

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ 5754 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ KOROZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME
DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RAGİB ÇÜNGÜR

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ 5754 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ KOROZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME
DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RAGİB ÇÜNGÜR

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

RAGİB ÇÜNGÜR

İMZA

ÖZET

KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ 5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME DAVRANIŞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RAGİB ÇÜNGÜR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖZLER KARAKAŞ)

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Alüminyum alaşımları yüksek korozyon direnci ve özgül mukavemet değeri sayesinde dünya sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar bu alaşımların korozyon direnci yüksek olsa da agresif korozyon ortamları alüminyum alaşımlarını korozyona uğratabilir.

Korozyon, malzeme israfı ya da servis ömrünü erken tamamlama gibi maddi kayıplar yaratabilir. Bu kayıplar korozyonun mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılmasını zorunlu kılar.

Alüminyum alaşımlarının kaynaklı ve kaynaklı olmayan konstrüksiyonlarda ya da makine parçalarında kullanımı oldukça yaygındır. Bu alaşımların korozif ortamlardaki mekanik özelliklerinin incelenmesi daha güvenli yapıların oluşmasını sağlar.

Bu çalışmada kaynaklı ve kaynaklı olmayan 5754 alüminyum alaşımının korozif ortamlardaki çekme davranışları incelenmiştir. 3 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımlı sac, uygun ölçülerde giyotin makas yardımıyla kesilmiştir. Kesilen 9 adet plakadan 8 tanesi otomasyonlu TIG kaynak yöntemi ile kaynaklı birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirilen tüm plakalarda tek bir ısı girdisi kullanılmıştır. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan plakalar, lazer yöntemi ile uygun geometride kesilmiştir. Kaynak kesitleri makro-mikro boyutta incelenerek mikro sertlik değerleri esas metalden kaynak metaline doğru 1 mm aralıklarla ölçülmüştür.

Korozyon deneyleri ISO B117 standartlarına uygun olarak tuz püskürtme testi ile gerçekleştirilmiştir. 480, 600, 720, 840 ve 1000 saatlik korozyon deney süreleri standarttan seçilmiştir. Her bir süre için kaynaklı ve kaynaklı olmayan 3'er numune kullanılmıştır. Korozyon deneyi sonrası korozyona uğramış yerel yüzeyler, makro ve mikro boyutta incelenerek korozyon ürünleri tespit edilmiştir. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere çekme testi yapılmıştır. Kırık yüzeyler SEM ile incelenmiştir ve mikro bölgelerin kimyasal bileşenleri EDS ile analiz edilmiştir.

Numunenin yüzeylerindeki ikinci faz bileşikleri, korozif ortamda anot bölgesi oluşturarak bir yerel korozyon türü olan çukurcuk oluşumuna neden olmuştur. Korozyon süresinin uzamasıyla çukurcuk derinliğinde artış gözlemlenmiştir. Metalin çekme dayanımı ve sünekliği korozyon deney süresine bağlı azalarak mekanik özelliklerde kayıplar meydana gelmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: 5754 alüminyum alaşımı, korozyon, çekme dayanımı, tuz püskürtme testi, TIG kaynağı

ABSTRACT

TENSILE BEHAVIOUR OF WELDED AND UNWELDED 5754 ALUMINIUM ALLOY IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

MSC THESIS

RAGİB ÇÜNGÜR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. ÖZLER KARAKAŞ)

DENİZLİ, AUGUST 2021

Aluminum alloys are widely used in the world industry on account of their good corrosion resistance and high strength-to-weight ratios. Although corrosion resistance is good, aggressive corrosion environments can corrode aluminum alloys.

When subjected to a corrosive environment, the mechanical properties can be adversely affected and even alloys with good corrosion resistance may fail prematurely and cause material losses. These conditions make it necessary to investigate the effect of corrosion on mechanical properties.

The use of aluminum alloys in welded and non-welded constructions or machine parts is wide. Examination of the mechanical properties of these alloys in corrosive environments provides the formation of safer structures.

In this study, the post-corrosion tensile behavior of welded and unwelded 5754 aluminum alloy was investigated. The 3 mm thick aluminum sheets were welded by automated TIG welding. A single heat input was used. Sheets were welded at a welding speed of 170 mm/min. Macro-micro structures were examined. The micro-hardness values from the base metal to the weld zone were measured at 1 mm intervals.

Corrosion tests were carried out by the salt spray test according to ISO B117. Corrosion experiment times of 480, 600, 720, 840, and 1000 hours were selected. 3 samples were used for each hour. The macro-micro structures of the corroded local surfaces were examined and corrosion products were determined. A tensile test was performed on welded and unwelded samples. The fractured surfaces were examined by SEM and the chemical components of the micro-zone were analyzed by EDS.

The 2nd phase compounds on the aluminum surface formed an anode zone in the corrosive environment and caused pitting corrosion. The pit depth increased as corrosion experiment time was increased, and the tensile strength and elongation of metal were decreased.

KEYWORDS: 5754 aluminum alloys, Corrosion, Tensile Strength, Salt Spray Test, GTAW

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Taraması	2
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	8
2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri	8
2.2 Alüminyumun Tarihçesi.....	9
2.3 5754 Alüminyum Alaşımının Kullanım Alanları.....	10
2.3.1 Otomotiv Sektörü.....	10
2.3.2 Taşımacılık Sektörü	12
2.3.3 Savunma ve Havacılık Sektörü	13
2.3.4 Marina Sanayi	14
2.3.5 Diğer Uygulama Alanı	14
2.4 Alüminyum Alaşımına Elementlerin Etkisi	15
2.4.1 Bakırın Etkisi;	15
2.4.2 Silisyum Etkisi;.....	16
2.4.3 Magnezyumun Etkisi;	16
2.4.4 Çinkonun Etkisi;	16
2.4.5 Manganezin Etkisi;	17
2.5 Alüminyumun Alaşımının Sınıflandırılması.....	17
2.5.1 Dövme Alüminyum Alaşımı;.....	17
2.5.2 Döküm Alüminyum Alaşımı;	18
3. KOROZYON	20
3.1 Korozyon Tarihçesi	20
3.2 Korozyonun Temel Tepkimeleri	21
3.3 Alüminyum Korozyonunda Elektrokimyasal Reaksiyonlar.....	22
3.4 Alüminyumun Alaşımının Korozyon Davranışı	24
3.4.1 Çevresel Faktörler	25
3.4.2 pH Etkisi:	25
3.4.3 Sıcaklığın Etkisi	26
3.5 Alüminyum Alaşımında Görülen Korozyon Türleri.....	26
3.5.1 Genel Korozyon	26
3.5.2 Çukurcuk Korozyonu.....	27
3.5.3 Taneler Arası Korozyon.....	30
3.5.4 Pul Pul Dökülme Korozyonu	33
3.5.5 Gerilmeli Korozyonu	34
3.5.5.1 Hidrojen gevrekliği	34
3.5.5.2 Elektrokimyasal yayılma.....	35
3.5.6 Filiform Korozyon	35

3.5.7	Aralık Korozyonu	37
3.5.8	Kavitasyon Korozyonu	39
3.5.9	Erozyon Korozyonu	39
3.5.10	Birikme Korozyonu	40
4.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI	41
4.1	Alüminyum Alaşımının Kaynaklanabilirliği.....	41
4.2	Alüminyum Alaşımının Kaynak Yöntemi	41
4.2.1	TIG (WIG) Kaynağı.....	42
4.2.2	TIG Kaynağında Akım Türleri	43
4.2.3	Doğru Akım Elektrot Pozitif (DCEP).....	44
4.2.4	Alternatif Akım	44
4.2.5	Doğru Akım Elektrot Negatif (DCEN).....	45
4.2.6	TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar	45
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
5.1	Deney Malzemesi	47
5.2	Deney Plakalarının Hazırlaması	48
5.3	Kaynak İşlemleri	49
5.4	Numunelerin Plakaya Yerleşimi ve Kesilmesi.....	53
5.5	Mikro-Makro İçyapı İncelemesi.....	56
5.6	Mikro-Sertlik Ölçümü	58
5.7	Korozyon Deneyi	59
5.8	Çekme Deneyi	77
5.9	Kırık Yüzey Analizi	83
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	89
6.1	Sonuçlar.....	89
6.2	Öneriler.....	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Audi A8 modelinin alüminyum parçaları. Yeşil) Alüminyum saçlar, kırmızı) alüminyum döküm parçalar, mavi) alüminyum ekstrüzyon parçalar (Başer 2012)	10
Şekil 2. 2: Alüminyumun alaşımının enerji sönümlemesi (Dündar ve diğ. 2002).....	11
Şekil 2. 3: Isı kalkanı.....	12
Şekil 2. 4: 5754 alüminyum alaşımından imal edilen kamyon kasası (Dündar ve diğ. 2002).....	12
Şekil 2. 5: 5754 alüminyum alaşımından imal edilen yakıt deposu (URL 1) ...	13
Şekil 2. 6: 5754 alüminyum alaşımından ima edilen çeta sacı	15
Şekil 3. 1: Metallerin enerji durumu (URL 4)	20
Şekil 3. 2: Korozyon hücresi.....	21
Şekil 3. 3: Anot ile Katot Polarizasyon Eğrileri.....	22
Şekil 3. 4: Alüminyum ile İmalat Çeliğinin Atmosferik Ortamdaki Korozyon Sonrası Mekanik Değişimi (Akdoğan Eker, 2009)	24
Şekil 3. 5: Alüminyum Çukurcuk Korozyon Oluşma Mekanizması (Vargel 2004).....	27
Şekil 3. 6: Çukurcuk Korozyon Derinliği-Zaman Grafiği (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011).....	29
Şekil 3. 7: Düşük karbonlu bir çelikte çukurcuk korozyonu ve mikroskobik incelenmesi (Diltemiz ve diğ. 2010)	30
Şekil 3. 8: Çukur korozyon türleri (URL 7).....	30
Şekil 3. 9: Taneler arası korozyon (URL 9).....	31
Şekil 3. 10: Tane sınırlarında katodik faz çökeltisi (Vargel 2004)	32
Şekil 3. 11: 2024-T3 alüminyum alaşımının pul pul dökülme korozyonu (Bellinger ve diğ. 2001)	34
Şekil 3. 12: Filamentlerin ilerleme şeması A) yansıması B) dik gelip 2'ye ayrılması C) birleşmesi D) ölüm tuzağı (Fontana 1987).....	36
Şekil 3. 13: Filiform korozyon oluşumu (Spoelstra ve Bosch 2000).....	37
Şekil 3. 14: Boyası çizilen bir alüminyum filiform korozyon resmi (URL 10) 37	
Şekil 3. 15: Aralık korozyon geometrisi	38
Şekil 3. 16: Kavitasyon korozyonu örneği (URL 11)	39
Şekil 3. 17: Boru genişlemesinde erozyon-kavitasyon korozyonu (Papavinasam 2014)	40
Şekil 4. 1: TIG kaynağı şematik gösterimi (URL 12).....	42
Şekil 4. 2: TIG kaynak yönetiminin şematik gösterimi (Komaç 2009)	42
Şekil 4. 3: Akım Türlerine göre kaynak biçimleri a) DCEP, b) Alternatif Akım, c) DCEN (Welding, Brazing and Soldering 1993)	43
Şekil 4. 4: TIG kaynağında doğru akım kullanılarak kutubun etkisi (a) DCEN, (b) DCEP (Welding, Brazing and Soldering 1993).....	44
Şekil 4. 5: AC Akım türünde TIG kaynağı (Komaç 2009)	45

Şekil 5. 1: Kaynaksız numuneler için kesilen plaka	48
Şekil 5. 2: Kaynaklı numuneler için kesilen plaka.....	49
Şekil 5. 3: a) Kaynak boşluğu, b) Kaynak geometrisi.....	50
Şekil 5. 4: Kaynaklı plakaların ölçüleri.....	50
Şekil 5. 5: Kaynak otomasyonu ve plakaların sabitlenmesi.....	51
Şekil 5. 6: Kaynak dikişinin resmi	52
Şekil 5. 7: Çekme deney numunesi	53
Şekil 5. 8: Kaynaksız numunelerin yerleşimi	53
Şekil 5. 9: Kaynaklı numunelerin yerleşimi.....	54
Şekil 5. 10: kaynak başlangıç ve bitiş nokta hataları a)kaynak başlangıcı b) kaynak bitişi (Komaç 2009)	55
Şekil 5. 11: Kaynaklı numunelerin oluşturulması.....	55
Şekil 5. 12: Parlatılmış numune	56
Şekil 5. 13: Kaynak geometrisi	57
Şekil 5. 14: Kaynaklı numunenin mikroyapısı A) esas metal, B) geçiş bölge- si, C) kaynak metali.....	57
Şekil 5. 15: kaynaklı numunenin mikro sertlik grafiği	58
Şekil 5. 16: Salt Spray Cabinet SF 200	59
Şekil 5. 17: Deneyde kullanılan pH metre	60
Şekil 5. 18: Numunelerin numune rakına yerleştirilmesi	60
Şekil 5. 19: Numune yüzeylerinin karşılaştırılması a) korozyona uğramış nu- mune, b) korozyon testine maruz kalmamış numune.....	62
Şekil 5. 20: Nikon marka SMZ1500 model stereo mikroskop.....	62
Şekil 5. 21: Numune yüzeylerinin mikro boyutta karşılaştırılması a) korozyo- na testine maruz kalmamış numune, b) genel korozyona uğramış numune (1000 saat)	63
Şekil 5. 22: Karıncalanma (480 saat)	63
Şekil 5. 23: Çukurcuk Korozyonu (480 saat).....	64
Şekil 5. 24: Jelatimsi korozyon ürünü olan $Al(OH)_3$	65
Şekil 5. 25: 480 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaksız numuneler, b) 30X, c) 7,5X, d) 30X.....	66
Şekil 5. 26: 480 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X	67
Şekil 5. 27: 600 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaksız numuneler, b) 7,5X, c) 30X.....	68
Şekil 5. 28: 600 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X	69
Şekil 5. 29: 720 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaksız numuneler, b) 7,5X, c) 30X	70
Şekil 5. 30: 720 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X	71
Şekil 5. 31: 840 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaksız numuneler, b) 7,5X, c) 30X	72
Şekil 5. 32: 840 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X	73
Şekil 5. 33: 1000 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaksız numuneler, b) 7,5X, c) 30X.....	74
Şekil 5. 34: 1000 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 10X, c) 30X.....	75

Şekil 5. 35: Korozyon deneyine bağlı kütle kaybı (%)	77
Şekil 5. 36: Çekme cihazı	78
Şekil 5. 37: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı çekme dayanımları	80
Şekil 5. 38: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı kopma uzamaları	81
Şekil 5. 39: Kopma doğrultusunun şematik gösterimi a) 600 h korozyon süresi b)720 h korozyon süresi c) 1000 h korozyon süresi	81
Şekil 5. 40: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı çekme dayanımı kayıpları ..	82
Şekil 5. 41: Korozyon deney süresi 480 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi	83
Şekil 5. 42: Korozyon deney süresi 720 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi	84
Şekil 5. 43: Korozyon deney süresi 1000 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi	85
Şekil 5. 44: Korozyon deney süresi 480 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi	86
Şekil 5. 45: Korozyon deney süresi 720 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi	86
Şekil 5. 46: Korozyon deney süresi 1000 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi	87
Şekil 5. 47: Korozyon deney süresi 1000 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi	88

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2. 1: Saf Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Totten ve MacKenzie 2003).....	8
Tablo 2. 2: Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Sertleştirme Mekanizmalarının etkisi (Askeland ve Fulay 2008)	9
Tablo 2. 3: Dövme Alüminyum Alaşımının Sertleşme Yöntemine Göre Çekme Dayanımı Aralığı (Askeland ve Fulay 2008)	18
Tablo 2. 4: Döküm Alüminyum Alaşımları (Vargel 2020).....	19
Tablo 3. 1: Katı çözeltiler ile intermetalik faz arasındaki çözeltiler potansiyeli (Vargel 2004)	31
Tablo 4. 1: TIG Kaynağında Koruyucu Gazın Etkileri (Anık 1991).	46
Tablo 5. 1: 5754 Alüminyum alaşımının Kimyasal Bileşeni (% ağırlık) (üretici firma)	48
Tablo 5. 2: 5754 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (üretici firma)...	48
Tablo 5. 3: Kaynak dolgu telinin kimyasal bileşimi (üretici firma).....	51
Tablo 5. 4: Kaynak telinin mekanik özellikleri (üretici firma)	51
Tablo 5. 5: TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler	52
Tablo 5. 6: Korozyon deneyi parametreleri	59
Tablo 5. 7: Numune isimleri	61
Tablo 5. 8: Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	79
Tablo 5. 9: Kaynaksız numunelerin çekme deneyi sonuçları	80
Tablo 5. 10: Elektronegatiflik tablosu (Mutombo ve Toit 2011).....	88

SEMBOL LİSTESİ

SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	:	Enerji Dağılımı Spektrometresi
TIG	:	Tungsten Asal Gaz Kaynağı
MIG	:	Metal İnerit Gaz Kaynağı
SSRT	:	Düşük Deformasyon Hızı Testi
DP	:	Çift Darbeli Akım
P	:	Darbeli Akım
PCTM	:	Darbeli Soğuk Metal Transfer
PMC	:	Darbeli Yüksek Kontrollü
ASTM	:	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
EN	:	Avrupa Normu
ISO	:	Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
E.M	:	Esas Metal
K.M	:	Kaynak Metali
ITAB	:	Isı Tesiri Altındaki Bölge

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına kadar bana yol gösteren, desteğini ve kıymetli vaktini esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasıyla yakından ilgilenen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özler KARAKAŞ' a teşekkürlerimi sunuyorum.

Kaynak konusunda engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, kaynak operasyonlarını bizzat kendi yapan Sayın Mustafa Sayar'a, yine kaynak konusunda tüm sorularımı hiç usanmadan sabırla dinleyen ve cevaplayan Sayın Yasin Öztırpan'a ve korozyon deneyleri için bana eğitim veren Yön Kimya çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez boyunca maddi manevi desteklerini üzerimden esirgemeyen annem, babam, abim, kayınpederim, kayınvalidem ve biricik dostlarım Abdülkadir Kef, Emre Aysal, Eyüp Şepik ve Mert Yılmaz' a teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Uzakta olmalarına rağmen bir gülüşüyle hayatımıza renk katan Umay ve Hüseyin yeğenlerime sevgilerimi sunarım.

Ve can yoldaşım biricik eşime, hayatını benimle paylaştığı için teşekkür ederim.

Ragib ÇÜNGÜR

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, dünyada üretimi yapılan metaller sıralamasında ikinci sıradadır ve çelikten sonra en çok kullanılan endüstri malzemesi olarak yerini almıştır. Alüminyum metaline yapılan alaşımlama, ısıl işlem veya mekanik işlemler, bu alaşımlara eşsiz bir fiziksel özellik sağlar. Endüstri uygulamalarında kullanılan 400 civarı alüminyum alaşımının olduğu tahmin edilmektedir. Havacılık, otomotiv sektörü ve savunma sanayi alüminyum alaşımlarının kullanım alanını genişletmiştir.

5XXX serisi Al-Mg alaşımları, mekanik özellik aralığının geniş olması, sert temperli halde yüksek sıcaklıkta kararlı yapısı, yumuşak temperde iyi şekillenme kabiliyeti, üstün korozyon direnci, düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığını koruması gibi üstün özellikleri bu alaşımları vazgeçilmez kılmaktadır. Bu alaşımlarda %3 ün altındaki magnezyum değerleri kaynak kabiliyetini ve dayanım değerini düşürmektedir. Yüksek kaynak kabiliyeti ve dayanım değeri istenilen yerlerde %3,5 ve üzeri magnezyum içeren alaşımlar seçilir (Önal ve diğ. 2005).

Alüminyum alaşımları sektörün birçok alanında kaynaklı birleştirme olarak kullanılmaktadır. Kaynak sonrası görülen kaynak hataları veya metalürjik dönüşümler kaynaklı yapının korozyon direncini ve dayanım değerini olumsuz etkileyebilir. Korozyon direncinin düşmesiyle malzemede kütle kaybı, kesit alanının daha fazla yük taşınması ve dinamik yükler altında çentik etkisi gibi olumsuz durumlar yaşanabilir.

Kaynaklı ve kaynaksız 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası dayanım değerlerinin incelenmesi ve bu değerlerin nasıl değiştiğinin belirlenmesi daha güvenli yapıların oluşmasına olanak sağlayabilir. Bu güvenli yapılar korozyondan kaynaklı hasarları en aza indirerek can ve mal kaybının önüne geçebilir.

1.1 Tezin Amacı

Alüminyum alaşımları endüstri uygulamalarında genellikle kaynaklı birleştirme ile kullanılır ve yoğun korozif ortamlarına maruz kalmaktadır. Korozif

ortamlarda bulunan kaynaklı ve kaynaklız alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi, sistem güvenliği için hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı; 5754 alüminyum alaşımında, kaynaklız ve TIG kaynak yöntemiyle sadece bir ısı girdisinde birleştirilen kaynaklı numunelerin, korozi ortamdaki korozyon davranışlarını inceleyip mekanik özelliklerinde nasıl bir değişim olduğunu belirlemektir. Eğer mekanik özelliklerinde bir değişim varsa, bu değişimin korozi ortamda bulunma süresiyle ilişkisini araştırmaktır.

1.2 Literatür Taraması

Aydın ve Bayram (2010), farklı koşullarda ısı işleme görmüş AA 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası çekme dayanımlarını incelemiştir. 510 °C sıcaklığında 2,5 saat bekletilen katı çözeltili haldeki AA 2024 alaşımlarına W, T4, T6 (100°C-10h), T6 (190°C-10h) ve O ısı işlemleri uygulanmıştır ve çekme testine göre hazırlanmış olan numuneler atmosferik ortamda 2 ay boyunca %3,5'lük NaCl çözeltisine daldırılmıştır. Korozyon öncesi ve sonrasında çekme testi yapılan numunelerin mekanik özelliklerini incelenmiştir. Çekme ve uzama oranları karşılaştırıldığında en çok kaybı olan numune W, en az kaybı olanın ise T4 olduğunu belirlemiştir.

Akınıc (2008), TIG kaynak yöntemiyle farklı akım parametrelerinde birleştirilen AA 5754 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. 130A,135A ve 140A amperlerde kaynaklı birleştirilen levhaların kaynak bölgelerinin mikro-sertlik değerleri ölçülmüştür. Numuneler çekme testine tabi tutularak kırık yüzeyleri incelemiştir. Kopma uzamaları karşılaştırıldığında en çok uzamanın gerçekleştiği akım değerinin 130A olduğu tespit edilmiştir. 130A ile birleştirilen numunelerde daha üniform bir grafiği görmüştür ve bu numunelerin mekanik özellikleri diğer numunelerden daha iyi sonuç vermiştir.

Türkan (2013), kaynaklı ve kaynaklız AISI 304L ve AISI 316L numuneleri farklı sürelerde korozyon testine tabi tutarak mekanik özelliklerini incelemiştir. 4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L paslanmaz çelikler, örtülü elektrot ve TIG

kaynak yöntemiyle kaynaklı birleştirilmiştir. Tuz püskürtme yöntemi ile 24-96-240-480-720-1000 saat korozyona uğratan kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin çekme testi deneyleri yapılmıştır. Kaynaklı ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerde korozyon sonrası mekanik özelliklerinin değişmediğini gözlemiştir. Örtülü elektrot kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerde tam nüfuziyet sağlanamadığı düşüşler tespit edilmiştir.

Köse (2011), robotik MIG kaynak yöntemiyle kaynatılan AA 5754 levhalarının farklı kaynak parametrelerindeki mekanik özelliklerini incelemiştir. 3 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Her bir grubun akım ve gerilim parametresi sabit tutularak kaynak hızları 20 mm/min'lik değerlerle artırılmıştır. Her grup arasında sırasıyla 10 A ve 0,5 V 'luk artışlar yapılmıştır. Kaynak sonrası numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı kaynak parametreleriyle yapılan kaynaklı birleşimlerde farklı mekanik ve sertlik özelliklerinin meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Özakın (2014), üç farklı alüminyum alaşımının üç farklı korozyon ortamındaki gerilmeli korozyon davranışlarını incelemiştir. AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 alüminyum alaşımının asidik, bazik ve nötr ortamdaki gerilmeli korozyon davranışları araştırılmıştır ve havadaki gerilmeli korozyon davranışlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, en iyi gerilmeli korozyon direncinin bazik ortamda, en kötü gerilmeli korozyon direncinin ise asidik ortamda olduğunu saptamıştır. Deneyde kullanılan alüminyum alaşımlarında en iyi korozyon direncinin AA 2024 olduğu gözlemlenmiştir.

Alıcı (2019), AA 5754 ve AA 6061 alüminyum alaşımı çiftinin farklı CTM (soğuk metal transfer tekniği) kaynak parametrelerinde kaynaklı birleştirilerek mekanik özelliklerini, SEM-EDS ve mikro-yapı analizlerini incelemiştir. Isı girdisinin artmasıyla numunelerin çekme dayanımı ve mikro-sertlik değerinde düşüşler tespit edilmiştir.

Durmuş ve Cömez (2018), 5754 alüminyum alaşımını farklı CTM kaynak parametrelerinde kaynaklı birleştirme yaparak korozyon hızının değişimini incelemiştir. Isı girdisinin artmasıyla korozyon hızlarının arttığını tespit etmişlerdir.

Önal ve diğ. (2005), farklı deformasyon oranlarında üretilmiş AA 5083 numuneleri farklı tavlama sürelerinde tavlayıp korozyon sonrası mekanik özelliklerini araştırmışlardır. %18, %35 ve %48 soğuk deformasyon oranlarında üretilen numunelerin bir kısmı tavlansamış, diğeri ise 180 °C, 270 °C ve 360 °C’de 20 dakikalık sürelerde tavlansamıştır. 1440 saat koroziif ortamda bekletilen numunelerin her 240 saatte bir mekanik özellikleri incelenmiştir. Soğuk deformasyon oranı arttıkça mekanik özelliklerde kayıpların arttığı ve 270 °C deki tavlamada kayıpların daha az olduğu tespit edilmiştir.

Zhu ve diğ. (2020), ekstrüde edilmiş NQZ310K (Mg-3.0Nd-1.0Ag-0.2Zn-0.4Zr) alaşımı 300, 350, 400, 450 ve 500°C de tavlayıp alaşımın mikro-yapısını SEM ile incelemişlerdir. Mekanik özelliklerini çekme ve nano-indentasyon testleri ile belirleyip vücut sıvısına göre hazırlanmış çözeltide daldırma yöntemiyle korozyon davranışlarına bakmışlardır. Artan tavlama sıcaklığı ile matris tanelerin ve çökeltilerin arttığını, çökelti miktarlarının ise azaldığını belirlemişlerdir. 350°C de tavlansamış alaşımda korozyon direncinin en iyi olduğunu, tavlama sıcaklığı arttıkça korozyon direncinin azaldığı sonucuna varmışlardır.

Torkamany ve diğ. (2010), lazer kaynağı ile düşük karbonlu çeliği AA 5754 alüminyum alaşımına üst üste bindirip anahtar deliği moduyla kaynaklı birleştirerek oluşan intermetalik tabakayı; lazer gücün etkisi, pulse süresi ve üst üste bindirme faktörü olmak üzere 3 farklı parametrede incelemişlerdir. Her bir parametre için çekme testi deneyleri uygulamıştır. İntermetalik tabakayı karakterize etmek için sertlik, EDS ve SEM analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu parametrelerin artmasıyla intermetalik tabakanın arttığını gözlemlemişlerdir.

Dadfar ve diğ. (2007), TIG kaynak yöntemiyle kaynak teli kullanılmadan kaynatılan 2 mm kalınlığındaki 316L kalite paslanmaz sacların korozyon davranışlarını incelemişlerdir. Bindirme kaynak pozisyonunda kaynaklı birleştirmesi yapılan numunelerin korozyon davranışları, vücut sıvısına göre hazırlanmış çözeltide potansiyodinamik polarizasyon eğrileri yardımıyla ölçülmüştür. SEM yardımıyla numunelerin mikro-yapılarına bakılmıştır. Kaynak metali, esas metal ve kaynak metali ile ana metal çiftinin korozyon davranışları karşılaştırılmıştır. Kaynak metalindeki korozyon direncinin esas metal direncine göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Özakın ve Altun (2017), AA2024 alüminyum alaşımının 3 farklı ortamdaki gerilmeli korozyon davranışlarını incelemiştir. Numuneleri SSRT(düşük deformasyon hızı testi) metoduyla %3,5 NaCl çözeltisinde hava ortamı, asidik ortam(pH=2,7), nötr ortam ve bazik ortam(pH=11) olmak üzere 4 farklı ortamda korozyona uğratarak her birini hava ortamındaki çekme dayanımlarıyla karşılaştırmışlardır. En iyi çekme dayanımının bazik ortamda, en düşük dayanımı ise asidik ortamda görmüşlerdir.

Kıyasöz (2018), AA6063 alüminyum alaşımının yaşlandırma süresine bağlı korozyon davranışlarını incelemiştir. 200°C 'de 2, 4 ve 8 saat boyunca yaşlandırılan numuneler, H₂SO₄ çözeltisinde korozyona maruz bırakılmıştır. Numunelerin yaşlandırma sonrası sertlik değerlerine bakılmıştır. Yaşlandırma süresinin artmasıyla korozyon direncinin düştüğü görülmüştür.

Necşulescu (2011), AA7075-T6 alüminyum alaşımının korozyon sonrası kütle kaybına bağlı çekme ve yorulma dayanımının değişimini incelemiştir. Galvanik korozyon hücresi yardımıyla korozyona uğratan numunelerin 5, 10, 15, 20, 25 ve %30 oranında kütle kaybına bağlı çekme ve yorulma dayanımı grafikleri çizilmiştir. Çekme dayanımında doğrusal bir düşüş grafiği görülürken yorulma dayanımında ise negatif azalan eğimli bir düşüş grafiği ortaya çıkmıştır.

Atik ve diğ. (2001), TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AA 2024 alüminyum alaşımının kaynak bölgelerindeki çökme sertleşmesinin mekanik özelliklere olan etkisini incelemiştir. ¼" kalınlığındaki AA 2024 alüminyum sacı V kaynak ağzı açılarak 2 pasoda kaynatılmıştır. 492±3°C de çözeltiye alınan numunelere oda sıcaklığında su verilmiştir. Bazı numuneler oda sıcaklığında doğal yaşlandırılırken diğer numuneler ise 125 °C'de ve 190 °C'de yapay yaşlandırılmıştır. Numunelere çekme testi, çentik darbe testi ve sertlik deneyi uygulanmıştır. En yüksek çekme gerilmesi 190 °C'de yapay sertleştirilen numunede görülmüştür. Doğal yaşlandırılan numunede çentik darbe direncinin en iyi olduğu tespit edilmiştir.

Nasiłowska ve diğ. (2019), TIG kaynak yöntemiyle kaynatılan AA 5754 alüminyum alaşımının bilye bombardımanından sonra mekanik özelliklerin nasıl değiştiğini incelemiştir. Alın pozisyonunda kaynaklı birleştirilmesi yapılan alüminyum alaşımına çift taraflı, 0.3 MPa basınç altında 0.5 mm çaplı paslanmaz

bilyeler kullanarak bilye bombardımanı yapılmıştır. Bombardıman sonrası alaşımın akma dayanımı ve elastisite modülünde %20 den fazla artış tespit edilmiştir.

Demir (2019), AA5083 alüminyum alaşımını MIG kaynak yöntemiyle farklı akım türlerinde kaynaklı birleştirerek mekanik özelliklere olan etkilerini incelemiştir. 3 mm kalınlığındaki AA5083 H111 alüminyum alaşımını darbeli akım(P), çift darbeli akım (DP), soğuk metal transfer (CTM), darbeli soğuk metal transfer (PCTM) ve darbeli yüksek kontrollü (PMC) akım parametreleri ile kaynaklı birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerin mekanik özelliklerine ve içyapılarına bakılmıştır. Çekme dayanımının en iyi olduğu akım türünün çift darbeli akım (DP) türü olduğu görülmüştür. İç yapıda görülen ince dentrit tabakaları sayesinde kaynak dikişinin sertlik ve tokluk kazandığı düşünülmüştür.

Kahraman ve diğ. (2018), 3 mm kalınlığındaki AA5754 alüminyum alaşımını farklı ısı girdilerinde darbeli CMT (Soğuk Metal Transferi) ve CMT kaynak yöntemiyle kaynaklı birleştirerek mekanik özelliklerini incelemiştir. Yaklaşık aynı ısı girdisinde darbeli ve darbesiz birleştirilen numuneler karşılaştırıldığında, darbeli kaynakta nüfuziyet eksikliğinin daha az olduğu görülmüştür ve artan ısı girdisi ile kaynak gözeneklerinin çapı ve sayısının azaldığı gözlemlenmiştir.

Prasad ve diğ. (2013), 0,25 mm kalınlığındaki 304L paslanmaz plakayı darbeli mikro plazma kaynak yöntemi ile kaynaklı birleştirerek 1 N HCl çözeltisinde çukurcuk korozyonuna uğratmışlardır. Çukurcuk korozyon direncinin en iyi olduğu parametreyi incelemiştir. Üst akım, alt akım, darbe oranı ve darbe genişliği parametrelerinden türetilen 31 farklı parametrede kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Üst akım 7 A, alt akım 4 A, darbe oranı 40 ve darbe genişliğini %50 değerinde olduğunu numunenin çukurcuk korozyon direncinin en iyi olduğunu tespit edilmiştir.

Zhang ve diğ. (2021), 2 mm kalınlığındaki 7000 serisi 7B04-T74 alüminyum alaşımının çeşitli analiz yöntemleri ile korozyon davranışını incelemiştir. Korozyon deneyleri için tuz püskürtme ve asite daldırma testi yapılmıştır. 1/2, 1, 2, 4, 7, ve 14 gün korozyon deney süreleri seçilmiştir. Korozyon deneyi sonrası yapılan birçok analiz sonucunda; alüminyum alaşımının yüzeyindeki 2.faz bileşikleri çukurcuk korozyonun ana nedeni olduğu belirlenmiştir. Korozyon deney süresinin uzamasıyla

çukurcuk boyutlarının ve korozyon ürünlerinin arttığı ve tuz püskürtme testinde daha yoğun korozyon ürünlerinin oluştuğu sonuçlarına ulaşmıştır.

Yang ve diğ. (2016), 6061 alüminyum alaşımının 36 ay boyunca deniz ve endüstriyel atmosferik ortamındaki çekme dayanımlarını, kütle kayıplarını ve optik mikroskop görüntülerini incelemiştir. Deney sonucunda çekme dayanımı ve kütle kayıplarının deniz atmosferi ortamında endüstriyel atmosferik ortama göre daha fazla olduğu görülmüştür. Her iki korozif ortamında alüminyum alaşımının çukurcuk korozyonu saldırısına uğradığı ve deniz ortamında bu saldırının daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir.

Wang ve diğ. (2020), 6061 alüminyum alaşımını tuz püskürtme testine tabi tutarak mekanik özelliklerini incelemiştir. Korozyon deneyi sonrası çekme testi, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Korozyon testi sonucunda çukurcuk ve tanelerarası yerel korozyon tespit edilmiştir. Korozyon deney süresinin uzamasıyla korozyon hızının arttığı belirlenmiştir. Çukurcuk derinliğinin artmasıyla çekme dayanımı ve kopma uzamasında düşüşlerin meydana geldiğini gözlemlemiştir.

Mutombo ve Toit (2011), 5083 alüminyum alaşımı tam otomatik ve yarı otomatik MIG kaynak yöntemiyle kaynaklı birleştirme yaparak tuz püskürtme testi sonrası yorulma davranışlarını incelemiştir. ER4043, ER5183 ve ER5356 kaynak telleri kullanılmıştır. Kaynak gözenekleri ve ikinci faz bileşiklerinin neden olduğu çukurcuk korozyonu, yorulma çatlaklarının başlamasına neden olmuştur ve yorulma hasarını hızlandırmıştır. ER5356 kaynak teliyle yapılan kaynaklı birleştirmede yüksek dayanım ve yüksek süneklik sağlanmıştır. Yorulma dayanımında, tam otomatik kaynak makinasının yarı otomatik kaynak makinasından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum düşük yoğunluğu, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, kolay işlenebilme ve dökülebilme özelliği, yeniden kullanılabilme kolaylığı olan bir metaldir. Yerküre üzerinde bol miktarda (yaklaşık %8) bulunur ancak serbest halde bulunmaz. Saf alüminyumun üzerindeki oksit tabakası gümüş rengindedir. Bu oksit tabakası mikron seviyelerinde olmasına rağmen pasivasyon özelliği sayesinde metali korumaktadır. Yumuşak halde bulunan saf alüminyuma alaşım elementleri katılarak mekanik özelliklerinde ve korozyon direncinde artış sağlanır. Manyetik değildir, kıvılcım çıkarmaz, toksin özelliği yoktur, metaller arasında dövülebilirlik açısından ikinci, süneklilik açısından altıncı sıradadır. İletkenliği bakırın %60'ı olmasına rağmen düşük yoğunlukta olduğu için elektrik dağıtımında yaygın olarak kullanılır (Lide 2003).

Tablo 2. 1: Saf Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Totten ve MacKenzie 2003)

Sembol	Al
Atom Numarası	13
Kristal Kafes Yapısı	YMK
Maddenin Hali	Katı
Yoğunluk	2,70 g/cm ³
Elastiklik Modülü	72 GPa
Poisson Oranı	0,34
Katılaşma Halinde Çekme	%6,7
Özgül Isısı	0,211 cal/g (0-100°C)
Erime Isısı	93 cal/g
Sıvı Haldeki Yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime Noktası	660,32 °C
Kaynama Noktası	2519 °C
Ergime Isısı	10,71 kJ/mol
Buharlaşma Isısı	294,0 kJ/mol
Isı Kapasitesi	24,2 J/(mol.K)

Yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyum, düşük sıcaklıklarda bile süneklilik özelliğini korur ve şekil değişikliğine elverişlidir. Alüminyumun zayıf kaldığı durumlar da vardır. Tam belirgin akma sınırı olmadığından düşük gerilmelerde

bile yorulma nedeniyle hasara uğrayabilirler. Düşük sertlikten dolayı aşınma dirençleri zayıftır (Askeland ve Fulay 2008).

Üretilen alüminyum alaşımların %25'i ulaşım, %25'i içecek ambalajları, %15'i elektrik uygulaması, %15 'i inşaat ve %20 'si ise diğer uygulamalarda kullanır (Alan 2008).

Tablo 2. 2: Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Sertleştirme Mekanizmaların etkisi (Askeland ve Fulay 2008)

Malzeme	Çekme dayanımı [MPa]	Akma sınırı [MPa]	Kopma uzaması [%]	Alaşımlı ve saf Al. Akma sınırı oranı
Saf alüminyum	45	17	60	1
Ticari saf alüminyum	90	34	45	2
Katı çözelti ile sertleştirilmiş	110	40	35	2,4
Soğuk şekillendirilerek sertleştirilmiş	165	150	15	8,8
Dispersiyon ile sertleştirilmiş	290	150	35	8,8
Yaşlandırılarak sertleştirilmiş	570	500	11	29,2

2.2 Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyum Latince “alümen” kelimesinden türetilmiştir ve anlamı şap demektir. Eski Yunanlılar ve Romalılar, şapı kanı durdurmak için tıp alanında kullanırlardı. 1761'de Morveau alümin ismini kullanmayı önerdi, alümin şapın ana maddesiydi. 1807 yılında ise Davy alümin adını alüminyum olarak değiştirmek istedi ve sonrasında ise alüminyum olarak kabul etti. 1925 yılına kadar Amerika'da bu yazım kullanıldı. Bu yılda Amerikan Kimya Derneği de alüminyum adını resmen kullanmaya başladı (Lide 2003).

Alüminyum ilk olarak 1808 yılında İngiltere'de Sir Humphry Davy tarafından ortaya çıktı. Saf olmayan bir yapısı vardı. 1825 yılında Danimarka'dan Hans Christian Oersted alüminyumunu bir miktar üretmeyi başardı. 1827 yılında Almanya'dan Freidrich Wöhler potasyumu susuz alüminyum klorürle tepkimeye sokarak alüminyum üretimine farklı bir tarz getirdi. 1854'te Henri Sainte-Claire Deville bilim insanı Wöhler'in üretim sürecini geliştirdi. 1886 yılında Amerika'dan Charles Martin Hall ve

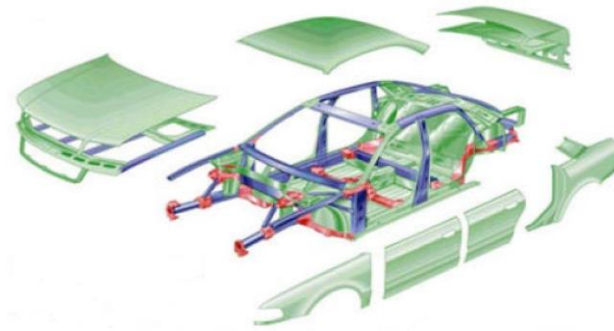
Fransa'dan Paul L.T. Hérault elektrolitik süreci iyileştirdi. Bayer ve Hall-Hérault süreçleri alüminyumun ticari üretilmesinde en etkili adım oldu. 1870 yıllarında güçlü jeneratörlerin varlığı 1888'de Karl Joseph Bayer'in cevher boksitten alümina üretmesinde olanak sağladı. Alüminyum üretiminin en ekonomik üretimi Bayer ve Hall-Hérault sayesinde oldu ve şu an ki üretimin temellerini oluşturdu (Lumley 2011).

2.3 5754 Alüminyum Alaşımının Kullanım Alanları

5754 alüminyum alaşımları yüksek korozyon direnci, düşük yoğunluğu ve üstün kaynak kabiliyeti sayesinde kullanım alanlarında vazgeçilmez bir malzeme özelliği taşır.

2.3.1 Otomotiv Sektörü

Karbon salınımı otomotiv sektöründe kısıtlayıcı bir etkidir. Enerji kaynaklarının tükenmesi ve küresel ısınma gibi sorunlar yeni düzenlemelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 2025 yılına kadar otomotiv üreticilerinden karbon salınımını, şimdiki durumunun üçte ikisinin altına çekmeleri istenmektedir. Üreticiler, araç hafifletmesi konusunda ciddi çalışmalar yapmaktadır. Alüminyum alaşımlarının araçlarda kullanılması hem emisyon salınımını azaltmakta hem de yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca araçların sürüş dinamiklerinin arttırılmasında da etkilidir. Taşıt kaportası, gövdesi, güç aktarma organları, çarpışma güvenlik takımı ve şaside alüminyum alaşımları kullanılmaktadır (Akarçay ve diğ. 2018).



Şekil 2. 1: Audi A8 modelinin alüminyum parçaları. Yeşil) Alüminyum saçlar, kırmızı) alüminyum döküm parçalar, mavi) alüminyum ekstrüzyon parçalar (Başer 2012)

Günümüzde üretimi yapılan araçların genelinde yolcu bölümünü çevreleyen güvenlik kafesi önemli bir unsurdur. Güvenlik kafesi, aracın çarpışma esnasında yolcunun güvenliği için yapısını mümkün olduğunca korumalıdır. Bunu sağlayabilmesi aracın ön ve arka kısımlarında çarpma sırasındaki kinetik enerjiyi sönümleyen (Şekil 2. 1) ve deforme olabilen bileşenleri kullanmakla mümkündür. Bu bileşenler için en elverişli malzeme alüminyum alaşımlarıdır. 5754 alüminyum alaşımının enerjiyi sönümleme kabiliyeti çeliğe göre 3 kat fazladır. 2-3 mm kalınlığındaki 5754 alüminyum alaşımı otomotiv sektöründe bu amaçla kullanılmaktadır (Dündar ve diğ. 2002).



Şekil 2. 2: Alüminyumun alaşımının enerji sönümlemesi (Dündar ve diğ. 2002)

Isı kalkanları (Şekil 2.1) alüminyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları yüksek korozyon direnci, özgül ısı kapasitesi, termal iletim katsayısı ve yüksek yansıtıcı özelliği sayesinde ısı kalkanı imalatı için en uygun malzemedir. 5754 alüminyum alaşımı ısı kalkanı üretiminde tercih edilmektedir.



Şekil 2. 3: Isı kalkanı

Bagaj ve ön kaput uygulamalarında alüminyum alaşımlarının kullanımı birçok otomotiv üreticisinde yerini almıştır. Ön kaputun destek atıkları ve kaburgaları 5754 alüminyum alaşımlarından yapılmaktadır (Dündar ve diğ. 2002).

2.3.2 Taşımacılık Sektörü

Alüminyum alaşımları taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla yaygın kullanılmaktadır. Özellikle kamyon kasası imalatında (Şekil 2.4) kullanılan 5754 alüminyum alaşımı, düşük yoğunluğu sayesinde yakıt tasarrufu sağlamakta ve karbon salınımı azaltmaktadır.



Şekil 2. 4: 5754 alüminyum alaşımından imal edilen kamyon kasası (Dündar ve diğ. 2002)



Şekil 2. 5: 5754 alüminyum alaşımından imal edilen yakıt deposu (URL 1)

Alüminyum alaşımlarının bir diğer uygulama alanı yakıt depolarıdır (Şekil 2. 5). Yakıt depoları, atmosferik ortama maruz kalmaktadır. Yakıt depolarının imalatında kaynaklı birleştirme ve soğuk şekillendirme işlemleri yoğun kullanılmaktadır. Bu uygulama alanı yüksek şekillendirme kabiliyeti, kaynak edilebilirliği ve yüksek korozyon dayanımı özelliğine sahip olan 5754 alüminyum alaşımını vazgeçilmez kılmaktadır. Ayrıca alüminyum alaşımının benzin- dizel ile uyum sağlaması ve petrol kirliliğinin oluşturmaması da diğer avantajları arasındadır.

2.3.3 Savunma ve Havacılık Sektörü

Savunma ve havacılık sektörü ısıl işleme sertleştirilmeyen, yüksek dayanıma sahip 5XXX serisi alüminyum alaşımını tercih etmektedir. Üstün mekanik özellik gerektiren ve ısıl işlem uygulanabilen 2XXX serisi alüminyum alaşımları da kullanılmaktadır (Kahraman 2009).

Hava taşımacılığında kapasite artışını sağlamak için uçak yakıt deposu 5754 alüminyum alaşımından üretilmektedir. Ayrıca basınçlı tanklar ve hidrolik ekipmanlarda da 5754 alüminyum alaşımını rastlamak mümkündür (URL 2).

2.3.4 Marina Sanayi

Gemi yapımında alüminyum alaşımlarını kullanmak, çeliğe kıyasla 3 avantaj sağlar. İlk avantajı hafifliktir. %60 hafifliğin sağlanacağı düşünülmektedir. Hafifliğin sağlanmasıyla yolcu kapasitesi artmaktadır. Diğer iki avantajı yüksek korozyon direnci ile manyetik olmama özelliğidir. Yatırım ve üretim maliyetlerinin yüksek olması alüminyum alaşımları için dezavantajdır (Eyres 2007).

Küresel denizcilik endüstrisinin gelişmesi, daha hızlı yolcu gemilerini ve deniz nakliyesinde yüksek verimliliği zorunlu kılmıştır. Yüksek korozyon direncine sahip 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının gemi gövdelerinde kullanımının artması ve bu sayede hafifliğin sağlanması en iyi çözümlerden biri olmuştur.

Deniz araçlarında, özellikle teknelerde alüminyum alaşımları çok yoğun kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu sayesinde teknenin kütle merkezini aşağıya çekerek daha dengeli yapıların oluşmasını sağlamaktadır. Gemi inşaatında, tekne ve yatların yelken direklerinde sıkça kullanılan 5754 alüminyum alaşımları, deniz suyu ortamına karşı gösterdiği yüksek korozyon direnci ile marina uygulamalarında da kendini ispatlamıştır.

2.3.5 Diğer Uygulama Alanı

Alüminyum düşük yoğunluk, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek dayanım/yoğunluk oranı, geri dönüşümü, kaynak edilebilirliği, manyetik özelliğinin olmayışı gibi nedenlerden dolayı ilgisini hiç kaybetmedi ve diğer mühendislik malzemelerine üstün özellikler kattı (Gökçe ve diğ. 2017).

5754 alüminyum alaşımı, dekoratif, iş güvenliği, inşaat sanayi, kaygan zeminler, merdiven, alet kutuları ve otomotiv sektörü gibi uygulama alanı geniş olan çeta saclarında kullanılmaktadır. Atmosferik ortama maruz kalan çeta sacları (Şekil 2. 6), yüksek korozyon direnci ve mukavemet dayanımı sayesinde uzun ömürlü olmaktadır (URL 3).



Şekil 2. 6: 5754 alüminyum alaşımından imal edilen çeta sacı

5754 alüminyum alaşımlarının kullanım alanları oldukça fazladır. Kimya, gıda ve nükleer endüstride yaygın kullanılır. Ayrıca hidrolik boru imalatı, ofis ürünleri, makine yedek parçaları, basınçlı tanklar ve iç-dış mimari çözümler gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir.

2.4 Alüminyum Alaşımlarına Elementlerin Etkisi

2.4.1 Bakırın Etkisi;

Alüminyumun temel alaşım elementi bakırdır. Bakır elementi alüminyum alaşımlarına sertlik, dayanım, döküm ve işlenebilme kolaylığı sağlamaktadır. Dövme alaşımlarına %3 ile %5 arası bakır ilave edilir ancak bu oran, döküm alaşımlarında %12'ye kadar çıkmaktadır. %5'ten fazla bakır ilavesi dövme alaşımların mekanik işlemlerini zorlaştırır. Döküm alaşımlarında ise %12'den fazla bakır ilavesi gevrekliğe neden olur. Bakır, elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür. Bakırın alüminyum içerisindeki çözünürlüğü sıcaklıkla değişir ve bu özelliği, alüminyum bakır alaşımlarına ısıl işleme çökelme sertleşmesi imkânı sağlar (Ak 2012).

2.4.2 Silisyum Etkisi;

Silisyum elementi alüminyum alaşımlarına kaynak kabiliyeti ve korozyon direnci gibi özelliklerinde artış sağlarken talaşlı imalat işlemlerinde zorluklar yaşatır. Alüminyum alaşımlarında silisyumun şekli ve dağılımı mekanik özellikleri etkiler. Yuvarlak primer faz alüminyum alaşımının dayanımını artırır fakat iğnemsiz faz ise süneklilik, yorulma ve darbe özelliklerini düşürür (Turhan 2002). Ayrıca silisyum ilavesi alüminyum alaşımların ergime sıcaklığını düşürerek ergimiş metale akıcılık sağlar (Welding Handbook 2001).

Turhan (2002), yaptığı çalışmada, döküm alüminyum alaşımına ilave edilen silisyum ile sertlik değerinin arttığını, %2' ye kadar silisyum ilavesinin metal-metal aşınma direncinde etkili olmadığını ve %2'den fazla silisyum ilavesinin aşınma direncini düşürdüğünü gözlemlemiştir.

2.4.3 Magnezyumun Etkisi;

Magnezyum elementi, alüminyum alaşımlarına soğuk şekillendirme ve katı çözümleri sertleşmesi sayesinde üstün mekanik dayanım ve korozyon direnci kombinasyonu sağlar (Davis 1998). Ayrıca haddelenebilme, işlenebilme kolaylığı ve kaynak kabiliyeti gibi özelliklere de olumlu etkisi vardır. Fakat sünekliliği düşürmektedir (Turhan 2002).

2.4.4 Çinkonun Etkisi;

Çinko elementi, alüminyum alaşımına yüksek mukavemet özelliği, haddelenebilme ve işlenebilme kolaylığı sağlar. Alüminyum alaşımlarında çinko ilavesinin %20'yi geçmesi istenen bir durum değildir. Çünkü yüksek miktardaki çinko ilavesi, sıcak çatlama ve katılaşma çekmesine neden olur. Bu olumsuz durumları engellemek, çinkonun alaşımdaki en uygun değerini belirlemekle mümkün olur. Çinkonun bir diğer dezavantajı dökülebilirliği azaltmasıdır (Çetin 2005).

2.4.5 Manganezin Etkisi;

Manganez elementi, alüminyum alaşımında korozyon direnci, mukavemet artışı sağlar ve yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir (Turhan 2002). Süneklilik ve tokluğu arttırır. Demir ile birlikte alaşımda dökülebilirliğe olumlu etkisi vardır (Ak 2012).

2.5 Alüminyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.5.1 Dövme Alüminyum Alaşımı;

Amerikan Alüminyum Birliği'ne göre dövme alüminyum alaşımları 4 rakam ile isimlendirilir.

1.rakam; alüminyum alaşımının alaşım elementini,

2.rakam; alaşımın değişimi ya da modifikasyonu göstermektedir.

Son iki rakam ise alüminyumun saflık derecesini belirtir (Welding Handbook 1997).

1XXX; Yüksek saflıktaki alüminyum. Yüksek korozyon direnci, düşük mukavemet, yüksek işlenebilirlik özelliği, yüksek elektrik iletkenliği sayesinde birçok uygulamalarda kullanılabilir. Özellikle elektrik ve kimya alanlarında kullanımı yoğun olan bir metaldir (Davis 1998).

2XXX; Bakır alaşımlı. Yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren yerlerde, havacılık, vagon, otomotiv sanayide kullanılır (Çetin 2005).

3XXX; Mangan alaşımlı. Genel amaçlı uygulamalarda kullanılır. Özellikle mimari uygulamalarda ve içecek kutularında sıkça rastlanılır (Davis 1998).

4XXX; Silisyum alaşımlı. Kaynak ve lehim tellerinde kullanılır (Davis 1998).

5XXX; magnezyum alaşımlı. Yüksek mukavemet ve korozyon direnci sayesinde sıklıkla marina yapılarının imalatında kullanılır (Köse 2011).

6XXX; Magnezyum- Silisyum alaşımlı. Mimarı ekstrüzyon uygulamalarında kullanılır (Davis 1998).

7XXX; Çinko alaşımlı. Uçak yapısal parçalarında ve yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılır (Köse 2011).

Tablo 2. 3: Dövme Alüminyum Alaşımının Sertleşme Yöntemine Göre Çekme Dayanımı Aralığı (Askeland ve Fulay 2008)

Serisi	Alaşım Elementi	Sertleşme Yöntemi	Çekme Dayanım Aralığı [MPa]
1000	Al	Soğuk şekillendirme	70-175
2000	Cu-Mg(% 1-2.5 Cu)	Isıl işlem	170-310
2000	Cu-Mg-Si(% 1-2.5 Cu)	Isıl işlem	380-520
3000	Mn-Mg	Soğuk şekillendirme	140-280
4000	Si	Soğuk şekillendirme	105-350
5000	Mg (% 1-2.5 Mg)	Soğuk şekillendirme	140-280
5000	Mg-Mn (% 3-6 Mg)	Soğuk şekillendirme	280-380
6000	Mg-Si	Isıl işlem	150-380
7000	Zn-Mg	Isıl işlem	380-520
7000	Zn-Mg-Cu	Isıl işlem	520-620
8000	Li-Cu-Mg	Isıl işlem	280-560

2.5.2 Döküm Alüminyum Alaşımı;

Alüminyum döküm alaşımları dövme alaşımları gibi 4 rakam (XXX,X) ile gösterilir.

1.rakam; alüminyum alaşımını,

2. ve 3.rakam; 1000 serisinde alüminyum saflığını diğer serilerde ise alüminyumun özel alaşımını ve ondalık rakam ise ürünün şeklini göstermektedir.

0-döküm

1-ingot

2-modifiyeli ingot (Davis 1998).

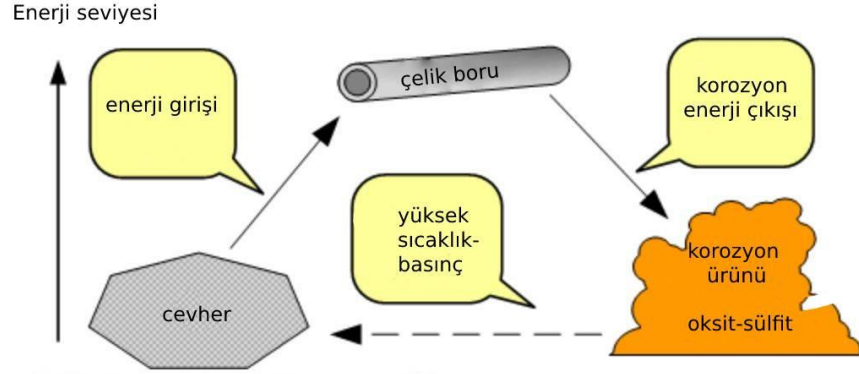
Tablo 2. 4: Döküm Alüminyum Alaşımları (Vargel 2020)

Saf alüminyum %99 min.	1XX,X
Bakır alaşımı	2XX,X
Magnezyum-silisyum veya silisyum-bakır	3XX,X
Silisyum	4XX,X
Magnezyum	5XX,X
-	6XX,X
Çinko-magnezyum-bakır	7XX,X
Kalay	8XX,X
Diğerleri	9XX,X

Akışkanlık, sıvı metalin zamanından önce katılaşımadan bir kalıptan dökülme yeteneği anlamına gelir. Dökülebilirlik ise alaşımın kalıba dökülme yatkınlığıdır. Alüminyum döküm alaşımlarında genellikle silisyum elementi kullanılır. Silisyum düşük ergime sıcaklığında akışkanlık ve dökülebilirliği kolaylaştırır. Ayrıca bakır, magnezyum, çinko gibi birçok alaşım elementi alüminyum döküm alaşımlarında yaşlandırma sertleşmesi sağlar. Hızlı soğutmayla tane boyutlarını incelterek dayanımı artırır (Askeland ve Fulay 2008).

3. KOROZYON

Korozyon bir metal ya da alaşımın çevresiyle kimyasal veya elektrokimyasal tepkimeye girerek bozulması anlamına gelir. Korozyon ve korozyon önleme maliyeti, bir ülkenin Gayri Safi Milli Hasılasının yaklaşık %5 ine eşittir (Balan 2018).



Şekil 3. 1: Metallerin enerji durumu (URL 4)

Doğadaki tüm maddeler daha az enerjili duruma dönme eğilimindedir. Saf maddeler, oksit veya sülfidli yapıya göre daha fazla enerjili durumundadır. Saf maddeler oksit-sülfidli yapıya dönerek daha kararlı duruma geçebilir. Metaller için daha kararlı bir yapıya geçme yollarından biri de korozyondur (URL 4).

3.1 Korozyon Tarihçesi

Korozyon ismi Latince kökenli olan “corrodere” isminden türemiştir. M.Ö 427-347 yılları arasında Platon korozyonla ilgili ilk tanımlamayı yapmıştır. Demirden ayrılan topraksı bir yapı olarak nitelendirmiştir. 2000 yıl sonra Georgius Agricola ise kitabında Platonu desteklemiş, pasın metale bir saldırısı olduğunu, yapılacak kaplamalar ile korozyonu engelleyebileceğini savunmuştur. 1667 yılında Fransızca-Almanca bir çeviride korozyon adı geçmektedir. 1836’da ise Sir Humprey Davy yaptığı bir çeviri de deniz suyuna maruz kalmış bir metalin katodik korumasından bahsetmiştir (İşdaş 2010).

3.2 Korozyonun Temel Tepkimeleri

Metal yüzeyin korozyonunda aynı anda iki tepkime meydana gelir. Bunlar oksidasyon ile indirgeme tepkimeleridir.

Metalin oksidasyon tepkimesi sonucunda metal elektron kaybeder:



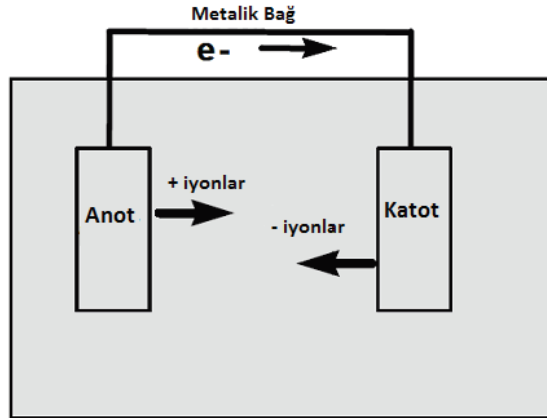
Metalden çözeltiliye anodik akım geçer.

İyonların indirgene tepkimesi:



Çözeltiden metale katodik akım geçer.

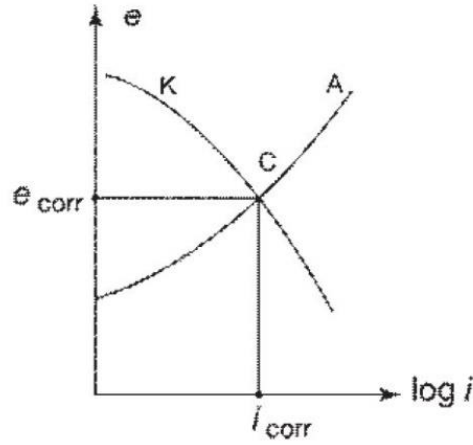
Oksidasyon ile indirgeme tepkimesi metal yüzeyin farklı bölgelerinde meydana gelir. Oksidasyon tepkimesi anodik tepkimedir ve (-) yük taşınır. İndirgeme tepkimesi olan katodik tepkimede ise (+) yük taşınır. Oksidasyon ile indirgeme reaksiyonları eşit miktarda gerçekleşir. Bu sayede yük dengesi korunur (Tanzi ve diğ. 2019).



Şekil 3. 2: Korozyon hücresi

Bir metal parça, sulu çözeltiye daldırıldığında anodik ile katodik tepkimeler eş zamanlı meydana gelir. Çözeltideki iyonlar elektronların devreyi tamamlanmasına yardımcı olur. Doğal olarak korozyon hücresi oluşur. Korozyon genellikle elektrokimyasal bir olaydır. Anot, katot, çözelti ve metalik bağ temel elemanıdır.

Pozitif yönde potansiyeli artan anodik tepkime ile potansiyeli negatif yönde azalan katodik potansiyeli birbirine yaklaşır ve eşitlenir. Denge durumu C noktasıdır (Şekil 3.3) Polarizasyon eğrilerinin kesişim noktası; e_{corr} korozyon gerilimini, i_{corr} ise korozyon akımını verir. Potansiyel gerilim çevre koşullarındaki oksitleyici gücü, akım ise korozyon hızını temsil eder (Vargel 2020).



Şekil 3. 3: Anot ile Katot Polarizasyon Eğrileri

3.3 Alüminyum Korozyonunda Elektrokimyasal Reaksiyonlar

Alüminyumun sudaki oksidasyon denklemi;



Alüminyum pH'ı nötre yakın olan deniz suyu, tatlı su ya da nemli ortamlarda elektron kaybederek + yüklü olarak çözeltilmeye geçer. Aynı anda indirgeme tepkimeleri de meydana gelir.

H⁺ iyonlarının indirgenmesi;

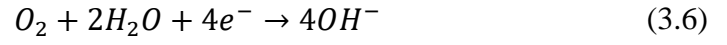


H⁺ iyonları suyun ayrışmasından gelir.

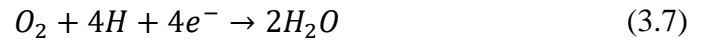


Sudaki oksijenin indirgenmesi,

Nötr ya da alkali ortam;



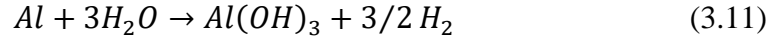
Asidik ortam;



Sulu ortamdaki alüminyum korozyonu aşağıdaki 2 tepkimenin birleşmesi ile oluşur.



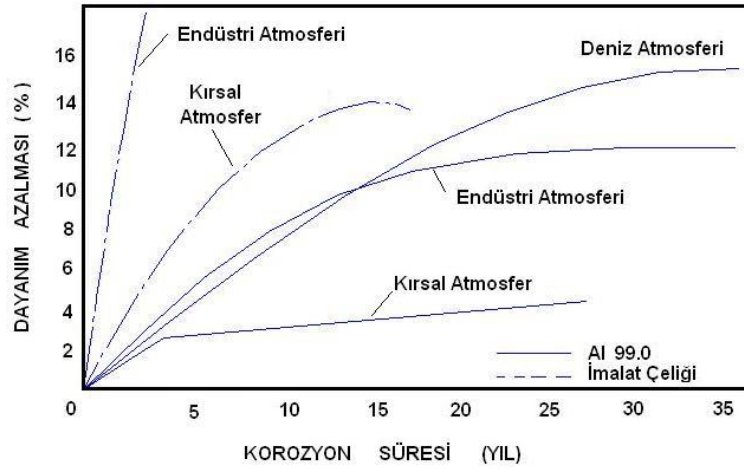
Ya da;



Bu tepkime sonucunda çukurcukları kaplayan jelimsi beyaz renkli $Al(OH)_3$ alümina oluşmasına neden olur (Vargel 2004).

3.4 Alüminyumun Alaşımlarının Korozyon Davranışı

Alüminyum, üzerindeki oksit tabakası sayesinde atmosferik korozyona karşı dirençlidir. Bu direncin yetersiz kaldığı durumlarda eloksal kaplama yapılır. Elokسال kaplama elektrokimyasal bir süreçtir ve genellikle asitli çözeltilerde doğru akımla yapılır. Alüminyum alaşımlarının eloksal kaplama ile korozyon direncinin yanında aşınma dayanımı da artar (URL 5).



Şekil 3. 4: Alüminyum ile İmalat Çeliğinin Atmosferik Ortamdaki Korozyon Sonrası Mekanik Değişimi (Akdoğan Eker, 2009)

Alüminyum alaşımları asidik ya da bazik ortamda genel korozyona maruz kalarak kalınlık homojen olarak değişir. Klorürlü ortamlarda ise durum biraz farklılaşır ve alüminyum alaşımının yüzeyinde yerel korozyon türü olan çukurcuk meydana gelir. Çökeltme sertleşmesi yapılan alüminyum alaşımlarında daha çok tane sınırları

korozyonu görülür. Çökeltiler, matrise göre daha aktiftir ve korozyona uğrar. Çökeltiler, alüminyum-bakır alaşımlarında matrise göre daha katodik durumdadır ve bakır kayıplarının olduğu tane sınırlarına yakın bölgelerde korozyona uğrar. Alüminyum-magnezyum alaşımlarının korozyon direnci tuzlu ve alkali ortamlarda 1000 serisi alüminyuma göre daha iyidir. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında %5'ten fazla magnezyum ilaveleri, gerilmeli korozyon ile taneler arası korozyon dirençlerini düşürmektedir. Magnezyum ilavelerinin sınırlı kaldığı bu durumda mangan ilavesi yapılır, mangan ilavesi ile klorürlü ortamlardaki korozyon direnci artmış olur (Akdoğan Eker, 2009).

3.4.1 Çevresel Faktörler

Çevre faktörü korozyon olayında son derece etkilidir. Hava, nem, damıtılmış su, mineral suyu, tuzlu sular, kentsel atmosfer, endüstriyel atmosfer, çözücüler, alkaliler, mineral ve organik asitler çevresel faktörlere örnektir. Genel olarak inorganik maddeler organik maddelere göre daha korozif bir ortam oluşturur (Fontana 1987).

3.4.2 pH Etkisi:

pH; kimya, elektrokimya ve biyolojide çok önemli bir parametredir, sulu çözeltinin karakteristiği hakkında bilgi verir. Karbonat ve hidroksitlerin çökmesi pH ile ilgilidir. pH'ı düşük ortamda çeliğin korozyon direnci ile sodyum ve potasyum hidroksit içeren pH'ı yüksek ortamdaki alüminyum alaşımının korozyon direnci zayıftır. Sulu ortamda sadece pH değeri ile korozyon tahmini yapmak zordur. Asit ya da bazın yapısı korozyon için etkilidir. Örneğin aynı pH'a sahip sodyum hidroksit ile amonyak çözeltisi alüminyum alaşımını farklı korozyon hızlarında hasara uğratar. Derişimi az olan sodyum hidroksit alüminyum alaşımına karşı oldukça saldırgandır. Fakat derişimi çok olan amonyak çözeltisinin alüminyum alaşımına saldırısı orta düzeydedir (Vargel 2004).

3.4.3 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın artması ile kimyasal reaksiyon hızlarının arttığı herkes tarafından bilinmektedir.

Seyreltik bir sülfürik asit çözeltisine daldırılan karbon çeliğinin kimyasal reaksiyonlar sonucunda korozyon hızı 10°C'lik bir artış ile yaklaşık 2 kat artabilir (Materials Technology Institute 2008).

Sudaki alüminyum alaşımının korozyon hızı sıcaklıkla artar ve maksimum korozyon hızı 80°C 'de görülmektedir (Hackerman 1952). Bu sıcaklıkta, özellikle 5000 serisi alüminyum alaşımının korozyon direnci ile mekanik özellikleri de değişir. 100-120°C üzeri 7000 serisi alüminyum alaşımlarında da aynı durum söz konusudur (Vargel 2004).

3.5 Alüminyum Alaşımlarında Görülen Korozyon Türleri

3.5.1 Genel Korozyon

Metalin korozyona uğrayan tüm yüzeyin eşit miktarda hasar görmesi ve metal kalınlığının yaklaşık olarak sabit kaldığı korozyon türüdür.

Genel korozyondan korunma yöntemleri vardır;

- Daha kalın malzeme kullanımı;
- Anodik ya da katodik koruma
- Boyama ya da kaplama
- İnhibitör kullanımı (URL 6).

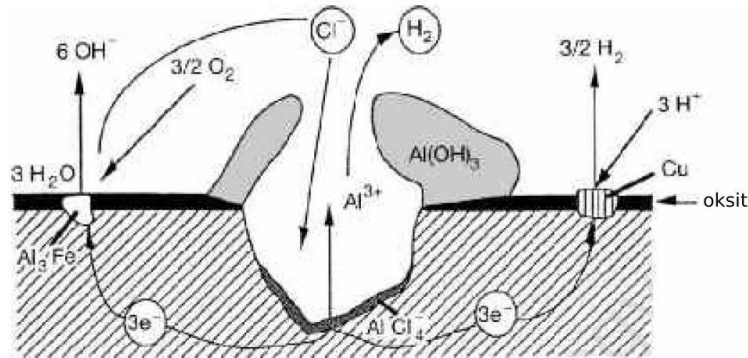
Mikron seviyesinde oluşan çukurcuklar, homojen olarak dağılarak tüm yüzeyi korozyona uğratar ve metalin kesit alanını azaltma eğilimindedir. Alüminyum alaşımlarının oksit tabakası, asidik ve bazik ortamlarda çözülmeye başlar ve alaşım

korozyona uğrar (Davis 1998). Oksit tabakanın çözülme ve oluşum hızları vardır. Bu hızların oranı, ortam ve zamanla değişir. İnhibitör kullanmak alaşımın çözünme hızını azaltarak korozyon hızını düşürür. Korozyon hızı kütle kaybı ve salınan hidrojen miktarı ile ölçülebilir (Vargel 2004).

3.5.2 Çukurcuk Korozyonu

Çukurcuk korozyonu, metal yüzeyinin küçük bölgelerinde yoğun olarak meydana gelen yerel bir korozyon türüdür. Yüzeyde çukurcuk sayısı çok olduğu durumlarda karıncalanma görünümü vardır. Pasif tabakanın zayıf ya da hasarlı olan bölgelerinde çukurcuk oluşumu başlar (Kınan, 2005). Halojen iyonlarının içerdiği çözeltilerde, metal üzerinde anot ve katot birbirinden ayrılırlar. Oluşan çukurcuk anot yerine geçer ve çukurun çevresinde geniş alanlı bir katot yüzeyi oluşur. Korozyon başlar ve hızlı bir şekilde devam ederek malzemenin delinmesine kadar ilerler (URL 7).

Çukurcuk korozyonu, alüminyum alaşımlarında en yaygın görülen korozyon türüdür. Alüminyum alaşımının saflığının artması, çukurcuk korozyonu direncini artırır (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011). 1XXX serisi alüminyum alaşımlarının çukurcuk korozyon direnci yüksektir. 5XXX serisi alüminyum alaşımında çukurcuk korozyon direnci 3XXX serisi alaşıma göre daha yüksektir. Korozyon şekli sayesinde taneler arası korozyondan türünden ayrılabilir (Davis 1998).



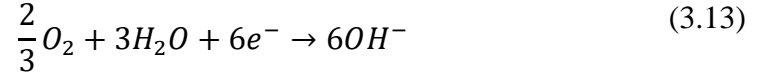
Şekil 3. 5: Alüminyum Çukurcuk Korozyon Oluşma Mekanizması (Vargel 2004)

Çukurcuk içerisindeki anotta oksidasyon oluşumu;



Çukurcuk dışındaki katot indirgemesi;

Suyun;

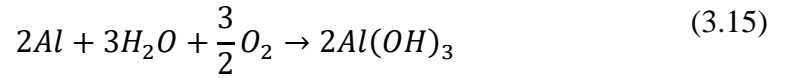


H⁺ 'in

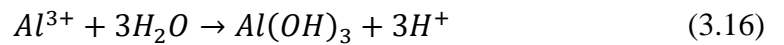


Anodun sabit kalması çukurcuk korozyonu oluşmasına neden olur. Ortamdaki OH⁻ 'in artar ve H⁺ 'in azalır. Bu, ortamda OH⁻ iyonun aşırı artması anlamına gelir. Bazik bir ortam oluşur.

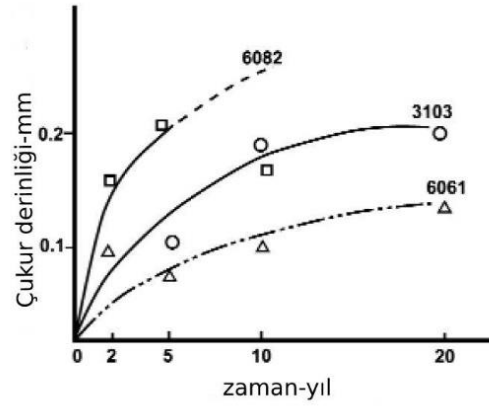
Genel olarak alüminyum çukurcuk korozyon tepkimesi;



Al³⁺ iyonları, çukurcuk dibinde alüminyum alaşımının çözülmesi ile elektrik alanı oluşturur. Oluşan elektrik alanı ile harekete geçen Cl⁻ iyonları, alüminyum klorür bileşimini meydana getirir.



Bu tepkime sonucunda çukurcuk üzerinde çok saldırgan olan asidik bir ortam oluşur. Al^{3+} iyonları çukurun altından bazik olan yan yüzeylerden geçerek çukurcuk ağzına doğru ilerler. Çukurcuk ağzında beyaz renkli jelatinimsi yapıda $Al(OH)_3$ oluşur. Bu yapı, iyonların hareketini engellediği için korozyon hızında düşüş meydana gelir (Vargel 2004). Bu jel temizlendiğinde altındaki çukurcuk ve boşluklar açığa çıkar. Bu boşluklar zamanla büyür (Er 2019).

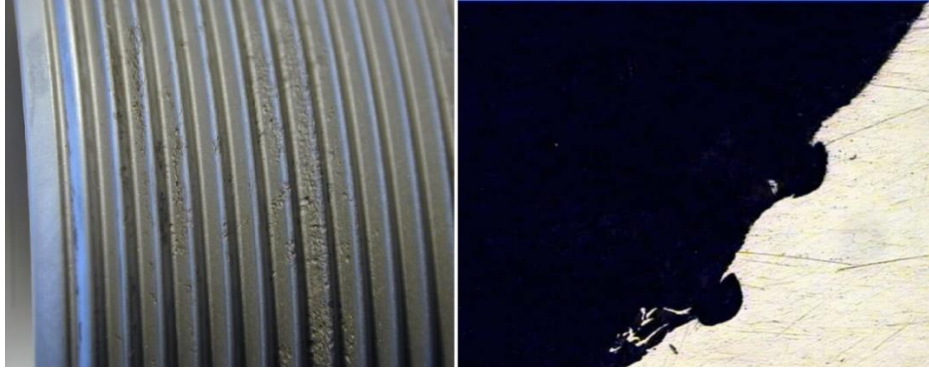


Şekil 3. 6: Çukurcuk Korozyon Derinliği-Zaman Grafiği (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011)

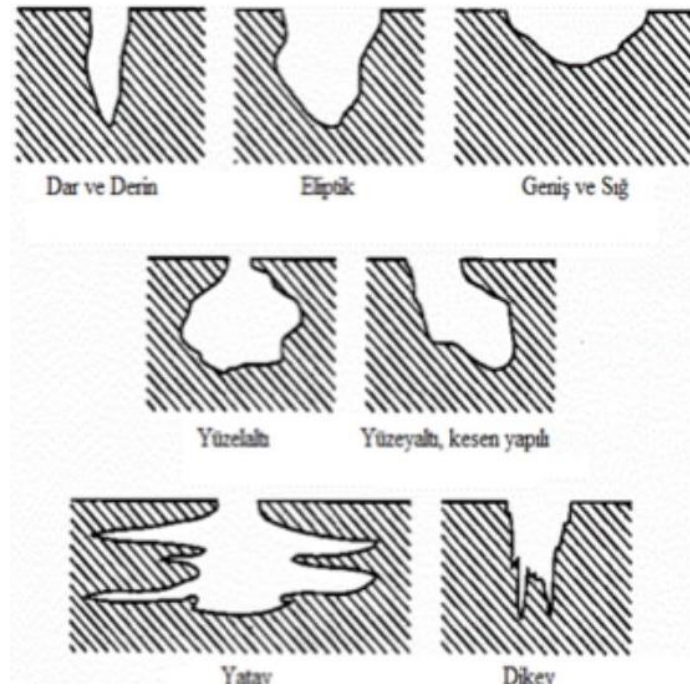
Grafikte (Şekil 3.6), çukur derinliğinin zamanla azalmasının nedeni jelatinimsi yapıdaki $Al(OH)_3$ 'tir. Bu jelatinimsi yapının hacmi, çukur hacminin 20 katı civarındadır (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011).

Çukurcuk korozyonu, yerel kalınlık kaybının yanında gerilme yığılmasına da neden olmaktadır. Oluşan gerilme yığılmaları çentik etkisi yaratarak yorulma dayanımını düşürür (URL 8).

Çukurcuk korozyonunun şiddeti; yoğunluğu, boyutu ve derinlik parametrelerine göre ölçülerek ASTM G46 Standartı ile değerlendirilir (Diltemiz ve diğ. 2010).



Şekil 3. 7: Düşük karbonlu bir çelikte çukurcuk korozyonu ve mikroskopik incelenmesi (Diltemiz ve diğ. 2010)

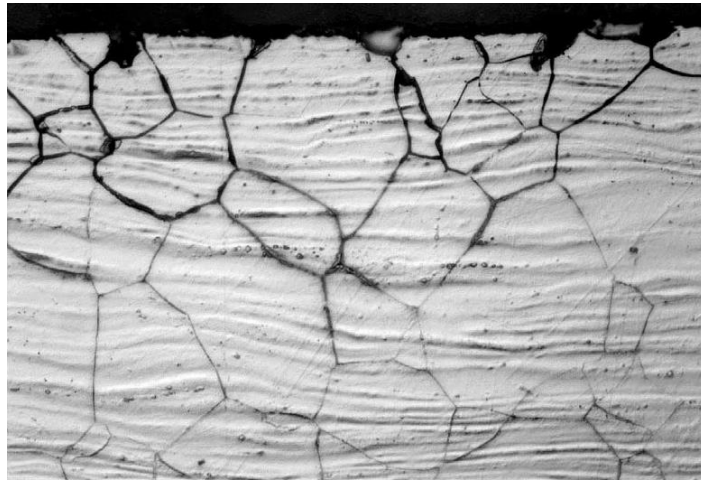


Şekil 3. 8: Çukur korozyon türleri (URL 7)

3.5.3 Taneler Arası Korozyon

Metalin tane sınırlarında ya da bu sınırlara yakın bölgelerde oluşan bu korozyon türünde, alaşımların anot bölgesi oluşturarak hasara uğraması olayıdır (Yüksel ve Meran 2010).

Birçok alüminyum alaşımı taneler arası korozyona karşı hassastır. Tane sınırlarına çökelen mikro alaşımlar, alüminyum alaşımı için korozyon tehlikesi oluşturmaktadır (Lahiri 2017). Çökelen mikro alaşımlar tane sınırlarına yakın bölgelerde potansiyel bir fark oluşturur ve korozyona neden olur. Bu olay elektrokimyasal bir olaydır. 5XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımlarında Al_8Mg_5 , $MgZn_2$ ve $Al_2Mg_3Zn_3$ gibi mikro alaşımlar, katı çözeltilerde anodik hücre oluşturur. 2XXX serisi alüminyum alaşımında ise Al_2Cu ve Al_2CuMg , katodik hücre oluşturan mikro alaşımlardır (Davis 1998).



Şekil 3. 9: Taneler arası korozyon (URL 9)

Tablo 3. 1: Katı çözeltiler ile intermetalik faz arasındaki çözelti potansiyeli (Vargel 2004)

Katı çözelti	Çözelti potansiyeli [mV]	İntermetalik faz
	-170	Si
	-430	Al_3Ni
	-470	Al_3Fe
Al-4Cu	-610	
	-640	Al_2Cu
Al-1Mn	-650	
1050A	-750	
	-760	Al_6Mn
Al-3Mg	-780	
Al-5Mg	-790	
Al-1Zn	-850	
	-910	Al_2CuMg
	-960	$MgZn_2$
Al-5Zn	-970	
	-1150	Al_3Mg_2

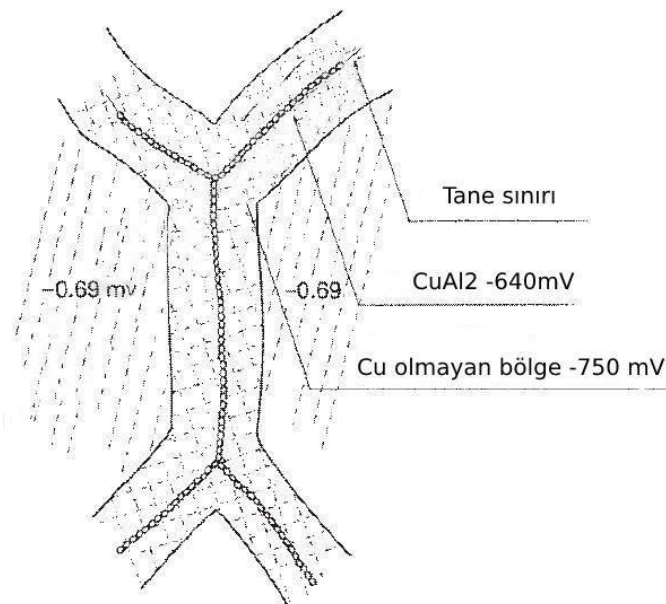
3XXX serisi alüminyum alaşımında bulunan Al_6Mn intermetalik fazın potansiyeli -760 mV 'iken katı çözeltili -650 mV ' tur. İntermetalik faz, katı çözeltiliye göre daha elektronegatif durumdadır. Elektronegatifliği yüksek olan anodik yapı çözülerek taneler arası korozyonu oluşturur.

Al-Mg-Si alüminyum alaşımında Cu ilavesi korozyon duyarlılığını ve taneler arası korozyon oluşumunu arttırmaktadır (Larsen ve diğ. 2008).

2XXX serisi alüminyum alaşımın mekanik özelliklerini arttırmak için ilave edilen Cu elementi, yerel bölgede katodik potansiyeli arttırdığı için korozyon açıdan tehlike yaratmaktadır (Obispo ve diğ. 2000). Özellikle A2024 alüminyum alaşımında S intermetalik faz, bakır dağılımına yardımcı olarak katodik potansiyeli arttırdığı düşünülmektedir (Zhang ve diğ. 2016).

Taneler arası korozyon 3 durumda gelişir;

- Korozyon ortam
- Katı çözeltili ile intermetalik faz arası potansiyelin -100 mV ve üzeri olması
- İntermetalik çökeltilerin devamı (Vargel 2004).



Şekil 3. 10: Tane sınırlarında katodik faz çökeltisi (Vargel 2004)

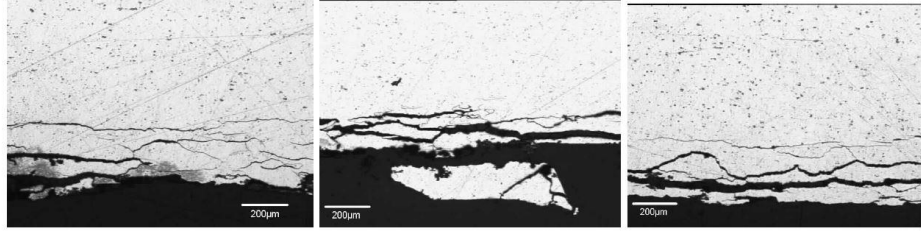
AA2024 alüminyum alaşımında çok yavaş soğutulmasından dolayı tane sınırlarına yakın bölgelerde Al_2Cu intermetalik faz oluşur. Bu fazın oluşabilmesi için gerekli olan Cu atomları, tane sınırlarına yakın olan bölgelerden karşılanır ve Cu kaybının olduğu bölgeler oluşur. Bu bölgelerin potansiyeli -750 mV civarındadır. Al_2Cu fazın potansiyeli -640 mV' tur ve Cu kaybı olan bölgeye göre katodik durumdadır. Cu kaybı olan bölgeler anodik yapı oluşturarak tane sınırlarında korozyon başlatır. Korozyon, tane sınırları boyunca paralel devam eder. Taneler arası korozyon, mikroskop ile belirlenebilir. Çok düşük miktarda oluşan bu korozyonun kütle kaybı ihmal edilir. Korozyon derinliğinin fazla artması, mekanik özelliklerde düşüşler meydana getirir. Özellikle sünekliliğin azalmasına neden olur (Vargel 2004).

Sulu ortama bırakılan AA-6061-T6 alüminyum alaşımı yerel ya da genel korozyona uğrar. Alüminyum matriste bulunan demirce zengin faz ile Mg_2Si intermetalik faz arasında oluşan potansiyel fark, Mg_2Si 'un anodik davranmasına neden olur. Matris korunur ve anodik seçici korozyona uğrar (L'Haridon-Quaireau ve diğ. 2020).

3.5.4 Pul Pul Dökülme Korozyonu

Pul pul dökülme korozyonu metal yüzeyine paralel, tane sınırları boyunca, haddeleme ya da ekstrüzyon yönü doğrultusunda gerçekleşen, yüzeyden ayrılarak dökülen taneler arası korozyon türüdür. Çok sayıda ayrılma yüzeyi vardır ve bu yüzeyler metalden hacimsel olarak ayrılır. Ayrılma yüzeyleri intermetalik düzlem boyunca ilerler. Bu düzlemler kitap sayfalarına benzemektedir (Yasakau ve diğ. 2018). Pul pul dökülme korozyon türünün fark edilmesi çok kolaydır. Metal kalınlığında ciddi düşüşler meydana gelir ve hasara uğrama ihtimali yüksektir (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011).

2XXX, 5XXX ve bakır elementi içeren ve içermeyen 7XXX serisi alüminyum alaşımlarında taneler arası korozyon şeklinde görülebilir. Fakat 7XXX serisi alüminyum alaşımının tane sınırları korozyon duyarlılığı daha azdır. (Vargel 2004).



Şekil 3. 11: 2024-T3 alüminyum alaşımının pul pul dökülme korozyonu (Bellinger ve diğ. 2001)

3.5.5 Gerilmeli Korozyonu

Alaşımın korozif ortamda mekanik hasarlarından dolayı korozyona uğraması olayına gerilmeli korozyon adı verilir. Gerilmeli korozyon çekme etkisi, metalin korozyon duyarlılığı ve korozif ortama bağlıdır. Mekanik özellikleri yüksek 2000 ve 7000 serisi ile 5000 serisi alüminyum alaşımları gerilmeli korozyona karşı duyarlıdır (Yasakau ve diğ. 2018). Gerilmeli korozyona duyarlı olan yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları metalürjik etkilerden etkilenir. Bu etkiler tane boyutu, tane sınırlarındaki çökeltiler, tane yönü ve boyu-en oranıdır. Korozyon çatlağı 2 şekilde ilerler. Bunlar hidrojen gevrekliği ile elektrokimyasal yayılmadır (Lee ve diğ. 2012).

3.5.5.1 Hidrojen gevrekliği

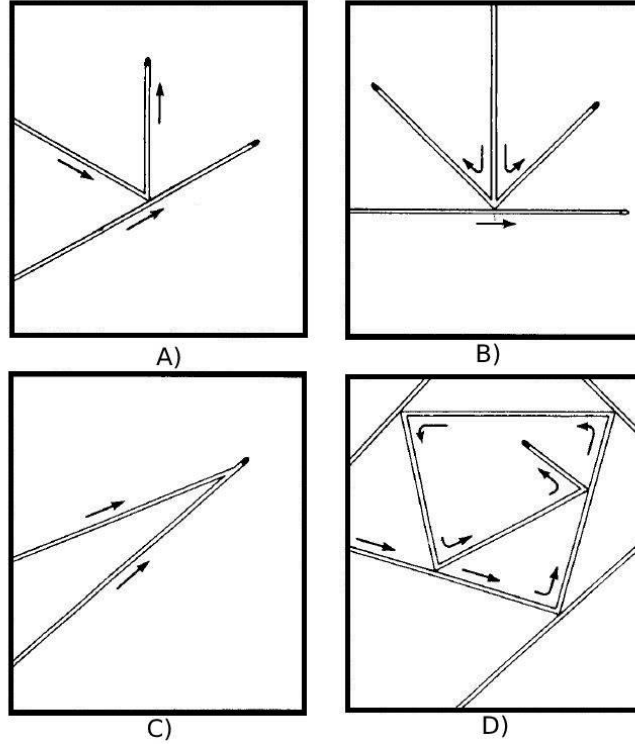
Uzun yıllar boyunca alüminyum alaşımlarının tüm çevresel çatlakları, gerilmeli korozyon çatlağı olarak belirtildi. Daha sonra hidrojenli ortamlarda yapılan deneyler, alüminyum alaşımlarının da hidrojene duyarlı olduğu gösterdi. Hidrojen gevrekleşmesi; tane sınırları, tane sınırları çatlağı ya da kabarcık şeklinde olabilir. Alüminyum alaşımının ergimesi ya da ısıl işlem sırasında su buharındaki hidrojenin ayrılarak alaşıma geçmesi ile kabarcık meydana gelir. Hidrojen, demir esaslı metalde olduğu gibi alüminyum kafes sistemine yerleşir. Bu bölgelere yerleşen hidrojen, diğer hidrojenlerle birleşerek metalin birden hasara uğramasına neden olur (Davis 1998).

3.5.5.2 Elektrokimyasal yayılma

Çatlağın yayılması elektrokimyasal bir olaydır ve öncesinde çatlak başlangıcı oluşur. Çatlak, gerilme yığılmalarının oluşmasına neden olur. Çatlak, çatlak duvarlarına göre anodik bir bölge oluşturur. Bu bölge sulu bir ortamda korozyon devresi gibi davranır. Anot bölge azaldıkça, çatlak yayılması kolaylaşarak oksit tabakanın kendini onarması imkânsız hale gelir. 2000 ve 5000 serisi alüminyum alaşımların gerilmeli korozyona uğraması için yüksek miktarda klorür içeren ortamın olması gerekir (Vargel 2004).

3.5.6 Filiform Korozyon

Özel bir korozyon türü olan filiform korozyon, genellikle koruyucu tabaka altında meydana gelir. Alt film tabakası da denilmektedir. Atmosferik ortamda, yiyecek ve içecek kutuların emaye ya da cila altında ilerlemesi en sık rastlanılan durumdur. Gıda sektöründe ambalaj görünümü önemli olduğundan bu tip korozyonun sektörde ciddiye alınması gerekir. Lak kaplı ya da altın, gümüş, fosfat, emaye kaplı çelikler, magnezyum ile alüminyum kaplı yüzeylerde görülür. Filiform korozyonu ipliksi hatlar şeklinde görülür. Aktif olan baş ile korozyon ürünü olan kuyruk kısımları vardır. İlerleme baş kısmından gerçekleşir. Filament denilen bu iplikler şekilde de görüldüğü gibi kendi kuraları dahilinde hareket ederler. Filament başka bir filamentle karşılaştığında, geliş açısına göre yansır. Geliş açısı dik olduğu durumda durur ya da 45°derece açı ile ikiye ayrılır. Eğik yaklaşan iki filament aktif başları birleşerek tek çizgi halinde ilerler. Ölüm tuzağı olarak adlandırdığımız (Şekil 3.12)(D)'de ise filamentler daralan bir kare spirel oluşturarak durur. Bu durum atılmış gıda tenekelerinde sık görülür (Fontana 1987).

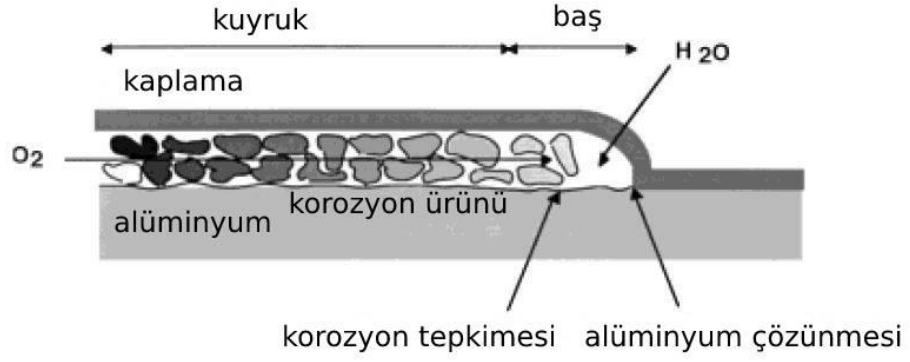


Şekil 3. 12: Filamentlerin ilerleme şeması A) yansıması B) dik gelip 2'ye ayrılması C) birleşmesi D) ölüm tuzağı (Fontana 1987)

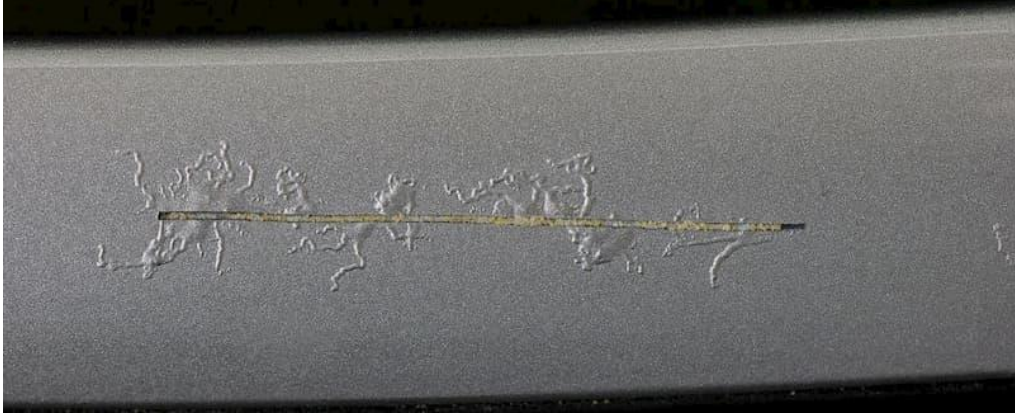
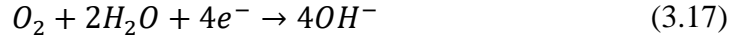
Filamentlerin ilerleyebilmesi için bazı şartlar gereklidir. Bunlar;

- Kaplama ile alt tabaka arasında iyon varlığı, özellikle klorür iyonu.
- Kaplamada zayıf ve kusurlu noktalar.
- Yüksek nem oranı (%50-95)
- Su ve oksijen varlığı

50 yıldır varlığı bilinen filiform korozyonu tam olarak bilinmemektedir. Başlama mekanizması hala tartışma konusudur fakat ilerleme mekanizmasını anlatmak daha kolaydır. Aktif baş bölgesinde çözünen alüminyum korozyon ürünleri oluşturmaya başlar. Korozyon ürünleri kuyruğa doğru ilerler. Korozyonun devamı için gerekli olan oksijenin kaplamadan sağlanması zordur. Gözenekli korozyon ürünlerinin arasından oksijen sağlanır. Baş kısımdaki oksijen azlığı ile kuyruk arasındaki oksijen arasında anot-katot bölgeleri oluşmaya başlar. Oksijenin bol olduğu kuyruk bölgesi katot oluşturmaktadır (Spoelstra ve Bosch 2000).



Şekil 3. 13: Filiform korozyon oluşumu (Spoelstra ve Bosch 2000)

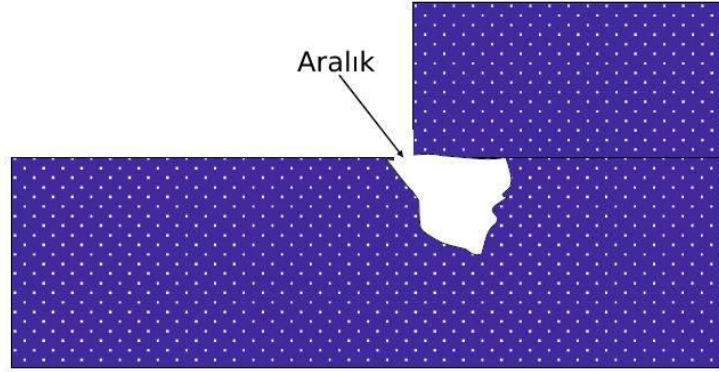


Şekil 3. 14: Boyası çizilen bir alüminyum filiform korozyon resmi (URL 10)

3.5.7 Aralık Korozyonu

Aralık korozyonu çukurcuk korozyonu gibi bölgesel bir korozyon türüdür. Pasif tabakası olan metal ve alaşımlar bu korozyon türüne karşı duyarlıdır. Metal yüzeyler ile metal olmayan yüzeyler arasında da gerçekleşebilir. Çözelti hareketinin olmadığı bölgelerde, conta, cıvata ya da perçin alt yüzeylerinde ya da kireç, tortu, kumaş, tahta, plastik, beton cam gibi metal ile alakası olmayan yüzeyler arasında görülebilir. Kimyası çukurcuk korozyonuna benzer. Hacimsel olarak çok dar bir bölgede elektrokimyasal tepkimeler meydana gelir. Bu dar bölge çözeltiyi içine alabilecek kadar geniş ve çözeltinin hareketini engelleyecek kadar dar olmalıdır. İlk

başta anot ve katot tepkimeleri aralık içinde eşit olmaktadır bir müddet sonra oksijenin azalması ile beraber katot tepkimeleri azalır (Papavinasam 2014).



şekil 3. 15: Aralık korozyon geometrisi

Aralıkta meydana gelen tepkimeler ile çözeltinin derişimi farklılaşır. Aralığın dışındaki oksijen ile çözeltideki oksijen derişimin farklı olmasından kaynaklı diferansiyel oksijen hücresi oluşur. Oksijen difüzyonunun sınırlı kalması, alüminyumun çözülmesi ve hidroliz süreçleri gibi art arda olaylar gerçekleşir. Alüminyum katotları ile Cl⁻ iyonları yk dengesini sağlamak amacıyla aralıkta birikir. Cl⁻ iyon miktarının çok olması (özeltideki derişimin birkaç katı) durumunda çözelti kademeli olarak asitlenir ve koroziv bir ortam gelişir. Sonuç olarak aralık (yaklaşık pH'ın 2-3 olduğu) asidik ortama dönüşür. Korozyon hızlanmış olur (Yasakau ve diğ. 2018).

Bu tür korozyondan korunmak için cıvata, perçin gibi bağlantı elemanları yerine kaynak ya da lehim ile bağlantı yapmak, çözelti birikmesini önleyen tasarımlar yapmak, biriken çözelti için atık hattı yapmak, aralıkları uygun madde ile doldurmak gibi önlemler alınabilir (Papavinasam 2014).

3.5.8 Kavitasyon Korozyonu

Kavitasyon korozyonu kavitasyon erozyonu olarak da bilinir. Yüzeyde sıvıdan kaynaklı kabarcık oluşur ve oluşan kabarcığın çökmesi ile kavitasyon meydana gelir. Kavitasyon korozyonu yüzeyi hasarlara uğratar. Hidrolik türbin, türbin kanatları, pompa çarkları, pervaneler kavitasyon korozyonuna maruz kalmaktadır. Örneğin bir piston mekanizmasında piston hacmi genişlediği anda basınç düşer, kabarcık oluşur. Piston sıkıştırmaya geçtiğinde basınç artar ve basıncın etkisiyle çökme başlar. Bu çevrim kendini sürekli tekrar eder. Çökelen bölgelerde tekrardan dolayı koruyucu tabaka zayıflar ve kendini yenileyemez. Koruyucu tabakayı aşan kavitasyon yüzeyden parça kopartarak yüzeyi plastik deformasyona uğratar. Korozyon ile beraber kavitasyon hızlı bir şekilde ilerlemeye başlar (Papavinasam 2014).

Alüminyum alaşımında kavitasyon korozyonu oksit tabakanın hasar görmesi ile başlar. Korozyon hızlı ilerleyerek metali delmeye çalışır. Yüzeyin sertliği ile kavitasyon arasında bir bağlantı vardır. Sert yüzeylerin kavitasyon ile hasara uğraması biraz daha zordur. Alüminyum alaşımlarının metallere göre kavitasyon direnci daha düşüktür. Pompa hatlarında boru çapları artırarak kavitasyon korozyonu azaltılabilir (Vargel 2004).

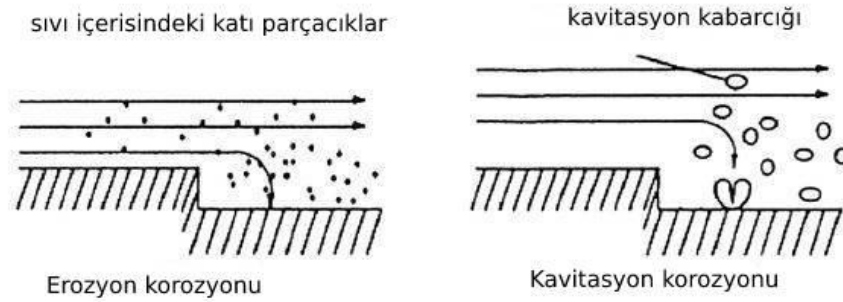


Şekil 3. 16: Kavitasyon korozyonu örneği (URL 11)

3.5.9 Erozyon Korozyonu

Korozyonda malzeme kaybı genellikle elektrokimyasal tepkimeler sonucunda meydana gelir. Mekanik kuvvetlerden kaynaklı da malzeme kaybı yaşanabilir. Bunlardan bir tanesi erozyondur. Erozyon, sıvı içindeki katı parça ya da sıvının yüzeye

çarparak koruyucu tabakayı yok etmesi ve sonrasında korozyon olayının başlamasıdır. Bir sistemde te, dirsek, redüksiyonlar, vanalar, pompa bıçakları, pervaneler, öğütücüler erozyon korozyonuna uğrayabilir. Erozyon korozyonu kavitasyon korozyonuna benzemektedir fakat erozyonda sıvı içindeki katı parçacık söz konusudur (Papavinasam 2014).



Şekil 3. 17: Boru genişlemesinde erozyon-kavitasyon korozyonu (Papavinasam 2014)

Erozyon korozyonu hareketli ortamdaki sıvının hızı ile bağlantılıdır. Deniz suyu arıtmada ısı eşanjörü olarak kullanılan 3XXX, 5XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının, 130°C'de 2,5-3 m/s akış hızına kadar erozyon korozyonuna dayanabildikleri tecrübe edilmiştir. Bu hızlar endüstriyel tesislerde kullanılan hızlardır. Yapılan deneylerin sonucunda suyu saflaştırarak 100°C'de 12-15 m/s hıza kadar çıkabildiği görülmüştür (Vargel 2004).

3.5.10 Birikme Korozyonu

Özel bir galvanik korozyon türü olan birikme korozyonunda çukurlaşmalar gerçekleşir. Alüminyum alaşımı daha katodik olan maddelerin yüzeyde çökelti ile galvanik hücre oluşturması esasına dayanır. Ağır iyonlar olarak bilinen cıva, bakır, nikel, kalay ve kurşun gibi elementler alüminyuma karşı saldırganıdır. Asidik ortamda saldırısı bazik ortama göre çok fazladır. Cıva alüminyum alaşımları için en saldırgan elementlerden biridir. Oksit tabakayı yırtar ve alüminyumu çözer, amalgam oluşturur. Bakır iyonları alüminyum uygulamalarında en çok zarar veren iyonlardandır (Davis 1998).

4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

4.1 Alüminyum Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği

Endüstrinin birçok alanında kullanımı artan alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmeleri, ergitme esaslı yöntem ve basınç esaslı yöntem ile yapılır. Kaynaklı birleştirme sonrası kaynak metalinin her iki tarafında oluşan ITAB bölgesinde metalürjik dönüşümler, yüksek ısı genleşmeden dolayı çarpılmalar ve kalıntı gerilmeler meydana gelir. Bunun sonucunda alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmeleri, birçok problemle karşı karşıya kalır (Kaluç ve Taban 2007).

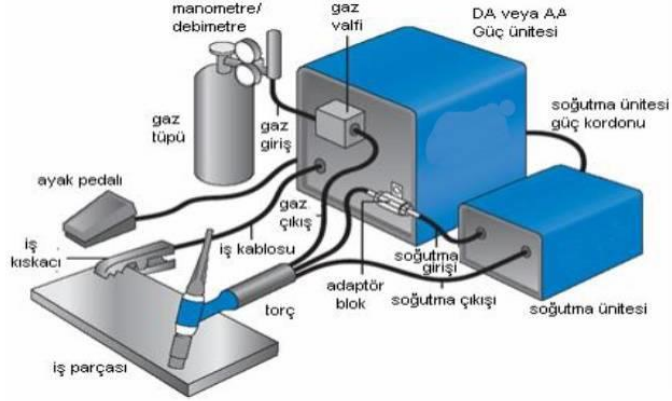
Alüminyum alaşımlarında ergitme esaslı yöntem ile birleştirilirken çatlak ve porozite yoğun görülür. Yüksek ısı genleşme katsayısı ve geniş katılma sıcaklık aralığı bu problemlerin başlıca nedenidir. Yüksek dayanımlı, yaşlandırma sertleşmesi yapılmış alüminyum alaşımlarında, ITAB bölgesinin aşırı yaşlandırılması ve sertleştirme çökeltilerinin çözülmesi nedeniyle dayanım değerlerinde düşüş meydana gelir. Ergimiş sıvı alüminyum alaşımlarının hidrojen çözünürlüğü, katı çözeltiliye göre çok fazladır ve porozite oluşmasının başlıca nedenidir. Kaynak işlemi sırasında çözünen hidrojen, katılma sırasında gaz kabarcığı oluşturarak gözenek meydana getirir (Köse 2011). Hidrojen, kaynak havuzuna iş parçasından ya da ilave kaynak dolgu telinden geçer. Kaynak sonrası dolgu telinin temizliği yapılarak nemsiz ortamlarda saklanması gerekir (Welding Handbook 2001).

Alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmelerinde, termal iletkenlik katsayısının yüksek olması yetersiz ergime ve nüfuziyet hatalarının oluşmasına neden olur. Kalın kesitli alüminyum alaşımlarına ön tavlama yapılarak bu hataların önüne geçilebilir (Oğuz 1990).

4.2 Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Yöntemi

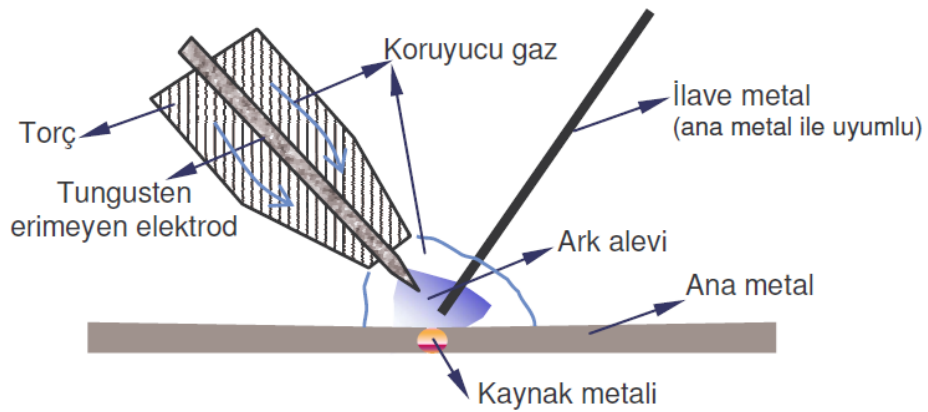
Alüminyum alaşımları birçok kaynak yöntemiyle (MIG, TIG, oksii-asetilen kaynağı, direnç kaynağı, lazer kaynağı, ultrasonik kaynağı) birleştirilmektedir. Ancak bu tezde sadece TIG kaynak yönteminden bahsedilmiştir.

4.2.1 TIG (WIG) Kaynağı



Şekil 4. 1: TIG kaynağı şematik gösterimi (URL 12)

TIG kaynak yöntemi 1930'lu yıllardan beri bilinmektedir. TIG adını Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden almaktadır. Bu yöntem magnezyum kaynağı ihtiyacını karşılamak için helyum gazı ile tungsten elektrotu kullanarak geliştirilmiştir. TIG kaynak yönteminde ısı girdisini ergimeyen elektrot ile parça arasında oluşan ark sayesinde sağlamakta ve kaynak banyosunu ise elektrotu çevreleyen asal gazlar ile korumaktadır. Bu asal gazlar argon, helyum ya da argon helyum karışımıdır. O yıllardan beri TIG kaynağı yönteminde, temel kaynak tekniği hiç değişikliğe uğramamıştır (Welding, Brazing and Soldering 1993).



Şekil 4. 2: TIG kaynak yönetiminin şematik gösterimi (Komaç 2009)

TIG kaynak yönteminde ilave tel kaynak banyosuna kaynakçı tarafından elle verilmektedir.

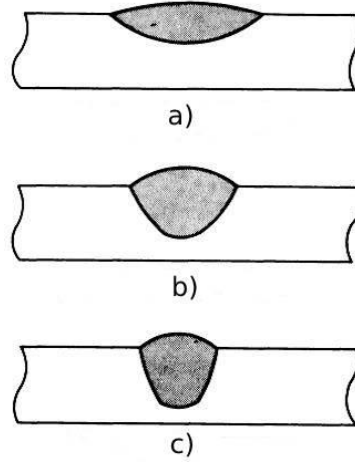
Kullanım alanı çok geniş olan TIG kaynağı, demir esaslı alaşımlar ve demir dışı metal alaşımlarında her pozisyonda başarılı kaynaklar yapabilmektedir ve bunun yanında çok ince saclarda da başarısını sürdürmektedir (Welding Handbook 2001).

Bu yöntemle, ilave kaynak dolgu teli kullanmadan iş parçasını ergiterek kaynaklı birleştirme sağlanır ve cüruf olmadan temiz düzgün kaynak dikişleri yapılır. TIG kaynak yönteminin ilk yıllarda, doğru akım ile kaynaklı birleştirme sağlanırken yapılan çalışmalar alternatif akımla da kaynak yapılabilme imkânı sunmuştur (Tülbentçi 1990).

4.2.2 TIG Kaynağında Akım Türleri

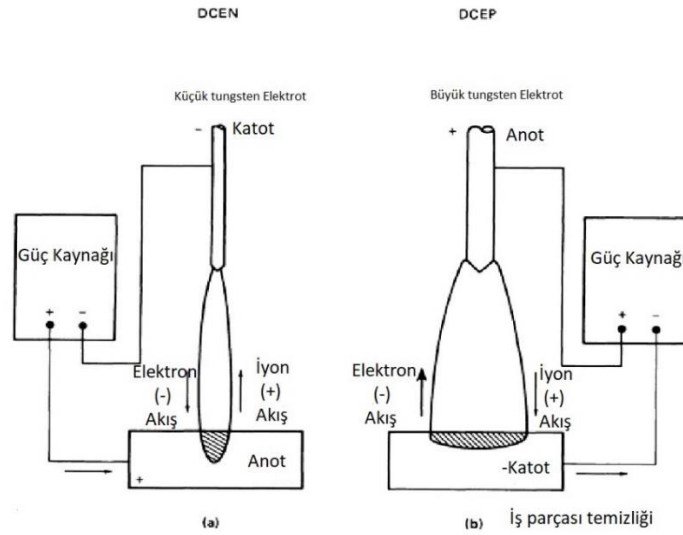
TIG kaynak yönteminde temel üç akım türü vardır.

- Doğru akım elektrot pozitif (DCEP)
- Alternatif akım
- Doğru akım elektrot negatif (DCEN)



Şekil 4. 3: Akım Türlerine göre kaynak biçimleri a) DCEP), b) Alternatif Akım, c) DCEN (Welding, Brazing and Soldering 1993)

Kaynak dikişi derinliği ve genişliği kaynak akım parametrelerine göre değişmektedir. DCEP kaynak akım türünde kaynak dikişi geniş ve sığ olmaktadır. DCEN kaynak akım türünde ise kaynak dikişi dar ve derin şekildedir (Welding, Brazing and Soldering 1993).



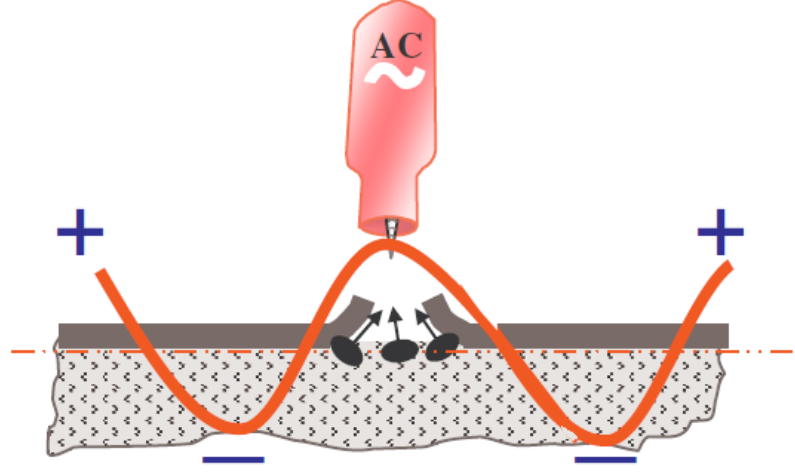
Şekil 4. 4: TIG kaynağında doğru akım kullanılarak kutubun etkisi (a) DCEN, (b) DCEP (Welding, Brazing and Soldering 1993)

4.2.3 Doğru Akım Elektrot Pozitif (DCEP)

DCEP akım türüyle kaynakta akım yönü iş parçasından elektrotta doğrudur. Isı yoğunlaşmanın %70 i elektrotta, %30 u iş parçasında gerçekleşir. Daha kalın çaplı elektrot kullanmak gerekir. Kaynak hızı DCEN'ye göre daha yavaştır. Üç akım türü arasında yüzey temizliğinin en iyi olduğu akım türü DCEP'dir (Oğuz 1990).

4.2.4 Alternatif Akım

Alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı uygulamalarında kullanılan alternatif akım türü, ergime sıcaklığı yaklaşık 2000°C olan oksit tabakasını temizler. Oksit tabakası kaynaklı birleştirme sırasında olumsuz durumlar yaşatabilir. Oksit tabakasının diğer yollarla temizlenmesi maliyetlidir. Alternatif akım türünde elektrotun pozitive dönmesiyle oksit tabakası kalkar ve sağlıklı kaynak dikişleri oluşur (Komaç 2009).



Şekil 4. 5: AC Akım türünde TIG kaynağı (Komaç 2009)

4.2.5 Doğru Akım Elektrot Negatif (DCEN)

DCEN akım türü ile yapılan kaynakta akım yönü elektrottan iş parçasına doğru olur. Isı yoğunlaşmanın %70'i iş parçasında %30'u elektrotta oluşur. Daha küçük çaplı elektrotlarla yüksek akımda kaynak imkânı sunar. Kaynak hızı biraz daha fazladır (Oğuz 1990).

4.2.6 TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar

TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazların görevi kaynak banyosu ile erimeyen elektrotu havanın etkilerinden korumaktır. Koruyucu gazlar argon, helyum ve bunların karışımı asal gazlardır (URL 13).

1920 yılında helyum gazının kaynak arkını koruyabildiği bilinmekteydi. O yıllarda inert olarak sağlanabilen tek gaz yine helyumdu. 2. Dünya Savaşı yıllarında havacılık sektöründe alüminyum ve magnezyum kaynaklarında sıklıkla kullanıldı (Akıncı 2008).

Helyum gazından sonra argon gazı kullanılmaya başlamıştır. Bu iki gaz inerttir ve tek atomludur. Bu sayede diğer elementler ile tepkime vermezler. Argon gazı havadan ağırdır. Kaynak sırasında metalin yüzeyine çöker ve korur. Helyum gazı ise

havadan hafiftir. Kaynak sırasında uçar ve kaynağı koruması zordur. Argon gazı helyumdan 10 kat ağırdır ve helyum gazı sarfiyatına göre daha düşüktür (Anık 1991).

Helyumun iyonizasyon enerjisi argonun iyonizasyon enerjisinden yüksektir. Helyum gazı ile oluşan arkın ısı girdisi fazladır. Kalın parça ve yüksek kaynak hızlarında kullanılır. Argon gazı ile oluşan arkın ısı girdisi düşüktür, kontrolü kolaydır ve elle yapılan kaynak için idealdir (URL 13).

Helyum gazı ile yapılan kaynakta argon parmağı formu yerine geniş kaynak dikişleri oluşur ve ark kararlı değildir. Kaynak banyosunun atmosferik gazı iyi alınmıştır ve kaynak banyosu daha sıcaktır. n ısıtmaya gerek kalmayabilir. Argon gazıyla yapılan kaynağın nüfuziyeti argon parmağı formundadır, kaynak banyosunun yüzey gerilimi fazla ve sırantılıdır (Anık 1991).

Tablo 4. 1: TIG Kaynağında Koruyucu Gazın Etkileri (Anık 1991).

Koruyucu Gaz	Tutuşma	Arkın kararlılığı	Dikiş genişliği	Nüfuziyet	Kaynak hızı
Ar	XXX	XXX	XXX	XX	XX
Ar/He karışımı	XXX	XXX	XX	XX	XXX
He	X	X	X	XXX	XXX
He/Ar karışımı25/75	XX	XX	XXX	XX	XXX
He/Ar karışımı50/50	X	X	XX	XXX	XXX
X: zayıf, XX: orta, XXX: kuvvetli					

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, kaynaklı ve kaynaklı olmayan doğal sertlikli 5754 alüminyum alaşımının korozyon deneyi sonrası çekme davranışları incelenmiştir.

İlk olarak ticari amaçlı satılan ve boyutları 1000x2000x3 mm olan alüminyum alaşımı sac, uygun ölçülerde plakalar halinde kesilmiştir. Kesilen plakalardan bir kısmı TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak makinası, otomasyona uyarlanmış olduğu için tüm numunelerde ısı girdisinin eşit olması sağlanmıştır. Kaynaklı birleştirilmesi yapılan plakalar ve kaynak işlemi görmemiş plaka çekme standartlarına uygun geometride lazer yöntemiyle kesilerek kaynaklı ve kaynaklı olmayan numuneler oluşturulmuştur. Kesim sonrası kaynaklı ve kaynaklı olmayan tüm numunelerin taşlama ile çapakları temizlenmiştir ve kütleleri hassas terazide tartılmıştır. Kaynaklı numunelerin kaynak kesiti mikro ve makro boyutta incelenerek belirli aralıklarla mikro-sertlik değerleri ölçülmüştür.

Numuneler, deniz ortamı koşullarına göre tasarlanmış tuz püskürtme testine tabi tutulmuştur. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numuneler, ortam şartları değiştirilmeden farklı korozyon deney sürelerinde 3'erli gruplar halinde kabinden çıkartılmıştır. Her bir numunenin korozyon ürünleri, kimyasal yöntemle uzaklaştırılmıştır. Korozyon hızlarını belirleyebilmek için numunelerin kütleleri hassas terazide tekrar tartılarak korozyon deneyi öncesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm numunelerin korozyon saldırısına uğramış yerel bölgeleri mikro ve makro boyutta incelenmiştir.

Korozyon deneyi sonrası her bir numuneye çekme testi uygulanmıştır. Çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri karşılaştırılmıştır. Çekme deneyi sonrası kırık yüzeylerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Saçılım Spektroskopisi) analizleri yapılmıştır.

5.1 Deney Malzemesi

Doğal sertlikli 5754 alüminyum alaşımı deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Alüminyum alaşımının kimyasal bileşeni ve mekanik özellikleri satın alınan firmadan istenmiştir. Tablo 5.1 5754 Alüminyum alaşımının Kimyasal Bileşeni verilmiştir.

Tablo 5. 1: 5754 Alüminyum alaşımının Kimyasal Bileşeni (% ağırlık) (üretici firma)

MALZEME	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ti	Cr	Zn	Kalan
5754	0,109	0,319	0,266	3,467	0,036	0,014	0,049	0,028	Al

5754 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

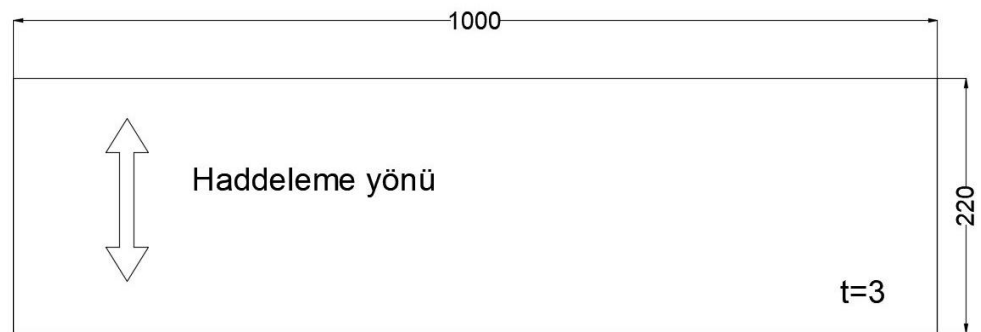
Tablo 5. 2: 5754 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (üretici firma)

Malzeme	Çekme dayanımı Rm	Akma sınırı Rp _{0,2}	Kopma uzaması
Birimi	MPa	MPa	%
5754	237,8	137,7	19,8

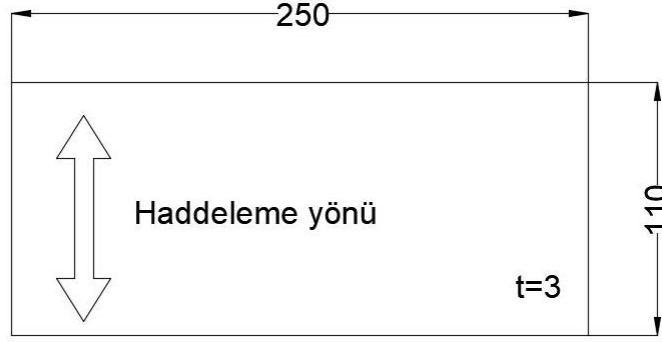
5.2 Deney Plakalarının Hazırlaması

1000x2000x3 mm boyutlarındaki alüminyum alaşımı sac, giyotin makas tablasına sabitlenerek tabla ile sac arasına streç film yerleştirilmiştir. Bu sayede tablanın sacı çizmesi engellenmiştir.

Şekil 5.1’ de ölçüleri verilen (220 mm x1000 mm) plakanın, haddeleme yönüne dik açıda 1 adet kesimi yapılmıştır.



Şekil 5. 1: Kaynaksız numuneler için kesilen plaka



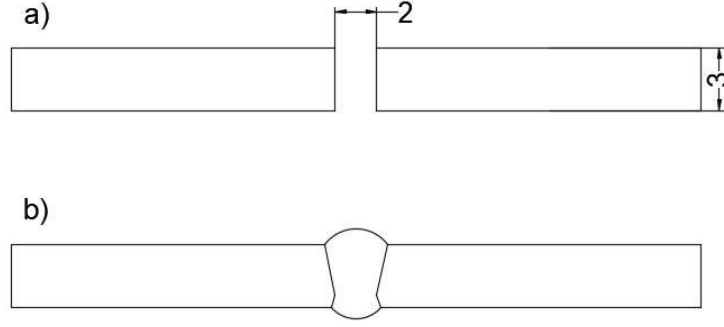
Şekil 5. 2: Kaynaklı numuneler için kesilen plaka

Şekil 5.2' de ölçüleri (250 mm x 110 mm) verilen plakanın haddeleme yönüne dik açıda 8 adet kesimi yapılmıştır. Alüminyumun alaşımının kaynak sırasında çarpılmaması için boyunun 250 mm olması uygun görülmüştür ve tek seferde uzun kaynak dikişlerinden kaçınılmıştır.

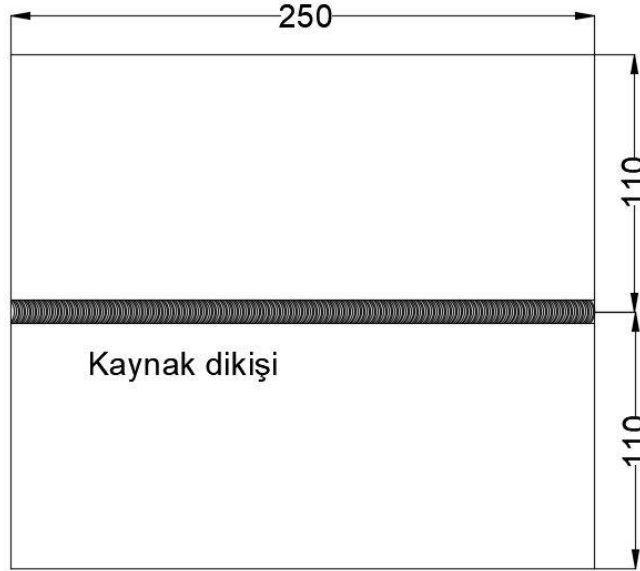
5.3 Kaynak İşlemleri

Kaynak birleştirme yapılacak plakalara kaynak ağzı açılmamıştır. Kaynak dikişinin yapılacağı yüzeylere önce asetonla kimyasal temizlik yapılarak ardından döner paslanmaz zımpara yardımıyla oksit giderme işlemi yapılmıştır. Oksit tabakanın ergime sıcaklığı alüminyum alaşımının ergime sıcaklığından çok yüksektir. Kaynak sırasında parçalanmış oksit partikülleri kaynak dikişine geçerek kaynak hataları oluşmasına neden olmaktadır (Akıncı 2008). Oksit giderme işlemi sayesinde bu hatanın önüne geçilmiştir.

Şekil 5. 3' te kaynağı yapılacak iki plakanın kaynak boşluğu mesafesi ile kaynak geometrisi verilmiştir. Plakalar arası 2 mm boşluk olacak şekilde kaynak tezgâhına sabitlenmiştir. Sabitleme işlemi 4 noktadan yapılmıştır (Şekil 5. 5) ve kaynak esnasında çarpılmalar engellenmeye çalışılmıştır. Plakalar çift taraflı küt alın kaynak pozisyonunda yapılmıştır.



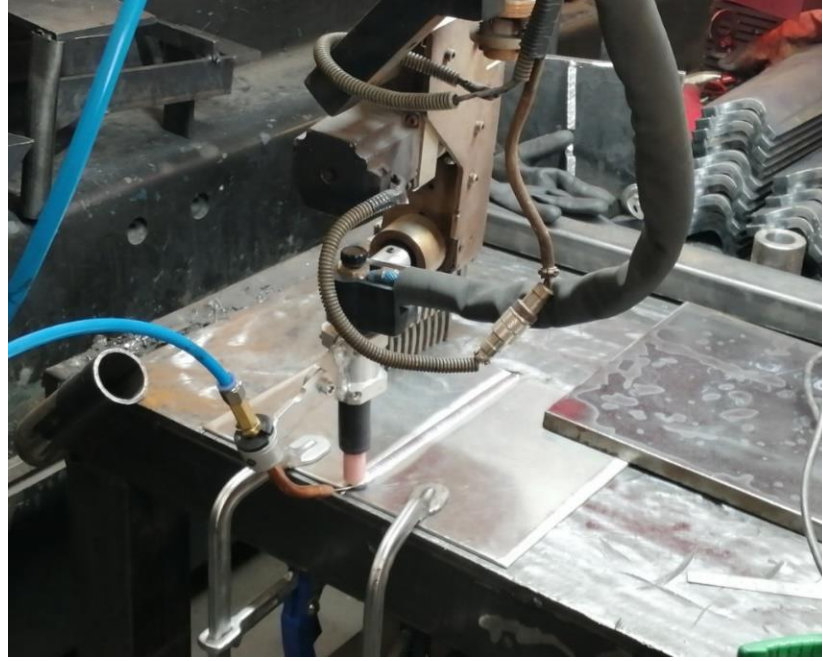
Şekil 5. 3: a) Kaynak boşluğu, b) Kaynak geometrisi



Şekil 5. 4: Kaynaklı plakaların ölçüleri

Şekil 5. 4'te kaynaklı plakaların ölçüleri (220 mm x 250 mm) verilmiştir. Toplam 4 tane kaynaklı plaka oluşturulmuştur.

Şekil 5.5'te kaynak otomasyonu verilmiştir. Kullanılan kaynak yöntemi TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağıdır. Gazaltı kaynak makinası besleme sistemi, kaynak otomasyonuna entegre edilmiştir ve bu sayede tel beslemesi kaynakçı tarafından elle yapılmamıştır. Kaynak telinin sürüldüğü kıvrımlı bir bakır boru, kaynak torcuna sabitlenmiştir ve kaynak torcuyla beraber hareket etmesi sağlanmıştır.



Şekil 5. 5: Kaynak otomasyonu ve plakaların sabitlenmesi

1,6 mm çapında ER5356 (AlMg5) kaynak dolgu teli kullanılmıştır. Kaynak dolgu telinin kimyasal bileşimi Tablo 5. 3'te verilmiştir.

Tablo 5. 3: Kaynak dolgu telinin kimyasal bileşimi (üretici firma)

	Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Cu	Ti	Be	Zn	Kalan
ER5356	<0,25	4,9	0,05-0,20	<0,40	0,05-0,20	<0,10	0,06-0,20	<0,0003	<0,10	Al

Tablo 5. 4: Kaynak telinin mekanik özellikleri (üretici firma)

	Akma sınırı [MPa]	Çekme dayanımı [MPa]	Kopma uzaması [%]	Ergime sıcaklığı [°C]
ER5356	110-120	240-290	17-26	562 - 633

ER5356 kaynak dolgu telinin mekanik özellikleri Tablo 5. 4'te verilmiştir.

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen plakalarda kullanılan kaynak parametreleri Tablo 5. 5'te verilmiştir. Kaynak parametreleri tüm plakalarda sabit tutulmuştur. Bu sayede farklı ısı girdilerinin önüne geçilmiştir.

Tablo 5. 5: TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler

Malzeme	5754
Kaynak dolgu teli malzemesi	ER5356
Kaynak dolgu teli çapı [mm]	1,6
Akım değeri [A]	150
Gerilim değeri [V]	12
Kaynak hızı [mm/min]	170
Akım türü	AC
Kaynak modu	Darbeli
Koruyucu gaz	Argon
Gaz debisi [L/min]	15

TIG kaynağında 2,4 x 175 mm yeşil renkli saf Tungsten elektrodu kullanılmıştır. Nozul çapı 9,5 mm'dir.

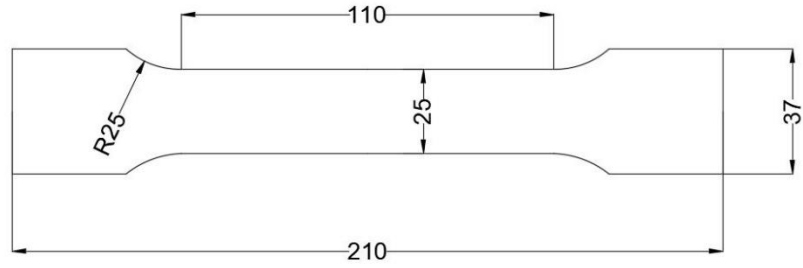


Şekil 5. 6: Kaynak dikişinin resmi

Kaynak dikişi Şekil 5 .6'da gösterilmiştir. Tüm kaynak dikişleri gözle muayene edilmiştir ve herhangi bir kaynak hatası görülmemiştir.

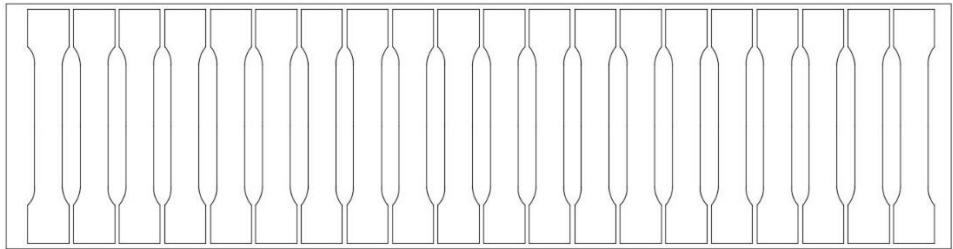
5.4 Numunelerin Plakaya Yerleşimi ve Kesilmesi

Kaynaklı ve kaynaklız numunelerin geometrik ölçüleri TS EN ISO 4136 standartlarına göre belirlenmiştir. Şekil 5.7’de, çekme numunesine ait ölçüler verilmiştir.

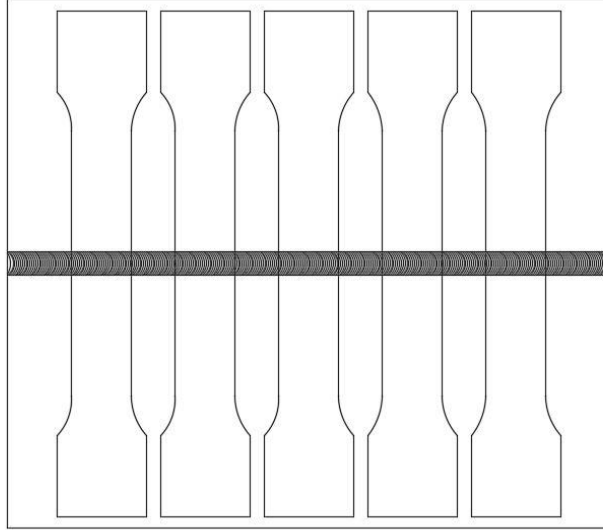


Şekil 5. 7: Çekme deney numunesi

Çekme deney numuneleri, kaynaklı ve kaynaklız levhalara haddeleme yönüne paralel, iki numune arası 6 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir ve lazer kesim yöntemi ile kesimi yapılmıştır. Şekil 5.8’de kaynaklız numunelerin plakaya yerleşimi gösterilmiştir. Bu plakaya toplam 20 adet kaynaklız numune yerleştirilmiştir. İlk numune ve son numunenin kısa kenarlara olan uzaklığı 20 mm, tüm numunelerin uzun kenarlara olan uzaklığı ise 5 mm’dir.



Şekil 5. 8: Kaynaklız numunelerin yerleşimi



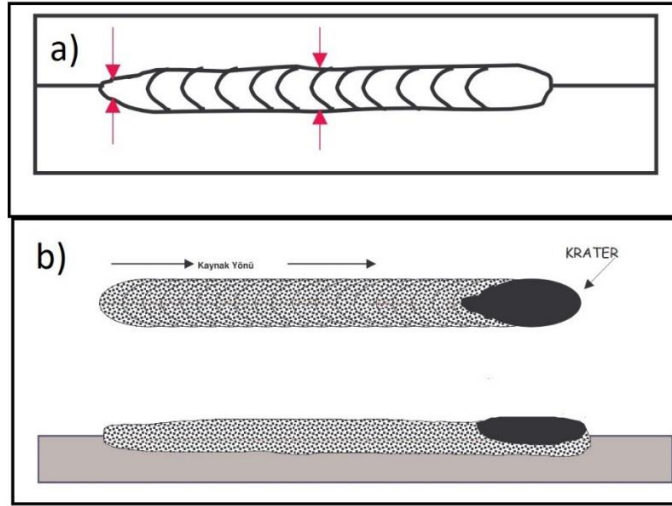
Şekil 5. 9: Kaynaklı numunelerin yerleşimi

Şekil 5.9'da kaynaklı numunelerin plakaya yerleşimi gösterilmiştir. Numuneler haddeleme yönüne paralel kesilmiştir. Her bir kaynaklı plakaya 5 numune yerleştirilmiştir ve toplam 20 adet kaynaklı numune oluşturulmuştur. Kaynaksız numunelerde olduğu gibi tüm numunelerin birbirine olan uzaklığının eşit olması sağlanmıştır.

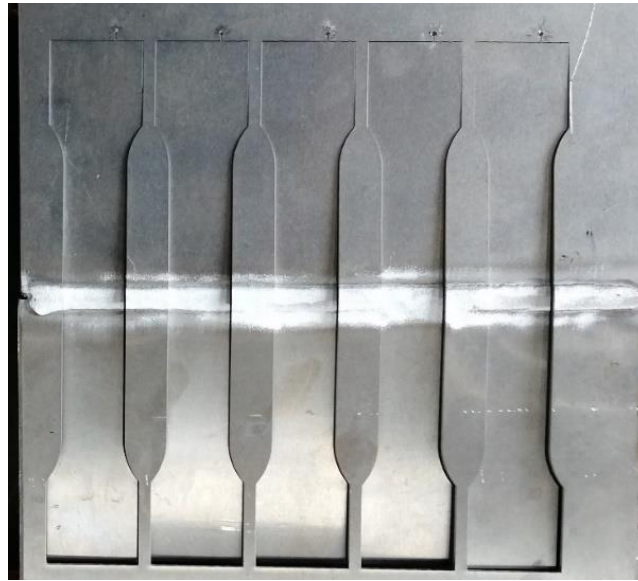
Elektrik ark yöntemiyle birleştirilen kaynaklı yapıların kaynak dikişlerinde, kaynak hatalarının büyük çoğunluğu başlangıç ve bitiş noktalarında görülmektedir. Bu hatalar başlangıç ve bitiş noktalarında yeterli kaynak dolgu telinin yığılmamasından kaynaklanır. Kaynak başlangıcında yetersiz kalınlıkta kaynak dikişi oluşur. Kaynak bitişinde ise benzer bir durum olan kaynak krateri meydana gelir (Komaç 2009).

Şekil 5. 10'da kaynak başlangıç ve bitiş noktalarında görülen hataların şematik resmi verilmiştir. Yetersiz dikişi kalınlığı (Şekil 5.10a) ve kaynak krateri (Şekil 5.10b) gösterilmiştir.

Kaynaklı ve kaynaksız tüm numuneler, kaynak başlangıç ve bitiş noktalarına uygun mesafede (20 mm) yerleştirildiği için olası kaynak hatalarının oluşması engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. 10: kaynak başlangıç ve bitiş nokta hataları a)kaynak başlangıcı b)kaynak bitışı (Komaç 2009)



Şekil 5. 11: Kaynaklı numunelerin oluşturulması

Şekil 5.11’de kaynaklı birleştirilen bir plakanın lazer kesim sonrası resmi verilmiştir. İlk ve son numune, kaynak başlangıç ve bitiş noktasındaki kaynak hatalarından etkilenmemiştir. Lazerle kesimi yapılarak plakalardan çıkarılan tüm çekme deneyi numuneleri kesim yüzeyleri taşlanmıştır ve kesim çapakları uzaklaştırılmıştır.

Tüm numunelerin korozyon hızlarını belirlenebilmek için kütleleri (1/1000 hassasiyetli) dijital hassas tartı ile tartılmıştır. Tartım sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınarak kaydedilmiştir.

5.5 Mikro-Makro İçyapı İncelemesi

Kaynak dikişine dik kesitte olan numunenin mikro-makro yapıları dağlama sonrası incelenmiştir.

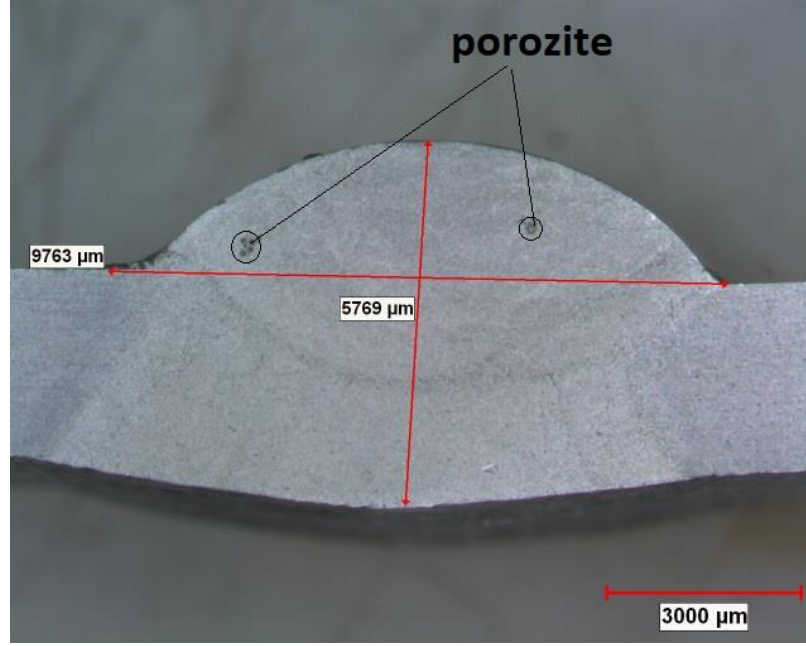
Bakalite almaya ihtiyaç duymadan su zımparası ile (120-240-400-600-800-1000-1200 numaralı SiC zımpara kâğıdı kullanılarak) zımparalanmış, 3 µ'luk elmas tozlu süspansiyon ile parlatılmıştır. Ayna parlaklığı elde edene kadar bu işlem devam etmiştir. 2g NaOH + 100ml saf su ile çözelti hazırlanarak 20 saniye boyunca dağlanmıştır. Dağlama öncesi parlatılmış numune Şekil 5. 12' de verilmiştir.



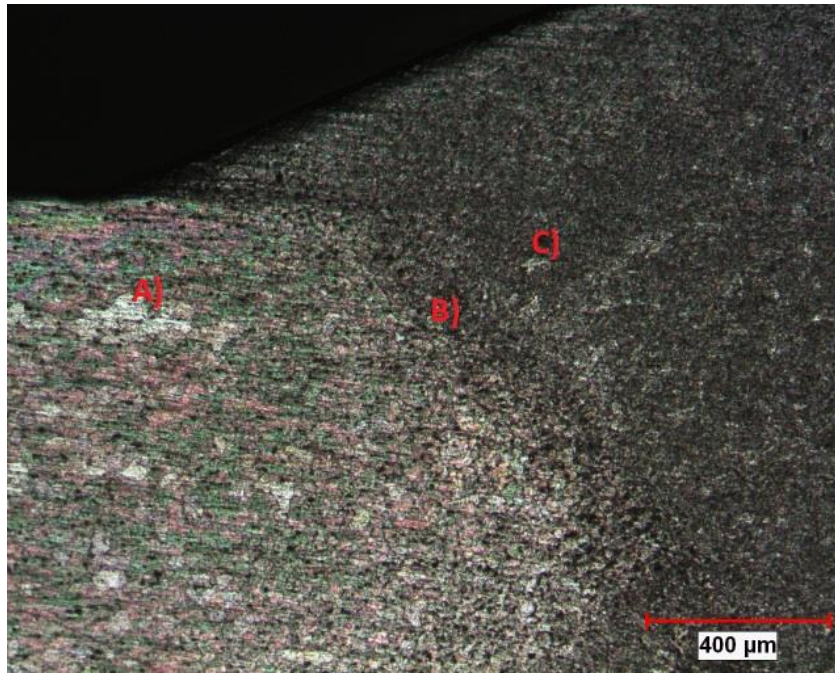
Şekil 5. 12: Parlatılmış numune

Dağlama işleminden sonra kaynaklı numuneye stereo mikroskobu (Şekil 5. 20) kullanarak 7,5 katlı büyütme oranında bakılmıştır ve kaynak kesiti makro boyutta Şekil 5. 13' te verilmiştir. Kaynak kesitinde iki adet porozite kaynak hatası görülmüştür. Porozite oluşumu, hidrojen çözünürlüğünün sıvı alüminyum alaşımında katıya göre çok yüksek olmasından kaynaklanır. Hidrojen, kaynaklı birleştirme yapılırken katılaşmaya başlayan kaynak dikişinde kendini gaz boşluğu olarak gösterir (Köse 2011). Porozite

oluşumu dışında yetersiz kaynak nüfuziyet hatası görülmemiştir, kaynaklı birleşim tam nüfuziyetle gerçekleşmiştir. Tam nüfuziyetin sağlanması kaynaklı birleştirme sırasında kaynak parametrelerinin doğru seçildiğini kanıtlamıştır. Çekme deneyinde kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinden hasara uğramaması da porozite sınırının makul seviyede olduğunu göstermiştir.



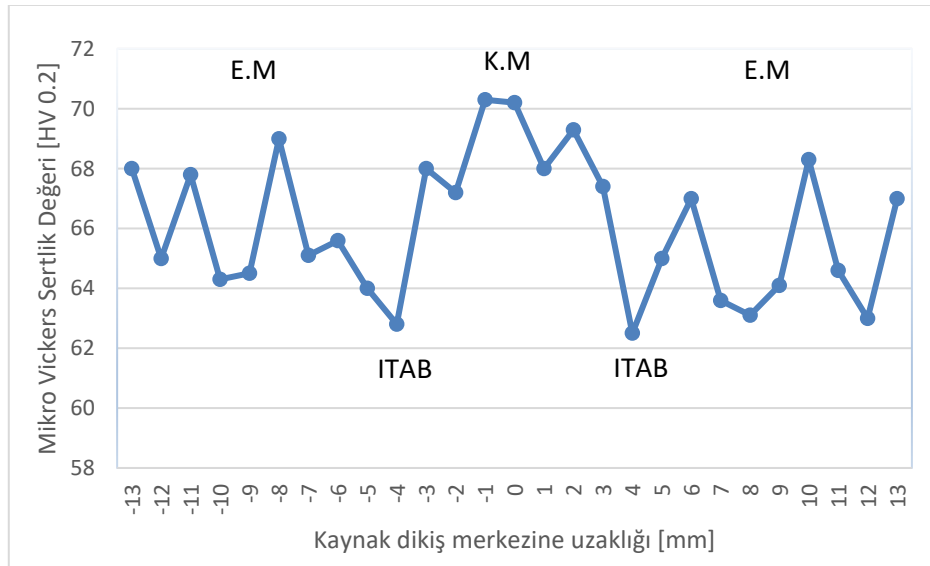
Şekil 5. 13: Kaynak geometrisi



Şekil 5. 14: Kaynaklı numunenin mikroyapısı A) esas metal, B) geçiş bölgesi, C) kaynak metali

Kaynaklı numunenin esas metal, kaynak dikişi geçiş bölgesi ve kaynak metalinin mikro iç yapısı 50 kat oranında büyütülerek Şekil 5. 14' te verilmiştir. Şekil 5. 14B)'de ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) bölgesi gösterilmiştir. Bu bölgede, kaynaklı birleştirme sonrası oluşan artık gerilmeler ve esas metalin yapısını değiştiren metalürjik dönüşümler, korozyon direncini düşürmektedir. ITAB bölgesi, mekanik dayanım ve korozyon direnci için düşüşlerin yaşanabileceği bölgelerden biridir (Welding, Brazing and Soldering 1993).

5.6 Mikro-Sertlik Ölçümü



Şekil 5. 15: kaynaklı numunenin mikro sertlik grafiği

Mikro-makro incelemesinden sonra parlatılmış kaynaklı numunenin mikro sertlik ölçümü yapılmıştır. Kaynak dikişinin orta noktası 0 kabul edilmiştir ve 1 mm ara ile 200 g 5 s uygulanarak mikro sertlik deneyi gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik grafiği Şekil 5. 15' te gösterilmiştir.

Mikro sertlik deneyi sonucunda, esas metal, ITAB ve kaynak metal bölgelerinde aşırı bir dalgalanma görülmemiştir ve üniform bir grafik dağılımı sergilenmiştir. Esas metal doğal sertlikli olduğu için ITAB bölgelerinde anlamlı düşüşler görülmemiştir. Çekme testinde numunenin esas metalden hasara uğraması bununla ilgilidir.

5.7 Korozyon Deneyi

İnce bir film tabakası altında kaynaklı ve kaynaklı numunelerin deniz suyu ortamındaki davranışları Tuz Püskürtme Test Kabininde incelenmiştir. Deney “ASTM B117” standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. C+W marka “Salt Spray Cabinet SF 200” model test kabini kullanılmıştır. Şekil 5. 16’te korozyon cihazının resmi verilmiştir.



Şekil 5. 16: Salt Spray Cabinet SF 200

Korozyon parametreleri Tablo 5. 6’da verilmiştir. Parametreler ASTM B117 standartlarına göre seçilmiştir.

Tablo 5. 6: Korozyon deneyi parametreleri

Kabin içi Bağıl Nem Oranı [RH]	Nemlendirici Kule Sıcaklığı [°C]	Giriş Hava Basıncı [Bar]	Çözelti Debisi [L/h]	Çözelti pH Değeri	Test Odası Sıcaklığı [°C]
%98-95	48	1,2	0,5	6,5-7	35

Çözelti, 95 mL su ve 5 g NaCl tuz ile %5 derişimli hazırlanmıştır. İlgili standarda göre özel tuz kullanılmıştır. Çözelti ve kabin içinde biriken suyun pH değerleri 3 gün arayla kontrol edilmiştir. Şekil 5. 17’de pH ölçümlerinde kullanılan pH metrenin resmi verilmiştir. Tüm parametrelerin standart aralığında olmasına özen gösterilmiştir. Deney boyunca parametre değerleri değiştirilmemiştir.



Şekil 5. 17: Deneyde kullanılan pH metre

Tuz püskürtme deney süreleri için EN ISO 9227 standardına başvurulmuştur. İlgili standarttan tavsiye edilen 480, 600, 720, 840 ve 1000 saat olmak üzere 5 farklı deney süresi belirlenmiştir.

Numuneler, numune rakına Şekil 5.18’de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Şekil 5.18’de numune raklarının konumu verilmiştir. Ortada bulunan iki rakın konumu, kabin içinde tuz sisi olarak dağılan çözeltinin sirkülasyonuna engel olmayacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 5. 18: Numunelerin numune rakına yerleştirilmesi

Korozyon deney süresi tamamlanan kaynaklı-kaynaksız numuneler sırasıyla 3'erli gruplar halinde kabinden çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler saf su ile bol suda durulanmıştır, kurutulmuştur ve asetonla temizlenmiştir. Numune isimleri, temizlik sonrası numunelerin üzerine belirli bir kurala göre yazılmıştır.

Xh Sx: X korozyon süresini, S kaynaklı numune olduğunu ve x ise numune numarasını göstermektedir.

Xh WSx: X korozyon süresini, WS kaynaklı numune olduğunu ve x ise numune numarasını göstermektedir.

Örneğin, **600h WS2**: Korozyon deney süresi 600 saat olan 2 numaralı kaynaklı numuneyi temsil etmektedir.

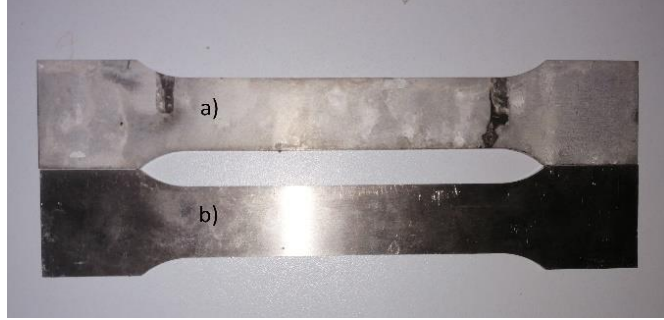
Tablo 5. 7: Numune isimleri

Kaynaklı ve Kaynaksız Korozyon Numune İsimleri		
Kaynaksız numuneler	Kaynaklı numuneler	Korozyon süreleri
480h S1	480h WS1	480 saat
480h S2	480h WS2	480 saat
480h S3	480h WS3	480 saat
600h S1	600h WS1	600 saat
600h S2	600h WS2	600 saat
600h S3	600h WS3	600 saat
720 h S1	720 h WS1	720 saat
720 h S2	720 h WS2	720 saat
720 h S3	720 h WS3	720 saat
840 h S1	840 h WS1	840 saat
840 h S2	840 h WS2	840 saat
840 h S3	840 h WS3	840 saat
1000 h S1	1000 h WS1	1000 saat
1000 h S2	1000 h WS2	1000 saat
1000 h S3	1000 h WS3	1000 saat

Korozyon deneyinin tamamlanmasının ardından tüm numunelerin resimleri, deney süreleri eşit olan kaynaklı ve kaynaksız gruplar halinde çekilmiştir.

İlk aşamada, numunelerin tüm yüzeyi genel korozyona uğrayarak parlaklığını kaybetmiştir ve mat bir renge dönüşmüştür. Şekil 5. 19' da korozyon deneyine maruz kalmış bir numune ile lazer kesimi sonrası çapağı taşlanmış bir numunenin karşılaştırılması yapılmıştır.

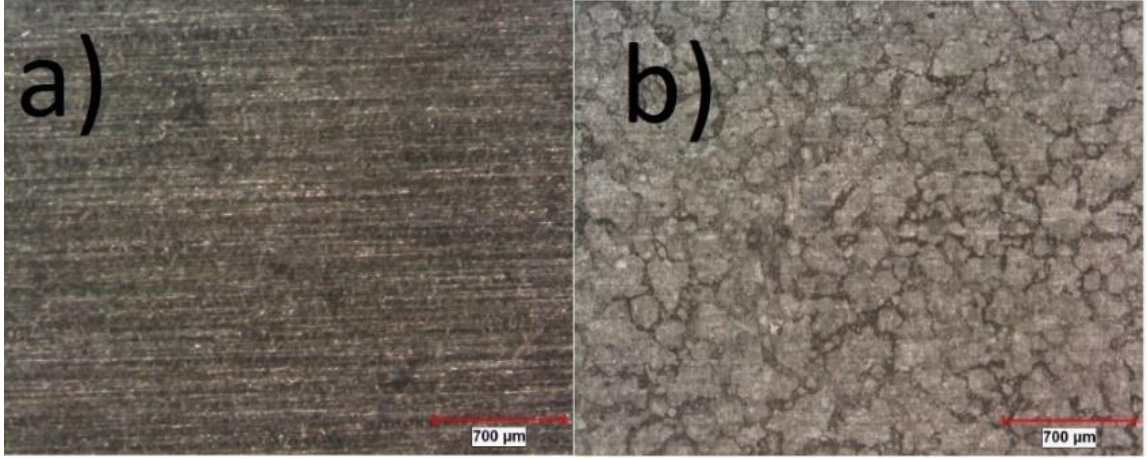
Şekil 5. 21'de genel korozyonun olduğu bir yüzey ile korozyon testine girmeyen bir numunenin yüzeyi 30 kat oranında büyütülerek mikro boyutta incelenmiştir. Genel korozyon ile tüm yüzeylerde mikro boyutta çukurcuklar meydana gelmiştir ve ışığın yansınması yüzeylerde kırılarak metal parlaklığını kaybetmiştir.



Şekil 5. 19: Numune yüzeylerinin karşılaştırılması a) korozyona uğramış numune, b) korozyon testine maruz kalmamış numune

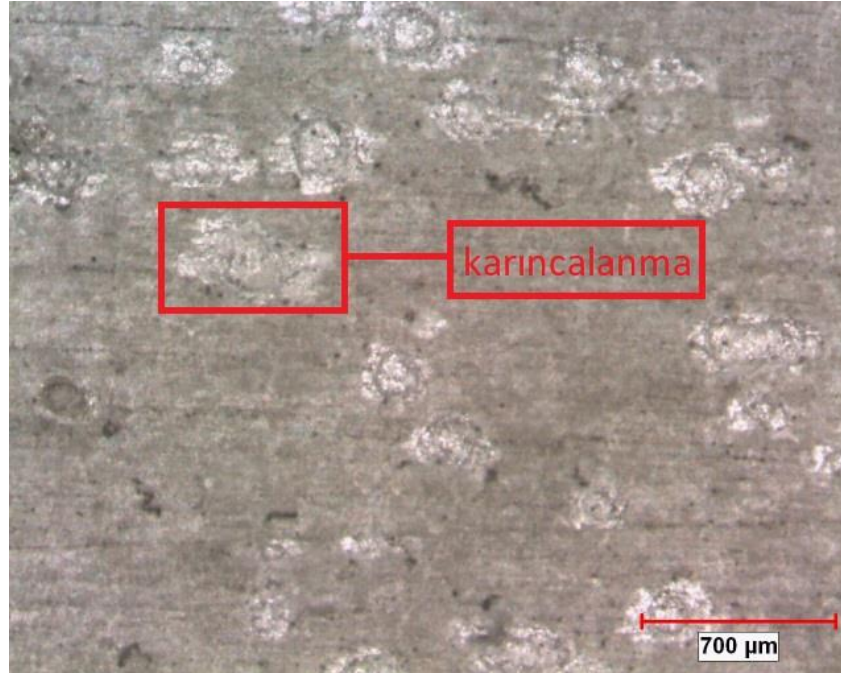


Şekil 5. 20: Nikon marka SMZ1500 model stereo mikroskop



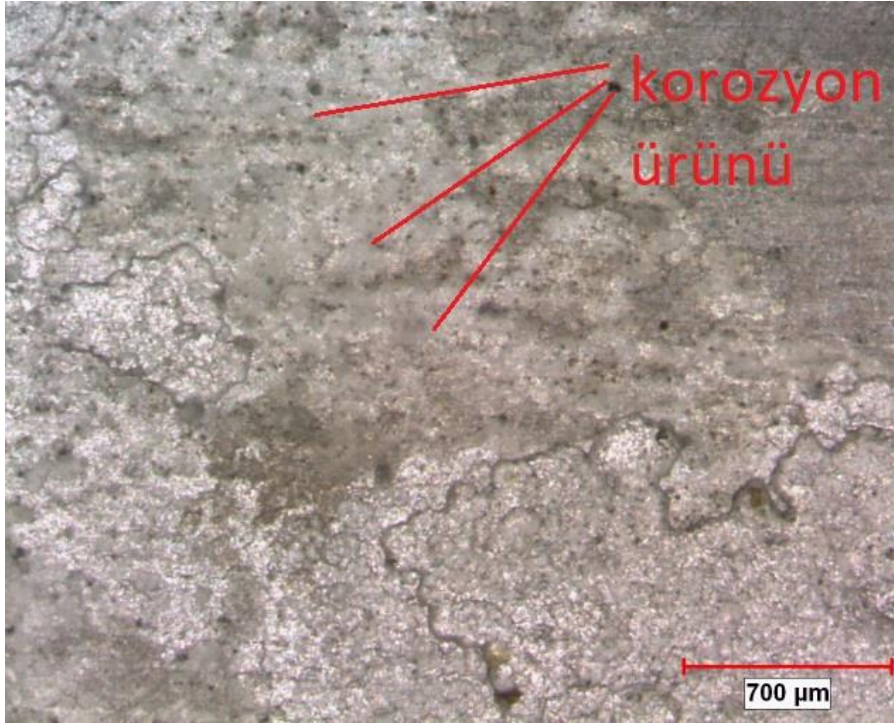
Şekil 5. 21: Numune yüzeylerinin mikro boyutta karşılaştırılması a) korozyona testine maruz kalmamış numune, b) genel korozyona uğramış numune (1000 saat)

İlk aşamada, genel korozyon ile mat bir görünüme sahip olan numuneler ikinci aşamada korozyon deney süresinin artmasıyla yerel korozyona uğramıştır. Şekil 5. 22’de 480 saat korozyon deneyine tabi tutulan bir numunenin yerel korozyon bölgesi 30 kat oranında büyütülerek verilmiştir. Yerel korozyon bölgesi karıncalanma şeklinde başlamıştır.



Şekil 5. 22: Karıncalanma (480 saat)

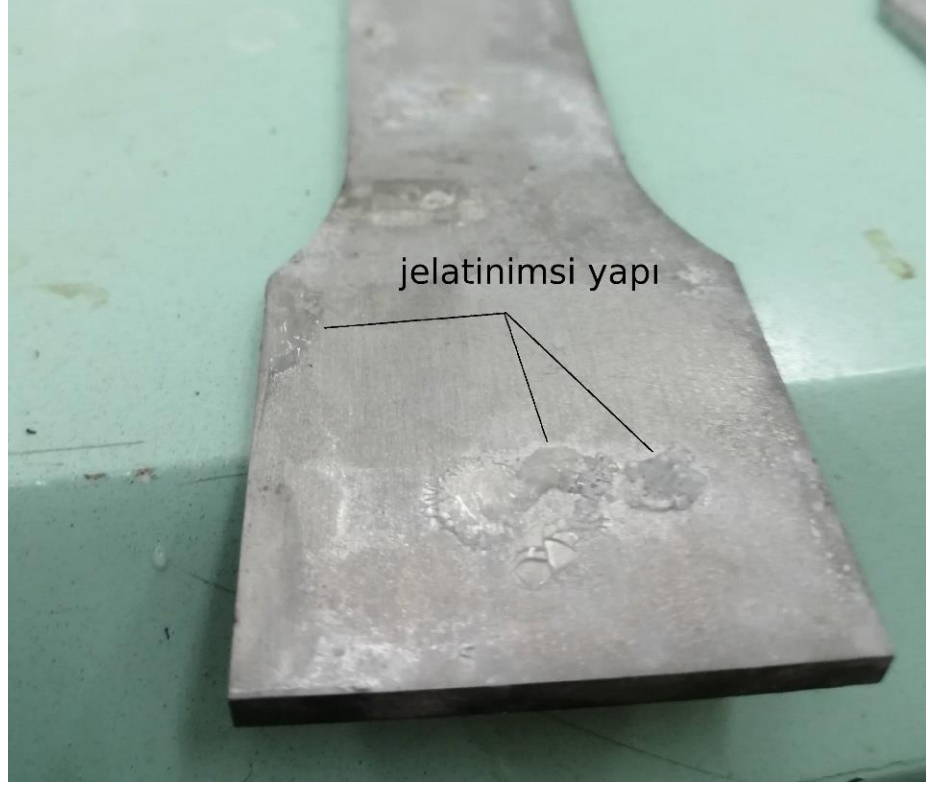
Karınçalanma, geçen korozyon deneyi süresi ile alanını arttırmıştır ve diğer karınçalanmanın olduğu bölgeler ile birleşerek çukurcuk şeklini almıştır. Şekil 5. 23'te 480 saat korozyon deneyine maruz bırakılmış bir numunenin çukurcuk bölgesi 30 kat oranında büyütülerek gösterilmiştir. Çukurcuk bölgede beyaz renkli korozyon ürünü $Al(OH)_3$ görülmüştür.



Şekil 5. 23: Çukurcuk Korozyonu (480 saat)

Çukurcuk korozyonunda çukurcuğun içinde ve etrafında korozyon ürünleri oluşur. Bunlardan bir tanesi beyaz jelatinimsi yapıda olan $Al(OH)_3$ 'tir. Bu jelatinimsi yapı zamanla hacmini artırır ve çukurcuğun üzerini örter (Corrosion resistance of aluminium and protective measures where appropriate 2011). Şekil 5.24'te korozyon deneyi sonrası bir numunenin durulaması ve asetonla temizliği yapılmadan önceki hali (jelatinimsi yapı) gösterilmiştir.

Jelatinimsi yapı $Al(OH)_3$, suyunu kaybettiğinde yerel korozyona uğramış yüzeye yapışır ve beyaz renkte görülür (Vargel 2004). Şekil 5. 23'te $Al(OH)_3$ korozyon ürünü gösterilmiştir.

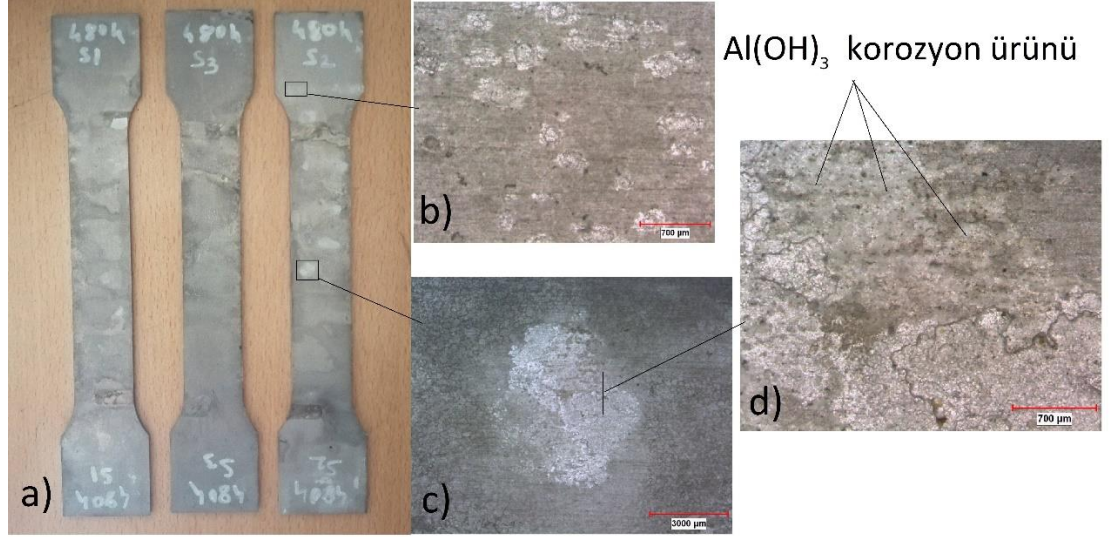


Şekil 5. 24: Jelatinimsi korozyon ürünü olan $Al(OH)_3$

Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin korozyon sonrası tüm yüzeyleri saf suyla durulanmıştır ve ardından asetonla kimyasal temizliği yapılarak korozyon ürünlerinin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Korozyon ürünü olarak sadece yüzeye yapışan ürünler kalmıştır.

Korozyon ürünlerinin uzaklaştırılmasından sonra genel korozyona uğramış tüm numunelerin resimleri verilmiştir. Kaynaklı olmayan numunelerin yerel korozyon bölgeleri ile kaynaklı numunelerin kaynak dikişi çevresindeki yerel korozyon bölgeleri mikro boyutta gösterilmiştir. Mikro boyuttaki resimler, makro boyuttaki resimler ile bitişik ve bağlantılı olarak verilmiştir.

Kaynaklı ve kaynaklı olmayan tüm numunelerin makro boyuttaki çukurcuk korozyonu benzer özellik taşımaktadır. Korozyon deney süresinin uzamasıyla çukurcuk derinliği, çukurcuk alanı ve korozyon ürünlerin çeşitliliği artmıştır. Kaynaklı numunelerde Kaynak dikişi çevresindeki yerel korozyonunun, diğerlerinden farklı olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde görülen yerel korozyonun mikro boyutta olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 25: 480 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklız numuneler, b) 30X, c) 7,5X, d) 30X

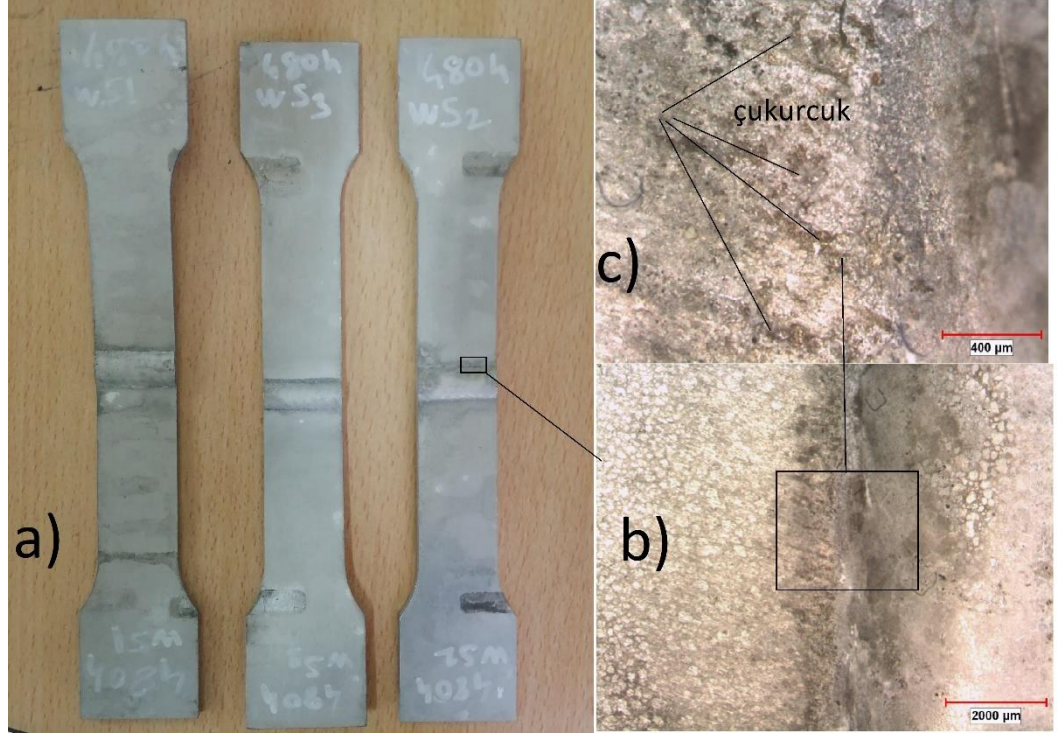
Şekil 5. 25'te 480 saat korozyon deneyine tabi tutulan kaynaklız numunelerin resmi verilmiştir.

Şekil 5. 25a)'da kaynaklız 3 adet numunenin tüm genel korozyonlu yüzeyleri gösterilmiştir. Tüm yüzeyler, korozyon deneyi sonrası parlaklığını kaybetmiştir ve mat renge dönüşmüştür.

Şekil 5. 25b)'de yerel korozyona uğramış S2 numunesinin karıncalanmış yüzeyi 30 kat büyütülerek verilmiştir. Düzensiz bir dağılımı olan karıncalanmanın sayısı ve boyutu korozyon deney süresine bağlı olarak çukurcuk oluşumuna neden olmuştur. Karıncalanmış yüzeylerde korozyon ürününe rastlanmamıştır.

Şekil 5. 25c) 'de S2 numunesine ait yerel korozyonlu bir bölge 7,5 kat oranında büyütülerek verilmiştir. Bu bölgede karıncalanma daha erken başlamıştır. Karıncalanma 480 saat korozyon deney süresi boyunca çukurcuğa dönüşmüştür. Bu çukurcuk bölgesi 30 kat büyütülerek daha ayrıntılı Şekil 5. 25d) 'de verilmiştir.

Şekil 5. 25d)' de yerel korozyon türü olan çukurcuk bölgesinin sınır hatları daha belirgin bir şekilde görülmüştür. Çukurcuk çevresinde yoğun miktarda korozyon ürünü $Al(OH)_3$ tespit edilmiştir.

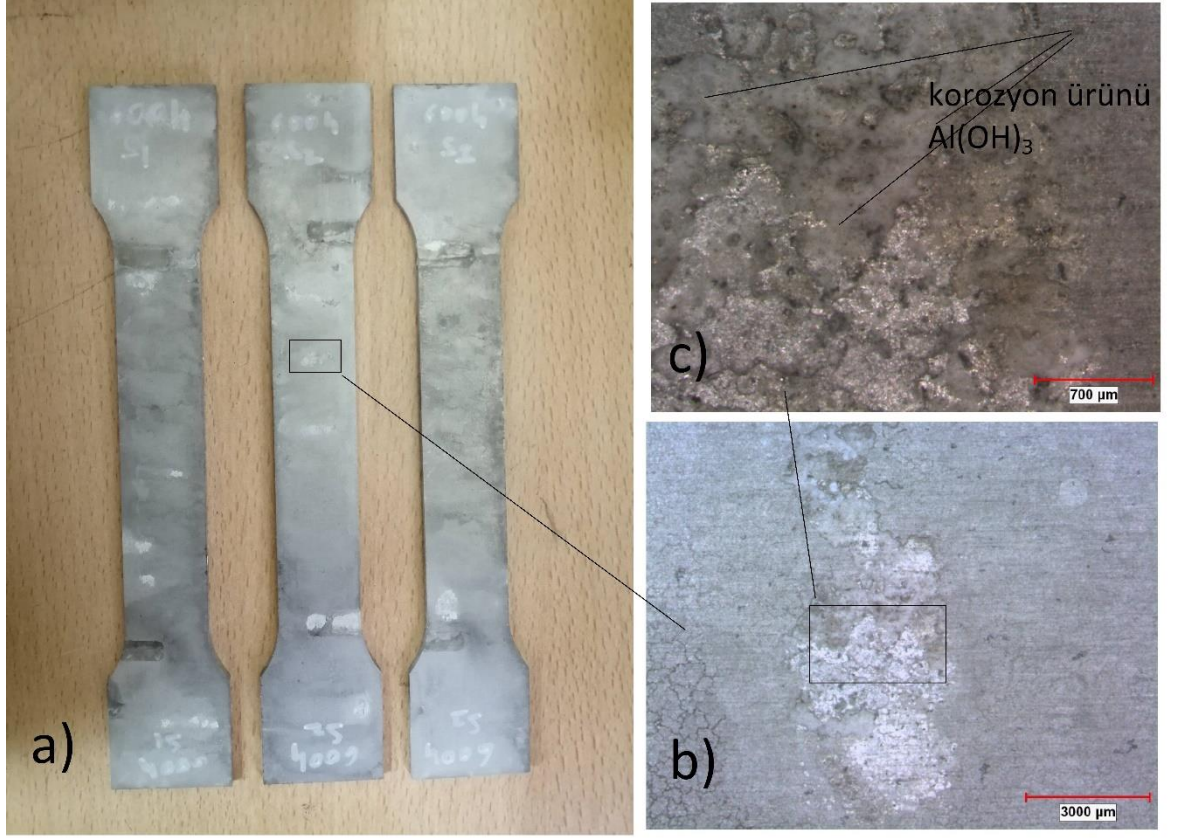


Şekil 5. 26: 480 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 26'da korozyon deney süresi 480 saat olan kaynaklı numunelerin resmi verilmiştir.

Şekil 5. 26a)'da 3 adet kaynaklı numunenin genel korozyona uğramış tüm yüzeyleri gösterilmiştir. Kaynak dikişi üzerinde ve çevresinde, makro boyutta herhangi bir korozyon türü ve korozyon ürünü tespit edilmemiştir. Kaynak dikişi haricinde görülen yerel korozyon, kaynaklı numunelerde görülen korozyon ile benzerdir. Bu yüzden kaynaklı numunelerde sadece kaynak dikişi çevresindeki korozyon türü mikro boyutta incelenmiştir.

Şekil 5. 26b)'de WS2 numunesinin kaynak dikişi çevresi 7,5 kat oranında büyütülerek verilmiştir. Kaynak dikişi çevresi özellikle ITAB bölgesi 30 kat büyütülmüştür ve Şekil 5. 26c)'de gösterilmiştir. ITAB bölgesi yakınlarında esas metal üzerinde koyu renkli mikron boyutta çukurcuk korozyonu tespit edilmiştir. Korozyon ürünü $Al(OH)_3$ 'e rastlanılmamıştır.



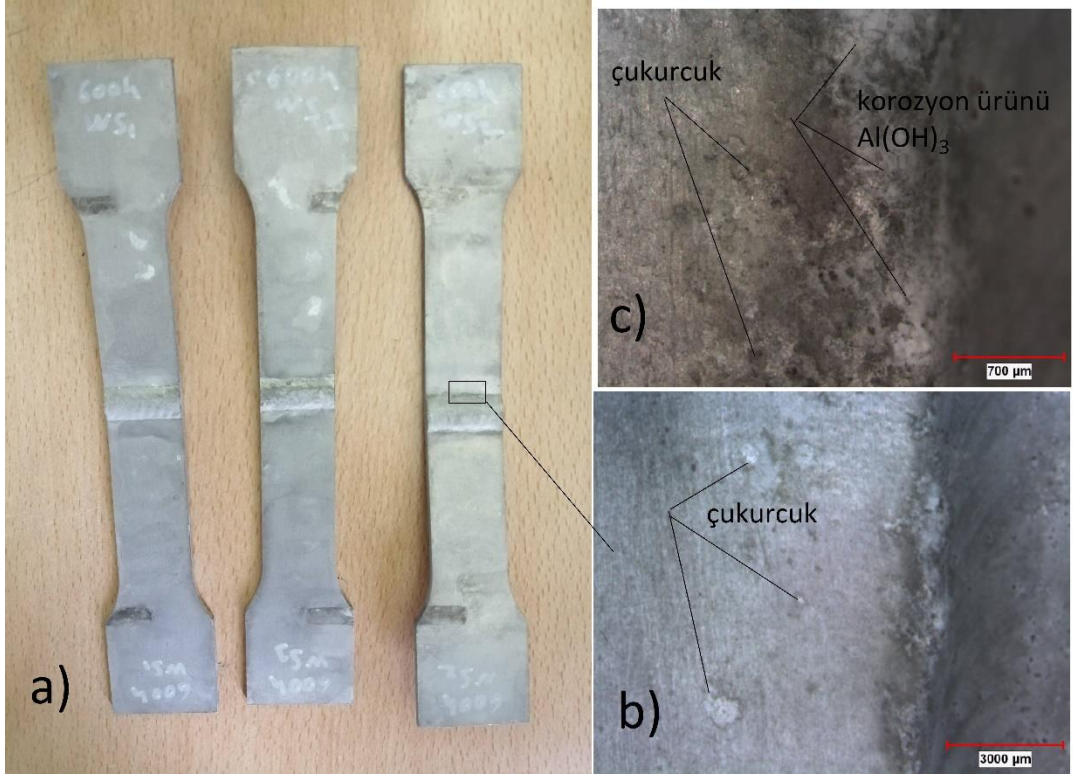
Şekil 5. 27: 600 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklız numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 27’de korozyon deney süresi 600 saat olan kaynaklız numunelerin resmi gösterilmiştir.

Şekil 5. 27a)’da 3 adet kaynaklız numunenin tüm korozyonlu yüzeyleri verilmiştir. Yüzeylerin birçok bölgesinde yerel korozyon bölgeleri görülmüştür.

S2 numunesinde görülen bir yerel korozyon bölgesi, 7,5 kat büyütülerek Şekil 5. 27 b)’de gösterilmiştir.

5. 27b)’de gösterilen numunenin yerel korozyon bölgesi, korozyon deney süresi 480 saat olan numuneye (Şekil 5. 25c) göre daha geniş bir alanı kaplamıştır. Bu bölgedeki yerel korozyonu daha ayrıntılı incelemek için çukurcuk bölgesi 30 kat oranında büyütülmüştür ve Şekil 5. 27c)’de gösterilmiştir. Korozyon ürünü $Al(OH)_3$ daha yoğun olarak görülmüştür. Korozyon deney süresi korozyon ürünün miktarını ve alanını arttırmıştır.



Şekil 5. 28: 600 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

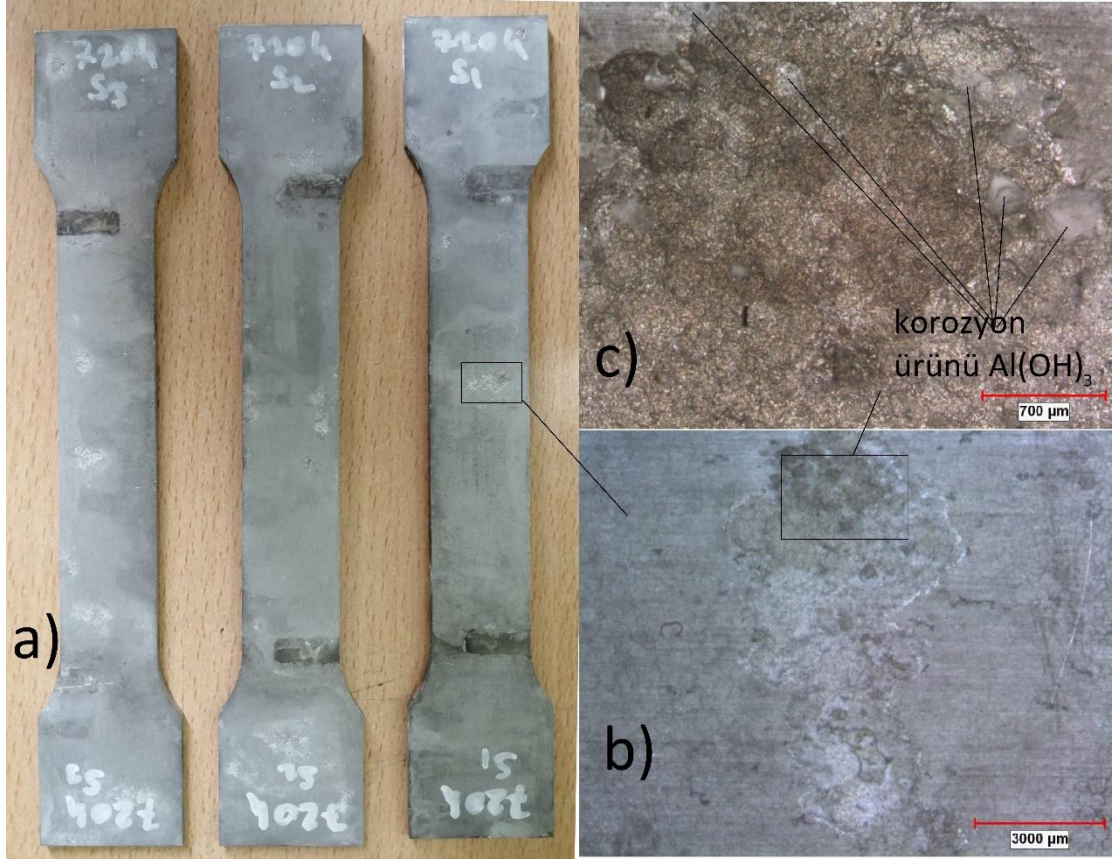
Şekil 5. 28’de korozyon deney süresi 600 saat olan kaynaklı numunelerin resmi verilmiştir.

Şekil 5. 28a)’da 3 adet numunenin tüm korozyona uğramış yüzeyleri gösterilmiştir. Numunelerin birçok bölgelerinde yerel korozyon bölgeleri tespit edilmiştir.

WS2 numunesinin kaynak dikiş çevresi 7,5 kat oranında büyütülerek Şekil 5. 28b)’de verilmiştir. Kaynak dikişi yakınlarında esas metalde küçük alanlı çukurcuklar görülmüştür. Diğer çukurcuklara oranla kapladığı alan küçüktür ve etrafında korozyon ürününe rastlanılmamıştır.

Kaynak dikişi çevresi 30 kat oranında büyütülmüştür ve Şekil 5. 28c)’de verilmiştir. Kaynak dikişine paralel yerel korozyon bölgesi görülmüştür. Beyaz renkli olan $Al(OH)_3$ korozyon ürünü yoğun şekilde tespit edilmiştir. Esas metalde ITAB bölgesi yakınlarında küçük alanlı çukurcuklara rastlanılmıştır. Korozyon deney

süresinin uzaması, kaynak dikişi çevresinde mikro boyutta çukurcukların oluşmasına neden olmuştur.



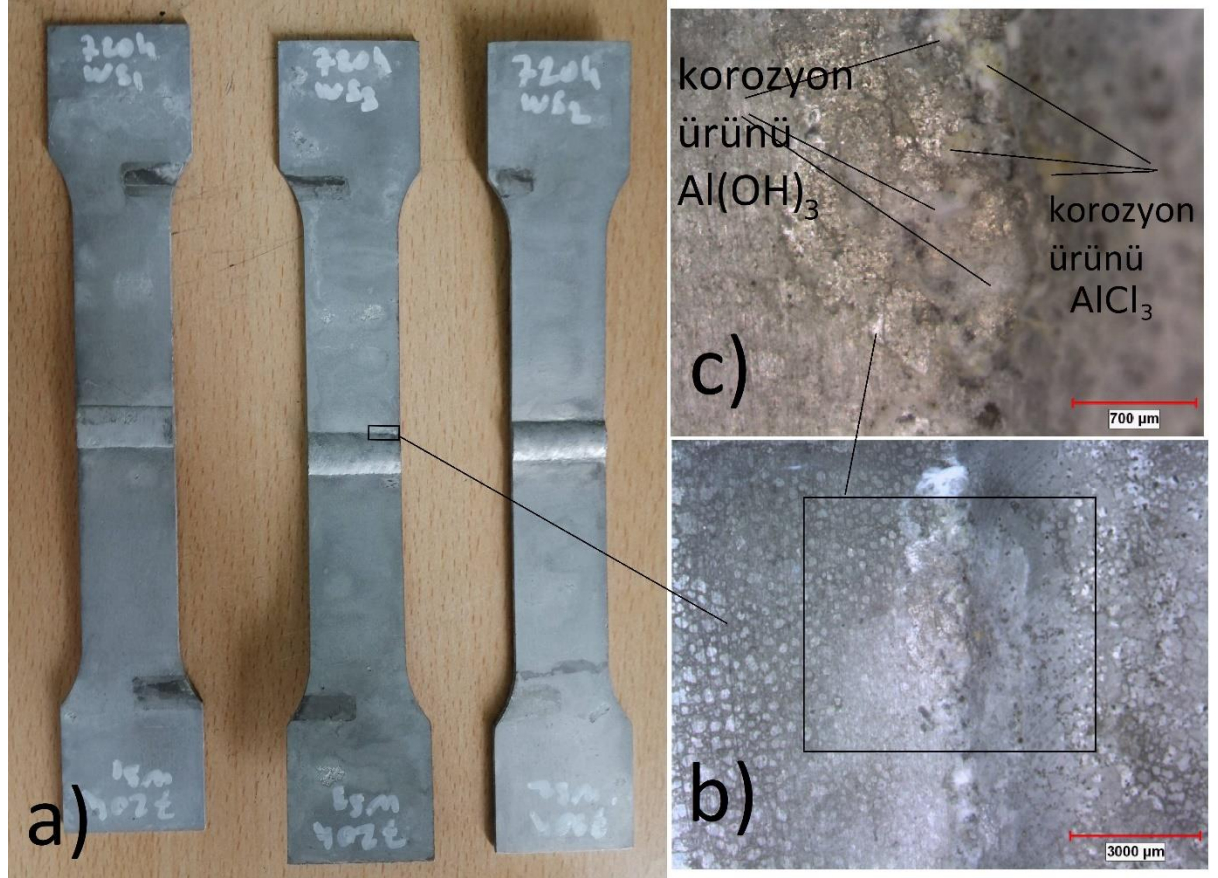
Şekil 5. 29: 720 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklız numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 29'da korozyon deney süresi 720 saat olan kaynaklız numunelerin korozyon deneyi sonrası resmi verilmiştir.

Şekil 5.29a)'da 3 adet korozyonlu numune gösterilmiştir. Korozyon deneyi süresinin uzaması çukurcuk sayısını arttırmıştır. S1 numunesinin yerel korozyonlu bir bölgesi Şekil 5.29 b)'de 7,5 kat oranında büyütülerek verilmiştir.

Şekil 5.29b)'de verilen resim ile şekil 5. 27b karşılaştırıldığında, korozyon deneyi süresinin uzaması çukurcuk sayısının yanında çukurcuk bölgesinin alanını da arttırmıştır. Şekil 5.29b)'de verilen yerel korozyonlu bir bölge, 30 kat oranında büyütülerek Şekil 5.29c)' de verilmiştir.

Şekil 5.29c)'de korozyon ürünü olan $\text{Al}(\text{OH})_3$ çukurcuk çevresinde fazla görülmemiştir. Çukurcuk bölgesi incelendiğinde daha koyu renkli alanlar tespit edilmiştir. Koyu alanlarda çukurcuk derinliğinin fazla olduğu gözlemlenmiştir.



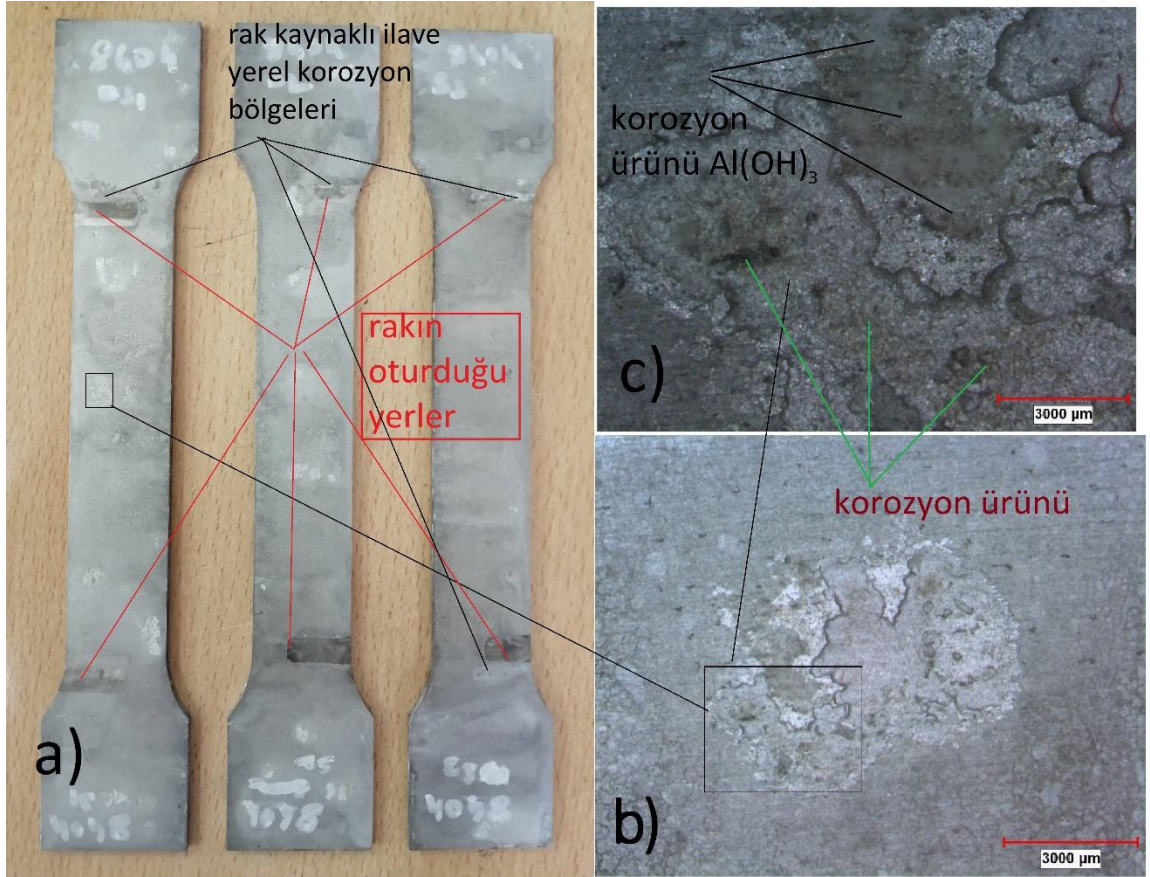
Şekil 5. 30: 720 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 30'da korozyon deney süresi 720 saat olan kaynaklı numuneler gösterilmiştir.

Şekil 5. 30a)'da 3 adet numunenin tüm korozyonlu yüzeyleri verilmiştir. Numunelerin birçok bölgesinde yerel korozyon tespit edilmiştir. Kaynak dikişi çevresindeki yerel korozyon bölgelerini incelemek için 7,5 kat oranlı büyütme yapılmıştır ve Şekil 5. 30b)'de verilmiştir. Çukurcuk bölgesi, mikro boyutta ITAB bölgesi ve esas metal üzerinde görülmüştür.

Kaynak dikişi çevresi 30 kat oranında büyütülerek Şekil 5. 30c)' de verilmiştir. Korozyon ürünü olan $\text{Al}(\text{OH})_3$ miktar olarak azdır fakat sarımsı renkli başka korozyon ürünü ortaya çıkmıştır. Benzer bir çalışmada görülen bu sarımsı korozyon ürünlerinin

$AlCl_3$ olduğu düşünülmüştür (Zhang ve diğ 2021). Deney süresinin uzaması yerel korozyonlu bölgede farklı korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olmuştur. Yerel korozyon bölgesi, daha ayrıntılı incelendiğinde, kaynak metali, ITAB ve esas metal olmak üzere 3 farklı bölgede görülmüştür. Esas metalde korozyon bölgesi daha fazla alanı kaplamıştır.

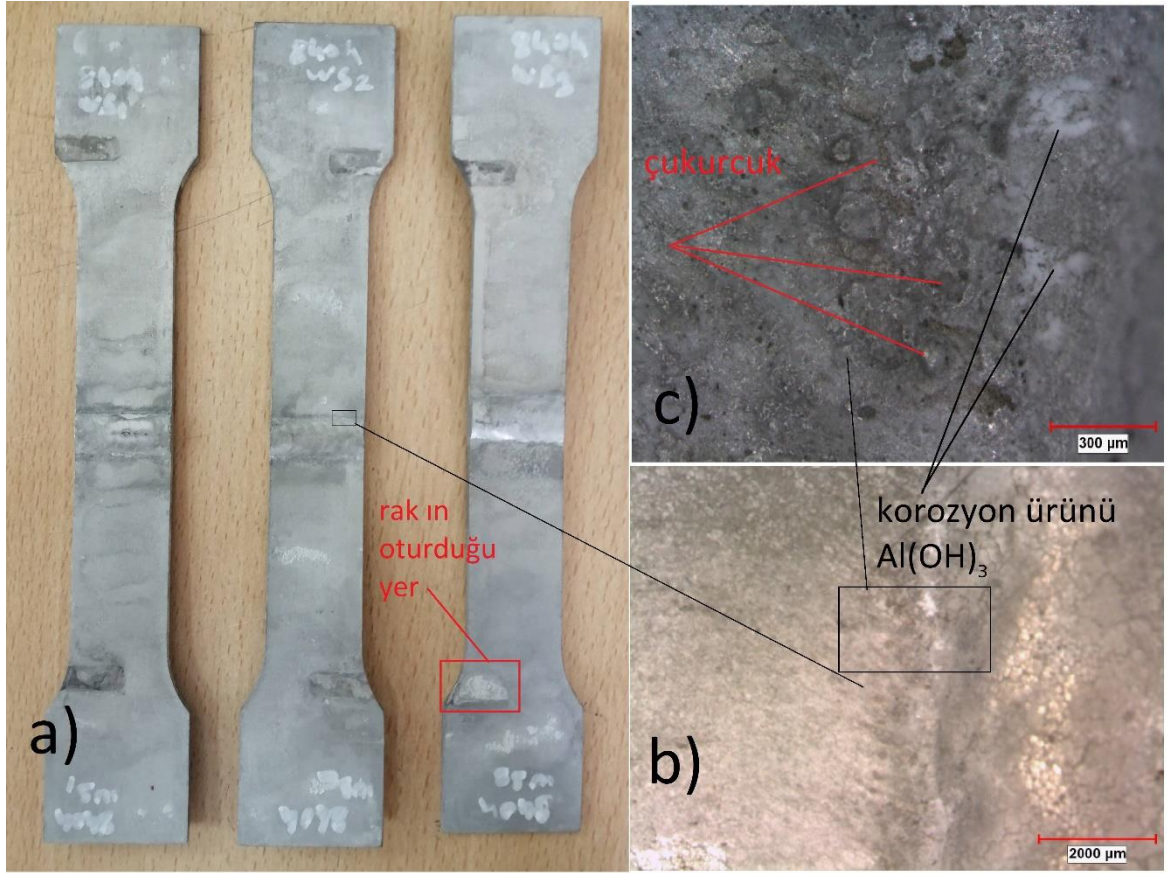


Şekil 5. 31: 840 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 31’de korozyon deney süresi 840 saat olan kaynaklı numuneler verilmiştir.

Şekil 5. 31a)’da korozyona uğramış 3 adet numunenin tüm yüzeyi gösterilmiştir. Numuneler, korozyon deneyi sırasında kabin içinde sabit kalması için numune rakının içine yerleştirilmiştir. Rakın içine yerleşen alanlar Şekil 5. 31a) verilmiştir. Bu alanlar tuz sisi birikmesinin yaşanabileceği olası bölgelerdir ve yerel korozyon için elverişlidir. Bu nedenle S2 ve S3 numaralı numunelerde ilave yerel

korozyon bölgeleri görülmüştür. S1 numunesinin yerel korozyonlu bir bölgesi Şekil 5. 31b)'de 7,5 kat oranında büyütülerek verilmiştir. Çukurcuk bölgesinde farklı renklerde korozyon ürünleri tespit edilmiştir. Bu bölge 30 kat oranında büyütülerek daha ayrıntılı olarak Şekil 5. 31 c)'de gösterilmiştir. Çevresi daha belirgin olan çukurcuk korozyon bölgesinde, $Al(OH)_3$ ve daha koyu renkli korozyon ürünü görülmüştür.

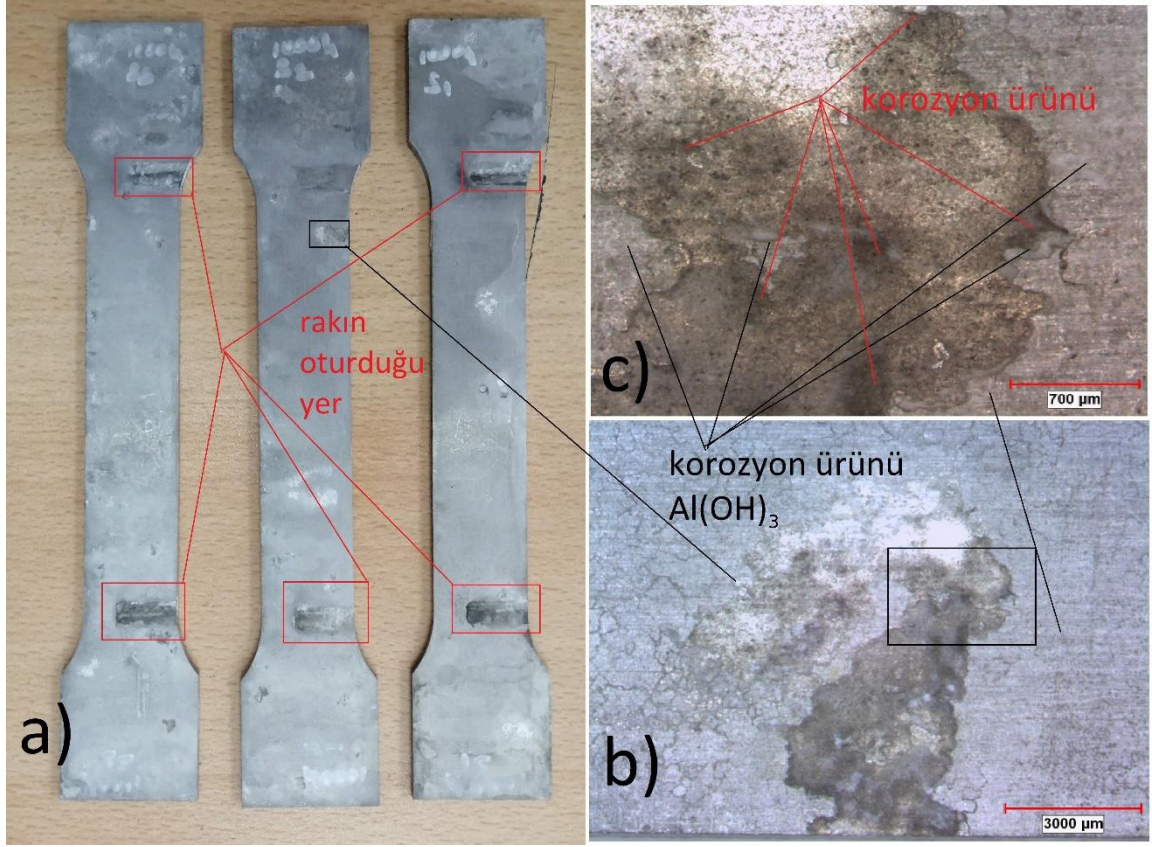


Şekil 5. 32: 840 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

Şekil 5. 32'de korozyon deney süresi 840 saat olan kaynaklı numunelerin resmi gösterilmiştir.

Şekil 5. 32a)'da 3 numunenin tüm korozyonlu yüzeyi verilmiştir. WS3 numunesinde, yerel korozyon bölgeleri haricinde, raktan kaynaklı ilave yerel korozyon bölgeleri de görülmüştür. WS2 numunesinin kaynak dikişi çevresi 7,5 kat oranında büyütülerek Şekil 5. 32b)'de verilmiştir.

Şekil 5. 32b)'de makro boyutta yerel korozyon bölgesi görülmemiştir. Şekil 5. 32c)'de kaynak dikişi çevresi 30 kat oranında büyütülmüştür ve $\text{Al}(\text{OH})_3$ korozyon ürünü görülmüştür. Mikro boyutta çukurcuklar tespit edilmiştir.



Şekil 5. 33: 1000 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 7,5X, c) 30X

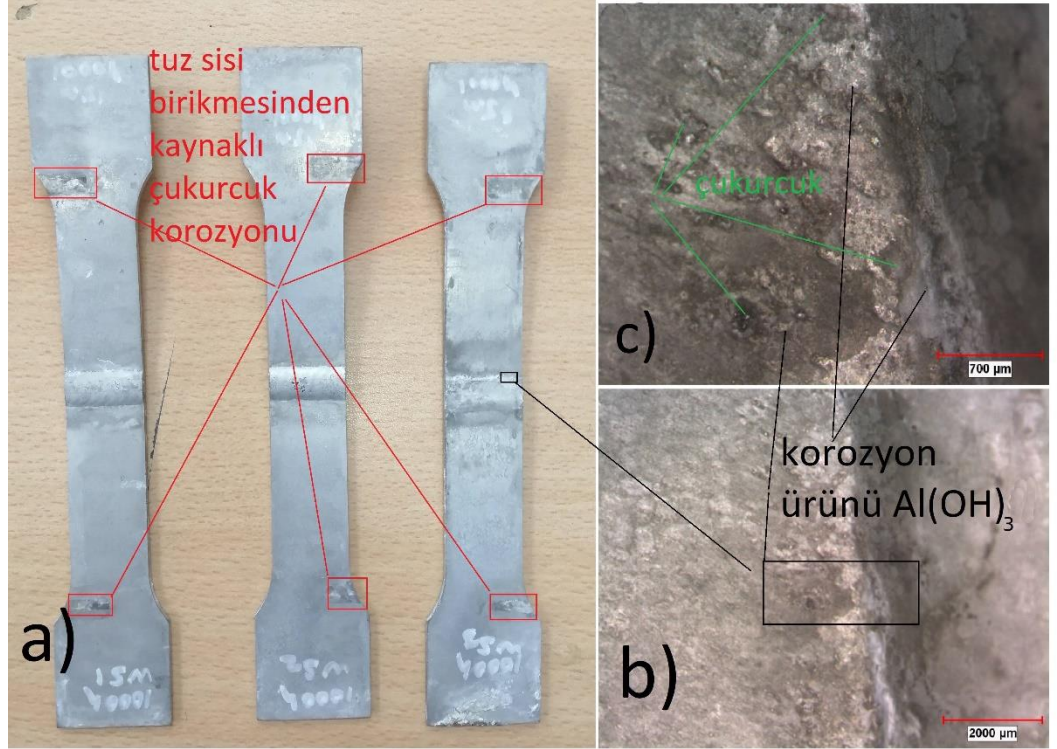
Şekil 5. 33'te 1000 saat korozyon deneyine tabi tutulan kaynaklı numuneler gösterilmiştir.

Şekil 5. 33a)'da korozyonlu 3 adet numunenin tüm korozyonlu yüzeyi verilmiştir. 1000 saat korozyon testine tabi tutulmuş tüm numunelerde raktan kaynaklı ilave yerel korozyon bölgeleri görülmüştür.

S2 numunesine ait yerel korozyon bölgesi Şekil 5. 33b)'de 7,5 kat oranında büyütülerek gösterilmiştir. 1000 saatlik korozyon testine tabi tutulan bu numunedeki çukur alanının aynı büyütmede oranında verilen diğer çukurcuk alanları arasında en geniş alana sahip olduğu tespit edilmiştir. Korozyon deney süresinin uzamasıyla

çukurcuk alanı genişlemiştir. Kenar hatları çok belirgin olan çukurcuk alanının bir bölümü, 30 kat oranında büyütülmüştür ve Şekil 5. 33c)'de verilmiştir.

Şekil 5. 33c)'de bir miktar $Al(OH)_3$ ve yoğun olarak koyu renkli korozyon ürünleri görülmüştür. Koyu renkli korozyon ürünlerinin olduğu bölgede çukurcuk derinliğinin fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 34: 1000 saat korozyon sonrası numuneler a) kaynaklı numuneler, b) 10X, c) 30X

Şekil 5. 34'te 1000 saat korozyon deneyine maruz bırakılan kaynaklı numuneler verilmiştir.

Şekil 5. 34a)'da 3 adet korozyonlu numunenin tüm korozyonlu yüzeyleri gösterilmiştir. Kırmızı çerçeve içerisinde gösterilen alanlarda, tuz sisi birikmesinden kaynaklı ilave yerel korozyonlu bölgeler oluşmuştur.

WS3 numunesi, 10 kat oranında büyütülerek Şekil 5. 34b)'de verilmiştir. Kaynak dikişi çevresinde makro boyutta yerel korozyon görülmemiştir.

Şekil 5.34c)'de kaynak dikiş çevresi 30 kat oranında büyütülmüştür. ITAB bölgesi ve esas metal üzerinde mikro boyutta çukurcuk bölgeleri görülmüştür. $Al(OH)_3$ korozyon ürünü, ITAB bölgesinde tespit edilmiştir. Yerel korozyon türü olan çukurcuklar, küçük alana sahip olduğu için korozyon ürünün miktarı sınırlı kalmıştır.

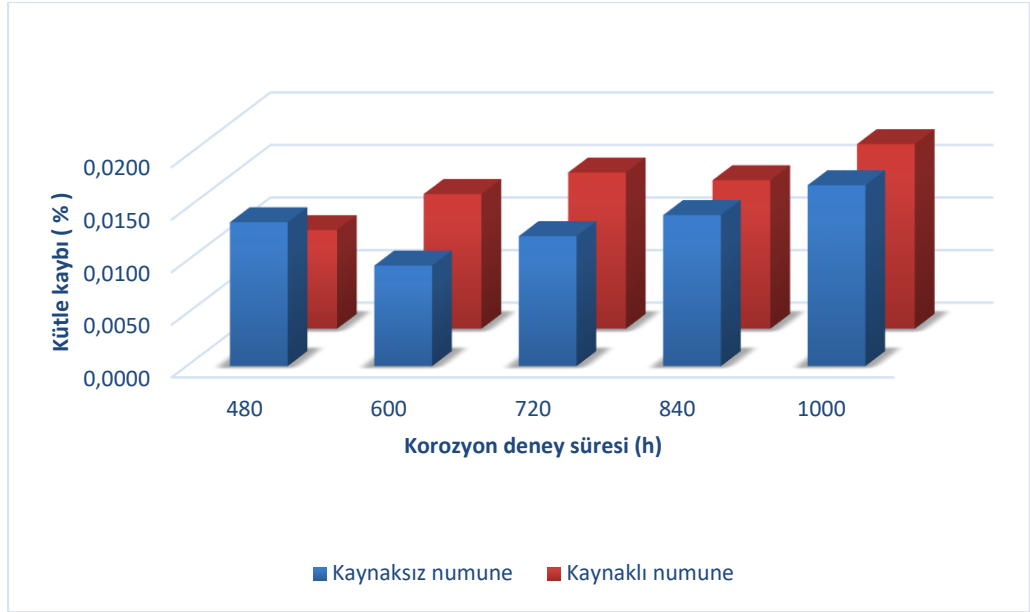
Korozyon deneyi sonrası, kaynak dikişi çevresinde makro boyutta yerel korozyon bölgelerine pek rastlanılmamıştır. Mikro boyutta küçük alanlarda yerel korozyon bölgeleri görülmüştür. Bu bölgelerdeki yerel korozyon alanları diğer yerel korozyon alanlarına göre oldukça küçüktür. Kaynak metali, kaynak dikişi ve ITAB bölgesi, korozyon deneyinde esas metale göre daha az saldırıya uğramıştır. Hatta kaynak metalinde herhangi bir korozyon türü görülmemiştir.

Alüminyum alaşımları %70 bağıl nemde korozyona uğramaya başlar (Graedel 1989). %98 yüksek bağıl nem oranı, deniz suyu ile aynı özellikte %5 derişimli çözelti, doğal ortam pH'ı (6,5-7,2) ve 35°C sıcaklık gibi deney parametreleri alüminyum alaşımları için ciddi bir korozif ortam oluşturmuştur. Alüminyum alaşımı yaklaşık 10 gün gibi kısa bir sürede parlak rengini kaybetmiştir. Alüminyum alaşımının tüm yüzeyi önce genel korozyona uğramıştır. Korozyon deney süresinin uzamasıyla yerel korozyon türü olan çukurcuk bölgeleri oluşmuştur.

Genel korozyona uğramış bir numunenin yüzeyi ve lazer kesimi sonrası sadece çapağı taşlanmış bir numunenin yüzeyi mikroskop altında 30 kat oranında büyütülerek verilmiştir (bkz. Şekil 5. 21). Korozyon testine tabi olmayan numunenin yüzeyinde haddeleme çizgeleri görülmüştür. Genel korozyona uğramış numunelerin yüzeylerinde haddeleme çizgileri kaybolmuştur ve oksit tabakasının kümeleştiği tespit edilmiştir. Genel korozyon, tüm yüzeylerde gerçekleşmiştir.

Genel korozyon sonrası numunelerin yerel bölgelerinde düzensiz karıncalanmalar görülmüştür. Korozyon deney süresinin uzamasıyla karıncalanma sayısı artmıştır. Karıncalanmalar birleşerek çukurcuk bölgelerini oluşturmuştur. Çukurcuk bölgelerinin alanları ve derinliği korozyon deneyi boyunca artmıştır. Derinliği fazla olan çukurcuk bölgesinde koyu renkler görülmüştür.

Korozyon deney süresinin uzaması başka bölgelerde yeni karıncalanmalar meydana getirmiştir. Yeni karıncalanmalar yeni çukurcuk oluşumuna zemin hazırlamıştır. Çukurcuk sayısının artmasıyla korozyon ürünlerin miktarı da artmıştır.



Şekil 5. 35: Korozyon deneyine bağlı kütle kaybı (%)

Şekil 5. 35'te korozyon deney süresine bağlı kütle kaybı grafiği verilmiştir. Korozyon deneyi sonrası tüm numuneler (1/1000 hassasiyetli) hassas tartıda tartılmıştır. Tartım sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Korozyon deneyi öncesi ortalaması alınan kütle değerleri ile karşılaştırılmıştır ve yüzdelik kütle kayıpları hesaplanmıştır.

Yüzdelik kütle kayıpları sonuçları incelendiğinde bir miktar düşüş tespit edilmiştir. Numuneler yerel korozyon saldırısına uğradığı için kütle kaybı değerleri ihmal edilebilir seviyededir.

5.8 Çekme Deneyi

Tüm numunelere, TS EN ISO 4136 standartlarına göre çekme testi uygulanmıştır. Korozyon deney süreleri eşit olan kaynaklı ve kaynaklı olmayan numuneler 3'erli gruplar halinde korozyon süresi sırasına göre test edilmiştir.

Çekme testleri 60 tonluk ALŞA marka çekme testi cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.36’da çekme test cihazının resmi verilmiştir.



Şekil 5. 36: Çekme cihazı

Numuneler 3 mm/min çekme hızı ile test edilmiştir. Çekme sonuçlarına ait veriler Tablo 5. 6 ile Tablo 5. 7’ de gösterilmiştir.

Tüm numuneler esas metalden hasara uğramıştır ve ITAB bölgesinden hasara uğrayan hiçbir numune görülmemiştir.

Korozyon süresinin uzamasıyla çukurcuk derinliği artmıştır ve buna bağlı kesit alanında daralmalar yaşanmıştır. Kesit alanının daralmasıyla kesitin taşıdığı yükler de azalmıştır.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1 'de çekme gerilmesi denklemi verilmiştir. Çekme cihazında kesit alanı (A) parametresi, deney başlamadan önce (3x25)mm² girilmiştir ve deney sonuna kadar bu parametre sabit kalmıştır. 5.2'de verilen denklemde, A parametresinin sabit kalması bununla ilgilidir.

Kesit alanının daralmasıyla numunenin taşıdığı yükler azaltmıştır. Her numunenin kesit alanı çekme cihazında sabit kaldığı için çekme testi sonucunda daha düşük gerilmeler gözlemlenmiştir.

$$\sigma \downarrow = \frac{F \downarrow}{A \leftrightarrow} \quad (5.2)$$

Tablo 5. 8' de kaynaklı numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmiştir. Her bir korozyon deney süresi için kaynaklı ve kaynaklı olmayan 3'er numune vardır. 3 numunenin çekme dayanımı ile kopma uzamasının aritmetik ortalaması alınmıştır ve aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur. Korozyon deney süresi 0 olan numuneler, korozyon testine tabi olmamıştır ve bu numunelerin çekme dayanım değerleri referans alınmıştır.

Tablo 5. 8: Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları

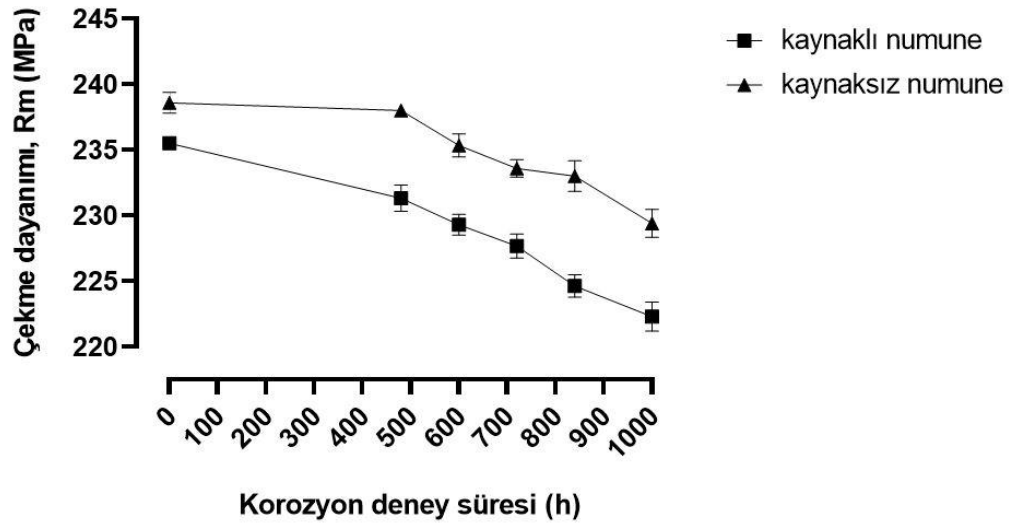
Korozyon deney süresi [h]	Rm [MPa]	A [%]
0	235,50	20,50
480	231,33	20,00
600	229,30	19,65
720	227,67	19,30
840	224,64	17,90
1000	222,30	16,70

Tablo 5. 9'da kaynaklı olmayan numunelerin çekme deneyi sonuçları verilmiştir. Çekme deneyinde test edilen tüm numuneler, yerel korozyon bölgelerinden hasara uğramıştır. Kaynak dikişi ya da ITAB bölgesinden hiçbir numune hasara uğramamıştır. Kaynak dikişinden hasara uğramaması, kaynak parametrelerinin

doğruluğunu kanıtlamıştır. Kaynak dikişi çevresinde görülen mikro boyutlu yerel korozyon bölgeleri numunelerin dayanım değerlerini etkilememiştir.

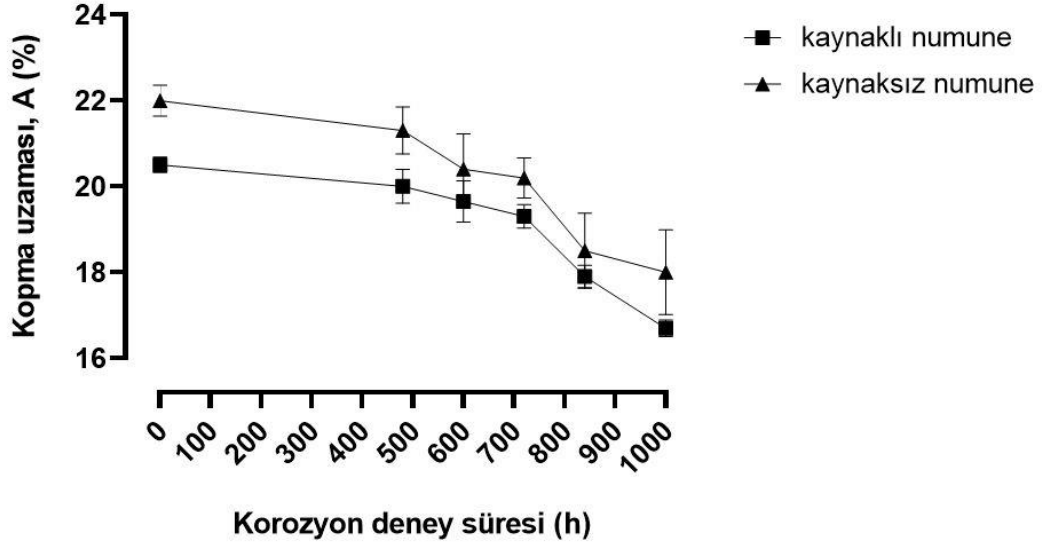
Tablo 5. 9: Kaynaksız numunelerin çekme deneyi sonuçları

Korozyon deney süresi [h]	Rm [MPa]	A [%]
0	238,60	22,00
480	238,00	21,30
600	234,34	20,40
720	233,60	20,20
840	233,00	18,50
1000	229,40	18,00



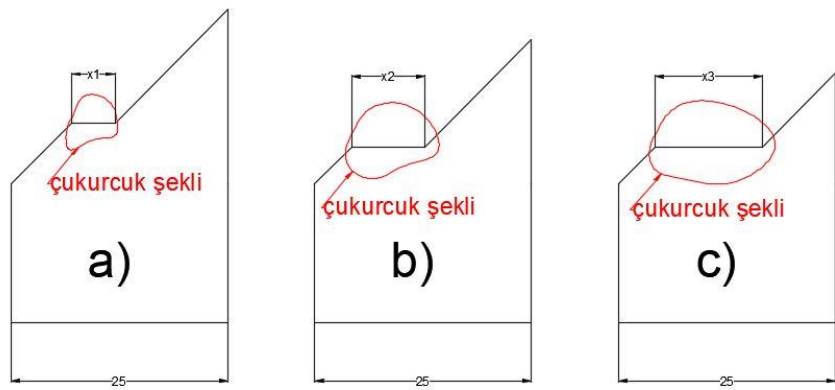
Şekil 5. 37: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı çekme dayanımları

Şekil 5. 37’de kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin korozyon deney sürelerine bağlı çekme dayanımları verilmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak dikişinde oluşan artık gerilmeler, çekme dayanım değerinde yaklaşık 3 MPa düşüş meydana getirmiştir. Korozyon deney süresinin uzamasıyla numunelerin çekme dayanımında düşüşler görülmüştür. Çekme deneyi sonuçları zamanın bir fonksiyonu gibi davranmıştır. Çekme dayanımında doğrusal düşüşler meydana gelmiştir.



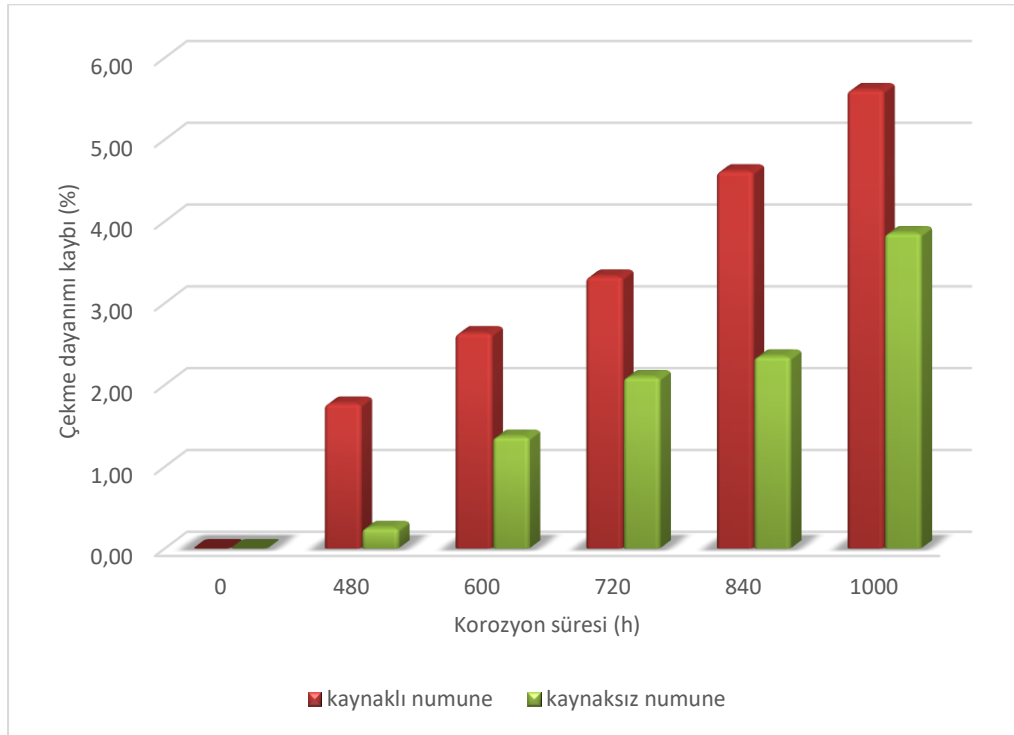
Şekil 5. 38: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı kopma uzamaları

Şekil 5. 38’de kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin çekme deneyi sonrası kopma uzamaları verilmiştir. Korozyon deney süresinin 0 olduğu değerler, korozyon deneyine maruz kalmayan numunelerin kopma uzamasını göstermektedir. Korozyon deney süresinin artması kopma uzamalarında düşüşler meydana getirmiştir ve tüm numunelerin sünekliliği azalmıştır.



Şekil 5. 39: Kopma doğrultusunun şematik gösterimi a) 600 h korozyon süresi b)720 h korozyon süresi c) 1000 h korozyon süresi

Şekil 5.39’da çekme testi sonrası oluşan kırılma yüzeyi doğrultusunun çukurcuk alanına göre değişimi şematik olarak gösterilmiştir. ‘x’ kırılma yüzeyi doğrultusunun yatay uzunluğunu temsil etmektedir. Çukurcuk alanının artmasıyla yatay uzunluk artmaktadır ($x_3 > x_2 > x_1$). Çukurcuk alanı korozyon deney süresinin bir fonksiyonudur. Korozyon deney süresinin artması x uzunluğunu arttırmıştır ve malzemenin sünekliğini azaltmıştır.



Şekil 5. 40: Tuz püskürtme deneyi süresine bağlı çekme dayanımı kayıpları

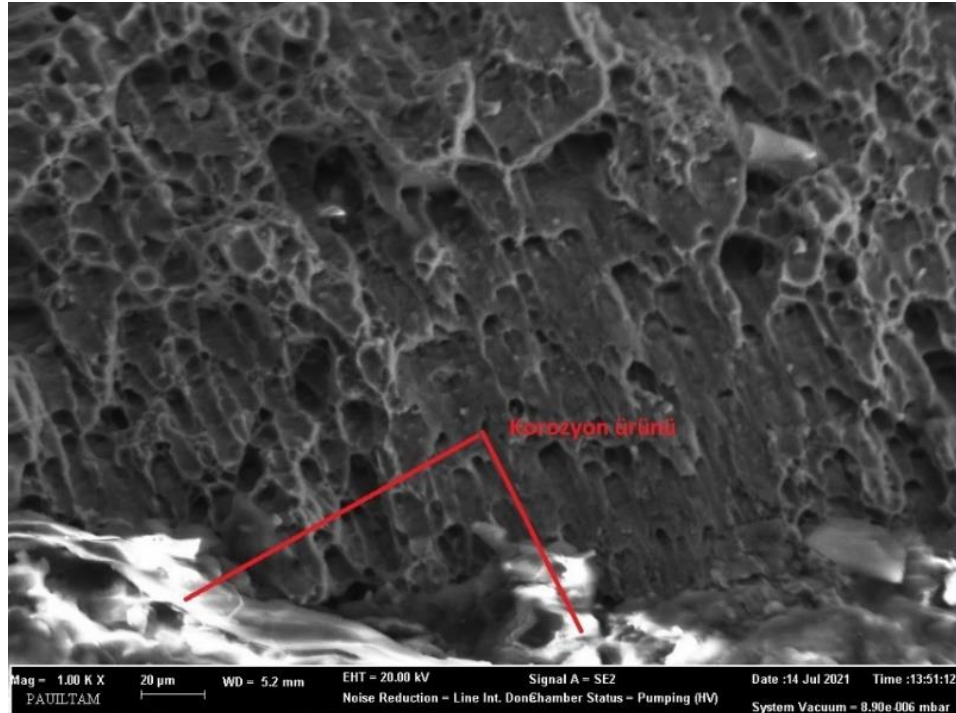
Tablo. 5. 40 ‘ta kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin korozyon deneyi süresine bağlı çekme dayanımı kayıpları verilmiştir. Korozyon deney süresinin 0 olduğu numuneler, korozyon testine maruz kalmamıştır ve çekme dayanım kayıpları 0 kabul edilmiştir. Numunelerde, korozyon deney süresinin uzamasıyla çekme dayanım kayıpları artmıştır. Kaynaklı numunelerde çekme dayanım kayıpları, kaynaklı olmayan numunelere göre daha fazladır.

5.9 Kırık Yüzey Analizi

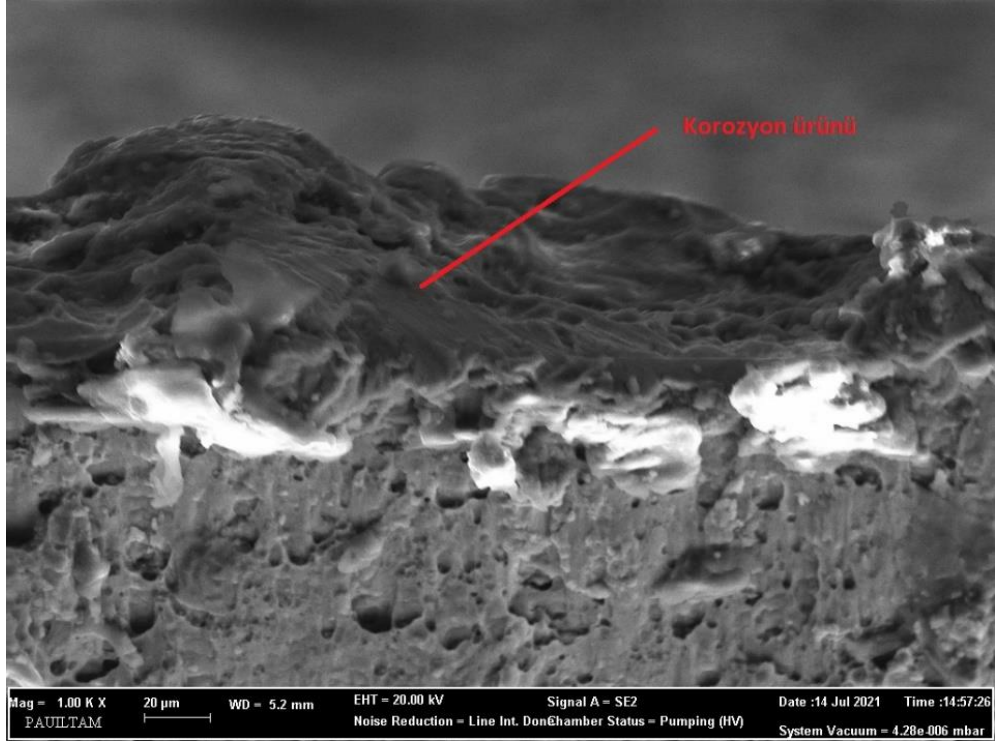
Çekme deneyi sonrası numunelerin kırık yüzeyine SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Saçılım Spektroskopisi) analizleri yapılmıştır. Analizler Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezindeki görüntüleme laboratuvarında Zeiss Gemini marka SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 25 mm uzunluğundaki numuneler giyotin makasla kesilerek kırık yüzey analizi için hazırlanmıştır.

Korozyon deney süresi 480 saat olan bir numunenin çekme testi sonrası kırık yüzeyine SEM analizi yapılmıştır. 1000 kat oranında büyütülerek Şekil 5.41' de gösterilmiştir.

SEM analizi sonucunda numunenin kırık yüzeylerinde iki farklı bölge görülmüştür. Bu bölgelerden biri yerel korozyonun gerçekleştiği bölgedir. Yerel korozyonlu bölgelerde korozyon ürünleri tespit edilmiştir. Diğer bir bölge ise sünek kırılmanın gerçekleştiği bölgedir. Sünek kırılma bölgesinin peteksi bir yapısı vardır.



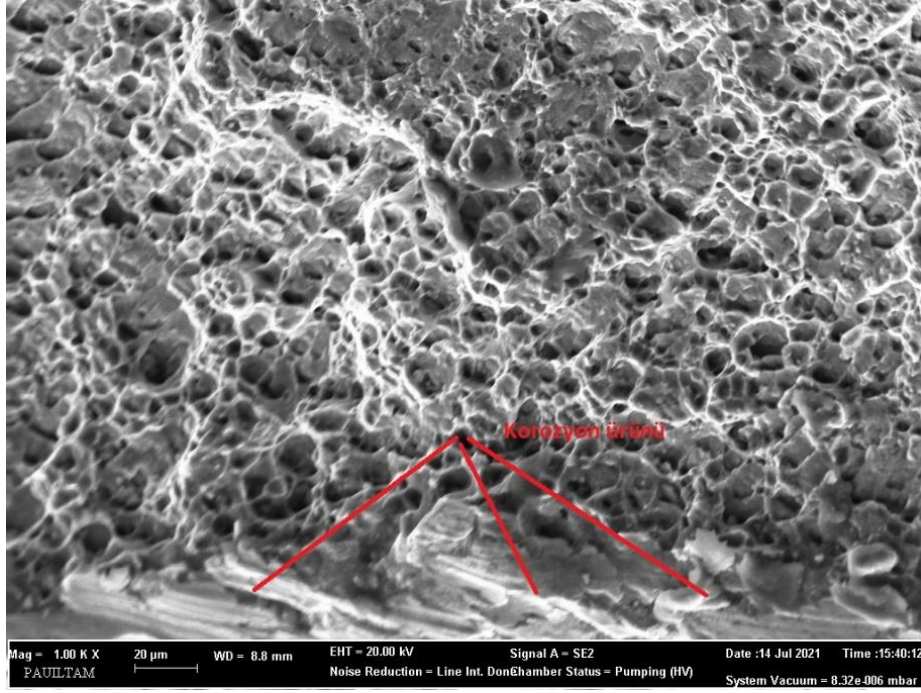
Şekil 5. 41: Korozyon deney süresi 480 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi



Şekil 5. 42: Korozyon deney süresi 720 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi

Şekil 5.42’de korozyon deney süresi 720 saat olan bir numunenin çekme testi sonrası kırık yüzeyinin SEM analizi 1000 kat oranında büyütülerek verilmiştir. Korozyon deney süresinin artmasıyla yerel korozyonlu bölgenin alanı artmıştır ve korozyon ürünleri daha yoğun olarak görülmüştür. Sünek kırılmanın olduğu bölgelerde peteksi yapının azaldığı görülmüştür. Peteksi yapının azalmasıyla süneklilik düşmektedir. SEM analizi, çekme deneyi sonuçlarının tutarlılığını desteklemiştir.

Şekil 5.43’te 1000 saat korozyon deney süresi olan bir numunenin kırık yüzeyi 1000 kat oranında büyütülerek SEM analizi verilmiştir. Yerel korozyon bölgesi ve sünek kırılmanın gerçekleştiği bölgeler gözlemlenmiştir. Yerel korozyon bölgesinde korozyon ürünleri tespit edilmiştir. Sünek kırılmanın gerçekleştiği bölgede daha peteksi bir yapı görülmüştür.



Şekil 5. 43: Korozyon deney süresi 1000 saat olan numunenin kırık yüzeyine ait SEM analizi

Çekme deneyinden sonra numunelerin kırık yüzeylerindeki elementel bileşimi belirleyebilmek için EDS analizi yapılmıştır. EDS analizi, SEM analizinde görülen yerel korozyon bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Korozyon deney süresi 1000 saat olan bir numunenin kırık yüzeyindeki peteksi bölgesine EDS analizi yapılarak alüminyum alaşımının ana yapısındaki kimyasal bileşimi belirlenmiştir.

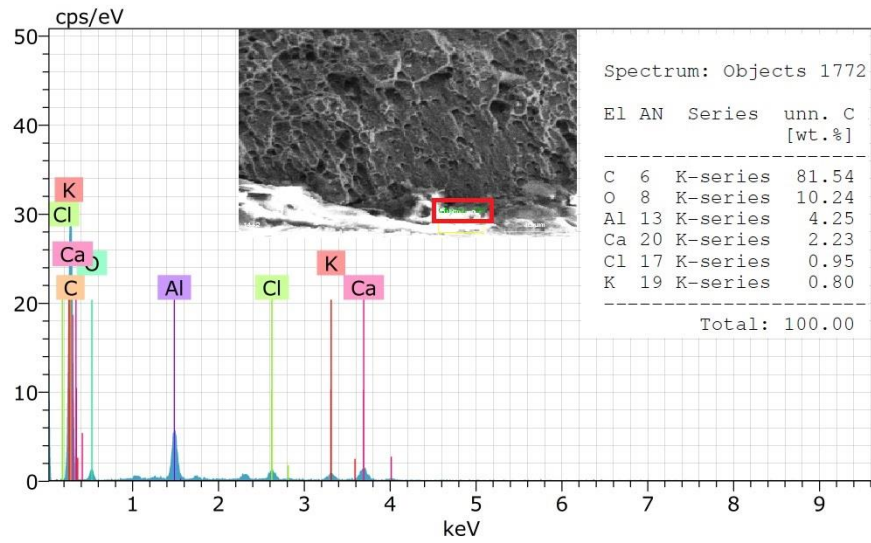
Şekil 5. 44' te korozyon deney süresi 480 saat olan bir numunenin çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyin EDS analizi verilmiştir. EDS analizi, yerel korozyon bölgesine yapılmıştır ve analiz sonucunda birçok element (C, O, Ca, Cl, K) tespit edilmiştir.

Tuz püskürtme sırasında metal yüzeyinde ince bir film tabakası oluşur. Korozyon ürünleri bu film tabakasında bulunur ve metalin yüzeyine çöker (Zhang ve diğ 2021). Yerel korozyonlu bölgenin EDS analizinde tespit edilen bu elementlerin korozyon ürünleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir.

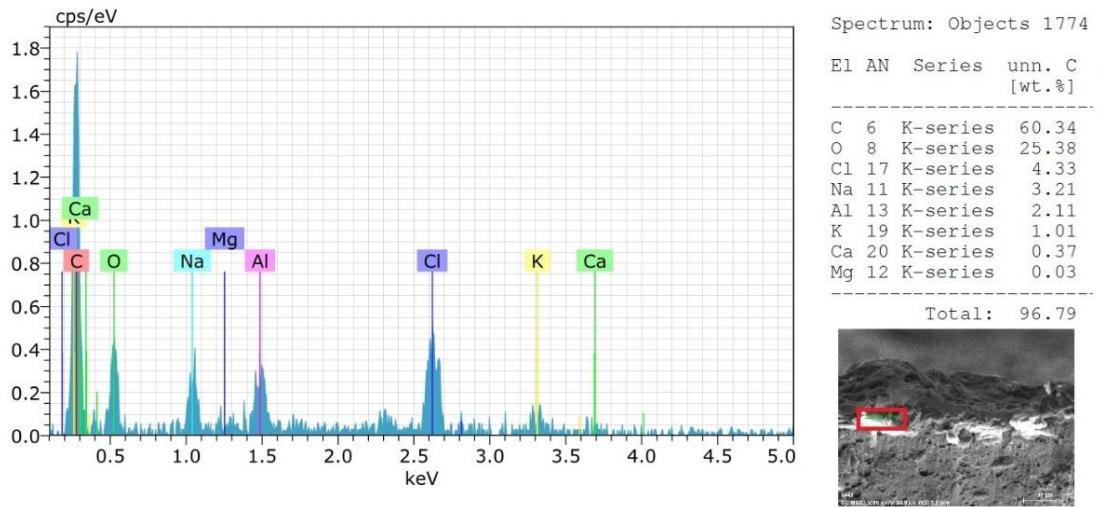
Şekil 5. 47'de korozyon deney süresi 1000 saat olan bir numunenin çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyin EDS analizi verilmiştir. EDS analizi sünek kırılmanın gerçekleştiği peteksi yapıda gerçekleştirilmiştir ve sonucunda ağırlıkça

%79,79 Al elementi ve %4, 28 Mg elementi bulunmuştur. Bu elementler alüminyum alaşımının ana yapısını oluşturmaktadır.

Şekil 5. 44' te yerel korozyonlu bölgenin EDS analizi sonucunda %4,25 Al elementi tespit edilmiştir fakat Mg elementine rastlanılmamıştır. Al elementi, alüminyum alaşımının ana yapısındaki kimyasal bileşim değerine göre çok düşüktür. Al ve Mg elementlerinin bileşik oluşumunun, bu iki elementin yerel korozyon bölgesindeki düşük değerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

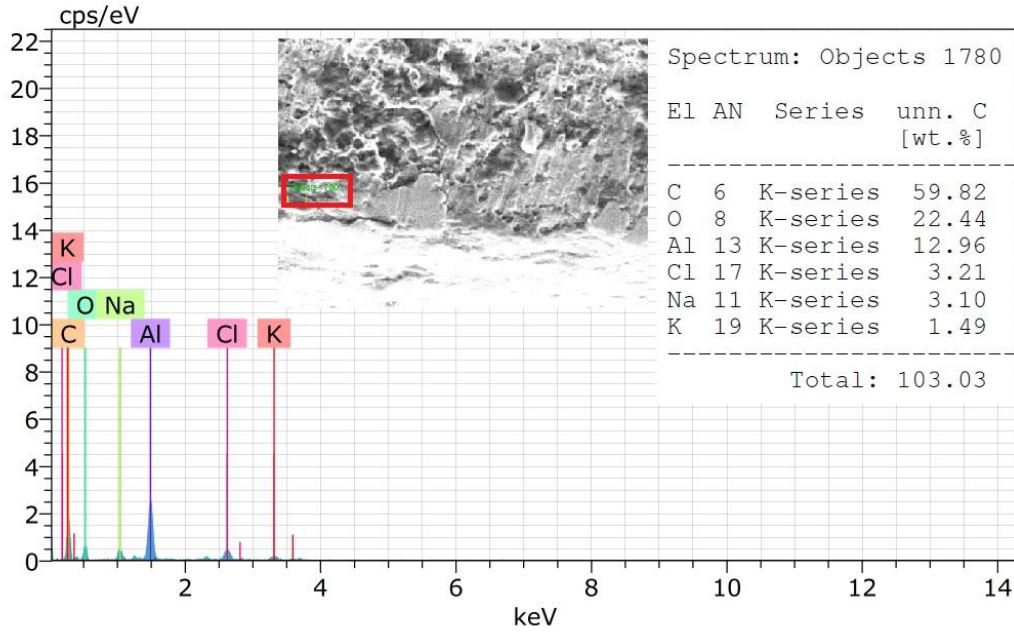


Şekil 5. 44: Korozyon deney süresi 480 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi



Şekil 5. 45: Korozyon deney süresi 720 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi

Şekil 5. 45'te korozyon deney süresi 720 saat olan bir numunenin çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyin EDS analizi verilmiştir. EDS analizi yerel korozyon bölgesine yapılmıştır ve analiz sonucunda birçok elemente (C, O, Ca, Cl, K, Na) rastlanılmıştır. %2,11 Al ve %0,03 Mg elementleri tespit edilmiştir ve ana yapıya göre bu değerler çok düşüktür. Al ve Mg değerlerinin düşük olması nedeniyle yerel korozyon bölgesinde bu elementlerin ikinci faz bileşiği oluşturduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. 46: Korozyon deney süresi 1000 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi

Korozyon deney süresi 1000 saat olan bir numunenin çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyin EDS analizi Şekil 5. 46 'da verilmiştir. Yerel korozyon bölgesine EDS analizi yapılmıştır ve korozyon ürünü elementleri gözlemlenmiştir. Yerel korozyon bölgesinde %12,96 Al elementi tespit edilmiştir fakat Mg elementine rastlanılmamıştır. Bu elementlerin yerel korozyona uğramış bölgelerde bileşik oluşturduğu ve oluşan ikinci faz bileşiklerin korozif ortamda seçici korozyon saldırısına maruz kaldığı düşünülmektedir.

Alüminyum alaşımında ana element Al ve alaşım elementi Mg, alaşım yüzeyinde birleşerek bileşik oluşturur. Bu bileşikler, ikinci faz bileşikleri olan β fazıdır. β fazı bileşikleri, alüminyum alaşımının ana yapısına göre aktif bölgeler oluşturarak yerel korozyon bölgelerinin oluşmasına neden olur (Vargel 2004).

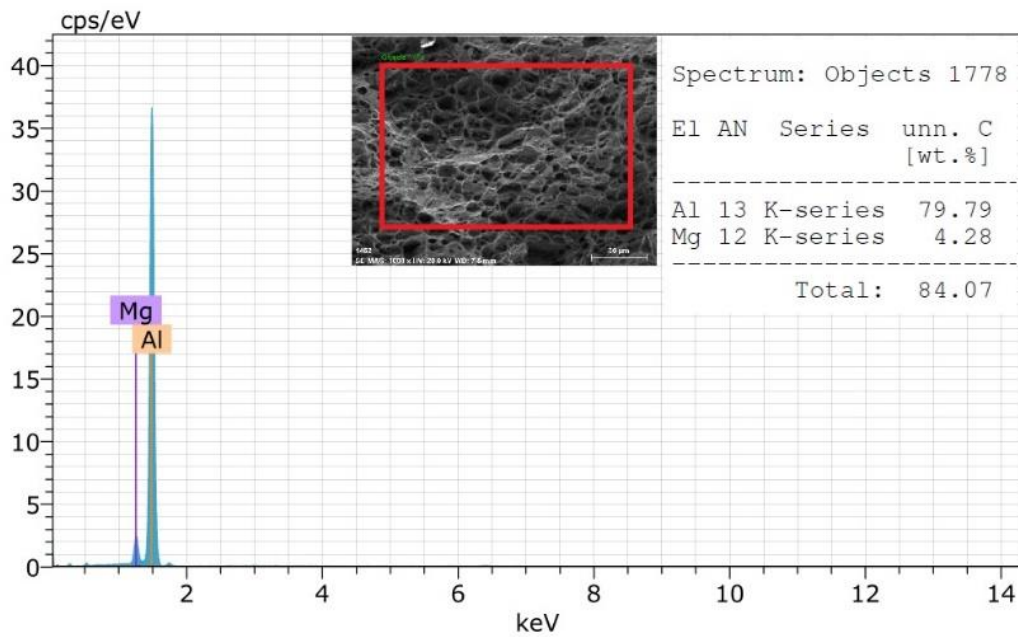
Tablo 5. 10: Elektronegatiflik tablosu (Mutombo ve Toit 2011)

Bileşik- katı çözelti	Elektronegatiflik [mV]	Potansiyel fark [mV]
Al ₈ Mg ₅	-1240	1240-780=460
Al ₃ Mg ₂	-1150	1150-780=370
Al-3Mg (5XXX serisi)	-780	-

Tablo 5. 11 'de 5XXX serisi alüminyum alaşımının ve bu alaşımlara ait β bileşiklerin elektronegatiflik değerleri verilmiştir.

Al ve Mg elementleri, alüminyum alaşımlarında Al₈Mg₅ ve Al₃Mg₂ β faz bileşikleri oluşturur. Bu elementlerin değerleri β fazının bulunduğu bölgelerde düşüktür. EDS analizi sonucunda yerel korozyon bölgelerinde tespit edilen düşük Al ve Mg değerlerinin bununla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Alaşımlarda bileşiklerin aktif anot bölgesi oluşturarak korozif ortamda çözülebilmesi için en az 100 mV potansiyel fark gereklidir (Vargel 2004). Al₈Mg₅ ve Al₃Mg₂ bileşikleri, 5754 alüminyum alaşımının yüzeyinde 370 ve 460 mV gibi ciddi bir potansiyel fark oluşturmaktadır. Ana yapıya göre daha aktif olan bu bileşikler, korozyon deneyi testinde ortamın korozif olması nedeniyle çözülmüştür ve alüminyum alaşımının yüzeylerinde yerel korozyon bölgeleri oluşturmuştur.



Şekil 5. 47: Korozyon deney süresi 1000 saat numunenin kırık yüzeyine ait EDS analizi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

3 mm sac kalınlığı olan doğal sertlikli 5754 alüminyum alaşımı, TIG kaynak yöntemi ile ilave tel kullanılarak kaynak edilmiştir. Korozyon deneyine maruz kalmayan kaynaklı numuneler, çekme deneyi testinde aynı sonuçları vermiştir. Kaynak dikişi boyunca sürekliliğin olduğu kaliteli kaynak dikişleri elde edilmiştir.

5XXX serisi alüminyum alaşımları soğuk şekillendirme ile sertleştirilir. Deneyde doğal sertlikli alüminyum alaşımli numuneler kullanılmıştır. Bu nedenle kaynaklı birleştirme sonrası ITAB bölgelerinde dayanım kaybı yaşanmamıştır ve kaynaklı numuneler esas metalden hasara uğramıştır. Ayrıca mikro-sertlik grafiğinde sertlik dağılımının üniform olduğu gözlemlenmiştir.

Kırık yüzeyin SEM analizleri incelendiğinde 2 farklı bölge görülmüştür. Korozyon ürünlerinin tespit edildiği yerel korozyon bölgesi ve sünek kırılmanın gerçekleştiği bölge SEM analizinde görülen iki bölgeyi oluşturmaktadır. Bu bölgelerin EDS analizinde ağırlıkça farklı element değerleri görülmüştür. Sünek yapıda, Al ve Mg elementlerinin değerleri, numunenin kimyasal bileşimine uygundur. Yerel korozyon bölgesinde yoğun korozyon ürünlerine ait elementler tespit edilmiştir. Al ve Mg elementlerinin kimyasal bileşimi yerel korozyon bölgesinde oldukça düşüktür. Bu elementlerin yokluğu yerel korozyonlu bölgede β fazının varlığına işaret etmektedir.

Alüminyum alaşımının yüzeyindeki β faz bileşenleri korozif ortamda ana yapıya göre potansiyel fark oluşturmaktadır. Bu durum, ana yapı ve β fazına ait bileşenler arasında ciddi bir potansiyel fark yaratarak yerel korozyon bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Aktif olan β fazının korozif ortamda çözüldüğü düşünülmektedir.

Yerel korozyon türü olan çukurcuk korozyonu, korozyon deney süresinin uzamasıyla genişliğini ve derinliğini arttırmıştır. Buna bağlı numunelerin kesit alanında düşüşler meydana gelmiştir ve kesit alanının taşıdığı yük azalmıştır. Çekme dayanımı zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli düşme eğilimi göstermiştir.

Yerel korozyon bölgeleri alüminyum alaşımlarının kopma uzamalarını düşürmüştür. Korozyon deney süresinin uzamasıyla numunelerin sünekliliği azalmıştır.

Yerel korozyon bölgelerinde korozyon ürünleri tespit edilmiştir. Korozyon ürünlerinin miktarı ve çeşidi korozyon süresinin uzamasıyla artmıştır.

Kaynaklı birleştirme sırasında kaynak dikişi kalitesine bağlı kaynak hataları ortaya çıkabilir. Bu hatalar, ITAB bölgeleri ya da ana yapıdaki metalürjik dönüşümler yerel korozyon için elverişli olabilir. Fakat korozyon deneyi sonrası yapılan incelemelerde, metal yüzeyindeki β fazı bileşikleri korozyon morfolojisinde daha etkin rol oynamıştır. Kaynak dikişi çevresinde görülen mikro boyutlu yerel korozyon bölgeleri dayanım değerlerini olumsuz etkilememiştir.

Kaynaklı numunelerin kaynak dikişi çevresinde oluşan artık gerilmeler, dayanım değerlerini bir miktar düşürebilir. Çekme testi sonuçları, kaynaklı numunelerde çekme dayanımı ve kopma uzaması kayıplarının kaynaksız numunelere göre biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir.

6.2 Öneriler

Deneysel sonuçlar, deniz suyu korozyonuna maruz kalan 5754 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerinde zamanla kayıpların yaşanabileceğini göstermiştir.

Marina ortamında konstrüksiyonu yapılan 5754 alüminyum alaşımının korozyondan kaynaklı kayıpları statik hesaplara dahil edilmelidir. Bunun sonucunda alaşımın kesit alanının artırılması gerekmektedir.

İleri de bu konu üzerine yoğunlaşacak kişiler, farklı kaynak yöntemlerinde ya da farklı ısı girdilerinde birleştirme yapabilir. Farklı oranlarda soğuk deformasyonla sertleştirilmiş alüminyum alaşımları kullanılabilir. Daha modern çevrimsel korozyon yöntemleriyle korozyon testi uygulayabilir. Asidik ve bazik korozyon ortamı hazırlayarak korozyon hızlarını ölçebilir. Korozyon sonrası çentik darbe ve yorulma dayanımlarını inceleyebilir.

KAYNAKLAR

Ak, M., “AA206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-71, İstanbul, Kasım, (2012).

Akarçay, E., Aydın, İ., Kara, F., “Alüminyum Alaşımından Üretilmiş Ticari Araç Menteşelerin Deneysel Veriler ile Nümerik Analizlerinin Karşılaştırılması”, *9th International Automotive Technologies Congress*, Otekon 2018, 7-8 Mayıs, Bursa, (2018).

Akdoğan Eker, A., “Demirdışı Metal ve Alaşımının Korozyonu”, *Ders Notları*, İstanbul, (2009).

Akıncı, S., ”5754 Alüminyum Alaşımının Kaynak Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-69, İstanbul, Eylül, (2008).

Alan, S., Alüminyum Raporu, *Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği*, 30, Mayıs, (2008).

Alıcı, M.T., “Soğuk Metal Transferi Kaynağı ile Birleştirilmiş 6061 ve 5754 Alüminyum Alaşımının Kaynak Sonrası Isıl İşlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-42, Manisa, (2019).

Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar”, *Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, İstanbul, (1991).

Askeland, D., R., Fulay, P., P., *Essentials of Materials Science and Engineering*, Second Edition, USA: CL Engineering, April, (2008).

Atik, E., Meriç, C., Şahan, A., “TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş 2024 Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Çökelme Sertleşmesi Bakımından İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 75-83, Ekim, (2001).

Aydın, H., Bayram, A., “Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15, 1, Bursa, (2010).

Balan, K. P., *Corrosion, Metallurgical Failure Analysis*, 155–178, (2018).

Başer, T. A., “Alüminyum Alaşımaları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (635), 51-58, (2012).

Bellinger, N. C., Forsyth D. S., Komorowski, J. P., ” Damage Characterization of Corroded 2024-T3 Fuselage Lap Joints”, *Proceedings of the Fifth Joint NASA/FAA/DoD Conference on Aging Aircraft*, Florida, 10-13 September, (2001).

Corrosion Resistance Of Aluminium and Protective Measures Where Appropriate: Afsa, (2011).

Çetin, H., “Alüminyum Alaşımı Hafif Metal Levhaların Prizmatik Derin Çekmede Biçimlendirilebilirlik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-174, Isparta, (2005).

Dadfar, M., Fathi, M.H., Karimzadeh F., Dadfar, M.R., Saatchi A., “Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel”, *Materials Letters*, 61(11-12), 2343–2346, doi:10.1016/j.matlet.2006.09.008 (2007).

Davis, J. R. (Ed.), *Metals Handbook Desk Edition*: ASM International, (1998).

Demir, B.,” AA 5083-H111 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Farklı Akım Türlerinin Mekanik ve Mikroyapıya Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-109, Düzce, (2019).

Diltemiz, S., F., Ertaş, R., Tekirgöllü, A., Atabay Durul, E., N., “Havacılık Malzemelerinde Uygulanan Korozyon İzleme ve Önleme Yöntemleri”, *XII.International Corrosion Symposium*, 283-296, 06-09 October, Eskişehir, (2010).

Durmuş, H., Çömez, N., “Soğuk Metal Transferi ile Birleştirilen AA5754 Alaşımı İnce Sacların Korozyon Davranışı”, *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.385926, Ocak, (2018).

Dündar, M., Güngör, G., “Otomotiv Sektöründe Alüminyum Uygulamaları ve Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilmiş Alüminyum Levha Alaşımaları”, (2002).

Er, Y., “Uçak İniş Takımında Kullanılan Al Esaslı Destek (Bracket) Parçasının Hata Analizi”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 613-620, (2019).

Eyres, D. J., “Aluminium alloy”, *Ship Construction*, 50–54, (2007).

Fontana, M. G., Corrosion Engineering, Third Edition, Singapore: McGraw-Hill Book Company, (1987).

Gökçe, A., Fındık, F., Kurt, A. O., “Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalürjisi İşlemleri”, *Mühendis ve Makine*, 58(686), 21-47, (2017).

Graedel, T. E., “Corrosion Mechanisms for Aluminum Exposed to the Atmosphere”, *Journal of The Electrochemical Society*, 136(4), doi:10.1149/1.2096869, (1989).

Hackerman, N., “Effect of Temperature on Corrosion of Metals by Water”, *Industrial & Engineering Chemistry*, 44(8), 1752–1755, (1952).

İşdaş, O., “Elektrokimyasal Korozyon İlkeleri”, *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası*, 155, (2010).

Kahraman, B., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri İle Birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-98, Kocaeli, (2009).

Kahraman, F., Gençer, G. M., Yolcu, C., Kahraman, A. D., Dilbaz, M. E., “Soğuk Metal Transfer (CMT) ve Darbeli Soğuk Metal Transfer (Darbeli CMT) Kaynak İşlemleri ile Birleştirilmiş AA5754 Alüminyum Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59), Mayıs, (2018).

Kaluç, E., Taban, E., “Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesi”, *Metal Dünyası*, 174, 130-140, (2007).

Kınan, E., “Folium Theae (Çay)’Nin Civa Çeliğinin Korozyonu Üzerine İnhibisyon Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-62, Adana, (2005).

Kısasöz, A., “AA6063 Alüminyum Alaşımının H₂SO₄ Ortamındaki Korozyon Davranışına Yaşlandırma Süresinin Etkisi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 979-985, (2018).

Komaç, E., Askaynak Teknik Eğitim El Kitabı, *TIG Kaynak Yöntemi*, (2009).

Köse, C., “Robotik MIG ile Birleştirilen AA 5754 Alüminyum Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-149, Sakarya, Haziran, (2011).

L'Haridon-Quaireau, S., Laot, M., Colas, K., Kapusta, B., Delpech, S., Gosset, D., "Effects of temperature and pH on uniform and pitting corrosion of aluminium alloy 6061-T6 and characterisation of the hydroxide layers", *Journal of Alloys and Compounds*, 833(2020), doi:10.1016/j.jallcom.2020.155146, (2020).

Lahiri, A. K., Applied Metallurgy and Corrosion Control, *Indian Institute of Metals Series*, Singapore: Springer, doi:10.1007/978-981-10-4684-1, (2017).

Larsen, M. H., Walmsley, J. C., Lunder, O., Mathiesen, R. H., & Nisancioglu, K., "Intergranular Corrosion of Copper-Containing AA6xxx AlMgSi Aluminum Alloys", *Journal of The Electrochemical Society*, 155(11), 550-556, doi:10.1149/1.2976774, (2008).

Lee, H., Kim, Y., Jeong, Y., Kim, S., "Effects of testing variables on stress corrosion cracking susceptibility of Al 2024-T351", *Corrosion Science*, 55, 10–19, doi:10.1016/j.corsci.2011.09.021, (2012).

Lide, D. R., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition: CRC Press, (2003).

Lumley, R. N., "Introduction to aluminium metallurgy", *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, 1–19, (2011).

Materials Technology Institute, Temperature and Corrosion Rate, May, (2008).

Mutombo, K., Toit, M., "Corrosion Fatigue Behaviour of Aluminium 5083-H111 Welded Using Gas Metal Arc Welding Method", *Arc Welding*, 178-218, doi:10.5772/25991, (2011).

Nasiłowska, B., Bogusz, P., Skrzeczanowski, W., "The influence of shot peening on structure and mechanical properties of 5754 aluminium alloy joints welded with TIG method", *Procedia Structural Integrity*, 23, 583–588. doi:10.1016/j.prostr.2020.01.149, (2019).

Necşulescu, D. A., "The Effects Of Corrosion On The Mechanical Properties Of Aluminium Alloy 7075-T6", *U.P.B. Scientific bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, 73(1), (2011).

Obispo, H. M., Murr, L. E., Arrowood, R. M., Trillo, E. A., "Copper deposition during the corrosion of aluminum alloy 2024 in sodium chloride solutions" *Journal of Materials Science*, 35(14), 3479–3495, doi:10.1023/a:1004840908494, (2000).

Oğuz, B., “Demir Dışı Metallerin Kaynağı”, *Oerlikon Yayını*, (1990).

Önal, G., Ünüvar, A., Şimşek, T.,” 5083 Al-Mg Alaşımında Mekanik Özellikler Üzerine Korozyon Etkisinin Araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak Der.*, 20, 2, 191-196, Ankara, (2005).

Özakın, B., “Alüminyum Alaşımının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-60, Erzurum, (2014).

Özakın, B., Altun, H., “AA2024 Alaşımının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışlarının İncelenmesi”, *ISMSIT 2017*, Kasım 2-4, Tokat, (2017).

Spoelstra, M. B., Bosch, A. J., “Anodising as pretreatment of durable aluminium: The behaviour of several aluminium alloys to filiform corrosion”, *Materials and Corrosion*, 51, 155-160 (2000).

Papavinasam, S., “Mechanisms”, *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*, 249–300. doi:10.1016/b978-0-12-397022-0.00005-4, (2014).

Prasad, K. S., Rao, C. S., Rao, D. N., “Effect of welding parameters on pitting corrosion rate of pulsed current micro plasma arc welded AISI 304L sheets in 1N HCl”, *JCARME*, 3(1), Autumn, (2013).

Tanzi, M., C., Farè, S., Candiani, G., “Sterilization and Degradation”, *Foundations of Biomaterials Engineering*, 289–328, (2019).

Torkamany, M. J., Tahamtan, S., Sabbaghzadeh, J., “Dissimilar welding of carbon steel to 5754 aluminum alloy by Nd:YAG pulsed laser”, *Materials & Design*, 31(1), 458–465. doi:10.1016/j.matdes.2009.05.046, (2010).

Totten, G., E., MacKenzie D., S. (Eds.), *Handbook of Aluminum Volume 1, Physical Metallurgy and Processes*, New York, Basel: Marcel Dekker, Inc, (2003).

Turhan, S., “Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-63, İstanbul, Mayıs, (2002).

Tülbentçi, K., MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, *Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, İstanbul, (1990).

Türkan, M., “Kaynaklı ve Kaynaksız Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozif Ortamlardaki Çekme Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-92, Denizli, Haziran, (2013).

URL 1, Düzce sağlam depo, “Yakıt depoları [online]”, (13 Temmuz 2021), http://www.duzcesaglamdepo.com/bmc_yakit_deposu.html.

URL 2, aluminumtankerplate, “aluminumtankerplate [online]”, (16 Temmuz 2021), <https://www.aluminumtankerplate.com/aluminum-5754>.

URL 3, Asasaluroll, “distribütör ve ticari-ürünler [online]”, (19 Temmuz 2021), <https://www.asasaluroll.com.tr/sektorler/distributor-ve-ticari-urunler/>.

URL 4, Metals, “Corrosion of metals[online]”, (10 Haziran 2021), <https://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>.

URL 5, Alümagazin, “elokal nedir?[online]”, (1 Haziran 2021), <https://www.alumagazin.com/elokal-nedir-makale,8.html>.

URL 6, Webcorr, “Different Types of Corrosion[online]”, (5 Mayıs 2021), https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/uniform_corrosion.htm.

URL 7, Stmcoatech, “çukurcuk korozyonu nedir?[online]”, (9 mayıs 2021), <https://www.stmcoatech.com/cukurcuk-korozyonu-pitting-corrosion->.

URL 8, Ampp, “Pitting Corrosion[online]”, (8 Mayıs 2021), <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/pitting-corrosion>.

URL 9, Wikipedia, “Intergranular corrosion[online]”, (2 Nisan 2021), https://en.wikipedia.org/wiki/Intergranular_corrosion.

URL 10, Fractory, “Aluminium Corrosion & Its Different Types[online]”, (2 Mayıs 2021), <https://fractory.com/aluminium-corrosion/>.

URL 11, Steel data, “Steam condensate system-Upper part of horizontal condensate pipe- Cavitation - Corrosion defects[online]”, (10 mayıs 2021), <http://www.steeldata.info/macro/demo/data/171.html>.

URL 12, Kaynak Yöntemleri, “TIG kaynağı[online]”, (15 Haziran 2021), <https://www.metaluzmani.com/malzeme-menuyu/aluminyum/>.

URL 13, Metal ve kaynak teknolojileri, “TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar [online]”, (13 Temmuz 2021), <https://www.metaluzmani.com/tig-kaynaginda-kullanilan-koruyucu-gazlar/>.

Vargel, C., Corrosion of Aluminium 1st Edition, Oxford: Elsevier Science, (2004).

Vargel, C., Corrosion of Aluminium 2st Edition: Elsevier Science, (2020).

Wang, G., Tuo, X., Kou, L., Zhao, W., Zhu, X., “Research on corrosion performance of 6061 aluminum alloy in salt spray environment”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51(12), 1686-1699, (2020).

Welding, Brazing and Soldering, Volume 6, USA: ASM International, (1993).

Welding Handbook, Seventh Edition, 4, Metal and Their Weldability, Miami, Florida: Amer Welding Society, (1997).

Welding Handbook, Ninth Edition, Vol. 1: Welding Science and Technology, Miami: Amer Welding Society, (2001).

Yang, X. K., Zhang, L. W., Zhang, S. Y., Liu, M., Zhou, K., & Mu, X. L., “Properties degradation and atmospheric corrosion mechanism of 6061 aluminum alloy in industrial and marine atmosphere environments”, *Materials and Corrosion*, 68(5), 529–535, doi:10.1002/maco.201609201, (2016).

Yasakau, K. A., Zheludkevich, M. L., & Ferreira, M. G. S., “Role of intermetallics in corrosion of aluminum alloys. Smart corrosion protection”, *Intermetallic Matrix Composites*, 425–462, doi:10.1016/b978-0-85709-346-2.00015-7, (2018).

Zazoua, A., Azzouz, N., “An investigation on the use of indium to increase dissolution of AlZn anodes in sea water”, *Materials & Design*, 29(4), 806–810, doi:10.1016/j.matdes.2007.01.010, (2008).

Zhang, X., Hashimoto, T., Lindsay, J., & Zhou, X., “Investigation of the de-alloying behaviour of θ -phase (Al₂Cu) in AA2024-T351 aluminium alloy”, *Corrosion Science*, 108, 85–93. doi:10.1016/j.corsci.2016.03.003, (2016).

Zhang, X., Jiao, Y., Yu, Y., Liu, B., Hashimoto, T., Liu, H., & Dong, Z., “Intergranular Corrosion in AA2024-T3 Aluminium Alloy: The Influence of Stored Energy and Prediction”, *Corrosion Science*, 155 (2019) 1–12, doi:10.1016/j.corsci.2019.04.031, (2019).

Zhang, Y., Chen, Y., Zhang, Y., Bian, G., Wang, C., Wang, A., “Initial corrosion behavior and mechanism of 7B04 aluminum alloy under acid immersion and salt spray environments”, *CJA* 2030, May, (2021).

Zhu, Z., Zhu, J., Nie, Y., Li, X., Cheng, J., Zhang, X., “Effects of Annealing on Mechanical and Corrosion Properties of As-Extruded NQZ310K Alloy”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(2), 925–932, doi:10.1007/s11665-020-04643-x, (2020).