

**YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL
TAKVİYELİ ALUMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE MANGAN VE
KURŞUNUN ETKİSİ**

Aydın DURMAZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitim Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2009**

Aydın DURMAZ tarafından hazırlanan "YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE MANGAN VE KURŞUNUN ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ACARER
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 23/07/2009

Ünvanı, Adı SOYADI

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Ercan CANDAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Tarih .../.../2009

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
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.”

Aydın DURMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL
TAKVİYELİ ALUMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE MANGAN VE
KURŞUNUN ETKİSİ**

Aydın DURMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalında

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa ACARER

Temmuz 2009, 88 sayfa

Bu çalışmada, geleneksel döküm tekniği ile üretilen, yerinde Mg₂Si partikül takviyeli Al-Si (Alüminyum-Silisyum) matrisli kompozitlerin, Mn (Mangan) ve Pb (Kurşun) ilavesi ile üretimi gerçekleştirilerek, kompozitin mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Al-12Si-20Mg alaşımı içerisine %1, %2 ve %4 oranlarında ayrı ayrı Mn ve Pb ilave edilerek Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb olarak adlandırılan kompozitler üretilmiştir.

Döküm yöntemiyle üretilen bu kompozitlerin mikroyapı karakterizasyonu ve yapı analizi, sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı karakterizasyonu ve yapı analizi optik mikroskop, SEM, EDS ve X-Ray difraksiyonu yöntemleriyle gerçekleştirilirken, aşınma özellikleri pin on ring cihazında ağırlık

kaybı ölçümü ile ve korozyon özellikleri de daldırmalı korozyonda ağırlık kaybı ve tafel ekstrapolasyon yöntemi ile incelenmiştir.

Mikroyapı ve yapı analizlerine göre Al-12Si-20Mg-XMn kompozitinde Mn miktarı arttıkça Mg₂Si fazı küçülürken yapıda Al₆Mn fazının oluştuğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, %1 ve %2 Pb içeren Al-12Si-20Mg-XPb kompozitlerinde Mg₂Si partikül boyutu değişmezken %4 Pb içeren kompozitte Mg₂Si partikül boyutu büyümüştür.

İncelenen Al-12Si-20Mg aşımının sertlik deneyi sonuçları 100 Vickers civarında çıkarken, Mn ilavesi alaşımın sertliğini önemli ölçüde değiştirmemiştir. %1 ve %2 Pb ilavesinde de yaklaşık aynı sonuçlar elde edilirken %4 Pb ilavesinde alaşımın sertliği 125 Vickers değerine yükselmiştir. Alaşımlarda gerçekleşen sertlik artışı, aşınma dayanımını da olumlu yönde etkilemiştir. Al-12Si-20Mg alaşımına %1, %2 ve %4 miktarında ayrı ayrı Mn ve Pb ilavesi ile aşınma dayanımında doğrusal bir artış gözlenmiştir.

Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen sırasıyla Mn ve Pb'un, 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki ağırlık kaybı ölçümlerine göre alaşımların ağırlık kaybı, %1 oranında alaşım ilavesi ile bir miktar azalmıştır. %1'in üzerinde alaşım elementi ilavesi sonucu Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarında ağırlık kaybı azalmaya devam etmiş ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarında ise ağırlık kaybı artmıştır. Tafel ekstrapolasyon yöntemiyle yapılan deneylerde Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Mn ve Pb'un, 30g/l NaCl + 10ml/l HCl içeren solüsyondaki potansiyodinamik polarizasyon deney sonuçları incelenmiştir. Polarizasyon eğrilerinde, incelenen tüm alaşımların korozyon potansiyeli hemen hemen sabit iken korozyon akımları alaşım elementi tipi ve içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Al-Mg-Si Alaşımları, Alüminyum, Mg₂Si, Kompozit, Korozyon, Aşınma.

Bilim Kodu : 626.20.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

**THE EFFECT OF THE MANGANESE AND LEAD ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF ALUMINUM-MAGNESIUM-SILICON MATRIX
COMPOSITE WITH REINFORCED TO MAGNESIUM SILICIDE
PARTICULATE**

Aydm DURMAZ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metal Education**

**Thesis Advisor:
Assoc. Prof. Dr. Mustafa ACARER**

July 2009, 88 pages

In this study, in situ Mg_2Si reinforced Al-Si composites alloyed with Pb and Mn were produced via conventional casting techniques. Microstructure mechanical, properties of produced composites were investigated. So Al-12Si-20Mg master composites alloyed with 1% ,%2 and %4 Mn and Pb were fabricated.composites were examined by microstructure characterization, hardness, corrosion and wear tests. Microstructure characterizations were carried out by SEM equipped with EDS and X-Ray diffraction techniques. Pin-on disc wear test, immersion solution and tafel extrapolasyon techniques were performed for investigation of wear and corrosion properties respectively.

According to microstructure and structure analysis in Al-12Si-20Mg-XMn, Mn content increased size of Mg₂Si phase particle decreased and a new phase seemed known as Al₆Mn. However, in Al-12Si-20Mg alloy with 1-2% Pb it was showed that no change on Mg₂Si particle size. In Al-12Si-20Mg alloy with 4% Pb Mg₂Si particle size was extent.

Hardness of Al-12Si-20Mg master alloy is 100 Vickers mn additions to this alloy, has no effect on hardness considerably. Although, in the hardness of alloy with 1% and 2% Pb same results obtained, with 4% Pb addition to the alloy hardness was increased towards 125 hv.

According to weight lossof Al-12Si-20Mg alloy which has different quantities both mn and Pb in 30g/l Nacl+10ml/l Hcl solution weight loss decreased with increased alloying elements. Above 1% alloying elements, while weight loss of Al-12Si-20Mg with Mn continued by linearly in alloys with Pb weight loss increased. Corrosion tests via tafel ekstrapolotion techniques, Al-12Si-20Mg with different quantities both Mn and Pb in 30g/l Nacl+10ml/l Hcl solution potention dynamic polarization test results were examined. According to test results, while corrosion potential was constant, corrosion currents changed with type and of alloying elements quantity.

Key Words : Al-Mg-Si Alloys, Aluminum, Mg₂Si, Composite, Corrosion, Wear

Science Code : 626.20.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca her türlü yardım ve destekte bulunan danışmanım Doç. Dr. Mustafa ACARER'e, çalışmalarım esnasında bilgileriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan Ali PALTA'ya ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
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	4
KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER	5
2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	5
2.1.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler.....	7
2.1.3. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	7
2.2. TAKVİYE ÇEŞİDİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER.....	8
2.2.1. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler	8
2.2.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	8
2.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	9
BÖLÜM 3	11
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	11
BÖLÜM 4	20
KOROZYON.....	20

	<u>Sayfa</u>
4.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ.....	23
4.1.1. Üniform Korozyon (Homojen Korozyon).....	23
4.1.2. Çukur Korozyonu.....	24
4.1.3. Galvanik Korozyon.....	25
4.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu.....	25
4.1.5. Kabuk Altı Korozyonu.....	26
4.1.6. Filiform Korozyonu.....	26
4.1.7. Seçimli Korozyon.....	27
4.1.8. Taneler Arası Korozyon.....	27
4.1.9. Erozyonlu Korozyon.....	28
4.1.10. Aşınmalı Korozyon.....	29
4.1.11. Gerilmeli Korozyon.....	29
4.1.12. Yorulmalı Korozyon.....	29
4.1.13. Kaçak Akım Korozyonu.....	30
4.1.14. Mikrobiyolojik Korozyon.....	30
4.1.15. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyonu.....	30
4.2. KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ.....	31
4.2.1. Kütle Azalması Yöntemi.....	31
4.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi.....	31
4.2.3. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi.....	32
4.2.4. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi.....	33
 BÖLÜM 5	 37
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ.....	37
5.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	38
5.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN XRD İNCELEMESİ.....	39
5.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	40
5.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYLERİ.....	40
5.5.1. Ağırlık Kaybı Metodu İle Yapılan Deneyler.....	41
5.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Deneyler.....	42

	Sayfa
5.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEYLERİ.....	44
BÖLÜM 6	46
DENEYSEL SONUÇLAR	46
6.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI SONUÇLARI.....	46
6.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLEŞENLERİNİN YAPI ANALİZ SONUÇLARI.....	50
6.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN GÖRÜNTÜ ANALİZ SONUÇLARI	54
6.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI	55
6.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI... ..	56
6.5.1. Ağırlık Kaybı Ölçülerek Yapılan Korozyon Deneyi Sonuçları.....	56
6.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları	58
6.5.3. Korozyon Yüzey ve Yüzeyaltı Görüntülerinin İncelenmesi.....	60
6.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI	64
BÖLÜM 7	69
DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	69
7.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ İRDELENMESİ	69
7.1.1. Mangan Elementinin Mikroyapıya Etkisi.....	70
7.1.2. Kurşun Elementinin Mikroyapıya Etkisi	71
7.2. KOROZYON SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	71
7.2.1. Mangan Elementinin Korozyona Etkisi.....	74
7.2.2. Kurşun Elementinin Korozyona Etkisi.....	74
7.3. AŞINMA DAVRANIŞININ İRDELENMESİ.....	75
BÖLÜM 8	78
SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler (a) partikül takviyeli, (b) kısa fiber takviyeli, (c) sürekli fiber takviyeli	6
Şekil 2.2. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler	8
Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri. (a) Sürekli tek yönlü fiberler, (b) Rastgele yerleştirilmiş fiberler, (c) Ortogonal fiberler, (d) Açılı yerleştirilmiş fiberler	9
Şekil 3.1. Partikül takviyeli AMMK fren elemanları.	13
Şekil 3.2. Alüminyuma eklenen elementlerin sıcaklığın etkisi ile çözünürlüklerinin değişimi.	14
Şekil 3.3. Başlıca alüminyum alaşımlarının şematik gösterimi	15
Şekil 3.4. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı	16
Şekil 3.5. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı	17
Şekil 3.6. Alüminyum-Mg ₂ Si kısmi faz diyagramı	17
Şekil 3.7. Alüminyum-Mangan kısmi faz diyagramı	18
Şekil 3.8. Alüminyum-Kurşun kısmi faz diyagramı	19
Şekil 4.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar	22
Şekil 4.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi	24
Şekil 4.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hücresi	24
Şekil 4.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi	25
Şekil 4.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi	26
Şekil 4.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi	27
Şekil 4.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi	27
Şekil 4.8. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge	28
Şekil 4.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi	28
Şekil 4.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi	29
Şekil 4.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi	30
Şekil 4.12. Lineer polarizasyon yöntemi ile R _p bulunması	32
Şekil 4.13. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri	34

Şekil 5.1. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elektrik rezistanslı fırının (a) kesitten ve (b) dıştan görünümü.....	37
Şekil 5.2. Dökümün yapıldığı metalik kalıbın şematik görünümü.....	38
Şekil 5.3. Miroyapı incelemelerinde kullanılan Leica DM ILM model optik ışık mikroskobu.	39
Şekil 5.4. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Shimadzu HVM2 mikrosertlik test cihazı	40
Şekil 5.5. Numune temizleme işlemlerinde kullanılan MBTU marka ultrasonik temizleme cihazı	41
Şekil 5.6. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik tartı.....	42
Şekil 5.7. Potansiyodinamik/Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.	42
Şekil 5.8. Korozyon deneylerinde kullanılan çalışma elektrotu.....	43
Şekil 5.9. Statik korozyon deney hücresi.....	43
Şekil 5.10. Pim üzeri disk tipi aşınma cihazı.	45
Şekil 6.1. İki farklı sıcaklıkta homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmış Al-12Si-20Mg alaşımının zamana göre sertlik değişim grafiği.....	46
Şekil 6.2. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.....	47
Şekil 6.3. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.....	48
Şekil 6.4. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.....	49
Şekil 6.5. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.....	50
Şekil 6.6. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-4Mn ve (c) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait XRD sonuçları.....	51
Şekil 6.7. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg alaşımına ait SEM görünümü.	52
Şekil 6.8. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımına ait SEM görünümü.....	52
Şekil 6.9. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımına ait SEM görünümü.....	53
Şekil 6.10. Alaşım elementlerinin Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg ₂ Si partiküllerinin hacim oranına etkisi...	54

Şekil 6.11. Alaşım elementlerinin Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg ₂ Si partiküllerinin boyutuna etkisi.	55
Şekil 6.12. Alaşım elementi içeriğinin Al-12Si-20Mg alaşımının sertliğine etkisi.	56
Şekil 6.13. (a) Al-12Si-20Mg-XMn ve (b) Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki zamana bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişimi.	57
Şekil 6.14. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.	58
Şekil 6.15. (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.	59
Şekil 6.16. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri.	61
Şekil 6.17. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri.	62
Şekil 6.18. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının yüzeyaltı optik ve SEM görüntüleri.	63
Şekil 6.19. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının yüzeyaltı optik ve SEM görüntüleri.	64
Şekil 6.20. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.	65
Şekil 6.21. Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.	66
Şekil 6.22. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının aşınma yüzeylerinin 20X büyütmedeki optik mikroskop görünimleri.	67
Şekil 6.23. Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının aşınma yüzeylerinin 20X büyütmedeki optik mikroskop görünimleri.	68
Şekil 7.1. Alaşım elementi içeriğinin (a) 24 saat sonundaki ağırlık kayıplarına ve (b) korozyon akımına etkisi.	72
Şekil 7.2. Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki aşınma hızının alaşım içeriği ile değişimi.	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak).....	23
Çizelge 6.1. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.	52
Çizelge 6.2. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.	53
Çizelge 6.3. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.	53
Çizelge 7.1. Bazı intermetaliklerin korozyon potansiyeli değerleri.	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- s : Saniye
d : Dakika
°C : Santigrat derece
Å : Angstrom
E_{corr} : Korozyon potansiyeli
I_{corr} : Korozyon akımı
E_e : Denge potansiyeli
µm : Mikrometre
F : Faraday sabiti
mV : Milivolt
mA : Miliamper
N : Newton

KISALTMALAR

- MMK : Metal Matrisli Kompozit
AMMK : Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit
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)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Tribolojik olarak önemli olan malzemeler arasında ötektik üstü alaşımlar, içten yanmalı motorlar, pistonlar, motor gömlekleri, kırıcı ve öğütücü gibi aşınma ile ilişkili uygulamalar için tercihli olarak önemli derecede ilgiyi üzerlerine çekmişlerdir. Yoğunlukta ve termal genleşme katsayısında azalma, sertlikte, oda sıcaklığı mekanik özelliklerde (elastisite modülü ve mukavemet), aşınma direncinde iyileşme ve mükemmel dökülebilirlik, Al matrisine Si ilavesi ile kazanılmaktadır. Si içeriğindeki artış, alaşımın bazı mekanik özelliklerinde bozulmaya sebep olan, mikroyapıda göreceli olarak iğnesel Si fazının oluşumuna ve ötektik Si'un kabalaşmasına yol açmaktadır [1-7].

Mekanik özellikleri iyileşmiş Al-Si alaşımlarının üretimi için alternatif bir yaklaşım, metal matrisli kompozitlerin (MMK) geleneksel üretim teknikleri ile SiC ve Al₂O₃ gibi sert seramik partiküllerle matrisin dışarıdan takviye edilmesidir [8-12].

MMK, sünek metal ve/veya alaşım matris içine sert seramik partiküllerin gömüldüğü bir malzeme çeşidi olarak kabul edilir. MMK'ler metallerin özelliklerinin (süneklik ve tokluk) ile seramiklerin karakteristiklerinin (yüksek mukavemet ve modül) üzerlerinde toplayarak daha yüksek mukavemet ve daha yüksek servis sıcaklığı kabiliyetlerine sahip olurlar. Otomotiv ve havacılık endüstrisinde MMK'lere duyulan ilgi, ucuz takviyelerin mevcudiyetinden ve tekrarlanabilir mikroyapı ve özellikleri veren birçok üretim metotlarının geliştirilmesinden dolayı son 20 yılda artmıştır.

Süreksiz olarak takviyeli MMK ailesi, hem partikülleri hem de whiskerleri veya kısa fiberleri içine almaktadır. Son zamanlarda MMK'lerin bu sınıfı;

- Ucuz ve çeşitli türde takviyenin bulunabilirliğinden,
- Tekrarlanabilir yapı ve özellikli MMK'ler üretmek için üretim proseslerinin başarılı gelişiminden,
- MMK'leri işlemek için standart veya standarda yakın metal işleme metotlarının kullanılabilirliğinden dolayı büyük bir ilgiyi üzerlerine çekmişlerdir.

Genelde süreksiz olarak takviyeli MMK'ler, toz metalurjisi, sprey biriktirme, mekanik alaşımlama ve çeşitli döküm teknikleri (sıkıştırılmalı döküm, rheocasting, ve kompocasting) gibi birçok üretim metotları ile üretilmiştir. Tüm bu teknikler, eriğik veya toz formunda olan matris malzemesinin içine seramik takviyenin dışarıdan ilavesine dayanmaktadır. Bu durumda mikron altı ile onlarca mikron arasında değişen takviye partikül boyutu, takviyenin yüzey kirliliğinden dolayı partikül ile matris arasındaki arayüzey reaksiyonları ve/veya zayıf ıslatılabilirlik, geleneksel MMK'lerin üretim yönteminin dezavantajları arasında sayılabilir. Ayrıca MMK'lerin çoğu, seramik takviye ve matris arasındaki arayüzeyin termodinamik olarak uyumsuzluğundan, takviyenin zayıf ıslatılabilirliğinden, aglomerasyon ve sedimentasyon gibi mikroyapısal homojensizlikten olumsuz yönde etkilenmektedir. Takviyenin küçük boyutları ve takviye ile matris arasındaki yoğunluk farkları, kompozit üretimini zorlaştırmaktadır [13,14].

MMK'lerin özellikleri, takviyenin boyutu, hacim oranı ve aynı zamanda matris-takviye arayüzeyinin doğası tarafından kontrol edildiği iyi bilmektedir. Optimum mekanik özellikler, göreceli olarak ince ve termal olarak kararlı seramik partiküller üniform olarak metal matris içine dağıtıldığı zaman elde edilmektedir. Bu gibi gereksinimleri karşılamak için gösterilen çabalar, yeni kompozitlerin geliştirilmesine sebep olmuştur. Bu yeni kompozitler, kompozit üretimi süresince element ve bileşikler ve/veya elementler arasında gelişen kimyasal reaksiyonlarla metalik matris içinde takviyenin oluşturulması ile gerçekleştirilen yerinde MMK'lerdir. Sonuç olarak son zamanlarda, dışarıdan seramik takviye ilave edilerek gerçekleştirilen kompozit üretiminin dezavantajlarının üstesinden gelmek için yeni "yerinde" partikül takviyeli kompozitler, kaynak matristen takviyenin çekirdeklenmesi ve büyümesi yardımı ile üretilmiştir [15-27]. Dışarıdan seramik partikül takviyeli geleneksel kompozitlere alternatif olarak, bu yeni proses;

- Takviye-matris arayüzeyi termodinamik olarak kararlı ve dengelidir ki bu durum yüksek sıcaklık servis koşullarında daha az bozulmaya sebep olur.
- Takviye-matris arayüzeyi temizdir ki bu güçlü arayüzey bağ oluşumuna yol açar.
- Düşük maliyetli döküm prosesleri kullanılabilir.
- Yerinde oluşturulmuş partiküller göreceli olarak ince ve dağılımı homojendir ki bu durum daha iyi fiziksel ve mekanik özellikler verir.

Son on yılda yerinde kompozit üretimi için birçok teknikler geliştirilmiştir. Bu metotları kullanarak, geniş aralıkta matris malzemesini (Al, Ti, Cu, Ni ve Fe) ve karbür ve nitrür gibi ikinci faz partiküllerini içeren MMK'ler üretilmiştir.

Yerinde seramik takviyeli kompozitlerin yapı ve özelliklerinin optimize etmek için geliştirilen üretim teknikleri 4 ara grupta sınıflandırılabilir;

- Katı-sıvı reaksiyon prosesleri
- Buhar-sıvı-katı reaksiyon prosesleri
- Katı-katı reaksiyon prosesleri
- Sıvı-katı reaksiyon prosesleri

Takviye olarak Mg_2Si partiküllerini içeren yerinde kompozitlerin üretimi ile ilgilenen birçok araştırma literatürde [20-22,28-39] mevcuttur. Bununla birlikte yerinde kompozitlerin mekanik davranışları üzerine çalışma, yok denecek kadar azdır. Bu yüzden bu çalışmada, farklı oranlarda Mn ve Pb içeren modifiye edilmiş geleneksel döküm tekniği ile üretilen, yerinde Mg_2Si partikül takviyeli, Al-Si alaşımı matris kompozitlerin üretimi, mikroyapı karakterizasyonu, sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla sayıda aynı veya farklı gruptaki malzemenin iyi özelliklerini tek bir malzemedeki toplamak ya da daha üstün özelliklere sahip bir malzeme oluşturmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar, kompozit malzeme sınıfına girmemektedirler [40].

Kompozit malzeme, en az iki farklı yapı bileşeni ve bu bileşenlerin arasında bulunan geçiş bölgesinden oluşur. Ana bileşen matris, güçlendirici bileşen ise takviye elemanı olarak adlandırılır [41].

Endüstride kullanım alanları giderek artan kompozit malzemelerin kullanılma amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek mukavemet
- Yüksek elastikiyet modülü
- Düşük yoğunluk
- İyi kırılma tokluğu
- İyi aşınma dayanımı
- İyi yorulma dayanımı
- Isıl iletkenlik
- Elektriksel iletkenlik
- Estetik görünüm [40].

Kompozit malzemeler, matris malzemesine ve takviye çeşidine göre iki şekilde sınıflandırılabilir.

2.1. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER

Matris malzemesine göre kompozit malzemeler metal matrisli, polimer matrisli ve seramik matrisli kompozit malzemeler olmak üzere üç grupta incelenebilirler.

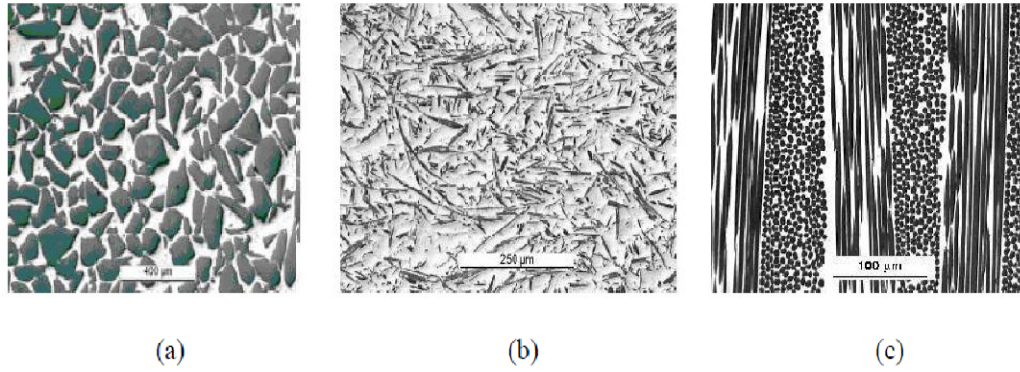
2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal malzemelerin iyi süneklik ve tokluk özelliklerinin, seramik malzemelerin yüksek mukavemet ve yüksek elastikiyet modülü özelliklerinin bir araya getirilmesiyle oluşan metal matrisli kompozit malzemeler, yüksek elastikiyet modülü ve mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme gibi önemli özelliklere sahiptirler [42].

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Al_2O_3 , SiC, TiC, bor ve karbondur [43].

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. Metal matrisli kompozit malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak üzere, bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye fazı içerir. Günümüz şartlarında üretilebilen metal matrisli kompozit malzemeler üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.1).

- Elastikiyet modülünün, belli oranda da mukavemetin artmasıyla sonuçlanan, bağlayıcı matris içine partikül şeklindeki takviye malzemelerinin ilavesi ile oluşturulan partikül takviyeli metal matrisli kompozitler.
- Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlere göre daha büyük yük iletimi yeteneğine sahip, yüksek dayanımlı whisker veya kısa fiber takviye metal matrisli kompozitler.
- Fiberin yüksek performanslı tüm özelliklerini taşıyan sürekli fiber esaslı metal matrisli kompozitler.



Şekil 2.1. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler (a) partikül takviyeli, (b) kısa fiber takviyeli, (c) sürekli fiber takviyeli [44].

Belirtilen kompozit sistemlerinin her birinin de ayrı ayrı üstünlükleri ve zayıflıkları söz konusudur. Örneğin, partikül esaslı metal matrisli kompozitler düşük maliyetlerinin yanı sıra, rijitlikte dikkate değer gelişme ve hemen hemen izotropik özellikler gösterir. Ancak mukavemetteki gelişme sınırlıdır. Ayrıca kopmadaki şekil değişiminin ve kırılma tokluğunun düşük olması bu kompozitlerin zayıf yönüdür. Whisker veya kısa fiber katkılı metal matrisli kompozitler, partikül esaslılara oranla daha pahalı, fakat daha mukavemettir. Sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler elastiklik modülü ve mukavemetin en iyi kombinasyonunu vermelerine karşın bu kompozitlerin özellikleri anizotropiktir ve asıl zayıflıkları, kullanılan fiberlerin ve kompozit üretim maliyetlerinin oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [45].

Belli bir uygulama alanında kullanılmak üzere en uygun kompoziti elde edebilmek için metal matrisli kompozitin bileşenleri hakkında tam ve ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi özgün ve yapısal özellikleri çok önemlidir. Bunun yanı sıra, metal matrisin de nitelikleri dikkate alınmalıdır. Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi katkı fazına yükü iletmektir. Takviye fazı ile matris alaşımının kimyasal olarak uyumluluğu da önemli bir konudur [46,47].

2.1.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler üretim yöntemlerinin diğer kompozit malzemelere göre daha ucuz ve basit olması sebebiyle yaygın kullanım alanı bulmuşlardır. Polimer matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak; epoksi ve polyester gibi termoset plastikler ile termoplastik polyester, poliamid (PA), politetrafloretilen (PTFA), polietilen (PE) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ise cam, aramid, karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır [41,48].

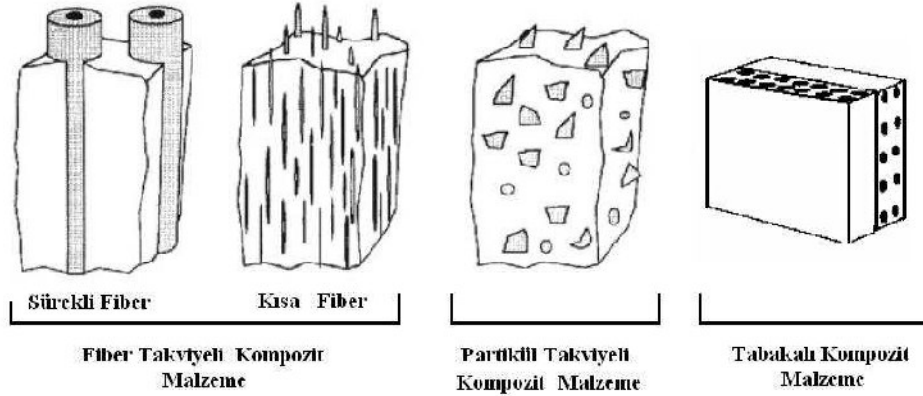
Özellikle cam, aramid ve karbon ile takviye edilmiş polimer kompozitler endüstride geniş uygulama alanına sahiptirler. Bu alanlara örnek olarak uçak ve helikopter parçaları, spor malzemeleri, güçlendirme amaçlı yapı elemanları verilebilir [49].

2.1.3. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne, düşük yoğunluğa ve çok yüksek çalimsa sıcaklıklarına sahiptirler. Seramik matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ta genellikle Al_2O_3 ve SiC seramik malzemeler fiber formuna getirilerek kullanılmaktadır [50].

2.2. TAKVİYE ÇEŞİDİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER

Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler fiber takviyeli, partikül takviyeli ve tabakalı kompozitler olmak üzere üç grupta incelenebilirler (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler [51].

2.2.1. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerin üretim süreçlerindeki gelişmeler sonucunda, partikül takviyeli kompozit malzemelerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Bu kompozitler özellikle düşük maliyetleri ve iyi performanslarıyla ön plana çıkmaktadırlar. Kompozit malzeme üretimde en çok kullanılan takviye partikülleri, Al_2O_3 ve SiC seramik malzemelerdir [52].

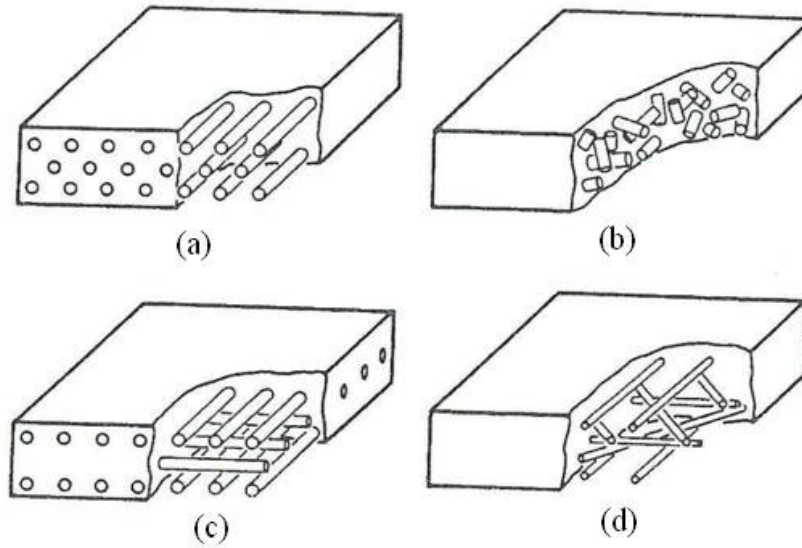
Takviye partikülleri; küresel, kübik, tek tip veya farklı tip geometrilere sahip olabilmelerinin yanında kompozit malzeme içerisinde rastgele veya yönlendirilmiş şekilde konumlandırılabilirler. Yönlendirilmiş partikül takviyesi ile özel zorlamalara karşı belirli yönde güçlendirme yapılabilir [41].

2.2.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Fiber takviyeli kompozit malzemeler, sünek matris malzemesi içerisine, mukavemeti ve elastiklik modülü yüksek fiberlerin ilave edilmesiyle oluşturulurlar. Yük taşıma

kapasitesinin önemli olduğu durumlarda sıklıkla kullanılan fiber takviyeli kompozit malzemelerde, matris malzemesi kompozite uygulanan yükü fiberlere transfer eder. Bu sayede yüksek mukavemete sahip fiber yükün büyük bölümünü taşıyabilmektedir [41].

Fiberler, kompozit malzeme içerisinde tek yönlü şekilde ya da yönlendirilmiş olarak bulunabilmektedirler. Fiberler genel olarak, malzemeye uygulanacak yüklerin doğrultusunda konumlandırılırlar. Bunların yanı sıra fiberler örgü yapı şeklinde de kullanılmaktadır. Özellikle, uzay ve havacılık sektörlerinde ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet, rijitlik ve hafiflik gibi özelliklere sahip fiber takviyeli kompozit malzemeler, bu sektörler için vazgeçilemez bir malzeme grubudur [41]. Şekil 2.3'te fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri. (a) Sürekli tek yönlü fiberler, (b) Rastgele yerleştirilmiş fiberler, (c) Ortogonal fiberler, (d) Açılı yerleştirilmiş fiberler [53].

2.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Farklı özelliklerdeki tabakaların üst üste veya yan yana getirilmesiyle oluşturulan tabakalı kompozit malzemeler, tasarlanan tabakaların yapısına bağlı olarak aşınma direnci, korozyon dayanımı, yük taşıma kapasitesi gibi özelliklerin istendiği

alanlarda kullanılabilmektedirler. Tabakalar, farklı malzemelerden oluşabileceği gibi farklı türde ve şekillerde takviye içeren kompozit malzemelerden de oluşabilmektedir. Kullanım amacına göre değişik şekillerde tasarlanabilen tabakalı kompozit malzemelerin uygulama alanlarına örnek olarak askeri ekipmanlar ve hafif zırhlar verilebilir [54].

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımları; silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangan ana alaşım elementlerinden birini ya da birkaçını içerirler. Demir, krom ve titanyum gibi elementler ise düşük miktarlarda bulunabilir. Özel bazı alaşımlarda, bunların yanı sıra nikel, kobalt, kalay kurşun ya da vanadyum bulunabilir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinden Cu, Mg, Mn, Fe, Pb, Bi gibi elementler mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedirler. Ayrıca alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler, malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğinden aşınma direncini artırıcı yönde etkili olmaktadır [55].

Alüminyum-Silisyum alaşımlarının özellikleri, α alüminyum matrisin katı eriyik mukavemetleşmesi, β fazının dağılım mukavemetleşmesi, ilk tane boyutu, şekli ve aynı zamanda ötektik oluşumu tayin eden katılaşma ile kontrol edilir. Kokil veya pres dökümdeki hızlı soğuma, ötektik mikro oluşumu inceltmek genellikle dayanımı yükseltir [56].

Belirli alaşımlarda mikro yapıyı ve bu nedenle de dağılım mukavemetleşmesi düzeyini iyileştirmek amacıyla bor ve titanyum ilaveleri ile tane inceltme, ötektik yapıyı değiştirmek için sodyum veya stronsiyum kullanarak modifikasyon veya birincil silisyumu inceltmek mukavemetleşme sağlamak için fosfor ilavesi yapılır [56].

Mukavemet uygulamaları için tasarlanmış bir alaşımın sünek bir matris içerisinde dağılıp dislokasyon hareketlerini engelleyen partiküllerden oluşan bir yapıya sahip olması istenir. Aynı miktar partikül için daha düzgün dağılım daha yüksek malzeme mukavemeti anlamına gelir [56].

Böyle bir dağılım yüksek sıcaklıklarda tek fazlı fakat soğutma esnasında matris içerisinde diğer bir fazın çökeldiği bir alaşım tercih edilmesiyle sağlanır. Matris içerisinde istenen çökelti dağılımının elde edilmesi için uygun bir ısıl işlem yapılmalıdır. Eğer sertleşme bu yapı ile meydana gelirse bu proses çökeltme sertleşmesi veya yaşlandırma sertleştirilmesi olarak adlandırılır [56].

Günümüzde, alüminyum esaslı metal matrisli kompozit (AMMK) malzemeler birçok endüstriyel uygulama alanında kullanılmaktadırlar. Kullanım alanları incelendiğinde, AMMK malzemelerin en fazla otomotiv sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra elektronik, uzay, havacılık ve askeri uygulamalar ile spor malzemeleri sektörlerinde de AMMK malzemeler kullanım alanı bulmaktadır [54].

AMMK malzemeler, özellikleri açısından büyük kullanım potansiyeline sahip olmalarına rağmen, bu malzemelerin yaygın olarak kullanılabilmesinin önündeki ana engel maliyetleridir. Maliyeti yükselten temel nedenler ise üretim yöntemlerinin pahalılığı ve bu yöntemler üzerinde istenilen tecrübenin henüz kazanılamamış olmasıdır [54].

Otomotiv pazarı, büyük bir pazar olmasının yanısıra yüksek teknoloji kullanan bir pazardır ancak bu pazarda üretim maliyetlerinin mümkün olduğunca düşük olmasına dikkat edilir. Maliyetlerine rağmen, AMMK kompozit malzemelerin otomotiv sektöründe kullanılmasının sebepleri şunlardır:

- Motor parçalarının ağırlığının azaltılabilmesi, bu sayede de yakıt tasarrufu sağlanması
- AMMK malzeme kullanımı ile aşınma dayanımının artırılabilmesi
- AMMK malzemelerin düşük ısıl genleşme katsayılarına sahip olmaları
- Özellikle partikül takviyeli AMMK'lerin üretiminde, geleneksel yöntemlere yakın yöntemlerin kullanılabilmesi [57].

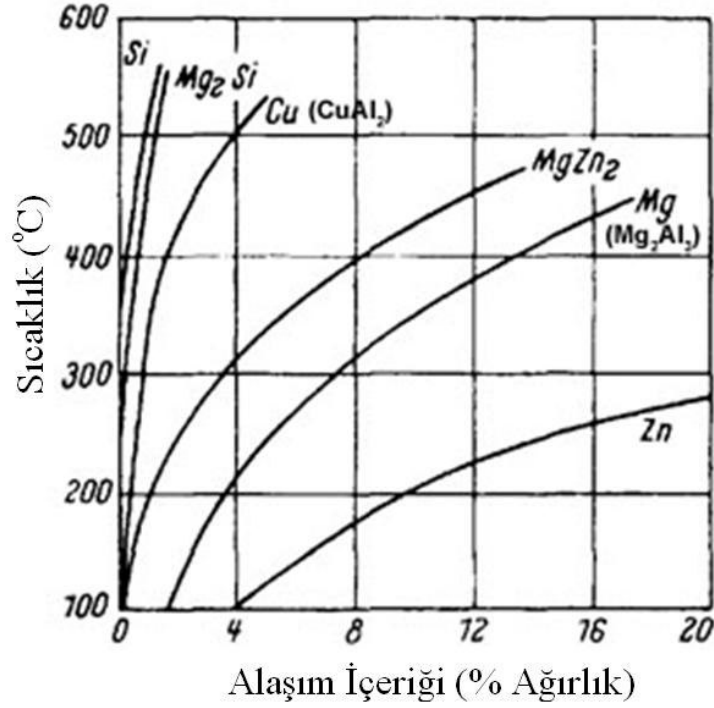
Endüstriyel kullanım açısından partikül takviyeli AMMK malzemeler, metal matrisli kompozit malzemeler içerisinde en fazla kullanım alanına sahiptirler. Genellikle döküm ve toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen bu kompozitler özellikle otomobil ve

trenlerin fren elemanlarında yaygın kullanılmaktadırlar. Otomotiv sektöründeki diğer kullanım sahaları, valfler, krank mili, dişli parçaları ve süspansiyon elemanlarıdır. Şekil 3.1’de yüksek aşınma direnci ve düşük yoğunluğa sahip partikül takviyeli AMMK fren elemanları görülmektedir [58].



Şekil 3.1. Partikül takviyeli AMMK fren elemanları [54].

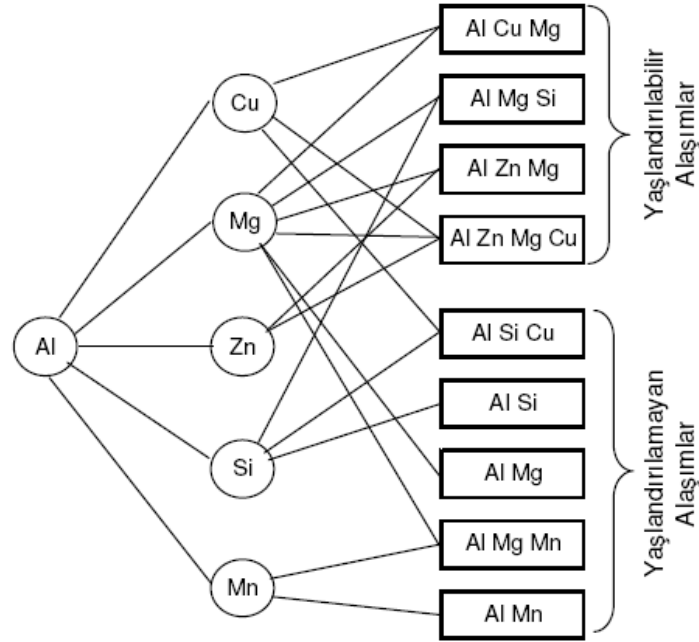
Alüminyum katı çözültisi ile tamamen çözünebilen hiçbir element bilinmemektedir. Çinko, alüminyum içerisinde en büyük katı çözünürlüğe sahiptir (atomik olarak maksimum %66,4). Çinkoya ek olarak, üç elementin katı çözünürlüğü atomik olarak %10’dan büyüktür. Bunlar gümüş, magnezyum ve lityumdur. Galyum, germanyum, bakır ve silisyumun maksimum çözünürlüğü %10’dan az, %1’den fazladır. Diğer bütün elementlerin alüminyum içerisinde katı çözünürlüğü %1’den azdır [59]. Şekil 3.2’de alüminyuma ilave edilen alaşım elementlerinin sıcaklığın etkisi ile çözünürlüklerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 3.2. Alüminyuma eklenen elementlerin sıcaklığın etkisi ile çözünürlüklerinin değişimi [59].

Alüminyum alaşımlarında maksimum katı çözünürlük ötektik, peritektik veya monotektik sıcaklıklarında meydana gelir. Sıcaklığın düşmesiyle, çözünürlük sınırları da düşmektedir (Şekil 3.2). Yüksek sıcaklıklardaki konsantrasyondan düşük sıcaklıklardaki konsantrasyona gerçekleşen bu düşüş ile birlikte, alüminyum alaşımlarının sertliği ve dayanımı ısıtma işlemi ve daha sonra yaşlandırma işlemiyle önemli ölçüde artırılabilir [59].

En sık kullanılan ticari alüminyum alaşımlarında bakır, magnezyum, mangan, silisyum ve çinko dayanım artışını sağlar (özellikle soğuk şekillendirme ile deformasyon sertleşmesi veya ısıtma işlemi veya her ikisiyle) [59]. Şekil 3.3'te alüminyum alaşımlarıyla kullanılan bu elementlerin çeşitli kombinasyonları verilmiştir.



Şekil 3.3. Başlıca alüminyum alaşımlarının şematik gösterimi [60].

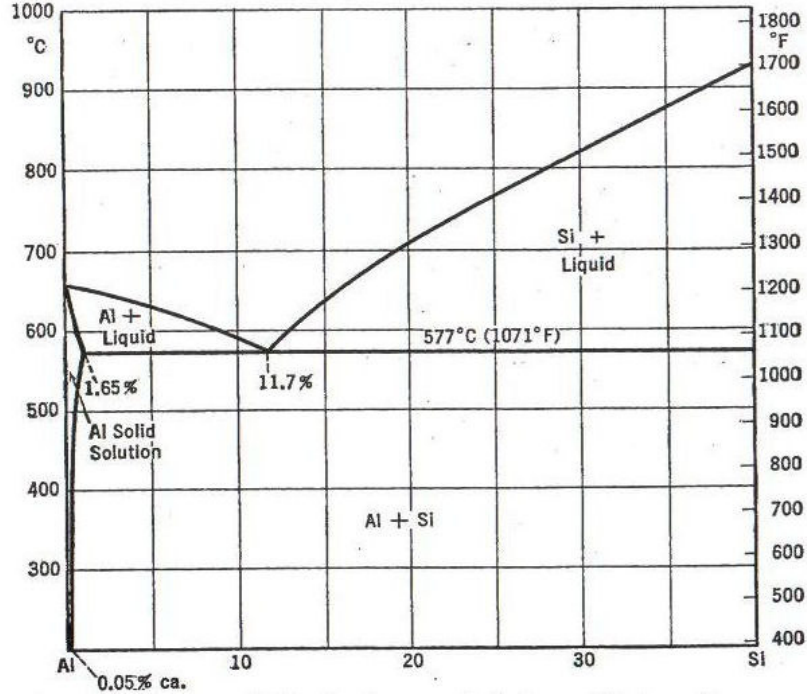
Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur [54].

Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır [54].

Silisyum ilavesi ile akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirlik özelliği sağlanır. Ayrıca sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır ve sıcak çatlama eğilimini azaltır. Mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür [55].

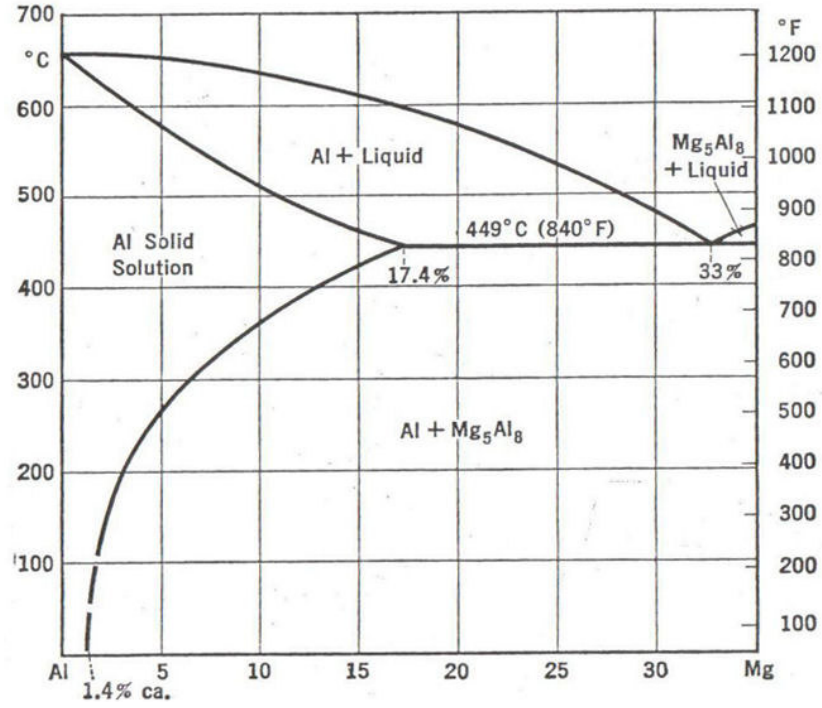
Alüminyum ve silisyum herhangi bir bileşik oluşturmazlar. Silisyum, alüminyum içerisinde sınırlı oranda katı çözünürlüğe sahiptir. Al ve Si'un farklı sıcaklıklardaki

katı çözünlükleri Şekil 3.4'te verilmiştir. %11,7 Si içeren Al-Si sisteminde 577 °C'de ötektik bir yapı oluşur. Silisyum, alüminyum alaşımlarında en yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinden ve genel impuritelere birisidir [61].

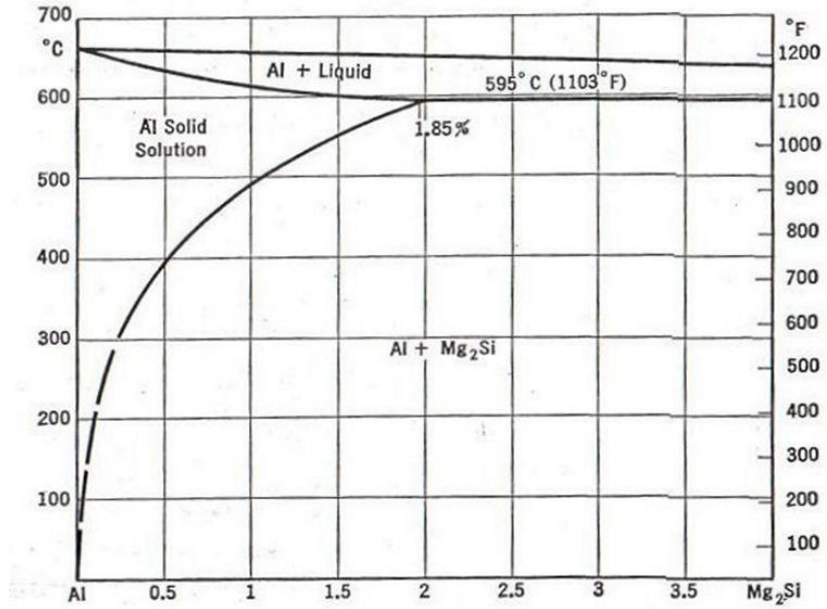


Şekil 3.4. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı [61].

Mg'un Al içerisindeki katı çözünlüğü sıcaklığın düşmesiyle azalmaktadır. Şekil 3.5'te Al-Mg ve Şekil 3.6'da da Al-Mg₂Si denge diyagramı görülmektedir. Mg ve Al dört farklı bileşik oluştururlar. Bunlardan yalnız iki tanesi kısmen bilinmektedir. Bu fazlardan birincisi Mg₅Al₈ fazıdır. %49'un üzerinde Mg içeren Al-Mg sisteminde Mg₁₇Al₁₂ bileşeni oluşmaktadır. Diğer fazlar ise 390 °C'nin altında kararlı γ (AlMg) ve 300 °C'nin üzerinde kararlı σ (AlMg) bileşikleridir. Hızlı soğuma ile denge dışı şartlarda bu iki faz oluşmaz [61].

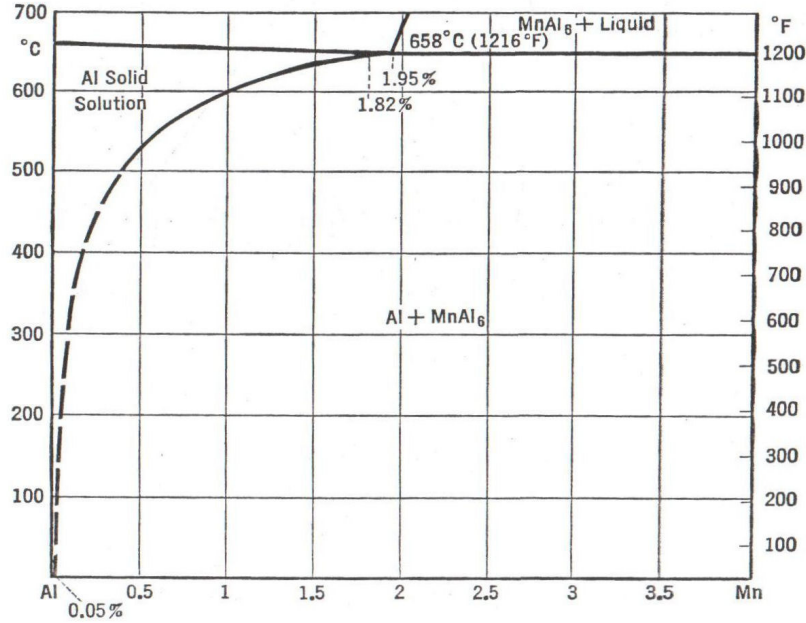


Şekil 3.5. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı [61].



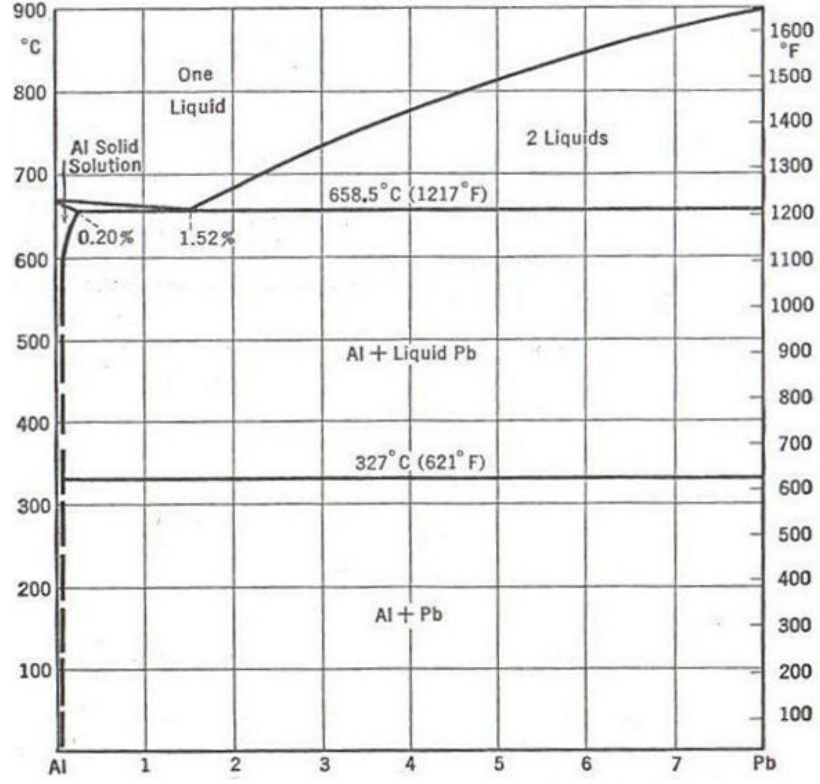
Şekil 3.6. Alüminyum-Mg₂Si kısmi faz diyagramı [61].

Mangan, alüminyum alaşımlarında sıkça kullanılan alaşım elementlerinden birisidir. Al-Mn alaşımlarında mangan, alüminyumun korozyon direncini düşürmemekle beraber mekanik özelliklerini iyileştirir. Manganın alüminyum içerisindeki katı çözünürlüğü sıcaklık artışı ile birlikte artmaktadır. Şekil 3.7’de Al-Mn denge diyagramında Mn’ın Al içerisindeki katı çözünürlüğü ve oluşan fazlar görülmektedir. Denge diyagramında Al’un bittiği yerde kafes parametresi $a=6,51\text{Å}$, $b=7,54\text{Å}$ ve $c=8,87\text{Å}$ olan rombik Al_6Mn fazı oluşur. %1,95 Mn içeren Al-Mn alaşımında 658°C ’de ötektik bir yapı oluşur. Alüminyumun %4’e kadar Mn içermesi durumunda Al_6Mn birincil kristalleri oluşur [61].



Şekil 3.7. Alüminyum-Mangan kısmi faz diyagramı [61].

Bizmut ve kadmiyum gibi kurşunda alüminyum ile bileşik oluşturmaz ve hem katı hem sıvı halde çözünürlüğü sınırlıdır. Kurşun, bizmut ile birlikte alüminyum alaşımlarının işlenebilirliğini iyileştirmek için ilave edilir. Al’daki Pb’un katı çözünürlüğü $658,5\text{°C}$ ’deki ötektik sıcaklığında %0,2 civarındadır ve sıcaklığın azalmasıyla muhtemelen çözünürlükte azalır. Şekil 3.8’de Al-Pb denge diyagramı görülmektedir [61].



Şekil 3.8. Alüminyum-Kurşun kısmi faz diyagramı [61].

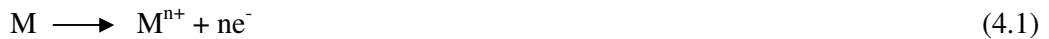
BÖLÜM 4

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 [62].

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

- Kimyasal korozyon: Metal ve alaşımlarının ortama 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 [63].

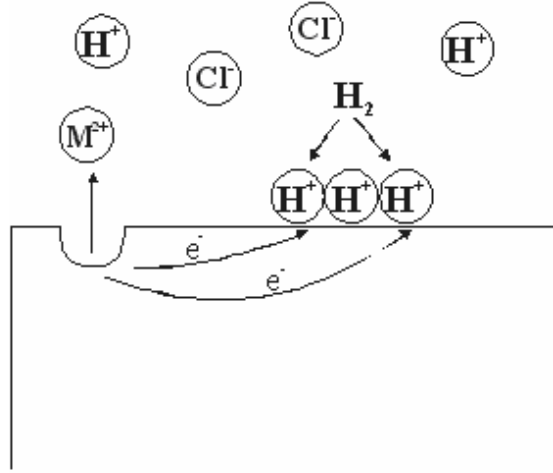
Korozyon tepkimeleri, çoğu metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu (Au, Pt, Ir ve Pd gibi soy metaller dışında) veya dış akımların etkisiyle yürür. Metal korozyonu ister anodik ister katodik tepkime ile denetlensin, çoğu hallerde korozyon hızı, yük aktarım basamağı ile sınırlanır. Metal iyonları olduğu zaman elektrik devresi tamamlanarak sürekli bir akım yolu sağlanmış olur [63].

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 [64].

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

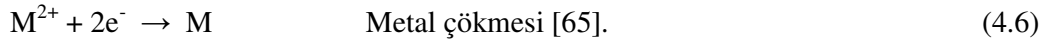
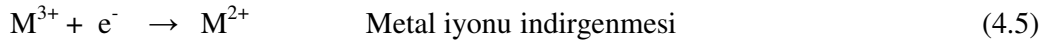


Bu tepkimeler metal yüzeyinde aynı anda ve aynı hızda gerçekleşirler. Yani korozyon sırasında anottaki yükseltgenme hızı katottaki indirgenme hızına eşittir. Şekil 4.1'de HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olayların şematik gösterimi görülmektedir [64].



Şekil 4.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar [64].

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 [64].

4.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

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

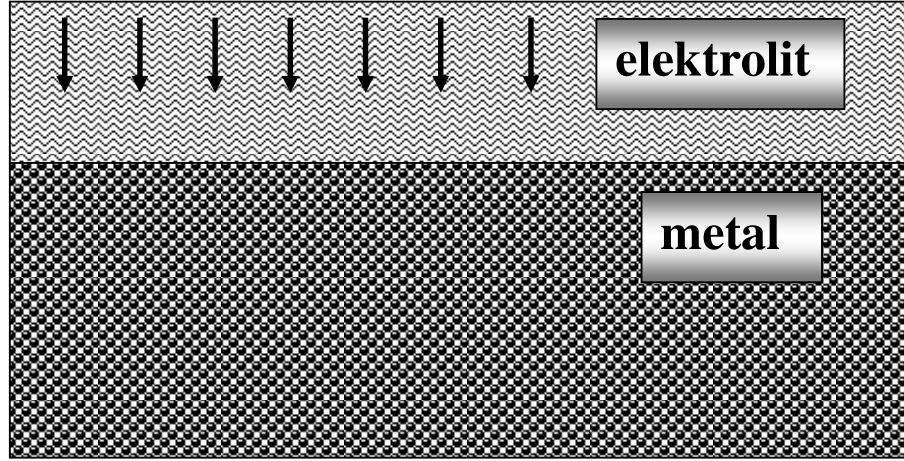
- Gözle görülebilen korozyon (Makro Korozyon)
- Mikroskopla görülebilen korozyon (Mikro Korozyon)
- Karışık korozyon (Mikro + Makro Korozyon)

Çizelge 4.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak) [65].

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

4.1.1. Üniform Korozyon (Homojen Korozyon)

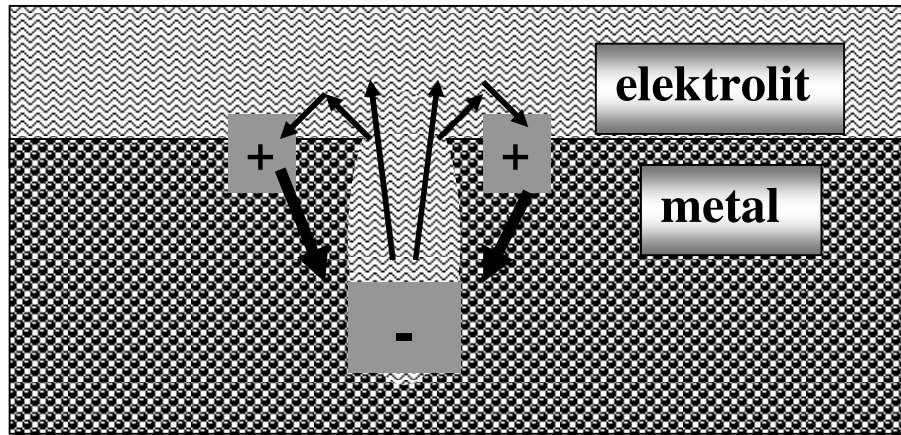
Metal yüzeylerinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Üniform korozyonu sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede kalır [66].



Şekil 4.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi [65].

4.1.2. 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 [66].

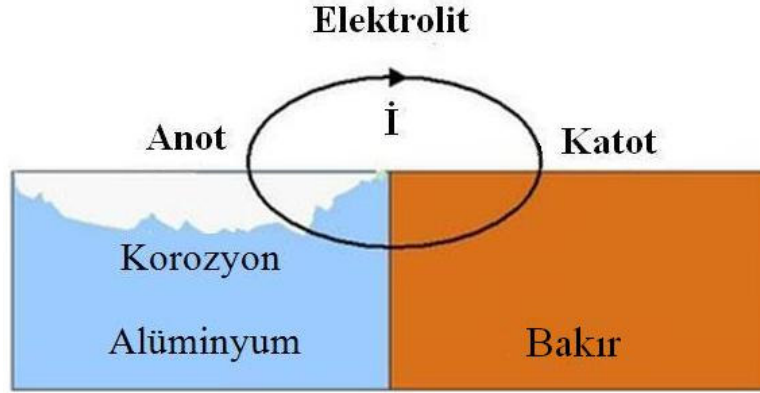


Şekil 4.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hücresi [65].

Çukurun dibi bir anot görevi görürken, çukur ağzındaki yüzeyler katot görevi görmektedirler. İyonik akım elektrolitten geçerken, elektronik akım metalden geçer (Şekil 4.3) [65].

4.1.3. Galvanik Korozyon

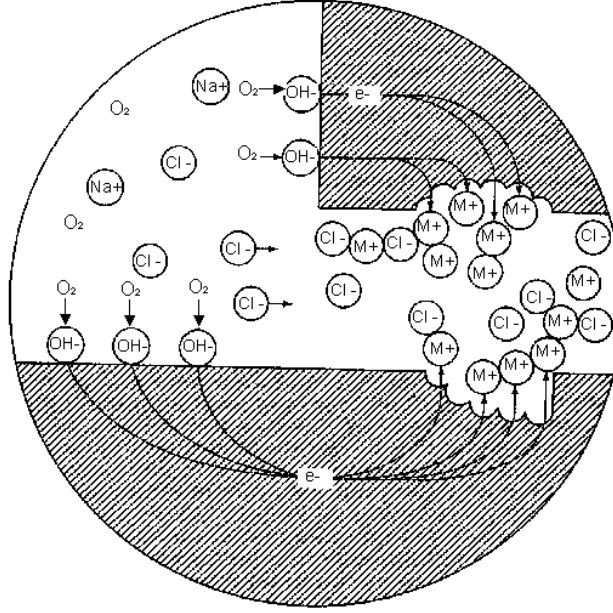
İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar [66].



Şekil 4.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi [67].

4.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltilinin 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 [66].



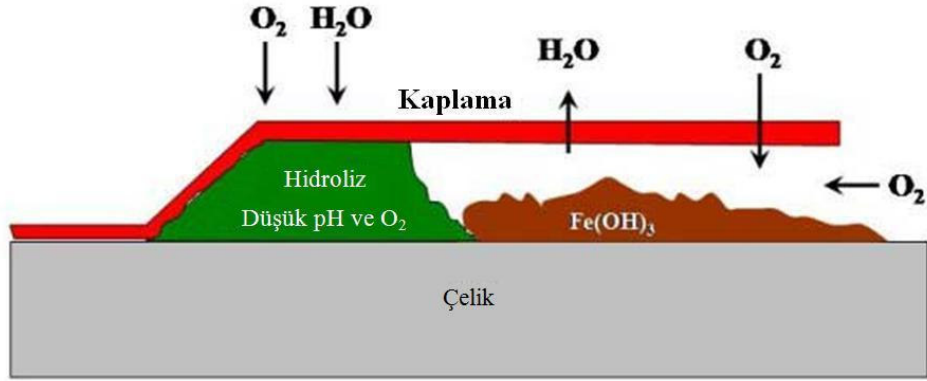
Şekil 4.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi [65].

4.1.5. 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 [66].

4.1.6. Filiform Korozyonu

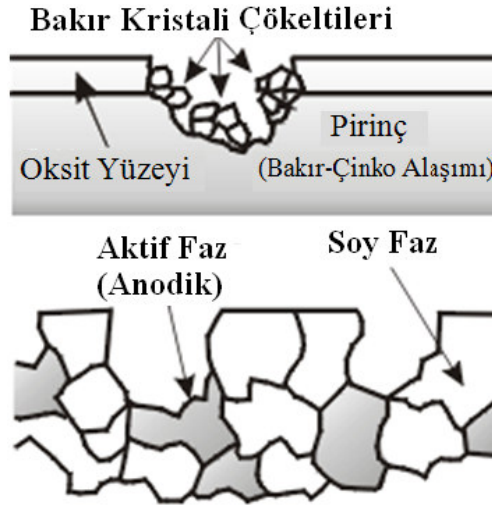
Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir [66].



Şekil 4.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi [68].

4.1.7. Seçimli Korozyon

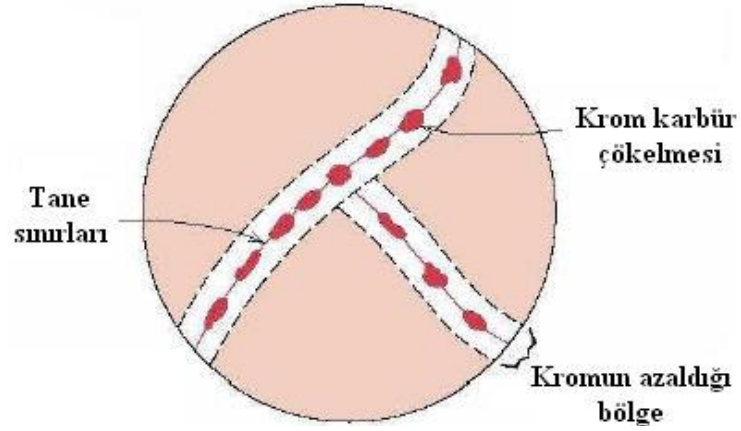
Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımında bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır [66].



Şekil 4.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi [69].

4.1.8. Taneler Arası Korozyon

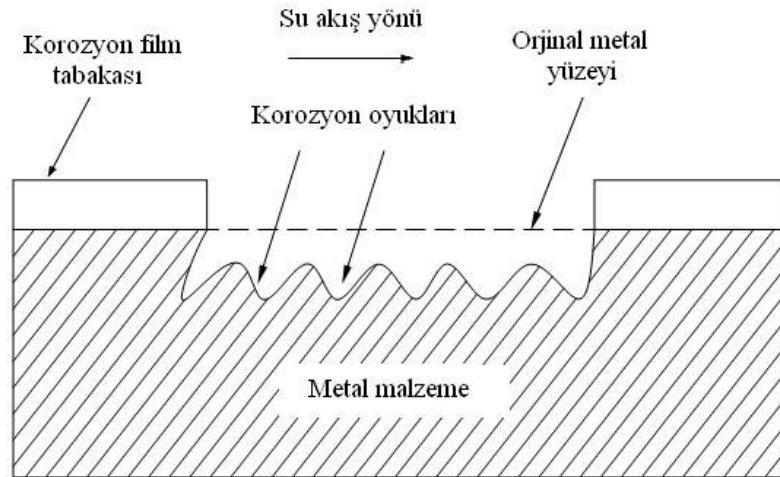
Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür (Şekil 4.8) [66].



Şekil 4.8. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge [54].

4.1.9. 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 [66].



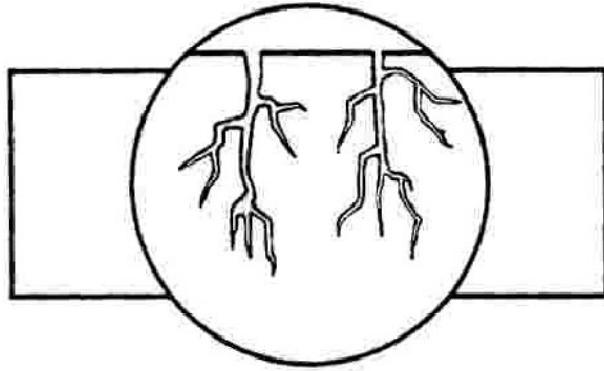
Şekil 4.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi.

4.1.10. 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 [66].

4.1.11. Gerilmeli Korozyon

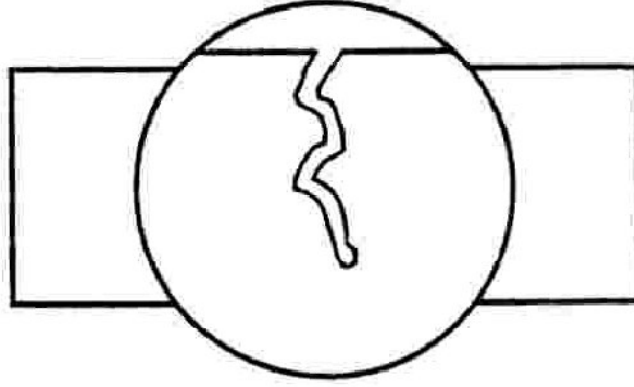
Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam oluşur. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturmaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur [66].



Şekil 4.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi [70].

4.1.12. 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 [66].



Şekil 4.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi [70].

4.1.13. 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 [66].

4.1.14. 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 [66].

4.1.15. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyonu

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletibilme, yeterli sayılabilecek mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirme kabiliyetine sahip olan alüminyum, değişik korozif ortamlarda kullanılabilir. Özellikle korozyon dayanımının arandığı durumlarda, alüminyumun saflığının %99,5'in altında olmaması gereklidir [66].

4.2. 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 [63].

4.2.1. Kütle Azalması Yöntemi

Kütle kaybından korozyon hızı belirlenirken çözünmenin homojen olması ve korozyon ürünlerinin ya tamamen çözünür veya uygun bir çözeltilde çözünerek metal yüzeyinden uzaklaştırılması gerekir [63].

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{\text{kütle azalması}}{\text{metal yüzey alanı} \times \text{zaman}} \quad (4.7)$$

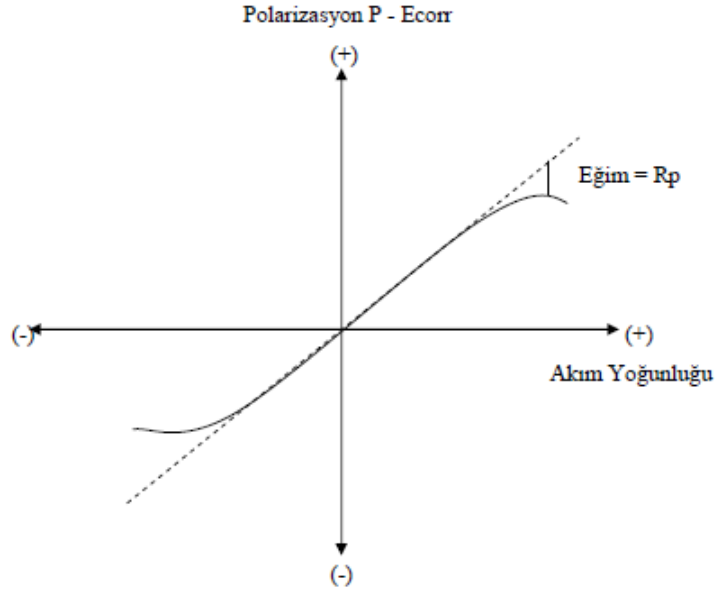
Bu yöntemde korozyon akımı Faraday yasası ile şöyle bulunabilir:

$$I_{\text{corr}} = \frac{\Delta m \cdot F \cdot n}{\Delta t \cdot M} \quad (4.8)$$

Burada Δm kütle kaybını, M metalin molar kütleini, F Faraday sabitini, n söz konusu metalin çözünmeye geçme değerini ve Δt ise zaman aralığını göstermektedir [63].

4.2.2. 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 4.12) [63].



Şekil 4.12. Lineer polarizasyon yöntemi ile R_p bulunması [64].

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

$$I_{corr} = \Delta m \cdot F \cdot n / \Delta t \cdot M_k \quad (4.9)$$

Burada; Δm ağırlık azalması, F Faraday sabiti; n alınan verilen elektron sayısı, M_k metalin atom gramının kütlesi, Δt zaman aralığıdır [64].

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta E} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \quad (4.10)$$

I_{corr} korozyon akımını, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik tafel sabitlerini, R_p polarizasyon direncini gösterir [64].

4.2.3. 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 [63].

4.2.4. 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.

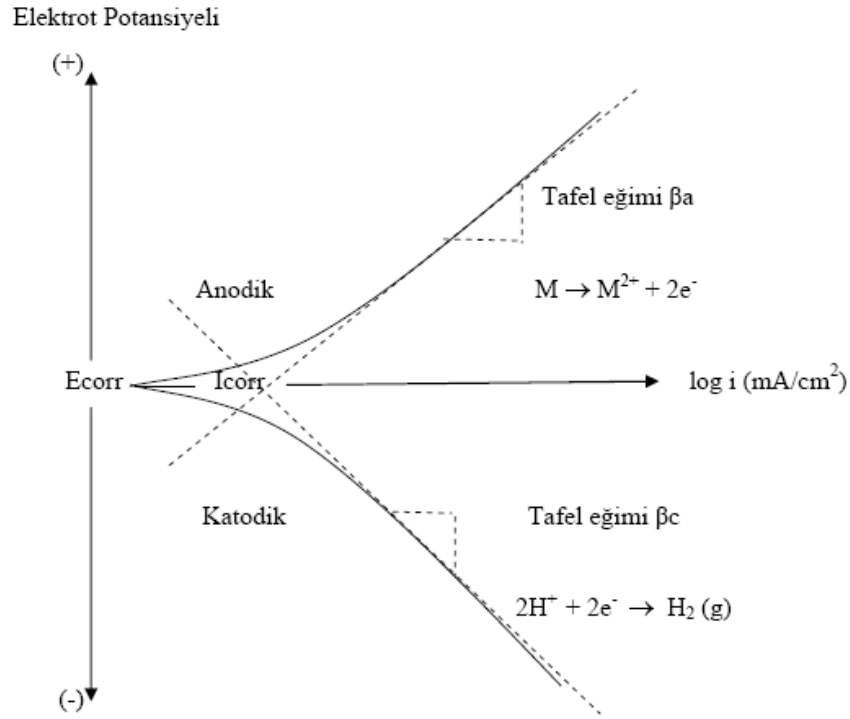
Korozyon metal ve çözelti arasında anodik ve katodik reaksiyonların oluşup dengeye gelmesiyle oluşur. Anodik reaksiyonda açığa çıkan elektron katodik reaksiyonda indirgenmede kullanılır. Bu yolla korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımı ölçülerek 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 [62].

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 [62].

Korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir. Bu eğrileri çizebilmek için, çalışılacak potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yönteme göre seçilir. Şekil 4.13'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 4.13). Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alındığında kesişen noktadaki potansiyel korozyon potansiyeli, buna karşılık gelen akım ise korozyon akımıdır. Korozyon akımı korozyon hızı hakkında bilgi verir [62].

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 [62].



Şekil 4.13. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri [62].

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 [62].

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 [63].

Metal çözünmesi akım yoğunluğunu veren eşitlik:

$$I_{anot} = i_0 \exp(\beta\eta nF/RT) \quad (4.11)$$

Bu eşitlik tekrar düzenlendiğinde:

$$\eta_{anot} = b_{anot} \log(i_{anot} / i_0) \quad \text{eşitliği ortaya çıkar.} \quad (4.12)$$

Burada b_{anot} tafel katsayısıdır:

$$b_{anot} = 2,303 RT / \beta nF \quad (\text{Anot için}) \quad (4.13)$$

Katod söz konusu olduğunda:

$$b_{anot} \rightarrow b_{katot} \quad ; \quad i_{anot} \rightarrow i_{katot} \quad \text{olacaktır [65].} \quad (4.14)$$

Katodik ve anodik reaksiyonlar bir korozyon işlemi olarak birleştirildiğinde, metal çözünümünden kaynaklı anodik akım, redüksiyon nedeniyle oluşan eşit katodik akım ile dengelenmelidir [63].

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 [63].

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 [63].

$$E_{\text{corr}} = (E_e)_{\text{anot}} + b_{\text{anot}} \log (I_{\text{corr}} / i_0) \quad (4.15)$$

$$I_{\text{corr}} = i_0 \exp [2,303 (E_{\text{corr}} - (E_e)_{\text{anot}}) / b_{\text{anot}}] \quad (4.16)$$

Ölçümlerde Gamry Potansiyostat cihazı kullanılmıştır. Potansiyostat çözeltilerdeki 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.

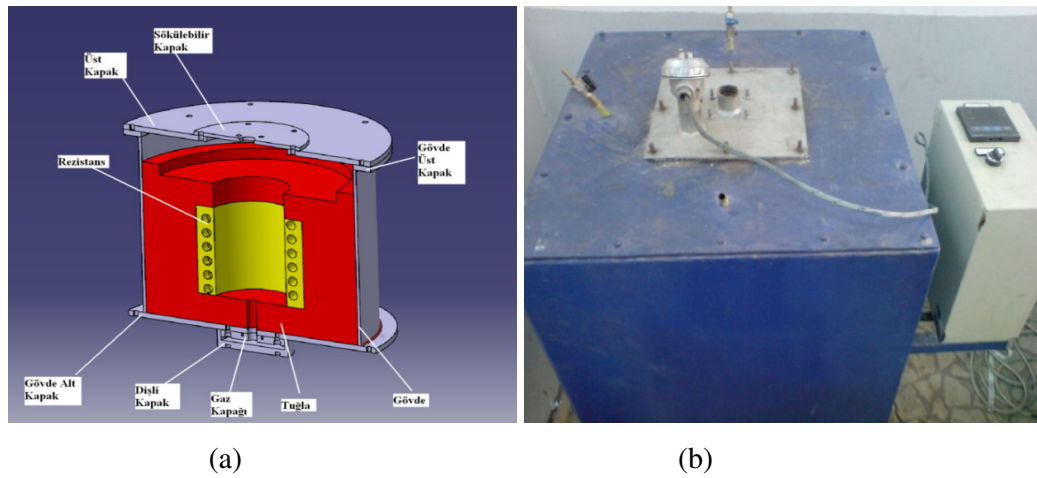
BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, yerinde Mg_2Si partikül takviyeli Al-12Si-20Mg alaşım matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine Mn ve Pb'un etkisini incelemektir. Bu çalışmada ticari Al-ağırlıkça %12 Si ingot alaşımı ve saf Mg, yerinde Mg_2Si takviyeli kompozit üretimi için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Optimum homojenleştirme ısıl işlem parametrelerinin belirlenmesi için alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımına, 300 ve 450 °C'lerde 8 saate kadar ısıl işlem uygulanmıştır. Optimum ısıl işlem parametreleri, mikrosertlik ölçümlerine göre tayin edilmiştir. Üretilen kompozit, homojenleştirme ısıl işleminden sonra metalografik inceleme, sertlik ölçümü, korozyon ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

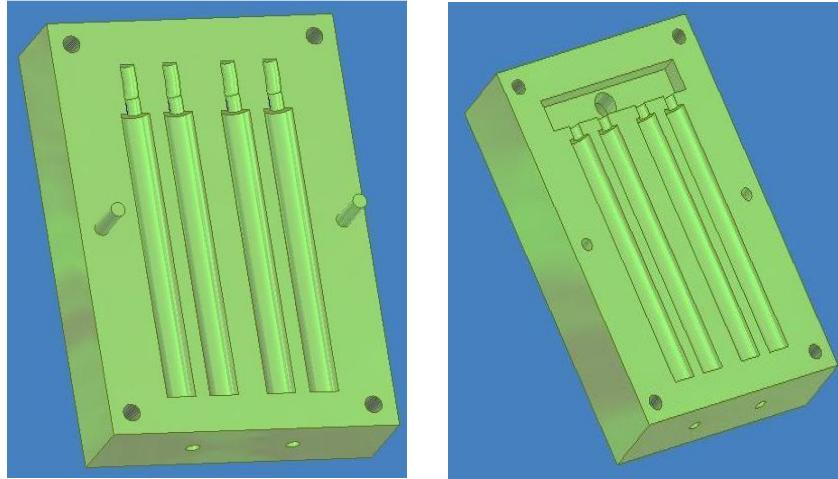
5.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ

İncelenen kompozitlerin üretimi atmosfer kontrollü 1200 °C kapasiteli elektrik rezistanslı fırında yapılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elektrik rezistanslı fırının (a) kesitten ve (b) dıştan görünümü.

Kompozit malzeme üretiminden önce ticari Al- ağırlıkça %12 Si ingot alaşımına %1, %2 ve %4 oranlarında Mn ve Pb ilave edilerek master alaşım üretilmiştir. İlave edilen alaşım elementleri saf olarak kullanılmıştır. Kompozit üretimi için daha önce hazırlanan bu master alaşımı 800 °C’de ergitilmiş ve 300 °C’de ön ısıtmaya tabi tutulmuş ağırlıkça %20 Mg, %0,05 Strontion, %0,2 kırmızı fosfor ve %0,3 NaCl+30MgCl₂+10KCl tuz karışımları bu ergiyiğe ilave edilmiştir. Yukarıda adı geçen tüm ilaveler, oksidasyon kaybını dengelemek için ağırlıkça %15 daha fazla olarak şarj edilmiştir. Ergiyik yüzeyi koruyucu madde ve Ar gazı ile kaplanmıştır. Gaz alma işlemi, sıvı alaşıma ağırlıkça %0,4 C₆Cl₆ ilave edilerek yapılmıştır. Ergiyik, çubuk şekilli ingotlar üretmek için 20 mm çapında 250 mm uzunluğunda 300 °C’deki metalik kalıba dökülmüştür. Kullanılan metalik kalıbın şematik görünümü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Dökümün yapıldığı metalik kalıbın şematik görünümü.

5.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ

Mikroyapı çalışması, standart metalografik prosedüre göre numuneleri hazırladıktan sonra optik ışık mikroskobunda (Şekil 5.3) ve taramalı elektron mikroskobunda (SEM) gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür, numuneleri 180, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla parlatma işlemini içermektedir. Mikroyapı resimleri, Leica DFC290 model kamera

sistemli Leica DM ILM model optik ışık mikroskobunda ve Jeol 6060 marka SEM cihazında, dağlanmamış numuneler üzerinden çekilmiştir. SEM Jeol 6060'da yapılan incelemeler sırasında mikroyapı görüntüde açık ve gri renkteki lekeli bölgelerden elektron difraksiyon taraması (EDS) analizleri yapılmıştır.



Şekil 5.3. Miroyapı incelemelerinde kullanılan Leica DM ILM model optik ışık mikroskobu.

Mikroyapısal bileşenlerin hacim oranı ve boyutları çizgi kesişme metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bileşenlerin hacim oranları her bir numunenin beş farklı bölgesinden alınan düşük büyütmedeki (10X) resimler ve her bir resim üzerine çizilen 10 adet çizgi üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak saptanmıştır.

5.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN XRD İNCELEMESİ

İncelenen alaşımların matrisinde bulunan fazlar, $0,07^\circ$ adım tarama boyutlu Philips marka XRD cihazında tespit edilmiştir. XRD cihazındaki sonuçlar, 20° - 150° açı aralığında ve $1^\circ/d$ tarama hızında elde edilmiştir. Radyasyon oluşturmak için Cu-K α ışını kullanılmıştır.

5.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İncelenen alaşımların kütleli sertlikleri, optimum ısı işlem parametrelerinin ve alaşım elementine bağı olarak alaşımın sertliğindeki değişimi belirlemek için, Shimadzu HMV2 mikrosertlik test cihazında, Vickers batıcı ucu ile 1000 gr batma yükü uygulanarak ölçülmüştür (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Shimadzu HMV2 mikrosertlik test cihazı.

1000 g yük altında oluşan iz, mikroyapı bileşenlerinin (matris, birincil Mg_2Si partikülleri ve diğer intermetalikler) hepsini kapladığı için kütleli sertlik olarak bilinir. Sertlik değerleri, 10 adet başarılı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

5.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYLERİ

İncelenen numunelerin korozyon deneyleri 30 g/l NaCl + 10 ml/l HCl çözeltisi içerisinde hem ağırlık kaybına hem de korozyon potansiyeli ölçümlerine göre yapılmıştır.

5.5.1. Ağırlık Kaybı Metodu İle Yapılan Deneyler

Farklı oranlarda Mn ve Pb içeren Al-12Si-20Mg alaşımlarından 12 mm çapında, 5 mm yüksekliğinde silindirik şekilli numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, 3 mm çapında delik açılarak korozyona dayanıklı naylon ipliklerle bağlanıp çözelti içerisine daldırılmıştır. Korozyon deneyi öncesinde numunelerin tüm yüzeyleri metalografik prosedüre uygun olarak 1000 mesh zımparaya kadar zımparalanmış ve deney öncesi numuneler saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş (Şekil 5.5) ve ardından alkol ile durulanarak kurutulmuştur.



Şekil 5.5. Numune temizleme işlemlerinde kullanılan MBTU marka ultrasonik temizleme cihazı.

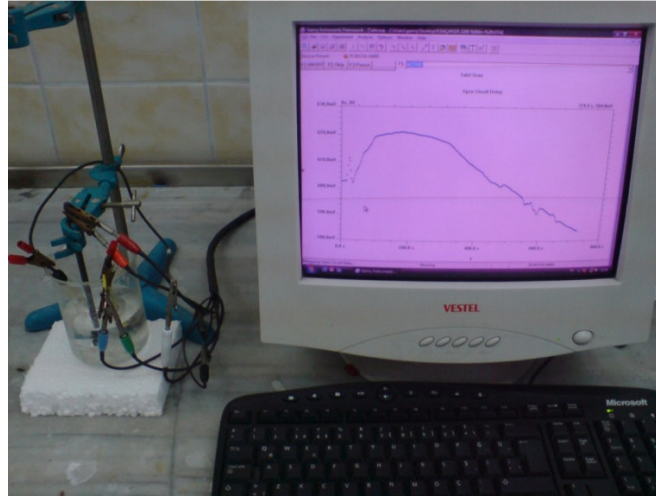
Çözelti hacminin numune yüzey alanına oranı yaklaşık olarak 175 ml/cm^2 'dir. Numunelerin ağırlık kayıpları, 2 saat aralıklarla toplam 24 saat süre içerisinde 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide (Şekil 5.6) ölçülmüştür. Deney sonuçları, numunelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına göre g/mm^2 cinsinden değerlendirilmiştir.



Şekil 5.6. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik tartı.

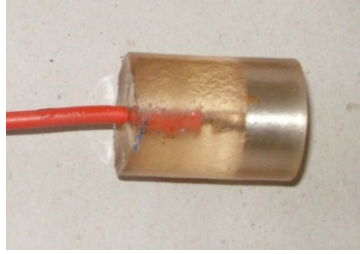
5.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Deneyler

Potansiyodinamik korozyon deneyleri, DC105 Korozyon Analiz yazılımına sahip bilgisayar kontrollü Gamry model PC4/300mA potansiyostat/galvonostat cihazı (Şekil 5.7) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



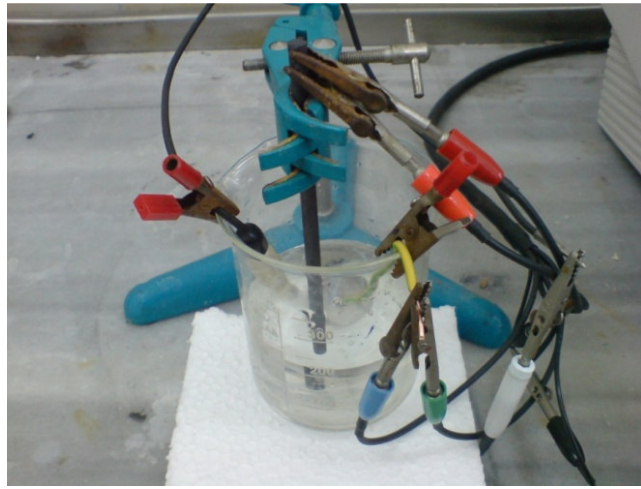
Şekil 5.7. Potansiyodinamik/Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.

Korozyon deney numuneleri (çalışma elektrotu) Şekil 5.8.'de 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 1000 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 5.8. Korozyon deneylerinde kullanılan çalışma elektrotu.

Deney hücresi olarak 400 ml beher kap kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmış olup deney hücresi içerisine, $0,785 \text{ cm}^2$ sabit yüzey alanına sahip çalışma elektrotu, karşı elektrot görevini yapan 6 mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Karbon elektrot ile çalışma elektrotu yüzeyi karşılıklı gelecek şekilde, referans elektrot ise çalışma elektrotuna mümkün olduğunca yakın bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.9).



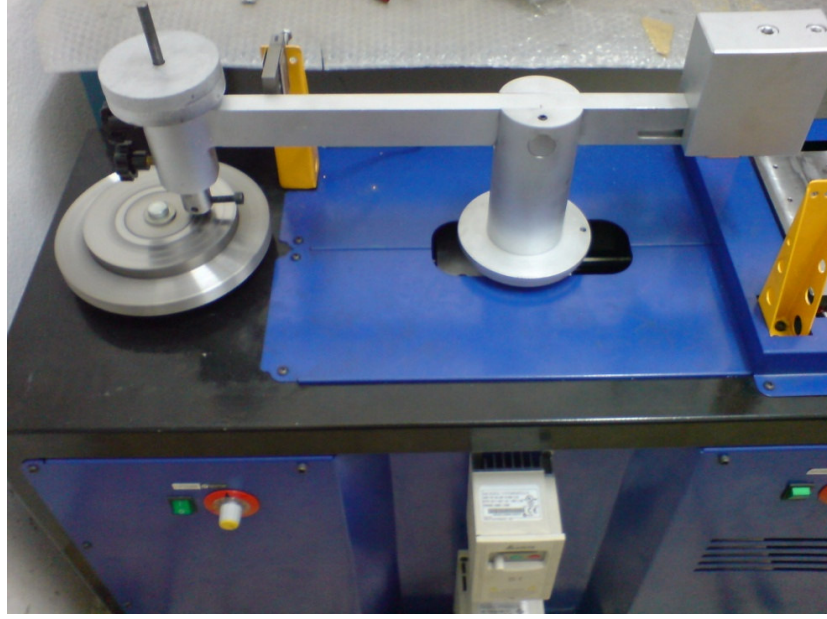
Şekil 5.9. Statik korozyon deney hücresi.

Korozyon deneyleri sırasında, elektrolit içine çalışma elektrotunun ve referans elektrotun daldırılmasından itibaren ilk 45 dakika süreyle ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin değişimi, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline ulaştıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri, -1 V'tan +1 V'a kadar tarama aralığında, 1 mV/s tarama hızında ve katodikten anodik 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 yapılarak polarizasyon eğrilerinin güvenilirliği tespit edilmiştir.

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 ve SEM ile incelenmiştir.

5.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEYLERİ

İncelenen alaşımların kuru ortam aşınma deneyleri pim üzeri disk tipi aşınma cihazında yapılmıştır (Şekil 5.10). İncelenen numunelerin aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak 59 HRC sertliğine sahip paslanmaz çelik disk ve 10 mm çapında 20 mm yüksekliğinde deney numuneleri kullanılmıştır.



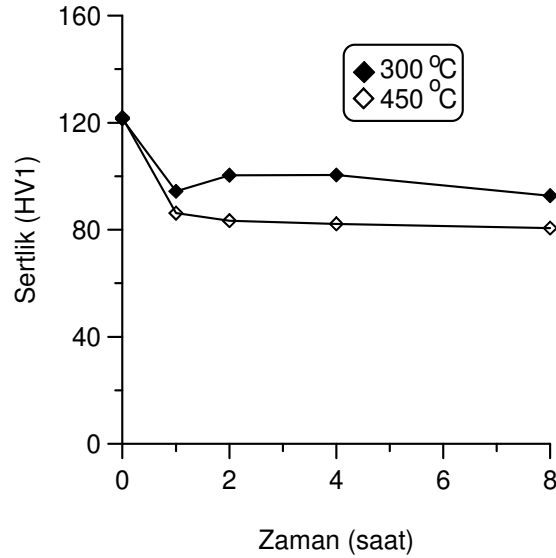
Şekil 5.10. Pim üzeri disk tipi aşınma cihazı.

Numuneler, 3N, 5N ve 20N yük altında, 2000 ve 4000 m kayma mesafelerinde ve 0,5 m/s kayma hızında test edilmiştir. Numunelerin ağırlıkları, deney öncesi ve sonrası 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide ölçülmüş ve deney sonuçları ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için numune yüzeyleri optik mikroskopta incelenmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, 20 mm çap ve 250 mm uzunluktaki çubuk halinde dökülen Al-12Si-20Mg, Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının homojenleştirme ısıl işlem parametrelerini belirlemek amacıyla Al-12Si-20Mg alaşımına 300 ve 450 °C’lerde homojenleştirme ısıl işlemi uygulanarak alaşımın sertliğindeki değişim incelenmiştir (Şekil 6.1). Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak sertliğin değişimi göz önünde bulundurularak döküm halindeki numunelere uygulanacak homojenleştirme ısıl işlem parametresi için, homojenleştirme sıcaklığı 300 °C ve bekletme süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

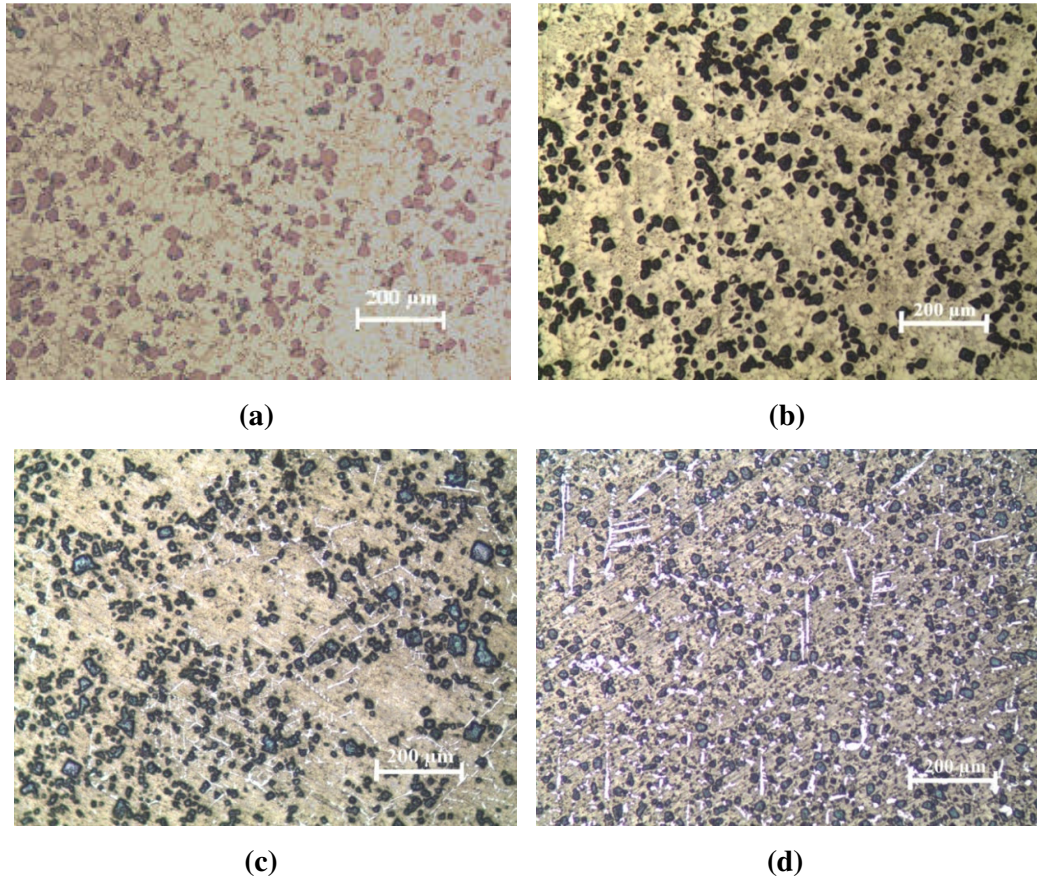


Şekil 6.1. İki farklı sıcaklıkta homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmış Al-12Si-20Mg alaşımının zamana göre sertlik değişim grafiği.

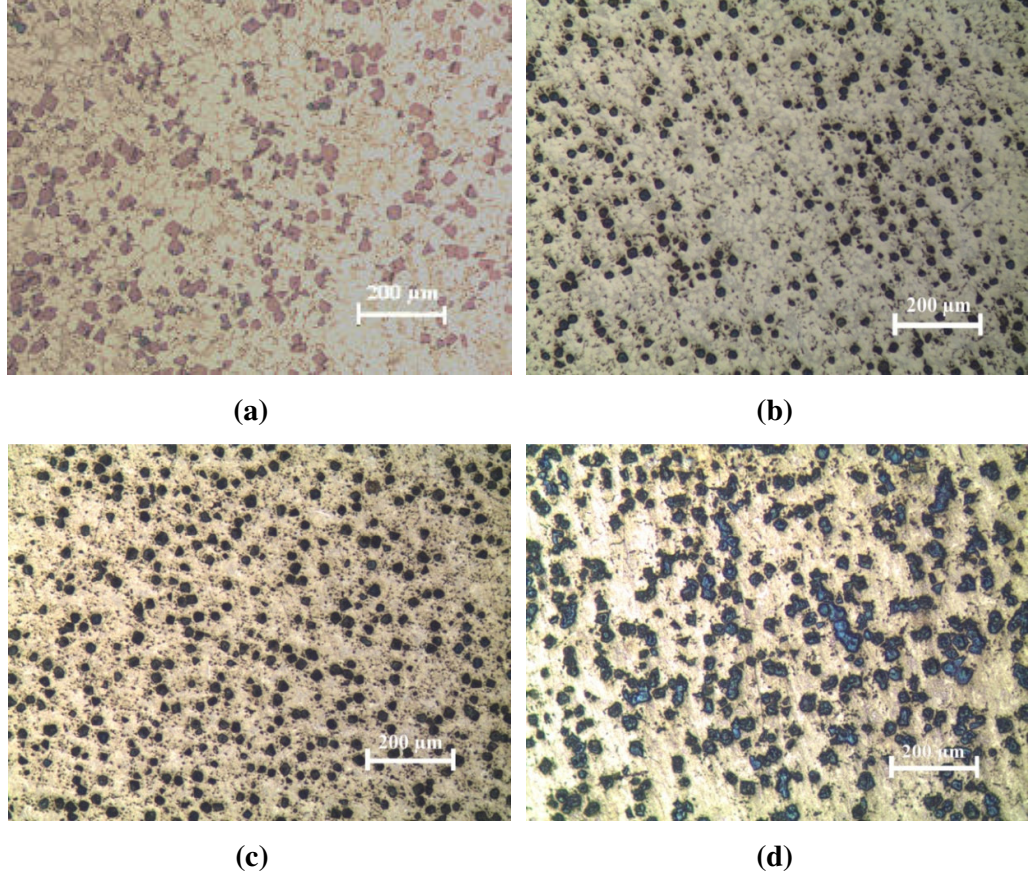
6.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI SONUÇLARI

Bu çalışmada 300 °C’de 4 saat homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulmuş numunelerin düşük büyütmedeki optik ışık mikroskobu görüntüleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te sırasıyla Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımları için

verilmiştir. Şekil 6.2-Şekil 6.3'ten görüldüğü gibi, incelenen alaşımların mikroyapısı köşeli (poligonal) koyu renkli partikülleri, intermetalikleri ve matrisi içermektedir. Verilen optik ışık mikroyapı fotoğrafları, poligonal partiküllerin yapıda oldukça homojen olarak dağılmış olduğunu ortaya koymaktadır. Al-12Si-20Mg alaşıma yapılan Mn ilavesi ile poligonal şekilli Mg_2Si partiküllerinin gerek miktarı ve gerekse boyutunda çok düşük oranda azalma gözlenirken, %1 ve %2 Pb ilavesi poligonal partikül miktarını ve boyutunu düşürmüştür. Alaşıma ilave edilen daha fazla Pb (%4), Mg_2Si partikül miktarını ve boyutunu belirgin oranda artırmıştır.

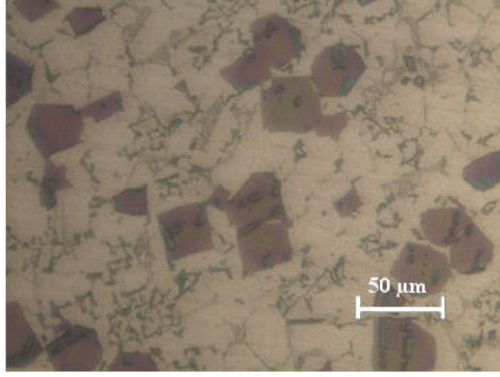


Şekil 6.2. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarına ait optik mikroyapı görünüşleri.

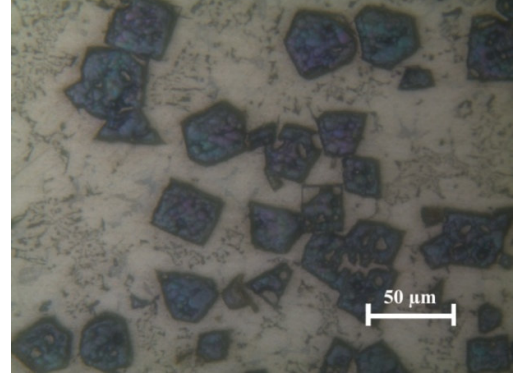


Şekil 6.3. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.

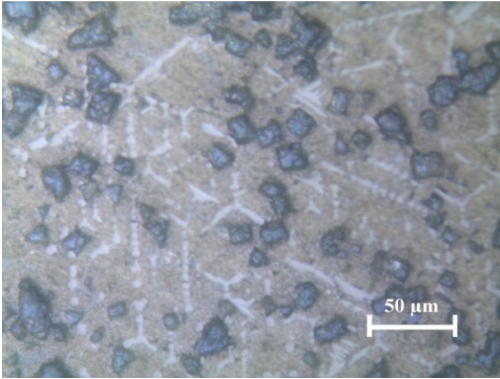
İncelenen alaşımların yüksek büyütmedeki optik ışık mikroyapıları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sırasıyla Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımları için verilmiştir. Alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında köşeli (poligonal) koyu gri renkli partikülün yanı sıra, gri renkli çin yazısı şekilli faz, açık gri renkli iğnesel faz ve beyaz renkli matris yer almaktadır. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının mikroyapısında, alaşımın artan Mn içeriği ile açık parlak şekilsiz ince ve kaba faz oluşurken, Al-12Si-20Mg alaşımının matrisinde alaşıma yapılan Pb ilavesi ile ince iğnesel şekilde kurşun fazının oluştuğu gözlenmiştir.



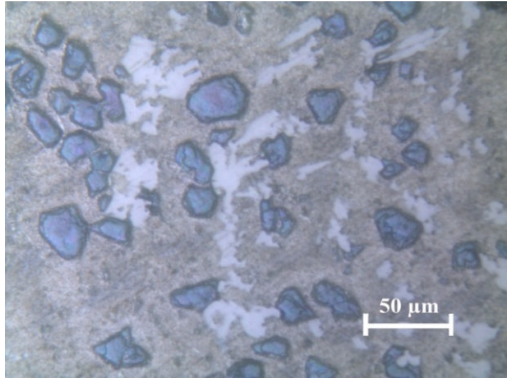
(a)



(b)

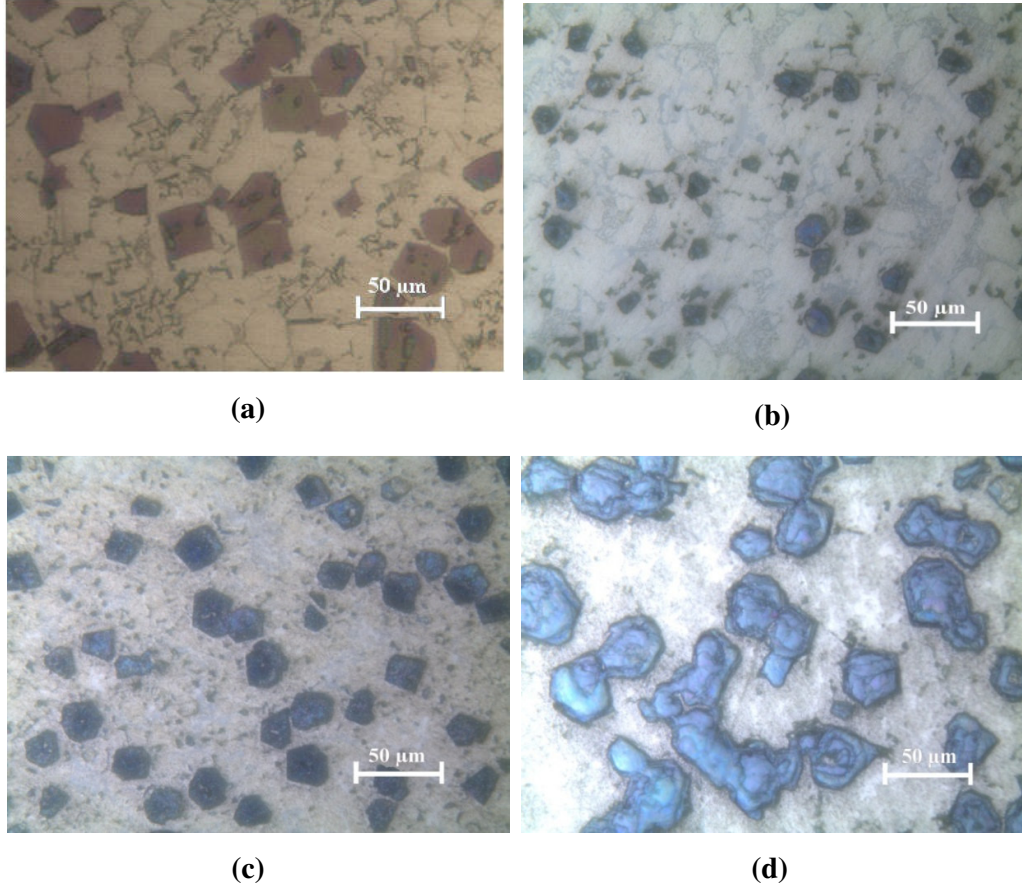


(c)



(d)

Şekil 6.4. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarına ait optik mikroyapı görünümleri.

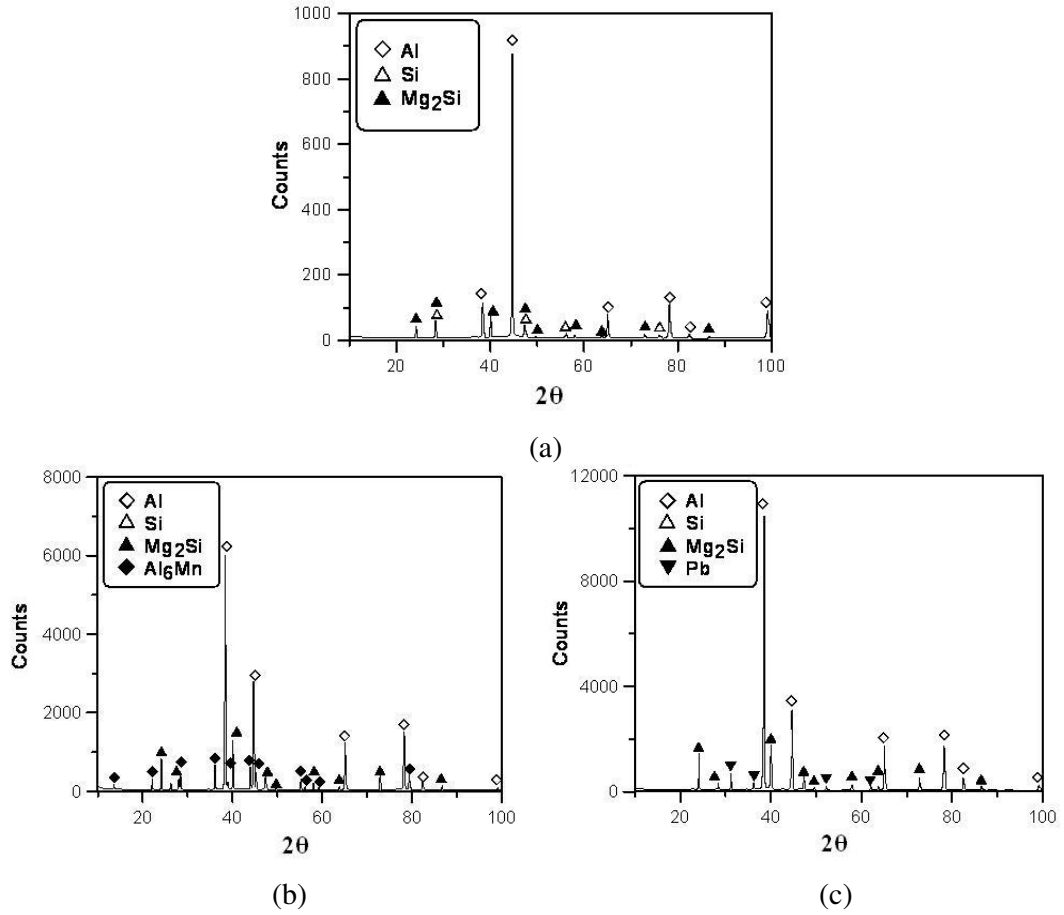


Şekil 6.5. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.

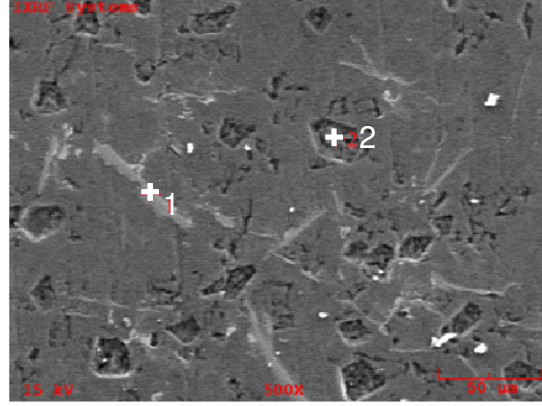
6.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLEŞENLERİNİN YAPI ANALİZ SONUÇLARI

İncelenen Al-12Si-20Mg, Al-12Si-20Mg-4Mn ve Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarının mikroyapısında bulunan bileşenlerin yapı analizi, XRD testi ve SEM'de gerçekleştirilen EDS testleri ile yapılmıştır. İncelenen alaşımların XRD ve EDS analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımının XRD sonuçları, Al (matris), Si ve Mg_2Si fazının oluştuğunu ortaya koymaktadır. Literatürde, bu çalışma ile uyumlu olarak bu fazların oluştuğu belirtilmiştir [69]. Ayrıca Şekil 6.6, Al-12Si-20Mg alaşımına %4 oranında ilave edilen Mn alaşım elementi ile Al_6Mn fazının oluştuğunu göstermektedir. EDS analizleri bu fazların ilgili alaşımın mikroyapısında hangi renk ve şekildeki fazların olabileceğini göstermiştir (Şekil 6.7-6.9 ve Çizelge 6.1-6.3). Si fazı, yalnız alaşım

elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımında görülürken, diğer alaşımların mikroyapısında Si fazına rastlanılmamıştır. Çokgen şekilli koyu renkli fazın ve Çin yazısı şekilli ötektik yapının ise Mg_2Si olduğunu EDS analizleri belirtmektedir. Buna ilave olarak, Al_6Mn ve Pb fazları verilen elementlerce zengin ilgili mikroyapı fotoğrafı üzerinde sırasıyla açık renkli şekilsiz ince ve kaba faza, açık renkli çok ince faza karşılık gelmektedir.



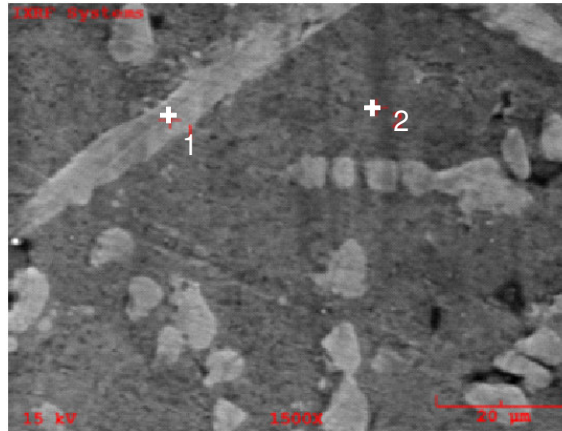
Şekil 6.6. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-4Mn ve (c) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarına ait XRD sonuçları.



Şekil 6.7. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg alaşımına ait SEM görünümü.

Çizelge 6.1. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.

EDS Analiz Sonuçları		
Element	% Ağırlık	
	1 No'lu nokta	2 No'lu nokta
Al	72,8	67,0
Si	26,9	12,3
Mg	0,25	11,5



Şekil 6.8. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımına ait SEM görünümü.

Çizelge 6.2. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.

EDS Analiz Sonuçları		
Element	% Ağırlık	
	1 No'lu nokta	2 No'lu nokta
Al	65.2	67.2
Si	11.6	31.8
Mg	0.28	0.8
Mn	23.0	0.2



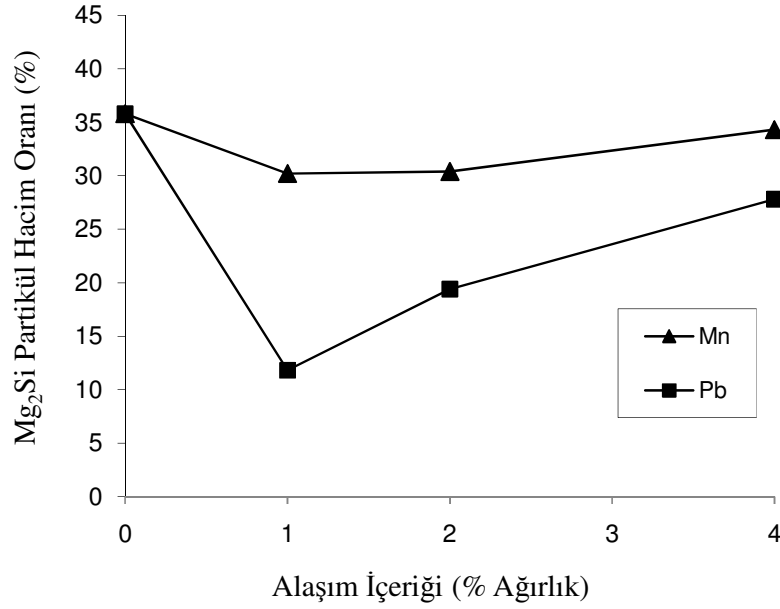
Şekil 6.9. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımına ait SEM görünümü.

Çizelge 6.3. EDS analizi yapılmış Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımına ait görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.

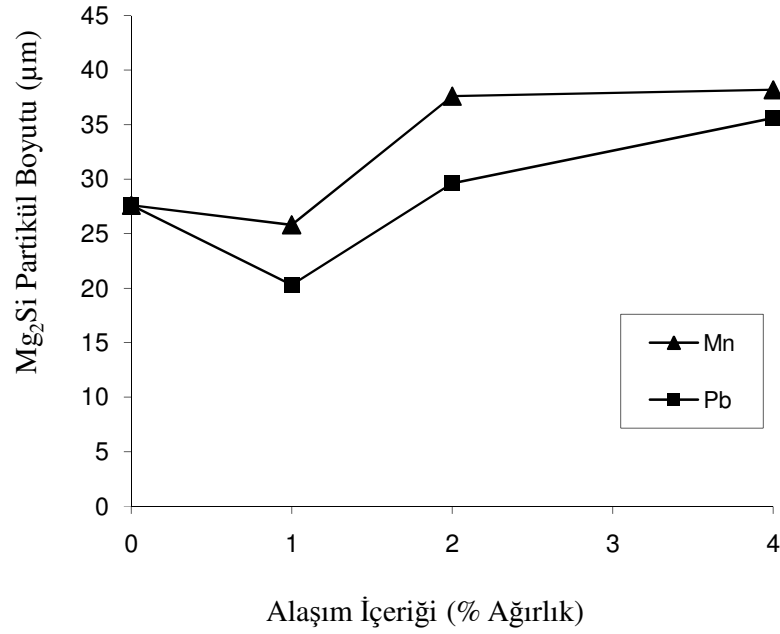
EDS Analiz Sonuçları		
Element	% Ağırlık	
	1 No'lu nokta	2 No'lu nokta
Al	38.0	67.0
Si	7.5	12.5
Mg	0.3	11.8
Pb	44.7	-

6.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN GÖRÜNTÜ ANALİZ SONUÇLARI

İncelenen mikroyapılarda gözlenen poligonal şekilli Mg_2Si partiküllerinin % hacim oranı ve boyutunun, alaşım elementi içeriği ile değişimi Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de çizilmiştir. Gerek Mg_2Si partikül hacim oranı ve gerekse partikül boyutu %1 oranında alaşım elementi ilavesi ile düşüş göstermiştir. Partikül hacim oranı ve boyutunda %1 Mn ilavesi ile çok az miktarda azalma meydana gelmiştir. %4 oranında Mn ve Pb ilavesi ile partikül hacim oranı ve boyutu yükselişe geçmiştir. %1’in üzerinde Mn ve Pb ilavesi partikül boyutunu arttırmıştır.



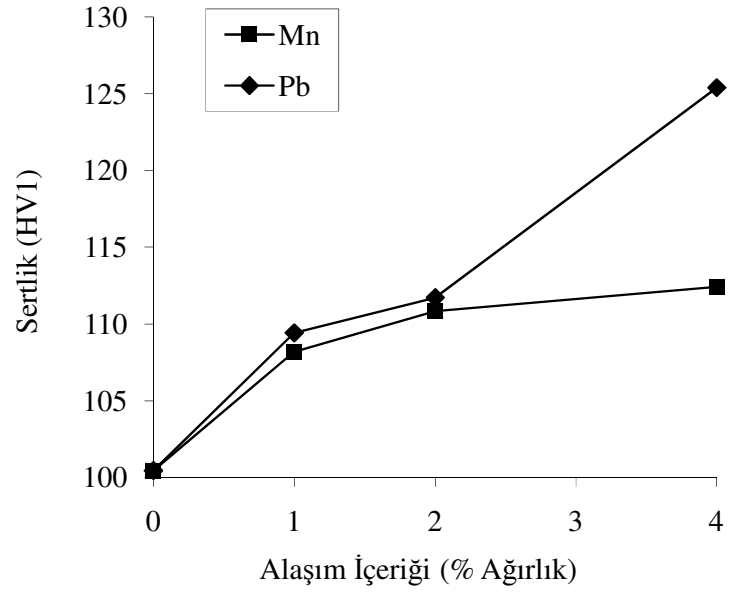
Şekil 6.10. Alaşım elementlerinin Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg_2Si partiküllerinin hacim oranına etkisi.



Şekil 6.11. Alaşım elementlerinin Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg_2Si partiküllerinin boyutuna etkisi.

6.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

İncelenen alaşımların kütleli sertlikleri (HV1), Şekil 6.12’de alaşım elementi içeriğine bağlı olarak verilmiştir. Sertlik değerleri, alaşım elementi ilavesi ile artış göstermiştir. %1 Mn ilavesi ile sertlikte artış gözlenirken, %2 ve %4 Mn ilavesi ile sertlik çok fazla değişmemiştir. %1 ve %2 oranında Pb ilavesi ise, sertlik artışında Mn ile yaklaşık olarak aynı sonuçları verirken, %4 Pb ilavesi ile sertlikte belirgin bir artış gözlenmiştir.



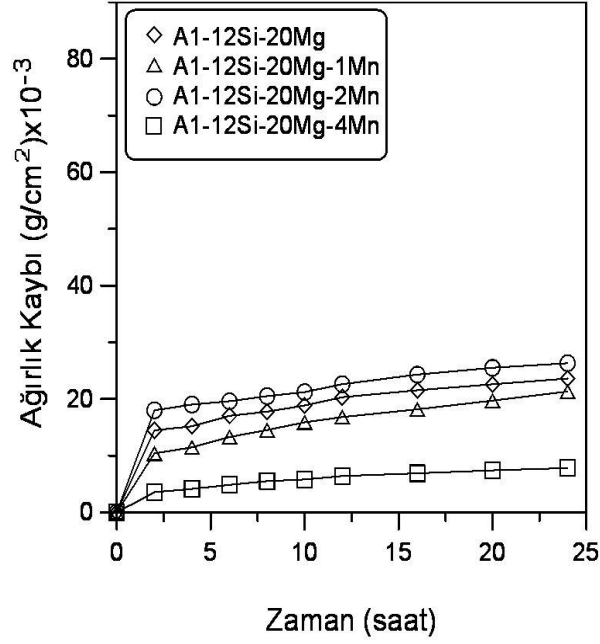
Şekil 6.12. Alaşım elementi içeriğinin Al-12Si-20Mg alaşımının sertliğine etkisi.

6.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI

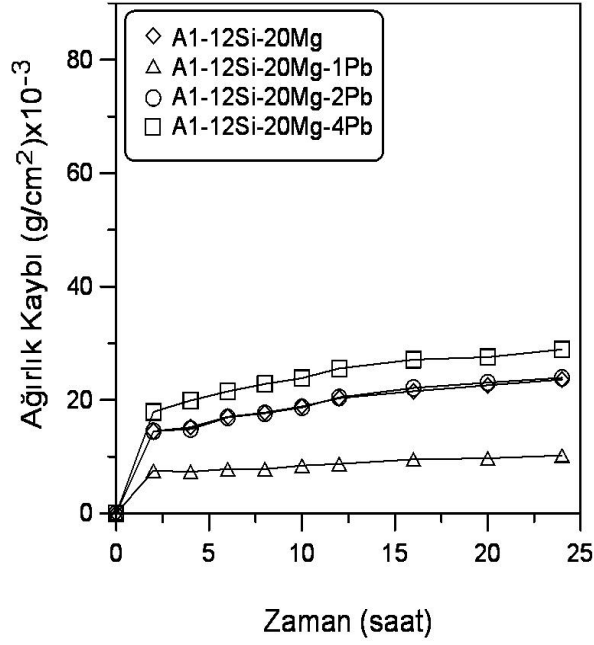
Farklı oranlarda Mn ve Pb elementleri içeren Al-12Si-20Mg alaşımlarının korozyon deneyleri 30 g/l NaCl + 10 ml/l HCl özeltisi içerisinde yapılmıştır. Zamana göre ağırlık kayıpları ve potansiyodinamik polarizasyon ile korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu ölçülerek Al-12Si-20Mg alaşımlarının korozyon dayanımına Mn ve Pb elementlerinin etkisi incelenmiştir.

6.5.1. Ağırlık Kaybı llerek Yapılan Korozyon Deneyi Sonuçları

30 g/l NaCl + 10 ml/l HCl solüsyonunda korozyon davranışları incelenen alaşımların zamana bağlı olarak ağırlık kaybı lmleri Şekil 6.13'te verilmiştir. İncelenen alaşımların ağırlık kayıpları, ilk 2 saat içinde çok hızlı iken, 2 saatten sonra 24 saate kadar kararlı bir artış sergilemiştir. Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımının ağırlık kaybının diğer alaşımlardan daha az olduğu Şekil 6.13'te görülmektedir.



(a)

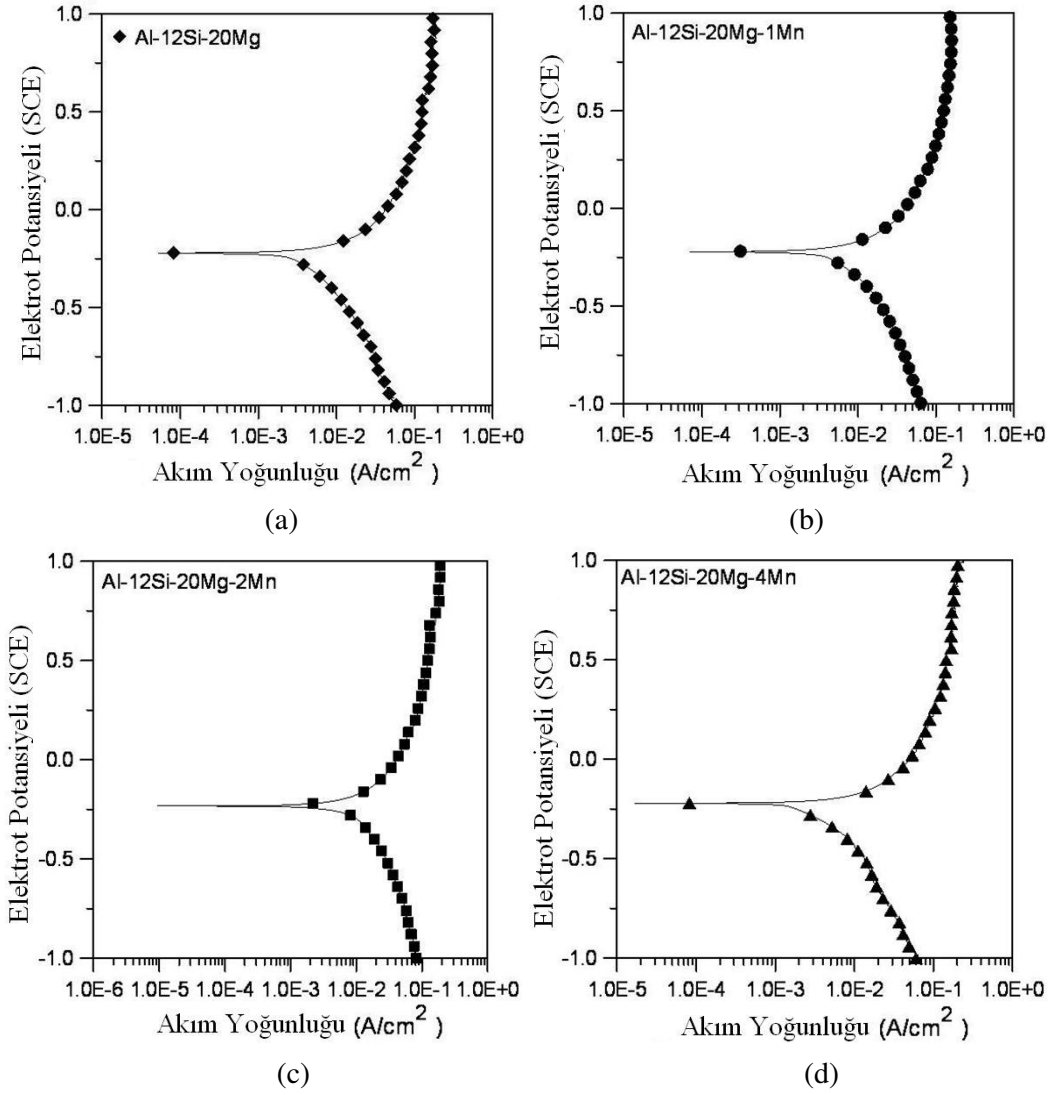


(b)

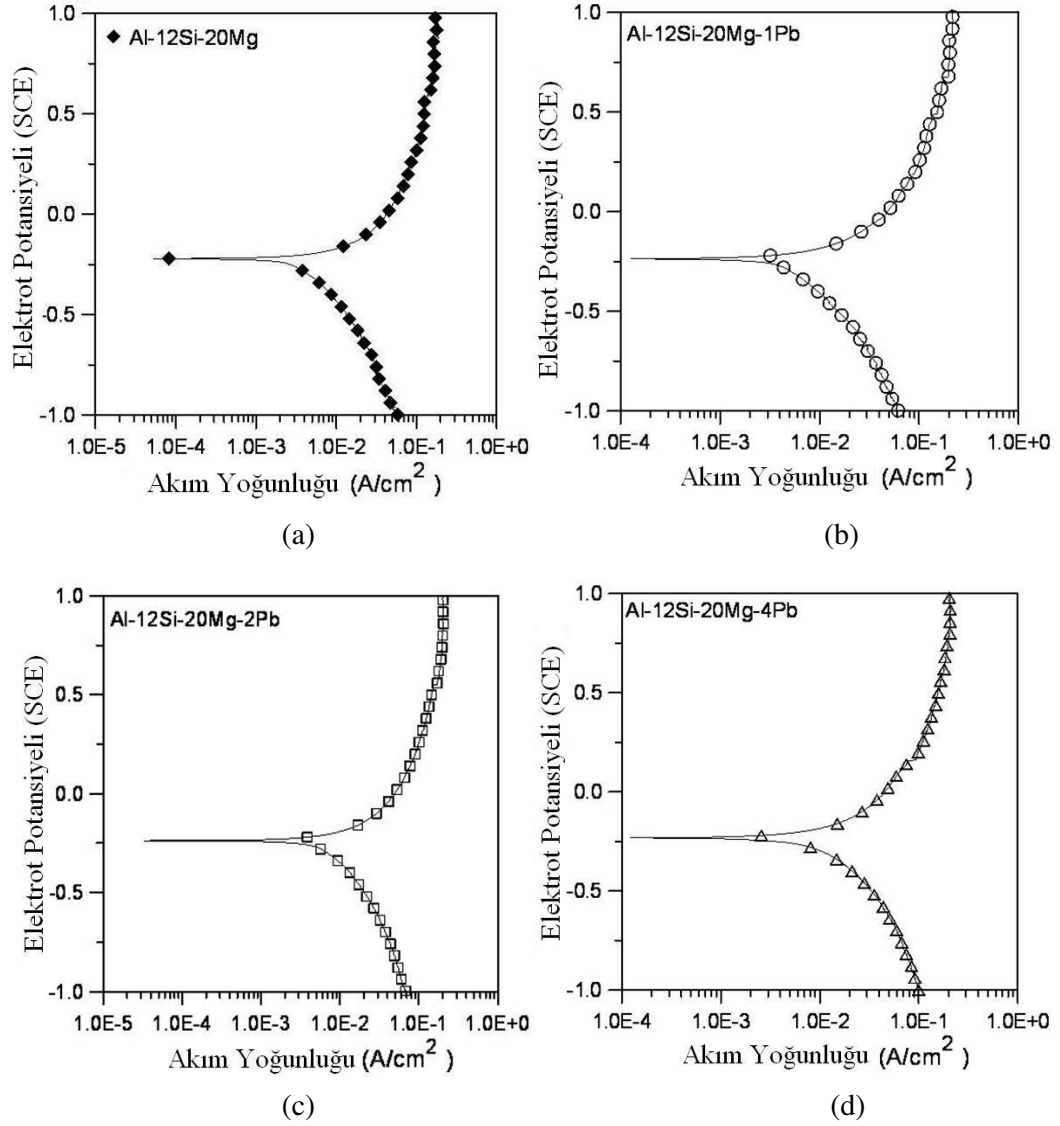
Şekil 6.13. (a) Al-12Si-20Mg-XMn ve (b) Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki zamana bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişimi.

6.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları

Şekil 6.14-Şekil 6.15'te, Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Mn ve Pb'un 30 g/l NaCl + 10 ml/l HCl içeren solüsyondaki potansiyodinamik polarizasyon deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.14. (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Mn, (c) Al-12Si-20Mg-2Mn ve (d) Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.

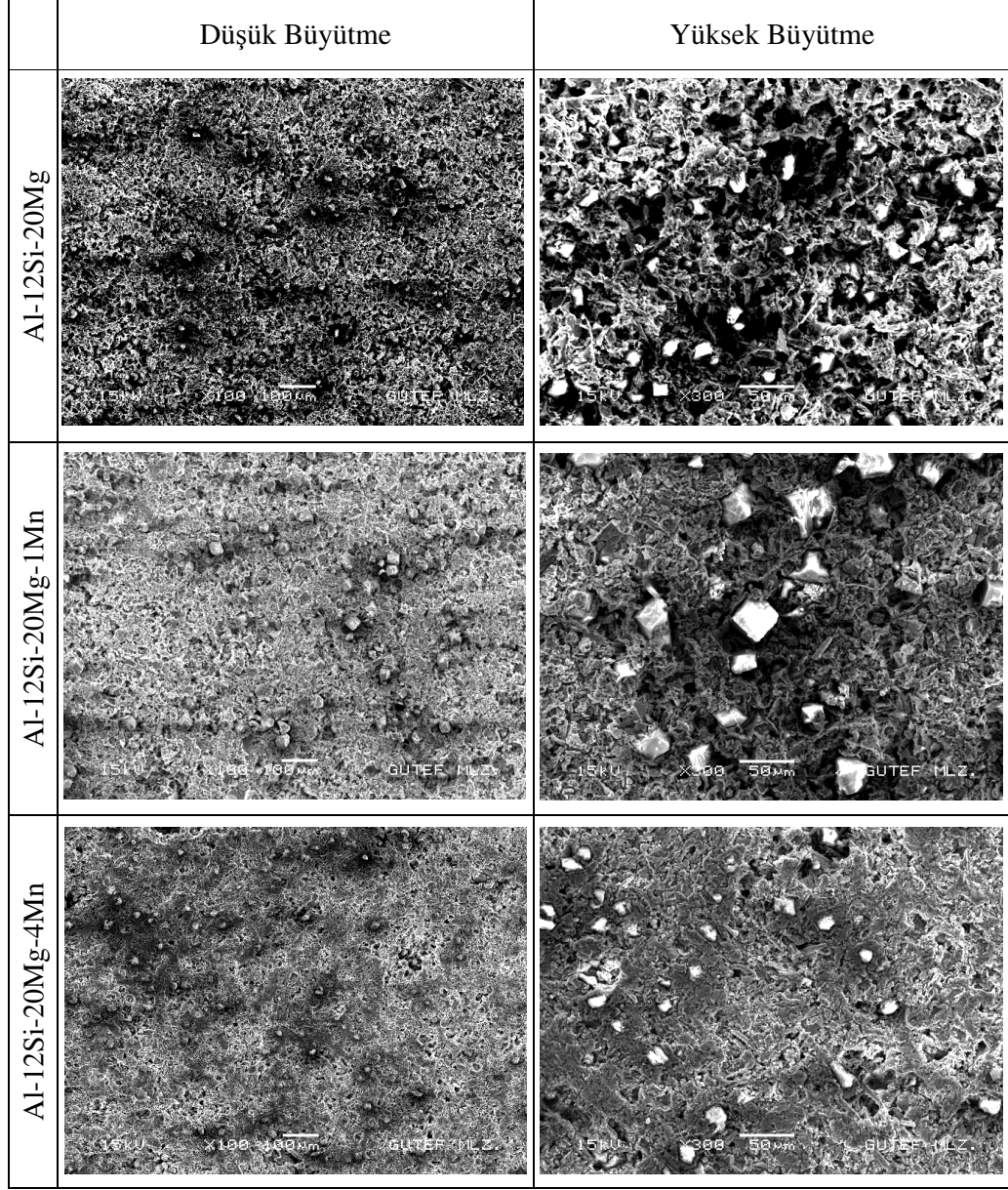


Şekil 6.15. (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Pb, (c) Al-12Si-20Mg-2Pb ve (d) Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.

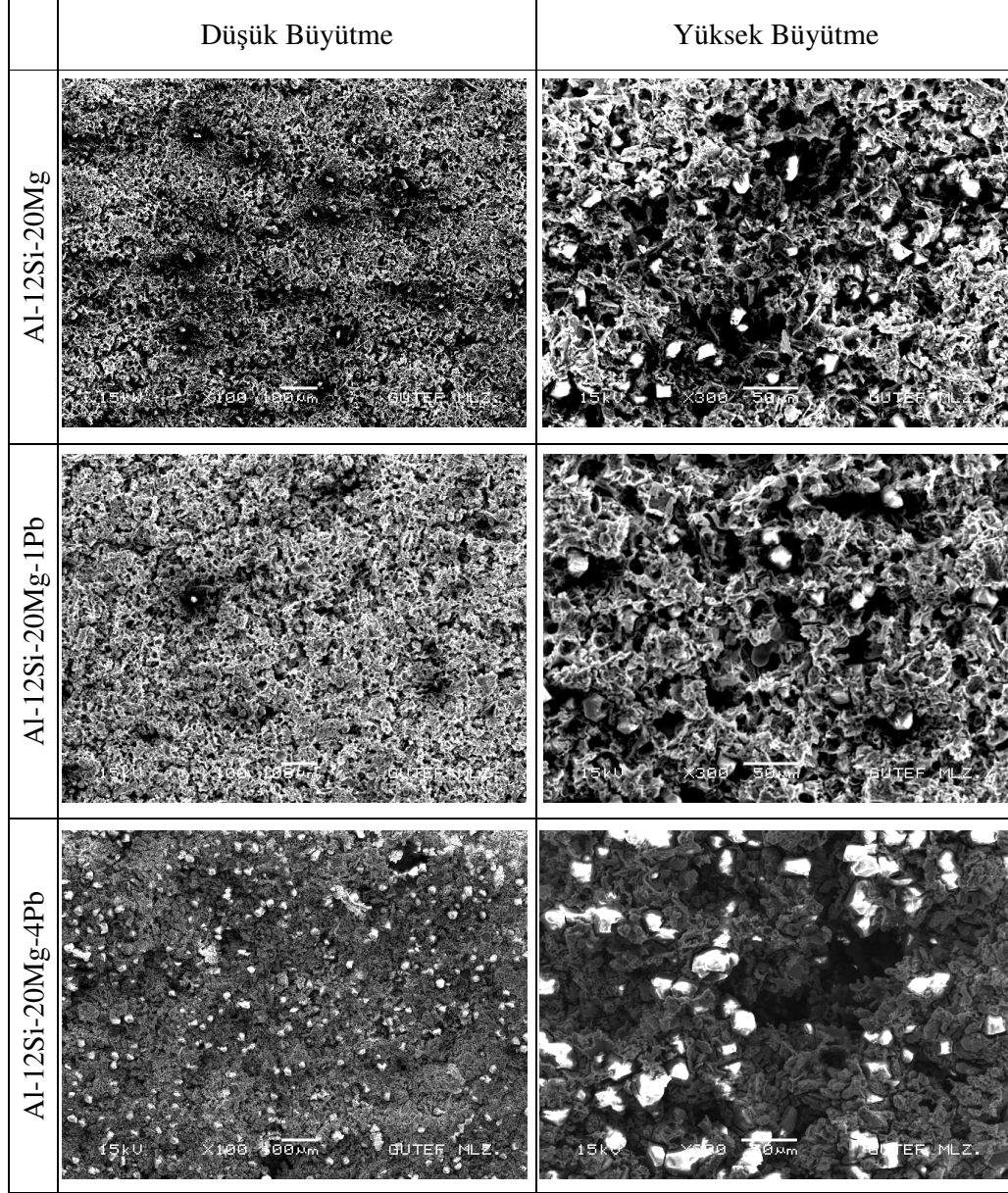
Elektrot potansiyeli/akım yoğunluğu polarizasyon eğrilerinde, incelenen tüm alaşımların korozyon potansiyeli hemen hemen sabit iken korozyon akımları alaşım elementi tipi ve içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir. En düşük korozyon akımına Al-12Si-20Mg-4Mn alaşımı sahip iken, Al-12Si-20Mg-4Pb alaşımının korozyon akımı diğer alaşımlardan yüksektir.

6.5.3. Korozyon Yüzey ve Yüzeyaltı Görüntülerinin İncelenmesi

İncelenen numunelerin ağırlık kaybı korozyon deneyleri sonrası SEM’de çekilmiş yüzey görüntüleri Şekil 6.16-Şekil 6.17’de verilmiştir. Korozyon hasarı, homojen olarak lineer bir şekilde matrisin korozyona uğraması ile gerçekleşmiş olup korozyona uğramış numunelerin yüzey pürüzlülükleri alaşım elementi içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının korozyona uğramış yüzey pürüzlülüğü alaşımın Mn içeriğinin artması ile bir miktar azalmıştır. Korozyona tabi tutulmuş Al-12Si-20Mg-XPb alaşımların yüzeyleri, Al-12Si-20Mg-XMn alaşımların yüzeylerinden daha pürüzlü olup alaşımın Pb içeriğinin artması ile pürüzlülük artmıştır.



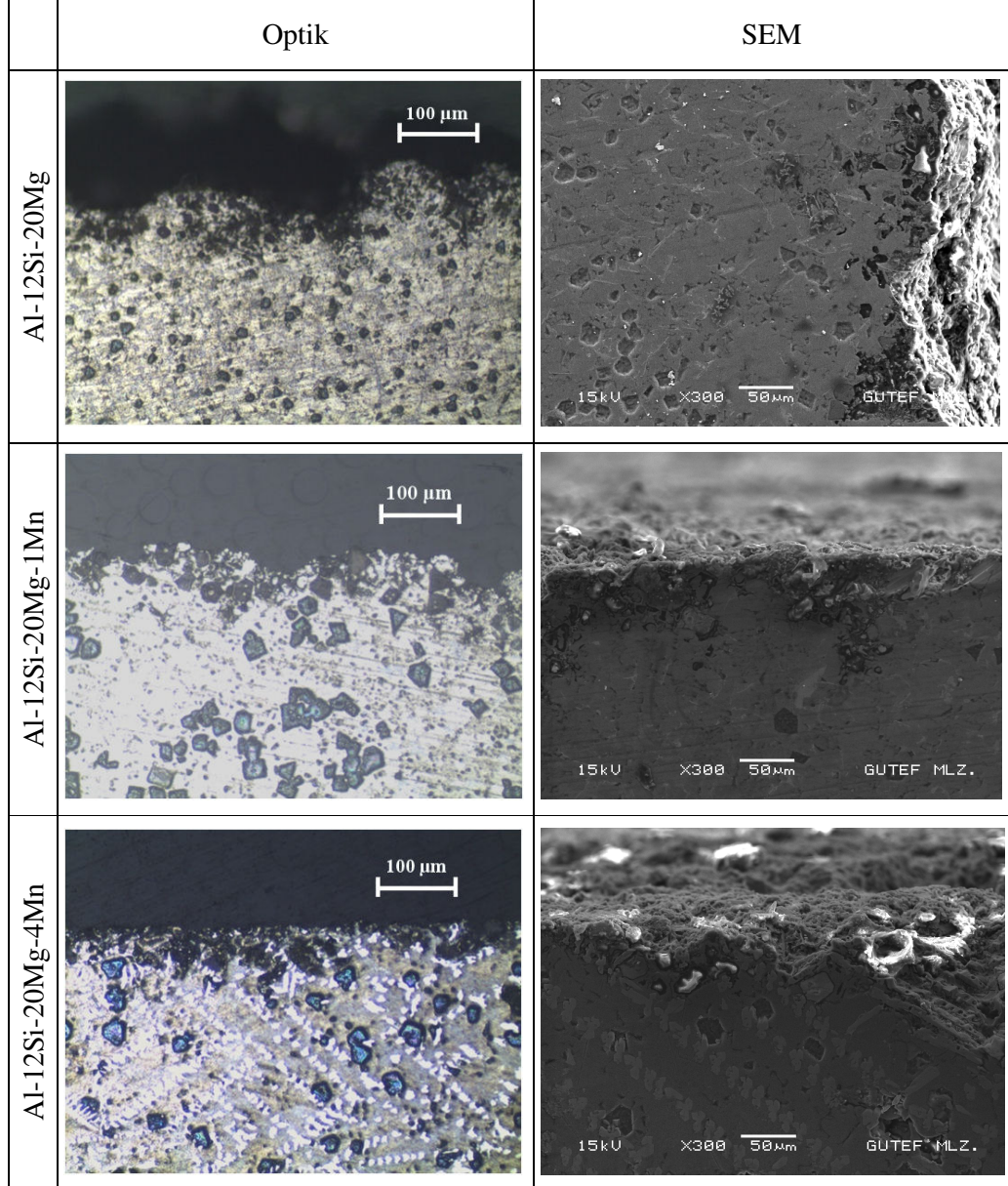
Şekil 6.16. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri.



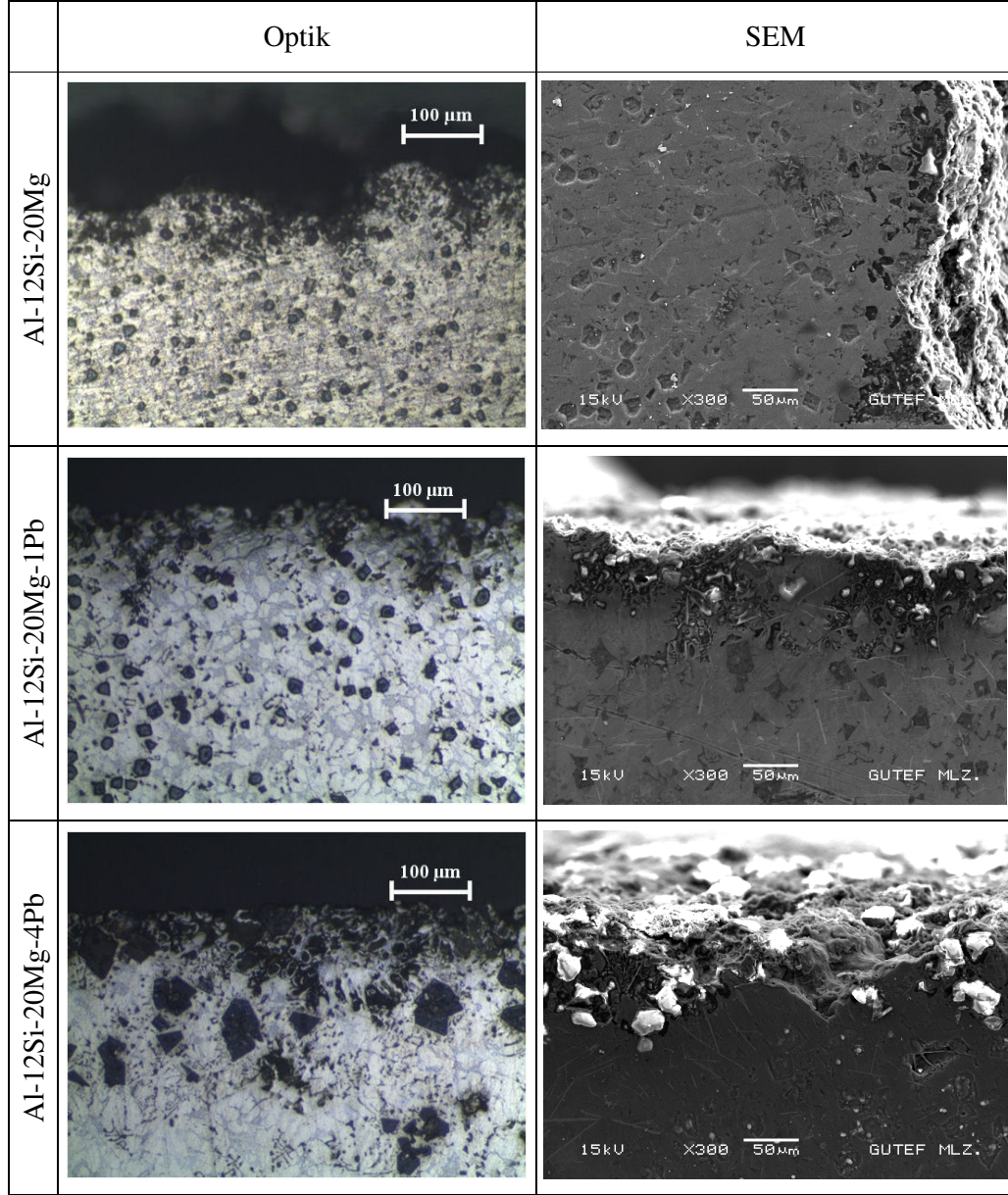
Şekil 6.17. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri.

Korozyon davranışları incelenen numunelerin optik ışık mikroskopunda çekilmiş 20X büyütmedeki yüzeyaltı optik ve SEM görüntüleri Şekil 6.18-Şekil 6.19'da verilmiştir. Korozyona uğramış alaşımların yüzey altı görünümüleri, korozyonun homojen yani genel tipte ilerlediği desteklemekte ve ayrıca korozyon mekanizması hakkında bilgi vermektedir. Korozyon, yapı içerisinde çökelmiş intermetaliklerin çevresinde matrisin hızlı bir şekilde çözünmesi ile başlamakta ve intermetaliklerle

birlikte yüzeyde malzeme kaybının gerçekleşmesi ile sonuçlanmaktadır. Al-12Si-20Mg alaşımına Mn ilavesi ile korozyon yüzeyi daha düzgün bir şekilde ilerlerken Pb ilavesi ile daha pürüzlü bir korozyon yüzeyi oluşmaktadır.



Şekil 6.18. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri.

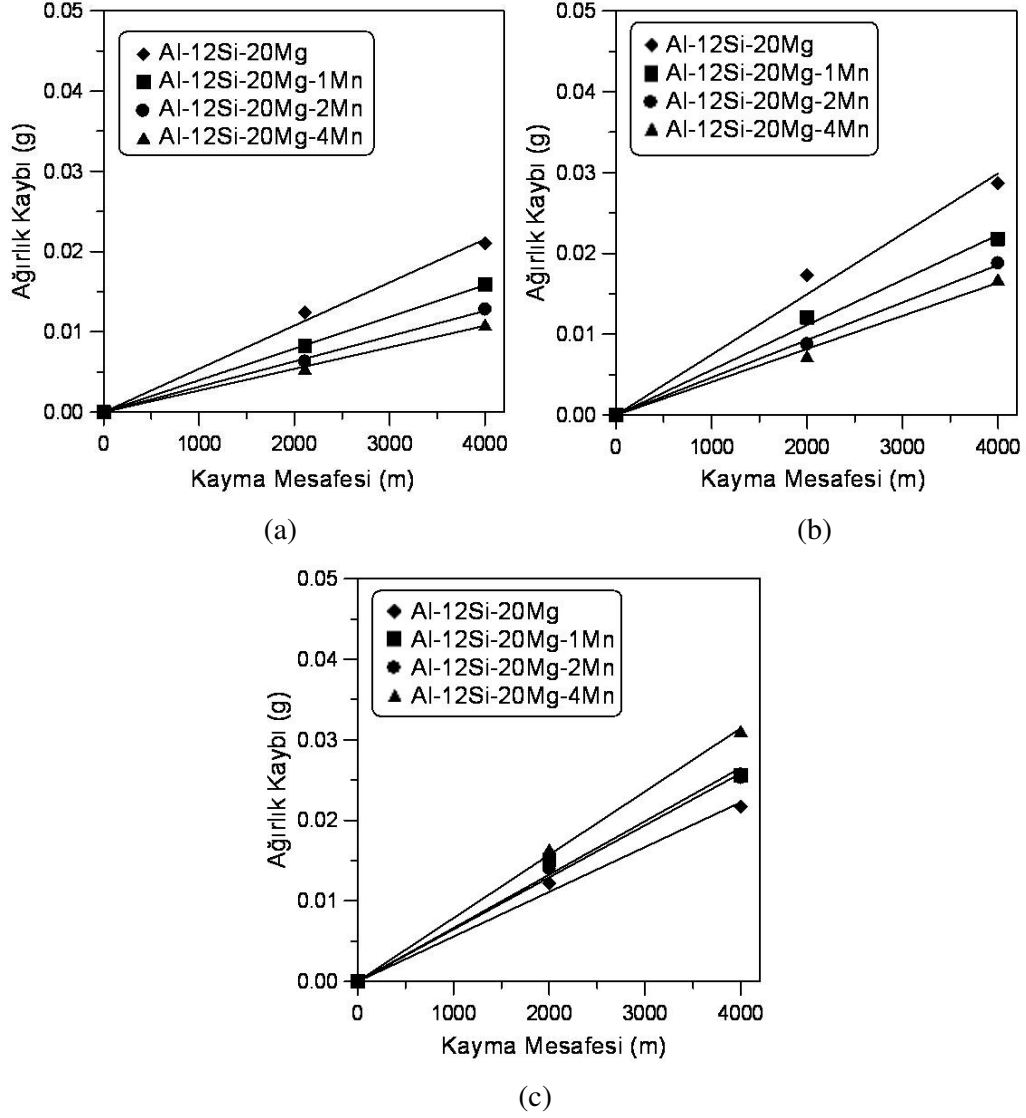


Şekil 6.19. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri.

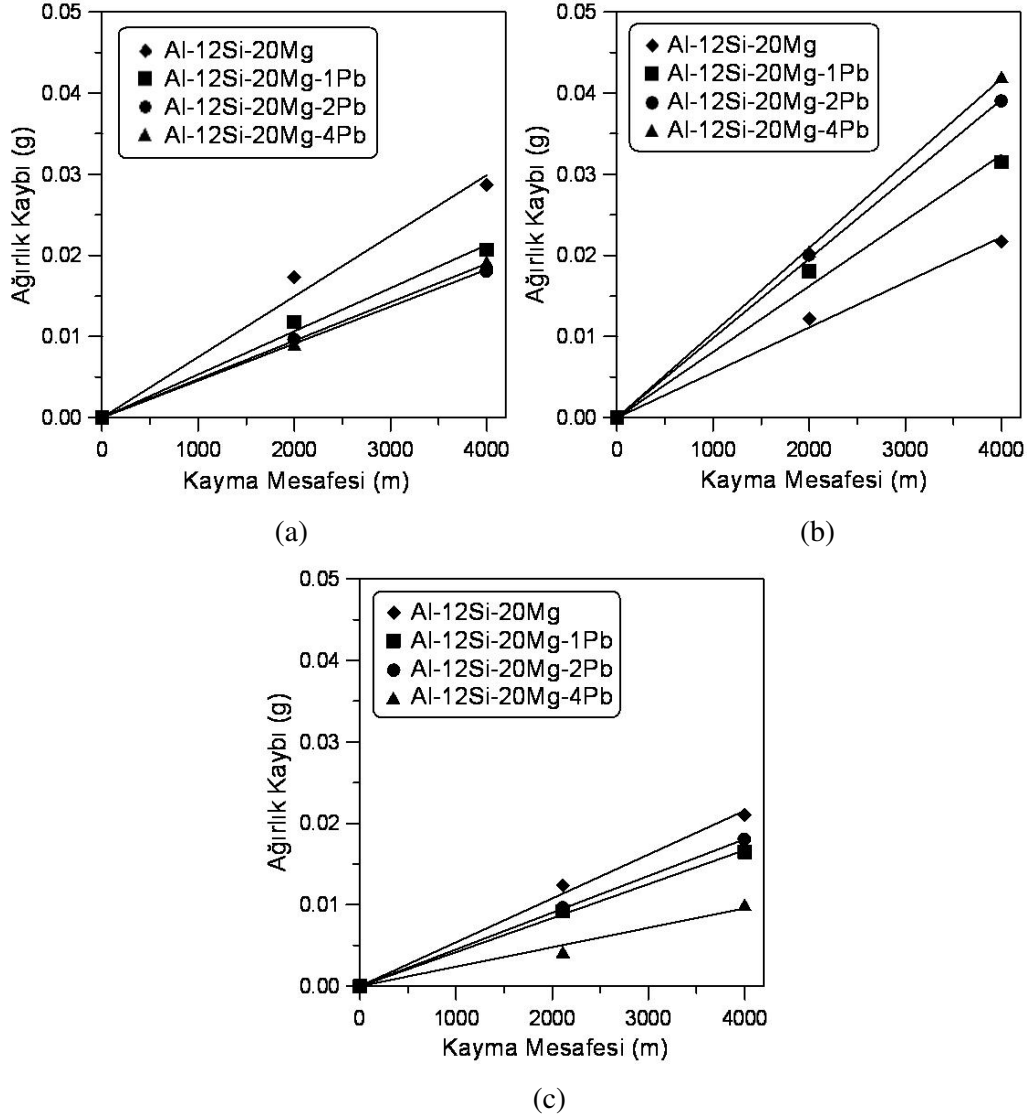
6.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada incelenen alaşımların 3N, 5N ve 20N'luk yük altındaki kayma mesafesine karşılık ağırlık kaybı değişimi Şekil 6.20-Şekil 6.21'de verilmiştir. Ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri, uygulanan kayma mesafesi boyunca lineer olarak değişmektedir. Şekil 6.20-Şekil 6.21'deki grafiklerin eğimi g/m cinsinden

aşınma hızını vermektedir. Şekil 7.2’de alaşım içeriğine bağlı olarak aşınma hızının değişim grafikleri çizilmiştir.

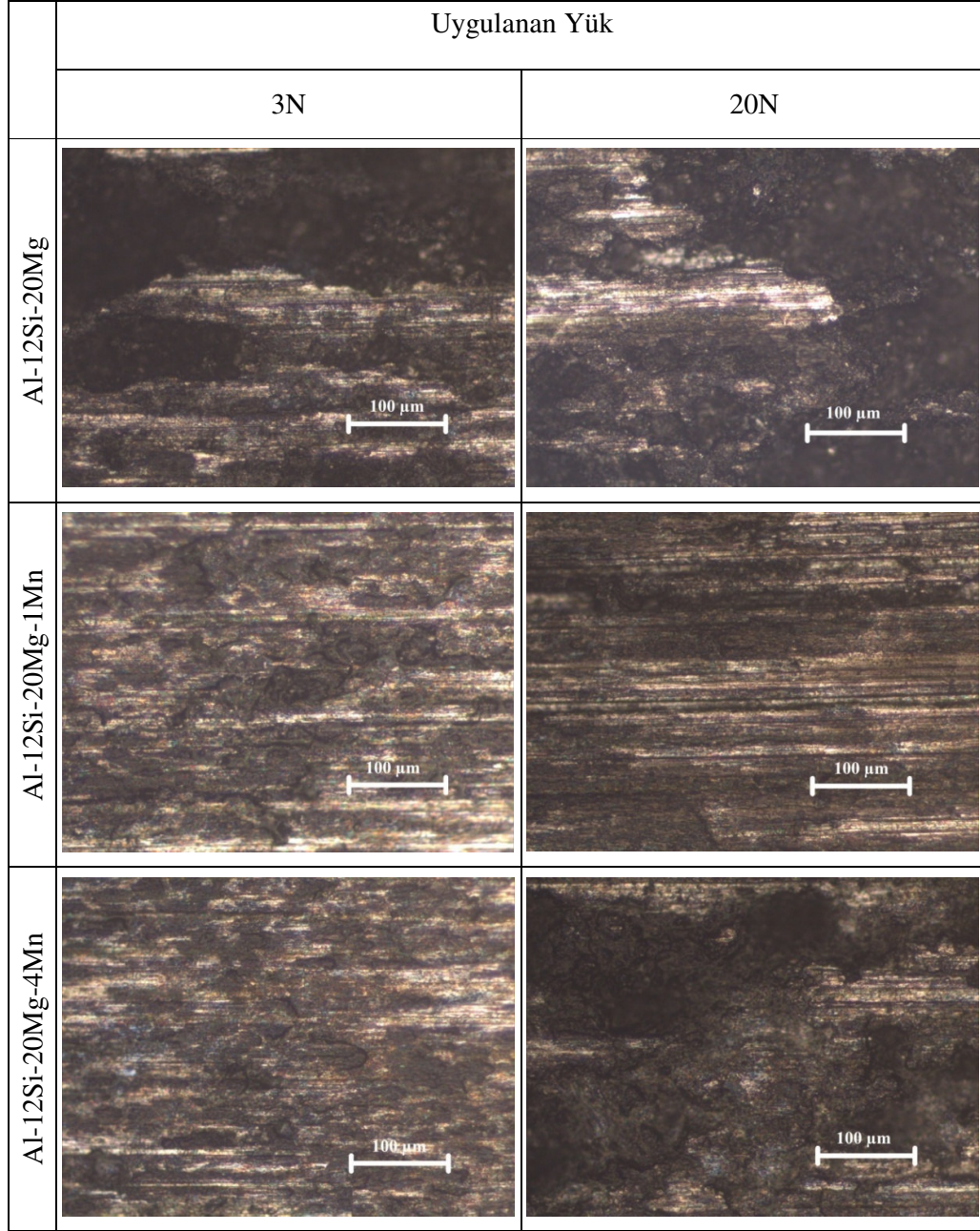


Şekil 6.20. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.

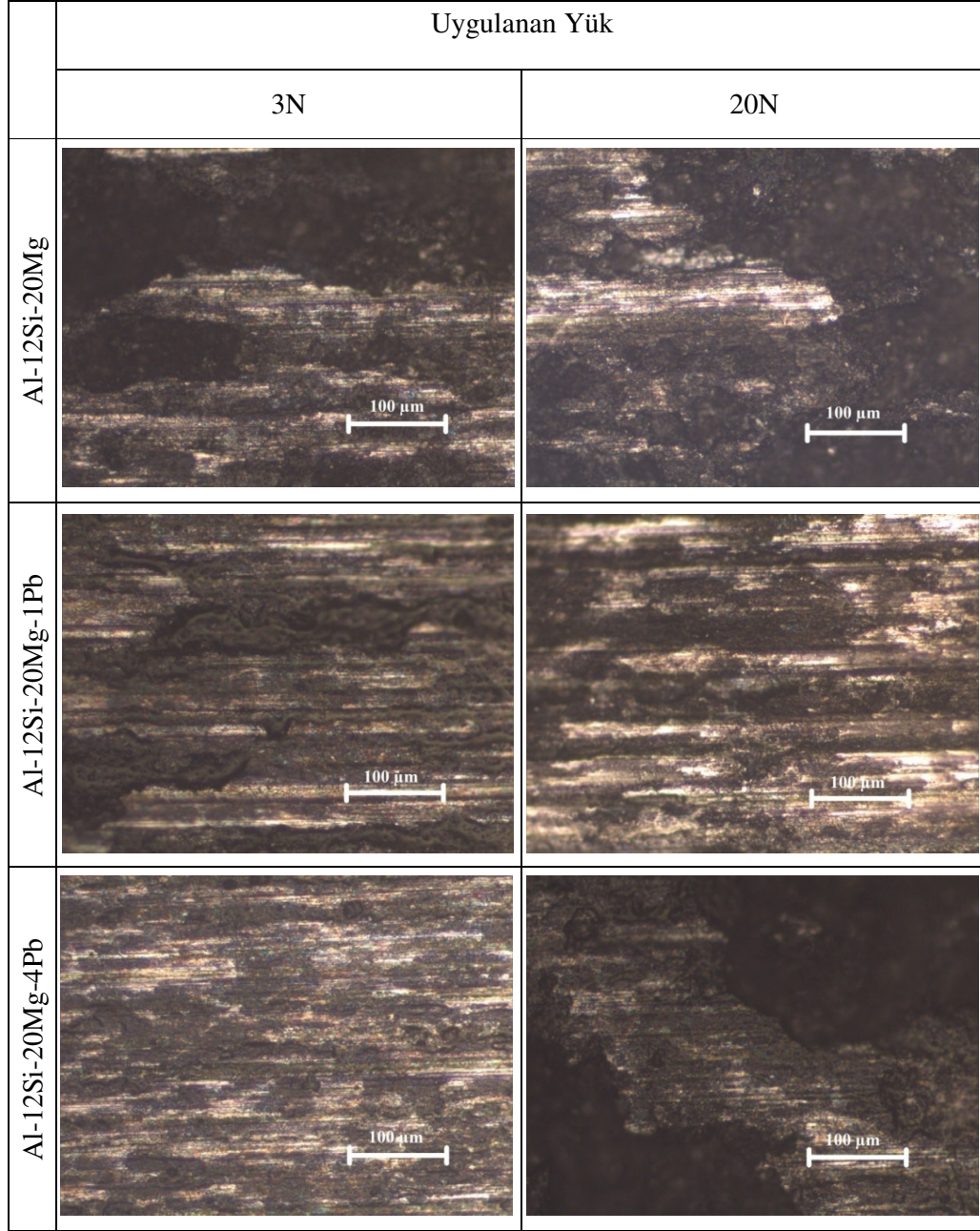


Şekil 6.21. Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.

Farklı yüklerde aşınma deneyine tabi tutulmuş numunelerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.22-Şekil 6.23'te verilmiştir. Düşük yüklerde hafif aşınma mekanizması olan adhesif aşınma izi ve çok ince oyuklar oluşmuştur. Yüksek yüklerde ise şiddetli aşınma mekanizması olan yüzey çatlaklarının oluşumu ve ilerlemesiyle gerçekleşen parça kopmaları sonucu boşluklar ve iri oyuklar meydana gelmiştir.



Şekil 6.22. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 6.23. Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

7.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu çalışmada, homojenleştirme ısı işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımlarının düşük büyütmedeki mikroyapıları (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3) incelendiğinde, genel olarak mikroyapı iğne şekilli açık gri renkli fazlardan, çokgen şekilli siyah partiküllerden, Çin yazısı şekilli fazlardan ve beyaz renkli matristen oluşmaktadır. Mikroyapıda porozite belirlenmemiştir. Şekil 6.6'da verilen XRD sonuçları ve Şekil 6.7-Şekil 6.9'da verilen EDS analiz görüntüleri ve Çizelge 6.1-Çizelge 6.3'te verilen EDS analiz sonuçları göz önünde bulundurularak, mikroyapı bileşenleri, Si (iğne şekilli açık gri renkli fazlar), Mg_2Si ve Al (açık renkli matris). Literatürde yayınlandığı gibi [23-27], Mg_2Si iki farklı morfolojide (yani çokgen şekilli koyu partiküller ve gri renkli Çin yazısı şekilli fazlar) gözlenmiştir.

İncelenen alaşımların bileşimi ötektik üstü [15-19] olduğu için, katılaşmanın ilk aşaması süresince yerinde oluşan çokgen şekilli siyah partiküller, birincil Mg_2Si partikülleri olarak tanımlanmıştır. Çokgen şekilli Mg_2Si 'in oluşum mekanizması, literatürde [18,33-36] net bir şekilde şimdiye kadar açıklanmamış olmasına rağmen, strontium, kırmızı fosfor ve tuz karışımları gibi bazı modifiye ediciler, birincil Mg_2Si partiküllerinin morfolojisini (boyutunu ve şeklini) kontrol etmek için Al-Mg-Si alaşım eriyiklerine ilave edilmiştir. Var olan bir açıklama, modifiye edicilerin çekirdeklenme için aşılmalı gibi davrandığı, çekirdek sayısında artışa yol açtığı ve böylece birincil yerinde Mg_2Si partiküllerin morfolojisinin ve boyutunun değiştirildiği şeklindedir. Diğer açıklamalar ise, hem sıvı-katı arayüzey hem de katı Mg_2Si fazının yüzey enerjilerinin modifikasyonu, ya da katı-sıvı arayüzeyinde Na veya K'un segregasyonu yardımıyla yerinde Mg_2Si çekirdeklerinin yüzeyini

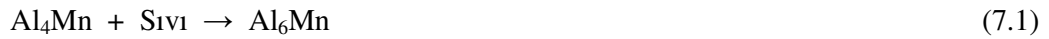
zehirleyerek birincil yerinde Mg₂Si partiküllerinin anizotropik (aşırı) büyümesinin bastırılması şeklindedir [9,14,16].

Bu çalışma kapsamında, Al-12Si-20Mg alaşımına Mn ve Pb elementlerini ayrı ayrı %4'e kadar ilave ederek mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

7.1.1. Mangan Elementinin Mikroyapıya Etkisi

Al-12Si-20Mg alaşımına %1 - %4 oranında Mn ilavesi ile mikroyapıda parlak beyaz renkli iğnesel ve küresel şekilli olarak beliren Al₆Mn intermetalığı oluşmuştur (Şekil 6.2, Şekil 6.4 ve Şekil 6.8). Alaşıma ilave edilen mangan, Si ve ötektik yapıdaki Çin yazısı şekilli Mg₂Si oluşumunu engellediğinden dolayı mikroyapı resimleri üzerinde (Şekil 6.4 ve Şekil 6.8) ve XRD paternlerinde Si ve ötektik yapıdaki Çin yazısı şekilli Mg₂Si intermetaliklerine ait görüntü ve pik oluşmamıştır. Bununla birlikte EDS analiz sonuçları, Al₆Mn intermetalığının, Si'ü kendi yapısı içinde çözdüğünü ortaya koymaktadır (Çizelge 6.1). Mondolfo [61], Si içeren Al₆Mn intermetalığın faz diyagramı üzerinde, $\alpha(\text{AlMnSi})$ intermetalığının oluştuğunu belirtmesine rağmen XRD sonuçlarında bu intermetalığe ait pik gözlenmemiştir (Şekil 6.6).

Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarında Al₆Mn intermetalığı;



şeklinde peritektik reaksiyon sonucu iğnesel ve küresel şekilde oluşmaktadır. Mondolfo, Al₆Mn intermetalığının tane inceltici olarak davrandığını ve bazı intermetaliklerin (Örn; AlFeCuSi) oluşumunu engellediğini belirtmiştir [61]. Bu çalışmada, %1'in üzerinde Mn ilavesi, Si ve Çin yazısı şekilli Mg₂Si fazının oluşumunu engellediğinden dolayı çokgen şekilli Mg₂Si partikül hacim oranının ve boyutunun artmasına sebep olmuştur (Şekil 6.2 ve Şekil 6.4).

Homojenleştirme ısı işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının mikro yapısında Al₆Mn intermetalığının oluşması ve buna paralel olarak çokgen şekilli

Mg₂Si partiküllerinin hacim oranı ve boyutunun artması ile sertlikte artış gözlenmiştir (Şekil 6.12).

7.1.2. Kurşun Elementinin Mikroyapıya Etkisi

Al-12Si-20Mg-XPb alaşımına %1 - %4 oranındaki kurşun ilavesi ile, Al-Pb faz diyagramı ile uyumlu olarak Al ile Pb arasında intermetalik faz oluşmamıştır (Şekil 6.3, Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Çizelge 6.3). Pb, Al matris içinde gerek sıvı ve gerekse katı durumda belirli limitlerde çözünürlüğe sahiptir. Mondolfo [61], Al-Mg-Pb alaşımlarında katı durumda Mg₂Pb intermetalığının oluşabileceğini belirtmesine rağmen, bu çalışmada ne mikroyapı fotoğrafları üzerinde (Optik ve SEM) ve ne de XRD paternler üzerinde Mg₂Pb intermetalığı hakkında bir delil bulunamamıştır. Bunun sebebi olarak magnezyumun, yapıda Si bulunmasından dolayı, Pb yerine Si ile reaksiyona girmeye meyletmesi olabileceği tahmin edilmektedir. Bu sonuç, Al-12Si-20Mg-XPb alaşımında %1'in üzerinde artan Pb ilavesi ile Mg₂Si partikül hacim oranı ve boyutunun artmasına dayandırılabilir (Şekil 6.10-Şekil 6.11).

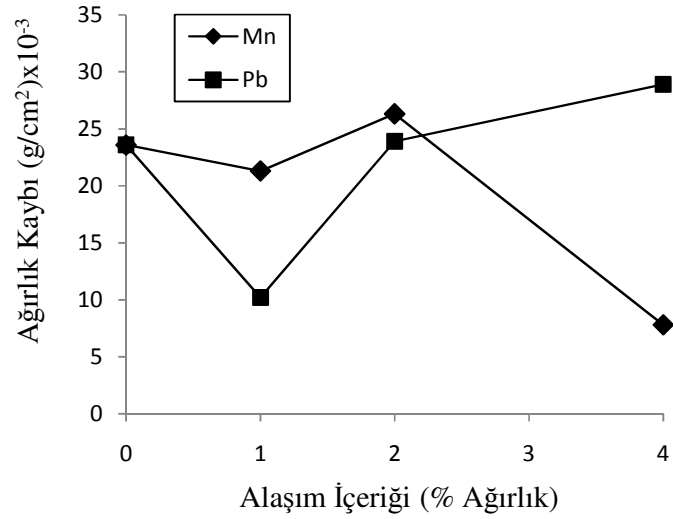
Ayrıca Al-12Si-20Mg-XPb alaşımına ait optik mikroyapı resimlerinde, oluşan Mg₂Si partiküllerinin daha dairesel bir yapıda olması Pb'un modifiye edici olarak davranmasına dayandırılabilir. Bununla beraber %1 Pb içeren alaşımda Çin yazısı şeklinde Mg₂Si fazı dikkat çekerken, Pb ilavesinin artışı ile bu fazın azaldığı ve çokgen şekilli Mg₂Si fazına dönüştüğü, Şekil 6.5'te verilen mikroyapı fotoğraflarından anlaşılmaktadır.

Al-12Si-20Mg alaşımına ilave edilen Pb, çokgen şekilli partikülün hacim oranı ve boyutunu arttırması ile orantılı olarak alaşımın sertliğinin artmasına sebep olmuştur. %4 oranında ilave edilen Pb, sertliği belirgin olarak arttırmıştır (Şekil 6.12).

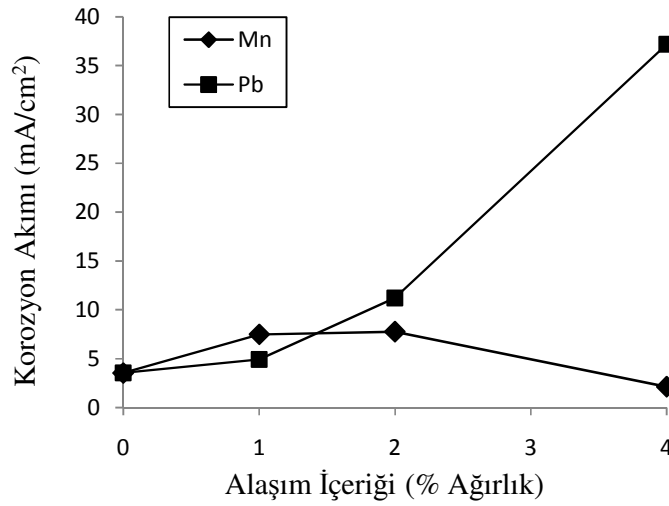
7.2. KOROZYON SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Şekil 7.1'de Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Mn ve Pb'un, 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki ağırlık kaybına ve korozyon akım yoğunluğuna etkisi görülmektedir. Al-12Si-20Mg-XMn alaşımında artan alaşım elementi içeriği

ile gerek ağırlık kaybı ve gerekse korozyon akım yoğunluğu azalırken, Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarında ağırlık kaybı ve korozyon akımı değerleri yaklaşık olarak aynı değişimi göstermiştir. %1 oranında Pb alaşım elementi ilavesi ile bir miktar korozyon kaybı azalırken %1'in üzerinde ilave edilen Pb elementi, korozyon kaybını arttırmıştır.



(a)



(b)

Şekil 7.1. Alaşım elementi içeriğinin (a) 24 saat sonundaki ağırlık kayıplarına ve (b) korozyon akımına etkisi.

Genel olarak alaşımların korozyon davranışındaki iyileşme, ancak ilave edilen elementin katı eriyik içinde çözünmesine bağlı olmaktadır [70-76]. Bu çalışmada ise

Al-12Si-20Mg alaşımına ilave edilen Mn ve Pb elementleri matris içinde intermetalik (Mg_2Si , Si, Al_6Mn ve Pb) oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durumda, bu intermetaliklerin korozyon potansiyellerinin ve korozyon akımlarının, Al matris ve Mg_2Si intermetaliliğinin korozyon potansiyeli ve korozyon akımına göre konumları alaşımın korozyon davranışını belirlemektedir. Birbilis ve arkadaşları [81,82], Al alaşımlarında oluşan bazı intermetaliklerin korozyon davranışlarını izelge 7.1'de özetlemişlerdir.

Çizelge 7.1. Bazı intermetaliklerin korozyon potansiyeli değerleri [81,82].

Faz	E_{kor} (mV _{SCE})	E_{oyuk} (mV _{SCE})	$E_{Galvanik}$ (mV _{SCE}) / Ortalama Akım (A/cm ²)
Al_6Mn	-913	-778	-779 / -1.2×10^{-4}
Mg_2Al_3	-1162	-959	-1013 / 19×10^{-4}
Mg_2Si	-1536	-	-1538 / 1.9×10^{-4}
$Al_{12}Mn_3Si$	-858	-712	-810 / -76×10^{-4}
Al (saf)	-849	-696	-823 / -47×10^{-4}
Si (saf)	-452	-	- / -
Mg (saf)	-1688	-1473	- / -
Mn (saf)	-1318	-	- / -

Al-12Si-20Mg alaşımlarının matrisinde iki tipte oluşan Mg_2Si fazlarından Çin yazısı Şekilli tektik yapı korozyona uğrarken, okgen Şekilli Mg_2Si partikülleri korozyona uğramamakta ve korozyon yüzeyinde bozulmamış olarak kalabilmektedir (Şekil 6.16-Şekil 6.19).

Al alaşımlarına alaşım elementleri ile ilave edildiği zaman, korozyon direncini düşürmemek için mikroyapının tek fazda kalmasının, yani alaşımlama katkılarının ikincil intermetalik partiküllerini oluşurmamasının esas olduğu bilinen bir gerçektir [79-86]. Winkler and Flower [87], magnezyumun daha yüksek bölgesel yoğunlaşması, katı ozelti halinde de olsa, Al alaşımlarının korozyon duyarlılığını arttırdığını, bu çalışmanın sonucu ile uyumlu olarak, rapor etmiştir. $MgZn_2$ ve Al_2CuMg intermetalikleri gibi Çin yazısı Şekilli Mg_2Si fazının Al alaşımlarının

korozyon direncini önemli bir şekilde kötüleştirdiği [73-77,83,84] çok iyi bilinmektedir. Bununla birlikte çokgen şekilli Mg_2Si partiküllerinin korozyon davranışı ile ilgilenen çalışma yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada birincil Mg_2Si partiküllerinin dışında Al matris ile Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazının hızlı bir şekilde çözünmesi, Çin yazısı şekilli fazın bileşimine dayandırılabilir. Katılma sırasında ilk olarak çekirdeklenen birincil Mg_2Si partikülü oldukça yüksek saflıkta iken en son çekirdeklenen faz (Çin yazısı şekilli Mg_2Si), çözültüce zengin yani düşük saflıktadır. Bu yüzden, literatürde [47] rapor edildiği gibi, Al alaşımlarının saflığı azalırken, korozyon direncinin azaldığı sonucu ile uyumlu olarak, korozyonun Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazının bulunduğu yerde meydana gelmesi beklenmektedir.

7.2.1. Mangan Elementinin Korozyona Etkisi

Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının matrisinde Al_6Mn oluşumu alaşımın korozyon davranışında iyileşmeye sebep olmuştur (Şekil 7.1). Alaşıma Mn ilavesi ile Çin yazısı şekilli Mg_2Si intermetalik oluşumunun engellenmesi ve korozyona karşı daha dirençli olan çokgen şekilli Mg_2Si partiküllerinin hacim ve boyut oranının Mn ilavesi ile artması sonucu Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarının korozyon davranışındaki iyileşme desteklenmiştir. Ayrıca Al_6Mn intermetalikliği, Mg_2Si intermetalikliği, saf Mg ve saf Mn metallerine kıyasla daha katodik davranması [83,84,88] korozyon direncini arttırmıştır (Çizelge 7.1).

Şekil 6.18'de görüldüğü gibi, Al_6Mn intermetalikleri yüzeyde korozyonun ilerlemesine karşı bir set oluşturmuştur.

7.2.2. Kurşun Elementinin Korozyona Etkisi

Al-12Si-20Mg alaşımlarına düşük oranlarda (%1) Pb ilavesi korozyon davranışını belirgin bir şekilde etkilemezken, yüksek oranlarda Pb ilavesi (%2 ve %4) korozyon hızını arttırmıştır (Şekil 7.1). Pb elementinin ilavesi ile, alaşımın çokgen şekilli Mg_2Si partikül hacim oranının ve boyutunun artmasına rağmen daha iri Çin yazısı şekilli Mg_2Si intermetaliklerinin oluşması da korozyon hasarını arttırmıştır.

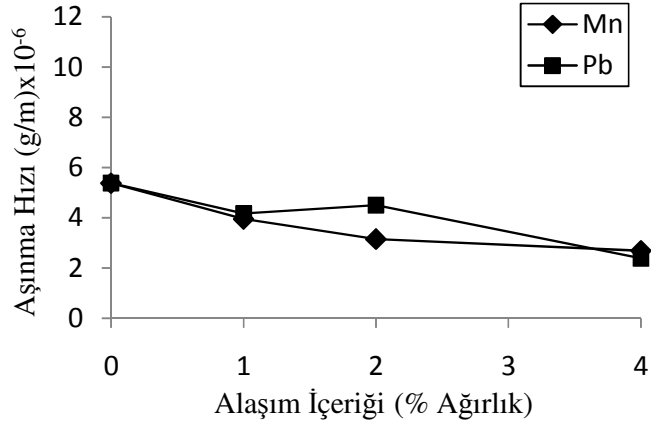
Korozyon, alaşımın matrisinde oluşan iri Çin yazısı Şekilli Mg₂Si intermetaliklerinin çözünmesi ile gelişmiştir (Şekil 6.19).

7.3. AŞINMA DAVRANIŞININ İRDELENMESİ

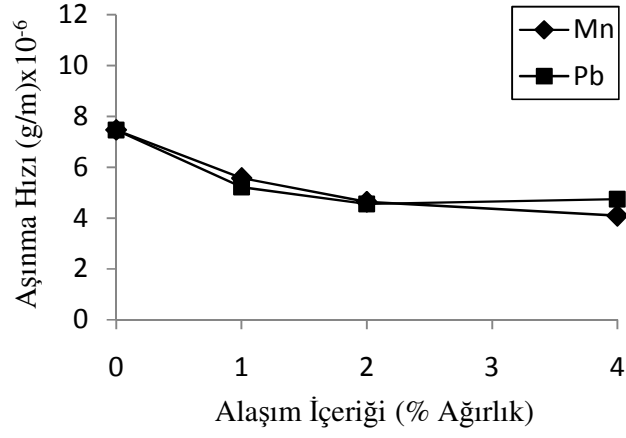
Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımının aşınma davranışına, alaşıma ilave edilen Mn ve Pb elementlerinin etkisi, uygulanan yüke, alaşımın sertliğine ve dolayısıyla alaşım elementinin % ağırlık olarak içeriğine bağlıdır.

İncelenen alaşımların aşınma hızları, düşük (3N ve 5N) yüklerde alaşım elementi içeriği ile parabolik olarak azalırken, yüksek yük (20N) altında ise alaşım elementi ilavesi ile aşınma hızı parabolik olarak artış göstermiştir. Aşınma hızı, düşük yüklerde Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarına kıyasla Al-12Si-20Mg-XMn alaşımlarında daha fazla azalma gösterirken, yüksek yüklerde ise aşınma hızının değişimi yaklaşık olarak bunun tam tersi olmuştur.

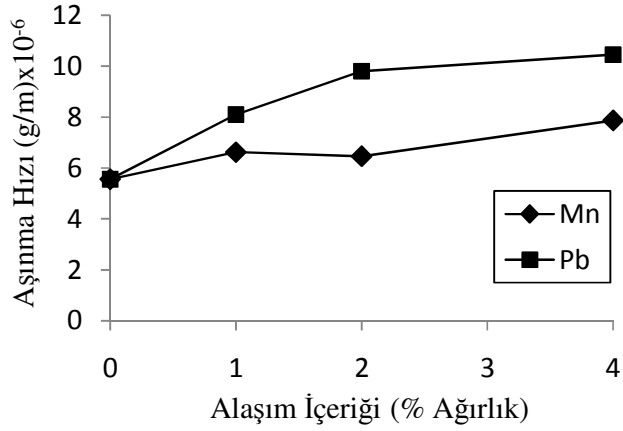
Bu çalışmada incelenen Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının düşük yüklerde (3N ve 5N) aşınma dirençlerinin alaşım içeriği ile iyileşmesi ve 20N yük altında aşınma hızının artması, alaşımın sertliklerinin alaşım içeriği ile değişimine bağlıdır. Sertlik ne kadar yüksek ise düşük yüklerde aşınma direnci o kadar artmaktadır. Bununla birlikte sertlik artışının, alaşımın gevrekliğinde de bir artışa yol açacağı bilinmektedir. Bu nedenle yüksek yüklerde alaşımın gevrek davranışı önemli bir rol oynamıştır. Alaşıma ilave edilen %1 - %4 oranında gerek Mn ve gerekse Pb elementi, yüksek yüklerde (20N) aşınma hızının artmasına sebep olmuştur. Yüksek yüklerde bu alaşımların Şiddetli aşınma sergilemesi, gevrek davranış göstermesine dayandırılabilir (Şekil 7.2).



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.2. Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki aşınma hızının alaşım içeriği ile değişimi.

Aşınma deneyleri sonrası alaşımların aşınma yüzeylerinin incelenmesi, düşük yüklerde karakteristik adhesif aşınma ve ince yiv oluşumu, yüksek yüklerde ise yüzeyden parça kopması ve iri yiv oluşumu, hafif ve şiddetli aşınma davranışını açıklamaktadır (Şekil 6.22-Şekil 6.23).

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Bu çalışmada, geleneksel döküm tekniği ile üretilen ve homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulan Al-12Si-20Mg alaşımlarının farklı oranlarda Mn veya Pb içermesi durumunda oluşan mikroyapı ve değişen mekanik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla %1, %2 ve %4 oranlarında ayrı ayrı Mn ve Pb içeren Al-12Si-20Mg kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapı karakterizasyonu ve yapı analizi, sertlik, aşınma ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda;

- Mikroyapı incelemesi sonucunda, Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda Mn ilavesi ile yapıda Al_6Mn fazı oluştuğu ve buna bağlı olarak yapıda oluşan çokgen şekilli Mg_2Si fazının partikül boyutunun ve hacim oranının arttığı gözlenmiştir. Pb ilavesinde ise, %1'in üzerindeki (%2 ve %4) Pb ilavesi ile aynı şekilde çokgen şekilli Mg_2Si partikül boyutunun ve hacim oranının arttığı tespit edilmiştir.
- Al-12Si-20Mg alaşımı ve %4 oranında Mn veya Pb içeren Al-12Si-20Mg alaşımları üzerinde yapılan XRD ve EDS analizleri sayesinde oluşan fazlar hakkında kesin bilgiler elde edilmiştir.
- Mikroyapıda oluşan çokgen şekilli Mg_2Si partiküllerinin boyutu ve hacim oranının artmasıyla sertliğin arttığı gözlenmiştir.
- Ağırlık kaybı yöntemi ile yapılan korozyon deney sonuçlarına göre %1 ve %2 oranında Mn veya Pb ilavesi Al-12Si-20Mg alaşımlarının korozyon direncini önemli ölçüde etkilemezken, %4 oranında Mn ilavesi korozyon direncini arttırmış, %4 oranında Pb ilavesi ise korozyon direncini azaltmıştır.

- Korozyon akımı ölçülerek yapılan deney sonuçları neticesinde Mn elementinin korozyon akımı üzerinde pek fazla bir etkisinin olmadığı, Pb elementi ilavesinde ise artan Pb miktarı ile korozyon akımının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir.
- Korozyon yüzeyleri üzerinde yapılan optik mikroyapı ve SEM incelemeleri sonucu korozyonun Çin yazısı şekilli Mg₂Si fazının bulunduğu bölgelerden ilerlediği, buna dayanarak Çin yazısı şekilli Mg₂Si fazının korozyon direncini azalttığı tespit edilmiştir.
- Düşük yüklerde yapılan (3N ve 5N) aşınma deneyleri sonucunda alaşım elementi içeriğinin sertliği arttırdığı gibi aşınma dayanımını da arttırdığı gözlenmiştir. Artan alaşım elementi içeriği ile birlikte aşınma direncinde artış göstermiştir. Aşınma yüzeylerinde optik ışık mikroskopuyla yapılan çalışma da bu sonuçları ortaya koymuştur.
- Yüksek yüklerde yapılan (20N) aşınma deneyleri sonrasında yapılan optik ışık mikroskobu çalışmasında, yüzeyden büyük parçaların koptuğu görülmektedir. Bu da şiddetli aşınma olayı ile açıklanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Martinez, M. A., Martin, A. And Llorca, J., “Wear of Al-Si Alloy and Al-Si/SiC Composites at Ambient and Elevated Temperature”, *Scripta Metallurgica et Materialia*, 28: 207-212 (1993).
2. Lai, S. W. And Chung D. D. L., “Fabrication of Particulate Aluminum Matrix Composites by Liquid Metal Infiltration”, *Journal of Materials Science*, 29: 3128-3150 (1994).
3. Torabian, H., Patak, J. P. And Tiwari, S. N., “Effect of Hardness on Wear Rates of Al-Si Alloys”, *Journal of Materials Science Letters*, 14: 1631-1632 (1995).
4. Ward, P. J., Atkinson, H. V., Anderson, P. R. G., Elias, L. G., Garcia B., Kahlen, L. S. and Rodriguez-Ibabe, J. M., “Semi-Solid Processing of Novel MMCs Based on Hypereutectic Aluminium-Silicon Alloys”, *Acta Materialia*, 44: 1717-1727 (1996).
5. Gupta, M. And Ling, S., “Microstructure and Mechanical Properties of Hypo/Hyper-Eutectic Al-Si Alloys Synthesized Using a Near-Net Shape Forming Technique”, *Journal of Alloys and Compounds*, 126: 284-294 (1999).
6. Srivasta, V. C., Manda, P. K. And Ojha, S. N., “Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si Alloys Produced by Spray Forming Process”, *Materials Science and Engineering A*, 319: 304-306, 555-558 (2001).
7. Jung, H. K., Seo, P. K. And Kang, C. G., “Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Hypo-Eutectic and Hyper-Eutectic Al-Si Alloys in the Semi-Solid Forming Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 113: 568-573 (2001).
8. Suery, M. And Lajoie, L., “Microstructural Characterization of Al-Si/SiC Composites, Solidification of Metal Matrix Composites, Edited by Pradeep Rohatgi”, *The Minerals Metals and Materials Society*, 39: 52-57 (1990).
9. Bhanuprasad, V. V., Staley, M. A., Ramakrishan, P. And Mahajan, Y. R., “Fractography of Metal Matrix Composites”, *Key Engineering Materials*, 104: 495-506 (1995).

10. Geiger, A. L. And Welch, P., "Tensile Properties and Thermal Expansion of Discontinuously Reinforced Aluminium Composites at Subambient Temperatures", *Journal of Materials Science*, 32: 2611-2616 (1997).
11. Ahlatci, H., Candan, E. And Cimenoglu, H., "Mechanical Properties of Al-60% SiCp Composites Alloyed With Mg", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 35: 2127-2141 (2004).
12. Ahlatci, H., Candan, E. And Cimenoglu, H., "Abrasive Wear Behavior and Mechanical Properties of Al-Si/SiC Composites", *Wear*, 257: 625-632 (2004).
13. Nair, S. V., Tien, J. K. And Bates, R. C., "SiC-Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites", *International Metal Reviews*, 30: 275-288 (1985).
14. Ibrahim, I. A., Mohammed, F. A. And Lavernia, E. J., "Particulate Reinforced Metal Matrix Composites-A Review", *Journal of Materials Science*, 26: 1137-1156 (1991).
15. Schmid, E. E., Oldenburg, K. V. And Frommeyer, G., "Microstructure and Properties of As-Cast Intermetallic Mg₂Si-Al Alloys", *Z. Metallkunde*, 81: 809-815 (1980).
16. Mayencourt, C. And Schaller, R., "Development of a High-Damping Composite: Mg₂Si/Mg", *Phs. Stat.Sol.*, 163: 357-368 (1997).
17. Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y. And Zhou, B. L., "Hypereutectic Aluminium Alloy Tubes With Graded Distribution of Mg₂Si Particles Prepared By Centrifugal Casting", *Materials and Design*, 21: 149-153 (2000).
18. Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y. Q. And Zhou B. L., "Microstructural Development of Al-15wt.%Mg₂Si in-situ Composite With Mischmetal Addition", *Materials Science and Engineering A*, 281: 104-112 (2000).
19. Frommeyer, G., Beer, S. And Oldenburg, K. V., "Microstructure and Mechanical Properties of Mechanically Alloyed Intermetallic Mg₂Si-Al Alloys", *Z. Metallkunde*, 85: 372-376 (1994).
20. Tjong, X. S. C. And Ma, Z. Y., "Microstructural and Mechanical Characteristics of in-Situ Metal Matrix Composites", *Materials Science and Engineering R*, 29: 49-113 (2000).
21. Yang, B., Chen, G., Zhang, J., "Effect of Ti/C Additions on the Formation of Al₃Ti of in-situ TiC/Al Composites", *Materials and Design*, 22: 645-650 (2001).

22. Matin, A. M. A., Lu, L. And Gupta, M., “Investigation of the Reaction Between Boron and Titanium Compounds With Magnesium”, *Scripta Materialia*, 45: 479–486 (2001).
23. Lüdeoke, D., “Phase Diagram and Thermochemistry of the Al-Mg-Si System”, *Z. Metallkunde*, 77: 278-283 (1985).
24. Liu, Y. L. And Kang, S. B., “The Solidification Process of Al-Mg-Si Alloys”, *Journal of Materials Science*, 32: 1443–1447 (1997).
25. Zhang, J., Wang, Y. Q., Zhou, B. L. And Wu, X. Q., “Functionally Graded Al-Mg₂Si in-situ Composites, Prepared By Centrifugal Casting”, *Journal of Materials Science Letters*, 17: 1677–1679 (1998).
26. Kim, J. J., Kim, D. H., Shin, K. S. And Kim, N. J., “Modification of Mg₂Si Morphology in Squeeze Cast Mg-Al-Zn-Si Alloys by Ca or P Addition”, *Scripta Materialia*, 41: 333–340 (1999).
27. Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y. Q. And Zhou, B. L., “Microstructural Evolution of the In-Situ Al-15 wt.% Mg₂Si Composite With Extra Si Contents”, *Scripta Materialia*, 42: 1101–1106 (2000).
28. Li, S. P., Zhao, S. X., Pan, M. X., Zhao, D. Q., Chen, X. C. And Barabash, O. M., “Eutectic reaction and microstructural characteristics of Al (Li)-Mg₂Si alloys”, *Journal of Materials Science*, 36: 1569–1575 (2001).
29. Usta, M., Glicksman, M. E. And Wright, R. N., “The Effect of Heat Treatment on Mg₂Si Coarsening in Aluminium 6105 Alloy”, *Metallurgical and Materials Transaction A*, 35: 435–438 (2004).
30. Chakrabarti, D. J. And Laughlin, D. E., “Phase Relation and Precipitation in Al-Mg-Si Alloys With Cu Additions”, *Progress in Materials Science*, 49: 389–410 (2004).
31. Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y. Q. And Zhou, B. L., “Effect of Cooling Rate on the Microstructure of Hypereutectic Al-Mg₂Si Alloys”, *Journal of Materials Science Letters*, 19: 1825–1828 (2000).
32. Hengcheng, L., Yu, S. And Guoxiong, S., “Restraining Effect of Strontium on the Crystallization of Mg₂Si Phase During Solidification in Al-Si-Mg Casting Alloys and Mechanisms”, *Materials Science and Engineering A*, 358: 164–170 (2003).

33. Zhao, Y. G., Qin, Q. D., Liang, Y. H., Zhou, W. And Jiang, Q. C., “In-situ Mg₂Si/Al-Si-Cu composite modified by strontium”, *Journal of Materials Science*, 40: 1831–1833 (2005).
34. Zhao, Y. G., Qin, Q. D., Zhou, W. And Y. H. Liang, “Microstructure of the Ce-modified in situ Mg₂Si/Al–Si–Cu composite”, *Journal of Alloys and Compounds*, 389: 1–4 (2005).
35. Zhao, Y. G., Qin, Q. D., Zhao, Y. Q., Liang, Y. H. And Jiang, Q. C., “In situ Mg₂Si/Al–Si Composite Modified by K₂TiF₆”, *Materials Letters*, 58: 2192–2194 (2004).
36. Wang, H. Y., Jiang, Q. C., Ma, B. X., Wang, Y., Wang, J .G. And Li, J. B., “Modification of Mg₂Si in Mg–Si alloys with K₂TiF₆, KBF₄ and KBF₄ + K₂TiF₆”, *Journal of Alloys and Compounds*, 387: 105-108 (2005).
37. Qudong, W., Yongjun, C., Wenzhou, C., Yinhong, W., Chunquan, Z. And Wenjiang, D., “Centrifugally cast Zn–27Al–xMg–ySi alloys and their in situ (Mg₂Si + Si)/ZA27 composites”, *Materials Science and Engineering A*, 394: 425-434 (2005).
38. Dedavid, B. A., Costa, E. M. And Ferreira, C. R. F., “A Study of Precipitates Formation in AA380.0 Aluminium Alloys Modified By the Addition of Magnesium”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 67: 473-480 (2002).
39. Yoshinaga, M., Lida, T., Noda, M., Endo, T. And Takanashi, Y., “Bulk Crystal Growth of Mg₂Si By the Vertical Bridgman Method”, *Thin Solid Films*, 461: 86–89 (2004).
40. Aran, A., “Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Ders Notu”, *İTÜ Makine Fakültesi*, İstanbul, 8-15 (2005).
41. Sınmazçelik, T., “Kompozit Malzemeler Ders Notları”, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli, 7-12 (2003).
42. Atik, E., Ünlü, S. B., Sen, O., Çavdar, U., “Partikül Takviyeli AlSi₁₂CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *C.B.Ü Fen Bilimleri Dergisi*, 2: 75-87 (2006).
43. Hiçyılmaz, N., Aydın, S., Sarıtaş, S., “Toz Metalürjisi İle Üretilmiş Alüminyum Esaslı Tanecikli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri”, *2.Uluslararası Katılımlı Toz Metalürjisi Konferansı Bildiriler Kitabı*, Ankara, 621-629 (1999).

44. Beffort, O., "Metal Matrix Composites: Properties, Applications and Machining", *EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Research*, 8: 1-7 (2002)
45. Cöcen, Ü. ve Önel, K., "Metal Matrisli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları", *Metalurji Dergisi*, 20 (104):18-31 (1996).
46. Kök, M., "Al₂O₃ Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20 (2):131-142 (2001).
47. Akoral, E., Türker, M., Özçatalbaş, Y., "Al Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi", *3.Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler CD'si*, Ankara, 942-950 (2002).
48. Şahin, İ., "Silisyum Karbür Takviyeli Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35-47 (2004).
49. Ersoy, H. Y., "Kompozit Malzeme", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 25-32 (2001).
50. Smith, W. F., "Malzeme Bilimi ve Mühendisliği", Çeviren: Kınikoğlu, N., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 71-83 (2001).
51. Kainer, K. U., "Metal Matrix Composites-Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering", *Wiley Publishing*, Weinheim, 54-62 (2006),
52. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Gazi Yayınevi*, Ankara, 67-74 (2000).
53. Askeland, D. R., "Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri", Çeviren: Erdoğan M., *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 105-117 (2004).
54. Görener, A., "Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 51-54 (2007).
55. Meyveci, A., "Ayrıntı Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2-4 (2007).

56. Daşcılar, B., “Farklı Ekstrüzyon Hızlarında Ekstrüze Edilmiş AA6063 Alüminyum Alaşımlarının Yüzey Ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 8-11 (2006).
57. Toptan, F., “Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi İle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-18 (2006).
58. Bedir, F., “Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 47: 554-556 (2006).
59. Tan, E., “The Effect Of Hot-Deformation On Mechanical Properties And Age Hardening Characteristics Of Al-Mg-Si Based Wrought Aluminum Alloys”, Yüksek Lisans Tezi, *ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-6 (2006).
60. Şendeniz, M., “Seçilen Bir Al-Mg-Si Alaşımının (AlMgSi0.5 ; Etial 60) Isıl İşlemlerle Özellik Değişimlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 5-8 (2006).
61. Mondolfo, L. F., “Metallography of Aluminum Alloys”, *Oxford University Press*, Oxford, 26-40 (1943).
62. Gerengi, H., “Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi (DEIS) Yöntemleriyle Düşük Karbon Çeliği (AISI 1026), Pirinç-MM55 ve Nikalium-118 Alaşımlarının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Pirinç Alaşımlarına Benzotriazol’ün İnhibitör Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-3 (2008).
63. Konaş, M. T., “Alüminyum-Bakır-Silisyum Alaşımlarının Sulu Ortamlardaki Korozyonuna Lantanitlerin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-5 (2005).
64. Yakar, E., “Elektropolimerizasyon Yöntemiyle Polipirol Ve Polianilin İle Kaplanmış Alüminyumun Asidik Korozyonunun Önlenmesinde Farklı Anyonların Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 14-31 (2006).
65. Bilhan, H., “Çeşitli Organik Tükürük Komponentlerinin Diş Hekimliğinde Kullanılan Farklı Döküm Alaşımları Ve Amalgam’ın Korozyonu Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *İ.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-29 (2003).

66. Küçükbara, H., “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al-SiC_p Kompozitlerin Difüzyon Kaynak Kabiliyetlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 41-44 (2008).
67. İnternet: “Anodizing World”, <http://aluminumsurface.blogspot.com/2009/04/corrosion-between-anodized-aluminum-and.html>, (2009).
68. İnternet: “Corrosion Clinic”, http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/filiform_corrosion_underfilm_corrosion.htm, (2009).
69. İnternet: “Azo Journal of Materials Online”, www.azom.com/details.asp?ArticleID=100, (2001).
70. İnternet: “Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.”, <http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf/Paslanmaz%20Çelik%20Saritas%2006.pdf>, (2007).
71. Ahlatci, H., “Wear and corrosion behaviours of extruded Al-12Si-XMg alloys”, *Materials Letters*, 62: 171-175 (2008).
72. Frankel, G. S., “Pitting Corrosion”, *Metals Handbook*, Boyer, H. E., *American Soc. for Metals*, Ohio, 317-332 (1975).
73. Scully, J. R., Peebles, D. E., Romig, A. D. And Frear, D. R., “Metallurgical factors influencing the corrosion of Al, Al-Cu and Al-Si alloy thin films in dilute hydro fluoric solution”, *Metallurgical Transactions A*, 23: 2641-2655 (1992).
74. Bhattamishra, A. K. And Lai, K., “Microstructural studies on the effect of Si and Cr on the intergranular corrosion in Al-Mg-Si alloys”, *Materials and Design*, 18: 25-28 (1997).
75. Altenpohl, D., “Aluminium: technology, applications and environment; A profile of a modern metal, sixth edn”, *The minerals, Metals and Metarials Society (TMS), Warrendale, Pennsylvania*, 47: 45-54 (1998).
76. Frankel, G. S., “Pitting Corrosion of Metals: Review of the Critical Factors”, *J. Electrochem. Soc.*, 145: 2186-2198 (1998).
77. Smialowska, Z. S., “Pitting Corrosion of Aluminum”, *Corrosion Science*, 41: 1743-1767 (1999).
78. Zhang, W. And Frankel, G. S., “Anisotropy of localized corrosion in AA2024-T3”, *Electrochemical and Solid State Letters*, 3: 268-270 (2000).

79. Zhang, W. And Frankel, G. S., "Localized Corrosion Growth Kinetics in AA2024 Alloys", *Journal of the Electrochemical Society*, 149: 510-519 (2002).
80. Seah, K. H. W., Krishna, M., Vijayalakshmi, V. T. And Uchil, J., "Corrosion behaviour of garnet particulate reinforced LM13 alloy MMCs", *Corrosion Science*, 44: 917-925 (2002).
81. Zhang, W. And Frankel, G. S., "Transitions between Pitting and Intergranular Corrosion in AA2024", *Electrochimica Acta*, 48: 1193-1210 (2003).
82. Rahim, S. S. A., Hassan, H. H., Amin, M. A., "Chronoamperometric Studies of Pitting Corrosion of Al and Al-Si Alloys by Halide Ions In Neutral Sulphate Solutions", *Corrosion Science*, 46: 1921-1938 (2004).
83. Birbilis, N. And Buchheit, R. G., "Corrosion Damage Accumulation on High Strength Al-alloys: Some Advantages in Understanding The Role of Intermetallics", *Corrosion and Materials*, 29: 4-8 (2004).
84. Birbilis, N. And Buchheit, R. G., "Electrochemical Characteristics of Intermetallic Phases in Aluminium Alloys; An experimental survey and discussion", *Journal of the Electrochemical Society*, 152: 140-151 (2005).
85. Bialobrzeski, A. And Czekaj, E., "An Attempt to Use Alloys Synthesis in Evaluating the Corrosion Behavior of Al- and Mg-Based Alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 175: 27-32 (2006).
86. Huang, T. S. And Frankel, G. S.; "Influence of grain structure on anisotropic localized corrosion kinetics of AA7xxx-T6 alloys", *Corrosion Engineering Science and Technology*, 41: 192-199 (2006).
87. Winkler, S. L. And Flower, H. M., "Stress corrosion cracking of cast 7xxx aluminium fibre reinforced composites", *Corrosion Science*, 46: 903-915 (2004).
88. Davis, J. R., "Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys", *The materials Information Society*, San Francisco, 8-12 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Aydın DURMAZ 09.02.1984'te Kocaeli ili Gebze ilçesinde doğmuştur. İlköğrenimini Gaziler İlkokulu'nda ve ortaöğrenimini Gebze İmam-Hatip Lisesi'nde, lise eğitimini ise Gebze Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümünde tamamladı.

2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metal Öğretmenliği programına girdi. 2006'da Metal Öğretmenliği programından mezun oldu. 2006 yılında, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans programına Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Kemal Güneş Cad.

Köşem Apt. K:5

Merkez / KARABÜK

Tel: 0 506 221 55 77

E-posta: aydin54@gmail.com