlikesi belirir. Bilhassa bu tesirler sebebiyle, metallerin çoğunda, diğerlerine oranla düşük bir deformasyondan sonra soğuk haddelemeyi durdurmak gerekir ve haddeleme işlemini sürdürmeden önce deformasyon sertleşmesini azaltmak veya kurtulmak için tavlama gereklidir.

2.10.2 Toparlanma

Toparlanma aşamasında malzemenin mukavemet ve sertliğinde büyük ölçüde bir farklılık olmaz. Bu aşamada malzemenin elektrik iletkenliği yükselir, x ışınları ile ölçülen iç yapı gerilmesi ve latis distorsiyonunda düşme gözlemlenir. Bu özellikler malzemenin yapısındaki nokta hatalarına endeksli özelliklerdir (Kayalı ve Ensari 1986).

Toparlanma ve yeniden kristalleşme süreçleri aktif bir şekilde buldukları sıcaklık düzeni bakımından çakışan süreçlerdir. Her iki süreç için de istenilen kuvvet deformasyona uğramış malzemede toplanan enerjinin düşmesidir. Fakat;

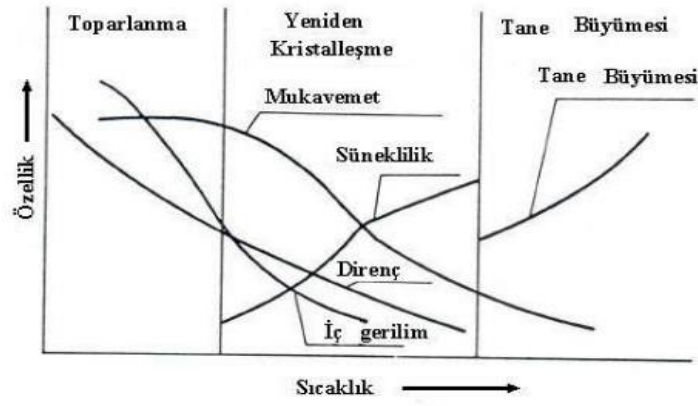
- 1) Toparlanmanın süresi yeniden kristalleşme prosesinin başlangıcı ile paraleldir.
- 2) Toparlanma yeniden kristalleşme için istenilen kuvveti düşürdüğü için fazla toparlanma yeniden kristalleşmeyi prosesinin geciktirebilir (Humphreys and Hatherly 2004)

Çizelge 2.5’de toparlanma ve yeniden kristalleşme özellikleri verilmiş ve kıyaslaması yapılmıştır.

Çizelge 2.5 Toparlanma ile yeniden kristalleşmenin kıyaslanması.

Toparlanma	Yeniden Kristalleşme
Özelliklerin kısmi yenilenmesi	Özelliklerin tamamen yenilenmesi
Mikroyapıda yeniden düzenlenmiş dislokasyonlar mevcuttur.	Mikroyapıda daha az dislokasyon mevcuttur.
Deformasyona uğramış tanelerin tane yapısı önceki ile ilişkilidir.	Yeni taneler oluşuyor ve yeni tane yapısı deformasyona uğramış tane yapısına göre farklıdır.
Deformasyona uğramış metalin mekanik mukavemetinde bir miktar azalma vardır.	Malzeme çok daha yumuşaktır.

Toparlanma aşamasında malzeme mikro yapısında gözle görülebilir bir değişiklik elde edilmeden fiziksel özellikleri geri kazanılır. Toparlanma prosesi ile kazanılan özellikler çoğunlukla noktasal hatalara karşı duyarlı olan hatalardır (elektriksel iletkenlik gibi). Bu duruma karşı olarak önemli ölçüde dislokasyonların kontrol etmekte olduğu mekanik özellikler toparlanma sırasında eş değer şekilde kalır (Deliküçük 1989). Şekil 2.13'de tavlama sıcaklıklarına paralel şekilde malzeme özelliklerindeki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişimin grafiksel gösterimi (Deliküçük 1989).

2.10.3 Yeniden Kristalleşme

Soğuk işleme maruz bırakılmış malzemeye tav prosesi uygulanmasında toparlanma aşamasının akabinde yeniden kristalleşme oluşur. Toparlanma ve yeniden kristalleşme genel olarak farklı iki olaydır. Yeniden kristalleşme, soğuk işlem sonucunda deformasyona uğramış yapıların yerine yeni tanelerin oluşmasıdır. Bu nedenle yeniden kristalleşme;

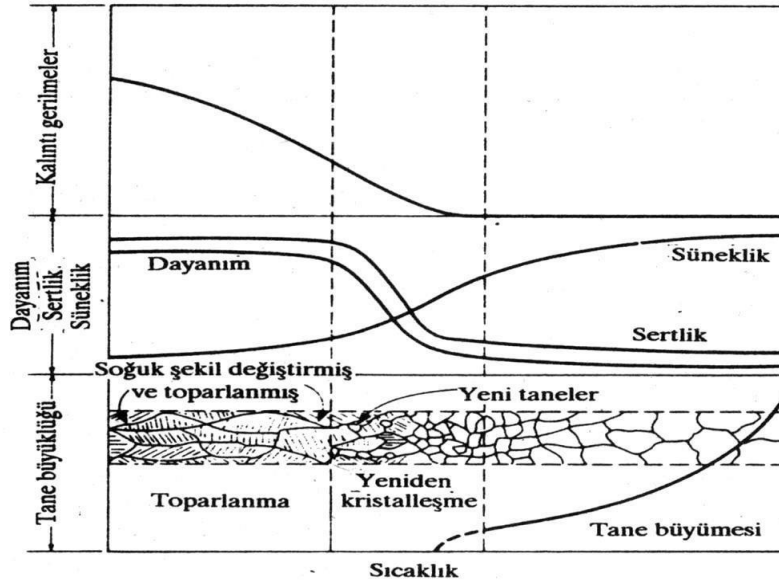
Katı (soğuk işlem görmüş) → Katı (yeniden kristalleşme)

biçiminde bir katı-katı dönüşümdür. Bu durumun sonucu olarak malzeme soğuk işleme maruz bırakıldığında elde ettiği mekanik özelliklerinin hepsini kaybeder. Farklı bir durumda, yeniden kristalleşmenin kinetiği toparlanma olayından harfiyen farklıdır, çekirdeklenme ve

büyüme aşamalarını içerir. Bu tip diğer işlemlerde uygun bir izotermal tavlama esnasında yeniden kristalleşme olayı çok düşük hızda başlar ve en yüksek reaksiyon hızına eriştikten sonra düşük bir hızla biter.

Yeniden kristalleşmenin kinetiği, çekirdeklenme hızı ve çekirdek büyüme hızına bağlıdır. Yeniden kristalleşmenin kinetiğini açıklayan teori 1952 yılında Burke ve Turnbull aracılığı ile elde edilmiştir. Bu teori gereğince belli bir kuluçka mühletinin akabinde soğuk işleme maruz bırakılmış malzeme içinde harfiyen yeni kristaller oluşmaktadır. Bu yeni kristaller tane sınırları, kayma düzlemleri şeklinde yüksek kafes deformasyonu barındıran noktalarda çekirdeklendiklerinden, çekirdeklenme noktaları daha önce bilinmektedir. (Byrne 1965, Reed-Hill 1973).

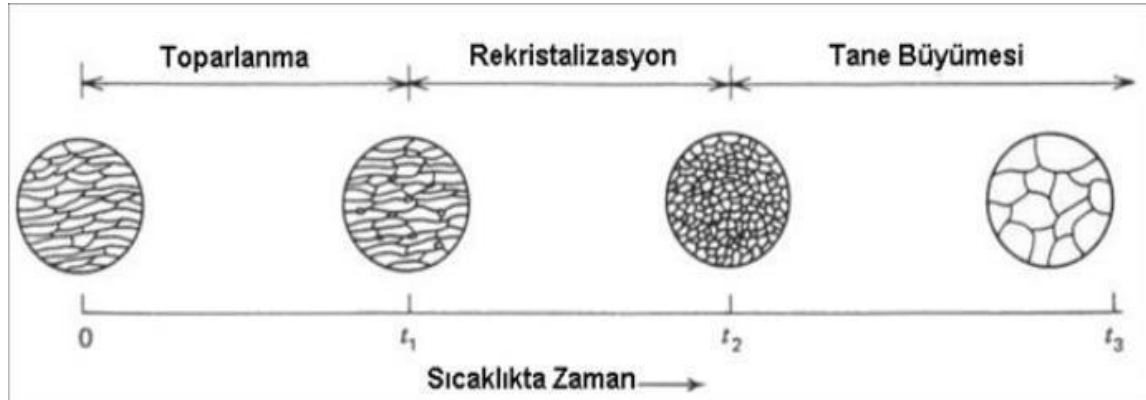
Büyüyen ve çevresindeki deformasyonlu matrisi kullanan çekirdek için bir hayli model bulunmasına rağmen, bu modeller iki noktada birleşirler. Birinci nokta; çekirdeğin büyüebilmesi için belli kritik bir boyuta ulaşması, ikinci nokta ise; çekirdeğin minimum bir bölümünün büyük açılı (tane) sınırıyla kuşatılmış olması lüzumudur.



Şekil 2.14 Toparlanma ve yeniden kristalleşmenin tane yapısına etkilerinin şematik gösterimi (Çapan 1999).

Şekil 2.14’de şematik olarak gösterildiği gibi, çok kristale sahip olan metallerde, tane sınırları ve üç tanenin birleştiği noktalar çekirdeklenmeye elverişlidir. Soğuk deformasyona maruz bırakılmış metalin iki tanesinin dislokasyon yoğunluğunda nüans bulunmakta, tavlama sırasında daha az dislokasyon bulunduran tane sınırı daha fazla dislokasyon bulunduran tane yönünde akış gösterebilir. Bu akış bir çıkıntı oluşturur. Bu tane sınırı akışı, yoluna çıkan tüm dislokasyonları süpürür ve böylece ufak, dislokasyon bulunmayan bir bölge elde edilir. Şayet bu çıkıntı, kritik çekirdek boyutuna ulaşır ise çekirdek oluşumunun iki koşulu da sağlanmış olur. Yeniden kristalleşme sıcaklık ile oluşum gösteren bir prosestir. Bu sebeple yeniden kristalleşmeye tesir en önemli iki değişken sıcaklık ve işlem süresidir (Avner *et al.* 1974).

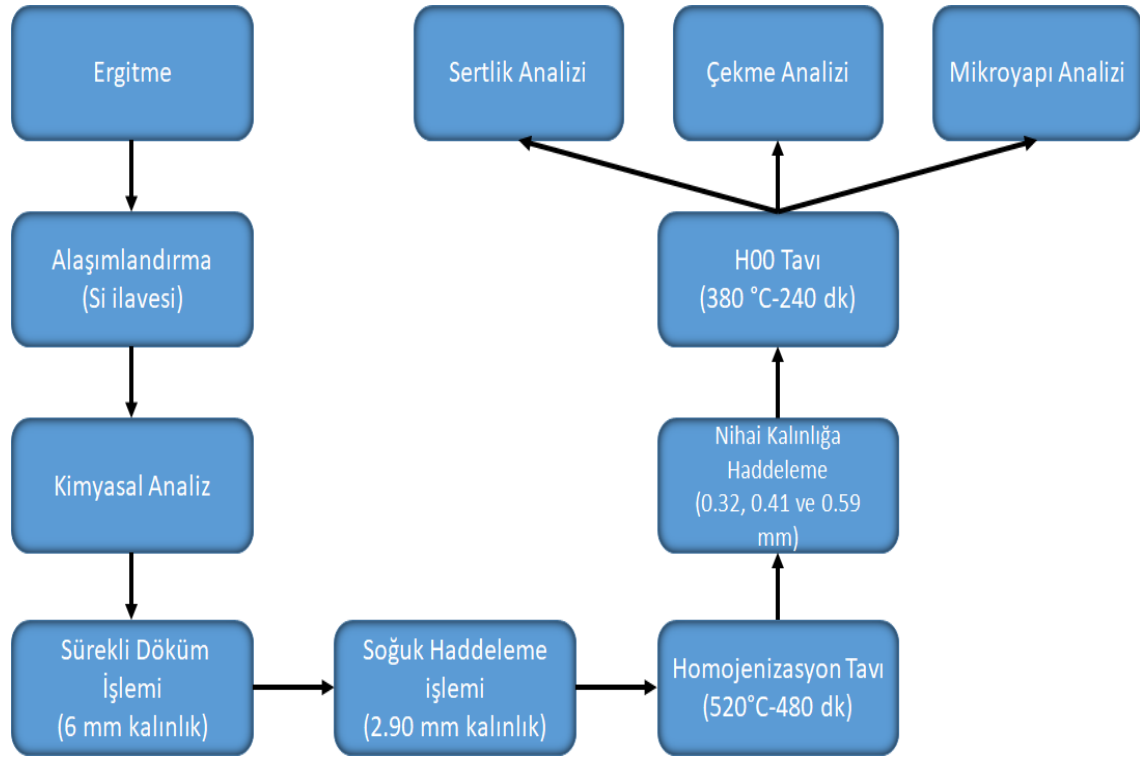
Şekil 2.15’de tanelerin tav prosesi esnasında tane büyümesi aşamasına ulaşana kadar meydana gelen toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi hallerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.15 Tanelerin tav sırasında toparlanma, rekristalizasyon ve tane büyümesi hallerinin şematik gösterimi.

3.MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, ikiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilen döküm levhaların, soğuk haddeleme sonrasında H00 tavlanmış 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıklarda çekme analizleri yapılmıştır. Döküm mikro yapılarının ve nihai H00 kondisyonunda mikro yapılarının tayini amacıyla ise bakalite alınarak metalografik yöntemlerle hazırlanan numuneler koloidal silica ile parlatılıp Barkers çözeltisiyle dağlanmıştır. Stereo mikroskop ile döküm tane yapısı, tane boyutu ve dağılımı tespit edilmiştir. Ayrıca dökme levhalardan ve nihai H00 kondisyonundaki numunelere sertlik testi uygulanmış ve Vickers cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür. Son olarak dökme levha örneklerinden ve nihai ürünlere yapılan çekme testi ile AA1050 alaşımının farklı silisyum element oranları sonucunda gösterdiği mekanik özellik davranışları incelenmiştir. Şekil 3.1’de deneyin akım şeması verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney Akım Şeması.

Şekil 3.1’den de görüleceği üzere ergitme işleminden sonra sıvı metal alaşım elementleri vasıtası ile alaşımlandırılmıştır. Silisyum değeri bu aşamada 1XXX serisi alaşımlarının standartlarına uygun bir şekilde planlı olarak arttırılmıştır. Bu aşamada diğer element miktarları işletme şartlarında standart prosesi bozmamak amacıyla sabit tutulamamıştır. Alaşımlandırılan sıvı metal ikiz merdane döküm yöntemi ile 6 mm kalınlığında levha haline getirilmiştir. Levha haline gelen metal, soğuk haddeme hattında 2.90 mm kalınlığa haddelendikten sonra homojenizasyon tavı uygulanmıştır. Homojen tav sonrası levhalar soğuk haddeme yöntemi ile 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlığa haddelenmiştir. Nihai kalınlığa getirilen numuneler daha sonra H00 tavlama işlemine tabii tutulmuştur. Nihai kalınlık ve H00 kondisyonuna ulaşan malzemeye mikroyapı, sertlik, ve çekme analizleri uygulanmıştır.

3.1 Deney Malzemeleri

Bu çalışmada kullanılan alüminyum yassı deney malzemeleri Kütahya’da yerleşik bulunan VİG Metal Sanayi Ticaret A.Ş alüminyum işletmesinden temin edilmiş olup, Şekil 3.1’deki işlemlerden geçerek standart deney numunesi haline getirilmiştir. Standart deney numunesi haline getirilen malzemeler VİG Metal Sanayi Ticaret A.Ş işletmesinde tav fırınında 380 °C 240 dakika süre ile H00 nihai ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan malzemeler, piyasaya soğuk haddelenmiş veya tavlı olarak rulo şeklinde veya levha şeklinde kullanılabilir. AA1050 alaşımlı ve H00 tavllanmış ürünler piyasada genel olarak ısı kalkanı olarak kullanılmaktadır.

3.2 Alüminyum Sürekli Döküm İşlemi ile Numune üretimi

VİG Metal A.Ş Sanayi A.Ş’de bulunan yıllık 12.000 ton döküm kapasitesine sahip İkiz Merdane Sürekli Döküm Makinesinde ikincil metalürji yöntemi ile hurdadan üretim yapılmaktadır. Elemental analize göre hurdalar ergitme fırınına şarj edilerek 750 °C sıcaklıkta ergitilmiş ve sıvı metal alaşımlandırılmak üzere tutma fırınına alınmıştır.

Alaşımlama işleminde silisyum elementi ve diğer elementlerin ilavesi tamamlandıktan sonra, yolluk girişinde tane küçültücü olarak tel şeklinde ticari AlTiB beslenmiştir. Yolluklardan numune alınarak gerekli kimyasal analize uygun ise ergimiş metal, gaz giderme ünitesinden geçerek sıcaklık ve seviye kontrolünün sağlandığı baş kutu kısmına aktarılmıştır. Baş kutu sonrasında sıvı metal tip adı verilen seramik hazneye aktarılmıştır. Buradan su soğutmalı merdanelerden geçirilerek 130 cm/dk hızda bir yandan da haddeleme işlemi yapılarak rulo haline getirilmiştir.

3.3 Soğuk Haddeleme İşlemi

Sürekli döküm yöntemi ile üretilen numune, Resim 3.1’de görülmekte olan sürekli otomatik kalınlık ve yüzey kontrollü VİG Makine markalı haddeleme makinasında bir pas haddelenip 6 mm kalınlıktan önce 2.90 mm kalınlığa getirildikten sonra 520 °C ve 8 saat süreyle homojenizasyon tavlama işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon tav sonrası numuneler işletmenin şartlarında ve uygulanan standart proses bozulmadan 350 m/dakika hız ile 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıklarına haddelenmiştir. Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3’de döküm kalınlığından nihai kalınlığa iniş süreci ve numuneye uygulanan ezme oranları verilmiştir. 3 numuneye de uygulanan ezme oranları neredeyse eşit derecede olup, işletme içerisindeki prosesi bozmamak adına değerlerle oynanmamıştır.



Resim 3.1 Soğuk haddeleme hattı (İnt.Kyn.1).

Çizelge 3.1 0.32 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları.

<u>Giriş Kalınlık</u>	<u>Ezme Oranı</u>	<u>Çıkış Kalınlık</u>
6.00	%51	2.90
2.90	%50	1.64
1.64	%48	0.97
0.97	%46	0.59
0.59	%45	0.32

Çizelge 3.2 0.41 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları.

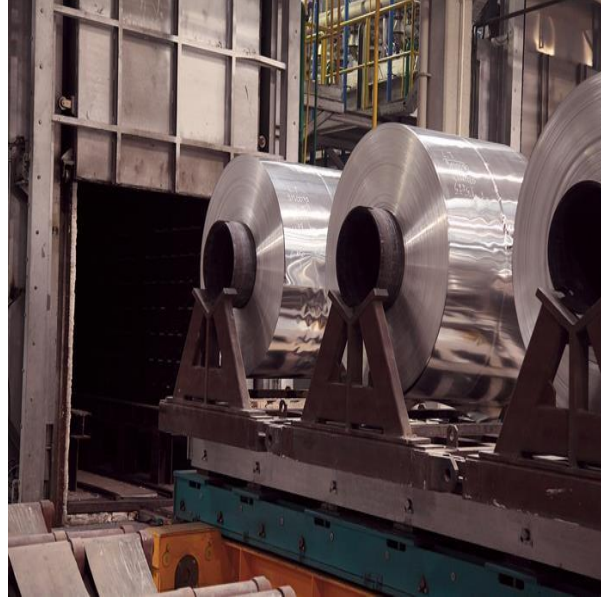
<u>Giriş Kalınlık</u>	<u>Ezme Oranı</u>	<u>Çıkış Kalınlık</u>
6.00	%51	2.90
2.90	%50	1.45
1.45	%48	0.75
0.75	%46	0.41

Çizelge 3.3 0.59 mm nihai kalınlığa sahip numunenin 6 mm döküm kalınlığından iniş süreci ve uygulanan ezme oranları.

<u>Giriş Kalınlık</u>	<u>Ezme Oranı</u>	<u>Çıkış Kalınlık</u>
6.00	%51	2.90
2.90	%43	1.64
1.64	%41	0.97
0.97	%39	0.59

3.4 Homojen ve H00 Tavlama İşlemi

Homojenizasyon tavlama, döküm sonrası merdaneler arasında deformasyona uğrayan malzemelere tanelerin toparlanması ve iç gerilmelerin giderilmesi için yapılan ara tavlama işlemidir. Sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş 1800 mm çaptaki ruloya haddeleme yapılarak 2.90 mm kalınlıkta, 520 °C 480 dakika süreyle homojenizasyon tavı uygulanmıştır. Tav sonrası malzeme oda sıcaklığında soğutulmuştur. Bu işlemden sonra, tekrar 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlığa haddelenen numunelere Resim 3.2’de verilen tav fırınlarında 380 °C ve 240 dakika süreyle H00 nihai tavı uygulanarak yine oda sıcaklığında soğutulmuştur. Bu şekilde istenilen kondisyon elde edilmiştir. Numune sıcaklıklarını görebilmek için malzeme üzerine termokupl yerleştirilmiş ve sıcaklık değerleri bu şekilde okunmuştur.



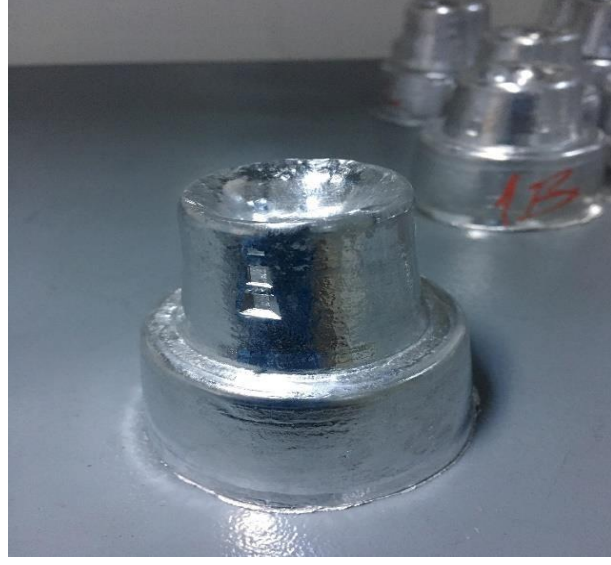
Resim 3.2. Homojenizasyon ve H00 tavlama için kullanılan tav fırınları (İnt.Kyn.1).

3.5 Kimyasal Analiz Yöntemi

Kimyasal analiz tayini amacıyla, ergitme fırınında ergitildikten sonra tutma fırınında alaşımlandırılan sıvı metalden; hem tutma fırınında hem de dökülmek için yönlendirilen yolluklardan Resim 3.4'deki numune alınmıştır. Alınan numune Resim 3.3'deki VİG Metal Sanayi Ticaret A.Ş kalite kontrol laboratuvarında bulunan Spectromaxx kimyasal analiz cihazında Resim 3.5'de görüldüğü şekilde argon gazı ile yakılarak kimyasal analizler elde edilmiştir.



Resim 3.3. Kimyasal analizde kullanılan spekrometre (İnt.Kyn.1).



Resim 3.4 Kimyasal analiz numunesi.



Resim 3.5 Spektrometrede analiz işlemi.

AA1050 alüminyum alaşımları genel olarak %99,5 üzeri alüminyum içeren saf alüminyum alaşımlarıdır. Fırın içerisindeki silisyum oranı ve diğer elementler AA1050 alaşım standartları arasında tutmak için ferro alyaj malzemeler kullanılmıştır. Silisyum elementini alaşıma katmak için ise Resim 3.6'daki ticari ferro silis kullanılmıştır. Max. %75 silisyum içeren ferro siliste; silisyum dışında kalan miktarı Al, C, S, P elementleri oluşturmaktadır.



Resim 3.6 Alaşımlandırmada kullanılan ticari ferro silis (Max. %75 Si içeren).

3.6 Mikrosertlik ölçümleri

Deney numunelerinde döküm ve H00 tavllanmış numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde Resim 3.7’de görüntüsü verilen VİG Metal Sanayi A.Ş kalite kontrol laboratuvarında bulunan EMCO Test markalı Mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Resim 3.8’deki gibi döküm sonrası ve H00 tavı sonrası her numunenin haddelene yönüne dik şekilde merdaneye temas eden kenarlardan ve ortadan 100 gram yük uygulanarak, 5 adet mikrosertlik ölçümü yapılmıştır ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. H00 tavllanmış nihai kalınlıklı numunelerde levha çok ince olduğu için, numune katlanarak kesit kısmı üst yüzeye gelecek şekilde kalıplanarak kesitten sertliği alınmıştır. Sertlik ölçümü döküm numuneleri gibi kesitten 5 adet olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca bu değerler ile karşılaştırılmak üzere deney numunelerinden önce dökümü gerçekleştirilen ve ortalama silisyum oranı % 0.091 olarak bilinen döküm numunelerine haddelene yönüne dik şekilde kenarlardan ve ortadan 3 adet mikrosertlik ölçümü uygulanmıştır Malzemelerin sertliğini ölçmeden önce numuneler 240-320- 400-600-800-1000 ve 1200 numaralı zımparalar ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi kalından inceye doğru ve bir önceki zımparanın izi kalmayacak şekilde yapılmıştır. Zımparalama işleminin ardından numuneler koloidal silika ile parlatılarak Barker’s çözeltisinde dağlanmıştır.



Resim 3.7 EMCO Marka Sertlik Cihazı.

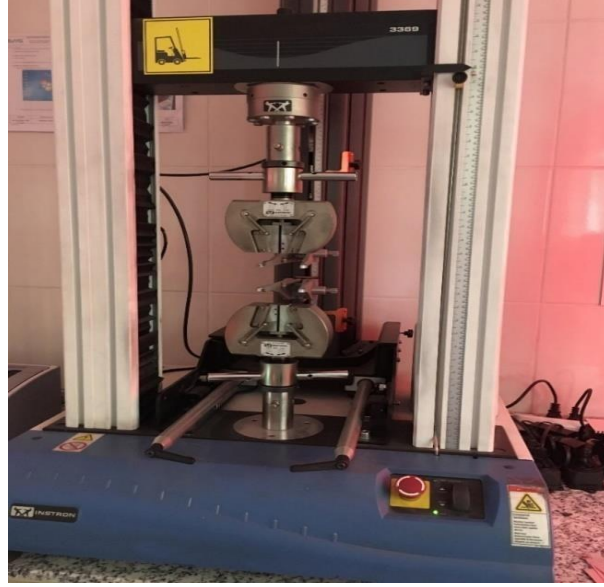


Resim 3.8 Sertlik ölçüm örneği.

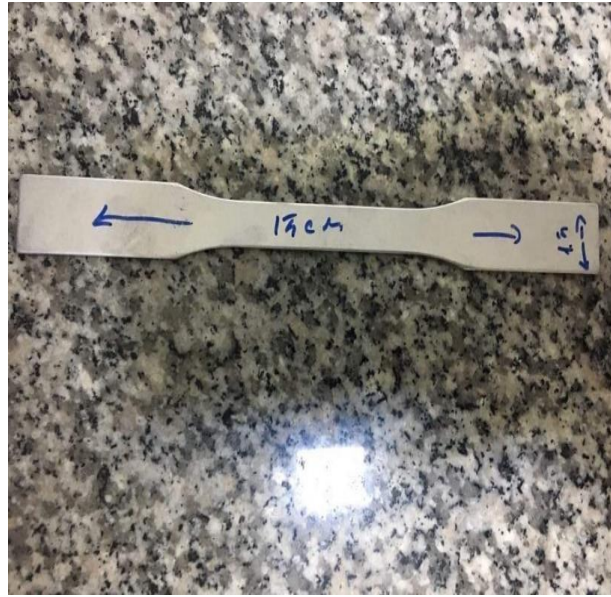
3.7 Mekanik Özelliklerin Tespiti

İkiz merdane döküm prosesiyle üretilen metal, katılaşmadan hemen önce merdaneler arasında deformasyona uğramaktadır. Döküm merdaneleri katılaşmanın tamamlandığı merdanelerin çıkış kısmında sıcak haddelenenin gerçekleşmesine neden olur. Merdanelerin çıkış kısmında katılaşmış metal sıcaklığı yaklaşık $\leq 300^{\circ}\text{C}$ seviyelerindedir.

Döküm hattından çıkan malzeme, hadde hattında istenilen kalınlığa haddelendikten sonra 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıkta H00 nihai tavi uygulanmıştır. 0.32, 0.41, 0.59 mm kalınlığına kadar haddelenen malzemelerden, tav sonrasında Resim 3.10'daki gibi çekme numunesi alınarak 25 mm/dk hızla çekme işlemi uygulanmış ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Çekme testi için Resim 3.9'da görülen INSTRON 3369 Marka Çekme Cihazı (50 kN) kullanılmıştır.



Resim 3.9 INSTRON 3369 Marka Çekme Cihazı (50 kN) (İnt.Kyn.1).



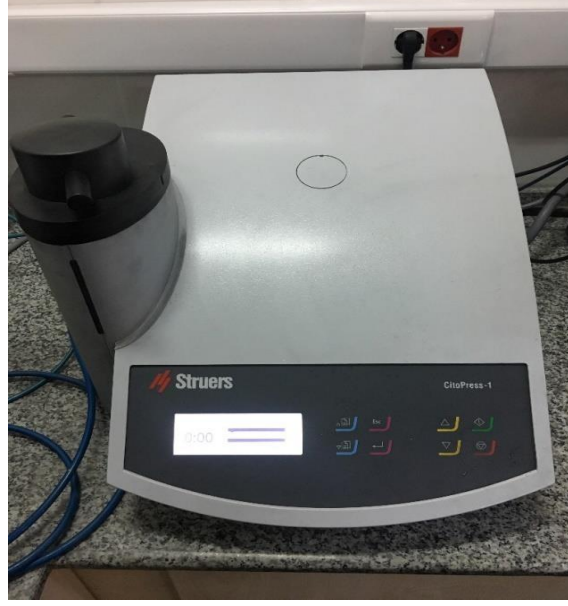
Resim 3.10 Çekme numunesi.

3.8 Soğuk Deformasyon Sonrası Belirlenen Mekanik Özellikler

Döküm sonrası elde edilen 6 mm kalınlıktaki numuneler soğuk deformasyona uğrayarak 2.90 kalınlığa indirilmiştir. Haddeleme sonrasında ağırlıkça en yüksek silisyum oranlarındaki numunelere çekme testi uygulanmış ve homojenizasyon tavi öncesi çekme diyagramları belirlenmiştir. Bu şekilde soğuk deformasyonun malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi, ısıtma işlemde elde edilen özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

3.9 Optik Mikroskop İncelemeleri

Mikro yapı karakterizasyonunda kullanılan tüm numuneler Resim 3.12'deki şekilde döküm sonrası ve H00 tavlama numunelerden dökme levhanın ortasından çıkarılmıştır. Alüminyum sürekli döküm yönteminde kullanılan döküm merdanelerinin orta kısmına bombe verilmektedir. Bunun sebebi ; etki-tepki kanununa göre, metal levhaya basınç uygulayan bir çift merdanelerin metal tarafından birbirinden ayrılmaya zorlanmasıdır. Bu durumda orta kısmı daha kalın bir levha üretilmemesi için merdaneye fiçi şekli verilmektedir. Hem numune için istenilen 6 mm döküm kalınlığının orta kısımda daha uygun olması, hem de silisyum elementinin orta kısımda segregasyon olması nedeniyle silisyumun etkisinin gözlemlenebilmesi için numune levhanın orta kısmından alınmıştır. Daha sonra silindirik kalıp ölçülerine göre çiyotinde 2 cm x 2 cm boyutlarında ebatlandırıldıktan sonra Resim 3.11'de görülen cihazda bakalite alınarak alınarak kalıplanmıştır. H00 tavlama 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıktaki numuneler kesiti üstte gelecek şekilde katlanarak bu şekilde kalıplanmıştır. Resim 3.14'daki zımpara cihazında 50 N yük ve 150 rpm devir ile 240-320-400-500-800-1200-2000-4000 numaralı zımparalama kademelerinden geçirilmiştir. Daha sonra 3 µm partikül boyutlu parlatma çözeltisi ardından 1 µm partikül boyutlu kolloidal silika ile Resim 3.13'deki şekilde parlatılarak hazır hale getirilmiştir.



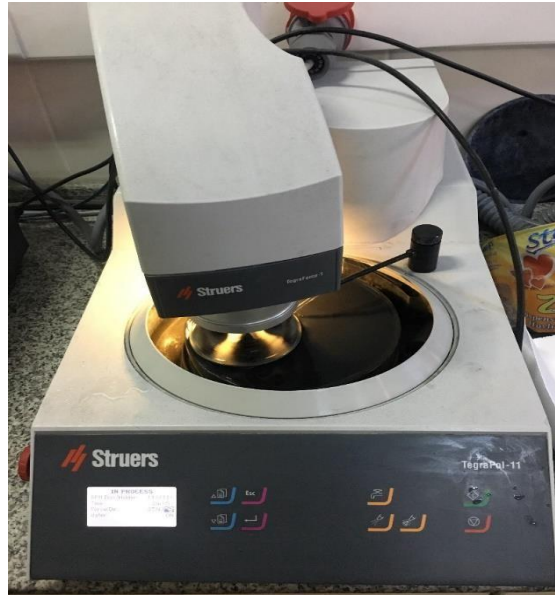
Resim 3.11 Bakalite alma cihazı.



Resim 3.12 Numunelerin bakalite alınmadan önceki hali.



Resim 3.13 Numunelerin bakalite alındıktan sonraki hali.



Resim 3.14 Zımparalama cihazı.

Parlatılan numuneler Barker's çözeltilisinde (4-5 mL HBF₄ (%48), 200 mLsu) elektrolitik yöntemle dağlanmış ve mikroskopik incelemeye hazır hale getirilmişlerdir. Dağlama işleminden sonra numune 10 saniye boyunca suya tutulmuş, alkolle temizlendikten sonra kurutulmuştur. Bu dağlama işleminde Resim 3.15'de görülen elektrolitik dağlama cihazında numune devreye anot olarak bağlanmış, katot olarak alüminyum seçilerek 80 saniye süreyle 20V (DC) gerilim ile $i = 0.2 \text{ A/cm}^2$ olacak şekilde anodize yapılmış ve sonuçlar mikroskoba aktarılmıştır.



Resim 3.15 Elektrolitik dağlama cihazı.

Elektrolitik dağlama ile karakterizasyona hazır hale getirilen numuneler Resim 3.16'daki optik mikroskopta 100x büyütme ve 200x büyütmede incelenmiş mikroyapılar elde edilmiştir.



Resim 3.16 Mikroyapısal analizde kullanılan optik mikroskop (İnt.Kyn.1).

3.10 Tane Boyutu İncelemeleri

Döküm sonrası ve H00 tavı sonrası elde edilen numuneler silindirik şekilde soğuk kalıplanıp, zımparalama kademeleri uygulanıp, parlatıldıktan sonra optik mikroskopta elde edilen 100x ve 200x büyütme mikroyapılara tane boyut analizi yapılmıştır. Köşelerden, alt ve üst taraftan çizilen çizgilerin temas ettiği tane sayısı belirlenmiş; büyütme oranıyla çarpılarak çizgi uzunlukları bu değere bölünmüş ve mikron olarak tane boyutu belirlenmiştir. Tane boyutu hesaplanırken 3.1'deki eşitlik kullanılmış ve ortalama tane boyutu saptanmıştır.

$$\text{Tane boyutu : } d = \frac{L1+L2+L3+L4}{N1+N2+N3+N4 \times Z} \quad (3.1)$$

4. BULGULAR

4.1 Döküm sonrası ve H00 tavlama sonrası sertlik ölçümleri

Deneyde kullanılan numunelerin döküm sonrası 6 mm kalınlıkta ve nihai olarak H00 tavlama uygulanmış, 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıkta haddeleme yönüne dik şekilde yapılan 5 adet sertlik ölçümleri sonrasında Çizelge 4.1 , Çizelge 4.2, Çizelge 4.3’deki sertlik değerleri elde edilmiştir. Döküm sonrası ve H00 tavlama sonrası alınan numunelerde ölçümler, merdanelerin temas ettiği yüzeylerden başlanarak, orta kısma doğru olacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde ayrıca orta kısımda oluşan silisyum segregasyonunun ve merdanelerin temasının sertliğe olan etkisi incelenmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama değer bulunmuştur.

Çizelge 4.1 0.32 mm kalınlıkta %0.131 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavlama sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları.

Döküm Sonrası Sertlik Değeri (HV)	H00 Tavlama Sonrası Sertlik Değeri (HV)	Döküm Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)	H00 Tavlama Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)
54.6	26.3		
55	27.2		
56.5	27	54.98	26.98
54.3	28		
54.5	26.4		

Çizelge 4.2 0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavlı sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları.

Döküm Sonrası Sertlik Değerleri (HV)	H00 Tavlı Sonrası Sertlik Değerleri (HV)	Döküm Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)	H00 Tavlı Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)
54	27		
53.8	26.5		
54.1	26.8	53.96	26.68
53.5	27.1		
54.4	26		

Çizelge 4.3 0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren numunenin döküm ve H00 tavlı sonrası alınan sertlik değerleri ve ortalamaları.

Döküm Sonrası Sertlik Değerleri (HV)	H00 Tavlı Sonrası Sertlik Değerleri (HV)	Döküm Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)	H00 Tavlı Sonrası Ortalama Sertlik Değeri (HV)
53.5	26		
53.6	26.4		
54	25.8	53.80	25.98
54	26.2		
53.9	25.5		

Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’ de verilen sertlik değerleri ve ortalamalar söz konusu kalınlıktaki numunelerin deneyde ağırlıkça ölçülen en yüksek silisyum oranlarında ölçülmüştür. Şekillerden görüleceği üzere döküm sonrası alınan sertlik değerleri, H00 nihai tavidan sonra neredeyse yarı yarıya azalma göstermiştir. Bu verilerden, döküm sırasında katılaştırken malzemenin döküm merdaneleri arasında uğradığı deformasyon sonucu sertlik değerinin arttığı, H00 nihai tavidan ise dökümdeki deformasyon nedeniyle uzayan tanelerin toparlandığı ve yeniden kristalleşerek sertliğin düştüğü gözlemlenmiştir.

Deney numunelerinden daha önce yapılan ortalama silisyum oranı %0.091 olan 5 farklı döküm çalışmalarından alınan üçer adet sertlik değerleri ve ortalamaları Çizelge 4.4’deki gösterilmiştir. Bu değerler ile daha düşük silisyum oranı bulunan döküm çalışmalarından

alınan değerler karşılaştırılarak, silisyum elementinin sertliğe etkisi incelenmiştir. Elde edilen verilere göre silisyum oranı arttıkça sertlik değeri de buna paralel olarak artış göstermiştir. Ayrıca alınan numuneler haddeleme yönüne dik şekilde merdanelere temas eden noktalardan ortaya doğru alındığından, ortadan alınan sertlik değerinin kenarlara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4 Deney numunelerinin dökümü öncesi ortalama silisyum oranı %0.091 olan son 5 dökümün ortalama sertlik değerleri.

Döküm Numarası	Ağırlıkça Silisyum Oranı	Ortalama Sertlik Değeri (HRV)
1.Döküm	0.075	52.96
2.Döküm	0.082	53.10
3.Döküm	0.091	53
4.Döküm	0.10	53.15
5.Döküm	0.11	53.42

4.2 AA1050 Alaşım Mekanik Özellik Standartları ve Çekme Test Sonuçları

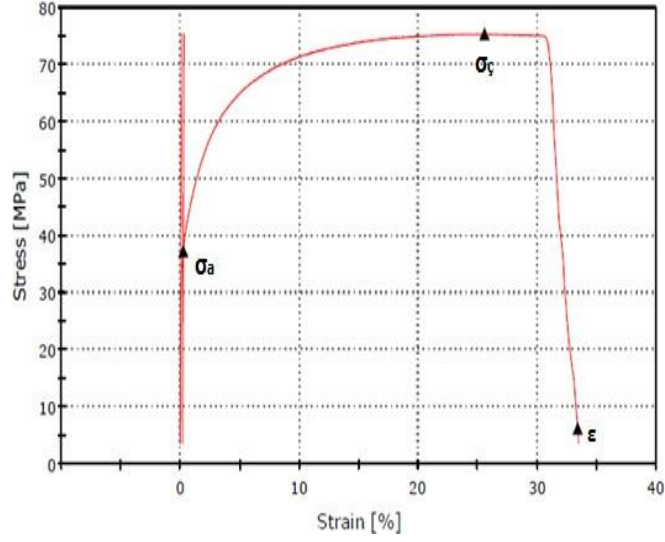
AA1050 alaşım standart değerler aralığında, silisyum oranı artırılarak alaşımlandırılan, H00 tavı uygulanmış 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıktaki numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çizelge 4.5’de AA1050 alaşım ve H00 kondisyon mekanik özellik standartları verilmiş ve çekme sonuçlarında bu standartlar baz alınmıştır.

Çizelge .5 AA1050 alaşım ve H00 kondisyon mekanik özellik standartları (TSE EN 2010).

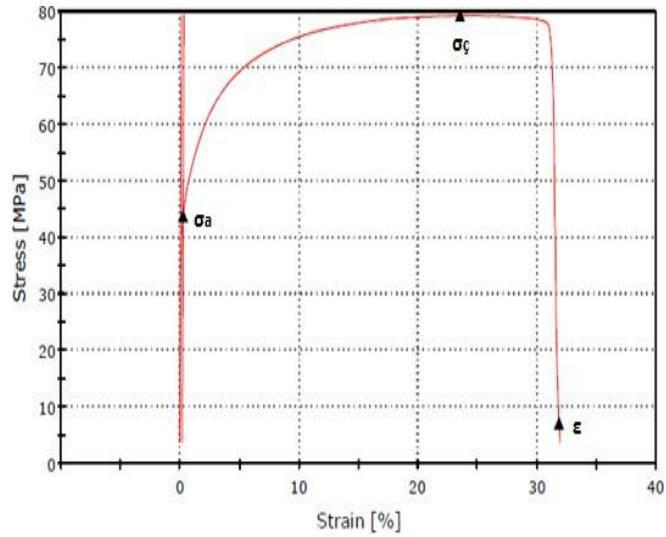
Alaşım-Kondisyon	Akma Day. (MPa)	Çekme Day. (MPa)	Uzama (%)
1050-H00	37.19	74.73	44.89

Akma Day.Std.Sapma: 2.75-3.64/ Çekme Day.Std.Sapma: 3.68-4.19 / Uzama Std.Sapma: 5.57-5.10

Şekil 4.1’de 0.32 mm kalınlıkta ve H00 tavı uygulanmış numunenin en düşük silisyum değeri olan %0.076 içeriğinde mekanik özellik değerleri verilmiştir. Şekil 4.2’de ise 0.32 mm kalınlıklı ve H00 tavı uygulanmış numunenin en yüksek silisyum değeri olan %0.131 içeriğinde mekanik özellikleri verilmiştir.

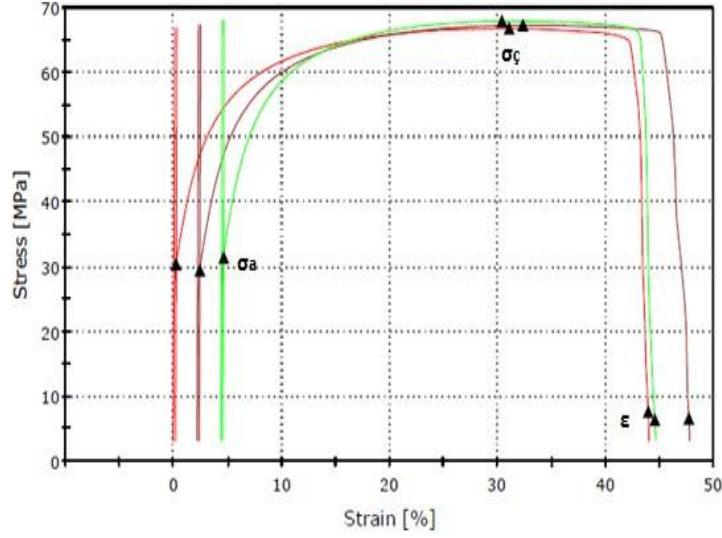


Şekil 4.1 0.32 mm kalınlıkta %0.076 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.



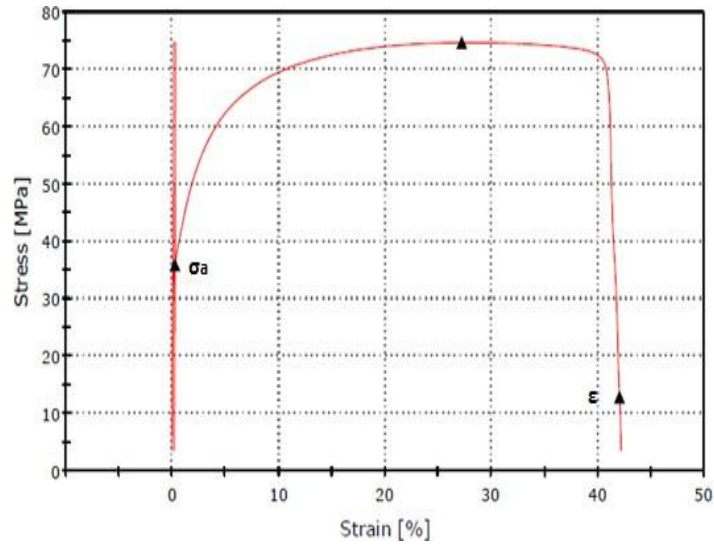
Şekil 4.2 0.32 mm kalınlıkta % 0.131 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.

Şekil 4.3’de ise 0.41 mm ve H00 tavllanmış numunenin 0.41 mm kalınlık için deneydeki en düşük silisyum değeri olan %0.08 içeriğinde mekanik özellik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3 0.41 mm kalınlıkta %0.08 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.

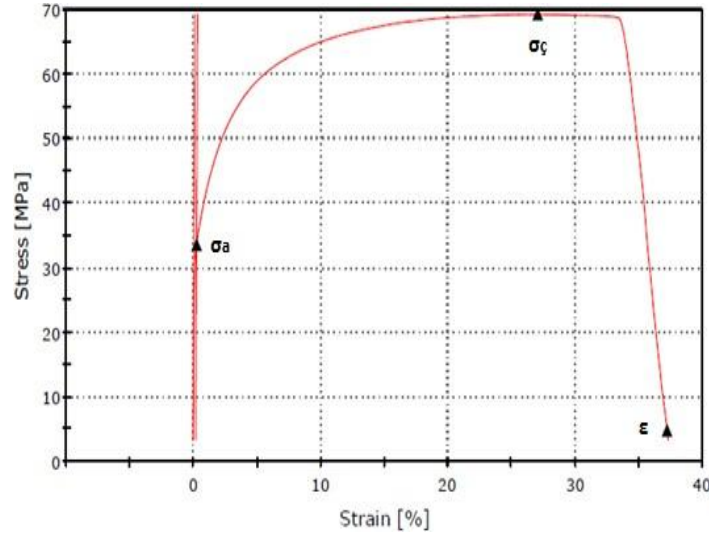
0.41 mm kalınlıklı ve H00 tav prosesi uygulanan numunenin 0.41 mm kalınlık için en yüksek silisyum değeri olan %0.155 içeriğinde mekanik özellikleri Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4 0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.

Şekillerde farklı renklerdeki diyagramlar numuneye uygulanan çekme testi sayısını göstermektedir. Örneğin Şekil 4.3’de malzemeye 3 kez test uygulanmıştır. Bu yöntem işletme şartlarında malzemenin mekanik değerlerinden emin olmak amacıyla bazen numunelere uygulanmaktadır.

Şekil 4.5’de 0.59 mm ve H00 tavllanmış numunenin 0.59 mm kalınlık için deneydeki en düşük silisyum değeri olan %0.09 içeriğinde mekanik özellik değerleri ve 0.59 mm kalınlıklı ve H00 tav prosesi uygulanan numunenin 0.59 mm kalınlık için en yüksek silisyum değeri olan %0.134 içeriğinde mekanik özellikleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5 0.59 mm kalınlıkta %0.09 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.

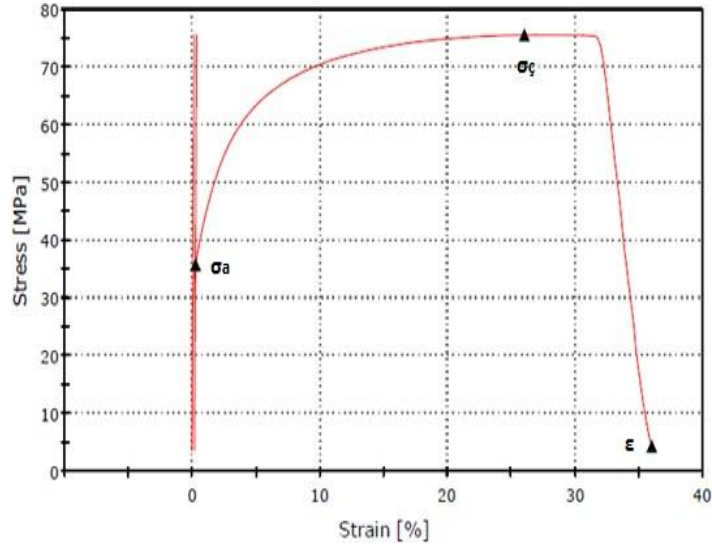
Çizelge 4.6’da farklı kalınlıklarda ve farklı silisyum oranlarında uygulanan çekme deneyi neticesinde elde edilen mekanik özellikler, Çizelge 4.7’de nihai kalınlıklarda farklı silisyum oranlarına göre mekanik özelliklerdeki değişim miktarları verilmiştir. Çekme ve uzama dayanımlarında artış, % uzama miktarında düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6 Farklı kalınlıklarda ve farklı silisyum oranlarında uygulanan çekme deneyi neticesinde elde edilen mekanik özellikler.

Kalınlık (mm)	Ağırlıkça Silisyum Oranı (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
0.32	0.076	74.42	37.50	33.80
0.32	0.131	79.60	44.20	32.00
0.41	0.080	67.40	30.00	43.50
0.41	0.155	73.45	35.00	42.00
0.59	0.090	69.70	34.20	37.40
0.59	0.134	75.60	36.00	36.70

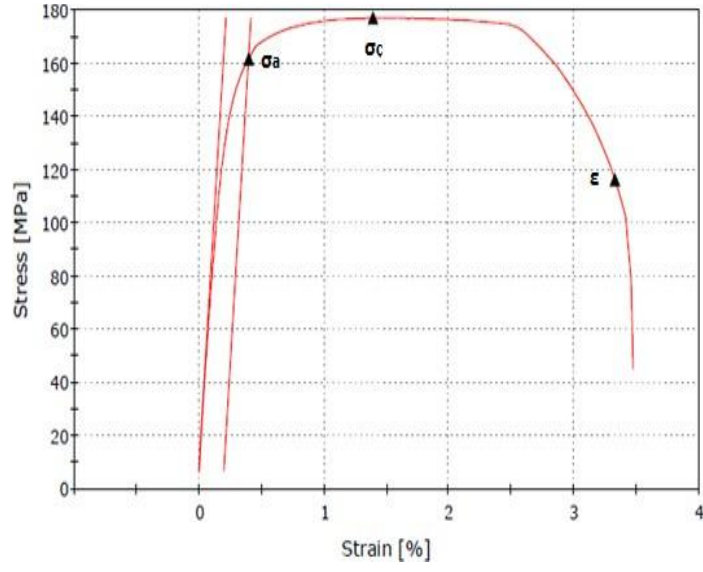
Çizelge 4.7 Nihai kalınlıklarda farklı silisyum oranlarına göre mekanik özelliklerdeki değişim miktarları.

Kalınlık (mm)	Ağırlıkça Silisyum Değişimi ($\Delta\%$)	Çekme Dayanımı Değişim (Δ MPa)	Akma Dayanımı Değişim (Δ MPa)	Uzama Miktarı Değişim ($\Delta\%$)
0.32	0.055	+ 5.18	+ 6.70	-1.80
0.41	0.075	+ 6.05	+ 5.00	-1.50
0.59	0.044	+ 5.90	+ 2.20	-0.70

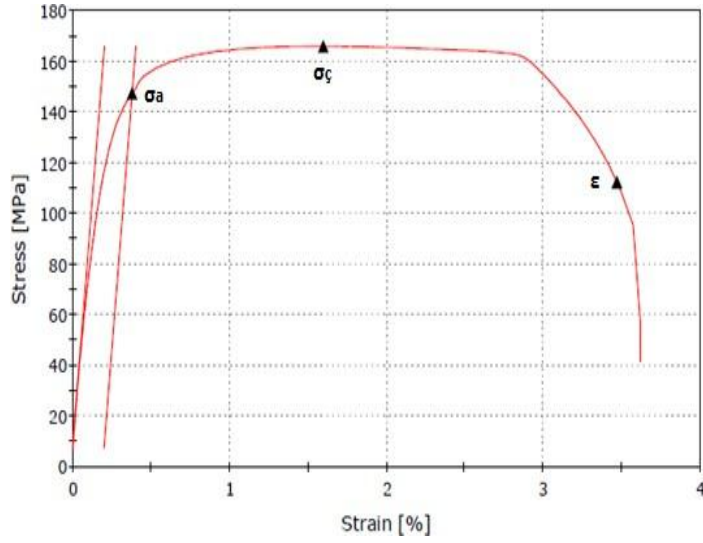


Şekil 4.6 0.59 mm kalınlıkta %0.134 silisyum içeren numunenin çekme diyagramı.

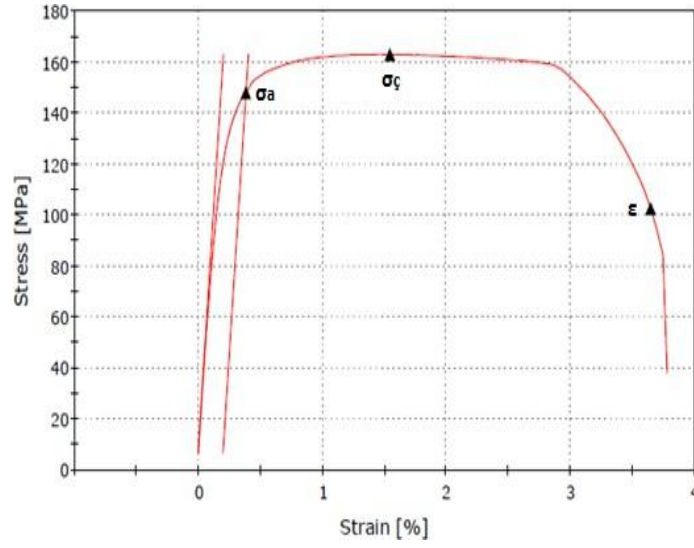
Şekil 4.7 , Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da farklı kalınlıklardaki numunelerin 2.90 mm kalınlıkta ve kalınlıklarına göre en yüksek silisyum değerlerinde homojenizasyon tavına girmeden önce yapılan çekme test sonuçları görülmektedir. Şekillerde soğuk deformasyona uğraması nedeniyle mekanik özelliklerin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 0.32 mm kalınlıktan 0.59 mm kalınlığa kadar, kalınlık arttıkça çekme ve akma dayanımı azalmıştır. Bununla ters orantılı olarak uzama değerinde artış gözlemlenmiştir. Soğuk deformasyon miktarı arttıkça dayanımın artmasının sebebi, deformasyon ile beraber malzemenin tanelerinin uzaması ve daha sert bir yapıya ulaşarak mukavemetinin artmasıdır



Şekil 4.7 0.32 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı.



Şekil 4.8 0.41 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı.



Şekil 4.9 0.59 mm nihai kalınlıklı numunenin homojenizasyon tavına girmeden önce 2.90 mm kalınlıkta çekme diyagramı.

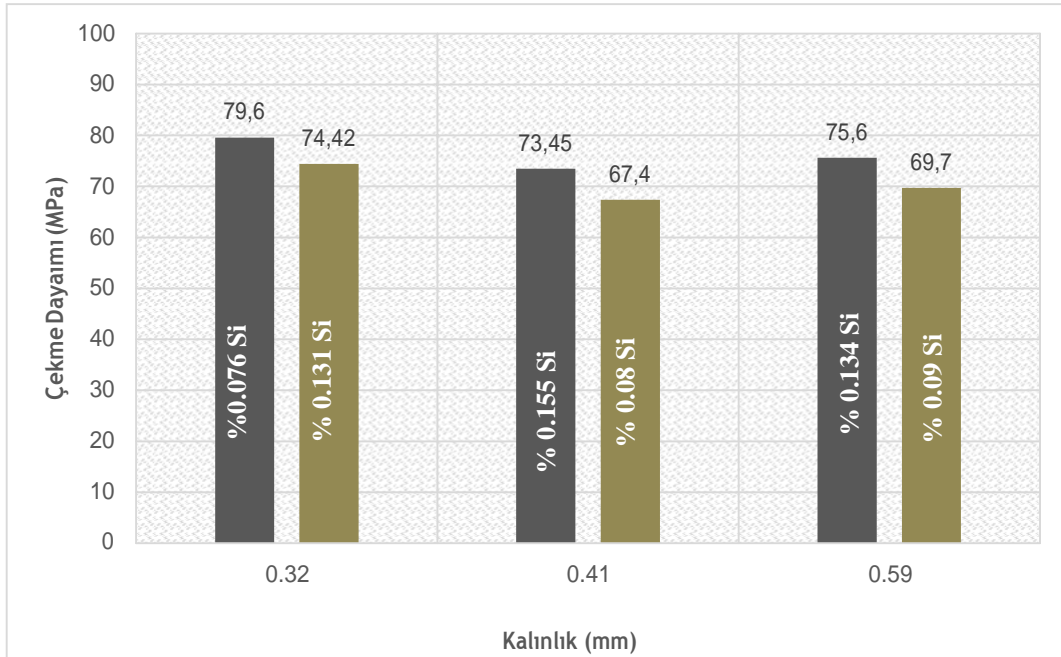
Çizelge 4.8’de numunelerin 2.90 mm kalınlıkta homojenizasyon tavına girmeden önceki mekanik özellik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8 Numunelerin 2.90 mm kalınlıkta homojenizasyon tavına girmeden önceki mekanik değerleri.

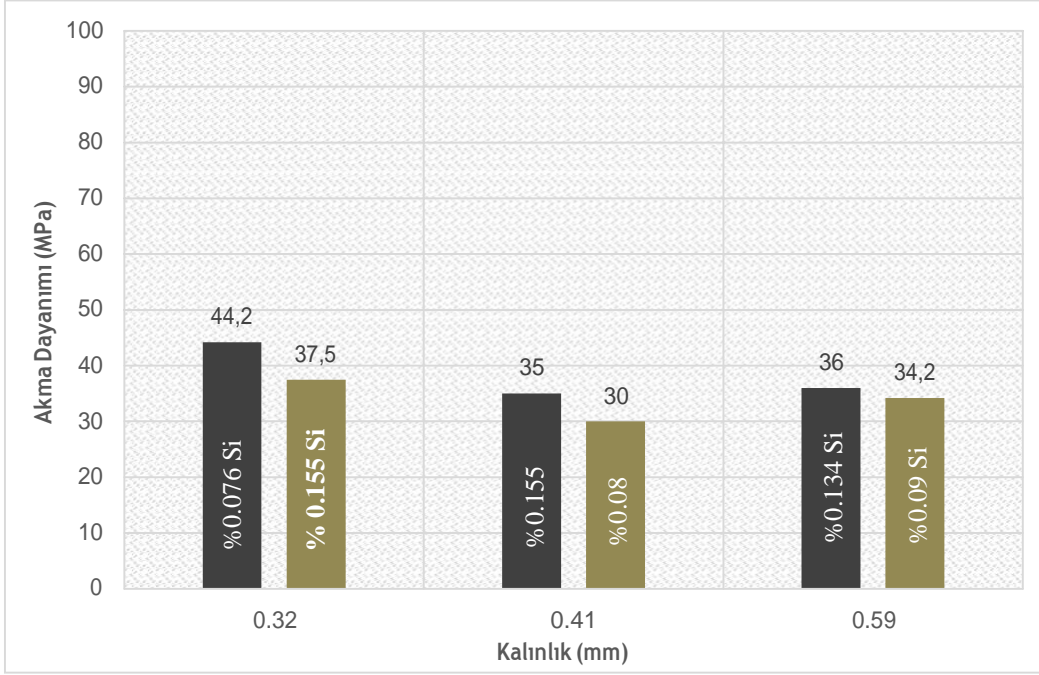
Nihai Kalınlık (mm)	Test Kalınlığı (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
0.32	2.90	177.10	161.83	3.12
0.41	2.90	166.04	147.48	3.24
0.59	2.90	165.04	147.01	3.45

Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de 0.32, 0.41 ve 0.59 mm mm kalınlıklı numunenin en yüksek ve en düşük silisyum değerlerine göre çekme,akma dayanımı ve % uzama miktarındaki değişimler verilmiştir. 0.32 mm kalınlıkta %0.131 silisyum içeren numunenin, %0.076 silisyum içeren numuneye oranla çekme ve akma dayanımı daha yüksek olmasına karşın % uzama değerinde daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. 0.41 mm kalınlıkta %0.155 silisyum içeren numunenin, %0.08 silisyum içeren numuneye oranla yine çekme ve akma dayanımı daha yüksek olmasına rağmen % uzama değeri daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. 0.59 mm kalınlıklıkta %0.134 silisyum içeren numunenin, %0.09 silisyum içeren numuneye oranla aynı şekilde akma ve çekme dayanımının daha yüksek, % uzama değerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

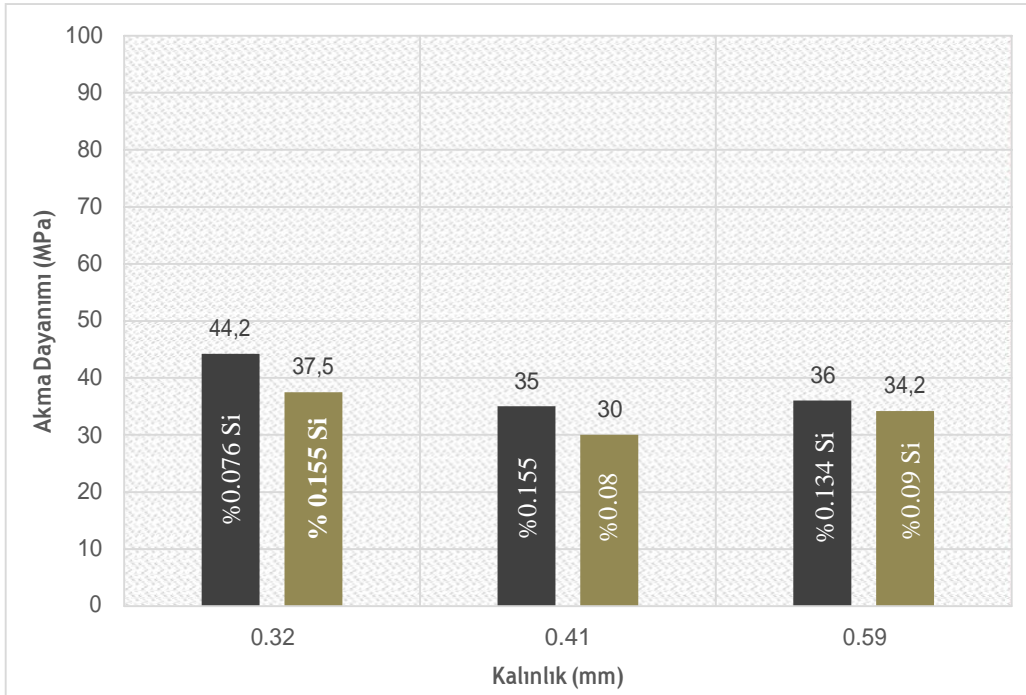
Bütün bu veriler incelendiğinde alaşımdaki silisyum elementi oranı arttıkça numunelerin çekme ve akma artış göstermiştir. Çekme ve akma dayanımı artmasına karşın % uzama değeri silisyum oranı arttıkça azalma göstermiştir.



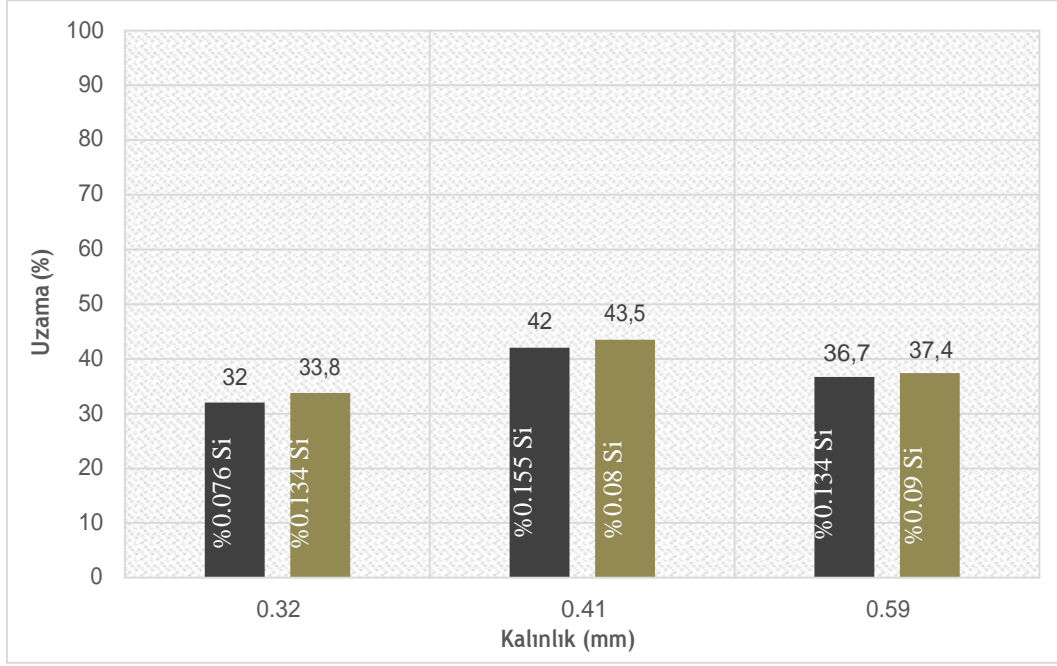
Şekil 4.10 Farklı kalınlıklı deney numunelerinin ağırlıkça en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre çekme dayanımındaki değişimin grafiksel gösterimi.



Şekil 4.11 Farklı kalınlıklı deney numunelerinin ağırlıkça en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre akma dayanımındaki değişimin grafiksel gösterimi.



Şekil 4.12 Farklı kalınlıklı deney numunelerinin ağırlıkça en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre yüzde uzama değerindeki değişimin grafiksel gösterimi.



Şekil 4.13 Farklı kalınlıklı deney numunelerinin ağırlıkça en yüksek ve en düşük silisyum oranlarına göre % uzama miktarındaki değişimin grafiksel gösterimi.

4.3 Kimyasal Analiz Standartları ve Elde Edilen Analiz Sonuçları

Çizelge 4.9'daki alaşım standartlarında silisyum oranı 0-0.25 arasında tutularak alaşım standartları bozulmadan arttırılmış, diğer alaşım elementleri ise standart aralığında tutulmuştur. Elde edilecek numuneler sürekli döküm hattında elde edildiği için ve fırın kapasitesi 10-15 ton olduğundan maksimum değer olan 0.25'e kadar çıkılamamıştır. Maksimum silisyum oranı 0.155'te kalmıştır.

Çizelge 4.9 AA1050 alüminyum alaşımlarının TSE kimyasal bileşim standartları (TSE EN 2010).

% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Ti	% Al
Min.0	Min.0	Min.0	Min.0	Min 0	Min 99.5
Max 0.25	Max 0.40	Max 0.05	Max 0.05	Max 0.05	

Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de ise birbirinden ayrı, farklı kalınlıklardaki döküm yolluklarından alınan spektrometre analiz sonuçları verilmiştir. Bu analizlerde en her dökümden 5 adet kimyasal analiz yapılmıştır. Ağırlıkça en düşük ve en yüksek silisyum oranları deneyler için seçilerek, analizler bu değerler üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 4.10 0.32 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi.

% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	%Ti	%Al
0,0766	0,269	0,0005	0,0124	0,0014	0,0232	99,57
0,088	0,264	0,0004	0,0118	0,0021	0,0263	99,567
0,0918	0,269	0,0042	0,0162	0,0026	0,0193	99,562
0,131	0,252	0,0052	0,0191	0,0018	0,0182	99,568

Çizelge 4.11 0.41 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi.

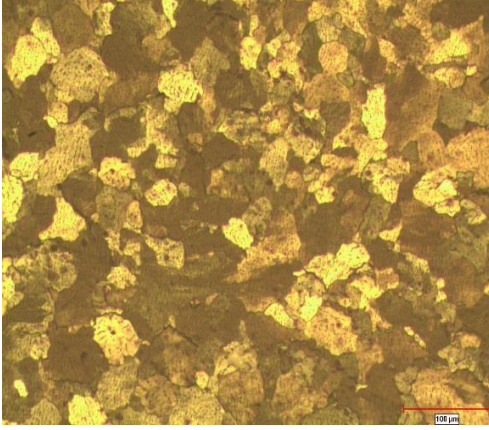
% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	%Ti	%Al
0,088	0,258	0,0003	0,0053	0,0039	0,0261	99,57
0,109	0,251	0,0025	0,0044	0,0026	0,0243	99,567
0,129	0,279	0,0002	0,0052	0,0042	0,0215	99,562
0,155	0,243	0,0002	0,0076	0,0026	0,0168	99,568

Çizelge 4.12 0.59 mm nihai kalınlıklı numunenin 6 mm kalınlıktaki döküm kimyasal analizi.

% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	%Ti	%Al
0,094	0,245	0,0002	0,0150	0,0013	0,0149	99,597
0,115	0,287	0,0002	0,0112	0,0022	0,0128	99,537
0,134	0,258	0,0003	0,0108	0,0021	0,0125	99,543

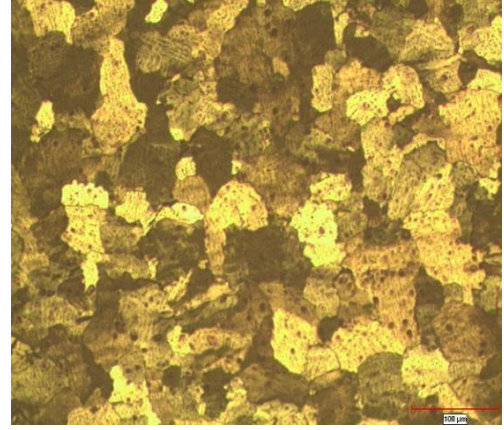
4.4 Mikroyapı İncelemeleri

Optik mikroskop ile yapılan mikroyapı incelemelerinde Resim 4.1 ve Resim 4.2’de 0.32 ve 6 mm kalınlıklı % 0.076 silisyum içeren numunelerin döküm sonrası ve H00 tavlı sonrası 100x büyütmedeki görüntüleri verilmiştir. Resim 4.3 ve Resim 4.4’de ise 6 mm kalınlıklı ve % 0.131 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



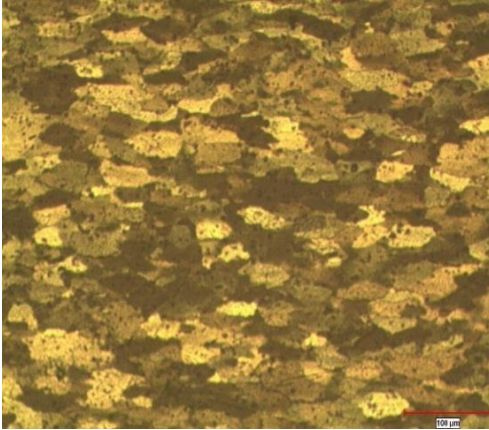
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.1 6 mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



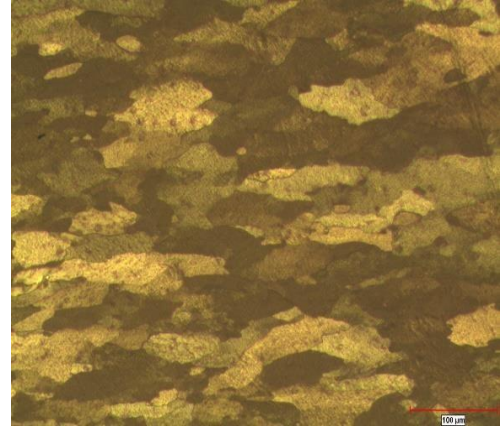
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.2 0.32 mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren H00 tavlı numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü.



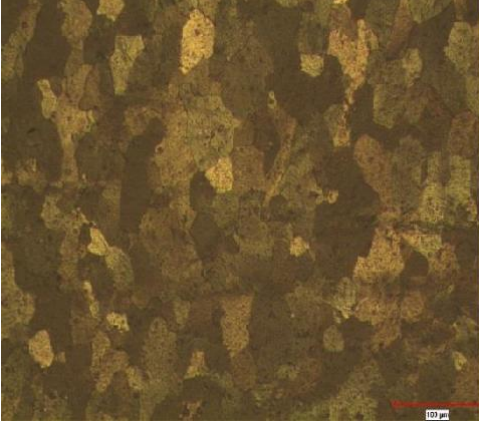
Haddeleme yönü →

Resim 4.3 6 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



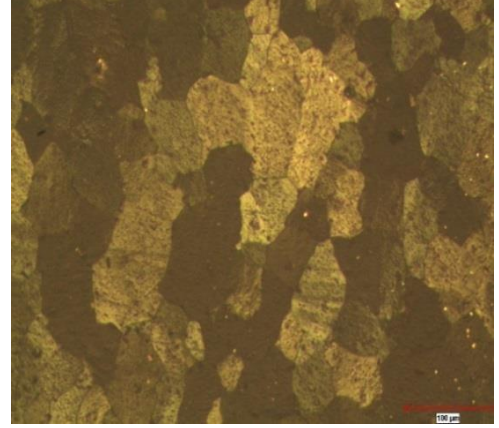
Haddeleme yönü →

Resim 4.4 6 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren döküm numunelerinin 200x büyütmedeki görüntüsü.



Haddeleme yönü ↑

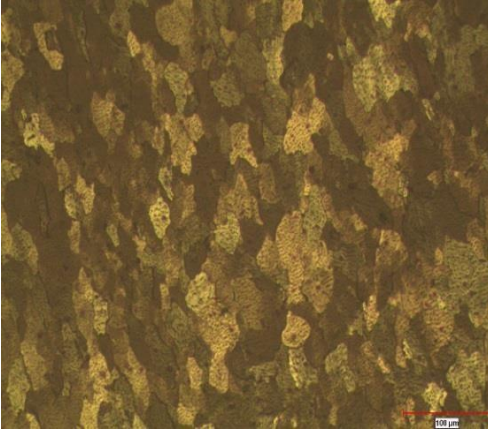
Resim 4.5 0.32 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki görüntüsü.



Haddeleme yönü ↑

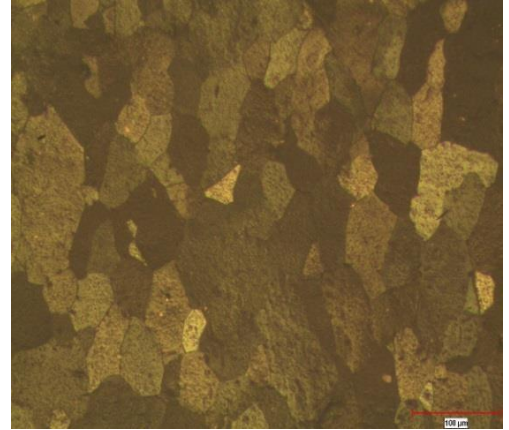
Resim 4.6 0.32 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren numunenin H00 tavllanmış 200x büyütmedeki görüntüsü.

Resim 4.5, Resim 4.6'da ise 0.32 mm ve % 0.131 silisyum içeren numunelerin H00 tavlı sonrası sonrası 0.32 mm kalınlığında 100x ve 200x büyütmedeki görüntüleri elde edilmiş ve mikroyapı özellikleri gözlemlenmiştir. Resim 4.7 ve Resim 4.8'deki görüntülerde 0.32 ve 6 mm kalınlıklı % 0.08 silisyum içeren döküm ve H00 tavlı numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



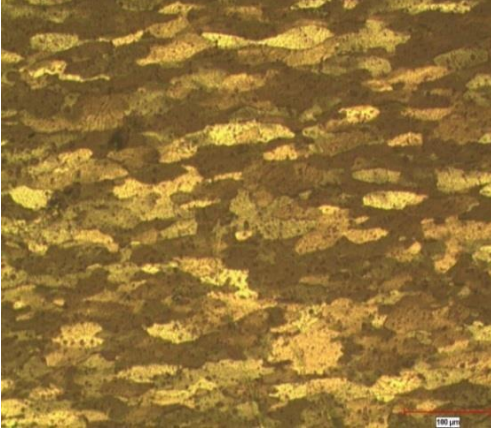
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.7 6 mm kalınlığında %0.08 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



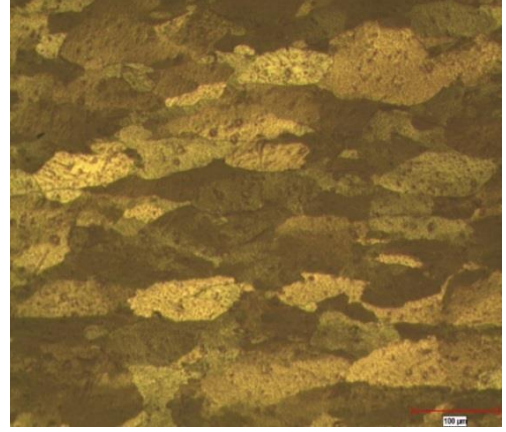
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.8 0.41 mm kalınlığında %0.08 silisyum içeren H00 tavlı numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü.



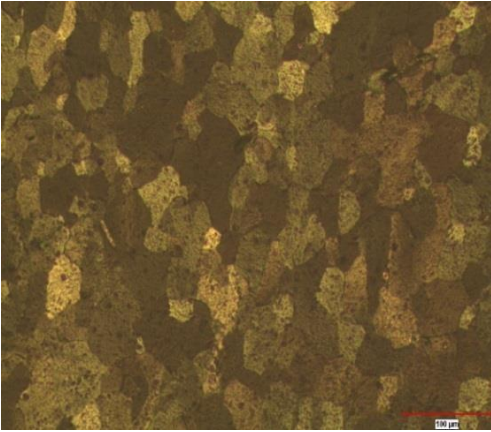
Haddleme yönü →

Resim 4.9 6 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



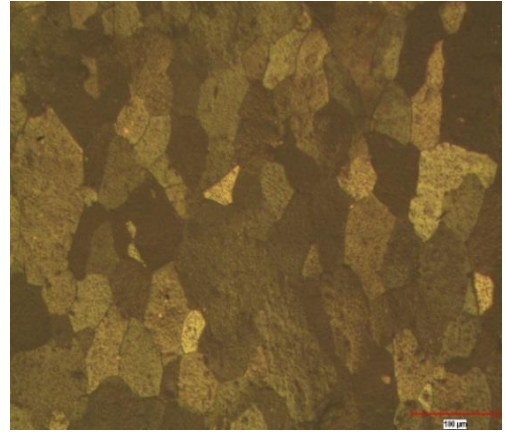
Haddleme yönü →

Resim 4.10 6 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren döküm numunelerin 200x büyütmedeki görüntüsü.



Haddleme yönü ↑

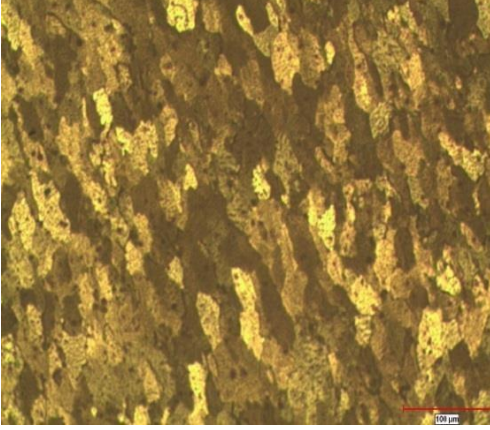
Resim 4.11 0.41 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



Haddleme yönü ↑

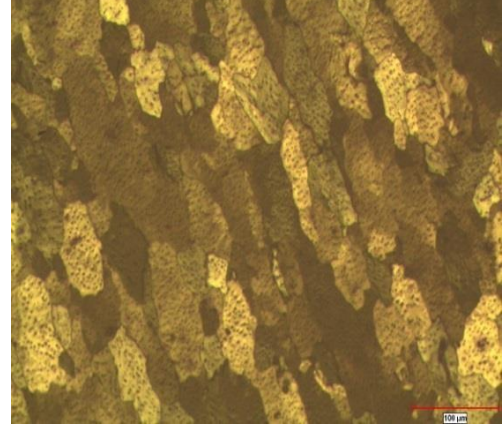
Resim 4.12 0.41 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren H00 tavlı numunelerin 200x büyütmedeki görüntüsü.

Resim 4.9, Resim 4.10'da ise 0.59 mm ve % 0.134 silisyum içeren numunelerin döküm sonrası 6 mm kalınlığında 100x ve 200x büyütmedeki görüntüleri elde edilmiş ve mikroyapı özellikleri gözlemlenmiştir. Resim 4.11 ve Resim 4.12'deki görüntülerde 0.41 mm kalınlıklı ve % 0.155 silisyum içeren H00 tavlınmış numunelerin 100x ve 200x büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



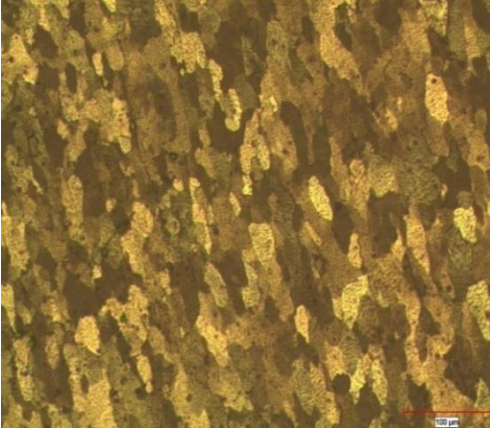
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.13 0.59 mm kalınlığında %0.09 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



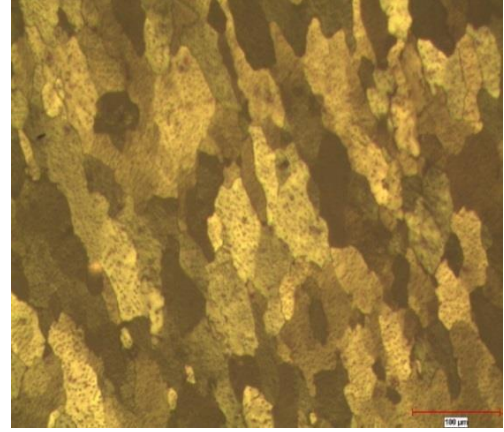
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.14 0.59 mm kalınlığında %0.09 silisyum içeren H00 tavlı numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



Haddeleme yönü ↑

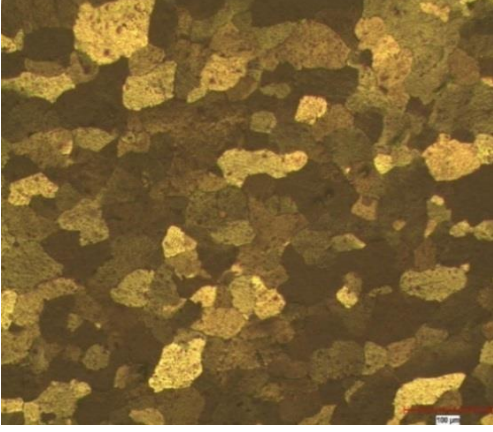
Resim 4.15 6 mm kalınlığında %0.134 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x büyütmedeki görüntüsü.



Haddeleme yönü ↑

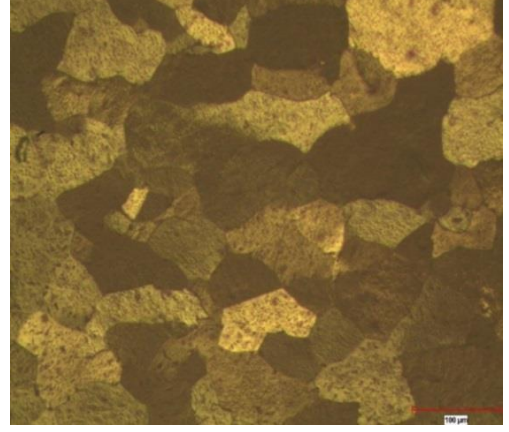
Resim 4.16 6mm kalınlığında % 0.134 silisyum içeren döküm numunelerinin 200x büyütmedeki görüntüsü.

Resim 4.13 ve Resim 4.14'de 0.59 ve 6 mm kalınlıklı % 0.09 silisyum içeren numunelerin döküm sonrası ve H00 tavlı sonrası 100x büyütmedeki görüntüleri verilmiştir. Resim 4.15 ve Resim 4.16'daki görüntülerde 6 mm kalınlıklı % 0.155 silisyum içeren döküm numunelerinin 100x ve 200x büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



Haddeleme yönü→

Resim 4.17 0.59 mm kalınlığında %0.134 silisyum içeren H00 tavllanmış numunelerin 100x büyütmedeki görüntüsü.



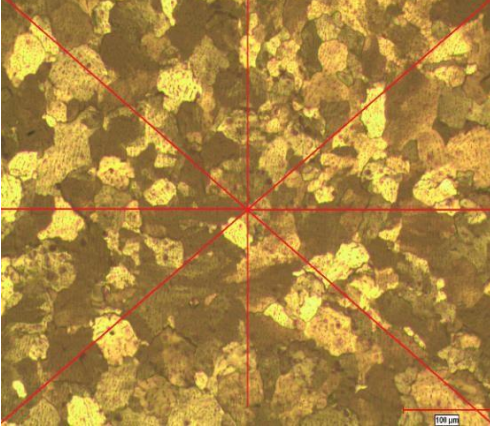
Haddeleme yönü→

Resim 4.18 0.59 mm kalınlığında %0.134 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 200x büyütmedeki görüntüsü.

Resim 4.17 ve Resim 4.18’de 0.59 kalınlıklı ve % 0.134 silisyum içeren numunelerin H00 tavlı sonrası 100x ve 200x büyütmedeki görüntüleri verilmiştir. Yapılan mikroyapı analizlerinde de görüleceği üzere haddeleme yönüne dik ve haddeleme yönünde alınan numunelerde, döküm esnasında malzemenin döküm merdanelerinde uğradığı soğuk deformasyon neticesinde tanelerin uzadığı ve silisyum elemanı etkisi, AlTiB takviyesi ile küçük taneli yapı oluştuğu görülmektedir. Yine aynı numunelerin uygulanan H00 tavlı sonrası tanelerin toparlanma aşamasına geçip büyüdüğü, yeniden kristalleştiği gözlemlenmektedir. Bu şekilde malzemede döküm sonrası ve haddeleme sonrası uygulanan deformasyon nedeniyle oluşan tane uzaması ve iç gerilmeler giderilmiştir.

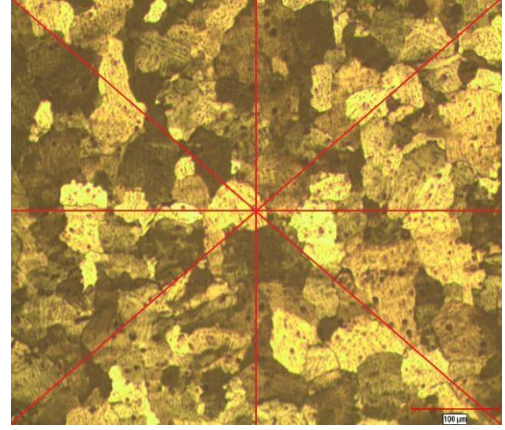
4.5 Tane Boyutu Analizleri

Resim 4.13 ve Resim 4.14’de mikroyapı resminin köşelerinden ve kenarlarından çekilen çizgilerin uzunluğu ve bu çizgilere temas eden tane sınırları vasıtası ile 100x büyütmede ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. Aynı işlem diğer resimlerdeki mikroyapılara uygulanmış ve ortalama tane boyutları hesaplanmıştır.



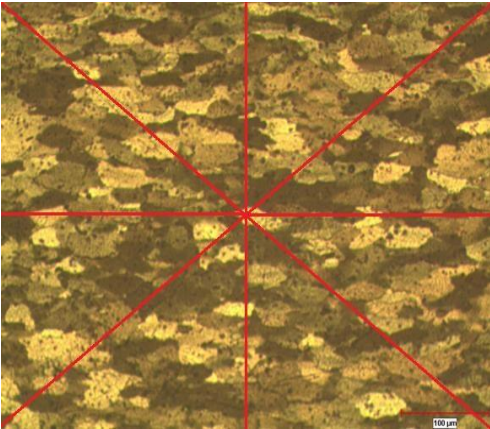
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.19 6mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



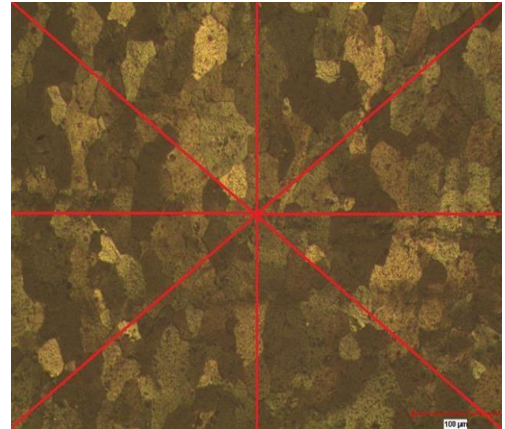
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.20 0.32 mm kalınlığında %0.076 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



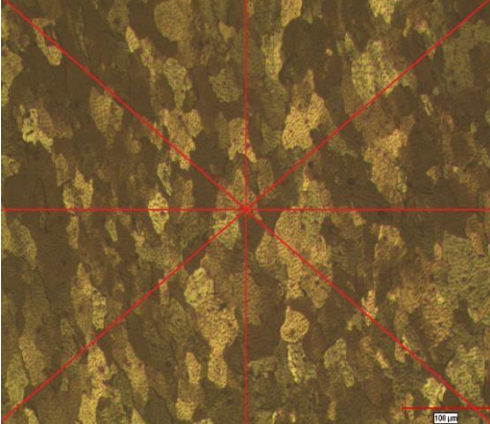
Haddeleme yönü →

Resim 4.21 6 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



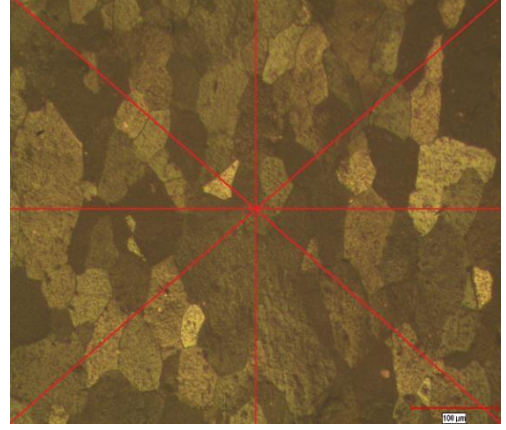
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.22 0.32 mm kalınlığında %0.131 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



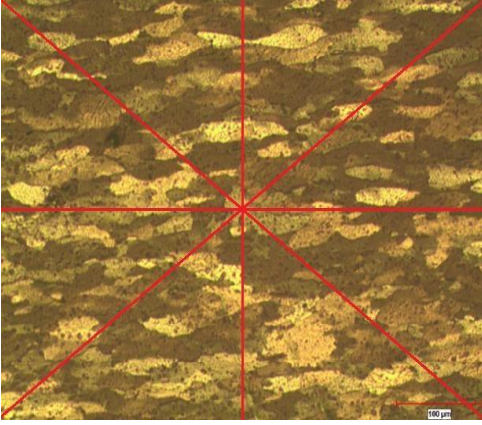
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.23 6 mm kalınlığında %0.08 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



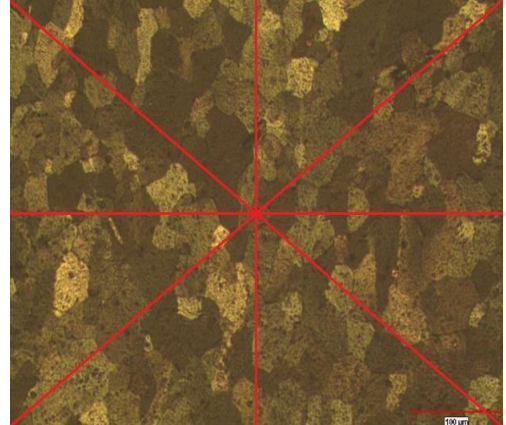
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.24 0.41 mm kalınlığında %0.08 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



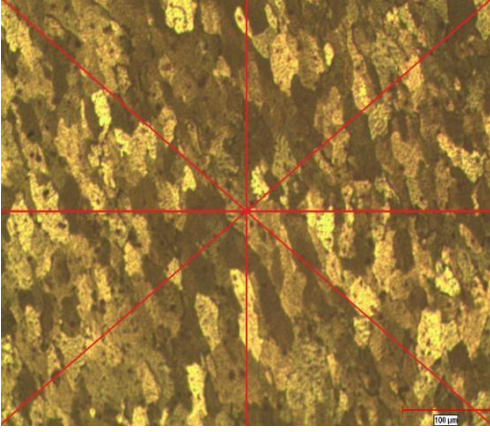
Haddeleme yönü →

Resim 4.25 6 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



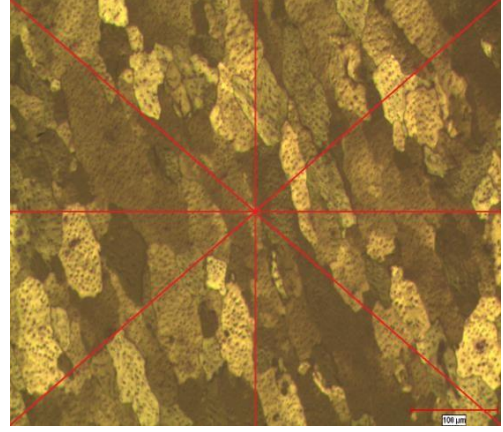
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.26 0.41 mm kalınlığında %0.155 silisyum içeren H00 tavllanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



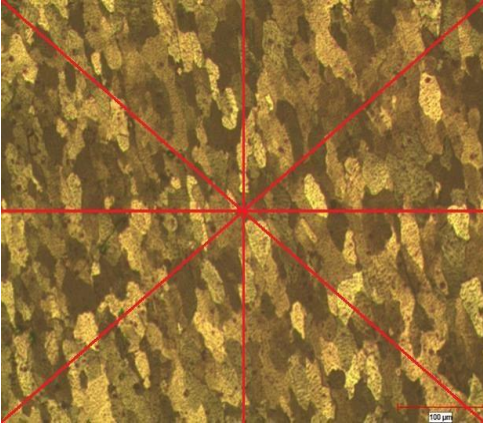
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.27 6 mm kalınlığında %0.09 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



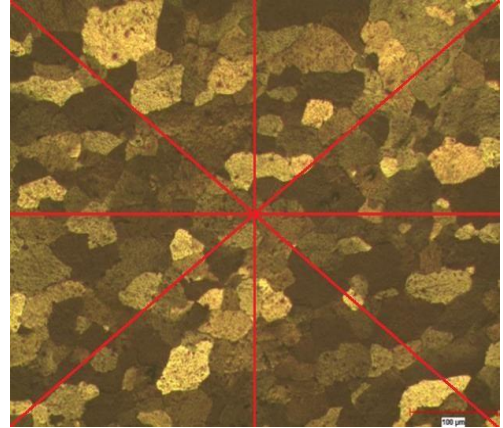
Haddeleme yönü ↑

Resim 4.28 0.59 mm kalınlığında %0.09 silisyum içeren H00 tavlanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



Haddeleme yönü ↑

Resim 4.29 6 mm kalınlığında %0.134 silisyum içeren döküm numunelerin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.



Haddeleme yönü →

Resim 4.30 0.59 mm kalınlığında %0.134 silisyum içeren H00 tavlanmış numunenin 100x büyütmedeki tane boyut analizi.

Çizelge 4.13 Farklı kalınlık ve ağırlıkça farklı silisyum oranlarında döküm ve H00 tavı sonrası tane boyutları.

Kalınlık (mm)	Ağırlıkça Silisyum Oranı (%)	Döküm Sonrası Tane Boyutu (μm)	H00 Tavı Sonrası Tane Boyutu (μm)
0.32	0.076	17,2	24,2
0.32	0.131	14,8	21,0
0.41	0.080	21,5	35,8
0.41	0.155	15,8	20,3
0.59	0.090	18,0	27,1
0.59	0.134	15,0	21,3

Yapılan mikroyapı analizi sonrası elde edilen resimler üzerinden birbirinden farklı kalınlıkta ağırlıkça deneydeki en yüksek silisyum oranlarına sahip numunelerin ortalama tane boyutu hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’de farklı kalınlık ve ağırlıkça farklı silisyum oranlarında döküm ve H00 tavı sonrası tane boyutları gösterilmiştir. Döküm sonrası 0.32, 0.41 ve 0.59 mm kalınlıklı numunelerin mikroyapıları üzerinden yapılan tane boyutu analizde silisyum oranı arttıkça tane boyutunun küçüldüğü gözlemlenmiştir. H00 tavı sonrası yine farklı kalınlıktaki numunelerin analizlerde ise silisyum oranı arttıkça tane boyutunun küçüldüğü gözlemlenmiştir. Resimlerde döküm sonrası elde edilen tane boyutunun, H00 tavı sonrası elde edilen tane boyutuna oranla yarı yarıya küçük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak yapılan ölçümlerde yarı yarıya bir boyut farkı bulunamamıştır. Bunun nedeni döküm sonrası tanelerde oluşan uzamanın etkisiyle, çekilen çizgilerle beraber tane boyutu ölçümünün sağlıklı yapılamamasıdır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İkiz merdane sürekli döküm teknolojisiyle üretilmiş AA1050 alaşım standartlarındaki alüminyum alaşımlarının H00 kondisyonunda, içeriğindeki değişen ağırlıkça silisyum oranlarının mekanik özelliklere etkisi, mikroyapısal analiz, kimyasal analiz, sertlik analizi, tane boyutu yapılarının incelendiği bu çalışmada aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

İşletme şartlarında ergitme fırını içerisine yapılan alaşımlandırmada, hurda malzemeler de kullanıldığından alaşımlandırma işlemi tam olarak istenilen aralıkta olamamakta, silisyum ve silisyum dışındaki diğer alaşım elementlerine tam olarak müdahale edilememektedir.

Döküm makinesinden çıkan ilk levha, katılma sırasında aynı zamanda deformasyona uğrar. Ayrıca AA1050 alaşımının standart değerler arasında artarak değişmesi sonucunda mekanik özelliklere etkisinin yanı sıra dökümde sıvı metalin akışkanlığına da olumlu yönde etki ettiği, döküm alma aşamasında sıvı metalin merdanelerin arasına beslemesi yapıldığında gözlemlenmiştir.

AA1050 alaşımdaki ağırlıkça silisyum oranlarının maksimum ve minimum aralığında değiştirilen silisyum oranı arttıkça daha önce yapılan deneylerde olduğu gibi (Milind and Pradeep 2013 and Vipin vd. 2015) malzemenin akma ve çekme mukavemetinin de paralel olarak arttığı, yüzde uzama değerinin ise bu değerlere karşılık genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Burdan çekme ve akma dayanımının % uzama miktarı ile ters orantıda olduğu sonucu çıkarılabilir. Uzama değerinin artırılabilmesi için homojenizasyon tav sıcaklığı ve süresi yükseltilebilir. Homojenizasyon tavinin sıcaklığı süresi artırılır ise tanelerin yeniden kristalleşmesi daha verimli olacağı için uzama miktarı da buna paralel artacaktır. Bu sebeple derin çekme işlemi uygulanacak malzemelere mutlaka homojenizasyon tavi uygulanmaktadır.

Homojenizasyon tav prosesi öncesi alınan numunelere uygulanan çekme deneyi sonrasında elde edilen çekme ve akma dayanımının yüksek olmasının nedeninin, silisyumun dökümde oluşturduğu bileşiğin ve çökeltinin dayanımı artırması olarak düşünülmektedir. Bunun dışında malzemeye haddelemede uygulanan ezme oranları ile oluşan deformasyon sertleşmesinin de etken olabileceği olduğu düşünülmektedir. Çekme ve akma dayanımlarının yüksek olması nedeniyle yüzde uzama miktarında da azalma meydana gelmiştir.

Döküm kalınlığında kesit boyunca yapılan sertliklerin kalınlık arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda; silisyum oranının etkisinin yanı sıra kalınlığın düştükçe soğuk deformasyon oranının da etkisinin olduğu düşünülmektedir. Uygulanan soğuk deformasyon oranı malzemeyi sertleştirmiştir. Ayrıca haddeleme yönüne dik şekilde orta kısımdan yapılan ölçümlerin sertliğinin merdaneye yakın olan kenarlardan alınan ölçümlerden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu aşamada silisyumun çözünerek döküm esnasında orta kısımda yoğunlaştığı bu durumun da sertliği arttırmada etken olduğu düşünülmektedir. Silisyum oranının yanı sıra döküm sonrası numunelerin daha sert çıkma nedenlerinden biri döküm sırasında tip kalıbına dolan malzemenin katılaşırken merdaneler arasında deformasyona maruz kalması ve diğer alaşım elementlerinin oluşturduğu bileşikler veya levhanın levhanın merdaneler arasındaki katılaşma süresinin de olduğu düşünülmektedir. Uygulanan H00 tavı sonrası tanelerin yeniden kristalleşmesi sağlanmış, toparlanma aşamasına geçen tanelerin malzemeyi yumuşatarak sertliği düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Numunelerin optik mikroskopta çekilen 100x büyütmedeki mikroyapılar üzerinden tane boyutu incelenmiştir. Döküm sonrası ve H00 tavı sonrası mikroyapılarına yapılan tane boyutu incelemelerinde aynı kalınlıklarda silisyum oranının arttıkça tane boyutunun küçüldüğü gözlemlenmiştir. Burada etken olan mekanizmanın silisyum elementinin metal içinde tane boyutunu küçültücü etkisi olması olarak düşünülmektedir. Ayrıca farklı kalınlıktaki malzemelere döküm sonrasında nihai kalınlığa kadar uygulanan soğuk deformasyon oranının neredeyse aynı olması, silisyum elementinin tane boyutuna olan etkisinin gözlemlenmesinde etkili olmuştur.

Bu durum ile beraber tavlanan malzemede sıcaklık ile beraber tanelerin toparlanma, yeniden kristalleşme evrelerinden sonra numunelerde tane büyümesinin olduğu gözlemlenmiştir. Tane uzaması malzemeyi sertleştirip, levha iç yapısında gerilmeleri arttırdığı için tav prosesi yapılmasını mecbur kılmıştır.

Tav prosesi ile elde edilen tane uzaması aşamasında meydana gelen değişikliklerde silisyum elementinin etkisinin olduğu düşünülmektedir. Oluşan bu toparlanma sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu aşamada tavlama sıcaklığının ve süresinin numune üzerindeki etkileri işletme şartları ve işletmede uygulanan prosesi bozmamak adına incelenememiştir.

Çalışmada numunelerdeki mekanik özelliklerdeki artış, azalış ve sabit kalmaların sadece silisyum oranından ziyade, diğer alaşım elementlerinden de kaynaklandığı düşünülmektedir. Bileşimde diğer element miktarlarının değerlerinin sabit bırakılması işletme şartlarında mümkün olmadığından bu durumun önüne geçilememiştir. Ergitme aşamasında fırına beslemenin hurdayla yapılması nedeniyle, bu alaşım elementleri değerleri sabit tutulamamıştır. Bu nedenle de bu elementlerin de mekanik özelliklere, tane boyutuna, döküm kalitesine, sertliğe etki etmiş olabilme ihtimali yüksektir.

Silisyum oranı AA1050 serisi alüminyum standartlarına uygun şekilde daha fazla arttırılarak mekanik özellikler bir miktar daha arttırılabilir. Fakat bu aşamada diğer alaşım element miktarları istenilen seviyelerde tutulamayacağından mukavemeti olumsuz yönde etkileyebilir veya değerler sabit bir şekilde kalabilir.

5. KAYNAKLAR

- Alper, M.G. (2003). Alümiyum Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş 5052-5182 Alümiyum Alaşımının Şekillendirebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alper, M.G. (2003). Alümiyum Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş 5052-5182 Alümiyum Alaşımının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altenpohl, D.G. (1998). Aluminum: Technology, Applications and Environment 6th edn., TMS-AIME, Warrendale, PA.
- Alümiyum Raporu, (2004), TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.
- Anık, S., Anık, E.S., Vural, M. (1998). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, İstanbul. S:382
- ASM International, (1991). ASM Handbook Vol.4 : Heat Treating. ASM International, USA.
- Avner, S.H. (1974). Introduction to Physical Metallurgy. McGrawHill Book Company, New York. P: 129-147
- Berakar, N.S., Dhindaw, B.K. (2014). Twin Roll Casting of Aluminum Alloys An Overview.
- Biol, Y., Kara,G., Akkurt, S., Romanowski, C. (2000). The Effect of Casting Parameters on the Metallurgical Quality of Twin Roll Cast Strip Continuous Casting, DGM. P: 41-44.
- Byrne, J.G. (1965). Recovery, Recrystallization and Grain Growth, The Macmillan Co., New York.
- Büyükakkaş, F. (2001). Çift Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi İle Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alümiyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü, İstanbul.
- Cankut, S. (1976). Alümiyum-Eloksal ve Etiket Tekniği, 2. Baskı, Galvanokimya Koll Şti. Yayınları.

- Conserva M., Donzelli G., Trippodo R. (1992). Aluminum and Its Applications, Edimet, Brescia.
- Çapan, L. (2000). Metallere Plastik Şekil Verme, İstanbul, Çağlayan Kitapevi. S: 207-211.
- Çarboğa, C., Dal,S. (2014). Laboratuvar I Dersi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.
- Davis, J.R. (1993). ASM Specialty Handbook Aluminum and Aluminum Alloys,ASM International. S: 3-59
- Davis, J.R. (2001). Aluminum and Aluminum Alloys Alloying: Understanding the Basics. 1.Baskı, Ohio. S: 371-441.
- Dieter George E. (1984). Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, Singapore.
- Deliküçük, Y. (1989). Al-Mn İşlem Alaşımalarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Doğan, N. (1998). Hunter Sürekli Döküm Prosesi ile Üretilen Al-Fe-Mn-Si Alaşımının Mikroyapısının Karakterizasyon ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi,Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erarslan, Y. (1999). Etial-60 Alaşımında Döküm ve Homojenizasyon Uygulamalarının Ekstrüzyon Kabiliyetine Etkileri, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersümer,A. (1960) . Makine Bilgisi 3.Cilt, Malzeme Deneyi. Teknik Okulu Kütüphanesi, İstanbul.
- Ertan, S., Birol,Y., Sarıoğlu,K., Özden,E., Akkurt,S., Yıldızbayrak, G., Hamer,S., Romanowski,C. (2000). The Effect of Casting Parameters on Twin Roll Cast Strip Microstructure Light Metals, TMS.
- Hatch Jhon, E. (1984). Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society For Metals, Metals Park, Ohio. P: 7-369

- Hayden W., W.G Moffat, J.Wulff. (1993). (Çevirenler: K.Onaran, B.Erman). Malzemelerin Yapı ve Özellikleri Cilt III, İ.T.Ü.
- Higgins, R.A. (2006). Materials for Engineers and Technicians. Newnes-Elsevier, Oxford, UK. P: 93-102, 216-229.
- H.Puga, Barbosa, J., Seabra, E., Riberio, M. (2009). 4th International Conference on Advances and Trends in Engineering Materials, Hamburg.
- Humphreys F., M.Hatherly, (2004). Recrystallization and Related Annealing Phenomena, Elsevier Science, U.S.A.
- Kaufman, J.G. and Rooy,E.L. (2004). Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. ASM International, Materials Park, Ohio.
- Kavaklıoğlu, B. (1999). Alüminyum Levha Üretiminde Proses Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kayalı E.S ve Çimenoğlu H, (1986). Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İ.T.Ü Kimya- Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- Kayalı, E.S, Ensari,C. (1986). Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İ.T.Ü Kimya- Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- MacKenzie, D, Scott. (2003). Handbook of Aluminum, Volume 1 Physical Metallurgy and Processes.
- Marsh, K, Bugusu, B. (2007) Food Packaging Roles Materials and Environmental Issues. Institute of Food Technologists, Vol.72, Chicago, U.S.A. P:39-55
- Milind G.K, Pradeep M.D. (2013). Impact of Silicon Content on Mechanical Properties of Aluminum Alloys. Department of Physics, Amrutvahini College of Engineering, Sangamner, Maharashtra.
- N, Thomas, P.M. (1993). The Development of a Second Generation Twin Roll Caster, Davu Mckee Ltd.
- Okumuş, F., (2003). A Framework to Implement Strategies in Organizations.

- Prasad, S.V., Asthana, R. (2004). Metal Matrix Composites for Automotive Applications: Tribological Considerations.
- Reed-Hill, R.E. (1973). Physical Metallurgy Principles. Litton Educational Publishing, New York. P: 267-325
- Robert E. Sanders Jr. (2001). Technology Innovation in Aluminum Products. P :21-25
- Rogers, R.W., Anderson, W.A. (1985). Effect of Plastic Anisotropy on Drawing Characteristics of Aluminm Alloy Sheet.
- Singh R.V. (2000). Aluminum Rolling (Process, Principles & Application), The Minerals Metals & Materials Society, Pennsylvania.
- Smith, D. (2001). (Çeviri: Kınikoğlu), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 1.Baskı Literatür Yayınları. S: 499-507
- Staley, J.T. (1989). History of Wrought Aluminum Alloy Development.
- TALSAD Yayınları, (1995). *Türkiye’de ve Dünyada Alüminyum Dergisi*, S: 22-28
- Tekin E, (1984). Demir Dışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, Ankara.
- Thomas, P.M. (1993). The Development of a Second Generation Twin Roll Caster, Davy McKee Ltd. P: 8
- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, (1976). Alüminyum Raporu.
- Totten, G.E. (2003). Handbook of Aluminum Alloys, Volume 1 Physical Metallurgy and Process, Marcel Dekker Inc. P: 180-216
- Totten, G.E. (2003). Westbrook, S.R., and Shah, R.J. ASTM International, West Conshocken,PA.
- Turhan, S. (2000). Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyum ve Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Vangala, P., Smith, D., Duwuri, R., Romanowski, C. (1992). The Influence Of Casting Gauge On The Hunter Roll Casting Process, Melt- Spinning And Strip Casting: Research And Implementation, The Minerals, Metals & Materials Society. P: 225-262
- Vipin K., Husain M., Arpin, K. (2015). Effect of Silicon Content On The Mechanical Properties of Aluminum Alloy, Department of Mechanical Engineering, Meerut Institute of Technology , Meerut, India P: 1326-1330
- Vargel, C. (2004), Corrosion Of Aluminium, 2nd Edition, Elsevier.
- Yıldırım, S. (2001). Saf Bakırın Yüksek Sıcaklıktaki Mekanik Davranışı: Dinamik Yeniden Kristalleşme ve Dinamik Tane Büyümesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zalensas, D.L. (1986). Aluminum Casting Technology, Des Plaines 3, American Foundrymen's Society.
- Zhao, T., Jiang, Y. (2008). Fatigue of 7075-T651 Aluminum Alloy, *International Journal Of Fatigue*.

İnternet Kaynakları

1. www.vigmetal.com.tr Erişim tarihi: 10.03.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ANIL KAYA
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya, 09.09.1993
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05414303577 / kayaanil.17@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çanakkale Ali H.Ö Anadolu Lisesi-Fen Bilimleri (2007-2011).

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi - Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2012- 2016).

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü- Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı (2016 – 2019).

Çalıştığı Kurum/ Kurumlar ve Yıl : VİG Metal Sanayi Ticaret A.Ş (Üretim Mühendisi)
(2017-Halen)