

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ELOKSAL KALİTE
AA5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza YEŞİLBAĞ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ELOKSAL KALİTE
AA5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Beyza YEŞİLBAĞ
(506111433)**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nuri SOLAK

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111433 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Beyza YEŞİLBAĞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ELOKSAL KALİTE AA5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yard. Doç. Dr. Nuri SOLAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. M. Kürşat KAZMANLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Aliye ARABACI
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**

Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında tecrübeleri ve bilgisi ile yol gösteren, bunun yanında değerli fikirleri ile ufkumu genişleten, yol gösteren ve beni cesaretlendiren saygıdeğer hocam Yard. Doç. Nuri SOLAK'a yürekten teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesine olanak tanıyan ve çalışmalarım sırasında her türlü imkanı ve desteği sağlayan, Sn. İsmail BAŞER şahsında Teknik Alüminyum A.Ş.'ye; değerli yöneticim Sn. Fatih BÜYÜKAKKAŞ'a, deney düzeneğinin ve numunelerin hazırlanmasına yardımcı olan Sn. Koray TURBALIOĞLU'na; proses çalışmalarında tecrübeleri ile yol gösteren Sn. Mithat MARMARA'ya; döküm hatlarında yardımını esirgemeyen Sn. Melih UMAR ve tüm döküm hattı operatörlerine; numune hazırlama ve karakterizasyon çalışmalarında yardımcı olan Sn. Erkut AYDOĞDU, Sn. Halil SEZEN, Sn. Emin YILMAZ ve Sn. Oktay KUŞLAR'a, ekipman ve malzeme tedarikinde yardımları için Sn. Gürkan HÜRYILMAZ ve ekibine, deney düzeneği tasarımı ve imalatında desteğini esirgemeyen Sn. Selahattin NACAR ve Sn. Ali Murat MİSYAĞCI'ya teşekkürü borç bilirim.

Karakterizasyon sürecinde değerli vaktini paylaşarak SEM incelemelerini yapmama yardımcı olan Çağatay YELKARASI'na çok teşekkür ederim.

Anodik oksidasyon işlemi ile ilgili verdiği kıymetli bilgiler ve yardımı için sayın Orkun ORHAN'a, soğuk haddeleme işlemlerinin yapılmasına olanak tanıyan Peker Alüminyum A.Ş. ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni destekleyen aileme ve sonsuz sevgisiyle her anımda yanımda olan Burak YORULMAZ'a teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Beyza Yeşilbağ
Fizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM İLE ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ.....	3
2.1. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilen Malzemenin Karakteristik Yapısı	5
2.2. Levha Özelliklerine Etki Eden Parametreler.....	9
2.2.1. Sıcaklık.....	9
2.2.2. Döküm hızı.....	10
2.2.3. Tip ve tip eksenı.....	10
2.2.4. Tandış metal seviyesi	11
2.2.5. Döküm merdaneleri.....	11
2.3. Döküm Sonrası Prosesler	12
2.3.1. Soğuk haddeleme	12
2.3.2. Isıl işlem	14
2.3.2.1. Homojenizasyon ısıl işlemi	14
2.3.2.2. Yeniden kristalleşme ısıl işlemi	15
2.3.2.3. Gerilim giderme ısıl işlemi	17
2.4. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilen Alaşımlar	18
2.4.1. 5xxx serisi alüminyum alaşımları	18
2.4.1.1. AA 5005 alaşımı	21
3. ALÜMİNYUMUN ANODİK OKSİDASYONU.....	25
3.1. Anodik Oksit (Alümina) Tabakası	28
3.2. Anodik Oksit Oluşum Mekanizması.....	30
3.3. Alüminyumun Anodizasyonuna Etki Eden Faktörler	32
3.3.1. Alaşım	32
3.3.2. Mikroyapı.....	34
3.3.3. Yüzey kalitesi.....	35
3.3.4. Yüzey hazırlama işlemleri	36
3.3.4.1. Temizleme.....	36
3.3.4.2. Aşındırma.....	36
3.3.4.3. Smut giderme	37
3.3.5. Anodizasyon banyo parametreleri	37
3.3.5.1. Elektrolit türü ve konsantrasyonu	37
3.3.5.2. Voltaj.....	38
3.3.5.3. Akım yoğunluğu	38

3.3.5.4. Sıcaklık.....	38
3.3.5.5. Banyodaki alüminyum miktarı.....	39
3.3.6. Anodizasyon sonrası işlemler.....	39
3.3.6.1. Renklendirme	39
3.3.6.2. Mühürleme	39
3.4. Anodize Alüminyumun Kullanım Alanları.....	40
4. KONUS İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	41
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
5.1. Anodizasyon İşlemi İçin Levha Üretimi	43
5.1.1. Döküm.....	43
5.1.2. Döküm sonrası prosesler	45
5.1.3. Üretilen levhaların karakterizasyonu	47
5.1.3.1. 1.Proses ile üretilen levha.....	49
5.1.3.2. 2.Proses ile üretilen levha.....	52
5.1.3.3. 3.Proses ile üretilen levha.....	54
5.1.3.4. 4.Proses ile üretilen levha.....	56
5.1.3.5. 5.Proses ile üretilen levha.....	58
5.1.3.6. Levha yüzey yapısı.....	60
5.2. Anodizasyon.....	60
5.2.1. Deney düzeneği	60
5.2.2. Yüzey hazırlama işlemleri.....	62
5.2.2.1. Temizleme.....	62
5.2.2.2. Aşındırma	62
5.2.3. Anodizasyon işlemi	63
5.3. Deney Sonuçları	63
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

AA	: Aluminum Association
TRC	: Twin Roll Casting
DC	: Direct Chill Casting
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
SEM	: Scanning Electron Microscopy

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Saf alüminyum için yeniden kristalleşme sıcaklıkları [4].	16
Çizelge 2.2 : Malzemenin durumuna göre dislokasyon yoğunluğu [1].	17
Çizelge 2.3 : AA5005 Alüminyum alaşımının alaşım bileşimi [30].	21
Çizelge 2.4 : AA5005 alaşımı alüminyum levhaların mekanik özellikleri [32].	22
Çizelge 3.1 : Anodizasyon işlemi için uygunluğuna göre alüminyum alaşımları [42].	33
Çizelge 5.1 : Levhaların döküm parametreleri.	45
Çizelge 5.2 : Dökülen AA5005 alaşımının kimyasal bileşimi.	45
Çizelge 5.3 : AA5005 alaşımı için seçilen prosesler.	47
Çizelge 5.4 : 1. Prosese ait üretim şeması.	49
Çizelge 5.5 : 1. Proses son tav denemeleri	50
Çizelge 5.6 : 1. Prosese ait levhalara uygulanan çekme testi sonuçları.	51
Çizelge 5.7 : 2. Prosese ait üretim şeması.	52
Çizelge 5.8 : 2. Prosese ait levhalara uygulanan çekme testi sonuçları.	53
Çizelge 5.9 : 3. Prosese ait üretim şeması.	54
Çizelge 5.10 : 3. Proses son tav denemeleri.	54
Çizelge 5.11 : 3. Prosese ait levhalara uygulanan çekme testi sonuçları.	56
Çizelge 5.12 : 4. Prosese ait üretim şeması.	56
Çizelge 5.13 : 4. Prosese ait levhaya uygulanan çekme testi sonuçları.	58
Çizelge 5.15 : 5. Prosese ait üretim şeması.	58
Çizelge 5.15 : 5. Proses son tav denemeleri.	58
Çizelge 5.16 : 5. Prosese ait levhaya uygulanan çekme testi sonuçları.	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : DC (üstte) ve TRC ile alüminyum levha üretimi prosesleri.....	4
Şekil 2.2 : İkiz merdaneli sürekli döküm hattı şeması.....	5
Şekil 2.3 : TRC'de katılma bölgesinin şematik gösterimi [3].	6
Şekil 2.4 : Katılma şeması ve dökme levhanın mikroyapısı [9].....	7
Şekil 2.6 : Alaşım miktarı ve döküm hızının segregasyon boyutuna etkisi [12].	9
Şekil 2.7 : Tip dudağında oluşan kırığın levhada oluşturduğu iz [15].	10
Şekil 2.8 : Levha üzerinde yetersiz beslenen bölgelerin görüntüsü [15].	11
Şekil 2.9 : Merdane çatlağının levhada oluşturduğu yüzey kusurları [15].	12
Şekil 2.10 : Yeniden kristalleşmenin şematik gösterimi [23].	15
Şekil 2.11 : Yeniden kristalleşme işlemi süresince özelliklerin değişimi [23].	16
Şekil 2.12 : Alüminyum Magnezyum ikili faz diyagramı [30].	19
Şekil 2.13 : Magnezyum miktarı etkisiyle değişen mekanik özellikler [30].	20
Şekil 2.14 : 5052 ve 5182 TRC ve DC levhalarında ikincil faz dağılımları [31].	21
Şekil 3.1 : Anodizasyon prosesi şeması.....	27
Şekil 3.2 : Parça anodizasyon ve sürekli anodizasyon banyosu [41].	27
Şekil 3.3 : Anodik oksit tabakasının şematik çizimi [38].	28
Şekil 3.4 : Film yoğunluğunun kalınlık ile değişimi [40].	29
Şekil 3.5 : Anodik hücre elektrik bağlantısı ve anodik oksit oluşumu [38].	31
Şekil 3.6 : Anodizasyon işleminden önce ve sonra parça boyutları [41].	32
Şekil 3.7 : Anodize olmayan parçacıkların filmdeki durumları [39].	34
Şekil 5.1 : Anodize edilmiş TRC 5005 alaşımı ve ripple görüntüsü.	43
Şekil 5.2 : Novelis Pechiney Jumbo 3 CM döküm makinası.	44
Şekil 5.3 : Homojenleştirme denemeleri sonrasında hadde yönüne dik (üst sıra) ve hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X büyütme).	46
Şekil 5.4 : Döküm kalınlığında malzemenin döküme paralel kesit kenar bölgesi tane yapısı (50X).	48
Şekil 5.5 : Döküm kalınlığında malzeme döküme paralel kesit merkez bölgesi tane yapısı (50X).	48
Şekil 5.6 : Döküm kalınlığında malzemenin yüzey SEM görüntüsü (150X, 15kV).	48
Şekil 5.7 : 1. Proses 3 mm'ye haddelenen malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).	49
Şekil 5.8 : 1. Proses 3 mm homojen tavlı malzeme döküme paralel kesit görüntüsü : a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).	49
Şekil 5.9 : 1. Proses 1.5 mm'ye haddelenen malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	50
Şekil 5.10 : 1. Proses 1.5 mm son tavlı malzeme döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	51
Şekil 5.11 : 1. Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)	51
Şekil 5.12 : 2. Proses 2mm'ye haddelenen malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).	52
Şekil 5.13 : 2. Proses 2mm kalınlıkta ara tav yapılan malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi, b) merkez bölgesi (50X).	52

Şekil 5.14 : 2.Proses 1.5mm kalınlıktaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	53
Şekil 5.15 : 2.Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)	53
Şekil 5.16 : 3.Proses 3mm kalınlıkta ara tav yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).	54
Şekil 5.17 : 3.Proses 1.5mm'ye haddelenen malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	55
Şekil 5.18 : 3.Proses 1.5mm kalınlıkta nihai tavlı yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	55
Şekil 5.19 : 3.Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 350X)	55
Şekil 5.20 : 4.Proses 2mm kalınlığa haddelenen malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	56
Şekil 5.21 : 4.Proses 2mm kalınlıkta ara tav yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	57
Şekil 5.22 : 4.Proses 1.5mm nihai durumundaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	57
Şekil 5.23 : 4. Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)	57
Şekil 5.24 : 5.Proses 1.5mm kalınlıktaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	59
Şekil 5.25 : 5.Proses 1.5mm kalınlıkta nihai tavlı malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).	59
Şekil 5.26 : 5. Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)	59
Şekil 5.28 : 15mm PP eloksallı tankı.	60
Şekil 5.27 : Nihai levhaların yüzey bölgesi döküme paralel kesit optik mikroskop (üstte-100X büyütme) ve yüzey SEM görüntüleri (15kV, 150X).	61
Şekil 5.29 : Aşındırma tankındaki ısıtıcı düzeneği.	62
Şekil 5.30 : Anodizasyon işleminde kullanılan doğru akım güç kaynağı.....	62
Şekil 5.31 : 1.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.....	64
Şekil 5.32 : 2.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.....	64
Şekil 5.33 : 3.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.....	65
Şekil 5.34 : 4.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.....	65
Şekil 5.35 : 5.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.....	66
Şekil 5.36 : 1.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.	66
Şekil 5.38 : 3.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.	67
Şekil 5.39 : 4.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.	67
Şekil 5.40 : 5.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.	68

İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ELOKSAL KALİTE AA5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Yeryüzünde en çok bulunan metallere biri olan alüminyum, 19. Yüzyıl sonlarında ayrı ayrı Charles Hall ve Paul Herault tarafından alüminadan elde edilmesiyle uygulamalarda yer almaya başlamıştır. Hafifliği, kolay şekillendirilebilirliği gibi özellikleri sayesinde otomotiv, inşaat, havacılık ve uzay, denizcilik, medikal, gıda gibi pek çok sektörde giderek artan yaygınlıkla kullanılmaktadır.

Korozyon dayanımının yüksek olması alüminyumun önde gelen tercih edilme nedenlerinden biridir. Alüminyumun havaya teması ile birlikte üzerinde birkaç nanometre kalınlığında doğal olarak bir oksit tabakası gelişmektedir. Normal koşullarda malzemede korozyonun ilerlemesini engelleyen bu koruyucu tabaka korozyon ortamlardaki uygulamalarda yeterli gelmemektedir. Alüminyumun anodizasyonu (eloksal) doğal olarak oluşan oksit tabakasının kontrollü olarak elektrokimyasal yöntemler ile kalınlaştırılması işlemidir. Anodizasyon koruma amaçlı yapıldığı gibi, dekoratif amaçlarla da yapılabilmektedir. Bu amaçla alüminyum, anodizasyon sonrasında veya renklendirilerek görsel ve estetik uygulamalarda kullanılmaktadır. Anodizasyon işlemi çoğunlukla profil veya levha haline getirilmiş alüminyum malzemeye uygulanmaktadır.

Alüminyum levha üretimi için günümüzde yaygın olarak kullanılan iki yöntem mevcuttur. Bunların ilki, Direk Soğutmalı Döküm (DC) ve sıcak haddeleme ile levha elde edilmesidir. Direk soğutmalı döküm ile ingot olarak dökülen alüminyumun üst ve alt yüzeyleri frezelenerek, katılaşma karakteristiği olan kolonsal yüzey taneleri ile döküm pislikleri giderilir. Ardından sıcak haddeleme için rekristalizasyon sıcaklığının üzerinde ısıtım işlemi yapılır. Elde edilen malzemenin yapısı homojendir. DC dökümüne alternatif olarak ortaya çıkan ikiz merdaneli döküm (TRC) yöntemi ilk yatırım ve işletme, işçilik, enerji maliyetlerinde yarattığı avantajlardan dolayı levha üretiminde tercih edilen yöntem haline gelmiştir. Kıyaslandığı üretim yöntemine göre daha az proses basamağı içeren ve daha mukavim olan ikiz merdaneli döküm, yöntemin getirdiği bazı karakteristik özelliklere sahiptir. Hızlı katılaşma ve aynı anda haddelemenin yarattığı plastik deformasyon nedeniyle oluşan bu karakteristik özellikler proses esnasında özel olarak kontrol edilmedikçe üretilen levhaların belirli uygulamalarda kullanılması mümkün olamamaktadır.

Anodizasyon işlemi için genel olarak direk soğutmalı döküm ve sıcak haddeleme ile üretilen alüminyum levhalar kullanılmaktadır. İkiz merdaneli döküm ile üretilmiş levhalarda döküm kaynaklı karakteristik bir yüzey izi olan ripple nedeni ile anodizasyon sonrasında beklenen sürekli görüntü elde edilememektedir. Bu çalışma ile ikiz merdaneli sürekli döküm ile anodizasyona uygun kalitede AA5005 alaşımı levha üretimi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda farklı parametreler ile dökümler gerçekleştirilmiş ve farklı döküm sonrası proseslerin anodizasyona etkisi

incelenmiştir. Literatürde ikiz merdaneli sürekli döküm ile üretilen levhaların anodizasyon özellikleri ve özellikle 5005 alaşımının anodizasyon davranışı ile ilgili çalışmanın az olması bu çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır.

Çalışma sonucunda TRC ile üretilen alüminyum levhaların anodizasyon işlemi için engel teşkil eden ripple görüntüsünün döküm parametrelerinin ile önemli derecede azaltılmıştır. Magnezyum içeriğinden dolayı TRC ile dökümü dikkat gerektiren 5005 alaşımı ile yapılan bu çalışma döküm parametrelerinin iyileştirilmesi ile istenen görüntüye ulaşılabileceğinin mümkün olduğunu göstermiştir.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ANODIZING QUALITY AA5005 ALUMINIUM SHEET PRODUCED BY TWIN ROLL CASTING

SUMMARY

Aluminium is most widely used non-ferrous metal and one of the most abundant of all elements in the Earth's crust. Due to its strong affinity to oxygen, it is never found in elemental state. After the time that Charles Hall and Paul Herault obtain the aluminium from alumina in late of 19th century, it has started to be used in various applications. Due to its properties such like low density, formability; it has a wide range of application area like automotive, construction, aerospace and aviation, marine, medical, food. Aluminium is mostly used as alloyed, which alloying elements improve its mechanical properties.

One of the reasons that aluminium is favored for many applications is its corrosion resistivity. When exposed to air, a few nanometer thick aluminium oxide film is immediately formed on aluminium substrate. The film that formed on the substrate is a shield which prevents substrate from further oxidation. At normal conditions, natural film is enough to prevent the material but at corrosive conditions it has to be developed. Anodizing of aluminium (eloxal) is an electrochemical method that thicken natural oxide layer intentionally. Electrochemical oxidation has been a widely used method performed on aluminum alloys for a century and anodic treatment provides protective and decorative films on surface. AA5005 is a preferred alloy for anodizing because it is suitable for anodizing due to its microstructure and has an ease of coloring. The substrate is placed as anode of an electrical circuit, therefore the process is named "anodizing". Anodizing increases corrosion and wear resistance and provides an esthetical appearance. Anodized parts can be dyed with various methods. Due to the structure of formed anodic aluminium oxide layer, dyed parts preserve its color and exhibit good resistance to UV lights. Anodizing is limited to the substrate surface and does not increase the strength of the material and can be performed for various purposes such as increasing corrosion resistance at corrosive environments, improving surface hardness and abrasion resistance, improving adhesion for organic coatings, changing optical properties, manipulating dielectric properties. There are many factors that affect anodizing performance of aluminium. Firstly, the substrate must be chosen from a suitable alloy for anodizing. Due to their affinity, alloying elements behave differently when anodizing. Because of this reason, commercial pure 1xxx series and 5xxx series Al-Mg alloys are preferred for anodizing treatment. Besides alloying elements, microstructure like grain distribution and crystal lattice structure, surface quality of the substrate and anodizing process parameters also affect the treatments performance. Aluminium profiles and sheets are mostly anodized aluminium parts.

There are two common methods to produce aluminium sheets. The first and conventional one is Direct Chill Casting (DC) and hot rolling which has been used

since 1950's. The production with this method begins with casting aluminium ingot by direct chill casting. After the ingot completely solidified, it is cut into smaller slabs. The columnar grains and impurities of casting at upper and lower surfaces are removed by scalping. Before hot rolling, slabs are heated over the recrystallization temperature. Finally, hot rolled plates are cold rolled to their final thickness. The sheets cast by DC have a homogenous structure due to scalping and heating operations. Twin roll casting (TRC) is an alternative method to DC for producing aluminium sheets. TRC has lower investment and operating costs, lower need for labor which results into being the favored method. To compare with DC, TRC has less process steps; it combines casting and hot rolling in one operation. After casting, materials processed by cold rolling. Due to rolling and solidifying in a very limited time and space, material has higher strength, unique structure and properties. Scalping and heating processes are eliminated and the scrap rate is lower. Rapid solidification keeps alloying elements and intermetallics in the solid solution which increases strength. Smaller and oriented grains exist at surface regions whereas equiaxed and bigger grains exist at the center. Because of its advantages, TRC became the choice for producing aluminium sheets for many applications such as foil production. Nevertheless, for some applications it has limited to use. Unless the production parameters are designed specifically and controlled strictly, it takes effort to adapt it for that kind of applications such like deep drawing.

To be anodized sheets are generally chosen from DC products. Sheets produced with TRC have a surface mark named as "ripple". Ripples are linear surface flaws and stand vertical to casting direction. The reason of that ripples are generated is tidal moves of liquid aluminium in front of the casting rolls. To avoid the tidal moves during casting, parameters should be controlled. Ripple lines are the obtained reason that TRC sheets are not used for anodizing.

Despite there are various studies about anodizing and TRC separately, there is a lack of work which investigates the anodizing behavior of TRC sheets and 5005 aluminium alloy specifically. With its subject and aim, this work is distinguished from other anodizing and TRC literature.

This work aims to produce aluminium AA5005 alloy sheets by TRC which are convenient for anodizing treatment. For this purpose, the casting parameters are designed to produce sheets without ripples. To avoid tidal moves and ripples, liquid metal level in tundish and setback distance is decreased. 7 sets of castings are performed and the set with the best surface appearance are chosen for further processes. 1.5 mm thick H22 temper condition sheets are produced by 5 different processes and characterized by optical microscopy. At final conditions, sheets have almost none of ripples. Observing ripples on some of the sheets are thought to be resulted from the earlier castings traces on casting rolls. Sheets are cleaned, etched and anodized in laboratory type anodizing tanks. After anodizing, sheets are first inspected visually, and then imaged by scanning electron microscopy. According to investigations, sheets produced with the processes without homogenization annealing show better result after anodizing. Sheets produced with the 4th process which has recrystallization annealing shows the most homogenized pore structure at SEM images.

Results of the experiments showed that changing the liquid level in tundish and setback distance has a critical effect for surface quality. When the tidal moves

diminished, ripples are not seen at surface. It was also obtained that sheets produced with different process parameters show different anodizing behavior and homogenization annealing is not a preferred process for producing sheets to be anodized.

It is concluded that when the production parameters are designed specially, it is possible to produce 5005 alloy aluminium sheets for anodizing by Twin Roll Casting.

1. GİRİŞ

Yeryüzünde en çok bulunan metallerden biri olan alüminyum, 19. Yüzyıl sonlarında ayrı ayrı Charles Hall ve Paul Herault tarafından alüminadan elde edilmesiyle uygulamalarda yer almaya başlamıştır. Hafifliği, kolay şekillendirilebilirliği gibi özellikleri sayesinde otomotiv, inşaat, havacılık ve uzay, denizcilik, medikal, gıda gibi pek çok sektörde giderek artan yaygınlıkla kullanılmaktadır.

Diğer özellikleri ile birlikte, korozyon dayanımının yüksek olması alüminyumun önde gelen tercih edilme nedenlerinden biridir. Alüminyumun havaya teması ile birlikte üzerinde birkaç nanometre kalınlığında doğal olarak bir oksit tabakası gelişmektedir. Normal koşullarda malzemede korozyonun ilerlemesini engelleyen bu koruyucu tabaka korozif ortamlardaki uygulamalarda yeterli gelmemektedir. Alüminyumun anodizasyonu (eloksal) doğal olarak oluşan oksit tabakasının kontrollü olarak elektrokimyasal yöntemler ile kalınlaştırılması işlemidir. Anodizasyon koruma amaçlı yapıldığı gibi, dekoratif amaçlarla da yapılabilmektedir. Bu amaçla direk olarak alüminyum anodizasyon sonrasında veya renklendirilerek görsel ve estetik uygulamalarda kullanılmaktadır. Profil ve levhalar anodizasyon işlemi için yaygınlıkla kullanılan alüminyum malzeme formlarıdır.

1950'li yıllarda direk soğutmalı döküm ile üretilen ingotun sıcak haddelenmesiyle elde edilerek başlayan alüminyum levha üretimine alternatif olarak kullanılan ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ilk yatırım ve işletme, işçilik, enerji maliyetlerinde ortaya çıkardığı avantajlardan dolayı levha üretiminde tercih edilen yöntem haline gelmiştir. Kıyaslandığı üretim yöntemine göre daha az proses basamağı içeren ve daha mukavim olan ikiz merdaneli döküm, yöntemin getirdiği bazı karakteristik özelliklere sahiptir. Bu karakteristik özellikler proses esnasında özel olarak kontrol edilmedikçe üretilen levhalar bazı uygulamalarda kullanılamamaktadır.

Anodizasyon işlemi için genel olarak direk soğutmalı döküm ve sıcak haddeleme ile üretilen alüminyum levhalar kullanılmaktadır. İkiz merdaneli döküm ile üretilmiş levhalarda dökümden kaynaklı karakteristik bir yüzey izi olan ripple nedeni ile anodizasyon sonrasında beklenen sürekli görüntü elde edilememektedir.

Bu alışma ile ikiz merdaneli sürekli döküm ile anodizasyona uygun kalitede AA5005 alaşımı levha üretimi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda döküm parametreleri düzenlenmiş ve farklı döküm sonrası proseslerin anodizasyona etkisi incelenmiştir. Literatürde ikiz merdaneli sürekli döküm ile üretilen levhaların anodizasyon özellikleri ve 5005 alaşımının anodizasyon davranışı ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça azdır. Deneysel çalışmanın endüstriyel boyutlarda yapılması ve ikiz merdaneli sürekli döküm ile üretilmiş 5005 alaşımının anodizasyon davranışının incelenmesi bu çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır.

2. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM İLE ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ

İlk olarak 1865 yılında Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanan ikiz merdaneli sürekli döküm (Twin Roll Casting-TRC), o zamanlarda destekleyici teknolojinin yetersizliğinden ötürü yeterli ilgiyi görememiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte levha üretiminde tercih edilir hale gelen yöntem ticari olarak ilk kez 1950'li yıllarda Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney tarafından kullanılmıştır. Geleneksel yönteme kıyasla daha az enerji gerektirmesi, ilk yatırım maliyetinin daha düşük olması ve daha az işçilik gerektirmesi gibi avantajlarından dolayı gittikçe önem kazanmaktadır [1].

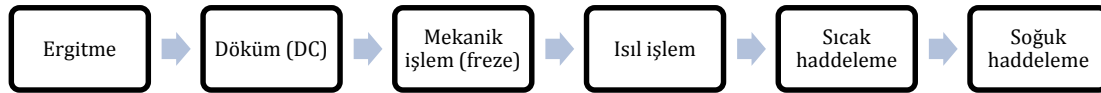
İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle, ergimiş alüminyumdan direk olarak 3-10 mm kalınlıkları arasında levha elde edilmektedir. Çeşitli hazırlama aşamalarından geçen sıvı alüminyum, son olarak tandiştan geçerek iki adet su soğutmalı merdane arasına dökülerek ani katılaşmaya ve aynı sırada haddelemeye maruz kalır. Merdaneler arasından levha halinde çıkan alüminyum sarıcı bobin ile rulo haline getirildikten sonra herhangi bir ara işleme gerek duyulmaksızın doğrudan soğuk haddeleme işlemine tabi tutulur. Geleneksel dökümde (Direct Chill Casting-DC) ise sıvı alüminyum soğutmalı düşey kalıplara dökülür. Döküm sonrasında elde edilen ingotun üst ve alt yüzeyleri frezelenerek döküm pislikleri ve kalıp döküme ait mikroyapı giderilir. İngotlar bölünür ve slab haline getirildikten sonra yüksek sıcaklıkta tavllanır. Rekristalizasyon sıcaklığının üzerine ısıtılmış slablar sıcak haddelendikten sonra prosese soğuk haddeleme ile devam eder. DC yöntemi ile levha üretimindeki frezeleme, tavlama gibi ara prosesleri ortadan kaldıran TRC yöntemi ekonomik avantaj sağlarken aynı zamanda ihtiyaç duyulan alandan da kazanç sağlar. Bunun yanında boyut toleransı açısından daha iyi olan TRC ile fire oranı azaltılmış olur.

Geleneksel levha üretim yöntemine göre yaklaşık %30 ile %50 arasında daha az üretim ve yaklaşık %30 daha az yatırım maliyeti olan; malzeme sarfıyatı %2 daha az olan, bununla birlikte daha az yer ve daha az personel gerektiren ikiz merdaneli sürekli döküm, sağladığı ekonomik avantajlarla ilk başlarda oldukça büyük heyecan

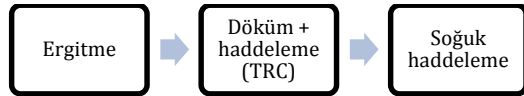
uyandırmıştır. Ancak ilerleyen zaman içinde, bu yöntemle üretilen malzemenin yapısından ötürü geleneksel üretim yöntemi ile üretilmiş malzemeye kıyasla kısıtlı kullanımı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte folyo hammaddesi alüminyum levhalar ise neredeyse tamamen bu yöntemle üretilir hale gelmiştir [2].

İkiz merdaneli sürekli döküm, ergitme fırınında istenen saflıkta alüminyumun ve isteniyorsa alaşım elementlerinin ergitilmesi ile başlar. Alaşım elementlerinin miktarları belirlenen aralıkta olmalıdır ve sıvı alüminyumdan alınan numunelere spektral analiz yapılarak alaşım elementlerinin miktarı belirlenir. Rafinasyon, oksidasyon, deoksidasyon, gaz giderme ve temizleme amacıyla flaks katılarak metalin cürufu alınır.

DC



TRC



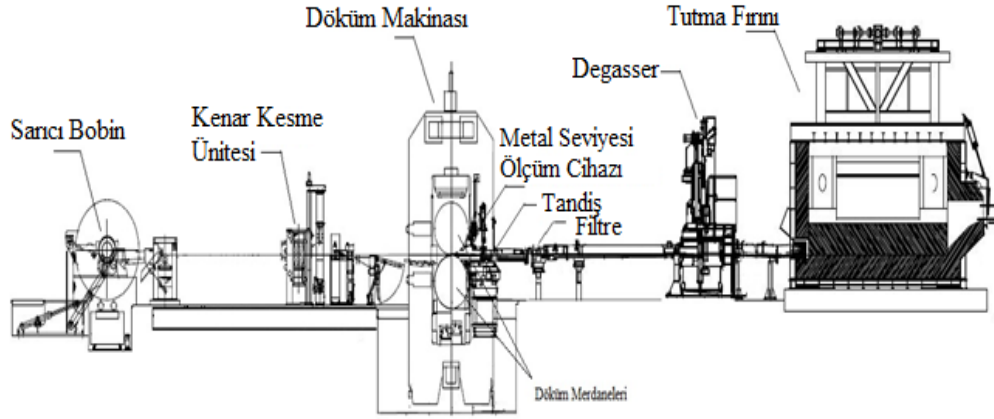
Şekil 2.1 : DC (üstte) ve TRC ile alüminyum levha üretimi prosesleri.

Sıvı alüminyum refrakter yolluklar aracılığıyla transfer edilir. Yolluk tasarımında refrakter seçimi dikkat edilmesi gereken bir konudur. Alüminyum ile etkileşime girmeyen, ısılatma özelliği olmayan, termal iletkenliği düşük, termal şok dayanımı yüksek ve yoğunluğu ergimiş alüminyumdan daha düşük refrakter malzeme seçilmelidir [3].

Alüminyum ve alaşımlarında tane inceltme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. TRC yönteminde tane inceltme sıvı metal içerisine heterojen çekirdeklenme bölgeleri ilavesi ile gerçekleştirilmektedir. İnce ve eşeksenli tane yapısı elde ederek hem mekanik özelliklerde hem de yüzey kalitesinde iyileşme sağlanmaktadır. Bu amaçla TRC hattında belirlenen yerden sürekli olarak bir tane inceltici alaşım sıvı alüminyuma ilave edilmektedir.

Sırasıyla ergitme ve tutma fırınlarından geçerek cürufu alınan ve tane inceltici ilavesi yapılan alüminyum yolluk aracılığıyla degasser denilen gaz alma ünitesine gelir. Degasserde alüminyuma inert gaz enjekte edilerek karıştırılır ve içerisindeki gazların

çıkışı sağlanır. Gaz alma işlemi yetersiz yapıldığında gaz molekülleri levhanın hem yüzey kalitesini hem de mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden başta folyo yapılacak levhalarınki olmak üzere döküm esnasında gaz alma etkinliğinin kontrol edilmesi gereklidir.



Şekil 2.2 : İkiz merdaneli sürekli döküm hattı şeması.

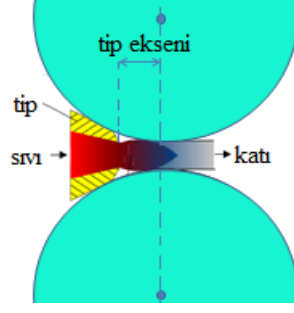
Degasserden geçen sıvı alüminyum buradan sonra belirli gözenek boyutlu seramik filtrelerden geçerek metalik ve metalik olmayan inklüzyonlardan arındırılır [3].

Sıvı metal filtrelerden sonra tandişe gelmektedir. Tandişte merdanelere gelmeden önce metalin seviyesi kontrol edilir. Tandiş merdanelerin arasına metali besleyen ve tip adı verilen nozüle bağlıdır. Tip adı verilen ve seramik malzemedan yapılmış açıklık, sıvı metalin merdanelerden önce geçtiği son noktadır.

Tip dudağından merdaneler arasına dökülen sıvı alüminyum kısa süre içinde katılaşarak burayı levha şeklinde terk eder. Sarılarak rulo haline getirilen levha, buradan soğuk haddelenmek üzere üretim prosesine devam eder.

2.1. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilen Malzemenin Karakteristik Yapısı

İkiz merdaneli sürekli döküm tekniği aynı anda katılaşmanın ve deformasyonun etkin olduğu bir levha üretim tekniğidir. Birkaç saniye içerisinde gerçekleşen katılaşma ve eşlik eden deformasyondan dolayı üretilen levhanın kendine has yapı ve özellikleri vardır.



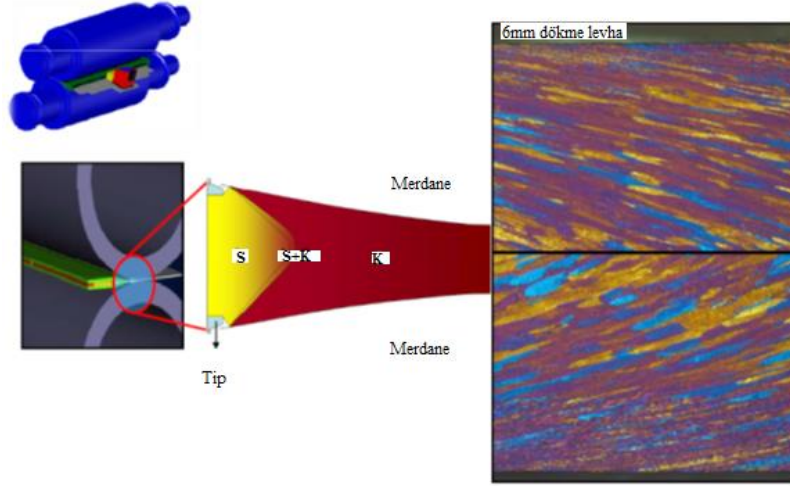
Şekil 2.3 : TRC'de katılaşma bölgesinin şematik gösterimi [3].

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, döküm işlemi oldukça basit bir prensibe dayanmaktadır. Ergimiş metal, içerisindeki oluklardan su geçirilerek soğutulan merdanelerin arasına dökülür. Tip çıkışı ile merdanelerin eksenleri arasında belirli bir mesafe vardır. Bu yüzden ergimiş alüminyum katılaşırken aynı anda sıcak haddeleme de yapılmış olur. Katılaşma, merdanelerin arasındaki mesafenin en kısa olduğu yere gelmeden tamamlanmaktadır. Ergimiş metalin çıktığı tipin ağız noktası ile merdanelerinin merkezinden geçen eksen arasındaki mesafeye tip eksen (setback) denilmektedir. Merdaneler arasında soğuma hızları yaklaşık 300 C/sn civarındadır [1,4].

Katılaşmanın çok kısa mesafe ve zamanda gerçekleşiyor olması basit görünen mekanizmayı karmaşıktır. Katılaşan yüzeyde oksit tabakası meydana gelir ve bu tabaka ısı iletim katsayısının düşmesine neden olur. Bu esnada katılaşan yüzey merdanelerden bir miktar ayrılır, levhanın merkezindeki sıcaklık etkisiyle tekrar genişip merdanelere tam temas sağlanır. Bu yüzden katılaşma sırasında üç farklı ısı transfer bölgesi vardır: levhanın merdanelere değdiği ilk andaki yüksek ısı transferi, katılaşp büzülme ve oksit nedeniyle düşük ısı transferi ve katılaştıktan sonra merdaneye temas ederken ısı transferi [5].

Hızlı katılaşma nedeniyle çok ince dendritik bir yapı meydana gelmektedir. Bu nedenle alaşım elementleri mikro ölçekte segregasyon olmaktadır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, dökme levhaların faz yapılarının denge dışı olmasıdır. Katılaşmanın hızlı olması alaşım elementlerinin alüminyum içerisindeki çözünürlüklerini arttırdığı için aşırı doymuş intermetaliklerin büyük kısmı alüminyum içeriği olarak zengin ve aynı zamanda yarı kararlardır. Aşırı doymuş yapı döküm sonrası deformasyon işlemlerinde deformasyon sertleşmesine yol açmaktadır. Bu nedenle aynı alaşımda geleneksel yöntemlerle üretilmiş levha ile kıyaslandığında TRC ile üretilen levhaların mukavemeti daha yüksektir [6].

TRC ile üretilmiş levha karakteristik bir mikroyapıya sahiptir. Hızlı katılaşmadan en fazla etkilenen yüzey bölgesinde aşırı doymuş ve çok küçük tane yapısı görülmektedir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yüzeyle merkez arasında döküm yönünde merkeze doğru yönlenmiş kolonsal taneler, merkezde ise eş eksenli taneler bulunmaktadır. Tanelerin yapısı döküm parametreleri ile değiştirilebilmektedir [7]. Tane yapısındaki kalınlık boyunca görülen değişim çekirdeklenme, kristal gelişimi ve döküm prosesindeki mekanik deformasyon kaynaklıdır [8].



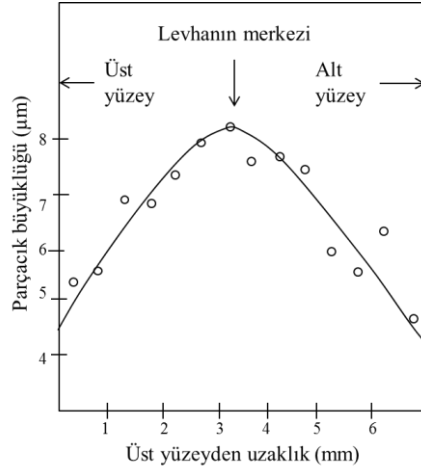
Şekil 2.4 : Katılaşma şeması ve dökme levhanın mikroyapısı [9].

Tane yapısındaki bölgesel değişim ile birlikte merkez hattında görülen makrosegregasyon da ikiz merdaneli dökümün karakteristik bir özelliğidir. En geç katılaşan bölge olan merkez hattında nispeten yavaş soğuyarak katılaşmanın etkisiyle alaşım elementleri çökelir. Merkez hattı segregasyonları ergitmede kullanılan ingotun türüne ve alaşım elementi miktarına göre değişir. Yapılan çalışmalarda, döküm hızının arttırılmasıyla birlikte kalınlığın azaltılmasının daha az merkez hattı segregasyonunun oluşmasını sağladığı görülmüştür [6,11].

Hızlı katılaşma nedeniyle bileşenlerin de boyutları ve kapladığı alanlar azalmaktadır. Geleneksel yöntemle üretilmiş malzemeye göre intermetaliklerin boyutunda %80 azalma görülmektedir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi levha kalınlığı boyunca boyutsal açıdan düzensiz bir dağılım vardır, merkezde kaba parçacıklar yer almaktadır. Dikkat çekici bir nokta ise merkezdeki bu kaba parçacıkların DC ile üretilmiş malzemedeki ortalama parçacık boyutundan daha küçük olmasıdır [10].

İngot dökümündeki segregasyonların önemli tarafı, bu segregasyonların sıvı metalin yarı katı metal içinde soğuk bölgelerden sıcak bölgelere doğru yerçekimi hareketiyle

meydana gelmesidir. Katı metal sıvı ile temas halindeyken, sıvı hareket edip ısındığında katıyı bir miktar eritir. Katının erimesi sıvının akışında dengesizliğe neden olur. Erime ise akışkanlığı artırır ve kanal oluşumuna sebebiyet verir. TRC dökümde de kanal oluşumu gözlenir ancak burada sıvının soğuk bölgeden sıcak bölgeye hareketi yerçekimi etkisi yerine haddeleme ya da sıkıştırma ile gerçekleşir [12].

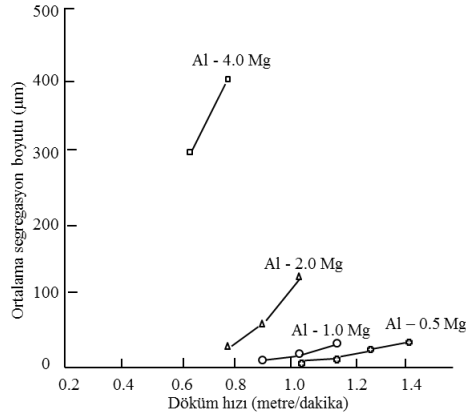


Şekil 2.5 : %0.5 Fe, %0,2 Si içeren alaşımın içerdiği parçacık boyutu değişimi [10].

Dökme levhanın nispeten düşük çıkış sıcaklığı haddeleme işlemi esnasında tamamen rekristalizasyona izin vermez. Bundan dolayı yapıda kalıntı gerilmeler mevcuttur ve bu da levhanın geleneksel yöntemle üretilmiş malzemeden daha sert olmasına sebep olur [10].

Farklı döküm hızları ve farklı magnezyum elementi miktarı içeren Al-Mg alaşımı için ortalama segregasyon miktarı incelenmiş ve artan alaşım miktarının segregasyon boyutlarını önemli derecede arttırdığı sonucuna varılmıştır. Farklı miktarda magnezyum içeren alaşımların döküm hızına bağlı olarak ortalama segregasyon boyutu değişimi Şekil 2.6'da görülmektedir.

Segregasyon yoğunluğu veya yarı katı bölgedeki sıvı hareketini etkileyen iki etken vardır: katılaşma aralığının uzunluğu ve haddeleme başladığında merkezdeki katı oranı. Katılaşma aralığı alaşımın donma aralığı, levha/merdane ısı iletim katsayısı ve döküm hızının bir fonksiyonudur. Uzun donma aralığı, düşük ısı transferi ve yüksek döküm hızının uzun bir katılaşma aralığı ve yoğun segregasyona sebep olması beklenmektedir.



Şekil 2.6 : Alaşım miktarı ve döküm hızının segregasyon boyutuna etkisi [12].

Merkez hattı dışında yüzeyde de segregasyonlara rastlanmaktadır. Yüzey segregasyonları merdanelerin oluşturduğu basınç nedeniyle katılaşmakta olan levhanın yüzeyine doğru çözünmüş elementlerce zengin fazın süzülmesidir. Bu kısımlar sert ve soğuk haddelemede deforme olması zor alanlardır. Bu alanların boyutları 0,05 mm boy, ve 0,01 mm derinlikle 1,5 mm boy ve 0,1 mm derinlik arasında olabilir [13, 14].

2.2. Levha Özelliklerine Etki Eden Parametreler

İkiz merdaneli sürekli döküm ile levha üretiminde levha özelliklerini ve kalitesini etkileyecek pek çok parametre mevcuttur. Teoride etkileri ayrı ayrı incelenebilecek bu parametreler pratikte birbirine bağlıdır ve herhangi biri üzerinde değişim yapıldığında başka bir veya daha fazla parametrede değişim gözlemlenebilir.

2.2.1. Sıcaklık

Sıvı metalin akışkanlığının ve katılaşmasının kontrollü sağlanması için sıcaklık dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Döküme giren metalin sıcaklığı yüksek olursa merdaneler arasında katılaşma gerçekleşmez; malzemenin tip ile merdane arasında veya merdane çıkışında tam katılaşmamasından dolayı dökülme olabilir. Katılaşmanın tamamı ile gerçekleştiği durumda da sıcaklığın fazla olması levha kalitesi açısından olumsuz sonuçlar meydana getirebilir. Yüksek sıcaklıkta diğer döküm parametreleri de önleyecek şekilde ayarlanmaz ise levha yüzeyinde “ripple” adı verilen denizin dibindeki kum çizgileri şeklinde hatalar meydana gelir. Bunun sebebi yüksek sıcaklıktan dolayı mobilitesi artan metalin tandişte hareketlenmesi ve merdaneye de aynı şekilde dalgalanarak gelmesidir.

2.2.2. Döküm hızı

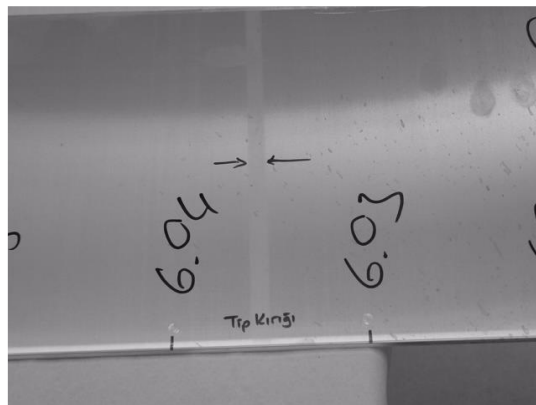
Döküm hızı belirlenirken en önemli unsur dökülen alaşımdır. Hız seçimi katılaşmanın tamamen gerçekleşeceği kadar yavaş, hat verimliliğini düşürmeyecek kadar hızlı olmalıdır. Yüksek alaşımlı malzemelerin katılaşma aralığı geniş olduğu için hızı saf alüminyum döküm hızından daha yavaştır.

Döküm hızının arttırılması segregasyon oluşumunu arttırır [1]. Döküm hızının değiştirilmesi levha kalınlığını da etkiler. Diğer tüm parametreler sabitken döküm hızı arttırıldığında levha kalınlığı azalır.

2.2.3. Tip ve tip eksen

Dökümde kullanılan tipin malzemesi ve kalitesi dökümden çıkan levha üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Tip dudağındaki kırık ya da çatlaklar, tip içerisindeki birikintiler levha yüzeyinde gözle görülür izler bırakmaktadır. Şekil 2.7’de görülen izler dökümde başlamaktadır ve döküm sonrası proseslerle giderilememektedir. Levha özellikle görünür uygulamalarda ya da estetik amaçlarla kullanılacak ise bu tip hatanın kabul edilmesi mümkün değildir.

Tip tasarımı metalin akışının kontrol edilebilmesi için çok önemlidir, tip içerisindeki tıkanıklıklar veya akış bozuklukları tip çıkışında sıvı metalde sıcaklık farkları yaratarak döküm kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu durum levha profilinde bozukluklara, kalınlık farklarına sebebiyet vermektedir.



Şekil 2.7 : Tip dudağında oluşan kırığın levhada oluşturduğu iz [15].

Sıvı metalin çıktığı tip dudağı ile döküm merdanelerinin geçtiği eksen arasındaki mesafe olan tip eksen döküm esnasındaki haddeleme miktarını etkileyen bir parametredir. Tip eksen arttırıldığında sıvı metali merdanelere değmeden önce kat

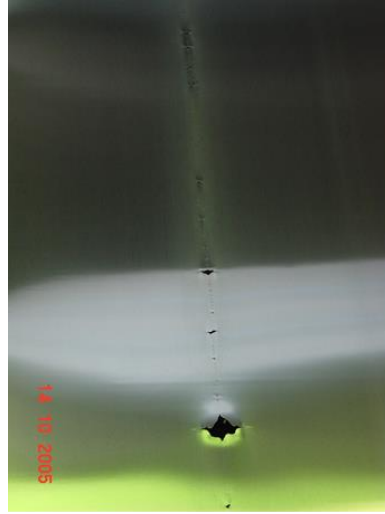
ettiği yol artacak ve merdanelere değmeden önce katılaşması için daha fazla zaman bulacaktır. Bu sebeple merdanelerin baskı kuvveti artacak, levha üzerindeki deformasyon miktarı artacaktır.

Tip ekseninin arttırılmasıyla haddeleme kuvvetinin artması döküm merdaneleri için de olumsuz durum oluşturmaktadır. Baskının artmasından dolayı merdanelerin yüzeyindeki “shell” adı verilen paslanmaz çelik kılıfın ömrü kısalmaktadır [16].

2.2.4. Tandış metal seviyesi

Tandış yolluktan gelen sıvı alüminyumun merdanelere girmeden önce akışının kontrol edildiği ünitedir. Buradan belirli bir hidrostatik basınç ile alüminyumun tip üzerinden merdanelerin arasına beslenmesi sağlanır. Tandış içerisinde metalin sıcaklığı ve seviyesi izlenebilir ve kontrol edilebilir. Metal seviyesi yetersiz ise Şekil 2.8’de görüldüğü gibi levhada delikler oluşabilmektedir.

Döküm hızıyla da ilgili olarak, metal seviyesinin fazla olması sıvı içinde gel-git hareketine neden olmakta ve yüzeyde ripple izleri olarak kendini göstermektedir.



Şekil 2.8 : Levha üzerinde yetersiz beslenen bölgelerin görüntüsü [15].

2.2.5. Döküm merdaneleri

İkiz merdaneli döküm hattında kullanılan merdaneler döküm için kritik unsurlardan biridir, çünkü hem katılaşmayı hem de haddelemeyi sağlamaktadır. Merdaneler iki bileşenden oluşmaktadır: iç kısımdaki çekirdek (core) ve dışına sıcak geçirme yöntemiyle monte edilmiş kabuk (shell). Çekirdek kısmının üzerinde soğutma suyunun geçeceği kanallar bulunmaktadır. Kabuk kısmı özel bir alaşımdan

yapılmaktadır; mekanik mukavemetinin yüksek, ısı iletkenliğinin ve termal şok dayanımının iyi olması beklenir. Üzerindeki termal ve mekanik yüklerden dolayı kabuk yüzeyinde zamanla çatlaklar meydana gelir. Oluşan çatlaklar Şekil 2.9’da görüldüğü gibi levha yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu görüntünün önüne geçmek ve kabuk ömrünü uzatmak için belirli miktar alüminyum levha döküldükten sonra merdaneler tornalanır ve yüzey pürüzlülüğü ile bombesini ayarlamak için taşlanır [16].



Şekil 2.9 : Merdane çatlağının levhada oluşturduğu yüzey kusurları [15].

Merdanelerin baskı kuvveti mikroyapı üzerinde etkilidir, merdaneler arası ayırma kuvveti (baskı kuvveti) arttıkça segregasyon eğilimi azalır. Merdanelerin çapının sürekli kontrol edilmesi gereklidir. Zamanla deforme olan merdanelerin çapı küçülür, bu durum baskı kuvvetini değiştirmektedir [17,18].

2.3. Döküm Sonrası Prosesler

Döküm hattında rulo halinde sarılan alüminyum levha soğuk haddeleme ve ısı ışılem ile prosesine devam ederek nihai levha üretilmektedir.

2.3.1. Soğuk haddeleme

Soğuk haddeleme malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı altında haddelenmesi işlemdir. Sac, folyo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitli ürünlerin elde edilmesinde kullanılır. Soğuk haddeleme, düzgün bir yüzey, hatasız boyutlar ve yüksek mukavemet özellikleri sağlamasına karşın, şekillendirme için gerekli olan haddeleme kuvvetinin ve gücünün artmasına neden olur [19].

Soğuk haddeleme levhaların minimum boyutsal toleranslardaki kalınlıklarda daha iyi mekanik özellikler ve aynı zamanda özel fiziksel özelliklerde bununla birlikte iyi bir yüzey kalitesine sahip olarak üretilmesini mümkün kılar. bu yüzden haddeleme endüstrisinin hızla gelişen ve gelişmekte olan kollarından bir tanesidir [19].

Haddelenen malzemenin yapısının aşırı doymuş olması işlem esnasında deformasyon sertleşmesinin miktarını artırır. Bu sebeple aynı alaşımdan dökülmüş ve aynı deformasyon oranı uygulanmış ikiz merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhaların diğer yöntemlerle üretilmiş levhalara göre soğuk işlem sonunda % 20-50 daha yüksek mukavemete sahiptir [1].

Alaşımlı malzemelerde deformasyon artmasıyla tokluk artabilir. Bunun nedeni birincil çökelmelerdir. Bu çökelmeler döküm yapısında yoğun bir ağ oluşturur. % 40'ın üzerindeki bir deformasyonla bu ağ kırılır ve deformasyon daha homojen yayılarak tokluk artar [2].

Deformasyon esnasında metalin mikro yapısı birçok şekilde değişir. İlk olarak tanelerin şeklinde bir uzama ve toplam tane sınırı alanında bir artış gözlenir. Deformasyon esnasında sürekli üretilen dislokasyonların birleşmesiyle yeni tane sınırları oluşur. İkinci gözlenen özellik ise dislokasyonların toplaşması sebebiyle elektron mikroskobu seviyesinde gözlenebilen tanelerin içinde görülen iç yapılardır [20].

Malzemeye akma gerilmesinden daha yüksek gerilme uygulandığı durumda malzemenin içinde bulunan dislokasyonlar kaymaya başlar. Sonunda, kayma düzleminde hareket eden bir dislokasyon, dislokasyon çizgisi uçlarını tutan engellerle karşılaşır. Gerilme uygulanmaya devam edildiği takdirde dislokasyon hareketine merkezden kavışarak halka oluşturuncaya dek devam edebilir ve halkayı tamamlayarak yeni bir dislokasyon üretir. Bu mekanizmaya Frank-Read kaynağı adı verilir. Bu mekanizma malzemede artan dislokasyon yoğunluğunun sebebini açıklamaktadır. Deformasyon süresince harcanan enerjinin bir kısmı dislokasyon enerjisine çevrilerek depo edilir. Yeni oluşanlarla birlikte dislokasyonların miktarı arttıkça (yaklaşık 10^{10} cm^2) birbirleriyle etkileşerek malzemenin mukavemetini artırmaktadır. Soğuk işlem aynı zamanda taneleri belirli bir kristalografik doğrultu ve düzlemlerde uzamalarını ve yönlenmelerini sağlayarak, malzemenin anizotropik davranış sergilemesine neden olur [18, 21].

Hadde tezgâhı, malzemenin merdaneler arasından geçirilerek istenilen şekli almasını sağlar. Bir hadde tezgâhı merdanelerden, yataklardan, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı motordan ibarettir [19].

Bir hadde tezgâhında merdaneler üst üste yataklanarak yerleştirilirler. Hadde kasasında merdanelerin yatay ve düşey konumlarının ayarlayabilen düzenler vardır. Düşey yöndeki ayarlama ile merdaneler arası açıklık değiştirilerek haddelenen malzemenin çıkış yüksekliği kontrol edilir. Yatay yöndeki ayarlama ise merdanelerin birbirine göre konumunu belirler. Hadde tezgahının en önemli parçalarından biri olan merdaneler, haddeleme işleminin yapıldığı gövde kısmı, gövdeyi taşıyan ve yatak içinde dönen muylu kısmı ve merdanelerin dönen şaftlara bağlandığı kavrama kısmı olmak üzere üç kısımdan meydana gelir [19].

Küçük çaplı merdanelerle, haddeleme için gerekli kuvvet azalır. Ancak küçük çaplı iş merdanelerinin kuvveti ve rijitliği azaldığından, iş merdanelerinin daha büyük çaptaki destek merdaneleri ile desteklenmesi gerekir. Bu düşünce ile çok merdaneli düzenler geliştirilmiştir [19].

2.3.2. Isıl işlem

İstenen mekanik özelliklerde malzeme üretebilmek için soğuk haddeleme işlemi arasında ve/veya sonrasında malzemeye çeşitli ısıtım işlemleri uygulanır. Bazı durumlarda ise istenen haddeleme ile istenen kalınlıklara sorunsuz şekilde inebilmek için ısıtım işlemi bir zorunluluk olabilir. Üretim koşullarında malzemeye farklı amaçlarla farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtım işlemi uygulanabilir.

2.3.2.1. Homojenizasyon ısıtım işlemi

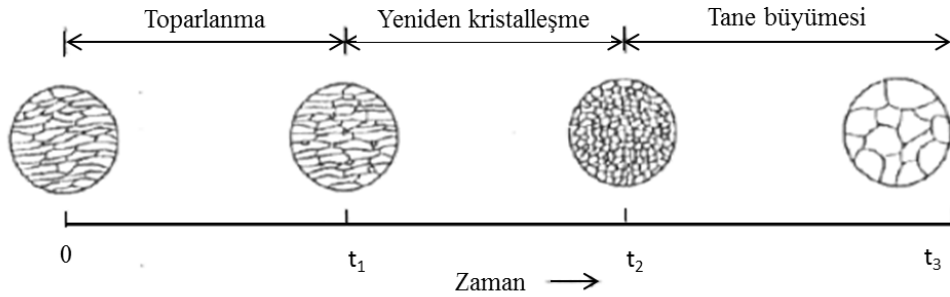
Döküm yapısından gelen aşırı doymuşluk ve segregasyonun yok edilmesi amacıyla yapılan ısıtım işlemidir. Bu tavlama ile çökeltilerin katı çözelti içine alınması ve atomların kafes yapısı içinde homojen dağılması amaçlanır. Yapı içindeki hareketleriyle atomların kendilerini yeniden düzenleyip denge durumuna gelebilmesi için uygun sıcaklık ve yeterli süre olması gerekir. Tane segregasyonu ve aşırı doymuşlukta atomlar dengesiz bir durumdadır. Ani katılaşma nedeni ile difüzyon için gereken süreyi bulamamışlardır. Döküm yapısı deforme edildiğinde atomların hızlı yer değiştirmesi için şartlar daha uygundur. Oluşan dislokasyonlar ve yapı hataları difüzyonun yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Malzemenin 550-630°C

sıcaklık aralığında tutulmasıyla difüzyon gerçekleşir ve bazı deforme edilmesi zor fazlar dönüşüm geçirirler [22].

2.3.2.2. Yeniden kristalleşme ısı işlemi

Yeniden kristalleşme olayı bir metalin önemli miktarda soğuk deformasyon ile tanelerinin uzaması ve sonrasında ergime sıcaklığının yarısına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta bekletilmesi ile gerçekleşmektedir [23].

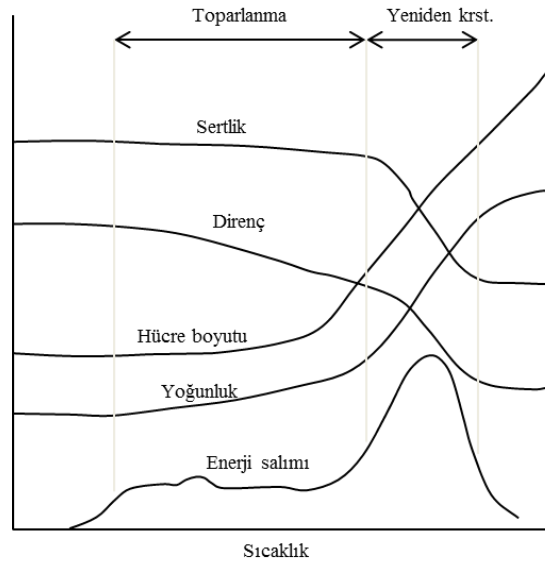
İşlem esnasında malzeme incelendiğinde t_1 süresine kadar bir değişiklik gözlenmez. t_1 anında matristeki soğuk işlem görmüş tanelerin arasından yeni yeni taneler çekirdenlenmeye başlar. Yeni çekirdeklenen bu taneler, deforme olmuş tüm tanelerin yok olduğu t_2 anına kadar hızlıca, daha yavaş bir hızla nihai tane boyutuna ulaşılan t_3 anına kadar büyümeye devam eder (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Yeniden kristalleşmenin şematik gösterimi [23].

Atomik hareketi artıran sıcaklık yükselmesiyle yeniden kristalleşme hızı artar. Bu yüzden verilen bir tavlama süresinde belirli bir sıcaklığa çıkılmazsa yeniden kristalleşme gerçekleşmez. Yeniden kristalleşmenin başlaması alaşıma ve malzemenin soğuk deformasyon miktarına bağlıdır. Farklı miktarda soğuk işlem görmüş saf alüminyumun yeniden kristalleşme sıcaklıkları Çizelge 2.1’de verilmiştir [4].

Yeniden kristallenme işlemi süresince malzemenin özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. t_1 süresine kadar devam eden toparlanma işlemi boyunca ciddi değişikliklerin gözlenmediği Şekil 2.11’de görülmektedir. t_1 ve t_2 süreleri arasında yeniden kristallenme ile birlikte malzemenin sertliği ve elektriksel direnci düşer, iletkenliği, yoğunluğu ve hücre boyutu artar. Yeniden kristallenme süresince ciddi bir enerji salınımı gözlenmektedir [23].



Şekil 2.11 : Yeniden kristalleşme işlemi süresince özelliklerin değişimi [23].

Alaşım ilaveleri veya disperse olmuş çökelti halinde bulunan Cr, Fe, Mn, V veya Zn gibi geçiş metalleri yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir. Tavlama süresi ne kadar kısa ise yeniden kristalleşme sıcaklığı o derece yüksektir. Soğuk işlem miktarı arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı düzenli olarak azalır [4].

Çizelge 2.1 : Saf alüminyum için yeniden kristalleşme sıcaklıkları [4].

Soğuk işlem oranı (%)	%100 Yeniden kristalleşme sıcaklığı (°C)
5	500
20	400
40	360
80	320
98	300

Yeniden kristalleşmiş bir malzemenin tane boyutunu etkileyen en önemli unsurlar orijinal tane boyutu, soğuk işlem miktarı, ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı, süresi ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Gereğinden fazla süre yapılan yeniden kristalleşme işlemi sonunda, yeniden kristalleşen taneler büyür ve malzemede portakallanma kusuruna sebep olur [4, 24].

Düşük miktar plastik deformasyondan sonra yapılan yeniden kristalleşme işlemi sonunda büyük taneler gözlenir. Yüksek ısıtma hızlarında ince taneler elde edilirken, düşük ısıtma hızlarında yeniden kristalleşme öncesi gerilimleri gider ve böylece malzeme ince bir tane yapısı için yeterince gerilim enerjisine sahip olamaz. Yüksek tavlama sıcaklığı tane gelişimi için önemlidir çünkü difüzyon yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır. Tavlama süresi yeniden kristalleşmenin gerçekleşmesine izin verecek kadar uzun olmalıdır [24].

Yeniden kristalleştirme tavı soğuk işlem sonucunda oluşan bozulmuş yapının düzeltilmesi ve soğuk işlemin etkisinin giderilmesi amacıyla kullanılır. Levha dökümdeki aşırı doymuşluk yeniden kristalleşmenin gecikmesine neden olur. Soğuk haddeleme öncesi homojenizasyon tavlama aşırı doymuşluğu azaltır [2].

2.3.2.3. Gerilim giderme ısıl işlemi

Soğuk işlem etkisini kısmi olarak gidermek amacı ile yeniden kristalleşme sıcaklığı altında yapılan ısıl işlemdir. Toparlanma ısıl işlemi sonucunda soğuk işlem deformasyonunun oluşturduğu dislokasyonlar, toplam sayılarını çok azaltmadan, daha düşük enerji dağılımında düzenlenir. Bunun sonucu olarak malzemede bloke olmuş kayma düzlemleri tekrar harekete geçebilecek duruma gelir. Malzemenin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti azalırken uzama miktarı artar.

Çizelge 2.2 : Malzemenin durumuna göre dislokasyon yoğunluğu [1].

Durum	Dislokasyon yoğunluğu (1/cm ²)
Soğuk işlem sonunda	10^{12}
Gerilim giderme ısıl işlemi sonunda	10^{10}
Yeniden kristalleşme ısıl işlemi sonunda	10^7-10^8

Gerilim giderme işlemi esnasında soğuk işlemten dolayı oluşan yoğun dislokasyon ağı, dislokasyonların hareket ederek alt tane sınırlarında kendileri yeniden düzenlemeleri sonucunda parçalanır ve malzemede dislokasyon yoğunluğu azalır. Çizelge 2.2’de farklı durumdaki malzemelerin dislokasyon yoğunluğu verilmiştir.

2.4. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilen Alaşımlar

İkiz merdaneli döküm sağladığı pek çok ekonomik kazanç ve kolaylıktan ötürü alüminyum levha üretimi için tercih edilir bir yöntemdir ve alüminyum endüstrisinde 50 seneyi aşkın süredir kullanılmaktadır. Yapısı ve özelliklerinden dolayı üretimde birtakım kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Ticari olarak kullanılan ikiz merdaneli döküm hatlarında katılaşma bölgesi dardır. Bu nedenle bu yöntemle üretilen alaşım çeşidi azdır. Ticari olarak ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilen alaşımlar diğerlerine göre daha düşük katılaşma aralığına sahip olan AA 1xxx, 3xxx, 5xxx ve 8xxx alaşımlarıdır. Bu alaşımlar dışında akademik çalışmalarda geniş katılaşma aralıklı 2xxx, 4xxx, 6xxx, ve 7xxx alaşımları da bu yöntem ile üretilmiştir. Bu alaşımların günümüz teknolojisinde ticari olarak TRC ile üretilmeleri zordur ve ekonomik nedenlerle tercih edilmemektedir [25-27].

2.4.1. 5xxx serisi alüminyum alaşımları

5xxx serisi alaşımlarda ana alaşım elementi magnezyumdur. Katı halde magnezyum elementinin alüminyum içerisinde çözünübilirliği %17,1'dir (Şekil 2.12) ancak işlem alaşımlarında %5,5'ten daha fazla kullanılmamaktadır [28].

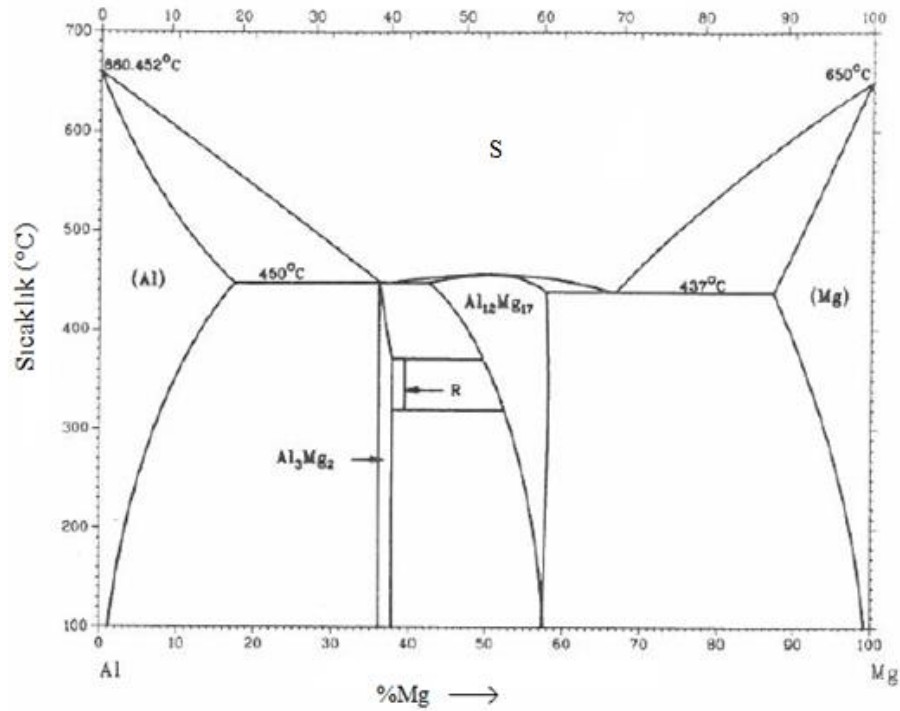
Orta ve yüksek derecede mukavemet ve sertlik ile tanımlanan 5xxx serisi alaşımlarının en önemli karakteristiği tuzlu suya ve denizel atmosfer dahil olmak üzere korozyon dayanımıdır. Korozyona karşı dayanıklı oluşu yiyecek ve içecek işleme alanlarında yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır [29].

Mükemmel kaynaklanabilirlik özellikli alüminyum-magnezyum alaşımları mimari ve dekoratif amaçlı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu alaşımlar iyi mekanik işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptir ve döküm halinde, işlenmiş, parlatılmış ya da anodize edilmiş halde olması fark etmeksizin iyi bir görünüme sahiptir [29].

Kimya sektöründe kimyasallara ve basınca dayanıklı tankların üretiminde, inşaat sektöründe destekleyici ara elemanların, yer döşemelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Tabela, işaret levhası, konteyner, tır kasası, garaj kapıları, mimari uygulamalar, meşrubat kutusu, mutfak tipi uygulamalar ve otomotiv sektöründe de kullanımları vardır [19].

Magnezyum tek başına alaşım elementi olarak kullanıldığında veya mangan ile birlikte yapıda mukavemeti artırıcı etki gösterir. Yapıya mukavemet kazandırma konusunda magnezyum daha güçlüdür, %0,8 Mg ilavesi %1,25 Mn ilavesine denktir ve yüksek miktarlarda eklenebilir. Yüksek alaşımlı malzemenin gerilmeli korozyon çatlamasının önüne geçmek için soğuk işlem miktarına sınırlama getirilmelidir ve uygun sıcaklık koşullarında çalışılmalıdır [30].

5xxx serisi alaşımlarının tipik karakteristikleri süreksiz akma göstermeleri ve içyapılarında merkez hattı segregasyonu bulundurmalarıdır. Yapıda magnezyumun büyük bölümü çözülmüştür ve denge dışı koşullarda veya tav esnasında Mg_5Al_8 fazı oluşur. Yapı içerisindeki silisyum elementi Mg_2Si fazı oluşumunu sağlar ve bu faz %3-4 Mg içeren alaşımlarda matriste çözünmez. Düşük magnezyumlu alaşımlardaki demir ve yüksek miktarda silisyum, Fe_2SiAl_8 fazının oluşumuna sebep olur [3].

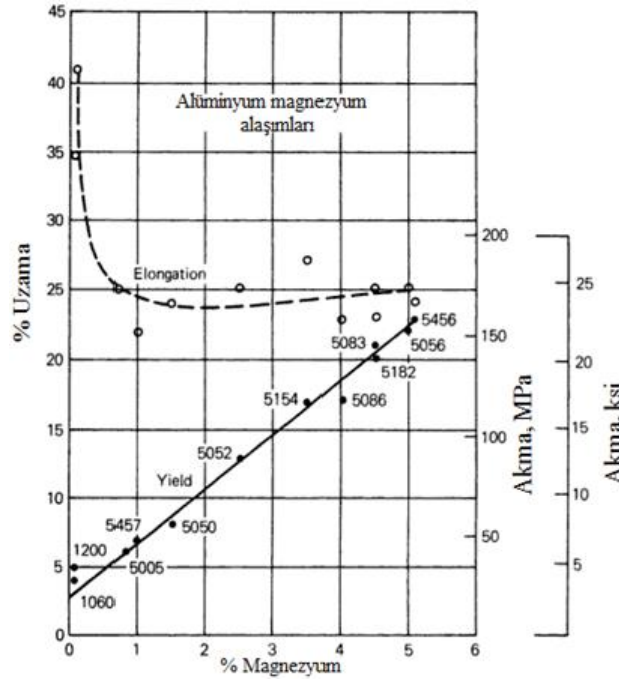


Şekil 2.12 : Alüminyum Magnezyum ikili faz diyagramı [30].

Alaşımdaki magnezyum miktarı arttıkça mukavemet artar, süneklik azalır. Farklı miktarda Mg içeren ticari Al-Mg alaşımlarının akma mukavemeti ve uzama ilişkileri Şekil 2.13’de görülmektedir.

Magnezyumun refrakter malzemeleriyle yüksek reaksiyon ve oksitlenme eğilimi mevcuttur ve bu döküm işleminde ergimiş metale büyük miktarlarda inklüzyonun

girmesine sebep olur. %0.05 mertebesindeki berilyum elementi ilavesi ile bu oksidasyon azalır [3].

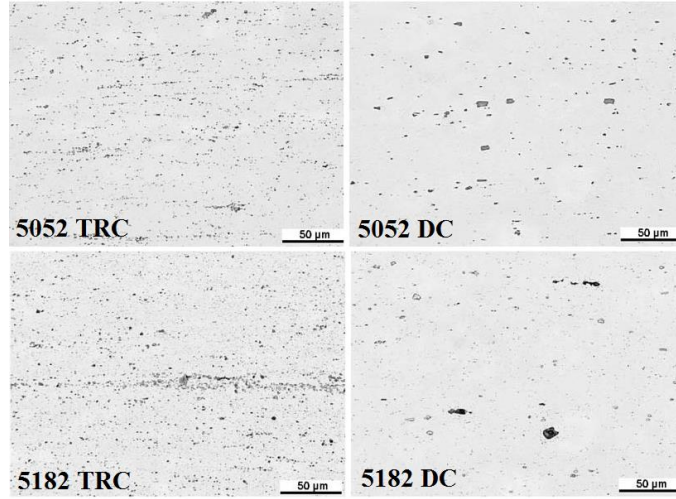


Şekil 2.13 : Magnezyum miktarı etkisiyle değişen mekanik özellikler [30].

Alaşım içerisindeki magnezyum oksitlenme hızını artırır. Ergimiş halde önemli miktarlarda magnezyum kaybı olur. Alüminyumun ve magnezyumun oksitleri döküm kalitesini etkilemektedir. Yüksek sıcaklıkta alüminyum ve magnezyum oksit spinelleri oluşmaktadır [29].

Mikroyapıda bulunan sınırlı miktardaki ötektik yapı ve ısıt işlemler sonucu göreceli olarak daha yüksek mukavemetlere sahip kaynaklar elde edilebilmesi Al-Mg alaşımlarının kaynaklı yapılarda çok sıklıkla kullanılmasını sağlar. Ancak dendritler arası bölgede segregasyonun artmasına sebep olan elementlerin bulunması kaynak bölgesinin gevrekliğini ve kırılma eğilimini artırır [3].

5xxx serisi alaşımların da diğer alüminyum alaşımlarında olduğu gibi elementer bileşimleri ile kondisyon ve mekanik özellikleri standartlar ile sınıflandırılmıştır. Ancak aynı alaşımların farklı üretim metotları ile üretilmesi ile farklı özelliklere sahip olması mümkündür. TRC ile üretilmiş alüminyum alaşımlarının mikroyapısının yönlendirilmiş olmasından dolayı DC ile üretilenlerden farklıdır ve derin çekme gibi uygulamalarda kullanımı limitlidir.



Şekil 2.14 : 5052 ve 5182 TRC ve DC levhalarında ikincil faz dağılımları [31].

Slamova ve diğerleri, TRC ve DC ile üretilen 5052 ve 5182 alaşımlarının mikroyapı karakterizasyonunu yaparak farklılıklarını ortaya koymuşlardır. TRC ile üretilen levhalar daha ince yapıda ve daha fazla ikincil faz parçacıklar içermektedir. Daha fazla alaşım elementi içeren 5182 alaşımının TRC dökümde merkez hattı segregasyonu dikkat çekmektedir (Şekil 2.14).

2.4.1.1. AA 5005 alaşımı

5xxx serisinin düşük magnezyum içeren alaşımı 5005 orta derecede mukavemet ve korozyona karşı dayanımı ile karakterize edilir. Ana alaşım elementi olan magnezyumun yapıdaki miktarı %0,5-1,1 arasındadır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : AA5005 Alüminyum alaşımının alaşım bileşimi [30].

EN	DIN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V	Ti	Al
5005	AlMg1	0.30	0.70	0.2	0.2	0.50-1.1	0.1	0.25	...	...	Kalan

5005 alaşımı alüminyumun tipik olarak kullanım alanları mutfak gereçleri, elektronik aletler, elektrik iletken kablolar, mimari uygulamalardır [30]. Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4 : AA5005 alaşımı alüminyum levhaların mekanik özellikleri [32].

Kond.	Belirtilen Kalınlık (mm)		Çekme M. Rm		Akma M. Rp0.2		Uzama		Eğme Yarıçapı		Sertlik
	den çok	' e kadar	(MPa)		(MPa)		%		180	90	
			min.	maks.	min.	maks.	A 50mm	A			
F	2,5	80	100	...	...	...	...	...	...	...	...
0 / H111	0,2	0,5	100	145	35	...	15	...	0 t	0 t	29
	0,5	1,5	100	145	35	...	19	...	0 t	0 t	29
	1,5	3	100	145	35	...	20	...	0,5 t	0 t	29
	3	6	100	145	35	...	22	...	1 t	1 t	29
H 12	0,2	0,5	125	165	95	...	2	...	1 t	0 t	39
	0,5	1,5	125	165	95	...	2	...	1 t	0,5 t	39
	1,5	3	125	165	95	...	4	...	1,5 t	1 t	39
	3	6	125	165	95	...	5	...	...	1 t	39
H 14	0,2	0,5	145	185	120	...	2	...	2 t	0,5 t	48
	0,5	1,5	145	185	120	...	2	...	2 t	1 t	48
	1,5	3	145	185	120	...	3	...	2,5 t	1 t	48
	3	6	145	185	120	...	4	...	...	2 t	48
H15	0,2	0,5	155	195	133	...	2	...	...	...	...
	0,5	1,5	155	195	133	...	2	...	...	...	...
	1,5	3	155	195	133	...	3	...	...	...	...
	3	6	155	195	133	...	4	...	...	...	...
H 16	0,2	0,5	165	205	145	...	1	...	...	1 t	52
	0,5	1,5	165	205	145	...	2	...	...	1,5 t	52
	1,5	3	165	205	145	...	3	...	...	2 t	52
	3	4	165	205	145	...	3	...	...	2,5 t	52
H17	0,2	0,5	175	...	155	...	1	...	...	...	...
	0,5	1,5	175	...	155	...	2	...	...	...	...
	1,5	3	175	...	155	...	3	...	...	...	...
	3	4	175	...	155	...	3	...	...	...	...
H 18	0,2	0,5	185	...	165	...	1	...	...	1,5 t	58
	0,5	1,5	185	...	165	...	2	...	...	2,5 t	58
	1,5	3	185	...	165	...	2	...	...	3 t	58
H19	0,2	0,5	205	...	185	...	1	...	...	...	64
	0,5	1,5	205	...	185	...	2	...	...	...	64
	1,5	3	205	...	185	...	2	...	...	...	64

Kond.	Belirtilen Kalınlık (mm)		Çekme M. Rm		Akma M. Rp0.2		Uzama		Eğme Yarıçapı		Sertlik
	den çok	'e kadar	(MPa)		(MPa)		%		180	90	(BS)
			min.	maks.	min.	maks.	A 50mm	A			
H 22 / H32	0,2	0,5	125	165	80	...	4	...	1 t	0 t	38
	0,5	1,5	125	165	80	...	5	...	1 t	0,5 t	38
	1,5	3	125	165	80	...	6	...	1,5 t	1 t	38
	3	6	125	165	80	...	8	...	...	1 t	38
H 24 / H 34	0,2	0,5	145	185	110	...	3	...	1,5 t	0,5 t	47
	0,5	1,5	145	185	110	...	4	...	1,5 t	1 t	47
	1,5	3	145	185	110	...	5	...	2 t	1 t	47
	3	6	145	185	110	...	6	...	...	2 t	47
H25	0,2	0,5	155	195	123	...	3	...	...	...	...
	0,5	1,5	155	195	123	...	4	...	...	...	...
	1,5	3	155	195	123	...	5	...	...	...	...
	3	6	155	195	123	...	5	...	...	...	...
H 26 / H 36	0,2	0,5	165	205	135	...	2	...	...	1 t	52
	0,5	1,5	165	205	135	...	3	...	...	1,5 t	52
	1,5	3	165	205	135	...	4	...	...	2 t	52
	3	4	165	205	135	...	4	...	...	2,5 t	52
H27	0,2	0,5	175	...	148	...	2	...	...	...	...
	0,5	1,5	175	...	148	...	3	...	...	...	...
	1,5	3	175	...	148	...	4	...	...	...	...
	3	4	175	...	148	...	4	...	...	...	...
H 28 / H 38	0,2	0,5	185	...	160	...	1	...	...	1,5 t	58
	0,5	1,5	185	...	160	...	2	...	...	2,5 t	58
	1,5	3	185	...	160	...	3	...	...	3 t	58

Ergime sıcaklığı 652, katılaşma sıcaklığı 632°C olan 5005 alaşımının tavlama sıcaklığı 345°C'dir. Anodize edildiğinde renksiz ve düzgün bir tabaka oluşturduğu için mimari uygulamalarda 6063 ekstrüzyon ürünlerle birlikte kullanılabilir [30].

5005 alaşımlarının kullanım alanları özellikle yapı-inşaat sektöründe yoğunlaşmaktadır. Bu sektörde çatı kaplamalarında, dış cephe kaplamalarında, kompozit panel yapımında, oluklu levha tabelalarda kullanılmaktadır. Bunun dışında yol işaretlerinde ve plakalarda, yiyecek ve kimya ekipmanlarında, mobilyalarda, anodize edilecek parçalarda, HVAC ekipmanlarında, paketlemede, boru ve tiplerde, konserve kutularda kullanılmaktadır. Bunlar dışında alüminyum alaşımlarının kullanılabileceği ve özellikle ortam koşullarından dolayı korozyon dayanımı beklentisi olduğunda 5005 alaşımları kullanılabilir.

3. ALÜMİNYUMUN ANODİK OKSİDASYONU

Birçok metalin, havaya veya uygun bir elektrolit ortamında anodik polarizasyona maruz kaldığında yüzeyinde oksit tabakası oluşturma eğilimi vardır. Bu oksit tabakası paslanmaz çelikte olduğu gibi birkaç atom boyu kalınlıkta ya da paslı bir demirdeki gibi birkaç milimetre uzunluğunda olabilir [33].

Tipik atmosferik koşullar altında alüminyum üzerinde hızlıca doğal, pasif bir oksit tabakası oluşmaktadır ve zarar gördüğünde kendiliğinden yenilenmektedir. İnce ve düzensiz yapıdaki bu oksit tabakası belirli bir seviyeye kadar korozyon dayanımını sağlamaktadır. Alüminyumun anodik oksidasyonu, kontrollü ve istemli olarak alüminyumun yüzeyinde düzenli, sürekli ve koruyucu bir oksit tabakası oluşturma işlemidir. Atmosferik koşullarda korozyon dayanımı yüksek olan alüminyum, endüstri (Kükürt, kir, toz) ve deniz atmosferinde de dayanım sağlamaktadır. Bu ortamlarda otuz yıl boyunca korozyon etki altında kalan alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık % 9- 13 kadardır [34, 35].

Alüminyumun elektrokimyasal özellik bakımından önem kazanmasının nedeni, pozitif potansiyele sahip olduğunda yüzeyinde oksit tabakası geliştirmesidir. Bu oksit tabakası sayesinde malzeme ile elektrolit arasındaki reaksiyon engellenmektedir [36].

Doğal olarak oluşan oksit tabakasını kalınlaştırma fikrini ilk kez Buff 1857 yılında ortaya koymuştur. Buff, alüminyumu bir elektroliz hücresinde anot olarak yerleştirdiğinde, üzerinin bir oksit tabakası ile kaplandığını gözlemlemiştir. Bu fikir yirminci yüzyılın başlarında büyük bir merak konusu olmuştur ve konu ile ilgili ilk patent Saint-Martin tarafından 1911'de demir sülfat içeren bir sülfür ortamında yapılan anodizasyon işlemi için alınmıştır [37].

1923 yılında Bengough ve Stuart tarafından geliştirilen ilk ticari anodizasyon banyosu ile birlikte yaygınlaşan araştırmalar günümüzde hala devam etmektedir ve alüminyum anodizasyonu banyoları için alınmış binlerce patent bulunmaktadır [35].

Anodizasyon pek çok farklı amaç için yapılabilir:

- Alüminyum ürünlere dekoratif görüntü katmak
- Kötü hava koşullarına karşı koruma
- Yüzeyde sertliği ve abrasif aşınmaya karşı direnci artırma
- Organik kaplamalara (yapışkanlar, boya, lak) karşı tutunmayı artırma
- Optik özellikleri (reflektivite) değiştirme
- Dielektrik özellikleri (yalıtkanlık) değiştirme

Pek çok araştırmacı anodik oksit film tabakasının oluşumunu ve mikroyapısının reaksiyon koşullarına bağlılığını anlamak üzere çalışmalar yapmıştır. Sonunda, aynı elektrolit bileşimini kullanarak farklı operasyon koşullarında malzemeyi anodize etme, elektroparlatma veya dağlamanın mümkün olduğu ortaya koyulmuştur. Yüksek akımda çalışıldığında malzeme üzerindeki pürüzlerin düzgünleşmesiyle ince ve viskoz bir tabaka gelişmekte, böylelikle elektroparlatma gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, oluşan reaksiyon ürünü bir miktar çözülebilir bir bileşen ise dağlama gerçekleşir [36].

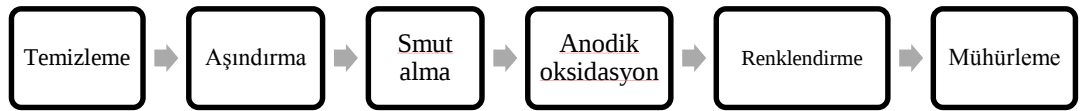
Anodizasyon işleminin temeli elektrokimya prensiplerine dayanmaktadır: anot elektrolit içerisine konulur ve akım elektrolit içinden geçerken anyonlar anota gider. Burada anyon bir veya birkaç elektron kaybederek deşarj olur. Sulu çözeltilerde anyon oksijenden oluşmaktadır ve alüminyum yüzeyine tutunur. Tutunma devam ettikçe yüzeyde Al_2O_3 tabakası oluşur. Oluşan bu film elektrolit içerisinde kısmen çözülebilir yapıdadır ve bu da filmde yerel çözünmelere neden olur. Böylelikle film üzerinde porlar oluşur ve akım porlar sayesinde metale ulaşmaya devam eder. Film kalınlığı artıp ile birlikte elektrik direncin de artmasıyla filmdeki uzama yavaşlar. Film büyüme hızı yavaşlayıp çözünme hızına eşit olduğunda film kalınlığı sabitlenir [34].

Anodizasyonun farklı tipleri, farklı amaçlar için kullanılabilir:

- Sülfürik asit anodizasyon genellikle atmosferik korozyona karşı ve yüzey görüntüsünü koruma amaçlı;
- Kromik asit anodizasyon çoğunlukla uzay ve havacılık endüstrisinde 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlarda;
- Renkli anodizasyon mimaride;

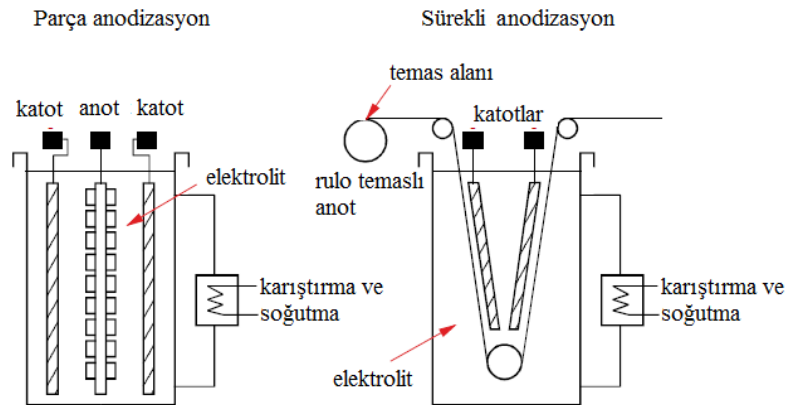
- Fosforik asit anodizasyon yapıştırma uygulamalarından önce, ön işlem olarak;
- Bariyer tabaka anodizasyon kapasitör gibi elektrik uygulamalarda;
- Sert anodizasyon yüzey sertliğinin artması istenen uygulamalarda;
- Elektrolitik parlatmada [37].

Genellikle anodizasyon işlemi malzemenin temizlenmesi ile başlar (Şekil 3.1). Temizlenen parça daha dağlama da denilen aşındırma banyosundan geçtikten sonra üzerinde kalan smutları temizlemek için smut alma işlemine tabi tutulur. Temizlenen alüminyum malzeme daha sonra anodik oksidasyon işleminin gerçekleşeceği banyoya aktarılır. İşlemi bittiğinde isteniyorsa renklendirilir ve son olarak mühürleme işlemi yapılır. İşlem banyoları arasında malzeme su ile durulanır.



Şekil 3.1 : Anodizasyon prosesi şeması.

Alüminyum malzemelere anodizasyon farklı yöntemlerle uygulanabilir. Küçük parçalara, profillere veya levhalara “parça anodizasyon”, rulolara ise sürekli hatlarda anodizasyon işlemi yapılmaktadır. Parça anodizasyonda işlem yapılacak malzemeler daldırma yöntemi ile sırayla işlem kuvvetlerine bırakılır (Şekil 3.2). Sürekli anodizasyonda ise hattın başında rulo bağlanır ve en sonunda işlemi tamamlanmış vaziyette sarıcı merdaneden alınır.



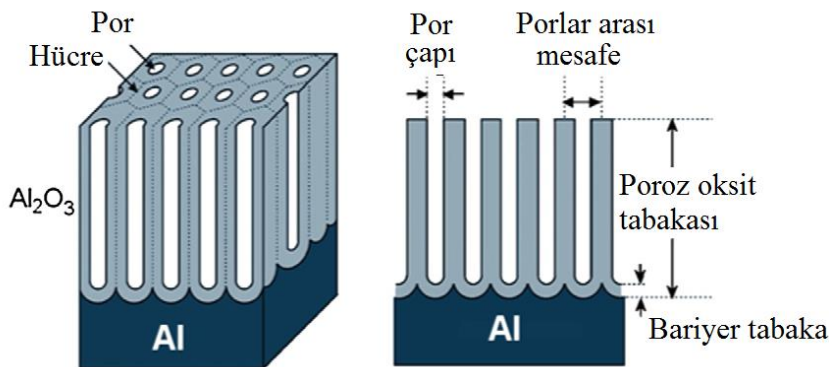
Şekil 3.2 : Parça anodizasyon ve sürekli anodizasyon banyosu [41].

3.1. Anodik Oksit (Alümina) Tabakası

Diğer metallerin oksitlerinden farklı olarak, alüminyumun oksit tabakası asit çözeltilere karşı alkali çözeltilere olduğundan daha dayanıklıdır. Bu durum alüminyum oksiti özel kılmaktadır. Fosforik asit, oksalik asit, nitrik asit ve sülfürik asitteki kısıtlı çözünebilirliği anodik oksit tabakasının çok geniş uygulamalarda kullanılmasını sağlamaktadır. Ancak klorür ve yüksek sülfür içerikli çözeltilerde kullanımında dayanıklılığı daha azdır [36].

Anodik film tabakası iki katmandan meydana gelmektedir: öncelikle metal yüzeyi üzerinde sıkı, kompakt ve bariyer adı verilen oksit katman oluşur. Bu tabaka yalıtıcıdır ve potansiyel uygulandığında dielektrik bozunma meydana gelir ve küçük delikler oluşur. Daha sonra elektrolitin bu deliklerden penetre olması ile oksit büyümesi gerçekleşir böylelikle ikinci katman olan poroz yapı meydana gelir [33]. Tabakaların özellikleri proses parametreleri ile kontrol edilebilmektedir.

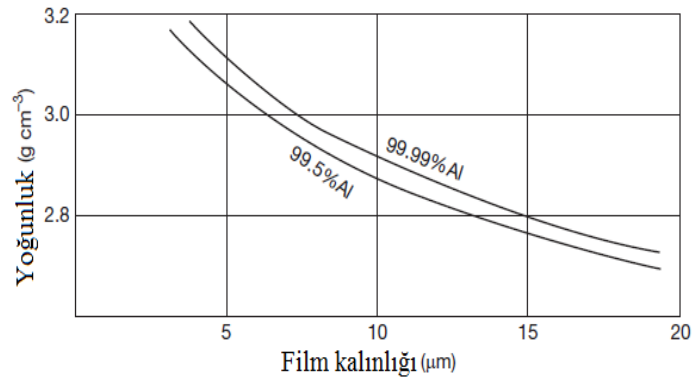
Alüminyumun anodik oksit tabakası, alüminyum substrat üzerinde yüzeye dik ve birbirine paralel nanoporların sıkı paket hekzagonal dizi şeklinde tanımlanabilir. Por yapısının karakterize edildiği parametreler: por dizilişi (hekzagonal), por çapı, porlar arası mesafe (hücre çapı), duvar kalınlığı, por uzunluğu ve bariyer tabaka kalınlığıdır (Şekil 3.3). Anodizasyon işlem parametrelerinin kontrolü ile por çapı için 10-400 nm, porlar arası mesafe için 50-600 nm, por boy-en oranı 10-5000, poroz tabaka kalınlığı 10 nm-150 μm , por yoğunluğu 10^9 - 10^{11} cm^{-2} ve gözeneklilik %5-%50 arasında değiştirilebilmektedir. Poroz tabakanın kalınlığı anottan geçen elektrik yüküne bağlıdır. Moleküler hacim olarak incelendiğinde oluşan film, üzerindeki malzemeden 1,5 kat daha fazladır [38, 39].



Şekil 3.3 : Anodik oksit tabakasının şematik çizimi [38].

Anodik filmin asıl bileşeni alüminyum oksittir ve amorf Al_2O_3 ile γ - Al_2O_3 olarak bir miktar monohidrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ile birlikte yapıda bulunur. Ortamda nem olduğunda susuz Al_2O_3 ve γ - Al_2O_3 zamanla monohidrata dönüşür ve film yapısındaki su miktarı bu nedenle değişir. Sülfürik asitte anodize edilmiş alüminyuma kaynar suda mühürleme işlemi yapıldığında hidrata dönüşmüş film yaklaşık %70 Al_2O_3 , %17 H_2O , %13 SO_3 bileşenindedir. Filmdeki anyon içeriği film karakteristiğini etkileyen önemli bir faktördür. Oksalik, sülfürik, borik ve fosforik asit içerisinde işlem yapılırken anyon türleri film yapısına geçmektedir. Anyon etkileşimi çoktan aza doğru sırasıyla sülfürik > fosforik > oksalik > kromik asit şeklinde gerçekleşmektedir. Farklı araştırmalar sonucunda film kalınlığı boyunca sülfür miktarının %4 ile %18 arasında değiştiği ortaya konmuştur [40].

Anodik film tabakasının yoğunluğu anodizasyon koşulları ve film kalınlığı ile değişmektedir. Şekil 3.4'te farklı saflıktaki alüminyumun sülfürik asitte anodize edilmesiyle oluşan filmin kalınlıkla değişen yoğunluğu görülmektedir. Buna göre film kalınlığının artması ile yoğunluk önemli derecede azalmaktadır. Anodize alüminyum için İngiliz Standartlarında yoğunluk mühürlenmemiş anodik film için 2.5 g/cm^3 , mühürlenmiş olan ise 2.7 g/cm^3 olarak kabul edilmiştir [40].



Şekil 3.4 : Film yoğunluğunun kalınlık ile değişimi [40].

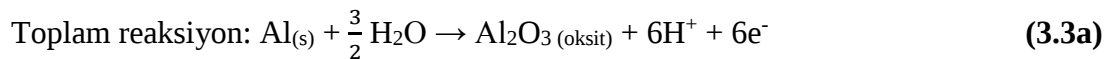
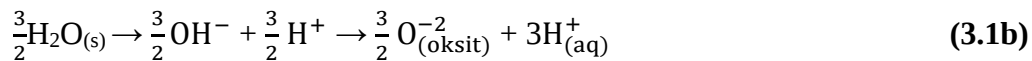
Moh's sertlik skalasında anodik film 7 ile 8 arasında bir değer almaktadır, buna göre sertlik olarak kuvars ve topaz arasındadır. Diğer parametrelerde olduğu gibi sertlikte de işlem koşullarından önemli miktarda etkilenmektedir. Seyreltik elektrolitlerde düşük sıcaklık ve yüksek voltajda yapılan işlemde aşınma direnci çok yüksek, kompakt, 50-75 μm kalınlıkları arasında ve 200-500 Vickers sertliğinde film üretmek mümkündür [40].

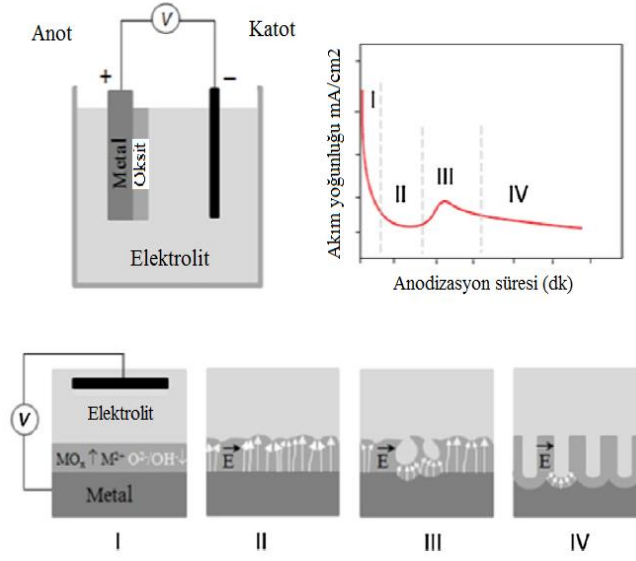
Anodizasyon ile oluşturulan film tabakasının termal genleşme katsayısı alüminyumunkinin beşte biri kadardır. Bu nedenle alüminyumun sıcaklığı 80°C üzerine çıkartıldığında film üzerinde çatlaklar görülmektedir. Oluşan çok ince ve kılcal çatlaklar eğer anodizasyon doğru koşullarda yapılmış ise filmin koruyucu özelliklerini kaybetmesine neden olmamaktadır. Film oksit film tabakasının soğuruculuğu nedeniyle anodizasyon işlemi alüminyumun ısı yansıtıcılığını düşürmektedir. Bu etki film kalınlığının ile artmaktadır [40].

3.2. Anodik Oksit Oluşum Mekanizması

Bir elektrolit içinde alüminyum devreye anot olarak bağlandığında ve devreden akım geçtiğinde anodizasyon işlemi başlamaktadır. İşlemin başlaması ile metalin üzeri tamamı ile sık ve düzgün bir oksit katmanı ile kaplanır. Tabakanın oluşması ile akım yoğunluğu aniden düşer (Şekil 3.5 - 1. Basamak). Elektrik alan (E)'nin dağılımı oksit tabakasındaki düzgünsüzlük ve inhomojenitelere bağlıdır. Bundan dolayı elektrik alanda yerel yoğunlaşmalar ve oksit-elektrolit arayüzünde çökeltmeler meydana gelir (2. Basamak). Bunun bir sonucu olarak elektrik alan desteğiyle oksit tabakada çözünmeler meydana gelir. Yerel çözünmeyle oluşan gözenekler üzerinde por büyümesi devam eder (3. Basamak). İyon hareketlerinin artması akım yoğunluğunun artmasına neden olur ve bu artış porlar bütün yüzeyi kaplayıncaya dek devam eder. Bu noktadan sonra işleme devam edildiğinde porlar oksit tabakası üzerinden uzamaya devam eder. Maksimum elektrik alan por uçlarındadır ve por duvarlarından aşağı gittikçe azalır. Bu sırada porlar uniform değildir. Por diplerinde oksit oluşumu ile bariyer tabakada oksit çözünmesi eş zamanlı devam eder. Sonunda por büyümesi yavaşlayarak durur ve porlar uniform dağılmıştır (4. Basamak).

Anodik hücrede gerçekleşen tepkimeler aşağıdaki gibidir:



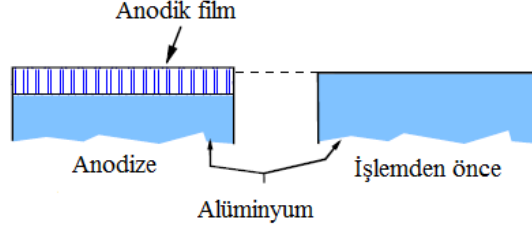


Şekil 3.5 : Anodik hücre elektrik bağlantısı ve anodik oksit oluşumu [38].

3.1a reaksiyonunda elektrik alan etkisiyle metal-oksit ara yüzünde alüminyumun çözünmektedir ve çözünen alüminyum iyonları anot dışına doğru hareket etmektedir. Aynı anda, sudaki OH⁻ iyonları H⁺ iyonları ile etkileşime geçmektedir ve Coulomb kuvvetleri yardımı ile katotta H⁺ iyonları indirgenmektedir (3.2a, 3.2b). Bu andan itibaren metal-oksit arayüzünde oksit oluşmaya başlar ve su ayrılarak (3.1b) oksijen iyonlarını elektrolite salar. Sonuç olarak su içeren (3.3a) veya içermeyen (3.3b) anodik film tabakası oluşur. Anodik alümina n 0 ile 3 arasında değer alacak şekilde Al₂O₃.(H₂O)_n formunda olabilir [36].

Por oluşum mekanizması tam anlamı ile açıklanamamakla birlikte, porların kendine kendine dizilmesinin sebebinin komşu porlarla arasındaki itme kuvvetleri olduğu kanısına varılmıştır. Alüminyum için por dizilişinin hacim genişlemesinden dolayı oluşan elastik gerilimlerden kaynaklıdır ve bu da mükemmel düzgünlükte silindirik ve altıgen düzene sahip olmasını sağlamaktadır [38].

Anodize edilirken alüminyumun çözülmesi ile bir miktar hacim kaybı meydana gelmektedir. Ancak oluşan oksit tabakası harcadığı alüminyumdan hacimde fazla olduğundan sonuçta işlem yapılan parçanın boyutunda artış gözlenmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Anodizasyon işleminden önce ve sonra parça boyutları [41].

3.3. Alüminyumun Anodizasyonuna Etki Eden Faktörler

3.3.1. Alaşım

Saf alüminyum pratik uygulamalarda kullanmak için çok yumuşak olmakla birlikte bilimsel çalışmalar dışında bulunması zordur. Ticari olarak kullanılmakta olan alüminyumun tamamı alaşım şeklindedir ve silisyum, demir, bakır, magnezyum gibi elementler içermektedir. Alaşımlar kimyasal bileşimi ile birlikte yapısal ve fiziksel özellik olarak da farklılıklar göstermektedir. Alüminyum alaşımlarının tamamı anodizasyona aynı tepkiyi vermemektedir ve malzemenin alaşım bileşimi ve mümkünse o alaşımın işlem için uygunluğu bilinmeden anodizasyon yapılmamalıdır. Çizelge 3.1’de farklı alüminyum alaşımlarının anodizasyon özellikleri verilmiştir [33, 42].

Anodizasyon işleminde görülen problemlerin birçoğu yanlış alaşım seçiminden kaynaklanmaktadır. İşlem yapılacak alaşım seçilirken alaşımın saflığına dikkat edilmelidir, alaşım miktarı arttıkça renkte ve kalınlıkta düzensizlikler meydana gelmektedir. Bakır ve silikon gibi alaşım elementlerinin anodizasyon işlemine olumsuz etkisi vardır ve gölgeli veya süreksiz bir görüntü yaratmaktadır.

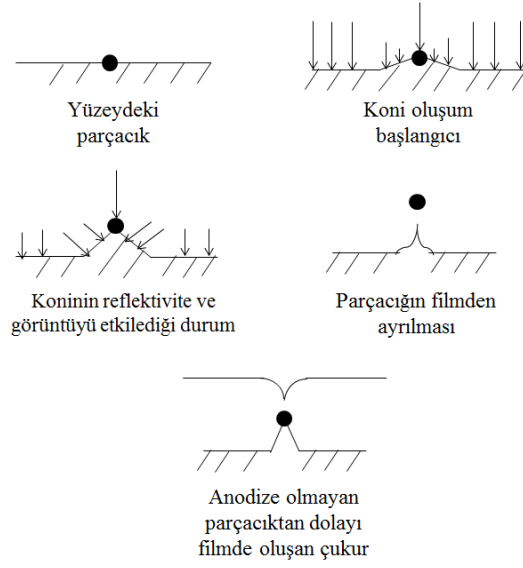
Alaşım yapısında %0,032’den fazla demir olduğunda yansıtma reflektivitesinde ciddi bir düşüş yaşanmaktadır. Bu yüzden parlaklık gereken uygulamalarda demir miktarı az olan alaşımlar kullanılmaktadır. %0,5 magnezyumlu alaşımlarda %0,025-0,035 silisyum ve demir parlaklıkta önemli bir bozulma yaratmaktadır. Bunun sebebi yapıdaki Mg_2Si ’dir. Bakır miktarının %0,06’dan fazla olması reflektivitede düşüğe neden olmaktadır [39].

Çizelge 3.1 : Anodizasyon işlemi için uygunluğuna göre alüminyum alaşımları [42].

Alaşım Serisi (AA)	Ana Alaşım Elementi	Metal Özellikleri	Kaplama Özelliği	Kullanım Alanları	Anodizasyon kalite alaşımlar	Anodizasyon kalite olmayan alaşımlar
1XXX	yok	Yumuşak, iletken	Şeffaf, parlak	İçecek kutuları, mimari	-	1100, 1175
2XXX	Bakır	Çok mukavim, sert, düşük uzama	Sarı, düşük koruma	Hava taşıtları, mekanik	-	2011, 2017, 2219, 2224
3XXX	Mangan	Mukavim, küçük tane yapısı	Gri-kahve	İçecek kutuları, mimari, aydınlatma	-	3003, 3004
4XXX	Silisyum	Mukavim, akışkan	Koyu gri	Mimari, aydınlatma	-	4043, 4343
5XXX	Magnezyum	Mukavim, sünek, akışkan	Şeffaf, güçlü koruma	Mimari, kaynak teli, aydınlatma	5005, 5657	5052, 5252
6XXX	Magnezyum & Silisyum	Mukavim, sünek	Şeffaf, güçlü koruma	Yapı, mimari	6463, 6063	6061, 6101
7XXX	Çinko	Çok mukavim	Şeffaf, güçlü koruma	Otomotiv	-	7029, 7046, 7075

Birçok anodizasyona uygun kalite alaşımda %0,2'ye kadar bakır ve toplam %1'e kadar silisyum ve demir bulunmaktadır. Bu ilave elementler mekanik özelliklerde artış sağlamaktadır. Alkali aşındırmadan sonra alüminyum tercihli olarak çözünür ve bu elementler yüzeyde kalarak “smut” adı verilen koyu renkli noktalar oluştururlar. Smut alma (desmutting) işlemi bu lekelerin tamamını her zaman çıkaramayabilir ve kalan lekeler anodizasyonun düzgünlüğünü ve refleksivitesini bozar. Katı çözeltide bulunan bu elementlerin dışında alüminyum matraste disperse olmuş Mg_2Si ve

MgSn₂ gibi intermetalik bileşenler de reflektansı, rengi ve korozyon dayanımını olumsuz etkiler [33].



Şekil 3.7 : Anodize olmayan parçacıkların filmdeki durumları [39].

Anodizasyon esnasında parlaklıktaki bozulma anodizasyon voltajı ile ilişkilendirilmiştir. Al-Fe-Si gibi inert bileşikler, Si, MnAl₆ çevresindeki matristen daha fazla iletkenliğe sahiptir ve buralarda daha fazla akım yoğunluğu bulunmaktadır. Bu durum ‘konik pürüzlülüğe’ neden olmaktadır. Böyle bir konik oluşum Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Koni, oluşumuna sebep olan parçacığın pek çok katı büyüklükte olabilir ve yüzeyde düzgünsüzlüklere yol açmaktadır [39].

Alüminyum alaşımının üretimi esnasında sıvı metal kalitesi çok önemlidir. Üretim esnasında sıvı metale empüritelerin girmesi engellenmeli, hammaddeden gelen empüritelerin ise mümkün olduğunca giderilmesi gerekmektedir. Bu açıdan cüruf alma işlemi ve sonrasında gaz alma işleminin kritik önemi vardır. Yapıya elektrolit veya metalden geçtiği düşünülen hidrojen anodizasyon esnasında metal-oksit arayüzünde birikmelere neden olmaktadır. Bölgedeki hidrojen zenginleşmenin ileri seviyelerinde ise filmin metalden ayrılması söz konusudur [43].

3.3.2. Mikroyapı

Alaşım tamamı ile katı çözelti haline (tek fazlı) ya da yapısal olarak uniform ve ince taneli yapıda olmalıdır. Tane sınırlarındaki intermetalik bileşenler kaplamada düzgünsüzlüklere neden olmaktadır. Haddeme ürünü alüminyumun tane boyutu ve

tane şekli anodizasyon yüzey işlemi için çok önemlidir ve birçok üretim probleminin nedenini oluşturmaktadır [33].

Kullanılan alaşımın kristal yapısı, özellikle kafesin oryantasyonu yüzey işleminde pürüzlülük veya reflektans üzerinde oldukça etkilidir. Yüzey merkezli kübik kafese sahip alüminyumda kristal düzlemlerde atomik yoğunluk $(110) < (100) < (111)$ şeklinde artar. Kimyasal aşındırmanın etkisi bu yoğunlukla değişmektedir ve (110) , (111) 'den daha az pürüzlülüğe sahiptir [33].

Malzeme yapısındaki empüritelerin miktar ve yapısı, alaşım elementi türü ve kristal tane tane yapısı anodizasyon sonucundaki parlaklık ve film yapısını etkilemektedir.

3.3.3. Yüzey kalitesi

Alüminyum kimyasal olarak aktiftir ve havaya teması anında yüzeyinde oksit tabakası geliştirir. Haddeleme sırasında yenilenen yüzey hava dışında hadde yağı gibi başka etkenlerle de etkileşime girebilmektedir. Hadde sırasında oluşan hata tiplerinden birkaçı şöyledir:

- Haddeleme esnasında yağlamanın yetersiz olmasından dolayı yüzeyde kıymık ve çapak oluşumu.
- Anodizasyon işleminden sonra yüzeyin her iki tarafında da görülen testere dişine benzeyen kuyruk izleri.
- Yine anodizasyon işlemi sonrasında ortaya çıkan, alüminyum oksit ve hadde yağı etkileşiminden kaynaklanan damarlanma [33].

Haddelenmeden sonra yüzeyde işlem sertleşmesi meydana gelir ve pürüzlülük dökme rulodan daha azdır. Haddelenen malzemenin tane yapısı işlem yönünde uzama gösterir ve aşındırma işleminden sonra düzensiz bir pürüzlülük ortaya çıkar. Bunun önüne geçmek için tane boyutu ve şeklini düzenli hale getirmek adına ısıtma işlemi yapılır [33].

Anodizasyon işlemi yapılacak malzemenin üzerinde çatlak, batık, boşluk vb. kusurlar olmamalıdır. İşlem esnasında veya sonrasında elektrolit bu tip boşluklarda kaldığında problemlere neden olmaktadır [40].

3.3.4. Yüzey hazırlama işlemleri

3.3.4.1. Temizleme

Döküm, haddeleme, ekstrüzyon gibi metotlar ile üretilen alüminyum malzeme, anodizasyon işlemi yapılmadan önce üretimden kalan yağdan ve kirden arındırılmalıdır. Yağ alma işlemi alkali ya da asidik banyolarda yapılabilmektedir. Alkali banyolar kullanılacaksa zayıf alkali olanları tercih edilmelidir, güçlü alkaliler yüzeyden fazla miktarda alüminyum kaybına sebep olmaktadır [33].

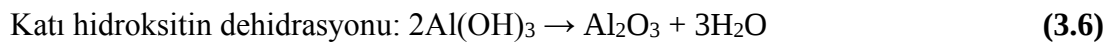
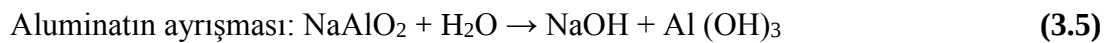
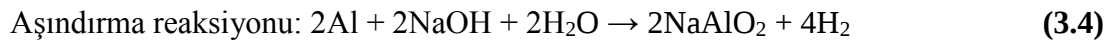
Temizleme işlemi parçanın üzerinde beklenen kir ve yağ türüne göre yapılmalıdır. Bu nedenle, temizliğin kalitesi açısından işlem yapılacak malzeme üzerindeki kirin biliniyor olması gerekmektedir.

Temizleme etkin ve yeterli yapılmadığında işlemin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yanlış temizleyiciler kullanarak malzemeyi kirletmek mümkün olmakla birlikte yetersiz temizleme durumunda anodizasyon işlemi tüm yüzeyde eşit gerçekleşmemektedir. Bu durumda oluşan film tabaka malzemeyi atmosferik koşullardan koruma görevini yerine getirememekle birlikte dekoratif olarak da olumsuz bir görüntü sunmaktadır.

3.3.4.2. Aşındırma

Anodizasyon sonrasında malzemenin nihai görüntüsünü etkileyen işlemdir. Aşındırma esnasında mat bir yüzey görünümü elde edilirken, zarar görmüş veya üretimden kalan izlere sahip bölgeler tüm yüzeyle aynı seviyeye getirilmiş olur. Yetersiz aşındırma yapılmış malzemeler ne kadar iyi anodize edilmiş veya renklendirilmiş olursa olsun, üzerinde çizikler veya lekeler olmaktadır [33, 45].

Aşındırma işlemi çoğunlukla sıcak suda NaOH çözeltisi ile yapılmaktadır. İşlem sonunda metal mat bir görünüm kazanır. Kimyasal tepkimesi şöyledir [45]:



Dağlama hızı sodyum hidroksit konsantrasyonunun yoğunluğuna, sıcaklığa ve çözeltiye geçen alüminyum iyonu miktarına bağlıdır. Çözelti içinde alüminyum iyon konsantrasyonu yüksek olduğunda çözelti etkinliğini kaybeder. Çözeltideki

alüminyum dışındaki iyonlar da tepkimeye etki eder [45]. Aşındırma belirli bir sıcaklıkta ve kontrollü olarak yapılmalıdır. Sıcaklık yüksek olduğunda kostik yanma meydana gelir ve malzeme yüzeyinde homojen olmayan bir görüntü elde edilmesine sebep olur.

3.3.4.3. Smut giderme

Bu işlemle “smut” adı verilen, aşındırmada çözünmeyen ve yüzeyde tutunmuş metalik bileşenler malzemedan uzaklaştırılır. Genellikle %5-10 arası konantrasyondaki nitrik asit çözeltileri bu işlem için kullanılır [33].

Aşındırılan malzeme smut giderme ünitesine gidebileceği gibi doğrudan anodizasyon işlemine de aktarılabilir. Bu işlem yapılmadığında bakır, demir, mangan, silisyum ve diğer elementler anodizasyon çözeltisini kirletmekte ve tüm proses boyunca taşınarak yüzeyde istenmeyen koyu bir film görüntüsüne sebep olmaktadır.

3.3.5. Anodizasyon banyo parametreleri

Anodizasyon işleminin yapılacağı banyonun parametreleri işlenecek malzemenin alaşımına uygun olarak seçilmiş ve tekrar edilebilir olmalıdır. Bu nedenle belirlenen parametrelerin sürekli kontrol edilmesi gereklidir. Parametrelerin zamanla değişmesi ile aynı malzemenin birbirinden farklı görüntüde ürünleri elde edilebilmektedir.

3.3.5.1. Elektrolit türü ve konsantrasyonu

Anodizasyon banyosunda farklı elektrolitlerin kullanılması ile farklı tür ve yapıda oksit film elde etmek mümkündür.

Anodik oksidasyon işleminde kromik asit, fosforik asit, borik asit, oksalik asit ve sülfürik asit kullanılmaktadır. Kromik asit çözeltisi esas olarak korozyon direncini arttırmak ve havacılık ile deniz sektörü uygulamalarında kullanılır. İşlem yüksek voltajlarda gerçekleştirilir ve bu elektrolit aracılığıyla üretilen film gri renktedir. Oksalik asit çoğunlukla Japonya’da kullanılır ve sarımsı renkte film tabakası oluşturur. Oluşan film sülfürik asitte üretilmiş olanlardan daha serttir ve aşınma direnci daha yüksektir. Fosforik asit geniş çaplı porlar üretir. Borik asit ise ince, gözeneksiz bariyer tabaka film üretir. Kapasitör uygulamalarında dielektrik malzeme üretmek amaçlı kullanılır. Sülfürik asit ise en çok kullanılan elektrolit asitidir.

Ürünleri çoğunlukla boyanmaktadır. Elektrolitin konsantrasyonu tepkimeleri ve anodik film tabakasını etkilemektedir [39].

Poroz alümina film tabakası bariyer tipi film oluşturan elektrolitlerde de görülmektedir. Bu tür elektrolitlerde gözeneklerin oluşmaya başlaması en az 90 dakika almaktadır. Por çapı 32 saat sonra sabit bir büyüklüğe ulaşırken por derinliği anodizasyon zamanının doğrusal bir fonksiyonudur, 8 saatte silindirik yapıya ulaşır [46].

3.3.5.2. Voltaj

Porozite ve por çapı asıl olarak anodizasyon voltajına bağlıdır. Artan voltaj ile birlikte porozite düşmektedir, hücre çapları büyümektedir [39, 47].

Anodizasyon işlemi için DC, AC veya her ikisinin kombinasyonu olacak şekilde güç kaynağı kullanılabilir. Sülfürik asit anodizasyonu için 24 voltluk bir potansiyel yeterli iken, kromik asitte anodizasyon işlemi için 60-70 volt potansiyellere çıkmak gereklidir. Bariyer tabaka üretmek için veya sert anodize kaplamalar için ise daha fazla gerilimlere ihtiyaç vardır. Son zamanlarda yüksek potansiyelin gerektiği durumlar ya da bakır gibi anodizasyonu zor elementler içeren alaşımlar için puls şeklinde besleme yapan güç kaynakları da kullanılmaktadır. Böylelikle malzeme aşırı ısınmalardan korunmuş olmaktadır [41].

3.3.5.3. Akım yoğunluğu

İşlem esnasında akım yoğunluğu film oluşum hızını etkilemektedir. Sülfürik asit anodizasyonu için genellikle 1.4-2.0 A/dm² akım yoğunluğundan çalışılmaktadır. Düşük akım yoğunluğu film oluşum hızının azalmasına neden olmaktadır, bu nedenle film daha fazla tepkiye maruz kalmaktadır. Akım yoğunluğunun artması film oluşumunu hızlandırmakla beraber film kalınlığında bölgesel farklılıklara sebebiyet vermektedir. Anodizasyon işlemi için güç kaynağı genellikle akım yoğunluğu sabitlenerek çalıştırılmaktadır [39].

3.3.5.4. Sıcaklık

Anodik oksidasyon hazırlık ve sonrası işlemlerin tamamında optimum ve sabit sıcaklıklarda çalışılmalıdır. Özellikle anodizasyon banyosu sıcaklığındaki dalgalanmalar film tabakasının düzgünlüğünü etkileyecektir.

Anodizasyon işleminde sıcaklığın etkisi voltajdan daha azdır. İşlem sıcaklığı arttıkça porozite artmaktadır [47].

3.3.5.5. Banyodaki alüminyum miktarı

Aşındırma ve anodizasyon banyolarında zamanla çözünmüş alüminyum miktarı artmaktadır. Banyolarda her zaman belirli oranlarda çözünmüş alüminyum bulunmalıdır ancak miktar arttıkça enerji gereksinimleri artmakla birlikte bir süre sonra çökelmeler meydana gelir. Bu nedenle ticari banyolarda çökelmenin önüne geçmek için ek kimyasallar kullanılır.

3.3.6. Anodizasyon sonrası işlemler

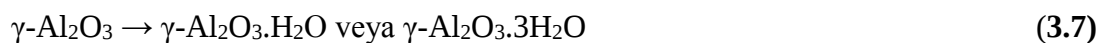
Malzemelerin optimum koşullarda temizlenip, aşındırılıp, anodize edilmesi son ürün kalitesini sağlamak için yeterli değildir. Bu nedenle anodize edilmiş malzemelerin sonraki işlemlerinin de kontrollü ve uygun yapılmış olması gereklidir. Aksi takdirde sadece dekoratif olarak değil, kaplamanın koruma özelliklerinde de yetersizlik meydana gelmektedir.

3.3.6.1. Renklendirme

Anodik oksidasyon işlemi yapılmış malzemeler organik ve inorganik boyalarla; elektrolitik boyama, pigment çöktürme, boyama gibi yöntemleriyle renklendirilir. Renklendirmenin homojen olması için anodizasyon işleminden çıkan malzemenin iyi durulanmış olması gereklidir. Porlarda kalmış asit kalıntıları veya iyonlar renkte düzensizliklere neden olur [33].

3.3.6.2. Mühürleme

Alüminyumun anodize edilmesinin ve istenirse renklendirilmesinin ardından üst kısımları açık kalan porlar zamanla toz, kir gibi etkenlerle kapanmaktadır. İşlemin yapılan malzemenin ömrünün artması için bu porlar mühürleme (sealing) işlemi ile kapatılmaktadır. Farklı yöntemleri olmakla birlikte bu işlem çoğunlukla kaynar suda yapılmaktadır ve Denklem 3.7'deki reaksiyon gerçekleşmektedir [33].



Malzemeye film tabakasının maksimum koruma ve korozyon direncinin sağlanması için anodizasyon işleminden sonra mühürleme işlemi yapılmalıdır. Mühürleme işlemi anodize edilen parçanın kaynar su veya nikel asetat gibi çözeltiler içerisinde

daldırılarak alüminyum oksitin hidrata dönüştürülmesi ile gerçekleşir. Oksitin hidrat formu hacimce daha büyüktür, bu nedenle porların ağızları tıkanır. Kirlenme ve korozyona dayanım bu şekilde sağlanmış olur [33].

3.4. Anodize Alüminyumun Kullanım Alanları

Anodize edilmiş alüminyum bir yüzyıldan fazladır araştırılmakta ve çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Son zamanlarda nano boyutta araştırmalara ilginin artması ile yapısal ve mimari uygulamalarından sonra teknolojik alandaki uygulamalarda da sıklıkla adı geçmektedir.

İlk uygulaması borik asit prosesi ile üretilen dielektrik filmin elektrolitik kapasitörlerde kullanılmasıdır [39].

Anodizasyon çoğunlukla korozyon ve aşınma dayanımını arttırmak için kullanılır ve bununla alakalı uluslararası standartlar mevcuttur [48, 49].

Alüminyum üzerinde gözenekli oksit tabakası oluşturulduktan sonra, alüminyum tabakası çözündürüldüğünde kalan gözenekli yapı çok küçük parçacıkları filtrelemek üzere kullanılabilir [33].

Kompakt ve sıkı tabaka olan bariyer tip oksitlerden çok daha sonra kullanılmaya başlanan Al_2O_3 gibi poroz oksitler nanoyapıların üretilmesi için şablon, organik ayırıştırma için fotokatalist, hidrojen sensörü, güneş enerjisi hücresi elektrodu gibi yeni teknolojik uygulamalarda kullanılmalarıyla yükselen bir ilgiye sahiptir [50].

Nanoporoz anodik oksit tabakası ile ilgili çalışmaların artmasıyla moleküler ayırıştırma, kataliz, enerji üretimi ve muhafazası, elektronik, fotonik, sensör ve biyosensörler, ilaç taşınımı, farklı uygulamalar için şablon olarak hazırlanması gibi pek çok alanda geniş bir kullanım olanağı ortaya çıkmıştır [38]

4. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Alüminyumun anodik oksidasyonu ve ikiz merdaneli sürekli alüminyum levha dökümü ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Anodik oksidasyon oluşum mekanizması ve parametrelerin işleme etkileri, işlem uygulanacak malzemenin türünün işleme etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. İkiz merdaneli döküm ile farklı alaşımların dökümü, yapısal özelliklerin incelenmesi konulu pek çok çalışma mevcuttur. Ancak bu iki konunun bir araya getirildiği; ikiz merdaneli döküm ile üretilmiş levhaların anodizasyon davranışı ile ilgili literatür yok denecek kadar azdır.

Labisz, Dobranski ve Konieczny farklı döküm yöntemleri ile üretilmiş alüminyum alaşımlarının anodizasyon davranışını incelemiştir. Kum kalıba döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemleri ile üretilen $AlSi_{12}$ ve $AlSi_9Cu_3$ alaşımları sülfürik asitte anodize edilmiş ve anodizasyon yüzey kalitesi kıyaslanmıştır. Her iki döküm yöntemi ile üretilen malzemenin yüzeyinde süreksizlikler görülmemiştir ancak kum kalıba döküm malzemenin film kalınlığı 5 kat daha fazladır [50].

Runge, döküm, dövme ve sinterleme yoluyla üretilen malzemelerin anodizasyonunu karşılaştırmıştır. Boyama gibi yüzey işlemlerinin aksine, anodik hücreler altlık yapısı üzerinde yükselmektedir ve bu nedenle mikroyapı önem kazanmaktadır. Çalışmalar sonucunda farklı yöntemle üretilen malzemelerin anodizasyon hücre yapısının birbirinden farklı olduğu görülmüştür [51].

TRC ve DC döküm yöntemleri ile üretilen Al-Mg alaşımının farkları Slamova ve diğerleri tarafından araştırılmıştır. 1 mm kalınlığında üretilen levhaların mikroyapı ve oryantasyonları incelenmiş ve DC ile üretilen levhalarda ikincil fazların daha kaba ve daha az sayıda olduğu görülmüştür. DC levhanın oryantasyonu yoğun olarak kübiktir. Kristalografik oryantasyonlardaki asıl farkın nedeni TRC ve DC dökümlerin katılma hızlarından dolayı katı çözeltilerinde farklı miktarda demir içeriğine sahip olmalarıdır [31].

Ergün, çalışmasında TRC ve DC ile dökülmüş 1050 alüminyum alaşımlarının anodizasyon davranışını ve farklı anodizasyon parametrelerinin yüzey kalitesine etkisini incelemiştir. Aşındırma ile yüzeyden 125 µm kalınlıkta malzeme alındığında ripple görüntüsünün kaybolduğu gözlenmiştir. Ancak bu kalınlıkta malzeme aşındırmanın ekonomik yükü fazladır. TRC ve DC levhalar ripple dışında yüzey yapısı olarak birbirinden farklıdır, TRC levhalarda pul pul bir yapı bulunmaktadır [5].

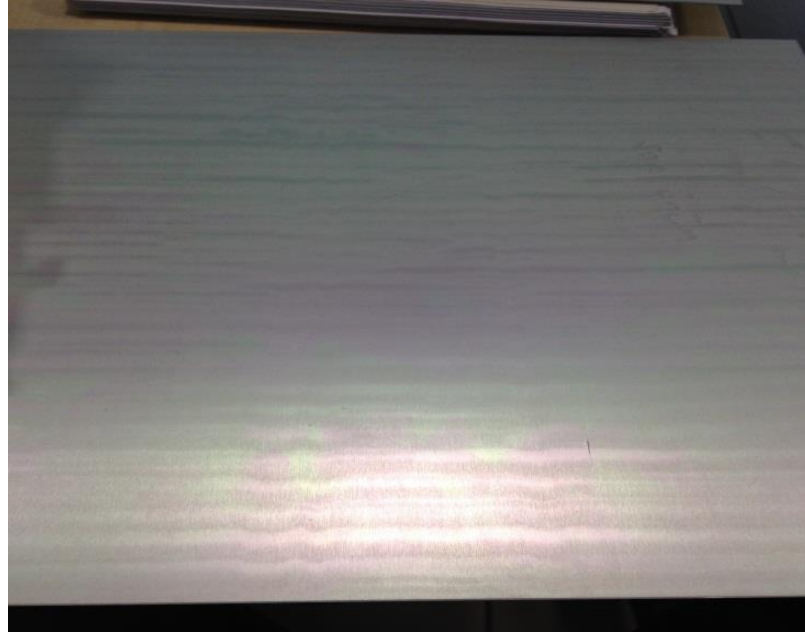
Literatürde ikiz merdaneli döküm ile üretilmiş levhaların anodizasyonu ile ilgili büyük bir eksiklik bulunmaktadır. Pek çok yönden direk soğutmalı dökümden avantajı bulunan TRC yönteminin farklı uygulamalar için kullanılabilir olması maliyet ve daha önemlisi sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bu nedenle TRC ile üretilen levhaların çeşitli uygulamalarda davranışları incelenmeli ve uyumluluk için üretim proseslerinde gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Bu çalışmanın özgün tarafı TRC ile üretilen 5005 alaşımının anodizasyon davranışının ilk kez inceleniyor olmasıdır. Anodizasyon işleminde sıklıkla tercih edilen 5005 alaşımının bu anlamda incelenmesi literatürde bir boşluğu doldurmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılacak malzemeler ve üretimi, işlem hazırlıkları ve deneylerin yapıları hakkında bilgi verilmektedir.

5.1. Anodizasyon İşlemi İçin Levha Üretimi

Bu çalışma kapsamında anodik oksidasyon yapılmak üzere ikiz merdane döküm yöntemi ile alüminyum 5005 alaşımı levhalar üretilmiş, soğuk haddelenmiş ve tavlانmıştır. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların anodizasyon davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce üretilen 5005 alaşımının anodizasyon işlemi yapılmış ve problemin kaynağının ripple olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.1). Bu nedenle ripple'sız bir döküm hedeflenmiştir.



Şekil 5.1 : Anodize edilmiş TRC 5005 alaşımı ve ripple görüntüsü.

5.1.1. Döküm

Çalışmalarda kullanılacak levhalar Teknik Alüminyum Çorlu Fabrikası döküm hatlarında ikiz merdaneli sürekli döküm tekniği ile Novelis Pechiney marka Jumbo 3

CM döküm makinası ile dökülmüştür (Şekil 5.2). Bu döküm hattının tercih edilmesinin nedeni diğer hatlara göre daha fazla kontrol edilebilir parametreye sahip olmasıdır.



Şekil 5.2 : Novelis Pechiney Jumbo 3 CM döküm makinası.

İstenen yüzeyin elde edilmesi için farklı parametrelerle 7 set döküm yapılmıştır (Çizelge 5.1). 2. setin dökümüne geçildiğinde hat hızı düşürülmüştür. Hat hızının düşmesi ile sıvı metal sıcaklığı düşüp, levha kalınlığı artmıştır. 3. Sete geçildiğinde tip mesafesi kısaltılmıştır, diğer değerler aynıdır. 4. Sette tandiştaki sıvı metal yüksekliği azaltılarak sıvı metal dalgalanması minimize edilmek istenmiştir, bu değişimle levha kalınlığı azalıp tandiş sıvı metal sıcaklığı artmıştır. 5. sette hat hızı yeniden yükseltilmiştir ve buna bağlı olarak levha kalınlığı azalmıştır. Aynı parametrelerde merdane baskı kuvveti artırılarak 6. set döküm alınmıştır ve 7. sette tip geriye çekilerek mesafesi arttırılmıştır.

Dökme rulolardan alınan levha parçalarına seyreltilmiş Keller çözeltisinde 7 dakika bekleterek makro dağlama yapılmıştır ve yüzeyde en iyi görüntüye sahip 4 no'lu setin prosesinin devam edilmesine karar verilmiştir.

Dökülen malzemenin kimyasal bileşimleri SpektroLab marka optik emisyon spektrometresinde tespit edilmiş olup sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Levhaların döküm parametreleri.

	1	2	3	4	5	6	7
Baskı kuvveti (üst merdane/alt merdane)	792/789	792/789	792/789	792/789	792/789	872/874	872/874
Hat hızı (cm/dk)	107	80	80	80	107	107	110
Tandış sıcaklığı (°C)	714	709	709	717	714	712	713
Tandış sıvı metal seviyesi (cm)	14.8	14.7	14.6	13	12.7	12	11.7
Tip ekseni (mm)	69.3	69.36	67	67	67	67	69.3
Levha kalınlığı (mm)	6.20	7.80	7.80	7.30	6.35	6.4	6.4

Çizelge 5.2 : Dökülen AA5005 alaşımının kimyasal bileşimi.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	B	Al
0,137	0,375	0,004	0,092	0,594	0,003	0,004	0,029	0,0026	Kalan

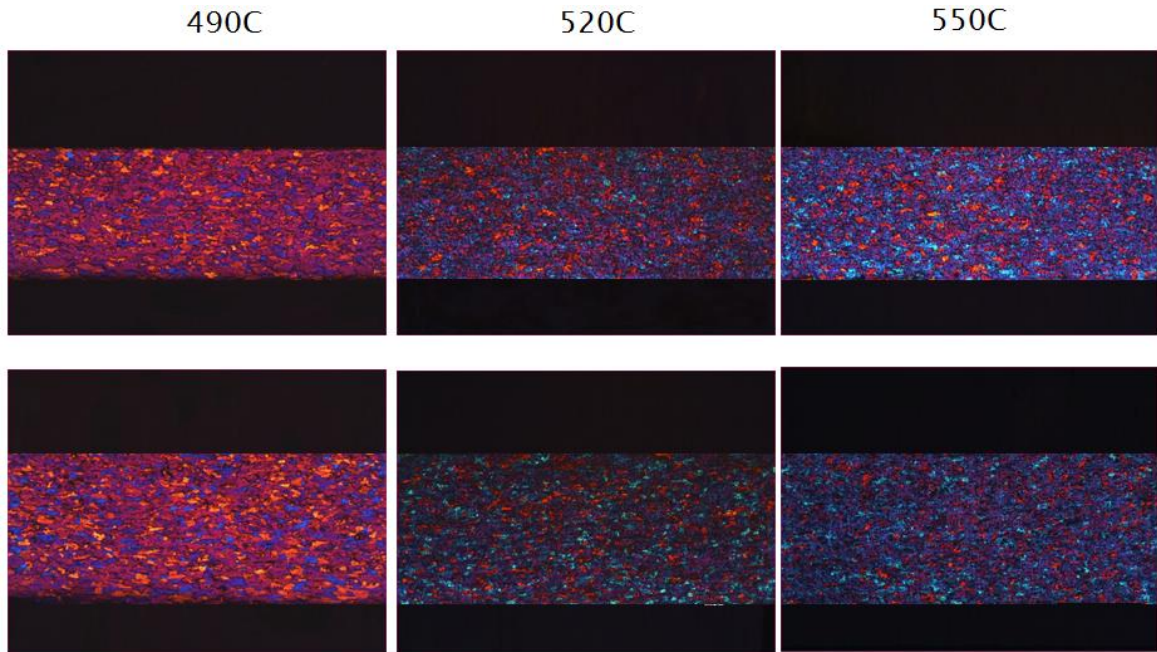
5.1.2. Döküm sonrası prosesler

Dökülen rulolardan alınan levhalara uygulanmak üzere 5 farklı proses belirlenmiştir (Çizelge 5.3). Ticari olarak eloksal işleminde çoğunlukla tercih edilen kalınlık ve kondisyon nihai hedef olarak belirlenmiş olup, 1.5 mm kalınlığında ve H22 kondisyonunda 5005 alaşımı levhalar üretilmiştir. 5005 H22 alaşımına ait mekanik özellikler Çizelge 2.4’te verilmiştir. A4 boyutundaki levhaların soğuk haddeleme işlemleri Peker Alüminyum A.Ş’deki hadde tezgahlarında döküm yönünde olacak şekilde yapılmıştır. Tavlama işlemleri için ise Teknik Alüminyum Kalite Laboratuvarı bünyesindeki sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi Nabertherm

N30/65A marka tav fırını kullanılmıştır. Malzemelerin çekme testleri Zwick Z50 marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Döküm ve sonrasında levhalardan alınan numuneler metalografik olarak incelenmiştir. Bunun için Struers LaboPo-5 ve Struers LectroPol-5 numune hazırlama cihazları kullanılmıştır. Soğuk kalıplama yöntemi ile bakalite alınan numuneler önce frezelenmiş, ardından 500, 1200, 2500 ve 4000 numaralı zımparalardan geçirilmiş ve elmas pasta (3µm) ile mekanik parlatma yapılmıştır. Daha sonra 62ml Perklorik asit, 700 ml Ethanol, 100 ml Gliserin, 137 ml Saf su bileşimindeki elektrolitik parlatma sıvısında 20 volt gerilimde 20 saniye parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatılan numuneler 52 ml HF ve 973 ml distile sudan oluşan çözeltide 18 volt gerilimde 80 saniye sürede dağlanarak kesit mikroyapı incelemelerine hazırlanmıştır.

Mikroyapı incelemeleri için Olympus PME3 marka optik mikroskop kullanılmıştır. SEM görüntüleri JSM-5410 Scanning Microscope cihazı ile alınmıştır.



Şekil 5.3 : Homojenleştirme denemeleri sonrasında hadde yönüne dik (üst sıra) ve hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X büyütme)

Malzemelere prosesler dahilinde 3 farklı ısıtma işlemi uygulanmıştır, homojenizasyon ısıtma işlemi, yeniden kristalleştirme ısıtma işlemi (ara tav) ve gerilim giderme tavlama işlemi (son tav/nihai tav). Prosesler yapılacak ısıtma işlemleri doğrultusunda tasarlanmıştır. Homojenleştirme tavlama sıcaklığı için 490, 520 ve 550 °C’de denemeler yapılmış ve

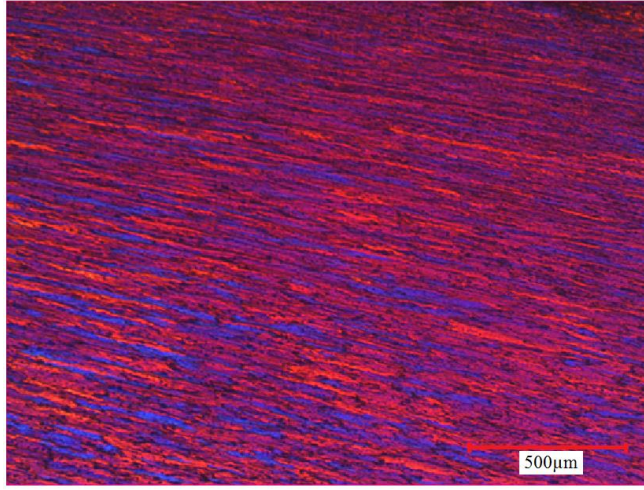
optik mikroskop ile hadde yönüne dik ve paralel görüntüleri kıyaslanarak 550°C seçilmiştir (Şekil 5.3).

Çizelge 5.3 : AA5005 alaşımı için seçilen prosesler.

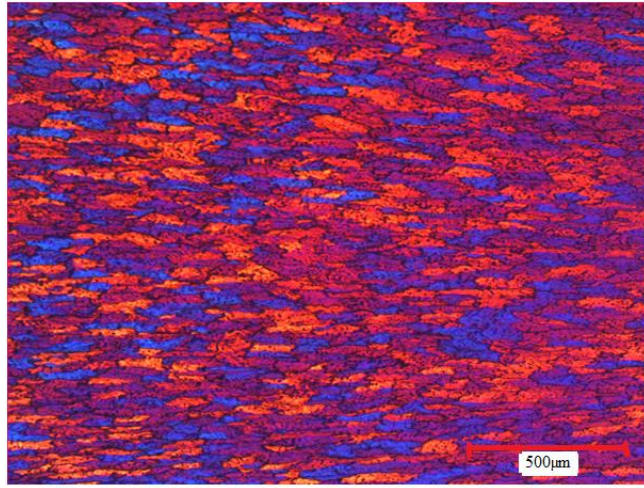
1. Proses	2. Proses	3. Proses	4. Proses	5. Proses
Döküm Kalınlığı (7.3 mm)	Döküm Kalınlığı (7.3 mm)	Döküm Kalınlığı (7.3 mm)	Döküm Kalınlığı (7.3 mm)	Döküm Kalınlığı (7.3 mm)
Soğuk hadde (7.3→3.00 mm)	Soğuk hadde (7.3→3.00 mm)	Soğuk hadde (7.3 →3.00 mm)	Soğuk hadde (7.3→2.0 mm)	Soğuk hadde (7.3→1.5mm)
Homojenleştirme tavı (550°C 8saat)	Homojenleştirme tavı (550°C 8saat)	Ara tav (350°C 3saat)	Ara tav (350°C 3saat)	Son tav (295°C 3saat)
Soğuk hadde (3.0→1.5mm)	Soğuk hadde (3.0→2.0mm)	Soğuk hadde (3.0→1.5mm)	Soğuk hadde (2.0mm→1.5mm)	
Son tav (275°C 3saat)	Ara tav (350°C 3saat)	Son tav (260°C 3saat)		
	Soğuk hadde (2.0mm→1.5mm)			

5.1.3. Üretilen levhaların karakterizasyonu

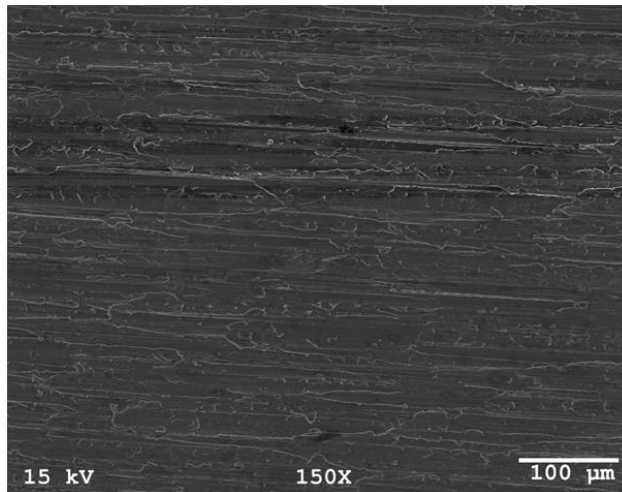
5 farklı proses ile üretilmiş olan levhaların tane yapıları, mekanik özellikleri incelenmiştir. Levhalar aynı döküm malzemesinden elde edilmiş olup döküm yapısında karakteristik TRC tane yapısını görmek mümkündür. Kenar bölgelerinde hızlı katılaşma ve haddelemenin etkisi ile ince tane yapısı (Şekil 5.4), merkezde ise eş eksenli tane yapısı mevcuttur (Şekil 5.5). Malzeme nispeten düşük hızda döküldüğü için belirgin bir merkez hattı segregasyonu yoktur. Döküm kalınlığında levhanın yüzeyi pürüzlü bir topografi göstermektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.4 : Döküm kalınlığında malzemenin döküme paralel kesit kenar bölgesi tane yapısı (50X).



Şekil 5.5 : Döküm kalınlığında malzeme döküme paralel kesit merkez bölgesi tane yapısı (50X).

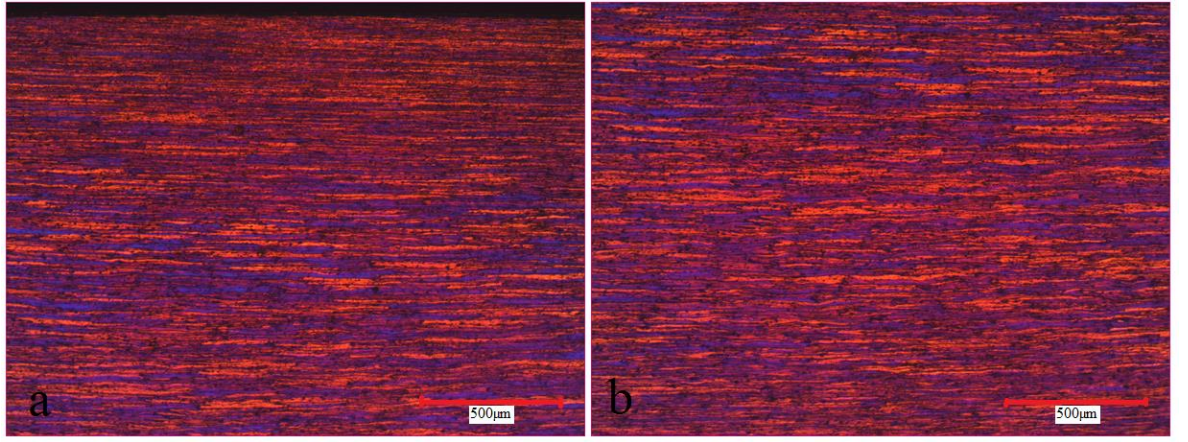
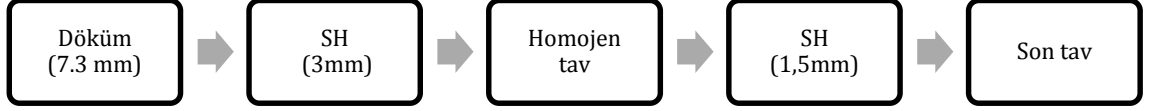


Şekil 5.6 : Döküm kalınlığında malzemenin yüzey SEM görüntüsü (150X, 15kV).

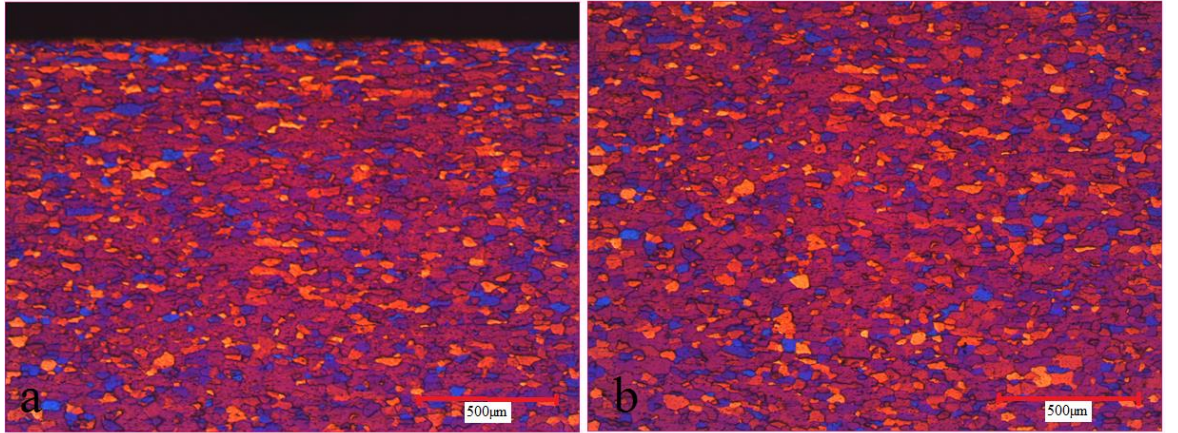
5.1.3.1. 1.Proses ile üretilen levha

Hadde, homojenleştirme tavı ve nihai tav ile malzeme 1.5 mm H22 kondisyonuna getirilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4 : 1. Prosese ait üretim şeması.



Şekil 5.7 : 1. Proses 3 mm'ye haddelenen malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: **a)** kenar bölgesi; **b)** merkez bölgesi (50X).



Şekil 5.8 : 1. Proses 3 mm homojen tavlı malzeme döküme paralel kesit görüntüsü : **a)** kenar bölgesi; **b)** merkez bölgesi (50X).

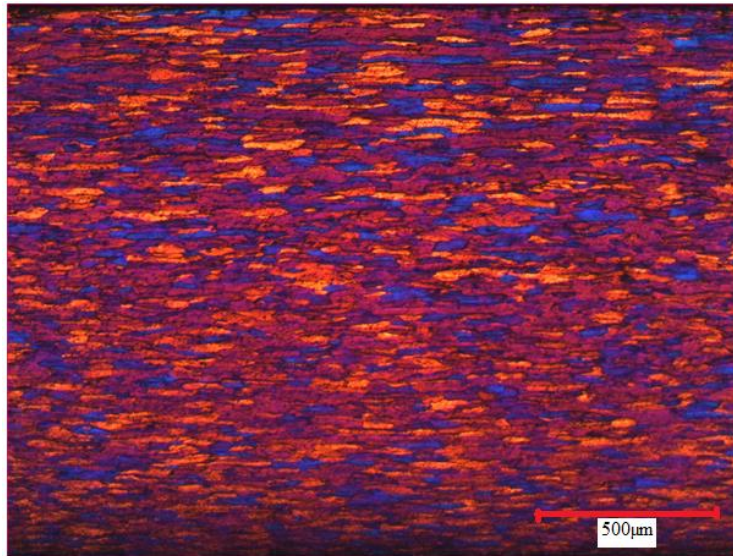
Döküm kalınlığından 3 mm kalınlığa haddelenen malzemenin tane yapısı deformasyonun etkisi ile hadde yönünde uzama göstermiştir (Şekil 5.7). kenar bölgelerdeki taneler (Şekil 5.7a) merkezdekilerden (Şekil 5.7b) daha küçük

boyutludur. Daha sonra 550 °C sıcaklıkta 8 saat homojenleştirme tavlı yapılmıştır, böylelikle deformasyon yapısı giderilmiş ve eş eksenli küçük taneler oluşturulmuştur. Homojen tav etkisi ile kenar ve merkez bölgelerindeki tane boyutları arasındaki boyut ve şekil farkı büyük oranda giderilmiştir (Şekil 5.8a ve 5.8b). Tavlandıktan sonra nihai kalınlığına haddelenen malzemenin tane yapısı deformasyon etkisiyle bir miktar uzama göstermiştir (Şekil 5.9).

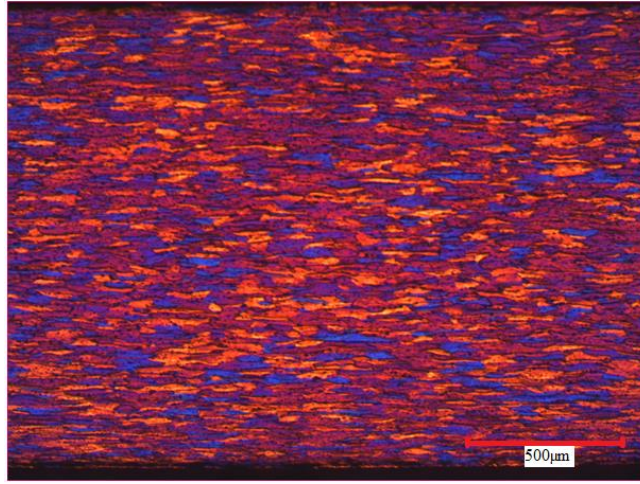
Çizelge 5.5 : 1.Proses son tav denemeleri

Tav sıcaklığı (°C)	Çekme Mukavemeti (MPa)
240	170
270	158
275	155

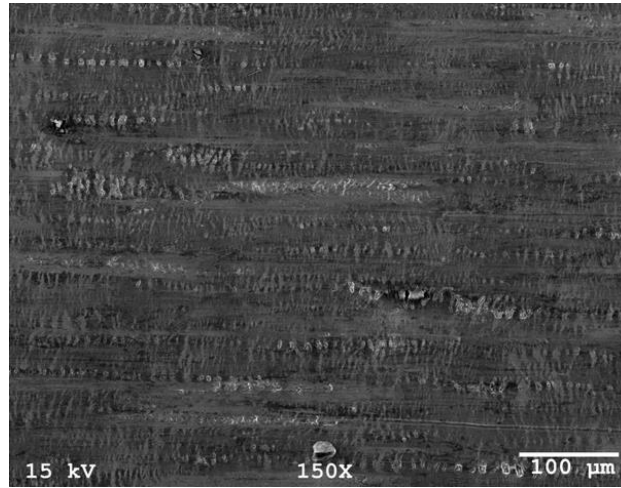
Malzemenin nihai kondisyonuna ulaşması için son tav denemeleri yapılmıştır (Çizelge 5.5). Yapılan çekme testleri sonucunda standarttaki çekme dayanımı aralığını sağlayan 275°C sıcaklığı seçilmiştir. Bu sıcaklıkta 3 saat boyunca tavlanarak kondisyonu H22 yapılan malzemenin son tavlarda önemli bir tane yapısı değişimi görülmemiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 : 1.Proses 1.5 mm'ye haddelenen malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.10 : 1.Proses 1.5 mm son tavlı malzeme döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.11 : 1.Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)

1.Proses ile üretilen levhanın yüzey SEM görüntüsü Şekil 5.11’da verilmiştir. Levhalara nihai tavdan önce ve sonra uygulanan hadde yönüne dik çekme testi sonuçları ile levhanın H22 kondisyon aralığında olduğu gösterilmiştir (Çizelge 5.6).

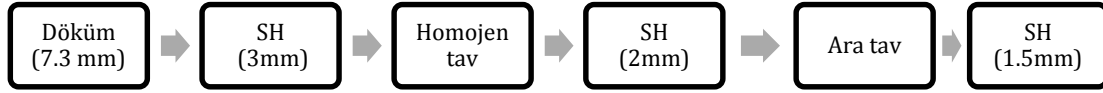
Çizelge 5.6 : 1.Prosele ait levhalara uygulanan çekme testi sonuçları.

Proses No	Durum	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	%Uzama
1	Son tavdan önce	182.63	176.84	3.51
	Tavdan sonra	155.14	133.05	8.53

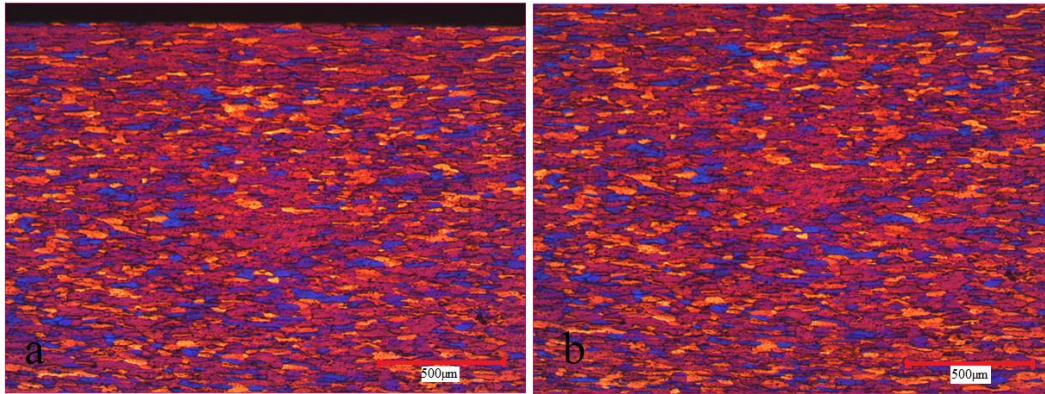
5.1.3.2. 2.Proses ile üretilen levha

Homojen tavlı ve ara tavlı olarak Çizelge 5.7'deki üretim şeması doğrultusunda 1.5mm H22 kondisyonunda levhalar üretilmiştir.

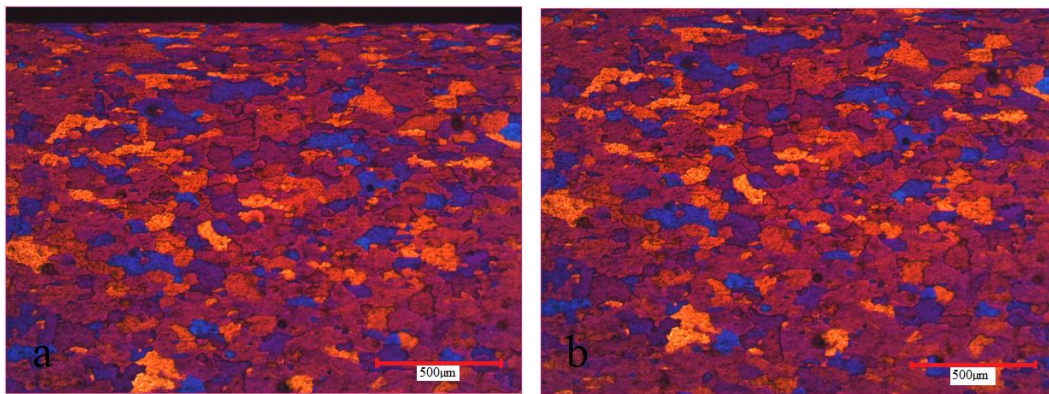
Çizelge 5.7 : 2.Prosele ait üretim şeması.



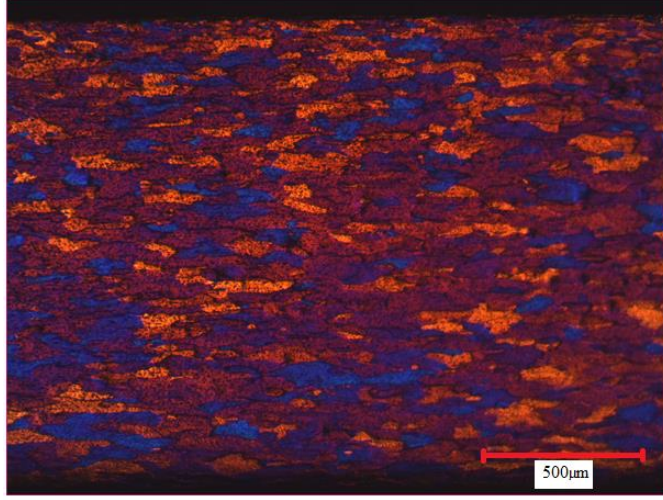
2. prosese ait 3 mm kalınlığındaki mikroyapı görüntüsü ve homojen tavlı mikroyapı görüntüsü de Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ile temsil edilmektedir. 550 °C’de 8 saat boyunca homojenleştirme tavlı yapıldıktan sonra malzeme soğuk haddelme ile 2 mm kalınlığa indirilmiştir (Şekil 5.12). Bu kalınlıkta 350 °C’de 3 saat boyunca ara tav yapılan malzemelerin özellikle merkez bölgelerinde tane büyümesi gözlenmiştir (Şekil 5.13). Son olarak malzeme nihai kalınlığı olan 1.5mm’ye haddelenmiştir (Şekil 5.14).



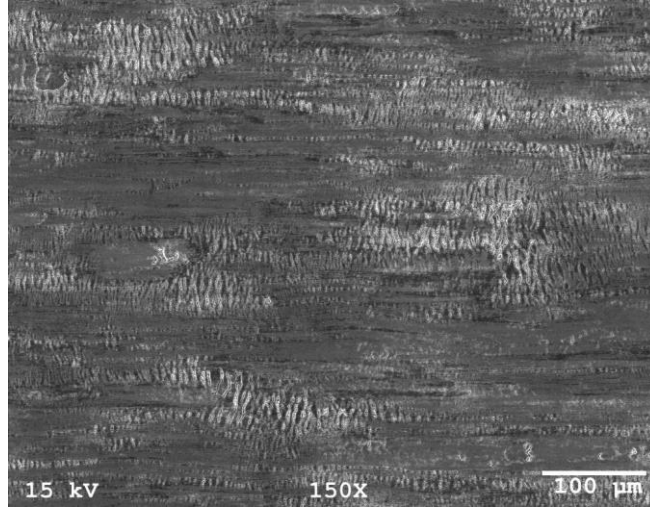
Şekil 5.12 : 2.Proses 2mm’ye haddelenen malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).



Şekil 5.13 : 2.Proses 2mm kalınlıkta ara tav yapılan malzeme döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi, b) merkez bölgesi (50X).



Şekil 5.14 : 2.Proses 1.5mm kalınlıktaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.15 : 2.Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)

2.Proses ile üretilen levhanın yüzey SEM görüntüsü Şekil 5.15’te verilmiştir, çekme testi sonuçları Çizelge 5.8’deki gibidir. Malzeme standartta verilen H22 aralığına uygundur.

Çizelge 5.8 : 2.Prosele ait levhalara uygulanan çekme testi sonuçları.

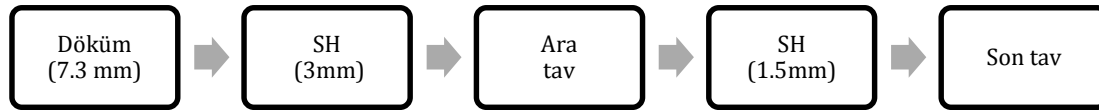
Proses No	Durum	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama(%)
2	Ara tavdan sonra	106.4	60.65	26.56
	Nihai ürün	150.68	147.77	3.57

5.1.3.3. 3.Proses ile üretilen levha

Çizelge 5.9’de verilen prosese istinaden haddelenerek döküm kalınlığından 3 mm’ye indirilen malzemeye (Şekil 5.7) bu kalınlıkta 350 °C’de 3 saat süresince yeniden kristalleştirme tavlama yapılmıştır (Şekil 5.16). Sonrasında haddeleme ile 1.5 mm nihai kalınlığına indirilen malzemeye (Şekil 5.17) 230 ve 260 °C’de nihai tav denemeleri yapılmıştır (Çizelge 5.10). Çekme testleri sonucunda standart dahilinde olan 260 °C seçilerek, bu sıcaklıkta 3 saat boyunca gerilim giderme tavı yapılarak nihai kondisyonu olan H22 elde edilmiştir (Şekil 5.18). Nihai tavı yapılan malzemedede tane yapısında büyüme gözlenmiştir.

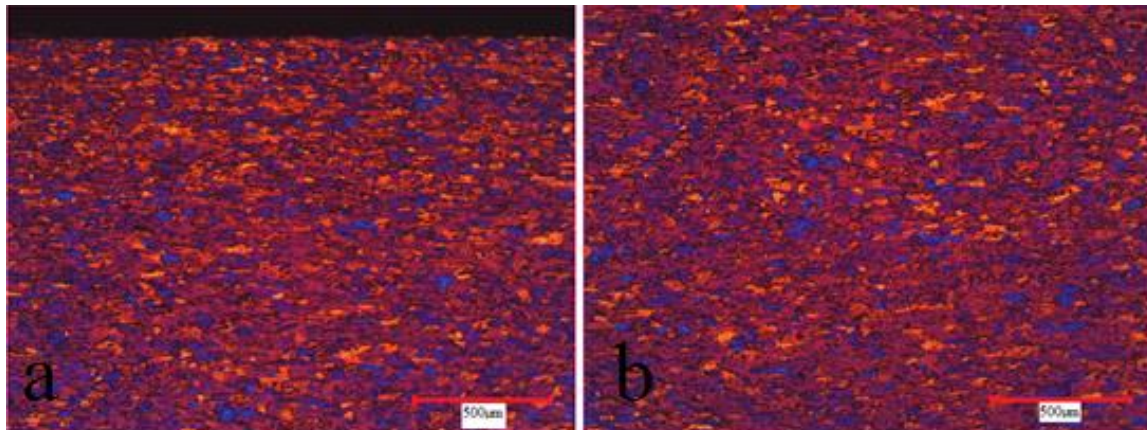
2.Proses ile üretilen levhanın yüzey SEM görüntüsü Şekil 5.19’da, çekme testlerinin sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.9 : 3.Prose a ait üretim şeması.

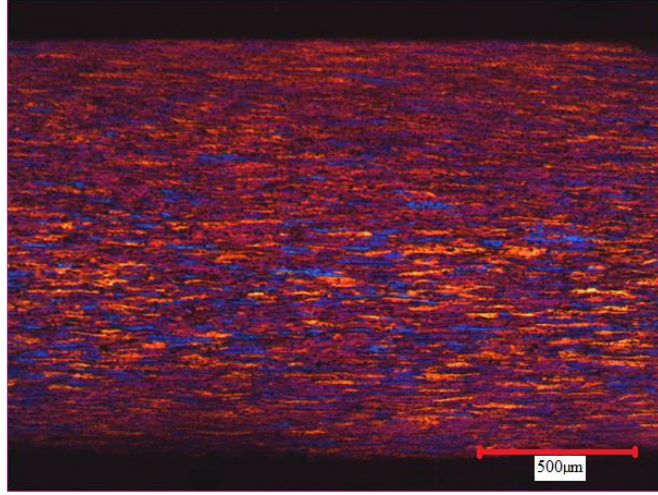


Çizelge 5.10 : 3.Proses son tav denemeleri.

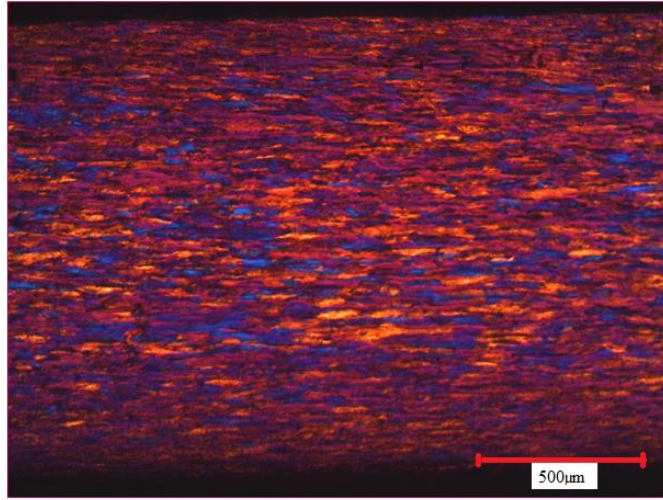
Tav sıcaklığı (°C)	Çekme Mukavemeti (MPa)
230	170
260	149



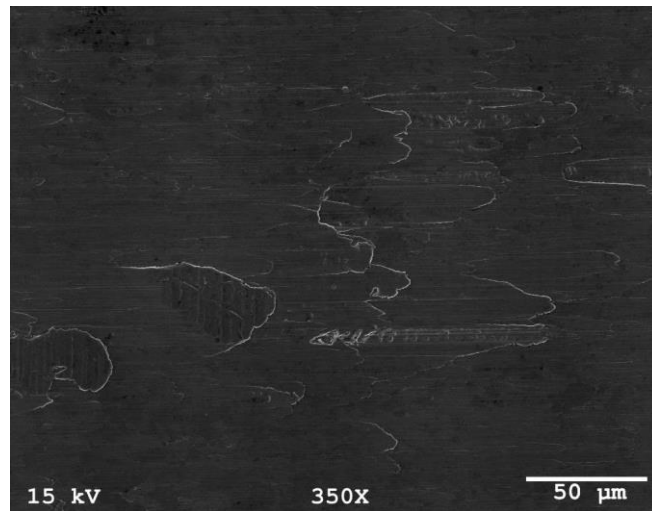
Şekil 5.16 : 3.Proses 3mm kalınlıkta ara tav yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü: a) kenar bölgesi; b) merkez bölgesi (50X).



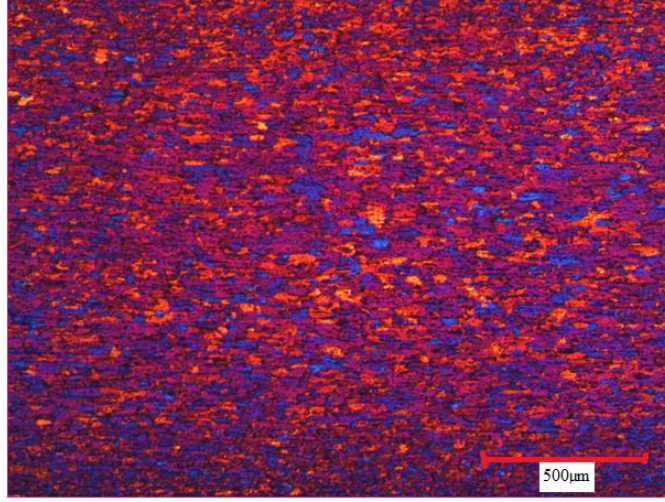
Şekil 5.17 : 3.Proces 1.5mm'ye haddelenen malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



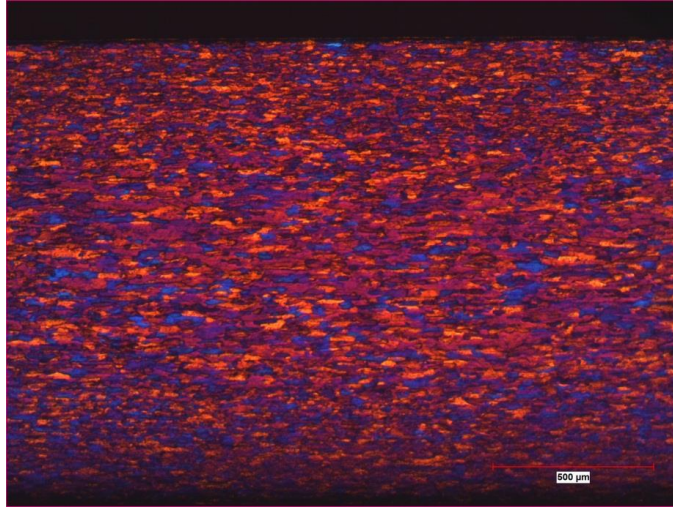
Şekil 5.18 : 3.Proces 1.5mm kalınlıkta nihai tavı yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



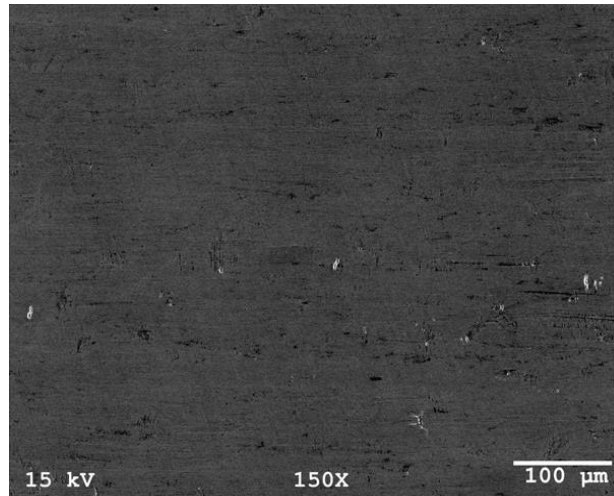
Şekil 5.19 : 3.Proces ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 350X)



Şekil 5.21 : 4.Proses 2mm kalınlıkta ara tav yapılan malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.22 : 4.Proses 1.5mm nihai durumundaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.23 : 4. Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)

Bu proses ile üretilen levhanın nihai yüzey SEM görüntüsü Şekil 5.23'te, çekme testi sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

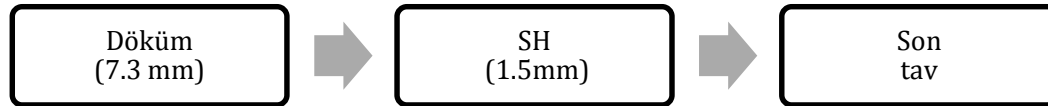
Çizelge 5.13 : 4.Prosele ait levhaya uygulanan çekme testi sonuçları.

Proses No	Durum	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama(%)
4	Nihai ürün	160.16	153.67	3.75

5.1.3.5. 5.Prosele ile üretilen levha

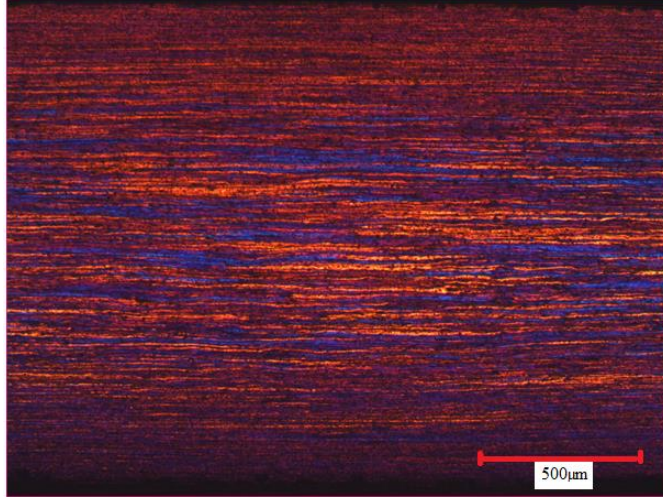
Çizelge 5.14'deki proses şemasına uygun olarak döküm kalınlığından 1.5mm'ye haddelenen levhaya (Şekil 5.24) bu kalınlıkta 295 ve 315 °C'de nihai tav denemeleri yapılmıştır (Çizelge 5.15). Çekme testleri sonucunda standartta verilen aralığı sağlayan 295°C seçilerek malzeme bu sıcaklıkta 3 saat boyunca tavlani H22 kondisyonu sağlanmıştır (Şekil 5.25).

Çizelge 5.15 : 5.Prosele ait üretim şeması.

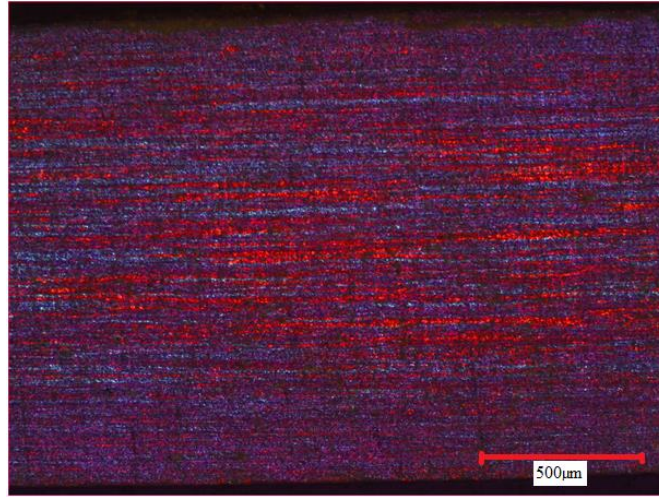


Çizelge 5.15 : 5.Prosele son tav denemeleri.

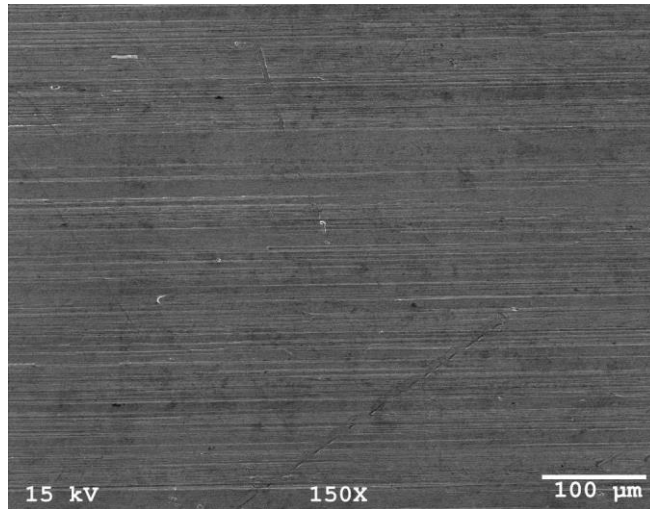
Tav sıcaklığı (°C)	Çekme Mukavemeti (MPa)
295	163
315	117



Şekil 5.24 : 5.Proses 1.5mm kalınlıktaki malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.25 : 5.Proses 1.5mm kalınlıkta nihai tavlı malzemenin döküme paralel kesit görüntüsü (50X).



Şekil 5.26 : 5. Proses ile üretilen levhanın SEM yüzey görüntüsü (15kV, 150X)

5.Proses ile üretilen levhanın nihai yüzey SEM görüntüsü Şekil 5.26’da verilmiştir. Levhalara uygulanan çekme testi sonuçları Çizelge 5.16’daki gibidir.

Çizelge 5.16 :5.Prosele ait levhaya uygulanan çekme testi sonuçları.

Proses No	Durum	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama(%)
5	Son tav öncesi	231.77	224.45	3.9
	Nihai ürün	163.74	145.7	13.25

5.1.3.6. Levha yüzey yapısı

5 farklı proses ile aynı kondisyon ve kalınlıkta üretilen malzemelerin yüzey tane yapıları Şekil 5.27’de verilmektedir.

5.2. Anodizasyon

Dökülen ve nihai kalınlıklarına inmiş 1.5 mm kalınlığındaki H22 kondisyonundaki levhalar laboratuvar koşullarında hazırlanan tankta anodize edilmiştir.

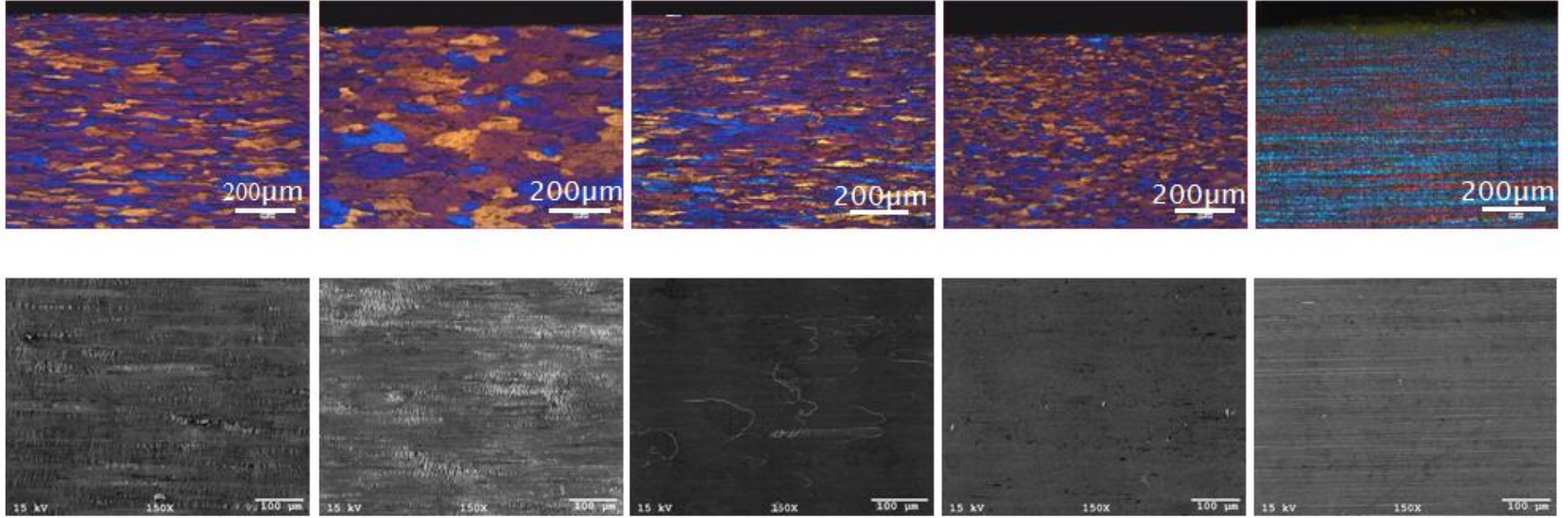
5.2.1. Deney düzeneği

Anodizasyon işlemlerinin yapılacağı tank 15 mm kalınlıkta polipropilen malzemeden imal edilmiştir. 3 adet 500x350x500 mm’lik bölümden oluşan tankın ilk kısmı aşındırma, ikinci kısmı durulama, üçüncü kısmı ise anodizasyon için kullanılmıştır (Şekil 5.28).

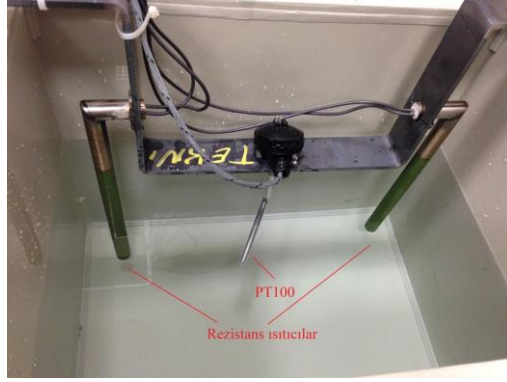


Şekil 5.28 : 15mm PP eloksal tankı.

Aşındırma işleminin yapılacağı bölümde ısıtıcı devre tasarlanmıştır. Teflon kaplı 2 adet rezistans ile ısıtılacak çözeltinin sıcaklık kontrolü için bir devre tasarlanmıştır. Bunun için PT100’dan okunan sıcaklık limit dışına çıktığında röleler devreyi kapatmaktadır (Şekil 5.29).



Şekil 5.27 : Nihai levhaların yüzey bölgesi döküme paralel kesit optik mikroskop (üstte-100X büyütme) ve yüzey SEM görüntüleri (15kV, 150X).



Şekil 5.29 : Aşındırma tankındaki ısıtıcı düzeneği.

Anodizasyon yapılacak bölümde malzemeye 0-30 volt ve 0-50 amper arasında besleme verebilen, Şekil 5.30'daki doğru akım güç kaynağı kullanılmıştır. Cihaz akım ve voltaj kontrollü olarak çalışmaktadır.



Şekil 5.30 : Anodizasyon işleminde kullanılan doğru akım güç kaynağı

5.2.2. Yüzey hazırlama işlemleri

Levhalar anodize edilmeden önce temizlenmiş ve aşındırılmış, ardından durulanmıştır.

5.2.2.1. Temizleme

Üzerinde hadde yağı bulunan levhalar 60 °C sıcaklıktaki %2'lik Henkel Bonderite alkali temizleyici çözeltisinde temizlenmiştir.

5.2.2.2. Aşındırma

Aşındırma işlemi, levhalar 50-60 °C sıcaklık aralığındaki sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde daldırma yöntemi ile 15 dakika bekletilerek yapılmıştır. Çözeltide 50

g/L NaOH bulunmaktadır. Aşındırma işleminin ardından levhalar saf suda durulanmıştır.

5.2.3. Anodizasyon işlemi

Anodizasyon işleminde elektrolit olarak 180 g/L'lik sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi kullanılmıştır. Anotta işlem yapılacak parça asılı olup katotta 1050 alaşımlı alüminyum alaşımı levha kullanılmıştır. İşlem oda sıcaklığında yapılmış olup 1.5 A/dm² sabit akımda çalışılmıştır. Anodizasyon süresi 15 dakikadır. İşlem sonrasında levhalar saf suda durulanmıştır.

Anodize edilen malzemelerin film kalınlıklarının ölçümü Fischer Isoscope MP0R kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

5.3. Deney Sonuçları

İkiz merdaneli döküm yöntemi ile özel olarak ripple izlerini gidermek amacı ile döküm parametreleri üzerinde çalışarak dökülen levhalar 5 farklı proses ile hazırlanmış ve laboratuvar ortamında anodizasyon işlemleri tamamlanmıştır. İşlem sonunda levhaların ilk olarak görsel incelemesi yapılmıştır ve gün ışığında fotoğrafları çekilmiştir. Sonrasında yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

Şekil 5.31 ile Şekil 5.35 arasında anodizasyon yapılmış levhaların ön ve arka yüzeyleri görülmektedir.

Levha görsel incelemelerinde farklı prosese ait levhaların ripple dışında belirgin farklılıklar göstermediği görülmüştür. Aynı levhanın ön ve arka yüzeyleri birbirinden oldukça farklıdır, alt yüzeyler estetik olmayan bir görüntü sergilemektedir.



Şekil 5.31 : 1.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.



Şekil 5.32 : 2.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.



Şekil 5.33 : 3.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.

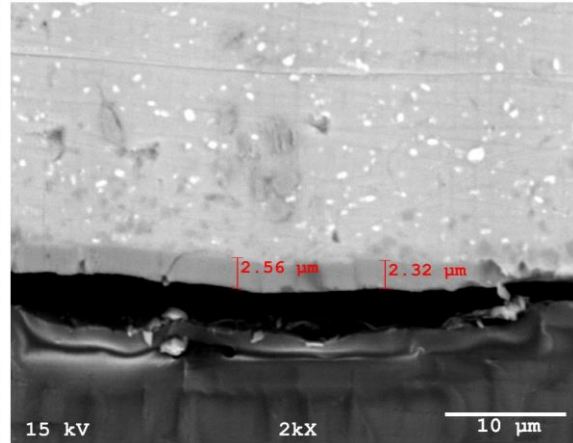
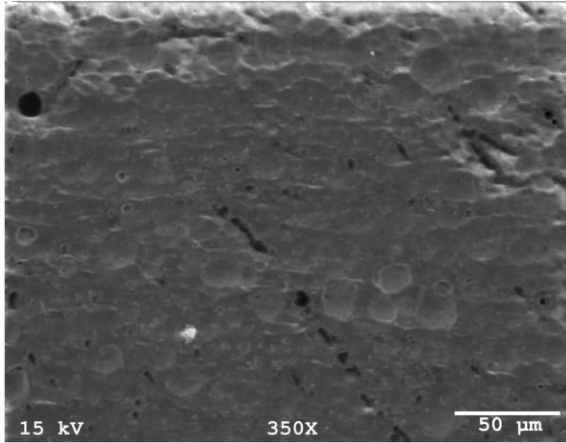


Şekil 5.34 : 4.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.

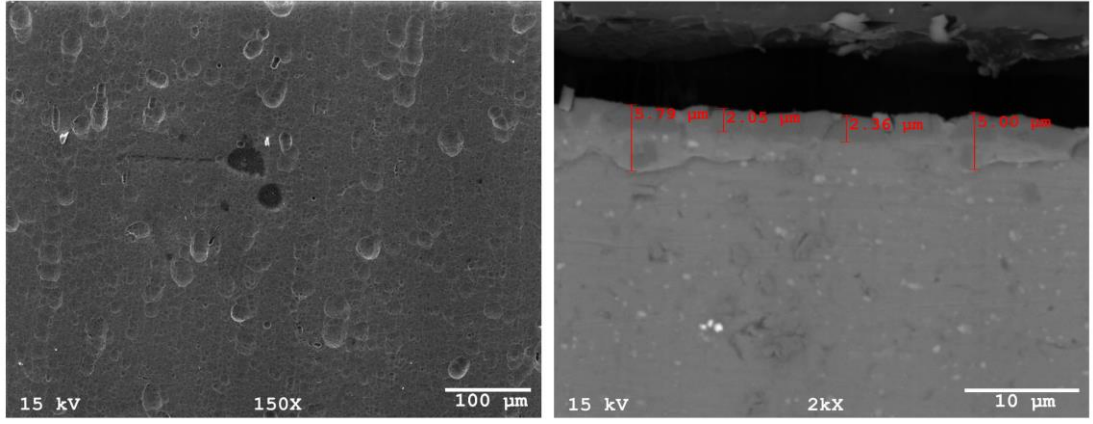


Şekil 5.35 : 5.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası görüntüsü: a) üst yüzey, b) alt yüzey.

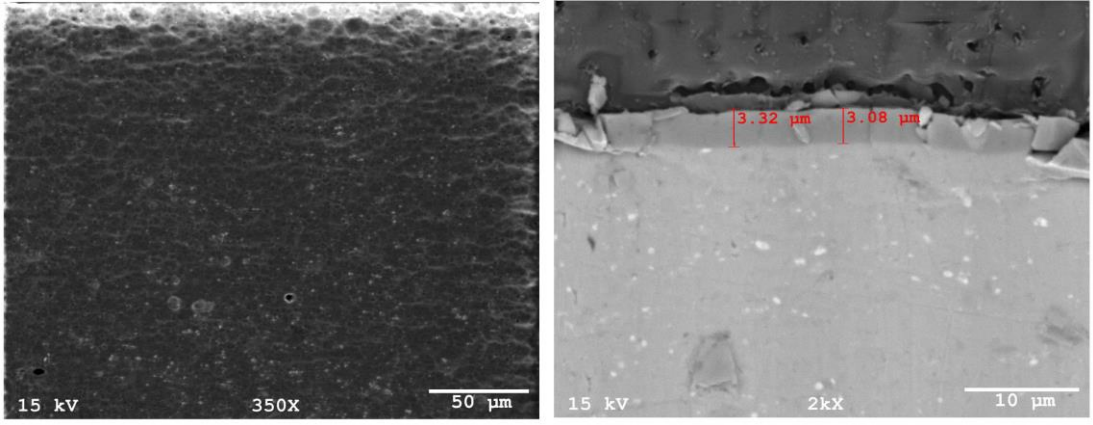
Anodizasyon yapılan levhaların işlem sonrası yüzey ve kesit SEM incelemeleri Şekil 5.36 ile Şekil 5.40 arasında verilmiştir. Kesit incelemelerinde anodik oksit film tabakası kalınlığı ölçülmüştür.



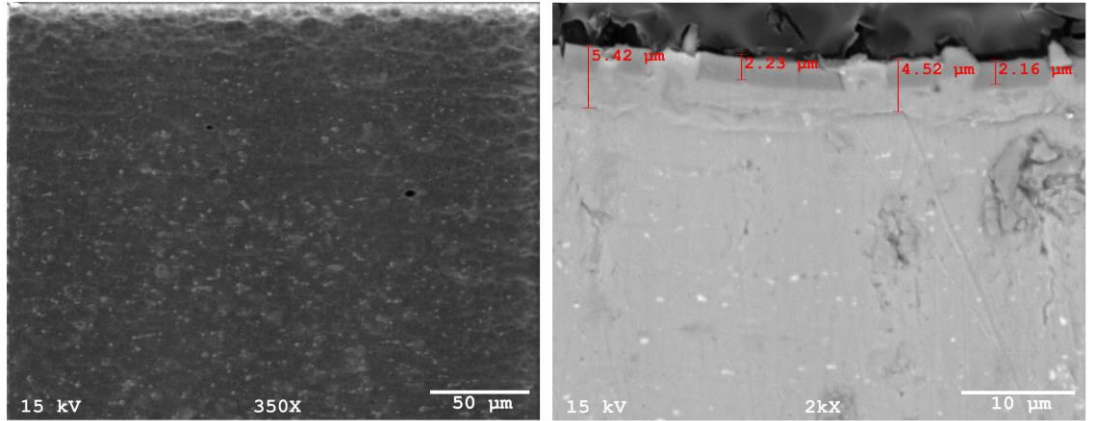
Şekil 5.36 : 1.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.



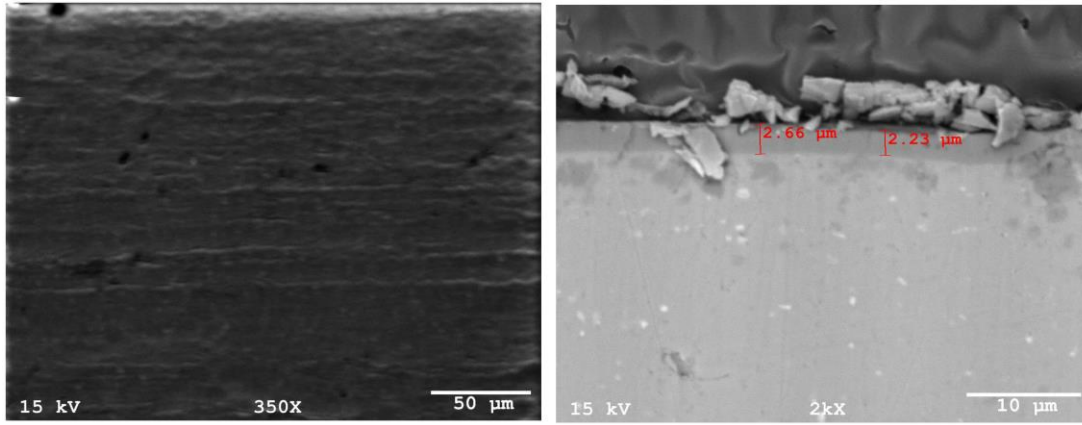
Şekil 5.37 : 2.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.



Şekil 5.38 : 3.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.



Şekil 5.39 : 4.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.



Şekil 5.40 : 5.Proses ile üretilen levhanın anodizasyon sonrası yüzey ve kesit SEM görüntüleri.

Aynı döküm işleminden arka arkaya alınan levhalara uygulanan döküm sonrası proseslerden elde edilen levhaların bir kısmında ripple görüntüsü var iken bir kısmında yok denecek kadar azdır. Sabit parametreler ile döküm yapılırken kısmi olarak bazı yerlerde ripple olup diğer yerlerde olmaması beklenen bir sonuç değildir. Bu durumun sebebinin daha önceki dökümlerde merdane yüzeyine geçen ripple izleri olduğu düşünülmektedir. Merdanenin bazı bölgelerindeki izler döküm süresince kısmi olarak levhaya iz bırakmaktadır.

Farklı proseslerle üretilen malzemelerin nihai yüzeyleri birbirinden oldukça farklıdır. Yüzey işleminden önce homojen tavlı prosesler ile üretilen 1,2 ve 3. prosesler mat ve pürüzlü bir yüzey görünümüne sahiptir. Bu durumun homojen tavdan sonra yumuşayan malzemenin haddeme esnasında yüzey kalitesinin bozulması ve sonraki hadde ezme oranının yüzeyi düzeltecek miktardan az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Son levhadaki yüzey bozukluğunun diğer nedeni de hadde merdanelerinin temizlik ve kalitesidir. Laboratuvar boyutlarında üretim için parça olarak haddelenen malzemeler kontrollü bir kalitede haddelenmemiştir. Ayrıca hadde merdanelerinin taşlama, bombe gibi özellikleri çalışma esnasında bilinmemektedir.

Anodizasyon işleminin ardından levhalarda görsel olarak çok farklılık olmamakla birlikte homojen tavsız 4. ve 5.proseslerin daha homojen matlıkta olduğu gözlenmektedir. Anodize levhaların SEM görüntüleri farklılık göstermektedir. Yüzeydeki tanelerinin en uzamış ve eş eksenli şekilden en uzak olan 5.proses levhalarının SEM görüntülerinde diğerlerine göre daha az por görülmektedir.

İşlemsiz yüzeyleri mat ve pürüzlü olan homojen tavlı proseslerin SEM incelemelerinde porlar görülmektedir ancak işlemsiz yüzeyi en parlak ve düzgün olan 4. Prosesten daha az miktardadır. Kesit incelemelerinde bütün levhalarda oksit film tabakasının geliştiği ve benzer kalınlıklarda olduğu görülmüştür.

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre;

- İkiz Merdaneli Sürekli Döküm ile üretilen alüminyum levhaların anodizasyon işlemi için engel teşkil eden ripple adı verilen ve kumsal izlerine benzeyen yüzey kusurudur. Döküm esnasındaki sıvı metalin gel-git hareketini engellemek amacıyla tandışteki metal seviyesi azaltılıp tip mesafesi kısaltılarak levhadaki bu izlerin bitmeye yakın derecede azalması sağlanmıştır.
- 7 farklı döküm parametresi ile üretilen levhaların istenen ripple'sız görüntüsüne en yakın olan setinden alınan levhalar 5 farklı proses ile 1.5mm H22 kondisyonunda üretilmiş olup bu proseslerin nihai ürünleri yapı ve görüntü olarak birbirinden farklılıklar göstermektedir.
- Prosesler sırasında alınan optik mikroskop görüntüleri literatürdeki plastik deformasyon ve ısıt işlem bilgileri ile uyumludur.
- Levhaların bir kısmında ripple izleri görülmektedir. Önceki dökümlerden dolayı merdaneye yansıyan ripple izlerinin sebep olduğunu düşündüren bu durum anodizasyon işlemi yapılacak malzemenin baştan itibaren kontrollü olarak üretilmesini gerektirmektedir. Döküme yeni tornalanmış ve taşlanmış merdane ile başlanmalıdır.
- Homojen tavlı prosesler ile üretilen malzemeler mat ve pürüzlü, diğer prosesler ise parlak ve düzgün görüntüye sahiptir. Homojen tavlı malzemelerin yüzeydeki bozuk görüntüsünün bir sebebi hadde merdanelerinin kalitesidir. Haddeleme işleminin yapılacağı merdaneler çiziksiz, çatlaksız, uygun pürüzlülükte olmalıdır. Aksi taktirde özellikle homojen tavlı gibi yumuşak malzemelerde olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır.
- Kesitten alınan yüzey tane yapısı görüntüleri yüzey SEM görüntüleri ile uyumludur.

- Anodizasyon işlemi yapılan levhalarda kısmi ripple dışında görsel olumsuzluk bulunmamaktadır.
- Aynı koşullarda anodize edilen malzemelerin film tabaka kalınlıkları birbirine çok yakındır.
- 4. ve 5.prosesle üretilen levhalar anodizasyon sonrasında diğerlerine kıyasla daha homojen düzgünlüktedir.
- Mikroyapının homojen olması amacı ile yapılan homojenizasyon tavlama nihai üründe beklenen düzgünlüğü sağlayamamıştır. Endüstriyel anlamda da maliyeti yükselttiği için gerekmedikçe tercih edilmeyen homojenizasyon tavlama uygulaması anodizasyon yapılacak levhalar için uygulanmayabilir.
- SEM incelemelerinde beklenen anodizasyon görüntüsüne en yakın görüntüyü 4.prosesle üretilen levhalar vermiştir. Seri üretim halinde ara tavlama bu proses uygulanmalıdır.
- Deneyler sonucunda, döküm işleminde gel-git hareketini azaltmak amacıyla değiştirilen parametrelerin olumlu sonuç verdiği görülmüştür. Giderilmesi hedeflenen ripple görüntüsünden büyük oranda uzaklaşmıştır. Levha üretimi için çeşitli hadde ve ısıtma işlem kombinasyonları ile prosesler denenerek, farklı yüzey tane yapılarının anodizasyon davranışlarının birbirinden farklı olduğu literatür bilgisi doğrulanmıştır.
- Magnezyum içeriğinden dolayı TRC ile dökümü dikkat gerektiren 5005 alaşımı ile yapılan bu çalışma döküm parametrelerinin iyileştirilmesi ile istenen görüntüye ulaşılabileceğinin mümkün olduğu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Büyükakkaş, F.** (2001). *Çift Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] **Kammer, C.** (1994). Continuous Casting of Aluminum Training in Aluminum Application Technologies, TALAT- Lecture 3210, Goslar.
- [3] **Alper, M.G.** (2003). *Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] **Altenpohl, D.** (1986). Alüminyum, Etibank Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları, Seydişehir.
- [5] **Ergün, D.H.** (2005). *İkiz Merdane Döküm Tekniği ile Üretilen 1050 Alaşım Alüminyum Levhaların Anodik Oksidasyon Kalitesinin Artırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] **Birol, Y.** (2009). Analysis Of Macro Segregation in Twin-Roll Cast Aluminium Strips via Solidification Curves, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 486, s. 168–172
- [7] **Blindern, E. And Slevoden S.** (1979). Casting and Annealing Structures in Strip Cast Aluminium Alloys, *Aluminium*, Vol. 55, s. 319-324.
- [8] **Yang, X., Hunt, J.D. ve Edmonds, D.V.** (1993). A Quantitative Study of Grain Structures in Twin Roll Cast Aluminum Alloys, Part 1: AA1070, *Aluminum*. Oxford, Vol. 69, s. 65- 71.
- [9] **Altuner, H.M., Ulus, A., Konya, C. ve diğ.** (2013). Mechanical Characterization and Formability Performance of Twin Roll Cast AA5754, *European Aluminium Congress*, 25-26 Kasım, Düsseldorf.
- [10] **Vangala, P., Duvvuri, R., Smith, D., ve Romanowski C.**, The Influence Of Casting Gauge On The Hunter Roll Casting Process, Hunter engineering Company, Inc, box 5677, Riverside, CA, 92507
- [11] **Ertan, S., DüNDAR, M., Birol, Y., ve diğ.** (2000). Levha Döküm Teknolojisi ile Üretilen Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Döküm Parametrelerinin Segregasyon Davranışlarına Etkileri, *Uluslar Arası 10. Metalurji Kongresi*, İstanbul, 24- 28 Mayıs, s.363 – 368.
- [12] **Jin I., Morris L.R.** (1995), Centre Line Segregation in Twin Roll Cast Aluminium Alloy Slab, *Light Metals*, s. 873-887.

- [13] **Henderson, M.B., Hunt, J.D. and Edmonds, D.V. ve Monaghan, D.J.** (1993). Microstructural Defects in High Productivity Twin-Roll Casting of Aluminum, *Materials Science and Engineering*, A173, s. 251- 254.
- [14] **Lockyer, S.A., Yun, M., Hunt, J.D. ve Edmond, D.V.** (1996). Micro- and Macrodefects in Twin Sheet Twin- Roll Cast Aluminum Alloys”, *Materials Characterization Elsevier Science Inc*, Newyork, 37, s. 301-310.
- [15] **Teknik Alüminyum Oryantasyon Programı Kitapçığı**, (2004). Teknik Alüminyum Şirket İçi Yayınları, İstanbul.
- [16] **Çapan L.** (2003), *Metallere Plastik Şekil Verme*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- [17] **Ertan, S.** (2007). *AA1050A ve AA3003 Alüminyum Alaşımlarında Termomekanik Proseslerin Şekillendirilebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [18] **Kayalı E.S., Çimenoglu H.** (1995). *Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- [19] **Marmara, M.** (2009). *AA5049 Alaşımlı Malzemelerin Sürekli Levha Döküm Teknolojisi İle Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [20] **Humphreys, F.J., Hatherly, M.** (2004). *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. Oxford: Pergamon Press.
- [21] **Askeland, D.R., & Çeviri: Erdoğan, M.** (1997). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- [22] **Puchi, E.S., Staia M., Escorche M. ve Perez Y.** (1995). Cold-Rolling and Annealing of Commercial Twin Roll Cast 3003 Aluminum Alloy, *Light Metals*, s.1183- 1186.
- [23] **Verhoeven, J.D.** (1974). *Fundamentals of Physical Metallurgy*. New York: John Wiley&Sons.
- [24] **Smith, W.F.** (1989). *Recovery, Recrystallization and Grain Growth*. Reynolds Metals Co. A Metallurgical Course Presented by the American Society for Metals Through Metals Engineering Institute Metals Park, Ohio.
- [25] **Yun, M., Lokyer, S., Hunt, J.D.** (2000). Twin Roll Casting of Aluminium Alloys, *Materials Science and Engineering*, Vol. 280, Issue 1, s. 116-123.
- [26] **Su, X., Xu, G.M., Jiang D.H.** (2014). Abatement of Segregation with the Electro and Static Magnetic Field During Twin-Roll Casting of 7075 Alloy Sheet, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 599, s. 279-285.
- [27] **Grydin, O., Schaper, M., Danchenko, V.** (2011). Twin-roll Casting of High-strength Age-hardened Aluminium Alloys, *Metallurgical and Mining Industry*, Vol. 3, No. 7.
- [28] **Hatch, J.E.** (1984). *Properties and Physical Metallurgy*. American Society for Metals.

- [29] **Kaufman, J.G., Rooy, E.L.** (2004). *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes and Applications*. American Foundry Society.
- [30] **Davis, J.R.** (1993). *ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys*. American Society for Metals.
- [31] **Slamova, M., Karlık, M., Robaut F., ve diğ.** (2002). Differences in Microstructure and Texture of Al–Mg Sheets Produced by Twin-Roll Continuous Casting and by Direct-Chill Casting, *Materials Characterization*, Vol. 49, s. 231-240.
- [32] Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Band, Şerit ve Levha Bölüm 2: Mekanik Özellikler. TS EN 485-2:2008. Ankara, Türkiye: TSE.
- [33] **Kawai, S.** (2002). *Anodizing and Coloring of Aluminum Alloys*. Hertfordshire: Metal Finishing Information Services Ltd.
- [34] **Runge, J.M., Pomis, A.J.**, Anodic Oxide Film Formation Relating Mechanism to Composition and Structure, Compcote Web sayfası. Erişim: 23 Aralık 2013, http://www.compcote.com/_papers/download/Anodic_Oxide.pdf
- [35] **Mutlu, B.** (2011). *Sert Anodize Kaplama Prosesinin Soğutma Yükünün Hesaplanması, Değişik Alüminyum Alaşımları Ve Proses Parametrelerinde Karşılaştırmalı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [36] **Polat, B.D.** (2010). *Pattern Formation On Aluminum Surface During Anodic Polarization*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [37] **Vargel C.** (2004). *Corrosion of Aluminum*. Boston: Elsevier.
- [38] **Jani, A.M.M., Losic, D., Voelcker, N.H.** (2013). Nanoporous Anodic Aluminium Oxide: Advances in Surface Engineering And Emerging Applications, *Progress in Materials Science*, Vol. 58, Issue 5, s. 636–704
- [39] **Sheasby, P.G., Pinner, R., Wernick, S.** (2001). *The Surface Treatment and Finishing Of Aluminium and Its Alloys*, Vol. 1. ASM International, Finishing Publications Ltd.
- [40] **Zhou, X., Sheasby, P.G., Scott B.A.** (2010). Coatings Produced by Anodic Oxidation, *Shreir's Corrosion*, Vol. 4, s. 2503–2518
- [41] **Gazapo, J.L., Gea, J.** (1994). Anodizing of Aluminium, TALAT- Lecture 3210, Alicante.
- [42] **Aluminum Anodizers Council**. Erişim: 11 Eylül 2013, <http://anodizing.org/>
- [43] **Iglesias-Rubianes, L., Skeldon, P., Thompson G.E. vd.** (2002). Behaviour of Hydrogen Impurity in Aluminium Alloys During Anodizing, *Thin Solid Films*, Vol. 424, Issue 2, s. 201–207
- [44] **New Zealand Institute of Chemistry**. Anodizing of Aluminium. Erişim 10 Ağustos 2013, <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/metals/8E.pdf>

- [45] Vorobyova, A.I., Outkina, E.A., Khodin, A.A. (2007). Self-Organized Growth Mechanism for Porous Aluminum Anodic Oxide. *Russian Microelectronics*, Vol. 36, Issue 6, s. 384-391.
- [46] Theohari, S., Kontogeorgou, Ch. (2013). Effect of Temperature on the Anodizing Process of Aluminum Alloy AA 5052, *Applied Surface Science*, Vol. 284, s. 611-618.
- [47] Anodizing Of Aluminium And Its Alloys, General Specifications For Anodic Oxidation Coatings On Aluminium. ISO 7599:2010. Cenevre, İsviçre, ISO.
- [48] Anodized Products Of Aluminium And Wrought Aluminium Alloys - Technical Conditions Of Delivery. DIN 17611. Berlin, Almanya, DIN.
- [49] Wang, M., Liu, Y., Yang, H. (2012). A Unified Thermodynamic Theory For The Formation Of Anodized Metal Oxide Structures, *Electrochimica Acta*, Vol. 62, s. 424-432
- [50] Labisz, K., Dobrzanski, L.A., Konieczny, J. (2008). Anodization of Cast Aluminium Alloys Produced By Different Casting Methods, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 8, Issue 3/2008, s. 45-50.
- [51] Runge, J.M. (2006). Challenges in Anodic Oxide Finishing Arising From Different Substrate Manufacturing Processes, *IHAA Symposium*, Web sayfası. http://www.compcote.com/_papers/download/IHAASY.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Beyza YEŞİLBAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 1988

E-Posta: beyza.yesilbag@gmail.com.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Mühendisliği