

**ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARININ
KOROZYON DAVRANIŞINA TANE BOYUTUNUN
ETKİSİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Sedat VAROL

**ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA
TANE BOYUTUNUN ETKİSİ**

Sedat VAROL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Sedat VAROL tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA TANE BOYUTUNUN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Sedat VAROL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞINA TANE BOYUTUNUN ETKİSİ

Sedat VAROL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI

Haziran 2012, 68 sayfa

Bu çalışmada, farklı tane boyutları kazandırmak amacı ile % 0 ile % 2 arasında beş farklı miktarda Tinkal ve Boraks ilave edilerek dökülmüş, Alüminyum-Bakır alaşımlarının korozyon davranışına tane boyutunun etkisi incelenmiştir.

Temin edilen Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş Al-Cu alaşımlarının mekanik özellikleri (akma ve çekme mukavemeti) tane inceltici ilavesi ile yükselmiştir. Bu alaşımlar, kütle azalması ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemlerinin her ikisi de kullanılarak ve 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl olmak üzere iki farklı solüsyon içerisinde korozyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Yapılan bu deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarda, tane inceltici olarak kullanılan, Tinkal ve Boraks'ın etkisi araştırılmıştır.

Tinkal ve Boraks'ın ilave oranı arttıkça, yani tane boyutu inceldikçe, korozyon davranışında artış gözlenmiştir. Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon dayanımının, Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon dayanımından daha iyi olduğu kütle azalması ve potansiyodinamik polarizasyon deneylerinden alınan sonuçlarla göre tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Tinkal, boraks

Bilim Kodu : 915.1.194

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CORROSION BEHAVIOUR OF GRAIN SIZE EFFECT OF ALUMINUM-COPPER ALLOYS

Sedat VAROL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy And Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

June 2012, 68 pages

In this study, in order to provide different grain sizes from 0% to 2% of borax was added and poured into five different amounts Tincal, the particle size of aluminum-copper alloy corrosion behavior was investigated.

Tincal and Borax obtained with Al-Cu alloys subjected to grain refinement process, mechanical properties (yield and tensile strength) increased with the addition of grain refining. These alloys, and mass reduction in potentiodynamic polarization by using both methods, and 3.5% NaCl and 3.5% NaCl +1% HCl solution in two different operation were subjected to corrosion. The results obtained from these experimental studies, one used as a solvent, Tincal and Borax 's was investigated.

Tincal and Borax's additional rate increases, the thinner the grain size, ie, increased corrosion behavior. Borax with the addition of corrosion resistance of alloys subjected to grain refinement process, with the addition of Tincal corrosion resistance of alloys subjected to grain refinement process is better than those from mass loss and potentiodynamic polarization experiments have been identified.

Key Word : Tincal, borax

Science Code : 915.1.194

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, yapılan deneyler için kullanılan alaşımları büyük bir cömertlikle sağlayan Yüksek Mühendis Zeki ÇAVUŞ'a ve bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıėında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve çalıőmam boyunca destek ve yardımlarından dolayı Ali PALTA, Arő. Gör. Harun Uğ, Arő. Gör. Süleyman YAŐIN, Arő. Gör. Engin ÇEVİK ve Bünyamin ÇİÇEK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Canımdan çok sevdiğim ailem ve szlm Tuba'ya maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	iv
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	3
2.1. ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	3
2.2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ.....	6
2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA TANE İNCELTME YÖNTEMLERİ...9	
BÖLÜM 3.	11
KOROZYON.....	11
3.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ.....	14
3.1.1. Üniform Korozyon (Homojen Korozyon).....	14
3.1.2. Çukur Korozyonu.....	15
3.1.3. Galvanik Korozyon.....	15
3.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu.....	16
3.1.5. Kabuk Altı Korozyonu.....	17
3.1.6. Filiform Korozyonu.....	17
3.1.7. Seçimli Korozyon.....	17
3.1.8. Taneler Arası Korozyon.....	18

	<u>Sayfa</u>
3.1.9. Erozyonlu Korozyon	19
3.1.10. Aşınmalı Korozyon	19
3.1.11. Gerilmeli Korozyon.....	19
3.1.12. Yorulmalı Korozyon	20
3.1.13. Kaçak Akım Korozyonu	21
3.1.14. Mikrobiyolojik Korozyon.....	21
3.1.15. Alüminyum ve Alaşımlarında pH' ın Korozyona Etkisi.....	21
3.2. KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ	22
3.2.1. Kütle Azalması Yöntemi	22
3.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi	23
3.2.3. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi	24
3.2.4. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi	24
BÖLÜM 4	29
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ve KOROZYON ÖZELLİKLERİ ile İLGİLİ LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
BÖLÜM 5	35
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
5.1. KOROZYON DENEYLERİ.....	39
5.1.1. Ağırlık Kaybı Metodu ile Yapılan Deneyler	39
5.1.2. pH Metre ve İlekenlik Ölçümü Metodları	41
5.1.3. Potansiyodinamik Polarizasyon ile Yapılan Deneyler	42
5.2. KOROZYONA UĞRAMIŞ NUMUNELERİN MİKROYAPISAL İNCELENMESİ.....	44
BÖLÜM 6	46
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	46
6.1. ALAŞIMLARIN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI.....	46
6.1.1. Daldırma Yöntemiyle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları.....	46
6.1.2. Tafel-Polarizasyon ile Yapılan Korozyon Deney Sonuçları	53
6.2. KOROZYON HASARININ MİKROYAPI ANALİZLERİ.....	55

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	63
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri.....	6
Şekil 2.2. Alüminyum-Bakır denge diyagramı.....	7
Şekil 3.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar.....	13
Şekil 3.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi.....	14
Şekil 3.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hücresi.....	15
Şekil 3.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.8. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge.....	18
Şekil 3.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.12. Alüminyumda pH' a bağlı olarak korozyon hızındaki değişim.....	22
Şekil 3.13. Lineer polarizasyon yöntemi ile Rp bulunması.....	23
Şekil 3.14. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.....	26
Şekil 4.1. 850 saat boyunca %3.5 NaCl çözeltisine daldırılmış a) değiştirilmemiş Al-Cu alaşımının yüzey morfolojisi b) modifiye Al-Cu alaşımının yüzey morfolojisi.....	33
Şekil 5.1. Tinkal'ın susuzlaştırma işlemi a) öncesi ve b) sonrasında alınan XRD analiz sonuçları.....	36
Şekil 5.2. Boraks'ın susuzlaştırma işlemi a) öncesi ve b) sonrasında alınan XRD analiz sonuçları.....	36
Şekil 5.3. Alaşımların düşük büyütmedeki optik mikro yapıları.....	47
Şekil 5.4. Alaşımların yüksek büyütmedeki optik mikro yapıları.....	47
Şekil 5.5. Al-Cu alaşımının a) Tane inceltici ilavesiz, b) % 2 Boraks ve c) % 2 Tinkal ilaveli alaşımın XRD analiz sonuçları (1: Al ve 2: Al ₂ Cu Piki)...	38
Şekil 5.6. Numune temizleme işlemlerinde kullanılan BEB marka ultrasonik temizleme cihazı.....	40

Şekil 5.7. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model hassas terazi.....	40
Şekil 5.8. Çözeltilerin Sıcaklık, Ph ve iletkenlik değerlerini ölçmede kullanılan HANNA marka ölçüm cihazları.....	42
Şekil 5.9. Tafel-polarizasyon sistem düzeneği	42
Şekil 5.10. Potansiyostat deneylerinde kullanılan numune örneği.....	43
Şekil 5.11. Potansiyodinamik korozyon deney hücresi	43
Şekil 5.12. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik ışık mikroskobu.....	45
Şekil 6.1. Farklı oranlarda Tinkal ilaveli alaşımların zamana bağlı olarak a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde ağırlık kayıplarının değişimi	47
Şekil 6.2. Farklı oranlarda Boraks ilaveli alaşımların zamana bağlı olarak a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde ağırlık kayıplarının değişimi	48
Şekil 6.3. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde tane boyutu ile korozyon hızlarının değişimi	49
Şekil 6.4. mm/yıl cinsinden tane boyutuna (mm-1/2) göre 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde alaşımların zamana bağlı olarak korozyon hızlarının değişimi	51
Şekil 6.5. Tinkal ile tane inceltme yapılmış alaşımların a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	53
Şekil 6.6. Boraks ile tane inceltme yapılmış alaşımların a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	53
Şekil 6.7. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın tane boyutuna göre korozyon akımının değişimi	54
Şekil 6.8. Alaşımların parlatılmış haldeki optik mikro yapıları	56
Şekil 6.9. Alaşımların parlatılmış haldeki optik mikro yapıları	56
Şekil 6.10. Alaşımların dağlanmış haldeki optik mikro yapıları.....	57
Şekil 6.11. Alaşımların dağlanmış haldeki optik mikro yapıları.....	57
Şekil 6.12. Tüm Tinkal ve Boraks oranlarının her iki çözelti içerisinde de oluşan % Oyuk Konsantrasyonu	59
Şekil 6.13. Alaşımların düşük büyütmedeki yüzey görüntüleri	60
Şekil 6.14. Alaşımların düşük büyütmedeki yüzey görüntüleri	60
Şekil 6.15. Alaşımların yüksek büyütmedeki yüzey görüntüleri	61

Şekil 6.16. Alaşımın yüksek büyütmedeki yüzey görüntüleri61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyum döküm alaşımlarının seçimindeki kullanım amaçları	4
Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	5
Çizelge 3.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak).....	14
Çizelge 5.1. Alaşımın standart kimyasal kompozisyonu	38
Çizelge 5.2. Tane boyutunun akma ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi	39
Çizelge 6.1. Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın zamana (h) bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi	47
Çizelge 6.2. Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın zamana (h) bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi	47
Çizelge 6.3. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde zamana bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi	48
Çizelge 6.4. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde mm/yıl cinsinden tane boyutu (mm) ile korozyon hızlarının değişimi	50
Çizelge 6.5. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon deneyine başlamadan önce alınan çözelti değerleri	52
Çizelge 6.6. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon deneyinin 24 saat sonucundaki çözelti değerleri	52
Çizelge 6.7. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ile tane inceltme yapılmış alaşımların korozyon akımı ve korozyon potansiyeli değerleri	54
Çizelge 6.8. Tüm Tinkal ve Boraks oranlarının her iki çözelti içerisinde de oluşan korozyonun % yüzey oranları.....	58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

sn	: Saniye
d	: Dakika
°C	: Santigrat derece
°F	: Fahrenheit derece
E_{corr}	: Korozyon potansiyeli
I_{corr}	: Korozyon akımı
E_e	: Denge potansiyeli
μm	: Mikrometre
mV	: Milivolt
mA	: Miliamper

KISALTMALAR

XRD	: X- ışını difraksiyonu (X-Ray Diffraction)
SCE	: Doygun kalomel elektrot (Satiated Calomel Electrode)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
EDS	: Elektron difraksiyon taraması (Electron Diffraction Scanning)
ASTM	: Amerikan malzeme ve test standartları kurumu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir dışı metaller arasında en fazla üretilen alüminyum ve alüminyum alaşımları, kolay dökülebilmeleri, korozyon dayanımlarının iyi, özgül ağırlık ve ısı genleşmelerinin düşük, ısı iletkenliklerinin yüksek olmaları gibi, sahip oldukları özelliklerinden dolayı günümüz teknolojisinde birçok uygulama alanında kullanılmaktadırlar. Hammaddesinin kolay bulunabilirliği, üretim tekniklerinin gelişmiş olması ve ucuzluğu, alüminyum tüketimindeki artışın da nedenleri arasındadır. Alüminyum birçok metal ile alaşım yapılabilir. Genellikle yapısal olarak eklenen ve kontrol edilen Çinko, bakır, magnezyum, silisyum, titanyum, bor ve lityum gibi başlıca alaşım elementleri, malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır [1].

Tane inceltme, hemen hemen tüm katılaşma işlemlerinde başvurulan bir yöntemdir. Tane inceltme yapılmış alüminyum dökümlerinde, tane inceltmenin sıcak yırtılmalara karşı dirençteki ve akışkanlıktaki artış, daha iyi besleme sağlaması, yorulma direncinde ve sızdırmazlık direncindeki artış, gelişmiş mekanik özellikler, mikro yapıların homojenliği ve makro porozitedeki azalma bu yöntemin uygulanmasında önemli nedenlerdendir. Alüminyum döküm alaşımlarında tane inceltme işlemi, kaliteli ve nitelikli dökümler için çok önemlidir [1].

Metallerde karşılaşılan en büyük problem korozyondur. Korozyon malzemenin kimyasal reaksiyonlar sonucu değişime uğraması olayıdır. Korozyona uğrayan malzeme doğada bulunan cevher haline geri dönmüş olur. Bu istenmeyen bir durumdur. Alüminyum-Bakır alaşımlarında genellikle oyuk ve aralık korozyon mekanizmaları görülür. Bu tip korozyon mekanizmalarını önlemek oldukça zordur ve malzemenin servis dışı kalmasına neden olur.

Bu tez çalışmasında kullanılan farklı oranlarda Tinkal ve Boraks ilaveli Al-Cu alaşımında tane boyutunun korozyon davranışına etkisini incelemek amacıyla, alaşımlar kütle azalması ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemlerinin her ikisi de kullanılarak ve 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl olmak üzere iki farklı solüsyon içerisinde korozyon işlemine tabi tutulmuşlardır ve optik mikroskop ve stereo mikroskop kullanılarak araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

2.1. ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Alüminyum varlığı 1808'de İngiliz kimyager H. Davy tarafından kanıtlanan ve yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden bir tanesidir. En önemli kaynağı boksit cevheridir. Alüminyum diğer metaller ile birleşmiş olarak yer kabuğunun %8'ini oluşturmaktadır. Atom numarası 13 olup kütle numarası 27'dir. Atomik ağırlığı 26,98 gr/mol'dür ve yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısına sahiptir. Ergime sıcaklığı 660 °C'dir [1].

Alüminyum 2,7 g/cm bir yoğunluğa sahiptir. Düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen çok iyi mukavemet özellikleri sergiler. %99,996 saflıktaki alüminyumun çekme mukavemeti yaklaşık 49 MPa iken alaşımlandırıldığında veya ısıl işlem yöntemi uygulaması sonucu bu değer 220 MPa'a kadar çıkabilmektedir. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir [1].

Alüminyum atmosferik, sulu, petrokimyasal ve kimyasal sistemler içeren birçok çevrede mükemmel bir korozyon direnci gösterir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Sünek bir malzemedir, düşük yoğunluğa ve ergime sıcaklığına sahiptir. Bundan dolayı kolaylıkla makine ile işlenebilir, dökülebilir ve ekstrüze edilebilir [1].

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, tokluk ve iyi korozyon direnci özelliklerinden dolayı otomotiv, uzay ve havacılık sektöründe yüksek oranda tercih edilmektedir. Spesifik olarak Al-Cu-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımları çok iyi çökeltme sertleşmesine uygun sahip alaşımlardır. Endüstrinin pek çok kolunda binlerce farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup, hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde de geniş kullanım alanı bulur [1]. Alüminyum döküm alaşımlarının seçiminde uluslararası standart sembolleri ile belirtilen en uygun kullanım amaçlarına göre dağılımı Çizelge 2.1’de gösterilmektedir [1].

Çizelge 2.1. Alüminyum döküm alaşımlarının seçimindeki kullanım amaçları [1].

Özellikler	Alaşım Tipleri
Korozyon Dayanımı	Al-Si 4 Mg, Al-Si 7 Mg 0.3, Al-Si 10 Mg, Al-Zn 5 Mg.
Atmosfer koşullarına Dayanım	Al-Mg 3Ti, Al-Mg 4 Zn, Al-Si 7 Mg, Al-Si 10 Mg, Al-Si 5Mg.
Yüksek Mekanik Özellikler	Al-Si 9 Co Mg, Al-Zn 5 Mg, Al-Cu 5 Mg Ti, Al-Si 7 Mg.
Yüksek Süneklik	Al-Zn 5 Mg.
Boyutsal Kararlılık	Al-Mg 6, Al-Mg 10, Al-Si 9 Cu 3.
Yüzey Parlaklığı	Al-Mg 3 Ti, Al-Mg 4 Zn, Al-Si 2 Mg Ti.
Darbe Dayanımı	Al-Si 7 Mg 0.3, Al-Si 9 Co Mg, Al-Si 13, Al-Cu 5 Mg Ti.
Yüksek Uzama Katsayısı	Al-Cu 5 Mg Ti.
Yorulma Dayanımı	Al-Cu 5 Mg Ti
Talaş Kaldırma Kolaylığı	Al-Cu 5 Mg Ti, Al-Mg 6, Al-Mg 10 Al-Si 9 Cu 3.

Alüminyum alaşımları, şekil verme işlemine bağlı olarak döküm ve dövme (işlem) alüminyum alaşımları olarak başlıca iki ana gruba ayrılırlar. Döküm ve dövme alaşımları kendi içinde ısıl işlem yapılabilen ve yapılamayan alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılırlar. Isıl işlem yapılamayan alaşımlar ile katı eriyik sertleşmesi ve pekleşme uygulamaları ile mukavemet artışı sağlanırken, ısıl işlem yapılabilen alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işlemi uygulanır [1].

Döküm alüminyum alaşımlarının çoğu, %5 ve %12 arasında değişen oranlarda alaşıma katılan ve ötektik reaksiyona neden olan Silisyum içerir. Alüminyum döküm alaşımındaki silisyum belirtilen oranlarda katıldığında alaşımın akıcılık özelliği artarak dökülebilirlikte iyileştirme sağlanır. Alüminyum döküm alaşımları hem Silisyum ve hem de Magnezyum ihtiva ettiğinde mukavemet artışı görülür. Al-Si-Mg alaşımları kokil metal kalıba dökülmek sureti ile üretilebilir. Alüminyum döküm alaşımlarında bakır ihtivasası çökeltme sertleşmesi yeteneğini veya elektrik iletkenliği özelliğini artırmaktadır [1].

%1-4 oranlarında bakır ilavesi yüksek sıcaklıklarda mukavemet artışına sebep olur. Bazı alaşımlara brom ve titanyum ilavesi ile mikroyapı optimizasyonu yapılır ve bunun sonucunda dağılım mukavemetleşmesi düzeyi artırılarak tane incelmesi gerçekleştirilir. Sodyum ve stronsiyum kullanılarak ötektik yapıda değişiklikler yapılabilir. %0,3-1,0 magnezyum ihtivasası çökelti sertleşmesine bağlı mukavemet artışına neden olur. Döküm alüminyum alaşımlarının sayısal sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir [1].

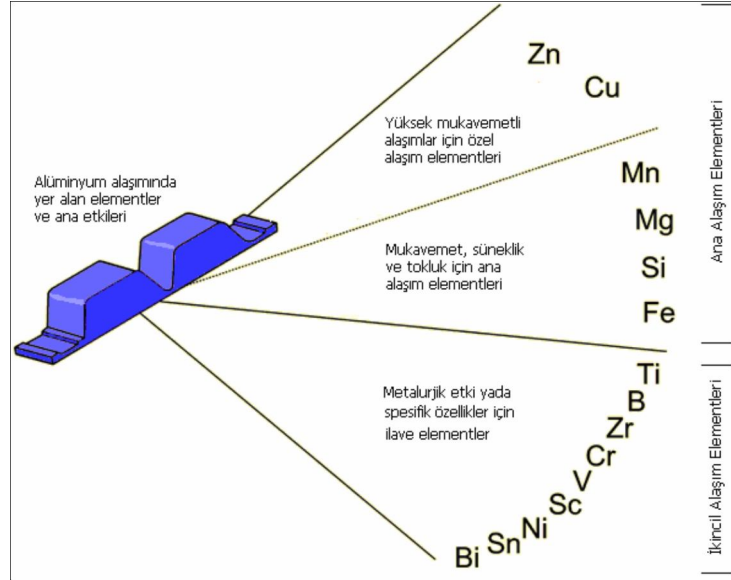
Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımları [1].

Alaşım	Açıklama
1xx.x	Saf alüminyum.(Al,%99’dan fazla)
2xx.x	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları, diğer elementlerde belirtilebilir.
3xx.x	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları, bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri belirtilebilir.
4xx.x	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5xx.x	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6xx.x	Kullanılmıyor.
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

2.2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ

Alaşım elementleri, alüminyuma özelliklerini değiştirmek ve arzu edilen karakteristikleri kazandırmak için eklenir. Alaşım elementlerinin katı çözelti içine girmesiyle, elektriksel iletkenlik ve süneklikte azalma, sertlik ve mekanik dayanımda artma vardır. Alüminyum alaşımlarında katı eriyik sertleşmesinden başka soğuk şekil verme ve çökelme sertleşmesi işlemleri ile de mukavemet artışı sağlanır [1].

Alüminyum alaşımlarında kullanılan alaşım elementlerinden bazıları magnezyum, bakır, silisyum, çinko, mangan, krom, kalay, nikel, demir, titanyum, zirkonyum, lityum, fosfor ve sodyumdur. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Zn ve Cu yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında kullanılan, Mn, Mg, Si ve Fe ise mukavemet, süneklik ve tokluk için kullanılan ana alaşım elementleridir. Alüminyum alaşımlarında az oranda kullanılan Ti, B, Zr, Cr, V, Sc, Ni, Sn ve Bi metalürjik etki oluşturulmasında kullanılan ikincil alaşım elementleridir [1].

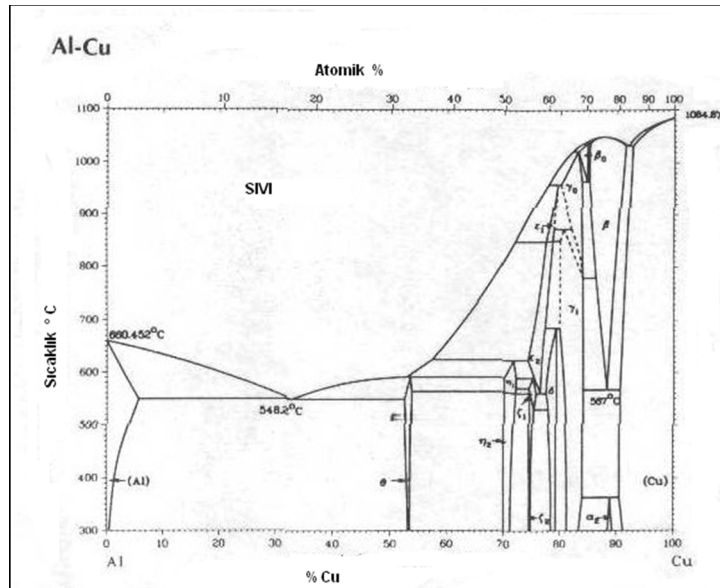


Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri [1].

Alaşımların tane boyutunun kontrolü malzemenin mekanik özellikleri açısından önemlidir. Tane boyutu küçüldükçe malzemelerin çekme ve darbe dayanımları artmaktadır. Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarında dispersoidler tane sınırlarına yerleşerek tane büyümesini engellediği ve alaşımların sünekliliği ve kırılma tokluğunu arttırdığı bilinmektedir [1].

Genel bir kural olarak daha az alaşım elementleri içeren alüminyum alaşımlarının tane inceltmesi daha zordur. Özellikle demir, silisyum, mangan, titanyum ve bor gibi elementler ana inceltme işlemini olumlu şekilde etkiledikleri için bu elementleri içeren alüminyum alaşımlarının tane inceltme işlemleri daha kolaydır. Buna karşılık krom ve zirkonyum gibi elementler tane inceltme işlemini olumsuz yönde etkiledikleri için bu elementleri içeren alaşımların tane inceltme işlemleri daha zor ve yüksek oranda ilaveler ile gerçekleştirilir [1].

Bakır, Alüminyuma sertlik, dayanım, dökülebilirlik ve işlenebilirlik özellikleri kazandırır. %33 bakır oranı alüminyuma ötektik bileşimi verir. Alüminyum içinde %0.5-5.7 erir. Bakırlı alüminyum alaşımlarına ısı işlem uygulanabilir. Isıl işlemde Al_2Cu çökelir. Teknolojik önemi olan θ ($CuAl_2$) intermetalik fazı %53.2-53.9 Cu içerir [1].



Şekil 2.2. Alüminyum-Bakır denge diyagramı [1].

Eriyikten ayrılan ve en azından ötektik yapı bileşeni niteliğinde olan Al_2Cu ara fazı, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için, döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al-Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller. Öte yandan katılaşma aralığının genişliği nedeniyle yapısal aşırı soğuma dikkate alınarak, teknik Al-Cu alaşımlarının bileşimdeki bakır miktarı, ötektik yatayının başladığı %5.7 değerinin daha da gerisinde kalmak üzere yaklaşık %4.5 ile sınırlandırılmıştır [1].

Bakırın alüminyumda erime oranı sıcaklığa bağlıdır. Al-Cu Denge Diyagramına göre (Şekil 2.2) bakırın Alüminyum içinde eririliği oda sıcaklığında %0.5, 548°C ötektik yatayında ise %5.65'dir. Yüksek süneklik istenen uygulama alanlarında %2-5 Cu, sıcak yırtılmanın önemli olduğu uygulamalarda ise %4-12 Cu kullanılır. Bakırın, alüminyum içinde katı fazdan çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar (Ötektik sıcaklığının altında bakırın alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azalır). Böylece çökeltme sertleşmesi mümkün olur. Çökeltme için gerekli zaman alaşımın bileşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, fazın miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır [1].

Malzemeyi gevrekleştirmeden dayanım artışı sağlayan çökeltme sertleşmesi ilk kez bu tür alaşımlarda bulunmuştur. Bakır düşük sıcaklıklarda ısıtma işlemiyle, yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile oluşturduğu ara fazlar dolayısıyla malzemenin mukavemetini artırır. Al-Cu sisteminde, bakır miktarının %5.5'e kadar artışı ile mukavemet artmakta, süneklik azalmaktadır. Daha yüksek değerlerdeki bakır mekanik özelliklerde düşmeye yol açar [1].

En iyi özellik açısından tercih edilen bileşim %4.5 Cu içeren Al-Cu alaşımıdır. Bakır yanında Mg veya Mn olduğu zaman süneklik azalır. Eğer alaşımda kalay yüksek oranda var ise sertlik azalır, korozyon direnci düşer. Yüksek miktarda demir ve silisyumda mekanik özelliklere kötü yönde etki yapar. Genel olarak bakır alüminyuma, sertlik, dayanım, döküm özelliği ve işleme kolaylıkları gibi özellikler kazandırır [1].

Bor, alüminyuma küçük miktarlarda katılmaktadır. Bu değer en fazla %1'dir. Alüminyum alaşımlarına katılma durumunda ya tane boyutunu düzenler ya da çökeltici titanyum veya vanadyum ile birlikte elektrik iletkenliğini artırmak için kullanılır [1].

Bor, alüminyum ve alaşımlarında tane küçültücü olarak ve vanadyum, titanyum, krom ve molibdeni çökerterek iletkenliği iyileştirmek için ilave edilir. Söz konusu elementler ticari alüminyumda empürite seviyelerinde elektrik iletkenliğine zararlı etkiye sahiptir. %0.005-0.1 bor oranlarında tane küçültücü olarak yalnızca kullanılabilir. Fakat titanyum ile birlikte kullanıldığı zaman daha etkili olur. Bor nötron tutucu özelliğe sahip olduğundan belirli atomik enerji uygulamaları için alüminyum alaşımlarında kullanılır [1].

2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA TANE İNCELTME YÖNTEMLERİ

Malzemelerin mekanik özelliklerinin tane boyutu ile ilişkisi saptandıktan sonra küçük taneli yapılar elde etmek için yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Toz metalürjisi ve termomekanik yöntemi ile küçük taneli yapıların elde edilmesi yanında son yıllarda ergitme ve katılaştırma anında uygulanan tane küçültme yöntemleriyle de ilgilenilmektedir. Metallerin mekanik özellikleri, tane boyutuna ve tanelerin yapıdaki dağılımına bağlıdır. Çeşitli faktörlerin etkisi altında kalıp içinde katılaştıran sıvı metal alaşım elementlerinin özelliklerine, kullanılan kalıp boyut, şekil ve özelliklerine, döküm tekniği ve sıcaklığına bağlı olarak değişik tiplerde katılmış mikroyapıları gösterir [1].

Katılma esnasında, ince taneli yapı elde etmek için uygulanan teknikleri,

- Isısal yöntemler,
- Dinamik yöntemler,
- Yapısal yöntemler,

olarak üç ana grupta toplanabilir. Bu yöntemlerden en kolay uygulanabileni karmaşık cihaz kullanımı gerektirmeyen yapısal yöntemlerdir [1].

Yapısal yöntemlerle tane küçültme, sistemdeki çekirdek sayısını arttırmak ve böylece daha ince taneli bir döküm yapısı elde etmek için uygulanır [1].

Yapısal olarak sisteme yapılan müdahale kimyasal (aşıl原因ıcılar) ilavelerdir. Aşıl原因ıcı tanım olarak, sıvı metale ergitme işleminin genellikle son kademesinde yapılan ilave olup, dökülen metalin katıl原因ma yapısını değiştirir, başka bir değişle daha küçük taneli bir yapı oluşumu sağlar. Aşıl原因ıcılarla yüksek sıcaklıkta kararlı ve çekirdekleşme merkezi olarak davranan bir faz oluşturma amaçlanır [1].

Tane inceltici katkılar sıvı alüminyuma düşük oranlarda katıldıklarından alaşımın bileşiminde önemli bir değişim söz konusu değildir. Tane inceltmede en etkili yöntem tane inceltici katkıların kullanılması olup, bunlar titanyum, bor, zirkonyum gibi elementlerdir [1].

BÖLÜM 3

KOROZYON

Korozyon, metal ve alaşımların kimyasal ya da elektrokimyasal olarak termodinamik bakımdan doğada kararlı olduğu bileşiklerine dönüşme eğilimidir. Metal ve alaşımların çevresiyle etkileşerek fazla enerjisini dışarı vermesi, entropisini küçültmesi ve doğadaki kararlı bileşiği haline dönüşmesi şeklinde gerçekleşen doğal bir olaydır [2].

Korozyon kimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere başlıca iki şekilde meydana gelmektedir;

- Kimyasal korozyon: Metal ve alaşımlarının ortamları veya gazlarla doğrudan reaksiyonudur (kuru korozyon). En tipik örneği oksitlenme olayıdır. Oksitlenme özellikle yüksek sıcaklıklarda daha da etkilidir. Türbin kanadı, yüksek sıcaklıkta çalışan makineler vb. makine elemanları kimyasal korozyona uğrarlar. Demirin en belirgin kimyasal korozyon ürünleri oksitleridir (Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO).
- Elektrokimyasal korozyon: Metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içindeki korozyonudur. Elektrokimyasal korozyonun meydana gelebilmesi için elektrik akımının iletilebileceği bir elektrolit ortamının bulunması gerekir. Elektrolit asit, baz ve tuzların sudaki çözeltileridir. Örneğin, bir metal elektrot kendi tuzunun sulu çözeltisine daldırıldığında atomların son yörüngesindeki elektronlar serbest hale geçer, bunun sonucunda;

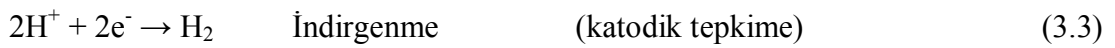
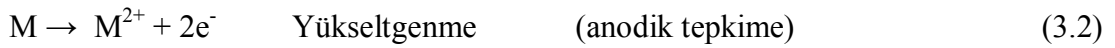


yüklü metal iyonu meydana gelir [2].

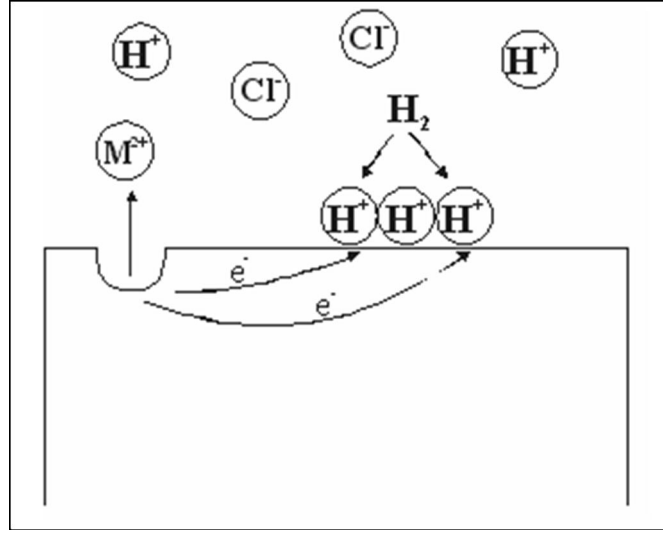
Korozyon tepkimeleri, çoğu metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu (Au, Pt, Ir ve Pd gibi soy metaller dışında) veya dış akımların etkisiyle yürür. Metal korozyonu ister anodik ister katodik tepkime ile denetlensin, çoğu hallerde korozyon hızı, yük aktarım basamağı ile sınırlanır. Metal iyonları oluştuğu zaman elektrik devresi tamamlanarak sürekli bir akım yolu sağlanmış olur [2].

Sulu ortamda elektron alışverişi ile gerçekleşen oksidasyon (elektron verme) ve redüksiyon (elektron alma) reaksiyonlarına elektrokimyasal reaksiyonlar denir. Atmosferde, su içinde, toprak altında oluşan korozyon reaksiyonları bu tip reaksiyonlara örnek teşkil eder. Atmosferde ve toprak altındaki metallerin yüzeyinde de değişik kalınlıkta su filmi vardır. Su içinde hava ve onun bileşeni olan O₂ gazı belli oranda çözüldüğünden O₂ gazı metal yüzeyinde redüklenerek yani elektron alarak iyonik hale dönüşür. Metal de elektronlarını O₂'ne vererek oksitlenirse katı halden sulu iyon hale dönüşerek kimyasal olarak değişikliğe uğrar. Sulu ortam-metal ara yüzeyinde metalin kimyasal şeklini değiştirmesine korozyon denir [2].

Sulu çözelti kimyasında korozyon elektrokimyasal tepkimelerle gerçekleşir. Bu tepkimelerde anotta metal yükseltgenir, katot da ise çözültideki reaktif indirgenir.

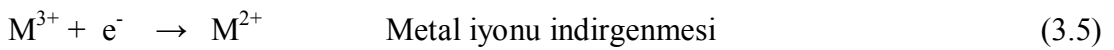


Bu tepkimeler metal yüzeyinde aynı anda ve aynı hızda gerçekleşirler. Yani korozyon sırasında anottaki yükseltgenme hızı katottaki indirgenme hızına eşittir. Şekil 3.1'de HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olayların şematik gösterimi görülmektedir [2].



Şekil 3.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar [2].

Metal yüzeyinden ayrılan metal atomu iyonuna dönüşürken iki elektronunu metal bırakır. Bu elektronlar hidrojen iyonları indirgenme sırasında kullanılırlar. Metal atomunun elektron vererek metal iyonuna dönüşmesi anodik tepkime olarak adlandırılır. Katodik tepkime ise hidrojen oluşumu reaksiyonudur. Katodik tepkimelere başka örneklerde verilebilir;



Asidik ortamlarda en genel tepkime hidrojen çıkışıdır. Diğer katodik tepkimeler ise çok seyrek gerçekleşebilir. Bir alaşım korozyona uğradığında içerisindeki her metal kendi iyonlarına dönüşerek çözeltiliye geçeceğinden birden fazla yükseltgenme tepkimesi gerçekleşir. Aynı şekilde eğer HCl çözeltisi içerisinde çözülmüş O_2 bulunuyorsa hem hidrojen çıkışı hem de O_2 indirgenmesi gerçekleşir. Korozyon sırasında yükseltgenme hızı indirgenme hızına eşit olacağından bu tepkimelerden birinin artışı diğerinin de artmasına neden olacaktır. Yani oksijen içeren HCl çözeltisi içermeyenden daha çok korozif olacaktır [2].

3.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Mühendislik açısından daha önemli olan bölgesel korozyon 3 ana başlık altında incelenir:

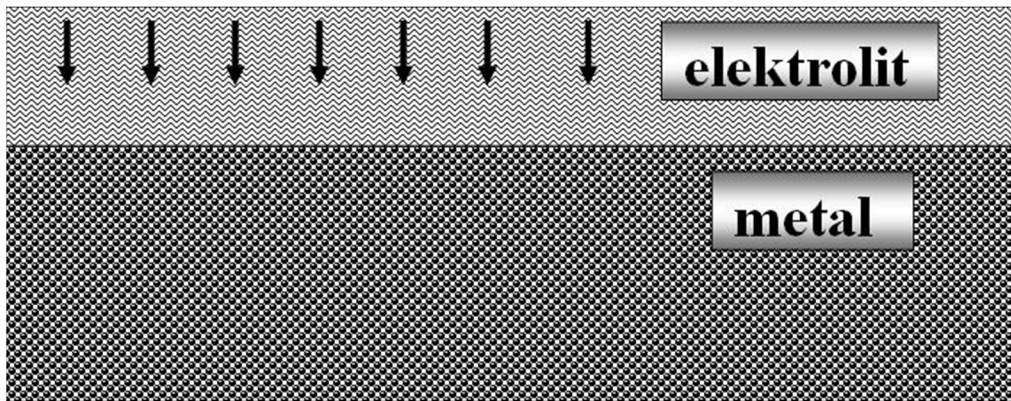
- Gözle görülebilen korozyon (Makro Korozyon)
- Mikroskopla görülebilen korozyon (Mikro Korozyon)
- Karışık korozyon (Mikro + Makro Korozyon)

Çizelge 3.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak) [2].

I – Makro korozyon	II – Mikro korozyon	III - Makro + Mikro korozyon
a) Galvanik korozyon	a) Taneler arası korozyon	a) Erozyonlu korozyon
b) Seçimli korozyon	b) Gerilmeli korozyon	b) Titreşimli korozyon
c) Kabuk altı korozyonu	c) Yorulmalı Korozyon	c) Hidrojen çatlaması
d) Aralık korozyonu		
e) Çukur korozyonu		
f) Filiform korozyonu		

3.1.1. Üniform Korozyon (Homojen Korozyon)

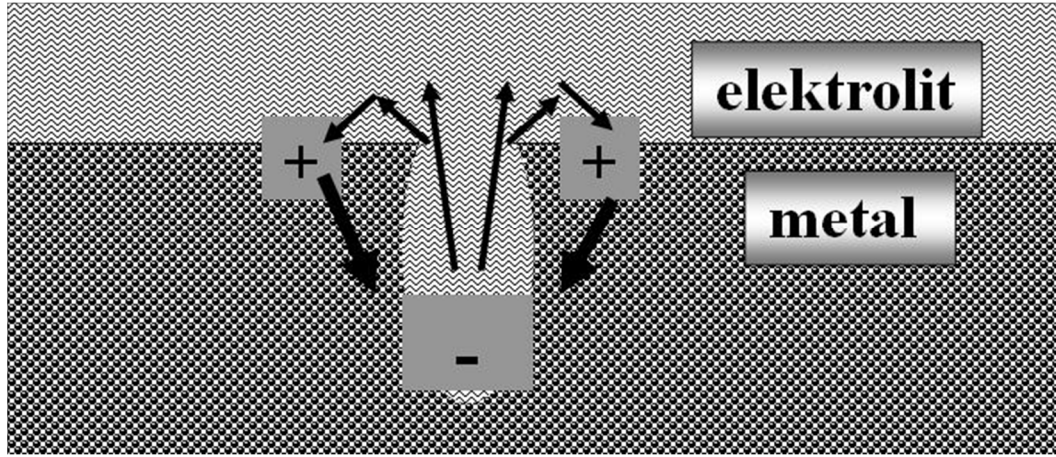
Metal yüzeylerinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Üniform korozyonu sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede kalır [2].



Şekil 3.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi [2].

3.1.2. Çukur Korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucunda çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktasından kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir [2].

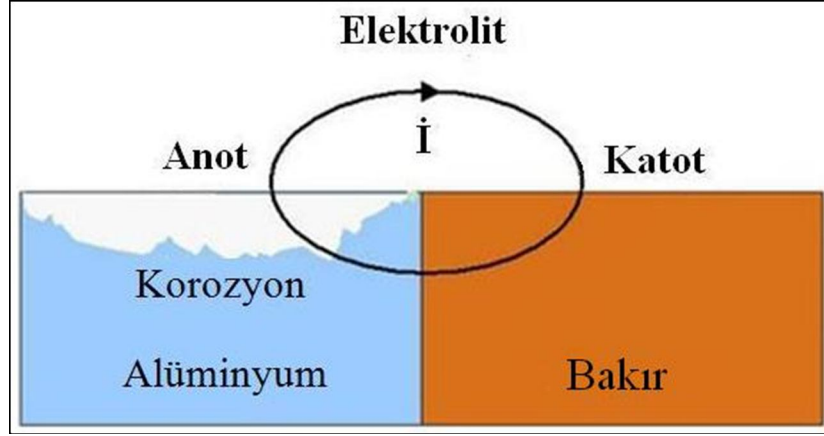


şekil 3.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hcreti [2].

Çukurun dibi bir anot görevi görürken, çukur ağızındaki yüzeyler katot görevi görmektedirler. İyonik akım elektrolitten geçerken, elektronik akım metalden geçer (şekil 3.3) [2].

3.1.3. Galvanik Korozyon

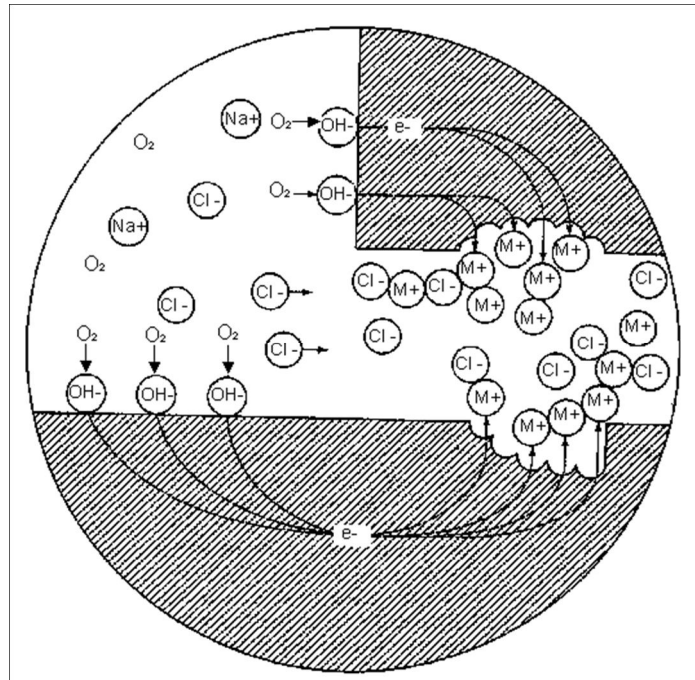
İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hcreti meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar [2].



Şekil 3.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi [2].

3.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözültinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi gerçekleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeylerinde bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir [2].



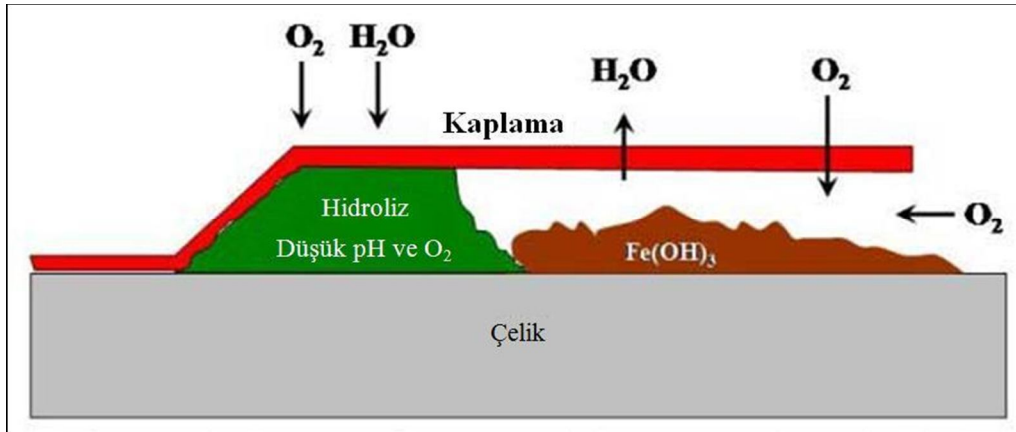
Şekil 3.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi [2].

3.1.5. Kabuk Altı Korozyonu

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon kabuk altının rutubetli olmasından ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Çünkü kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Bu durum çatlak korozyonuna benzer bir ortam oluşturur. Kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur [2].

3.1.6. Filiform Korozyonu

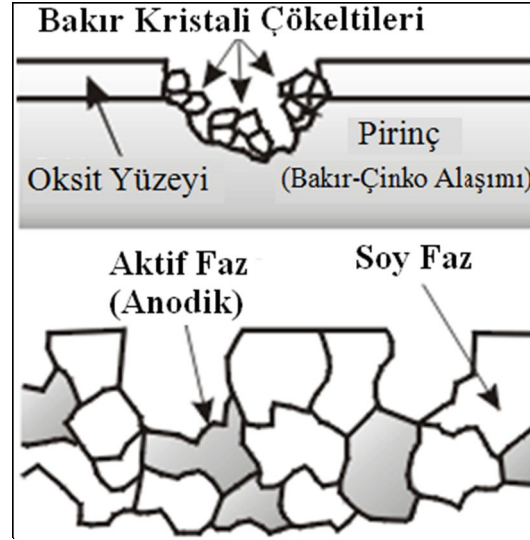
Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir [2].



Şekil 3.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi [2].

3.1.7. Seçimli Korozyon

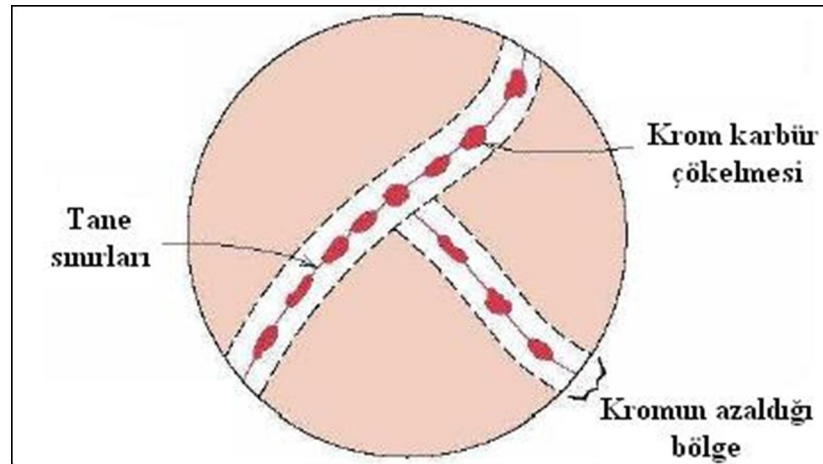
Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımında bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır [2].



Şekil 3.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi [2].

3.1.8. Taneler Arası Korozyon

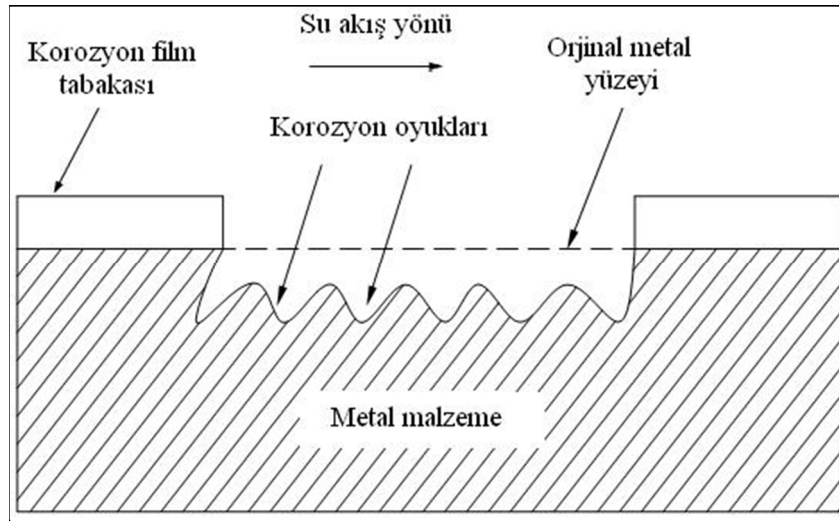
Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür (Şekil 3.8) [2].



Şekil 3.8. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge [2].

3.1.9. Erozyonlu Korozyon

Korozif çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, (borular, dirsekler, valfler vb.) söz konusu olabilir [2].



Şekil 3.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi [2].

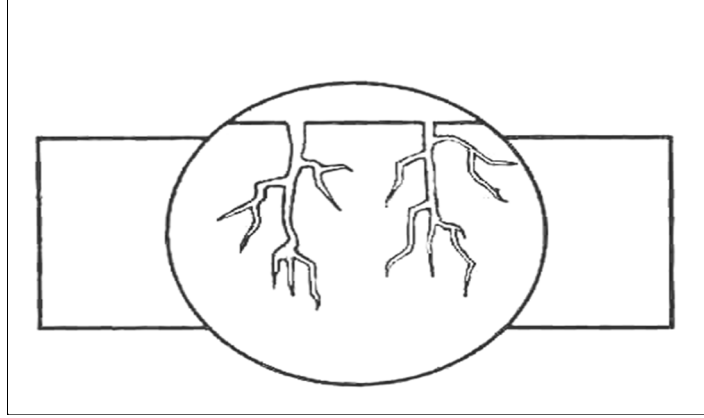
3.1.10. Aşınmalı Korozyon

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte yürüyen korozyon olaylarına aşınmalı korozyon denir. Aşınmalı korozyon daha çok metallerin yığın halinde uzun mesafelere taşınmaları sırasında ve gevşek bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür [2].

3.1.11. Gerilmeli Korozyon

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam oluşur. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu

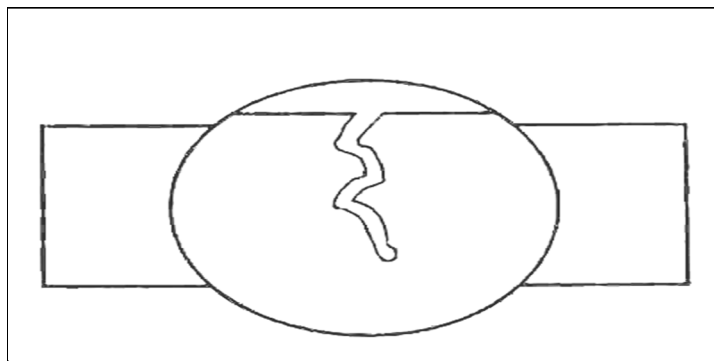
halde, stres altında iken kabuk oluşturmaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur [2].



Şekil 3.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi [2].

3.1.12. Yorulmalı Korozyon

Periyodik olarak yükleme-boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisiyle çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur [2].



Şekil 3.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi [2].

3.1.13. Kaçak Akım Korozyonu

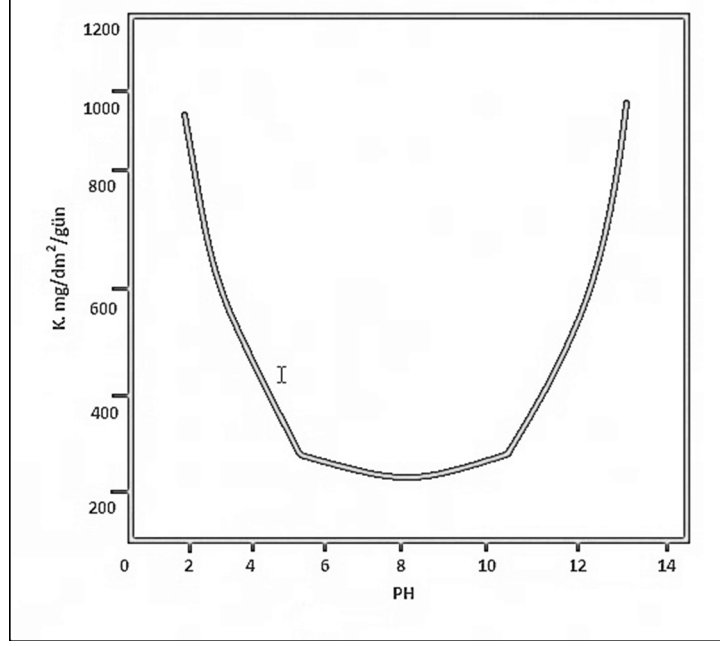
Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar [2].

3.1.14. Mikrobiyolojik Korozyon

MIC (mikrobiyolojik etkiden kaynaklanan korozyon veya mikrobiyolojik korozyon), mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir [2].

3.1.15. Alüminyum ve Alaşımlarında pH' ın Korozyona Etkisi

Bir metalin korozyon davranışını belirleyen en önemli faktör pH değeridir. İki benzer elektrod arasında elektrolitikteki pH farkı, bir potansiyel fark oluşturmaktadır. Metaller, bir noktadan diğer noktaya biraz değişen pH' a sahip bir akışkanla temasta olduğunda, farklı potansiyele sahip olanlar oluşturulmakta ve elektrokimyasal korozyon meydana gelmektedir. pH değişimlerine, kimyasal reaksiyonun doğası, konsantrasyon değişimleri, aralıklar veya aktif olmayan köşelerdeki durgunluk neden olabilmektedir. Orta veya nötr aralıkta korozyona dayanıklı olan fakat kuvvetli asit ve alkali çözeltilerde korozyona uğrayan alüminyumun değişen pH' daki korozyon hızı Şekil 3.12'de gösterilmiştir [3].



Şekil 3.12. Alüminyumda pH' a bağlı olarak korozyon hızındaki değişim [3].

3.2. KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ

Kimyasal olaylarda korozyon hızı kütle kaybı yöntemiyle, elektrokimyasal olaylarda ise tafel ekstrapolasyon yöntemi, lineer polarizasyon yöntemi, alternatif akım empedans ölçme yöntemi ile ölçülür [2].

3.2.1. Kütle Azalması Yöntemi

Kütle kaybindan korozyon hızı belirlenirken çözünmenin homojen olması ve korozyon ürünlerinin ya tamamen çözünür veya uygun bir çözeltilde çözünerek metal yüzeyinden uzaklaştırılması gerekir [2].

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{\text{kütle azalması}}{\text{metalın yüzey alanı} \times \text{zaman}} \quad (3.7)$$

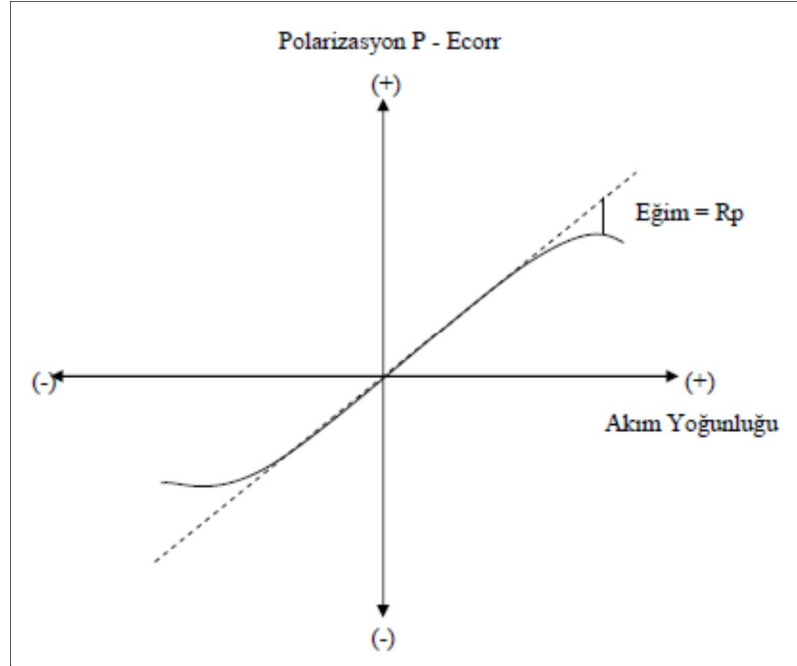
Bu yöntemde korozyon akımı Faraday yasası ile şöyle bulunabilir:

$$I_{\text{corr}} = \frac{\Delta m \cdot F \cdot n}{\Delta t \cdot M} \quad (3.8)$$

Burada Δm kütle kaybını, M metalin molar kütesini, F Faraday sabitini, n söz konusu metalin çözünmeye geçme değerini ve Δt ise zaman aralığını göstermektedir [2].

3.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi

Akım potansiyel eğrisinin korozyon potansiyeli dolayındaki doğrusal kısmının eğiminden polarizasyon direnci bulunup, aşağıda ifade edilmiş Stern- Geary eşitliği kullanılarak korozyon hızı bulunur (Şekil 3.13) [2].



Şekil 3.13. Lineer polarizasyon yöntemi ile R_p bulunması [2].

Polarizasyon direnç yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesinde akım potansiyel eğrisi I_{corr} ile ağırlık azalması arası ilişki aşağıdaki denklemlerle verilir;

$$I_{corr} = \Delta m \cdot F \cdot n / \Delta t \cdot M_k \quad (3.9)$$

Burada; Δm ağırlık azalması, F Faraday sabiti; n alınan verilen elektron sayısı, M_k metalin atom gramının kütesi, Δt zaman aralığıdır [2].

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta E} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{I}{R_p} = \frac{B}{R_p} \quad (3.10)$$

I_{corr} korozyon akımını, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik tafel sabitlerini, R_p polarizasyon direncini gösterir [2].

3.2.3. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi

Yöntemin esası, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım ile empedansının ölçülmesine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak polarizasyon direnci belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan polarizasyon direnci (R_p) değeri Stern-Geary eşitliğinde yerine konularak, korozyon hızı hesaplanır [2].

3.2.4. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

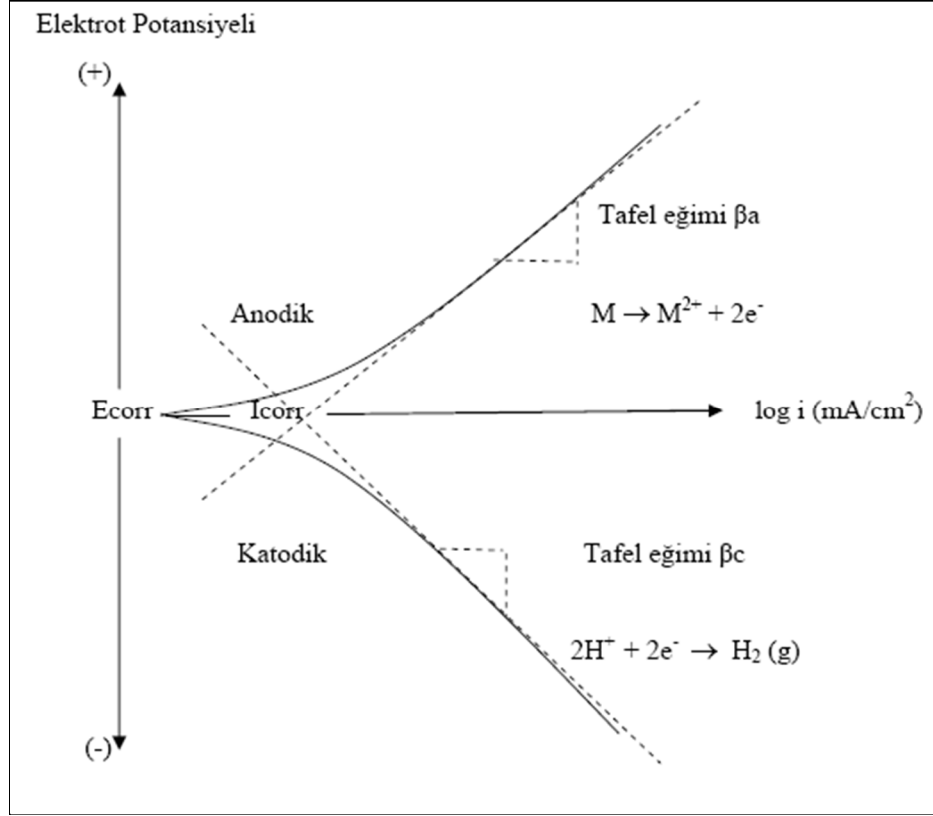
Çözelti ortamında malzeme belirli bir potansiyele sahiptir. Akım çekmezken oluşan bu potansiyel değeri açık devre potansiyeli olarak adlandırılır. Açık devre potansiyeli daha negatif veya daha pozitif yapılan taramalar bu bölgede yüzeyde meydana gelen reaksiyonlar hakkında bilgi verir. Bu davranışlar incelenerek deneye tabii tutulan malzemenin elektrokimyasal özellikleri ile ilgili sonuca varırız. Elde edilen bu katodik ve anodik eğriler vasıtasıyla β -Anodik ve β -Katodik eğriler ile E_{corr} potansiyel korozyon ve I_{corr} akım korozyon değerleri tespit edilir. Tespit edilen bu veriler vasıtasıyla malzemenin belirlenen ortamda belirlenen koşullarda elektrokimyasal özellikleri ve korozyon hakkında yorum yapılır [2].

Korozyon metal ve çözelti arasında anodik ve katodik reaksiyonların oluşup dengeye gelmesiyle oluşur. Anodik reaksiyonda açığa çıkan elektron katodik reaksiyonda indirgenmede kullanılır. Bu yolla korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımı ölçülerek yapılır. Bu yöntemle korozyon olaylarında anot ve katot yüzeyleri birbirinden ayrılmadığından, iki kutup arasındaki akım dolaylı olarak ölçülür. Bu ölçüm korozyon hızı olarak kabul edilir [2].

Bu yöntemde de akım-potansiyel ölçümü vardır. Akım ya da potansiyelden biri denetimli olarak uygulanır ve diğerinin değişimi kayıt edilir. Sabit potansiyelde akım değerlerinin ölçülmesi potansiyostatik yöntem, değiştirilen potansiyellere karşılık gelen akım şiddetlerinin ölçülmesi ise potansiyodinamik yöntemdir [2].

Korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir. Bu eğrileri çizmek için, çalışılacak potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle seçilir. Şekil 3.14'te görülen E - log i polarizasyon eğrisi elde edilir. Şekilden de görüldüğü gibi uygulanan dış akım belli bir değere ulaştıktan sonra polarizasyon eğrisinde lineer bölge oluşuyor. Uygulanan dış akımın lineer olarak değiştirdiği bu bölgelere "Tafel Bölgesi" denir. Korozyon potansiyelinden başlayarak katodik ya da anodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri tafel eğimleri olarak bilinir (Şekil 3.14). Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alındığında kesişen noktadaki potansiyel korozyon potansiyeli, buna karşılık gelen akım ise korozyon akımıdır. Korozyon akımı korozyon hızı hakkında bilgi verir [2].

Tafel doğrusunun eğimi deneysel olarak elde edilip korozyon hızı bulunur. Yani tafel ekstrapolasyonu yönteminde anodik ve katodik tafel eğrilerinin çizgisel olan kısımları azaltılıp kesim noktalarından korozyon hızı ve korozyon potansiyeli bulunur [2].



Şekil 3.14. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri [2].

Anodik ve katodik reaksiyonlar elektrot yüzeyinde aynı anda gerçekleştiğinden elektrot potansiyeli karma bir potansiyel değere yani E_{corr} 'a ulaşır. Buna karşılık gelen akımda I_{corr} korozyon akımı olur [2].

Korozyon hızının elektrokimyasal olarak ölçülmesi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, korozyon potansiyelindeki akımın ölçülmesidir, çünkü bu potansiyelde dışarıdan bir ölçüm cihazı tarafından kaydedilebilecek herhangi bir akım olmaz. Sonuç olarak, korozyon akımını (I_{corr}) ölçmek için yapılan herhangi bir elektrokimyasal yöntem, korozyon potansiyeli dışındaki potansiyellerdeki akımları ölçerek gerçekleştirilir. Böylece, korozyon potansiyelindeki akım yaklaşık olarak tahmin edilir, daha doğrusu yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu hesaplamalar için çeşitli formüller geliştirilmiştir [2].

Metal çözünmesi akım yoğunluğunu veren eşitlik:

$$I_{\text{anot}} = i_0 \exp(\beta\eta nF/RT) \quad (3.11)$$

Bu eşitlik tekrar düzenlendiğinde:

$$\eta_{\text{anot}} = b_{\text{anot}} \log (i_{\text{anot}} / i_0) \quad \text{eşitliği ortaya çıkar.} \quad (3.12)$$

Burada b_{anot} tafel katsayısıdır:

$$b_{\text{anot}} = 2,303 RT / \beta nF \quad (\text{Anot için}) \quad (3.13)$$

Katod söz konusu olduğunda:

$$b_{\text{anot}} \rightarrow b_{\text{katot}} \quad ; \quad i_{\text{anot}} \rightarrow i_{\text{katot}} \quad \text{olacaktır [2].} \quad (3.14)$$

Katodik ve anodik reaksiyonlar bir korozyon işlemi olarak birleştirildiğinde, metal çözünümünden kaynaklı anodik akım, redüksiyon nedeniyle oluşan eşit katodik akım ile dengelenmelidir [2].

Bu durumda I_{corr} korozyon akımıdır ve sadece tek bir potansiyelde gerçekleşebilir, o da E_{corr} , yani korozyon potansiyelidir. E_{corr} 'un değeri temel bir termodinamik anlama sahip değildir [2].

Korozyon potansiyeli genellikle anodik ve katodik reaksiyonların tafel analizine uygun şartlarda devam ettiği tafel bölgesindedir. Dolayısıyla, hem katodik, hem de anodik reaksiyonların polarizasyon eğrileri korozyon potansiyelinden uzakta potansiyellerde belirlenir. Dış devrede ölçülen akım her zaman $i_{\text{anot}} + i_{\text{katot}}$ toplamıdır ve korozyon potansiyelinde (E_{corr}) sifıra denk gelir. Bu fikirden yola çıkarak, korozyon potansiyeli ölçümü ile korozyon akımı aşağı yukarı belirlenebilir. Bunun için i_0 değişim akım yoğunluğu (exchange current), tafel katsayıları (b_{anot} , b_{katot}), denge potansiyeli (E_e) gibi metal çözünme reaksiyonuna dair veriler, deneyler sonucu bulunmalıdır [2].

$$E_{\text{corr}} = (E_e)_{\text{anot}} + b_{\text{anot}} \log (I_{\text{corr}} / i_0) \quad (3.15)$$

$$I_{\text{corr}} = i_0 \exp [2,303 (E_{\text{corr}} - (E_e)_{\text{anot}}) / b_{\text{anot}}] \quad (3.16)$$

Ölçümlerde Gamry Potansiyostat cihazı kullanılmıştır. Potansiyostat çözeltideki IR gerilim düşüşünü dengeleyen ve çalışma elektrotu ile referans elektrot arasındaki potansiyel farkını istenilen değerde sabit tutan bir cihazdır. Potansiyostat vasıtasıyla akım-potansiyel eğrileri elde edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada karşıt ve çalışma elektrotlarının yanında bir referans elektrotunun yerleştirildiği bir hücre potansiyostata bağlanır. Çalışma elektrotu ile referans elektrotu arasındaki potansiyel fark potansiyostat ile sabit tutulur. [2].

BÖLÜM 4

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ve KOROZYON ÖZELLİKLERİ ile İLGİLİ LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında alüminyum-bakır alaşımı korozyon deneylerinde kullanılmıştır. Alüminyum alaşımlarıyla yapılan literatürdeki çalışmalara göz atacak olursak ;

Qingjiang Meng v.d. Farklı miktarda bakır içeren 7xxx serisi T6 Al alaşımının korozyon davranışını SEM, TEM, STEM kombinasyonu ve mikroyapısı XPS analizi ile incelenmiştir. İntergranüler ve taneler arası seçimli korozyon gözlenmiştir. Bakır miktarı arttıkça korozyonda artış gözlenmiştir [4].

Weilong Zhang v.d. AA2024 alaşımının çukurcuk ve taneler arası ve intergranüler korozyon davranışı araştırıldı. Bu araştırma için T3 ve T8 temperleri kullanıldı. Tuzlu su çözeltisinde korozyona uğratıldı. Sonuç olarak T3 daha fazla taneler arası ve çukurcuk korozyonuna uğramıştır intergranüler korozyon daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Yapılan TEM araştırmalarına göre T3 ve T8 korozyon açısından benzer özelliklerde göstermiştir. T8 daha fazla intermetalik korozyona uğramıştır [5].

Tsai-Shang Huang v.d. AA7xx serisi Alüminyum alaşımları yüksek dayanıma sahip ancak genellikle bölgesel korozyona hassastır. Bu çalışmada AA7xxx-T6 farklı plakalar için yerel korozyon kinetiği folyo penetrasyon tekniği kullanılarak, farklı yönelimleri incelenmiştir. Hazırlanan bu plakalar farklı haddeleme işlemlerinden geçirildi tane boyutu ve boy oranı her numune için ölçüldü ve bölgesel korozyonun büyüme kinetiği için önemli faktörler olduğu ortaya çıktı.

Eş taneli malzemelerde korozyon yönü bağımsız olmuştur. AA7xxx-T6 lokalize korozyon morfolojisi intergranüler korozyon ve seçimli tane korozyonunun bir kombinasyonu oldu [6].

A.K. Bhattamishra v.d. yaptıkları bir çalışmada Cr elementinin intergranüler korozyonu ne yönde etkileyeceğini araştırmıştır. Bu araştırma için iki bileşim kullanılmıştır.

- (A Bileşimde) %0.4 Mg %1.0Si Al
- (B Bileşimde) %0.4 Mg %1.0Si ayrıca 0.15Cr Al

Bu bileşimlerden 250x100x25mm iki döküm hazırlanmış 500C ısı altında 24 saat boyunca homojenleştirilmiş 4mm kalınlığa kadar haddelenmiş soğutulduktan sonra 3mm kalınlığa hadde ile indirilmiştir. Bu işlemden sonra 25x25x3 boyutunda numuneler çıkarılmış ve 1 saat boyunca 550C de ısıtılarak su verilerek soğutulmuş ardından 175C de 16 saat boyunca yaşlandırılmıştır. Parlatma ve temizleme işlemi yapıldıktan sonra numunelere MIL-H-8006F standardına göre intergranüler korozyon deneyi yapılmıştır.

A alaşımında Si partiküllerinin matrisle alakalı olarak katodik olduğu biliniyor ve silisyumun anodik tutumu nitekim tane sınırlarına olan etkisi mikrogalvanik biçiminin desteklenmesini sağlamaktadır. Silisyum partiküllerinin tane sınırlarında çökmesi tane sınırlarındaki boşlukları doldurmuş ve böylece karışım intergranüler korozyon etkisine karşı dayanım kazanmıştır.

B alaşımındaki Cr içeriği Cr-Fe-Si intermetalığı oluşturarak Si çökmesini engellemiştir.

Yaşlandırma işlemi ile intergranular korozyona karşı duyarlılık artmıştır. B alaşımında intergranüler korozyon çukurları oluşmuştur [7].

T. Ramgopal v.d. yaptıkları bir çalışmada AA7150 serisi T6 ve T7 temperleri incelemiştir.

T6 malzemesi 3 yıl boyunca oda sıcaklığında bekletilip daha sonra ısıtılmıştır. 490 derecede 3 saat boyunca bekletilmiş 120 derecede tekrar 24 saat bekletilip su ile soğutulmuş. AA7150' nin yapısı TEM' de EPMA kullanılarak incelenmiştir. Elektrokimyasal deneyler için Al plaka ısıya maruz bırakılmadan kesilmiş ve AA7150 elektrokimyasal deney için 0.5 ml NaCl ve 0.001 ml HCl maruz bırakılmıştır. Çözeltinin pH değeri 3.54' tür. Hazırlanan numuneler Argon gazına alınmış ve etanol ile parlatılmıştır.

AA7150-T7 nin potansiyeli AA7150-T6 nin potansiyeli bile benzerlik taşımaktadır. AA7150 nin karakteristik yapısı TEM cihazı kullanılarak elektrokimyasal olarak incelenmiştir.

AA7150-T6 iki çeşit çökeltme potansiyeli göstermiştir. Her iki çökeltme zamana yayılarak karmaşık ve çeşitli sonuçlar göstermiştir. 24 saat boyunca polarizasyon etkisinde kalınca sadece etkilenen kısımda çukurcuklar gözlenmiştir.

AA7150-T7 temperi sadece çökeltmelerin olduğu kısımlarda hafif korozyon göstermiştir. Yalnız 24 saat içerisinde potansiyometre deneyleri sonucunda T7' de intergranüler korozyona karşı duyarlılık gözlenmiştir.

TEM cihazından elde edilen bilgilere göre T6 ve T7 arasındaki bakır yoğunluğu tane sınırları arasında farklılık göstermiştir. İkisinde dayanıklılığı orijinal yapının dayanım sınırının altında kaldığı tespit edilmiştir [8].

Weilong Zhang v.d. yaptıkları bir çalışmada 3 adet ticari AA2024-T3 malzemesi incelemiştir.

Yaptıkları çalışmada, alınan iki adet 1.9x8.9x0.2 boyutunda numune 190°C derecede yaşlandırılmış ardından numunelerin iki tarafında parlatılmış daha sonra etanol ve silisyum karbür karışımına yerleştirilmiş bu şekilde deney süresinde korozyon olasılığı azaltılmıştır. Daha sonra numune altlarına akrilik bir hücre konularak teflon bir palet üzerine serilmiş ve bazılarının üzerine bakır folyo konulmuştur.

Kısacası bu teknik metot hazırlanan numunelerden elektrik akımı direncinin gösterebileceği farklılıkları ölçmek için kullanılmıştır.

Bu deneyde korozyon hızının büyümesi anizotropik olarak tespit edilmiş ve söz konusu anizotropi etkisi AA2024' ün farklı formdaki numunelerinde farklı etkiler oluşturmuştur.

Akım potansiyeli -490 +500 mV arasında pek bir değişim göstermemiştir. Yaşlandırılan numunelerdeki korozyon büyümesi taneler arasında çok fazla bir etki yapmamıştır.

Sonradan ilave edilen nitrat intergranüler korozyonu -580 mV da azaltıyorken -520 mV da herhangi bir etkisi olmamıştır.

İntergranüler korozyonda -580 ve -520 mV arasında Sülfatın etkisi gözlenmemiş herhangi bir değişim göstermemiştir [9].

Wislei R. Osório v.d. yaptıkları bir çalışmada iki farklı çözelti içine daldırılmış hipoötektik Al-Cu alaşımlarının elektrokimyasal davranışını değerlendirmişlerdir.

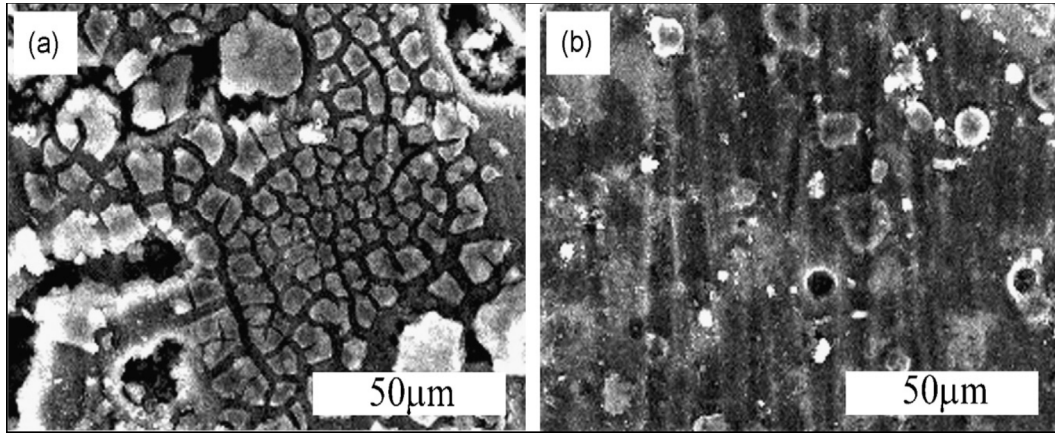
Bu alaşımların genel korozyon direnci üzerinde dedritik kolu boşluğu ile ilişkili Al₂Cu etkisi analiz edilmiştir. Tipik mikroyapısal model SEM mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Korozyon testleri bir elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) tekniği ve potansiyodinamik polarizasyon eğrileri kullanılarak 25°C'de 0.5 M sülfürik asit ve 0.5 M NaCl solüsyonlarında yapılmıştır.

Al-Cu alaşımında Cu içeriği (örn., Al₂Cu fraksiyonu artışı) arttıkça, NaCl solüsyonu içinde korozyona oluşumunda daha yüksek bir duyarlılık tespit edilebileceği bulunmuş ve bunun aksine, H₂SO₄ solüsyonda gerçekleştirilen testler üç farklı hipoötektik alaşımlar için benzer bir korozyona oranları ile sonuçlanmıştır [10].

S.S. Wang v.d. yaptıkları bir çalışmada Al-Si-Cu alaşımlarına Sn ve Zn dolgu metalleri ilavesinin korozyon davranışına etkisini 3.5% NaCl çözeltisi içerisinde elektrokimyasal testler kullanarak incelemişlerdir.

Sonuç olarak Al-Si-Cu alaşımına Sn ve Zn dolgu metallerinin ilavesi korozyon potansiyelini daha aktif hale getirmiş ve korozyon akım yoğunluğu keskin bir şekilde artış göstermiştir. Sn ve Zn elementleri gibi düşük erime noktasına lehim dolgu metalleri korozyon direncini olumsuz etkileyerek zararlı etkiler gösterebilir ve korozyon sonucu oluşan hasar Sn ve Zn içeriği artışı ile hızlanır. Al-Si-Cu (Sn, Zn) dolgu metali ilaveli alaşımın korozyona uğramış yüzeylerin elektron mikroskobu (SEM) analizi sonucu Al-zengin fazlar (yani, Al-Si, Al-Si-Cu ve Al-Si-Si partikülleri ve Al₂Cu (q) intermetalik bileşikler bozulmadan kalırken Cu-Sn ötektik faz), tercihen erimiş başka bir deyişle korozyona uğramıştır [11].

W.G. Zhao v.d. yaptıkları bir çalışmada nano boyutta PrxOy ile modifiye edilerek dökümü yapılmış Al-Cu alaşımının korozyon mekanizmasını incelemiştir.



Şekil 4.1. 835 saat boyunca % 3.5 NaCl çözeltisine daldırılmış a) değiştirilmemiş Al-Cu alaşımın yüzey morfolojisi b) modifiye Al-Cu alaşımının yüzey morfolojisi [12].

Döküm halindeki Al-Cu alaşımlarının korozyon direnci 3.5% NaCl solüsyonunda daldırma testi ve elektrokimyasal test ölçümleri ile incelenmiştir.

Nano boyutta PrxOy ile modifiye edilerek dökümü yapılmış Al-Cu alaşımının korozyona karşı direnci orijinal alaşıma göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Gözlenen bu gelişim modifiye edilmiş Al-Cu alaşımında sürekli ve kompakt koruyucu Al₂O₃ ve Pr₂O₃ filmlerin oluşumu ve orijinal Al-Cu alaşımının sürekli olmayan Al₂O₃ koruyucu filminden ileri geldiği tespit edilmiştir [12].

I.B. Singh v.d. yaptıkları bir çalışmada SiC partiküllerinin 3.5% NaCl çözeltisi içinde 2014 Al-Cu alaşımının korozyon davranışına etkisini incelemişlerdir.

Al-Cu alaşımı (2014) ve korozyon davranışı üzerine silisyum karbür parçacıkları (SiCp) ilavesinin etkisi mikroyapısal ve elektrokimyasal ölçüm ile 30°C sıcaklıkta 3.5% NaCl çözeltisi içerisinde değerlendirildi.

Bazı alaşımlara eklenen ağırlıkça %10 SiCp korozyon direncini artırdığı tespit edilmiştir. Bu oranın üzerinde SiCp ilavesi ile kompozitlerin korozyon hızının artmasına yol açmıştır.

Bazı alaşımlara eklenen ağırlıkça %25 SiCp korozyon direncini oldukça azaltmıştır. Mikroyapı çalışmalarında kompozit SiC partiküllerinin yığılması ortaya çıkmaktadır. Bu kompozit SiC parçacıkların artışı korozyon reaksiyonda bir artışa neden olur. EIS ölçümü sonucu lokalize veya çukur korozyonu oluşan kompozit arabirimleri adsorpsiyon / difüzyon olaylarının oluşumunu göstermiştir [13].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

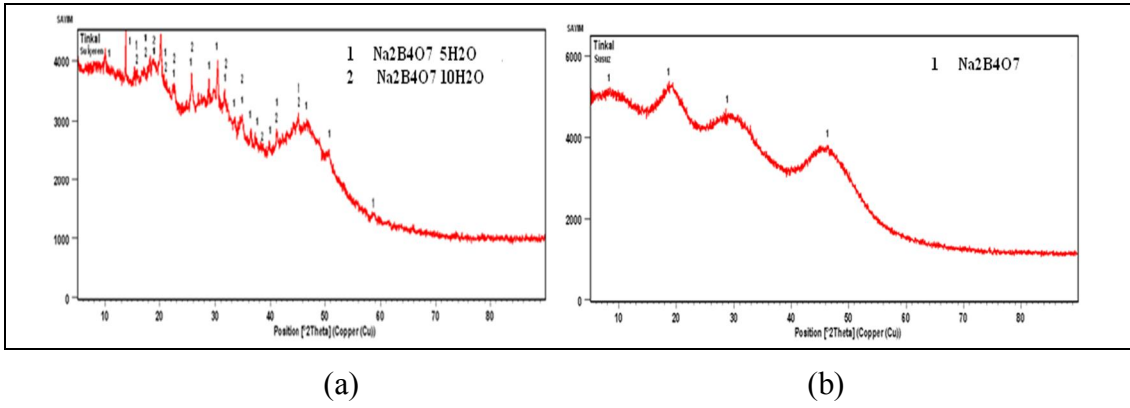
Bu çalışmada farklı oranlarda Tinkal ve Boraks ilave edilerek tane inceltme işlemine tabi tutulmuş Al-Cu alaşımının korozyon davranışına tane boyutunun etkisi incelenmiştir. İncelenen Al-Cu alaşımının bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir. Farklı tane boyutuna sahip Al-Cu alaşımının korozyon davranışını incelemeye önce, alaşımın Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemi öncesi ve sonrası mikroyapı ve mekanik özelliklerdeki değişim kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Alaşımın standart kimyasal kompozisyonu.

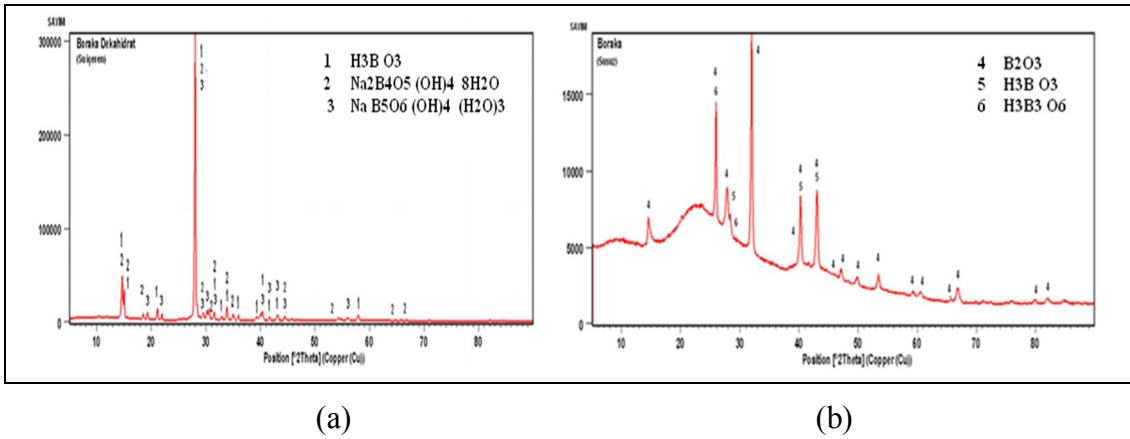
Alaşım	% Alaşım elementleri							
	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti
Al-Cu	4.5	0.30	0.32	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

ETİ-BOR Maden işletmelerinden temin edilen Tinkal ekstra bir işleme tabi tutulmamış kalıp şeklinde tuz iken Boraks Dekahidrat işlem görmüş toz halinde bir yan üründür. Susuzlaştırma işlemi öncesi ve sonrasında Tinkal ve Boraks Dekahidrat’tan alınan XRD sonuçları sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir. Susuzlaştırma işlemine tabi tutulmamış Tinkal numunesinden alınan difraksiyon paterninde keskin ve geniş piklerin olduğu görülmüştür. Keskin pikler kristalin yapıyı ifade ederken geniş pikler numunede amorf yapısında mevcut olduğunu işaret etmektedir. Tinkal, susuzlaştırma öncesi amorf+kristalin iken susuzlaştırma sonrası amorf hale dönmüştür. 800°C’de yapılan susuzlaştırma (kalsinasyon) işlemi sonucunda Tinkal’dan alınan difraksiyon paterninde yapının tamamen amorf olduğunu (kristalin fazın yok olduğunu) ve suyun sistemden uzaklaştığını (Şekil 5.1.b)göstermektedir [1].

Susuzlaştırılmamış Boraks Dekahidrat numunesinden alınan difraksiyon paterninin analizi yapıda H_3BO_3 , su içeren $Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8 H_2O$ ve $NaB_5O_6(OH)_4 \cdot (H_2O)_3$ yer aldığını ortaya koymuştur (Şekil 5.2.a). $350^\circ C$ 'de yapılan susuzlaştırma (kalsinasyon) işlemi sonucunda Boraks'dan alınan difraksiyon paterninde yapıda B_2O_3 , H_3BO_3 ve $H_3BO_3O_6$ fazlarının kaldığı ve kristal suyun sistemden uzaklaştığı (Şekil 5.2.b) görülmektedir. Boraks Dekahidrat, susuzlaştırma öncesi kristalin iken susuzlaştırma sonrası amorf+kristalin karakteristik sergilemiştir [1].



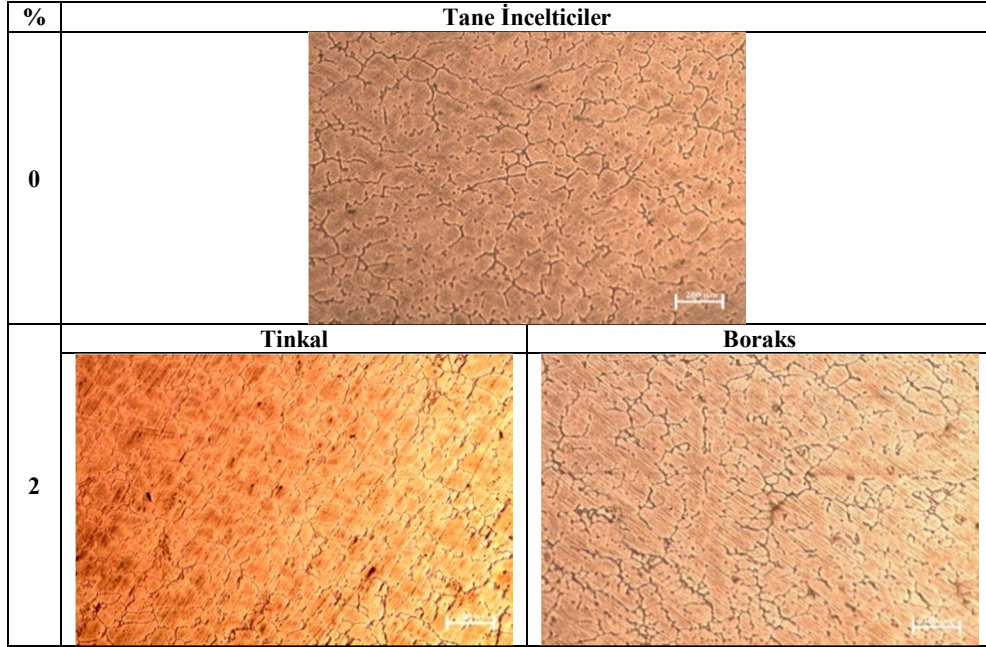
Şekil 5.1. Tinkal'ın susuzlaştırma işlemi a) öncesi ve b) sonrasında alınan XRD analiz sonuçları [1].



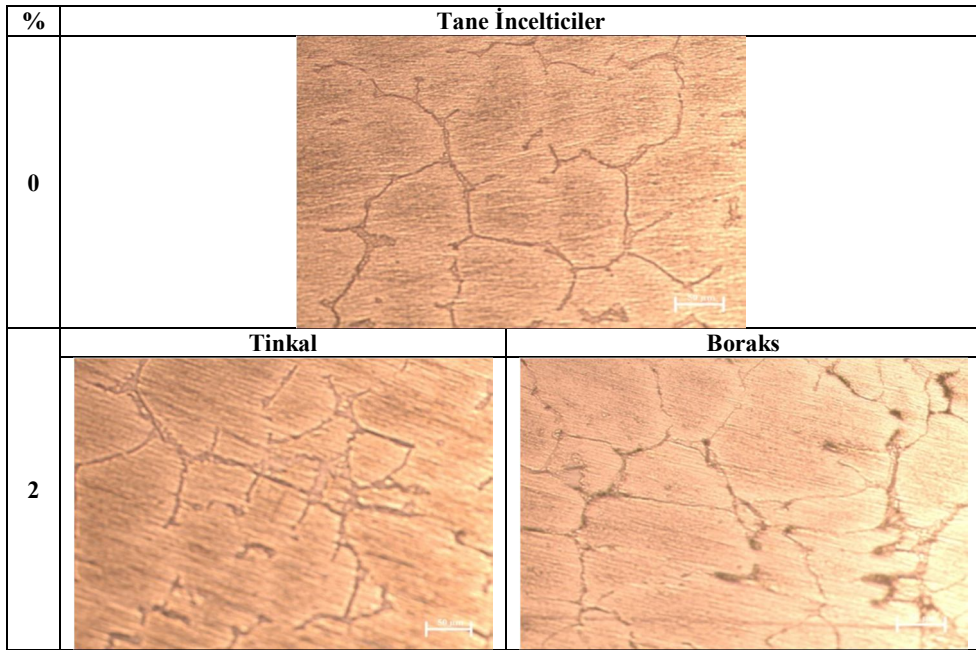
Şekil 5.2. Boraks'ın susuzlaştırma işlemi a) öncesi ve b) sonrasında alınan XRD analiz sonuçları [1].

Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş Al-Cu alaşımının optik mikroskop incelemesinde elde edilen düşük ve yüksek büyütmedeki mikroyapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Boraks ilavesinin tane

boyutu üzerine olumlu etkisi, Tinkal'den daha fazladır. Boraks'ın tane inceltme etkisi Tinkal'e göre daha belirgindir. Bunun sebebi susuzlaştırılmış Boraks'ın, XRD analizlerine göre B_2O_3 açısından daha zengin olmasından kaynaklanmaktadır [1].

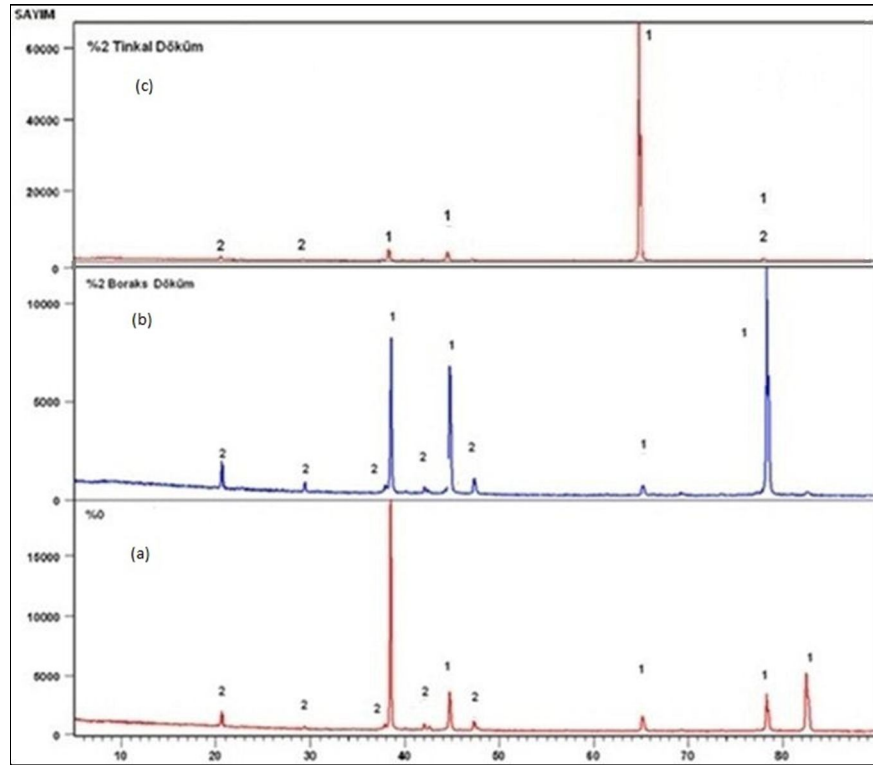


Şekil 5.3. Alaşımların düşük büyütmedeki optik mikro yapıları [1].



Şekil 5.4. Alaşımların yüksek büyütmedeki optik mikro yapıları [1].

Şekil 5.5’de %0 ve %2 oranlarında sırasıyla susuzlaştırılmış Tinkal ve Boraks ilave edilmiş döküm halinde incelenen alaşımların XRD analiz sonuçları gösterilmektedir. Döküm sonrası elde edilen Tinkal ve Boraks içeren ve içermeyen alaşımların, XRD analizine göre alüminyum, alaşımların ana yapısını oluştururken yapıda, Al_2Cu ve yapısının varlığı tespit edilmiştir. Döküm alaşımına ağırlıkça %2 oranında ilave edilen susuzlaştırılmış Tinkal ve/veya Boraks, farklı fazların oluşmasına neden olmazken Al’un en şiddetli pikinin açısında kayma meydana gelmiştir. Tane inceltici ilave edilmemiş alaşımda Al’un en şiddetli piki $38,47^\circ$ ’de meydana gelirken Tinkal ve Boraks ilavesi ile şiddetli piklerin açıları sırasıyla 65.094° ve 78.5° ’e kaymıştır [1].



Şekil 5.5. Al-Cu alaşımlarının a) Tane inceltici ilavesiz, b) % 2 Boraks ve c) % 2 Tinkal ilaveli alaşımların XRD analiz sonuçları (1: Al ve 2: Al_2Cu Piki) [1].

Tane inceltici olarak Tinkal ve Boraks ilavesi ile üretilen alaşımların tane boyutunun akma ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tane boyutunun akma ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi

Tane Boyutu (mm)		Akma Mukavemeti (MPa)	Maksimum Çekme Mukavemeti (MPa)
Tinkal	0.59	74	143
	0.67	70	127
	0.85	64	116
	0.94	59	101
Boraks	0.56	81	156
	0.54	77	146
	0.82	71	135
	0.91	70	132
	0.94	59	101

Alaşımların akma mukavemeti ve maksimum çekme mukavemeti tane inceltici miktarının artması ve/veya tane boyutunun incelmeye ile artmaktadır. Tane inceltici cinsi olarak Tinkal'e kıyasla Boraksın mukavemet üzerinde daha etkili olduğunu görülmektedir [1].

Bu çalışmada özellikleri yukarıda verilen malzemenin korozyon deneyleri yapılmıştır.

5.1. KOROZYON DENEYLERİ

İncelenen numunelerin korozyon deneyleri oda sıcaklığında 35 g/l NaCl (3.5% NaCl) ve 35 g/l NaCl + 10 ml/HCl (3.5% NaCl +1% HCl) çözeltileri içerisinde hem ağırlık kaybı ölçümü hem de korozyon potansiyeli ölçümlerine göre yapılmıştır.

5.1.1. Ağırlık Kaybı Metodu ile Yapılan Deneyler

Farklı oranlarda Tinkal ve Boraks içeren Al alaşımları 10x10x0.5 mm olarak hazırlanmıştır. Numunelerin yüzeyleri üzerinde 2 mm çapında delik delinerek korozyona dayanıklı naylon ipliklerle çözelti içerisine daldırılmıştır. Korozyon deneyi öncesinde numunelerin tüm yüzeyleri metalografik prosedüre uygun olarak 2000 mesh zımparaya kadar parlatılmış ve deney öncesi numuneler saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik (Şekil 5.6) olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur. Deney sonrasında ise ISO 8407 standardına göre % 70

HNO₃ çözeltisi içerisinde yaklaşık 1 dakika daldırıldıktan sonra ultrasonik daldırma cihazında saf su ile temizlendi ardından kurutularak ağırlıkları alındı.



Şekil 5.6. Numune temizleme işlemlerinde kullanılan BEB marka ultrasonik temizleme cihazı.

Çözelti hacminin numune yüzey alanına oranı yaklaşık olarak 175 ml/cm²'dir. Numunelerin ağırlık kayıpları, 3 saat aralıklarla toplam 24 saat süre içerisinde 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide (Şekil 5.7) ölçülmüştür. Deney sonuçları, numunelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına göre gr/mm² cinsinden değerlendirilmiştir.



Şekil 5.7. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model hassas terazi.

5.1.2. pH Metre ve İlekenlik Ölçümü Metodları

pH bir çözeltinin asitlik veya alkalinite derecesini tarif eden ölçü birimidir.

0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. pH teriminde p; eksi logaritmanın matematiksel sembolünden, ve H ise Hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir [14].

pH tanımı Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması olarak verilebilir:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (5.1)$$

pH hidrojen iyonunun aktivitesi cinsinden bir asit veya bazın derecesini ifade etme yoluyla ihtiyaç duyulan kantitatif bilgiyi sağlar.

Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu $[\text{H}^+]$ ile hidroksil iyonunun $[\text{OH}^-]$ derişimlerinin oranına direk bağlıdır. Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise maddemiz asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla ise maddemiz bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer OH^- ve H^+ iyonlarından eşit miktarlarda mevcut ise, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötraldir [14].

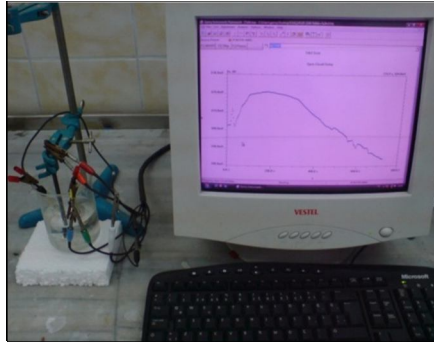
Korozyon deneyleri başlatılmadan öncesinde ve 24 saatlik ağırlık kaybı yöntemi ile korozyon deneyi sonrasında çözeltilerin pH, sıcaklık $^{\circ}\text{C}$, iletkenlik değerlerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. pH, sıcaklık $^{\circ}\text{C}$, iletkenlik değerlerinin ölçümü için Hanna marka ölçüm cihazları (Şekil 5.8) kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Çözeltilerin Sıcaklık, Ph ve iletkenlik değerlerini ölçmede kullanılan HANNA marka ölçüm cihazları.

5.1.3. Potansiyodinamik Polarizasyon ile Yapılan Deneyler

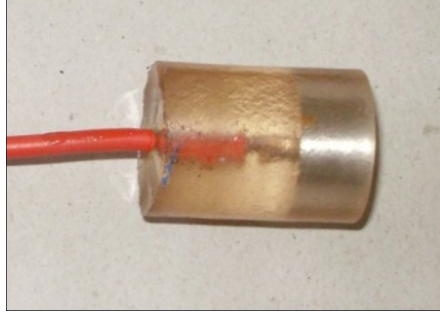
Potansiyodinamik korozyon deneyleri, DC105 Korozyon Analiz yazılımına sahip bilgisayar kontrollü Gamry model G750 seri (750 mA) potansiyostat/galvonostat cihazı (Şekil 5.9) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9. Tafel-polarizasyon sistem düzeneği.

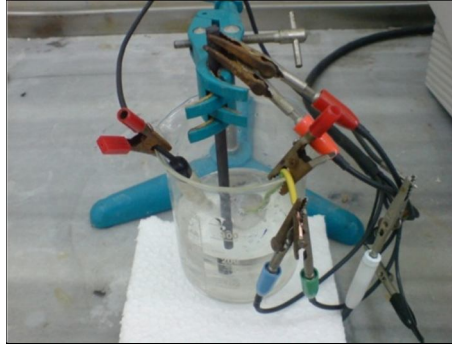
Korozyon deney numuneleri (çalışma elektrotu) Şekil 5.10'da görüldüğü gibi iletkenliği sağlayabilmek amacıyla arka yüzeyine 1,5 mm çapında 150 mm uzunluğunda bakır tel lehimlenmiş ve yalnızca elektrolit ile temasta olması istenen yüzeyleri açıkta kalacak şekilde reçine ile kaplanmıştır. Numunelerin yüzeyleri standart metalografik yöntemle 2000 mesh zımparaya kadar zımparalanmıştır.

Korozyon deneyine başlamadan önce numuneler, saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durulanarak kurutulmuştur.



Şekil 5.10. Potansiyostat deneylerinde kullanılan numune örneği.

Deney hücresi olarak cihazın özel cam beher sistemi kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmış olup deney hücresi içerisine, çalışma elektrotu olarak $0,197 \text{ cm}^2$ sabit yüzey alanına sahip incelenen alaşımlar, karşı elektrot görevini yapan 6mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Çalışma elektrotu ile karbon elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, referans elektrot ise çalışma elektrotuna olabildiğince yakın yerleştirilmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Potansiyodinamik korozyon deney hücresi.

Korozyon deneyleri sırasında elektrolit içine çalışma elektrotunun ve referans elektrotunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi ilk 45 dakika süreyle, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (E_{corr}) ulaşıldıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri $-0,5'$ den

0,5 V'a kadar 1 mV/s tarama aralığında katodiktenanodik yöne doğru potansiyeli tarayarak çizilmiştir. DC korozyon yazılımı yardımıyla tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) hesaplanmıştır. Tüm deneyler, her bir alaşım grubu için en az ikişer defa olmak üzere polarizasyon eğrileri birbirlerini doğrulayınca kadar tekrar edilerek sonuçların daha güvenilir olmasına çalışılmıştır.

Gerek ağırlık kaybı ve gerekse potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrasında numuneler, çözelti içerisinde çıkartılarak saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur. Korozyon mekanizmasının belirlenmesi için korozyon yüzeyleri ve kesitleri metalografik olarak hazırlanarak optik mikroskop ile incelenmiştir.

5.2. KOROZYONA UĞRAMIŞ NUMUNELERİN MİKROYAPISAL İNCELENMESİ

Korozyona uğramış numunelerin mikroyapı çalışması, ortadan kesilen numunelerin kesitleri incelenecek şekilde standart metalografik prosedüre göre hazırlandıktan sonra optik ışık mikroskopunda (Şekil 5.12) gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür; numuneleri 400, 600, 1000, 1500 ve 2000 mesh zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla (30 μm , 15 μm ve 1 μm) parlatma işlemini içermektedir. Mikroyapı resimleri, Leica DFC290 model kamera sistemli Leica DM ILM model optik ışık mikroskopunda, dağlanmamış ve keller ile dağlanmış numuneler üzerinden çekilmiştir.



Şekil 5.12. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik ışık mikroskobu.

Korozyona uğramış numunelerin kesitlerinden alınan 20x büyütmede çekilen optik fotoğraflar üzerinde korozyon hasarlarının (oyukların) genişlikleri ölçülmüştür. % Oyuk genişliği aşağıdaki denklem ile belirlenmiştir.

$$\% \text{ Oyuk genişliği} = \left(\frac{\sum \text{Oyuk genişliği}}{\sum \text{Yüzey genişliği}} \right) \times 100 \quad (5.2)$$

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. ALAŞIMLARIN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI

Farklı oranlarda Tinkal ve Boraks ilave edilerek farklı tane boyutları kazandırılmış Al-Cu alaşımlarının, daldırma yöntemiyle ağırlık kaybı ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümlerine göre yapılan korozyon deney sonuçları sırasıyla aşağıda incelenmiştir.

6.1.1. Daldırma Yöntemiyle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları

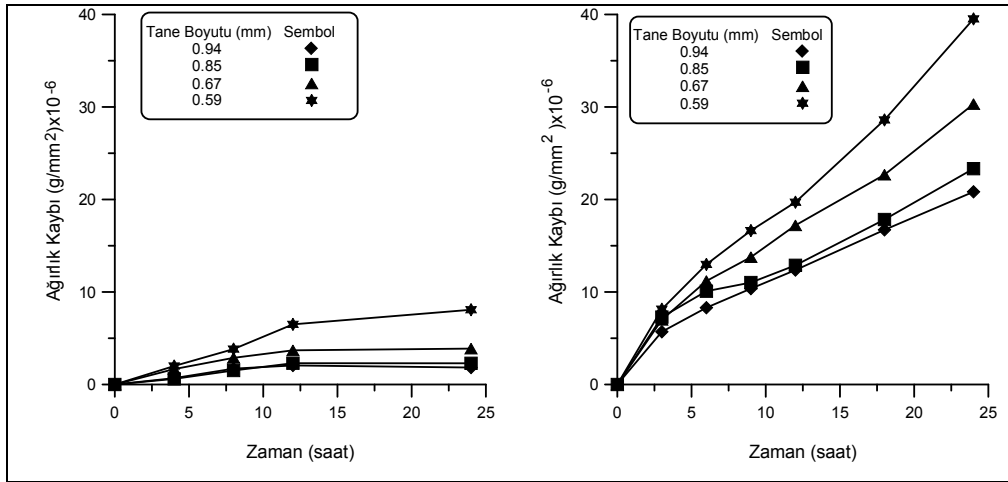
İncelenen alaşımların 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl solüsyonlarındaki ağırlık kaybı değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de listelenmiş ve Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de “ağırlık kaybı-zaman” grafikleri verilmiştir. Belirli bir tane boyutunda zamanla ağırlık kaybı artmaktadır. İlk iki saat içinde ağırlık kaybı hızlı iken geri kalan sürede ağırlık kaybı değişimi kararlı bir hızda ilerlemiştir. Belirli bir zaman için tane boyutu inceldikçe ağırlık kaybı artmıştır. En belirgin artış 3.5% NaCl +1% HCl çözelti içerisinde test edilen alaşımlarda gözlenmiştir. Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşım ile karşılaştırıldığında Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda ağırlık kaybı daha fazladır.

Çizelge 6.1. Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın zamana (h) bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi.

Tane Boyutu (mm)	Korozyon Ortamı									
	3.5% NaCl				3.5% NaCl +1% HCl					
	4h	8h	12h	24h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0.56	3.09	3.87	4.97	5.97	5.36	10.58	13.36	16.00	21.95	29.60
0.54	1.00	2.17	3.54	4.96	6.14	10.27	13.05	16.41	21.17	28.70
0.82	2.00	3.08	4.08	5.33	5.58	9.03	12.11	14.49	20.00	27.76
0.91	1.00	1.63	2.59	3.35	5.78	8.67	11.11	13.44	19.33	26.78
0.94	0.69	1.71	2.06	1.83	5.70	8.30	10.36	12.37	16.72	20.84

Çizelge 6.2. Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın zamana (h) bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi.

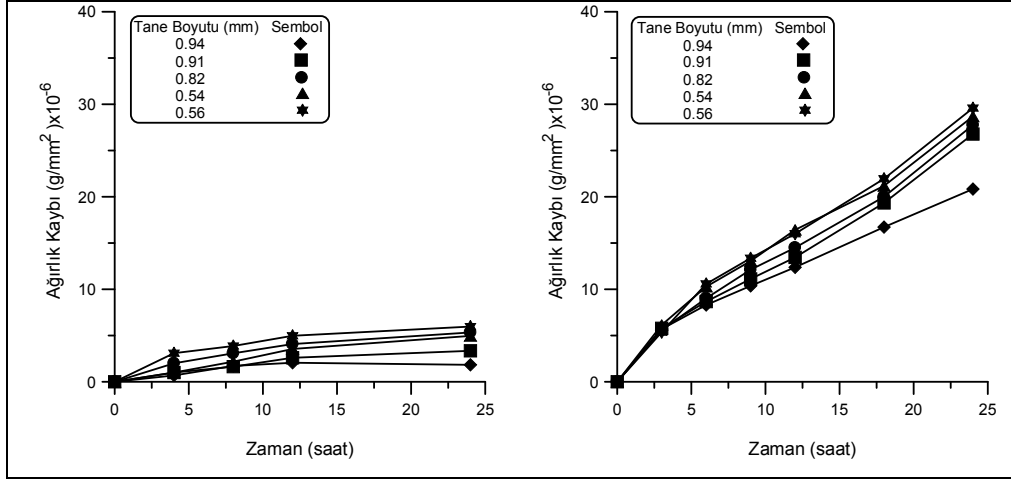
Tane Boyutu (mm)	Korozyon Ortamı									
	3.5% NaCl				3.5% NaCl +1% HCl					
	4h	8h	12h	24h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0.59	2.00	3.82	6.5	8.08	8.14	12.98	16.63	19.70	28.60	39.52
0.67	1.66	2.88	3.69	3.88	6.99	11.18	13.76	17.20	22.68	30.32
0.85	0.60	1.51	2.30	2.29	7.28	10.08	11.02	12.88	17.83	23.34
0.94	0.69	1.71	2.06	1.83	5.70	8.30	10.36	12.37	16.72	20.84



(a)

(b)

Şekil 6.1. Farklı oranlarda Tinkal ilaveli alaşımların zamana bağlı olarak a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde ağırlık kayıplarının değişimi.



(a)

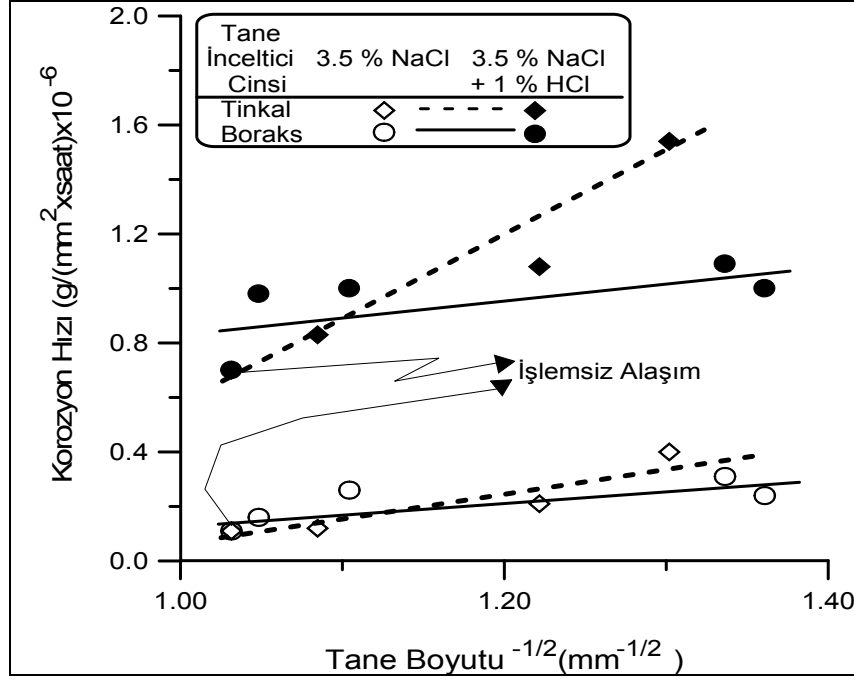
(b)

Şekil 6.2. Farklı oranlarda Boraks ilaveli alaşımların zamana bağlı olarak a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde ağırlık kayıplarının değişimi.

Birim yüzey alanı başına meydana gelen ağırlık kaybının toplam süreye oranı $\left(\frac{gr}{mm^2 \times saat}\right) \times 10^{-6}$ cinsinden korozyon hızını vermektedir. Alaşımın tane boyutuna bağlı olarak korozyon hızının değişimi Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde zamana bağlı olarak korozyon hızlarının değişimi.

Tane Boyutu (mm)		Korozyon Hızı $\left(\frac{gr}{mm^2 \times saat}\right) \times 10^{-6}$	
		3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl
Tinkal	0.59	0.4	1.54
	0.67	0.21	1.08
	1.71	0.17	0.83
	0.85	0.12	0.83
	0.94	0.11	0.7
Boraks	0.56	0.31	1.09
	0.54	0.24	1
	0.82	0.26	1
	0.91	0.16	0.98
	0.94	0.11	0.7



Şekil 6.3. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde tane boyutu ile korozyon hızlarının değişimi.

İki farklı tane inceltici cinsi ve korozyon ortamına bağlı olarak “Korozyon hızı-tane boyutu” grafiği Şekil 6.3’te verilmiştir. Başlangıç orijinal tane boyutundan itibaren tane boyutu inceldikçe korozyon hızı artmıştır. Belirli bir korozyon ortamında Tinkal ile tane inceltilmiş alaşımın korozyon hızı daha belirgin artış göstermiştir. Korozyon ortamına %1 HCl ilavesi ile korozyon hızı yaklaşık 7 kat artmıştır.

Korozyon hızının mm/yıl cinsinden hesabı:

$$mm/y = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \quad (6.1)$$

mm/y = Korozyon hızı (mm/yıl)

K = Sabit sayı (mm/yıl) = 8.76×10^4

T = Test süresi (h, saat)

W = Test süresi sonunda ağırlık kaybı (gr) (ilk ağırlık – son ağırlık)

D = Numune yoğunluğu (g/cm^3)

A = Korozyona maruz kalan alan (cm^2)

mm/y = yılda milimetre olarak (mm/yıl)

Deneyde kullanılan numuneler alaşım oldukları için her bir numunenin yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$P = \sum f_i \times \rho_i \quad (6.2)$$

P = Kompoziti oluşturan alaşımın yoğunluğu

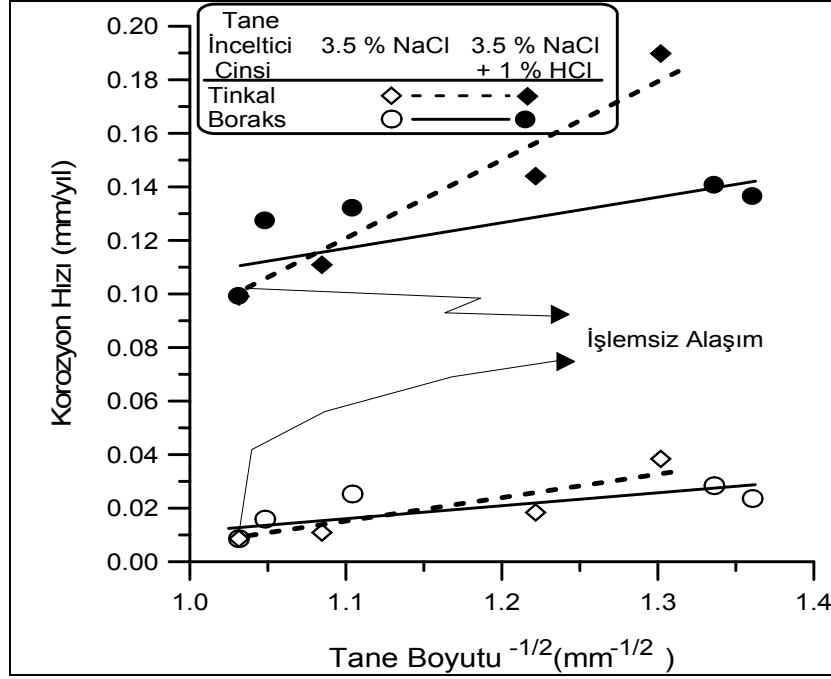
ρ_i = Elementin yoğunluğu

f_i = Her elementin yüzde oranını göstermektedir [15].

Yukarıda verilen denkleme göre alaşımın tane boyutuna bağlı olarak korozyon hızının değişimi mm/y (mm/yıl) cinsinden hesaplanmış ve Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde mm/yıl cinsinden tane boyutu (mm) ile korozyon hızlarının değişimi.

Tane Boyutu (mm)		Korozyon Hızı (mm/y)	
		3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl
Tinkal	0.59	0.000098	0.000478
	0.67	0.000047	0.000366
	0.85	0.000028	0.000282
	0.94	0.000022	0.000252
Boraks	0.56	0.0000721	0.000358
	0.54	0.00006	0.000348
	0.82	0.00006442	0.000336
	0.91	0.00004043	0.000324
	0.94	0.000022	0.000252



Şekil 6.4. Mm/yıl cinsinden tane boyutuna ($\text{mm}^{-1/2}$) göre 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde alaşımların zamana bağlı olarak korozyon hızlarının değişimi.

Yılda mm biriminde boyut kaybı olarak belirlenen korozyon hızının tane boyutu ile değişimi, birim saat başına birim yüzeyde meydana gelen ağırlık kaybının ölçümü olarak tanımlanan korozyon hızı ile paralel davranış sergilemiştir. Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemi gerçekleştirilmiş alaşımın korozyon hızı her iki çözelti içerisinde yüksektir. 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde korozyon hızları arasındaki fark daha belirgindir.

Korozyon deneyi yapılmadan önce hazırlanan 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinden alınan sıcaklık, iletkenlik ve pH değerleri çizelge 6.5a'da verilmiştir. Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşıma uygulanan 24 saatlik korozyon işlemi tamamlandıktan sonra 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinden alınan sıcaklık, iletkenlik ve pH değerleri Tinkal ve Boraks için sırasıyla Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon deneyine başlamadan önce alınan çözelti değerleri.

çözeltiler	Sıcaklık(°C)	İletkenlik(m/s)	pH
3.5% NaCl	19.6	47.7	7.95
3.5% NaCl +1% HCl		80.6	4.12

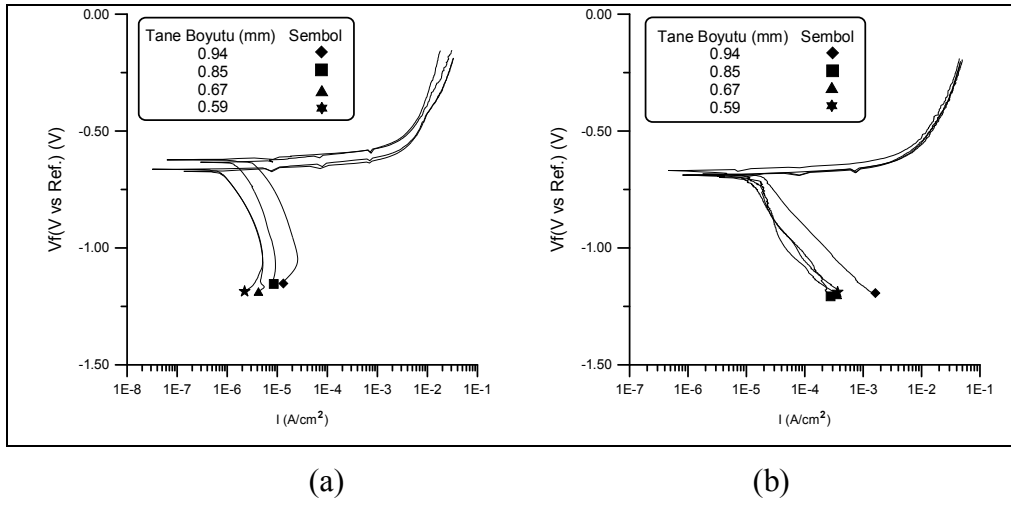
Çizelge 6.6. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks İlavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın korozyon deneyinin 24 saat sonucundaki çözelti değerleri.

Tane Boyutu (mm)	3.5% NaCl		3.5% NaCl +1% HCl		3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl
	İletkenlik(m/s)	pH	İletkenlik(m/s)	pH	Sıcaklık(°C)	Sıcaklık(°C)
Tinkal	0.59	68.4	7.27	83.4	17.2	19.5
	0.67	66.2	7.49	84.5		
	0.85	67.5	7.52	85.9		
	0.94	68.5	7.55	87.0		
Boraks	0.56	66.6	7.48	87.4	17.2	19.5
	0.54	65.0	7.52	89.5		
	0.82	65.0	7.57	88.3		
	0.91	66.2	7.61	87.7		
	0.94	74.0	7.55	87.3		

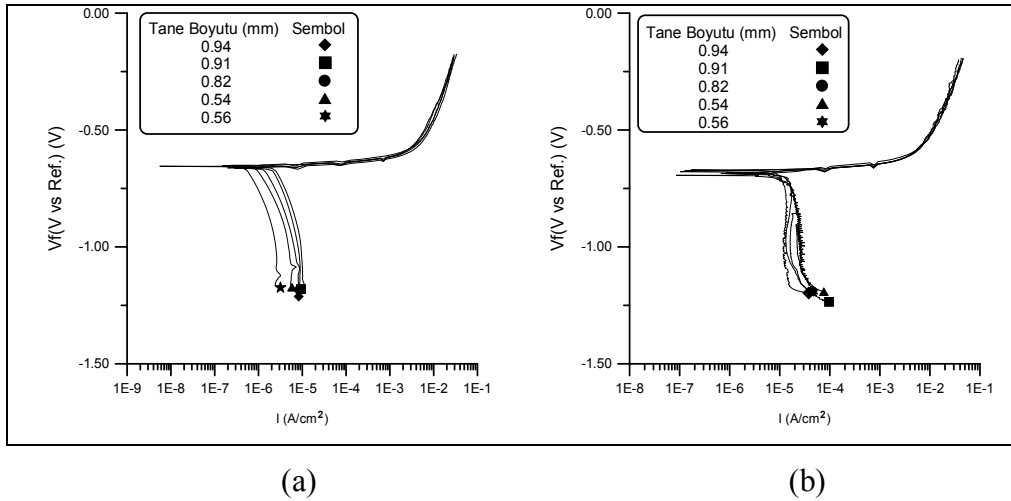
3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın ağırlık kaybı ile korozyon deneyinin 24 saat sonucundaki çözelti değerlerin değişimi incelendiğinde Tinkal ve Boraks ilaveli alaşımlarda 3.5% NaCl çözeltisinde pH değerinde düşüş görülürken, 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisinde pH değerinde yükselme gözlenmiştir. Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın pH değerindeki değişimin Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın pH değerindeki değişiminden daha fazla olduğu Çizelge 6.6'ya göre tespit edilmiştir. Korozyon kimyasal bir reaksiyon olarak gerçekleştiğinden zamana bağlı olarak ağırlık kaybı değişimlerini de göz önünde bulundurarak pH değerlerindeki değişimin Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın susuzlaştırılmış Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşıma göre daha fazla korozyona uğradığını desteklemektedir.

6.1.2. Tafel-Polarizasyon ile Yapılan Korozyon Deney Sonuçları

İncelenen alaşımların 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’de ve “tane boyutuna göre korozyon akımının değişimi” Şekil 6.7’te verilmiştir. Korozyon akımı ve korozyon potansiyeli değerleri Çizelge 6.7’de listelenmiştir.



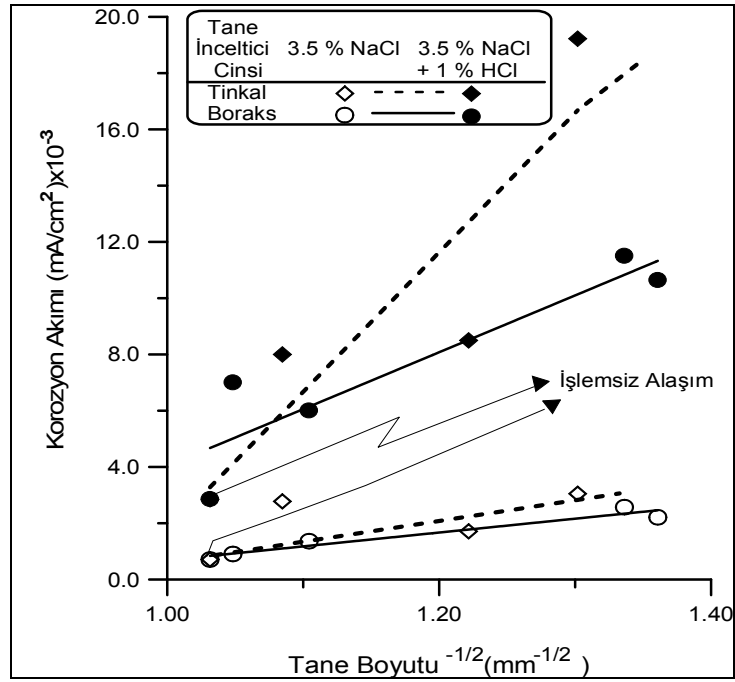
Şekil 6.5. Tinkal ile tane inceltme yapılmış alaşımların a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.



Şekil 6.6. Tinkal ile tane inceltme yapılmış alaşımların a) 3.5% NaCl ve b) 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

Çizelge 6.7. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ile tane inceltme yapılmış alaşımların korozyon akımı ve korozyon potansiyeli değerleri.

Tane Boyutu (mm)	İ Korozyon (mA/cm^2) $\times 10^{-3}$		V Korozyon (mV)	
	3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl	3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl
Tinkal	0.59	3.046	-658	-683
	0.67	1.71		
	0.85	2.775		
	0.94	0.709		
Boraks	0.56	2.57	-664	-682
	0.54	2.210		
	0.82	1.360		
	0.91	0.905		
	0.94	0.709		



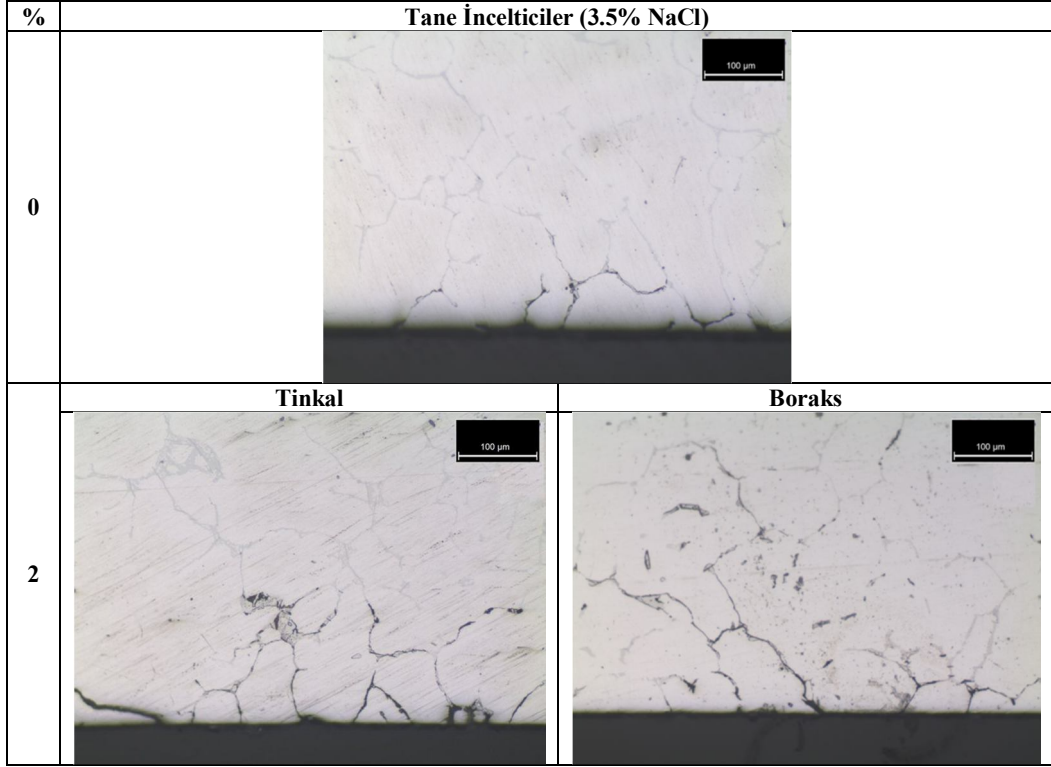
Şekil 6.7. 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımların tane boyutuna göre korozyon akımının değişimi.

Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki korozyon akımı tane boyutu incelidikçe artarken en belirgin artış 3.5% NaCl +1% HCl çözelti içerisinde test edilen alaşımlarda gözlenmiştir. Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşım ile

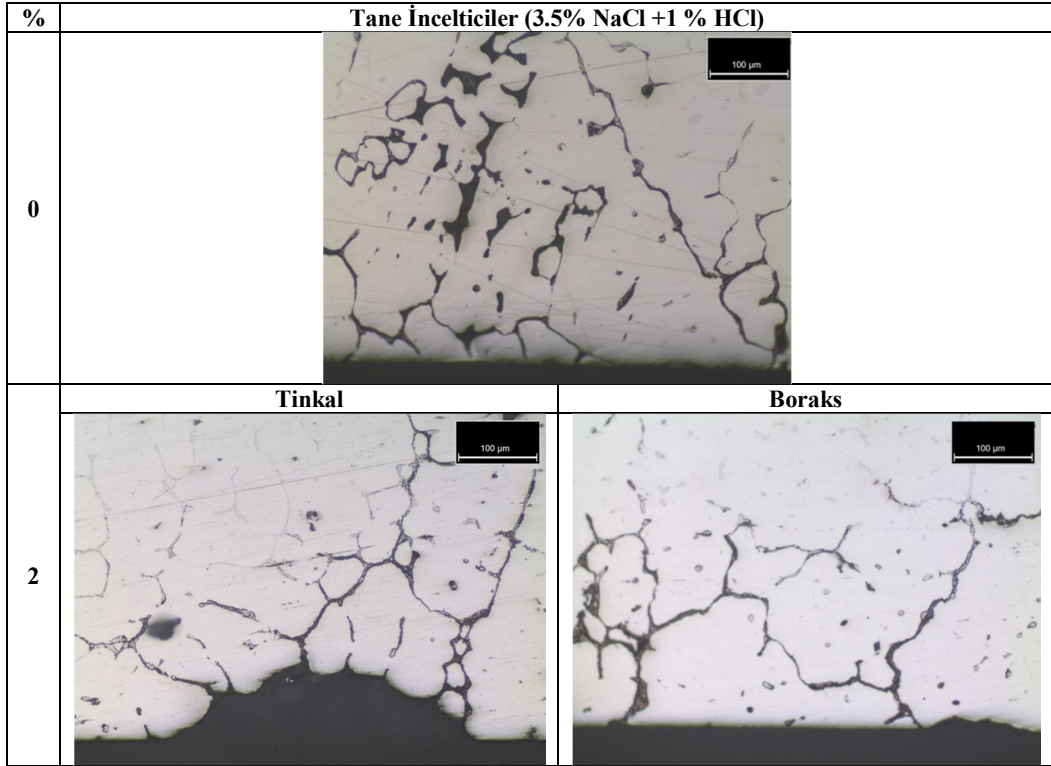
karşılaştırıldığında Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda korozyon akımındaki artış daha fazladır.

6.2. KOROZYON HASARININ MİKROYAPI ANALİZLERİ

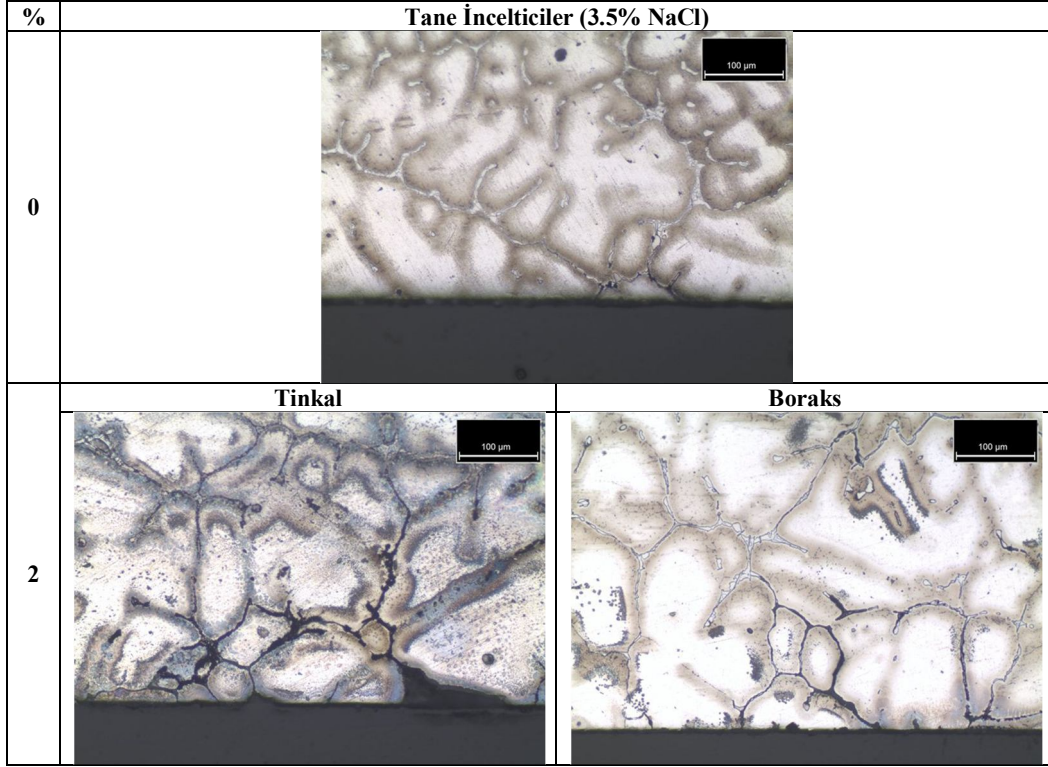
Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerinde yapılan korozyon deneyleri sonucu alınan parlatılmış ve dağlanmış mikroyapı görüntüleri sırası ile Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11'de verilmiştir.



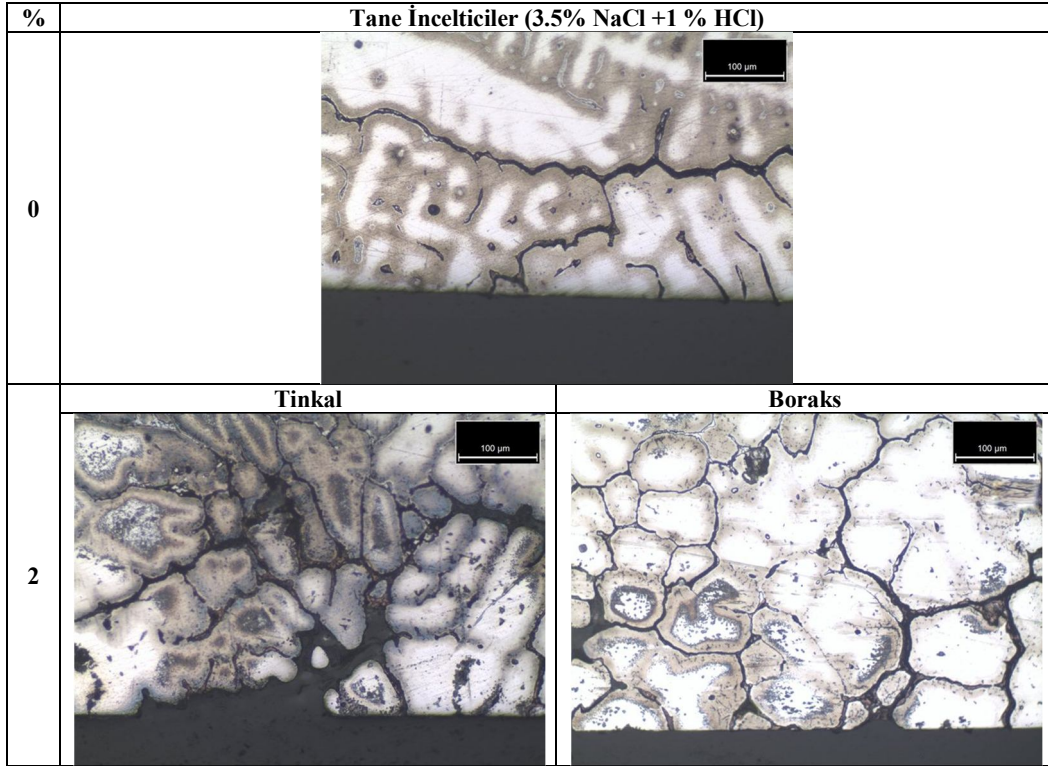
Şekil 6.8. Alaşımların parlatılmış haldeki optik mikro yapıları.



Şekil 6.9. Alaşımların parlatılmış haldeki optik mikro yapıları.



Şekil 6.10. Alaşımın dağlanmış haldeki optik mikro yapıları.



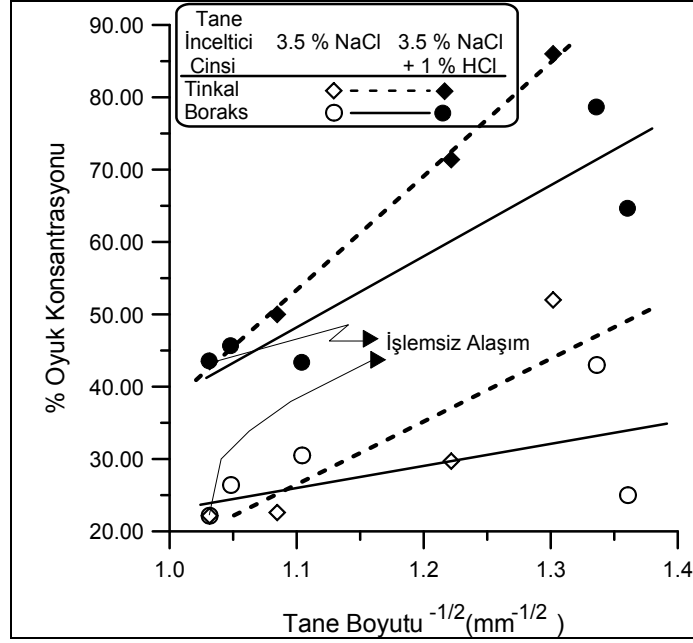
Şekil 6.11. Alaşımın dağlanmış haldeki optik mikro yapıları.

Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki korozyon sonucu alaşımların kesitinden alınan mikroyapı görüntülerinde tane boyutu küçüldükçe korozyon miktarının arttığı görülmektedir. İşlemsiz numunelerin mikroyapı görüntülerinde korozyon miktarı az ve korozyon yüzeyde ince bir tabakayı etkilerken Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda tane boyutu küçüldükçe korozyon miktarı ve korozyonun oyuk genişliği artmıştır. 3.5% NaCl çözeltisinde hem Tinkal hemde Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda korozyon miktarında belirgin bir fark gözlenmezken 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde tane boyutu küçüldükçe korozyon miktarındaki artış belirgin bir şekilde görülmektedir. Mikroyapı görüntülerine göre Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımın, Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşıma göre daha fazla korozyona uğradığını söyleyebiliriz. Başka bir deyişle Boraks ilavesi Tinkal ilavesine kıyasla korozyon dayancını artırmış ve tane boyutu küçüldükçe korozyon etkisini Tinkal'e göre azaltmıştır.

Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki numune yüzeylerindeki korozyon oyuklarının yüzde genişlik oranlarındaki artış Çizelge 6.8'de listelenmiş ve "korozyon yüzey genişliği (%) tane boyutu" grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Tüm Tinkal ve Boraks oranlarının her iki çözelti içerisinde de oluşan korozyonun % yüzey oranları.

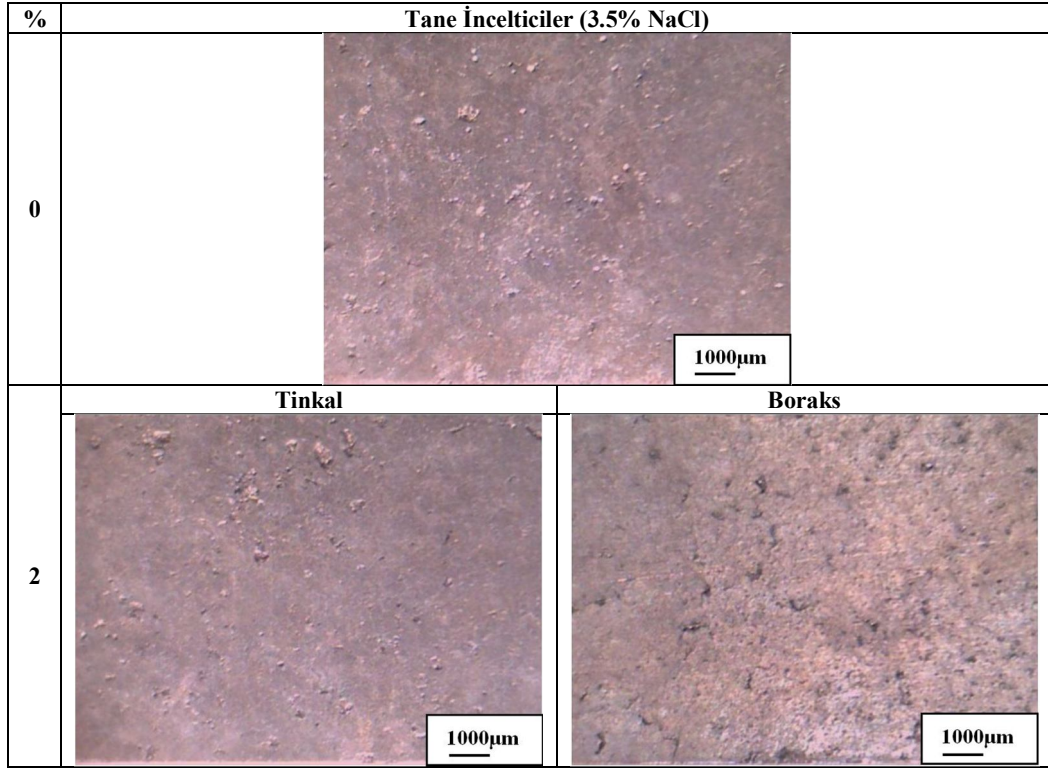
TaneBoyutu(mm)		Korozyon % (Genişlik) Yüzey oranları	
		3.5% NaCl	3.5% NaCl +1% HCl
Tinkal	0.59	52	86
	0.67	29,7	71,4
	0.85	22,6	50
	0.94	24,3	42,6
Boraks	0.56	43	78,6
	0.54	25	64,6
	0.82	30,5	43,3
	0.91	26,4	45,6
	0.94	20	44,3



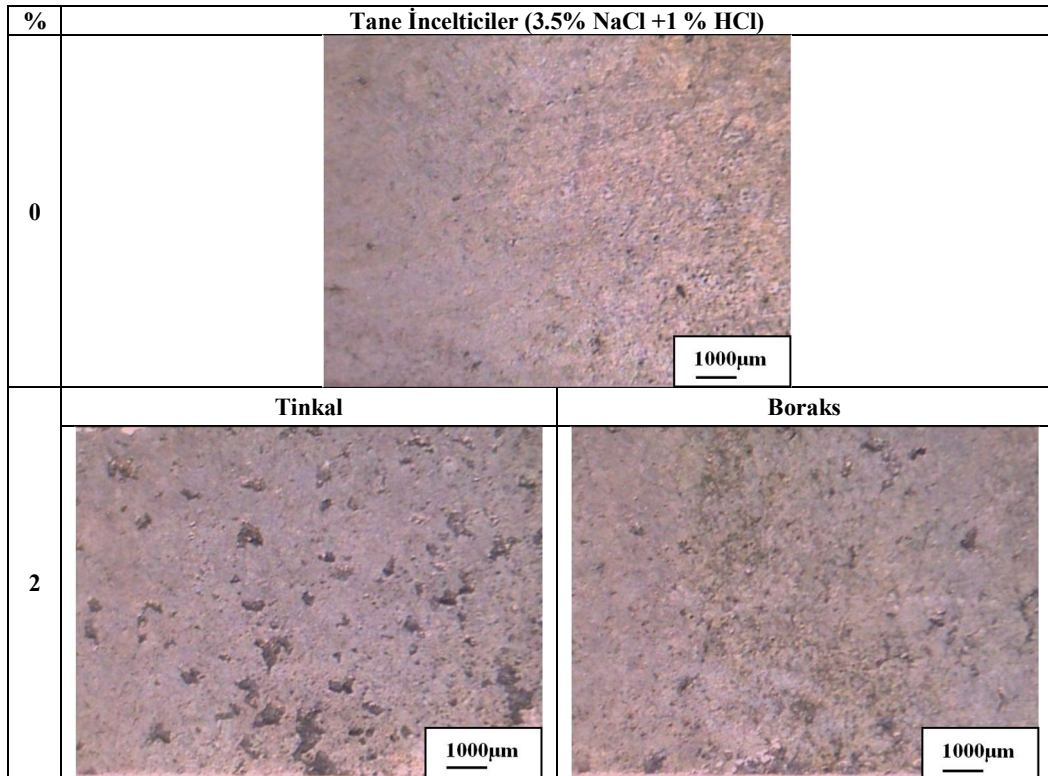
Şekil 6.12. Tüm Tinkal ve Boraks oranlarının her iki çözelti içerisinde de oluşan % Oyuk konsantrasyonu.

Korozyonun numune yüzeyine oranı tane boyutu küçüldükçe arttığı görülmektedir ve en belirgin artış 3.5% NaCl +1% HCl çözelti içerisinde test edilen alaşımlarda gözlenmiştir. Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşım ile karşılaştırıldığında Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda korozyonun numune yüzeyine oranındaki artış daha fazladır.

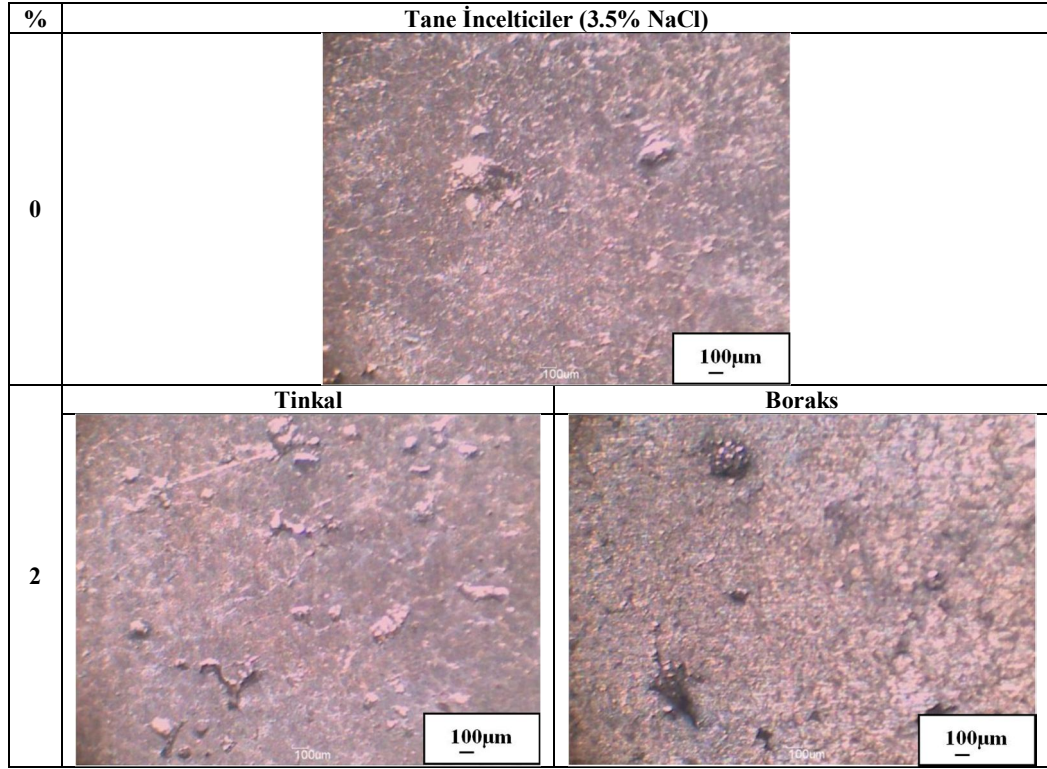
Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki numune yüzeylerindeki korozyon hasarlarının düşük ve yüksek büyütmedeki makro görüntüleri Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16' de verilmiştir.



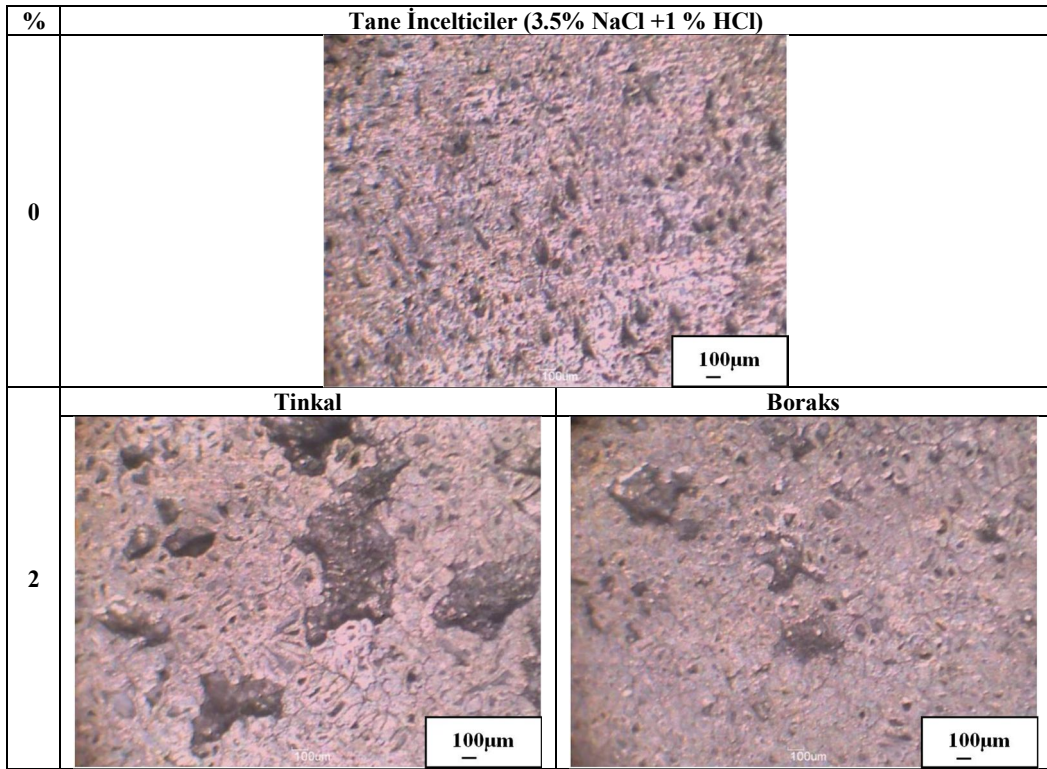
Şekil 6.13. Alaşımların düşük büyütmedeki yüzey görüntüleri



Şekil 6.14. Alaşımların düşük büyütmedeki yüzey görüntüleri.



Şekil 6.15. Alaşımların yüksek büyütmedeki yüzey görüntüleri.



Şekil 6.16. Alaşımların yüksek büyütmedeki yüzey görüntüleri.

Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl çözeltisindeki numune yüzeylerindeki korozyon çukur korozyonu olarak ilerleme göstermiş ve Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımda yüzeydeki oyuk konsantrasyonunun daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisindeki numune yüzeylerindeki korozyon hem çukur korozyonu olarak hemde genel korozyon olarak ilerleme göstermiş Tinkal ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımda yüzeydeki oyuk konsantrasyonunun oluşan korozyon hasarının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki yapılan korozyon deneylerinden alınan makro görüntü sonuçları yapılan ağırlık kaybı, pH, mikroyapı, % oyuk konsantrasyonu verilerini destekler nitelikte olmuştur.

Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre alaşımlarda tane boyutu küçüldükçe yani ilavesi arttıkça korozyon direnci azalmakta ve Tinkal ilavesi ile tane küçültme işlemi yapılmış alaşımın, Boraks ilavesi ile tane küçültme işlemi yapılmış alaşıma kıyasla korozyona karşı daha dirençsiz olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde yapılan bir çalışmaya göz atacak olursak:

WANG Yan ve arkadaşları, farklı tane boyutlarında klasik döküm yöntemi ile hazırlanmış Cu-50Cr alaşımının korozyon davranışına tane boyutunun etkisini asidik ortamda potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile incelemiştir. Tane boyutu küçüldükçe korozyon akım yoğunluğu artmış ve korozyon daha hızlı gerçekleşmiştir. Tane küçültme işleminin korozyon direncini azalttığını tespit etmişlerdir [16].

Buna göre Boraks ilavesi ile elde edilen alaşımın Tinkal'e göre daha üstün korozyon özelliği göstermesinin nedeni olarak Boraks'ın içerdiği B₂O₃'ün Tinkal'e göre daha fazla olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alüminyum-Bakır alaşımlarının korozyon davranışına tane boyutunun etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki korozyon sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon hasarı tane boyutu küçüldükçe artış göstermiştir.
- Ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon hasarındaki artış en fazla 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda gözlemlenmiştir.
- Ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon deneyinin öncesi ve sonrasında çözeltilerden alınan pH, iletkenlik, sıcaklık değerleri incelenmiş ve pH değişimleri en fazla 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda gözlemlenmiştir. Bu sonuç korozyon hasarının en fazla 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda gözlemlendiğini desteklemektedir.

- Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon deneyi sonucu alınan mikroyapı görüntülerinde gözlemlenen korozyon hasarı tane boyutu küçüldükçe artış göstermiş ve mikroyapı analizi korozyon hasarı en fazla 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda gözlemlenmiştir.
- Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon deneyinde korozyon yüzeylerinin % oyuk konsantrasyonu hesaplanmış ve tane boyutu küçüldükçe artış gözlemlenmiş ve en çok artış 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda tespit edilmiştir.
- Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki potansiyodinamik polarizasyon ile yapılan korozyon deneyi sonucu tane boyutu küçüldükçe korozyon akımının artış gösterdiği ve en çok artış 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda tespit edilmiştir.
- Tinkal ve Boraks ilavesi ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki numune yüzeylerindeki korozyon hasarları 3.5% NaCl içeren çözeltide oyuk şeklinde görülürken 3.5% NaCl +1% HCl içeren çözeltide hem oyuk hemde genel korozyon olarak gözlemlenmiştir. Gözlemlenen korozyon yüzey konsantrasyonu her iki çözelti içinde en fazla Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda tespit edilmiştir.

- Tinkal ve Boraks ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için 3.5% NaCl ve 3.5% NaCl +1% HCl çözeltilerindeki ağırlık kaybı yöntemi ile gerçekleştirilen korozyon deneyi sonucu alınan düşük ve yüksek büyütmelelerdeki makroyapı görüntülerinde gözlemlenen korozyon hasarı tane boyutu küçüldükçe artış göstermiş ve makroyapı analizi sonucunda korozyon hasarı en fazla 3.5% NaCl +1% HCl çözeltisi içerisinde Tinkal ile tane inceltme işlemine tabi tutulmuş alaşımlarda gözlemlenmiştir.
- Bu çalışmada Al-Cu alaşımlarında tane boyutunu inceltmenin korozyona olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaya ilave olarak korozif aşınma deneyi uygulaması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çavuş, Z. “Susuzlaştırılmış boraksın alüminyum-bakır alaşımının mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-37 (2010).
2. Palta, A. “Yerinde oluşturulmuş magnezyum silisit partikül takviyeli alüminyum-magnezyum-silisyum matrisli kompozitlerin aşınma ve korozyon davranışlarına titanyum ve bakırın etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 36-52 (2009).
3. Temel A, “Korozyonun tanımı ve alüminyum korozyonu” *Makina&Metal Dergisi*, (114): 2 (2001).
4. Qingjiang, M. and Frankel, G. S. “Effect of Cu content on corrosion behavior of 7xxx series aluminum alloys” *J. Electrochem. Soc.*, 151 (5): 271-283 (2004).
5. Weilong, Z. and Frankel, G.S. “Localized corrosion growth kinetics in aa2024 alloys” *J. Electrochem. Soc.*, 149 (11): 510-519 (2002).
6. Huang, T-S. and Frankel, G.S. “Influence of grain structure on anisotropic localised corrosion kinetics of AA7xxx-t6 alloys” *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 41 (3): 192-199 (2006).
7. Bhattamishra, A.K. and Lal, K. “microstructural studies on the effect of si and cr on the intergranular corrosion in al-Mg-Si alloys” *Materials & Design*, 18 (1): 25–28 (1997).
8. Ramgopal, T. Gouma, P.I. and Frankel, G.S. “Role of grain-boundary precipitates and solute-depleted zone on the intergranular corrosion of aluminum alloy 7150” *NACE International Corrosion*, 58 (8): 11 (2002).
9. Weilong, Z. and Frankel, G.S. “Transitions between pitting and intergranular corrosion in AA2024” *Microscopic and Nanoscopic Aspects of Corrosion and Corrosion Protection, Electrochimica Acta*, 48 (9): 1193–1210 (2003).
10. Osório, W. R. Peixoto, L. C. Garcia, L. R. and Garcia, A. “Corrosion behavior of hypoeutectic Al-Cu alloys in H₂SO₄ and NaCl solutions” *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 22 (4): 241–246 (2009).
11. Wang, S.S. Cheng, M.D. Tsao, L.C. and Chuang, T.H. “Corrosion behavior of Al-Si-Cu-(Sn, Zn) brazing filler metals” *Materials Characterization*, 47 (5): 401–409 (2001).

12. Zhao, W.G. Wang, J.G. Zhao, H.L. Hou, J.Q. and Jiang, Q.C. “Corrosion mechanism of the modified casting Al–Cu alloy by the nano-scale PrxOy” *Journal of Alloys and Compounds*, 479 (1–2): 30–35 (2009).
13. Singh, I.B. Mandal, D.P. Singh, M. and Das, S. “Influence of SiC particles addition on the corrosion behavior of 2014 Al–Cu alloy in 3.5% NaCl solution” *Corrosion Science*, 51 (2): 234–241, (2009).
14. İnternet: Sinai Araştırma A.Ş. “pH Ölçümü” http://www.sinarinstruments.com/ph_olcumu.htm, (2012).
15. ASTM, “Standart practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens.” *ASTM*, G1 (90): 3 (1999).
16. Wang. Y. Cao Z-Q. Fu Y-J. and Yang, Z-X. “Electrochemical corrosion behavior of different grain sized cu-50cr alloy in acidic media [J].” *Corrosion Science and Protection Technology*, 21 (2): 164-166 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Sedat VAROL 23.12.1987'de Ankara ili Altındağ ilçesinde doğmuştur. İlköğrenimini Ankara'da tamamlamıştır. Lise öğrenimine Ankara'da başlamış ilk yılını tamamladıktan sonra İzmir ilinde lise öğrenimine genel lise-sayısal bölümünde devam etmiş ve 2004 yılında tamamlamıştır.

2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metal Öğretmenliği programına girmiş ve 2010 yılında Karabük Üniversitesi Metal Öğretmenliği Programından iyi derece ile mezun olmuştur. 2010 yılında Karabük üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalında başladığı yüksek lisans programına halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Erzene Mah. 117/2 sok. 22B daire:10 D.S.İ. Lojman.
BORNOVA/ İZMİR

Tel. : 0 506 454 89 00

E-posta : sedat_varol_2535@hotmail.com