

**AA 2014, AA 6082 ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARININ OKSİDASYONU
VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Ramazan TEKİN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN, 2014

Bu tez çalışması 13. FEN.BİL.16. numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

**AA 2014 AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OKSİDASYONU VE
MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Ramazan TEKİN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN, 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Ramazan TEKİN tarafından hazırlanan “AA 2014, AA 6082 Alüminyum Alaşımlarının Oksidasyonu ve Mekaniksel Özelliklerin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN

Başkan	: Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Sinan ULU Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	İmza

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

.....
Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

25/06/2014

İmza

Ramazan TEKİN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

AA 2014, AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OKSİDASYONU VE
MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Ramazan TEKİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN

Alüminyum tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyum iyi korozyon direncine ve iyi bir ısı iletkenliğe sahiptir. Buna karşın sertlik, aşınma ve mekanik direnci çeliklere göre oldukça düşüktür. Bu nedenle alüminyum uygulamaları sınırlıdır. Ayrıca Al alaşımlarının kullanıldığı mekanizmalarda aşırı sürtünmelerden dolayı malzemelerde kullanım kaybı görülmektedir. Bu durumlardan dolayı kullanılan Al alaşımlı malzemelerin kullanım ömrü azalmaktadır. Al alaşımlarının mukavemetini ve ömür uzunluğunu arttırmak için ısı ı işlemler uygulanır.

Bu tez kapsamında ilk olarak AA 2014 ve AA 6082 alüminyum alaşımları geleneksel tav fırınında 530°C’de 20 dakika bekletilerek yapılar homojenleştirildi. Deneyler 550°C, 600°C sıcaklıklarda 3, 5 ve 7 saat süresince geleneksel fırında yaşlandırma ve oksidasyon işleme tabi tutulduktan sonra oksitlenen Al alaşımları korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Deney numuneleri metalografik işlemler sonrası mikroyapıları incelendi. Deney numuneleri SEM mikroskobunda tabaka/yüzey görüntüleri elde edildi. Ayrıca oksit tabakalarının sertliği mikrovickers sertlik (HV_{0,05}) cihazında 50 gr. yük altında ölçüldü. Termokimyasal yüzey işlemi neticesinde oluşan tabakaların faz analizi, X-ışınları difraktometresinde CuK_α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak yapıldı.

Hava atmosferli tüp fırınında oksitlenen numuneler aşınma işlemine tabi tutuldu.

Aşınma testleri kuru ortamda 8 mm çaplı bilye kullanılarak gerçekleştirildi. Deneyler tek yük (5 N) altında, 0,25 m/s kayma hızında, 300 metre mesafede ve oda sıcaklığında aşınma testleri yapıldı.

Suni yaşlandırılan Al alaşımlarının yapısında oluşan fazların varlıkları SEM analizi çalışmasıyla tespit edilerek mevcut fazların mekanik özelliklere etkileri araştırıldı. Numunelerin çeşitli yaşlandırma sıcaklıklarında içyapılarda mevcut olan çökeltilerin oksitlenme miktarları ile sertlik oluşumuna etkileri araştırılmıştır.

2014, xviii + 128 sayfa

Anahtar Kelimeler: AA 2014, AA 6082, Isıl İşlem, Mikro Sertlik, Oksidasyon, Korozyon, Aşınma.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

OXIDATION OF AA 2014, AA 6082 ALUMINUM ALLOYS AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Ramazan TEKİN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy & Material Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOĞAN

Aluminum is one of the most abundant elements in nature and the most used metal after steel. Aluminum has a good corrosion resistance and thermal conductivity. Conversely the rigidity, mechanic and abrasion resistances of aluminum is low compared the steel. Therefore, the applications of aluminum are limited. Also, in the mechanisms which use Al composites loss of use is observed because of the excessive friction. Due to these conditions lifecycle of Al composite materials have decreased. Al alloys to enhance the longevity and strength of heat treatment is applied.

In the context of this thesis, first of all aluminum alloys of AA 2014 and AA 6082 were kept in pneumatic annealing furnace in 530°C for 20 minutes and homogenized. After that experiments were treated aging and oxidation processes in 550°C and 600°C temperatures for 3, 5 and 7 hours in traditional furnace. Subsequently oxidized Al alloys were treated corrosion process. Metallographic processes were followed by microstructure analyze of test specimens. Layer / surface images were obtained on microscope (SEM). Also rigidity of the oxide layer were measured in microvickers hardness (HV_{0,05}) device under load of 50 gr. Phase analysis of the layers which was formed as a result of thermo chemical surface treatment were made with using CuK_α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) radiation in X-ray diffractometer.

Oxidized specimens in air atmosphere a tube furnace were processed of corrosion. Tests of corrosion were performed with using 8 mm diameter ball in conditions without

lubrication. Also tests of wear were performed under single load (5 N), 0,25 m/s shear rate, 300 meters distance and at room temperature.

Artificial aging structure of Al alloys in the presence of a phase was determined by SEM analysis of the current phase of the study examined the effects of mechanical properties. Available in a variety of sample microstructure in aging temperature oxidation of the precipitate, which amounts to the formation and hardness were investigated.

2014, xviii +128 pages

Key Words: AA 2014, AA 6082, Heat Treatment, Micro hardness, Oxidation, Corrosion, Wear.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Muzaffer ERDOğAN'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr İbrahim GÜNEŞ'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Őükrü LKER hocalarıma ve her konuda neri yardımlarını gördüğüm Cihan ZORAK ve ailesine, Alper DALAR'a ve Murat KAYA' ya ve ayrıca proje kapsamında sağladığı maddi imkanlar nedeniyle Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Komisyonuna ve üniversiteme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ramazan TEKİN

AFYONKARAHİSAR, 2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
RESİMLER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Tarihçesi	4
2.2 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	5
2.3 Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması	6
2.3.1 Dövme Alüminyum Alaşımları	7
2.3.2 Dökme Alüminyum Alaşımları	8
2.4. AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Alanları	8
2.4.1 Alüminyum 1xxx Serisi	9
2.4.2 Alüminyum 2xxx Serisi	9
2.4.2.1 AA 2014	9
2.4.3 Alüminyum 3xxx Serisi	10
2.4.4 Alüminyum 4xxx Serisi	10
2.4.5 Alüminyum 5xxx Serisi	11
2.4.6 Alüminyum 6xxx Serisi	11
2.4.6.1 AA 6082	11
2.4.7 Alüminyum 7xxx Serisi	12
2.5 Alüminyum Alaşımlarının Temper Seri Numaraları	12
2.6 Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler	14
2.6.1 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşleminin Tarihçesi	14
2.6.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi	14
2.6.2.1 Solüsyona Alma İşlemi.....	15
2.6.2.2 Su Verme	17

2.6.2.3 Yaşlandırma.....	20
2.6.3 Ara Verilerek Yaşlandırma (2. Çökelme Sertleşmesi)	23
2.6.3.1 AA 2014 Alaşımında Çökelti Sertleşmesi Karakteri.....	24
2.6.4 Aşırı Yaşlanma	25
2.7 Alüminyumun Termal Oksidasyonu	27
2.7. 1 Termal Oksidasyon	27
2.7.2 Oksidasyon Kinetiği	30
2.7.3 γ -Al ₂ O ₃ ve α -Al ₂ O ₃ Fazı.....	31
2.8 Alüminyum ve Alaşımlarının Korozyon Davranışı	32
2.8.1 Çukur Korozyonu	33
2.8.2 Oyuklanma (Pitting) Korozyonu	34
2.8.3 Tanelerarası Korozyon.....	35
2.8.4 Filiform Korozyonu	36
2.8.5 Galvanik Korozyon.....	37
2.8.6. Aralık Korozyonu	38
2.8.7 Gerilmeli Korozyon Çatlaması	39
2.9. Alüminyum ve Alaşımlarının Aşınma Davranışı.....	40
2.9.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler	41
2.9.2 Aşınma Mekanizmaları	42
2.9.2.1 Abrasiv Aşınma	43
2.9.2.2 Yorulma Aşınması.....	44
2.9.2.3 Adhezif Aşınma	45
2.9.2.4 Korozyon Aşınması	46
2.9.2.5 Oksidasyon Aşınması	46
3. MATERİYAL VE METOT.....	48
3.1 Deney Malzemeleri	48
3.2 Termal oksidasyon işlemi.....	49
3.3 Metalografik Çalışmalar.....	50
3.4 Mikro Sertlik Ölçümleri	51
3.5 Taramalı Elektron Mikroskopu(SEM) ve EDS İncelemeleri.....	52
3.6 X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD)	52
3.7 Aşınma Deneyi	52
3.8 Korozyon İşlemi.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
4.1 Optik Mikroskop Analizleri	54
4.2 XRD Analizleri	60

4.3 Mikrosertlik Analizleri	65
4.4 Aşınma Analizleri	72
4.5 SEM ve Korozyon Analizleri	93
4.6 EDS Analizleri	107
5 SONUÇLAR.....	114
6 KAYNAKLAR.....	117
6.1 İnternet Kaynakları.....	126
ÖZGEÇMİŞ.....	127

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

γ -Al ₂ O ₃	Gama alümina
α -Al ₂ O ₃	Alfa alümina
HCl	Hidroklorik asit
μ	Mikron
°C	Derece
N	Newton
M	Molar

Kısaltmalar

AA	Alüminyum alaşımı
GP	Guiner-Preston
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını spektroskopisi
XRD	X-Işını kırınımı
HV	Vickers Mikro sertlik

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman çevrim grafiği.....	15
Şekil 2.2 Al- Cu Denge diyagramında solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi.	16
Şekil 2.3 Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti.	18
Şekil 2.4 Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme.	18
Şekil 2.5 Aşırı doymuş katı çözelti.	19
Şekil 2.6 Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri.....	20
Şekil 2.7.Yaşlandırma safhasında malzeme yapısındaki Θ oluşumu.....	22
Şekil 2.8 Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları.....	23
Şekil 2.9 Ara verilerek yaşlandırma işleminin grafiksel gösterimi.	23
Şekil 2.10 AA 2014 alaşımı için sıcaklık-zaman-değişim diyagramı.	25
Şekil 2.11 Matris katı eriyiği içerisindeki çökeltinin (θ , ikinci faz partikülleri) yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda; a) yaşlandırmanın ilk safhası, b) yaşlandırmanın ikinci safhası, c) yaşlandırmanın üçüncü safhası, d) yaşlandırmanın dördüncü safhası oluşumlarının mikro yapı resimleri.	26
Şekil 2.12 AA 2014 alaşımında yaşlanma esnasında meydana gelen dönüşümler ve dayanım artışı.	27
Şekil 2.13 Oksijen tabakası dönüşümünün modeli, a) Yüzeydeki oksijen adsorbsiyonu, b) çekirdek oluşumu c) Çekirdeğin yanal büyümesi, d) Kompakt oksijen tabakasının büyümesi.	28
Şekil 2.14 600°C'de 60 saat termal oksitlenen numunelerin 2D kesit ve 3D optik mikroskop görüntüleri (OT: Oksit tabakası, ODB: Oksijen difüzyon bölgesi). ...	29
Şekil 2.15 Oksit tabakasının oluşumu sırasında oksidasyon kinetiğinin şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.16 Alüminyumun çukurcuk korozyonu ve korozyon boyunca oluşan kimyasal ve elektrokimyasal tepkimelerin şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.17 Alüminyumun oyuklanma korozyonunun mekanizması.	35
Şekil 2.18 Tane sınırlarında katodik fazın çökeltmesi.	36
Şekil 2.19 Filiform korozyonu.	37

Şekil 2.20 İki farklı metalin temasından oluşan galvanik korozyon.	37
Şekil 2.21 Aralık korozyonu	39
Şekil 2.22 Tribolojik sistemin şematik olarak görünümü	41
Şekil 2.23 Abrasiv aşınma mekanizmaları.	43
Şekil 2.24 Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik resimleri.	44
Şekil 2.25 Yapışkan bir transfer nesnesinin şematik görünüşü.	45
Şekil 4.1. AA 2014 alüminyum alaşımının optik görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 530°C’de 20 dk bekletilip su verilmiş numune.	54
Şekil 4.2 AA 2014 işlemsiz alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	55
Şekil 4.3 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	55
Şekil 4.4 AA 2014 işlemsiz alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	56
Şekil 4.5 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	57
Şekil 4.6 AA 6082 alüminyum alaşımının optik görüntüsü; a) İşlemsiz numune, b) 530°C’de 20 dk bekletilip su verilmiş numune.	58
Şekil 4.7 AA 6082 işlemsiz alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	58
Şekil 4.8 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	59
Şekil 4.9 AA 6082 işlemsiz alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	59
Şekil 4.10 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	60
Şekil 4.11 AA 2014 alüminyum alaşımının XRD eğrileri	62

Şekil 4.12 AA 6082 alüminyum alaşımının XRD eğrileri	64
Şekil 4.13 Yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 2014 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri	67
Şekil 4.14 Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 2014 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri	68
Şekil 4.15 Yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 6082 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri	70
Şekil 4.16 Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 6082 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri	71
Şekil 4.17 AA 2014 alüminyum alaşımının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numune.....	72
Şekil 4.18 AA 2014 alüminyum alaşımının 550 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 5 saat, b) 7 saat.	73
Şekil 4.19 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	74
Şekil 4.20 AA 6082 alüminyum alaşımının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numune.....	74
Şekil 4.21 AA 6082 alüminyum alaşımının 550 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 5 saat, b) 7 saat.	75
Şekil 4.22 AA 6082 alüminyum alaşımının 600 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.	75
Şekil 4.23 AA 2014 alüminyum alaşımının yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.....	76
Şekil 4.24 AA 2014 alüminyum alaşımı suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.....	77

Şekil 4.25 AA 6082 alüminyum alaşımının yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.....	78
Şekil 4.26 AA 6082 alüminyum alaşımı suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.....	78
Şekil 4.27 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin SEM görüntüsü;.....	94
a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	94
Şekil 4.28 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	94
Şekil 4.29 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	95
Şekil 4.30 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	95
Şekil 4.31 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	96
Şekil 4.32 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	96
Şekil 4.33 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	97
Şekil 4.34 AA 6082 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin SEM görüntüsü;.....	97
a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	97
Şekil 4.35 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	98
Şekil 4.36 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	98

Şekil 4.37 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	99
Şekil 4.38 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	100
Şekil 4.39 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	100
Şekil 4.40 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.	101
Şekil 4.41 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	101
Şekil 4.42 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	102
Şekil 4.43 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	103
Şekil 4.44 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	103
Şekil 4.45 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	104
Şekil 4.46 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	104
Şekil 4.47 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	105
Şekil 4.48 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.	106
Şekil 4.49 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin EDS analizi.	107
Şekil 4.50 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	107

Şekil 4.51 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	108
Şekil 4.52 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	108
Şekil 4.53 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	109
Şekil 4.54 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	109
Şekil 4.55 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	110
Şekil 4.56 AA 6082 alüminyum alaşımının İşlemsiz numunenin EDS analizi.	110
Şekil 4.57 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	111
Şekil 4.58 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	111
Şekil 4.59 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	112
Şekil 4.60 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	112
Şekil 4.61 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	113
Şekil 4.62 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması (Kaya 2005)	7
Çizelge 2.2 Alüminyum Alaşımları İçin Temper Seri Numaralarının Tanımları (Başer 2012)	13
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 2014 alüminyum alaşımının (%) kimyasal bileşimi.	48
Çizelge 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 6082 alüminyum alaşımının (%) kimyasal bileşimi.	48
Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan parametreler	49
Çizelge 4.1 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin kesit yüzeyinden merkeze doğru ölçülen mikro vickers sertlik eğrileri	66
Çizelge 4.2 AA 6082 alüminyum alaşımının işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin kesit yüzeyinden merkeze doğru ölçülen mikro vickers sertlik eğrileri.	69
Çizelge 4.3 AA 2014 alaşımının 550°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.....	79
Çizelge 4.4 AA 2014 alaşımının 600°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.....	79
Çizelge 4.5 AA 6082 alaşımının 550°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.....	80
Çizelge 4.6 AA 6082 alaşımının 600°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.....	80
Çizelge 4.7 AA 2014 alaşımının 550°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.	82
Çizelge 4.8 AA 2014 alaşımının 550°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.....	83

Çizelge 4.9 AA 2014 alaşımının 600°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.	85
Çizelge 4.10 AA 2014 alaşımının 600°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi. 86	
Çizelge 4.11 AA 6082 alaşımının 550°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.....	88
Çizelge 4.12 AA 6082 alaşımının 550°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi. 89	
Çizelge 4.13 AA 6082 alaşımının 600°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.....	91
Çizelge 4.14 AA 6082 alaşımının 600°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.	92

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 a) Spektral analiz için kullanılan cihaz, b) Numunenin spektral analiz örneği	48
Resim 3.2 Oksidasyon işleminde kullanılan fırının fotoğrafı.	49
Resim 3.3 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.	50
Resim 3.4 Optik mikroskop.	51
Resim 3.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).	51
Resim 3.6 Aşınma cihazının görünüşü.....	53

1. GİRİŞ

Dünyada en fazla mevcut metaller sıralamasında alüminyum ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısıl işlem şartı ile çok farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğu, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek korozyon direnci, geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip olması bu alaşımların kullanım alanını artırmaktadır (Nie and Matthew 1999, Kurt 2006, Zhu and Zhou 2007, Cevik *et al.* 2011).

Havacılık ve uzay sanayinde en önemli yapı elemanı olan alüminyumun otomotiv sanayinde de kullanım oranı giderek artmaktadır. Bunun yanı sıra ışığı yansıtma özelliği ve gümüşe benzer bir yüzey görünümüyle iç ve dış mimari uygulamalarında kullanılmaktadır (Güven 2012).

Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarının, ayrıca, yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaları, teknik kullanım alanlarını çok genişletmiştir. Mukavemet/yoğunluk oranının yüksek olması gereken taşıt tekniği, uzay ve özellikle uçak sanayindeki özgün konstrüksiyonlar, yaşlandırılabilir alüminyum alaşımları olmadan düşünülemez. Farklı karakterdeki çökelti fazlarının oluşumu yaşlandırma etkisini kuvvetlendirir, sertlik ve mukavemet değerlerini artırır (Darıdereli 2010). Yüksek dayanım özelliğini düşük sıcaklıklarda bile koruyabilmesi, yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olması, başta uzay ve uçak endüstrisi olmak üzere pek çok endüstriyel alanda tercih edilmesine neden olmuştur (Erdoğan *et al.* 2012).

Oksijene karşı afinitesi yüksek olan metallerin yüzeyiyle hava etkileşime girer. Bu etkileşim belirli bir süreçte gerçekleşir ve süreç sonunda metal yüzeyinde oksit tabakası meydana gelir (Leyens and Peters 2003).

Alüminyum oksijene karşı çok büyük afinitesine rağmen korozyona karşı dayanıklı bir metaldir. Korozyona karşı direnci, havada ve suda koruyucu bir oksit tabakasının oluşmasından ileri gelmektedir. Bu kararlı tabaka suda çözünmediği için alüminyumun oksitlenmesinin ilerlemesini durdurmakta ve alttaki metali korumaktadır. Ergimiş

alüminyumun üzerinde de derhal bir oksit tabakası oluşmakta ve ergimiş alüminyumun oksitlenerek yanmasını engeller (Nie And Matthews 2000).

Geniş anlamda korozyon katı maddelerin çeşitli etkiler altında dıştan içe doğru ilerleyen aşınmasıdır (Üneri 1988). Korozyon, malzemenin veya malzemelerin çevre ile etkileşimi sonucunda fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasıdır. Söz konusu etkileşim genellikle elektro kimyasaldır (Yurdakul *et al.* 2002).

Korozif ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyumun korozyona dayanıklılığını sağlar. Bu özelliğinden dolayı alüminyum pek çok korozif ortamda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının içindeki diğer elementler alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygun olduklarından dolayı, korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması tavsiye edilir. Fakat mekanik özelliklerindeki dayanım düşüklüğü (zayıflık) nedeniyle uygulamalarda saf Al kullanımı yaygın değildir (Akdoğan Eker 2009).

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide bir çok tribolojik sistemlerde görülen korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenden günümüz teknik sistemlerindeki araştırmalar aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfı da önlenmiş olur (Durmuş *et al.* 2011). Ayrıca alüminyum ve alaşımları, düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olmasına rağmen bu malzemeler endüstrilerde özellikle tribolojik uygulamalarda, demir ve çelikten sonra en fazla kullanılan mühendislik malzemesidir (Gavgali *et al.* 2004, Meyveci 2007).

Alüminyumun kullanımı sırasında önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle mekanik özelliklerinin yetersizliği ve aşınma problemleri nedeniyle alüminyuma alaşım elementleri ilave edilmesiyle birlikte çeşitli ısıl işlemler uygulanarak, aşınma direncinin artırılmasına yönelik çalışmalar çok fazla önem kazanmıştır (Sun *et al.* 1999, Aydın 2002). Alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısıl işlemdir.

Endüstri ve diğler uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ısıı işlem yöntemi, yaşlandırma ısıı işlemidir (Meyveci 2007).

Alüminyum iyi korozyon direncine ve iyi bir ısıı iletkenliğe sahiptir. Buna karşı sertlik, aşınma ve mekanik özellikleri çelıklere göre oldukça düşüktür. Bu nedenle alüminyum uygulamaları sınırlıdır. Yapılan araştırmalar ve yüzey kaplama teknolojisi sayesinde alüminyum alaşımları kullanılabilir duruma getirilmiştir. Oksidasyon işlemi de yüzey kaplama yöntemlerinden biridir. Bu nedenle AA 2014 ve AA 6082 alaşımları oksitlendirilerek mekaniksel ve yüzeysel özelliklerinin geliştirilmesi, ayrıca Al alaşımlarına uygulanan bir seri ısıı işlemler (yaşlandırma) sonrasında oksitlenme tabaka oluşumu ve zamana bağılı olarak oluşan tabaka kalınlığının arzu edilen mekaniksel özellikler üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Alüminyum ve Alaşımlarının Tarihçesi

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyum'dan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi ise 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla gerçekleşmiştir. Alüminyum oksit halindeki bileşiğinden ilk ayıran ve elde eden kişi 1808 yılında Sir Humphrey Davy olmuştur (Cobden, and Banbury 1994).

Alüminyum minerali olan alum Yunanlılar ve Romalılar tarafından biliniyor ve harç olarak kullanılıyordu. 1746 yılında J. H. Pott alüminyumdan alüminayı (Al_2O_3) ayırdı. O zamanlar içerisinde A. L. Lavoisier'in de olduğu birkaç bilim adamı alüminanın bilinmeyen bir metalin oksidi olduğuna inanıyorlardı. Alüminyumun oksijene olan ilgisi o kadar fazlaydı ki, ne karbon ne de bilinen indirgeyiciler onun oksidini redüklemeye etkili olamıyordu. Friedrich Wöhler isimindeki bir Alman kimyageri ilk defa 1827 yılında, bir gram kadar alüminyum elde etti. Wöhler, bu ilk alüminyum kimyasal usul ile (yani alüminyum klorür ile potasyum arasındaki redükleme olayına dayanarak) elde etmiştir (KÜMMM 2007).

Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Günümüzde halen kullanılan yöntem olduğundan, 1886 yılı alüminyum endüstrisinin başlangıç yılı olarak kabul edilmektedir. 1886 yılında Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K. J. Bayer'in boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur.

1905 yılında Conrad CLAESSEN alüminyum alaşımlarına su verilmesi hakkında bazı neticeler bulup, %4 Cu içeren alaşımın su verme sıcaklığının $525^{\circ}C$ civarında olduğunu belirtmiştir. 1906'da Alfred WILM, %4 Cu'lu alüminyum alaşımında tesadüfen

yaşlanma sertleşmesini buldu. 1907'de bir Alman şirketi %4 Cu, %0,25 Mg içeren ve ısı işlemlerin söz konusu olmadığı bir alaşım yapmıştır.

Alfred WILM, 1911'de %3,5 Cu, %0,25 Mg içeren alaşımın su verme sıcaklığını 500°C olarak tespit edip su verme sonucunda alaşımın yumuşak olduğu fakat birkaç saat sonra sertleştiğini belirtmiştir. Bu sertleşme başlangıçta hızlı, daha sonra yavaştır. 1919'da Merica, Waltenber ve Scott yaşlanmanın olabilmesi için alaşımın nasıl bir faz diyagramına sahip olması gerektiğini tespit ettiler. 1920'de Frankel ve Seng yaşlanma sırasında elektrik iletkenliğinin değişimini tespit ettiler. 1926'da Schmidt ve Wassermann yaşlanma sırasında latis parametresinin değişimini incelediler. 1930'da Frankel aşırı yaşlanmayı gözledi.

1935'de Wassermann ve Went, alüminyum-bakır alaşımlarına X ışınlarıyla inceleme yaparak Al-Cu denge diyagramındaki θ fazına benzer fakat aynı olmayan θ fazını gördüler. Buna geçiş latisi adını verip aynı adlı teoriyi ortaya attılar. 1938'de Guiner ve Preston yaşlanma sertleşmesinin kaynağını teşkil eden GP zonlarını tespit ettiler (Tımaç 2006).

Ülkemizde birincil alüminyum üretimine ise 1974 yılında Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde başlanmıştır (Çetin 2006).

2.2 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum'un simgesi Al'dir. Gümüş renkte sünek bir metaldir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 (MPa) iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'ya çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Elektrik iletkenliği %64,94 IACS dir (saf Al, 2°C'de). Atom numarası 13 tür. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve

yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde geniş kullanım alanına sahiptir (Esertürk 2009, İnt.Kyn.1)

Alüminyum, demir-çelik malzemelerden sonra, mekanik özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle, çağımızın en çok kullanılan metalidir. Alüminyumun metal olarak özellikleri birçok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Alüminyumun;

- Uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlık,
- Korozyona karşı dayanımı,
- Alaşımlarının sağlamlık ve yumuşaklık açısından son derece çeşitli olması,
- Koku ve kimyasallara karşı dayanım ve hijyenik koşullar,
- Uygulanan enerjiyi barındırma yeteneği,
- Geri dönüşebilir olması,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği,
- Parlama ve alev almazlık,
- Magnetik nötralite,
- Kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi,
- Çok farklı yöntemlerle yüzey işlemleri, özellikleri kullanımının çok büyük bir hızla yaygınlaşmasına neden olmuş, böylelikle alüminyumu 21. yüzyıla damgasını vuran bir metal yapmıştır (Başer 2012).

2.3 Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılmaktadır. Bu da imal usullerinin farklı ihtiyaçları olduğunu göstermektedir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımları, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikroyapı ve kimyasal bileşime sahiptirler. Her iki ana grup içindeki alaşımlar, ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere, iki alt gruba ayrılmaktadır (Başer 2012). Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri soğuk şekil verme ve ısıl işlem vasıtasıyla gerçekleştirilirken, ısıl işlem uygulanmayan alaşımlarda sadece soğuk şekil verme ile mukavemet artışı sağlanabilir (Cirik 2007). Alüminyum alaşımları ve ısıl işlem durumları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması (Kaya 2005)

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Safılıkta Al(>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Mg varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir

Döküm Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Safılıkta Al	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XXX	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Ms-Si	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
9XXX	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

2.3.1 Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alüminyum alaşımlarında daha yüksek fiziksel özellikler elde edilmesi haddeleme, ekstrüzyon, dövme gibi mekanik işlemler ile sağlanır. Bu işlemler tane yapısını inceltir ve alaşımı daha homojen yapar. Dövme işlemi malzemenin döküm yapısını bozarak, malzeme özelliklerini iyileştirir.

Dövme alaşımların üretimindeki işlem kademeleri sırasıyla;

- İşlenmemiş parça veya ingotun dökümü,

- Sıcak veya çoğunlukla soğuk şekil verme,
- Isıl işlem, şeklindedir.

Birçok uçak ve uzay aracı uygulamalarında açık ve kapalı kalıp dövme alüminyum alaşımları kullanılır. Alüminyum alaşımlarının % 20'ye yakını ekstrüzyon ürünü alaşımlar oluşturur. Ekstrüzyon ürünleri özel biçim ve kesit gerektiren her türlü uygulamada kullanılabilir. Dövme alüminyum alaşımlarına bir genelleme yapılırsa 1xxx, 3xxx, 4xxx ve 5xxx serileri ısıl işlem uygulanamayan türlerdir ve bunlar sadece şekil değişimiyle sertleştirilebilirler. 2xxx, 6xxx ve 7xxx dövme alüminyum alaşımları ise ısıl işleme tabi tutulabilirler (Cirik 2007).

2.3.2 Dökme Alüminyum Alaşımları

Dökme alaşımlar genellikle kum döküm, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak dökülürler. Bu alaşımlar son derece yüksek fiziksel özellikler gösterir ve işlenmeye elverişlidirler. Dökme alaşımlar kaynak edilebilirler. Isıl işlem çok yaygın olarak dövme alüminyum alaşımlarına uygulanmakla birlikte, dökme alaşımların bir kısmına da uygulanabilir. Bu alaşım gurubunun özellikleri her ne kadar hafif bir döküm alaşımı yapısı sergiliyorsa da çok geniş bir şekilde taşıma sahasında kullanılmaktadırlar.

Dökme alüminyum alaşımları genellikle iki fazlıdır. Bu alaşımların bazı bileşim özellikleri ısıl işlemle veya ergimiş metali kalıba dökmeden önce döküm yapısında bir iyileştirme işlemi vasıtasıyla düzeltilebilir. Dökme alüminyum alaşımlarına bir genelleme yapılırsa 1xx.x, 3xx.x, ve 5xx.x dökme alüminyum alaşımları yaşlandırılmaz. 2xx.x, 4xx.x, 7xx.x ve 8xx.x dökme alüminyum alaşımları ise yaşlandırılabilir (Cirik 2007).

2.4 AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Alanları

Bu alüminyum alaşımları dört basamaklı bir kodlama yöntemi ile içerisinde yer alan ana alaşım elementlerine göre gruplandırılmaktadır. Binler hanesindeki rakam ana grubu gösterir 2xxx serisinden 7xxx serisine kadar her grup en büyük alaşım elementine göre adlandırılır. Bu adlandırmaya uymayan grup serisi 6xxx serisidir. Bu guruba giren

alaşımlarda hem magnezyum hem de silisyum bulunur. Bu iki element birleşerek magnezyum silis (Mg_2Si)'i oluşturur (Tımaç 2006).

2.4.1 Alüminyum 1xxx Serisi

Bu alaşımlar minimum %99,0 alüminyum, empürite olarak da silisyum ve demir içerirler. Dayanım artışı için %0,12 bakır ilavesi yapılabilir. Bu alaşımlar yüksek oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar (Tufan 2011). Bu alaşımlar yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük mekanik özellikleri ve yüksek işlenebilirlik ile karakterize edilir. Bu alaşımlar fazla dayanım istenmeyen pencere profili, korniş, kapı, mutfak eşyaları v.b. yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Çetin 2005).

2.4.2 Alüminyum 2xxx Serisi

2xxx, serisinin başlıca alaşım elementi bakırdır. Pek çok ticari alaşımlar, % 1 ile 10 arası ana bileşen olarak bakır elementi içerir. Bakır nispeten yüksek dayanıklılık ve çökeltme sertleşmesi sağlar (Kaufman 2000). Bakır oranı % 12'ye kadar, mekanik özellikler üzerinde olumlu etkileri görülmektedir. Bu serideki alaşımlar otomotiv, vagon ve uçak sanayilerinde yüksek dayanım ve hafifliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Çetin 2005).

2.4.2.1 AA 2014

Ana alaşım elementi bakır olan AA 2014 alüminyum alaşımı kırılman ve sert fazlar içerdiğinden kütleşel şekil değiştirme kabiliyeti düşüktür. Bu yüzden içyapıda fazların dağılımı ve tane boyutu homojenlendirme ile uygun hale getirilerek süneklik artırılmalıdır (Gavgalı ve Çetin 1995).

AA 2014 alüminyum alaşımı uçak parçaları, tekerlekler için ağır dövme, plaka ve ekstrüzyon ve önemli yapısal bileşenleri, uzay sanayi kamyon kasa ve süspansiyon parçaları, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren uygulamalar,

uçak gövde ve kanatları, uzay araçları ve mermi kovanlarında kullanılır (ASM HANDBOOK 1992, Durmuş *et al.* 2003).

2.4.3 Alüminyum 3xxx Serisi

3xxx serisinde ana alaşım elementi mangandır. Alüminyum içerisinde maksimum mangan çözünürlüğü 658°C de %1,82 kadardır. Sıcaklık düştükçe mangan çözünürlüğü düşük oranda azalır. Bu alaşımlar yaşlanma ile sertleştirilemezler. Mangan çözünürlüğü düşük olduğu için üretilen alaşım sayısı çok azdır.

Bu serideki alaşımlar şekillenme kabiliyeti ve korozyon direnci yüksek olduğundan boru gaz ve yağ tankı, gıda kutusu, toplama kapları, karavan yapımında tercih edilmektedir (Tımaç 2006).

2.4.4 Alüminyum 4xxx Serisi

Bu serideki çoğu alaşıma ısıl işlem uygulanamaz. Alüminyumda silisyumun maksimum çözünme sınırı %1,65'dir. Ancak 4xxx serisi alaşımlarda %2,5'e kadar silisyumlu alaşım yapılır. Artan silisyum oranı ergime sıcaklık aralığını azaltır ve dökülebilme kabiliyetini artırır. Bu yüksek silisyumlu alaşımların düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma direnci olur (Tımaç 2006).

Bu serideki alaşımlara, silisyum ilave edilerek, kaynak ve lehimleme işlemlerinde ergime noktası düşürülmekte, böylece alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti iyileştirilmektedir. Silisyum, alaşımın akıcılık özelliğini artırması nedeni ile döküm teknolojisinde, geometrisi karmaşık şekillerin üretilmesine imkân vermektedir (Tufan 2011).

Bu serideki alaşımlar lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimlerinin imalinde kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek silisyum içeren dökümler içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve kartellerde, ayrıca nikel gibi elementlerin ilavesiyle de piston imalinde kullanılırlar (etin 2005).

2.4.5 Alüminyum 5xxx Serisi

5xxx serisi alaşımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken süneklik azalır (Tımaç 2006). %10 oranında Magnezyum içeren alüminyum alaşımları, tavlama işleminden sonra bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti, uzama ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir. Ana alaşım elemanı olarak veya manganla kullanıldığı zaman orta yükseklikteki mukavemet değerlerine sahip olan ve ısıtıl işlem uygulanamayan bir alaşım oluşmaktadır. Bu serideki alaşımlar sertlik ve dayanım istenilen özel konstrüksiyonlar için kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirliği önemli özellikleridir. Bu serideki alaşımlar sertlik ve dayanım istenilen özel konstrüksiyonlar için kullanılmaktadır (Çetin 2005).

2.4.6. Alüminyum 6xxx Serisi

6xxx, Magnezyum ve silisyum içerir her ikisi ile, alüminyum da mükemmel sertleştirilebilirlik yeteneği sağlar magnezyum silisyum sistemi, Mg_2Si fazı oluşturur. Yüksek korozyon direnci, orta kuvvette mükemmel kalıptan çekme, ısıtıl işleme yatkınlık önemli özellikleridir (Cobden and Banbury 1994, Kaufman 2000).

Bu seri alaşımları ilaç, kimya ve gıda sanayilerinde, ambalajlamada ve makine parçalarının imalinde, yüksek şekil verilebilirlik, yüksek mukavemetli ve sertleştirme yeteneği gibi özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Ayrıca tane inceltme ve mekanik özellikleri iyileştirme odaklı birçok çalışmada bu alaşımların davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır (Farshidi *et al.*2013).

2.4.6.1. AA 6082

Korozyon özelliği yüksek, kaynak kabiliyeti çok iyi, T4 ısıtıl işleminden sonra stabilize edilmiş formda soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti çok iyi, kompleks parçalar için uygun değildir. Tren vagonlarının ağır iş parçaları, deniz botu, kamyon çatıları, bisiklet

yapımında, makine sanayinde kullanılır (İnt.Kyn.2).

2.4.7. Alüminyum 7xxx Serisi

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur ve %5 nispetinde kullanılır. 7xxx serisi alaşımları yaşlandırma ile sertleştirilir. Bu alaşıma biraz magnezyum ilavesi mukavemeti artırır. Ayrıca bakır ve krom ilaveli alaşımlar geliştirilmiştir. Bakır ile desteklenen 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, 1xxx, 3xxx, 5xxx veya 6xxx serisi alüminyum alaşımlarından daha düşüktür. Bu alaşımların gerilme korozyon direnci düşüktür. Vinç, kamyon kasası, vidalı makine parçalarının yapımında tercih edilmektedir (Tımaç 2006, Tufan 2011).

2.5. Alüminyum Alaşımlarının Temper Seri Numaraları

Alüminyum alaşımlarına mekanik veya ısı işlemlerin ya da her ikisinin uygulanması, alaşımın temper durumunu belirtir. Temper durumunun gösterilişi döküm ve mekanik işlem (dövme) alaşımları için aynıdır. Temper simgesi alaşım kodundan sonra gelir ve birbirinden (-) ile ayrılır. Değişik temper işlemleri varsa temperi ifade eden ana harf yazıldıktan sonra, temper işlemleri yapılış sırasına göre yazılır. Temper işlemleri F, O, H, W ve T harfleri ile ifade edilir (Meyveci 2007).

Mukavemetlendirme derecesi, alaşımın ısı işlem görebilir veya pekleştirilebilir olmasına göre temper tanımlaması "T" ve "H" ile gösterilmektedir (Çizelge2.2). Diğer tanımlamalar alaşımın tavlandığını (O), çözündürme uygulandığını (W) veya üretildiği şekilde kullanıldığını (F) göstermektedir. "T" ve "H" yi takip eden numaralar pekleşme miktarını, gerçek ısı işlem tipini veya alaşımın diğer özel üretim işlem durumunu göstermektedir (Başer 2012).

Çizelge 2.2 Alüminyum Alaşımları İçin Temper Seri Numaralarının Tanımları (Başer 2012)

Temper no	Açıklama
F	İmal edildiği şekilde
0	Tavlanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda)
H	Soğuk şekillendirilmiş
H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder)
H12	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar
H2X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış
H3X	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
W	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş
T	Yaşlandırılmış
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış
T8	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

2.6 Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

2.6.1 Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşleminin Tarihçesi

20. Yüzyılın başlarında Alman metalurjist Dr. A. Wilm, Alman hükümetinin isteği üzerine mermi kutularının mukavemetini artırmak amacıyla çalışmalar yapmıştır. Seksen yıl öncesinin Zeppelin yapımında (balon hava taşıtı) bu hafif, yaşlanma ile sertleşmiş alaşımın kullanılmasıyla hava taşımacılığına önemli katkı sağlanmıştır. 1914'den önce İngiliz Ulusal Fizik Laboratuvarı, yaşlanma sertleşmesinin daha başka hafif alaşımlarda üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Özellikle bunun bir uçak pistonunun çalıştığı sıcaklıkta kuvvetini kaybetmeyen bir alaşımda bu güçlenme ve sertleşmenin elde edilip edilemeyeceği üzerinde durulmuştur. Bu çabalar %4 bakır, %2 nikel ve %1,5 magnezyum içeren "Y-Alaşımı"nın keşfini sağlamıştır. Şimdi L 35 adıyla bilinen bu alaşımın dayanımı, yaşlanma sertleşmesiyle yüzde elli oranında olup alaşım dökümden çıktığı gibi ya da şekillendirilmiş halde ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. Bu daha sonra, %2 bakır; %1,5 magnezyum; %1,5 demir ve %1 nikel içeren özel RR 58 alüminyum alaşımları serisinin esasını oluşturmuştur. Bu sonuncu alaşım, Fransız-İngiliz ortak yapımı ünlü Concorde uçağının iç kafesi ve yüzey kaplamasında kullanılmıştır (Oğuz 1989).

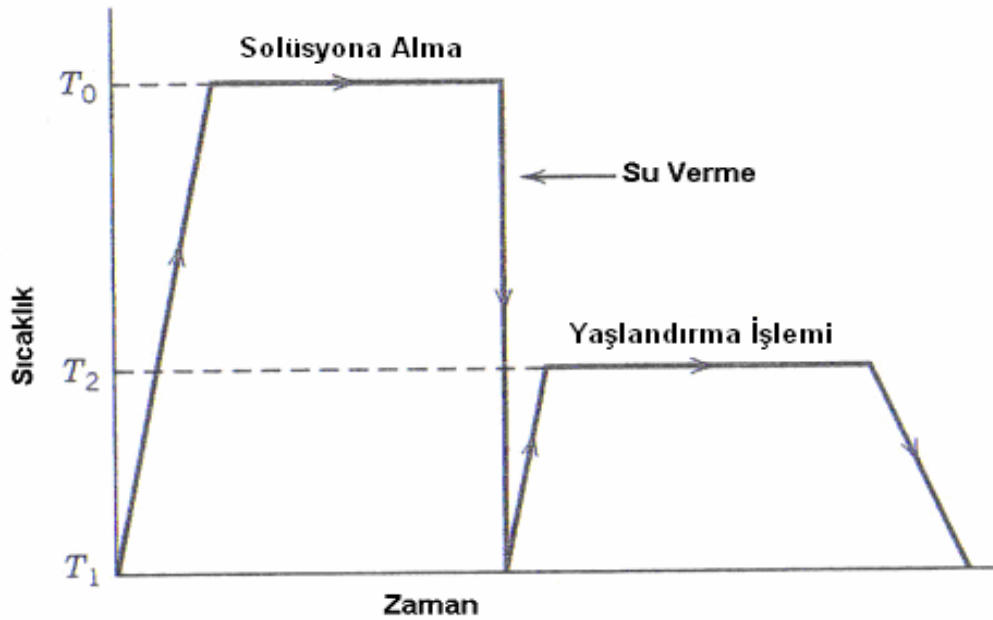
2.6.2 Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi

Isıl işlem, genel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirmek amacıyla uygulanan ısıtma ve soğutma işlemi veya işlemler zinciridir. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi sırasında ortaya çıkan özellik değişimleri, çözünme ve belirli alaşım elemanlarının çökmesi ile gerçekleşir (Kaya 2005).

Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarında; bazı ısıl işlemle çökme sertleşmesi elde edilmektedir. Bahsedilen ısıl işlem, alüminyum alaşımlarda istenilen dayanımı elde etmek için uygulanan bir prosestir. Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarının 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri olmak üzere üç ana grubu bulunmaktadır. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları ise çökelmeyle sertleştirilemez, dayanımlarının

arttırılabilmesi sadece soğuk işlemeyle mümkündür. Katı eriyik mukavemetlendirmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlendirmesiyle mukavemetlendirilirler. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımlarının ise 1XXX, 3XXX ve 5XXX serileriyle üç ana grubu bulunmaktadır (Başer 2012).

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında yaşlanma ısıl işlemi, üç ana safhadan oluşmaktadır. Çökeltme sertleşmesinin aşamalarından birincisi öncelikle solüsyona alma işlemi, ikincisi su verme (soğutma), üçüncü olarak yaslandırma işlemi olarak bilinmektedir. Şekil 2.1’de yaslandırma ısıl işleminin aşamaları gösterilmektedir (Meyveci 2007).

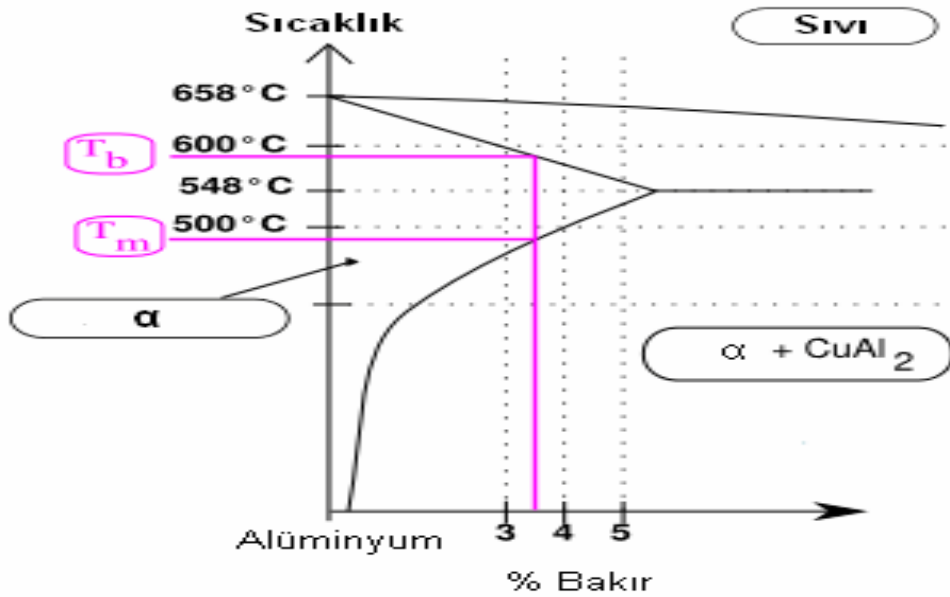


Şekil 2.1 Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman çevrim grafiği (Meyveci 2007).

2.6.2.1 Solüsyona Alma İşlemi

Malzemenin dayanımının artırılmasında ilk aşama solüsyona alma işlemidir. Solüsyona almada amaç mukavemet artırıcı alaşım elementlerinden maksimum miktarını katı ergiyik içine almaktır. Bu nedenle alaşım, artan alaşım elementi miktarıyla yükselen tek fazlı bölgeye girme sıcaklığına ulaşıldığında yani solvüs sıcaklığının birkaç derece üzerine kadar ısıtılmalıdır (Şekil 2.2). Bu aşamada alaşım; ötektik ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır (Topuz 2012).

Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşılsa tane sınırı ergimesi meydana gelir ve malzemenin mekanik özelliklerinde azalma olur. Solüsyona alma işleminde ısıtma hızı, dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir. Çünkü ısıtma hızı, dengesiz ergimelere sebep olmaktadır (Meyveci 2007). Örneğin %4 Cu içeren alüminyum alaşımında yer alan Al_2Cu fazı, yavaş bir şekilde ısıtılarak $500^{\circ}C$ 'ye ulaşıldığında tamamen çözülmüş olur. Buna karşılık ısıtma hızlı yapılırsa bu faz yapıda tamamen çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile Al_2Cu fazının ara yüzeyinde ergime başlar ve alaşım, söz konusu sıcaklıktan ani soğutulursa yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Solüsyona alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olamaz ve malzemede sertlik düşer (Kaya 2005). Örneğin 2014 alaşımı için tavsiye edilen çözeltiye alma sıcaklığı $500^{\circ}C$ 'dir. Çözeltiye alma sıcaklığı düştükçe yaşlandırılmış metalin akma ve çekme mukavemetleri azalmaktadır (Tımaç 2006).



Şekil 2.2 Al- Cu Denge diyagramında solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi (Meyveci 2007).

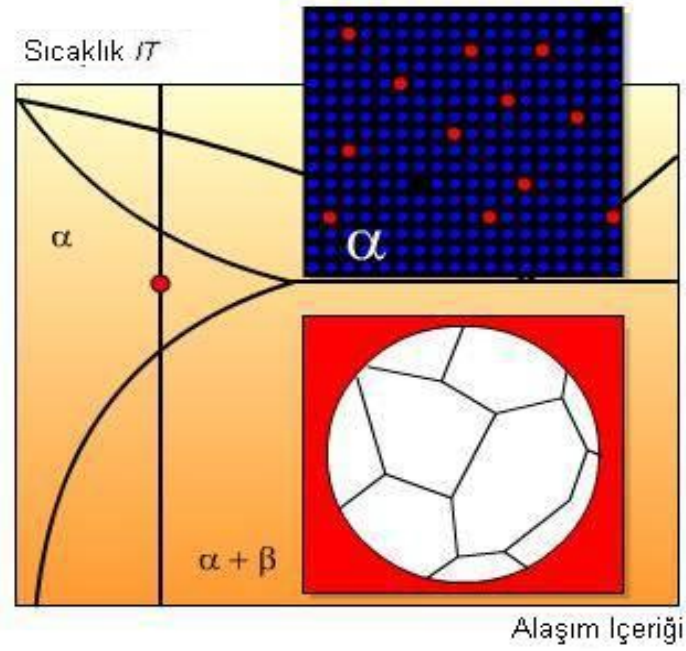
Solüsyona alma işleminde diğer önemli nokta ise bekleme süresidir. Bu süre, malzeme yapısında çözünmemiş faz bırakmayacak ve homojen bir yapı verecek şekilde ayarlanmalıdır (Topuz 2012). Çözeltiye alma süresi parçanın kalınlığına bağlıdır. İnce levhalarda bu süre bir dakikanın altında iken, büyük döküm parçalarda ise bu süre 20

saate kadar çıkabilir. Genellikle her 25 mm kalınlık için 1 saat süre yeterlidir. Fırın içerisindeki yük miktarı ve sıcak havanın sirkülasyonu da süreye etki eden faktörlerdir. Genellikle parçalar arasındaki aralık en az 50 mm olmalıdır. Ancak, karmaşık şekilli ve büyük parçalar için mesafenin daha fazla olması gerekir (Kaya 2005).

2.6.2.2 Su Verme

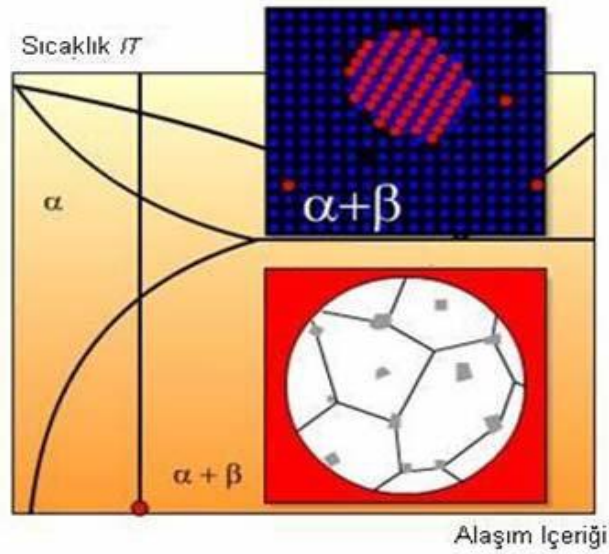
Solüsyona alma safhasından sonra yapısında α tanecikleri içeren alaşımın hızlıca soğutulması veya dinlendirilmesi işlemidir. Temel amaç tek faz haline alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmak (Şekil 2.3), katı eriyikte oluşan malzeme yapısını hızlı bir şekilde soğutarak korumak ve kafesler arası boşlukların mesafesini en azda tutmaktır (Demir 2008, Topuz 2012).

Çözeltiye alma işleminde atom boşluklarının miktarı, düşük sıcaklıktaki miktarına kıyasla yüksektir. Bu durumda malzemenin yüksek sıcaklıklardan aniden soğutulması sonucunda denge koşulları sağlanamadığından, atom boşluklarının fazlası yapı içerisinde kalır. Dolayısıyla ani soğuma sonucu yapıda bol miktarda atom boşlukları da oluşur. Bu fazlalık, ani soğutma sonucu oluşan atom boşlukları olarak tanımlanır ve zaman içerisinde yapıdan uzaklaşır. Ani soğutma sonucu oluşan atom boşluklarının fazlası bir araya gelme eğilimi gösterir ve bunların bir kısmı atom boşluğu absorbe ederek dislokasyon halkalarının oluşmasına neden olurlar. Atom boşluklarının fazla olduğu bu bölgeler, çökelti fazının heterojen olarak çekirdeklenmesine müsaittir. Yapıda yer alan fazla atom boşlukları aynı zamanda düşük sıcaklıklarda yayınma hızının artmasını sağlar. Böylece, çökelti fazının hem çekirdeklenme hem de büyüme hızı artar (Kaya 2005).



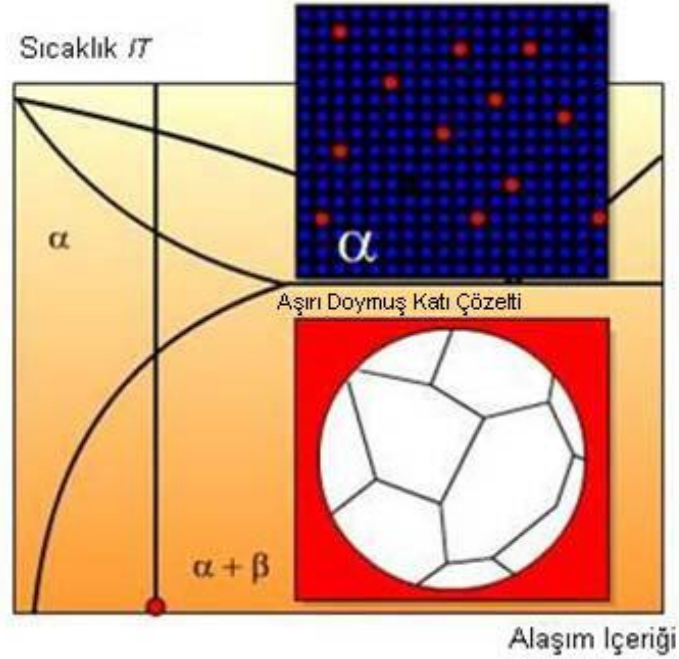
Şekil 2.3 Çözeltiyeye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti (Demir 2008).

Eğer alaşım kendiliğinden (yavaş soğuma) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenerek denge halinde bir $\alpha + \beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak çökler (Şekil 2.4). Ani soğuma α içerisindeki Beta fazının çökmesine imkan vermez ve bu nedenle α fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir (Demir 2008).



Şekil 2.4 Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme (Demir 2008).

Bunun yanı sıra su verme difüzyon süresini düşürür ve dengede olmayan alfa faz yapısının “donmasını” sağlar. Çünkü alfa fazı denge durumundakinden daha fazla katı içerir. Bu katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır (Şekil 2.5).



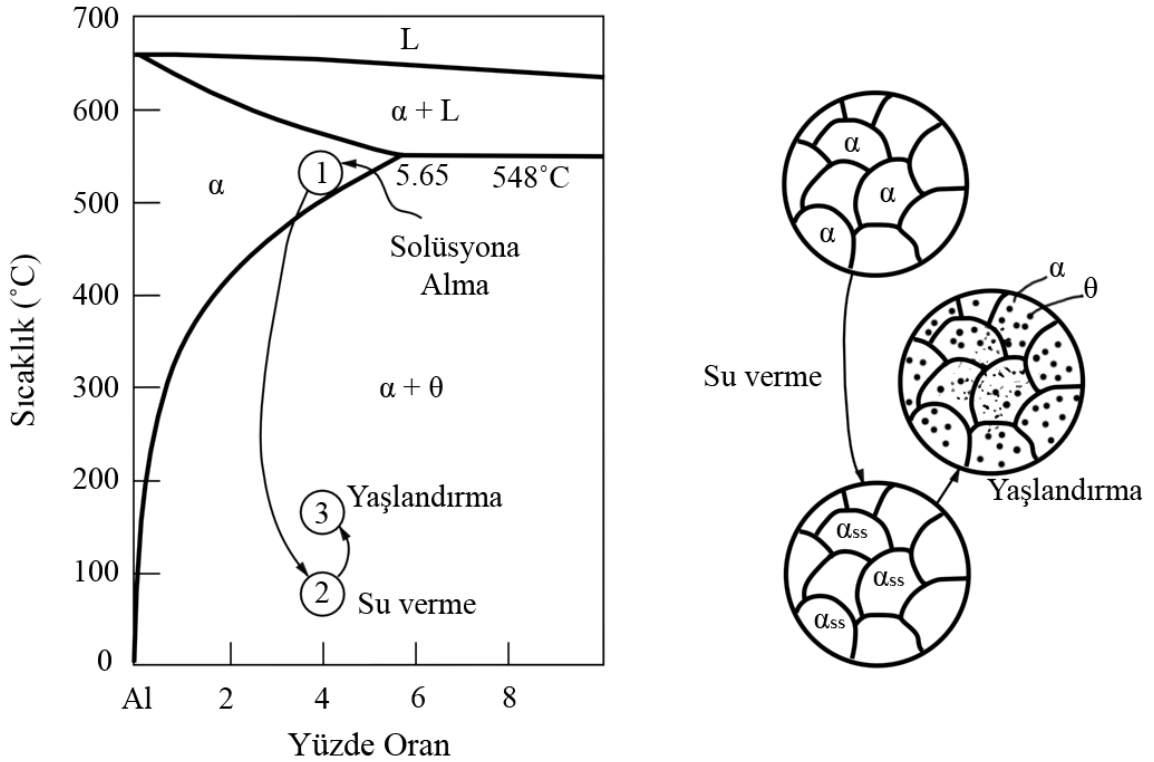
Şekil 2.5 Aşırı doymuş katı çözelti (Demir 2008).

Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı, 10 ile 20 saniyelik gibi sürelerde olmalıdır.

Genel kural olarak en iyi maksimum dayanım ve tokluk hızlı soğuma ile elde edilir. Daha hızlı su verme, çözündürme işleminin kalıcılığını daha fazla arttıracak, bu da daha sonra çökme sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla erişilebilir (Meyveci 2007).

2.6.2.3 Yaşlandırma

Yaşlandırma, çökeltme sertleşmesi ısıl işleminin son kademesidir ve su verilmiş alaşımın, oda sıcaklığında ya da daha yüksek bir sıcaklıkta belirli bir süre tutulması şeklinde uygulanmaktadır. Yaşlandırma işlemi, çözeltiye alma ve su verme işlemlerinin ardından, alaşımı (115–190) °C gibi nispeten düşük sıcaklıklarda uzun süre (5–48 saat) tutma şeklinde uygulanmaktadır (Cirik 2007). Şekil 2.6’da görüldüğü gibi solüsyona alma işleminde sonra su verme işlemi sonucunda yaşlandırma işlemi yapılmaktadır. Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları, tam olarak uygun bir sertlik ve mukavemete ulaşamazlar. Alüminyum alaşımlarında maksimum sertlik ve iyi bir mukavemet dayanımı elde etmek için yaşlandırma ısıl işlemi yapılır (Topuz 2012).



Şekil 2.6 Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri (Meyveci 2007).

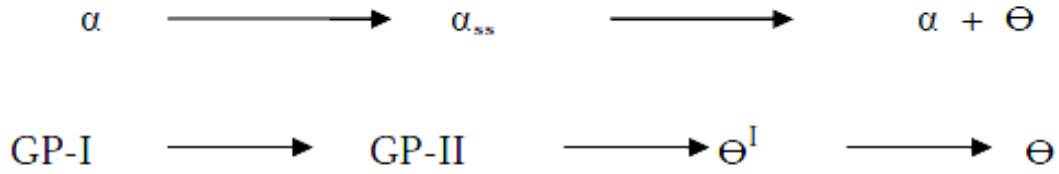
Çökelti sertleşmesinin ana mekanizması çözünen atomların uyumlu bir topluluk oluşturmasını sağlamaktır. Bu oluşum ile bir araya toplanan çözünen atomlar bir taraftan matris kristal yapısına uyum gösterirken atom boyutları arasındaki farktan dolayı büyük miktarda gerilme meydana gelir. Bu nedenle çökeltinin gerilme alanının varlığı malzemede dislokasyon hareketine engel olduğundan malzemeye daha fazla mukavemet veya gerilme kazandırır. Malzeme mukavemetinin artmasında önemli bir etki ise çökelti veya çözünen atom gruplarının uyumlu veya uyumsuz olmasına bağlıdır. Çökeltinin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazınine benzer bir kristal yapısı katı ergiyikle sıkı temas halinde büyümektedir ki yapı arasındaki atom dizilisi uygun ise katı ergiyik distorsiyona uğramaktadır. Bu küçük boyutlu çökelti parçacıkları ilk olarak 1938'de Guinler-Preston tarafından x ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP zonları denir. (GP) Guinler-Preston bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çökeltileri kristal ve mikro yapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli derece de etkili olurlar.

GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alaşımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısı işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskoplarıyla ile görülebilir. Çözen ve çözünen atom boyutlarının birbirine yakın olduğu durumlarda GP bölgeleri küresel şekildedir (Al-Ag ve Al-Zn). Ancak atom boyutları arasındaki fark büyükse (Al-Cu sistemi) GP bölgesi disk şeklinde olur. GP bölgeleri boyut itibarıyla yaklaşık 100 \AA çapında $10-15 \text{ \AA}$ yüksekliğinde olup açıkça yeni bir faz veya yeni bir kristal yapı oluşturmaktan ziyade matris kafesinde distorsiyona uğramış bir bölge oluştururlar. Bu tür oluşum tamamen dengeli bir yapı oluşturduğundan mikro yapıda önemli bir değişim olmadan ürettikleri geniş bir deformasyon ve dislokasyon hareketlerini kısıtlayan gerilme alanlarının oluşturmalarından dolayı malzemenin mekanik özelliklerini artırır.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işleme esnasında çeşitli bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler; GP-1, GP-2, θ^{11} ve θ^1 bölgeleri olarak sıralanmaktadır. Alüminyum-bakır içeren alaşımların çoğunda GP-1 bölgeleri (100) düzlemleri boyunca alüminyum matris kafes yapısıyla uyumlu zengin bakır içeren yaklaşık 100 \AA

uzunluğunda ve birkaç atom kalınlığında bakır atomları kümeleri şeklindedir (Meyveci 2007).

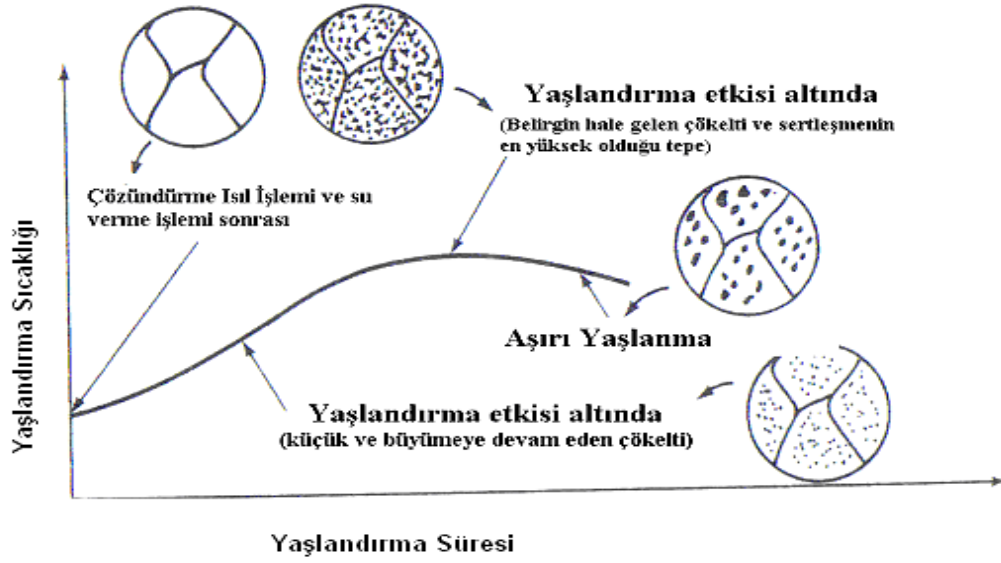
Yaşlandırma safhasında malzeme yapısındaki Θ oluşumu bir dizi safhadan geçerek meydana gelir (Şekil 2.7). Yaşlanma başlangıcında atomlar matris düzlemlerinde yoğunlaşırlar ve GP-I bölgelerini oluştururlar. Yaşlanma devam ettikçe daha çok atom düzleme nüfuz ederek daha kalın GP-II (Θ II) yapısını oluştururlar. Daha sonra GP-II çözünerek Θ I ve daha sonra da Θ yapısına dönüşürler. Θ yapısı dengeli ve uyumlu bir formdadır (Topuz 2012).



Şekil 2.7. Yaşlandırma safhasında malzeme yapısındaki Θ oluşumu (Topuz 2012).

Dengesiz fakat uyumlu olan GP-I, GP-II ve Θ^I çökeltilerinin boyutu büyüdüğünde, alaşımın dayanımı yaşlandırma zamanı ile artar. Bu uyumlu çökeltiler varlıklarını korudukları sürece alaşım yaşlandırma sınırları içindedir. Dengeli fakat uyumsuz Θ fazı oluşmaya başladığında ise alaşımın dayanımı düşmeye başlar. Bu durumda alaşım aşırı yaşlandırılmış olup, yaşlanma sıcaklığı ve zamanın artırılması ile elde edilmektedir.

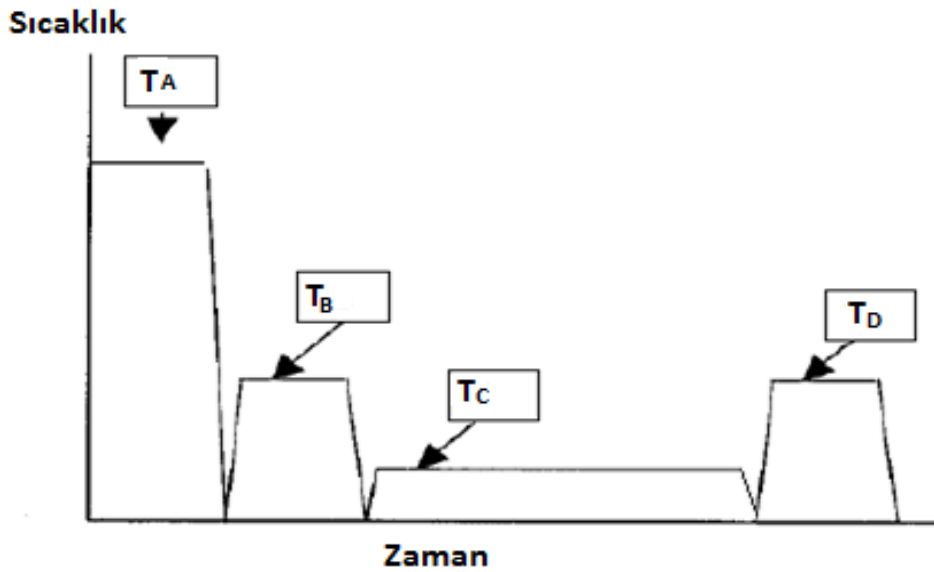
Yaşlandırma ısıl işlemi sayesinde elde edilen maksimum özellikler Θ^I bölgesinde elde edilir. Isıl işleme devam edildiğinde çökeltilerin boyutları ve dağılımı ideal olmaktan çıkarak komşu çökeltilerde birleşip aşırı derecede büyürler (Şekil 2.8). Bu durumda oluşan bölgeler Θ bölgeleri olarak bilinmektedir. Çökeltilerin aşırı derecede büyümesinden, çökeltiler arası mesafe de artmaktadır. Bu durumda oluşan çökeltiler arası mesafe dislokasyon hareketlerini önleyemeyecek durumdadır. Böylece alaşım Θ^I bölgesinde kazanmış olduğu üstün özellikleri Θ bölgesinde kaybeder (Topuz 2012).



Şekil 2.8 Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları (Meyveci 2007).

2.6.3 Ara Verilerek Yaşlandırma (2. Çökelme Sertleşmesi)

Ara verilerek yaşlandırma; kısa süreli yapay yaşlandırılmış bir malzemenin düşük sıcaklıklarda bekletildikten sonra tekrar yaşlandırılmasıdır (şekil 2.9). Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri ara verilerek yapılan ısıl işlem ile daha da iyileştirebilmiştir (Topuz 2012).



Şekil 2.9 Ara verilerek yaşlandırma işleminin grafiksel gösterimi (Topuz 2012).

TA: Solüsyona alma

TB: Yapay yaşlandırma

TC: Ara verilerek yaşlandırma işlemi

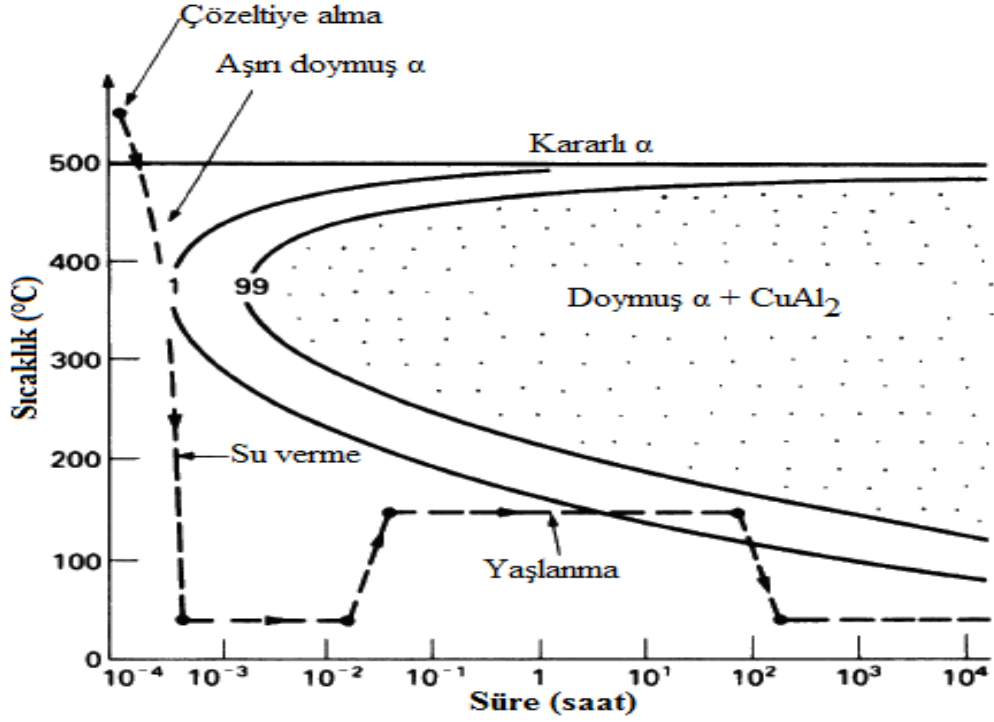
TD: Ara verilerek yaşlandırma işleminden sonraki yaşlandırma işlemi

2.6.3.1 AA 2014 Alaşımında Çökelti Sertleşmesi Karakteri

Yaklaşık %4 bakır içeren AA 2014 alaşımında 500-580°C sıcaklıkları arasında tamamen α katı çözümlenmesi bulunmaktadır. Yapıdaki bakır atomları matris içinde çözümlenmiş durumdadır. 500°C'nin altındaki sıcaklıklarda alaşımında α +CuAl₂ fazları bulunur. Sıcaklık düştükçe CuAl₂ fazının miktarı artarak oda sıcaklığında alaşım ağırlıkça %93 α , %7 CuAl₂ içerir (Güven 2012).

Alaşım 550°C'den oda sıcaklığına yavaşça soğutulduğunda az sayıda çekirdeklenme nedeniyle az sayıda fakat büyük boyutlu CuAl₂ çökeltileri oluşur. Çökeltilerin arasındaki mesafe de büyük olduğu için dislokasyonlar kolay hareket eder. Sonuçta alaşımın dayanımı ve sertliği düşük olur. Fakat soğutma hızlı yapıldığı takdirde fazla miktarda çekirdeklenme sebebiyle çökeltiler de sayıca fazla ve oldukça küçük boyutlu olurlar. Çökeltilerin arasındaki mesafenin de az olması dislokasyon hareketini engellediğinden alaşımın dayanımı ve sertliği yüksek olur. Ancak direkt hızlı soğutma ile sertlik artışı işlemi bazı sıkıntılar görülmektedir. Eğer soğutma hızı çok fazla olursa sıcaklık-zaman dönüşüm diyagramındaki burun kısmından (Şekil.2.10) geçilmez ve herhangi bir çökelti oluşmaz. Akma sınırında ise bir artış meydana gelir (Güven 2012).

%4 bakır içeren Al-Cu alaşımına çökelti sertleştirilmesi yapabilmek için şu adımların izlenmesi gerekmektedir: Tüm bakır atomlarının katı çözümlenmesi için 550°C'de çözümlenmeye alma işlemi yapılmalıdır. Oda sıcaklığına çok hızlı bir şekilde soğutmak amacıyla alaşım suya veya yağa sokularak soğutulmalıdır. Böylece sıcaklık-zaman-dönüşüm diyagramında burun bölgesinden geçmeden soğutma sağlanır ve yapı aşırı doymuş bir şekilde kalır. 150°C'de uzun süre beklenerek (100 saat) yapının oldukça küçük taneli α +CuAl₂'ye dönüşmesi sağlanır (Güven 2012).



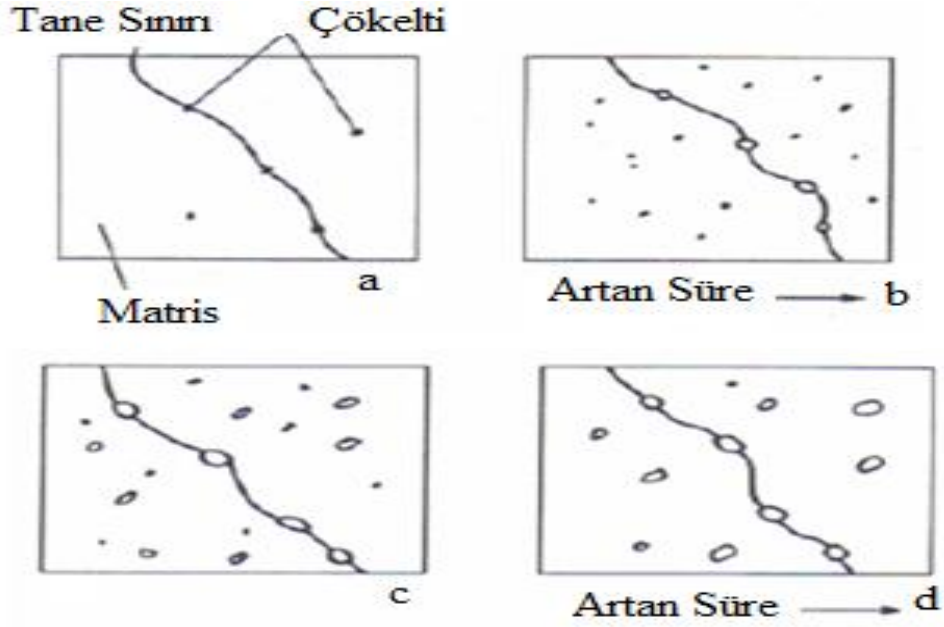
Şekil 2.10 AA 2014 alaşımı için sıcaklık-zaman-değişim diyagramı (Güven 2012).

2.6.4 Aşırı Yaşlanma

Çökelen partiküllerin birbirleriyle birleşmeleri ve büyümeleri sonucu, dislokasyon hareketine engel olmazlar. Ancak mekanik özelliklerde düşme görülür. Buna aşırı yaşlanma denir. Bu durumda dislokasyonlar taneler arasından kıvrılarak geçerler. Bu kıvrılma esnasında eğrilik yarıçapı ne kadar büyük olursa elastisite limiti de o kadar küçük olur (Topuz 2012).

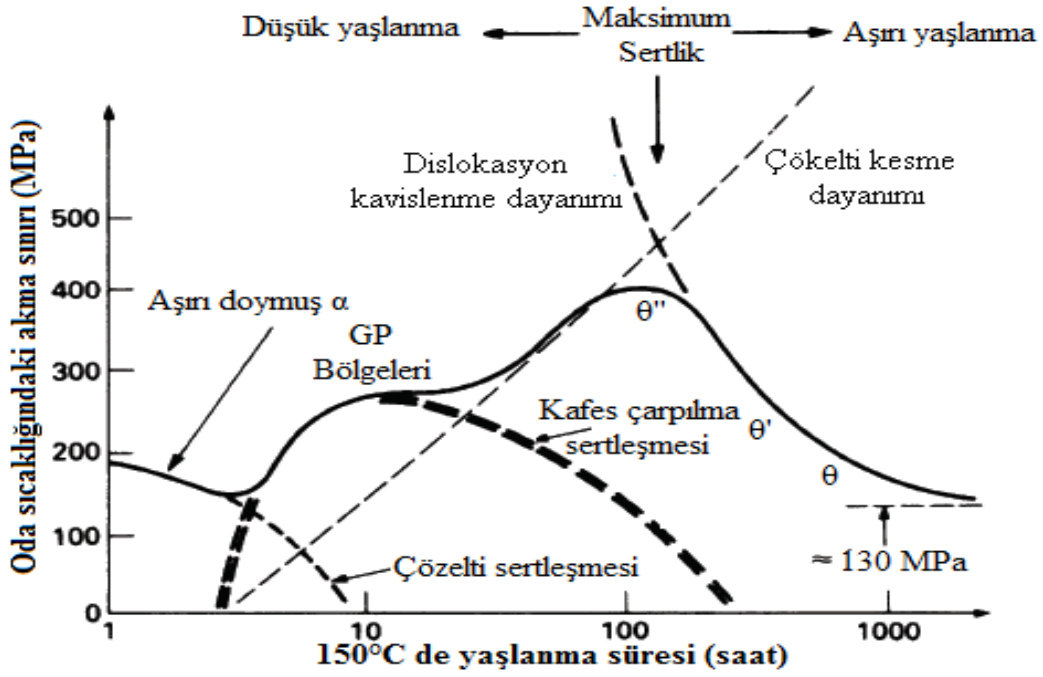
Yaşlandırma ısı işleminin başlamasıyla birlikte yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 2.11/'a da görüldüğü gibi yapı içerisinde ve tane sınırlarında çökeltelerin oluştuğu fark edilmektedir. Yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 2.11/'b de görüldüğü gibi yapı içerisindeki çökeltelerin miktarının ve boyutunun biraz daha arttığı Şekil 2.11/'d de ise daha fazla belirginleştiği ve boyutunun arttığı görülmektedir (Topuz 2012).

Yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber yapı içerisindeki çökeltilerin büyümesi neticesinde dislokasyonların etkisiyle malzemenin dayanımında azalma olup, aşırı yaşlanma sürecine girmesine sebep olmaktadır (Topuz 2012).



Şekil 2.11 Matris katı eriyiği içerisindeki çökeltinin (θ , ikinci faz partikülleri) yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda; a) yaşlandırmanın ilk safhası, b) yaşlandırmanın ikinci safhası, c) yaşlandırmanın üçüncü safhası, d) yaşlandırmanın dördüncü safhası oluşumlarının mikro yapı resimleri (Meyveci 2007).

Aşırı yaşlanmış bir alaşımın sertliği arttırılmak istenirse işleme en baştan başlamak gerekir. Yaşlanma sıcaklığı artarsa dönüşüm için gereken süre azalır. Uzun süre beklemek maliyeti arttıracığı için uygun sertlik - maliyet hesabı sonunda 2014 alaşımı için çökelti sertleşmesi 500°C 'de 2-3 saat çözeltiye alma + 160°C 8 saat yaşlandırma şeklinde önerilmektedir. Çökelti oluşumu ve alaşımda meydana gelen dayanım artışı Şekil 2.12'de özetlenmiştir (Güven 2012).



Şekil 2.12 AA 2014 alaşımında yaşlanma esnasında meydana gelen dönüşümler ve dayanım artışı (Güven 2012).

2.7 Alüminyumun Termal Oksidasyonu

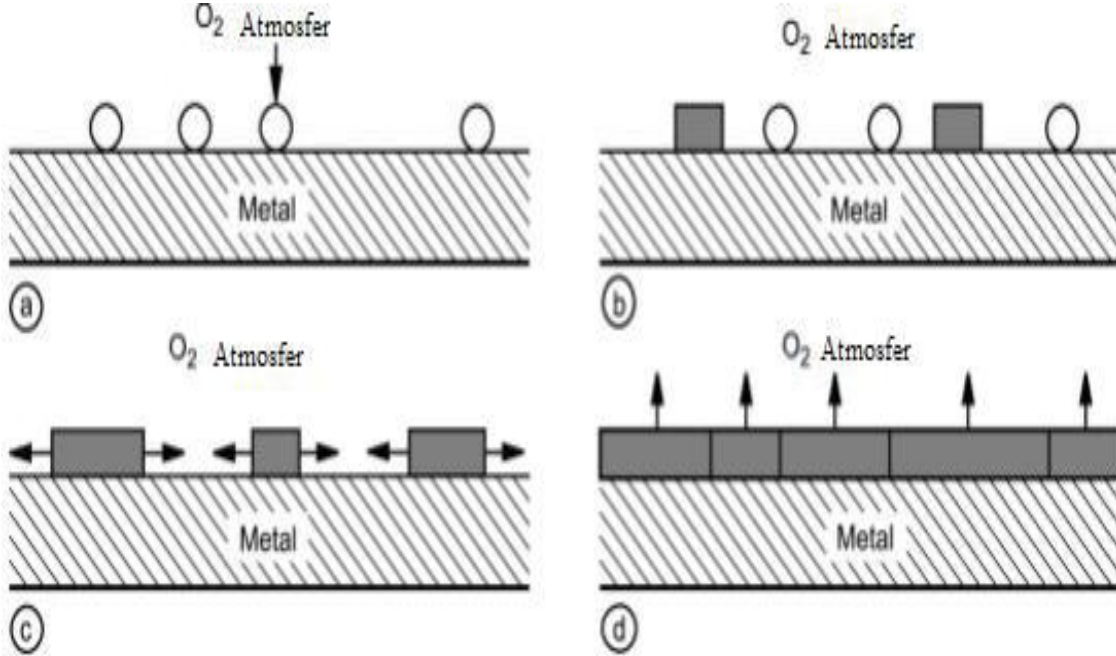
2.7.1 Termal Oksidasyon

Oksijene karşı kimyasal ilgisi yüksek olan metallerin yüzeyiyle hava etkileşime girer. Bu etkileşim belirli bir süreçte gerçekleşir ve süreç sonunda metal yüzeyinde oksit tabakası meydana gelir. Saf metal yüzeyi göz önüne alındığında oksit tabakasının dönüşümü 4 basamağa ayrılır.

- Yüzeye oksijenin adsorbsiyonu
- Oksijenin çekirdeklenmesi
- Çekirdeğin yanal büyümesi
- Kompakt oksijen tabakasının oluşumu

Çekirdeğin yanal büyümesi tamamlandığı zaman, metal yüzeyi tamamıyla ince oksit film ile kaplanır. İnce oksit tabakası metal yüzeyinde oluştuktan sonra daha da büyümesi oksit tabakası boyunca kütle transferiyle kontrol edilir. Termal oksidasyon

işleminde amaç oksit tabakasının kalınlığında artış meydana getirmek ve hedeflenen oksit fazlarını oluşturmak için oksidasyon işleminin oda sıcaklığından daha yüksek değerlerde gerçekleştirilmesidir (Özdemir 2012).



Şekil 2.13 Oksijen tabakası dönüşümünün modeli, a) Yüzeysel oksijen adsorpsiyonu, b) çekirdek oluşumu c) Çekirdeğin yanal büyümesi, d) Kompakt oksijen tabakasının büyümesi (Özdemir 2012).

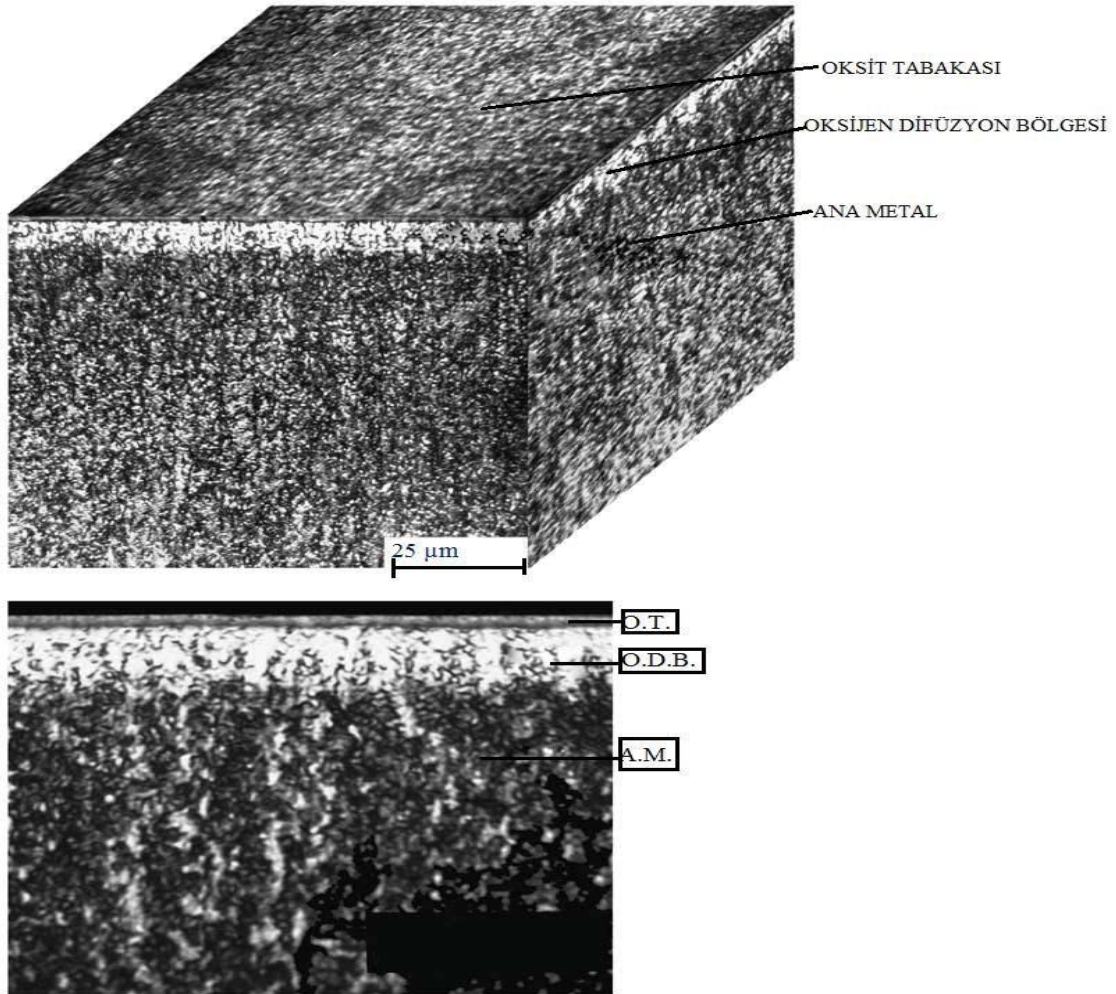
200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapılan oksidasyon işlemiyle metalin yüzeyinde amorf yapıdan kristalin yapıya dönüşen ve kalınlığı birkaç nanometreye kadar artan oksit tabakası oluşur (Bloyce *et.al.* 1998, İçdem 2007).

Oksijen difüzyon bölgesi 400°C'nin üzerindeki sıcaklıkta oluşmaktadır. 600°C'nin üzerinde ise artan oksidasyon oranı daha kalın fakat kusurlu oksit tabakasının oluşmasına sebep olmakta ve oksijenin ana metale kolay nüfuziyetini sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen oksidasyon (800°C ve üzerinde) işlemi sırasında meydana gelen oksit tabakasından ayrılmalar ve kalın difüzyon tabakasının oluşması yüksek sıcaklık performansını düşürmektedir (Özdemir 2012).

Araştırma sonuçları göstermektedir ki oksit tabakasının kalınlığı arttıkça oksit tabakasının ana metal yüzeyine tutunması azalmaktadır. Termal oksidasyon sıcaklığı

arttıkça oksit tabakasının plastisite modülü artmasına rağmen ana metal yüzeyine tutunma özelliği azalmaktadır (Özdemir 2012).

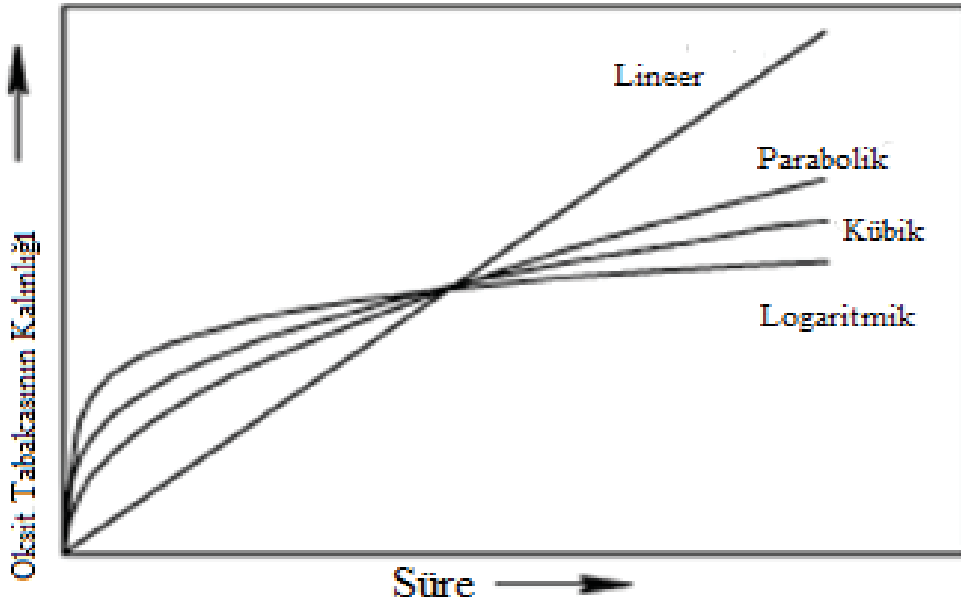
Oksijenin malzeme içerisine doğru olan difüzyonu sonucu yüzey altında oksijenin çözünmesi sert ve kırılgan oksijen difüzyon tabakasının oluşumuna sebep olur. İşlem sıcaklığındaki artış oksidasyonu hızlandırır, böylece daha kalın oksit tabakasıyla beraber derin bir difüzyon tabakasının oluşması sağlanır (Özdemir 2012).



Şekil 2.14 600°C'de 60 saat termal oksitlenen numunelerin 2D kesit ve 3D optik mikroskop görüntüleri (OT: Oksit tabakası, ODB: Oksijen difüzyon bölgesi) (Özdemir 2012).

2.7.2 Oksidasyon Kinetiği

Oksidasyon kinetiği sũreye ve sıcaklığa gũre değişir. 400°C'nin altında oksidasyon kinetiği logaritmik artış gũsterir, 400 ile 600°C arasında yaklaşık olarak kũbik artış eğrisi izlenir. Aslında kũbik artış diye ifade edilen logaritmik artıştan parabolik artışa geçiştir. Oksijen çũzũnmesi bu sıcaklık değişiminde tamamıyla ȃnemli olmaktadır. 600°C ile 700°C arasında oksidasyon kinetiği parabolik olarak ifade edilir. Fakat uzun sũreli işlem ve daha yũksek sıcaklık değerlerinde lineer davranışa geçiş gerçekteşir. Oksidasyon hızı çok yũksektir ve lineer kinetik olarak açıklanabilir (İçdem 2007, Ȗzdemir 2012).



Şekil 2.15 Oksit tabakasının oluşumu sırasında oksidasyon kinetiğinin şematik gũsterimi (Ȗzdemir 2012).

Lineer oksidasyon esnasında oksit tabakası lamelli yapıya sahiptir. Metal yũzeyine paraleldir ve oksidin rengi sarı renkten beyaz renge değişir. Oksit tabakasının bozulması iki şekilde açıklanabilir. Birincisi gerilme birikmesi diğerisi ise aşırı oksijen çũzũnmesinden dolayı kafes parametresinin şiddetli değişime uğramasıdır (Ȗzdemir 2012).

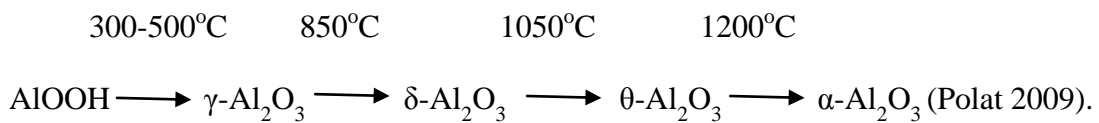
Termal oksidasyon işlemi sonunda numunelerin fırın içinde ya da fırın dışında ortam havasında soğumaya bırakılması elde edilen oksit tabakasının yapısını etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda (800°C ve üzerinde) üretilen rutil oksit tabakasının hava ortamında hızlı soğumaya bırakılması sonucunda tabakada ayrılmalar meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen oksidasyon işlemi sonrası fırın içerisinde yavaş soğutma işlemiyle belirgin biçimde termal gerilme birikimi azaldığı ve oksit tabakasıyla ana metalin uyumluluğunun düzenlendiği ifade edilmektedir (Özdemir 2012).

2.7.3 γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ Fazı

γ -Al₂O₃ fazı alüminyum hidroksit jel'den sentetik olarak üretilebilir. γ -Al₂O₃ fazı mikro ark oksidasyon işleminde kolayca deşarj kanalları içerisinde ve yüzeyde oluşturulur. Yüzeyde oluşan γ -Al₂O₃ tabakası esasen gevşek ve yarı kararlı bir yapıya sahiptir. Yarı kararlı bir yapıya sahip olan γ -Al₂O₃ fazı 800-1200°C sıcaklık aralığında ısıtılarak α -Al₂O₃ fazına dönüşür (Polat 2009). Bir kaplamada α -Al₂O₃ oranının yüksek olması o kaplamanın kalitesini de artırmaktadır. Çünkü α -Al₂O₃ fazı olan γ -Al₂O₃ fazına göre çok daha yüksek mekaniksel özelliklere sahip bir fazdır (Özkara 2009).

α -Al₂O₃ alüminyumun termodinamik olarak en kararlı bileşiği olup alüminyum hidroksit ve oksihidroksitlerin termik parçalanması sonucu oluşan en son üründür. Ergime noktası 2050°C'dir. α -Al₂O₃ elmas, bor karbür, silisyum karbürden, sonra en sert maddelerden birisidir (Polat 2009).

Hidroksitler mikro ark bölgesinde yüksek sıcaklık sinterlenmesinden dolayı değişik fazlara dönüşebilir. Gerçekte bu hidroksitler mikro ark bölgesinde direk olarak erimiş alümina haline gelebilir daha sonrada erimiş alüminanın hızlı katılaşmasıyla soğuma hızına bağlı olarak alüminyum oksit'in değişik türlerine dönüşebilir. Bu değişik türler ve dönüşüm sıcaklıkları aşağıdaki gibidir;



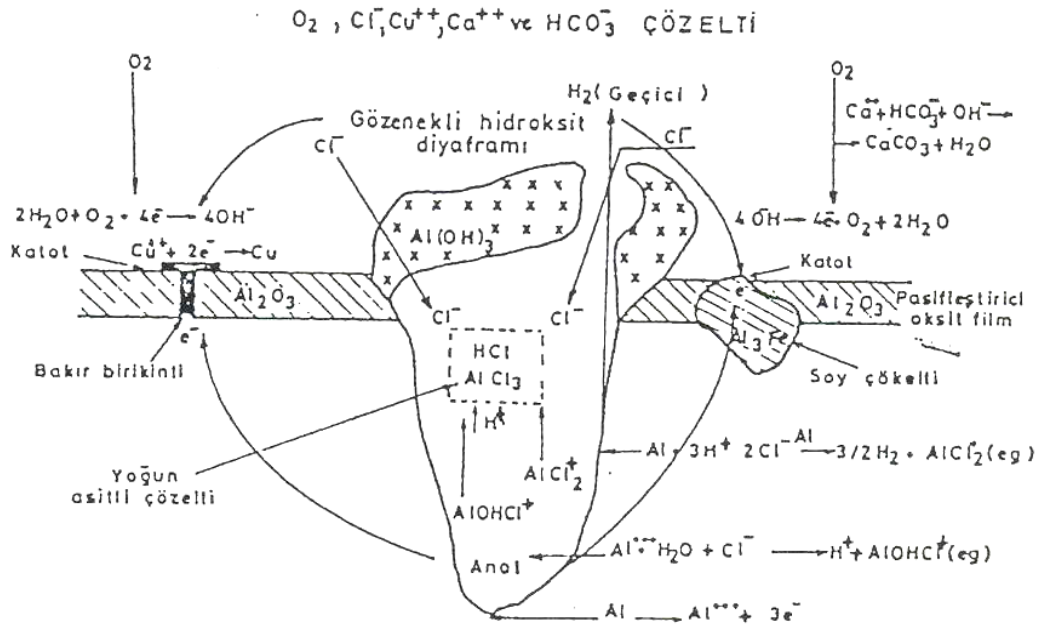
2.8 Alüminyum ve Alaşımlarının Korozyon Davranışı

Korozyon metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozunmalarıdır. Oluşumunu sağlayan reaksiyonun türüne göre kimyasal ve elektrokimyasal korozyon olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kimyasal korozyon metal ve alaşımlarının gaz ortamlar içindeki oksitlenmesidir. Elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içinde bozunmalarıdır. Sözü edilen sulu ortamlar metal yüzeyinde yoğunlaşmış ince filmlerden sulu çözeltilere kadar su içeren bütün ortamları kapsamaktadır. Örneğin; atmosfer, doğal sular, topraklar, vücut sıvıları, kimyasal çözeltiler, besin ürünleri (Cirik 2007). Alüminyumun çözünmesinin pH'ya bağımlılığını veren genel bir bağıntı mevcut değildir. Ortamda bulunan özel iyonlar duruma etkir. Genel olarak alüminyum alaşımları, kuvvetli HNO₃ ve CH₃COOH'e karşı dayanıklıdır. Fakat sulandırılmış HCl, H₂SO₄ ve HNO₃'de çözünürler. Diğer taraftan ortamda Si bulunduğunda pH=11,7'de bile dayanıklı olan Al, Si'un olmadığı hallerde pH=9'u altında çözünebilir. Cl⁻ içeren çözeltilerde alüminyum pH=5,5 – 8,5 aralığında çözünür. Saf suyun 180°C'e kadar alüminyuma gözle görülür bir etkisi olmaz. Nötr suyun fazla etkin olmaması yanında, bazı sular alüminyumun oyuk korozyonuna sebep olurlar (Kasaplar 2007). Korozyon olgusu metallerin bulunuşundan beri bilinmektedir. Korozyon ile ilgili çalışmalar 19. yüzyılda başlamış ve korozyonun elektrokimyasal teorisi 1830 yılında geliştirilmiştir. Alüminyum üzerine bilinen ilk deneyler ise 1890 yılı itibariyle alüminyumun yaygınlaşmasıyla başlamıştır. Bu tarihlerde ayrıca alüminyumun yağmur suyuna ve bira, çay, kahve gibi çeşitli içeceklere dayanımı belirlenmiştir (Korkmaz 2010). Alüminyumun yüzeyindeki korozyon atakları genellikle çok belirgindir. Korozyon ürünleri beyazdır ve genellikle büyük bir alanı etkiler. Erken aşamalarda bile alüminyum korozyonu dağlanma, çukurcuk veya alüminyumun yüzeyinde pürüzlülük gibi acık bir görünüme sahiptir. Alüminyum alaşımları genellikle kalınlığı 22,4 ile 5,6 µm arasında olan düzgün bir yüzey oksidasyonu ile biçimlendirilir (Saçkesen 2007). Farklı çevre koşullarında, alüminyumda farklı korozyon tipleri ile karşılaşmaktadır (Karacif 2005). Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirlerinden farklılık arz etmektedir. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda verilmiştir (Özkömür 2008).

2.8.1 Çukur Korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir bölgesinde açılan çukurun içinde dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyonu çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir.

Çukur korozyonu, metal yüzeyinin herhangi bir noktasında oluşan bir anodik reaksiyon ile başlar. Eğer metal ve çevre koşulları uygun ise, bu anodik reaksiyon birbirini doğuran bir seri otokatalitik reaksiyonlarla hızla devam ederek o noktada bir çukur oluşmasına neden olur. Çukur belli bir derinliğe erişince, çukur ağzı korozyon ürünleri ile kapanır ve korozyon hızı artık yavaşlar (Gümüş 2007). Şekil 2.16'da hava içeren sodyum klorür çözeltisi içinde alüminyum oksit yüzeyinde çukurcuk oluşmasının elektrokimyasal mekanizması ve olayın kendi kendine başlaması ve genişlemesi şematik olarak gösterilmiştir (Özdemir 2008).



Şekil 2.16 Alüminyumun çukurcuk korozyonu ve korozyon boyunca oluşan kimyasal ve elektrokimyasal tepkimelerin şematik gösterimi (Özdemir 2008).

Çukur korozyonu ancak durgun çözeltiler içinde meydana gelebilir. Genellikle borularda, tanklarda akış hızının azaldığı bölgelerde kendini gösterir. Çukur korozyonu oluşumunda metal cinsi de önemli rol oynar. Pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlar çukur korozyonuna daha duyarlıdır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukur korozyonuna sık rastlanır. Hatta yumuşak çelik bile çukur korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır.

Çukur korozyonundan korunmak için öncelikle çukur korozyonuna karşı duyarlı metallerin kullanılmasından kaçınılması gerekir. Katodik koruma ve inhibitör kullanılması da çukur korozyonu için faydalıdır. Fakat inhibitör dozu yetersiz ise, küçük bir anot yüzeyinde yoğunlaştırılmış olacaktır. Bu durum hiç inhibitör kullanılmaması halinden daha tehlikeli sonuçlar doğurabilir (Gümüş 2007).

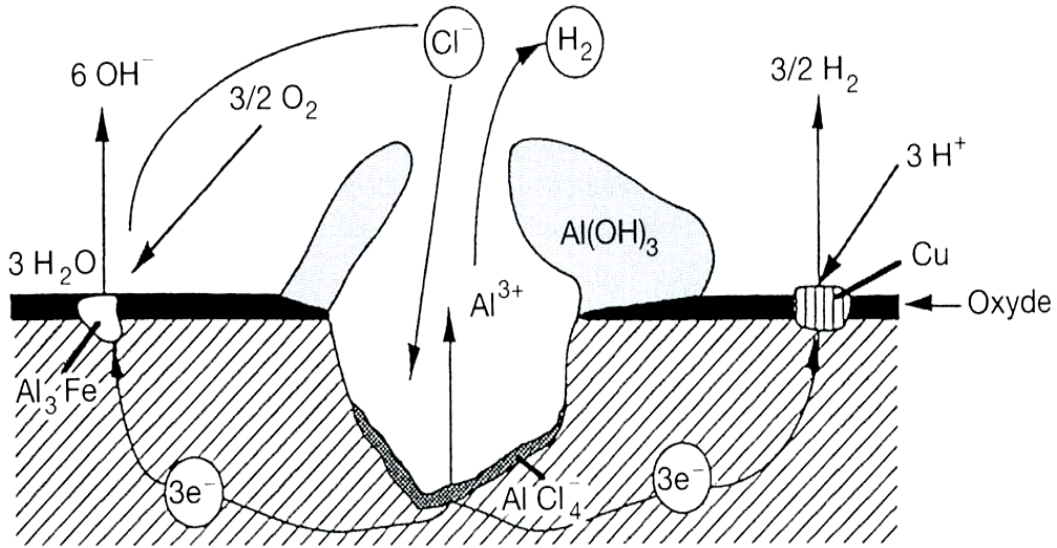
2.8.2 Oyuklanma (Pitting) Korozyonu

Çok sayıda klorür iyonlarının varlığında oluşan bölgesel bir korozyondur. Oksit tabakasının zayıf bölgelerinde oluşur. Metal yüzeyinde düzensiz oyuklar şeklinde açığa çıkan bölgesel korozyon çeşididir. Oyuk çapı ve derinliği metal, ortam ve servis koşulu ile ilgili parametrelere bağlıdır. Alüminyum nötr PH ya yakın ortamlarda oyuklanmaya meyillidir. Diğer metallerin aksine alüminyumda oyuklanma korozyonu dikkat çekicidir. Çünkü oyuklar beyaz, çok miktarda ve jelimsi alümina jel $Al(OH)_3$ kabarcıkları ile kaplıdır. Bu kabarcıklar oyuklardan çok daha büyüktür. Oyuklanma korozyonu metalin su, deniz suyu, yağmur suyu ve nemli ortam gibi sulu bir ortama konulmasında gerçekleşir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki oyuklanma korozyonunun ilerlemesi korozyonun açığa çıktığı ilk haftalarda olmaktadır.

Oyuklanma korozyonu temel olarak 5 şekilde başlayabilir. Bunlardan ilki düşük pH değerlerinde agresif iyonlarca oluşturulan türdür ve pasif filmin kararlı olduğu potansiyel değerlerinde gerçekleşir. İkinci tür ise oksijen oluşumunun potansiyel değerlerine yakın bölgelerde aktif-pasif geçiş potansiyellerinde oluşur. Bu tarz oyuk korozyonu için yüksek sıcaklık ve bunun yanında çok agresif bir ortam gerekir. Transpasif potansiyel bölgesinde, oksit filmi yok olurken yine bölgesel olarak

oyuklanma korozyonu görülebilir. Dördüncü tür ise aktiften pasife geçildiği bölgede oluşur. Ancak bu tür çok kısa süreli olup aktif potansiyellerde genel korozyona dönüşmekte, daha soy potansiyellerde ise pasifleşme yüzünden durmaktadır. Son durum ise aktif polarizasyon uygulandığında yüzeyde herhangi bir segregasyon bulunması durumunda gerçekleşir. Ancak yine bir önceki şeklinde olduğu gibi bu türde de oyuklanma yerini genel korozyona çok çabuk bir şekilde bırakır (Akyıl 2010).

Tüm pasif metallerde olduğu gibi pasif filmin bölgesel olarak bozulması halinde alüminyum bölgesel korozyona meyillidir. Bu durum uygun koşullarında olması halinde oyuklanma şeklinde sonuçlanır. Oyuklanma korozyonun elektrokimyasal mekanizması çok karmaşıktır ve tam olarak anlaşılammıştır. Şekil 2.17'de alüminyumun oyuklanma korozyonu gösterilmiştir (Korkmaz 2010).



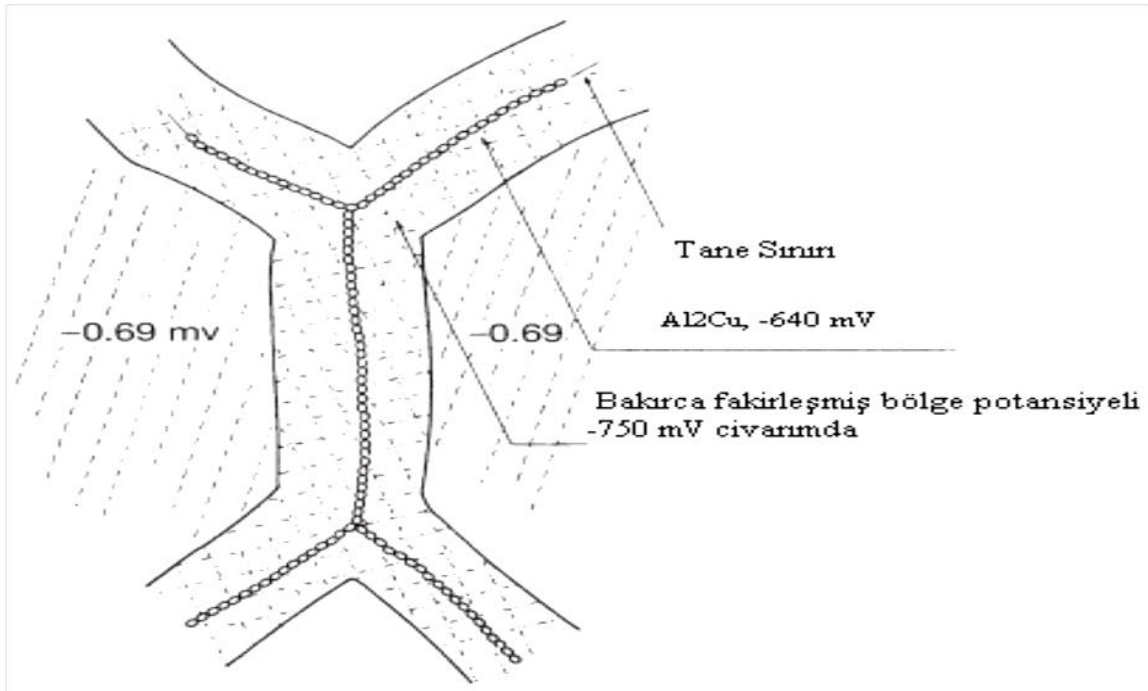
Şekil 2.17 Alüminyumun oyuklanma korozyonunun mekanizması (Vargel 2004).

2.8.3 Tanelerarası Korozyon

Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Eritilmiş bir metalin katılaşması veya katı halde bulunan bir metalin herhangi bir ısıtılma işlemine tabi tutulması sırasında metal atomu kristallerinin sınır bölgelerinde korozyon açısından zayıf bazı bozukluklar meydana gelebilir. Metal

korozif bir ortam içine girdiğinde bu bölgelerde taneler arası korozyon olayı kendini gösterir (Özdemir 2008).

Tanelerarası korozyon intermetalik fazların çökeldiği tane sınırlarıyla tane içi arasındaki elektrokimyasal potansiyel farktan kaynaklanmaktadır. Tane veya matris katı çözelti ve çökelmiş intermetalik fazlar içerir. 2xxx serisi alaşımlarda çökelmiş anodik bölge oluşur. Soğutma hızı çok düşük olduğunda intermetalik faz Al_2Cu (-640 mV) tane sınırlarında çöker. Bu faz bakır atomlarından oluşur ve tane sınırlarına yakındır. Bu yüzden civar bölge bakırca fakirleşir. Bakırca fakirleşen katı eriyik ise (-750 mV) potansiyele yakındır ve tane sınırlarına göre anodiktir. Şekil 2.18'de tane sınırlarında katodik fazın çökelmiş olduğu AA 2024 alüminyum alaşımının mikro yapısına ait örnek gösterilmektedir (Korkmaz 2010).

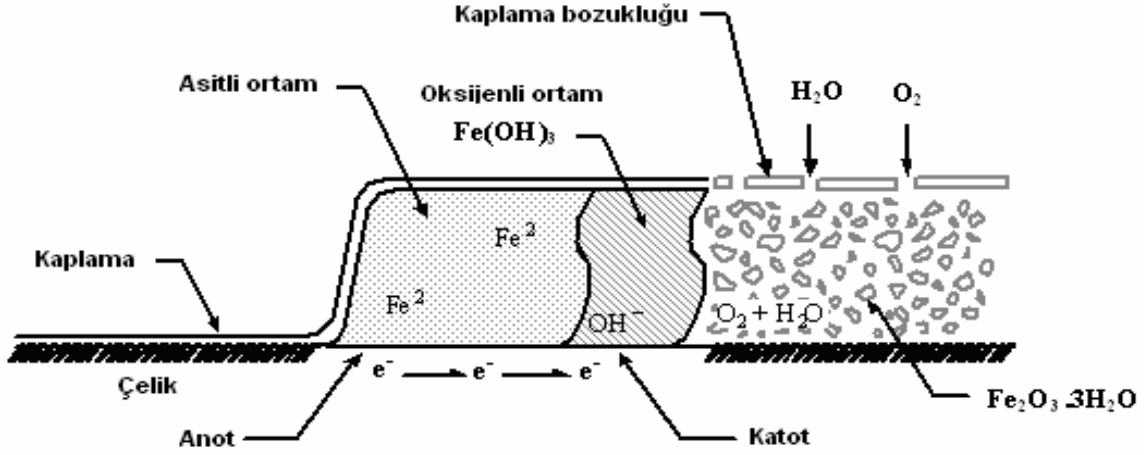


Şekil 2.18 Tane sınırlarında katodik fazın çökmesi (Korkmaz 2010).

2.8.4 Filiform Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında ilerleyen bir korozyon türüdür. Filiform korozyon, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir. Bu korozyona kabuk altı veya kaplama altı korozyonu da denilmektedir. Korozyon olayı

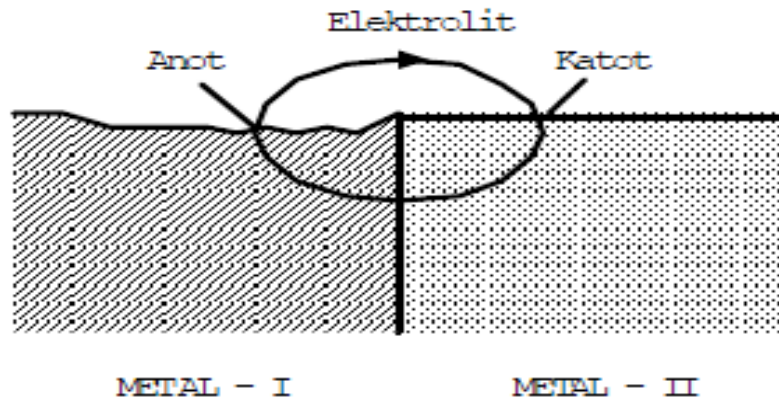
kabuk altında bir solucan hareketine benzer şekilde hareket eder. Şekil 2.19’da görüldüğü gibi filiform korozyonu metal-kaplama ara yüzeyinde, köşe veya benzer düzensizliklerin bulunduğu zayıf noktalarda başlar (Karacif 2005).



Şekil 2.19 Filiform korozyonu (Gümüş 2007).

2.8.5 Galvanik Korozyon

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona sık rastlanır. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar (Gümüş 2007).



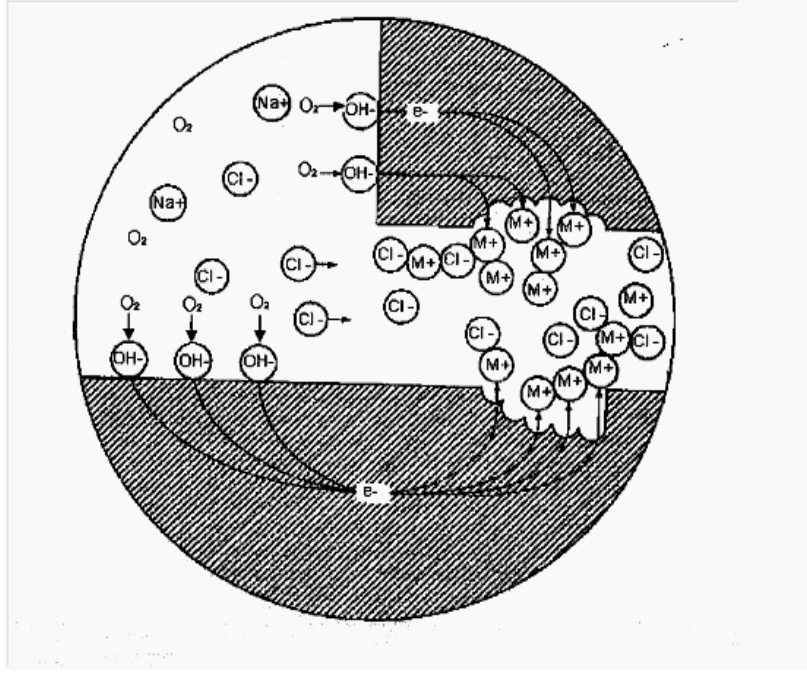
Şekil 2.20 İki farklı metalin temasından oluşan galvanik korozyon (Gümüş 2007).

Deniz kenarında alüminyum-bakır veya yumuşak çelik-paslanmaz çelikten oluşan metal bağlantıları galvanik korozyona uğrar. Buna karşılık aynı metaller denizden uzak kuru kırsal atmosferde korozyona uğramaz. Deniz atmosferinde klorür iyonları da mevcuttur. Bu durum galvanik hücre oluşumunu kolaylaştırır (Gümüş 2007).

Fawzy ve Sedahmed alüminyumun galvanik korozyonu üzerine asitli ortamda kinetik çalışmalar yapmışlardır. Alüminyumun H_2SO_4 içerisindeki galvanik korozyonunun birinci dereceden bir hız denklemine uyduğu bulunmuştur. H_2SO_4 içerisinde bakırla birleşen alüminyumun galvanik korozyonunun difüzyon kontrollü olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada anot, katottan aşağıya yerleştirildiğinde, katodik oksijenin karıştırma etkisinin anodik çözülmeyle önemli miktarda arttırdığı bulunmuştur (Gümüş 2007).

2.8.6 Aralık Korozyonu

Alüminyum veya alaşımlarının yüzeyinde bulunan dar bir aralık veya iki levha arasında kalan bölgelerde olan korozyon tipidir. Alüminyum, diğer bir metalle zayıf birleştiğinde de (civata, conta, vb.) bu tip korozyon olabilir. Bu tip aralık veya boşluk içine çevrede bulunan elektrolitin girmesi zordur. Bu dar alanlar durgun bir bölge oluşturur. Bu bölgelerde korozyon hızı normal yüzeylere göre daha fazladır. Bu alanlarda çözelti akışı çok yavaş olduğundan bu bölgedeki oksijen konsantrasyonu çevredeki oksijen konsantrasyonuna göre daha azdır. Bu farklılık, aralık içi ile çevre arasında bir konsantrasyon hücresi oluşturmasına neden olur. Aralık içi anot, aralık dışı ise katot gibi davranır (Şekil 2.21). Ve bunun sonucunda korozyon gerçekleşir. Bu korozyon karakteristik olarak alaşım tipinden bağımsızdır, fakat aralık yapısına bağlıdır (Karacif 2005).



Şekil 2.21 Aralık korozyonu (Özkömür 2008)

Metalin bulunduğu ortamda PH düşmesi ve klorür iyon konsantrasyonunun artması aralık korozyonunun başlangıcı ve ilerlemesi açısından en önemli iki faktördür. Ortamın asitliği zamanla arttıkça metalin pasif tabakası çözünür ve lokal korozyon süreci hızlanır (Özkömür 2008).

2.8.7. Gerilmeli Korozyon Çatlaması

Korozyonun en tehlikeli türlerinden birisi de gerilmeli korozyon çatlamasıdır. Çekme gerilmesi ve özel korozif koşulların bir arada bulunması nedeni ile gerçekleşir. Alüminyum alaşımında hidrojenin neden olduğu kırılma önemli bir problemdir. Katodik reaksiyonla meydana gelen hidrojen, tane sınırları boyunca difüze olmakta ve malzemenin dayanımında düşmeye sebep olmaktadır. Bu da çatlağın başlamasına öncülük etmektedir. Isıl işlem görmüş alüminyum alaşımları ve %3,5'den daha fazla magnezyum içeren Al-Mg alaşımları gerilmeli korozyon çatlamasına hassastırlar.

Alüminyum alaşımlarında gerilmeli korozyon çatlaması için üç temel mekanizma olduğu belirtilmektedir. Bunlar, anodik çözünme, hidrojenin neden olduğu çatlamlar ve pasif filmin kırılmasıdır. Anodik çözünme genellikle 2xxx serisi alüminyum

alaşımalarında, hidrojenin neden olduğu kırılabilirlik ise 7xxx serisi alüminyum alaşımalarında çok görülür. Hidrojen kırılabilirliği, yaşlandırma yapılmış temperlerde de görülür. Tekrar bir yaşlandırma işlemi tane sınırlarındaki çökeltilerin boyutunun büyümesini sağlar, tane sınırlarındaki hidrojen konsantrasyonu azalır ve hidrojen kırılabilirliğinin sebep olduğu korozyona karşı malzeme daha dayanımlı olur.

Alüminyum alaşımaları içinde gerilmeli korozyon çatlamasına en hassas olan alaşımalar, yüksek mekanik dayanımlarını ısıtma işlemleriyle kazanan 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlardır. Gerilmeli korozyon çatlamasına yol açabilen korozif ortamlardan en tehlikeli olanı deniz atmosferidir (Karacif 2005).

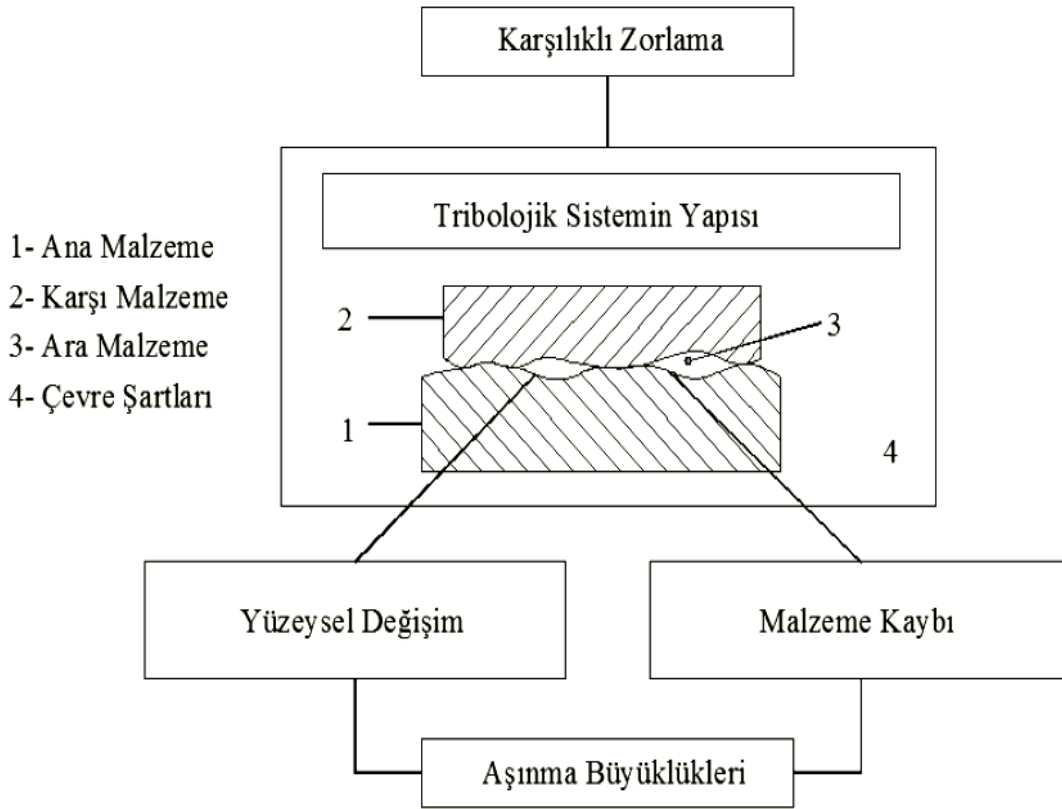
2.9 Alüminyum ve Alaşımalarının Aşınma Davranışı

Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir. Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenler ile istenilmediği halde kopan malzeme kaybıdır. Bu şekilde, yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez (Demiral ve Yaşar 2006).

Bir aşınma sisteminde ;

- Ana malzeme (aşınan),
- Karşı malzeme (aşındıran),
- Ara malzeme,
- Yük,
- Hareket.

aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem tribolojik sistem olarak adlandırılmaktadır. Tribolojik sistem Şekil 2.22'de şematik olarak gösterilmektedir (Kılıç 2013).



Şekil 2.22 Tribolojik sistemin şematik olarak görünümü (Kılıç 2013)

Aşınma, çoğu kez önceden bilinen bir hasar türüdür. Temas halinde olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri veya yağlayıcılarla korunsalar da, maruz kaldıkları yükler koruyucu tabakaların bozularak, iki yüzeyin doğrudan temasına neden olmaktadır. Bu temas sonucunda oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını olumsuz etkilemektedir. Aşınma hasarları, uygun yağlama, filtreleme, malzeme seçimi ve tasarım gibi faktörlerle de azaltılabilir, fakat tamamen önlenemez (Kılıç 2013).

2.9.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen farklı parametreler vardır. Bunlardan bazıları nedenleri ile birlikte aşağıda açıklanmıştır:

- **Malzeme seçimi:** Çoğu zaman aşınma olayı malzeme seçimi ile yakından ilgilidir. Malzeme seçimi doğru yapılmadığında beklenen performans elde

edilemediği gibi maddi kayıplara da sebep olabilmektedir.

- **Sürtünme:** Birçok araştırmacı sürtünme ile aşınma arasındaki ilişkiyi göz önüne almamıştır. Fakat bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına karşın büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bununla birlikte sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda da aşınmanın çok az olduğu görülebilmektedir.
- **Sürtünme Mesafesi:** Sürtünme mesafesinin artması ile birlikte aşınma miktarında zamana bağlı olarak artış gözlenmektedir.
- **Yüzeğe Uygulanan Yük:** Yüzeğe uygulanan yük ile aşınma çoğu zaman doğru orantılı olarak arttığı deneysel çalışmalar ile gözlenmektedir.
- **Yüzeğin Pürüzlülüğü:** Yüzeğin pürüzlülüğü 10 ile 70 µm arasında olmalıdır. Eğer yüzeğin çok temiz ise yüzeğin arasında soğuk kaynak oluşumu artar. Yüzeğin kaba işlenmiş olursa aşınmayı artırır.
- **Yüzeğin Sertliği:** Yüzeğin sertliği aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Yüzeğin sertliği artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzeğin deformasyonu sabit tutulabilir.
- **Yağlama:** Aşınmaya karşı önleyici etmenlerden olan yağlama ile sürtünen yüzeğin arasındaki bir tanesi de yağlamadır. Sürtünen yüzeğin arasındaki yağlama ile metal- metal teması ve soğuk kaynaklanma önenebilir. Yağlamalı ve yağlamasız şartlarda aşınma hacmi, kayma mesafesi ile orantılıdır. Kayma mesafesi arttıkça aşınmada artar. Bütün hacimsel aşınma eşitliklerinde kayma yolu, aşınma ile orantılı olarak verilmektir (Topuz 2012).

2.9.2 Aşınma Mekanizmaları

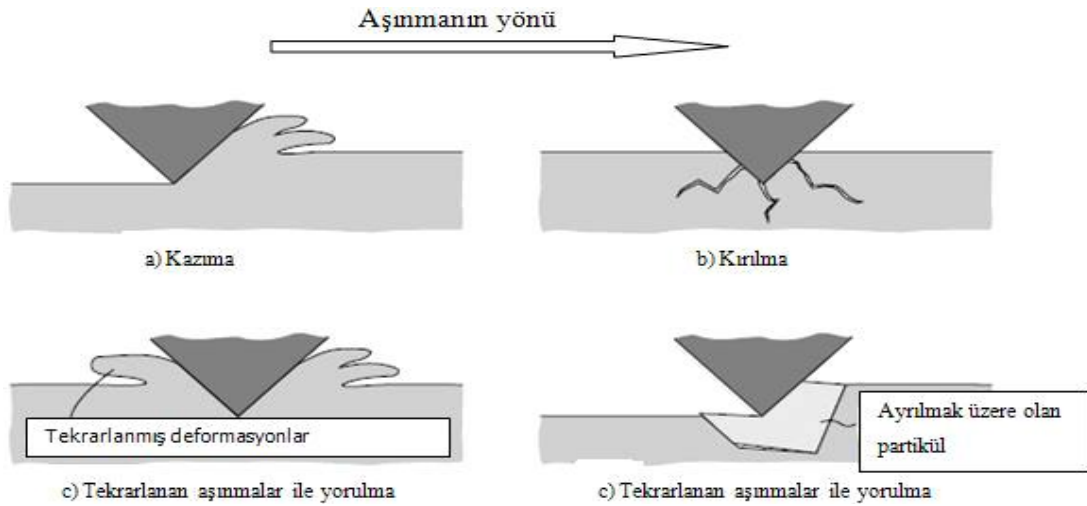
Kompleks bir yapıya sahip olan aşınmanın sınıflandırılması da birçok değişik şekillerde yapılmaktadır. Aşınmanın miktarına göre hafif ve şiddetli aşınma olarak yapıldığı gibi tribolojik sistemi direkt etkileyen mekanik, kimyasal ve termal olarak da sınıflandırılabilir. Sınıflandırmada esas olan parçanın maruz kaldığı etkenlerdir (Kılıç (2008)).

2.9.2.1 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, katı bir nesne eşit veya daha büyük sertliği sahip olan malzemeye karşı yüklenildiği durumlarda meydana gelir. Örneğin; bu problem yaygın olarak kazı makinelerinin küreklerinde görülür. Uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayı da denilebilir. Bu tanım, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasiv aşınmayı kapsar. Cisim aşınma altındayken önemli bir plastik deformasyon gerçekleşir.

Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonucunda meydana gelen abrasiv aşınma, "İki Cisimli Abrasiv Aşınma"dır. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür aşınmaya "Üç Cisimli Aşınma" denir.

Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma ve tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelir. Abrasiv aşınma için en önemli şart, sürtünme sırasında, abrasivin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olması gerekir. Aşınma şeması Şekil 2.23'te gösterilmektedir (Çam 2012).

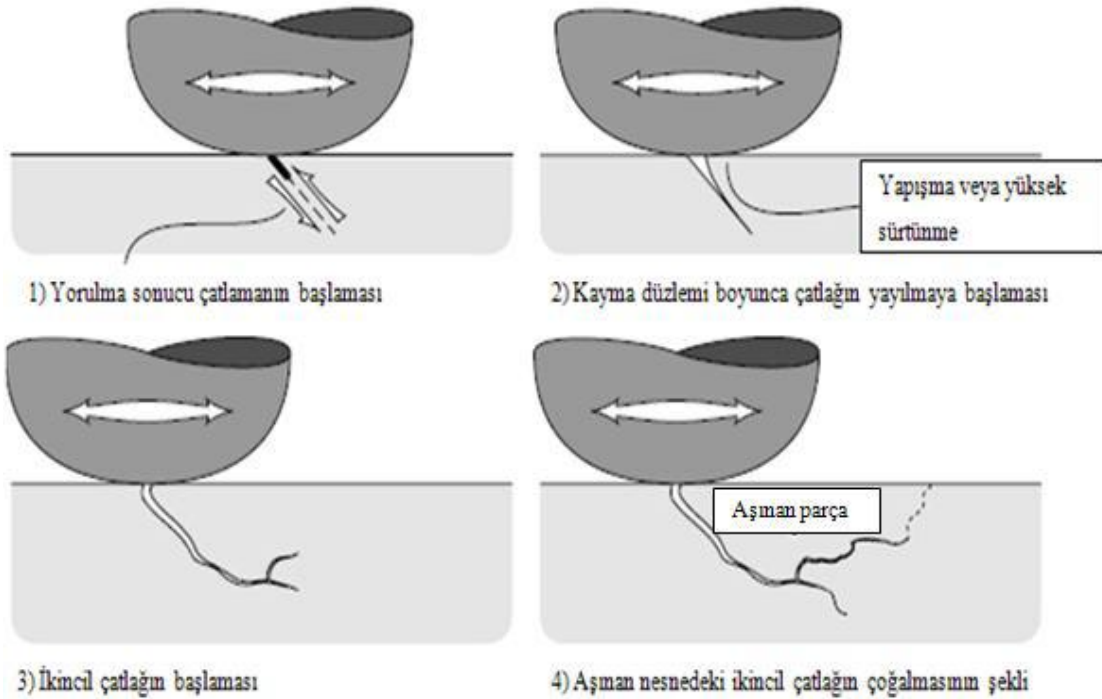


Şekil 2.23 Abrasiv aşınma mekanizmaları (Çam 2012).

2.9.2.2 Yorulma Aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Yorulma aşınması mekanizması malzemenin yüzeyinden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir. Bu olay esnasında içyapıda parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi çözümler olur.

Maksimum kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar meydana gelmektedir. Çukurcuk adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi. Şekil 2.24'te gösterilmektedir (Gülyüz 2011).

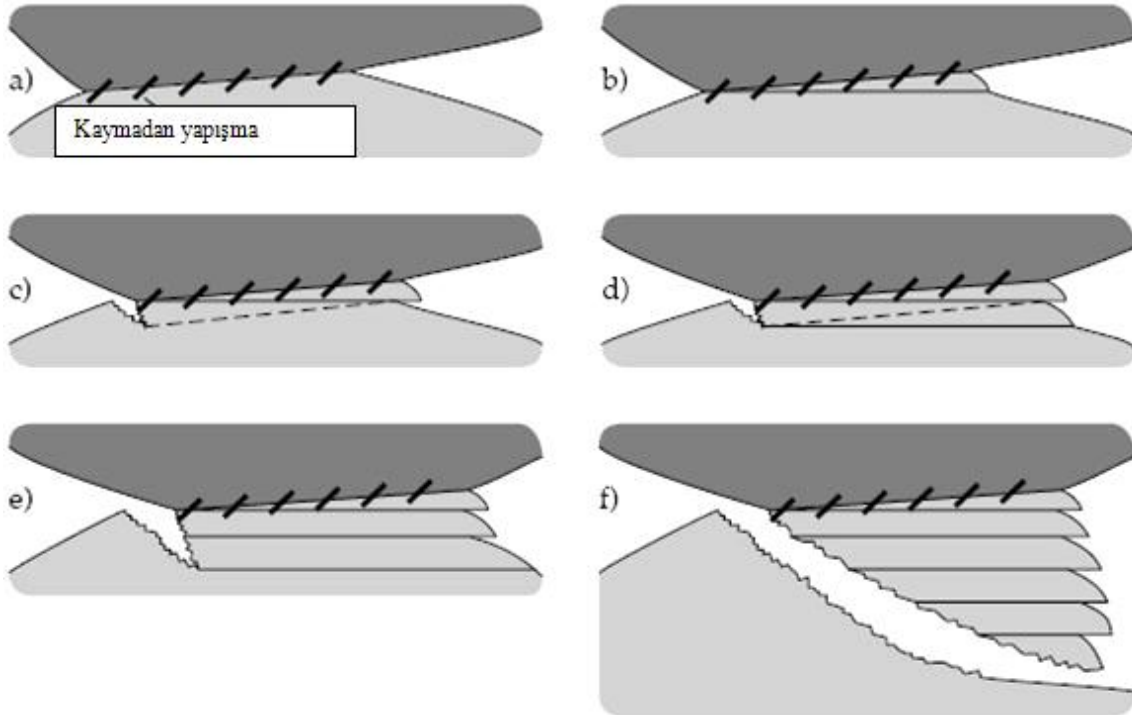


Şekil 2.24 Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik resimleri (Çam 2012).

2.9.2.3 Adhezif Aşınma

En sık rastlanan aşınma türü olan adhezif aşınma genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma en genel olarak karşılıklı etkileşim içinde birbirlerine göre hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanmaktadır.

İki ayrı metal yüzeyi belli bir basınç altında birbirleri ile temas ettiğinde, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı pürüzler gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynak etkisi sonucu birbirleriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, yüzeyin diğer bölgelerindeki pürüzlerde oluşan bağdan daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirlerine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki pürüz, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopar. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında bir çok kez tekrarlanması ile adhezif aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır (Gökşahin 2007). Yapılan deneysel çalışmalar; birçok kayma şartlarında adhesiv aşınmanın temel aşınma mekanizması olarak ortaya çıktığını göstermektedir (Özdin 2006).



Şekil 2.25 Yapışkan bir transfer nesnesinin şematik görünüşü (Çam 2012).

2.9.2.4 Korozyon Aşınması

Aşınma malzemeleri arasında kayma meydana geldiği zaman gaz veya sıvı ortam korozyon özelliği ile reaksiyon sonucunda kimyasal veya elektrokimyasal etkileşim ile yüzey üzerinde aşınma olayı gerçekleştirmektedir. Reaksiyon ürünleri yüzeyde güce bağlı olarak ana malzeme gibi davranabilmektedir. Korozyon ortamında katı malzemelerin birbiri ile etkileşimi sonucu reaksiyon ürünlerinin şekillenmesi ortaya çıkmaktadır. Kimyasal aşınmanın bu türü korozyon aşınması olarak adlandırılır.

Korozif aşınma genellikle aşınmanın hafif bir şeklidir, fakat yüksek sıcaklıklarda ve nemli ortam içerisinde aşırı bir hal alabilir. Malzemelerin yüksek sıcaklık ve gaz ortam içerisinde oksitlenmesi kimyasal korozyon, çözelti ortamlarında meydana gelen oksitlenme ise elektrokimyasal korozyon olarak adlandırılır. Özellikle metallerde etkili olan bir aşınma türüdür (Topuz 2012).

2.9.2.5 Oksidasyon Aşınması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Sürtünme etkisi yüzeyde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur ve bu sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların sebep olduğu çatlak oluşumunu artırır. Hava, çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasif aşınmanın neden olduğu kanallardan içeri girme imkanı bulur. Bu tür aşınma yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir.

Malzemelerin izafi hareket sırasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol açar. Bu olaya tribolojik zorlanma esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyon denir.

Sürtünen elemanlar arasında oluşan oksit tabakası ana malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde etkiler. Meydana gelen oksit filmi adhesif aşınmaya karşı direncini artırmasına rağmen, izafi hareketin devam etmesiyle birlikte, parçalanan oksit filmi malzemeler arasında aşındırıcı tane oluşturarak abrasif aşınmayı hızlandırır. Bu tür aşınma çoğunlukla taş kırma makinelerinde görülür (Güneş 2006, Kılıç 2008).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Malzemeleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 2014 ve AA 6082 alüminyum alaşımları sıcak haddeleme yöntemiyle üretilmiş olup, malzemelerin kimyasal bileşimi resim 3.1'deki GNR marka cihaz ile belirlenmiştir. Malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de ve Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 2014 alüminyum alaşımının (%) kimyasal bileşimi.

AA 2014		Kimyasal Bileşim (%)					
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Diğer	Al
0,5	0,6	4,6	0,7	0,4	0,1	0,3	92,8

Çizelge 3.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 6082 alüminyum alaşımının (%) kimyasal bileşimi.

AA 6082		Kimyasal Bileşim (%)					Al
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Diğer	Al	
0,2	1,3	0,1	0,5	0,7	0,1	97,1	



a)



b)

Resim 3.1 a) Spektral analiz için kullanılan cihaz, b) Numunenin spektral analiz örneği

Deneylerde kullanılan numuneler 10 mm kalınlığında ve 20 mm çapında diğer bir kısmı ise 10 mm kalınlığında ve 20 mm kalınlığında kare şeklinde kesilerek metalografik

işlemler için; sırasıyla 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalardan geçirildikten sonra parlatılmıştır.

3.2 Termal oksidasyon işlemi

İşlem öncesi, 20 mm x 10 mm ebatlarında hazırlanan numuneler, alkol ile temizlenerek işleme hazır hale getirilmiştir. Daha sonra hazırlanmış olan deney numuneleri; ilk önce 530°C’de 20 dk tav fırınında bekletilerek su verme işlemine tabi tutulduktan sonra termal oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Termal oksidasyon işlemi hava atmosferli tüp fırında 550°C, 600°C sıcaklıklarda 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Termal oksidasyon işlemleri süresince hava atmosferli tüp fırında uygulanan oksijen 1,5 m³/saat ve 2,5 bar sabit basınç altında tutulmuştur. Termal oksidasyon işlemi hava atmosferli tüp fırın resim 3.2’de ve tezde gerçekleştirilen deney parametreleri Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.



Resim 3.2 Oksidasyon işleminde kullanılan fırının fotoğrafı.

Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan parametreler

DENEY PARAMETRELERİ		
Al Alaşımları	AA 2014	AA 6082
Oksidasyon Sıcaklığı(° C)	550 ve 600	550 ve 600
Deney İşlem Süresi, (Saat)	3, 5 ve 7	3, 5 ve 7
Aşınma Deneyleri		
Uygulanan Yük	Aşınma Mesafesi	Kayma Hızı
5N	300 metre	0,25

3.3 Metalografik Çalışmalar

Metalografik incelemeler için hazırlanan numuneler kesitten kesildikten sonra, sırasıyla 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarla zımparalanmış ve 1 μm 'luk alümina ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur (Resim 3.3). Parlatılan yüzeylere dağlayıcı olarak AA 2014 için (190 ml saf su, 5 ml HNO_3 , 3 ml HCl ve 2 ml HF) ve AA 6082 için de (5 ml HF , 10 ml H_2SO_4 ve 85 ml saf su) ile hazırlanan Keller ayracı kullanılarak dağlanıp mikroyapı görüntüleri elde edildi. Mikroyapılar, Olympus BX-60 marka optik mikroskop (Resim 3.4) ve LEO 1430 VP marka SEM mikroskobu (Resim 3.5) ile SEM görüntüleri çekilmiştir. Tabaka kalınlıkları ise yine aynı optik mikroskoba bağlı optik mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Tabaka kalınlığı, deney numunesinin yüzeyinden yapılan ölçüm ile tespit edilmiştir.



Resim 3.3 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.



Resim 3.4 Optik mikroskop.



Resim 3.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

3.4 Mikro Sertlik Ölçümleri

Numunelerin oksidasyon işlemi sonucunda oluşan oksit tabakasının sertlik ölçümleri SHIMADZU HMV-2 model Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazında 10 sn süre ile yüzeyden $HV_{0,05}$ yükleme altında yapılmıştır. Oksitlenmiş numunelerin yüzeyinden her numuneden üç ölçüm yapılmış, bu ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Daha sonra, numunelerin kesiti alınarak yüzeyinden, yüzeyinin biraz altından ve numune merkezine doğru 3'er ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanmış ve mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.

3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS İncelemeleri

Optik mikroskop incelemesi ve aşınma sonrası numune aşınma yüzeylerinin incelenmesi için korozyon öncesi ve korozyon sonrası SEM görüntüleri alınmıştır. Elementel dağılımları ve yüzde oranlarını belirlemek için de korozyon öncesi ve korozyon sonrası EDS analizleri alınmıştır. Aşınma testinden sonra numunelerin aşınma yüzeyleri A.K.Ü - TUAM merkezinde bulunan LEO 1430 VP marka SEM mikroskobu (Resim 3.4) ile incelenmiştir. EDS analizleri ise SEM mikroskobuna bağlı Röntec EDS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.6 X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD)

X-ışını difraksiyon analizi termokimyasal yüzey işlemi neticesinde, oksidasyon işlemi ile yüzeyde oluşan fazların karakterizasyonu için yapılmıştır. Numunelerin X-ışınları difraksiyon analizleri 10-90 derece arasında, $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılan SHIMADZU XRD-6000 marka X-ışınları Difraktometresi ile gerçekleştirilmiştir.

3.7 Aşınma Deneyi

Oksitlenmiş numuneler, uygun olarak tasarlanan bilye-disk aşınma cihazında aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Testler kuru ortamlarda altta hareket eden 25 mm çapında borlanmış çelik disk ve üstte sabit 8 mm çaplı bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler tek yük (5 N) altında, 0,25 m/s kayma hızında, 300 metre mesafesinde, oda sıcaklığında aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında her bir numune ve aşındırma elemanı alkolle temizlenmiştir. Deney sonrası numunelerin aşınma hacimleri Taylor-Hobson Rugosimeter cihazından (Resim 3.5) elde edilen aşınma kesit alanlarının aşınma izi çevresiyle çarpımı sonucunda hesaplanmıştır. Daha sonra 15x15 μm tarama hassasiyetli, (x = 10 mm, y = 10 mm) aralıklı ve 1mm/sn tarama hızında ST400 Nanovea cihazında aşınma yüzey profilometre analizi yapılmıştır. Aşınma iz analizi sonrasında, aşınma hızı grafikleri çizilmiştir. Aşınma hızı ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

Aşınma hızı=Aşınan hacim miktarı / (Uygulan yük x Kayma mesafesi), mm^3/Nm



Resim 3.6 Aşınma cihazının görünüşü.

3.8 Korozyon İşlemi

Korozyon deneylerine başlamadan önce tüm numuneler tartılarak ham ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlenen numuneler daha sonra asitlik molaritesi 4 olan HCl ortamında her numune 10 dk bekletilerek ağırlık kayıp miktarı belirlenip tekrar korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Tartım işlemleri için, 1/1000 hassasiyetindeki terazi kullanılmıştır. Bu işlem her numune için 12 defa tekrarlanarak korozyon direnç analizleri yapılmıştır.

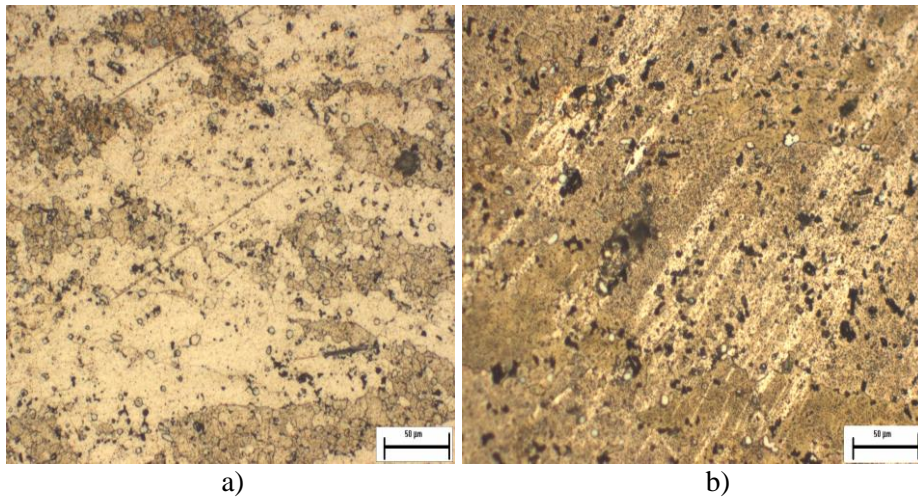
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Optik Mikroskop Analizleri

İşlemsiz numune ile ısıl işlem görmüş numunelerin mikro yapılarında meydana gelen değişiklikler, optik mikroskop altında incelenmiştir.

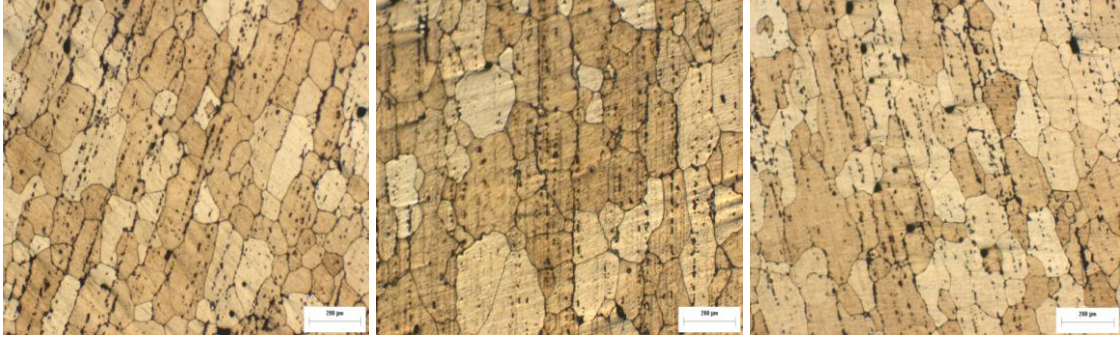
AA 2014 alaşımının işlem görmemiş numune ile 530°C'de 20 dk bekletilip su verilmiş numunenin mikroyapı görüntüsü şekil 4.1'de, 550°C sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.

AA 2014 alüminyum alaşımının şekil 4.1'deki optik mikroskop görüntülerinde tane sınırlarının tam olarak belirginleşmediği ve şekil 4.1'deki FeAl Al₂Cu, Mg₂Si ve AlFeSi fazlarının azlığı ve heterojen bir görüntü dikkati çekmektedir. Ayrıca numune içerisindeki küçük tanecikler segregasyon şeklinde gözlenmektedir. Bununla beraber 530°C'de 20 dk bekletilip su verilmiş numunenin optik mikroskopunda işlem sırasında oluşan fazların miktarca arttığı ve küçük taneciklerin homojen bir iç yapı sergilediği görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 AA 2014 alüminyum alaşımının optik görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 530°C'de 20 dk bekletilip su verilmiş numune.

İşlem görmemiş AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C'de çeşitli sürelerde oksidasyon işlemi görmüş numunelerin optik mikroskop görüntüleri şekil 4.2'de verilmiştir. optik mikroskop görüntülerinde iç yapıyı oluşturan taneler daha belirginleşmiştir.



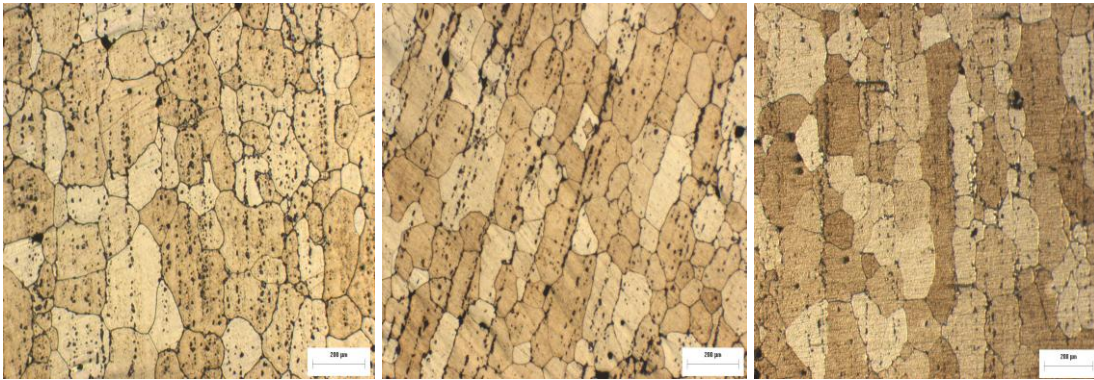
a)

b)

c)

Şekil 4.2 AA 2014 işlemsiz alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

550°C sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü Şekil 4.3'de verilmiştir. Suni yaşlandırılmış deney numunelerinin oksidasyon işlem süreleri arttıkça iç yapıda görülen tanecikler küçülerek, homojen bir iç yapı sergilemişlerdir. Çökelen fazların suni yaşlandırma süresi arttıkça daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığı ve tane boyutu olarak daha da büyüdüğü ve tane sınırlarının net bir şekilde belirginleştiği gözlenmektedir (Şekil 4.3/a, Şekil 4.3/b).



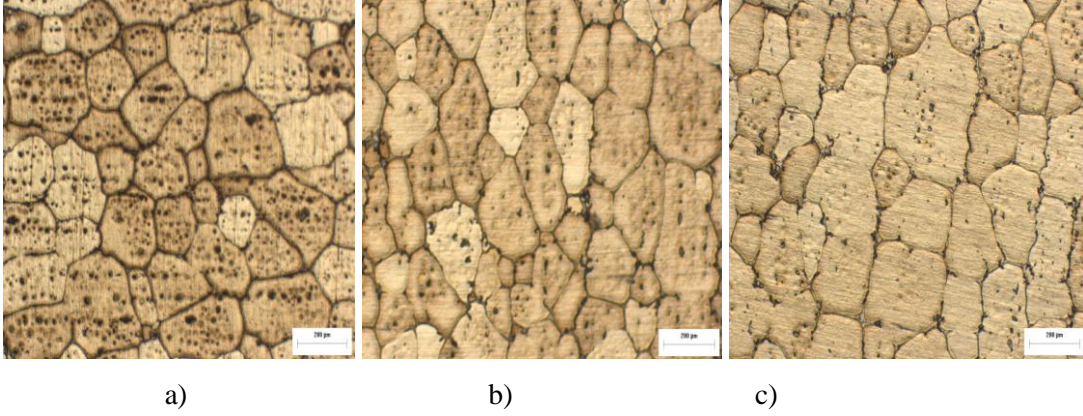
a)

b)

c)

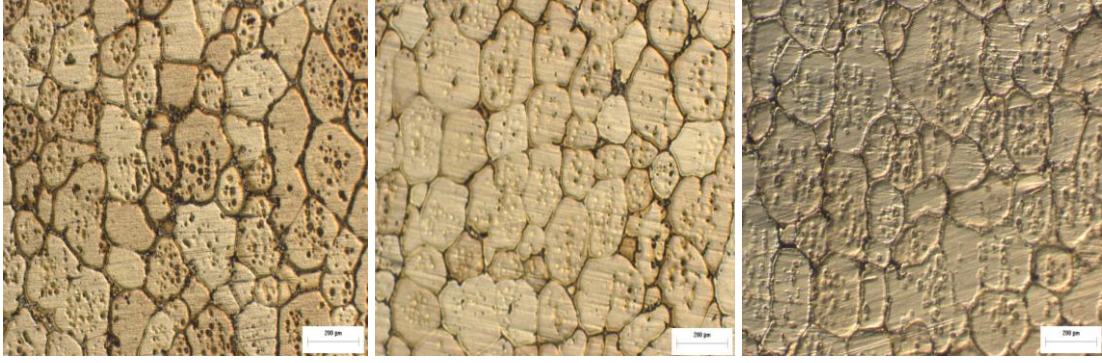
Şekil 4.3 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

İşlem görmemiş AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C'de sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü şekil 4.4'de verilmiştir. 600°C'de oksidasyon işlemi görmüş ve artan oksidasyon süresine bağlı olarak tane sınırlarının oldukça belirginleştiği ve tanelerin büyüdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 AA 2014 işlemsiz alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat süresince oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü şekil 4.5'te verilmiştir. AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıktaki (şekil 4.5/a, şekil 4.5/b ve şekil 4.5/c)'deki optik mikroskop görüntülerinde tane sınırlarının tam olarak belirginleştiği ve suni yaşlandırma sonrası oksidasyon süresi arttıkça iç yapıda görülen tanecikler küçülerek, homojen bir iç yapı oluşturmuştur. Oluşan bu homojen iç yapılar mukavemet ve mekaniksel özelliklerin artmasında önemli etkisi bulunmaktadır (Şekil 4.5).



a)

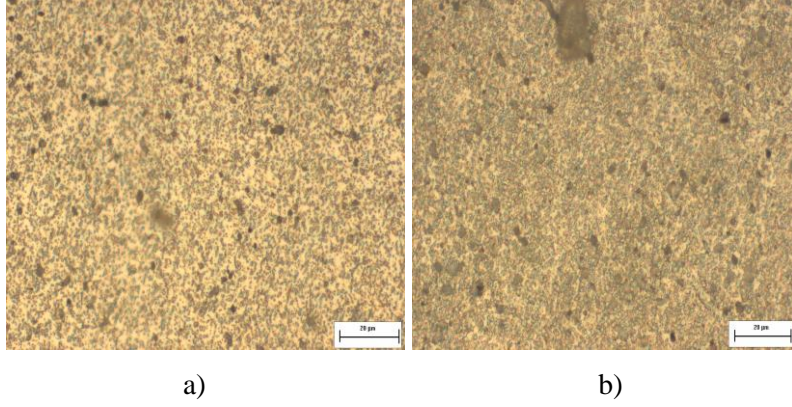
b)

c)

Şekil 4.5 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat

AA 6082 alaşımının işlemsiz numune ile 530°C'de 20 dk bekletilip su verilmiş numunenin mikroyapı görüntüsü şekil 4.6'de, 550°C sıcaklıkta, 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü şekil 4.7'de ve 600°C sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat süresince oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü şekil 4.8'de verilmiştir.

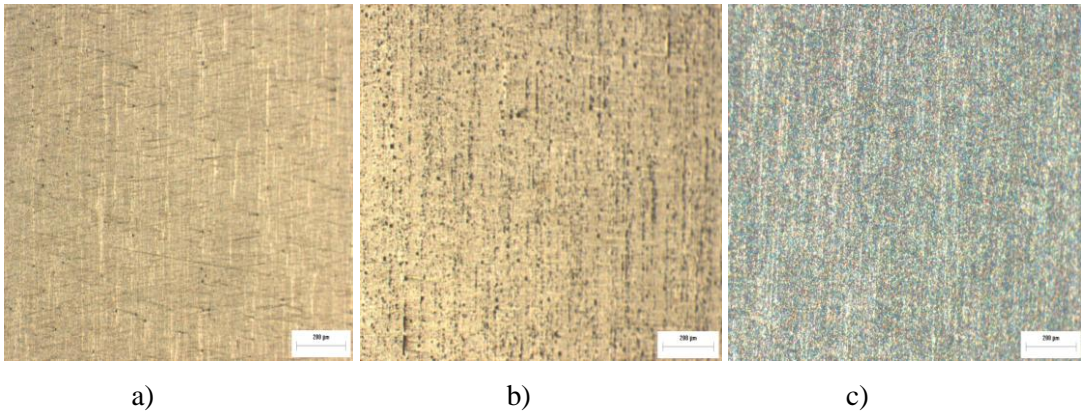
Isıl işlem görmemiş, işlemsiz AA 6082 alüminyum alaşımının şekil 4.6/a'daki optik mikroskop görüntülerinde FeAl intermetalik fazı ve XRD analizleri ile tespit edilemeyen Mg₂Si, AlFeSi fazlarının azlığı dikkati çekmektedir. Ayrıca numune içerisindeki küçük tanecikler segregasyon şeklinde gözlenmektedir. Bu sebepten dolayı numune içerisinde mevcut olan FeAl, Mg₂Si ve AlFeSi fazları ve tanelerin iç yapısında mevcut olan gözenek şeklindeki küçük tanelerin homojen dağılımı gözlenmektedir (Şekil 4.6/a). Fakat 530°C'de 20 dk bekletilip su verilmiş numunenin optik mikroskopunda (Şekil 4.6/b) ısıl işlem sırasında oluşan intermetalik fazlarının ve küçük taneciklerin miktarca arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.6 AA 6082 alüminyum alaşımının optik görüntüsü; a) İşlemsiz numune, b) 530°C’de 20 dk bekletilip su verilmiş numune.

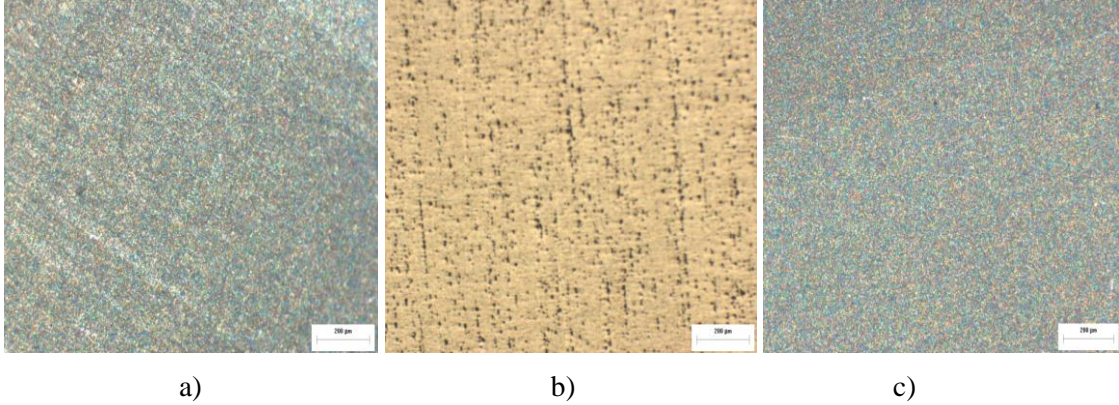
Özdoğru (2009) göre AA 6XXX alaşım grubunda doğal yaşlanma hızı en yüksek alaşım AA 6082 alaşımıdır. Bundan dolayı çözeltiye alma ısısal işleminden hemen sonra alaşımın doğal yaşlanma süreci başlamaktadır. Doğal yaşlanma esnasında Mg_2Si fazı hızlı bir şekilde çökelmeye başlamaktadır. Daha önceden belirtildiği üzere $\beta-(Mg_2Si)$ 'in erken çökmesi, alaşıma mukavemeti sağlayan $\beta-(Mg_5Si_6)$ fazının miktarını etkilemektedir.

İşlemsiz AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C’de sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü şekil 4.7’de verilmiştir. 550°C’de oksidasyon işlemi görmüş numunelerin iç yapıyı oluşturan tanelerin oluşumuna rastlanmamıştır.



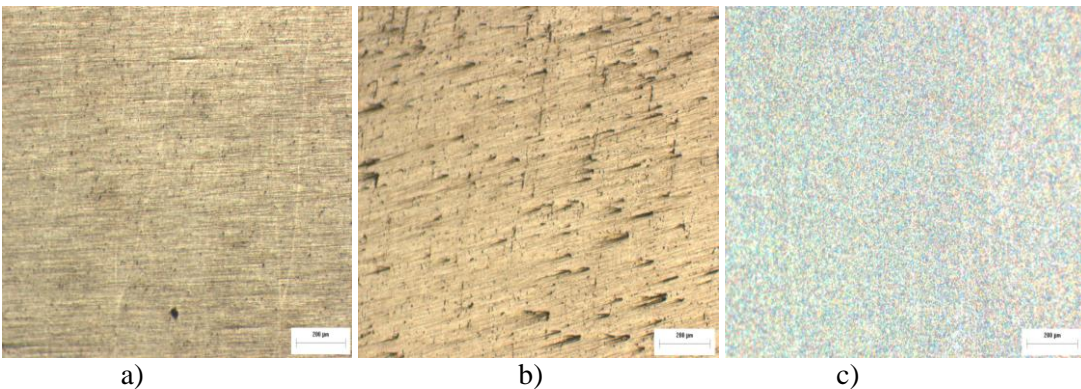
Şekil 4.7 AA 6082 işlemsiz alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat , c) 7 saat.

Numunelerin içerisindeki küçük tanecikler segregasyon şeklinde gözlenmektedir. Erdoğan vd.(2013) göre numunelerin iç yapısında oluşan FeAl, Mg₂Si ve AlFeSi fazlarının termodinamik denge durumunda arttığı düşünülmektedir. Küçük taneciklerin homojen bir iç yapı oluşturduğu ancak üzerindeki çok ince oksit tabakasından dolayı tane sınırları tam olarak belirginleşmediği gözlenmektedir (şekil 4.8).



Şekil 4.8 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

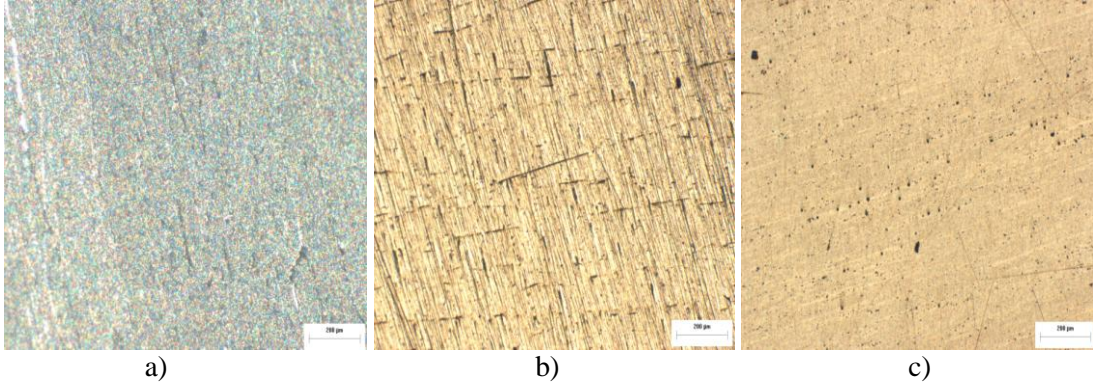
İşlemsiz AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüleri şekil 4.9'da verilmiştir. 550°C'de oksidasyon işlemi görmüş numunelerin iç yapıyı oluşturan tanelerin oluşumuna rastlanmamıştır.



Şekil 4.9 AA 6082 işlemsiz alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

Suni olarak yaşlandırılan AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de sıcaklıkta 3, 5 ve 7 saat sürelerinde oksidasyon işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüsü Şekil

4.10'da verilmiştir. 600°C'de oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin iç yapısını oluşturan tanelerin oluşumuna rastlanmamıştır.



Şekil 4.10 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin optik görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

Optik mikroskopla yapılan incelemede, hiçbir numunede belirli bir kalınlıkta oksit tabakası tespit edilememiştir. Nie and Matthews (2000)' e göre bunun nedeninin havada ve suda koruyucu bir oksit tabakasının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bu kararlı tabaka alüminyumun oksitlenmesinin ilerlemesini durdurmakta ve alttaki metali korumaktadır. Ayrıca alüminyumun üzerindeki var olan koruyucu oksit tabakasının bağının kırılıp tekrar suni olarak bir oksit tabakasının oluşturulması için geçen sürenin kısa ve sıcaklığın düşük olduğu, bu etkenlerin yanında alüminyumun iyi bir iletken olması da oksit tabakasının oluşmamasına sebep olduğu düşünülmektedir.

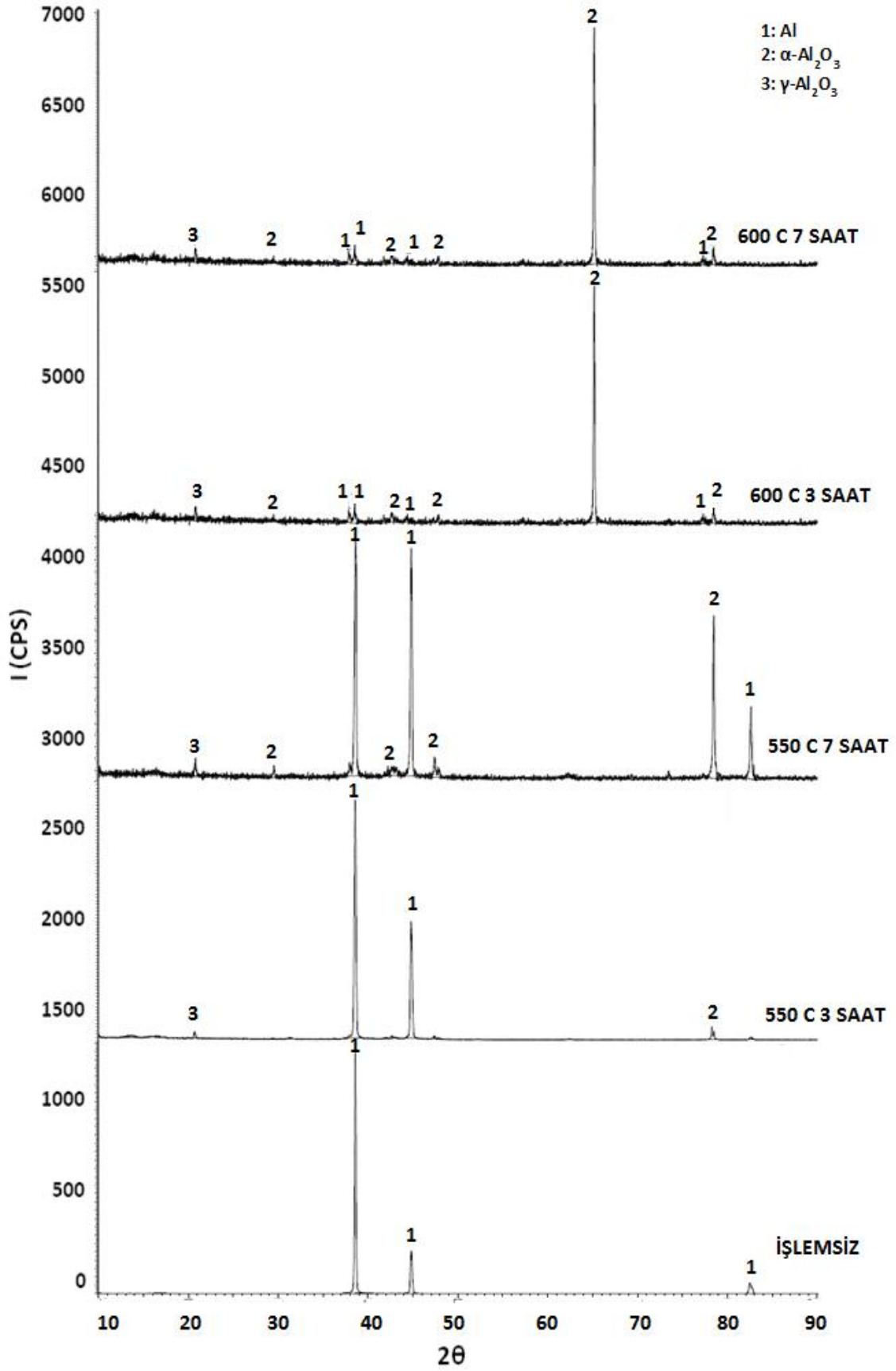
4.2 XRD Analizleri

Numunelerin iç yapısında oluşan fazları belirlemek amacıyla, numunelere X ışınları analizi (XRD) yapılmış ve XRD datalarından piklerin ait olduğu fazlar tespit edilmiştir. Farklı sürelerde, farklı alüminyum (AA 2014 ve AA 6082) alaşımları üzerine yapılan termal oksidasyon işleminin faz tayini için X-ışınları analizi yapılmıştır. Genel olarak oluşan ağırlıklı fazlar Al, α -Al₂O₃ ve γ -Al₂O₃ olarak tespit edilmiştir. İşlem parametrelerinin değiştirilmesiyle fazların oranları ve pik şiddetleri değişiklik göstermektedir. Khan vd. (2010) AA 6082 alaşım üzerinde yaptıkları çalışmada DC akım kullanarak 5 ila 20 A/dm² akım yoğunluğunu kullanarak plazma elektrolitik oksidasyon işlemi yapmışlar, yapılan çalışmada 3 ila 40 µm kalınlıkları arasında bir

tabaka kalınlığı elde etmişlerdir. Akım yoğunluğu ile kaplama kalınlığının arttığını en kalın kaplamanın (40 mikron) 20 A/dm² akımda en düşük kaplamanın da 3 mikronla 5 A/dm² akımda plazma elektrolitik oksidasyon (PEO) işleminde elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca PEO alüminyum oksit kaplamalar amorf ve kristalin (örneğin, yüksek sıcaklık fazı α -Al₂O₃ ve düşük sıcaklık fazı γ -Al₂O₃) fazların bir karışımından oluştuğunu belirtmişler. Çakıcı (2009)'ya göre bir kaplamada α -Al₂O₃ oranının yüksek olması o kaplamanın kalitesini de artırır. Çünkü α -Al₂O₃ fazı γ -Al₂O₃ fazına göre çok daha yüksek mekaniksel özelliklere sahip bir fazdır.

Şekil 4.11'de işlemsiz AA 2014 alüminyumun alaşımının XRD grafiğinde farklı şiddetlerde alüminyum piki tespit edilmiştir. 550°C'de 3 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan alaşımların XRD görüntüsü incelendiğinde ise alaşımların yapısında Al, γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları tespit edilmiştir. Alaşım içerisinde Al pik şiddetinin γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ pik şiddetlerine daha büyük bir şiddete sahip olduğu hem 3 saat hem de 7 saatlik numunelerin analizinden anlaşılmaktadır. Benzer şekilde 600°C'de 3 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan alaşımların XRD görüntüsü incelendiğinde ise alaşımların yapısında Al, γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları tespit edilmiştir. Al pik şiddetinin γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ pik şiddetlerinden daha büyük bir şiddete sahip olduğu ancak α -Al₂O₃ pik şiddetinde de her iki numunede de (3 ve 7 saat) bir artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.11).

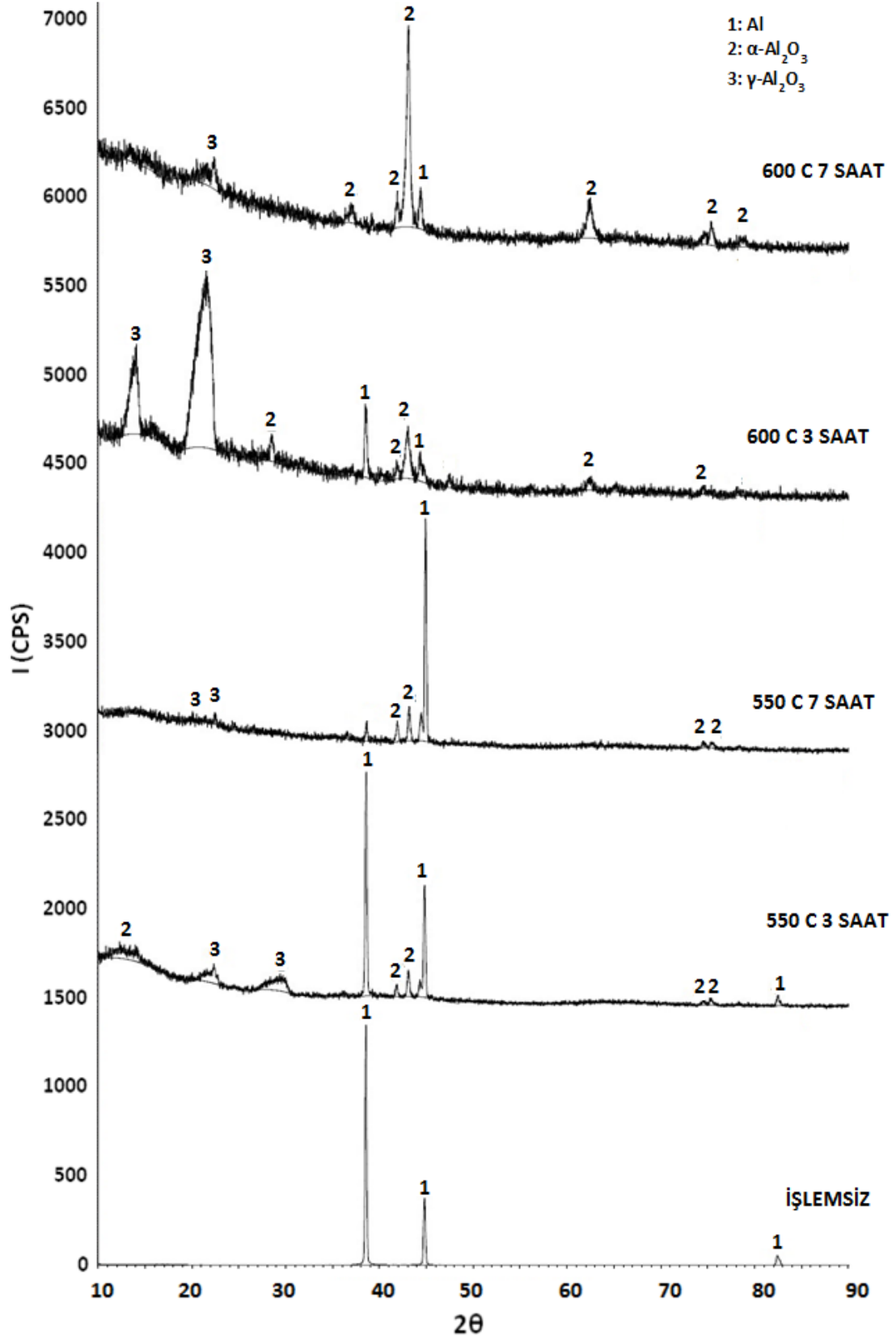
Wu vd. (2008) AA 2024 alaşımıyla mikro plazma oksidasyon yöntemiyle yaptıkları çalışmada yüzeyde yaklaşık 22 ± 1 µm kalınlığında γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazlarından oluşan ve homojen biçimde seramik kaplama elde edildiğini XRD analizi ile tespit etmişler.



Şekil 4.11 AA 2014 alüminyum alaşımının XRD eğrileri

Şekil 4.12’de işlemsiz AA 6082 alüminyumun alaşımının XRD grafiğinde farklı şiddetlerde Al piki tespit edilmiştir. 550°C’de 3 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan alaşımların XRD görüntüsü incelendiğinde ise alaşımların yapısında γ -Al₂O₃, α -Al₂O₃ ve Al fazları tespit edilmiştir. Alaşım içerisinde Al pik şiddetinin α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ ve Al pik şiddetlerine daha büyük bir şiddete sahip olduğu 3 saat ve 7 saatlik numunelerin analizinden anlaşılmaktadır. Benzer şekilde 600°C’de 3 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan alaşımların XRD görüntüsü incelendiğinde ise alaşımların yapısında Al, γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları tespit edilmiştir. Ancak 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin XRD görüntüsü incelendiğinde γ -Al₂O₃ pik şiddetinin Al ve α -Al₂O₃ pik şiddetlerinden daha büyük bir şiddete sahip olduğu tespit edilmiştir. 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin XRD görüntüsü incelendiğinde ise alaşım içerisindeki Al pik şiddetinin γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ pik şiddetlerine daha büyük bir şiddete sahip olduğu numune analizinden anlaşılmaktadır. AA 6082 alüminyumun alaşımına ait X-ışını kırınımı (XRD) sonuçları Şekil 4.12’de verilmektedir.

AA 2014 ve AA 6082 alüminyumun alaşımları ile yapılan deneysel çalışmada XRD analizi ile γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazlarının elde edilmesi literatür ile uyumludur. Daha önce alüminyumun alaşımları üzerine yapılan birçok bilimsel çalışmada XRD analizi ile γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları elde edilmiştir (Gang *et. al.* 2005, Sanatini *et. al.* 2010, Wasekar *et. al.* 2011, Tang *et. al.* 2012, Wang *et. al.* 2013).



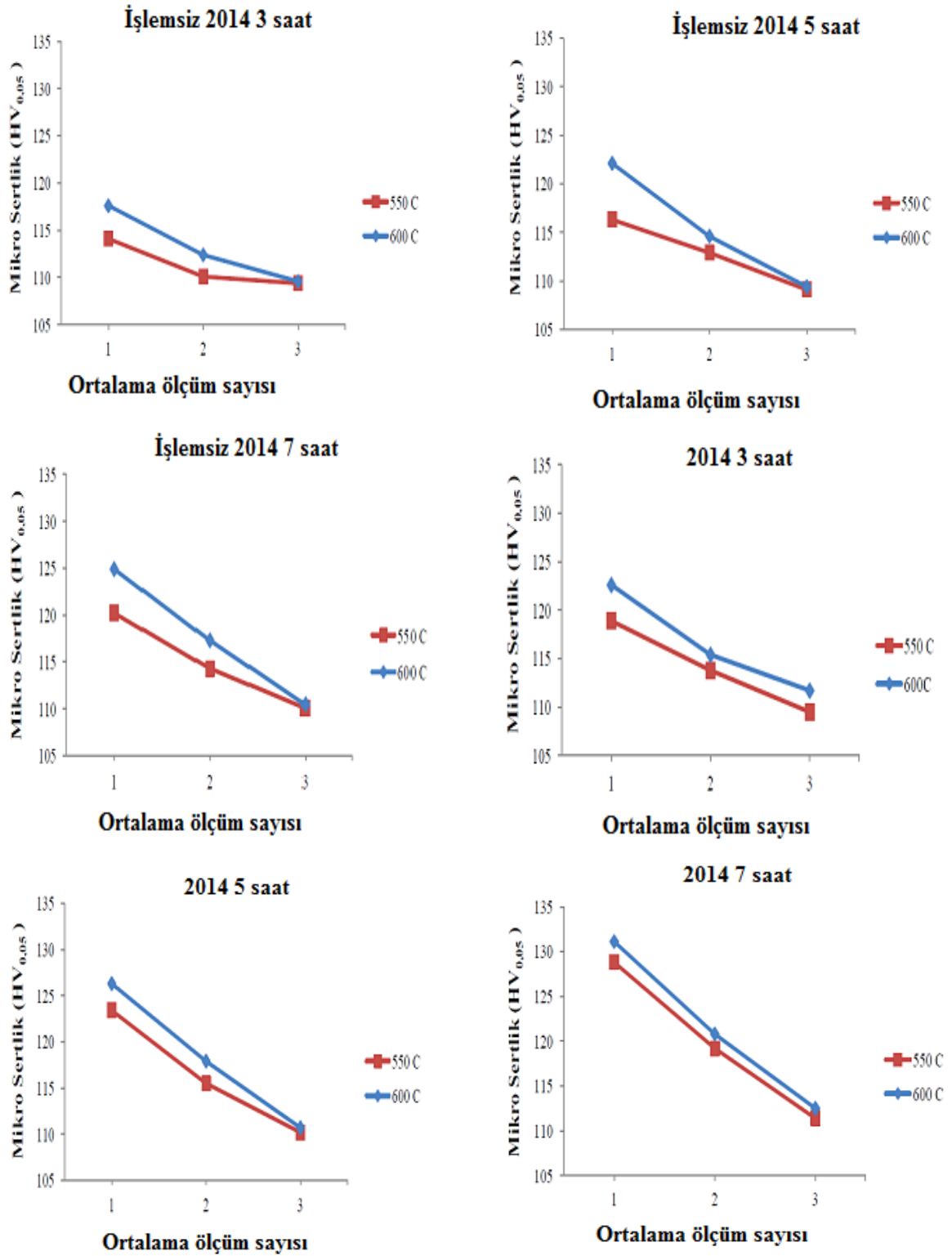
Şekil 4.12 AA 6082 alüminyum alaşımının XRD eğrileri

4.3 Mikrosertlik Analizleri

Deneyleerde kullanılan işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin sertlik ölçümleri mikro vickers uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada işlemsizden kast edilen numunelerin yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulmasıdır. Daha sonra hem numunelerin yüzeylerinden hem de numunenin kesiti alınarak yüzeylerinin birkaç mm altından ve numune merkezine yakın bir noktadan olmak üzere 3'er ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanmış ve mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.

AA 2014 alaşımın numunelerinin kesitlerinden yapılan ölçümler sonucunda oksidasyon işlemi uygulanan numunelerin oksidasyon sıcaklığı ve zamanı artıkça numune yüzeylerinin mikro vickers sertliklerin arttığı yüzeyden merkeze doğru gidildikçe de mikro vickers sertliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca işlem görmüş numunelerin işlemsiz numunelere göre sertliklerinin biraz daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

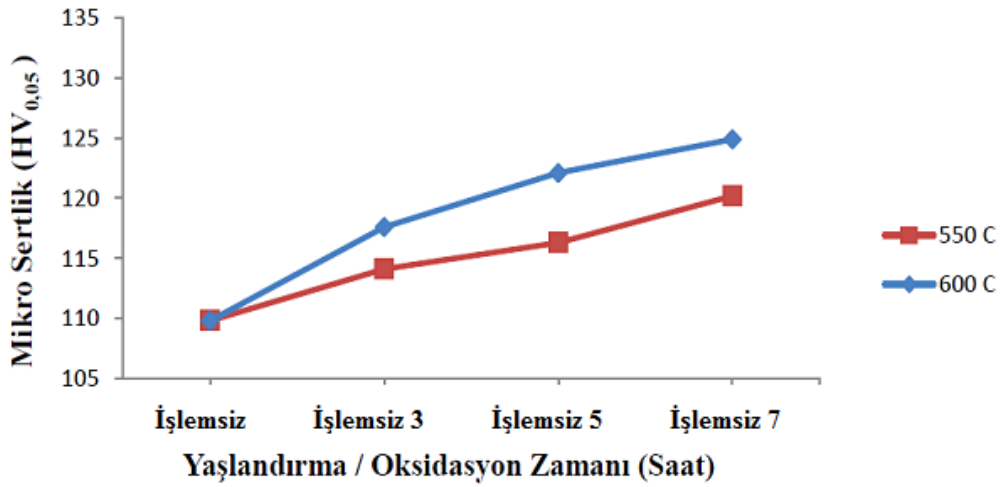
Çizelge 4.1 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin kesit yüzeyinden merkeze doğru ölçülen mikro vickers sertlik eğrileri



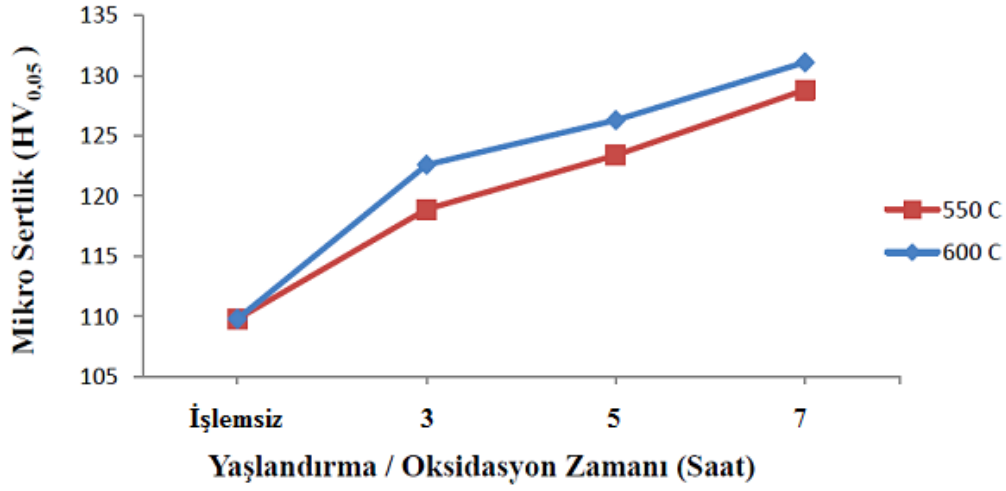
Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin bir kısmı işlemsiz olarak oksidasyon işlemine tabi tutulmuş, bir kısmı ise 190°C de suni yaşlandırılarak

oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin sertlikleri AA 2014 alaşımı için 114,1 ile 131,1 (HV_{0,05}) değerleri arasında ölçülmüştür.

AA 2014 alaşımının işlemsiz numunenin sertliği ise için 109,8(HV_{0,05})'dir. Yapılan çalışmalar sonucunda AA 2014 alaşımı için gerek 550°C gerekse 600°C'de oksidasyon işlemi sonucunda suni yaşlandırılmış numunelerin sertlikleri yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin sertliklerinden daha yüksek çıktıkları tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda AA 2014 alaşımı için oksidasyon işlemi uygulanan numunelerin minimum mikro vickers sertliğin 3. saatte, maksimum mikro vickers sertliğin ise 7.saatte elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14). Bu mikro sertlik artışının sebebi olarak da oksidasyon işlemi sonucunda varlığı X-ışını kırınımı (XRD) ile tespit edilen γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları olduğu düşünülmektedir. AA2014 alüminyumun alaşımlarına ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmektedir.



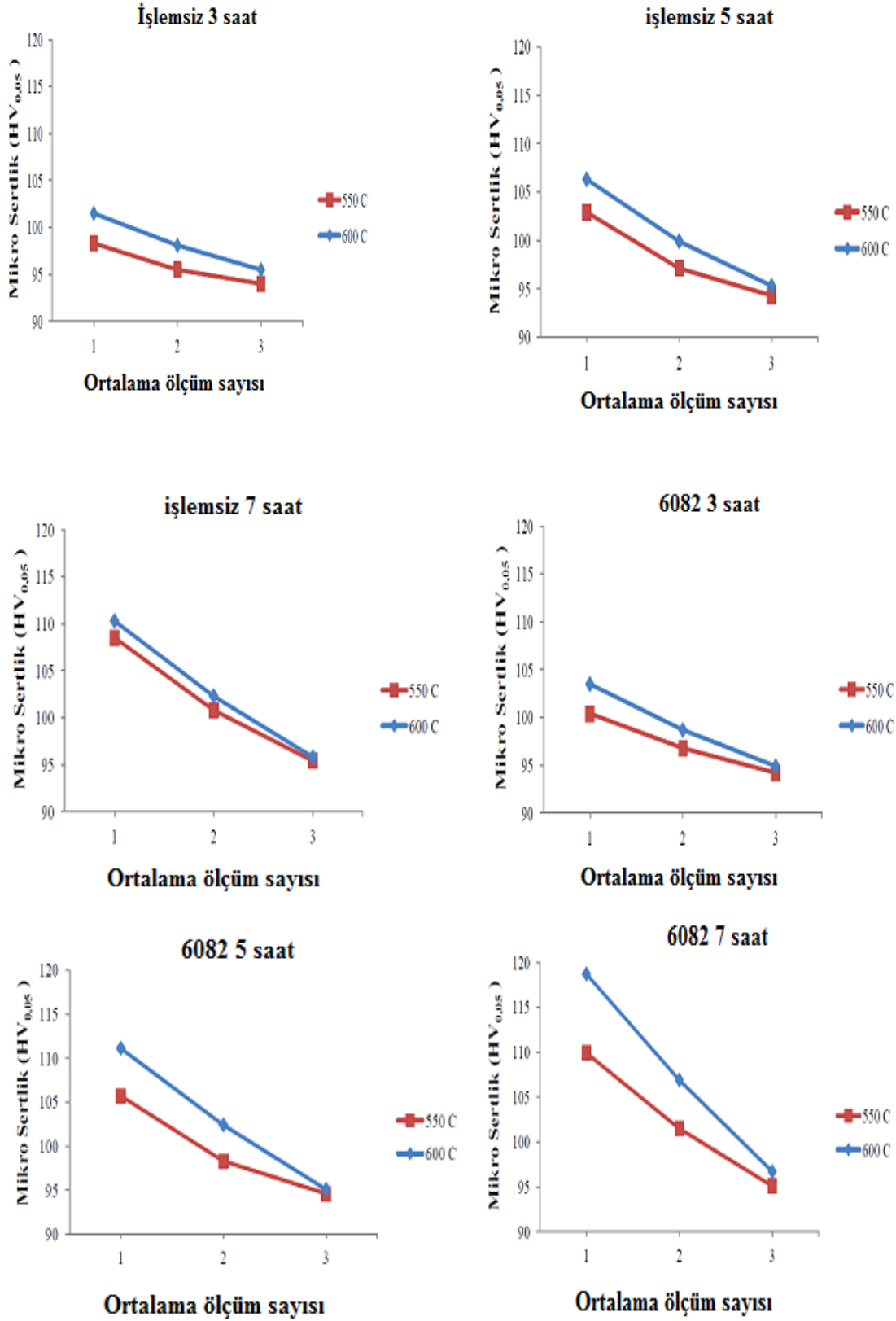
Şekil 4.13 Yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 2014 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri



Şekil 4.14 Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 2014 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri

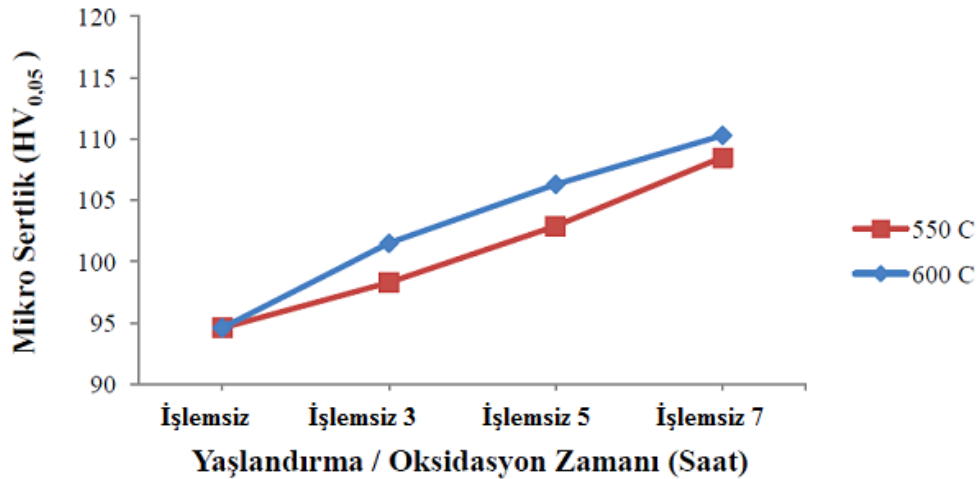
AA 6082 alaşımının numunelerinin kesitlerinden yapılan ölçümler sonucunda oksidasyon işlemi uygulanan numunelerin oksidasyon sıcaklığı ve zamanı artıkça numune yüzeylerinin mikro vickers sertliklerinin arttığı yüzeyden merkeze doğru gidildikçe de mikro vickers sertliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca işlem görmüş numunelerin işlemsiz numunelere göre sertliklerinin biraz daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 AA 6082 alüminyum alaşımının işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin kesit yüzeyinden merkeze doğru ölçülen mikro vickers sertlik eğrileri.

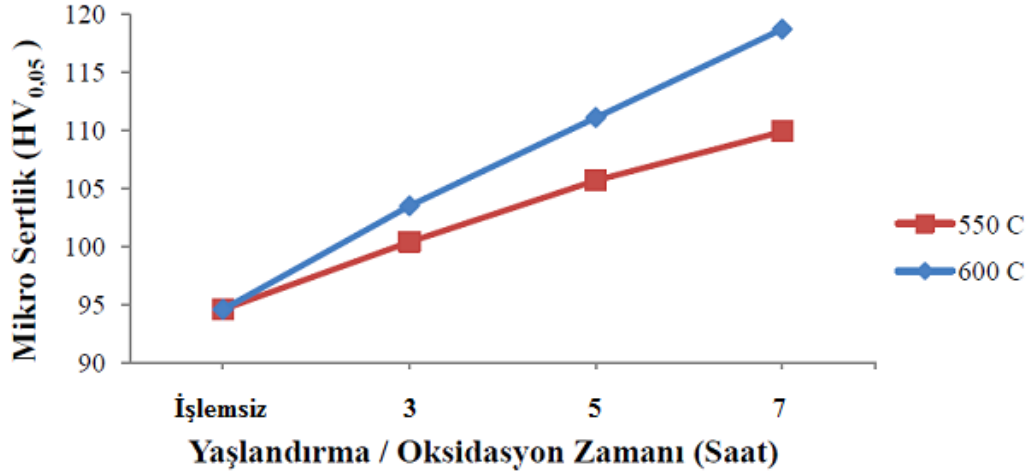


Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin bir kısmı işlemsiz olarak oksidasyon işlemine tabi tutulmuş, bir kısmı ise 190°C de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin sertlikleri AA 6082 alaşımı için 98,3 ile 118,7 (HV_{0,05}) değerleri arasında ölçülmüştür.

AA 6082 alaşımının işlemsiz numunenin sertliği ise için 94,6 (HV_{0,05})'dir. Yapılan çalışmalar sonucunda AA 6082 alaşımı için gerek 550°C gerekse 600°C'de oksidasyon işlemi sonucunda suni yaşlandırılmış numunelerin sertlikleri yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin sertliklerinden daha yüksek çıktıkları tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda AA 6082 alaşımı için oksidasyon işlemi uygulanan numunelerin minimum mikro vickers sertliğinin 3. saatte, maksimum mikro vickers sertliğinin ise 7.saatte elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.15, Şekil 4.16). Ayrıca genel olarak AA 6082 alaşımının mikro sertliği AA 2014 alaşımının mikro sertliğinden daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Mikro sertlik artışının sebebi olarak da oksidasyon işlemi sonucunda varlığı X-ışını kırınımı (XRD) ile tespit edilen γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları olduğu düşünülmektedir. AA 6082 alüminyumun alaşımlarına ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.15 Yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 6082 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri



Şekil 4.16 Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan AA 6082 alüminyum alaşımının mikro vickers sertlik eğrileri

Arslan vd (2009)'e göre, mikro ark oksidasyonu yüzey tabakaları α -Al₂O₃ ve γ -Al₂O₃ fazları içerir. Katmanların için elde yüksek sertlik değerleri α -Al₂O₃ fazı ile ilişkilidir. Wang vd. (2009)'nin yaptıkları çalışmada plazma elektrolitik oksidasyon işlemlerini, oda sıcaklığında dört farklı alkalın silikat kullanarak 5 dakika boyunca (260V kombinli DC ile 200 V, 60 Hz AC genlikli), hibrid gerilim altında AA 6061 alüminyum alaşımında alt tabakalar üzerinde seramik tabakalar üretmek için gerçekleştirilmiştir. Tabaka içerisinde γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazlarını içerdiğini ayrıca, porselen parçacıklar özellikle silikat elektrolit plazma deşarj kanallarının çevresinde üretildiğini, Na₂SiF₆ ilavesinin oksit tabakalarının büyümesini hızlandırdığından ve önemli ölçüde tabaka yoğunluğunu arttırarak ortalama mikro sertliği attırdığından bahsetmişlerdir.

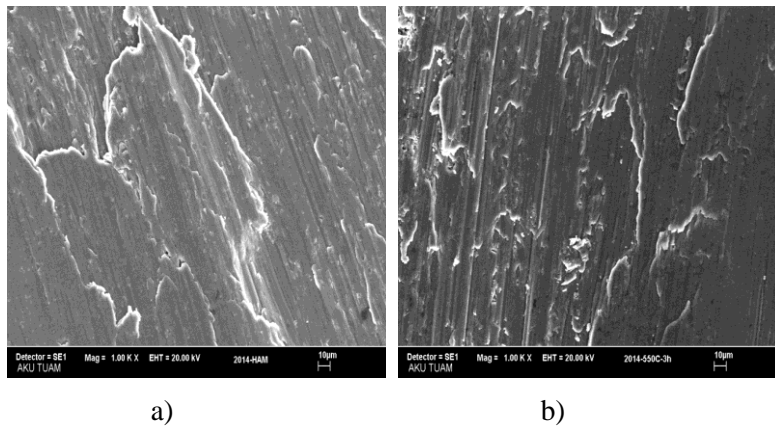
Li vd. (2013)'nin AA 6063 alüminyum alaşımı üzerinde mikro ark oksidasyon yöntemi ile oluşturulan nano katkılı TiO₂ kaplamaların performansının etlisini araştırmışlar. Farklı konsantrasyonlarda (0,8 - 4,0 g / L) nano katkılı TiO₂ ilavesi yaparak sertliklerini ölçmüşler. Yaptıkları çalışmada ortalama mikro sertlik değerinin artan konsantrasyonu ile arttığını ve en yüksek değer ise 3,2 g / L konsantrasyonda elde edildiğini, serliğinin yaklaşık % 19 arttığını, sertlik değerlerinin ise 1356,5 ile 1620 HV arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

4.4. Aşınma Analizleri

Deneyle tek yük (5N) altında, 8 mm çaplı bilye kullanılarak, 250 devir/dakika hızında, 0,25 m/s kayma hızında 300 metre mesafede gerçekleştirilmiştir. Sürtünme katsayıları, kayma mesafesine bağlı olarak kaydedilen sürtünme kuvvetinden elde edilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma izlerinin, aşınma alanları ve derinlikleri belirlenmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşınma hızı grafikleri çizilmiştir.

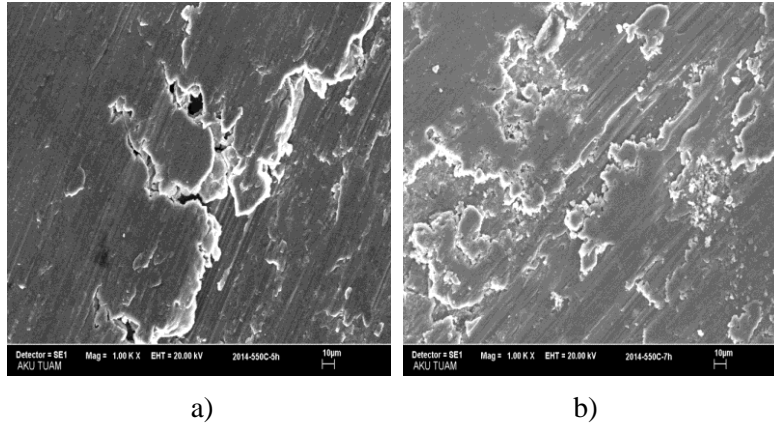
Aşınma testleri sonunda izin içinden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde AA 2014 Al alaşımı ve AA 6082 Al alaşımı için aşınma yüzeylerinde çizikler, kırılmalar, yırtılmaların ve kopmaların bulunduğu görülmektedir. Aşınma izleri incelendiğinde işlemsiz numunelerde delaminasyon (korozyon) aşınmanın etkili olduğu görülmektedir. Oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerde ise delaminasyon, abrasiv ve adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir.

AA 2014 alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde, yüzeyde plastik deformasyon ve kırılmalar meydana gelmiştir. İşlemsiz numunenin aşınma yüzeyindeki kırılmalar daha fazla ve aşınma iz derinliğinin de oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelere göre daha fazladır (Şekil 4.17/a).



Şekil 4.17 AA 2014 alüminyum alaşımının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numune.

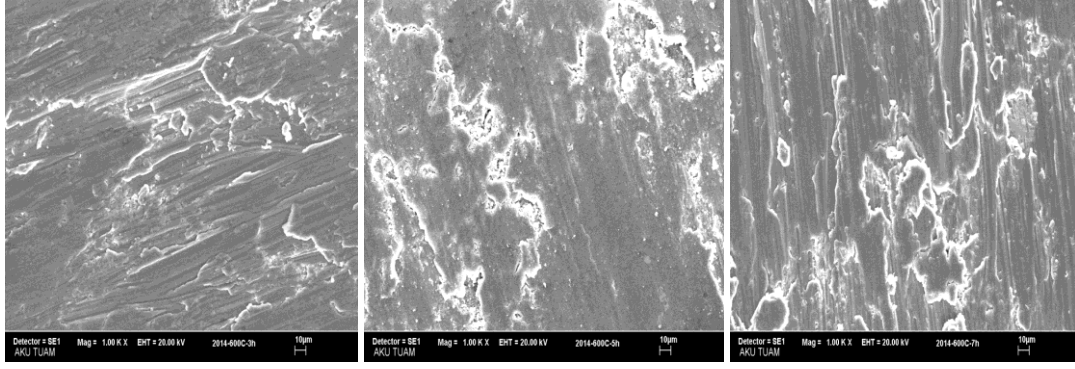
AA 2014 alaşımı için 550°C'de oksidasyon işlemi sonucunda Oksidasyon sũresinin artmasına bağlı olarak sertlik artmış, sertliğin artmasına bağlı olarak da aşınma iz derinliğinin azaldığı gũrũlmektedir. Oksidasyon sũresinin artmasıyla aşınmaya karşı bir direnç oluşmuş ve bu direnç karşısında aşınma yũzeylerinde oluşan oksitlerde kırılmalar meydana gelmiştir (şekil 4.18). Fakat, 550°C'de 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerde delaminasyon aşınmasının 3 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelere gũre daha fazla olduğu şekil 4.18/a'dan anlaşılmaktadır.



şekil 4.18 AA 2014 alũminyum alaşımının 550 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yũzeylerinin SEM gũrũntũsũ; a) 5 saat, b) 7 saat.

Bu durum numunede delaminasyon aşınmanın gerçekleştiğini ve diğer numunelere gũre daha fazla belirginleştiğini gũstermektedir. Yapılan aşınma deneylerinde aşınma mekanizması daha çok delaminasyon karakterli olduğu tespit edilmiştir.

AA 2014 alaşımının aşınma 600°C de yũzeyinin SEM gũrũntũsũ incelendiğinde, oksidasyon sũresinin artmasıyla aşınmaya karşı bir direnç oluşmuş ve bu direnç karşısında aşınma yũzeylerinde oluşan oksitlerde kırılmalar ve kopmalar meydana gelmiştir. Ȗzellikle meydana gelen kopmalar 5 ve 7 saatlik numunelerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 7 saatlik numunede abrasiv ve adhezif aşınmanın da etkili olduğu gũrũlmektedir (şekil 4.19).



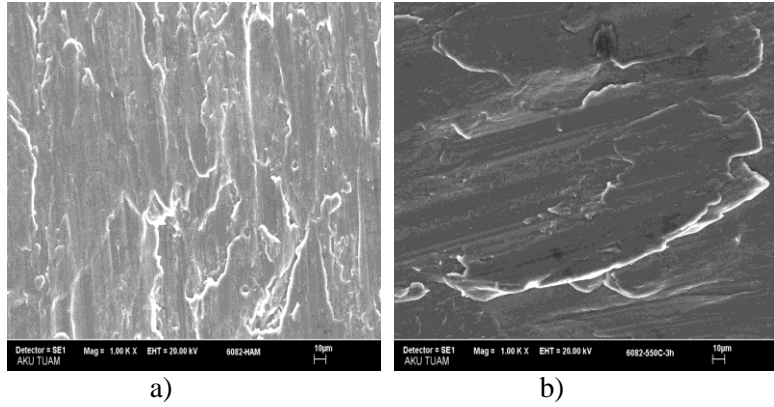
a)

b)

c)

Şekil 4.19 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

AA 6082 alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde, yüzeyde plastik deformasyon ve kırılmalar meydana gelmiştir. İşlemsiz numunenin aşınma yüzeyindeki kırılmalar daha fazla ve aşınma iz derinliğinin de oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelere göre daha fazladır (Şekil 4.20/a).



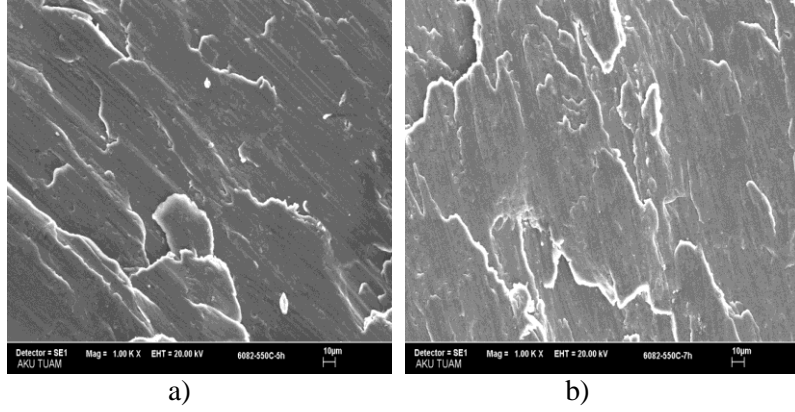
a)

b)

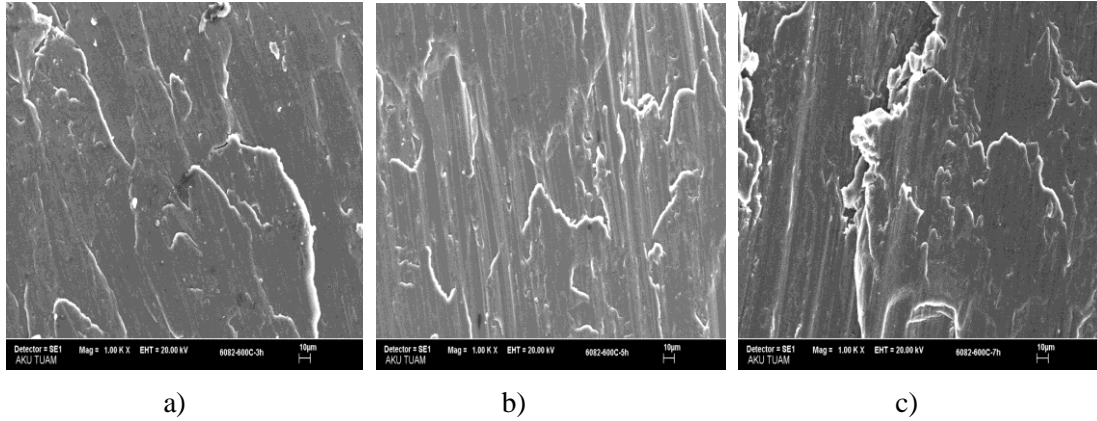
Şekil 4.20 AA 6082 alüminyum alaşımının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) işlemsiz numune, b) 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numune.

AA 6082 alaşımı için 550°C ve 600°C'de oksidasyon işlemi sonucunda sıcaklığın ve oksidasyon süresinin artmasına bağlı olarak sertlik artmış, sertliğin artmasına bağlı olarak da aşınma iz derinliğinin azaldığı görülmektedir. Sıcaklığın ve oksidasyon süresinin artmasına bağlı olarak aşınmaya karşı bir direnç oluştuğu ve bu direnç karşısında aşınma yüzeylerinde kırılmalar ve yırtılmalar oluşmuştur. Ayrıca meydana gelen kopmaların 600°C'deki 5 ve 7 saatlik numunelerde daha fazla olduğu tespit

edilmiştir. Yapılan aşınma deneylerinde aşınma mekanizması daha çok adhezif ve delaminasyon (korozyon) karakterli olduğu tespit edilmiştir. AA 6082 alaşımının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22)'de verilmiştir.



Şekil 4.21 AA 6082 alüminyum alaşımının 550 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 5 saat, b) 7 saat.



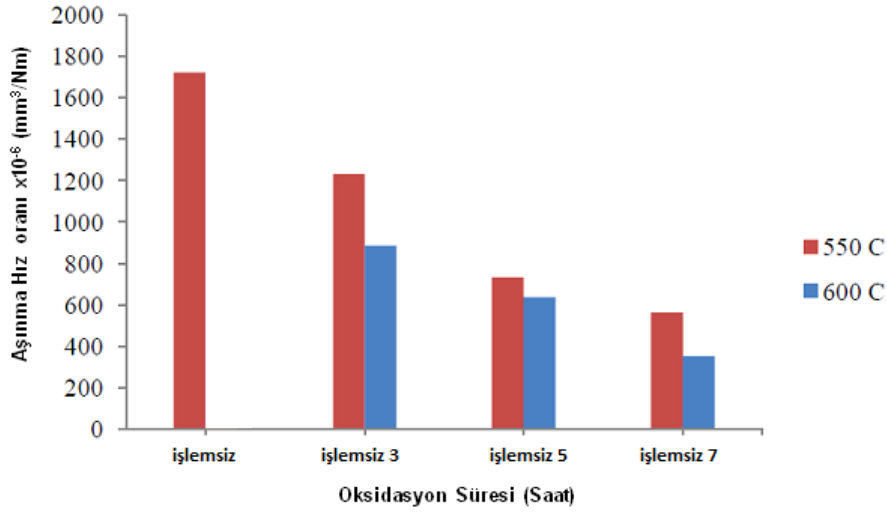
Şekil 4.22 AA 6082 alüminyum alaşımının 600 °C sıcaklıkta oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a) 3 saat, b) 5 saat, c) 7 saat.

Gerek AA 2014 alaşımında yapılan aşınma deneylerinde, gerekse AA 6082 alaşımında yapılan aşınma deneylerinde oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşındırılan numunelerin oksidasyon süresi ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak, aşınma hızında azalma tespit edilmiştir.

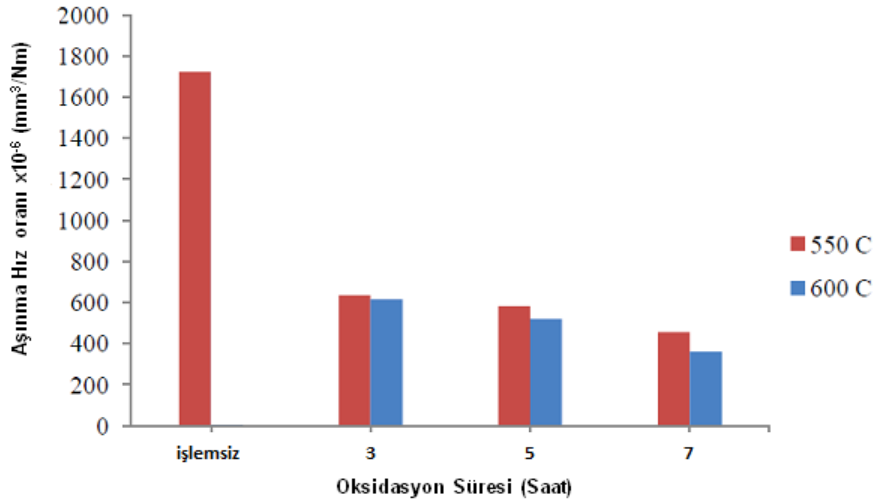
Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma hızları incelendiğinde, elde edilen aşınma hızlarının AA 2014 alaşımı için 550°C'de $454,81 \times 10^{-6}$ ile $1721,41 \times 10^{-6}$

mm³/Nm, 600°C'de edilen aşınma hızlarında ise 352,52x10⁻⁶ ile 1721,41x10⁻⁶ mm³/Nm arasında değişiklik göstermiştir. Oksidasyon süresi ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak, aşınma hızında azalma tespit edilmiştir. Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma dirençlerinde, işlemsiz numunelere göre daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek aşınma hızı işlemsiz numunede en düşük aşınma hızı ise 600°C'de 7 saat yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunede elde edilmiştir.

Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen AA 2014 alüminyumun alaşımına ait aşınma hızı grafikleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmektedir.



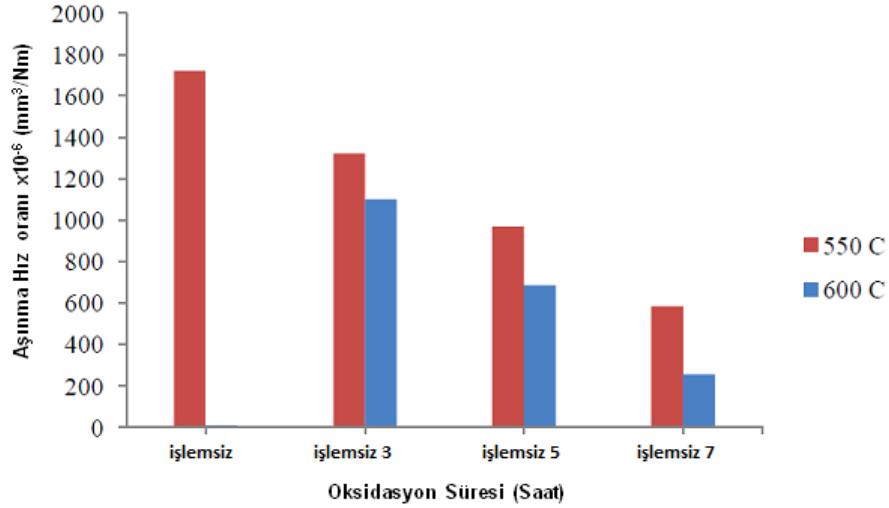
Şekil 4.23 AA 2014 alüminyum alaşımının yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.



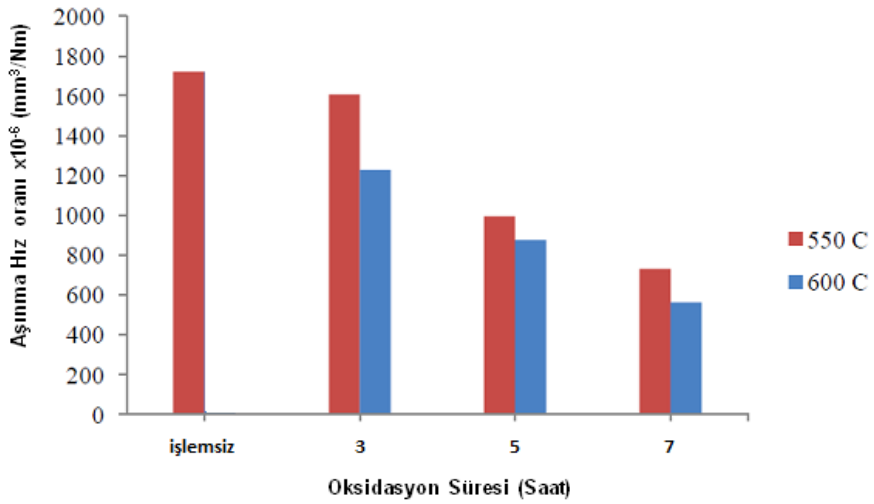
Şekil 4.24 AA 2014 alüminyum alaşımı suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma hızları incelendiğinde, elde edilen aşınma hızlarının AA 6082 alaşımı için 550°C'de $584,79 \times 10^{-6}$ ile $1720,41 \times 10^{-6}$ mm³/Nm, 600°C'de edilen aşınma hızlarında ise $257,22 \times 10^{-6}$ ile $1720,41 \times 10^{-6}$ mm³/Nm arasında değişiklik göstermiştir. Oksidasyon süresi ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak, aşınma hızında azalma tespit edilmiştir. Yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma dirençlerinde, işlemsiz numunelere göre daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek aşınma hızı işlemsiz numunede en düşük aşınma hızı ise 600°C'de 7 saat yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunede elde edilmiştir. Genel olarak AA 6082 alüminyumun alaşımının aşınma hızı AA2014 alüminyumun alaşımının aşınma hızına göre biraz daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlemin aşınma direncini artırması literatür bilgileri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Meyveci 2007, Alipour *et al.* 2012, Vitry *et al.* 2012).

Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen AA 6082 alüminyumun alaşımına ait aşınma hızı grafikleri Şekil 4.25 ve 4.26'da verilmektedir.



Şekil 4.25 AA 6082 alüminyum alaşımının yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.



Şekil 4.26 AA 6082 alüminyum alaşımı suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait aşınma hızı grafiği.

Arslan vd. (2009) AA 2024 alaşımıyla mikro ark oksidasyon işlemiyle yaptıkları çalışmada elektrolit olarak KOH, Na₂HPO₄ ve Na₂SiO₃ sulu çözeltisi kullanmıştır. Oda sıcaklığında, 50°C ve 200°C sıcaklıklarında gerçekleştirilen testler sonucunda aşınma oranları artan sıcaklık ile birlikte azalmıştır. Yani en düşük aşınma oranı 200°C'de elde edildiğini belirtmişlerdir. Panagopoulos vd.(2009) yaptıkları çalışmada sodyum molibden dihidrat çözeltisinin farklı konsantrasyonlarda (0, 0.01, 0.1 ve 0.5 M) ile 0.01 M NaCl çözeltisi içinde 410 paslanmaz çeliği ile AA 6082 alüminyum alaşımının

korozyon ve aşınma direncini karşılaştırmışlar. Ayrıca, 0.01 M NaCl korozif çözelti içindeki sodyum molibden dihidrat konsantrasyonundaki artışın AA 6082 alüminyum alaşımının aşınma direncinde önemli bir iyileşme sağladığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.3- 4.4'te AA 2014 alaşımı için oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma hızları verilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değeri 550°C'de ve 600°C'de 7 saat sürede aşındırılan numunede, en yüksek sürtünme katsayısı değeri ise işlemsiz aşındırılan numunede tespit edilmiştir. İşlemsiz aşındırılan numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,890 iken oksidasyon işlemi sonucunda ortalama sürtünme katsayılarının 550°C'de 0,632 ile 0,498 arasında, 600°C'de ise 0,480 ile 0,170 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 AA 2014 alaşımının 550°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.

Deney Numuneleri	İşlemsiz	İşlemsiz 3 saat	İşlemsiz 5 saat	İşlemsiz 7 saat	İşlem görmüş 3 saat	İşlem görmüş 5 saat	İşlem görmüş 7 saat
Ortalama Sürtünme Katsayısı	0,890	0,632	0,596	0,548	0,541	0,519	0,498
Aşınma Hızı mm ³ /Nm	1721,41	1230,24	732,07	562,02	632,49	579,93	454,81

Çizelge 4.4 AA 2014 alaşımının 600°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.

Deney Numuneleri	İşlemsiz	İşlemsiz 3 saat	İşlemsiz 5 saat	İşlemsiz 7 saat	İşlem görmüş 3 saat	İşlem görmüş 5 saat	İşlem görmüş 7 saat
Ortalama Sürtünme Katsayısı	0,890	0,480	0,351	0,328	0,214	0,193	0,170
Aşınma Hızı mm ³ /Nm	1721,41	885,80	635,96	563,02	1229,22	875,80	352,52

Çizelge 4.5 ve 4.6'da AA 6082 alaşımı için oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma hızları verilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değeri 550°C'de ve 600°C'de 7 saat sürede

aşındırılan numunede, en yüksek sürtünme katsayısı ise işlemsiz olarak aşındırılmış numunede tespit edilmiştir. İşlemsiz numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,890 iken oksidasyon işlemi sonucunda ortalama sürtünme katsayılarının 550°C'de 0,792 ile 0,486 arasında, 600°C'de ise 0,595 ile 0,382 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5 AA 6082 alaşımının 550°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri

Deney Numuneleri	İşlemsiz	İşlemsiz 3 saat	İşlemsiz 5 saat	İşlemsiz 7 saat	İşlem görmüş 3 saat	İşlem görmüş 5 saat	İşlem görmüş 7 saat
Ortalama Sürtünme Katsayısı	0,861	0,792	0,764	0,577	0,827	0,693	0,486
Aşınma Hızı mm ³ /Nm	1720,41	1321,33	968,77	584,79	1607,32	995,03	731,71

Çizelge 4.6 AA 6082 alaşımının 600°C'de işlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri.

Deney Numuneleri	İşlemsiz	İşlemsiz 3 saat	İşlemsiz 5 saat	İşlemsiz 7 saat	İşlem görmüş 3 saat	İşlem görmüş 5 saat	İşlem görmüş 7 saat
Ortalama Sürtünme Katsayısı	0,861	0,595	0,476	0,206	0,674	0,447	0,382
Aşınma Hızı mm ³ /Nm	1720,41	1100,90	686,23	257,22	1229,22	875,80	563,02

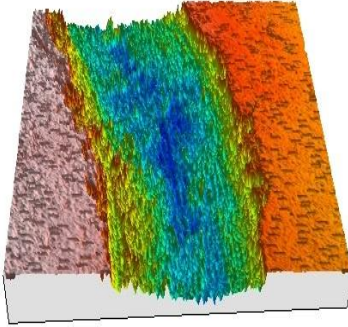
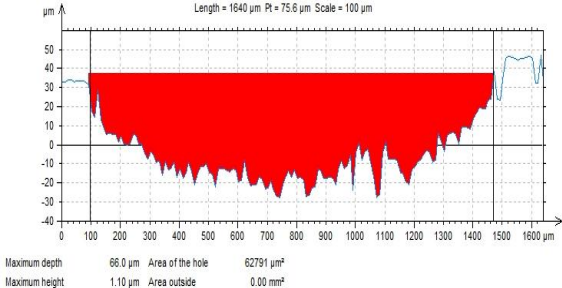
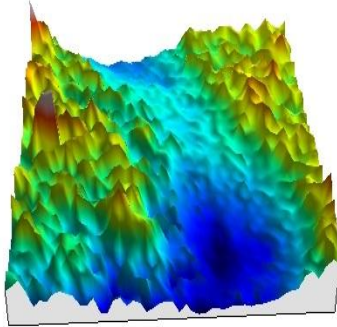
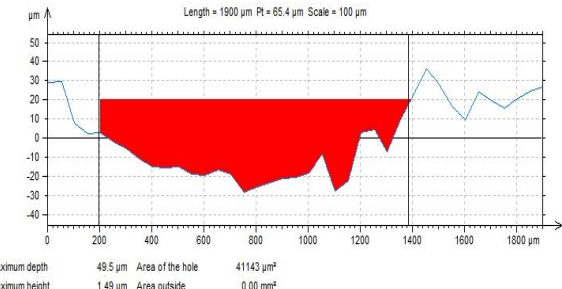
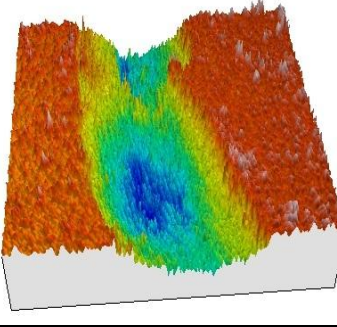
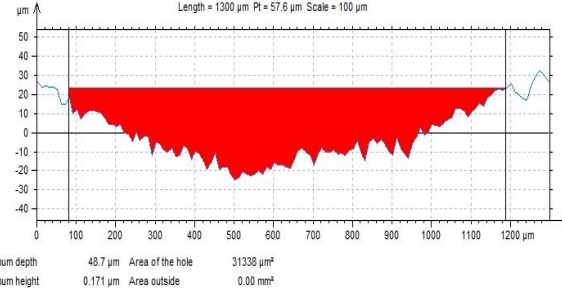
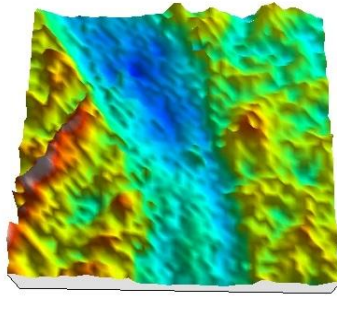
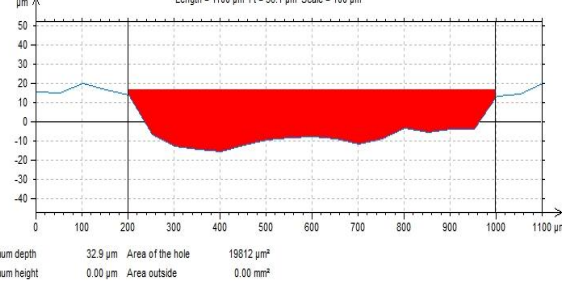
Wu *et al.* (2008) AA 2024 alaşımıyla mikro plazma oksidasyon işlemiyle yaptıkları çalışmada seramik kaplamaların (γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃) sürtünme katsayısı azaltmak amacıyla, sodyum alüminat çözeltilisine farklı konsantrasyonlarda (2-8 g/l) grafit ilave etmişler. Grafit ilavesinin kaplama kalınlığına ve yığılma hızına etkisinin olmadığını ancak sürtünme katsayısını azalttığını ve en iyi sonucun da 4 g / l' lik konsantrasyonda elde edildiğini belirtmişlerdir.

İşlemsiz ve yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma iz derinlikleri incelendiğinde, AA 2014 alaşımının 550°C'de Oksidasyon işlem süresinin artmasıyla aşınma iz derinliklerinde ve alan değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Sürenin artmasına paralel

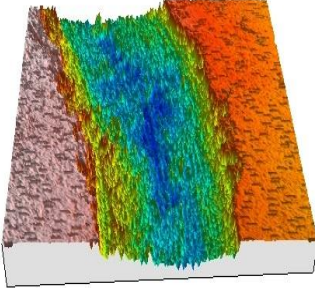
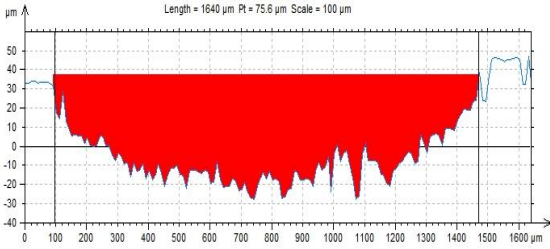
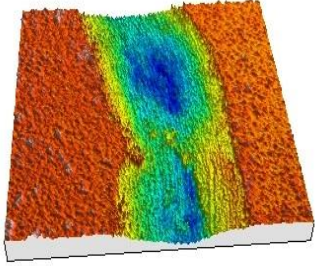
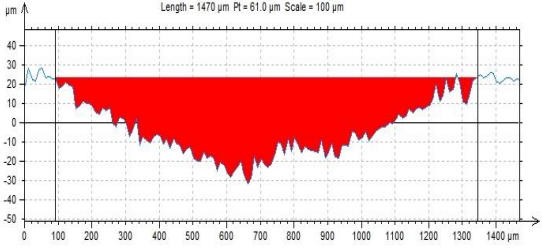
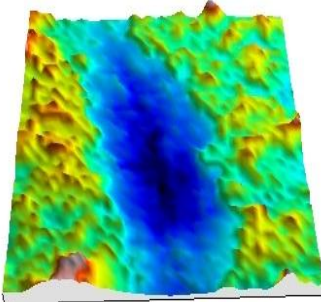
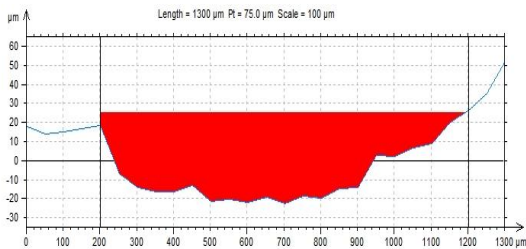
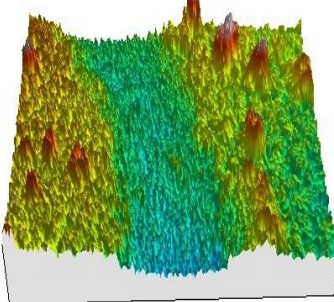
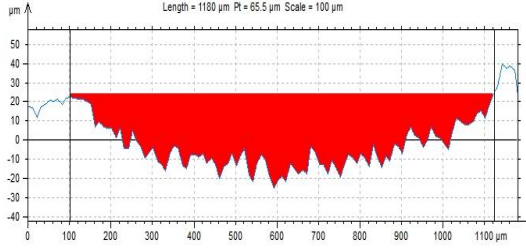
olarak iz derinliklerinde düşüşler meydana geldiği, iz derinliğindeki bu düşüşün sebebinin oksidasyon süresinin artmasıyla malzemenin oksitlenmesi olduğu düşünülmektedir. Bu oksitlenmenin sertliği artırdığı, sertlik artması sonucu iz derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma iz derinliği herhangi bir işlem görmemiş numunede meydana gelmiş, herhangi bir işlem görmemiş numunelerin aşınma deneyleri sonucunda maksimum aşınma derinliği AA 2014 için 66 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.7 ve 4.8'de AA 2014 alaşımına ait üç boyutlu aşınma resmi, aşınma iz profili resmi, aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.7 AA 2014 alaşımının 550°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 2014		 <p>Length = 1640 µm Pt = 75.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>66.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>62791 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.10 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²	Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²							
Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 2014 550 °C 3 Saat		 <p>Length = 1900 µm Pt = 65.4 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>49.5 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>41143 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.49 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	49.5 µm	Area of the hole	41143 µm ²	Maximum height	1.49 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	49.5 µm	Area of the hole	41143 µm ²							
Maximum height	1.49 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 2014 550 °C 5 Saat		 <p>Length = 1300 µm Pt = 57.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>48.7 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>31338 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.171 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	48.7 µm	Area of the hole	31338 µm ²	Maximum height	0.171 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	48.7 µm	Area of the hole	31338 µm ²							
Maximum height	0.171 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 2014 550 °C 7 Saat		 <p>Length = 1100 µm Pt = 36.1 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>32.9 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>19612 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	32.9 µm	Area of the hole	19612 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	32.9 µm	Area of the hole	19612 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							

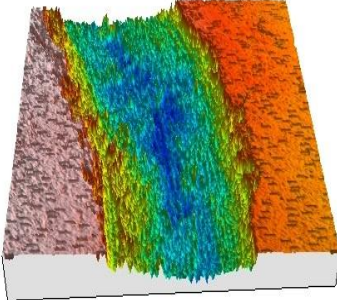
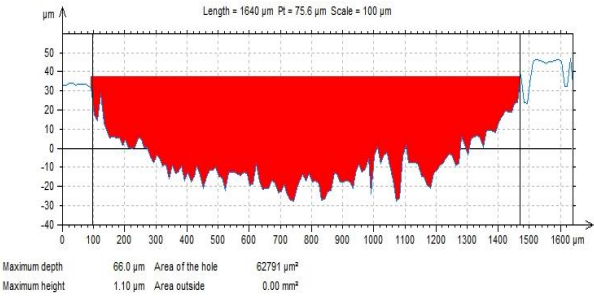
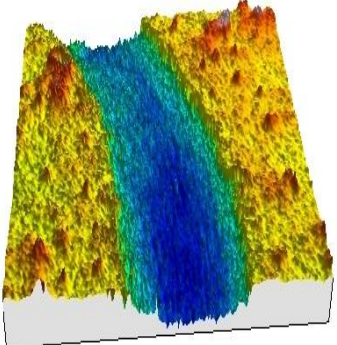
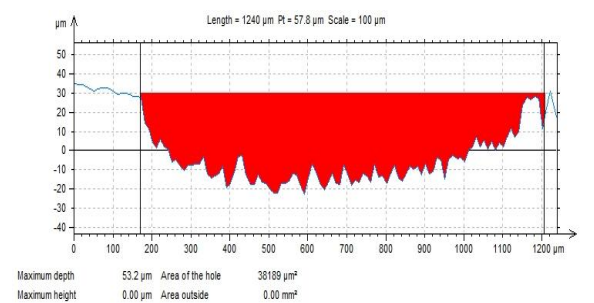
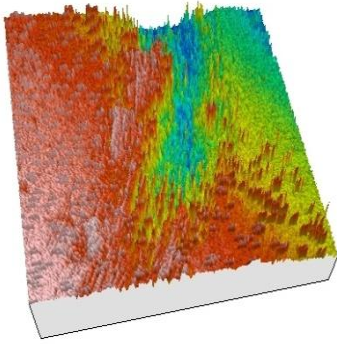
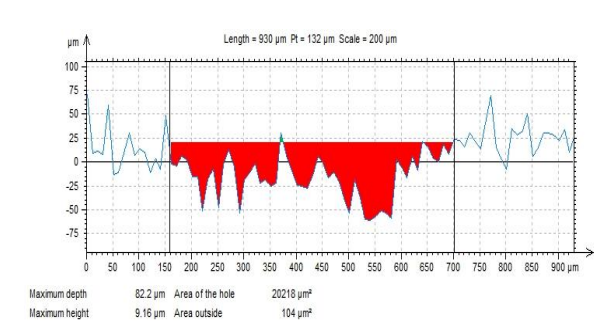
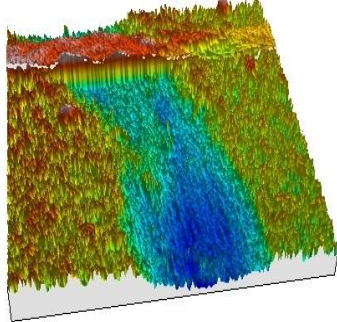
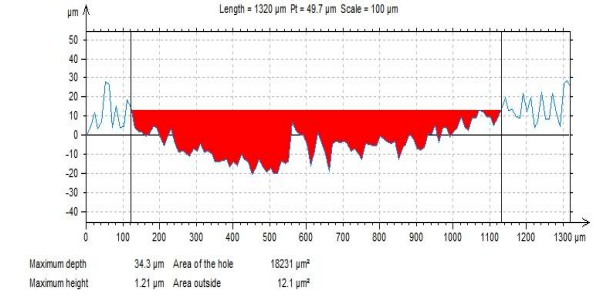
Çizelge 4.8 AA 2014 alaşımının 550°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 2014		 <p>Length = 1640 µm Pt = 75.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>66.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>62791 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.10 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²	Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²							
Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²							
2014 550 °C 3 Saat		 <p>Length = 1470 µm Pt = 61.0 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>56.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>35742 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>2.01 µm</td> <td>Area outside</td> <td>20.1 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	56.0 µm	Area of the hole	35742 µm ²	Maximum height	2.01 µm	Area outside	20.1 µm ²
Maximum depth	56.0 µm	Area of the hole	35742 µm ²							
Maximum height	2.01 µm	Area outside	20.1 µm ²							
2014 550 °C 5 Saat		 <p>Length = 1300 µm Pt = 75.0 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>48.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>34544 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.973 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	48.0 µm	Area of the hole	34544 µm ²	Maximum height	0.973 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	48.0 µm	Area of the hole	34544 µm ²							
Maximum height	0.973 µm	Area outside	0.00 mm ²							
2014 550 °C 7 Saat		 <p>Length = 1180 µm Pt = 65.5 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>49.6 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>29247 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	49.6 µm	Area of the hole	29247 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	49.6 µm	Area of the hole	29247 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							

İşlemsiz ve yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma iz derinlikleri incelendiğinde, AA 2014 alaşımının 600°C'de oksidasyon işlem süresinin artmasıyla aşınma iz derinliklerinde ve alan değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Sürenin artmasına paralel olarak iz derinliklerinde düşüşler meydana geldiği, iz derinliğindeki bu düşüşün sebebinin oksidasyon süresinin artmasıyla malzemenin oksitlenmesidir. Bu oksitlenmenin sertliği artırdığı, sertlik artması sonucu iz derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma iz derinliğinin herhangi bir işlem görmemiş numunede meydana gelmiş, herhangi bir işlem görmemiş numunelerin aşınma deneyleri sonucunda maksimum aşınma derinliği 66 µm olarak ölçülmüştür. Ancak 600°C'de işlemsiz numuneler incelendiğinde ise en yüksek aşınma iz derinliğinin 600 °C 5 saatlik işlemsiz numunede meydana geldiği, maksimum aşınma derinliği ise için 82,2 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.9 ve 4.10'da AA 2014 alaşımına ait üç boyutlu aşınma resmi, aşınma iz profili resmi, aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.9 AA 2014 alaşımının 600°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 2014		 <p>Length = 1640 µm Pt = 75.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>66.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>62791 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.10 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²	Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²							
Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 2014 600 °C 3 Saat		 <p>Length = 1240 µm Pt = 57.8 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>53.2 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>38189 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	53.2 µm	Area of the hole	38189 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	53.2 µm	Area of the hole	38189 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 2014 600 °C 5 Saat		 <p>Length = 930 µm Pt = 132 µm Scale = 200 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>82.2 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>20218 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>9.16 µm</td> <td>Area outside</td> <td>104 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	82.2 µm	Area of the hole	20218 µm ²	Maximum height	9.16 µm	Area outside	104 µm ²
Maximum depth	82.2 µm	Area of the hole	20218 µm ²							
Maximum height	9.16 µm	Area outside	104 µm ²							
işlemsiz 2014 600 °C 7 Saat		 <p>Length = 1320 µm Pt = 49.7 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>34.3 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>18231 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.21 µm</td> <td>Area outside</td> <td>12.1 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	34.3 µm	Area of the hole	18231 µm ²	Maximum height	1.21 µm	Area outside	12.1 µm ²
Maximum depth	34.3 µm	Area of the hole	18231 µm ²							
Maximum height	1.21 µm	Area outside	12.1 µm ²							

Çizelge 4.10 AA 2014 alaşımının 600°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 2014		<p>Length = 1640 µm Pt = 75.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>66.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>62791 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.10 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²	Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	66.0 µm	Area of the hole	62791 µm ²							
Maximum height	1.10 µm	Area outside	0.00 mm ²							
2014 600 °C 3 Saat		<p>Length = 1270 µm Pt = 54.1 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>47.8 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>35547 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>4.37 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	47.8 µm	Area of the hole	35547 µm ²	Maximum height	4.37 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	47.8 µm	Area of the hole	35547 µm ²							
Maximum height	4.37 µm	Area outside	0.00 mm ²							
2014 600 °C 5 Saat		<p>Length = 1800 µm Pt = 59.4 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>38.4 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>32583 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>2.33 µm</td> <td>Area outside</td> <td>117 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	38.4 µm	Area of the hole	32583 µm ²	Maximum height	2.33 µm	Area outside	117 µm ²
Maximum depth	38.4 µm	Area of the hole	32583 µm ²							
Maximum height	2.33 µm	Area outside	117 µm ²							
2014 600 °C 7 Saat		<p>Length = 1270 µm Pt = 69.1 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>49.8 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>25561 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>1.22 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	49.8 µm	Area of the hole	25561 µm ²	Maximum height	1.22 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	49.8 µm	Area of the hole	25561 µm ²							
Maximum height	1.22 µm	Area outside	0.00 mm ²							

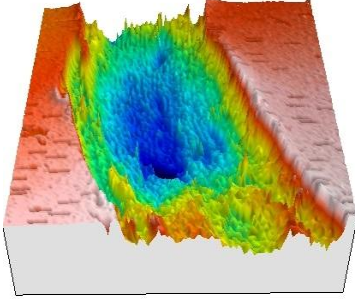
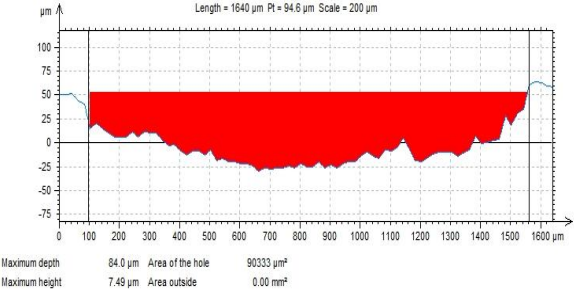
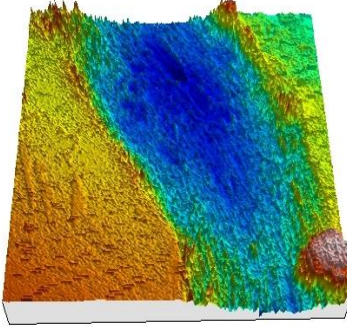
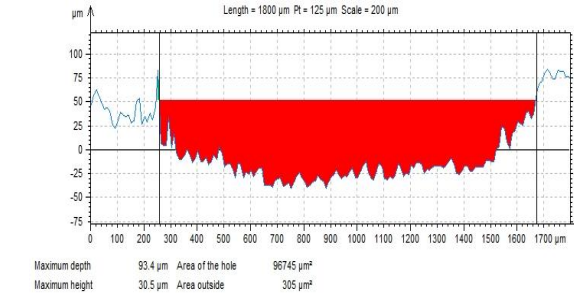
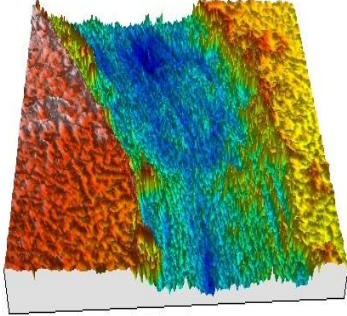
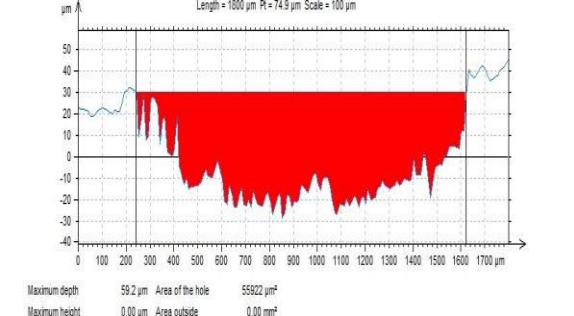
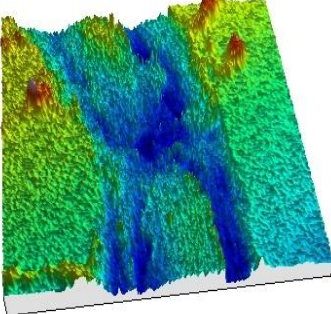
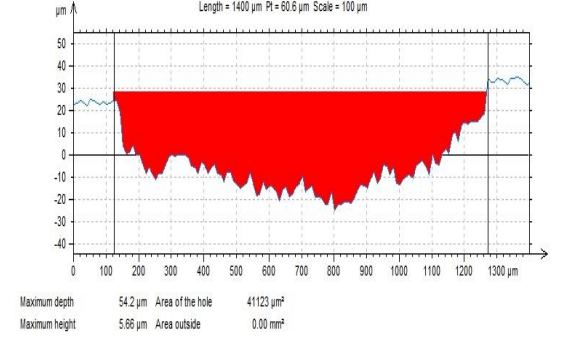
İşlemsiz ve suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma iz derinlikleri incelendiğinde, AA 6082 alaşımının 550°C'de oksidasyon işlem süresinin artmasıyla aşınma iz derinliklerinde ve alan değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Sürenin artmasına paralel olarak iz derinliklerinde düşüşler meydana geldiği, iz derinliğindeki bu düşüşün sebebinin oksidasyon süresinin artmasıyla malzemenin oksitlenmesidir. Bu oksitlenmenin sertliği artırdığı, sertlik artması sonucu iz derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma iz derinliği herhangi bir işlem görmemiş numunede meydana gelmiş, herhangi bir işlem görmemiş numunelerin aşınma deneyleri sonucunda maksimum aşınma derinliği AA 6082 için 84 µm olarak ölçülmüştür. Ancak 550°C'de yaşlandırılarak oksidasyona tabi tutulan numuneler incelendiğinde ise en yüksek aşınma iz derinliğinin 550 °C 3 saatlik numunede meydana geldiği, maksimum aşınma derinliği ise için 93,4 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.11 ve 4.12'de AA 6082 alaşımına ait üç boyutlu aşınma resmi, aşınma iz profili resmi, aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.11 AA 6082 alaşımının 550°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 6082		<p>Length = 1640 µm Pt = 94.6 µm Scale = 200 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>84.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>90333 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>7.49 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²	Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²							
Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 550 °C 3 Saat		<p>Length = 1760 µm Pt = 84.2 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>73.5 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>74260 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	73.5 µm	Area of the hole	74260 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	73.5 µm	Area of the hole	74260 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 550 °C 5 Saat		<p>Length = 1590 µm Pt = 91.4 µm Scale = 200 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>74.1 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>54446 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>9.15 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	74.1 µm	Area of the hole	54446 µm ²	Maximum height	9.15 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	74.1 µm	Area of the hole	54446 µm ²							
Maximum height	9.15 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 550 °C 7 Saat		<p>Length = 1570 µm Pt = 59.8 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>44.7 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>32866 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.893 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	44.7 µm	Area of the hole	32866 µm ²	Maximum height	0.893 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	44.7 µm	Area of the hole	32866 µm ²							
Maximum height	0.893 µm	Area outside	0.00 mm ²							

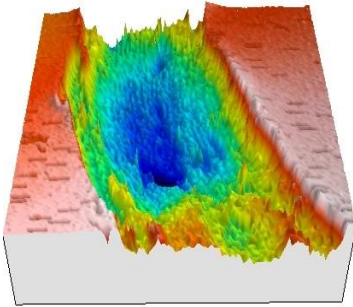

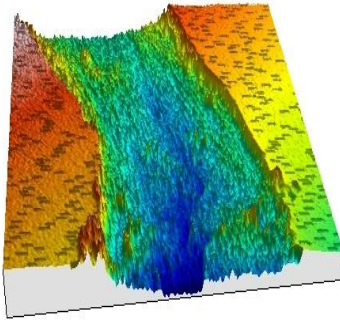

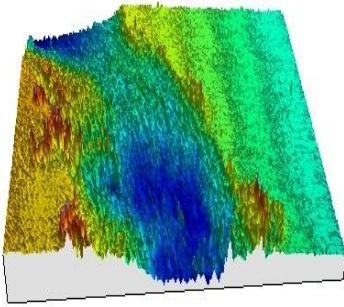
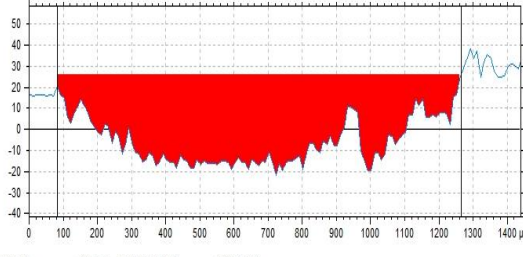
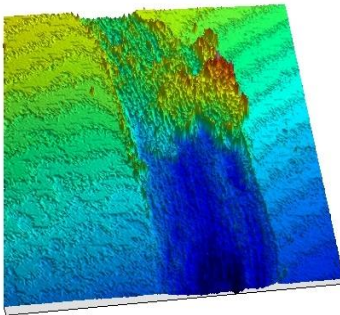
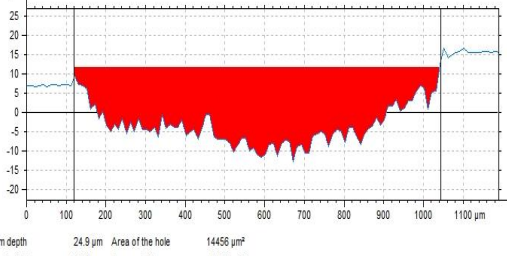
Çizelge 4.12 AA 6082 alaşımının 550°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 6082		 <p>Length = 1640 µm Pt = 94.6 µm Scale = 200 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>84.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>90333 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>7.49 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²	Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²							
Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²							
6082 550 °C 3 Saat		 <p>Length = 1800 µm Pt = 125 µm Scale = 200 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>93.4 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>96745 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>30.5 µm</td> <td>Area outside</td> <td>305 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	93.4 µm	Area of the hole	96745 µm ²	Maximum height	30.5 µm	Area outside	305 µm ²
Maximum depth	93.4 µm	Area of the hole	96745 µm ²							
Maximum height	30.5 µm	Area outside	305 µm ²							
6082 550 °C 5 Saat		 <p>Length = 1800 µm Pt = 74.9 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>59.2 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>55822 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	59.2 µm	Area of the hole	55822 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	59.2 µm	Area of the hole	55822 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							
6082 550 °C 7 Saat		 <p>Length = 1400 µm Pt = 60.6 µm Scale = 100 µm</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>54.2 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>41123 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>5.66 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	54.2 µm	Area of the hole	41123 µm ²	Maximum height	5.66 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	54.2 µm	Area of the hole	41123 µm ²							
Maximum height	5.66 µm	Area outside	0.00 mm ²							

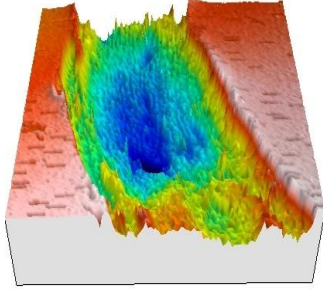
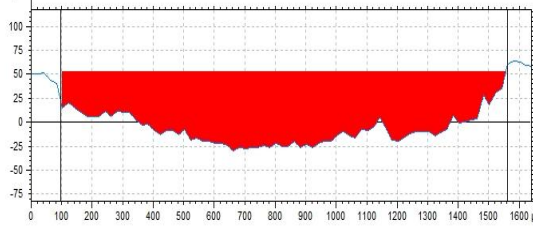
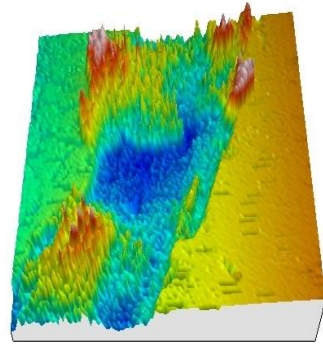
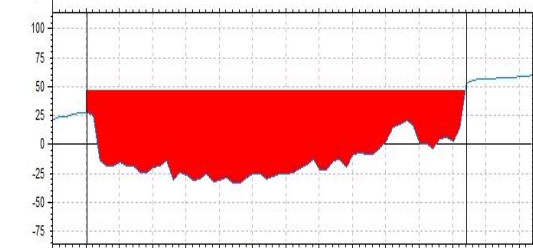
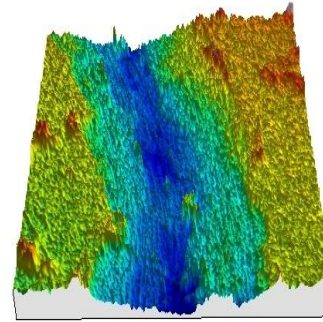

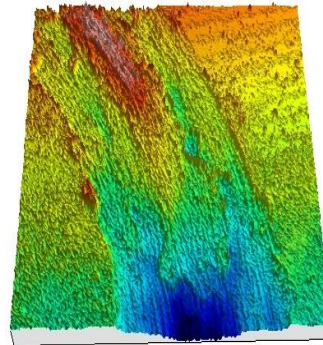

İşlemsiz ve yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma iz derinlikleri incelendiğinde, AA 6082 alaşımının 600°C'de oksidasyon işlem süresinin artmasıyla aşınma iz derinliklerinde ve alan değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Sürenin artmasına paralel olarak iz derinliklerinde düşüşler meydana geldiği, iz derinliğindeki bu düşüşün sebebinin oksidasyon süresinin artmasıyla malzemenin oksitlenmesidir. Bu oksitlenmenin sertliği artırdığı, sertlik artması sonucu iz derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma iz derinliği herhangi bir işlem görmemiş numunede meydana gelmiş, herhangi bir işlem görmemiş numunelerin aşınma deneyleri sonucunda maksimum aşınma derinliği AA 6082 için 84 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.13 ve 4.14'te AA 6082 alaşımına ait üç boyutlu aşınma resmi, aşınma iz profili resmi, aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.13 AA 6082 alaşımının 600°C'de işlemsiz numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 6082		<p>Length = 1640 µm Pt = 94.6 µm Scale = 200 µm</p>  <table border="1" data-bbox="791 748 1347 792"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>84.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>90333 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>7.49 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²	Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²							
Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 600 °C 3 Saat		<p>Length = 1610 µm Pt = 77.9 µm Scale = 100 µm</p>  <table border="1" data-bbox="810 1137 1347 1182"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>66.3 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>61872 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>6.60 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	66.3 µm	Area of the hole	61872 µm ²	Maximum height	6.60 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	66.3 µm	Area of the hole	61872 µm ²							
Maximum height	6.60 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 600 °C 5 Saat		<p>Length = 1440 µm Pt = 60.9 µm Scale = 100 µm</p>  <table border="1" data-bbox="791 1514 1362 1559"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>48.6 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>38567 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.00 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	48.6 µm	Area of the hole	38567 µm ²	Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	48.6 µm	Area of the hole	38567 µm ²							
Maximum height	0.00 µm	Area outside	0.00 mm ²							
işlemsiz 6082 600 °C 7 Saat		<p>Length = 1190 µm Pt = 29.8 µm Scale = 50.0 µm</p>  <table border="1" data-bbox="791 1886 1347 1930"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>24.9 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>14456 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>0.609 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	24.9 µm	Area of the hole	14456 µm ²	Maximum height	0.609 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	24.9 µm	Area of the hole	14456 µm ²							
Maximum height	0.609 µm	Area outside	0.00 mm ²							

Çizelge 4.14 AA 6082 alaşımının 600°C'de suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelere ait üç boyutlu aşınma resmi ve aşınma iz profili resmi.

Deney Numuneleri	Üç Boyutlu Aşınma Resmi	Aşınma İz Profili Resmi								
işlemsiz 6082		<p>Length = 1640 µm Pt = 94.6 µm Scale = 200 µm</p>  <table border="1" data-bbox="766 741 1348 786"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>84.0 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>90333 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>7.49 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²	Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	84.0 µm	Area of the hole	90333 µm ²							
Maximum height	7.49 µm	Area outside	0.00 mm ²							
6082 600 °C 3 Saat		<p>Length = 1440 µm Pt = 93.6 µm Scale = 200 µm</p>  <table border="1" data-bbox="766 1160 1348 1200"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>80.3 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>69141 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>7.01 µm</td> <td>Area outside</td> <td>0.00 mm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	80.3 µm	Area of the hole	69141 µm ²	Maximum height	7.01 µm	Area outside	0.00 mm ²
Maximum depth	80.3 µm	Area of the hole	69141 µm ²							
Maximum height	7.01 µm	Area outside	0.00 mm ²							
6082 600 °C 5 Saat		<p>Length = 1650 µm Pt = 102 µm Scale = 200 µm</p>  <table border="1" data-bbox="766 1518 1348 1581"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>70.7 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>49783 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>9.98 µm</td> <td>Area outside</td> <td>135 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	70.7 µm	Area of the hole	49783 µm ²	Maximum height	9.98 µm	Area outside	135 µm ²
Maximum depth	70.7 µm	Area of the hole	49783 µm ²							
Maximum height	9.98 µm	Area outside	135 µm ²							
6082 600 °C 7 Saat		<p>Length = 1580 µm Pt = 47.1 µm Scale = 100 µm</p>  <table border="1" data-bbox="766 1928 1348 1984"> <tr> <td>Maximum depth</td> <td>40.2 µm</td> <td>Area of the hole</td> <td>31856 µm²</td> </tr> <tr> <td>Maximum height</td> <td>5.02 µm</td> <td>Area outside</td> <td>33.3 µm²</td> </tr> </table>	Maximum depth	40.2 µm	Area of the hole	31856 µm ²	Maximum height	5.02 µm	Area outside	33.3 µm ²
Maximum depth	40.2 µm	Area of the hole	31856 µm ²							
Maximum height	5.02 µm	Area outside	33.3 µm ²							

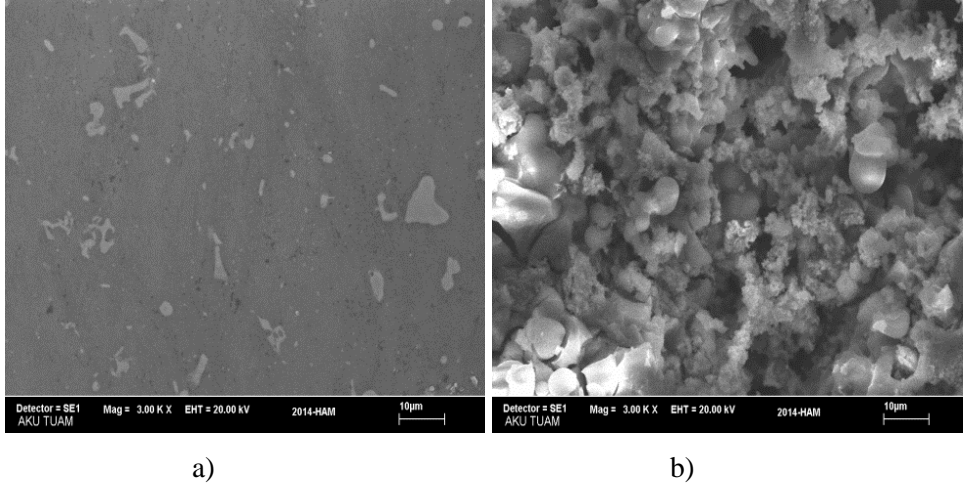
4.5 SEM ve Korozyon Analizleri

Korozyon deneyleri asitlik molaritesi 4M HCl ortamında her numune 10 dk bekletilerek ağırlık kaybı miktarı belirlenip tekrar korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem, her numune için 12 defa tekrarlanarak korozyon direnç analizleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin bir kısmı işlemsiz olarak oksidasyon işlemine tabi tutulmuş, bir kısmı ise 190°C de suni olarak yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Numunelerin yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. İki grup numune (AA 2014 ve AA 6082) üzerinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 4.27 - 4.40'de gösterilmiştir.

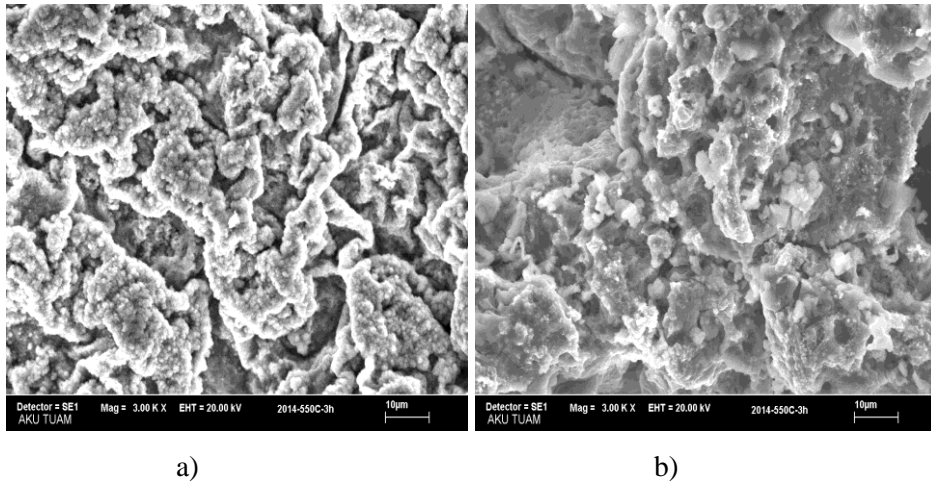
Mikroyapıda ısıl işlem ve oksidasyon sonrası çökeltilerin dağılımı, malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen parametreden biridir. Küçük boyutlu ve homojen dağılımlı partiküllerin malzemenin mekanik özelliklerini arttırdığı, büyük boyutlu ve daha heterojen dağılımlı olan çökeltilerin ise daha düşük mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 4.27 den şekil 4.40'a kadar verilen mikroyapı görüntüleri karşılaştırıldığında, çökelti boyutunun ve dağılımının, malzeme özelliğine olan etkileri ile açıklanabilmektedir. Genel olarak AA 6082 numunelerinin korozyon sonrası görüntüsü incelendiğinde oluşan çukurcukların AA 2014 numunelerine oranla daha küçük boyutlu olduğu görülmektedir.

AA 2014 alaşımında şekiller incelendiğinde işlemsiz numunenin yüzeyinin oldukça homojen olduğu görülmektedir. Buna karşın aynı numunenin korozyon sonrası görüntüsü incelendiğinde ise farklı boyutlara ve farklı çaplara sahip çukurcukların oyukların oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.27).

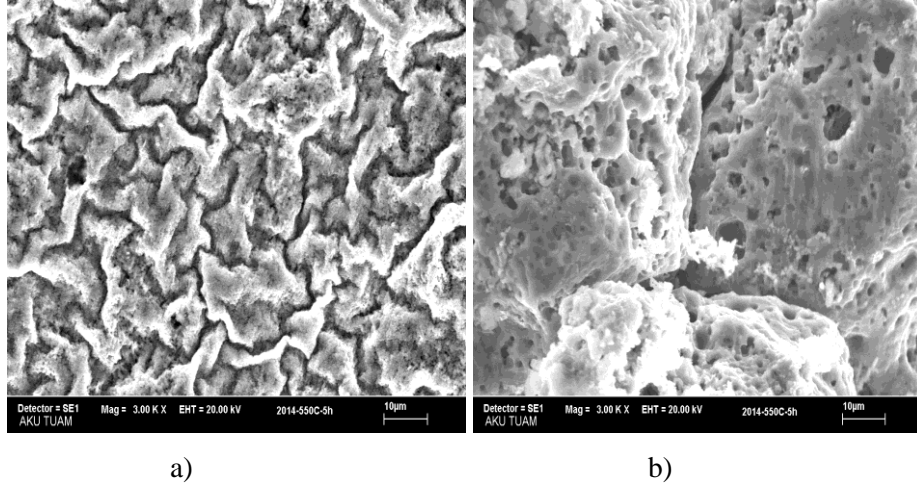


Şekil 4.27 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

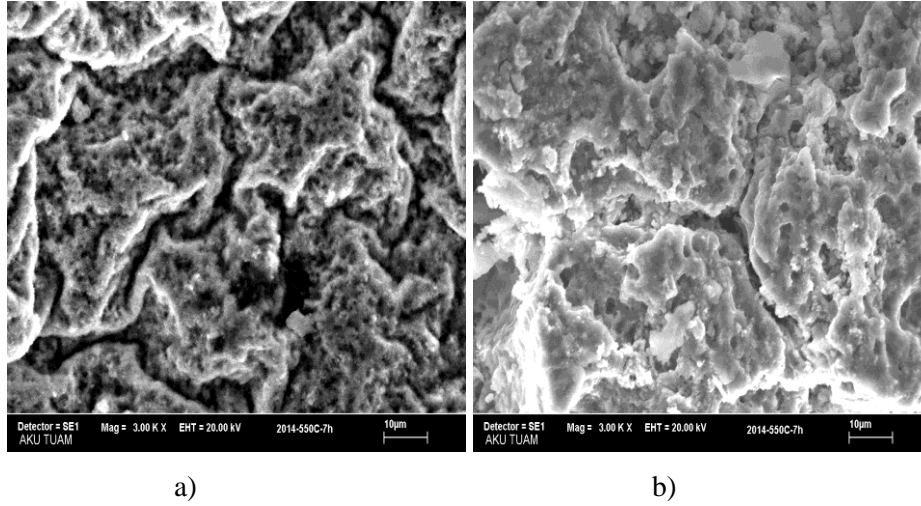
550°C sıcaklıktaki numunelerin korozyon öncesi ve korozyon sonrası numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise korozyon öncesi SEM görüntüleri oksidasyon süresi arttıkça malzemenin iç yapısının pürüzlü yani girintili - çıkıntılı olduğu ve kısmen de camsı kırık yüzey sergilediği görülmektedir. Ayrıca içyapı kaba taneli ve heterojen bir yapı sergilediği görülmektedir. Korozyon sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde ise oksidasyon süresi arttıkça korozyon hızları düşmüştür yani korozyon sonrası numunelerde oluşan çukurcukların boyut ve çaplarının küçüldüğü görülmektedir. Bunun nedeni yüzeyde oluşan farklı yapıların korozyonu azaltıcı bir etki yaptığı söylenebilir (Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30).



Şekil 4.28 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.



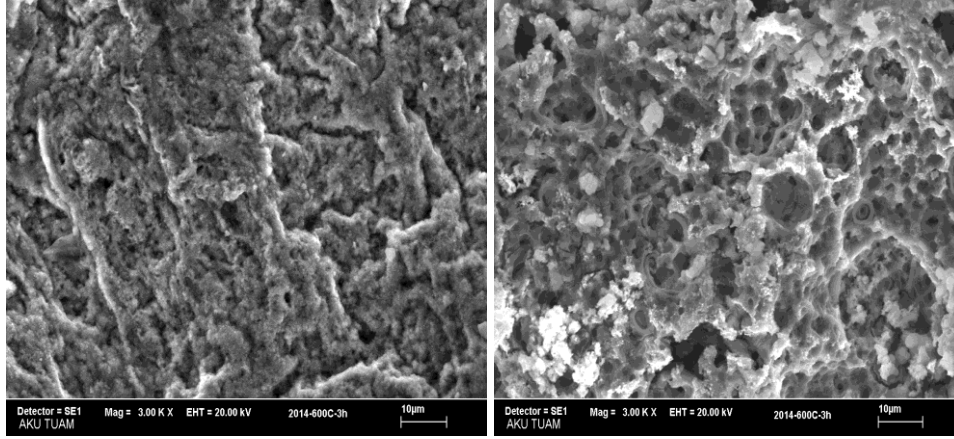
Şekil 4.29 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.



Şekil 4.30 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

AA 2014 alaşımının 600°C sıcaklıktaki numunelerin korozyon öncesi ve korozyon sonrası numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise korozyon öncesi SEM görüntüleri oksidasyon süresi arttıkça malzemenin iç yapısının pürüzlü yani girintili - çıkıntılı olduğu ve camsı kırık yüzey sergilediği görülmektedir. Ayrıca içyapı işlemsiz numuneye göre daha kaba taneli ve heterojen bir yapı sergilediği görülmektedir. Oksidasyon süresi arttıkça içyapı görüntüleri daha pürüzlü heterojen bir görüntüye sahip olmaktadır. Korozyon sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde ise oksidasyon süresi

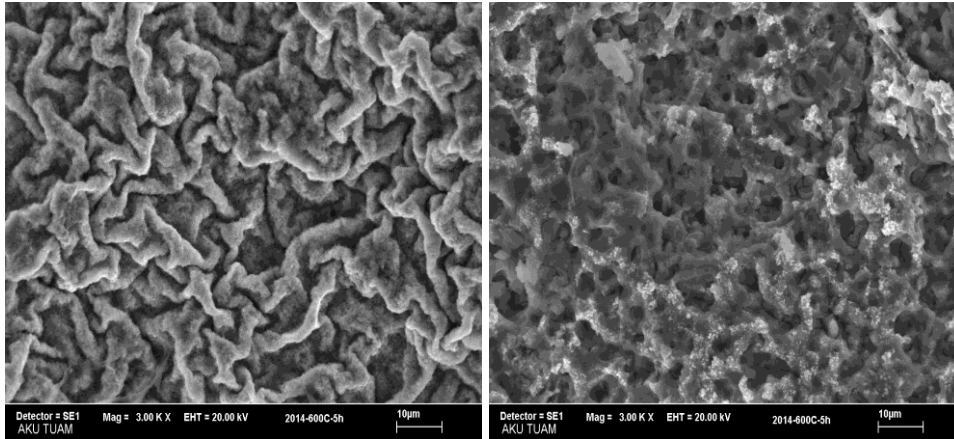
arttıkça korozyon hızları düştüğü oluşan çukurcukların sayısının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.31, Şekil 4.32).



a)

b)

Şekil 4.31 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

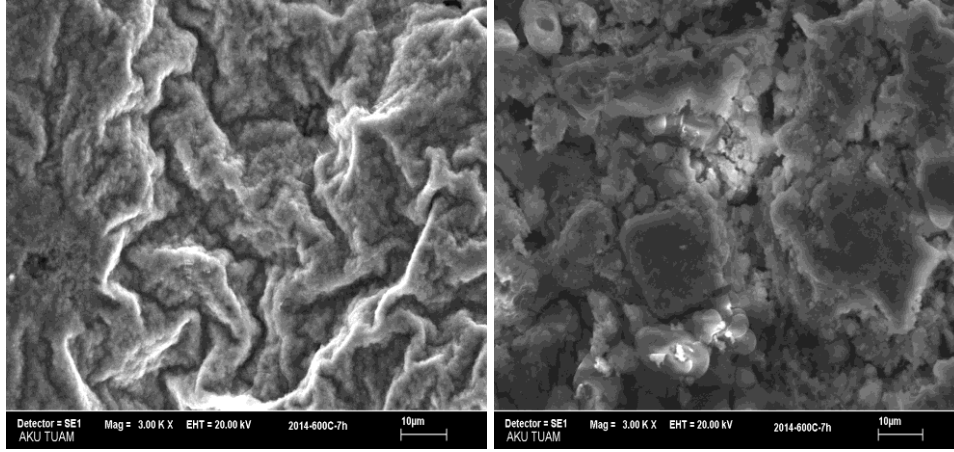


a)

b)

Şekil 4.32 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

600°C 7 saat oksidasyona tabi tutulmuş numunenin içyapısında oluşan çukurcukların ise çok az olduğu, sözü edilen numunede oluşan korozyonun daha çok tane sınırlarında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.33).

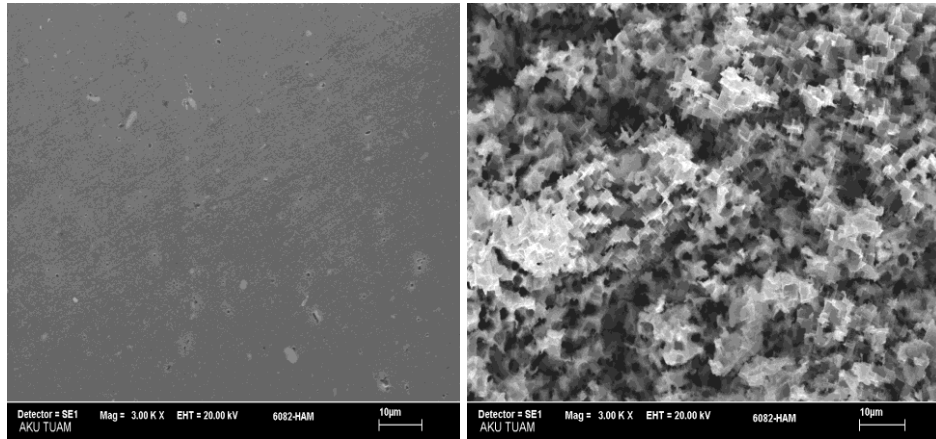


a)

b)

Şekil 4.33 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası

AA 6082 alaşımında şekiller incelendiğinde işlemsiz numunenin yüzeyinin oldukça homojen olduğu görülmektedir. Buna karşın aynı numunenin korozyon sonrası görüntüsü incelendiğinde ise farklı boyutlara ve farklı çaplara sahip çukurcukların, oyukların oluştuğu, oluşan bu çukurcukların oldukça yoğun ve farklı derinlikte olduğu görülmektedir (Şekil 4.34).



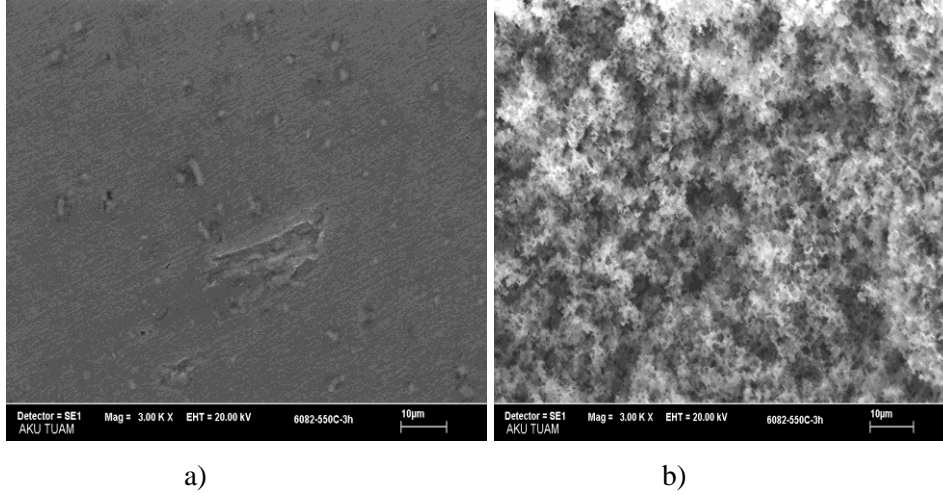
a)

b)

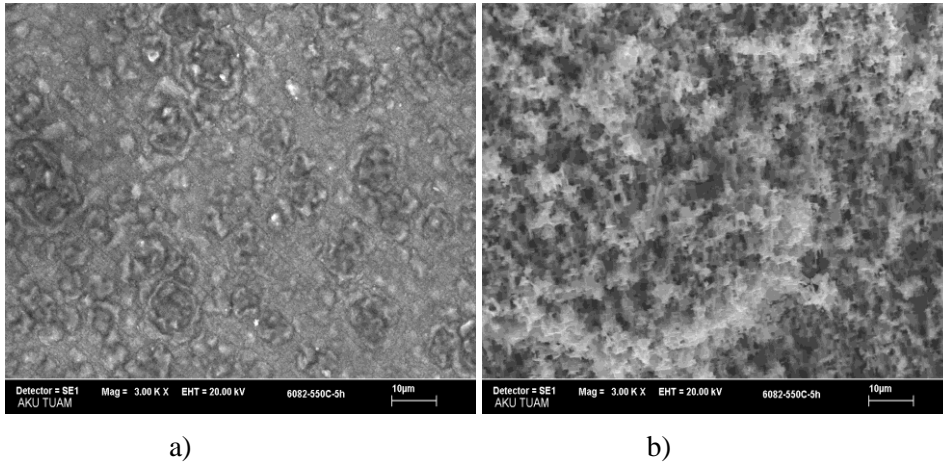
Şekil 4.34 AA 6082 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

AA 6082 alaşımında 550°C sıcaklıktaki numunelerin korozyon öncesi ve korozyon sonrası numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde korozyon öncesi SEM görüntüleri

oksidasyona tabi tutulmuş numunelerin içyapı tanelerinin daha küçük taneli olduğu bu tanelerin içyapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Buna karşın oksidasyon süresi arttıkça malzemenin iç yapı tanelerinin irileşmeye başladığı, oluşan fazların daha belirgin hale geldiği ve heterojen bir içyapı sergilemeye başladığı görülmektedir (Şekil 4.35, Şekil 4.36).



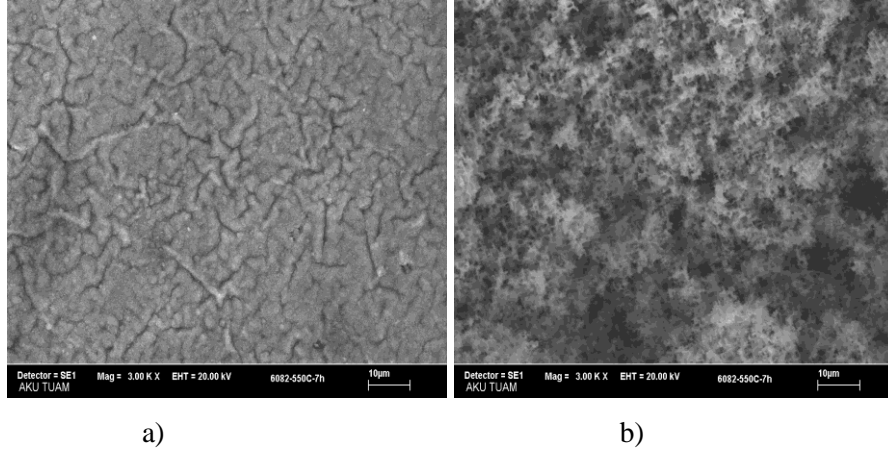
Şekil 4.35 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.



Şekil 4.36 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

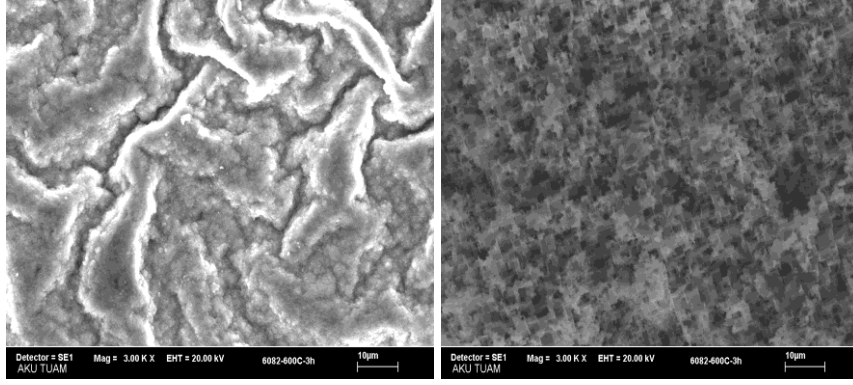
En kaba taneli içyapıya sahip şekil ise Şekil 4.33'te gözlenmiştir. Heterojen dağılımlı olan çökteller, mekanik özellikleri etkilemiştir. Korozyon sonrası numunelerin SEM

görüntüleri incelendiğinde ise oksidasyon süresi arttıkça oluşan çukurcukların sayısının arttığı, ancak çukur boyutu ve derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

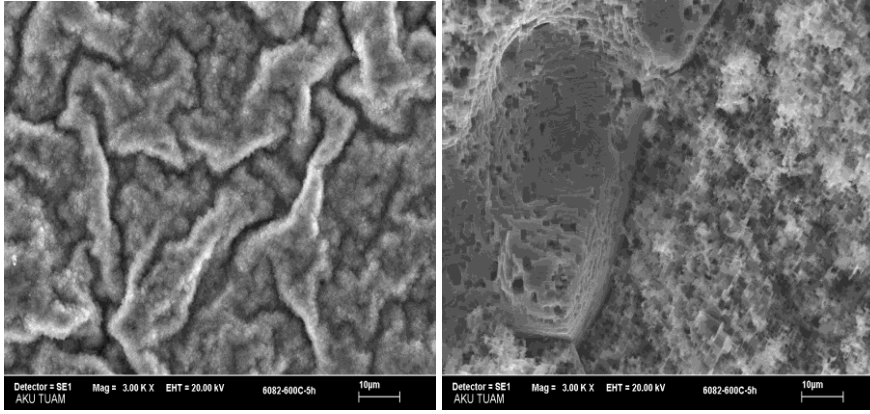
AA 6082 alaşımının 600°C sıcaklıktaki numunelerin korozyon öncesi ve korozyon sonrası numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise korozyon öncesi SEM görüntüleri oksidasyon süresi arttıkça malzemenin iç yapısının pürüzlü yani girintili - çıkıntılı olduğu ve camsı kırık yüzey sergilediği görülmektedir. Ancak 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin iç yapısı 3 ve 5 saatlik numunelere göre daha homojen ve küçük taneli olduğu görülmektedir. Ayrıca içyapı işlemsiz numuneye göre daha kaba taneli ve heterojen bir yapı sergilediği görülmektedir. Korozyon sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde ise oksidasyon süresi arttıkça korozyon hızları düştüğü, oluşan çukurcukların yoğunluğunun arttığı ve oluşan bu çukurcukların boyutlarının da farklı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.38, Şekil 4.39).



a)

b)

Şekil 4.38 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

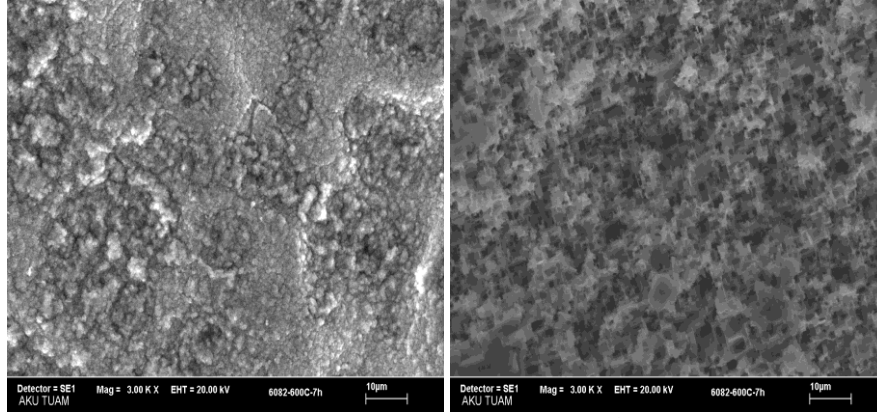


a)

b)

Şekil 4.39 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

600°C oksidasyona tabi tutulmuş numunenin içyapısında oluşan çukurcukların ise çok az olduğu, sözü edilen numunede oluşan korozyonun daha çok tane sınırlarında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.40).

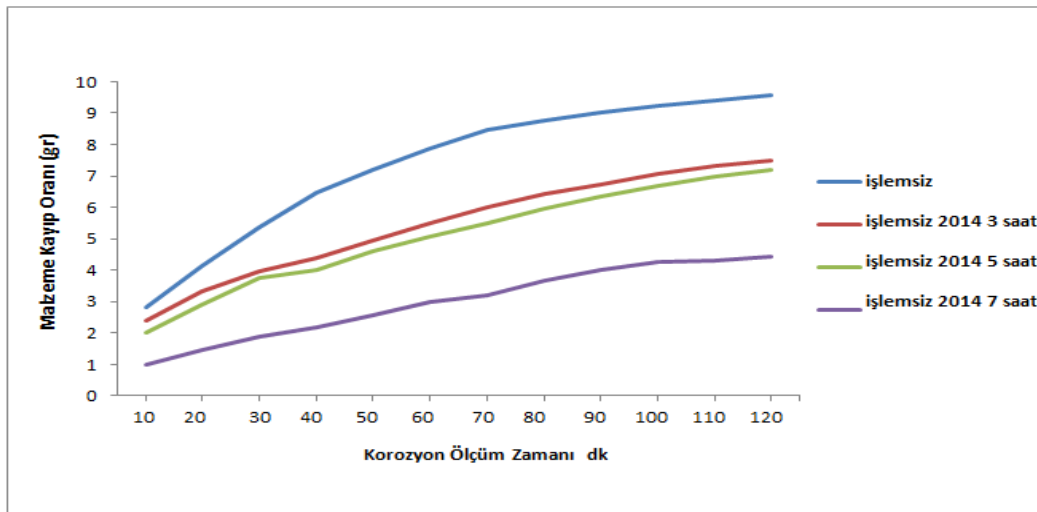


a)

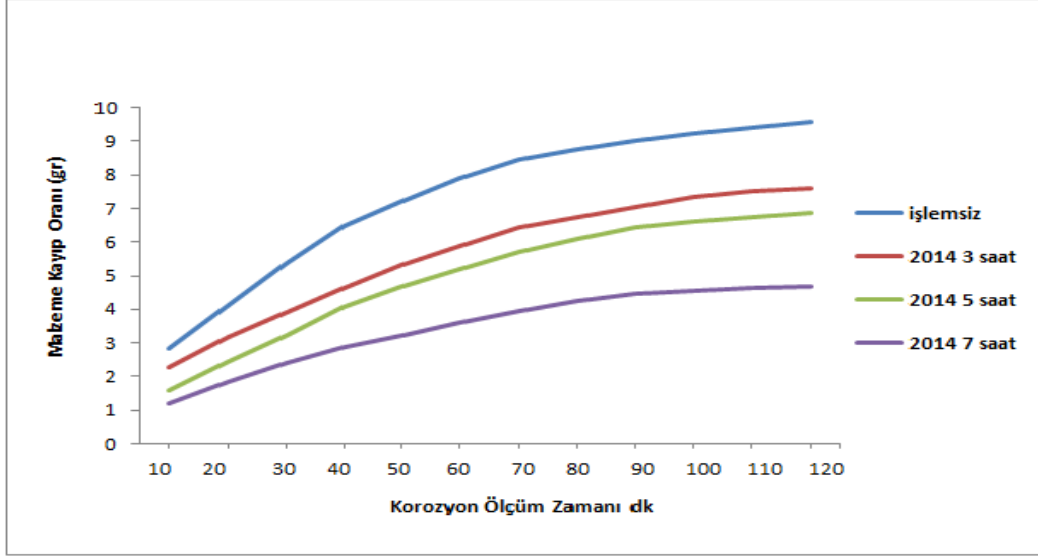
b)

Şekil 4.40 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin SEM görüntüsü 3000x; a) korozyon öncesi, b) korozyon sonrası.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda AA 2014 alaşımı için 550°C'de oksidasyon işlemi sonucunda hem suni yaşlandırılmış numunelerin, hem de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin en düşük korozyon direncine (en çok korozyon kaybına) sahip numune, işlemsiz numune, daha sonra 3 saat, 5 saatlik numunelerde tespit edilmiştir. En iyi korozyon direncine (en az korozyon kaybına) sahip numune ise 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerdir (Şekil 4.41 ve Şekil 4.42). Ayrıca, 3 ve 5 saatlik numuneler arasında korozyon direncinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.41, 4.42). Bu durumun da hem işlemsiz hem de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin benzer korozyon davranışı sergilediklerini göstermektedir.

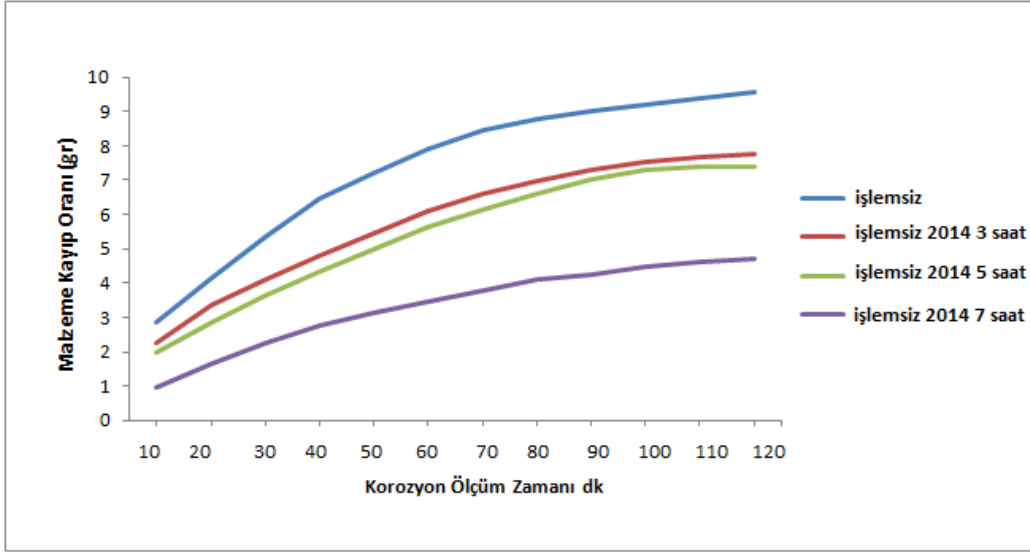


Şekil 4.41 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

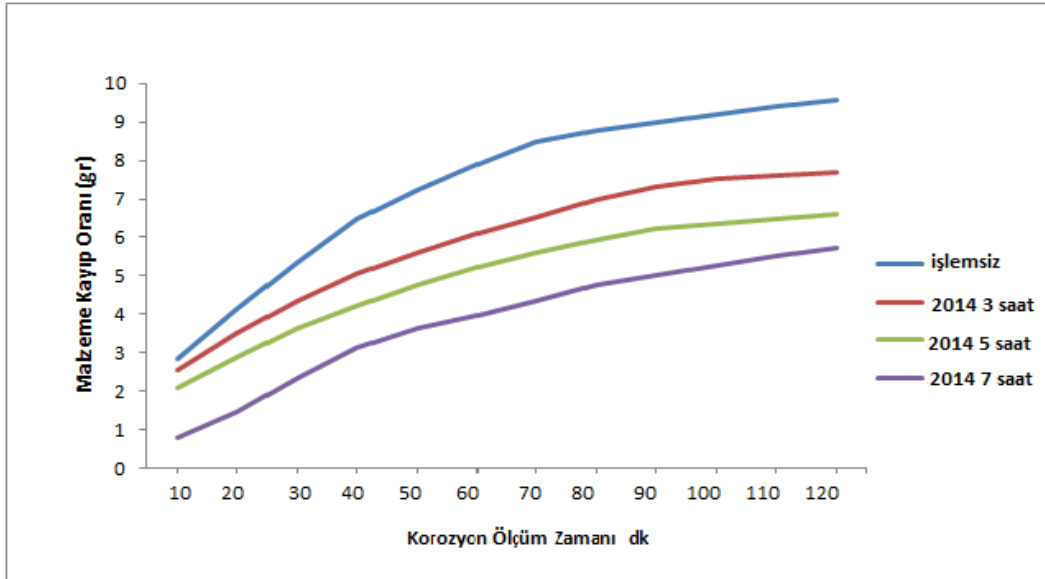


Şekil 4.42 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda AA 2014 alaşımı için 600°C'de oksidasyon işlemi sonucunda hem suni yaşlandırılmış numunelerin, hem de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin en düşük korozyon direncine (en çok korozyon kaybına) sahip numune, işlemsiz numune, daha sonra 3 saat, 5 saatlik numunelerde tespit edilmiştir. En iyi korozyon direncine (en az korozyon kaybına) sahip numune ise 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerdir (Şekil 4.43 ve Şekil 4.44). Ayrıca, 3 ve 5 saatlik işlemsiz numunelerin korozyon direncinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.43).



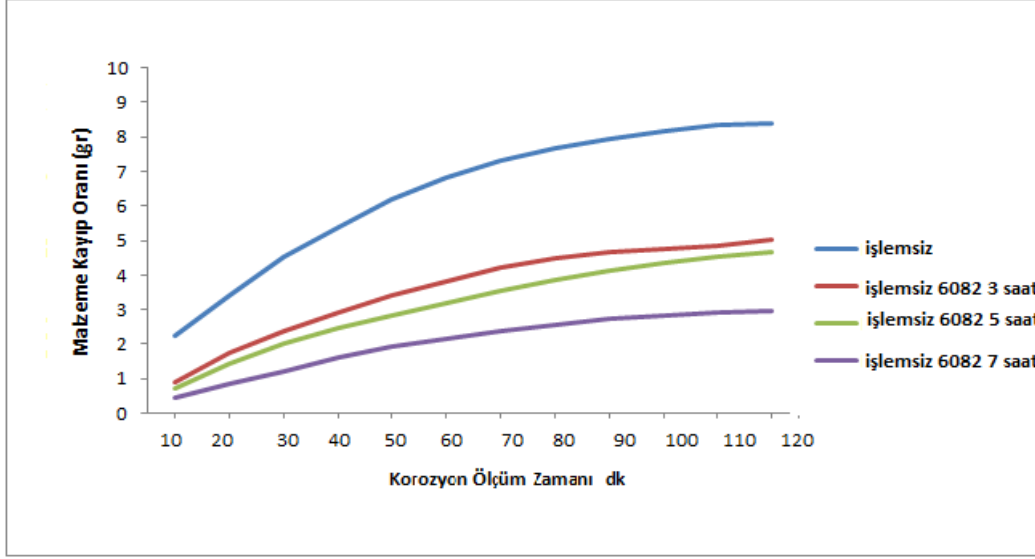
Şekil 4.43 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.



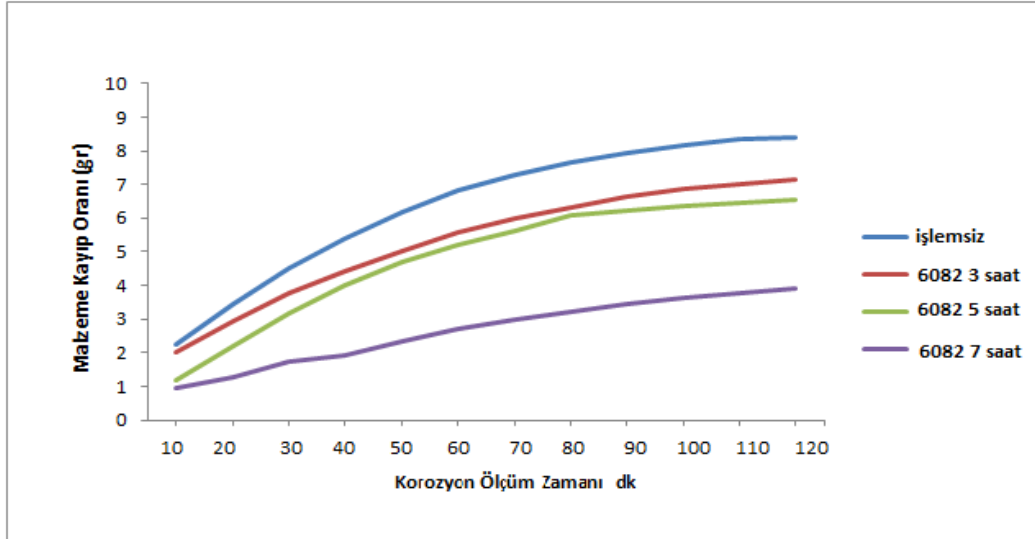
Şekil 4.44 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

AA 6082 alaşımı için 550°C'de oksidasyon işlemi sonucunda hem suni yaşlandırılmış numunelerin, hem de işlemsiz olarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin en düşük korozyon direncine (en çok korozyon kaybına) sahip numune, işlem görmemiş numune, daha sonra 3 saat, 5 saatlik numuneler olarak sıralanmaktadır. En iyi korozyon direncine (en az korozyon kaybına) sahip numune ise 7 saat oksidasyon

işlemine tabi tutulan numunelerdir (Şekil 4.45, Şekil 4.46). Ayrıca, 3 ve 5 saatlik numuneler arasında korozyon direncinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.45, Şekil 4.46). Birbirlerine yakın korozyon kayıplarına sahip olmalarının sebebi numunelerin başlangıç ağırlıklarının farklı olmasındandır.

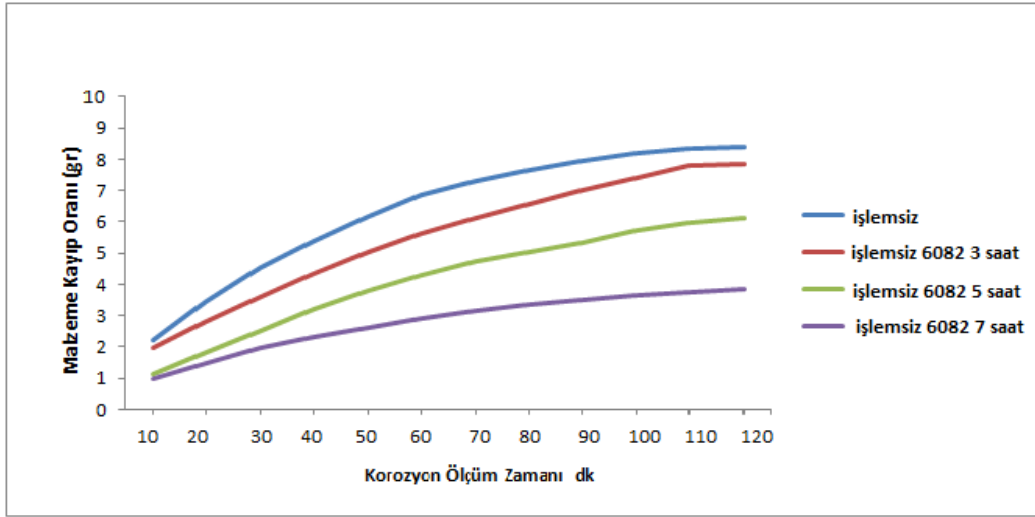


Şekil 4.45 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

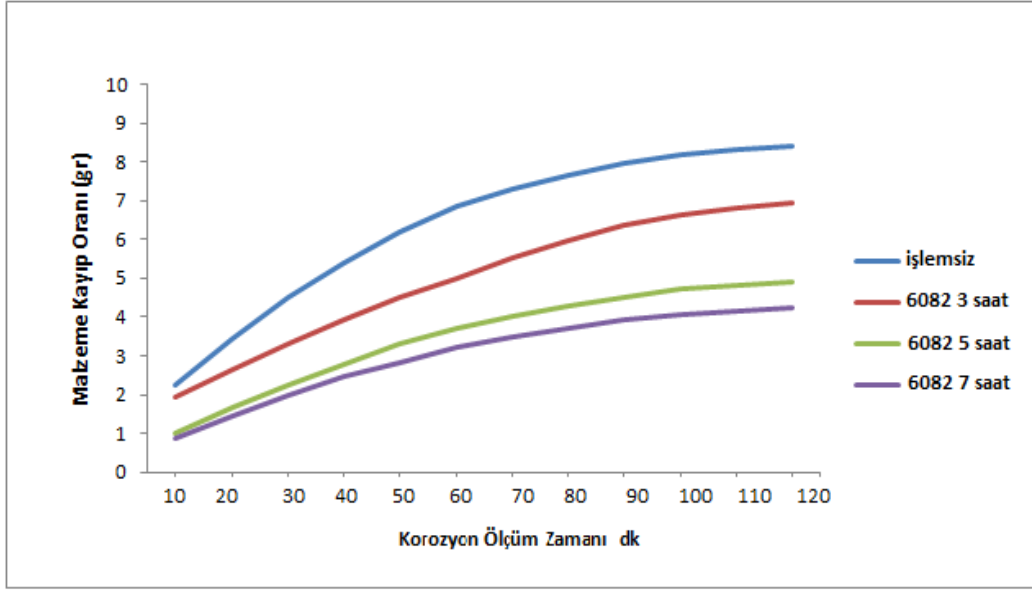


Şekil 4.46 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

AA 6082 alaşımı için 600°C'de oksidasyon işlemi sonucunda hem suni yaşlandırılmış numunelerin, hem de işlemsiz olarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin en düşük korozyon direncine (en çok korozyon kaybına) sahip numune, işlem görmemiş numune, daha sonra 3 saat, 5 saatlik numuneler olarak sıralanmaktadır. En iyi korozyon direncine (en az korozyon kaybına) sahip numune ise 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerdir (Şekil 4.47, Şekil 4.48). Ayrıca, suni yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan 5 ve 7 saatlik numuneler arasında korozyon direncinin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.48). Birbirlerine yakın korozyon kayıplarına sahip olmalarının sebebi numunelerin başlangıç ağırlıklarının farklı olmasındandır.



Şekil 4.47 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılmadan oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.



Şekil 4.48 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C'de yaşlandırılarak oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin korozyon kaybı.

Artan süreye paralel olarak korozyon direncinin artması, bunun sonucunda da malzeme kayıp miktarının azalmasının sebebinin γ -Al₂O₃ ve α -Al₂O₃ fazları olduğu düşünülmektedir.

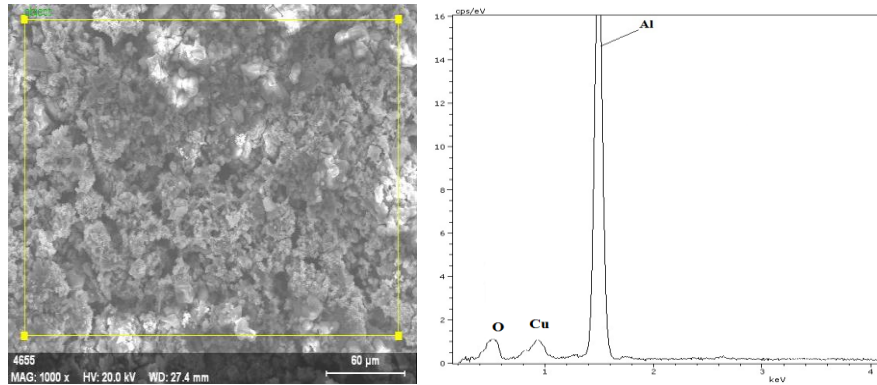
Ayday vd. (2010) göre yaptığı çalışmada 6060 Al numunelere %10 NaOH ortamında 75, 105, 135 dk. süresince 21 A/dm² doğru akım kullanılarak mikro ark oksidasyon (MAO) prosesi uygulanmıştır. İşlem sonrasında farklı voltaj süresinin, yüzeyin çeşitli morfolojik özelliklerine ve korozyon direncine etkisi incelenmiştir. en iyi korozyon direncinin 135 dk 7,5 g/l Na₂SiO₃ - 2,5 g/l KOH - 2 g/l KF çözeltisi içerisindeki numune gösterdiğini belirtmişlerdir.

Mishra and Balasubramaniam (2007) yaptığı çalışmada ise % 3.5 NaCl çözeltisine AA 2014 numuneleri 4 ve 168 saat boyunca daldırılmış daha sonra konsantrasyonları (250, 500, 750 ve 1000 ppm) LaCl₃ ve CeCl₃ inhibitörleri ilave edildikten sonra, genel dirençlerinde önemli bir artış olduğunu korozyon direnci, genel olarak artan inhibitör ilavesi ile arttığını belirtmişler. Isıl işlemin korozyon direncini artırması literatür bilgileri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Meyveci 2007, Alipour et al. 2012, Vitry et al. 2012).

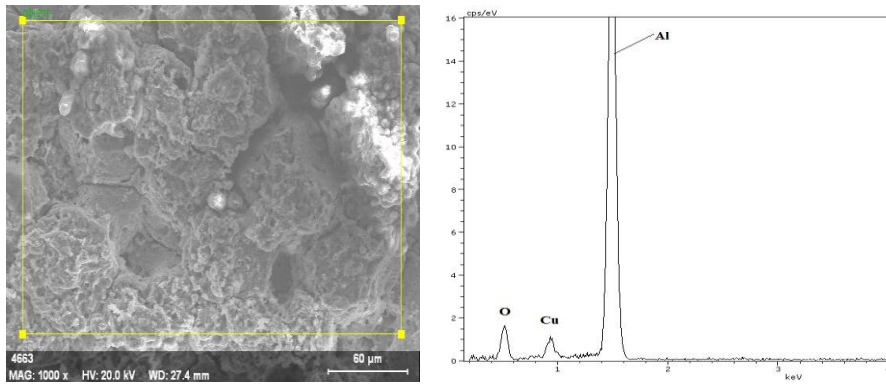
4.6 EDS Analizleri

Şekil 4.49’da işlemsiz AA 2014 alüminyum alaşımının korozyon sonrası ve şekil 4.56’da işlemsiz AA 6082 alüminyumun alaşımının korozyon sonrası SEM görüntülerinin yüzey EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca AA 2014 AA 6082 alüminyumun alaşımlarının yaşlandırılarak 550°C’de 3, 5, ve 7 saat ve 600°C’de 3, 5 ve 7 saat yapılan oksidasyon işlemi sonunda malzemenin yapısında oluşan değişimleri belirlemek amacıyla korozyon sonrası SEM görüntülerinden EDS analizleri yapılmıştır.

Şekil 4.49’da işlemsiz AA 2014 alüminyumun alaşımının yapısında farklı miktarlarda Al, O ve Cu elementleri tespit edilmiş olup diğer numunelerle karşılaştırıldığında oksijence daha fakir olduğu görülmektedir. Yaşlandırılarak 550°C’de 3 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde ise Al, O ve Cu elementleri tespit edilmiştir (Şekil 4.50).

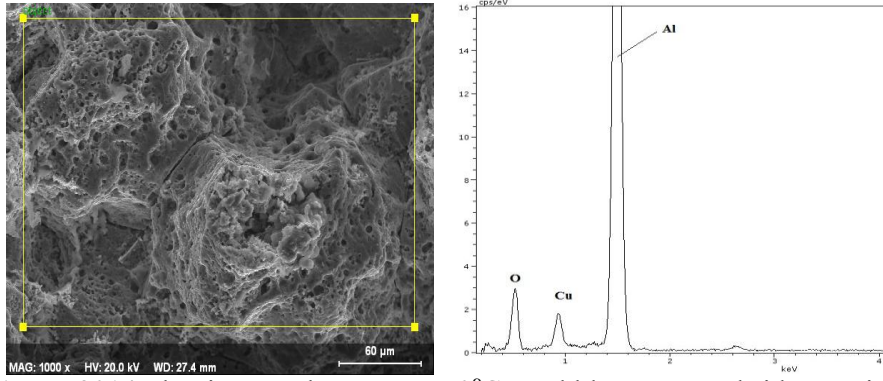


Şekil 4.49 AA 2014 alüminyum alaşımının işlemsiz numunenin EDS analizi.



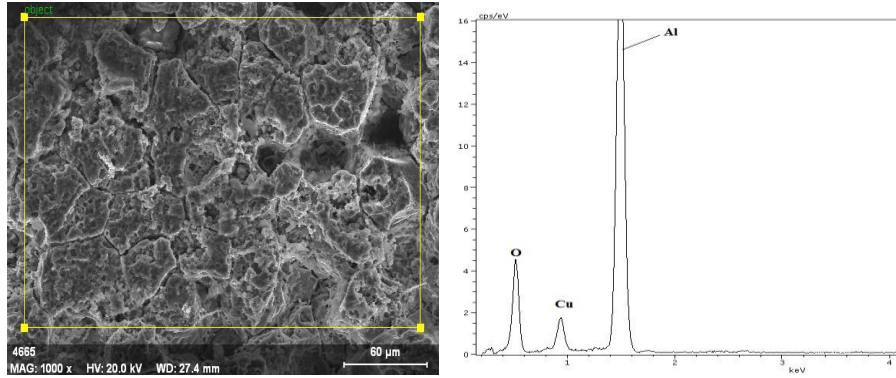
Şekil 4.50 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

Yaşlandırılarak 550°C'de 5 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde O ve Cu elementleri tespit edilmiştir ancak, O ve Cu % miktarında 3 saatlik numuneye göre artma meydana gelmiştir (Şekil 4.51).



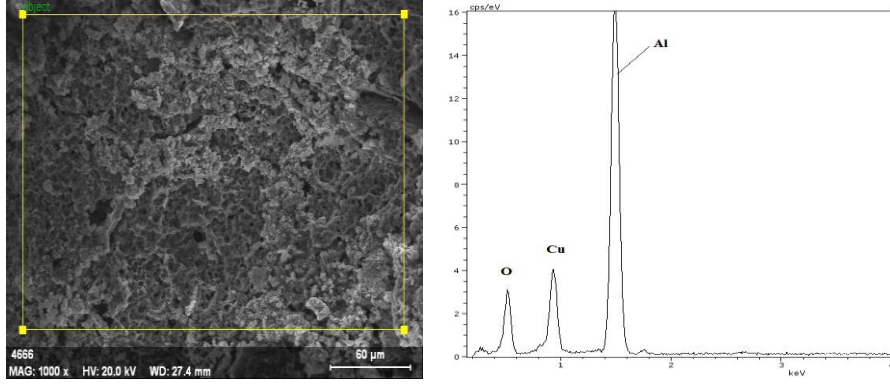
Şekil 4.51 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

Yaşlandırılarak 550 °C'de 7 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde, ise Al, O ve Cu elementleri tespit edilmiştir ve 3 ile 5 saatlik numuneye göre O % sinde artma, Cu miktarında bariz bir azalma olduğu görülmektedir (Şekil 4.52). AA 2014 alüminyumun alaşımının EDS analizleri aşağıda verilmiştir.



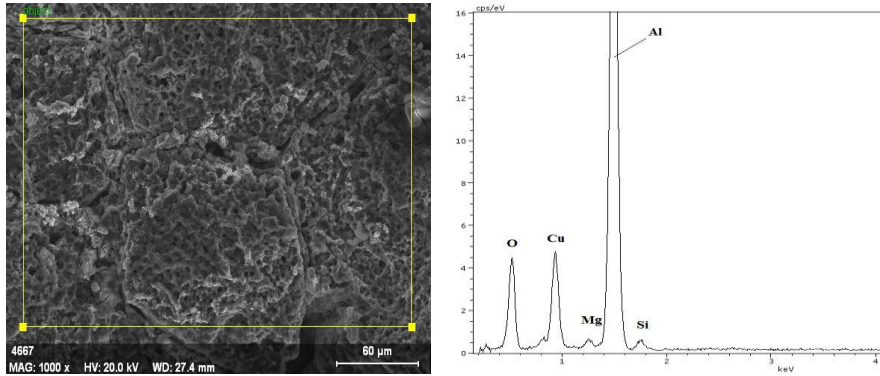
Şekil 4.52 AA 2014 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

AA 2014 alüminyumun alaşımının Yaşlandırılarak 600°C'de 3 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde Al, O ve Cu elementlerinin yanında düşük miktarlarda da Mg ve Si tespit edilmiştir (Şekil 4.53).



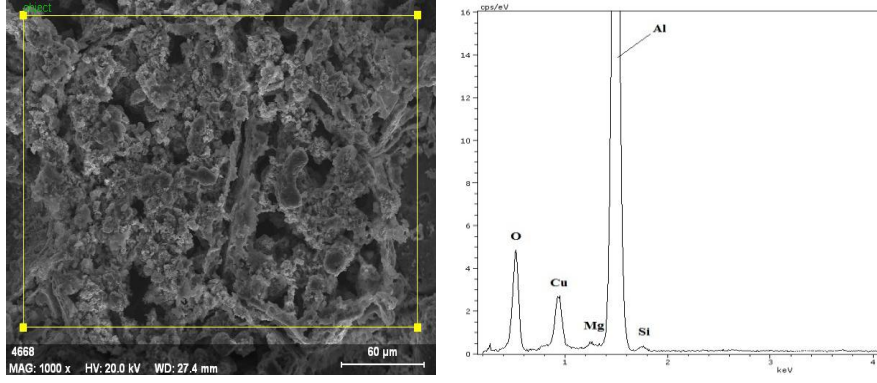
Şekil 4.53 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

Yaşlandırılarak 5 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde ise O ve Cu elementlerinin yanında düşük miktarlarda da Mg ve Si tespit edilmiştir (Şekil 4.54).



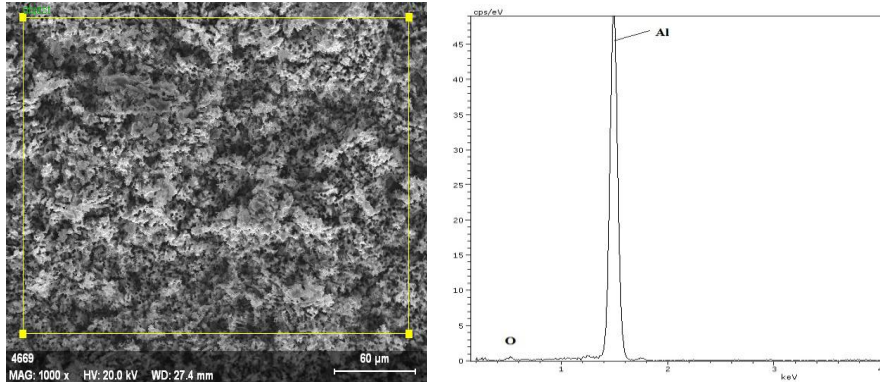
Şekil 4.54 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

Fakat 3 saatlik numuneye göre oksijen elementinde bir miktar artma olduğu görülmektedir. Yaşlandırılarak 600°C'de 7 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde Al, O ve Cu elementleri tespit edilmiş ve O miktarında en fazla artış görülen numunedir (Şekil 4.55).

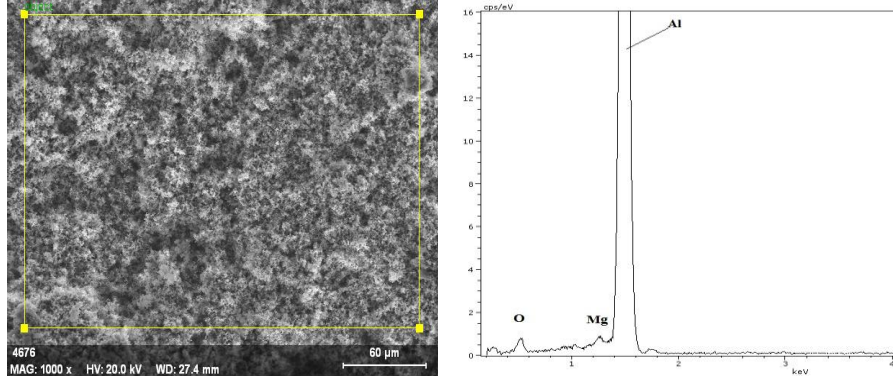


Şekil 4.55 AA 2014 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

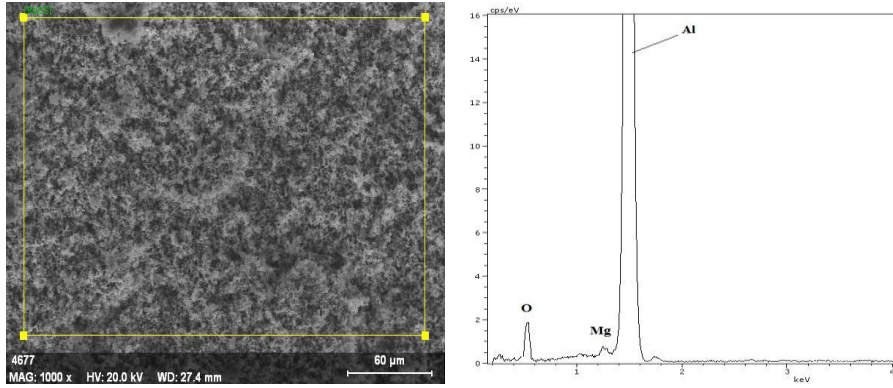
Şekil 4.56’da işlemsiz AA 6082 alüminyumun alaşımının EDS görüntüsünde Al ve düşük miktarda O elementi tespit edilmiştir. Yaşlandırılarak 550°C’de 3, 5 ve 7 saat oksitlenen numunelerin EDS görüntülerinde ise Al, O ve Mg elementleri tespit edilmiştir (Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59).



Şekil 4.56 AA 6082 alüminyum alaşımının İşlemsiz numunenin EDS analizi.

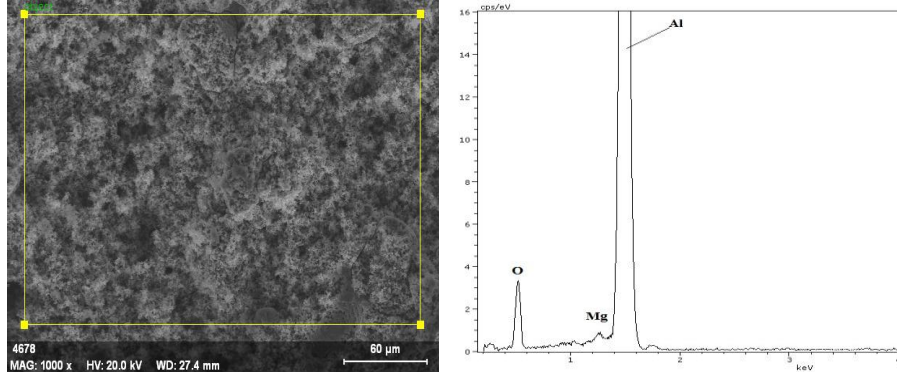


Şekil 4.57 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.



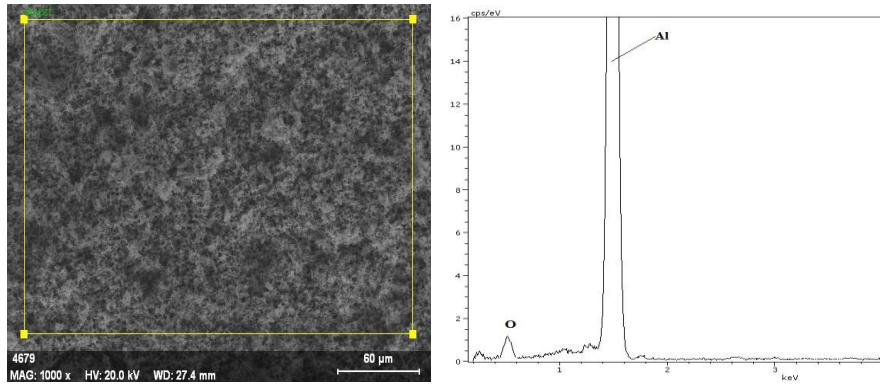
Şekil 4.58 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

İşlemsiz numuneye karşılaştırıldığında ise oksidasyon süresinin artmasına paralel olarak oksijen elementinin miktarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu üç numune arasında oksijen miktarının en fazla arttığı numune ise 7 saat oksitlenen numune olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.59).



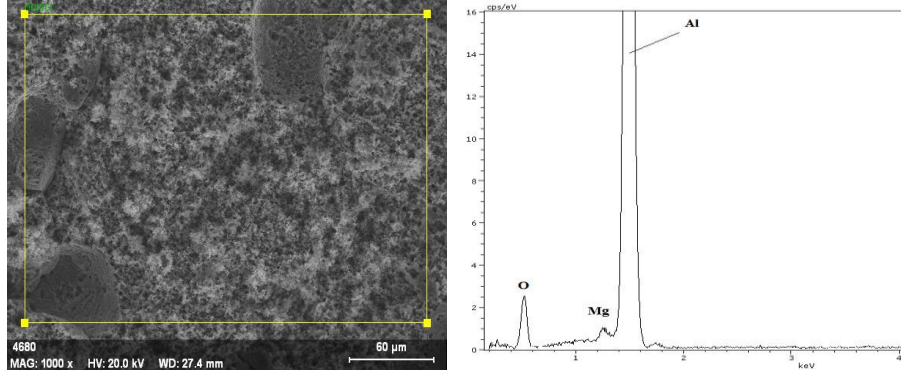
Şekil 4.59 AA 6082 alüminyum alaşımının 550°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

AA 6082 alüminyumun alaşımının Yaşlandırılarak 600°C’de 3 saat oksitlenen numunenin EDS görüntüsünde Al ve O elementleri tespit edilmiştir (Şekil 4.60).

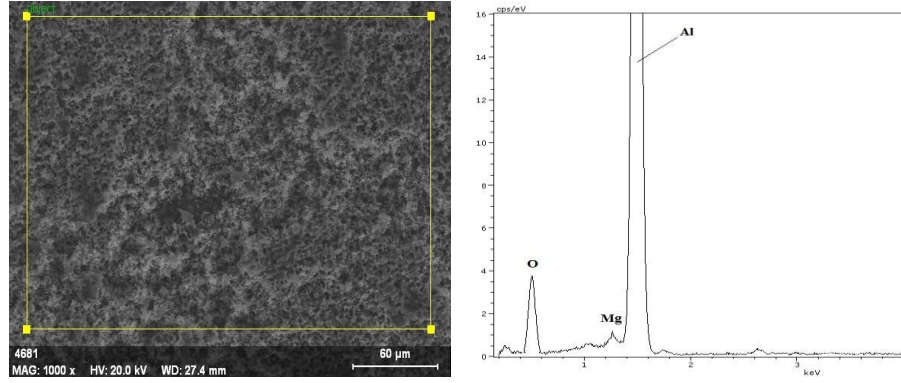


Şekil 4.60 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 3 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

5 ve 7 saat oksitlenen numunelerin EDS görüntülerinde ise Al, O ve Mg elementleri tespit edilmiştir. Söz konusu üç numune arasında O miktarı en düşük numune 3 saat oksitlenen numune iken en fazla oksijen miktarına sahip numune ise 7 saat oksitlenen numunedir (Şekil 4.62).



Şekil 4.61 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.



Şekil 4.62 AA 6082 alüminyum alaşımının 600°C sıcaklıkta, 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin EDS analizi.

5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda AA 2014 ve AA 6082 alüminyumun alaşımları için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Oksidasyon işlemi sonrasındaki optik mikroskop incelemelerinde AA 2014 alüminyum alaşımında de AA 6082 alüminyum alaşımının hiçbir numunesinde belirli bir kalınlıkta oksit tabakası tespit edilememiştir.

AA 2014 alüminyum alaşımında, oksidasyon işlem sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak iç yapı tanelerinin belirginleştiği ve büyüdüğü tespit edilmiştir. Fakat AA 6082 alüminyum alaşımının iç yapısını oluşturan tanelerin varlığı görüntülenememiştir.

Oksidasyon işlemi ile yüzey sertliğinde çok az artış sağlandığı gözlenmiştir. İşlemsiz numunelerin sertliği AA 2014 alaşımı için 109,8 HV_{0,05} iken oksidasyon işlemi sonucunda yüzey sertliği oksidasyon işleminin sıcaklık ve süresine bağlı olarak 114,1 HV_{0,05} ile 131,1 HV_{0,05} arasında değiştiği, sertlik artışının da varlığı XRD analizinde tespit edilen α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ fazlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AA 6082 alaşımı için ise işlemsiz numunelerin sertliği 94,6 HV_{0,05} iken oksidasyon işlemi sonucunda yüzey sertliği oksidasyon işleminin sıcaklık ve süresine bağlı olarak 98,3 HV_{0,05} ile 118,7 HV_{0,05} arasında değiştiği tespit edilmiştir.

X-ışınları difraksiyon analizi sonuçlarında, oksidasyon işlemi sonucunda α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ fazları tespit edilmiştir. Her iki alaşım için de (AA 2014 ve AA 6082) sıcaklık ve süresinin artmasıyla α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ faz şiddetlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir.

AA 2014 ve AA 6082 alüminyum alaşımlarının 4M ortamında korozyon direncinin oksidasyon işlemi ile sıcaklık ve süresine bağlı olarak arttığı ve en iyi korozyon direncinin her iki alaşım için de (AA 2014 ve AA 6082) 600°C'de 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerde tespit edilmiştir.

Aşınma deneyleri sonucunda 3, 5 ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerin aşınma dirençleri işlem görmemiş numuneyle mukayese edildiğinde aşınma direncinde artış sağlandığı ve en iyi aşınma direncine sahip numunelerin her iki alaşım için de (AA 2014 ve AA 6082) 600°C'de 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerde gözlenmiştir.

AA 2014 alaşımı için oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değişimi 0,170 ile 0,632 arasında değiştiği, AA 6082 alaşımı için oksidasyon sıcaklığına ve süresine bağlı olarak aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değişimi ise 0,382 ile 0,792 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

AA 2014 alüminyum alaşımı için aşınma İşlemi sonucunda oksidasyon sıcaklığı ve sürenin artmasıyla aşınma hızı azalmıştır. İşlemsiz numunenin aşınma hızı $1721,41 \times 10^{-6}$ mm³/Nm iken, oksidasyon işlemine tabi tutulduktan sonra $352,52 \times 10^{-6}$ mm³/Nm kadar düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek aşınma hızı işlemsiz numune de en düşük aşınma hızı ise 600°C'de 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunede elde edilmiştir.

AA 6082 alüminyum alaşımı için aşınma işlemi sonucunda oksidasyon sıcaklığı ve sürenin artmasıyla aşınma hızı azalmıştır. İşlemsiz numunenin aşınma hızı $1720,41 \times 10^{-6}$ mm³/Nm iken, oksidasyon işlemine tabi tutulduktan sonra $257,22 \times 10^{-6}$ mm³/Nm kadar düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek aşınma hızı işlemsiz numune de en düşük aşınma hızı ise 600°C'de 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunede elde edilmiştir.

Yapılan EDS analizinde AA 2014 alüminyumun alaşımının yapısında farklı miktarlarda Al, O ve Cu elementleri tespit edilmiş, oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerde sıcak ve sürenin artmasıyla O elementinin % miktarında da artış tespit edilmiştir. En yüksek oksijen 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan miktarı numunede tespit edilmiştir. Ayrıca, 600°C sıcaklıkta, 5 saat ve 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerin yapısında Al, O ve Cu elementleri dışında Mg ve Si elementleri tespit edilmiştir.

Yapılan EDS analizinde AA 6082 alüminyumun alaşımının yapısında 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numune hariç diğer tüm numunelerin yapısında Al, O ve Mg elementleri tespit edilmiştir. 600°C sıcaklıkta, 5 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunenin yapısında sadece Al ve O elementleri tespit edilmiş, oksidasyon işlemine tabi tutulan numunelerde ise sıcaklık ve sürenin artması oksijenin % miktarlarının da artmasını sağlamış, en yüksek oksijen miktarı 7 saat oksidasyon işlemine tabi tutulan numunede tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akdoğan Eker, A. (2009). Demirdışı metal ve alaşımlarının korozyonu ders notları.
- Akyıl C. (2010). İkiz merdane ve direk soğutma döküm yöntemleri ile üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alipour, M., Azarbarmas, M., Heydari, F., Houghoughi, M., Alidoost, M. and Emany M. (2012). The effect of Al-8B grain refiner and heat treatment conditions on the microstructure, mechanical properties and dry sliding wear behavior of an Al-12Zn-3Mg-2.5Cu aluminum alloy. *Materials and Design* **38**: 64-73.
- Arslan, E., Totik, Y., Demirci., E.E., Vangolu. Y., Alsaran. A and Efeoglu. I. (2009). High temperature wear behavior of aluminum oxide layers produced by AC micro arc oxidation. *Surface & Coatings Technology* **204**: 829-833.
- Asm Handbook, (1992). Properties And Selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials. asm international vol. 2: pp:249
- Ayday, A., Kumruoğlu, C., Kurnaz, S. C., Özel, A. ve Durman, M. (2010). Farklı voltaj sürelerinde mikro ark oksidasyon işlemiyle yüzeyleri kaplanmış 6060 kalite alüminyum alaşımının korozyon direncine etkisi. *13th International Materials Symposium (IMSP'2010)* 13-15th October, Denizli, Turkey 613- 617.
- Aydın B. (2002). AA2014 Alaşımında yaslandırma ısı işleminin işlenebilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Başer, T. A. (2012). Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı, *Mühendis ve Makina*, cilt 53, sayı 635, 51-58.

- Bloyce, A., Qi, P.-Y., Dong, H. and Bell, T. (1998). Surface modification of titanium alloys for combined improvements in corrosion and wear resistance. *Surface and Coating Technology*, **107**: 125-132.
- Cevik, E., Çiçek, B., Ahlatcı, H. and Sun, Y. (2011). Effect of ti addition on corrosion behaviour of AA 6063 Al alloy. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, Turkey 447-449.
- Cirik E. (2007). Anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alüminyum alaşımının yorulma davranışına olan etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Cobden, R.and, Banbury, A. (1994). 1501 Aluminium: physical properties, characteristics and alloys. *European Aluminium Association* p 4.
- Çakıcı S. (2009). 6082 Kalite alüminyum alaşımının mikro ark oksidasyonu yöntemiyle yüzey modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çam S. (2012). A356 Alüminyum alaşımında titanyum miktarının aşınma davranışı üzerinde etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çetin H. (2005). Alüminyum alaşımı hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Darıdereli Y. (2010). Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Demir E. (2008). Alüminyum alaşımlarda ısı işlem etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Demiral, M. ve Yasar, M. (2006). 95200-95300 Cu-Al-Fe alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi. *Teknoloji*, Cilt 9, Sayı 1, 17-26.
- Durmuş, H. K., Okur, A. ve Meriç. C. (2003). AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarında soğutma koşullarının sertliğe etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt : 9 Sayı :1 9-13.
- Durmuş, H., Uzun, R.O. ve Şahin, S. (2011). Retrogresyon işleminin 7075 alüminyum alaşımının aşınma davranışına etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, Turkey 515-520.
- Erdoğan, M., Tekin, R. ve Kaya, M. (2012). Al-Cu-Mg-Fe-X alaşımının doğal yaşlandırma yöntemi ile korozyon dayanımının incelenmesi. *14th International Materials Symposium (Imsp'12)*, 10-12 October, Denizli, Turkey 65-74.
- Erdoğan, M., Güneş, İ., Tekin, R. ve Çengelci, B. (2013). AA 6082 alüminyum alloy artificial aging method the effect of electrical properties. *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)*, 30 October-1 November, Istanbul, Turkey 211-215.
- Esertürk T. (2009). Plazma nitrülenmiş alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Farshidi, M.H., Kazeminezhad, M. and Miyamoto, H. (2013). On the natural aging behavior of aluminum 6061 alloy after severe plastic deformation. *Materials Science & Engineering A*, **Doi**: 10.1016/S0921-5093(13)00591-1

- Gang, X.S., Xin, S. L., Rong-Gen, Z. and Xing-Fang, H. (2005). Properties of aluminium oxide coating on aluminium alloy produced by micro-arc oxidation. *Surface & Coatings Technology* **199**: 184 – 188.
- Gavgalı, M. ve Çetin, R. (1995). AA2014 Alüminyum alaşımı ingotun içyapısına homojenizasyon sıcaklığının etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt : 2 Sayı :1 41-46.
- Gavgalı, M., Totik, Y. Sadeler, R. And Kaymaz, I. (2004) Improvements of fatigue behaviour in 2014 al alloy by solution heat treating and age-hardening. *Wear*, **236**: 144-152.
- Gökşahin E. (2007). Sert eloksal ile kaplanmış 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güleryüz K. (2011). Deformasyon yaşlanmasının AA7075 alaşımının mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Gümüş M. (2007). Alüminyum yüzeyler için antikorozyon boyası ve kaplama şekillerinin geliştirilmesi ve kaplama altı korozyon davranışlarının elektrokimyasal yoldan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güneş İ. (2006). Plazma nitrüleme ile çelikler üzerinde kompleks kaplamaların oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

- Güneş, İ., Erdoğan, M., Tekin, R. ve Çengelci, B. (2013). Artificial aged in the AA 2014 aluminum alloy electrical properties. *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)*, 30 October-1 November, Istanbul, Turkey 242-246.
- Güven E. A. (2012). 2014 Alüminyum alaşımının yarı katı halde ekstrüzyonu ve mikroyapı incelemeleri. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- İçdem C. (2007). Saf titanyum ve ti6al4v, ti6al7nb alasımlarının akışkan yatak ortamında termal oksidasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karacif K. (2005). Alüminyumun polianilin iletken polimeri ile kaplanması, kaplamanın karakterizasyonu ve korozyon özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kasaplar G. (2007). Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının oksalik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kaufman, J. G. (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers. 1. edition, USA.
- Kaya I. (2005). Al 7075 Alaşımının şekillenme ve ısıl işleme özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khan, R.H.U., Yerokhin, A., Dong, X. Li H and Matthews, A. (2010). Surface characterization of DC plasma electrolytic oxidation treated 6082 aluminium alloy: Effect of current density and electrolyte concentration. *Surface & Coatings Technology* **205**: 1679–1688.

- Kılıç C. (2008). Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş almg 3/sic kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kılıç M. (2013). Tungsten alaşımlarına ilave edilen demir ve bakırın aşınma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, (2007). Alüminyum - silisyum döküm alaşımları Proje I, Kocaeli.
- Korkmaz Ö. E. (2010). Uçaklarda kullanılan alüminyum malzemelerdeki korozyonun incelenmesi, önlenmesi ve tahribatsız muayene ile tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurt K. (2006). Direk soğutmalı ve çift merdaneli döküm yolu ile üretilen 6xxx serisi kaynaklı ve kaynaksız alüminyum alaşımlarının oyuklanma korozyonu davranışı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Leyens, C. and Peters, M. (2003). Titanium and titanium alloys, WILEY-VCH, Germany, p 513.
- Li, H.X., Song, R.G. and Ji, Z.G. (2013). Effects of nano-additive TiO₂ on performance of micro-arc oxidation coatings formed on 6063 aluminum alloy. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **23**: 406–411.
- Meyveci A. (2007). Yaslandırılmış 2xxx ve 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

- Mishra, A. K. and Balasubramaniam, R. (2007). Corrosion inhibition of aluminum alloy AA 2014 by rare earth chlorides. *Corrosion Science* **49**: 1027–1044.
- Nie, X. and Matthew, A. (1999). Thickness effects on the mechanical properties of micro-arc discharge oxide coatings on aluminium alloys. *Surface and Coatings Technology*, **116-119**: 1055-1060.
- Nie, X. And Matthews, A. (2000). Deposition of duplex Al₂O₃ DLC coatings on Al alloys for tribological applications using a combined micro arc oxidation, *Surface And Coatings Technology*, **121**: 506-513.
- Oğuz, B. (1989). Malzeme bilgisine giriş, oerlıkon yayını.
- Özdemir O. K. (2008). Çeşitli ftalosiyanınların inhibitör olarak asidik ortamda alüminyumun korozyonuna etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Özdemir Y. (2012). Termal oksidasyon işleminin ticari saflıkta ti ve ti6al4v alaşımında yüzey özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özdin K. (2006). Alüminyum esaslı sic takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özdoğru E. F. (2009). Eş kanallı açısız pres yöntemiyle üretilen zr ve sc ile modifiye edilmiş AA6082 alüminyum alaşımının karakterizasyonu. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkara İ. M. (2009). 2024 Alüminyum alaşımının mikro ark oksidasyon yöntemiyle kaplanması ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FEN Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Özkömür A. (2008). Elmas benzeri karbon kaplamanın implant üstyapı parçaları arası galvanik korozyona etkinliğinin incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Panagopoulos, C.N., Georgiou, E.P. and Gavras, A.G. (2009). Corrosion and wear of 6082 aluminum alloy. *Tribology International* **42**: 886–889.
- Polat A. (2009). 2017A, 6061 Ve 7039 Alüminyum alaşımlarının mikro ark oksidasyon yüzey kaplama yöntemi ile sert seramik kaplanması. Doktora Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Sabatini, G., Ceschini, L., Martini, C., Williams, J.A. and Hutchings, I.M.(2010). Improving sliding and abrasive wear behaviour of cast A356 and wrought AA7075 aluminium alloys by plasma electrolytic oxidation. *Materials and Design* **31**: 816–828.
- Saçkesen İ. (2007). Yüksek mukavemetli 7075 alüminyum alaşımının yorulma ve korozyon özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sun. Y., Baydoğan, M. and Çimeoğlu, H. (1999). The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminium alloy, *Wear*, **236**: 144-152.
- Tang, M., L, W., Liu, H. and Zhu, L. (2012). Preparation Al₂O₃/ZrO₂ composite coating in an alkaline phosphate electrolyte containing K₂ZrF₆ on aluminum alloy by microarc oxidation. *Applied Surface Science* **258**: 5869 – 5875.
- Tımaç G. (2006). Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının Tig kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Topuz A. (2012). Döküm ve toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen AA 2014- Al_4C_3 metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tufan M. (2011). AA 6082 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısı işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Üneri, S. (1988). Elektrokımya Cilt 1 No:138 Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Vargel, C. (2004). Corrosion of aluminium. Elsevier, 1st ed. Boston USA.
- Vitry, V., Sens, A., Kanta, A. F. and Delaunois, F.(2012). Wear and corrosion resistance of heat treated and as-plated Duplex NiP/NiB coatings on 2024 aluminum alloys. *Surface & Coatings Technology* **206**: 3421–3427.
- Wang, K., Koo, B.H., Lee, C.G., Kim, Y.J., Lee,S.H. and Byon, E. (2009). Effects of electrolytes variation on formation of oxide layers of 6061 Al alloys by plasma electrolytic oxidation. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **19**: 866-870.
- Wang, Y.M., Tian, H., Shen, X.E., Wen, L., Ouyang, J.H., Zhou, Y., Jia, D.C. and Guo, L.X. (2013). An elevated temperature infrared emissivity ceramic coating formed on 2024 aluminium alloy by microarc oxidation. *Ceramics International* **39**: 2869–2875.
- Wasekar, N. P., Jyothirmayi, A. and Sundararajan, G. (2011). Influence of prior corrosion on the high cycle fatigue behavior of microarc oxidation coated 6061-T6 Aluminum alloy. *International Journal of Fatigue* **33**: 1268 –1276.
- Wu, X., Qin, W., Guo, Y. and Xie, Z. (2008). Self-lubricative coating grown by micro plasma oxidation on aluminum alloys in the solution of aluminate–graphite. *Applied Surface Science* **254**: 6395–6399.

Yurdakul, M., Özbay, O. Ve Tansel, Y. (2002). İç havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* **17**: 1-23.

Zhu, M.H. and Zhou, Z.R. (2007). Fretting wear behaviour of ceramic coating prepared by micro-arc oxidation on Al-Si alloy. *Wear*, **263**: 472-480.

6.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- <http://tr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%BCminyum>,

20.10.2013

2- [http://www.cemalmetal.com.tr/uretim aluminyum](http://www.cemalmetal.com.tr/uretim_aluminyum).

07.10.2013

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ramazan TEKİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Derik 01.01.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0536 597 47 99 / rtekin47@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Fevzi Çakmak Lisesi (YDA) 2004
Lisans : Afyon Kocatepe Üniv., Teknik Eğitim Fakültesi, Metal
Eğitimi 2011
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Yayınları (SCI ve diğer) :

Mikrodalga Fırında Suni Yaşlandırılan 6013 Alüminyum Alaşımın Korozyon Davranışının İncelenmesi, Investigation of Corrosion Behavior Of 6013 Aluminum Alloys For Artificial Aged Microwave Furnace, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2014, (M. Erdoğan, M. Kaya ile birlikte)

Al-Cu-Mg-Fe-X Alaşımının Doğal Yaşlandırma Yöntemi İle Korozyon Dayanımının İncelenmesi, 14th International Materials Symposium, IMSP'2012., Pamukkale Üniversitesi Denizli-Turkey., October / 10 - 12 / 2012, (M. Erdoğan, M. Kaya ile birlikte)

AA 6082 Aluminum Alloy Artificial Aging Method The Effect Of Electrical Properties, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical

University, Istanbul, Turkey, 211 - 215, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, Çengelci B., ile birlikte)

Artificial Aged in the AA 2014 Aluminum Alloy Electrical Properties, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 242 - 246, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, Çengelci B., ile birlikte)

Corrosion Behavior Analysis of Aluminum Alloy AA 7075 of Artificial Aged, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 254 - 258, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, ile birlikte)

Mechanical Properties Analysis of Aluminum Alloy AA 2017 of Artificial Aged, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 391 - 396, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, ile birlikte)

Corrosion Behaviour Effects In Microwave Furnace of Artificial Aging Method of AA 7075 Aluminum Alloy, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 400 - 405, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, ile birlikte)

AA 2024 Aluminum Alloy of Artificial Aging Method Effects on Mechanical Properties, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 489 - 494, IATS - 2013, 2013(Güneş İ., M. Erdoğan, ile birlikte)