

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

**NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN
ALÜMİNYUM VE PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN
KOROZYON DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞENER CEYLAN

DENİZLİ, EYLÜL- 2023

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN
ALÜMİNYUM VE PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN
KOROZYON DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞENER CEYLAN

DENİZLİ, EYLÜL- 2023

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.

ŞENER CEYLAN

ÖZET

**NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN ALÜMİNYUM VE
PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN KOROZYON
DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞENER CEYLAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. ÖZLER KARAKAŞ)

DENİZLİ, EYLÜL- 2023

Bu çalışmada, nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilen alüminyum 5083 ve östenitik paslanmaz çelik AISI 304, AISI 304L malzemelerin korozyon davranışı incelenmiştir. Mühendislik uygulamalarında farklı malzemelerin birleştirilmesi, her malzemenin sunduğu farklı özellikler ve maliyet nedeniyle önemli bir hal almıştır ve her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, bu malzemeler arasında korozyon oluşması durumu göz önünde bulundurulmalıdır çünkü bu durum genel yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığı etkileyebilir. Bu çalışma, bu tür hibrit yapıların korozyon davranışını kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır ve özellikle birleştirme yöntemi olarak nokta kaynağının etkilerine odaklanmaktadır. Bu tez çalışması, gerçek dünya uygulamalarını temsil eden alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeleri nokta kaynağıyla 2 farklı akımda birleştirerek hibrit numuneler oluşturmayı içermektedir. Bu numuneler üzerinde korozyon davranışlarını incelemek üzere ASTM G48 testi uygulanmıştır. Bu testlerin sonucunda ayrıca birleşim arayüzünde oluşan korozyon etkileri de değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, hibrit yapıların korozyon hızlarını, korozyon eğilimlerini belirlemek için analiz edilmiştir. Ayrıca, kaynak akımı gibi nokta kaynağı parametrelerinin korozyon davranışı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Ek olarak, optik mikroskoplar ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile numuneler üzerindeki korozyon etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın bulguları, elektrik direnç nokta kaynağı metodu ile birleştirilen hibrit alüminyum 5083 H111 ve östenitik paslanmaz çelik AISI304-AISI304L yapıların korozyon davranışı hakkında bir anlayış kazandırır. Sonuç olarak, nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilen hibrit alüminyum ve paslanmaz çelik malzemelerin korozyon davranışının incelenmesi, bu malzemelerin bir arada kullanıldığı yapıların tasarım ve üretim süreçlerinde kullanılacak bilgiler sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Farklı metallerin kaynağı, korozyon davranışları, direnç nokta kaynağı, AA 5083, AISI 304, AISI 304L.

ABSTRACT

DETERMINATION OF CORROSION BEHAVIORS OF ALUMINUM AND STAINLESS STEEL MATERIALS JOINED BY SPOT WELDING METHOD

MSC THESIS

SENER CEYLAN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF.DR. OZLER KARAKAS)

DENİZLİ, SEPTEMBER 2023

In this study, the corrosion behavior of aluminum 5083 and austenitic stainless steel AISI 304, AISI 304L materials joined by the resistance spot welding method has been investigated. The combination of different materials in engineering applications has become increasingly important due to the unique properties and cost considerations of each material, and it is becoming more widespread every day. However, the occurrence of corrosion between these materials must be taken into account because it can affect the overall structural integrity and durability. This study aims to comprehensively evaluate the corrosion behavior of such hybrid structures, with a particular focus on the effects of the resistance spot welding method. This thesis work involves creating hybrid specimens by resistance spot welding aluminum and stainless steel materials, representing real-world applications, at two different currents. ASTM G48 tests were conducted on these specimens to examine their corrosion behavior. The corrosion effects occurring at the weld interface were also assessed as a result of these tests. Experimental results were analyzed to determine the corrosion rates and trends of hybrid structures. Additionally, the influence of spot welding parameters such as welding current on corrosion behavior was investigated. Furthermore, corrosion effects on the specimens were examined using optical microscopes and scanning electron microscopy (SEM). The findings of this study provide insight into the corrosion behavior of hybrid aluminum 5083 H111 and austenitic stainless steel AISI304-AISI304L structures joined by the resistance spot welding method. In conclusion, the study of the corrosion behavior of hybrid aluminum and stainless steel materials joined by the spot welding method provides valuable information for the design and manufacturing processes of structures where these materials are used together.

KEYWORDS: Dissimilar metals welding, corrosion behaviors, resistance spot welding, AA5083, AISI 304, AISI 304L.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	3
2. ALÜMİNYUM.....	7
2.1 Alüminyumun Özellikleri ve Tercih Sebepleri	7
2.1.1 Hafiflik.....	8
2.1.2 İletkenlik	9
2.1.3 Korozyon	9
2.1.4 Şekillendirme	10
2.1.5 Geri Dönüşüm.....	10
2.1.6 Yansıma	11
2.1.7 Mukavemet/Ağırlık Oranı.....	11
2.1.8 Esneklik	11
2.2 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	11
2.2.1 Döküm Alüminyum Alaşımları	14
2.2.2 Dövme Alüminyum Alaşımları	15
2.2.2.1 1xxx Serisi.....	16
2.2.2.2 2xxx Serisi.....	16
2.2.2.3 3xxx Serisi.....	17
2.2.2.4 4xxx Serisi.....	17
2.2.2.5 5xxx Serisi.....	18
2.2.2.6 6xxx Serisi.....	18
2.2.2.7 7xxx Serisi.....	19
2.2.2.8 8xxx Serisi.....	19
3. PASLANMAZ ÇELİK.....	21
3.1 Paslanmaz Çelik Türleri	21
3.1.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	23
3.1.2 Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	23
3.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	24
3.1.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler	24
3.1.5 Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler.....	26
3.2 Paslanmaz Çeliklerin Yaygın Olarak Kullanıldığı Alanlar	26
4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	28
4.1 Kaynak Çevrimi	31
4.2 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri	32
4.2.1 Kaynak Akımı.....	32
4.2.2 Kaynak Zamanı.....	33
4.2.3 Elektrot Kuvveti.....	33

5. KOROZYON	34
5.1 Korozyonun Tanımı	34
5.2 Korozyonun İşleyiş Biçimi.....	35
5.3 Korozyonun Genel Olarak Sınıflandırılması.....	37
5.4 Korozyon Türleri	37
5.4.1 Taneler Arası Korozyon.....	38
5.4.2 Oyuklanma (Çukurcuk) Korozyonu	39
5.4.3 Gerilmeli Korozyon	40
5.4.4 Aralık Korozyonu	41
5.4.5 Galvanik Korozyon.....	42
5.4.6 Üniform Korozyon.....	43
5.4.7 Çatlak Korozyonu	43
5.4.8 Yorulmalı Korozyon	44
5.5 Paslanmaz Çelik ve Alüminyumların Korozyon Özellikleri.....	44
5.5.1 Paslanmaz Çelik Malzemelerin Korozyon Özellikleri	44
5.5.2 Alüminyum Malzemelerin Korozyon Özellikleri.....	45
6. MATERYAL VE METOD	48
6.1 Deney Numunelerin Hazırlanması	48
6.1.1 AA5083 Malzemenin Özellikleri.....	48
6.1.2 AISI 304 ve AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Malzeme Özellikleri	49
6.2 Numunelerin Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilmesi.....	53
6.3 Numunelerin Tartılması	57
6.4 ASTM G48 Korozyon Testi	57
6.4.1 Deneyin Yapılışı	58
6.5 Optik Mikroskop ile Numunelerin Görüntülerinin Alınması.....	61
6.6 SEM Görüntülerinin Alınması	61
7. BULGULAR	62
7.1 Korozyon Deneyi Sonuçları	62
7.1.1 Korozyona Testi Sonrası Numune Görselleri.....	64
7.2 Makroyapı İncelemeleri	67
7.3 Numunelerin SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri.....	76
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
9. KAYNAKLAR	86
10. ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Çeşitli paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları.....	22
Şekil 4.1 Elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması (Çimen 1994).	28
Şekil 4.2 Direnç noktak kaynak makinesi temel bileşenleri (Megep 2007)....	29
Şekil 4.3 Direnç nokta kaynağı esnasında oluşan direnç ve sıcaklık dağılımı (Aktaş 2008).....	30
Şekil 4.4 Nokta direnç kaynağı döğüsünün gösterimi (Shelly ve Sahota 2017)..	32
Şekil 5.1 Korozyon mekanizması.	36
Şekil 5.2 Taneler arası korozyonun şematik gösterimi (Nilsson 2006).	39
Şekil 5.3 Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi (Nilsson 2006).	40
Şekil 5.4 Gerilmeli korozyon çatlakları (Nilsson 2006).....	41
Şekil 5.5 Aralık korozyonu şematik gösterimi (Correia 2008).	42
Şekil 5.6 Alüminyum metalinin bakır karşısında galvanik korozyona uğraması (Doğan 2023).....	43
Şekil 5.7 Üniform korozyonun şematik gösterimi (Yalçın ve Koç 1997)	43
Şekil 5.8 Alüminyum oksit filmi (Torkar ve diğ. 2008).	46
Şekil 6.1 Kaynak işlemi için tasarlanan fikstür ve kaynak işleminin yapılışı... 53	
Şekil 6.2 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	54
Şekil 6.3 Kaynaklanmış numunelerin şekil ve boyutsal özellikleri.	56
Şekil 6.4 Nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunenin şematik gösterimi.....	56
Şekil 6.5 Hassas terazi.....	57
Şekil 6.6 Korozyon testi için demir klorür çözeltisinin hazırlanması.	58
Şekil 6.7 Numunelerin korozyon testi öncesi yüzey hazırlığı.....	59
Şekil 6.8 Numunelerin korozyon testi öncesi asetona daldırılması.	59
Şekil 6.9 Asetona daldırılan numunelerin hava ile kurutulması.	60
Şekil 6.10 Numunelerin çözelti içerisine yerleştirilmesi.	60
Şekil 6.11 Makroyapı görüntülerinin alındığı optik mikroskop.....	60
Şekil 6.12 SEM cihazı.....	61
Şekil 7.1 AA5083- AISI 304 (7kA) numunelerinin korozyon testi sonrası ön yüz görüntüleri.	64
Şekil 7.2 AA5083- AISI 304 (7kA) numunelerinin korozyon testi sonrası arka yüz görüntüleri.	65
Şekil 7.3 AA5083- AISI 304L (7kA) numunelerinin korozyon testi sonrası ön yüz görüntüleri.	65
Şekil 7.4 AA5083- AISI 304L (7kA) numunelerinin korozyon testi sonrası arka yüz görüntüleri.	66
Şekil 7.5 AA5083- AISI 304 numunenin korozyon testi sonrası yan yüz görüntüsü.....	66
Şekil 7.6 AA5083- AISI 304L numunenin korozyon testi sonrası yan yüz görüntüsü.....	67
Şekil 7.7 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 7,5X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü	67

Şekil 7.8 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü	68
Şekil 7.9 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.....	68
Şekil 7.10 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 7,5X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü	69
Şekil 7.11 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.....	69
Şekil 7.12 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.....	70
Şekil 7.13 Korozyon testi sonrası AA 5083 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).....	70
Şekil 7.14 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).....	71
Şekil 7.15 Korozyon testi sonrası AISI 304 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).....	71
Şekil 7.16 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X).....	72
Şekil 7.17 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin yüzeyine ait makroyapı görüntüsü (20X)	73
Şekil 7.18 Korozyon deneyi sonrası AA5083 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X).....	73
Şekil 7.19 Korozyon deneyi sonrası AA5083 malzemenin yüzeyine ait makroyapı görüntüsü (20X)	74
Şekil 7.20 Korozyon testi sonrası AISI 304 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X).....	75
Şekil 7.21 AA 5083 SEM Görüntüsü (100X).	76
Şekil 7.22 AA 5083 SEM Görüntüsü (500X)	77
Şekil 7.23 AA 5083 SEM Görüntüsü (1000X).	77
Şekil 7.24 AA 5083 SEM Görüntüsü (2000X).	78
Şekil 7.25 AISI 304L SEM Görüntüsü (100X).....	78
Şekil 7.26 AISI 304L SEM Görüntüsü (500X).....	79
Şekil 7.27 AISI 304L SEM Görüntüsü (1000X).....	79
Şekil 7.28 AISI 304L SEM Görüntüsü (2000X).....	80
Şekil 7.29 AISI 304 SEM Görüntüsü (500X).	80
Şekil 7.30 AISI 304 SEM Görüntüsü (1000X).	81
Şekil 7.31 AISI 304 SEM Görüntüsü (2000X).	81
Şekil 7.32 AA5083 EDS analizi.	82
Şekil 7.33 AISI 304 EDS analizi.	83

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Anık ve Vural, 2000).....	3
Tablo 2.1 Alüminyum genel özellikleri (Şafak 2011).	8
Tablo 2.2 Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve bazı örnek uygulamaları (Özakın 2014).	12
Tablo 2.3 Alüminyum alaşımları için temper seri numaraları (Özakın 2014)..	13
Tablo 2.4 Döküm Al serileri (Kaufman 2004).....	15
Tablo 2.5 Dövme Al serileri (Kaufman 2004).	16
Tablo 6.1 AA5083 kimyasal bileşimi (%).....	49
Tablo 6.2 AA5083 mekanik özellikleri.....	49
Tablo 6.3 AISI 304 östenitik paslanmaz çelik % kimyasal bileşim değerleri. .	51
Tablo 6.4 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri. ...	51
Tablo 6.5 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin bazı fiziksel özellikleri.	51
Tablo 6.6 AISI 304L östenitik paslanmaz çelik % kimyasal bileşim değerleri.	52
Tablo 6.7 AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri.	52
Tablo 6.8 AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin bazı fiziksel özellikleri...	52
Tablo 6.9 Numunelere uygulanan nokta kaynak parametreleri.	55
Tablo 7.1 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon öncesi kütleleri.	62
Tablo 7.2 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon öncesi kütleleri.....	62
Tablo 7.3 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon sonrası kütleleri.	63
Tablo 7.4 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon sonrası kütleleri.	63
Tablo 7.5 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon ölçümleri.	63
Tablo 7.6 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon ölçümleri.....	64

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA	:	Amerikan Alüminyum Birliği
Al	:	Alüminyum
AC	:	Alternatif Akım
AISI	:	American Iron and Steel Institute
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
Cu	:	Bakır
Mg	:	Magnezyum
Si	:	Silisyum
EDS	:	Enerji Dağılımı Spektrometresi
EN	:	European Standarts
F	:	Kuvvet (Newton)
AWS	:	American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
ANSI	:	American National Standards Institute
SEM	:	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
H111	:	Temper Sembolü
MIG	:	Metal İner Gaz
MAG	:	Metal Aktif Gaz
HB	:	Brinel Sertliği
HV	:	Vickers Sertliği
PLA	:	Polilaktik Asit
YMK	:	Yüzey Merkezli Kübik Yapı

ÖNSÖZ

Öncelikle yüksek lisans eğitimim süresince bana destek olan ve yol gösteren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Özler KARAKAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasında gerekli imkanları bana sunan Dentaş Kâğıt A.Ş. firmasına ve emek harcayarak bilgi, tecrübelerini benimle paylaşan Dentaş Kâğıt A.Ş. çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımdaki değerli desteklerinin ve yol arkadaşlığının yanı sıra yüksek lisans eğitimimde de bana olan kıymetli desteklerini ve yol arkadaşlığımı sürdüren sevgili eşim Fatma CEYLAN 'a çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Farklı metallerin bir araya getirilmesi, bu malzemelerin benzersiz özelliklerin tek bir yapıda birleşiminin sağlanması, maliyet gibi avantajları nedeniyle yaygın bir uygulamadır. Bu tür hibrit yapılar, hafiflik, mukavemet ve dayanıklılık gibi özellikleri birleştirerek geniş bir çerçeve içerisinde farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak, farklı malzemelerin birleştirilmesi, özellikle değişen elektrokimyasal özelliklere sahip malzemelerin arayüzünde korozyon riskini arttırabilir.

Farklı malzemelerin bir araya getirilmesi, hibrit yapılarla ilgili zorlukları beraberinde getirir. Özellikle, elektriksel iletim sağlayan elektrolit ortamında iki farklı malzemenin birlikte kullanımının korozyona yol açabileceği bilinmektedir. Galvanik çiftler arasındaki elektrokimyasal reaksiyonlar, daha az soy metal olan malzemenin hızlanmış korozyonuna neden olabilirken, daha soy olan malzeme korunur. Korozyonun etkilerini minimum seviyeye indirmek ve önlemek için malzeme seçimi ve birleştirme yöntemlerinin özenle belirlenmesi gerekmektedir.

Farklı metallerin birleştirilmesinde nokta kaynağı yöntemi sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, iki malzemenin belirli bölgelerinde yoğunlaştırılmış ısı ve basınç kullanılarak birleştirilmesini içerir. Bu tür birleştirmenin sonucu, farklı malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşturan bir arayüz olacaktır. Bu bağın yapısı ve özellikleri, hibrit yapının korozyon davranışını etkileyebilir.

Hibrit yapıların korozyonunun minimum seviyede tutmak için birçok farklı yöntem önerilmiştir. Yüzey kaplamaları, organik filmler veya elektro kaplamalar gibi uygulamalar ile arayüzdeki galvanik korozyon potansiyelini düşürebilir. Bu önlemlerin etkinliğine karar verebilmek için, birleşim arayüzünün korozyon davranışlarının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Bu çalışma bu bağlamda literatüre gerekli bilgileri kazandırmayı hedeflemektedir.

Farklı malzemelerin birleştirilmesi ile oluşan hibrit yapıların uzun vadeli performansının korozyon karşısında nasıl etkilendiğini anlamak, gelecekteki

mühendislik uygulamaları için önem taşımaktadır. Daha fazla deneysel çalışma ve kapsamlı analizler, malzeme seçimi, nokta kaynağı parametreleri ve korozyon önleme stratejilerinin korozyon davranışına etkisini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma alüminyum ve östenitik paslanmaz çelik malzemelerin nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşan hibrit yapıların korozyon davranışını anlamak amacıyla yapılmıştır. Çalışma içerisinde 2 farklı kaynak akımında numuneler hazırlanmıştır, kaynak akımının da bu bağlamda etkisi incelenmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışması farklı malzemelerin üstün özelliklerinden faydalanmak, daha hafif ürünler ortaya koymak ve uygun maliyet sağlamak maksadı ile endüstriyel uygulamalarda giderek yaygınlaşan farklı metallerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi ve bu tür hibrit yapıların çalışma şartlarında yapısal bütünlüğünün korunabilmesi için korozyon davranışlarının belirlenmesi durumundan yola çıkılarak yazılmıştır. Bu bağlamda tez konusunun oluşmasına referans olan sektör viyol ambalaj üretim kalıplarındaki gerçek hayat uygulaması olsa da birçok farklı sektörde (otomotiv, havacılık vb.) bu tarz hibrit yapılara yer verilmektedir. Bu da bu tez çalışmasına geniş bir etki alanı oluşturmaktadır. Bu kapsamda uygulamalarda kullanılan veya kullanılabilir olan AA5083-AISI 304 ve AA5083-AISI304L malzeme çiftlerinden oluşan elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş hibrit yapıların korozyon davranışları incelenerek literatüre bu bilgileri kazandırmak bunun yanı sıra uygulamalarda alınabilecek önlemlerin belirlenmesinde kullanılabilir gerekli bilgi birikimini endüstriye kazandırmak amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Endüstride kullanılan malzemelerin çeşitliliğinin artması, farklı özelliklerin gerektiği alanlarda çeşitli metal bağlantılarının gerekli olması ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin öneminin artması, farklı özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılma gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır (Esendir 2008).

Konstrüksiyonların imalatında en yaygın kullanılan imal usullerinden birisi kaynaktır. Uygulanan işlemin türüne bağlı olarak, kaynak yöntemleri ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olarak sınıflandırılır. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması Tablo 1.1 de gösterilmiştir. Çeşitli metallerin birleştirilmesinde genellikle katı hal kaynak yöntemleri tercih edilse de elektron ışını, MIG/MAG, TIG gibi kaynak yöntemleri de kullanılabilir (Gülent 2005).

Tablo 1.1 Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Anık ve Vural, 2000).

ERGİTME KAYNAĞI	BASINÇ KAYNAĞI
1. Döküm ergitme kaynağı	1. Soğuk basınç kaynağı
2. Elektrik direnç ergitme kaynağı	2. Ultrasonik kaynak
3. Gaz ergitme kaynağı	3. Sürtünme kaynağı
4. Elektrik ark kaynağı	4. Ocak kaynağı
4.1. Karbon arkı ile kaynak	5. Döküm basınç kaynağı
4.2. Metal arkı ile kaynak	6. Gaz basınç kaynağı
4.3. Korumalı gazla kaynak	7. Elektrik direnç kaynağı
4.3.1. TIG (Normal TIG, Plazma TIG, Ark atom kaynağı)	8. Elektrik ark basınç kaynağı
4.3.2. MIG, MAG	9. Difüzyon kaynağı
4.4. Toz altı kaynağı	
5. Elektron bombardımanı ile kaynak	
6. Lazer ışını ile kaynak	

Ergitme kaynak yöntemi, hatalara duyarlı bir yöntem olması ve homojen olmayan soğumalar nedeniyle makro düzeyde iç gerilmelerin meydana gelmesi gibi önemli dezavantajlara sahiptir; bu da kaynağın mukavemetini olumsuz etkilenmektedir. Böyle bir durumda, farklı metal malzemelerin birleştirilmesi söz konusu olduğunda ve boyut ile şekil izin veriyorsa, ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrasında minimum iç gerilmelerin oluşması gibi nedenlerle katı hal kaynak yöntemleri, ergitme kaynağına göre belirgin bir üstünlük sunar (Aslan 2001).

Elektrik direnç nokta kaynağı, basınç kaynak yöntemleri arasında en sık kullanılanlardan biridir. Özellikle ince saçlardan oluşan konstrüksiyonların kullanıldığı otomotiv, beyaz eşya, mutfak eşyaları imalatı ve kimyasal kapların üretiminde, nokta direnç kaynağı büyük bir öneme sahiptir. Elektrik nokta direnç kaynağı, temel olarak elektrotlar arasında basınç altında tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına iş parçalarının direnci nedeniyle oluşan ısı ile birleşmenin gerçekleştiği bir yöntemdir (Vural 1992).

Malzemeleri birleştirmek için kullanılan kaynak işlemi, benzer veya farklı metaller için uygulanabilir. Günümüzde, farklı mühendislik malzemelerinden yapılmış yapısal elemanların kullanımı, birçok endüstride mekanik sistemlerin tasarımı sırasında yüksek yapısal performans elde etmek amacıyla artmıştır. Farklı metallerin kullanımıyla oluşan birleşimler, otomotiv, havacılık, elektronik ve gemi inşa gibi birçok farklı endüstride sıkça karşılaşılan bir durum haline gelmiştir. Bu bağlamda, yorulma yüklerine dayanabilen bu tür kaynaklı birleşimlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Örneğin, taşıma araçlarının yapısal bileşenlerinde ağırlığı azaltmak ve yakıt tüketimini düşürmek için alüminyum gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Ayrıca, yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı çelikler hala geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle, alüminyum ile çelik arasında bu şekilde bir birleştirme tekniği kullanarak bu malzemeleri kullanmak avantaj sağlamaktadır (Karakaş ve diğ. 2023).

Farklı malzeme çiftlerinin kaynak yoluyla birleştirilmesine dair endüstride birçok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalar içerisinde en öne çıkanlar, şüphesiz ki çeliklerin diğer metallerle kaynağıdır.

Aşağıda çeşitli metal kombinasyonlarına ait örnekler verilmiştir:

- Paslanmaz çelik ile yalın karbonlu veya düşük alaşımlı çelikler
- Çelik ile bakır alaşımları
- Çelik ile alüminyum alaşımları
- Çelik ile nikel ve kobalt alaşımları
- Bakır ile nikel alaşımları
- Titanyum alaşımları ile farklı metaller (Esendir 2008).

Temelde iki durumda farklı metallerin kaynağı sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, tasarımı esnekleştirme yani kaynak edilecek malzemelerin farklı koşullarda çalışması gerektiği durumlardır. İkincisi ise ekonomik sebeplerle, maliyetleri ve maliyete olan etkilerini olabildiğince azaltmak maksadıyladır (Mortezaie, Shamanian 2014), (Ma ve diğ. 2015).

Örnek olarak hızla ilerleyen otomotiv endüstrisinde, aracın ağırlığını azaltarak yakıt maliyetlerini düşürmek ve aynı zamanda aracın yapısal dayanımı artırmak amacıyla alüminyum ve çelik malzemelerin birbirlerine kaynak yöntemleri geliştirilmektedir (Schubert ve diğerleri 2001).

Farklı metaller arasındaki kaynak sırasında meydana gelen zorluklar, ana metallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanır. Isıl genleşme katsayısı ve kristal yapı farklılıkları, kaynak sırasında kaynak termal-mekanik sınırlamalarını ve aralarındaki metalik olmayan fazların oluşmasına neden olabilir. Metalik olmayan fazların olumsuz etkileri arasında sünekliğin azalması, yüksek çatlama riski ve korozyona karşı hassasiyet bulunur (Karakaş ve diğ. 2023).

Sravanthi (2018), Çalışmasında, MIG kaynağıyla kaynaklanmış, T6 ısıl işlem görmüş AA6061 alüminyum alaşımı ve galvanizli yumuşak çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarının taneler arası korozyon davranışını incelemiştir. Kaynak karakterizasyonu, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM), x-ışını kırınımı ve nano-sertlik ölçümü ile gerçekleştirmiştir. Deney sonucunda arayüzde gerçekleşen yoğun çözünmeyi ve metal kaybını göstermiştir. Kaynak arayüzlerindeki yüksek sertliğin daha yüksek yerel korozyona neden olduğunu ayrıca Al-Fe intermetalik katmanın kalınlığının, artan tel besleme hızı ve düşük kaynak hızı ile arttığını, bu artış ile galvanik ve taneler arası korozyonun şiddetini de arttırdığını tespit etmiştir.

Hassonia ve diğerleri (2022), AISI 316L paslanmaz çeliklerin punta kaynağının mekanik özelliklerini ve korozyon direncini incelemiştir. Her bir kaynak parametresi (kaynak akımı (4500 A, 5500 A ve 6500 A), elektrot basıncı (20 bar, 30 bar ve 40 bar), sıkma süresi (0,6 saniye, 0,8 saniye ve 1 saniye) ve kaynak süresi (0,3

saniye, 0,6 saniye ve 0,9 saniye)) için analiz edilmiştir. Deney numuneleri çekme-kesme testi, korozyon testi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Kaynak akımı ve elektrot basıncındaki artışın oyuklanma (çukurcuk) korozyonuna ve korozyon hızında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

2. ALÜMİNYUM

2.1 Alüminyumun Özellikleri ve Tercih Sebepleri

Alüminyumun malzemeler çeşitli özellikleri ile önemli konumdadır. Alüminyum alaşımlarını çeşitli uygulamalar için en ekonomik ve çekici yapan özellikleri görünüm, hafiflik, üretilebilirlik, fiziksel özellikler, mekanik özellikler ve korozyon direncidir. Alüminyum $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir, bu da çeliğin ($7,83 \text{ g/cm}^3$), bakırın ($8,93 \text{ g/cm}^3$) veya pirincin ($8,53 \text{ g/cm}^3$) yaklaşık üçte biri kadardır. Atmosfer, tuzlu su, petrokimyasallar ve birçok kimyasal sistem dahil çoğu ortamda mükemmel korozyon direnci sağlamaktadır. Alüminyum yüzeyler oldukça yansıtıcı olabilir. Alüminyumun bu özelliği sayesinde çeşitli dekoratif ve işlevsel uygulamalar için seçilmesine yol açmaktadır. Alüminyum genellikle mükemmel elektriksel ve termal iletkenlik sergiler.

Alüminyum aynı kütledeki bakırdan neredeyse iki kat daha iletken olduğu için genellikle tercih sebebidir. Alüminyum, yüksek gerilim iletim kablolarında elektriksel iletkenlik ve mekanik dayanıklılık gereksinimlerini karşılayabilir. Alüminyum alaşımları, ısı eşanjörleri, elektrikli ısıtma ekipmanlarına ek olarak otomotiv silindir kafaları ve radyatörleri için kullanılabilir. Alüminyum, elektrik ve elektronik endüstrilerinde ferromanyetik olmamasından dolayı tercih sebebidir. Alüminyum alaşımları içeren ürünler toksik olmadığından dolayı yiyecek ve içecek kaplarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı alüminyum alaşımları yumuşak çeliklerden daha güçlüdür. Bununla birlikte, saf alüminyum ve belirli alüminyum alaşımlarının dayanım ve sertliği son derece düşüktür (Doğan 2023).

Tablo 2.1’de Alüminyumun genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Alüminyumun genel özellikleri (Şafak 2011).

Sembol	Al
Atom No	13
Atom Ağırlığı	26.97 g/mol
Kristal Yapısı	YMK (a= 4.091 Å)
Yoğunluğu (25°C)	2.7 g/cm ³
Ergime Noktası	660 °C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150–300 °C
Buharlaşma Noktası	2450 °C
Isısal Genleşme	23 .6 x 1 0.6 (20-100 °C)
Özgül ısı	0.224 cal/g (100 °C)
Ergime Gizli ısı	94.5 cal/g
Elastik Modül	7.2
Kayma Modülü	2.7
Çekme Dayanımı	4-9 kg/mm ²
Akma Dayanımı	1-3 kg/mm ²
% Uzama	60
Kopma Uzaması	%30 – 40
Çentik Darbe Tokluğu	10 kg/cm ²

2.1.1 Hafiflik

Alüminyum özellikle ulaşım sektörü başta olmak üzere çeşitli alanlarda geniş şekilde kullanılmaktadır. Bunun temel sebebi, 2,7 g/cm³ yoğunluğa sahip olan bu metalin son derece hafif olmasıdır. Alüminyum ve alaşımlarının ağırlığı, aynı hacimdeki demir, çelik veya bakıra göre sadece üçte biri kadardır. Alüminyum, yaşlandırma süreciyle yüksek mukavemet için alaşımlandırılabilir ve sertliği artırılarak yüksek mukavemet-ağırlık oranı elde edilebilir. Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede, alüminyumdan yapılan daha hafif araçlar yakıt tüketimini azaltabilir; bu da çevre kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını düşürebilir. Ortalama bir aracın ağırlığının %10 azaltılması, yaklaşık %5-6 oranında yakıt tasarrufu sağlayabilir (Yılmaz 2002),(Mallick 2010).

2.1.2 İletkenlik

Alüminyum, hafif ve oldukça iletkendir; bu nedenle yüksek gerilim iletim hatları, dağıtım panoları ve yerel bina güç dağıtım sistemleri gibi yüksek güç gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Standart alüminyum, iyi bir ısı iletkeni olup termal iletkenliği bakırdaki gibi en iyi olan metaller arasında yaklaşık %60 seviyesindedir. Alüminyum alaşımlarının termal iletkenliği, kimyasal bileşiminin yanı sıra şekillendirme ve ısıl işlem koşullarına da bağlıdır. 19. yüzyılın sonlarına doğru bu özellik, alüminyum alaşımlarının ev ve ticari mutfak eşyalarında kalaylı bakırın yerini almasına yol açtı. Alüminyum ısı değiştiricileri bir dizi uygulamada kullanılır, bunlar arasında arabalar, buzdolapları, klimalar, deniz suyunun tuzdan arıtılması, güneş panelleri ve elektronik cihazlardaki radyatörler gibi birçok alan bulunmaktadır (Yılmaz 2003), (Vargel 2020).

2.1.3 Korozyon

Atmosfere maruz kaldıktan sonra, alüminyum yüzeyinde hızla ince bir oksit film tabakası oluşur. Bu oksit film, zarar görmüş olsa bile kendini hızla yenileyebilme özelliğine sahiptir. Oksit tabakasının genellikle kalınlığı 1 ila 8 nanometredir. Alüminyumdaki alümina genellikle amorf olarak kabul edilir. Alüminyum endüstrisi, gelişimini bu oksit filme borçludur çünkü yüzeyinde oluşan bu doğal oksit film sayesinde korozyona dayanıklı bir metal haline gelir. Ancak, pasifleştirilmiş diğer metaller gibi, halojenür iyonlarına karşı kararsızdırlar ve yerel korozyon ve çukurlaşmaya yatkındırlar.

Alüminyum ve alaşımlarının genel korozyon davranışını etkileyen iki ana faktör vardır. İlk olarak, malzemenin maruz kaldığı ortamdır; ikincisi ise malzemenin metalurjik ve kimyasal yapısıdır. Malzemeler, atmosferik, toprak altı ve çeşitli kimyasal ortamlar gibi çok farklı ortamlarda kullanılabilir. Ayrıca, endüstriyel ve deniz gibi sülfat ve klorür yoğunluğu yüksek olan ortamlar, alüminyum ve alaşımları için büyük tehlike oluşturan ortamlardır. Alüminyumun saflığı azaldıkça ve alaşım

elementleri ekledikçe korozyon direnci azalır. Bakır, diğer elementlere göre korozyon direncini daha fazla etkileyen bir alaşım elementidir.

Metallerin korozyonu, metal ile sulu çözelti arasında elektrokimyasal maddelerin geçişi ile başlayan ve metalin atomik yapısına bağlı olarak karmaşık bir elektrokimyasal süreçle ilerleyen bir süreçtir. Metal-çözelti arayüzünde, elektrik yüklerinin taşınması elektrokimyasal etkilere yol açar. Havada bulunan alüminyum, yüzeyini diğer kalıntılara karşı koruyan ve normal hava koşullarına maruz kalmanın neden olduğu korozyondan koruyucu şeffaf bir doğal oksit film ile kaplıdır.

Taneler arası korozyon direncini en üst düzeye çıkarmak ve korozyonu sınırlamak için alaşım elementleri, sınırlar, ısıtma işlem yöntemleri ve koruyucu kaplamalar özenle seçilmelidir (Yılmaz 2003), (Vargel 2020).

2.1.4 Şekillendirme

Alüminyum sünek bir malzeme olması sebebi ile kolay şekillendirilebilir. Alüminyum mamullerin plastik deformasyon yöntemi ile üretim süreçlerinde kolay şekil alabilirliğinin önemli avantajı vardır. Bu özelliği sayesinde alüminyum profiller, levhalar ve dövme ürünler kolay ve kaliteli bir şekilde üretilir (Doğan 2023).

2.1.5 Geri Dönüşüm

Alüminyum geri dönüşümü hem enerji açısından verimli hem de ekonomik olarak avantajlar sağlamaktadır. Alüminyumun ikincil üretimi, birincil metali cevherden üretmek için gereken enerjinin yalnızca %5'ini gerektirir. Çevre koşulları ve 20 sürdürülebilir bir ekonomi yaratma hedefi nedeniyle son 20 yılda geri dönüştürülmüş metal tüketiminin arttığı görülmüştür (Yılmaz 2003), (Vargel 2020).

2.1.6 Yansımaya

Alüminyum yüzeyler pürüzsüz ise radyo dalgalarını, görünür ışığı ve yüzeye çarpan mikrodalga ışınlarını yansıtma konusunda oldukça başarılıdır. Alüminyum, görünür ışığın %80'ini ve termal dalgaların %90'ını yansıtma özelliğine sahiptir. Alüminyum alaşımlarının uygulama alanı ve kullanımına bağlı olarak, polisaj ile parlak bir yüzey veya satinaj ile “mat” bir görünüm elde edilebilir (Yılmaz 2003) (Vargel 2020).

2.1.7 Mukavemet/Ağırlık Oranı

Nispeten yüksek mukavemet ile düşük yoğunluğun kombinasyonu, alüminyum alaşımları için yük taşıma kapasitesinde hiçbir kayıp olmadan daha ağır metallerin yerini alması için birçok avantaj sağlamaktadır. Mükemmel korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirlik ile birleşen bu özellik, alüminyumun teknelerde, uçaklarda ve otomotiv uygulamalarında geniş çapta kullanılmasına yol açmıştır. Alüminyum alaşımları için deformasyonla ve yaşlandırma ile gerçekleştirilen sertleştirme işlemleri kullanılarak 700 MPa'a kadar yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir (Yılmaz 2003), (Vargel 2020).

2.1.8 Esneklik

Alüminyum darbe enerjisini absorbe etme özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde özellikle arabada bir çarpma anında oluşan yüksek enerjiyi çok iyi emer. Büyük bir esnekliğe sahip elastik bir malzemedir (Doğan 2023).

2.2 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre temelde dövme ve döküm olarak iki ana alt gruba ayrılmaktadır. Dövme alaşımları, plastik deformasyonla şekillendirilir ve döküm alaşımlarından farklı mikroyapı ve kimyasal bileşime sahiptir. Her iki ana grup içinde yer alan alaşımlar, ısıl işlem uygulanabilen ve

uygulanamayan olarak iki alt gruba ayrılır (William 2001). Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında, çökelme sertleşmesi ısıl işlemle elde edilir. Isıl işlem uygulamaları alüminyumlarda istenen dayanımı sağlamak maksadı ile yapılmaktadır.

Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımları, 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Oğuz 1990). Diğer yandan, ısıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları çökelmeyle sertleştirilemez ve dayanımlarını arttırmak sadece soğuk şekillendirme ile mümkündür. Bu alaşımlar, katı ergiyik mukavemetlendirmesi, pekleşme ve yaşlandırma gibi yöntemlerle mukavemetlendirirler. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları ise 1XXX, 3XXX ve 5XXX serileri olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Oğuz 1990), (Özakın 2014).

Tablo 2.2’de Bazı alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine örnek uygulamalarına yer verilmiştir.

Tablo 2.2 Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve bazı örnek uygulamaları (Özakın 2014).

Alaşı m No*	Kimyasal bileşim, ağı %	Durum	Çek. Day. (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Uzama %	Örnek Uygulamalar
Dövme Alaşımlar						
1100	En az 99.0 Al, 0.12 Cu	Tavlanmış (O) Yarı sert (H14)	89 124	24 97	25 4	Sac metal işleri
3003	>1.2 Mn	Tavlanmış (O) Yarı sert (H14)	117	34	23 17	Basıncılı kaplar
5052	2.5 Mg, 0.25 Cr	Tavlanmış (O) Yarı sert (H34)	193 262	65 179	18 4	Kara ve deniz taşıtları
2024	4.4 Cu, 1.5 Mg 0.6 Mn	Tavlanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 220 > 442	< 97 > 345	12 5	Uçak yapı elemanları
6061	1.0 Mg, 0.6 Si, 0.27 Cu, 0.2 Cr	Tavlanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 152 > 290	< 82 > 241	16 10	Kara ve deniz taşıtları
7075	5.6 Zn, 2.5 Mg 1.6 Cu, 0.23 Cr	Tavlanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 276 > 504	< 145 > 428	10 8	Uçak ve diğer yapı elemanları
Döküm Alaşımlar						
355.0	5 Si, 1.2 Cu, 0.5 Mg	Kum kalıp (T6) Kalıcı kalıp (T6)	> 220 > 285	> 138	2.0 1.5	Pompa gövdesi, krank kutuları
356.0	7 Si, 0.3 Mg	Kum kalıp (T6) Kalıcı kalıp (T6)	> 207 > 229	> 207 > 229	3 3	Dişli kutuları, Jantlar
332.0	9.5 Si, 2 Cu, 1.0 Mg	Kalıcı kalıp (T5)	> 214			Motor Pistonları
413.0	12 Si, 2 Fe	Basıncılı Döküm	297		2.5	Karmaşık parçalar

* Alüminyum Association (Alüminyum Derneği) sayısı

Tablo 2.3’ de alüminyum alaşımları için temper seri numaraları gösterilmektedir.

Tablo 2.3 Alüminyum alaşımları için temper seri numaraları (Özakın 2014).

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

Saf alüminyum, endüstrinin gereksinimlerini karşılamak için yetersiz olan bir yumuşak malzemedir. Bu nedenle alüminyum, alaşımlandırılarak kullanılır. En yaygın alaşım elementleri arasında bakır, magnezyum ve silisyum yer alır; ayrıca çinko ve mangan gibi ikincil alaşım elementleri de sıkça kullanılmaktadır. Alüminyum, kullanılan alaşım elementlerine göre farklı serilere ayrılır. Alüminyum alaşımları genellikle dövme ve döküm alaşımları olarak sınıflandırılır (Özdemir 2023).

Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işlemleri özellikle istenilen mukavemeti elde etme açısından oldukça kullanılan bir yöntemdir (Kaufman 2004).

2.2.1 Döküm Alüminyum Alaşımaları

Alüminyum döküm malzemeleri hafif ve kolay şekil alan malzemelerdir. Bu sayede metallere kıyasla farklı ve daha zorlu formda malzemeler olarak dökülerek şekillendirilebilmektedirler. Kum kalıba, kokil kalıba döküm, enjeksiyonla döküm ve alçak basınçlı sistemlerde döküm gibi çeşitli tekniklerle birçok farklı şekilde üretilebilmektedirler (Özdemir 2023).

Alüminyum döküm malzemeler genellikle ağırlık kaybının önemli ölçüde performans artışına sebep olduğu otomotiv sektöründe; motor blokları, silindir kafalarında ve pistonlarda kullanılmaktadır (Yükler 2000), (Kaufman 2004).

Alüminyum döküm alaşımlarının demir ve çelik malzemelere göre zayıf yönü çok yüksek sıcaklıklarda çalışmamasıdır. Demir malzemeler 1100°C çelik malzemeler 1500°C’lerdeki çalışma koşullarına çıkabilmekteyken, alüminyum malzemeler bu sıcaklıkta bozunmaktadır (Campbell 2003).

Alüminyum döküm alaşımları içerdiği alaşım elementine göre farklı özellikler kazanmaktadırlar. Alüminyum döküm alaşımlarının sadece bir kısmında ısıl işlem uygulanabilmektedir. Alüminyum döküm alaşımlarından özellikle 2xxx serisi olarak adlandırılan Al-Cu alaşımları, 7xxx serisi Al-Mg-Zn alaşımları ve 8xxx serisi Al-Sn alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilmektedir. Isıl işlem uygulanan döküm alaşımlarında malzeme içerisinde oluşturulan çökelti fazları mekanik özelliklerin belirlenmesinde etken rol oynamaktadır (Otarawanna ve Dahle 2010).

Döküm alüminyum alaşımlarına eklenen %0,3-1,0 magnezyum katkısı çökelti sertleşmesine bağlı dayanım artışı sağlamaktadır (Li ve diğ. 2013). Döküm Al serileri Tablo 2.4’te gösterilmektedir.

Tablo 2.4 Döküm Al serileri (Kaufman 2004).

Ana Alaşım Elementi	Tanımlanan Seri
Al (Saf Al)	1xxx
Al+Cu	2xxx
Al+Si+Cu ve/veya Mg	3xxx
Al+Si	4xxx
Al+Mg	5xxx
Al+Zn	7xxx
Al+Sn	8xxx

2.2.2 Dövme Alüminyum Alaşımları

Alüminyum dövme alaşımları, mekanik deformasyon yoluyla özelliklerini artırarak mekanik açıdan daha üstün özellikler kazanırlar. Bu özellikleri sayesinde, dökme alüminyum alaşımlarına kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları görülebilir. Dövme alaşımlarının artan mekanik özellikleri, çeşitli işlemlerle elde edilir; bunlar arasında ekstrüzyon, soğuk ve sıcak haddeleme ve dövme prosesleri yer alır. Bu alaşımlar genellikle yüksek performans, işlenebilirlik ve yüzey kalitesi gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Farklı tipte levha ve lama malzemeleri, köşebentler, teller, boru tipi malzemeler gibi çeşitli yapı malzemeleri bu yöntemlerle üretilir.

Tablo 2.5'te sıralanan dövme alüminyum alaşımları, yine alaşım elementine bağlı olarak farklı serilerde adlandırılmaktadırlar. Bu serilerde belirtilen ve yaşlandırılabilen dövme alaşımlarına uygulanan yapay veya doğal yaşlandırma prosesleriyle, alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri istenen seviyelere çıkarılabilmektedir (Özdemir 2023).

Tablo 2.5 Dövme Al serileri (Kaufman 2004).

Ana Alaşım Elementi	Tanımlanan Seri
Al (Saf Al)	1xxx
Al+Cu	2xxx
Al+Mg	3xxx
Al+Si	4xxx
Al+Mg	5xxx
Al+Mg+Si	6xxx
Al+Zn	7xxx
Al+Li	8xxx
Diğer	9xxx

2.2.2.1 1xxx Serisi

Alüminyum 1 serisi, %99 ve daha yüksek Al bileşimine sahiptir bu sebeple saf alüminyum olarak adlandırılırlar. Bu seri alaşımları düşük mekanik dayanıma sahiptir ancak yüksek süneklik ve mükemmel korozyon direnci özellikleri sayesinde kimya ve elektrik endüstrisi malzemelerinde kullanılır (Cengiz 2018).

2.2.2.2 2xxx Serisi

Alüminyumun 2 serisi alaşımlarında, ana alaşım elementi olarak öncelikle bakır bulunurken, ayrıca magnezyum, mangan ve nikel gibi diğer elementleri de içerebilir. Bu alaşım serisi yaşlandırma işlemine tabi tutulabilir. Yapay veya doğal yaşlandırma sonrasında oluşan Al_2Cu fazı, önemli ölçüde akma dayanımını artırır (Aydın 2002).

Bu serinin özellikle hafiflik ve akma dayanımı gerektiren havacılık sektöründe, uçak yapıları, pervaneler ve ayrıca perçin bağlantılarında tercih edildiği görülmektedir. Aynı zamanda otomotiv endüstrisinde de gövde parçalarında kullanım potansiyeline sahiptir (Cengiz 2018).

2.2.2.3 3xxx Serisi

Bu serinin temel alaşım elementi manganezdır. Genel olarak, bir alüminyum-mangan alaşımı %1,80 oranında manganez içerir. Manganez çözünürlüğü sıcaklığın düşmesiyle azalır. Isıl işlem yoluyla yaşlandırma sertleşmesi bu alaşım türünde uygulanabilir. Manganez, alüminyumun çekme mukavemetini artırma etkisine sahiptir. Bu alaşım yüksek dayanıklılık ve mükemmel korozyon direnci özellikleri taşır. 1xxx serisi alaşımlara kıyasla %20 daha yüksek bir mukavemete sahiptir. Bu alaşımlar, saf alüminyum ile yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları arasındaki boşluğu doldurur. Örneğın %1,5 mangan eklenmesi, mukavemetin önemli ölçüde (100 ila 170 N/mm² arasında) artmasına neden olabilir, ancak sünekliğinde azalmaya neden olabilir. Mangan çözünürlüğünün sınırlı olması, bu alaşımların üretim yelpazesini sınırlar (Şafak 2011).

2.2.2.4 4xxx Serisi

4xxx serisinin ana alaşım elementi silisyumdur. Bu seri alaşımlarının dikkate değer bir özelliğı, düşük silisyum katkılarında düşük ergime sıcaklığına sahip olmalarıdır. Bundan dolayı, özellikle kaynak çubukları ve sert lehim levhalar için ideal bir tercih haline gelmişlerdir. Lehim telleri, mimari uygulamalar ve radyatör kanatçıkları, bu alaşımların ana kullanım alanlarından bazılarıdır. Alüminyumun içinde silisyumun çözünme sınırı en fazla %1,65'tir. Ancak, 4xxx serisine ait alaşımlarda %2,5'e kadar silisyum içeren alaşımlar üretilebilmektedir. Artan silisyum içeriğı, ergime sıcaklığı aralığını daraltırken dökme yeteneğini artırır. Yüksek silisyum içerikli alaşımlar, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve aşınma dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Bu yüzden, örneğın 4032 alaşımından üretilen dövme motor pistonları gibi uygulamalarda kullanılırlar. Ancak, bu alaşımlar ısıl işlemle sertleştirilemezler. Önemli miktarlarda silisyum içeren alaşımlara anodik oksidasyon uygulandığında koyu gri bir renk elde ederler. Bu nedenle, mimari uygulamalarda dekoratif amaçlarla tercih edilebilecek alaşımlar olarak öne çıkarlar (Şafak 2011).

2.2.2.5 5xxx Serisi

5xxx serisinin temel katkı maddesi magnezyumdur ve mekanik dayanımları orta düzeyden yükseğe kadar çeşitlendirilebilen malzemelerdir. Ancak ısı işleme sertleştirme yetenekleri sınırlıdır (Öksüz 1996).

Katı halde, magnezyumun çözünürlüğü sıcaklığın azalması ile birlikte hızla düşer. Ancak %5'ten az magnezyum ve yeterli miktarda silisyum içermeyen alaşımlar yaşlandırma ile sertleştirilemez. Genellikle soğuk şekillendirme yöntemiyle sertleştirilebilir alaşımlar elde edilir. 5xxx serisi alaşımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve dayanıklılık artarken süneklik azalır (Cavaliere 2005).

Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci ve deniz atmosferine karşı iyi korozyon direnci bu alaşımların belirgin özelliklerindedir. Ancak soğuk şekil değiştirme işlemine pek elverişli değildir (Yılmaz 2002). Mekanik dayanıklılığın artırılmasında temel faktör olan magnezyum, %0,8 ile %4,5 arasında değişen miktarlarda kullanılır. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında, magnezyum oranının artışı çekme mukavemetini de aynı oranda artırır. Bu alaşımlar, yüksek süneklik ve tam korozyon direnci özelliklerine sahip olduklarından özellikle deniz koşullarında, gemi ve tekne yapımı gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar (Oğuz 1990).

2.2.2.6 6xxx Serisi

Alüminyum 6 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Uygulamalara göre Mangan, krom ve çinko katkıları da eklenerek kullanılmaktadır (Davis 2001). Bu gruba dahil olan alaşım elementleri ekstrüzyonla üretilen malzemeler içerisinde geniş bir yer almaktadırlar. Mimari yapılarda, gemi güvertelerinde, makine imalatlarında ve otomotiv sektöründe yapısal malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Bu alaşımların korozyon direnci oldukça yüksektir bu durum sayesinde korozif ortamlarda bile tercih edilebilmektedirler (Maljaars ve diğ. 2008).

6xxx serisi alaşım malzemeleri ısı işleme maruz bırakılarak doğal veya yapay yaşlandırılmaktadırlar. Bu yaşlandırma ısı işlemleriyle birlikte iç yapısında çökelen Mg₂Si fazlarıyla mekanik özelliklerde iyileşme sağlanmaktadır. Sünekliğini

kaybeden malzeme buna karşın ciddi açıdan mekanik dayanım kazanmaktadır. Yapısında bulunan fazla silisyum alaşımları, çökeltme sertleşmesinin etkisini arttırmaktayken öte yandan tane sınırlar bölgesinde silisyumun ayrışması sonucu malzemenin süneklik değerleri azalmaktadır. Çözelti işlemi sırasında yeniden kristalleşmeyi baskılayan krom ve manganez ilavesiyle bu etki dengelenebilmektedir (Özdemir 2023).

2.2.2.7 7xxx Serisi

Alüminyum 7 serisi alaşımlarında, çinko temel alaşım elementi olarak kullanılırken uygulamaya bağlı olarak mangan, bakır ve krom gibi elementler eklenir.

Bu seri alaşımlarına ısıtılma işlemi uygulanabilir ve özellikle ısıtılma işlemi sonrası, en yüksek mekanik dayanım değerleri elde edilir. T4 veya T6 ısıtılma işlemleri uygulandığında, $MgZn_2$ ve $Mg_3Zn_3Al_2$ fazlarının çökmesi sonucu alaşımın mekanik özellikleri üç ila beş kat arasında artar. Alüminyum-çinko-magnezyum alaşımlarının korozyon direnci, özellikle az miktarda bakır içeren alaşımlarda iyidir (Kopeliovich 2022).

Toplam alaşım elementi miktarı %8'in altında olan alaşımlarda, kaynak kabiliyeti ve şekillendirilebilirlik oldukça yüksektir. İnce tane yapısı elde etmek için çözelti işlemi sırasında yeniden kristalleşmeyi engellemek önemlidir. Zirkonyum, krom ve manganez gibi elementler ise bu yönde etki göstererek yeniden kristalleşmeyi engellemeye yardımcı olur. 7xxx serisi alaşımlar, çeşitli uçak yapılarında dövme, ekstrüzyon veya sac formunda kullanılabileceği gibi hidrolik ekipman üretiminde de yaygın olarak kullanılır (Kopeliovich 2022).

2.2.2.8 8xxx Serisi

Alüminyum 8 serisi alaşımları, temel olarak lityum eklemesiyle oluşturulan alaşımlardan oluşur. Lityumlu alüminyum dövme alaşımları, düşük yoğunluğuyla havacılık sektöründe tercih edilen malzemeler arasındadır.

Alüminyum ile lityumun %1 oranında karıştırılması, alaşım yoğunluğunu %3 düşürdüğünden havacılık sektörü için son derece önemlidir. Alüminyum lityum alaşımları yüksek elastisite modülü, yüksek özgül sertlik ve üstün yorulma dayanıklılığı gibi özelliklere sahiptir (Zhong ve diğ. 2013).

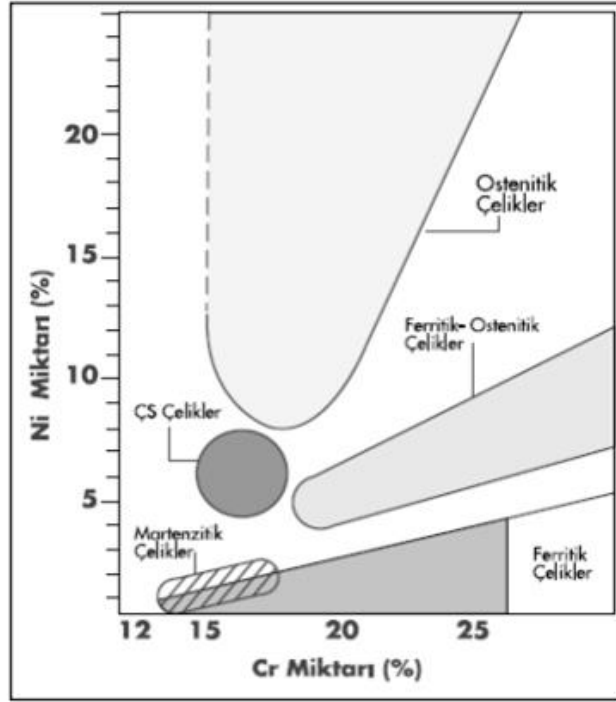
3. PASLANMAZ ÇELİK

Paslanmaz çelikler, içerisinde minimum %10,5 krom (Cr) elementi bulunduran ve demire (Fe) dayalı alaşımlardır. Bu çelik türü, İngiliz Harry Brearly tarafından 1913 yılında keşfedilmiştir. Brearly, çeliğin içeriğindeki krom oranını %12'ye çıkardığında korozyon direncinin arttığını fark etmiş ve böylece paslanmaz çeliği ilk kez ortaya çıkarmıştır (Seçkin 2012).

Krom elementi paslanmaz çeliklerin içinde, atmosferdeki oksijen (O) elementiyle reaksiyona girdiğinde metal yüzeyinde Cr_2O_3 (kromoksit) tabakası oluşturur; bu tabakaya aynı zamanda pasivasyon tabakası denir. Pasivasyon tabakası, ince bir zar gibi metal yüzeyini kaplar ve dışarıdan su, gaz vb. maddelerin geçişini engeller. Bu sayede metal, oksidasyona ve korozyona karşı daha dayanıklı hale gelir. Ayrıca, metal yüzeyinin deformasyonlar gibi etkilere maruz kaldığı durumlarda pasivasyon tabakası kendini yenileyerek metalin dış etkenlere karşı korunmasını sağlar (Paksoy 2008).

3.1 Paslanmaz Çelik Türleri

Kimyasal bileşimleri değiştirilerek paslanmaz çeliklerin özellikleri, çeşitlendirilebilir. Özellikle korozyon direncini artırmak amacıyla krom miktarı artırılabilmesi gibi nikel ve molibden gibi diğer alaşım elementleri de eklenerek özellikler geliştirilebilir. Bunun yanı sıra, bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum ve selenyum gibi elementlerin paslanmaz çelik içine katılması, çeliğin özelliklerine olumlu etkiler sağlayabilir. Ancak, paslanmaz çeliklerde iç yapının belirlenmesinde en kritik rolü oynayan alaşım elementleri sırasıyla krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle, paslanmaz çeliğin ferritik veya östenitik bir yapıya sahip olup olmadığını belirleyen temel elementler krom ve nikel olarak öne çıkar. Şekil 3.1 çeşitli paslanmaz çelik türleri için krom ve nikel miktarlarını göstermektedir.



Şekil 3.1 Çeşitli paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları.

Genel olarak paslanmaz çelikler mikroyapılarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar;

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler (Kaya 2012).

Paslanmaz çeliklerin diğer çelik türlerinden en önemli farkı, içerdikleri krom miktarının diğer çelik türlerine göre çok daha yüksek olmasıdır. Krom miktarı ile doğru orantılı olarak yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci artar.

3.1.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu tür paslanmaz çelik malzemeler, yapılarında genellikle nikel içermezler. Molibden, titanyum, vanadyum, krom vb. gibi farklı alaşım elementlerini içeren bir paslanmaz çelik çeşididirler. Yüksek krom içeriği nedeniyle ferritik paslanmaz çelikler, olağanüstü korozyon direnci sağlarlar. Diğer karbon çeliklerine benzer fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen, östenitlerin aksine manyetiklerdir. Düşük karbon miktarı sayesinde ısıyla işlem görmeyip kolayca şekillendirilebilirler. Tavlama ısı işlemi uygulanabilir. Ferritik paslanmaz çelikler içinde en tanınmış kaliteler, AISI 430 ve AISI 442 paslanmaz çelikleridir (Kaya 2012).

3.1.2 Östenitik Paslanmaz Çelikler

AISI serisi veya östenitik paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık %60'ını oluşturuyor. Bu çelikler, maksimum %0,15 karbon ve en az %16 krom içerirken, östenitik yapının düşük sıcaklıklardan erime noktasına kadar korunması için yeterli miktarda nikel veya manganez içerir. En tanınmış östenitik çelik tipi, içinde %18 krom ve %8 nikel bulunan AISI 304 kalite paslanmaz çeliktir.

Bir diğer yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çelik türü AISI 316L'dir. Bu tür, %12-25 arasında krom, %8-25 nikel ve %2,2 molibden içerir. Özellikle klorlu ortamlarda AISI 304'ün yetersiz kaldığı durumlarda tercih edilirler. Aynı zamanda süper östenitik paslanmaz çelikler olarak da bilinirler. Bu çelikler, yüksek molibden, nitrojen katkı maddeleri ve yüksek nikel içeriği ile yüksek korozyon direnci sergilerler. Süper östenitik çeliklerin yüksek alaşım içeriği, maliyetleri önemli ölçüde artırır. Bu sebeple benzer performans, ferritik veya dubleks paslanmaz çelik gruplarından daha düşük maliyetle elde edilebilir. En yaygın olarak bilinen östenitik kaliteler, AISI 304 ve AISI 316'dır. Bu çelikler rahatlıkla soğuk şekillendirilebilir. Bu özellikleri nedeniyle iç ve dış mekân mimarisi için levha haline getirilerek kullanılabilirler.

Östenitik krom nikel paslanmaz çelikler, genellikle %12-25 arasında krom ve %8-25 arasında nikel içeren paslanmaz çelik türleridir. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom, nikel ve manganez toplamı %24 veya daha fazladır. Genel olarak, krom içeriği %16 veya daha fazladır. Krom, oksidasyon ve korozyon direncini artırırken, nikel ve manganez yüksek soğutma oranlarına rağmen östenit fazının oda sıcaklığında bile stabil olmasını sağlar (Baytemir 2011) (Kaya 2012).

3.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklerin bileşiminde bulunan temel elementler krom, molibden ve karbondur. Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle nikel içermezler. Manyetikler ve içerdikleri karbon miktarının artışıyla sertleşme ve mukavemet özellikleri artarken, tokluk ve süneklik özellikleri azalır. İçerdikleri karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak ısı ile sertleştirilebilirler. En uygun korozyon direnci, temperleme ısı ile işlemi ve stres giderme işlemi sonrasında elde edilir.

Diğer paslanmaz çelik kalitelerle karşılaştırıldığında, bu çeliklerde korozyon direnci daha düşük olabilir; ancak işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik kabiliyetleri daha yüksektir (Dağlar 2019).

3.1.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler, özel bir paslanmaz çelik türüdür ve hem östenitik hem de ferritik yapıların bir kombinasyonunu içerir. Bu özelliği, çeliklerin ismini aldığı "çift fazlı" terimine işaret eder. Bu çelikler, yüksek korozyon direnci ile mekanik mukavemetin dengeli bir birleşimini sunarlar. Bu nedenle, özellikle zorlu endüstriyel ortamlarda kullanılan yapısal bileşenlerin üretiminde tercih edilirler.

Çift fazlı paslanmaz çeliklerin bileşiminde, genellikle krom, nikel, molibden gibi alaşım elementleri bulunur. Bu elementler, çeliklerin oksidasyon direncini artırırken, aynı zamanda korozyona karşı da etkili bir koruma sağlarlar. Ferritik yapı, dayanıklılığı ve mukavemeti artırırken, östenitik yapı ise çekme ve darbe dayanımını geliştirir. Bu iki fazın bir arada bulunması, çeliklerin genel performansını yükseltir.

Çift fazlı paslanmaz çelikler, genellikle denizcilik, petrokimya, kimya endüstrisi gibi agresif çevrelerde kullanılır. Tuzlu su, asitler, alkali ve yüksek sıcaklık gibi zorlu koşullara dayanıklılıkları sayesinde tercih edilirler. Ayrıca, çeşitli yapısal bileşenlerin imalatında da kullanılırlar. Bu çeliklerin özellikleri, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci, yüksek termal iletkenlik gibi avantajları içerir.

Bu tür çelikler yüksek oranda krom ve orta düzeyde nikel içerirler. Nikel miktarı en fazla %8 kadardır ve tüm yapının östenitik hale gelmesi için yeterli değildir. Çift fazlı mikroyapı, çeliğin 1000-1050 °C arasında temperlenip ardından hızla soğutulmasıyla elde edilir.

Çift fazlı paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksek mukavemet sergiler. Bu çeliklerin belirgin özelliği, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kırılma göstermeleridir. En bilinen ve tercih edilen türü AISI 2205'tir. Soğuk şekillendirme için daha fazla güç gerektirirler. Genellikle arıtma tesisleri, ısı değiştiriciler, petrokimya ve kağıt endüstrileri ile deniz teknolojilerinde kullanılırlar.

Kristal yapısı hacim merkezli kübik ferrit ve yüzey merkezli kübik östenit fazlarının bir kombinasyonudur. Ancak, dubleks paslanmaz çeliklerin bir dezavantajı vardır; sıcaklıkla ilişkili kırılma. Ferrit-östenit dengesi ve çürüme korozyon direncinin termal yaşlanmadan etkilenmesi nedeniyle, bu çeliklerin çalışma sıcaklıkları genellikle 260-300 °C arasında sınırlıdır (Dağlar 2019).

3.1.5 Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Bu tür çelikler ayrıca yaşlandırma ile sertleştirilmiş çelikler olarak da bilinirler. Çökeltme sertleştirilmesi uygulayabilen paslanmaz çelikler, temel olarak krom ve nikel içerirler. Hem martenzitik hem de östenitik özelliklerini bünyesinde barındıran bir paslanmaz çelik türüdür. Bu iki özelliğin birleşimi, yüksek sıcaklıklara ve korozyona karşı yüksek direnç sunar.

Bu çelik türlerinin sertleştirilmesi, bakır, titanyum, niyobyum, molibden ve alüminyum gibi alaşım elementlerinin eklenmesiyle gerçekleştirilir. En tanınmış ve yaygın olarak kullanılan kalitesi 17-4 PH olarak adlandırılır ve aynı zamanda AISI 630 olarak da bilinir (Dağlar 2019).

3.2 Paslanmaz Çeliklerin Yaygın Olarak Kullanıldığı Alanlar

Paslanmaz çelikler çok geniş bir kullanım yelpazesi sunan çok yönlü malzemelerdir. İşte paslanmaz çeliklerin yaygın olarak kullanıldığı bazı alanlar:

- Mutfak Eşyaları ve Gıda Endüstrisi: Paslanmaz çelik, hijyenik ve dayanıklı bir yüzeye sahip olduğu için mutfak eşyalarında, tencere-tava, bıçaklar, çatal-bıçak takımları gibi yerlerde sıkça kullanılır. Ayrıca gıda endüstrisinde, depolama tankları, paslanmaz çelik tesisat ve ekipmanlar, paketleme makineleri gibi alanlarda da tercih edilir.
- Otomotiv Endüstrisi: Paslanmaz çelik, otomobil egzoz sistemleri, şasiler, jantlar, kaplama detayları ve dekoratif aksesuarlar gibi birçok parçada kullanılır. Özellikle paslanmaz çeliklerin korozyona dayanıklılığı ve estetik görünümü otomotiv endüstrisinde tercih edilme sebeplerindedir.
- İnşaat ve Mimarlık: Paslanmaz çelikler, binaların dış cephe kaplamalarında, korkuluklar, merdiven korkulukları, asansör kaplamaları, köprüler ve diğer yapısal bileşenlerde sıkça kullanılır. Estetik görünümü, dayanıklılığı ve korozyon direnci bu alanlarda önemli avantajlar sağlar.
- Tıp ve Sağlık Endüstrisi: Tıbbi aletler, cerrahi aletler, protezler ve implantlar gibi ürünlerde paslanmaz çelikler kullanılır. Bu çeliklerin biyouyumlu

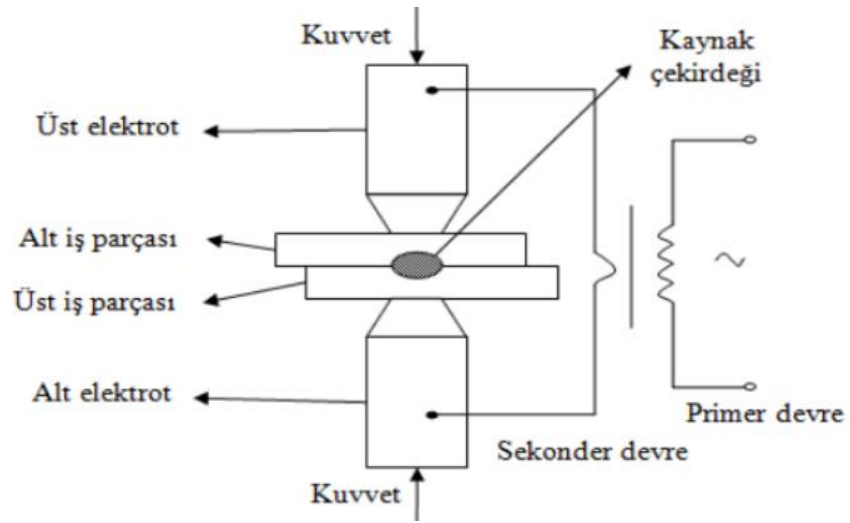
özellikleri, hijyenik yapısı ve dayanıklılığı sağlık sektöründe önemli bir rol oynar.

- Kimya ve Petrokimya Endüstrisi: Paslanmaz çelikler, kimyasal ve petrokimya tesislerinde depolama tankları, boru hatları, reaktörler ve ekipmanlar için kullanılır. Korozyona dayanıklılıkları, yüksek sıcaklık ve kimyasal dirençleri bu tür endüstrilerde tercih edilmelerine neden olur.
- Denizcilik ve Gemiler: Tuzlu suya ve deniz koşullarına dayanıklı olmaları nedeniyle paslanmaz çelikler, gemi yapımında, gemi döşemelerinde, gemi donanımlarında ve denizcilik ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır.
- Enerji Üretimi: Paslanmaz çelikler, enerji üretiminde kullanılan ekipmanlar, boru hatları, kazanlar ve reaktörler için tercih edilir. Termik santrallerden rüzgâr türbinlerine kadar birçok enerji üretim alanında kullanılırlar.
- Elektronik ve Teknoloji: Paslanmaz çelikler, elektronik cihazlarda, cep telefonlarının dış kasalarında, bilgisayarların bileşenlerinde ve teknolojik cihazlarda kullanılır.

Bu örnekler, paslanmaz çeliklerin çok geniş bir uygulama yelpazesi olduğunu göstermektedir. Korozyon direnci, mekanik mukavemeti, estetik görünümü ve biyoyumluluğu gibi özellikleri sayesinde birçok endüstri ve sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

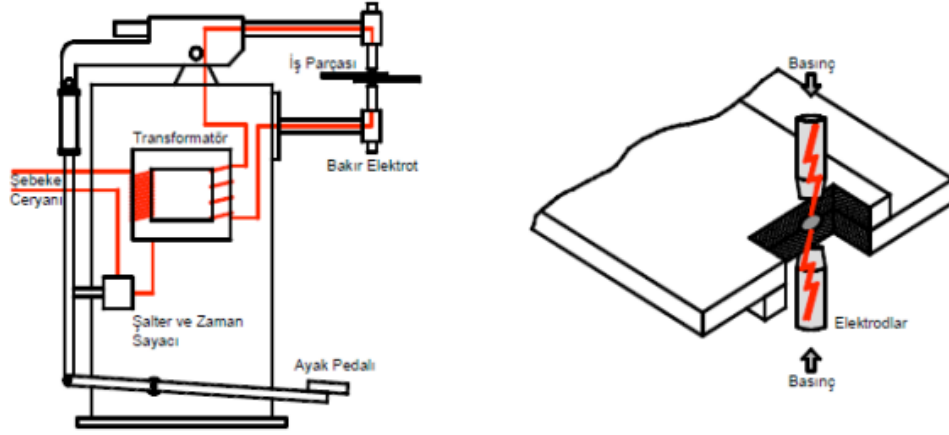
4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Bu uygulama, silindirik elektrotlar arasındaki akım yoğunluğunun neden olduğu lokal füzyon ile üst üste binen tabakaların birleştirilmesini içerir. Şekil 4.1, bu işlemin şematik düzenlemesini gösterir. Kaynak yapılacak malzemeler, elektrotlar arasına kollarla uygulanan basınç veya pnömatik olarak çalıştırılan pistonlarla sabitlenir. Küçük kaynak makinelerinde yaylar kullanılabilir. Akım genellikle aşağı yönde bir transformatör aracılığıyla sağlanır (Çimen, 1994), (Gülbahar, 1989).



Şekil 4.1 Elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması (Çimen 1994).

Elektrik direnç nokta kaynağı, elektrotlar arasına basınç ile sıkıştırılan parçaların elektrik akımına karşı gösterdiği direncin neden olduğu ısı ile gerçekleştirilen bir direnç kaynak yöntemidir (Karamış 2015). Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, kaynak işlemi iki parçanın temas eden yüzeyleri arasında gerçekleştirilir.

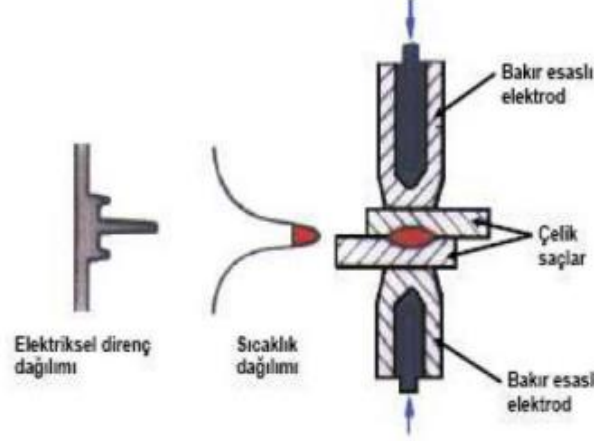


Şekil 4.2 Direnç nokta kaynak makinesi temel bileşenleri (Megep 2007).

Dirençli nokta kaynağı, iki zıt yönde yerleştirilen silindirik elektrot uçlarının metal sacın bağlantı yerine temas etmesiyle gerçekleşir. Kaynak noktasında güçlü bir bağlantı sağlamak için, akım devreye girdiğinde ve kaynak noktası katılaşana kadar sürekli basınç uygulanır. Direnç kaynağında, alternatif akımın (AC) ve basıncın doğru bir şekilde kontrol edilmesi ve zamanlaması büyük önem taşır. Örneğin otomotiv endüstrisinde, 60 Hz frekansında döngü sayısı genellikle yaklaşık 30'a kadar değişebilir. (Kalpakjian ve Schmid 2014).

Bir nokta kaynağının yüzeyleri hafif renksiz çukurluklara sahip olabilir. Kaynak hücresi genellikle 10 mm çapına kadar olan bir alana yayılabilir. Akımlar, kaynak yapılan malzemenin türüne ve kalınlığına göre değişir ve genellikle 3000 ile 40.000 A arasında değişir. Elektrotlar genellikle bakır alaşımlarından yapılır ve şekillerini korumak için yüksek elektrik iletkenliğine ve sıcaklık dayanımına sahip olmaları gerekmektedir (Kalpakjian ve Schmid 2014).

Direnç nokta kaynağı, ilave malzeme kullanımına ihtiyaç duymayan ve özel bir kaynak eğitimi gerektirmeyen bir yöntem olması, hafif ve hızlı bir kaynak süreci sunması, yüksek mukavemet gibi avantajları nedeniyle günümüzde otomotiv ve metal eşya sektörlerinde sıkça tercih edilmektedir (Anık ve Vural 2000). Şekil 4.3'te direnç nokta kaynağı işlemi sırasında oluşan direnç ve sıcaklık dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.3 Direnç nokta kaynağı esnasında oluşan direnç ve sıcaklık dağılımı (Aktaş 2008)

Elektrik direnç nokta kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlükleri:

- Çok hızlı bir kaynak yöntemi olması,
- İnce sac levhaların birleştirilmesi sırasında deformasyona yol açmaması,
- Yüksek kapasiteli üretim hatlarında rahatlıkla kullanılabilmesi,
- Otomasyona elverişli olmasıdır (Ceyhun 1992), (Ertem 2019),

Elektrik direnç nokta kaynağının bazı avantajları aşağıdaki gibidir;

Yüksek sayıda sac metal üretimi gerektiğinde, direnç nokta kaynağının otomasyona uyum sağlama yeteneği ve yüksek hızı başlıca avantajlarıdır. Kaynak ve ısı etkisi altındaki bölgenin küçük olması, malzeme özelliklerinin bozulmamasını sağlayarak direnç nokta kaynağının önemli faydalarını sunar. Aynı zamanda sağlam ve konsantre özelliklere sahip bağlantılar oluşturulabilir. Bu bağlantılar montaj hattında diğer üretim işlemleriyle birleştirilebilir. Nokta kaynak yöntemi ile yukarıda bahsi geçen avantajları sayesinde yüksek üretim hızlarında kaliteli kaynak üretimi sağlanabilir (Akyol 2001).

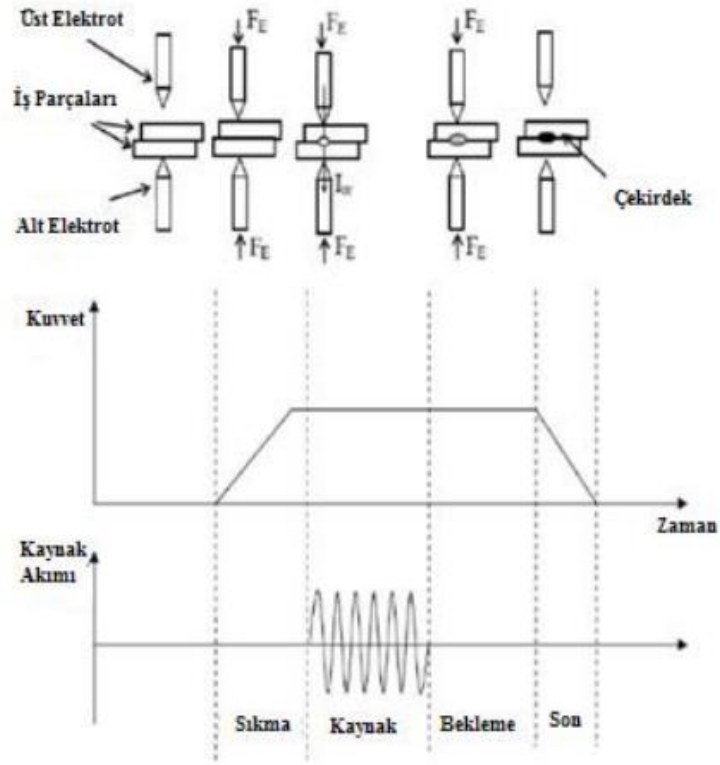
Elektrik direnç nokta kaynağının bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir;

Kontrol edilmesi gereken bir dizi kaynak parametresi bulunmaktadır. Bu yöntem yüksek güç tüketimi gerektirir ve özellikle tek fazlı makinelerde yüksek güç tüketimi görülür (Gallagher 2003). Bağlantılar minimum şekilde bozulma ile oluşturulabilir (Kanlı 2005). Levhalar arasındaki çentikten kaynaklı olarak, nokta kaynakları düşük gerilme ve yorulma dayanıklılığına sahip olabilirler. Bir nokta kaynağı bağlantısından saçın tüm dayanımını elde etmek mümkün değildir, çünkü erime süreklilik arz etmez ve yüklemeye bindirmesi nedeniyle eksantrik olabilir. Ekipman açısından bazı dezavantajları bulunmaktadır, örneğin ilk ekipman kurulumunun maliyeti ve akım için sökme veya tamirin zorluğu gibi zorlukları vardır. Elektrik direnç kaynağı bir elektromekanik birleştirme işlemidir (Akyol 2001).

4.1 Kaynak Çevrimi

Nokta kaynağı işlemi dört temel aşamadan oluşan bir kaynak döngüsü içerir. Bu aşamalar sırasıyla sıkma zamanı, kaynak zamanı, tutma zamanı ve kapalı zamanı içerir. Kapanma süresi genellikle manuel olarak başlatılan tekrarlayan kaynak döngülerinde kullanılır. Şekil 4.4, temel bir elektrik nokta direnç kaynak döngüsünü göstermektedir. Aşamalar aşağıda daha detaylı olarak açıklanmıştır.

- Sıkma Zamanı: Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının uygulanmaya başladığı ilk an arasındaki zaman dilimidir.
- Kaynak Zamanı: Kaynak akımının iş parçasına uygulandığı zaman dilimidir.
- Tutma Zamanı: Akımın kesilmesinin ardından elektrotların konumunu bozmadan, kaynak hücresinin katılaşmasını beklediği zaman dilimine denir.
- Ölü Zaman: Elektrotların iş parçası ile temas halinde olmadığı zaman dilimidir (Ertem 2019).



Şekil 4.4 Nokta direnç kaynağı döğüsünün gösterimi (Shelly ve Sahota 2017).

4.2 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri

4.2.1 Kaynak Akımı

Kaynak çekirdek boyutu ve gücü, artan akım yoğunluğuyla birlikte hızla artış gösterir. Fazla akım yoğunluğu ise erimiş metalin dışarı atılmasına (iç boşluklara yol açar), kaynak çatlamlarına ve düşük mekanik mukavemetine neden olabilir. Nokta kaynağında, aşırı akım ana metali fazla ısıtarak iş parçalarında derin girintilere neden olabilir. Bununla birlikte, elektrotların aşırı ısınmasına ve hızlı bir şekilde bozulmasına yol açabilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

4.2.2 Kaynak Zamani

Direnç nokta kaynağında üretilen toplam ısı, kaynak süresiyle doğru orantılıdır. Temelde, ısı çevreleyen ana metale ve elektrotlara iletilir ve radyasyon nedeniyle çok az miktarda kayba uğrayabilir. Bu ısı kayıpları, kaynak süresi ve metal sıcaklığıyla orantılı olarak artar. Uygun akım yoğunluğu kullanıldığında, bir nokta kaynağı işlemi sırasında erime sıcaklığına ulaşmak için en kısa süre gereklidir. Genellikle uzun bir kaynak süresi boyunca, bir noktada ısı kayıpları, ısı girişiyle eşitlenecek ve sıcaklıklar istikrar kazanacaktır (O'Brien ve Guzman, 2007).

Nokta kaynaklı ağır levhalarda elektrot kuvveti korunarak, genellikle nispeten kısa birkaç darbede kaynak akımı uygulanır. Akımı darbelemek, kaynak arayüzündeki iş parçaları arasındaki ısının aşamalı olarak artmasını sağlamak içindir. Kaynak işlemi gerçekleştirilmek için gereken amper değeri, ısı darbe süresi çok uzunsa, metalin hızla erimesine ve dışarı atılmasına neden olabilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

4.2.3 Elektrot Kuvveti

Kaynak yapılacak parçaların bir arada tutulması ve homojen akım geçişi sağlanabilmesi için elektrotlar aracılığıyla birleştirilecek parçalara bir basınç kuvveti uygulanır. Bu elektrot kuvveti, özellikle uygun temas direncini sağlamak amacıyla önemlidir. Aynı zamanda, kaynak sırasında sıvı haldeki çekirdeği katı haldeki metal hacmi içinde basınç altında tutarak dışarı sıçramasını engeller. Çok düşük elektrot kuvvetleriyle çalışıldığında, malzeme-malzeme temas direnci yüksek olur ve aniden sıcaklık yükselmesi sonucu yerel ergimeler ve sıçramalar meydana gelir. Çok yüksek elektrot kuvvetlerinde ise temas direnci düşer, bu da ya kaynak noktasının oluşmamasına veya yüksek kaynak akımının gerekliliğine neden olur. Bu durum istenmeyen deformasyonlara, kaynak noktasının sıkışmasına ve renk değişimine yol açabilir (Ceyhun 1992), (Ertem 2019).

5. KOROZYON

Metallerin çevreleriyle yaptıkları kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmeleri olayına korozyon denir. Bu tanım klasik anlamda korozyon için yapılan tanımdır.

Korozyon olayında, malzeme kayıpları, hep bir çözeltiliye geçme şeklinde anlaşıldığı için, korozyon hasarına uğrayan malzemelerin sadece metallerle sınıflandırılma gereksimini beraberinde getirmiştir. Zira, öncelikle elektrokimyasal reaksiyonlar ancak iyonların çözeltiliye geçerek malzeme bünyesini terk etme imkanını sağlar. Mühendislik malzemesi özelliğini barındıran elementler ve onların karışımlarından birilerinin çözeltiliye geçerek hasara uğrama durumu var ise bu sadece metalik malzeme bünyesinden olabilir (Yüksel ve Meran 2016).

5.1 Korozyonun Tanımı

Korozyon, aralarında elektriksel ve elektrolitik temas bulunan, potansiyel farkının oluşabileceği iki metal bölge veya nokta arasında meydana gelir. Bu bölge veya noktalardan biri potansiyel olarak daha yüksekse, yüzeyinde katodik reaksiyon meydana gelirken diğer bölge veya nokta çözünür. Korozyon süreci, kendiliğinden gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda enerji açığa çıkarır. Örneğin, demir metalinin su ve oksijenle teması sonucu doğada bulunan minerallere benzeyen oksit bileşiklerine dönüşme eğilimi vardır. Bu mineraller, demirin en düşük enerji düzeyine sahip olan ve en stabil bileşikler olarak kabul edilirler. Metalik demir, korozyon reaksiyonları sonucunda bu oksitlere dönüşerek enerji açığa çıkarır. Benzer şekilde, diğer tüm korozyon olayları da enerji açığa çıkararak tek yönlü olarak ilerlerler (Yalçın ve Koç 1990).

5.2 Korozyonun İşleyiş Biçimi

Korozyon olayı, bir metalin iyon formuna yükseltgenmesiyle gerçekleşir:

$Me = Me^{2+} + 2e^-$ Bu olay anot bölgesinde meydana gelir, burada metal yüzeyinden iyon formuna geçer.

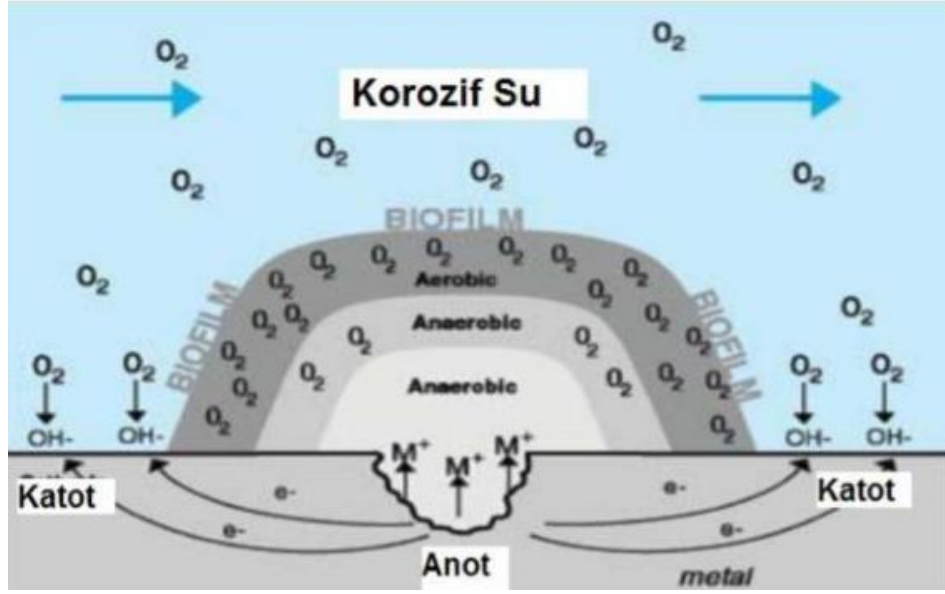
Daha sonra metal iyonları, su molekülleri ve hidrojen iyonları ile etkileşime girerek çözelti içinde metal hidroksitleri oluşturur: $Me^{2+} + 2H_2O = Me(OH)_2 + 2H^+$. Bu işlem metal iyonlarının suda çözünmesine neden olur. Oluşan metal hidroksitler, alkali ortamlarda hidroliz yoluyla hidroksit iyonlarına dönüşerek çöker.

Çözeltideki oksijen, katot bölgesinde hidroksit iyonlarına dönüşerek çözülmüş oksijeni indirger: $1/2 O_2 + 2H_2O + 2e^- = 2OH^-$ Bu reaksiyon sonucunda hidroksil iyonları oluşur.

Asidik ortamlarda ise katot reaksiyonu hidrojen iyonlarının indirgenmesini içerir: $2H^+ + 2e^- = H_2$ Bu reaksiyon sonucunda hidrojen gazı açığa çıkar.

Korozyon mekanizması, metalin su veya nemli ortamlarda nasıl değişime uğradığını ve bu sırada nasıl iyonlar, hidroksitler vb. ürettiğini açıklar. Bu süreç, metal yüzeyinin zamanla aşındığı ve bozulduğu bir işlemi ifade eder.

Şekil 5.1'de korozyonun işleyiş biçimi görselleştirilmiştir.



Şekil 5.1 Korozyon mekanizması.

Korozyon olayı, sadece üretim tesislerinde değil, endüstrinin her alanında karşımıza çıkar. Atmosfer etkisi altında bulunan çelik yapılar, köprüler, korkuluklar, direkler, raylar, depolar, tarım makineleri, taşıt araçları gibi birçok yapıda, su ve yeraltında bulunan çelik yapılarda, akaryakıt ve su borularında, kablolarında, tanklarda, iskele ayaklarında, baraj kapaklarında, cebri borularda, gemilerde, dubalarda, buhar kazanlarında, radyatörlerde, betonarme demirlerinde ve daha pek çok metalik yapıda korozyonla karşılaşabiliriz. Bu süreç, bu metal yapıların beklenenden daha kısa bir sürede korozyon nedeniyle kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir.

Bu sebeple, korozyon olayını tamamen engellemek mümkün olmasa da, alınacak tedbirler sayesinde korozyon hızı düşürülerek metalin ömrü belirli bir süre daha uzatılabilir.

Korozyon sonucunda sadece metal kaybedilmez, aynı zamanda ilgili ekipmanın işlevi de sekteye uğrar. Bu yüzden korozyonla etkin bir mücadele olmadan sağlıklı bir endüstri faaliyeti sürdürmek mümkün değildir.

Öte yandan korozyon, ulusal kaynakların en önemlileri olan malzeme ve iş gücünün tahrip olmasına yol açar. Bu açıdan bakıldığında korozyon, endüstrinin

verimini düşüren, ekonomik büyümeyi engelleyen ve milli geliri ciddi şekilde etkileyen ekonomik bir olgu olarak değerlendirilmelidir.

Tüm bu yapılarda meydana gelen korozyon kayıplarını tam olarak hesaplamak oldukça zordur. Bunun nedeni, korozyon kayıplarının sadece malzeme ve iş gücü kaybıyla sınırlı olmaması; aynı zamanda daha fazla dolaylı kayıpları da beraberinde getirmesidir (Savaşkan 2000).

5.3 Korozyonun Genel Olarak Sınıflandırılması

- Korozyona sebep olan ortam açısından:
 - a) Kuru korozyon
 - b) Yaş korozyon
- Korozyon mekanizması açısından:
 - a) Kimyasal korozyon
 - b) Elektrokimyasal korozyon
- Korozyona uğrayan metalin görünüşü açısından:
 - a) Üniform korozyon,
 - b) Yerel korozyon, (Yüksel ve Meran 2016).

5.4 Korozyon Türleri

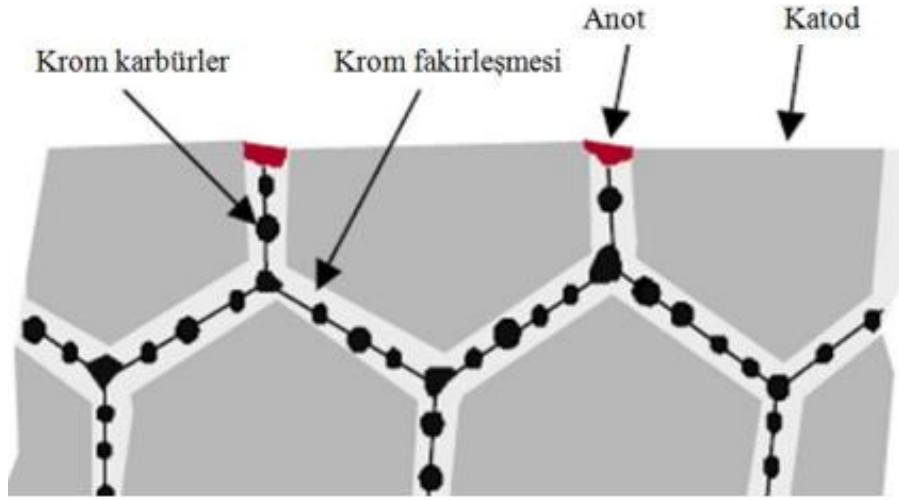
Metaller, buldukları çevrenin özelliklerine bağlı olarak farklı korozyon türlerine maruz kalabilirler. Temel korozyon türleri şunlardır:

- Üniform korozyon
- Pullanma korozyonu
- Galvanik korozyon
- Çatlak korozyonu

- Filiform korozyon
- Çukur korozyonu
- Taneler arası korozyon
- Seçimli korozyon
- Erozyon korozyonu
- Aşınmalı korozyon
- Yorulmalı korozyon
- Hidrojen kırılğanlığı
- Mikrobiyolojik korozyon
- Yüksek sıcaklık korozyonu
- Stres korozyonudur (Yalçın ve Koç 1998).

5.4.1 Taneler Arası Korozyon

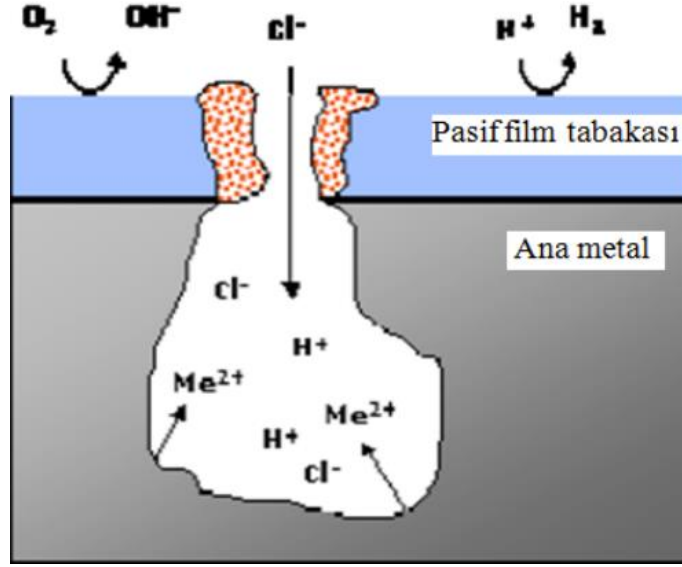
Taneler arası korozyon, karbon miktarı yüksek çeliklerde ve karbür yapıcılarının bulunduğu durumlarda meydana gelir. Bu durumda, özellikle krom karbür, belli bir sıcaklık aralığında (500 °C – 800 °C) tane sınırlarında ökeler. Krom karbür çökmesi, karbür etrafındaki krom değerinin, kritik değeri olan ağırlıkça %10,5'in altında olması sonucunda ortaya çıkar. Şekil 5.2' de verilen örnekte taneler arası korozyonu önlemek için krom karbür oluşumu engellenmelidir veya en azından minimum seviyeye indirilmelidir. Molibden miktarının çeliğe eklenmesi ile ısıl işlem süreci artırılabilir. Ayrıca meydana gelmiş olan karbürler yüksek sıcaklıklarda çözünebilir ve hızlı soğutma ile tekrar oluşmaları engellenebilir. Kromdan daha etkin karbür yapıcılarının eklenmesi, farklı bir strateji olarak kullanılabilir. Örnek olarak, titanyum veya niyobyum, krom ile reaksiyona g krom karbür oluşumunu engellerler (Aydoğdu ve Aydınol 2005).



Şekil 5.2 Taneler arası korozyonun şematik gösterimi (Nilsson 2006).

5.4.2 Oyuklanma (Çukurcuk) Korozyonu

Oyuklanma korozyonu, metal yüzeyinde kısmi ve bölgesel olarak oyuklar veya delikler oluşturan bir korozyon şeklidir. Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde, tam olarak inklüzyonlardan arındırılmamış alanlar nedeniyle pasif film yapısında çeşitli inklüzyonlar bulunabilir. Bu pasifleşmemiş bölgeler, özellikle çevrede klorür iyonları gibi halojenler varsa, pasif filme duyarlı hale gelebilir. Şekil 5.3'te gösterildiği gibi, klorür iyonları gibi halojenlerin varlığı paslanmaz çelik yüzeyinde belirli alanları pasif filme duyarlı hale getirir ve böylece oyuklanma korozyonu oluşabilir. Klorür iyonları pasif filmin yapısını bozar ve yeniden oluşmasını engeller. Ayrıca oyuklar genişledikçe, oyuk dibindeki pH miktarı azalabilir ve klorür iyonlarının oyuklara dolmasına neden olabilir. Krom, molibden ve azot gibi elementler, paslanmaz çeliklerin oyuklanma direncini artırabilir (Murat 2018).

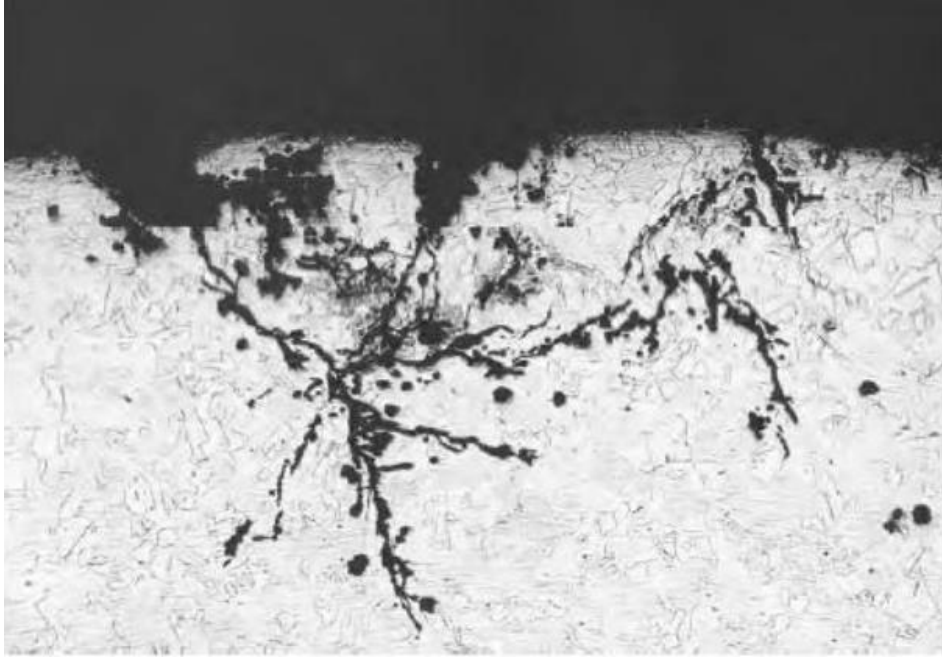


Şekil 5.3 Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi (Nilsson 2006).

5.4.3 Gerilmeli Korozyon

Çeşitli agresif ortamlarla temas halinde olan metal yapılar ve makine parçaları genellikle mekanik gerilmelere maruz kalır. Buhar kazanları, yüksek basınçlı kaplar, içten yanmalı motor silindirleri, pompa milleri ve rotorları gibi örnekler bu tür yapıların örneklerindedir. Korozyon, genellikle parça yüzeyindeki çatlaklar veya diğer geometrik düzensizlikler nedeniyle başlar ve zamanla mekanik gerilmelerin etkisiyle hız kazanabilir. Bu çatlaklar, mekanik gerilmelerin büyüklüğüne ve çevresel koşullara bağlı olarak malzeme içinde ilerler. Bu süreç, malzemenin kesitinin taşıyabileceğinden daha fazla zorlanması sonucu ani kopmalara yol açabilir.

Korozif ve mekanik etkilerin birlikte gözlemlendiği durumlarda gerilmeli korozyonun oluştuğuna dair yorumda bulunulabilir (William 2001). Şekil 5.4 gerilmeli korozyona çatlağına ait bir örnektir.

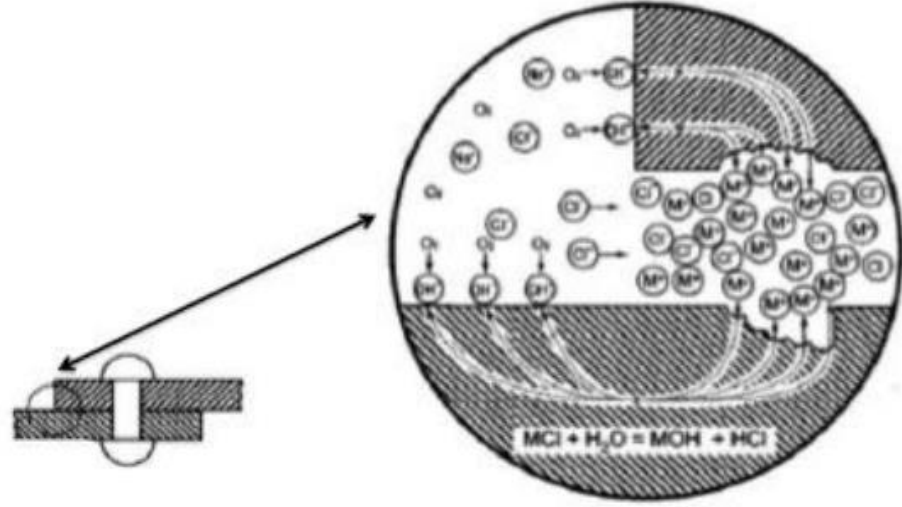


Şekil 5.4 Gerilmeli korozyon çatlağı (Nilsson 2006).

5.4.4 Aralık Korozyonu

Aralık korozyonu, aynı veya farklı türde iki metalin fiziksel olarak birleştirildiği durumlarda, bağlantı bölgelerinde veya aralıklarda oluşan bir korozyon türüdür. Bu bölgelerde atmosferle temasın kesilmesi veya yeterli temasın sağlanamaması sonucunda yüzeydeki pasif film onarılamaz hale gelir ve bu durum malzemedeki korozyona yol açar (Leffler 1998). Şekil 5.5.'de aralık korozyonun şematik gösterimi verilmiştir.

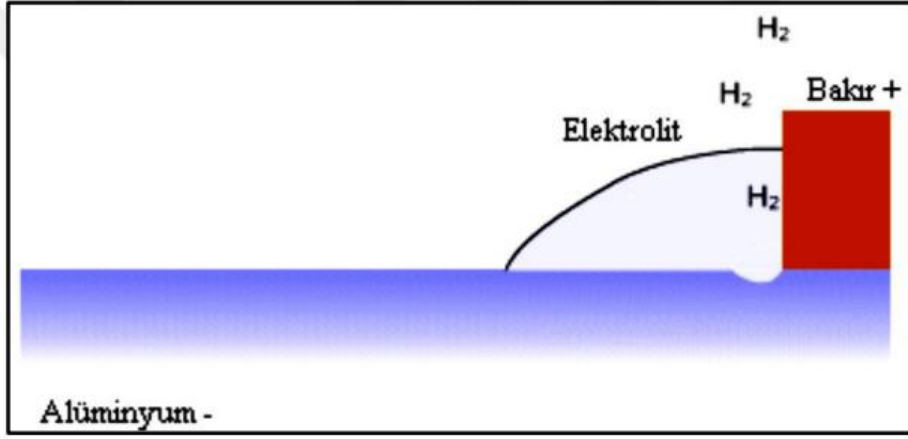
Aralık korozyonu, iki yüzeyde metal bulunmasını gerektirmez; bir yüzey metal olabilirken diğer yüzey cam, polimer veya lastik gibi farklı malzemelerden oluşabilir. Bu nedenle, aralık korozyonu özellikle makine bağlantı elemanları, kimyasal depolama tankları, koruyucu kaplamalar içeren metal yüzeyler ve yüzeylerde meydana gelen ince çatlaklar gibi alanlarda ortaya çıkabilir. Bu tür korozyon, kapalı yüzeylerde meydana geldiğinden dolayı genellikle sonradan fark edilir.



Şekil 5.5 Aralık korozyonu şematik gösterimi (Correia 2008).

5.4.5 Galvanik Korozyon

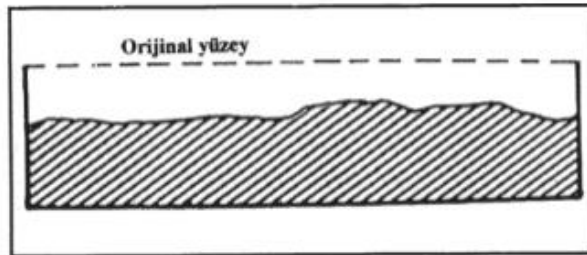
Galvanik potansiyel, farklı malzemelerin birbirleriyle temas ettiği durumlarda ortaya çıkar. Daha reaktif olan metal (anot), daha pasif olan metali (katot) korumak amacıyla yavaşça okside ederken, anot ise korozyona uğrar. Örneğin, galvanizli boruların, siyah boruların ve bakır malzemelerin tesisat bağlantıları sonucunda galvanik potansiyel farkı gözlemlenebilir. Korozyonun meydana gelmesi için elektrolitik bir sıvının mevcut olması gerekmektedir. Deniz kenarında ise alüminyum-bakır veya sac-paslanmaz çelik gibi farklı metallere yapılan bağlantılarda nem filmi, galvanik korozyonun oluşmasına yol açar. Özellikle klor, galvanik hücrelerin oluşumunu kolaylaştırabilir. Pratikte, galvanik korozyona karşı alınabilecek önlemler arasında metaller arasındaki potansiyel farkını azaltarak anot-katot temasını engellemek, izole flanşlarla elektriksel yalıtım sağlamak, katot yüzeylerini boyamak, inhibitörler kullanmak, anotları değiştirilebilir şekilde tasarlamak, daha kalın anotlar kullanmak veya daha anodik bir üçüncü metali sisteme ekleyerek katodik koruma sağlamak yer alır. Deniz kıyısında bulunan yüksek gerilim enerji tesisleri, hidrokarbon iletkenliğine sahip boru hatları ve çeşitli santral hidrolik ve pnömatik devre bağlantıları gibi alanlarda galvanik korozyona sıkça rastlanabilir (Weissbach 1998). Şekil 5.6 da galvanik korozyonun şematik görseline yer verilmiştir.



Şekil 5.6 Alüminyum metalinin bakır karşısında galvanik korozyona uğraması (Doğan 2023).

5.4.6 Üniform Korozyon

Bu tür korozyon, uzun bir süreç içinde meydana gelir ve metalin her bölgesinde aynı derecede etkiler. Bu nedenle homojen korozyon olarak da adlandırılır. Metalin homojen bir şekilde korozyona uğramasıyla, kalınlığı her bölgesinde neredeyse aynı oranda azalır. Şekil 5.7 bu durumu göstermektedir.



Şekil 5.7 Üniform korozyonun şematik gösterimi (Yalçın ve Koç 1998).

5.4.7 Çatlak Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan ince bir çatlaktan ya da dar bir alandan çevrede akan elektrolitin girmesi oldukça zordur. Bu yerlerde korozyonun hızı normal yüzeylere göre daha fazladır. Bu şekilde gelişen korozyon olayına çatlak korozyonu

denilmektedir. Çatlak korozyonu, çatlağın içindeki elektrolit akışının yavaş olduğu bir durumda gerçekleşir. Bu nedenle, çatlağın içindeki oksijen yoğunluğu, çevresel oksijen yoğunluğuna göre daha düşüktür. Bu farklılık, çatlağın içi ile çevresi arasında konsantrasyon hücresi oluşmasına neden olur. Bu tür korozyon, genellikle yüzeydeki çatlaklarda veya dar bölgelerde gelişir ve ilerlerken metal malzemenin zayıflamasına ve hasar görmesine yol açabilir.

5.4.8 Yorulmalı Korozyon

Dinamik bir gerilim altında periyodik olarak basma-çekme hareketine maruz kalan metaller zamanla yorulur. Yorulmuş bir metal, düşük kuvvetler altında bile çatlayabilecek bir hassasiyet kazanır. Bu yorulma süreciyle birlikte ilerleyen korozyon, metali daha kısa sürede parçalanmaya yatkın hale getirir. Hidrolik, termal ve rüzgâr enerjisi santralleri gibi metal yapılar, ısı değiştirici ve düşürücü sistemlerdeki genleşmeli üniteler, aynı zamanda santral yavaşlama römorkörlerinin pervanelerinde de bu tür korozyona sıkça rastlanır. Bu tür korozyonun etkisini azaltmak için gerilim düşürme, metal yüzeyinin çinko, krom, nikel veya bakır gibi metallerle kaplanarak korozyon direncinin artırılması, etkileşim frekansının ve sıcaklık değişiminin kontrol altına alınması gibi yöntemler kullanılabilir (Demir 2008).

5.5 Paslanmaz Çelik ve Alüminyumların Korozyon Özellikleri

5.5.1 Paslanmaz Çelik Malzemelerin Korozyon Özellikleri

Korozyon, bir metalin, başka bir metal veya bulunduğu ortamla kimyasal veya elektrokimyasal etkileşime girerek oksitlenmesi sürecidir. Kimyasal korozyonda metal ve ortam arasında elektron alışverişi sonucu yüzeyde farklı özelliklere sahip bir oksit tabakası oluşur. Elektrokimyasal korozyon ise potansiyel farkı bulunan iki yüzey veya bir yüzeyde potansiyel farkı bulunan farklı bölgeler arasında meydana gelir. Özellikle paslanmaz çeliklerde elektrokimyasal korozyon sıkça görülür (Murat 2018).

Paslanmaz çelikler, koruyucu bir oksit film tabakası sayesinde ortam korozyonuna karşı korunurlar. Bu oksit film tabakası aynı zamanda bir tür korozyon ürünüdür. Paslanmaz çeliklerde korozyon, yalnızca bu tabakanın zarar görmesi veya yok edilmesi sonucunda meydana gelir. Ortam koşullarına bağlı olarak yüzeyde oluşan korozyonun türüne göre, paslanmaz çeliklerde yaygın olarak görülen korozyon tipleri arasında oyuk korozyonu ve çatlak korozyonu bulunmaktadır.

Paslanmaz çeliklerde görülen korozyon çeşitleri şunlardır:

1. Tanelerarası korozyon
2. Oyuklanma korozyonu
3. Gerilmeli yorulmalı korozyon
4. Aralık korozyonu
5. Galvanik korozyon (Murat 2018).

5.5.2 Alüminyum Malzemelerin Korozyon Özellikleri

Alüminyum, oksijene karşı oldukça afiniteye sahip çok reaktif bir metal olmasına rağmen, metal çoğu ortama ve çok çeşitli kimyasal maddelere karşı oldukça dayanıklıdır. Bu direnç, metal yüzeyinde oluşan alüminyum oksit filmin inert ve koruyucu karakterinden kaynaklanmaktadır. Çoğu ortamda, alüminyumun korozyon oranı zamanla hızla azalır. Sadece birkaç vakada, örn. kostik soda, korozyon oranını doğrusal olarak yaklaşık yapar. Her ne kadar oksit film 50 Angstrom ile 100 Angstrom arasında çok ince olsa da, metal su gibi oksitleyici bir ortamla temas ettiği anda metal ile çevresindeki ortam arasında koruyucu bir bariyer oluşturur. Oksit filmin fiziksel-kimyasal kararlılığı alüminyumun korozyon direncini belirler. Bu stabilite, ortamın pH değerine bağlıdır, çünkü oksit filmi yaklaşık 4 ile 8 pH aralığında stabildir (Url-1).

Sulu çözelti içindeki herhangi bir korozyon reaksiyonu, metalin oksidasyonunu (anodik reaksiyon) ve çözelti içindeki bir türün indirgenmesini (katodik reaksiyon), bunun sonucunda iki reaktif arasında elektron transferini içermelidir. Anodik ve katodik reaksiyonlar aynı oranda ve aynı anda bir metalin yüzeyinde gerçekleşir, bu nedenle metal elektriksel olarak yüklenir ve bu nedenle

oksidasyon hızı, indirgeme oranına eşittir. Örneğin, bu durumda, alüminyumun sudaki korozyonu iki yarı reaksiyonla temsil edilebilir .

Yükseltgenme (anodik reaksiyon) $Al \Rightarrow Al^{3+} + 3e$

İndirgenme (katodik reaksiyon) $H^+ + e \Rightarrow \frac{1}{2} H_2$

Alüminyum koruyucu oksit film tarafından üretilen pasifliği sayesinde korozyona karşı mükemmel bir dirence sahiptir. Bu direnç sayesinde doğal ortamlarda, deniz suyunda, birçok toprak türünde, kimyasalda ve çoğu gıdada yıllarca kullanılabilir. Bu özellikler sayesinde alüminyum ve alaşımları, binaların dış cephelerinde, yüksek gerilim elektrik hatlarında, gemi inşaatı üst yapılarında, ulaşım alanında ve boru hatları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Bu ince koruyucu film, aşınma gibi bir hasar görürse çoğu ortamda hemen yeniden oluşur ve alüminyum korozyondan korumaya devam etmektedir. Şekil 5.8'de Alüminyum oksit filmi gösterilmiştir. Bu film kendi kendini yenileyemeyecek koşullarda hasar gördüğünde ise korozyon meydana gelmektedir. Alüminyum oksit film genellikle iki katmandan oluşur. Metale yakın olan iç oksit tabakası, yalnızca ortamın sıcaklığı ile belirlenen bir kalınlıkta susuz amorf bir tabakadır. Ortam tarafında ise susuz katmanı örten daha kalın, daha az koruyucu olan sulu bir dış oksit tabakası bulunmaktadır (Doğan 2023).



Şekil 5.8 Alüminyum oksit filmi (Torkar ve diğ. 2008).

Alüminyumlarda meydana gelen korozyon çeşitleri;

1. Çukurlaşama Korozyonu
2. Taneler Arası Korozyon
3. Galvanik Korozyon
4. Filiform Korozyon
5. Gerilmeli Korozyon (Doğan 2023).

6. MATERYAL VE METOD

6.1 Deney Numunelerin Hazırlanması

Al 5083 H111 malzeme tedarikçi tarafından 3000 mm x 2000 mm x 3 mm'lik plakadan ANSI / AWS C1.1M/C1.1:2012 standardına göre 102 mm x 25 mm boyutlarında su jeti ile kesilmiştir.

AISI 304 ve AISI 304L çelik malzemeler de yine aynı standart kapsamında 1,5 mm kalınlıktaki plakalardan 102 mm x 25 mm boyutlarında lazer yöntemi ile kesilerek nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmeye hazır hale getirilmiştir.

6.1.1 AA5083 Malzemenin Özellikleri

AA5083 (Al-Mg) alaşımları, geniş bir mekanik özellik aralığına sahip olmaları, yumuşak temperlerde kolayca şekillendirilebilme yeteneği, özellikle deniz atmosferinde yüksek korozyon direnci, düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık, etkili kaynak yapabilme yeteneği, hafiflik ve balistik özellikler gibi bir dizi özelliği bir araya getirmeleri nedeniyle farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. AA5083'ün kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de bulunmaktadır.

Tablo 6.1 AA5083 kimyasal bileşimi (%)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,25	0,05-0,25	0,15	0,15

Tablo 6.2 AA5083 mekanik özellikleri.

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (Brinel) min-max
0/H111	125-145	275-300	22	70-75
HX2	205-240	310-330	16	85-90
HX4	270-275	340-360	14	100
HX6	305	380	9	105
HX8	335	400	8	110
HX9	370	420	0-5	115

6.1.2 AISI 304 ve AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Malzeme Özellikleri

AISI 304 ve AISI 304L, mükemmel korozyon direnci ve çok yönlülükleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan iki paslanmaz çelik alaşımdır. Bu iki alaşım arasındaki temel fark, karbon içeriklerinde yatmaktadır, bu da özelliklerini ve potansiyel kullanımlarını etkiler. İşte AISI 304 ve AISI 304L arasındaki temel farklar:

▪ Karbon İçeriği:

AISI 304: Daha yüksek bir karbon içeriğine sahiptir, tipik olarak yaklaşık %0,08.

AISI 304L: Daha düşük bir karbon içeriğine sahiptir, genellikle maksimum %0,03 ile sınırlıdır.

- **Kaynak ve Korozyon Direnci:**

AISI 304: İyi korozyon direnci sağlasa da daha yüksek karbon içeriği kaynak sırasında, krom karbürlerin taneler arası sınırlarda çökmesi ve bu bölgelerde korozyon direncinin azalması anlamına gelmektedir.

AISI 304L: 304L'deki düşük karbon içeriği sayesinde daha az krom karbür çökler, bu da taneler arası korozyona karşı daha dirençli olmasını sağlar. Bu özellik ile, kaynak içeren uygulamalarda ve korozyonlu koşullarda daha uygun hale gelir.

- **Kaynak edilebilirlik:**

AISI 304: Daha yüksek karbon içeriği nedeniyle AISI 304, kaynak sonrası taneler arası korozyona daha yatkın olabilir. Genellikle kaynak sonrası ısıtma işlemi veya düşük karbon içerikli dolgu metallerinin kullanımı gibi önlemler gereklidir.

AISI 304L: AISI 304L'deki düşük karbon içeriği, kaynak sonrası taneler arası korozyon riskini azaltır, bu da kaynak uygulamalarında daha çok tercih edilebilir hale gelmesini sağlar.

Uygulamalar:

AISI 304: Genellikle kaynağın minimal veya kontrollü olduğu çeşitli uygulamalarda kullanılır, örneğin mimari bileşenler, mutfak ekipmanları ve bazı endüstriyel uygulamalar.

AISI 304L: Kimyasal işleme, ilaç ve gıda endüstrileri gibi yerlerde kaynak gerektiren uygulamalar için tercih edilir. Burada korozyon direnci ve kaynak edilebilirlik kritik öneme sahiptir.

- **İşlenebilirlik:**

Hem AISI 304 hem de AISI 304L iyi işlenebilirlik özelliğine sahiptir. AISI 304L'nin bazı derecelerinde kükürt bulunması işlenebilirliği bir miktar artırabilir.

Her iki alaşımın da mekanik özellikler, korozyon direnci ve genel performans açısından birçok benzerliği olduğunu unutmamak gerekir. AISI 304 ve AISI 304L

arasındaki seçim, belirli uygulamaya, kaynak seviyesine ve korozyonlu ortama bağlıdır.

Malzemelerin tedarik edildiği firmadan alınan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal bileşim değerleri Tablo 6.3' teki gibi olduğu görülmüştür.

Tablo 6.3 AISI 304 östenitik paslanmaz çelik % kimyasal bileşim değerleri.

Malzeme	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	N
AISI 304 (1.4301)	0,08	18,00 20,00	8,00 10,00	2,00	0,75	0,045	0,030	0,10

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklere ait bazı mekanik özellikler Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri.

Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa) min	515
Akma Dayanımı 0.2% (MPa) min	210
Uzama A %	35-45
Sertlik- Brinell (HB)	201

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklere ait fiziksel özellikler Tablo 6.5' te verilmiştir.

Tablo 6.5 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin bazı fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Elastisite modülü (GPa)	193
Öz Kütlesi (Özgül Ağırlığı) (g/cm ³)	7,9
Elektrik Direnci	0,072x10 ⁻⁶ Ωm
Ergime Sıcaklığı (°C)	1450

Malzemelerin tedarik edildiği firmadan alınan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal bileşim değerleri Tablo 6.6' daki gibi olduğu görülmüştür.

Tablo 6.6 AISI 304L östenitik paslanmaz çelik % kimyasal bileşim değerleri.

Malzeme	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	N
AISI 304L	0,03	18,00	8,00	2,00	0,75	0,045	0,030	0,10
(1.4307)		20,00	10					

AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklere ait bazı mekanik özellikler Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri.

Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa) min	485
Akma Dayanımı 0.2% (MPa) min	200
Uzama A %	35-45
Sertlik- Brinell (HB)	201

AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklere ait fiziksel özellikler Tablo 6.8’ de verilmiştir.

Tablo 6.8 AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin bazı fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Elastik Modülü (GPa)	193
Öz Kütlesi (Özgül Ağırlığı) (g/cm ³)	7,9
Elektrik Direnci	0,072x10 ⁻⁶ Ωm
Ergime Sıcaklığı (°C)	1450

6.2 Numunelerin Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilmesi

ANSI / AWS C1.1M/C1.1:2012 standardına göre kesilen ve hazır hale getirilen AISI 304, AISI304L ve AA5083 H111 malzemeleri yine standarda uygun bir şekilde birleştirebilmek için 3B yazıcı yardımı ile PLA malzemedeki aparat tasarımı yapılmıştır. Şekil 6.1’de aparat ve kaynak işlemi sırasında kullanım şekli gösterilmiştir. Yapılan bu aparat içerisinde kesilen malzemeler doğru pozisyonlarda yerleştirilerek kaynak işleminin yapılması sağlanmıştır.



Şekil 6.1 Kaynak işlemi için tasarlanan aparat ve kaynak işleminin yapılışı.

Elektrik nokta direnç kaynağı GYS – Gyspot marka makine ile yapılmıştır. Kaynak makinasının çalışma gerilimi 400 V’dur. Maksimum kaynak akımı 14,5 kA’dır. Elektrot basma gücü 550 daN’dır.



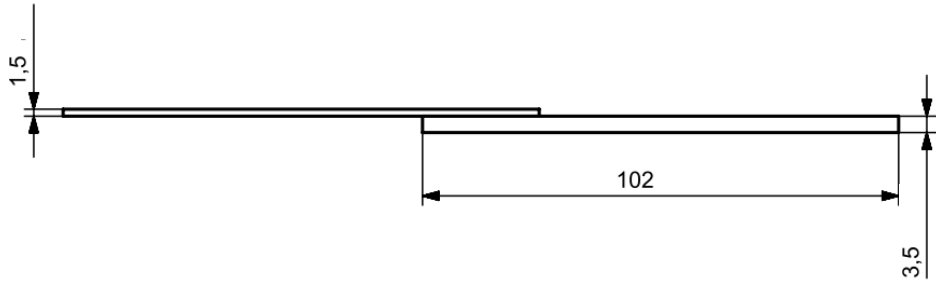
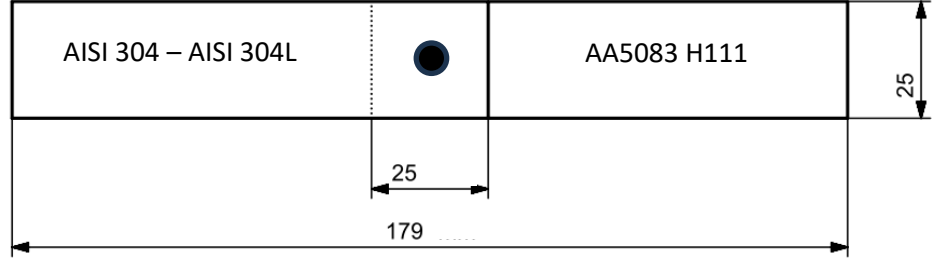
Şekil 6.2 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.

AA5083 H111-AISI 304L ve AA5083 H111- AISI 304 malzemelerin birleştirme işlemleri Şekil 6.2’de gösterilen kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi esnasında kullanılan parametre değerleri, kaynak makinesi kontrol ünitesine elle girilerek ayarlanmıştır. Malzeme çiftlerine göre numunelerin birleştirilmesi için kullanılan kaynak parametreleri Tablo 6.9 de gösterilmiştir.

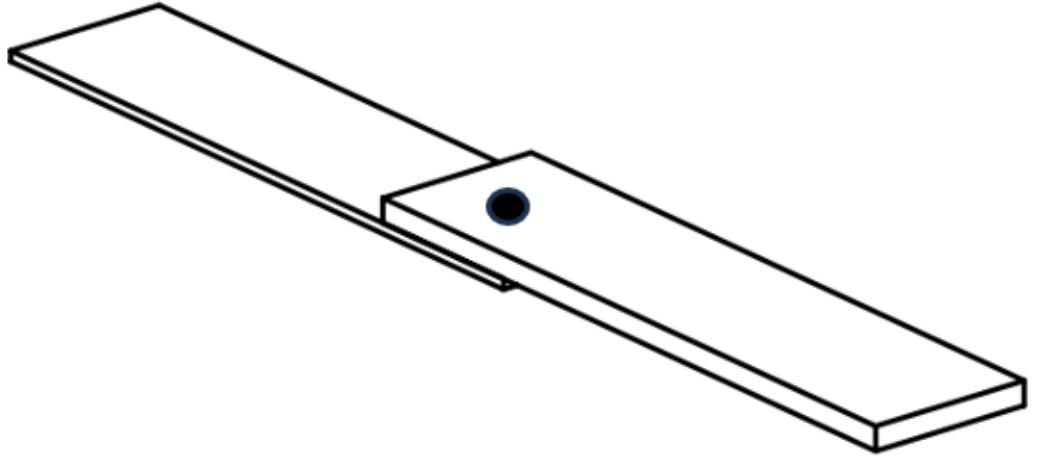
Tablo 6.9 Numunelere uygulanan nokta kaynak parametreleri.

AISI 304- AA5083 H111 Malzeme Çifti			
Kod	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	Elektrot Kuvveti (kN)
X1	7	300	3
X2	7	300	3
X3	7	300	3
Y1	7,5	300	3
Y2	7,5	300	3
Y3	7,5	300	3
AISI 304L- AA5083 H111 Malzeme Çifti			
Kod	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	Elektrot Kuvveti (kN)
Z1	7	300	3
Z2	7	300	3
Z3	7	300	3
T1	7,5	300	3
T2	7,5	300	3
T3	7,5	300	3

Kaynaklanmış numuneler aşağıda Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’te şematik olarak gösterilmiş ve boyutsal özellikleri belirtilmiştir.



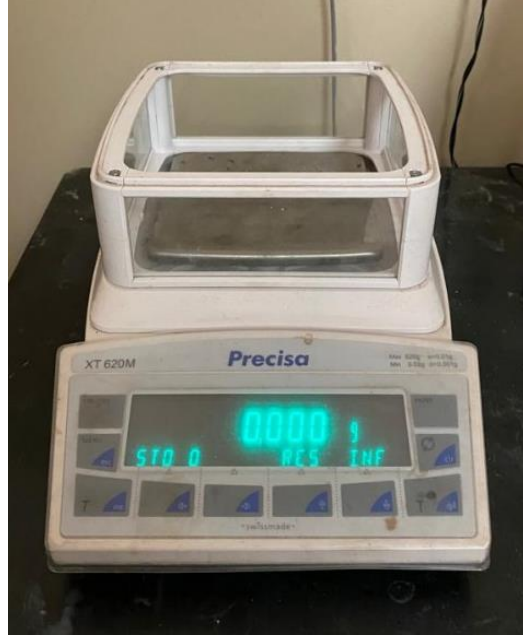
Şekil 6.3 Kaynaklanmış numunelerin şekil ve boyutsal özellikleri.



Şekil 6.4 Nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunenin şematik gösterimi.

6.3 Numunelerin Tartılması

Numuneler korozyon testi öncesinde ve korozyon testi sonrasında Şekil 6.5’ de gösterilen 0,001 g hassasiyete sahip cihazda tartılmıştır ve ilgili veriler kayıt altına alınmıştır.



Şekil 6.5 Hassas terazi.

6.4 ASTM G48 Korozyon Testi

Paslanmaz çeliklerin ve ilgili alaşımların oyuklanma (çukurcuk) ve çatlak korozyonu direnci için standart test yöntemleri, oksitleyici klorür ortamlarına maruz kaldıklarında paslanmaz çeliklerin ve ilgili alaşımların oyuklanma ve çatlak korozyonuna direncinin belirlenmesine yönelik prosedür kapsar. Altı prosedür, yöntem A, B, C, D, E ve F olarak tanımlanmıştır.

- Yöntem A—Demir klorür oyuklanma (çukurlaşma) testi.
- Yöntem B—Demir klorür çatlak testi.
- Yöntem C—Nikel bazlı ve krom içeren alaşımlar için kritik çukurlaşma sıcaklığı testi.
- Yöntem D—Nikel bazlı ve krom içeren alaşımlar için kritik aralık sıcaklığı testi.

- Yöntem E—Paslanmaz çelikler için kritik çukurlaşma sıcaklığı testi.
- Yöntem F—Paslanmaz çelikler için kritik aralık sıcaklığı testi.

Bu tez çalışması kapsamında Yöntem A tercih edilmiştir.

- Bu test yöntemleri, paslanmaz çeliklerin ve ilgili alaşımların oyuklanma (çukurlaşma) ve çatlak korozyonunun başlamasına karşı direncini karşılaştırmak için laboratuvar testlerini tanımlar. Sonuçlar, bu yöntemlerin özel koşulları altında oyuklaşma ve çatlak korozyonunun başlamasına karşı artan direnç sırasına göre alaşımları sıralamak için kullanılabilir. Yöntem A ve B, AISI 304'ün oda sıcaklığında bozulmasına neden olacak şekilde tasarlanmıştır.

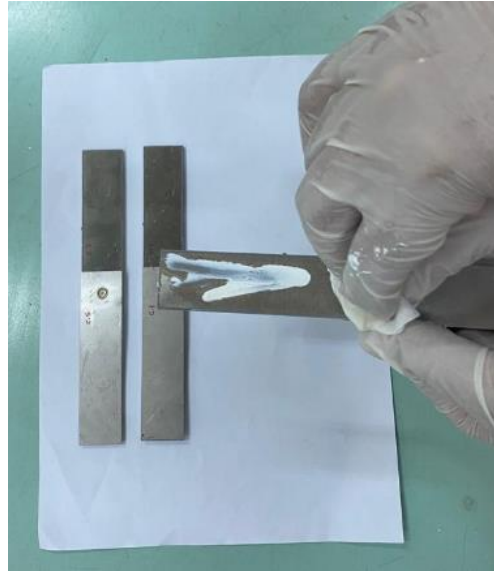
6.4.1 Deneyin Yapılışı

Öncelikle hazırlanan numunelerin korozyon deneyi öncesi detaylı fotoğrafları çekilmiş ve 0,001 g hassasiyete sahip terazide tartılarak tüm veriler kayıt altına alınmıştır. Ardından numune toplam yüzey alanı hesaplanarak ve bu bağlamda gerekli miktarda 100 g reaktif sınıfı demir klorürü, 900 mL saf su ile (kütlece yaklaşık %6 $FeCl_3$) oranında çözülmüş ve her bir numune için 5 mL/cm² solüsyon hacmi sağlanmıştır. Çözeltiye ait görsel Şekil 6.6' da verilmiştir.



Şekil 6.6 Korozyon testi için demir klorür çözeltisinin hazırlanması.

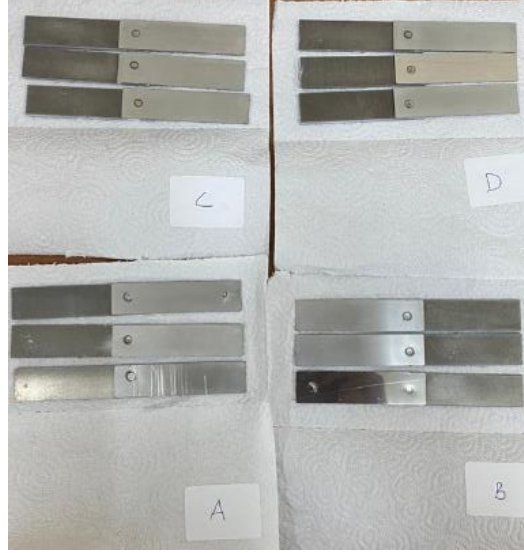
Numuneler standart kapsamında belirtildiği şekilde önce yüzey temizleme pastası ile temizlenerek akabinde su ile durulanmıştır. Bu işlemlerin ardından aseton içerisinde daldırılıp çıkarılarak oda koşullarında hava ile kurumaya bırakılmıştır. Kurumasının ardından hazırlanan solüsyon içerisinde daldırılmıştır. Numuneler oda koşullarında 90 saat solüsyon içerisinde bırakılmıştır. Korozyon deneyi öncesi numune hazırlık süreci ile ilgili görseller Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Numunelerin korozyon testi öncesi yüzey hazırlığı.



Şekil 6.8 Numunelerin korozyon testi öncesi asetona daldırılması.



Şekil 6.9 Asetona daldırılan numunelerin hava ile kurutulması.

Korozyon testi önce gerekli hazırlıkları yapılan ve teste hazır hale getirilen numuneler Şekil 6.10’ da gösterildiği gibi hazırlanan korozyon çözeltisine daldırılmıştır.



Şekil 6.10 Numunelerin çözelti içerisine yerleştirilmesi.

90 saatlik süre sonunda korozyon testi çözeltisinden çıkarılan numuneler ASTM G48 standardına göre korozyon ürünlerinden temizlenmiştir ve akabinde tekrar fotoğrafları çekilmiş ardından 0,001 g hassas terazide kütleleri tartılarak ölçümler kayıt altına alınmıştır.

6.5 Optik Mikroskop ile Numunelerin Görüntülerinin Alınması

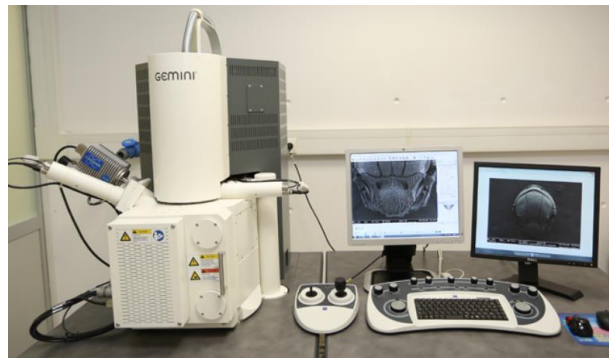
Korozyon testi öncesi kaynak bölgesinden kesilen numunelerin ve korozyon testi sonrası incelenen numunelerin optik mikroskop ile X7,5 ve X20 büyütme de makroyapı görüntüleri alınarak korozyonun numuneler üzerindeki etkisi daha detaylı olarak incelenmiştir. Makroyapı görüntülerinin alındığı cihaz Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Makroyapı görüntülerinin alındığı optik mikroskop.

6.6 SEM Görüntülerinin Alınması

Korozyon testleri sonrası birer adet AA5083-AISI304L ve AA5083-AISI304 numunelerinin birleşme yüzeylerinden SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınmıştır. Görüntülerin alındığı cihaza ait görsel şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12 SEM cihazı.

7. BULGULAR

7.1 Korozyon Deneyi Sonuçları

ASTM G48 standardına göre yapılan ve 90 saat oda sıcaklığında demir klorür çözeltisi içerisinde bekletilen numunelerin kütle değişimlerine ait bilgiler Tablo 7.6 ve Tablo 7.7’de verilmiştir. Korozyon testi öncesi ve sonrasında yapılan tekrarlı kütle ölçümleri Tablo 7.2, Tablo 7.3, Tablo 7.4, Tablo 7.5 ‘de verilmiştir.

Tablo 7.1 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon öncesi kütleleri.

AA5083- AISI 304L Kaynaklı Numuneler				
Kod	1.Tartım(g)	2.Tartım(g)	3.Tartım(g)	Ortalama(g)
X1	55,002	55,004	55,002	55,003
X2	54,524	54,525	54,525	54,525
X3	54,379	54,377	54,377	54,378
Y1	54,637	54,638	54,638	54,638
Y2	54,774	54,774	54,774	54,774
Y3	54,660	54,658	54,659	54,659

Tablo 7.2 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon öncesi kütleleri.

AA5083-AISI304 Kaynaklı Numuneler				
Kod	1.Tartım(g)	2.Tartım(g)	3.Tartım(g)	Ortalama(g)
Z1	55,218	55,218	55,218	55,218
Z2	55,162	55,163	55,162	55,162
Z3	54,994	54,993	54,993	54,993
T1	55,232	55,230	55,230	55,231
T2	54,524	54,524	54,525	54,524
T3	55,352	55,352	55,351	55,352

Tablo 7.3 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon sonrası kütleleri.

AA5083-AISI304L Kaynaklı Numuneler				
Kod	1.Tartım(g)	2.Tartım(g)	3.Tartım(g)	Ortalama(g)
X1	48,082	48,084	48,082	48,083
X2	48,021	48,022	48,021	48,021
X3	47,863	47,862	47,862	47,862
Y1	48,074	48,074	48,074	48,074
Y2	48,652	48,654	48,652	48,653
Y3	48,259	48,257	48,257	48,258

Tablo 7.4 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon sonrası kütleleri.

AA5083-AISI304 Kaynaklı Numuneler				
Kod	1.Tartım(g)	2.Tartım(g)	3.Tartım(g)	Ortalama(g)
Z1	48,592	48,591	48,592	48,592
Z2	48,608	48,608	48,610	48,609
Z3	48,082	48,081	48,081	48,081
T1	48,653	48,653	48,653	48,653
T2	47,903	47,902	47,902	47,902
T3	48,366	48,366	48,368	48,367

Tablo 7.5 AA5083- AISI 304L numunelerinin korozyon ölçümleri.

Kod	Korozyon Öncesi Kütle (g)	Korozyon Sonrası Kütle (g)	Kütle Farkı (g)	Yüzdellik (%)
X1	55,003	48,083	6,920	12,581
X2	54,525	48,021	6,503	11,927
X3	54,378	47,862	6,515	11,982
Y1	54,638	48,074	6,564	12,013
Y2	54,774	48,653	6,121	11,176
Y3	54,659	48,258	6,401	11,711

Tablo 7.6 AA5083- AISI 304 numunelerinin korozyon ölçümleri.

Kod	Korozyon Öncesi Kütle (g)	Korozyon Sonrası Kütle (g)	Kütle Farkı (g)	Yüzelik (%)
Z1	55,218	48,592	6,626	12,000
Z2	55,162	48,609	6,553	11,880
Z3	54,994	48,081	6,913	12,570
T1	55,232	48,653	6,579	11,912
T2	54,524	47,902	6,622	12,144
T3	55,352	48,367	6,985	12,620

7.1.1 Korozyona Testi Sonrası Numune GörSELLERİ

Korozyon testi sonrası çıkarılan numuneler ASTM G48 standardına uygun olarak temizlenmiştir ve numunelerin görsel incelemeleri yapılmıştır. Korozyon testi sonrası numunelerin görselleri Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 'da verilmiştir.



Şekil 7.1 AA5083- AISI 304 (7 kA) numunelerinin korozyon testi sonrası ön yüz görüntüleri.



Şekil 7.2 AA5083- AISI 304 (7 kA) numunelerinin korozyon testi sonrası arka yüz görüntüleri.



Şekil 7.3 AA5083- AISI 304L (7 kA) numunelerinin korozyon testi sonrası ön yüz görüntüleri.



Şekil 7.4 AA5083- AISI 304L (7 kA) numunelerinin korozyon testi sonrası arka yüz görüntüleri.



Şekil 7.5 AA5083- AISI 304 numunenin korozyon testi sonrası yan yüz görüntüsü.



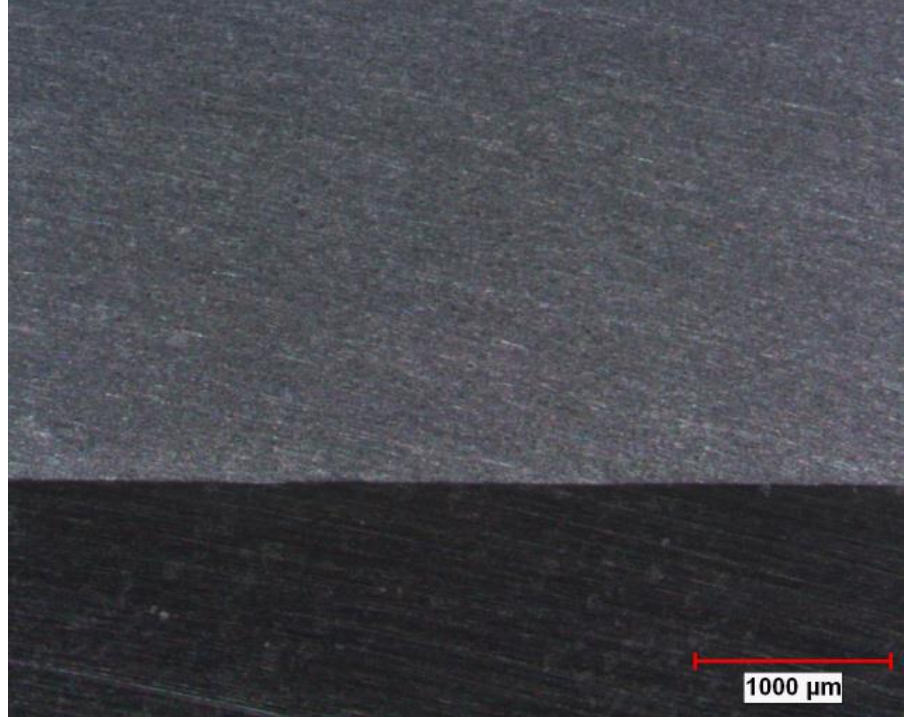
Şekil 7.6 AA5083- AISI 304L numunenin korozyon testi sonrası yan yüz görüntüsü. Şekil 7.5 ve Şekil 7.6’ da AISI 304-AA 5083 ve AISI 304L-AA 5083 malzeme çiftlerinden alüminyum malzemelerin uğradığı bölgesel korozyon görülmektedir.

7.2 Makroyapı İncelemeleri

Korozyon öncesi malzemelerin mevcut durumunu görebilmek, korozyona uğramış numuneler üzerindeki korozyon hasarını daha iyi tespit edebilmek için ve kaynak bölgesini daha iyi analiz edebilmek için optik mikroskop ile x7,5 ve x20 büyütmelerde makroyapı incelemeleri yapılmıştır. Korozyon testi öncesi hazırlanmış numunelerin kaynak bölgesinden kesit alınarak incelenen numunelere ait görseller Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’ de verilmiştir.



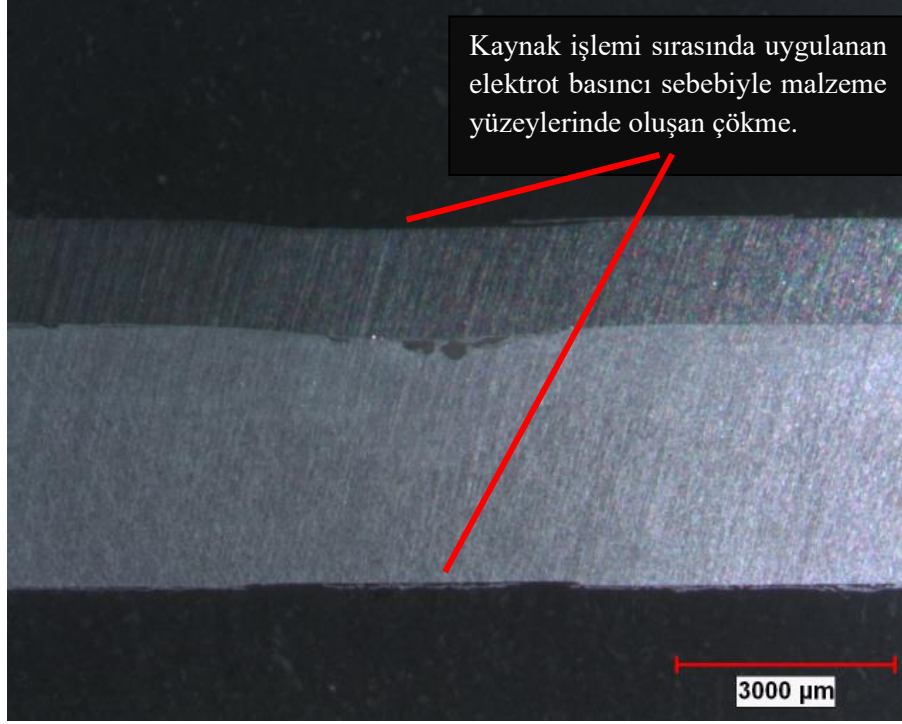
Şekil 7.7 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 7,5X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.



Şekil 7.8 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.

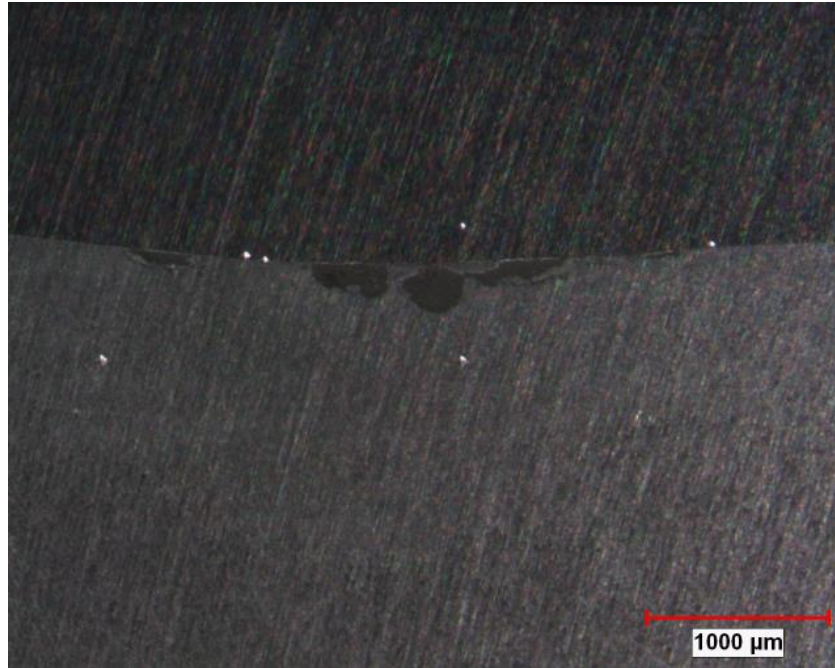


Şekil 7.9 Korozyon testi öncesi AISI 304 – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.

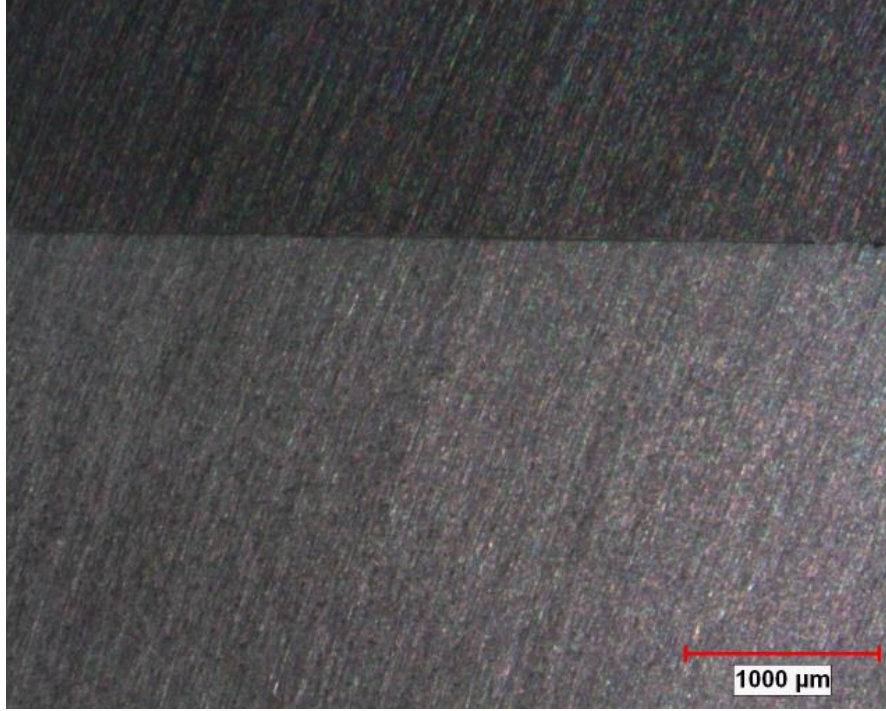


Şekil 7.10 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 7,5X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.

Kaynak işlemi sırasında elektrotların malzeme yüzeylerine uyguladığı kuvvet sebebi ile yüzeylerde oluşan çökme şekil 7.10' da görülmektedir.



Şekil 7.11 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.



Şekil 7.12 Korozyon testi öncesi AISI 304L – AA5083 malzeme çiftinin 20X büyütmede çekilmiş makroyapı görüntüsü.

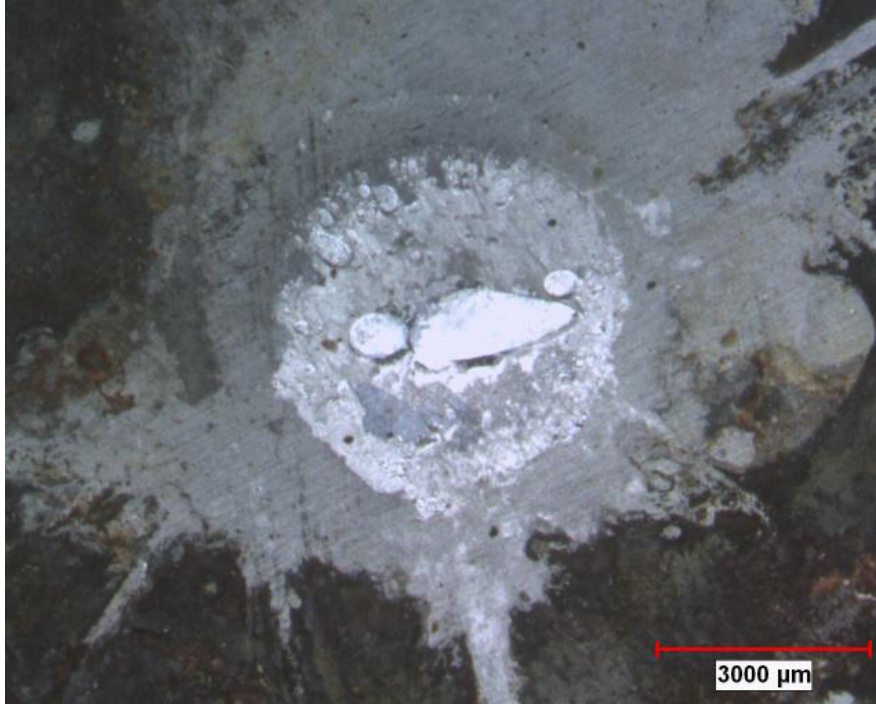
Bu görsellerde yer yer kaynak hatası olarak gözenekler olduğu gözlemlenmiştir. Bu gibi kusurların oluşumunu engellemek adına kaynak işlemi öncesi kaynak yapılacak yüzeylere gerekli hazırlık işlemleri dikkatlice uygulanmalıdır.



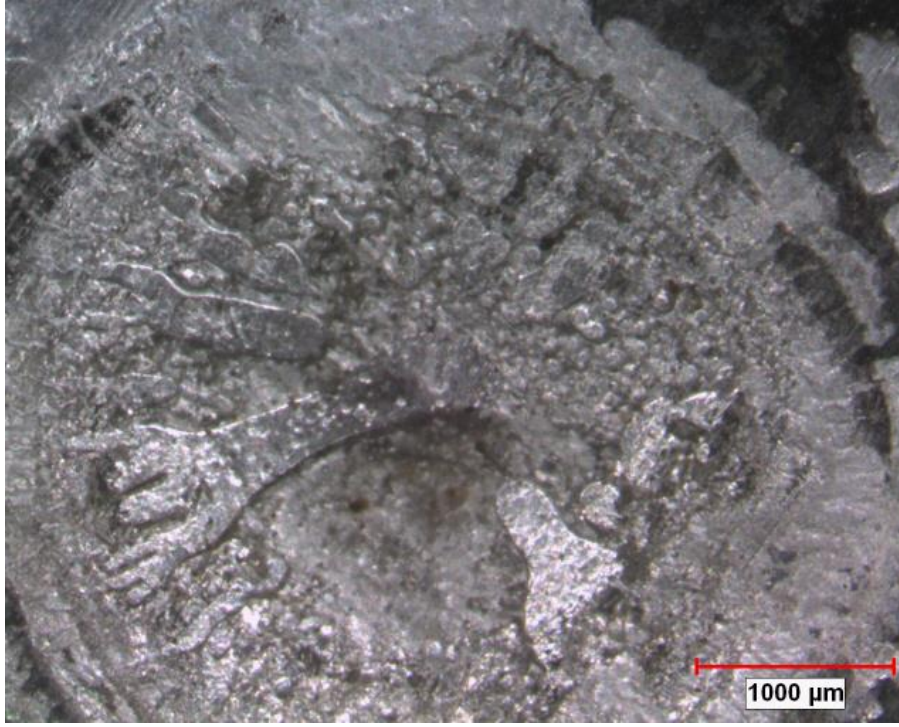
Şekil 7.13 Korozyon testi sonrası AA 5083 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).



Şekil 7.14 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).

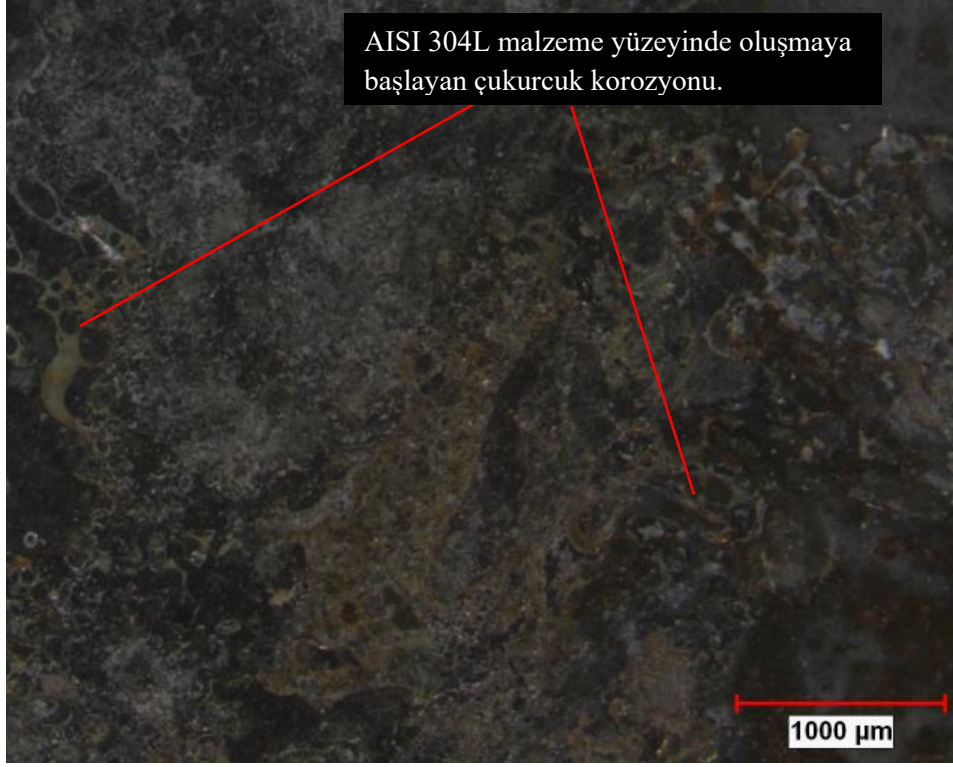


Şekil 7.15 Korozyon testi sonrası AISI 304 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (7,5X).

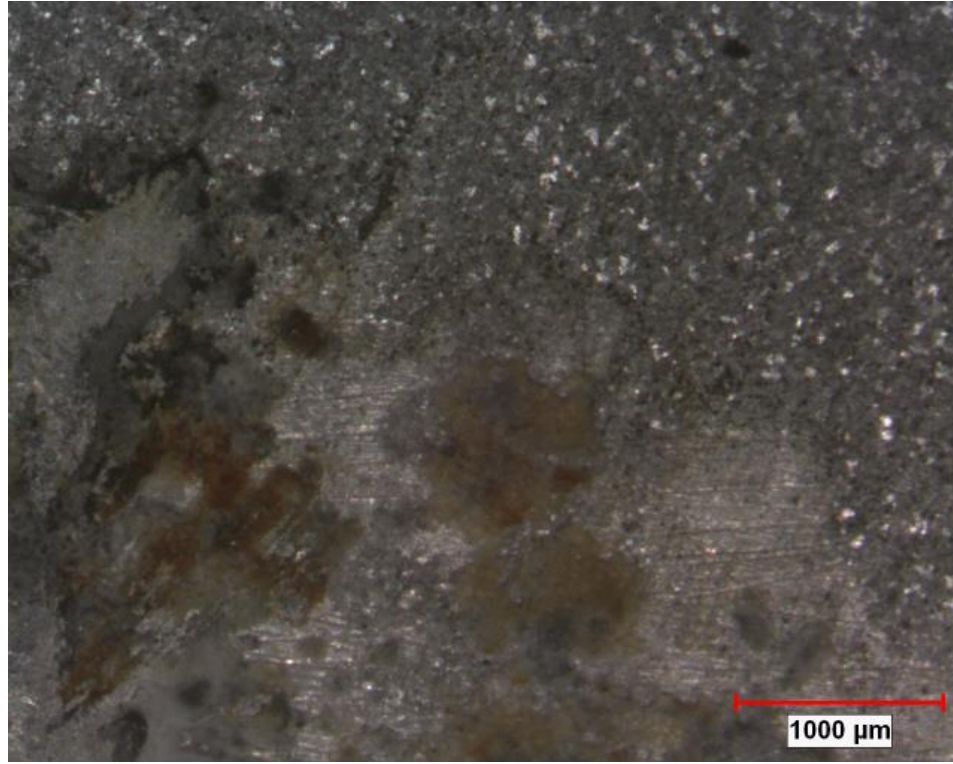


Şekil 7.16 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X).

Kaynak noktalarındaki homojen birleşme sayesinde korozif çözelti bu noktalara tam anlamıyla tesir edememiştir ve bu yüzeyler diğer yüzeylere göre çok daha az korozyona uğramıştır. Kaynak noktasının çevresinde korozyon oluşumu her iki malzemede de tespit edilmiştir. Bu durumları gösteren görseller Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16 'da verilmiştir.



Şekil 7.17 Korozyon testi sonrası AISI 304L malzemenin yüzeyine ait makroyapı görüntüsü (20X)

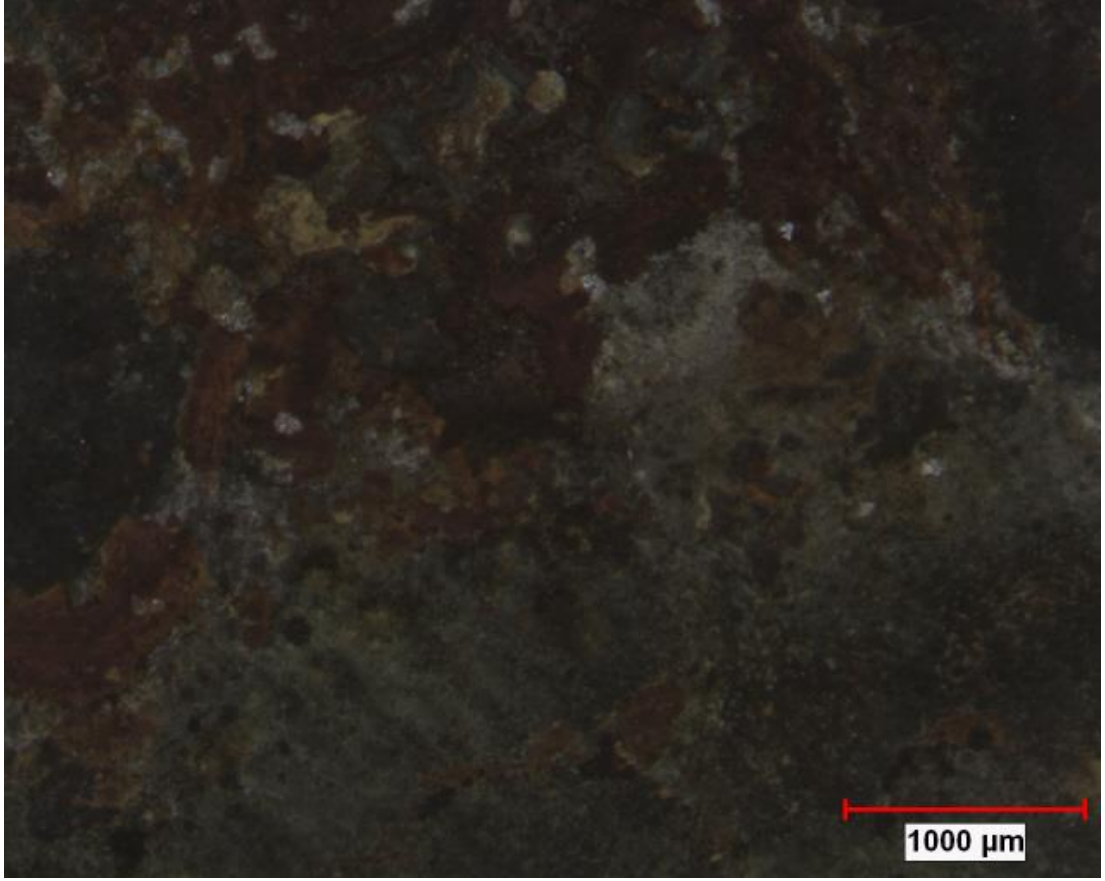


Şekil 7.18 Korozyon testi sonrası AA5083 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X)



Şekil 7.19 Korozyon testi sonrası AA 5083 malzemenin yüzeyine ait makroyapı görüntüsü (20X)

Şekil 7.18’de korozyon deneyi sonrası kaynak bölgesinde Al 5083 alaşımının korozyondan nasıl etkilendiği gözlemlenmiştir. Kaynak noktasına yaklaştıkça homojen birleşme sebebi ile korozyon çözeltisini o bölgeye tam anlamıyla tesir edememiş ve daha az korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Şekil 7.19’da alüminyumun kaynak bölgesinden ayrı olarak yüzeyinde oluşan korozyon yapısı gözlemlenmiştir.

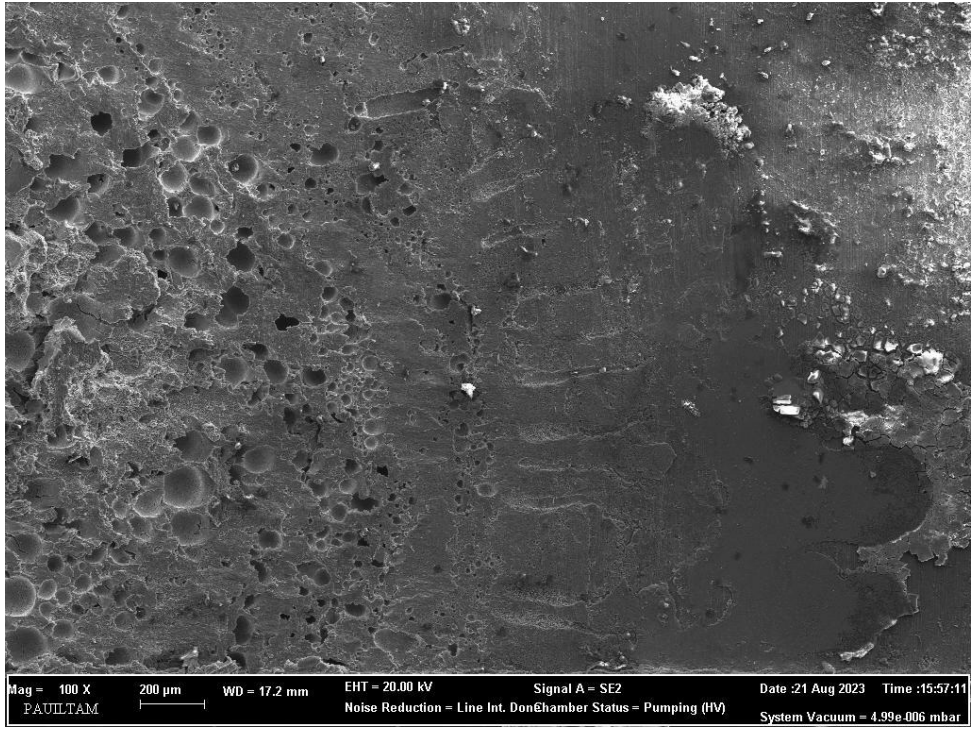


Şekil 7.20 Korozyon testi sonrası AISI 304 malzemenin kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüsü (20X)

Yukarıdaki görsellere istinaden yapılan incelemelere göre AISI 304L – AA5083 ve AISI 304 – AA 5083 malzeme çiftleri içerisindeki alüminyum malzemeler anot konumunda olduğu için önemli ölçüde galvanik korozyona uğramıştır. Bu incelemelerde paslanmaz çelik malzemelerin de yüzeylerinde korozyon oluşmaya başladığı şekil 7.17 ve şekil 7.20’ de görülmektedir.

7.3 Numunelerin SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

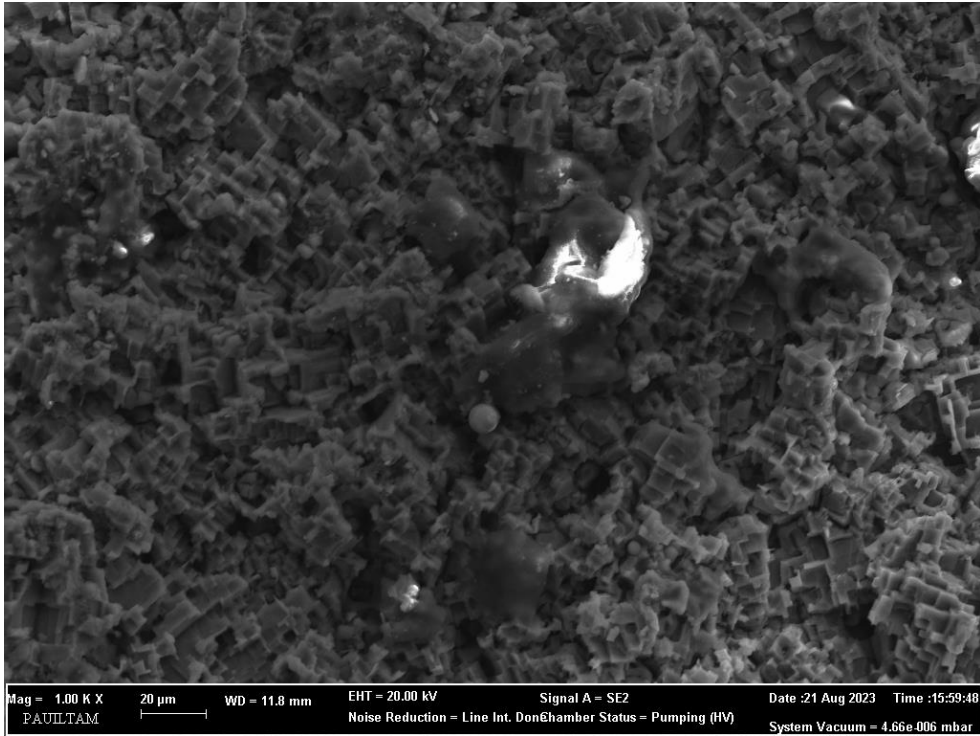
Korozyon sonrası numune yüzeylerini daha iyi analiz edebilmek için 100X, 500X, 1000X ve 2000X büyütmelerde SEM görüntüleri alınmıştır. AA5083 malzemenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24’ de verilmiştir. AISI 304L malzemenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri Şekil 7.25, Şekil 7.26, Şekil 7.27 ve Şekil 7.28’ de verilmiştir. AISI 304 malzemenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri Şekil 7.29, Şekil 7.30 ve Şekil 7.31’ de verilmiştir. Bu görseller üzerinde korozyonun malzemeler üzerinde oluşturduğu etkiler yorumlanmıştır.



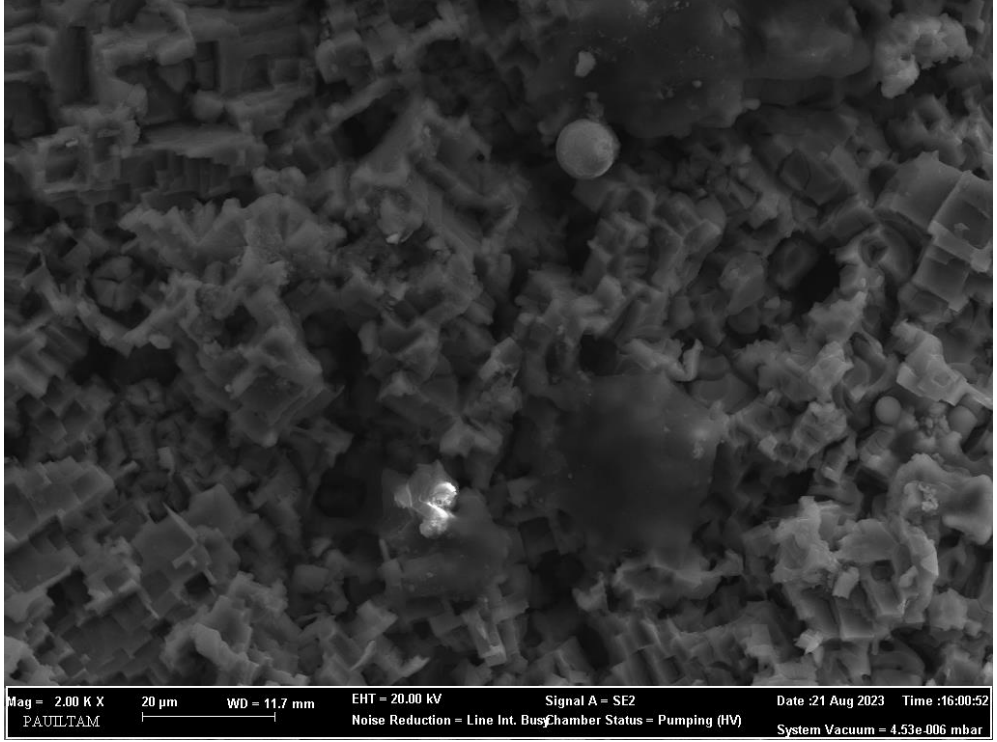
Şekil 7.21 AA5083 SEM Görüntüsü (100X).



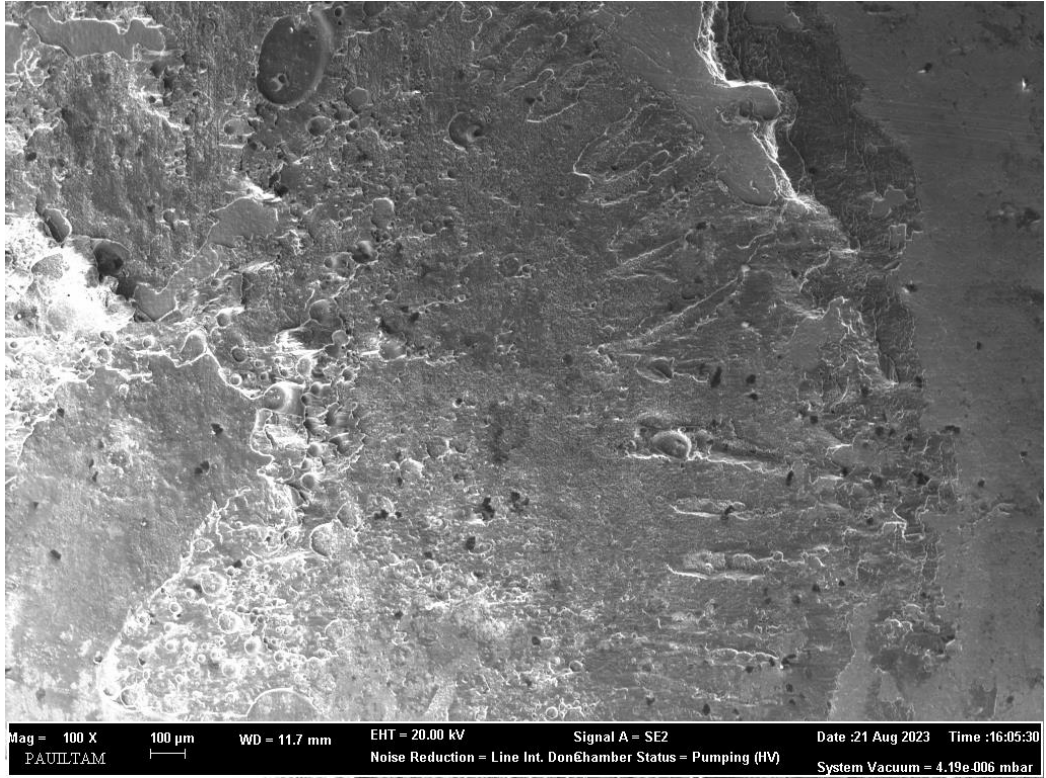
Şekil 7.22 AA5083 SEM Görüntüsü (500X).



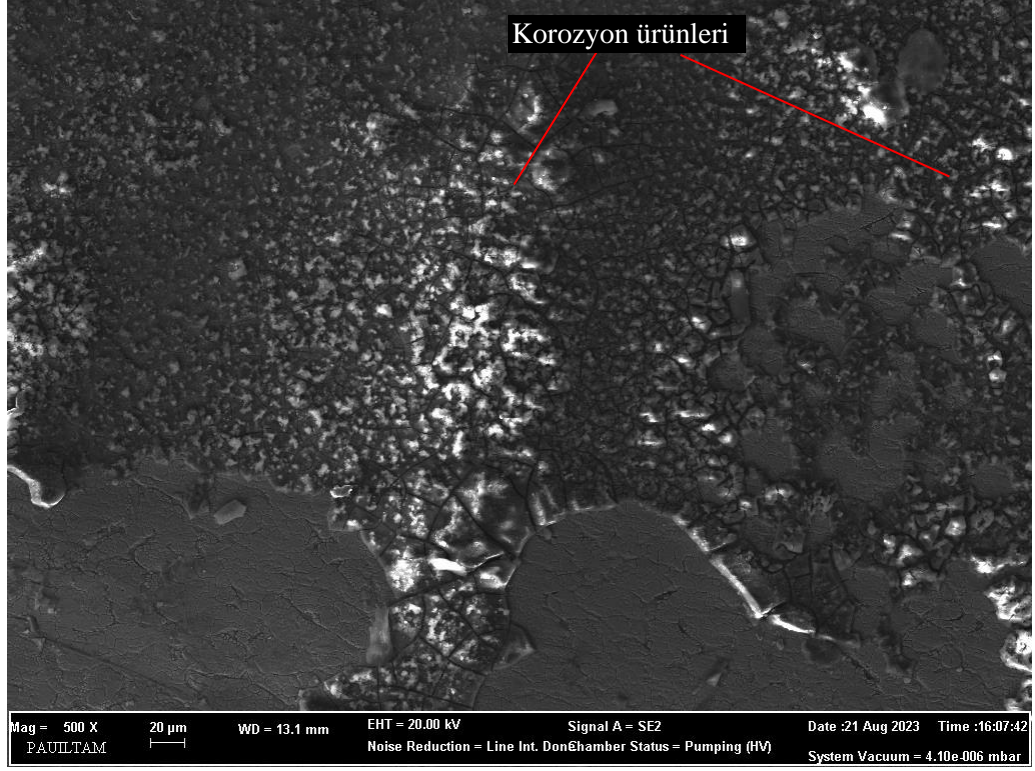
Şekil 7.23 AA5083 SEM Görüntüsü (1000X).



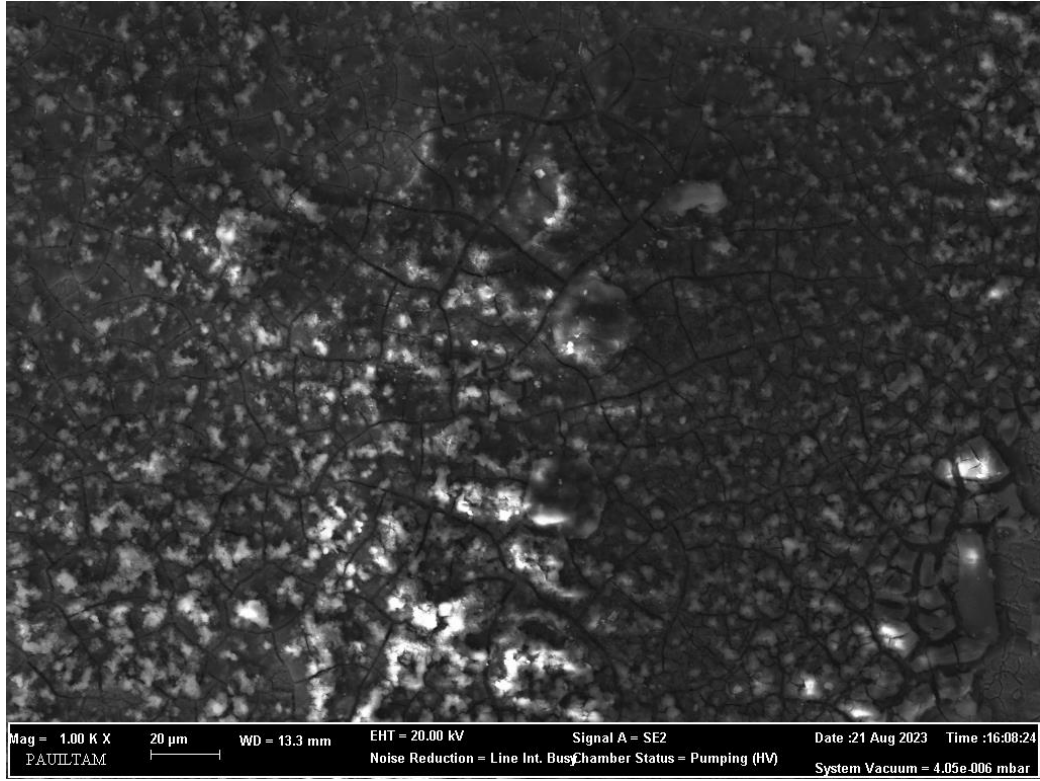
Şekil 7.24 AA5083 SEM Görüntüsü (2000X).



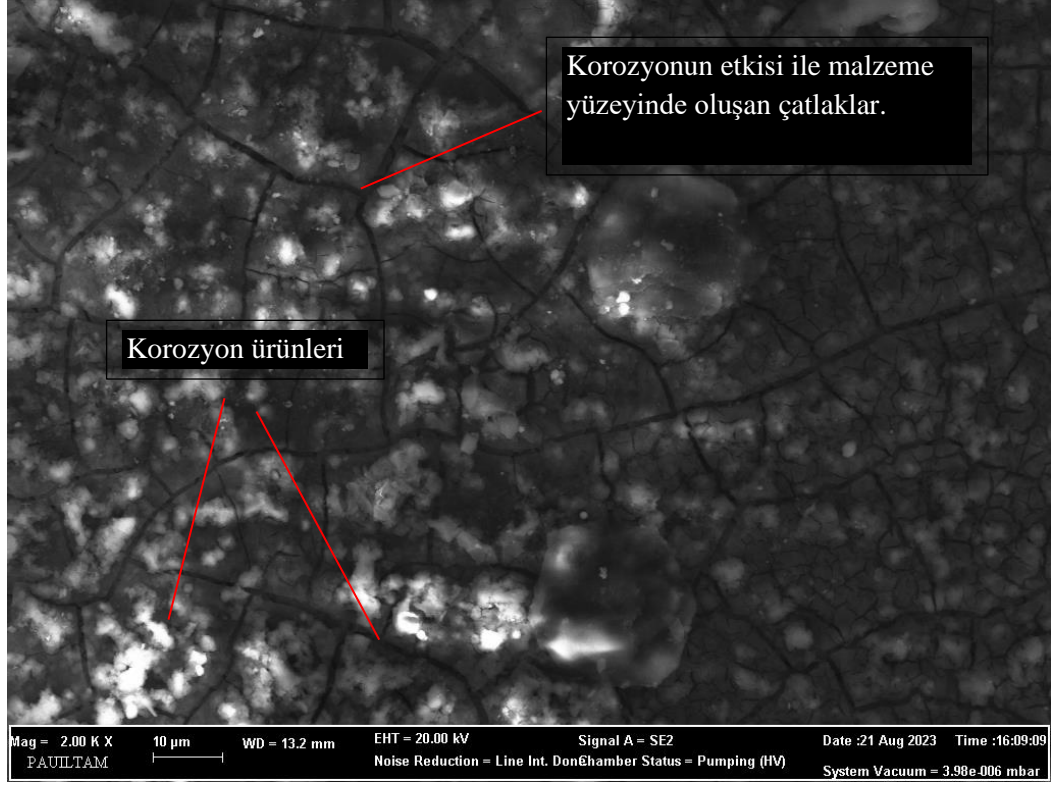
Şekil 7.25 AISI 304L SEM Görüntüsü (100X).



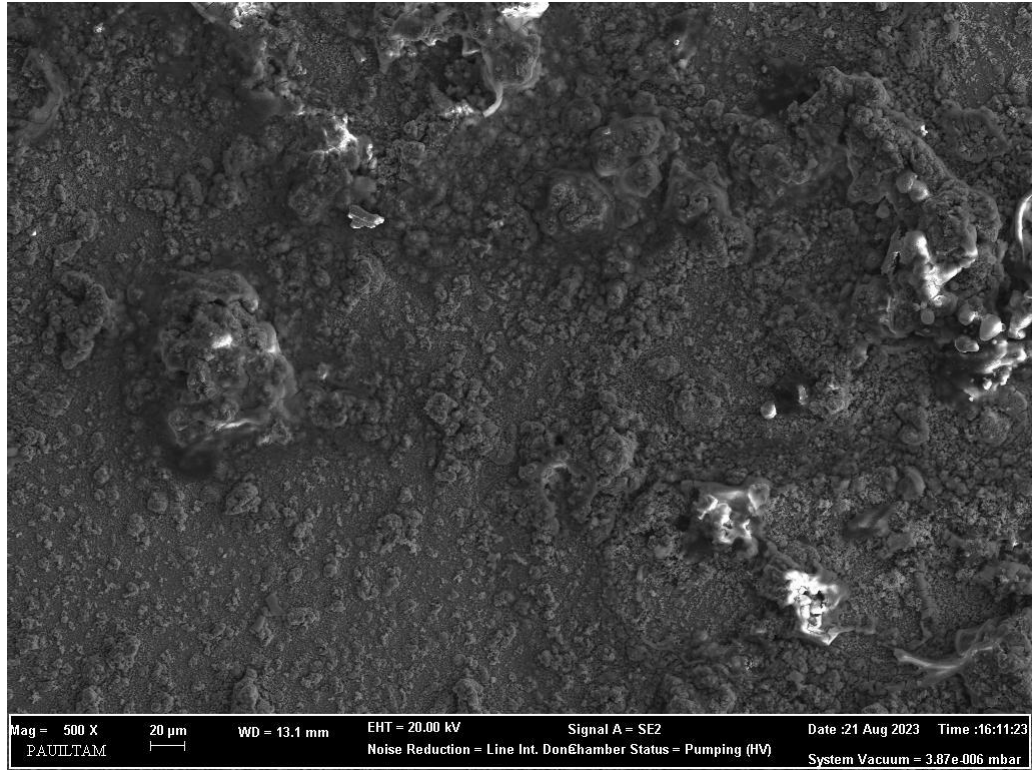
Şekil 7.26 AISI 304L SEM Görüntüsü (500X).



Şekil 7.27 AISI 304L SEM Görüntüsü (1000X).



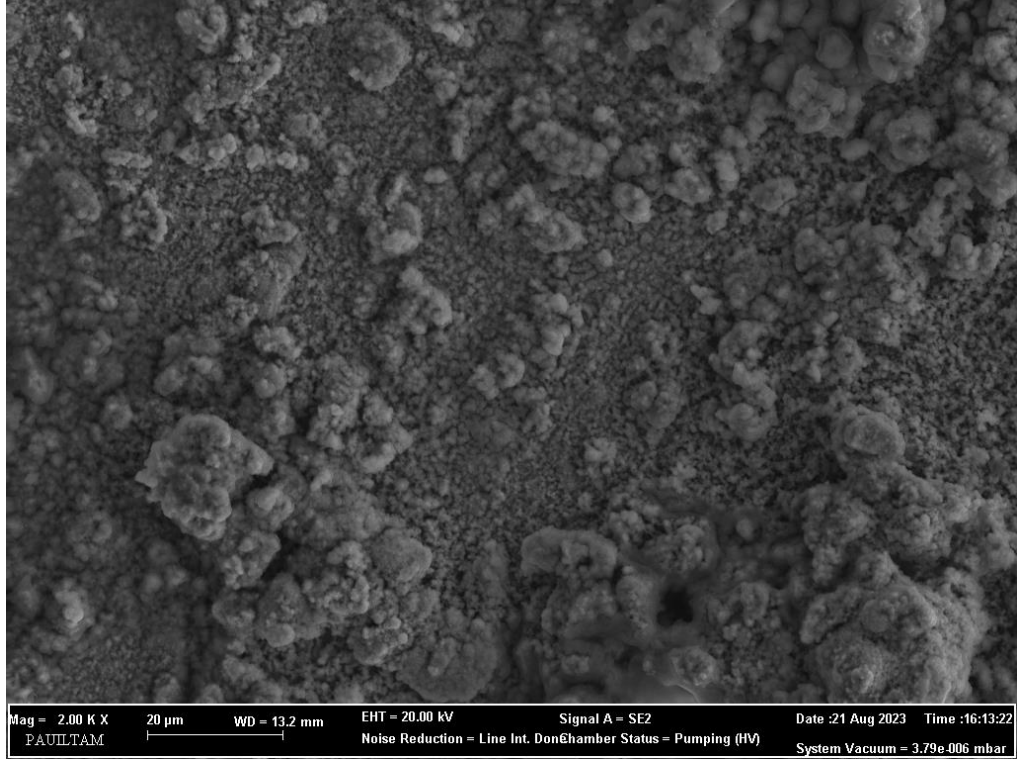
Şekil 7.28 AISI 304L SEM Görüntüsü (2000X).



Şekil 7.29 AISI 304 SEM Görüntüsü (500X).

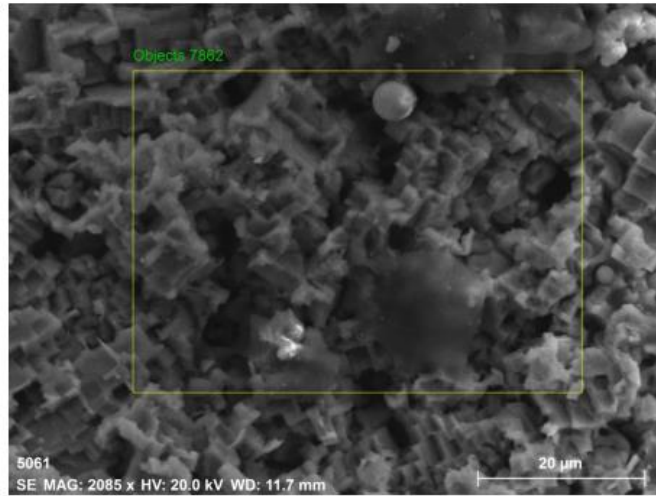
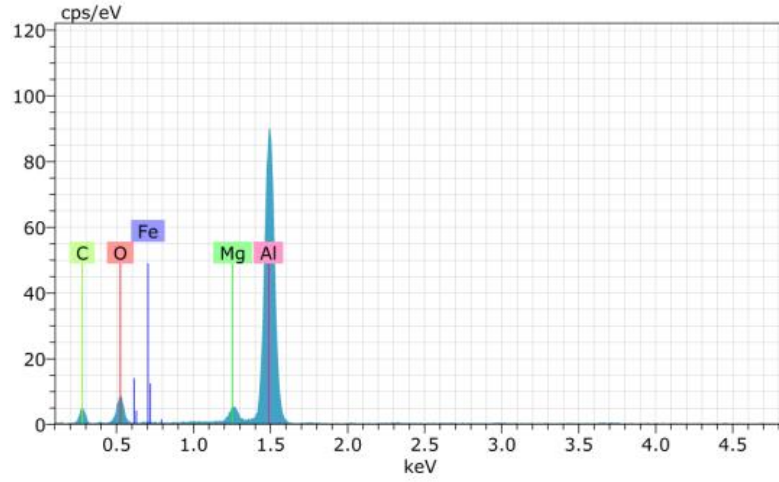


Şekil 7.30 AISI 304 SEM Görüntüsü (1000X).



Şekil 7.31 AISI 304 SEM Görüntüsü (2000X).

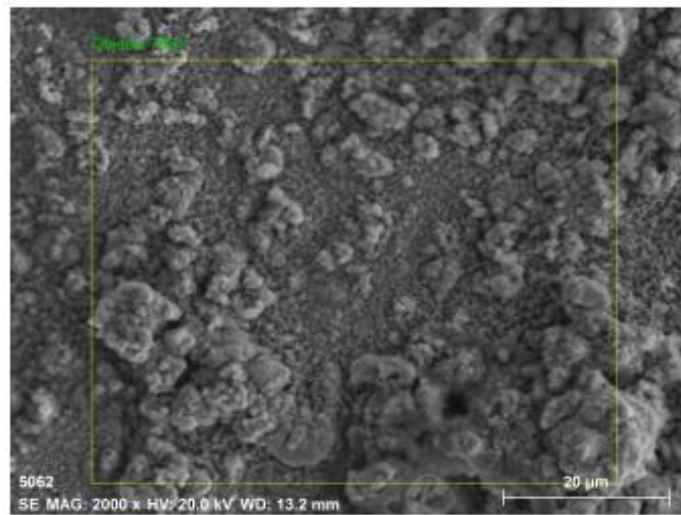
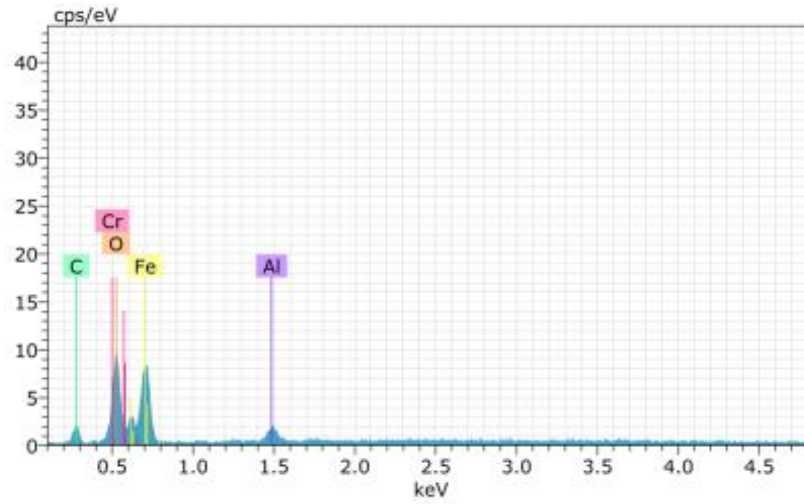
Şekil 7.32’de kaynak bölgesinden SEM görüntüleri alınan AA5083 malzemenin EDS analizi de yapılmış ve o bölgede Al, Mg, Fe, O, C elementleri tespit edilmiştir. Şekil 7.33’te ise AISI 304 malzemenin yine kaynak bölgesinden AA5083 ile birleştiği yüzeyden alınan SEM görüntüsüne ilaveten EDS analizi de yapılmıştır ve o bölgede Al, Fe, Cr, O, C elementlerinin olduğu tespit edilmiştir.



Spectrum: Objects 7862

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Al	13	K-series	50.45	45.36	30.26	2.44
C	6	K-series	31.38	28.21	42.29	5.37
O	8	K-series	24.78	22.28	25.07	3.70
Mg	12	K-series	2.76	2.49	1.84	0.19
Fe	26	K-series	1.84	1.66	0.53	0.10
Total:			111.21	100.00	100.00	

Şekil 7.32 AA5083 EDS analizi.



Spectrum: Objects 7864

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	77.71	72.99	42.13	2.11
O	8	K-series	17.01	15.98	32.19	2.45
C	6	K-series	9.28	8.71	23.39	1.87
Al	13	K-series	1.59	1.49	1.78	0.12
Cr	24	K-series	0.87	0.82	0.51	0.06
Total:			106.46	100.00	100.00	

Şekil 7.33 AISI 304 EDS analizi.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5083-AISI304 ve AA5083-AISI304L malzeme çiftlerinin korozyon davranışlarının belirlenmesi kapsamında yapılan deney ve incelemelere istinaden aşağıdaki sonuç ve öneriler ortaya çıkmıştır.

- Korozyon deneyi sonrasında malzeme çiftlerinden AA5083 AISI 304L ve AISI 304 ye göre daha aktif olduğu için anot olarak önemli miktarda korozyona uğramıştır. Bu şekilde oluşturulacak hibrit birleştirmelerde alüminyumun korozyona karşı korunması için ilave önlemlerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.
- Malzeme çiftlerinin korozyon öncesi ve sonrası yapılan kütle farkı ölçümlerinin ortalaması karşılaştırıldığında AA5083-AISI 304L malzeme çiftinin korozyon direncinin AA5083-AISI 304 malzeme çiftine göre yaklaşık %3 daha iyi olduğu ölçülmüştür.
- AA5083 ve AISI304-AISI304L malzemelerin potansiyel farklarından kaynaklı galvanik korozyon gözlemlenmiştir. Özellikle lokal olarak AA5083'ün çelik ile birleştiği yüzeyde çeliğin AA5083 tarafının uç sınır çizgisinde korozyon özellikle derinleşmektedir. İlerleyen sürelerde numunenin buradan ayrılacağı öngörülebilmektedir. Bu sonuç bu tarz yapıların tasarım aşaması için önemli bir bilgidir. Bu bölgede bu bağlamda malzeme kalınlığı arttırılabilir veya korozyonu özellikle o bölgede engelleyecek yöntemler üzerine çalışılabilir. Buna ilaveten bu tarz hibrit yapıların muhakkak korozyon hızları ve bu hızlara endeksli malzeme kayıpları incelenmelidir. Aksi takdirde yapılan çalışmalarda üretilen bu tarz hibrit yapıların bütünlüğü beklenilenin aksine daha kısa sürelerde bozulabilir.
- AA5083 birleşme yüzeyi dışında genel olarak Üniform korozyona uğramıştır.
- AISI 304 ve AISI 304L'nin de özellikle birleşme yüzeyinde kararma olduğu dolayısıyla bu malzemelerin o bölgede daha hızlı korozyona uğradığı varsayımında bulunulabilir.

- Korozyon testi standardı kapsamında AISI 304 ve AISI 304L tarafında oluşması beklenen çukurcuk korozyonun gözle yapılan incelemelerde saptanamamıştır. Fakat optik mikroskop ile yapılan incelemelerde bu korozyon hasarının oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir.
- Makroyapı görüntülerinde kaynak bölgelerindeki homojen birleşme sayesinde korozyon daha az görülmüştür. Kaynak noktasının çevresinde ise malzeme çiftlerinde kullanılan tüm malzemelerde korozyon oluşumu tespit edilmiştir.
- Belirlenen kaynak akım değerleri yakın bir birine yakın değerler (7 kA -7,5 kA) olduğu için kaynak akımının artışından kaynaklı malzemeler üzerindeki korozyon etkisi bariz bir şekilde fark edilememiştir. Bu durumun daha iyi analiz edilebilmesi için kaynak akımı değerlerinin arasındaki farkın daha fazla olması gerekmektedir.

9. KAYNAKLAR

Aktaş, S., “Otomotiv sektöründe kullanılan dual faz sacların direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2008).

Akyol, M., “Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2001).

Anık, S., ve Vural, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2000).

AWS C1.1M/C1.1 RECOMMENDED PRACTICES FOR RESISTANCE WELDING, (2000).

Aslan, U., “Farklı Metallerin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Genel İncelenmesi ve Endüstriyel Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul, (2001).

ASTM G48-11, Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution, (2020).

Aydın, H., “İntermetalik faz aşılama yöntemiyle Al-Cu-Mg alaşımında aşınma dayanımının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, (2002).

Aydoğdu, G., H., Aydınol, M., K., “AISI 316l Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tanelerarası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi”, 12. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, İstanbul, (2005).

Baytemir, M., “Östenitik AISI ve 310 ferritik AISI 430 paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 44-62 (2011).

Ceyhun, V., “Ferritik ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına ve Taneler Arası Korozyona Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi, İstanbul, (1992).

CAMPBELL, J., “Casting (Second Edition)”, Butterworth-Heinemann, Oxford., United Kingdom,17-98, (2003).

CAVALIERE P., Cerri, E. 2005a, "Mechanical response of 2024-7075 aluminium alloys joined by Friction Stir Welding", Journal of Materials Science, 40, 3669 – 3676, (2005).

Cengiz, N.M., "İkiz Merdane Yöntemi ile 1xxx Serisi ve 3xxx Serisi Alüminyum Levha Üretimindeki Proses Parametrelerinin Özellikler Üzerindeki Etkisi." Yüksek Lisans Tezi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kütahya, (2018).

Correia, M., Nóvoa X.R. ve Salta, M., Smart and Green Structural And Repair Materials: Structural And Repair Materials Technical Report, Stainless Steel Rebars, Duratnet, (2008).

Çimen, M. Ş., "The investigation of contact resistance in resistance spot welding by using numerical and experimental methods", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 64-80 (1994).

Dağlar, F., "AISI304L ve AISI430 kalite paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynak kabiliyetine ilave yapıştırıcının etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, (2019).

Davis, J.R., "Aluminum and Aluminum Alloys", pp. 351-416 doi: 10.1361/autb2001p351, (2001).

Demir, E., "Alüminyum alaşımlarında ısıl işlem etkilerinin incelenmesi.", Y.Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2008).

Doğan, M., "6xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımlarının Yaşlanma Parametrelerinin Korozyon Davranışına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2023).

Ertem, A., G., "Beyaz eşya sanayiinde kullanılan paslanmaz metal saclarda direnç nokta kaynak kalitesinin artırılması", Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bolu, (2019).

Esendir, E., "Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2008).

Gülbahar, B., "%17 Kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin tanelerarası korozyon ve çekme makaslama dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1989).

Gallagher, M., “Electrode Wear In The Resistance Spot Welding Of Galvanized Steel Sheet”, MS Thesis, University of Windsor, Ontario (2003).

Güilent, B., “Nokta Direnç Kaynağında Baskı Kuvveti, Kaynak Akımı ve Baskı Zamanının ITAB’a Etkisi”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Proje ve Tezler Koordinasyon Merkezi, Ankara, (2005).

Hassonia, S.M., Barraka O.S., Ismaila M.I., Hussein, S.K., “Effect of Welding Parameters of Resistance Spot Welding on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of 316L”, Middle Technical University, Institute of Technology, Baghdad-Iraq, (2022).

Kalpakistan, S., and Schmid, S.,R., Manufacturing Engineering and Technology, Pearson Education South Asia Pte Ltd, Seventh Edition, Singapore, (2014).

Kanlı, M., Punta Kitapçığı, TOFAŞ, (2005).

Kaufman, J. G., Rooy, E. L., and American Foundry Society., “Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications”. ASM International, (2004).

Karamış MB, İmalat Yöntemleri, Birinci Basım, Kayseri, (2015).

Karakaş, O., Kardeş, F.B., Foti, P., Berto, F., “Dissimilar Welding Applications and Evaluation of Fatigue Behaviour of Welded Joints: An Overview” Strength of Materials, Vol. 55, No. 1, DOI 10.1007/s11223-023-00507-6, (2023).

Kaya Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. and Gülenç, B., “Ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliğinin araştırılması”, International Iron & Steel Symposium, Karabük, 77-78 (2012).

Kopeliovich, D., Wrought aluminum – zinc - magnesium alloys (7xxx), https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=wrought_aluminumzinc-magnesium_alloys_7xxx, E.T., (2022).

Leffler B., Stainless Steels And Their Properties, Avesta Sheffield AB Research Foundation, Finlandiya, (1998).

Li, S., Huang, Z., Chen, W., Liu, Z. ve Qi, W. “Quench sensitivity of 6351 aluminum alloy”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(1), 46–52. doi:10.1016/S1003-6326(13)62427-9, (2013).

Ma, H., Qin, G., Geng, P., Li, F., Fu, B., Meng, X., “Microstructure characterization and properties of carbon steel to stainless steel dissimilar metal joint made by friction welding.” Materials and Design, 86, 587-597, (2015).

Mallick, P., K., “Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles”, CRC Press, p10-29, (2010).

Maljaars, J., Soetens, F. & Katgerman, L. Constitutive Model for Aluminum Alloys Exposed to Fire Conditions. Metall Mater Trans A 39, 778–789 <https://doi.org/10.1007/s11661-008-9470-0>, (2008).

Megep, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Ders Notları, T.C Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, (2007).

Mortezaie, A., Shamanian, M., “An assessment of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welds between Inconel 718 and 310S austenitic stainless steel.” International Journal of Pressure Vessels and Piping, 116, 37-46, (2014).

Murat, M., G., “Savunma sanayinde kullanılan 420 ve 304L paslanmaz çeliklerinin TIG kaynağı sonrası korozyon ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2018).

Nilsson K., “Corrosion Tests of Stainless Steels in Automotive Applications”, PhD Thesis, Lulea University of Technology, İsveç, (2006).

O’Brien, A., Guzman, C., “Welding Handbook, Welding Process, Part 2 (9 b.)”, American Welding Society, Miami, (2007).

Oğuz, B., “Alüminyumun gösteriliş şekilleri ve normlar”, Oerlikon yayını, (1990).

Oğuz, B., Demirdışı Metallerin Kaynağı Metalurji-Uygulama, Oerlikon Yayınları, İstanbul, (1990).

Öksüz, C., “Yüksek Mukavemetli (2024,6061,7075) Alüminyum Alasımlarının Jominy Yöntemi ile Suverme Duyarlılığı.”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., İstanbul, (1996).

Otarawanna, S., and Dahle, A., K., “Casting of aluminium alloys,” Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Production, Processing and Applications, pp. 141– 154, doi: 10.1533/9780857090256.1.141, (2010).

Özakın, B., “Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2014).

Özdemir, B., Y., “Alüminyum 6082 Alaşımında Yaşlandırma Proseslerinin Mekanik Özellikler ve Korozyon Dayanımına Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi,

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2023).

Paksoy, A., K., “Çelik Yapıların, Atmosferik Korozyona Karşı Korunmasında Epoksi Bazlı Boya Ve Kaplamaların Kullanımı Ve Performansı.”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).

Savaşkan T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi.”, Derya Kitapevi, No:330, 347 s, Trabzon, (2000).

Seçkin, E., “Kapalı Kesit Paslanmaz Çelik Çekme Elemanları Kaynaklı Uç Birleşimlerinin Davranış Ve Tasarımı.”, Doktora Tezi, T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).

Shelly K and Sahota DS, "A Review Paper on Resistance Spot Welding of Austenitic Stainless Steel 316", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 47(7), 424-429, (2017).

Schubert, E., Kalsen, M., Zerner, I., Walz, C., Sepold, G., “Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry.” Journal of Material Processing Technology, 115, 2-8, (2001).

Sravanthi, S.S, Acharyya, S.G., Prabhakar, K.V.P., Padmanabham, G., “Effect of Welding Parameters on the Corrosion Behavior of Dissimilar Alloy Welds of T6 AA6061 Al-Galvanized Mild Steel”, doi.org/10.1007/s11665-018-3596-z, (2018).

Şafak, A., “Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2011).

Torkar M., Mandrino M., Lamut M., an AES Investigation of Brushed AISI Stainless Steel After Corrosion Testing, Materials And Technology, V. 42, pp 39-44, (2008).

Weissbach W., Çev: Anık S., Anık S. E., Vural M., Malzeme Bilimi ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, No: 29, 348 s, İstanbul, (1998).

William F. S., Çev: Kınıkoğlu N. G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık, No: 47, 855 s, İstanbul, (2001).

Vargel, C., “Corrosion of Aluminium Second Edition”, Elsevier, pp. 3-16, (2020).

Vural, M., “Galvanizli Çelik Sacların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerle Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına Etkisi”, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, (1992).

Yalçın, H., Koç, T., “Mühendisler İçin Korozyon.”, Kimya Mühendisleri Odası, Türkiye, 315 (1998).

Yılmaz, M., “Alüminyum Sektöründe Yeni Kullanım Alanları”, II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi, Seydişehir, (13-15 Mayıs 2003)

Yılmaz, B., “Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Ens., Isparta, (2002).

Yükler, İ., “Alüminyum Alaşımlar ve Isıl İşlemleri”. İstanbul, (2000).

Yüksel M. ve Meran C., “Malzeme Bilgisi”, Düzeltilmiş 3.Baskı, Denizli TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları MMO/545/3,158, ANKARA, (2016).

Zhong-wei Chen, Jing Zhao, and Xiao-lei Hao. “Microstructure and Texture Evolution of TRC A8006 Alloy by Homogenization.”, DOI: 10.1007/s12613-013-0747-y, (2013).

Url-1 <<https://alfed.org.uk/>>