

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARDA DÖKME RULO
KALINLIĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman KAYAPA

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARDA DÖKME RULO
KALINLIĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Süleyman KAYAPA
506111217**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail DUMAN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111217 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Süleyman KAYAPA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARDA DÖKME RULO KALINLIĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İsmail DUMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04.05.2015**
Savunma Tarihi : **22.05.2015**

ÖNSÖZ

Hem lisans hem de yüksek lisans eğitimim boyunca hocadan daha çok bir baba gibi davranan, hayata bakış açımı değiştiren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen hocam Prof.Dr.İsmail DUMAN'a, yüksek lisans tezimi hazırlamamda önderlik eden ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU hocama, Sayın Dr. Murat DÜNDAR'a, Sayın Dr. Onur MEYDANOĞLU'na, Sayın Yük. Müh. Onur BİRBAŞAR 'a çok teşekkür ederim. Numunelerin toplanması ve yönlendirmeler konusunda destek veren Assan Alüminyum proses mühendisliği çalışanlarına, Assan Alüminyum levha işletmesi yöneticisi Sn. Oray SÖNMEZ'e, deneysel çalışmalarımdayanımda olan ve desteğini esirgemeyen Assan Alüminyum teknoloji direktörlüğü, Ar-Ge ve laboratuvar çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme, arkadaşlarıma ve Merve KILINÇASLAN'a verdiği desteklerden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Süleyman KAYAPA
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ VE ÜRETİMİ	3
2.1 Alüminyumun Tarihçesi	3
2.2 Alüminyumun Üretimi	4
2.2.1 Primer (Birincil) Alüminyum Üretimi	4
2.2.2 Sekonder (İkincil) Alüminyum Üretimi	13
3. ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM TEKNİKLERİ	15
3.1 Yarı Sürekli Levha Döküm Tekniği	15
3.1.1 DC (Direct Chill) Doğrudan Katılaştırma Tekniği	15
3.2 Sürekli Döküm Teknikleri	16
3.2.1 Bant Döküm Teknikleri.....	17
3.2.2 İkiz Merdane Döküm Tekniği (TRC).....	20
4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	23
4.1 Alüminyumun Fiziksel Özellikleri	23
4.2 Alüminyumun Kimyasal Özellikleri	24
4.3 Alüminyumun Mekanik Özellikleri	26
4.4 Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması	26
4.4.1 İşlem Alaşımlarının İsimlendirilmesi.....	27
4.4.2 Dökme Alüminyum Alaşımlarının İsimlendirilmesi	28
4.4.3 Alüminyum Alaşımları Kondisyon Tanımlamaları.....	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
5.1 Kullanılan Malzemeler	31
5.2 Kullanılan Cihazlar.....	31
5.3 Mikroyapı Karakterizasyonu	32
5.4 Mekanik Özellik İncelemeleri	33
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
6.1 Mikroyapı Karakterizasyon	35
6.1.1 Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri.....	35
6.2 Mekanik Özellik İncelemeleri	58
6.2.1 Sertlik Testleri	58
6.2.2 Çekme ve Erichsen Test Sonuçları.....	62
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

TRC	: İkiz Merdane Döküm Teknolojisi
MPa	: Mega Pascal
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
DC	: Doğrudan Katılaştırma
mm	: Milimetre
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
V	: Volt
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tipik Boksit Kimyasal İçeriği (Car, 2011).....	5
Çizelge 4.1 : Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Totten & MacKenzie, 2003)	24
Çizelge 5.1 : 8006 Alaşımlı Örneklerin Kimyasal İçeriği	31
Çizelge 6.1 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) EDS-Analizleri Elementer Oranlar	42
Çizelge 6.2 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizleri Elementer Oranlar.....	44
Çizelge 6.3 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi Elementer Oranlar	46
Çizelge 6.4 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizleri Elementer Oranlar.....	48
Çizelge 6.5 : Eşit Deformasyon ve Eşit Kalınlıklardaki Çekme Testi Sonuçları	63
Çizelge 6.6 : 410-4 Nihai Tavlanmış Numunelerin Çekme Testleri	64
Çizelge 6.7 : Erichsen Test Sonuçları.....	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bayer Prosesi Akış Şeması (Totten & MacKenzie, 2003)	6
Şekil 2.2 : Soderberg Tipi Elektroliz Hücresi (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2006)	8
Şekil 2.3 : Prebaked Tipi Elektroliz Hücresi (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2006)	8
Şekil 2.4 : Birincil Alüminyum Üretim Adımları (Mario, Donzelli, & Trippodo, 1992).....	12
Şekil 2.5 : Geri Kazanım Yöntemiyle Alüminyum Üretimi(Mario, Donzelli, & Trippodo, 1992).....	14
Şekil 3.1 : Tipik Düşey DC Döküm Tekniği Görüntüsü (Grandfield & McGlade) ..	16
Şekil 3.2 : Hazelett Bakır Anot Döküm Makinası (http://www.hazelett.com , tarih yok)	18
Şekil 3.3 : Hazelett Döküm Makinası ile Üretilmiş Bakır Anot (http://www.hazelett.com , tarih yok)	19
Şekil 3.4 : Hazelett Döküm Makinası ile Üretilmiş Bakır Anotların Elektroliz Hücresindeki Görüntüsü (http://www.hazelett.com , tarih yok)	19
Şekil 3.5 : TRC Caster Yandan Görünümü (Patent No. 5,518,064, 1993).....	20
Şekil 3.6 : TRC Çalışma Şeması (Erden, 2006).	21
Şekil 3.7 : TRC Döküm Hattı (Kammer, 1999).....	22
Şekil 3.8 : TRC Döküm Hattı Detay Görünümü (Patent No. 5,518,064, 1993).....	22
Şekil 4.1 : Ellingham Diyagramı (Duman, 2003).....	26
Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan cihazlar	32
Şekil 5.2 : Boyuna ve Enine Kesit Gösterimi	32
Şekil 6.1 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme.....	35
Şekil 6.2 : A Numunesi Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme.....	36
Şekil 6.3 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	36
Şekil 6.4 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	37
Şekil 6.5 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme.....	38
Şekil 6.6 : B Numunesi Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme.....	38
Şekil 6.7 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	39

Şekil 6.8 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	40
Şekil 6.9 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme.....	41
Şekil 6.10 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri	42
Şekil 6.11 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme	43
Şekil 6.12 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri.....	44
Şekil 6.13 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme.....	45
Şekil 6.14 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri.....	46
Şekil 6.15 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme	47
Şekil 6.16 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri.....	48
Şekil 6.17 : A Numunesi Dağlanmış Hali 5x büyütmedeki görüntüleri a) Dökme Levha Enine Kesit (L) b) Dökme Levha Boyuna Kesit (T) c) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Enine Kesit (L) d) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Boyuna Kesit (T)	49
Şekil 6.18 : B Numunesi Dağlanmış Hali 5x büyütmedeki görüntüleri a) Dökme Levha Enine Kesit (L) b) Dökme Levha Boyuna Kesit (T) c) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Enine Kesit (L) d) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Boyuna Kesit (T)	50
Şekil 6.19 : A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	51
Şekil 6.20 : A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	52
Şekil 6.21 : B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	53

Şekil 6.22 :	B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddelenme Yönüne Dik Kesit(L)a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	53
Şekil 6.23 :	A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	54
Şekil 6.24 :	A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Dik Kesit(T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	55
Şekil 6.25 :	B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	56
Şekil 6.26 :	B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme	56
Şekil 6.27 :	A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T).....	57
Şekil 6.28 :	B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T).....	57
Şekil 6.29 :	A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş, ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T).....	58
Şekil 6.30 :	B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş, ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T).....	58
Şekil 6.31 :	5 Farklı noktadan Yapılan Sertlik Testlerinde Ölçüm Noktaları	59
Şekil 6.32 :	3 Farklı Noktadan Yapılan Sertlik Testlerinde Ölçüm Noktaları.....	59
Şekil 6.33 :	Dökme Levha Kalınlığında Sertlik Ölçümleri	60
Şekil 6.34 :	Homojen Tavlanmış Dökme Levha Kalınlığında Sertlik Ölçümleri.....	60
Şekil 6.35 :	Eşit Oranda Deforme Edilmiş Dökme Levhaların Sertlik Ölçümleri	61
Şekil 6.36 :	Eşit Kalınlığa Haddelenmiş Dökme Levhaların Sertlik Ölçümleri.....	62

SÜREKLİ DÖKÜM TEKNIĞİ İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARDA DÖKME RULO KALINLIĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Twin Roll Casting adıyla 1940 yılında keşfedilen ve ticari olarak 50 yılı aşkın süredir kullanılan yöntem ile sürekli levha dökümü yapılmaktadır. Diğer üretim tekniklerine oranla daha düşük yatırım maliyetine sahip olan bu teknik ile katılma aralıkları dar olan alüminyum alaşımları sürekli olarak üretilebilmekte ve kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır.

Twin roll casting teknolojisi ile kalınlığı 0.5 ile 10 mm arasında değişen levha dökmek mümkündür. Burada önemli olan konu değişen dökme rulo kalınlıkları ile birlikte yüzeyde ve iç yapıda oluşabilecek kusurların nihai ürün kalitesine etkisinin tesbit edilmesi ve döküm kalınlığının optimize edilmesidir.

Yapılan çalışmada değişen dökme rulo kalınlığının mikroyapıya ve nihai ürünün mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. İkiz merdane sürekli döküm tekniği ile farklı kalınlıklarda dökülmüş 8006 alaşım ürünlerin, döküm, homojenizasyon tav ve nihai folyoyarımamül (foilstok) numuneleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Birbirinden farklı kalınlıkta olan numuneler homojenizasyon tavına tabi tutulmuştur. Homojenizasyon tavından sonra her iki numune eşit oranda deforme edilmiş ve ek olarak her iki numune eşit kalınlığa haddelenmiştir. Eşit kalınlığa haddelenen numuneler nihai tav işlemine tabi tutulmuştur. Döküm kalınlığındaki numunelerin homojenizasyon tavına tabi tutulmuş ve tutulmamış halleri, eşit deforme edilmiş halleri ve eşit kalınlığa haddelenmiş halleri tane yapısı incelenmek üzere dağlanmıştır.

Mikroyapı karakterizasyonu için optik mikroskop incelemeleri, taramalı electron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır.

Optik mikroskop ve SEM incelemelerinde malzeme kesitinin her iki yüzeyden eşit uzaklıktaki merkez düzleminde (merkez hattı) çökelen intermetalikler görülmüş, bu intermetalikler farklı büyütmelerde gözlemlenmiş ve numunelerin çeşitli yerlerinden analizler alınarak elementer oranları tesbit edilmeye çalışılmıştır. SEM analizleri sonucunda intermetaliklerin demir ve manganca zengin oldukları görülmüştür.

Dağlanmış numuneler polarize ışık altında gözlemlenmiştir. Döküm kalınlığında homojenizasyon tavı uygulanmamış olan numunelerin tane yapısına bakıldığında yüzeye yakın tanelerin daha büyük ve yönlü, merkezde olan tanelerin eş eksenli oldukları tesbit edilmiştir. Homojenizasyon tavı uygulanmış numunelerin polarize ışık altında incelemeleri yapıldığında, homojenizasyon tavı sonrası tanelerin yeniden kristalleşerek boyut olarak birbirlerine yaklaştığı görülmüştür.

Eşit oranda deforme edilen ve eşit kalınlığa indirilen numunelerin dağlanmış halleri optik mikroskopta polarize ışık altında incelendiğinde tanelerin haddelendirme yönünde uzadıkları tesbit edilmiştir.

Mekanik  zellik tesbiti için eşit oranda deforme edilen ve eşit kalınlığa haddelenen numunelere sertlik ve çekme testi, eşit kalınlığa haddelenen numunelere erichsen testi yapılmıştır. Aynı şekilde eşit kalınlığa haddelenen ve nihai tav işlemine tabi tutulan numunelerde  ekme testine tabi tutulmu tur.

Sertlik testi için numunelerin farklı noktalarında sertlik izleri olu turulmu  ve  l  mler yapılmı tır.

Erichsen testinde kullanmak için e it kalınlı a haddelenen numuneler nihai tav i lemine tabi tutulmu lardır.

AFFECT OF CAST THICKNESS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF PRODUCED SHEETS WITH TWIN ROLL CASTING

SUMMARY

Continuous slab casting has been done commercially for 50 years by using twin roll casting discovered 1940. Compared to other conventional techniques, twin roll casting has lower investment cost and needs low energy for production. However, with this technique aluminium alloys which have lower solidification ratio can be produced continuously.

Twin roll casting technology can be used for production of aluminium sheet from 0.5 to 10 mm thickness from melted aluminium. With the variation of casting thickness there can be seen defects in microstructure and these defects can affect mechanical properties of final material, therefore the thickness of casted material must be optimised.

In aluminium sheet production including two types of casting, continuous and semi continuous. Semi continuous casting method is direct chill and continuous casting methods are known as strip casting processes and twin roll continuous casting method.

DC casting technique was invented by VAW(Germany) and Alcoa(USA) at the beginning of 1930's. Although it has lower amount DC casting technique also used in casting of copper, zinc and magnesium metals. Semi finished products are obtained from primary or secondary recycled aluminium by melting and shaping in DC casting technique.

DC casting technique provides more fine grained structure besides preventing variations and segregations in microstructure by applied through direct cooling. DC technique casted slabs are used for sheet and foil in rolling mills. The slabs 1.1 meters in diameter, although generally sent to the extrusion process also can be used in forging process.

Although the DC method allows to casting of alloys with wide solidification range, because it provides the advantages of microstructure, makes it possible to produce final products have better quality. Investment costs are higher when compared with TRC method.

Melted metal contacts with water-cooled molds and solidified, in DC technique. The water circulating in molds provides the heat reduces necessary for melted metals solidification. Casting speed is dependent on the type of alloy and it's between 1-3 mm/s.

Continuous casting methods have proven itself in production of foil semi-finished products and sheet products. There are several methods of continuous casting and casting thickness is between 3 mm and 20 mm. Melted metal solidifies through out cooled rollers and molds.

Poured sheet can be fed directly to the roll or may be allowed to cool. In the production of Conventional which named as DC technique, slab casted product heated to 500 °C and hot rolled to 4mm or 6mm thickness. The most beneficial advantage of the continuous casting techniques is that allows to removal of some production processes.

In Hazelett casting line, melted metal solidified between two rotating and cooled strips which is around 1.5 mm thickness. Slabs are produced to 15 mm-25 mm thickness and 2000 mm width by this technology. These machines are used for long plates and 1750 mm width sheets. The working principle is cast in the same thickness of the sheet can be poured of melted metal, through the casting nozzle in the space between bands. The metal solidifies in the space between bands and pulls out of the machine by the pinch roll. Casting range is between 5 m/min or 9 m/min.

The Kaiser casting technique's surface quality is not smooth enough for foilstock. The concept based on continuous casting production sub processes are as follows: -Melted metal hold in furnace, -degassing and filtering, "Kaiser Caster", - Hot rolling mill, - heat treatment (annealing) and quenching, -cold rolling mill and spinning. For example; three sub products of the can; body, lid and label should be produced in this line.

Although twin roll continuous casting technique's origin based on Hazelett and block casting techniques which is a little different from other techniques. This technique allows the melt solidifies the metal through water-cooled rollers rotating in opposite directions out. Rolling occurs in an amount in the solidified sheet and wound in rolls with tension .

The temperature of solidifying sheet is approximately 300 °C. Physical property with respect to hot rolled product %15-%20 deformation sustain has the same properties. Although sheets produced by TRC have relatively smaller-grained microstructure, in the literature the grain might be observed for casted sheets in next process. In addition to this growth can be managed to using more grain refiners or application of thermomechanical processes.

Aluminium is known as a metal has low density ,2.7 g/cm³, high light reflection, high thermal and electrical conductivity. In atmospheric conditions aluminium has high corrosion resistance due to oxide film on the surface. Aluminium has face centered cubic (FCC) microstructure.

Aluminium has corrosion resistance in several conditions, for example atmospheric conditions. It provides to forming oxide film layer on the surface. Formation of the oxide film layer occurs in 10⁻⁴ seconds at the room temperature and normal conditions.

The layer has been formed prevents to decomposition of metals in future. The thickness of this layer in normal conditions is between 5 or 20 nanometers and the thickness increasing in aqua environment.

Aluminium has high affinity to oxygen. Ellingham diagram shows the aluminium can be reduced with carbon at 2200 °C. Due to carbide maker metal and has high reduction temperature, aluminium can not be reduced with carbon.

Aluminium alloys are divided into two groups including processing and casting alloys. Processing alloys are converted products by applying afterward rolling, extrusion, forging, deep drawing. The casting alloys, often called the alloy will be redirected to the product close to the semi-finished or final shape after casting.

In condition identification initial capitalization defines the class of therapy.

F letter meant as produced, defines the products casting form. For thermal condition has not been done any additional processing and there is not defined any mechanical properties range for processing alloys.

O letter meant, which means annealed. Which describes the condition after performed to improve ductility and workability in process alloy cast products.

H letter meant condition after the product has been hardened with deformation. In condition defining there is two or more number after H letter.

W letter meant condition of products have applied solution heat treatment.

T letter shows stable conditions. It defines the alloys have been conditioned with a heat treatment and used one or two number for special defining.

In this study, effects of ranging casted coil thickness on microstructure and mechanical properties of final material were investigated by using 8006 alloy with different thicknesses, produced by twin roll casting technology.

Samples having a different thickness from each other are subjected to homogenization annealing. After homogenization annealing process, samples were deformed uniformly and they were rolled to the same thickness.

The samples which have same thickness were subjected to final heat treatment process. Samples casted state, homogenously annealed state, uniformly deformed state, and rolled to same thickness state were etched to examine grain structure.

Optical microscopy and scanning electron microscopy investigations have been completed for the characterization of microstructure.

Precipitated intermetallics have been seen in the center plane of the samples which have same distance from both surface of sample (center line) during optical microscopy and scanning electron microscopy investigations.

These intermetallics observed with different magnifications in both optical microscopy and scanning electron microscopy. In addition to that, from various part of center line were analyzed during scanning electron microscopy investigation to determine alloying and the other element content of center line.

As a result of scanning electron microscopy analysis iron and manganese elements were found to be rich in the center line intermetallics.

The etched samples were observed under a polarized light. During the investigation for grain structure in optical microscopy under polarized light of the samples which are casted state, grains which close to the surface of sample are larger and veretile, grains which close to the center of the sample have are coaxially oriented.

During the investigation for grain structure in optical microscopy under polarized light of the samples which are homogenously annealed, after annealing process the grain size of the samples close to each other due to re-crystallization in annealing process. As a result of annealing process showed that, after homogenization annealing grains re-crystallized and size of grains are close to each other.

Samples which is cast thickness were rolled to same thickness and also were deformed uniformly for indicating mechanical properties.

Traces of stiffness were constructed on different parts of sample for hardness testing. Samples which are deformed same thickness annealed finally and used for the erichsen test.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Geleneksel metodlarla alüminyum levha ve folyo üretimine karşı maliyeti daha düşük üretim yapma hedefini arkasına alarak bundan 50 yıl kadar önce ilk olarak endüstriye tanıtılan ikiz merdane döküm tekniği en büyük sıçramalarını son 10 senede gerçekleştirmiştir. Düşük kurulum ve işletme giderleri, üretim programlamaya kazandırdığı esneklik sayesinde tercih edilen bir levha üretim metodu olmuştur (Dündar, 2006).

Ancak ikiz merdane döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımlarının nihai uygulamalara hizmet verebilmesi için döküm işleminde katılma sürecinin iyi karakterizasyonu ve buna bağlı döküm işleminin yönetilmesi zorunluluktur. Aksi takdirde sürekli dökümden üretilmiş levha ve folyo ürünleri sınırlı alanlarda kullanıma sunulabilecektir. Bunu aşabilmek için ise sistematik ve kapsamlı olan Ar-Ge faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir (Dündar, 2006).

Bu çalışma farklı kalınlıkta dökülmüş levhaların mikroyapısal olarak karakterize edilmesi, farklılıkların ortaya konulması ve yapıda oluşabilecek bu farklılıkların nihai ürünün mekanik özelliklerine olan etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ VE ÜRETİMİ

2.1 Alüminyumun Tarihçesi

Alman kimyager Andreas Sigmund Margraff (1709-1782), o güne kadar bilinmeyen bir metalin oksijenle olan bileşiği olan Aluminayı keşfetmiştir. Alüminadan alüminyumun bilimsel olarak ilk kazanımını Humpry Davy 1809 yılında yapmıştır. Humpry Davy, alum kelimesinden esinlenerek elde ettiği metale “Aluminium” adını vermiştir.

Danimarkalı bilim insanı Hans Christian Oersted alüminyumunu saf halde 1825 yılında elde etmiştir. Bulduğu metali “renk ve parlaklık olarak kalaya benzeyen metal” olarak tanımlamıştır. Oersted detay çalışmalara girmeyip, bulgularını Alman kimyacı Friedrich Wöhler ile paylaşmıştır. Wöhler, Oersted’in metodunu geliştirerek onun elde ettiği alüminyum parçasından daha büyük bir parçayı üretmiş, fiziksel, mekanik ve bazı kimyasal özelliklerini tanımlamıştır.

Elektroliz yolu ile magnezyumklorürden magnezyumu elde etmeyi başaran Robert William Bunsen 1854 yılında alüminyum sodyumalüminyumklorürden elektroliz ederek kazanmayı başarmıştır.

Henri Etienne Saint-Claire Deville Bunsenden habersiz olarak yürüttüğü çalışmasında sodyumalüminyumklorürden alüminyum redüklemeyi Bunsenin kullandığı daha az oranda bulunan potasyum yerine sodyumu tercih ederek 1854 yılında yapmıştır.

Endüstriyel anlamda alüminyumun üretim prosesi yine birbirinden habersiz olarak çalışan Paul Louis Toussaint Heroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) tarafından 1889 yılında bulunmuştur. Hall-Heroult metodu olarak literature geçen bu proseste ergimiş kriyolit içinde alumina, yani alüminyumoksit, üzerinden akım geçirilerek çözümlendirilmiş ve alüminyum metalinin biriktiği gözlemlenmiştir. 1889 yılı bu bakımdan alüminyumun endüstriyel olarak başlangıç yılı olarak kabul edilmektedir (Car, 2011)

Alüminyum yer kabuğundaki % 8.23 lük oranda bulunmasına rağmen en genç metallerden biridir. Teknolojik olarak konvansiyonel üretimi ancak 20. Yüzyılda yapılabilmektedir. Alüminyum metali ile bu kadar geç tanışmamızın bir çok sebebi bulunmaktadır (Duman, 2003).

- Boksit cevherini kok ile karıştırıp bir fırında eritmek ve bu fırından metal ve curufu ayrı ayrı alabilmek mümkün olmamaktadır. Başta demir ve silisyum olmak üzere cevherin içerdiği safsızlıkları gidermek metalin eldesi için ön koşuldur.
- Alüminyumoksitin karbotermik redüksiyonu 2000 °C ‘nin üzerindedir.
- Alüminyum, tıpkı titanyum ve kalsiyum gibi karbür yapıcıdır.
- Alüminyum oksitin hidrojen gazı ile redüksiyonu da mümkün olmamaktadır. Çünkü -1.66V hidrojen potansiyeline sahiptir ve sulu çözeltiden redüklenmek istenildiğinde katottan sadece hidrojen gazı çıkmaktadır.
- Birçok alkali ve toprak alkali metal, klorür tuzlarının ergimiş banyolarından elektroliz yöntemi ile elektroliz edilebilir iken, alüminyumda bu da mümkün olmamaktadır. Çünkü $AlCl_3$ 186 °C’ de buharlaşır.
- Alüminyum, AlF_3 elektroliti ile teorik olarak ergimiş tuz elektrolizi ile kazanılabilmektedir fakat, günümüzdeki kitlesel üretim için yeterli NAF, CaF_2 cevheri yoktur.

Alüminyum doğmak için güçlü doğru akım trafolarının icadını bekledi. Bu doğum ise ergimiş tuz elektrolizi adlı operasyondur. Bu operasyon teknolojide yeni bir dönem açtı ve alüminyum magnezyum, kalsiyum, lityum, sodyum, potasyum ve diğerleri izledi (Duman, 2003).

2.2 Alüminyumun Üretimi

2.2.1 Primer (Birincil) Alüminyum Üretimi

Alüminyum oksijene karşı yüksek afiniteye sahip olduğu için doğada metal halinde bulunmaz.

Alüminyumun bileşikleri doğada oksitli bir yapıda çeşitli safsızlıkları içeren şekilde bulunmaktadır.

Alüminyum doğada en çok bulunan üçüncü element olarak bilinmekte ve yaklaşık olarak yer kabuğunun %8.23'ü alüminyum bileşiklerinden oluşmaktadır.

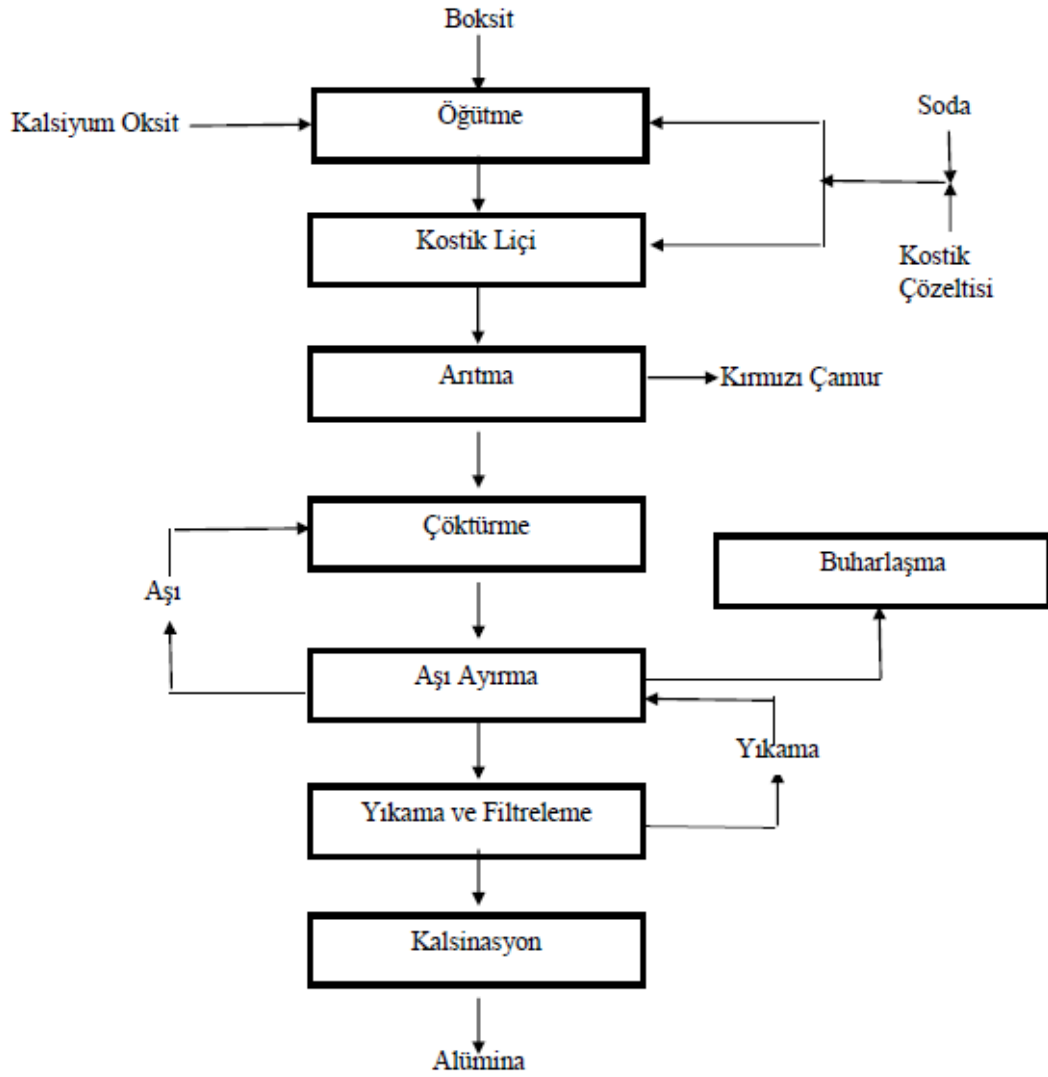
Alüminyumun kitlesel üretiminin yapıldığı cevher ilk defa Fransa'nın Les Baux adlı kasabasında bulunduğundan boksit adını almıştır. Boksit alüminyumun oksitli ve hidratlı bileşiklerinin yüksek oranda bulunduğu cevherdir (Totten & MacKenzie, 2003) . Tipik boksit kimyasal içeriği çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Tipik Boksit Kimyasal İçeriği (Car, 2011)

Bileşen	(%) Ağırlıkça
Al ₂ O ₃	30-60
Fe ₂ O ₃	1-30
SiO ₂	< 0.5-10
TiO ₂	< 0.5-10
Organik karbon	0.02-0.40
P ₂ O ₅	0.02-1.0
CaO	0.1-2.0
V ₂ O ₅	0.01-0.10
ZnO	0.002-0.10
Ga ₂ O ₃	0.004-0.013
Cr ₂ O ₃	0.003-0.30
S	0.02-0.10
F	0.01-0.10
Hg (ppb)	50-1000

2.2.1.1 Bayer Prosesi

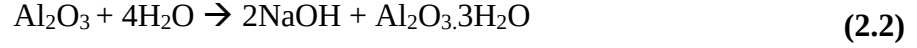
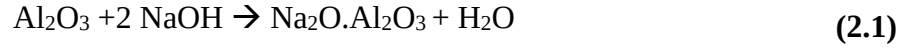
Bayer prosesi boksit cevherinden alüminanın eldesini sağlayan 1888 yılında Karl Bayer tarafından bulunmuş procestir. Bayer prosesi basınç ve sıcaklık altında boksit cevherinin kostik (NaOH) ile liç edilerek sodyum alüminat çözeltisini hazırlama ve yıkama sonucunda oluşan alüminyum hidratı aşılama ile çöktürme adımlarını içermektedir. Bayer prosesinin adımları şekil 2.1 de verilmektedir.



Şekil 2.1 : Bayer Prosesi Akış Şeması (Totten & MacKenzie, 2003)

Bayer prosesinde boksit önce öğütülür. Öğütme aşamasında kalsiyum oksit ilavesi yapılarak alüminanın porozitesinin artırılması hedeflenir. Öğütme aşamasından sonra boksit otoklav adı verilen atmosfer basıncı üzerindeki basınçta ve 230 C derece sıcaklıkta çalışan NaOH içeren tanklara ilave edilir. Otoklav tankları 3-4.5 m arasında çapa, 27 m yüksekliğe sahip 140 ila 323 C sıcaklıkta çalıştırılabilen tanklardır. Otoklav fırınlarında yapılan liç işlemi boksit içinde bulunan alüminanın çözümlendirilerek diğer oksitlerden ayrılması için yapılmaktadır. Burada çökelen katılardan biri de hematit yani demir oksitidir. Rengi kırmızı olduğu için oluşan çökeltiye kırmızı çamur adı verilir. Kırmızı çamur Fe_2O_3 , TiO_2 , sodyum alüminosilikat ve az miktarlarda diğer metal oksitleri içerir. Oluşan sodyum alüminat ve kırmızı çamur soğutulur ve katı atıklar siklon ve seperatörlerde ayrılır.

Çamur, içinde bulunan ince katıları ayıklamak ve içerdiği kostik değerini düşürmek için tikiner tanklarına beslenir.



Elde edilen sodyum alüminat çözeltisi soğutulduktan sonra yıkanır ve katı kristal alüminatrihidrat ile aşılır ve yeni oluşan alüminatrihidratlar sedimantasyon veya filtrasyon vasıtası ile ayıklanarak kalsinasyon işlemine aktarılır. Yıkama sonrası oluşan kostik yeniden otoklava beslenir.

Filtre edilen alüminatrihidrat katıları, alüminanın eldesi için kalsinasyon işlemine yollarılır. Kalsinasyon işlemi döner fırında 1200 – 1300 C sıcaklıkta alüminaya bağlı hidratı ayırmak için yapılmaktadır.



Kalsinasyon işlemi sonrası elde edilen alümina, alüminyum metalinin eldesi için elektroliz işlemine yollarılır (Totten & MacKenzie, 2003).

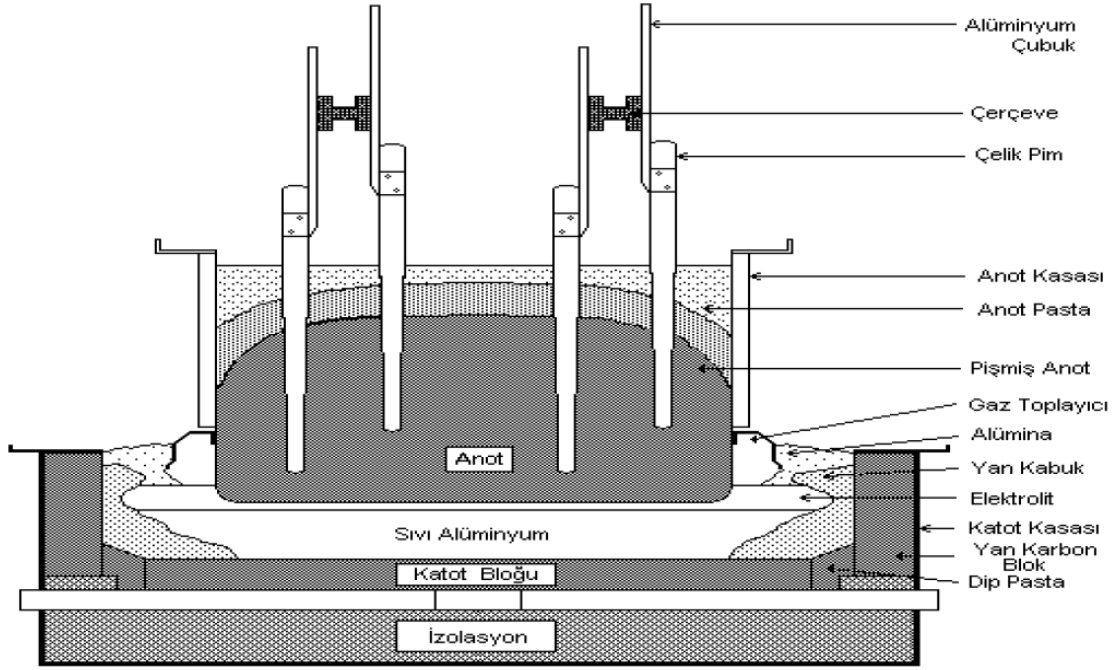
2.2.1.2 Ticari Saflıkda Primer Alüminyumun Üretimi

Alüminyum primer olarak alüminanın ergimiş kriyolit içerisinde elektrolizi ile üretilir. Kimyasal formülü Na_3AlF_6 olan kriyolit alümina için çözücü ve elektrolit görevi yapar.

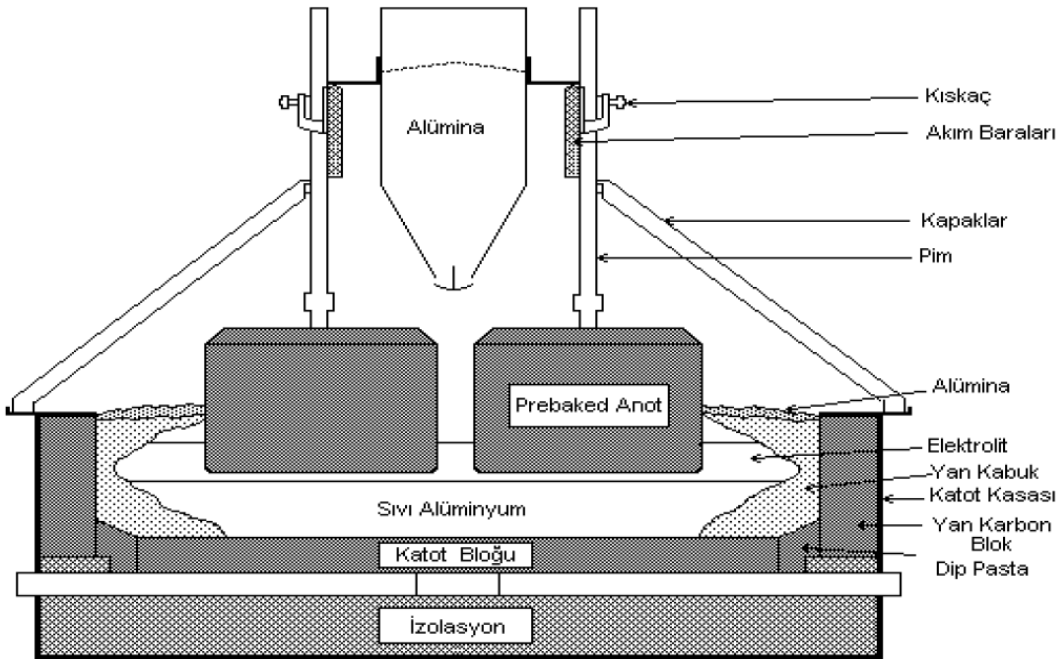
Ticari saflıkdaki alüminyumun üretimi, alüminadan 1889 yılında Hall-Heroult tarafından geliştirilen aynı isimli elektroliz metodu ile yapılmaktadır (Totten & MacKenzie, 2003).

Alüminyumun ergimiş tuz elektrolizi farklı tipde olan hücrelerde yapılabilir. Soderberg tipi elektroliz hücresinde karbon anotlar hücre içerisinde pişerler. Preback tipindeki elektroliz hücresinde ise anotlar dışarıda pişirilir ve direct olarak hücrenin içerisine yerleştirilir.

Şekil 2.2 de soderberg tipi, şekil 2.3 de ise preback tipi elektroliz hücrelerinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.2 : Soderberg Tipi Elektroliz Hücresi (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2006)



Şekil 2.3 : Prebaked Tipi Elektroliz Hücresi (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2006)

Alümina kriyolit içinde 950 – 970 C sıcaklıklar arasında elektrokimyasal olarak çözünür ve alüminyum katyonları hücrenin katodunda redüklenerek alüminyum meteline dönüşür (Prasad, 2000).

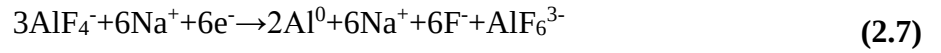
Hücre içinde neler olduğuna göz atar isek;

a) Elektrolitin çözülme reaksiyonları

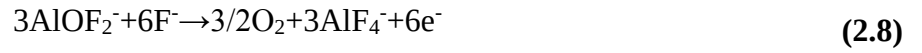


b) Birincil elektrod reaksiyonları

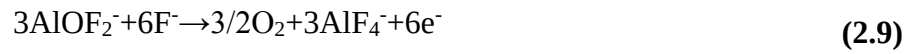
- Katotta :



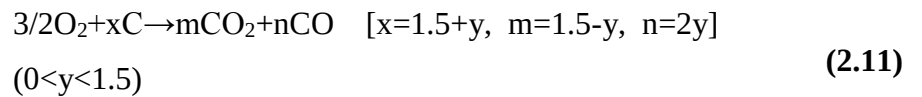
- Anotta:



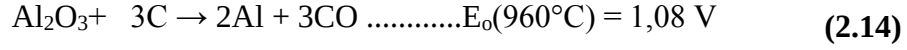
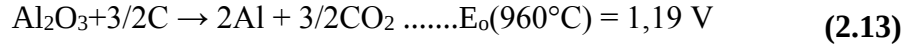
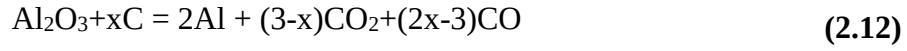
- Toplam Reaksiyon:



- Özet Reaksiyon:

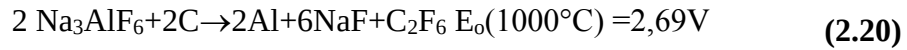
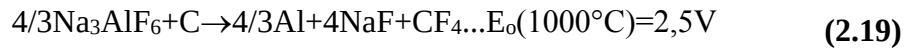
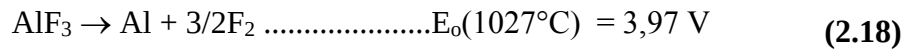
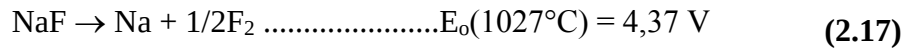
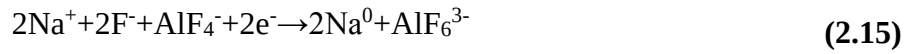


- Sonuç Reaksiyonu:



Alüminyum üretiminde, %100 CO oluşumu durumunda anod 2 kat hızlı harcanır. %100 CO₂ oluşumu durumunda ısı dengesi bozulur.

c) İkincil elektrod reaksiyonları:



İkincil elektrod reaksiyonları hücre çalışma koşullarının dengeden sapması durumunda ortaya çıkar. Katodda Na deşarjı hücre sıcaklığı 1100°C'yi aştığı zaman gerçekleşir. Benzer şekilde dengeli çalışan bir hücrenin anodunda sadece O₂ iyonlarının deşarjı (ve buna bağlı olarak CO₂/CO gaz karışımının oluşması) beklenir. Anod polarizasyonunun aşırı yükselmesi sonucu daha pozitif olan flor iyonları oksijen iyonlarının yerine deşarj olur (Duman, 2003).

Hücrelerin anotları grafitten yapılmıştır. Bu anotlarda oksijen iyonları karbon ile tepkimeye girerek CO ve CO₂ gazlarına dönüşürler (Totten & MacKenzie, 2003).

Alüminyum elektrolizinde verimlilik ve hücrelerin dizaynı için önemli ekipman anottur. Koklaşma sürecinin üretim esnasında gerçekleştiği hücre tipine soderberg (

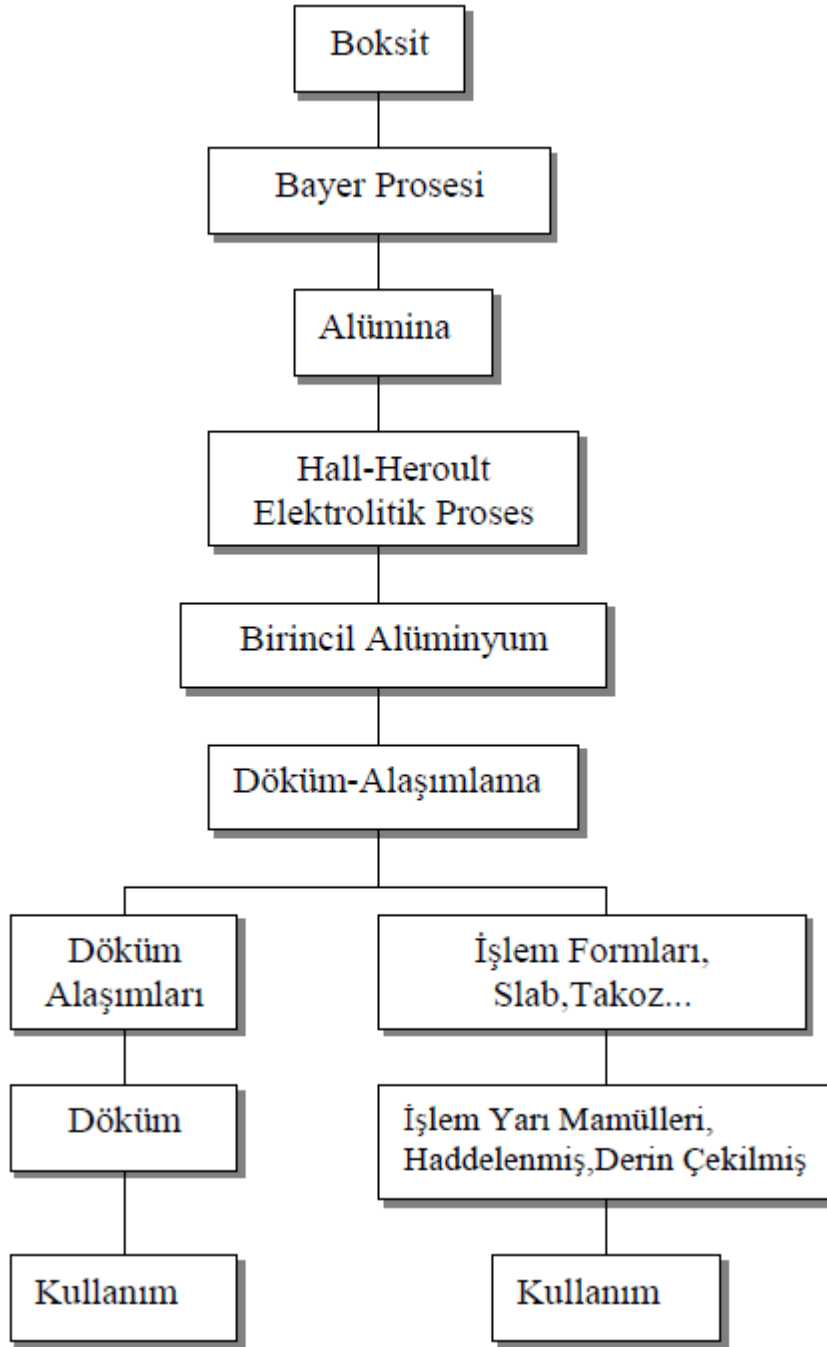
Şekil 2.2), koklaşma sürecinin üretim dışında farklı bir yolla gerçekleştiği kesikli anot tipine sahip hücrelere prebacked (Şekil 2.3) tipli hücreler denir. Prebaked anotlu sistemler enerji verimi, kabuk kırma özelliği ve otomasyon sistemlerine sunduğu avantajlar dolayısıyla daha kullanışlı sistemlerdir (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2006).

Alüminyum elektrolizinde dikkat edilmesi gereken en önemli olaylardan biri de anot etkisidir. Elektroliz hücrelerinin alümina içeriği %2 ile %3.5 arasında değişir. Eğer alümina oranı %2 'nin altına iner ise banyoda bulunan oksijen oranı azalır, buna bağlı olarak anotta perflorokarbon yani CF_4 ve C_2F_6 gazları oluşur. Bu gazlar anot yüzeyini kaplayarak gereken voltajın yükselmesine sebebiyet verirler. Buna anot etkisi adı verilir (Car, 2011).

Primer alüminyum, yani ham alüminyum üç grup safsızlık içerir. Bunlar; α - ve γ alüminyum oksit alüminyumkarbür ve alüminyum nitrürdür ve grafittir.

Hücrelerden üretilen ham alüminyumun içinde bulunan hidrojen ve diğer metalik olmayan safsızlıkları giderme işlemi için azot üflenir. Bu işlemin sonucunda 100 gram alüminyumun hidrojen içeriği 0.22 den 0.16 cm^3 e düşürülebilmektedir. Safsızlık için en önemli metod % 2-10 Cl içeren azot ile köpürtme işlemidir. Bu method minimum düzeyde sodyum safsızlığını sağlar ve içeriği % 0.0003 ila % 0.001 dir (Totten & MacKenzie, 2003).

Boksit cevherinden alüminyumun eldesi yukarıda da bahsedildiği gibi birçok aşama bulunmaktadır. Bu aşamalar şekil 2.4 ' de verilmektedir.



Şekil 2.4 : Birincil Alüminyum Üretim Adımları (Mario, Donzelli, & Trippodo, 1992).

2.2.2 Sekonder (İkincil) Alümiyum Üretimi

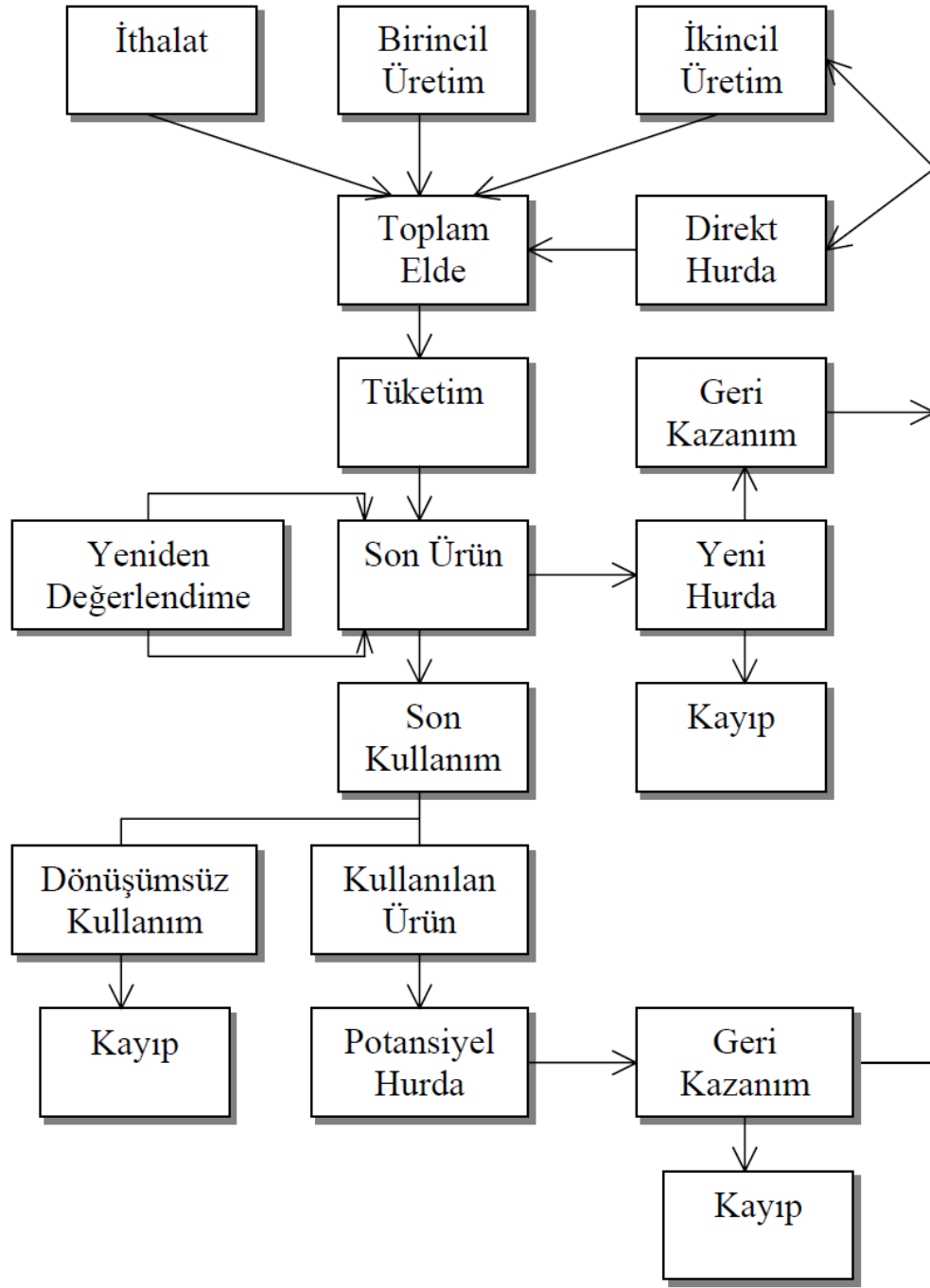
Metaller doğdukları ilk günden bu yana kullanılmaktadır. İlk üretildiklerinden endüstri devrimine kadar olan sürede metallerin geri kazanımı düşünülmemekteydi. Artan tüketimler, enerji verimliliklerinin artırılmak istenmesi, hammaddelerin tükenmesi, birincil üretimlerin çevrede oluşturduğu tahribatlar, insanları geri kazanıma itmiş ve metallerin geri kazanım ile üretilmesi gündeme gelmiştir.

Alümiyumun sekonder olarak üretimi, hammadde kaynaklarının verimli kullanımı, enerji verimi ve sürdürülebilir kalkınma açılarından çok önemlidir. Alümiyum metali defalarca kullanılmaya müsait bir metal olarak ikincil olarak üretilebilirliği mümkün olan bir metaldir (Vargel, 2004).

Alümiyumun sekonder olarak üretilmesi çeşitli aşamalardan meydana gelmektedir. Bunlar;

- Hurda toplama
- Hurda ayırma, hazırlama ve ön işlemler
- Ergitme
- Alaşımlandırma
- Metal rafinasyonu
- Döküm
- Curuf temizleme ve curuf değerlendirme aşamalarıdır.

Alümiyumun yeniden üretimi iki ana başlık altında incelenebilir. Birincisi, kapalı döngüdür. Kapalı döngü olarak yeniden kazanılan alümiyum kullanım süresi dolmuş ürünün geri kazanılarak aynı kullanım alanına yönlendirilmesidir. İkincisi ise açık döngüdür. Bu döngüde ise, kullanım alanına hizmet edemeyen ürün yeniden alaşımlandırma yapılarak külçe olarak farklı alaşımlandırılarak, farklı kullanım alanına yönlendirilir. Yüksek kaliteli işlem alaşımlarının birçoğu kapalı döngü ile geri kazanılırken, döküm alaşımları genelde açık döngü prensibi ile geri kazanılırlar. Geri kazanım ve yeniden değerlendirme yöntemiyle alümiyum üretiminin akış diyagramı şekil 2.5 de verilmektedir.



Şekil 2.5 : Geri Kazanım Yöntemiyle Alüminyum Üretimi(Mario, Donzelli, & Trippodo, 1992).

3. ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM TEKNİKLERİ

3.1 Yarı Sürekli Levha Döküm Tekniği

3.1.1 DC (Direct Chill) Doğrudan Katılaştırma Tekniği

Alüminyum çelikten sonra en ekonomik olan ikinci en önemli metaldir. Yaklaşık 80 milyon ton alüminyum döküm işlemine tabi tutulmakta ve bunun yarısı DC tekniği ile dökülmektedir. DC döküm tekniği 1930 lu yılların başında VAW (Almanya) ve Alcoa (ABD) tarafından icat edilmiştir. DC döküm tekniği miktar olarak daha düşük olmakla beraber bakır, çinko ve magnezyum metallerinin dökümünde de kullanılmaktadır. DC döküm tekniği ile primer veya sekonder olarak kazanılmış alüminyum ergitilerek şekillendirilmek üzere yarımamül elde edilmektedir (Grandfield & McGlade).

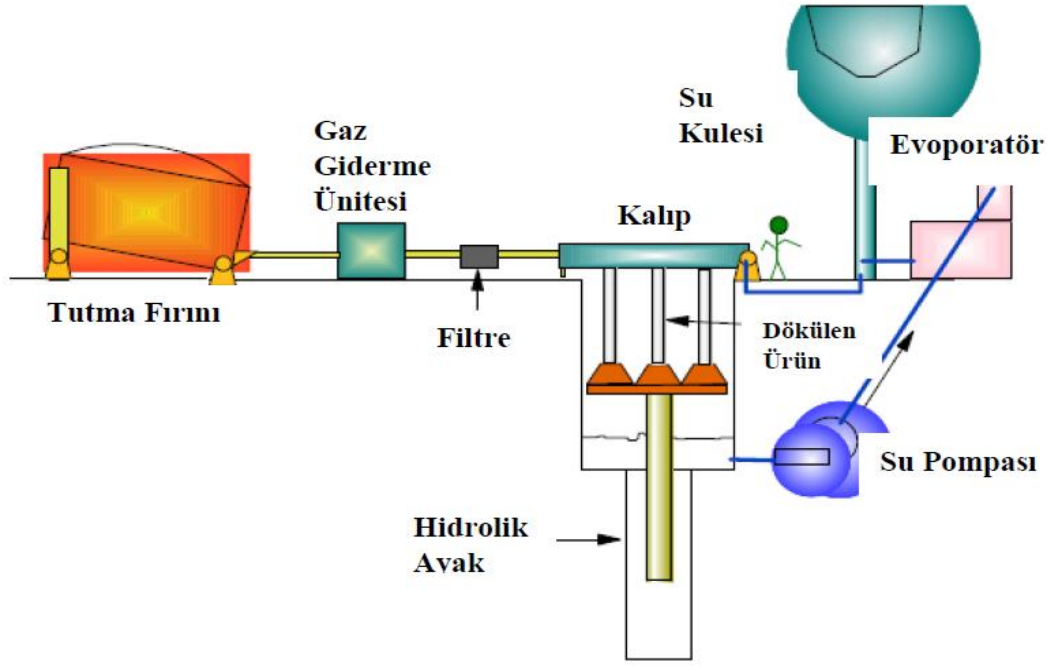
Metal ingotlar antik çağlarda şekil verilen döküm kalıplarından üretilirdi. Yirminci yüzyılda alüminyum ingotlar sabit kalıplardan üretilmeye başlandı. Buna bağlı olarak geniş levha ihtiyacının artmasıyla beraber yassı ürün üretimi için sabit kalıplardan geniş ingotlar dökülmeye başlandı(Şekil 3.1) (Grandfield, Eskin, & Bainbridge, 2013).

DC döküm tekniği uygulanan direk soğuma sayesinde daha ince taneli yapıda döküm sağlar bu da mikroyapıdaki varyasyonların ve segregasyonların önüne geçer. DC tekniği dökülen slablar, hadde makinalarında levha ve folyo olmak üzere kullanılırlar.

1,1 metre çapındaki kütükler ise genelde ekstrüzyon işlemine gönderilmekle beraber, dövme prosesi içinde kullanılmaktadırlar (Grandfield & McGlade).

DC tekniğinde ergiyik metal su soğutmalı kalıpla temas eder ve katılaştır. Kalıp içerisindeki dolaşan su ergiyik metalin katılaşması için gerekli ısının metalden çekilmesini sağlar. Döküm hızı alaşım tipine bağlı olmakla beraber 1-3 mm/s arasındadır (Grandfield & McGlade).

DC metodu geniş katılaşma aralığına sahip alaşımların dökülmesine olanak sağlamakla beraber sağlamış olduğu mikroyapı avantajlarından dolayı nihai ürünün daha kaliteli üretilmesine olanak sağlamaktadır. TRC yöntemi ile karşılaştırıldığında yatırım maliyetleri daha yüksektir (Grandfield & McGlade).



Şekil 3.1 : Tipik Düşey DC Döküm Tekniği Görüntüsü (Grandfield & McGlade)

3.2 Sürekli Döküm Teknikleri

Sürekli döküm teknikleri kendini folyoyarımamül (foilstok) ve levha ürünleri bazında kendini kanıtlamış olan tekniklerdir. Çeşitli sürekli döküm yöntemleri bulunmaktadır ve döküm kalınlığı 3 mm ile 20 mm arasında değişmektedir. Ergiyik metal soğutmalı merdane ya da kalıplar arasından geçerek katılaşır. Dökülmüş olan levha direk olarak haddeye beslenebilir veya soğumaya da bırakılabilir. Konvansiyonel yani DC tekniğinin üretiminde kütük (slab) halinde dökülen ürün 500 °C ye ısıtılır ve 4 mm veya 6 mm kalınlığına sıcak haddelenir. Sürekli döküm tekniklerinin en büyük avantajı üretim aşamalarından bazılarının kalkmasına olanak sağlayamasıdır.

Konvansiyonel üretim tekniği sırasıyla;

Ergitme, DC Döküm, Sıcak Haddeme, Soğutma, Soğuk Hadde (Alt kalınlıklar için termal tedavi içerebilir)-folyo veya tenekeyarımamül (canstok) aşamalarını içerirken,

Sürekli Döküm;

Ergitme, Levha Döküm, Soğutma, Soğuk Hadde (Alt kalınlıklar için termal tedavi içerebilir), Folyo veya tenekeyarımamül (canstok) aşamalarını içerir.

Sürekli döküm tekniği, DC tekniğine göre bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Avantajları;

- Levha dökümden sonra direkt olarak haddeleme aşamasına başlanması ve ön ısıtma işlemine gerek duymamasından dolayı proses maliyeti düşüktür
- Operasyon ve yatırım maliyeti düşüktür
- Enerji ihtiyacı daha azdır
- Üretim verimliliği daha fazladır
- Daha düşük kalınlıklarda üretim yapılabildiği için alt kalınlıklar için daha az haddeleme prosesine ihtiyaç duyulur

Dezavantajları;

- En büyük dezavantajı ergiyik metalin katılaşması için gereken süreyi bulamaması kaynaklı yüksek alaşım elementi içeren yani katılaşma aralığı geniş olan alaşımların dökülememesidir (Kammer, 1999)

3.2.1 Bant Döküm Teknikleri

3.2.1.1 Hazelett Döküm Tekniği

Hazelett döküm hattında, kalınlığı 1.5 mm civarında olan iki tane dönen ve soğutulan küçük çelik bant arasında ergiyik katılaşır. Bu teknolojiyle kütükler 15mm den 25 mm kalınlığa ve 2000 mm genişliğe kadar üretilirler. Bu makineler uzun plakalar ve 1750 mm genişlikte levhalar için kullanılırlar. Çalışma prensibi, ergimiş metalin döküm nozülü üzerinden bantlar arasındaki boşluğa ,dökülebilecek levhanın aynı kalınlıkta dökülmesidir. Bantlar arasındaki bu boşlukta metal katılaşır ve çekirme merdanesi (pinch roll) tarafından makinenin dışına çekilir. Döküm aralığı 5 m/dk ile 9 m/dk arasındadır.

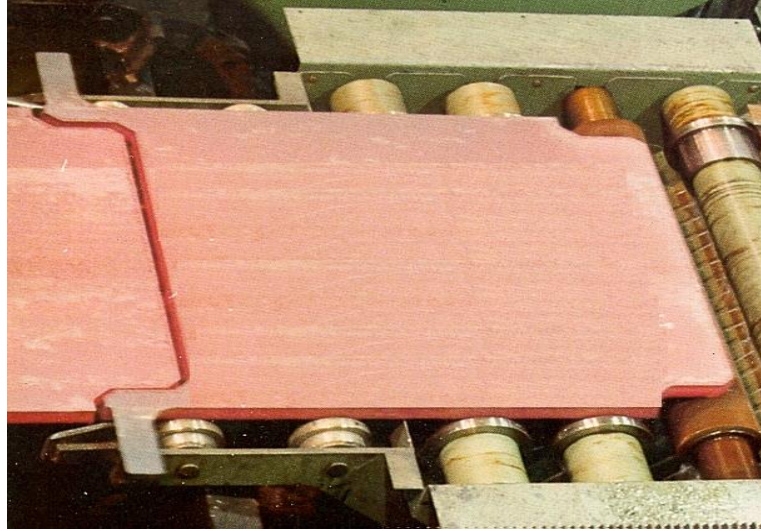
Makineden ayrıldıktan sonra 420 °C ve 460 °C arasında 2 mm ve 6 mm arasındaki ebatlara hemen sıcak haddelenir. Bu nedenle bu döküm hattı-blok döküm hattı gibi-döküm makinesiyle en az iki tane sıcak hadde standına sahiptir. Bu levha yaklaşık 200 °C sıcaklıkta sarılır. Alaşım aralığı, maksimum %3 mg olan ikiz merdane döküm yönteminden daha geniştir. Fakat en iyi sonuç saf alüminyum ve AlMn ile elde

edilmiştir. Ürün için ekstra yüksek yüzey kalitesi isteği uygulamada uygun değildir (Kammer, 1999).

Hazelett döküm tekniği elektrolizde kullanılacak olan anotların dökümünde de kullanılmaktadır. Çıkışta bulunan makas ile dökülen bakır metali kesilerek anot şekli verilmekte, üretilen anotlar elektroliz hücresine yerleştirilebilmektedir. Bu yöntemle üretilen bakır anotların tüketim verimleri daha yüksek olmaktadır (<http://www.hazelett.com>, tarih yok). Şekil 3.2 ‘ de bakır anot döküm makinasının görüntüsü verilmektedir. Şekil 3.3 ‘ de döküm makinasından üretilmiş anotların görüntüsü bulunmaktadır, şekil 3.4 ‘ de ise bu yöntemle üretilen anotların, bakır elektroliz hücresindeki görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.2 : Hazelett Bakır Anot Döküm Makinası (<http://www.hazelett.com>, tarih yok)



Şekil 3.3 : Hazelett Döküm Makinası ile Üretilmiş Bakır Anot
(<http://www.hazelett.com>, tarih yok)



Şekil 3.4 : Hazelett Döküm Makinası ile Üretilmiş Bakır Anotların Elektroliz
Hücreindeki Görüntüsü (<http://www.hazelett.com>, tarih yok)

3.2.1.2 Kaiser Döküm Tekniği

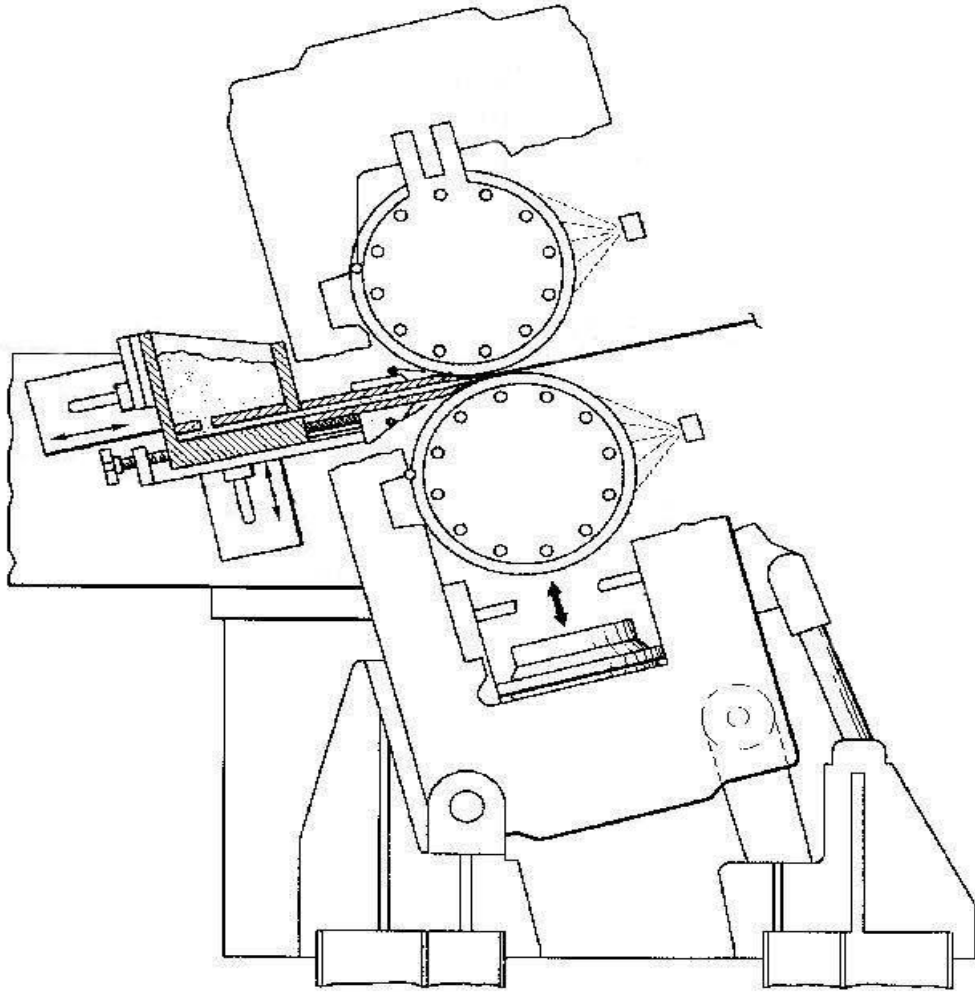
Folyoyarımamül (foilstok) için yüzey kalitesi yeterli değildir. Devamlı tenekeyarımamül (canstok) üretimine dayalı bu konseptin alt prosesleri şunlardır: Fırında tutulan ergimiş metal, metaldeki gazı giderme ve filtreleme, “Kaiser Caster”, sıcak hadde standı, tavlama ve su verme, soğuk hadde standı ve sarma. Örneğin, bu hatta meşrubat kutusunun üç alt ürününü gövde, kapak, etiket üretilebilir.

Döküm için levha kalınlığı bantların kalınlığı, döküm bandının dönüş sıcaklığı, levha ve bandın çıkış sıcaklığıyla ilişkilidir. Buna ek olarak, levha kalınlığı aynı zamanda dökülecek metale de bağlıdır. Bant sıcak metalle temas halindeyken bandın arkasında soğutma suyunun bulunmaması termal gradyanları önemli ölçüde azaltır ve kritik ısı akısı aşıldığı zaman meydana gelen film kaynama problemleri artadan kalkar. Bu dizayn aynı zamanda soğuk çerçevelemeyi minimize eder, üç bölgede soğuk bant bölümleri vardır.

Soğuk çerçeveleme şiddetli bant distorsiyonuna sebep olabilir. Diğer özelliği ise kolay başlangıçtır: kaliteli ürün 15 dakika içinde elde edilebilir. Diğer avantajı ise ürün yüksek hızda ve yapışmadan problemsiz bir şekilde oluşur. Ürün sıcaklığı sıcak haddeleme için yeterince yüksektir (Kammer, 1999).

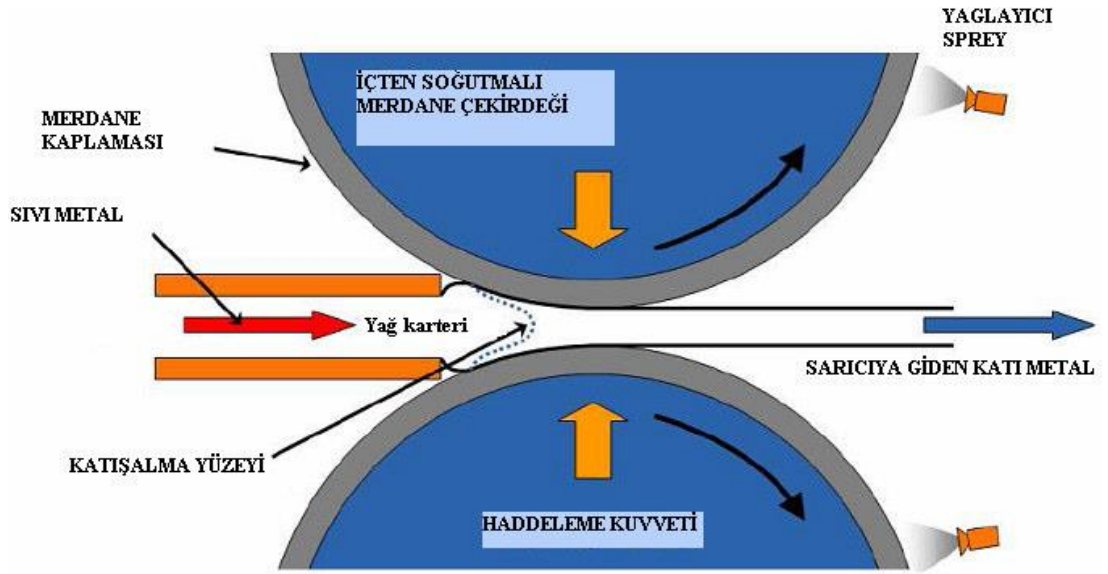
3.2.2 İkiz Merdane Döküm Tekniği (TRC)

İkiz merdane sürekli döküm tekniği kökeni hazelett ve blok döküm tekniklerine dayanmakla beraber onlardan biraz farklı olan bir tekniktir. Bu teknikde ergiyik metal birbirine zıt yönde dönen su soğutmalı merdaneler arasından geçerek katılaşır. Katılaşan levhalarda bir miktar haddelemede meydana gelmekte ve gergi ile rulo olarak sarılmaktadır. Şekil 3.5 ‘ de ikiz merdaneli sürekli döküm makinasının yandan görünümü verilmiştir.



Şekil 3.5 : TRC Caster Yandan Görünümü (Patent No. 5,518,064, 1993)

Katılaşılan levhanın sıcaklığı yaklaşık 300 °C derecedir. Fiziksel özellik bakımından %15-%20 deformasyona uğramış sıcak hadde ürünü ile aynı özelliğe sahiptir. TRC ile üretilmiş levhalar nisbeten daha küçük taneli mikroyapıya sahip olmakla beraber literatürde, dökülen levhalarda ilerki proseste tane büyümlerinin gözlemlenebileceği geçmektedir. Ek olarak bu büyümler, daha fazla tane küçültücülerin kullanılması veya termo-mekanik proseslerin uygulanmasıyla yönetilebilmektedir. İkiz merdane tekniğinde katı levhanın çıkış yönüne göre dizayn edilmiş farklı yapıda döküm makinaları mevcuttur (Patent No. 5,518,064, 1993). Şekil 3.6 ‘ da merdanelerin çalışma şeması verilmiştir.

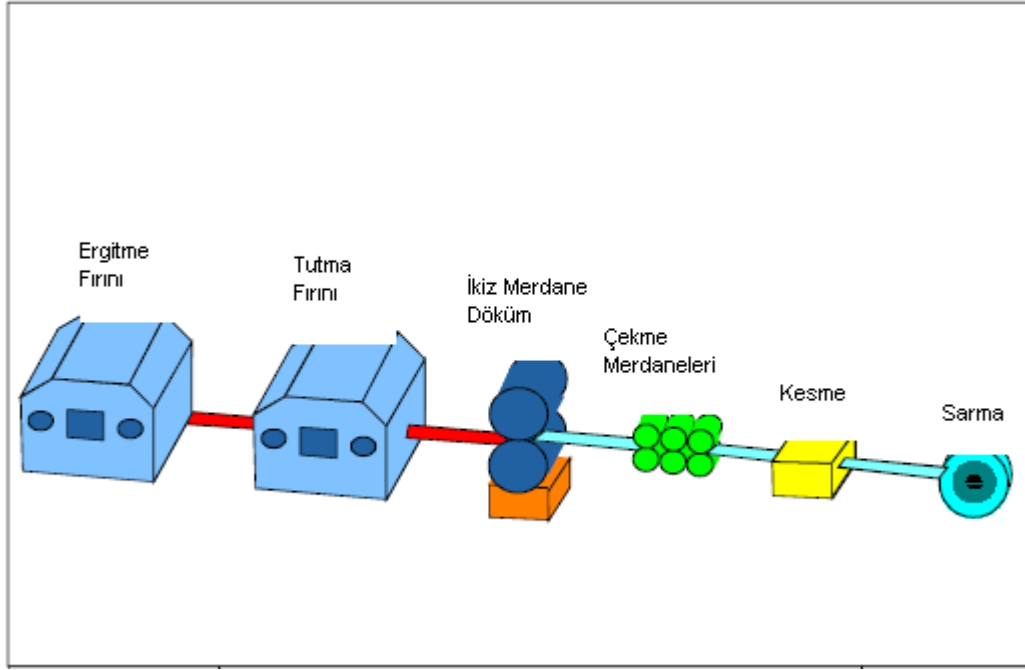


Şekil 3.6 : TRC Çalışma Şeması (Erden, 2006).

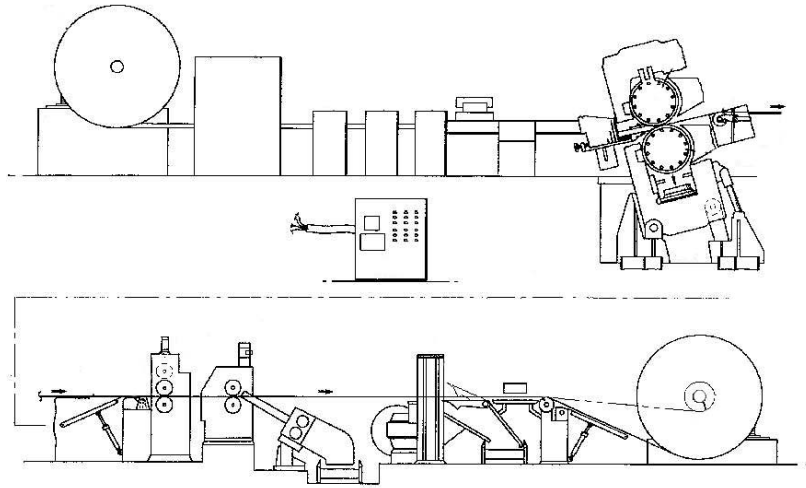
TRC sürekli döküm tekniği aşağıdaki ekipmanları içerir;

- Ergitme fırını
- Tutma fırını
- Degazer Ünitesi
- Tane Küçültücü Besleme Ünitesi
- Ergimiş Metal Filtreleme Sistemi
- Ergimiş Metal Seviye Kontrol Sistemi
- Su Soğutmalı Merdaneler
- Çektirme Merdaneleri ve Sarıcı Sistemi

TRC döküm hattının görüntüsü şekil 3.7 ve şekil 3.8 de verilmektedir.



Şekil 3.7 : TRC Döküm Hattı (Kammer, 1999)



Şekil 3.8 : TRC Döküm Hattı Detay Görünümü (Patent No. 5,518,064, 1993).

4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Alüminyumun kendine has özellikleri, hafif olması, yüksek dayanımı, korozyona gösterdiği yüksek direnci onu konvansiyonel ve çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere ideal bir metal yapmaktadır. Alüminyum otomobil ve ağır taşıtların üretiminde, gıda ürünlerinin paketlenmesinde, yapı uygulamalarında, uçak ve hava taşıt ekipmanlarında, makina ve ekipman yapımında ve dayanıklı tüketim uygulamalarında büyük öneme sahip bir metaldir. Teknolojik ürünlerin artması ve ekolojik olarak zararsız ürünlerin üretiminin artmasıyla alüminyumun sunduğu fırsatlardan dolayı kullanımının artacağı aşıkardır (Totten & MacKenzie, 2003).

Alüminyum yeryüzünde en çok rastlanan 3. element olup periyodik cetvelin 3. grubunda yer almaktadır. Atom numarası 13, atom ağırlığı 26.98 dir. Gümüş beyazı rengindedir.

4.1 Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

Alüminyum yoğunluğu düşük, 2.7 g/cm^3 , yüksek ışık yansıtabilirliği, yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahip bir metal olarak bilinmektedir. Atmosferik ortamda korozyona direnci yüzeyindeki oksit filminden dolayı yüksektir. Alüminyum yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip bir metaldir. Alüminyumun saflığına bağlı olarak özellikleri çizelge 4.1' de verilmektedir.

Çizelge 4.1 : Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Totten & MacKenzie, 2003)

ÖZELLİK	SAFLIK(%)				
	%99,999	%99,99	%99,8	%99,5	%99
Ergime Noktası (°C)		660,2			657
Kaynama Noktası (°C)		2480			
Latent Isı Kapasitesi (cal/g)		94,6			93
Spesifik Isı, 100 °C'de (cal/g)		0,2226			0,2297
Yoğunluk, 20 °C'de (g/cm ³)	2,7	2,7	2,7	2,71	2,71
Elektrik Direnci, 20 °C'de μΩ-cm	2,63	2,68	2,74	2,8	2,87
Sıcaklık Direnç Katsayısı		0.0042	0.0042	0.0041	0.0040
Termal Genleşme Katsayısı x 10 ⁶ (20 -100 °C)		23.86	23.5	23.5	23.5
Termal iletkenlik 100 °C		0.57	0.56	0.55	0.54
Yansıtabilirlik %		90	89	86	
Elastisite Modülü lb/in ² x10 ⁶		9.9	-	-	10

4.2 Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Korozyon mühendislik malzemelerinin kullanımında en önemli hatalardan biridir. Alüminyum birçok ortamda örneğin açık havada korozyona karşı dirence sahiptir. Bunu sağlayan ise yüzeyinde oluşan oksit tabakasıdır. Açık havada oda sıcaklığında alüminyum üzerinde oksit film oluşumu 10⁻⁴ saniyede gerçekleşir.

Oluşan bu film metalin daha sonradan bozulmasını engeller. Bu filmin kalınlığı normal koşullarda 5 ila 20 nanometre aralığındadır. Bu filmin kalınlığı sulu ortamda yükselmektedir.

Değişen sıcaklıkla birlikte filmin yapısı değişmektedir. Alüminyum ve alaşımları yük altında ve yük uygulanmayan durumlarda lokal korozyonlara duyarlıdır (Totten & MacKenzie, 2003).

Alüminyum voltaj bakımından emf serisinde bakır krom ve demirin daha altında yer almaktadır.

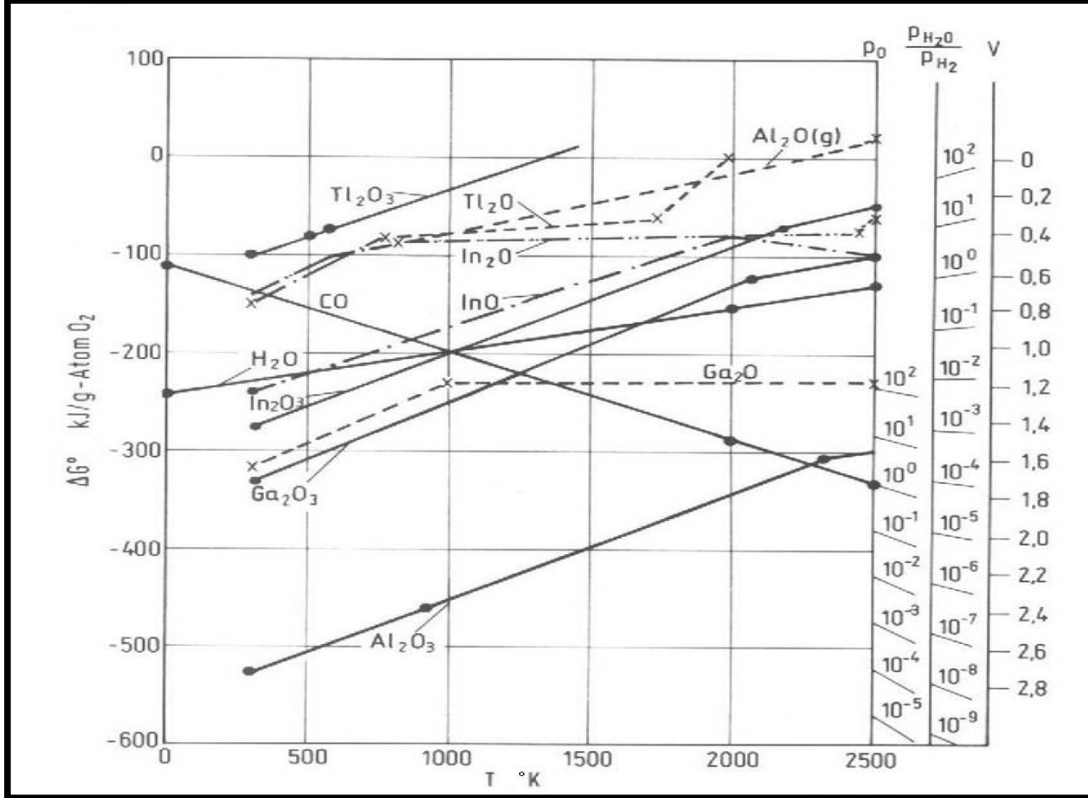
Emf serisinden bakıldığında hidrojene göre -1.66 V negatif potansiyele sahip olduğu için sulu çözeltilerden kazanılamamaktadır (Totten & MacKenzie, 2003).

Metallerin elektromotif serisi çizelge 4.2 ' de verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Metallerin Elektromotif Serisi (Duman, 2003)

Metal	İyon	Elektrod Potansiyeli(V)	Reaksiyon
Altın	Au^+	+ 1.50	$\text{.....Au}^+ + e = \text{Au}$
Altın	Au^{3+}	+ 1.36	$\text{.....Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$
Platin	Pt^{2+}	+ 0.86	$\text{.....Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}$
Paladyum	Pd^{2+}	+ 0.82	$\text{...Pd}^{2+} + 2e = \text{Pd}$
Cıva	Hg^{2+}	+ 0.80	$\text{....Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}$
Gümüş	Ag^+	+ 0.80	$\text{.....Ag}^+ + e = \text{Ag}$
Bakır	Cu^+	+ 0.47	$\text{.....Cu}^+ + e = \text{Cu}$
Hidrojen	H^+	0.00 (Referans)	$\text{.....2H}^+ + 2e = \text{H}_2$
Kurşun	Pb^{2+}	- 0.13	$\text{...Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}$
Nikel	Ni^{2+}	- 0.25	$\text{.....Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$
Kobalt	Co^{2+}	- 0.28	$\text{....Co}^{2+} + 2e = \text{Co}$
Demir	Fe^{2+}	- 0.44	$\text{.....Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$
Krom	Cr^{3+}	- 0.74	$\text{.....Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}$
Krom	Cr^{2+}	- 0.91	$\text{.....Cr}^{2+} + 2e = \text{Cr}$
Çinko	Zn^{2+}	- 0.76	$\text{.....Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$
Titanyum	Ti^{2+}	-1.63	$\text{.....Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$
Aluminyum	Al^{3+}	- 1.66	$\text{.....Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$
Sodyum	Na^+	- 2.71	$\text{.....Na}^+ + e = \text{Na}$
Kalsiyum	Ca^{2+}	- 2.87	$\text{...Ca}^{2+} + 2e = \text{Ca}$
Potasyum	K^+	- 2.93	$\text{.....K}^+ + e = \text{K}$

Alüminyumun oksijene olan afinitesi çok yüksektir. Ellingham diyagramına bakıldığında karbon ile yaklaşık 2200 °C de redüklenebildiği görülmektedir. Karbür yapıcı bir metal olması ve redüksiyon derecesinin yüksek olması alüminyumoksitin karbonla redüklenememesine sebep olmaktadır. Ellingham diyagramı şekil 4.1 de verilmektedir.



Şekil 4.1 : Ellingham Diyagramı (Duman, 2003).

4.3 Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Mekanik özellik tanım olarak uygulanan kuvvet ile birlikte malzemenin elastik veya elastik olmayan reaksiyonlarını tanımlar. Bir başka deyişle malzemenin gerinim gerilme arasındaki ilişkiyi belirler. Örnek olarak, elastisite modülü, akma, çekme dayanımı, dayanma limitidir (Kaufman, 2000).

Alüminyumun mekanik özelliklerini belirleyen safsızlığı ve uygulanan ısıtma işlem ve deformasyona bağlıdır. Saf alüminyumun içerisindeki alaşım elementi oranı arttığında (eşit durumda ısıtma işlem uygulanmış) akma, çekme dayanımının ve sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir (Totten & MacKenzie, 2003).

4.4 Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları işlem ve döküm alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İşlem alaşımları daha sonradan hadde, ekstrüzyon, dövme, derin çekme uygulamaları yapılarak ürüne dönüştürülen alaşımlara denir. Döküm alaşımlar ise, genellikle döküm sonrası yarı mamül ya da son şekline yakın ürünlere yönlendirilecek alaşımlara denir (Kaufman, 2000).

4.4.1 İşlem Alaşımlarının İsimlendirilmesi

Alüminyum birliği işlem alaşımları isimlendirme kriteri bazen harf içermekle beraber normal olarak dört numara içermektedir.

- Birinci rakam alaşım gurubunu tanımlar.
- İkinci rakam temel alaşımdan farkları tanımlamaktadır. Bu rakam orjinal kompozisyon için 0'dır. Birinci farklılık için 1, ikincisi için 2 ve bu şekilde devam eder. Varyasyonlar eklenen alaşım elementi oranına göre belirlenmektedir. Bu oran her bir alaşım elementi için %0.15 ten %0.50 ve daha fazlası olarak kabul edilmektedir.
- Üçüncü ve dördüncü rakamlar seri içinde belirli bir alaşımı belirlemek için kullanılır. Oran olarak herhangi bir belirli rakam veya oran bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3 de işlem alaşımı isimlendirilmesinde temel alaşım elementleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 : İşlem Alaşımı İsimlendirilmesinde Temel Alaşım Elementleri
(Kaufman, 2000).

Alaşım	Temel alaşım elementi
1XXX	Saf Alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silis
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum-Silis
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer Elementler (Demir ve Kalay)
9XXX	Kullanılmayan Dizi

1XXX serisi; saf alüminyuma yakındır. Alüminyum oranı %99 veya daha fazladır. Bu seri yaşlandırılamaz fakat deformasyon ile sertleştirilebilir.

2XXX serisi; alaşım elementi olarak bakır içerir. Yaşlandırılabilir özelliğe sahiptir.

3XXX serisi; alaşım elementi olarak mangan içerir, yaşlandırılamaz fakat deformasyon ile sertleştirilebilir.

4XXX serisi; Temel alaşım elementi silistir. İçerdiği silis oranına ve başka alaşım elementi içeriğine göre yaşlandırılabilir.

5XXX serisi; Temel alaşım elementi magnezyumdur. Yaşlandırılmaz fakat deformasyon ile sertleşebilir.

6XXX serisi; Temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Bu seri yaşlandırılabilir özelliğine sahiptir.

7XXX serisi; Temel alaşım elementi çinkodur, sıklıkla önemli oranlarda bakır ve magnezyum içerir. Yaşlandırılabilir kabiliyetine sahiptir.

8XXX serisi; Temel alaşım elementleri geniş bir spektrumda yer almaktadır.

9XXX serisi ; Kullanılmayan seridir (Kaufman, 2000).

4.4.2 Dökme Alüminyum Alaşımlarının İsimlendirilmesi

Dökme alüminyum alaşımlarının isimlendirilmesinde de yine dört numara içermektedir. İlk rakam yine temel alaşım elementi oranına göre belirlenmektedir. Bu isimlendirmedeki fark üçüncü ve dördüncü dijit arasında nokta olmasıdır. Buradaki nokta alaşım elementinin dökme ürünün veya dökümhane külçedeki formunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Burada 6XX.X serisi kullanılmayan seridir, 9XX.X serisi diğer elementleri içeren seri olarak tanımlanmaktadır.

İkinci ve üçüncü dijit spesifik alaşımı tanımlamak için kullanılır. 1XX.X serisi için alüminyumun saflığını belirtir.

Dördüncü dijit, ürün formunu tanımlamak için kullanılır. Örneğin xxx.0 dökümü tanımlarken, xxx.1 dökülen külçenin alaşım elementi için bir limitinin olduğunu tanımlar, xxx.2 yine külçenin alaşım elementi oranını tanımlar fakat bu limit xxx.1 in de içinde bir limitin tanımlanmasını sağlar (Kaufman, 2000).

Dökme alaşımlarının isimlendirilmesinde temel alaşım elementleri çizelge 4.4 de verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Dökme Alaşımların İsimlendirilmesinde Temel Alaşım Elementleri
(Kaufman, 2000)

Alaşım	Temel alaşım elementi
1XX.X	Saf Alüminyum
2XX.X	Bakır
3XX.X	Mangan
4XX.X	Silis
5XX.X	Magnezyum
9XX.X	Diğer Elementler
7XX.X	Çinko
8XX.X	Kalay
6XX.X	Kullanılmayan Dizi

4.4.3 Alüminyum Alaşımları Kondisyon Tanımlamaları

Kondüsyon tanımlamada ilk büyük harf yapılan tedavinin sınıfını tanımlar.

F harfi, üretildiği gibi demektir, ürünün döküm halini tanımlar. Termal durumu için herhangi bir ek işlem yapılmamış demektir. Bu kondüsyon için işlem alaşımlarında tanımlanmış herhangi bir mekanik özellik aralığı yoktur.

O harfi, tavllanmış demektir. İşlem alaşımı olan dökme ürünün sünekliğini ve işlenebilirliğini artırmak için yapılan tav işlemi sonrasındaki kondüsyonunu tanımlamaktadır.

H harfi, deformasyon sonucu sertleştirilmiş ürünün kondüsyonunu tanımlamaktadır. Kondüsyon tanımında, H harfinden sonra 2 veya daha fazla rakam gelir.

W harfi, çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış alaşımların kondüsyon değerlerini tanımlamaktadır.

T harfi, stabil kondüsyon durumlarını (H ve O kondüsyonlarından farklı olarak) göstermektedir. Bu kondüsyon tanımı bir ısıl işlem ile kondüsyon kazandırılmış alaşımları tanımlar. Özel tanımlama için harften sonra bir veya iki rakam daha kullanılır (Kaufman, 2000).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, farklı kalınlıkta alınan numunelerin döküm kalınlığındaki mikroyapıları ve sertlikleri, homojenizasyon tavlı sonrası mikroyapıları ve sertlikleri, eşit deformasyon sonrası mikroyapıları, sertlikleri ve mekanik özellikleri, eşit kalınlıkta mikroyapıları, sertlikleri ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

5.1 Kullanılan Malzemeler

Yapılan çalışmada biri diğerinden %30 daha kalın olan ve Fata Hunter Speed Caster lisanslı sürekli döküm makinasıyla dökülmüş 8006 alaşımlı örnekler kullanılmıştır. Bu alaşımın kimyasal içeriği Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Alınan örnekler eşit homojenizasyon tavlına tabi tutulmuştur. Sonrasında eşit oranda (%80), deforme edilmiş ve ayrıca homojenizasyon tavlı sonrası alınan örnekler, 0.30 mm eşit kalınlığa haddelenmişlerdir.

Çizelge 5.1 : 8006 Alaşımlı Örneklerin Kimyasal İçeriği

Alaşım	Min/Max	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
8006	min	0	1.2	0	0.3	0	0	0	0	0
	max	0.4	2	0.3	1	0.1	0	0.1	0.05	100

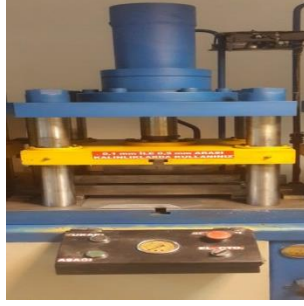
5.2 Kullanılan Cihazlar

Deneyler esnasında kullanılan cihazlar; a) Nabertherm marka tav fırını, b) Test numunesi hazırlama cihazı, c) Zwick Z050 marka çekme testi cihazı, d) Struers LectroPol-5 marka tane dağlama cihazı, e) Zeiss AxioCam MRc 5 marka optik mikroskop f) Jeol JSM-5600 marka taramalı elektron mikroskobu g) Laboratuvar ölçekli test haddesi

Deneylerde kullanılan cihazlar şekil 5.1 ‘ de verilmektedir.



a



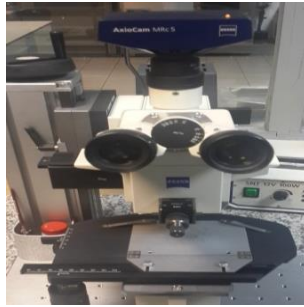
b



c



d



e

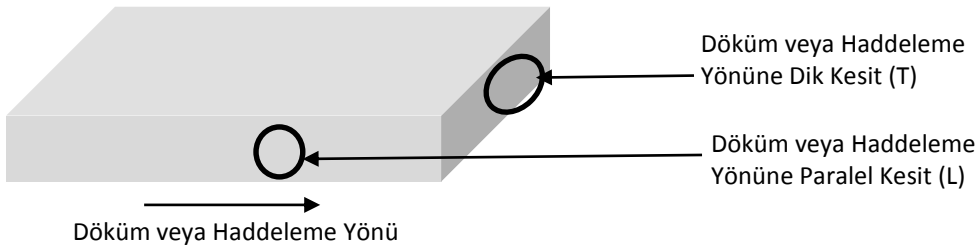


f

Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan cihazlar.

5.3 Mikroyapı Karakterizasyonu

Mikro yapı karakterizasyonunda kullanılan numuneler diğerinden %30 daha kalın dökülmüş olan numune:A, %30 daha ince dökülmüş olan numune:B ve bu numunelerin eşit deformasyon ve eşit kalınlığa haddelenmesi sonucu elde edilen numunelerdir. Bu numuneler dökme levhanın tam ortasından alınmış, boyuna ve enine kesitler şeklinde incelenmiştir. Boyuna ve enine kesit gösterimi şekil 5.2 ' de verilmiştir



Şekil 5.2 : Boyuna ve Enine Kesit Gösterimi

Döküm halindeki numuneler homojenizasyon tavına tabi tutulmuştur. Daha sonra silindirik soğuk kalıp ölçülerine göre bor yağı soğutmalı döner diskli kesicide ebatlandırıldıktan sonra soğuk kalıplanmış ve zımparalama kademelerinden sonra 3 µm partikül boyutlu parlatma çözeltisi ardından 1 µm partikül boyutlu koloidal silika ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskop çalışmaları ile yapılmıştır. Parlatılmış numunelerin dağlanması elektrolitik dağlama cihazında yapılmış ve optik mikroskopta polarize ışık altında incelenmiştir Taramalı elektron mikroskobunda A, B numuneleri ve bu numunelerin homojenizasyon tavı uygulanmış hallerinin enine kesitleri analiz edilmiştir.

Malzeme kesitinin her iki yüzeyden eşit uzaklıktaki merkez düzleminde (merkez hattı) çökelen intermetalikler farklı büyütmelerde gözlemlenmiş ve numunelerin çeşitli yerlerinden analizler alınarak elementer oranları tesbit edilmeye çalışılmıştır.

5.4 Mekanik Özellik İncelemeleri

Mekanik özellikler çekme, sertlik ve ERICHSEN testleri ile yapılmıştır. Çekme testi ZWICK marka çekme test cihazında 1 mm/dakika hız ile A50 ölçü uzunluğunda gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçümleri VICKERS uç ile 10 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri her bir numunenin kesiti boyunca yüzeyden farklı noktalardaki mesafelerde gerçekleştirilmiştir.

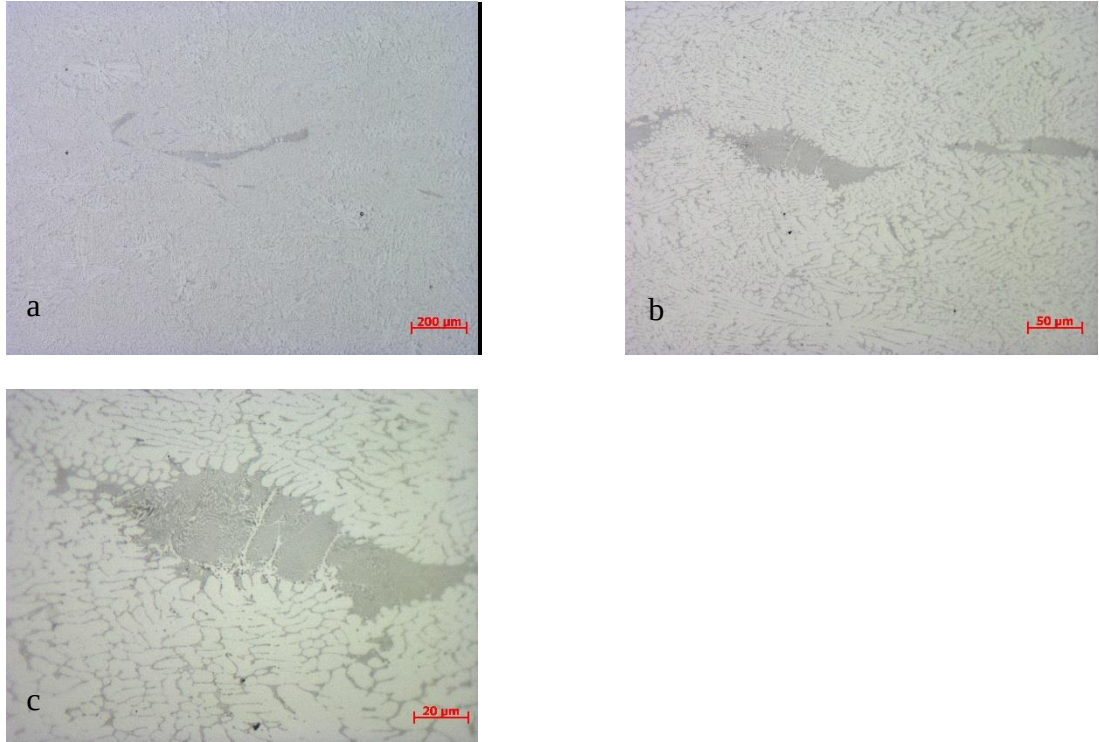
ERICHSEN testleri ERICHSEN test cihazı ile yapılmıştır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1 Mikroyapı Karakterizasyon

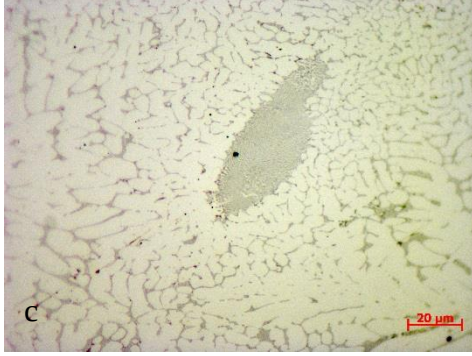
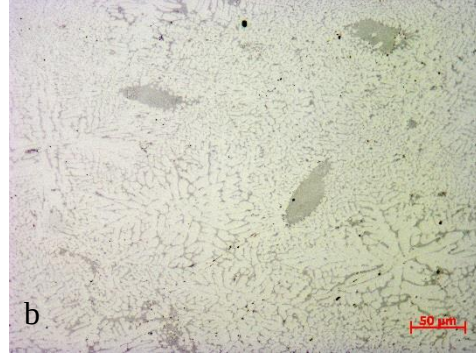
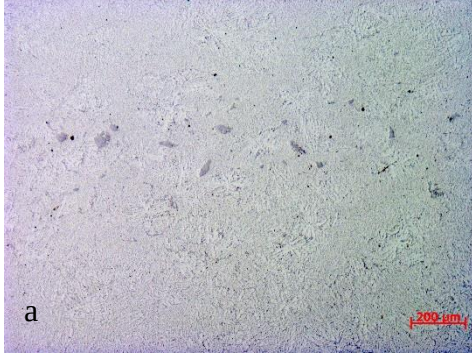
6.1.1 Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Dökülmüş tam en levha numunenin ortasından alınan örneklerden enine ve boyuna kesitler şeklinde optik mikroskopta incelenmiştir. Şekil 6.1 de A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelerdeki görüntüsü verilmektedir. Numunelerin merkezinde segregasyonlar tesbit edilmiştir.

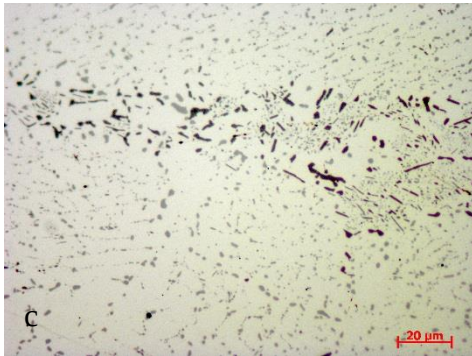


Şekil 6.1 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.2 de A numunesinin döküm yönüne dik, Şekil 6.3 ‘ de ise homojenizasyon tavlama uygulanmış halinin paralel kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelerdeki görüntüsü verilmektedir. Numunelerin merkezinde segregasyonlar tesbit edilmiştir. Homojenizasyon tavlama sonrası görüntüler incelendiğinde, döküm halinde tesbit edilen merkez hattı segregasyonlarının şiddetlerinin düştüğü görülmektedir.

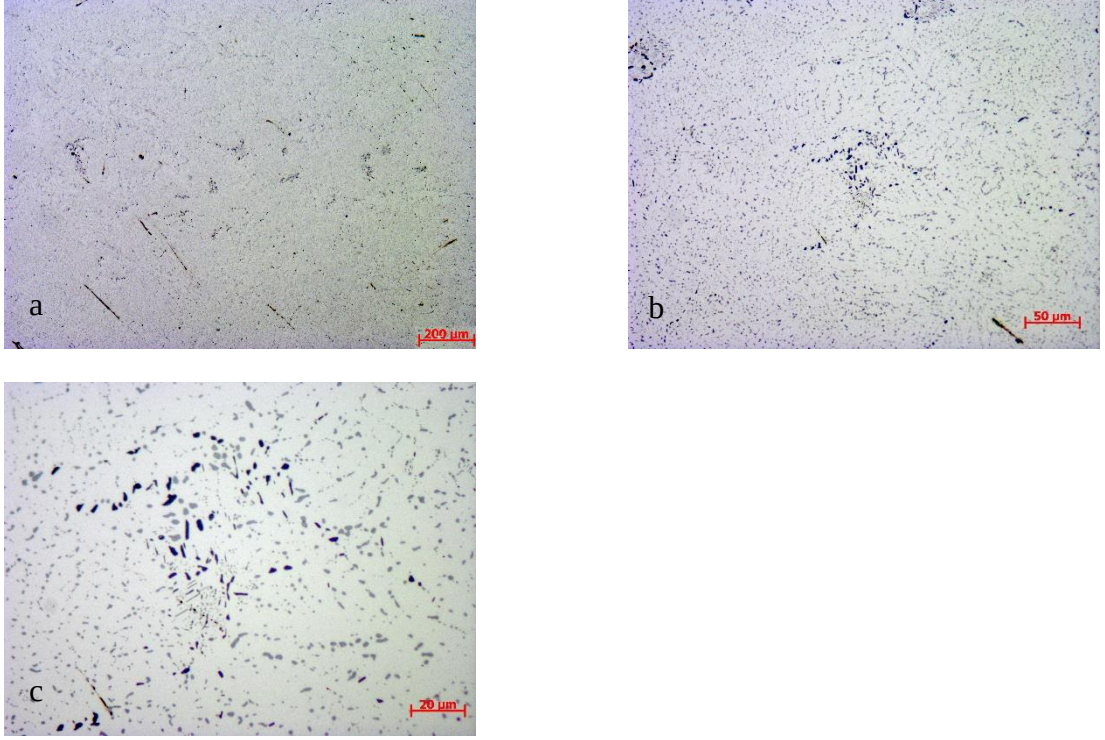


Şekil 6.2 : A Numunesi Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme



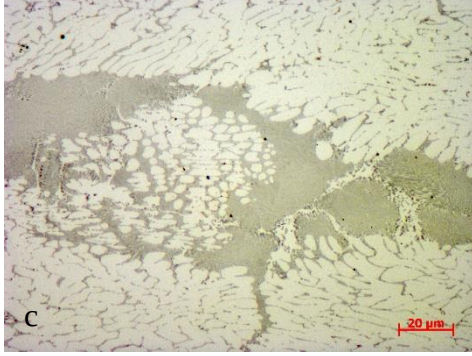
Şekil 6.3 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.4 de homojenizasyon tavı uygulanmış A numunesinin döküm yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelelerdeki görüntüsü verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, döküm halinde tesbit edilen merkez hattı segregasyonlarının şiddetlerinin düştüğü görülmektedir

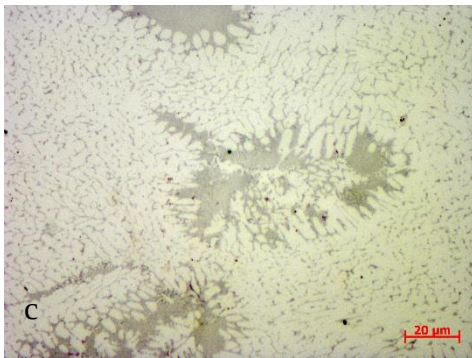
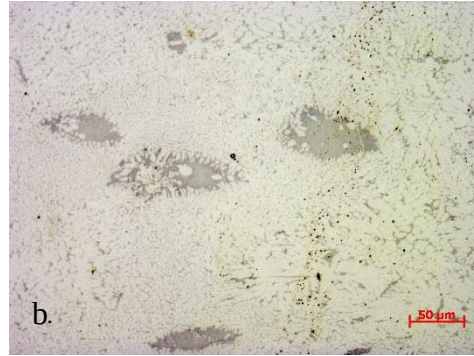
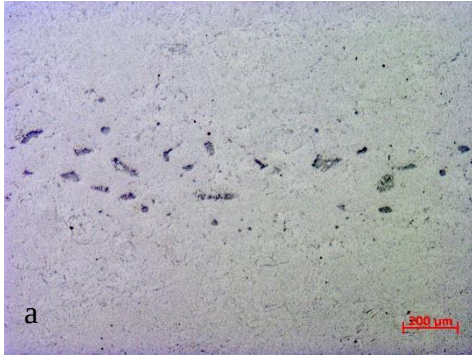


Şekil 6.4 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.5 ‘ de B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelelerdeki görüntüsü verilmektedir. Numunelerin merkezinde segregasyonlar tesbit edilmiştir. Şekil 6.6 ‘ da B numunesinin döküm yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelelerdeki görüntüsü verilmektedir. Numunelerin merkezinde segregasyonlar tesbit edilmiştir. A numunesi ile karşılaştırıldığında tesbit edilen segregasyonların şiddetinin B numunesinde daha fazla olduğu, buna sebebiyet veren durum ise döküm esnasında kalınlığı % 30 daha az olan B numunesinin daha hızlı katılaşması olarak söylenebilir.

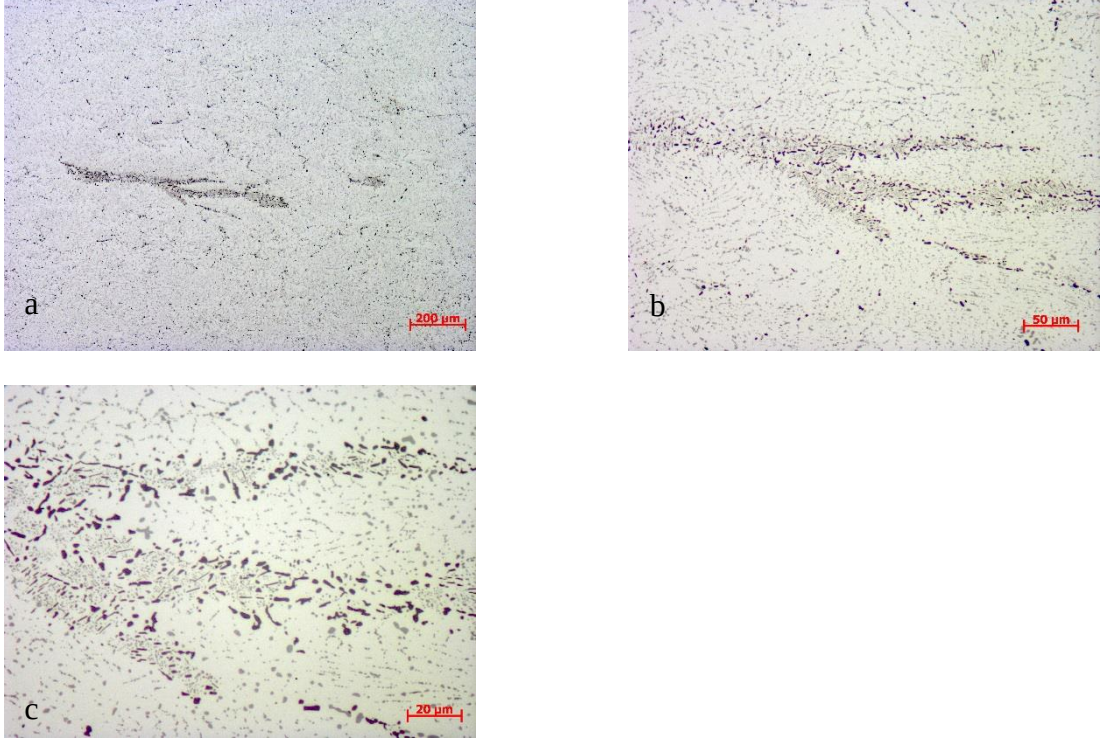


Şekil 6.5 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme



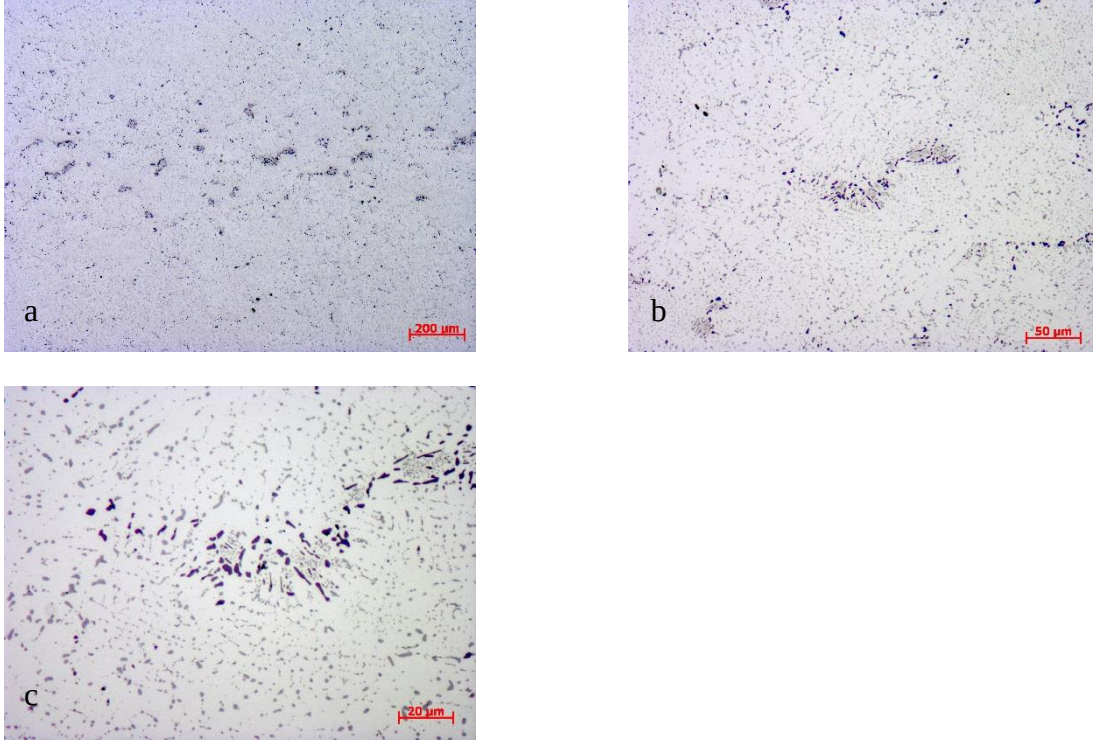
Şekil 6.6 : B Numunesi Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.7 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış B numunesinin döküm yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelelerdeki görüntüsü verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, döküm halinde tesbit edilen merkez hattı segregasyonlarının şiddetlerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.7 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6. 8 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış B numunesinin döküm yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelelerdeki görüntüsü verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, döküm halinde tesbit edilen merkez hattı segregasyonlarının şiddetlerinin düştüğü görülmektedir. A numunesi ile karşılaştırıldığında kalınlığı % 30 daha az olan B numunesinin merkezinde görülen merkez hattı segregasyonların şiddetlerinin homojenizasyon tavından sonra da daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise döküm esnasında B numunesinin daha hızlı katılaşması ve merkezinde oluşan segregasyon şiddetinin daha fazla olması olarak söylenebilir.

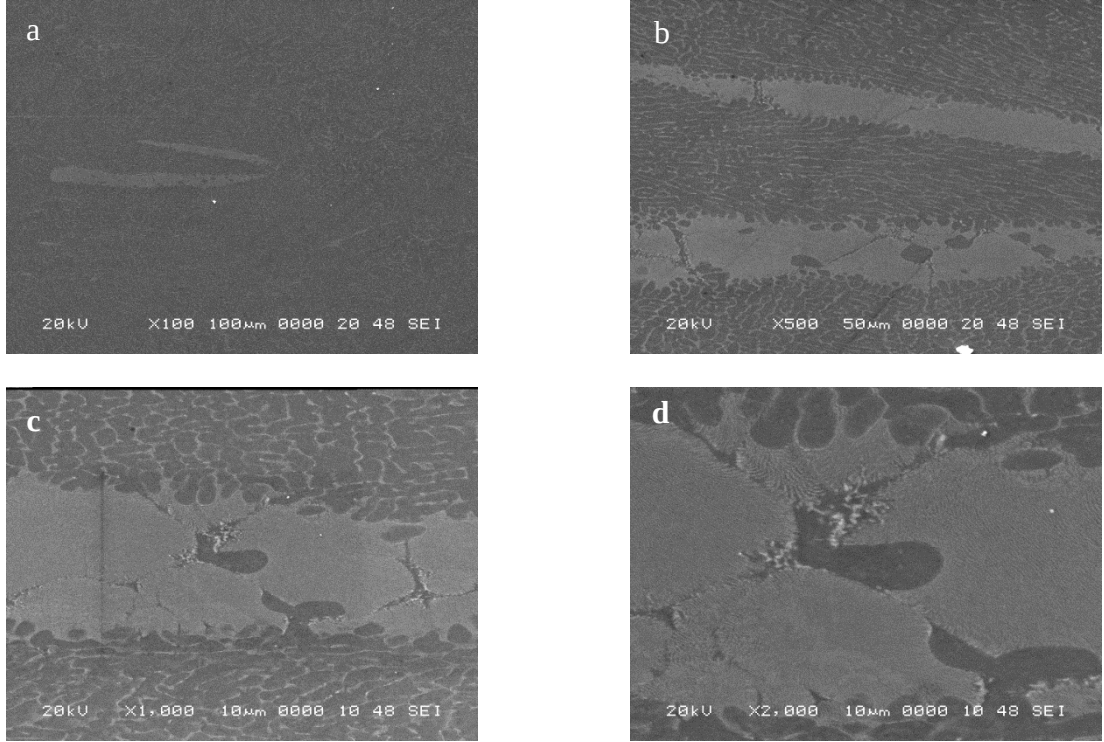


Şekil 6.8 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

A ve B numunelerinin döküm halindeki numunelerinin döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik kesitlerinin farklı büyütmelerdeki görüntüleri incelendiğinde her iki numunenin kesitinin her iki yüzeyden eşit uzaklıktaki merkez düzleminde (merkez hattı) segregasyonlar tesbit edilmiştir.. Bu segregasyonların şiddeti kalınlığı % 30 daha az olan B numunesinde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak B numunesinin azalan kalınlıkla birlikte dökümdeki katılaşma hızının fazla olması söylenebilir.

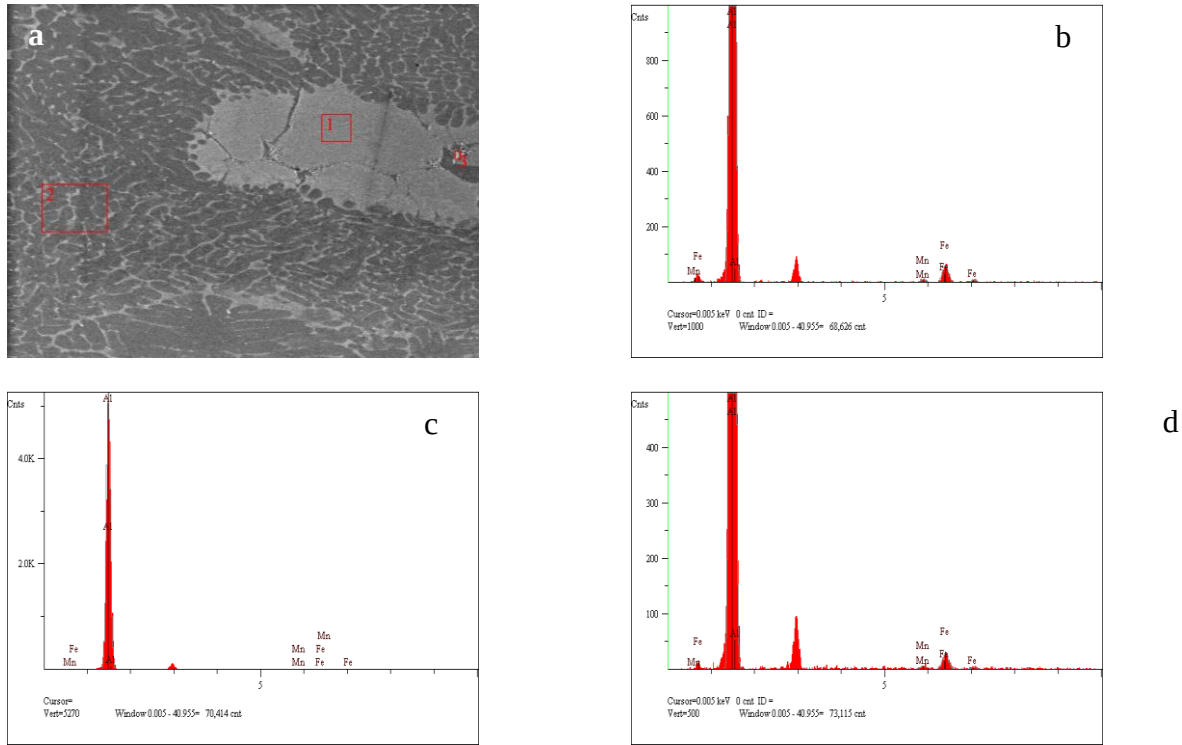
A ve B numunelerinin homojenizasyon tavına tabi tutulmuş hallerinin döküm yönüne paralel ve dik kesitlerinin farklı büyütmelerdeki görüntüleri incelendiğinde segregasyon şiddetlerinin her iki kalınlıkda da azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.9 ‘ da A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopunda farklı büyütmelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin merkez hattında segregasyonlar tesbit edilmiştir. Segregasyonlar optik mikroskoptaki görüntülerle paralellik göstermektedir.



Şekil 6.9 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme

Şekil 6.10 ‘ da A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopta farklı noktalardan yapılan elementer analiz görüntüleri verilmektedir. Analiz pikleri incelendiğinde bölgelerin alüminyum, demir ve mangan içerdiği görülmektedir. Çizelge 6.1 ‘ de ise A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinden yapılan analizin elementer oranları verilmektedir. Segregasyonun şiddetinin fazla olduğu 1 nolu bölgenin demir ve manganca zenginliğinin segregasyon şiddetinin az olduğu 2. bölgeye göre daha fazla olduğu tesbit edilmiştir. 3 numaralı bölge ise 1 numaralı bölgeden daha az, 2 nolu bölgeden daha fazla demir içermektedir, mangan içeriği 1 ve 2 numaralı bölgeden oran olarak daha azdır.

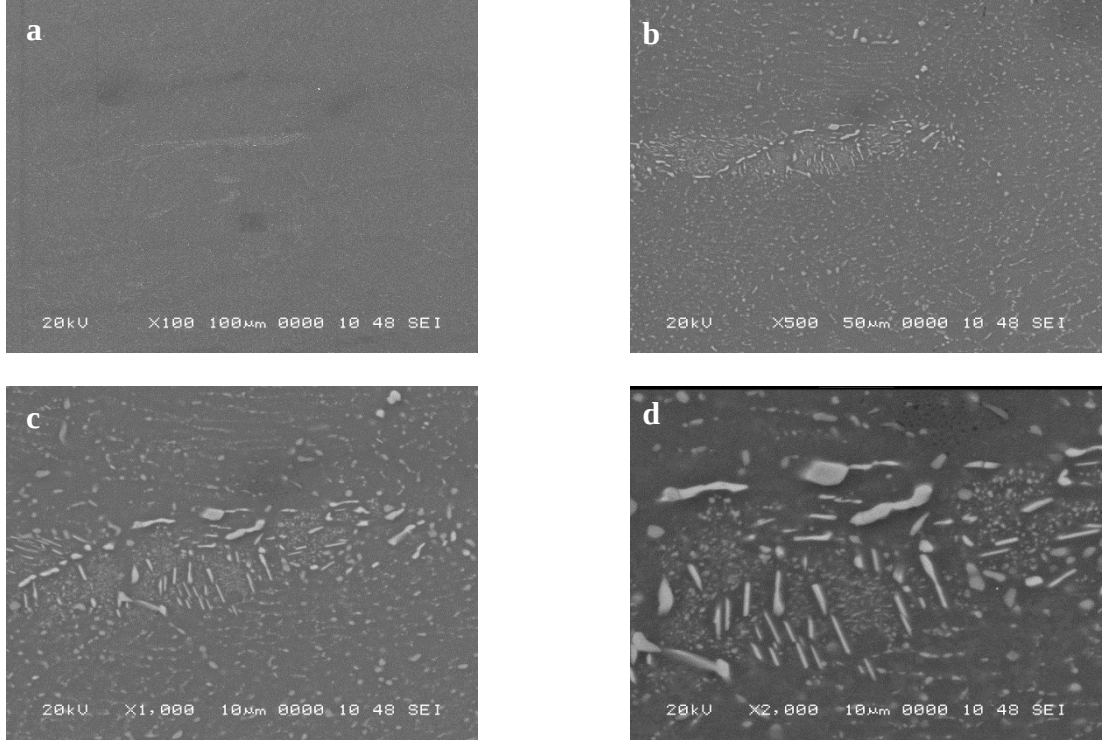


Şekil 6.10 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri

Çizelge 6.1 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) EDS-Analizleri Elementer Oranlar

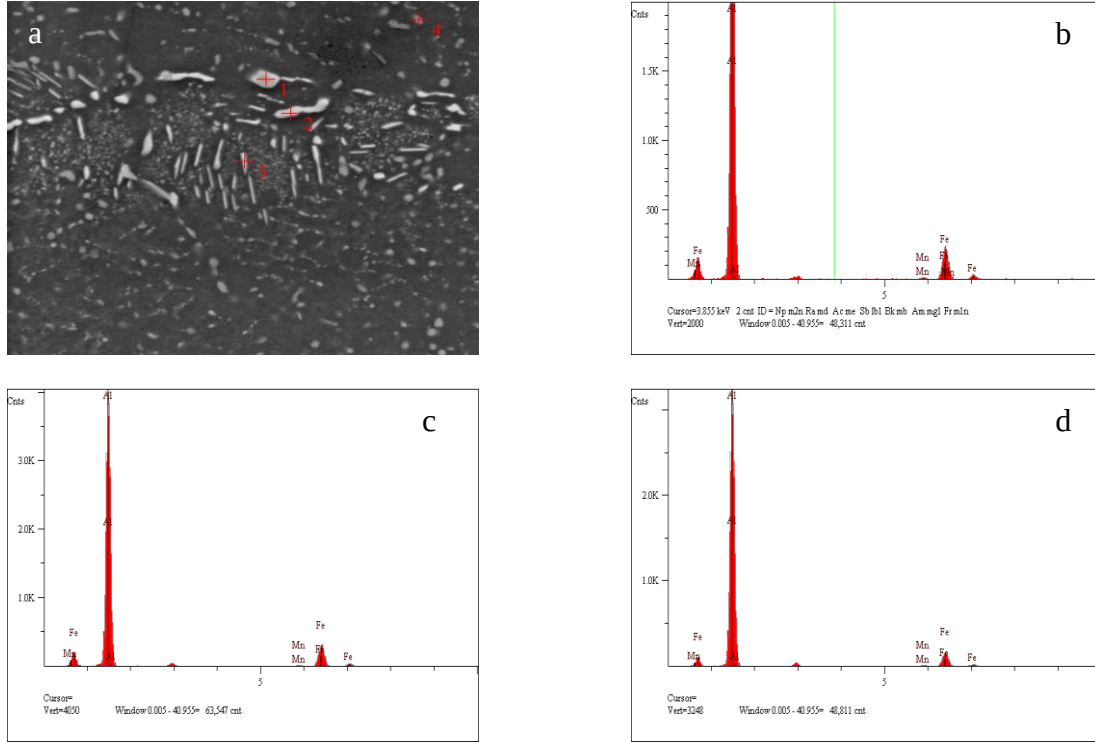
Analiz Numarası	Element	Ağırlıkça Oran (%)
1	Fe	4.38
	Al	94.90
	Mn	0.71
2	Fe	0.78
	Al	98.76
	Mn	0.46
3	Fe	2.01
	Al	97.55
	Mn	0.44

Şekil 6.11 ' de homojenizasyon tavı uygulanmış A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopunda farklı büyütmelelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin merkez hattında segregasyonlar tesbit edilmiştir. Döküm halindeki segregasyonlar ile karşılaştırıldığında, segregasyon şiddetlerinin düştüğü ve çubuksu ve yuvarlak şekle dönüştükleri tesbit edilmiştir.



Şekil 6.11 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme

Şekil 6.12 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopta farklı noktalardan yapılan elementer analiz görüntüleri verilmektedir. Analiz pikleri incelendiğinde bölgelerin alüminyum, demir ve mangan içerdiği görülmektedir. Çizelge 6.2 ‘ de ise homojenizasyon tavı uygulanmış A numunesinin döküm yönüne paralel kesitinden yapılan analizlerin elementer oranları verilmektedir. Yuvarlak ve çubuksu şeklinde görülen noktalardan yapılan analizlerde, her iki yapının demir ve mangan içerdikleri, oran olarak 1 ve 2 numaralı noktanın demir içeriklerinin oran olarak birbirlerine yakın oldukları, 3 numaralı bölgeden ise oran olarak yüksek oldukları tesbit edilmiştir. Bölgelerin mangan oranları incelendiğinde 2 ve 3 numaralı bölgenin mangan oranlarının birbirlerine yakın oldukları ve 1 numaralı bölgenin mangan içeriğinden oran olarak daha yüksek oldukları görülmüştür.

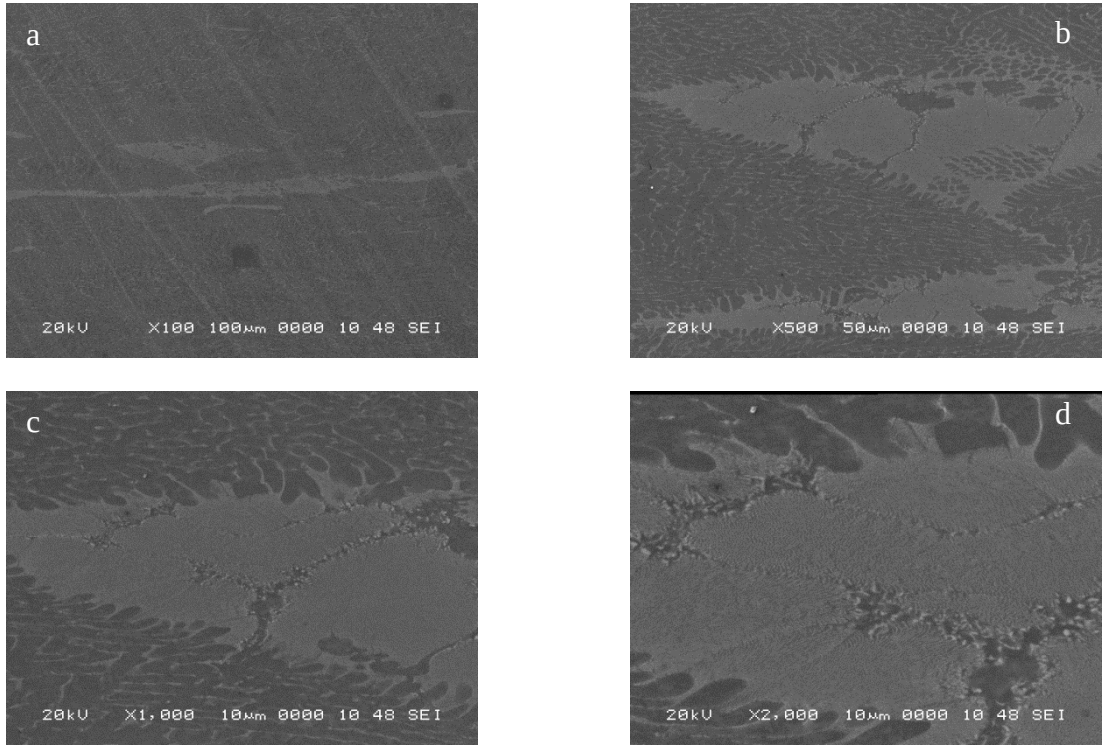


Şekil 6.12 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri

Çizelge 6.2 : A Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizleri Elementer Oranlar

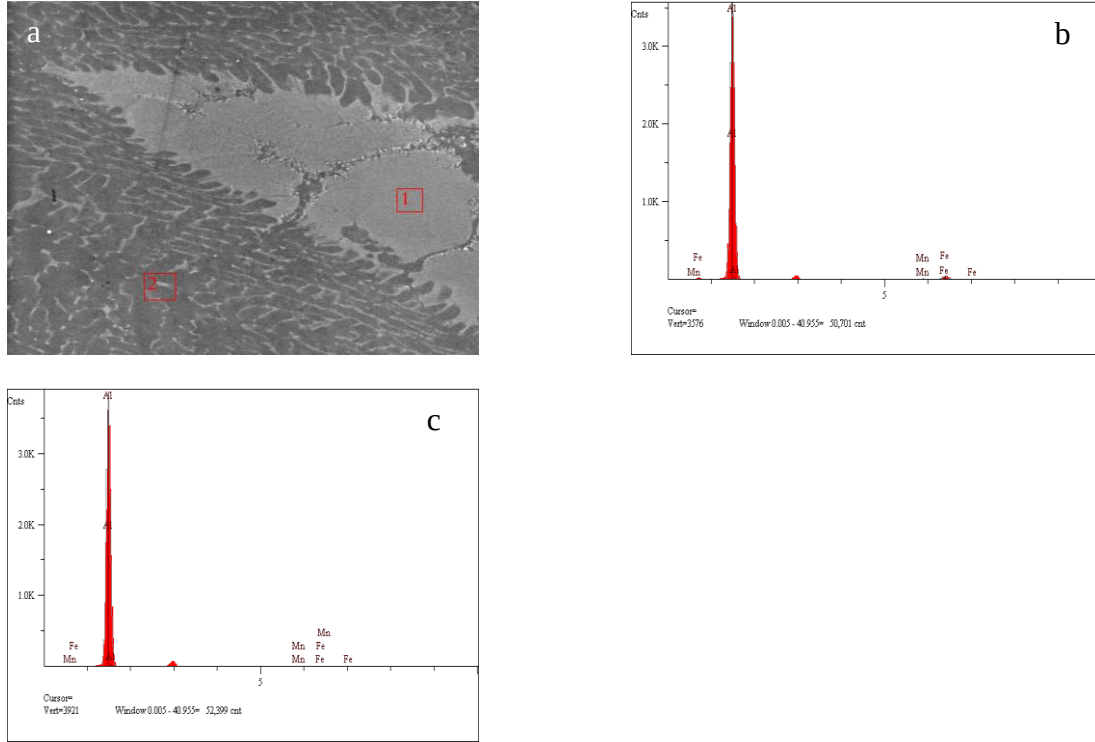
Analiz Numarası	Element	Ağırlıkça Oran(%)
1	Fe	17.77
	Al	81.253
	Mn	0.977
2	Fe	17.906
	Al	80.992
	Mn	1.102
3	Fe	13.444
	Al	85.528
	Mn	1.029

Şekil 6.13 ‘ de B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopunda farklı büyütmelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin merkez hattında segregasyonlar tesbit edilmiştir. Segregasyonlar optik mikroskoptaki görüntülerle paralellik göstermektedir. A numunesi ile karşılaştırıldığında B numunesinde tesbit edilen segregasyon şiddetlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebiyet veren durumun B numunesinin dökümdeki katılma hızının fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6.13 : A Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme

Şekil 6.14 ‘ de B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopta farklı noktalardan yapılan elementer analiz görüntüleri verilmektedir. Analiz pikleri incelendiğinde bölgelerin alüminyum, demir ve mangan içerdiği görülmektedir.



Şekil 6.14 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri

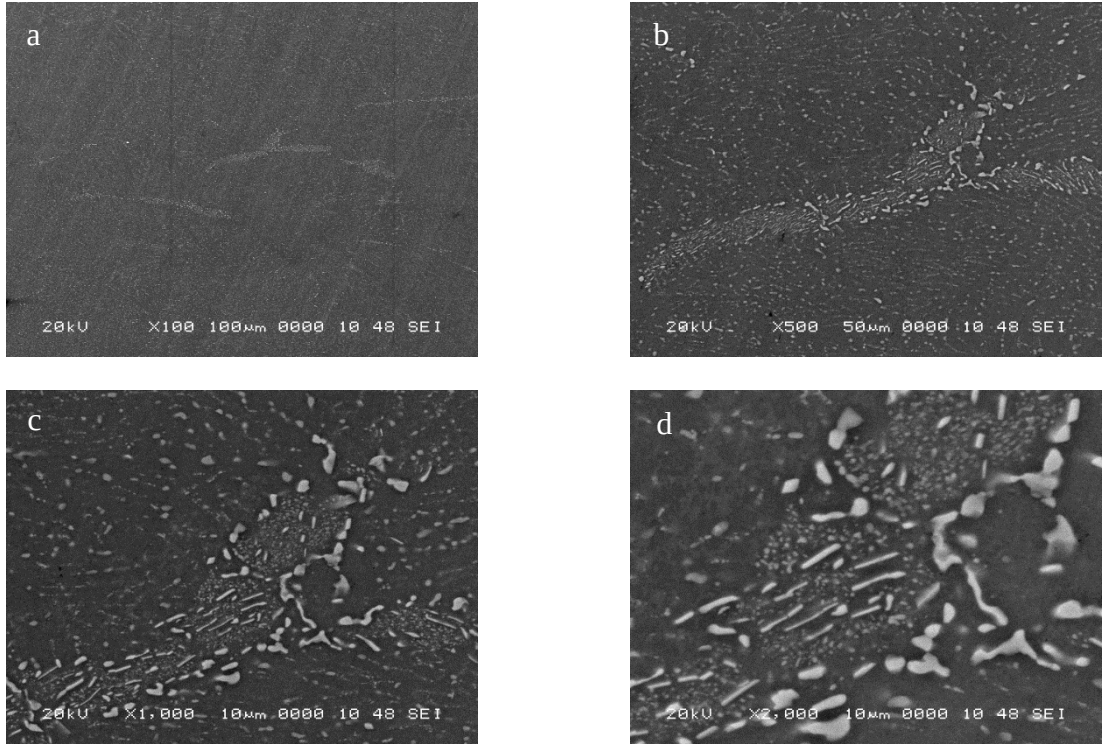
Çizelge 6.3 ‘ de B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinden yapılan analizin elementer oranları verilmektedir. Segregasyonun şiddetinin fazla olduğu 1 nolu bölgenin içerdiği demir ve mangan oranının segregasyon şiddetinin az olduğu 2. bölgeye göre daha fazla olduğu tesbit edilmiştir.

Çizelge 6.3 : B Numunesi Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi Elementer Oranlar

Analiz Numarası	Element	Ağırlıkça Oran (%)
1	Fe	4.36
	Al	94.93
	Mn	0.71
2	Fe	0.71
	Al	98.84
	Mn	0.45

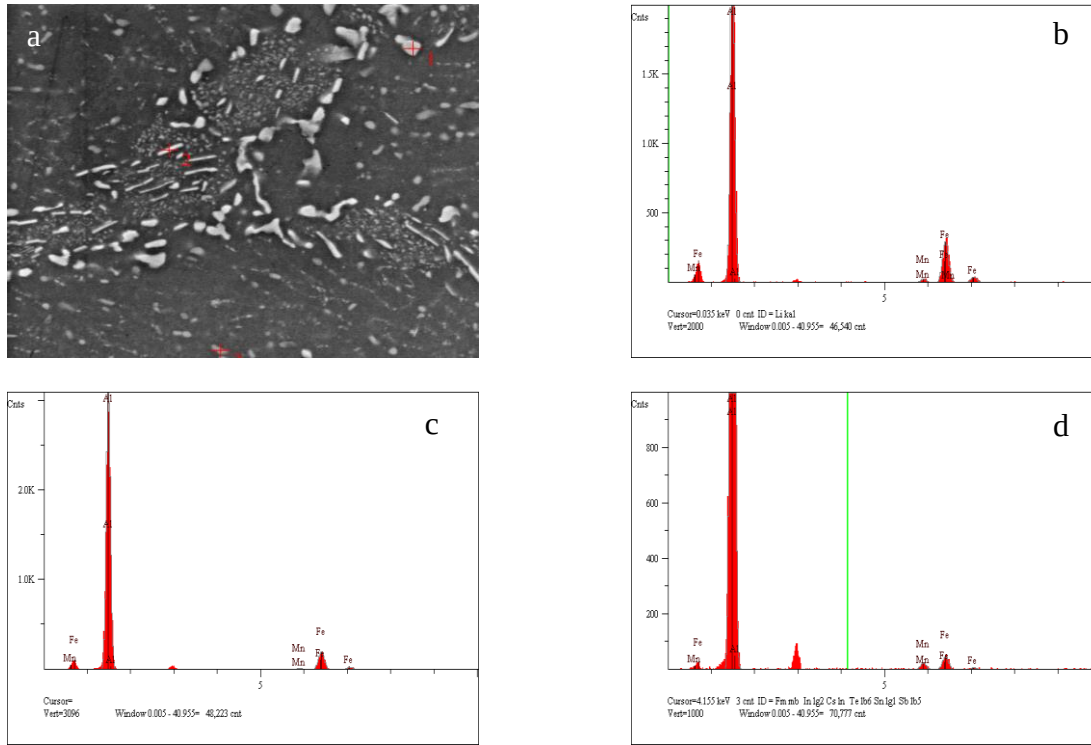
Şekil 6.15 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopunda farklı büyütmelelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin merkez hattında segregasyonlar tesbit edilmiştir. Döküm halindeki segregasyonlar ile karşılaştırıldığında, segregasyon

şiddetlerinin düştüğü ve çubuksu ve yuvarlak şekle dönüştükleri tesbit edilmiştir. A numunesinin homojenizasyon tavı uygulanmış hali ile B numunesinin homojenizasyon tavı uygulanmış hali karşılaştırıldığında, döküm kalınlığı daha az olan B numunesinin homojenizasyon tavı uygulanmış halinde tesbit edilen segregasyon şiddetinin daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin B numunesinin döküdeki katılaşma hızının daha fazla olması olarak söylenebilir.



Şekil 6.15 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM Görüntüleri a) 100x Büyütme b) 500x büyütme c) 1000x Büyütme d) 2000x büyütme

Şekil 6.16 ‘ da homojenizasyon tavı uygulanmış B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinin taramalı elektron mikroskopta farklı noktalardan yapılan elementer analiz görüntüleri verilmektedir. Analiz pikleri incelendiğinde bölgelerin alüminyum, demir ve mangan içerdiği görülmektedir.



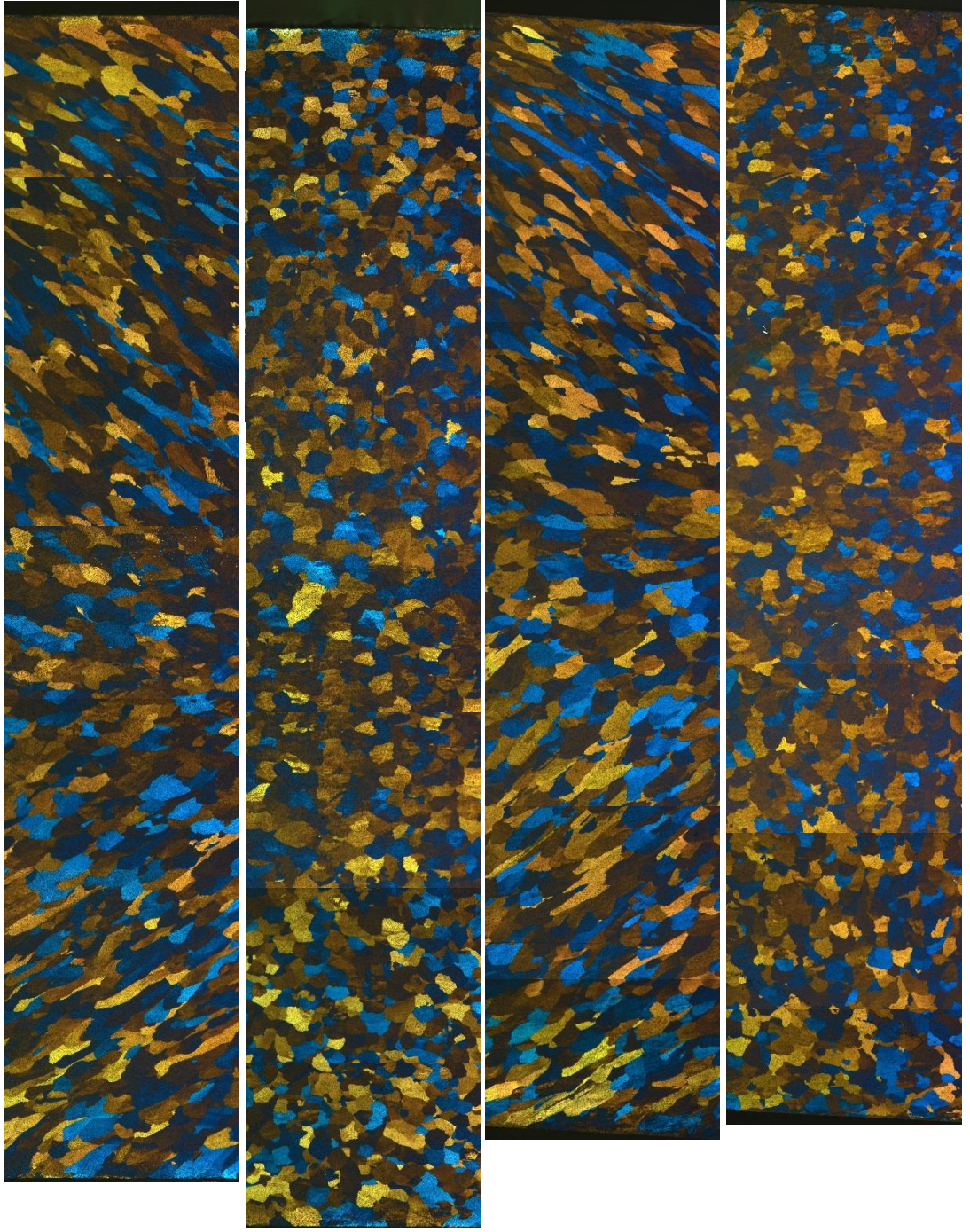
Şekil 6.16 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizi a) Analiz Görüntüsü b) 1 nolu noktanın analiz pikleri c) 2 Nolu noktanın Analiz Pikleri d) 3 Nolu Noktanın Analiz Pikleri

Çizelge 6.4 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış B numunesinin döküm yönüne paralel kesitinden yapılan analizler verilmektedir. Yuvarlak ve çubuksu şeklindeki noktalardan yapılan analizlerde, her iki yapının demir ve mangan içerdikleri, 1 nolu bölgenin demir ve manganca içeriğinin oran olarak daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4 : B Numunesi Homojenizasyon Tavı Uygulanmış Hali Döküm Yönüne Paralel Kesit (L) SEM EDS Analizleri Elementer Oranlar

Analiz Numarası	Element	Ağırlıkça Oran
1	Fe	23.651
	Al	74.589
	Mn	1.76
2	Fe	15.862
	Al	83.203
	Mn	0.935
3	Fe	3.152
	Al	95.403
	Mn	1.445

Şekil 6.17 de A numunesinin döküm ve homojenizasyon tavlı sonrası dağlanmış halleri nin optik mikroskopta polarize ışık altında çekilmiş görüntüleri verilmektedir.



a

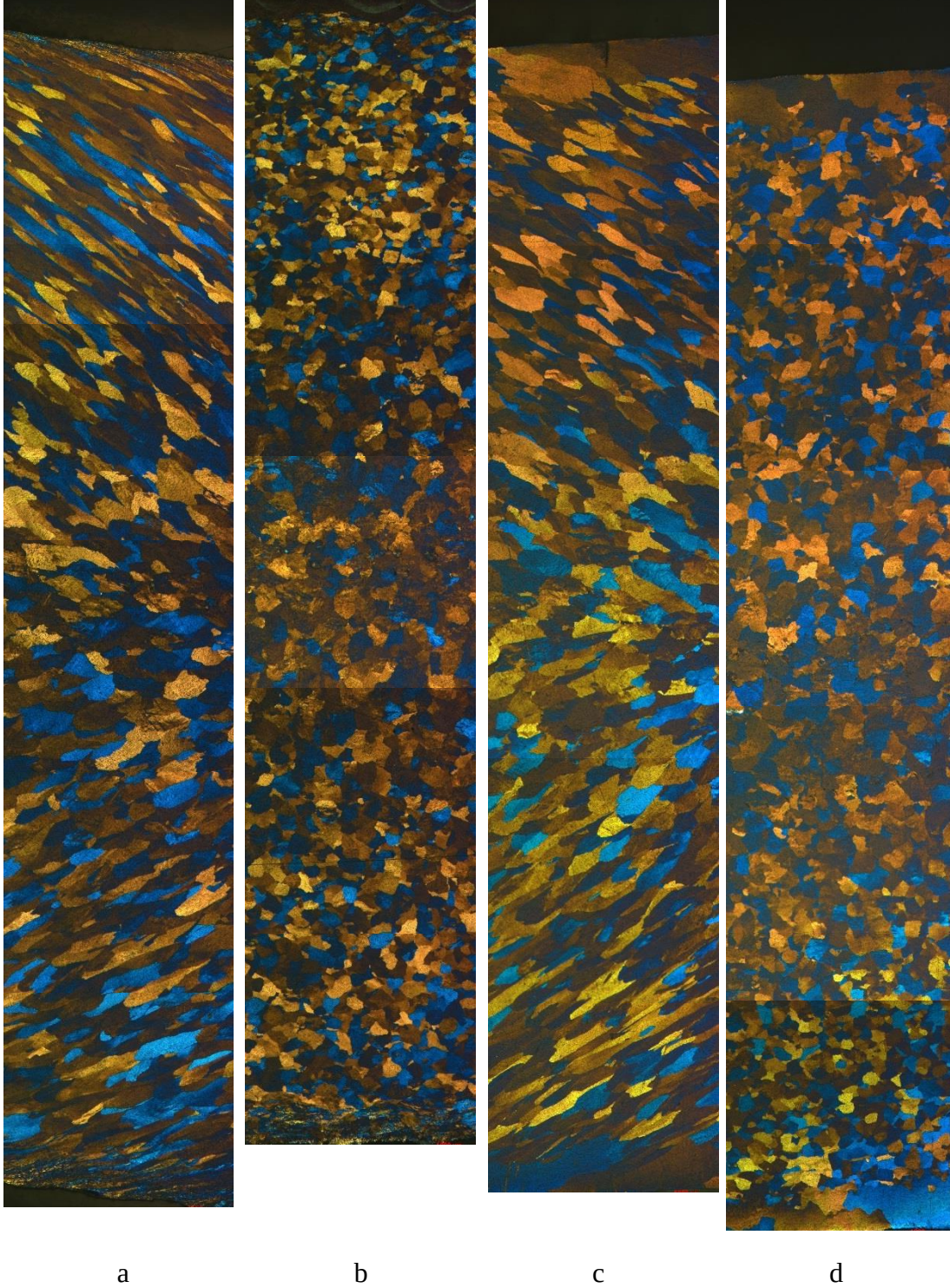
b

c

d

Şekil 6.17 : A Numunesi Dağlanmış Hali 5x büyütmedeki görüntüleri a) Dökme Levha Enine Kesit (L) b) Dökme Levha Boyuna Kesit (T) c) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Enine Kesit (L) d) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Boyuna Kesit (T)

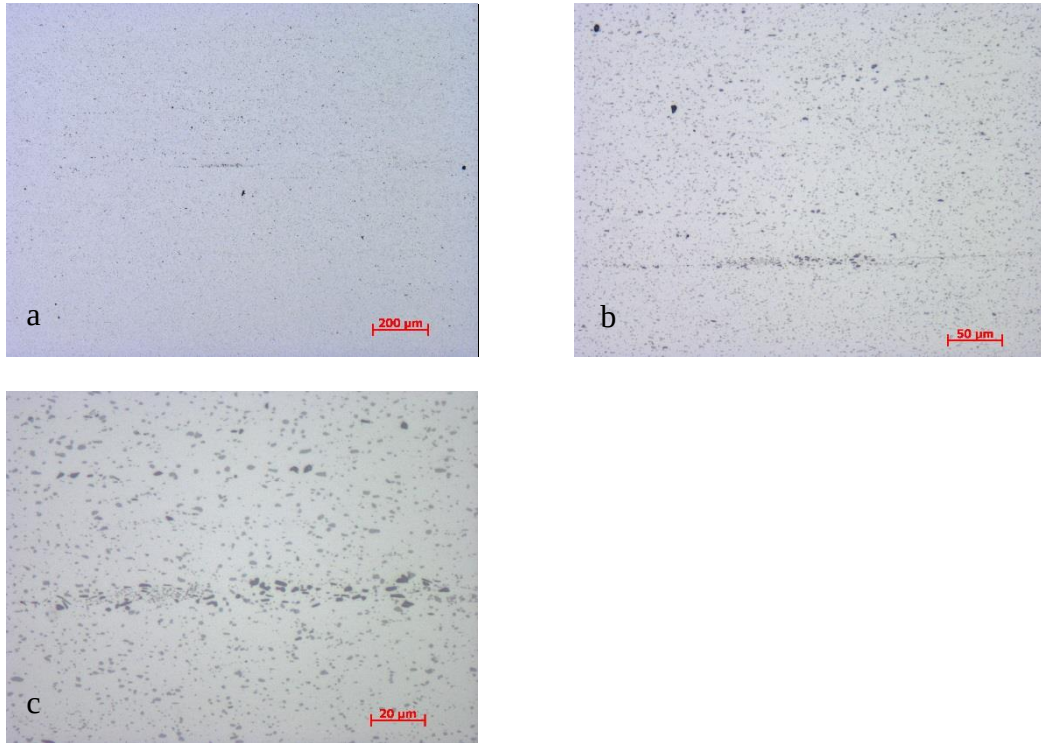
Şekil 6.18 de. B numunesinin döküm ve homojenizasyon tavı sonrası dağlanmış hallerinin optik mikroskopta polarize ışık altında çekilmiş görüntüleri verilmektedir



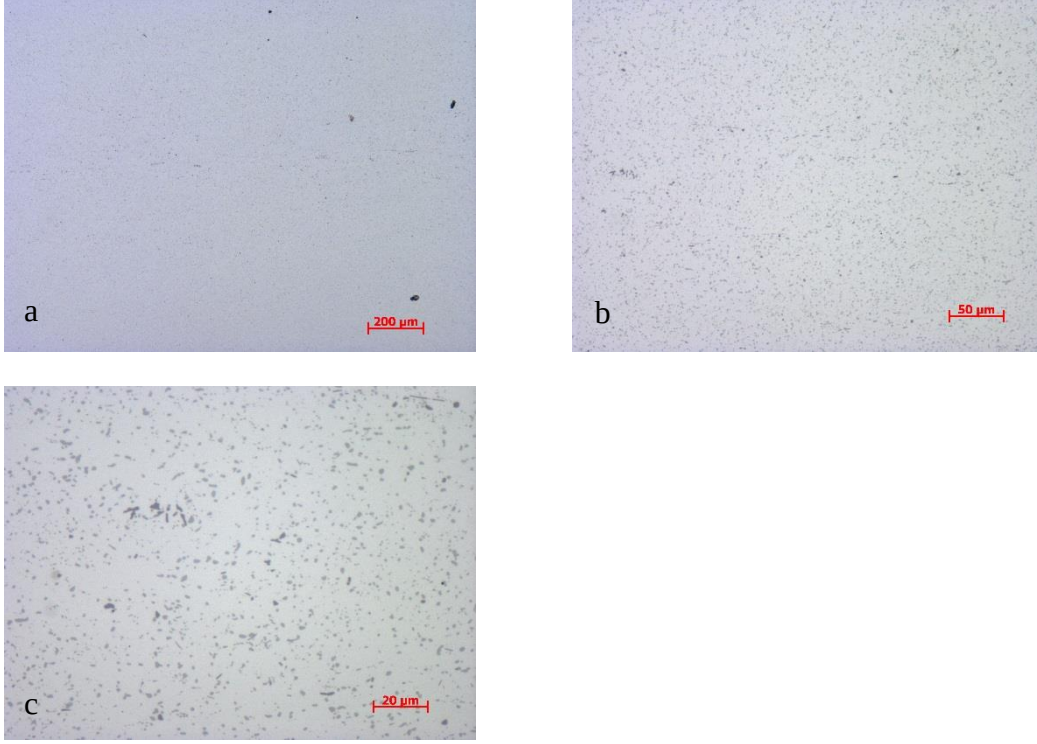
Şekil 6.18 : B Numunesi Dağlanmış Hali 5x büyütmedeki görüntüleri a) Dökme Levha Enine Kesit (L) b) Dökme Levha Boyuna Kesit (T) c) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Enine Kesit (L) d) Homojen Tavlanmış Dökme Levha Boyuna Kesit (T)

A ve B dökme levha ve homojenizasyon tavına tabi tutulmuş dökme levha numunelere 5x büyütmede polarize ışık altında bakıldığında, dökme levha tanelerinin daha büyük ve birbirlerinden farklı büyüklükte olduğu görülmüştür. Döküm soğuma gradyanından dolayı yüzey taneleri yönlü, merkezdeki taneler ise yüzeye göre yavaş katılaşmadan dolayı nisbeten eş eksenli yapıdadır. B dökme levha numunesinin kenarlarında çok küçük boyutta tanelerin olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise çok hızlı katılaşma olduğu söylenebilir. Yapılan homojenizasyon tavi ile beraber tane yapısının her iki kalınlıkdaki numunelerde homojenleştiği görülmüş, B numunesinin kenarlarında görülen çok küçük tanelerin büyüdüğü ve homojen yapıya kavuştukları belirlenmiştir.

Şekil 6.19 ' da A numunesinin % 80 deforme edilmiş halinin haddeleme yönüne paralel kesitinin, şekil 6.20 ' de hadde yönüne dik kesitinin, farklı büyütmelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde hem dökme levha halinde hem de homojenizasyon tavi uygulanmış halinde yapılan döküm yönüne paralel ve dik kesit incelemelerinde tesbit edilen segregasyonların şiddetlerinin azaldığı ve uzama gösterdiği görülmüştür.

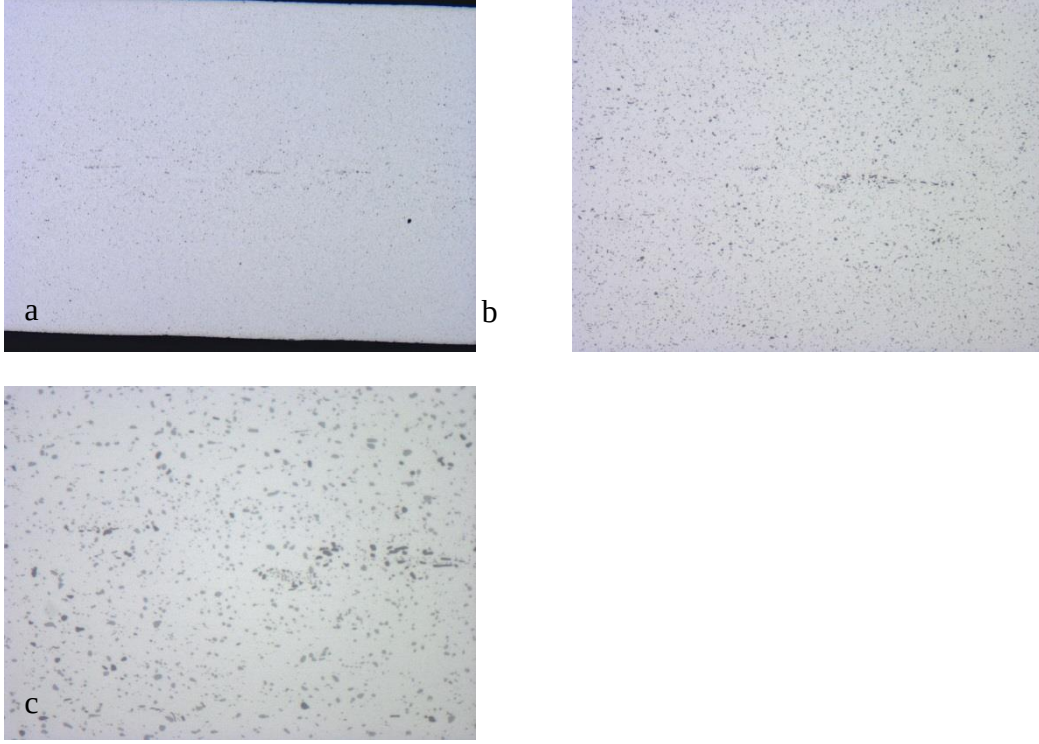


Şekil 6.19 : A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

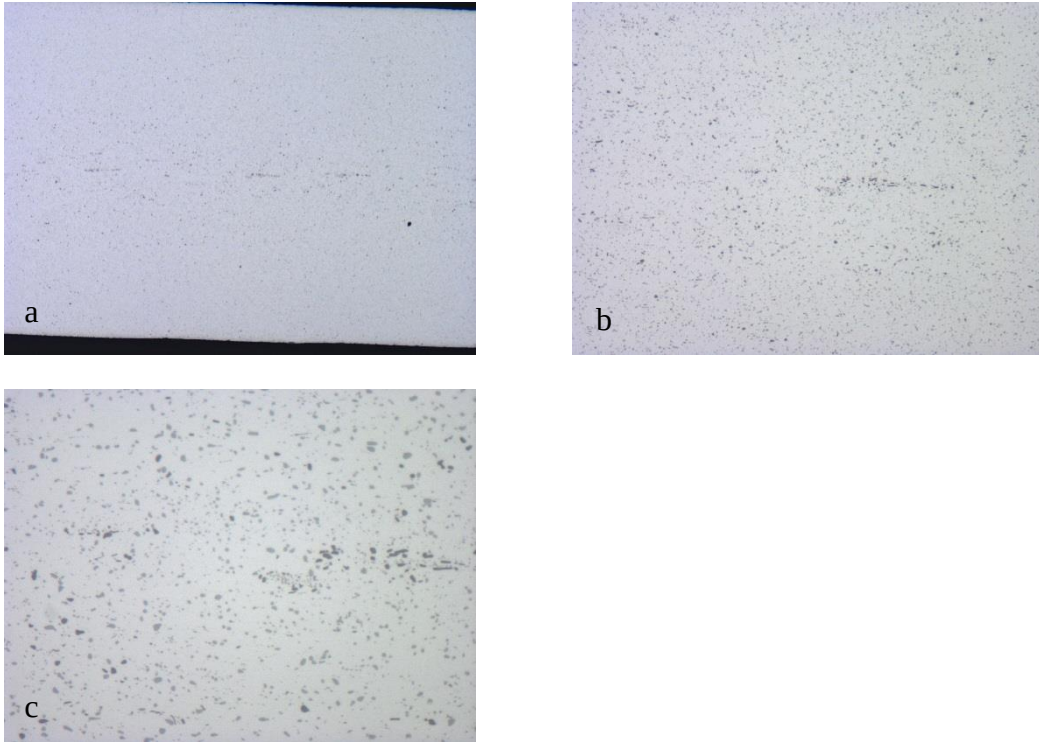


Şekil 6.20 : A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeme Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.21 ‘ de B numunesinin % 80 deforme edilmiş halinin haddeme yönüne paralel kesitinin, şekil 6.22 ‘ de hadde yönüne dik kesitinin, farklı büyütmelerdeki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde hem dökme levha halinde hem de homojenizasyon tavı uygulanmış halinde yapılan döküm yönüne paralel ve dik kesit incelemelerinde tesbit edilen segregasyonların şiddetlerinin azaldığı ve uzama gösterdiği görülmüştür. Farklı kalınlıklarda dökülen A ve B numunelerinin eşit oranda (%80) deforme edilmiş hallerinin optik mikroskopta farklı büyütmelerde yapılan incelemeleri karşılaştırıldığında her iki numunenin döküm ve homojenizasyon tavı sonrası sahip oldukları segregasyonların şiddetlerinin düştüğü ve uzama gösterdikleri görülmüştür. Eşit deforme edilen örneklerin segregasyon şiddetlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

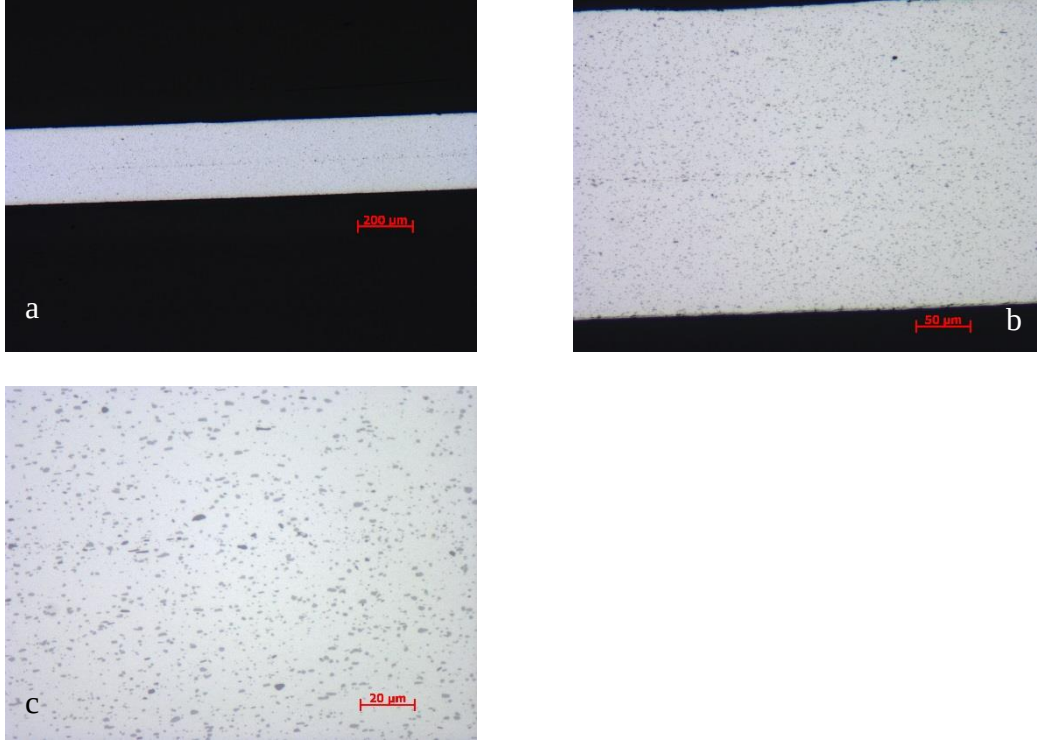


Şekil 6.21 : B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme



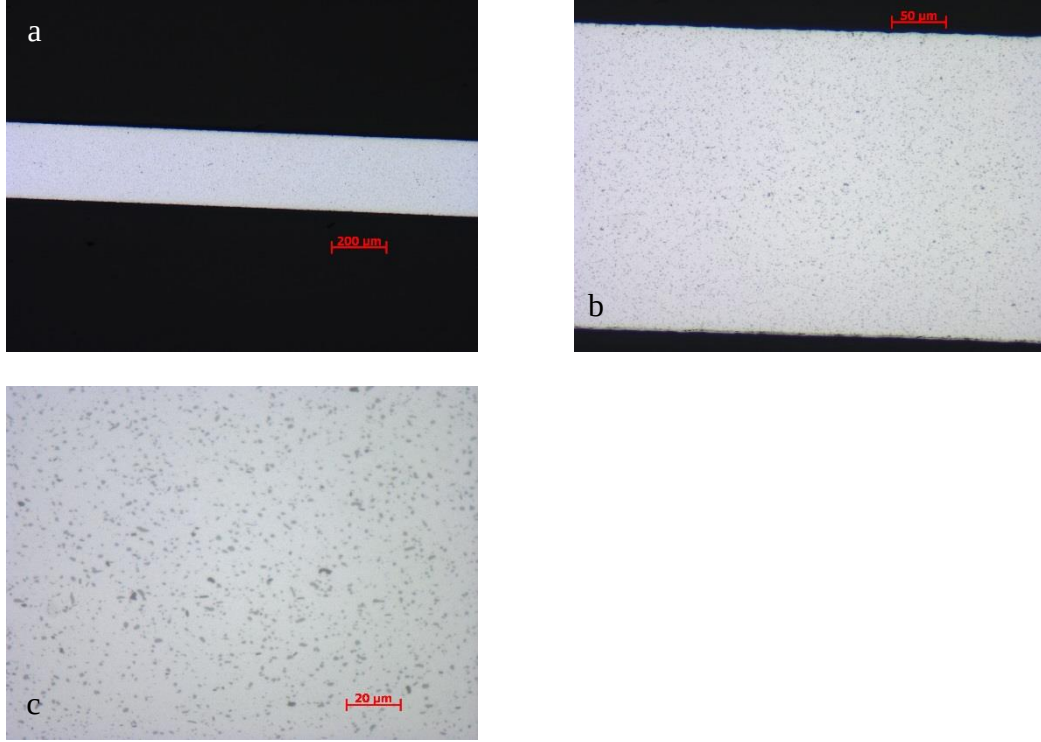
Şekil 6.22 : B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş Hali Haddeleme Yönüne Dik Kesit(L)a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.23 ‘ de A numunesinin 0.3 m kalınlığa haddelenmiş halinin, hadde yönüne paralel kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelerde çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin dökme levha ve homojenizasyon tavı uygulanmış halinde tesbit edilen segregasyonların şiddetinin düştüğü ve boyca uzama gösterdiği tesbit edilmiştir.



Şekil 6.23 : A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Paralel Kesit(L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

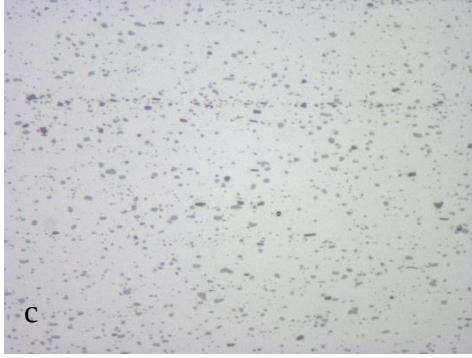
Şekil 6.24 ‘ de A numunesinin 0.3 m kalınlığa haddelenmiş halinin, hadde yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütmelerde çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin dökme levha ve homojenizasyon tavı uygulanmış halinde tesbit edilen segregasyonların şiddetinin düştüğü ve boyca uzama gösterdiği tesbit edilmiştir.



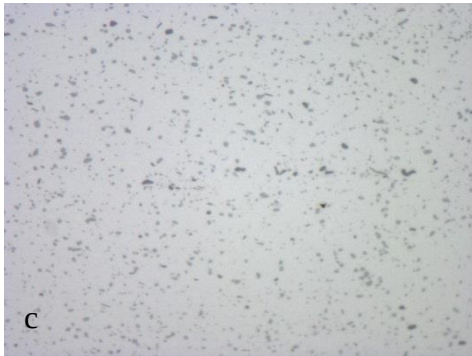
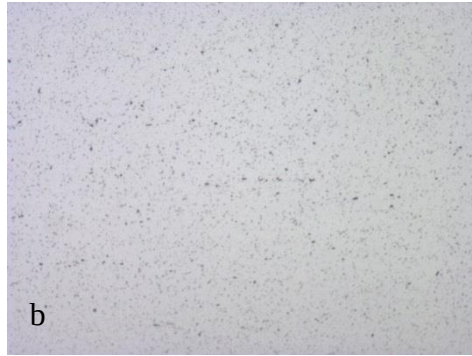
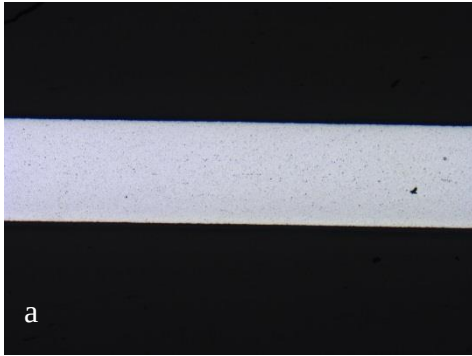
Şekil 6.24 : A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali Hadde Yönüne Dik Kesit(T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x büyütme b) 20x büyütme c) 50x Büyütme

Şekil 6.25 ‘ de B numunesinin 0.3 m kalınlığına haddelenmiş halinin, hadde yönüne paralel kesitinin optik mikroskopta farklı büyütme ölçeklerinde çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin dökme levha ve homojenizasyon tavı uygulanmış halinde tesbit edilen segregasyonların şiddetinin düştüğü ve boyca uzama gösterdiği tesbit edilmiştir.

Şekil 6.26 ‘ da B numunesinin 0.3 m kalınlığına haddelenmiş halinin, hadde yönüne dik kesitinin optik mikroskopta farklı büyütme ölçeklerinde çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde numunenin dökme levha ve homojenizasyon tavı uygulanmış halinde tesbit edilen segregasyonların şiddetinin düştüğü ve boyca uzama gösterdiği tesbit edilmiştir.



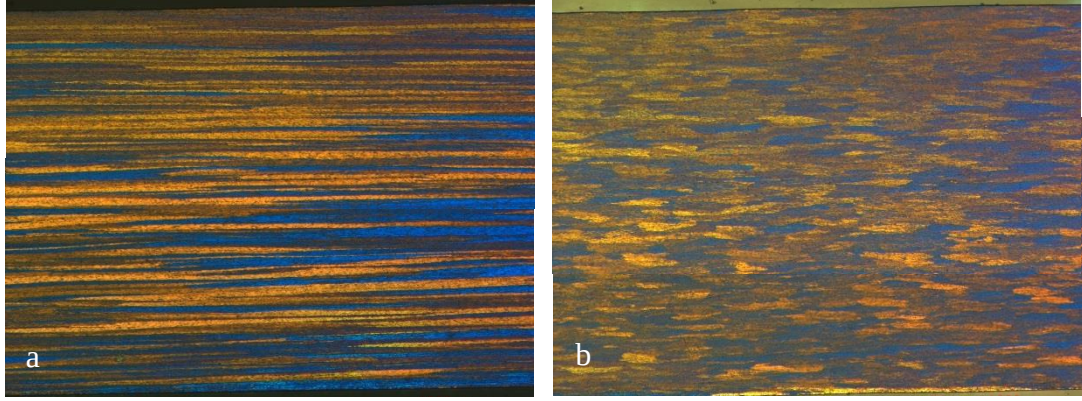
Şekil 6.25 : B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali
Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x
büyütme b) 20x büyütmeye c) 50x Büyütme



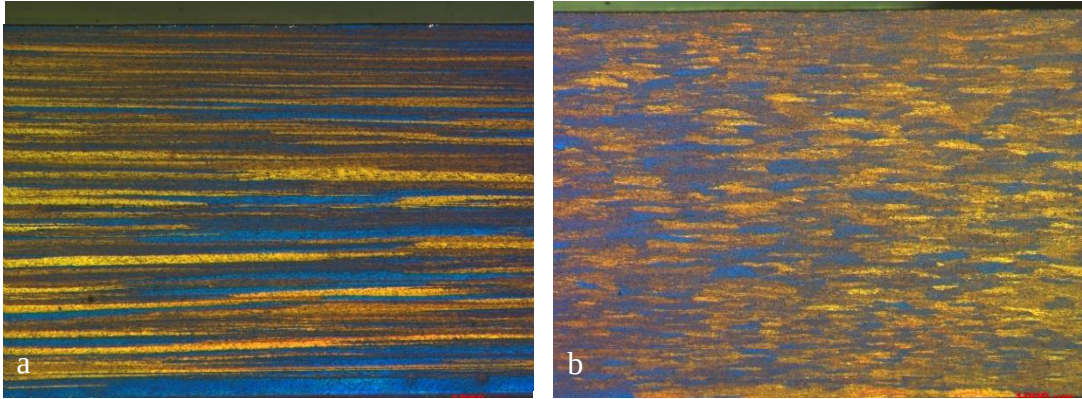
Şekil 6.26 : B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş Hali
Hadde Yönüne Dik Kesit (T) Optik Mikroskop Görüntüleri a) 5x
büyütme b) 20x büyütmeye c) 50x Büyütme

Eşit deformasyona uğratılmış ve eşit kalınlığa haddelenmiş A ve B numunelerinin farklı büyütmelerde optik mikroskopdaki görüntüleri incelendiğinde, döküm ve homojenizasyon tavı sonrası tesbit edilen segregasyonların şiddetlerinin azaldığı ve uzama gösterdikleri tesbit edilmiştir.

Şekil 6.27 ‘ de A numunesinin, şekil 6.28 ‘ de B numunesinin, % 80 deforme edilmiş ve dağlanmış hallerinin optik mikroskopta polarize ışık altında 5x büyütmede haddeleme yönüne paralel ve dik kesitlerinin görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde tanelerin haddeleme yönünde uzama gösterdikleri tesbit edilmiştir.

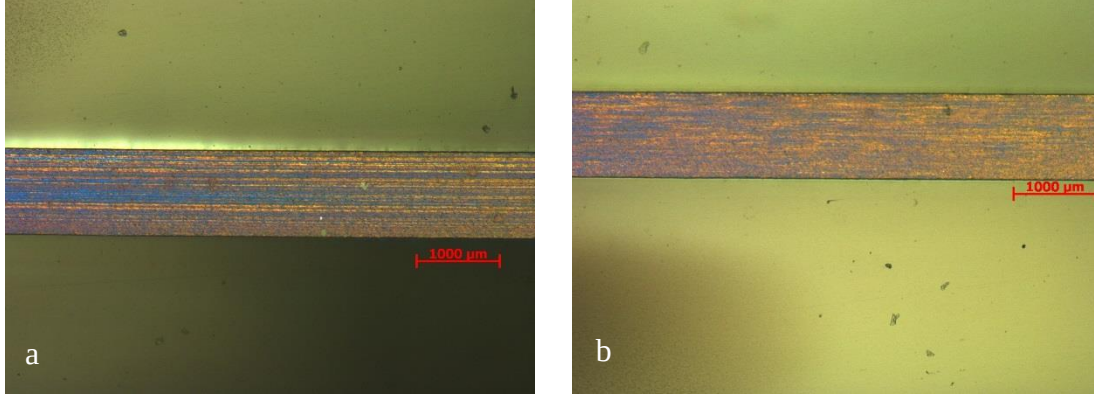


Şekil 6.27 : A Numunesinin %80 Deforme Edilmiş ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L)
b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T)

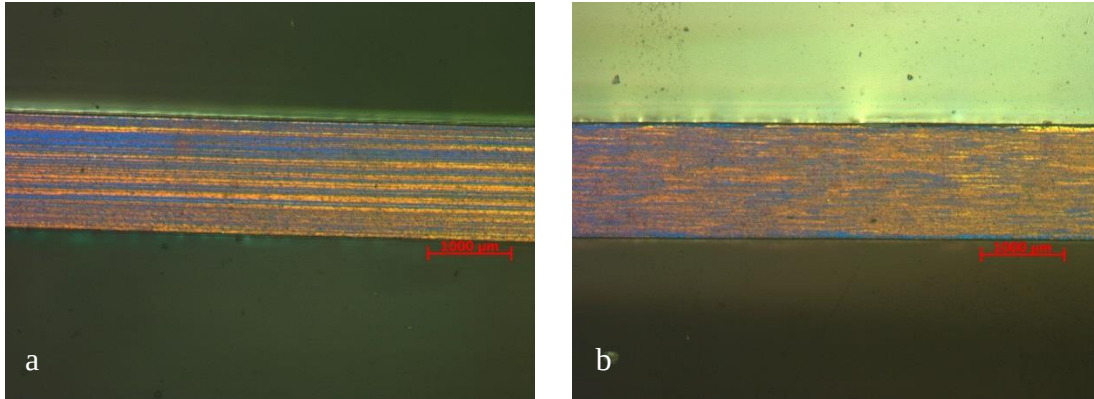


Şekil 6.28 : B Numunesinin %80 Deforme Edilmiş ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L)
b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T)

Şekil 6.29 ‘ da A numunesinin, şekil 6.30 ‘ da B numunesinin 0.3 mm kalınlığına haddelenmiş ve dağlanmış hallerinin optik mikroskopta polarize ışık altında 5x büyütmede haddeleme yönüne paralel ve dik kesitlerinin görüntüleri verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde tanelerin haddeleme yönünde uzama gösterdikleri tesbit edilmiştir.



Şekil 6.29 : A Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş, ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T)



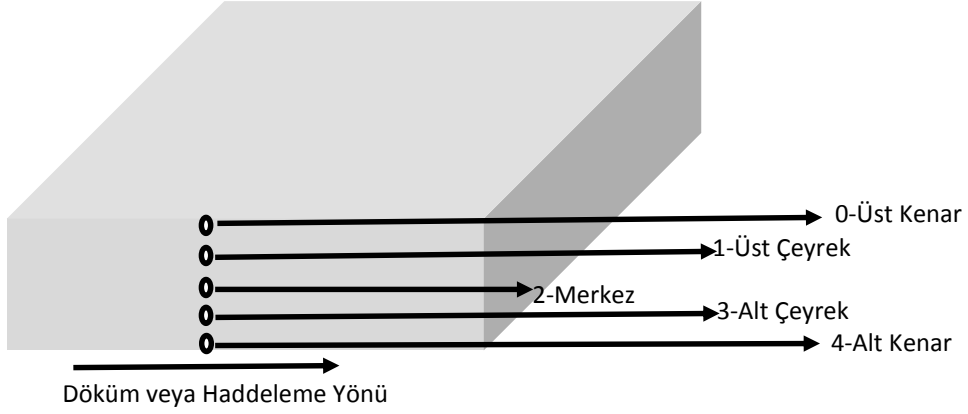
Şekil 6.30 : B Numunesinin 0.3 mm Kalınlığına Haddelenmiş, ve Dağlanmış Halinin 5x Büyütmedeki Görüntüleri a) Hadde Yönüne Paralel Kesit (L) b) Hadde Yönüne Dik Kesit (T)

6.2 Mekanik Özellik İncelemeleri

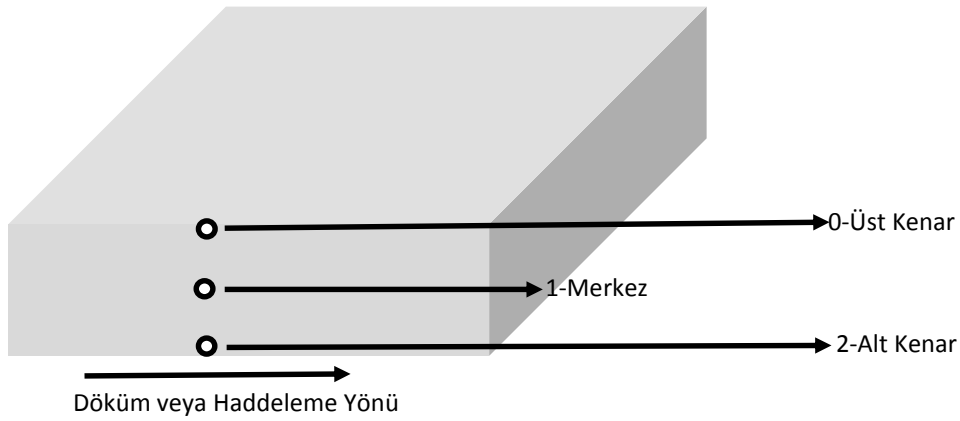
6.2.1 Sertlik Testleri

Sertlik ölçümleri numunelerin döküm, homojenizasyon tavı uygulanmış ve eşit oranda deforme edilmiş hallerinin 5 farklı noktasında, eşit kalınlığa haddelenmiş numunelerin ise 3 farklı noktasında oluşturulan sertlik izleri ile yapılmıştır. Döküm ve eşit doferme edilmiş numunelerin sertlik izleri yüzeyden uzaklık olarak 0 noktası üst kenarı, 1

noktası üst çeyreği, 2 noktası numunenin merkezini, 3 noktası alt çeyreği, 4 noktası ise alt yüzeyi göstermektedir. Bu gösterim şekil 6.31 de verilmektedir. Eşit kalınlığa indirilmiş numunelerin sertlik izleri yüzeyden uzaklık olarak 0 noktası üst kenarı, 1 noktası merkezi, 2 noktası ise alt kenarı tanımlamaktadır. Bu gösterim ise şekil 6.32 ‘ de verilmektedir.

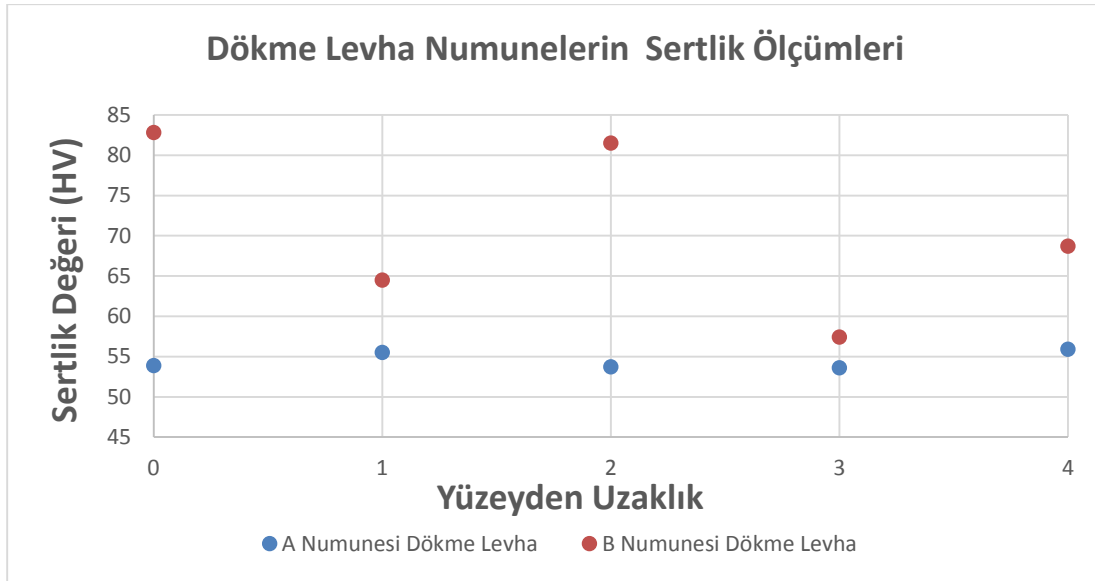


Şekil 6.31 : 5 Farklı noktadan Yapılan Sertlik Testlerinde Ölçüm Noktaları



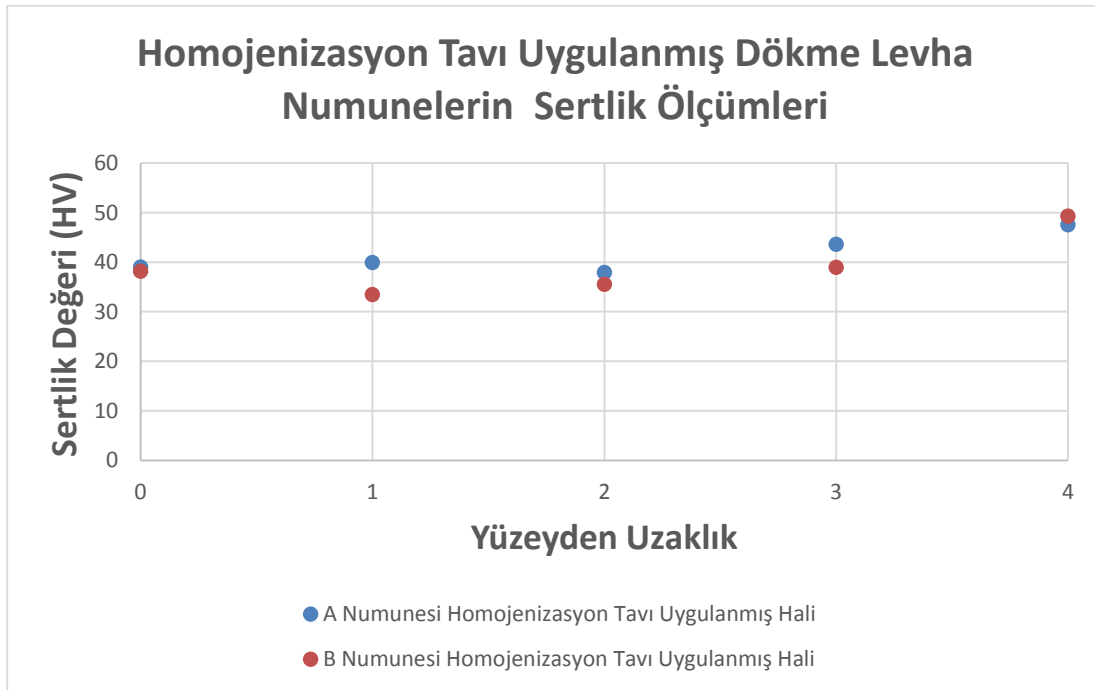
Şekil 6.32 : 3 Farklı Noktadan Yapılan Sertlik Testlerinde Ölçüm Noktaları

Şekil 6.33 ‘ de A ve B numunelerinin döküm halinde farklı noktalarda yapılan sertlik ölçümleri verilmektedir. Dökme levha kalınlığındaki numunelerin sertlik testleri incelendiğinde B numunesinin sertliğinin A numunesinin sertliğinden yaklaşık 13 HV daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin B numunesinin döküm esnasında hızlı katılaşması olduğu söylenebilir.



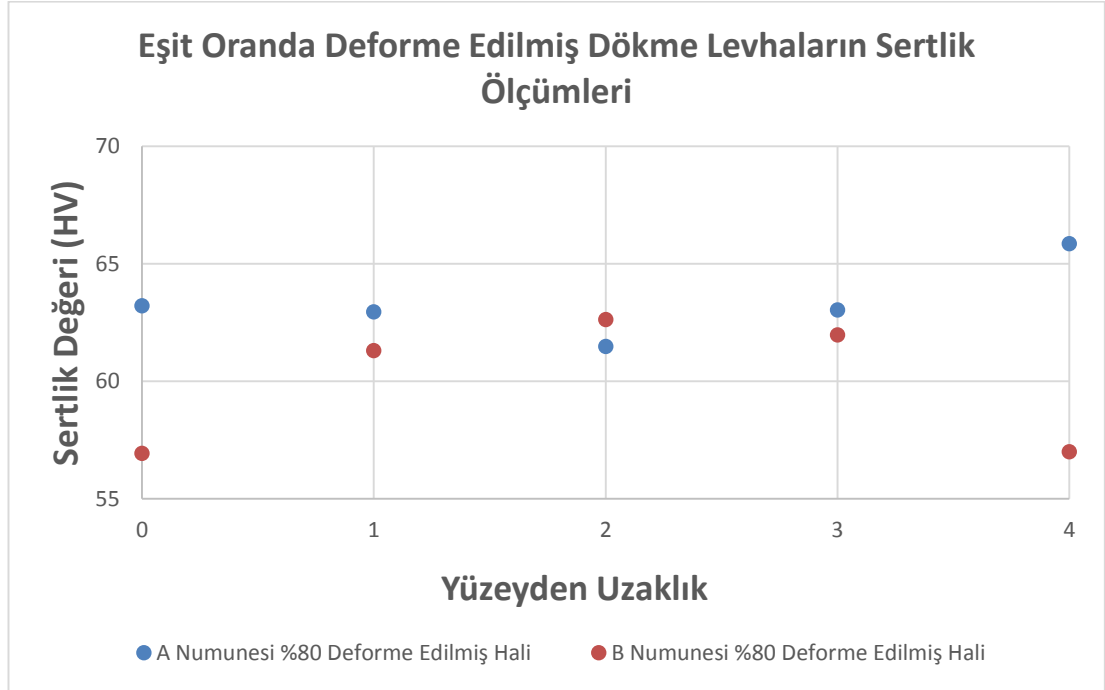
Şekil 6.33 : Dökme Levha Kalınlığında Sertlik Ölçümleri

Şekil 6.34 ‘ de homojenizasyon tavı uygulanmış A ve B numunelerine farklı noktalarda yapılan sertlik ölçümleri verilmektedir. Homojenizasyon tavı uygulanmış numunelerin sertlik testleri incelendiğinde B numunesinin sertliğinin A numunesinin sertliğinden yaklaşık 3 HV daha düşük olduğu görülmüştür



Şekil 6.34 : Homojen Tavlınmış Dökme Levha Kalınlığında Sertlik Ölçümleri

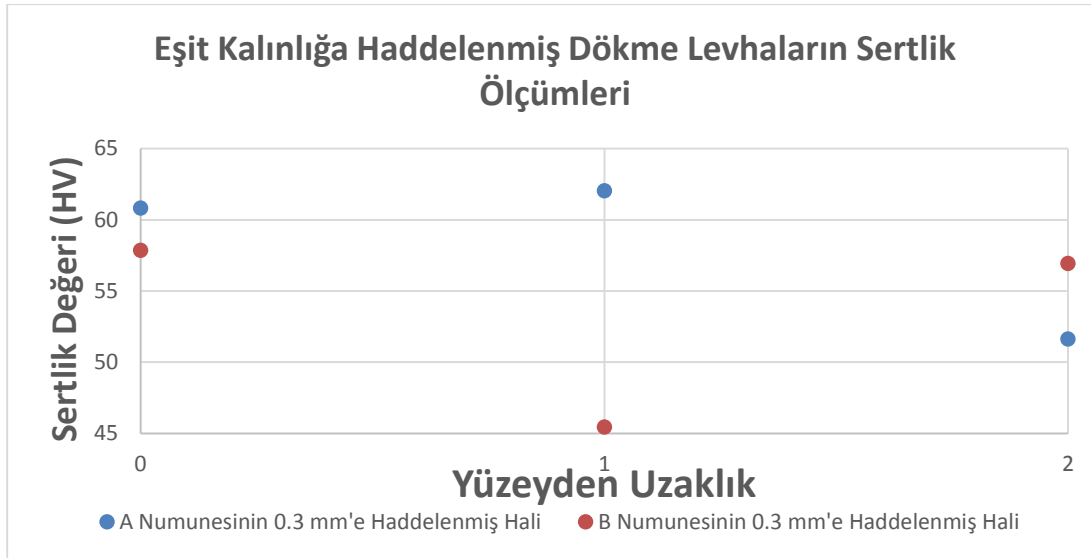
Şekil 6.35 ‘ de homojenizasyon tav sonrası eşit oranda (%80) deforme edilen A ve B numunelerine farklı noktalarda yapılan sertlik ölçümleri verilmektedir. Homojen tav sonrası eşit oranda deforme edilen numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında farklı kalınlıktaki numunelerin sertlik değerlerinin birbirine yakın olmakla beraber %80 deforme edilen B numunesinin sertlik değerinin yaklaşık 4 HV az olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni olarak homojen tav sonrası B numunesinin sertliğinin daha az olması söylenebilir.



Şekil 6.35 : Eşit Oranda Deforme Edilmiş Dökme Levhaların Sertlik Ölçümleri

Şekil 6.36 ‘ da homojenizasyon tavi sonrası 0.3 mm kalınlığına haddelenen A ve B numunelerinin farklı noktalarından yapılan sertlik ölçümleri verilmektedir. Eşit kalınlığa haddelenmiş numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında ortalama sertlik değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

0.30 mm’ e haddelenen A numunensinin sertliğinin döküm kalınlığı daha yüksek olduğundan eşit kalınlığa haddelemek için verilen deformasyonun fazla olmasından dolayı yaklaşık 2 HV daha sert olduğu söylenebilir.



Şekil 6.36 : Eşit Kalınlığa Haddelenmiş Dökme Levhaların Sertlik Ölçümleri

6.2.2 Çekme ve Erichsen Test Sonuçları

Çizelge 6.5 de homojenizasyon tavı sonrası eşit oranda deforme edilen ve eşit kalınlığa (0.3 mm) haddelenen A ve B numunelerinin çekme testi sonuçları verilmektedir. Homojen tavadan sonra eşit oranda (%80) haddelenen numunelerin çekme testi incelendiğinde mekanik özelliklerinin eşit olduğu tesbit edilmiştir. Homojen tavadan sonra eşit kalınlığa haddelenen numunelerin çekme testi incelendiğinde 0.30 mm e haddelenen B numunesinin mekanik özellik değerlerinin daha yüksek olduğu tesbit edilmiştir.

Çizelge 6.6 ‘ da homojenizasyon tavı sonrası eşit oranda deforme edilen ve eşit kalınlığa (0.3 mm) haddelenen ve nihai 410 °C – 4 saat tavlanan A ve B numunelerinin çekme testi sonuçları verilmiştir. Homojenizasyon tavidan sonra eşit oranda deforme edilen ve nihai 410 °C – 4 saat tavlanan numunelerin, çekme testi incelendiğinde, yapılan nihai tav sonrası çekme ve akma mukavemetlerinin düştüğü, % uzamalarının arttığı görülmüştür. Mekanik özellik değerleri birbirine eşit çıkmıştır.

Homojen tavadan sonra eşit kalınlığa haddelenen nihai 410 °C – 4 saat tavlanan numunelerin, çekme testi incelendiğinde, yapılan nihai tav sonrası çekme ve akma mukavemetlerinin düştüğü, % uzamalarının arttığı görülmüştür.

Çizelge 6.5 : Eşit Deformasyon ve Eşit Kalınlıklardaki Çekme Testi Sonuçları

Numune	Test Numunesi	Test Yönü	Akma Muk., MPa	Çekme Muk., MPa	Uzama A50, %
A	%80 Deformasyon	0	181	199	5,4
			186	201	3,1
		45	165	198	5,9
			167	199	2,4
		90	179	204	2,7
			188	204	2,2
B	%80 Deformasyon	0	186	199	5,3
			187	201	5,3
		45	170	197	5,1
			175	198	4,2
		90	190	208	1,8
			200	207	4,3
A	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	0	148	194	3,4
			135	193	4,6
		45	137	184	3,7
			159	182	4,0
		90	158	184	3,7
			-	199	5,4
B	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	0	223	233	2,8
			-	230	2,1
		45	195	225	3,6
			186	224	4,5
		90	220	244	2,5
			162	248	4,5

Çizelge 6.6 : 410-4 Nihai Tavllanmış Numunelerin Çekme Testleri

Numune	Test Numunesi	Test Yönü	Akma Muk., MPa	Çekme Muk., MPa	Uzama A50, %
A	%80 Deformasyon	0	59	107	34,7
			56	108	40,9
		45	57	107	36,2
			56	108	34,1
		90	57	105	37,0
			53	106	37,6
B	%80 Deformasyon	0	55	107	34,8
			53	107	36,4
		45	52	103	34,6
			-	-	-
		90	51	104	35,0
			-	102	35,1
A	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	0	69	118	19,4
			67	114	17,4
		45	61	95	22,3
			62	96	28,1
		90	68	110	21,6
			67	108	23,9
B	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	0	70	124	19,6
			69	126	27,0
		45	68	117	33,3
			84	118	29,2
		90	65	116	24,4
			69	121	27,8

Çizelge 6.7 ‘ de homojenizasyon tavidan sonra eşit kalınlığa (0.3 mm) haddelenmiş ve nihai 410 °C – 4 saat tavllanmış A ve B numunelerine yapılan erichsen test sonuçları verilmiştir. Homojen tavidan sonra eşit kalınlığa haddelenmiş ve nihai 410 °C – 4 saat tavllanmış numunelerin erichsen değerleri karşılaştırıldığında eşit oldukları tesbit edilmiştir

Çizelge 6.7 : Erichsen Test Sonuçları

Numune	Test Numunesi	ERICHSEN
A	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	10.7
B	Eşit Kalınlık (0.3 mm)	11

KAYNAKLAR

- Car, E. (2011). *Alüminyum Üretim Süreçleri*. İstanbul: TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.
- Duman, İ. (2003). Sempozyum Açılış Sunusu. *II. Alüminyum Sempozyumu*. Seydişehir.
- Dündar, M. (2006). İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği İle Alüminyum Levha Üretimi.
- Erden, A. (2006). İkiz Merdane Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Grandfield, J. F., Eskin, D. G., & Bainbridge, I. F. (2013). *Direct-Chill Casting of Light Alloys: Science and Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Grandfield, J., & McGlade, P. (n.d.). DC Casting of Aluminium: Process Behaviour and Technology. Victoria.
- Kammer, C. (1999, January 1). Continuous casting of aluminium. Brussels.
- Kaufman, G. J. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. ASM International.
- Mario, C., Donzelli, G., & Trippodo, R. (1992). *Aluminium and Its Applications*. Brescia: Edmet.
- Prasad, S. (2000). Studies on the Hall-Heroult Aluminum Electrowinning Process.
- Romanowski, C. A., Duvvuri, A., & Carey, M. W. (1993). *Patent No. 5,518,064*.
- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası. (2006). *Alüminyum Raporu*. Ankara.
- Totten, G., & MacKenzie, D. (2003). Handbook of Aluminium. In A. Sverdlin, *Introduction to Aluminium* (pp. 1-32). Illinois: Marcel Dekker.

Vargel, C. (2004). *Corrosion of Aluminium*. Paris: Elsevier.

Varley, P. C. (1970). *The Technology of Aluminium and Its Alloys*. London: Newnes-Butter Worths.

<http://www.hazelett.com>. (n.d.). Retrieved from
<http://www.hazelett.com/en/products/twin-belt-casting-machines/copper-anode-casting-machines>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Süleyman KAYAPA

Doğum Tarihi ve Yeri : 21 Temmuz 1988, Kırşehir

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya & Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2006-2011)