

**YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL
TAKVİYELİ ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA
TİTANYUM VE BAKIRIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ali PALTA

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

KARABÜK

Temmuz 2009

Ali PALTA tarafından hazırlanan "YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA TİTANYUM VE BAKIRIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI
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 : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI (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.”

Ali PALTA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**YERİNDE OLUŞTURULMUŞ MAGNEZYUM SİLİSİT PARTİKÜL
TAKVİYELİ ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM-SİLİSYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA
TİTANYUM VE BAKIRIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ali PALTA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI

Temmuz 2009, 86 sayfa

Bu çalışmada, dışarıdan seramik partikül takviye edilerek gerçekleştirilen kompozit üretiminin dezavantajlarının üstesinden gelmek için kaynak matristen takviyenin çekirdeklenmesi ve büyümesi yardımı ile üretilen “yerinde” Mg_2Si partikül takviyeli Al-12Si-20Mg matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine Ti ve Cu ilavesinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Al-12Si-20Mg alaşımı içerisine %1, %2 ve %4 oranlarında ayrı ayrı Ti ve Cu 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, korozyon ve aşınma özellikleri incelenmiştir.

Mikroyapı karakterizasyonu ve yapı analizi optik ışık mikroskobu, SEM ve X-Ray difraksiyonu yöntemleriyle gerçekleştirilirken, korozyon davranışı 30g/l NaCl + 10ml/l HCl içeren solüsyondaki ağırlık kaybı değişimi ve tafel ekstrapolasyon yöntemi ile ve aşınma özellikleri pin on disk tipi aşınma cihazında ağırlık kaybı ölçümü ile incelenmiştir.

Mikroyapı ve yapı analizi sonuçları, Al-12Si-20Mg alaşıma gerek Ti ve gerekse Cu elementi içeriğinin artması ile matris içinde oluşan Mg₂Si partikül boyut ve hacminin azaldığını ve matriste sırasıyla Al₃Ti ve Al₂Cu intermetaliklerinin oluştuğunu ortaya koymuştur. Ayrıca alaşıma Ti ve Cu ilavesi ile alaşımın sertliği artış göstermiştir. Alaşıma Cu ilavesi ile sertlikteki artış daha belirgindir.

Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen sırasıyla Ti ve Cu'nun 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki korozyon davranışına etkisi alaşım elementi tipine ve içeriğine göre farklılık göstermiştir. Alaşıma %1 Ti ilavesi korozyon direncini bir miktar artırırken daha fazla Ti ilavesi aşınma direncini kötüleştirmiştir. Alaşıma %4'e kadar bakır ilavesi ise korozyon direncini çok az miktarda artırmıştır.

İncelenen Al-12Si-20Mg alaşımın 3-20N aralığında uygulanan yük altındaki aşınma davranışı yüke bağlı olarak değişim göstermiştir. Düşük yüklerde (≤ 5 N) alaşıma ilave edilen alaşım elementi içeriği ile aşınma direnci artarken yüksek yüklerde ($5N <$) ise alaşım elementi içeriğinin artması ile aşınma direnci düşmüştür. Al-12Si-20Mg alaşımın aşınma davranışındaki değişimi alaşıma Cu ilavesi ile daha belirgindir.

Anahtar Sözcükler: Aşınma, Al₂Cu intermetalitiği, Al₃Ti intermetalitiği, Yerinde Mg₂Si partikülü, kompozit, korozyon.

Bilim Kodu : 626.20.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE TITANIUM AND COPPER ON THE WEAR AND CORROSION BEHAVIOURS OF THE ALUMINUM- MAGNESIUM-SILICON MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH IN-STU MAGNESIUM SILICIDE PARTICULATE

Ali PALTA

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metal Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

July 2009, 86 pages

In this study, to overcome disadvantages of composites with externally addition of hard ceramic particles, investigation of the effect of Ti and Cu on the wear and corrosion behaviour of the Al-12Si-20Mg matrix composites alloyed with %1-4 Ti and/or Cu were fabricated. The composites were examined by microstructural characterization, hardness, corrosion and wear tests. Microstructural characterization were carried out by optic light microscope, SEM equipped with EDS and X-Ray diffraction techniques. Immersion in 30 g/l NaCl+10 ml/l HCl solution and tafel extrapolation techniques, pin on disc wear test under 3-20N loadss were performed for investigation of corrosion and wear behaviour of the investigated alloys, respectively.

Results of the microstructural tests showed forming of Al_3Ti and/or Al_2Cu intermetallics and decrease in the size and volume fraction of the Mg_2Si particles in the Al-12Si-20Mg alloys alloyed with Ti and/or Cu elements, respectively.

Hardness of the Al-12Si-20Mg alloys increased with increasing the alloying element contents (Ti and/or Cu). The effect of Ti and/or Cu added to Al-12Si-20Mg alloy on the corrosion behaviour exhibited different action with respect to alloying element types and content. While addition of 1% Ti to the alloy increased the corrosion resistance a bit, extra Ti addition then 1% worsened the corrosion resistance. Alloying of the Al-12Si-20Mg alloy with 1-4% Cu improved the corrosion resistance slightly.

Wear behaviour of the investigated alloys changed according to applied loads. While under Low loads ($\leq 5\text{ N}$) wear resistance increased with the alloying contents (Ti and/or Cu), under high loads ($5\text{ N} <$) wear resistance decreased with increasing content of the alloying elements.

Key Words : Wear, Al_2Cu intermetallic, Al_3Ti intermetallic, In-situ Mg_2Si particulate, Composite, Corrosion.

Science Code : 626.20.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalıőmalarım boyunca her türlü yardım ve destekte bulunan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'a ve çalıőmalarım esnasında bilgileriyle bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Mustafa ACARER'e deneysel çalıőmalarımda yardımcı olan Sayın hocam Prof. Dr. Ercan CANDAN ve yüksek lisans arkadaşım Aydın DURMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

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 | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| 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 | 19 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KOROZYON | 19 |
| 4.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ | 22 |
| 4.1.1. Üniform Korozyon (Homojen Korozyon) | 22 |
| 4.1.2. Çukur Korozyonu | 23 |
| 4.1.3. Galvanik Korozyon | 24 |
| 4.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu | 24 |
| 4.1.5. Kabuk Altı Korozyonu | 25 |
| 4.1.6. Filiform Korozyonu | 25 |
| 4.1.7. Seçimli Korozyon | 26 |
| 4.1.8. Taneler Arası Korozyon | 26 |
| 4.1.9. Erozyonlu Korozyon | 27 |
| 4.1.10. Aşınmalı Korozyon | 28 |
| 4.1.11. Gerilmeli Korozyon | 28 |
| 4.1.12. Yorulmalı Korozyon | 28 |
| 4.1.13. Kaçak Akım Korozyonu | 29 |
| 4.1.14. Mikrobiyolojik Korozyon | 29 |
| 4.1.15. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyonu | 29 |
| 4.2. KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ | 30 |
| 4.2.1. Kütle Azalması Yöntemi | 30 |
| 4.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi | 30 |
| 4.2.3. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi | 31 |
| 4.2.4. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi | 32 |
| | |
| BÖLÜM 5 | 36 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 36 |
| 5.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ | 36 |
| 5.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ | 37 |
| 5.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN XRD İNCELEMESİ | 38 |
| 5.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ | 39 |

| | |
|---|----|
| 5.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYLERİ..... | 39 |
| 5.5.1. Ağırlık Kaybı Metodu İle Yapılan Deneyler | 40 |
| 5.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Deneyler..... | 41 |
| 5.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEYLERİ | 43 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 45 |
| DENEYSEL SONUÇLAR | 45 |
| 6.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI SONUÇLARI..... | 45 |
| 6.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLEŞENLERİNİN YAPI ANALİZ SONUÇLARI | 49 |
| 6.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN GÖRÜNTÜ ANALİZ SONUÇLARI | 53 |
| 6.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI | 54 |
| 6.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI | 55 |
| 6.5.1. Ağırlık Kaybı Ölçülerek Yapılan Korozyon Deneyi Sonuçları | 55 |
| 6.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları..... | 56 |
| 6.5.3. Korozyon Yüzey ve Yüzeyaltı Görüntülerinin İncelenmesi..... | 58 |
| 6.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI | 62 |
| | |
| BÖLÜM 7 | 67 |
| DENEYSEL SONUÇLARIN TARTIŞILMASI | 67 |
| 7.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ İNCELENMESİ | 67 |
| 7.1.1. Titanyum Elementinin Mikroyapıya Etkisi..... | 68 |
| 7.1.2. Bakır Elementinin Mikroyapıya Etkisi | 68 |
| 7.2. Korozyon Sonuçlarının incelenmesi | 69 |
| 7.2.1. Titanyum Elementinin Korozyona Etkisi | 72 |
| 7.2.2. Bakır Elementinin Korozyona Etkisi | 72 |
| 7.3. Aşınma Davranışının İncelenmesi | 73 |
| | |
| BÖLÜM 8 | 76 |
| SONUÇLAR | 76 |
| KAYNAKLAR | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ | 86 |

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..... | 12 |
| Şekil 3.2. Alüminyuma eklenen elementlerin sıcaklığın etkisi ile çözünürlüklerinin değişimi. | 13 |
| Şekil 3.3. Başlıca alüminyum alaşımlarının şematik gösterimi. | 14 |
| Şekil 3.4. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı..... | 15 |
| Şekil 3.5. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı..... | 16 |
| Şekil 3.6. Alüminyum-Mg ₂ Si kısmi faz diyagramı..... | 16 |
| Şekil 3.7. Alüminyum-Titanyum kısmi faz diyagramı. | 17 |
| Şekil 3.8. Alüminyum-Bakır kısmi faz diyagramı. | 18 |
| Şekil 4.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar..... | 21 |
| Şekil 4.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi..... | 23 |
| Şekil 4.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hücresi..... | 23 |
| Şekil 4.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi. | 24 |
| Şekil 4.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi..... | 25 |
| Şekil 4.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi. | 26 |
| Şekil 4.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi..... | 26 |
| Şekil 4.8. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge. | 27 |
| Şekil 4.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi. | 27 |
| Şekil 4.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi | 28 |
| Şekil 4.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi. | 29 |
| Şekil 4.12. Lineer polarizasyon yöntemi ile Rp bulunması. | 31 |
| Şekil 4.13. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri..... | 33 |
| Şekil 5.1. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elektrik rezistanslı fırının (a) kesitten ve (b) dıştan görünümü. | 36 |
| Şekil 5.2. Dökümün yapıldığı metalik kalıbın şematik görünümü. | 37 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.3. Miroyapı incelemelerinde kullanılan Leica DM ILM model optik ışık mikroskobu..... | 38 |
| Şekil 5.4. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Shimadzu HVM2 mikrosertlik test cihazı | 39 |
| Şekil 5.5. Numune temizleme işlemlerinde kullanılan MBTU marka ultrasonik temizleme cihazı. | 40 |
| Şekil 5.6. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik tartı. | 41 |
| Şekil 5.7. Potansiyodinamik/Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği. | 41 |
| Şekil 5.8. Korozyon deneylerinde kullanılan çalışma elektrotu. | 42 |
| Şekil 5.9. Statik korozyon deney hücresi. | 42 |
| Şekil 5.10. Pim üzeri disk tipi aşınma cihazı. | 44 |
| Şekil 6.1. İki farklı sıcaklıkta homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmış Al-12Si-20Mg alaşımının zamana göre sertlik değişim grafiği. | 45 |
| Şekil 6.2. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti ve (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri..... | 46 |
| Şekil 6.3. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu ve (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri..... | 47 |
| Şekil 6.4. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti ve (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri..... | 48 |
| Şekil 6.5. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu ve (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri. | 49 |
| Şekil 6.6. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-4Ti ve (c) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait XRD sonuçları. | 50 |
| Şekil 6.7. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları. | 51 |
| Şekil 6.8. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları. | 52 |
| Şekil 6.9. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları. | 53 |
| Şekil 6.10. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg ₂ Si partikül (a) hacim oranına ve (b) boyutuna alaşım elementinin etkisi. | 54 |
| Şekil 6.11. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların sertliğine alaşım elementinin etkisi..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.12. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg-XTi ve (b) Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki zamana bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişimi..... | 56 |
| Şekil 6.13. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti, (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarının 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri. | 57 |
| Şekil 6.14. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu, (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarının 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri. | 58 |
| Şekil 6.15. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri. | 59 |
| Şekil 6.16. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri. | 60 |
| Şekil 6.17. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri. | 61 |
| Şekil 6.18. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri. | 62 |
| Şekil 6.19. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi..... | 63 |
| Şekil 6.20. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi..... | 64 |
| Şekil 6.21. Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri..... | 65 |
| Şekil 6.22. Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri. | 66 |
| Şekil 7.1. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonunda 24 saat sonundaki (a) ağırlık kayıplarına ve (b) korozyon akımına alaşım elementi içeriğinin etkisi. | 70 |
| Şekil 7.2. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların (a) 3 N, (b) 5 N ve (c) 20 N yük altındaki aşınma hızının alaşım içeriği ile değişimi. | 74 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 4.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak)..... | 22 |
| Çizelge 7.1. Bazı intermetaliklerin potansiyel değerleri..... | 71 |

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 (Saturated 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.

Süresiz 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 süresiz olarak takviyeli MMK'ler, toz metalurjisi, sprey biriktirme, mekanik alaşımlama ve çeşitli döküm teknikleri (sıkıştırılmalı döküm, rheocasting, ve kompozasting) 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 [16-25]. 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 malzeme 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.

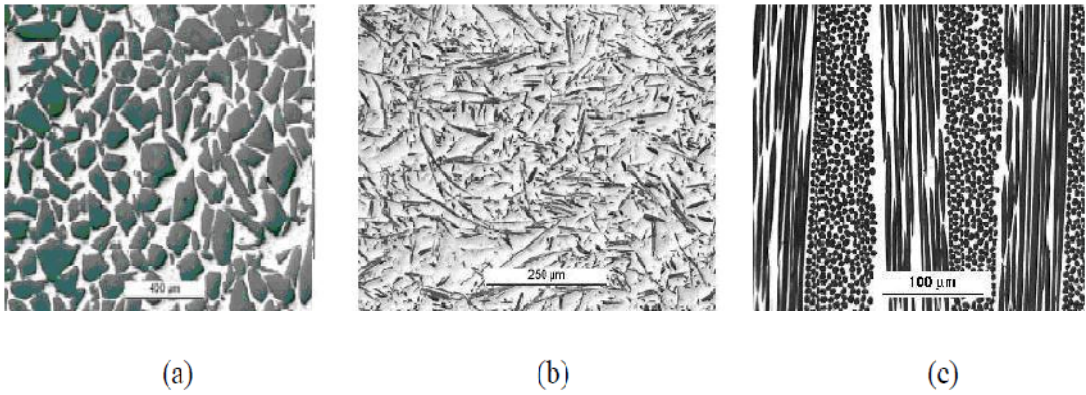
2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

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), politetrafloretillen (PTFA), polietilen (PE) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ise cam, aramid, karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır [41,48].

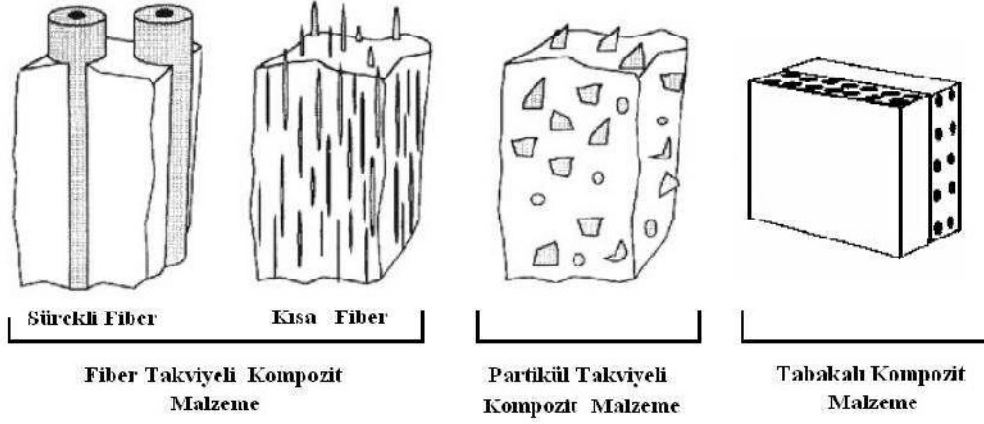
Özellikle cam, aramid ve karbon ile takviye edilmiş polimer kompozitler endüstride geniş uygulama alanına sahiptirler. Bu alanlara örnek olarak uçak ve helikopter parçaları, spor malzemeleri, güçlendirme amaçlı yapı elemanları verilebilir [49].

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 partiküller, Al_2O_3 ve SiC seramik malzemelerdir [52].

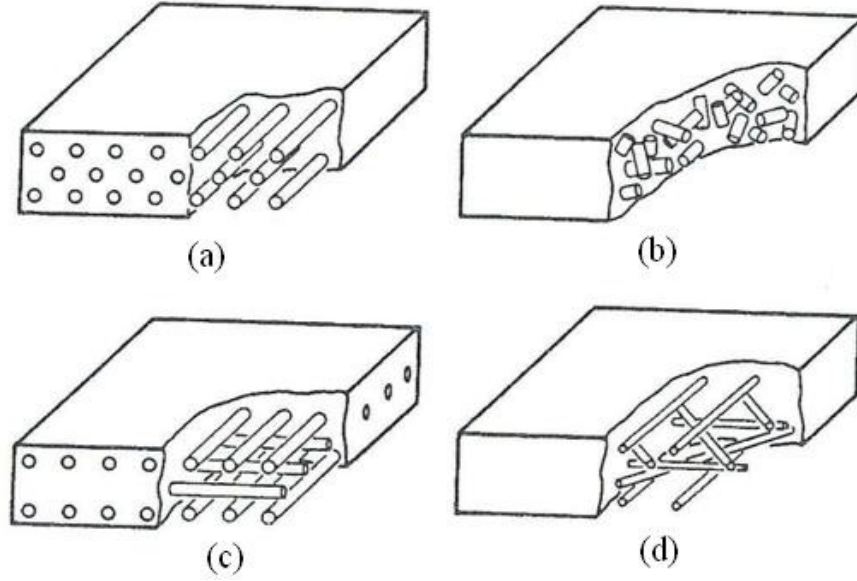
Takviye partiküller; küresel, kübik, tek tip veya farklı tip geometrilere sahip olabilmelerinin yanında kompozit malzeme içerisinde rastgele veya yönlendirilmiş şekilde konumlandırılabilirler. Yönlendirilmiş partikül takviyesi ile özel zorlamalara karşı belirli yönde güçlendirme yapılabilir [41].

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

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:

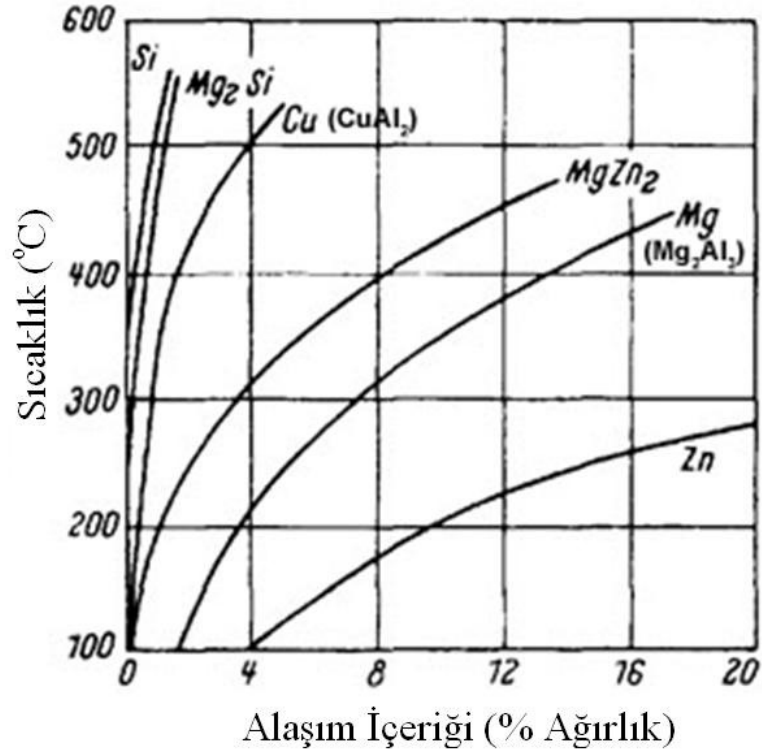
- Motor parçalarının ağırlığının azaltılabilmesi, bu sayede de yakıt tasarrufu sağlanması,
- AMMK malzeme kullanımı ile aşınma dayanımının artırılabilmesi,
- AMMK malzemelerin düşük ısıl genleşme katsayılarına sahip olmaları,
- Özellikle partikül takviyeli AMMK'lerin üretiminde, geleneksel yöntemlere yakın yöntemlerin kullanılabilmesi [55].

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 [56].



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

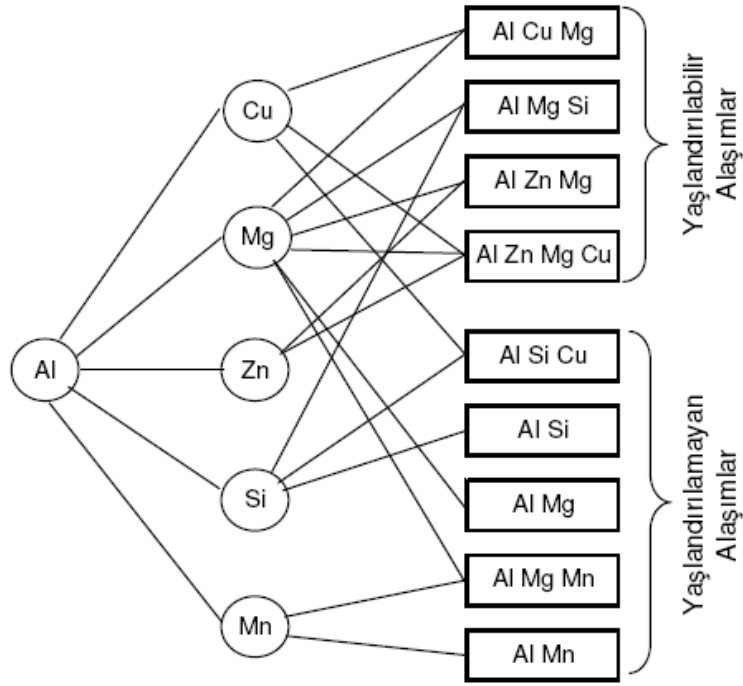
Alüminyum katı çözültisi ile tamamen çözünebilen hiçbir element bilinmemektedir. Çinko, alüminyum içerisinde en büyük katı çözünürlüğe sahiptir (atomik olarak maksimum %66,4). Çinkoya ek olarak, üç elementin katı çözünürlüğü atomik olarak %10’dan büyüktür. Bunlar gümüş, magnezyum ve lityumdur. Galyum, germanyum, bakır ve silisyumun maksimum çözünürlüğü %10’dan az, %1’den fazladır. Diğer bütün elementlerin alüminyum içerisinde katı çözünürlüğü %1’den azdır [57]. 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 [5].

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 ısıl işlem ve daha sonra yaşlandırma işlemiyle önemli ölçüde arttırılabilir [57].

En sık kullanılan ticari alüminyum alaşımlarında bakır, magnezyum, mangan, silisyum ve çinko dayanım artışı sağlar (özellikle soğuk şekillendirme ile deformasyon sertleşmesi veya ısıl işlem veya her ikisiyle) [57]. Şekil 3.3'te alüminyum alaşımlarıyla kullanılan bu elementlerin çeşitli kombinasyonları verilmiştir.



Şekil 3.3. Başlıca alüminyum alaşımlarının şematik gösterimi [58].

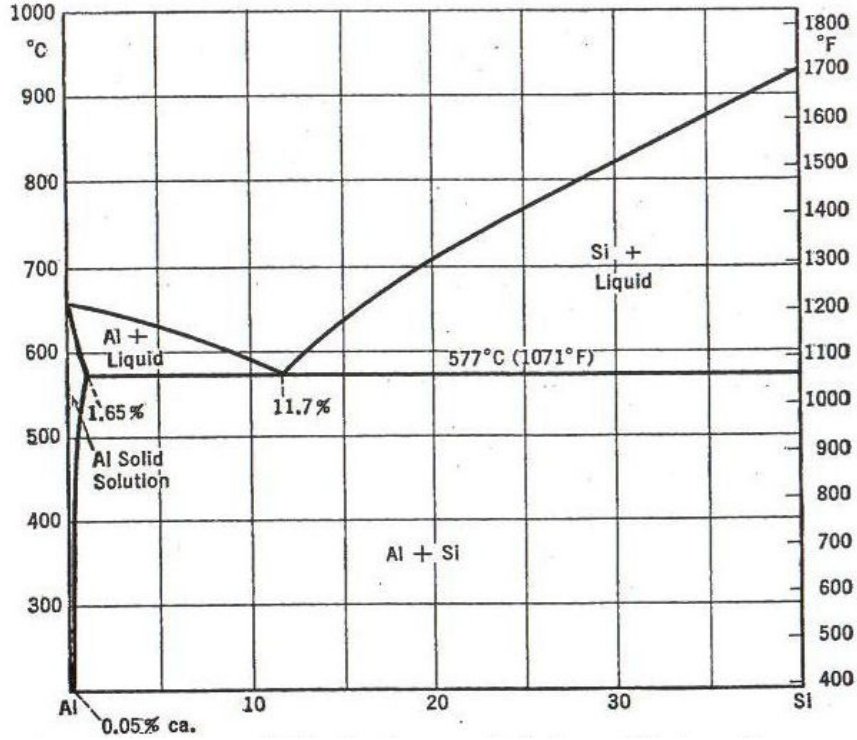
Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur [54].

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].

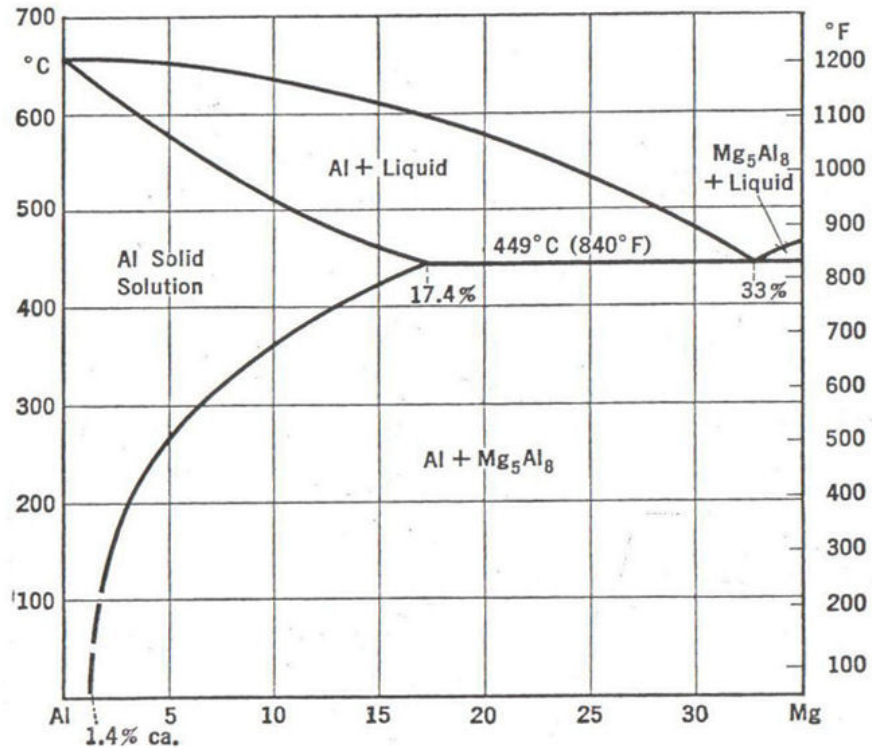
Alüminyum ve silisyum herhangi bir bileşik oluşturmazlar. Silisyum, alüminyum içerisinde sınırlı oranda katı çözünebilirliğe sahiptir. Al ve Si'un farklı sıcaklıklardaki

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 [59].

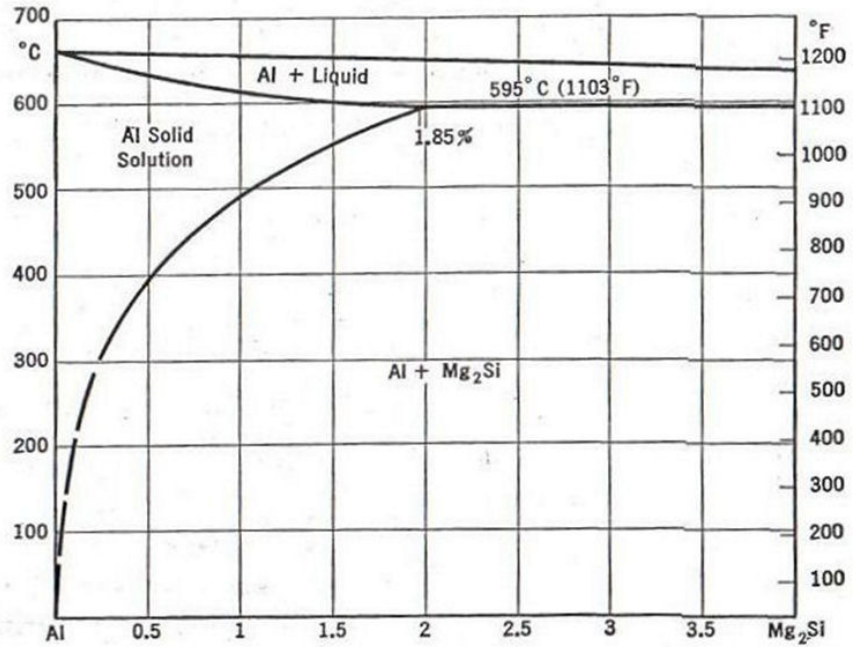


Şekil 3.4. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı [59].

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 [59].

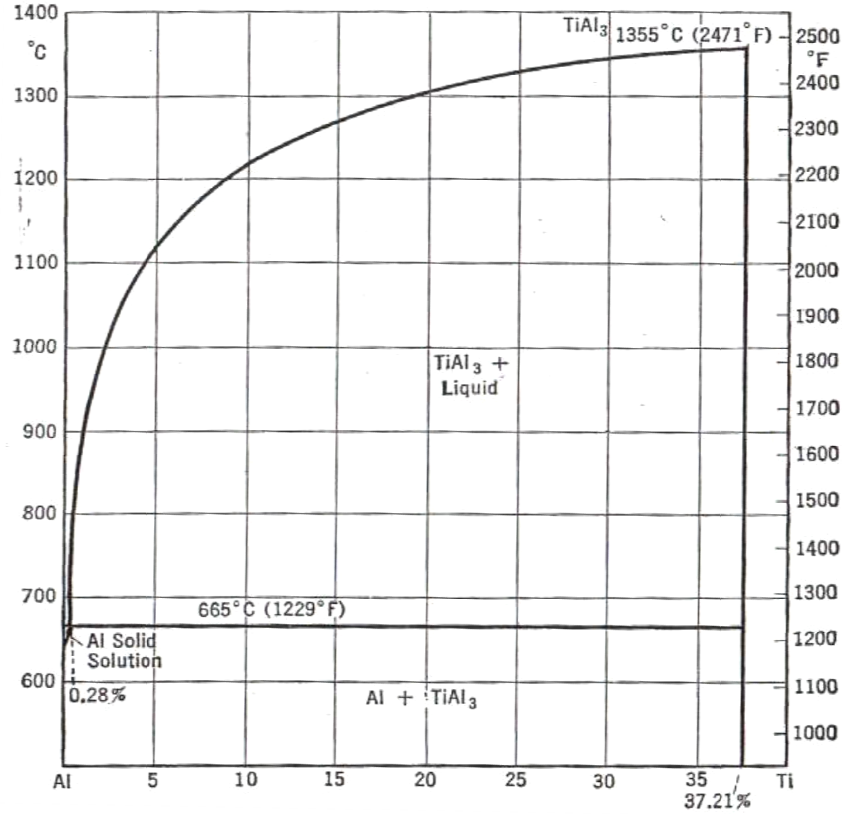


Şekil 3.5. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı [59].



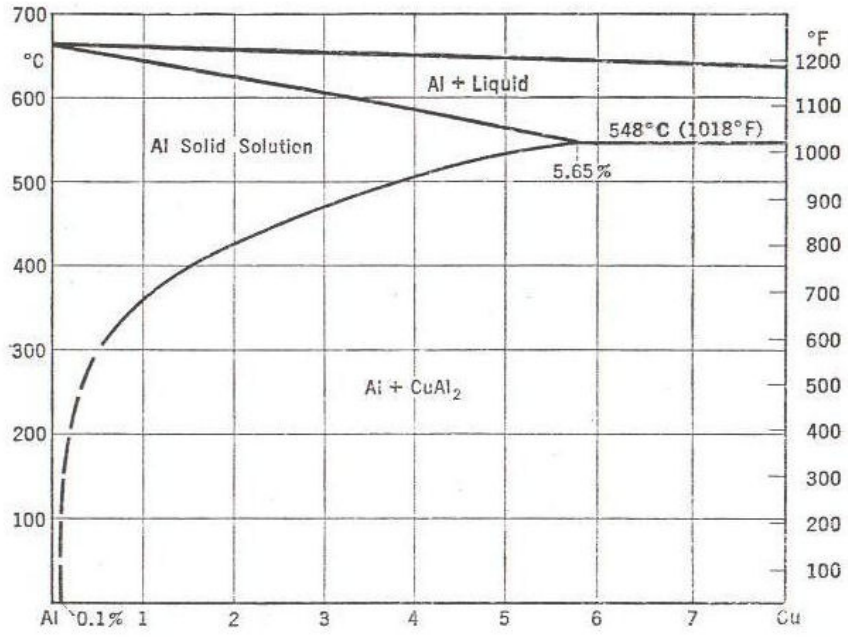
Şekil 3.6. Alüminyum-Mg₂Si kısmi faz diyagramı [59].

Alüminyum içerisindeki titanyumun katı çözünürlüğü yaklaşık olarak %0,28'dir. Bunun üzerindeki Ti miktarlarında, Al tarafından $a=5,42\text{Å}$ $c=8,7\text{Å}$ kafes parametresine sahip tetragonal Al_3Ti bileşeni oluşur. Al-Ti faz diyagramı pratik uygulamalar için oldukça önemlidir. Çünkü Ti ticari alaşımlarda tane inceltici olarak kullanılır ve miktarı da yaklaşık olarak %0,2 kadar yüksek miktarlardadır [59].



Şekil 3.7. Alüminyum-Titanyum kısmi faz diyagramı [59].

Katı alüminyum içerisindeki bakır belli bir miktara kadar çözünebilir. Alüminyum, 548 °C'de %5,65'e kadar Cu çözüdürür. Bunun üzerindeki miktarlarda ve düşük sıcaklıklarda Al_2Cu fazı oluşur. Bu çözünme miktarı sıcaklığın azalmasıyla birlikte düşmektedir. Şekil 3.10'da Al-Cu denge diyagramında %33 Cu içeren alaşımda 548 °C'de Al ve Al_2Cu arasında bir ötektik oluşur. Cu, Al için en yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinden birisidir [59].



Şekil 3.8. Alüminyum-Bakır kısmi faz diyagramı [59].

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 [60].

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

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

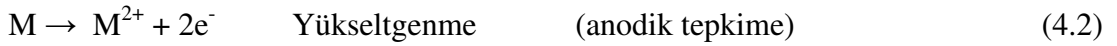


yüklü metal iyonu meydana gelir [61].

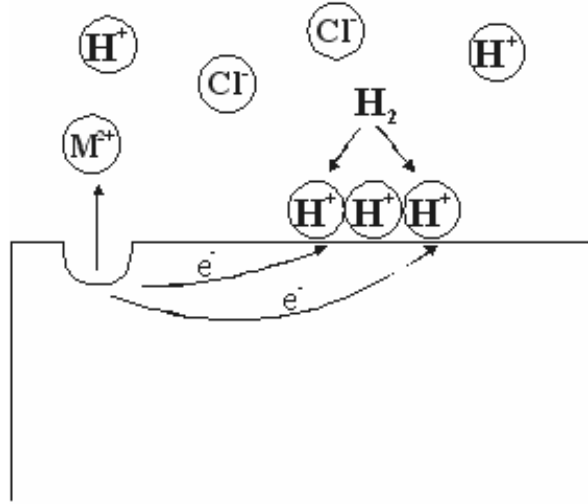
Korozyon tepkimeleri, çoğu metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu (Au, Pt, Ir ve Pd gibi soy metaller dışında) veya dış akımların etkisiyle yürür. Metal korozyonu ister anodik ister katodik tepkime ile denetlensin, çoğu hallerde korozyon hızı, yük aktarım basamağı ile sınırlanır. Metal iyonları oluştuğu zaman elektrik devresi tamamlanarak sürekli bir akım yolu sağlanmış olur [61].

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 [62].

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

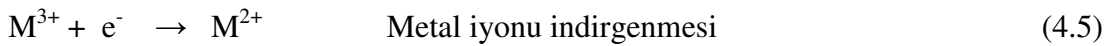


Bu tepkimeler metal yüzeyinde aynı anda ve aynı hızda gerçekleşirler. Yani korozyon sırasında anottaki yükseltgenme hızı katottaki indirgenme hızına eşittir. Şekil 4.1'de HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olayların şematik gösterimi görülmektedir [62].



Şekil 4.1. HCl ortamında metalin korozyonu sırasında gerçekleşen elektrokimyasal olaylar [62].

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 [62].

4.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

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

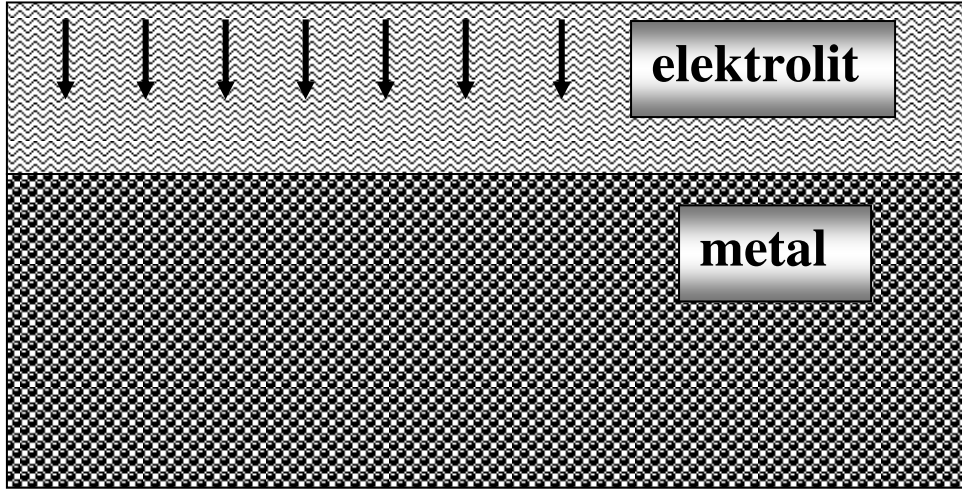
- Gözle görülebilen korozyon (Makro Korozyon)
- Mikroskopla görülebilen korozyon (Mikro Korozyon)
- Karışık korozyon (Mikro + Makro Korozyon)

Çizelge 4.1. Bölgesel korozyon (sınıflanmış olarak) [63].

| 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)

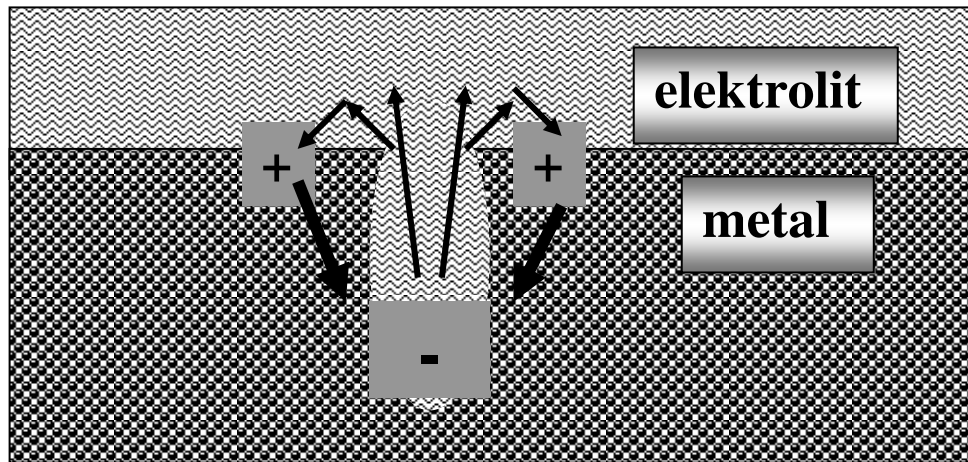
Metal yüzeylerinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Üniform korozyonu sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede kalır [64].



Şekil 4.2. Homojen korozyonun şematik şekilde gösterimi [63].

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 [64].

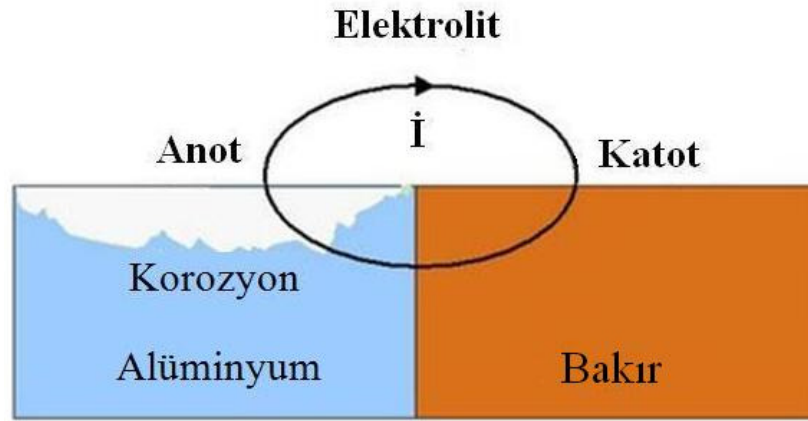


Şekil 4.3. Oyuklaşma ile oluşan bir korozyon hücresi [63].

Çukurun dibi bir anot görevi görürken, çukur ağzındaki yüzeyler katot görevi görmektedirler. İyonik akım elektrolitten geçerken, elektronik akım metalden geçer (Şekil 4.3) [63].

4.1.3. Galvanik Korozyon

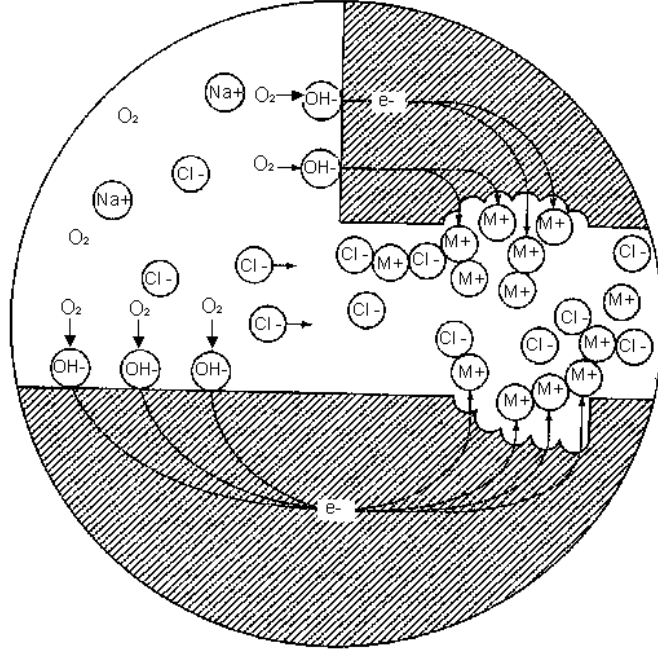
İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar [64].



Şekil 4.4. Galvanik korozyonun şematik gösterimi [65].

4.1.4. Çatlak (Aralık) Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltinin 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 [64].



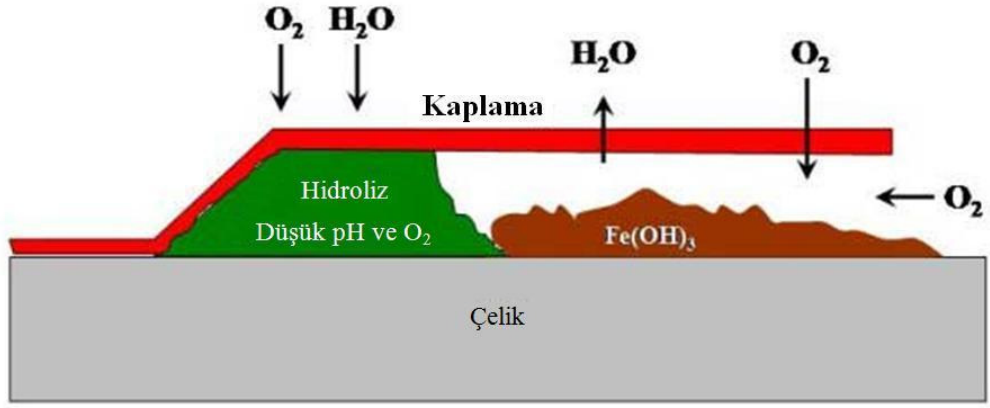
Şekil 4.5. Aralık korozyonunun şematik gösterimi [63].

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 [64].

4.1.6. Filiform Korozyonu

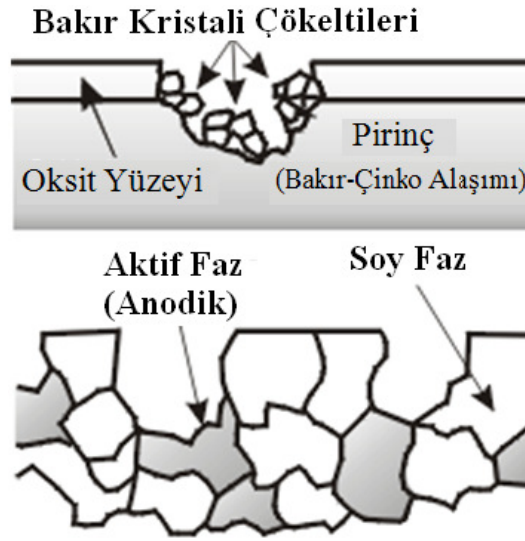
Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir [64].



Şekil 4.6. Filiform korozyonun şematik gösterimi [66].

4.1.7. Seçimli Korozyon

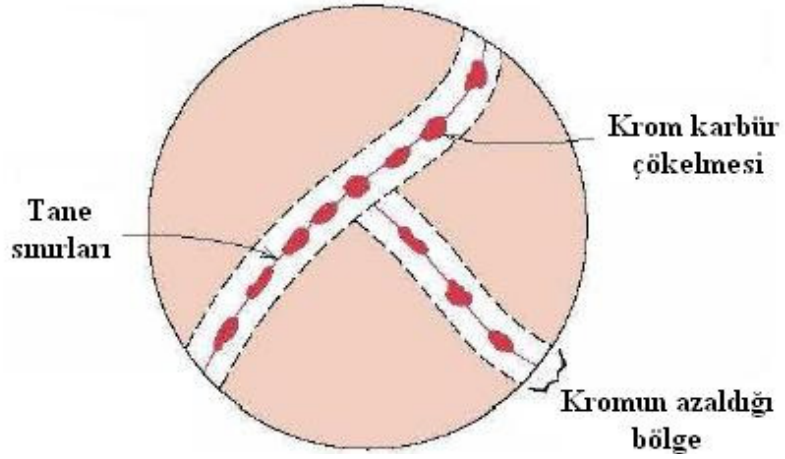
Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımında bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır [64].



Şekil 4.7. Seçimli korozyonun şematik gösterimi [67].

4.1.8. Taneler Arası Korozyon

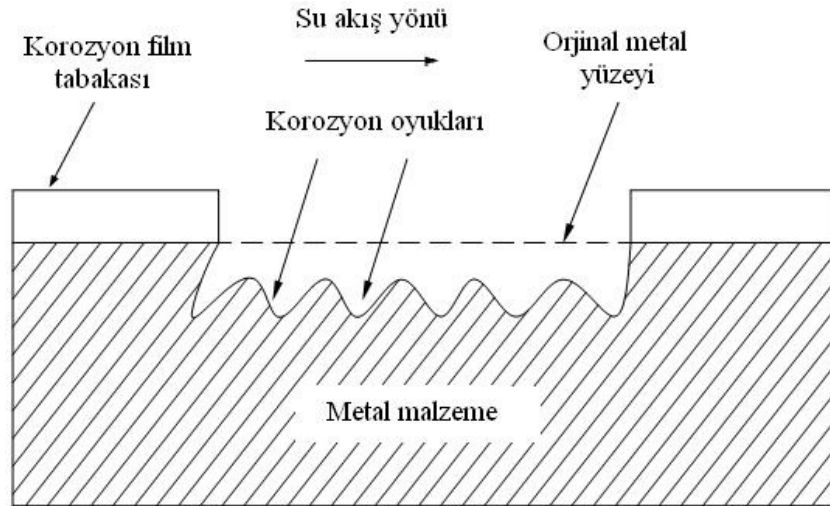
Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür (Şekil 4.8) [64].



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 [64].



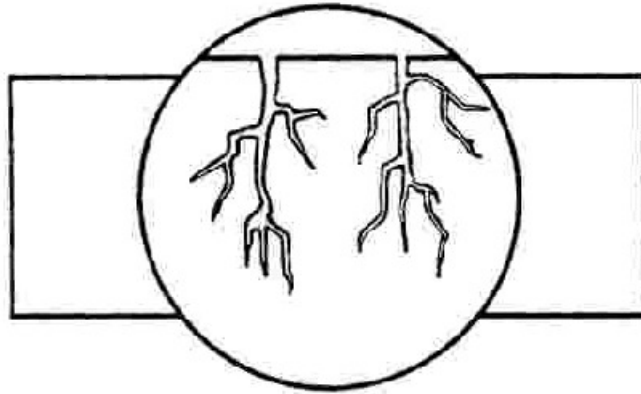
Şekil 4.9. Erozyonlu korozyonun şematik gösterimi.

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 [64].

4.1.11. Gerilmeli Korozyon

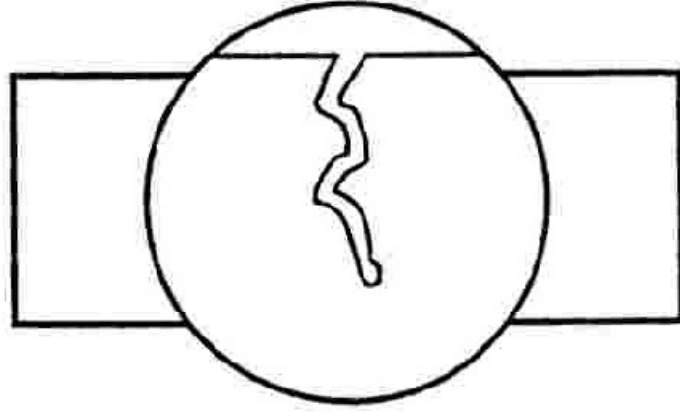
Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam oluşur. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturmaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur [64].



Şekil 4.10. Gerilmeli korozyonun şematik gösterimi [68].

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 [64].



Şekil 4.11. Yorulmalı korozyonun şematik gösterimi [68].

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 [64].

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 [64].

4.1.15. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyonu

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletme, 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 [64].

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 [61].

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 [61].

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

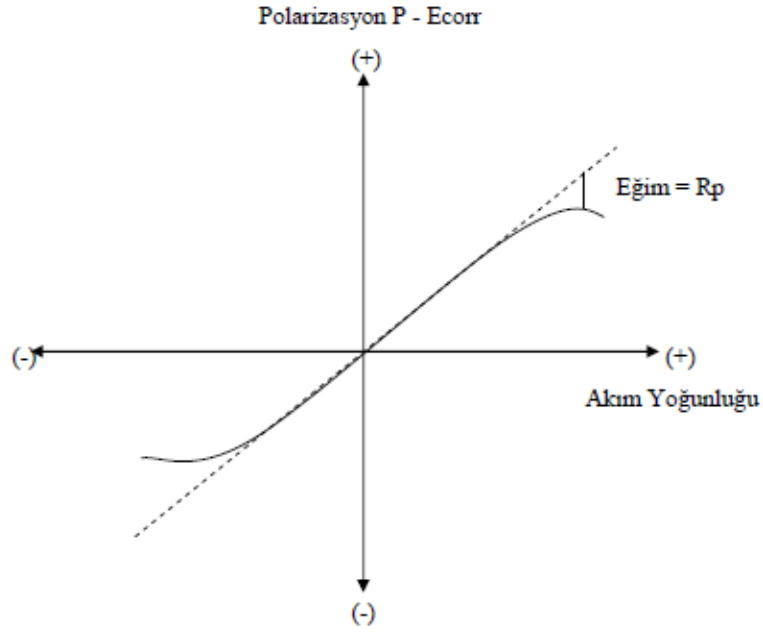
Bu yöntemde korozyon akımı Faraday yasası ile şöyle bulunabilir:

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

Burada Δm kütle kaybını, M metalin molar kütleini, F Faraday sabitini, n söz konusu metalin çözünmeye geçme değerini ve Δt ise zaman aralığını göstermektedir [61].

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) [61].



Şekil 4.12. Lineer polarizasyon yöntemi ile R_p bulunması [62].

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

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

Burada; Δm ağırlık azalması, F Faraday sabiti; n alınan verilen elektron sayısı, M_k metalin atom gramının kütlesi, Δt zaman aralığıdır [62].

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

I_{corr} korozyon akımını, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik tafel sabitlerini, R_p polarizasyon direncini gösterir [62].

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 [61].

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.

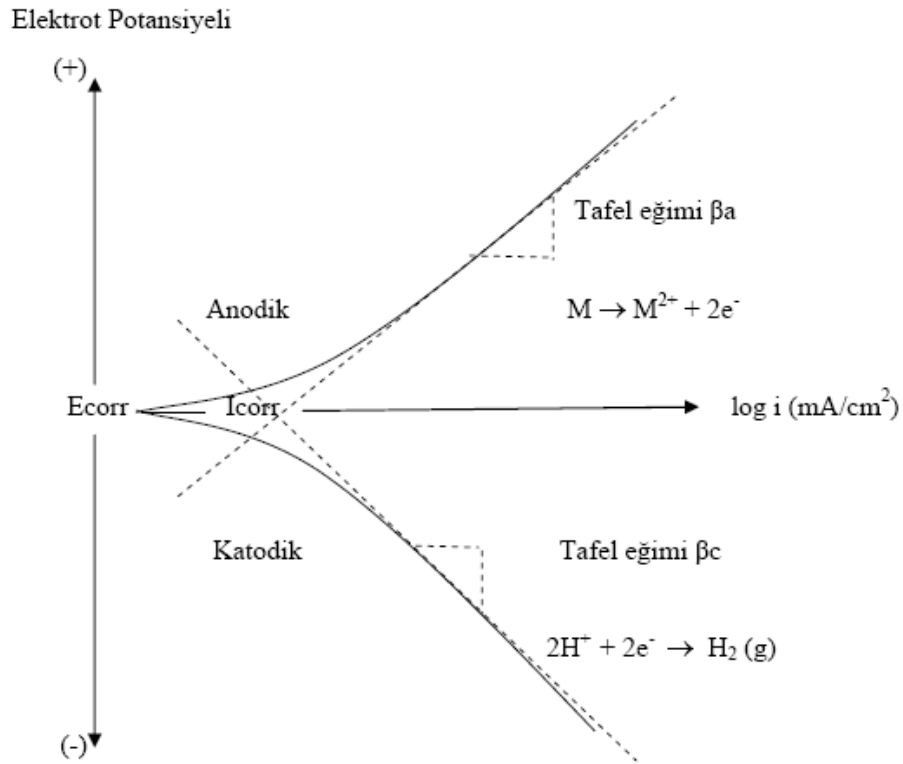
Korozyon metal ve çözelti arasında anodik ve katodik reaksiyonların oluşup dengeye gelmesiyle oluşur. Anodik reaksiyonda açığa çıkan elektron katodik reaksiyonda indirgenmede kullanılır. Bu yolla korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımı ölçülerek 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 [60].

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 [60].

Korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir. Bu eğrileri çizebilmek için, çalışılacak potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle 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 [60].

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 [60].



Şekil 4.13. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri [60].

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 [60].

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 [61].

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:

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

Katot söz konusu olduğunda:

$$b_{anot} \rightarrow b_{katot} \quad ; \quad i_{anot} \rightarrow i_{katot} \quad \text{olacaktır [66].} \quad (4.14)$$

Katodik ve anodik reaksiyonlar bir korozyon işlemi olarak birleştirildiğinde, metal çözünümünden kaynaklı anodik akım, redüksiyon nedeniyle oluşan eşit katodik akım ile dengelenmelidir [61].

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 [61].

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 [61].

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

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

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

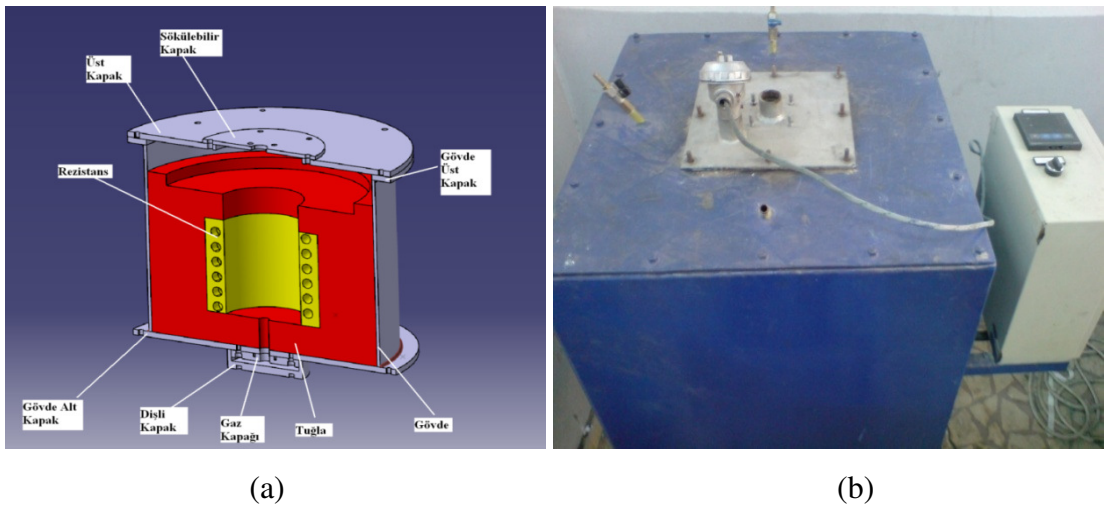
BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı yerinde Mg_2Si partikül takviyeli Al-12Si-20Mg alaşım matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine Ti ve Cu'nun 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 ısı işlem parametrelerinin belirlenmesi için alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımına 300 ve 450 °C'lerde 8 saate kadar ısı işlem uygulanmıştır. Optimum ısı işlem parametreleri mikrosertlik ölçümlerine göre tayin edilmiştir. Üretilen kompozit, homojenleştirme ısı işleminden sonra metalografik inceleme, sertlik ölçümü, çekme deneyi, korozyon ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

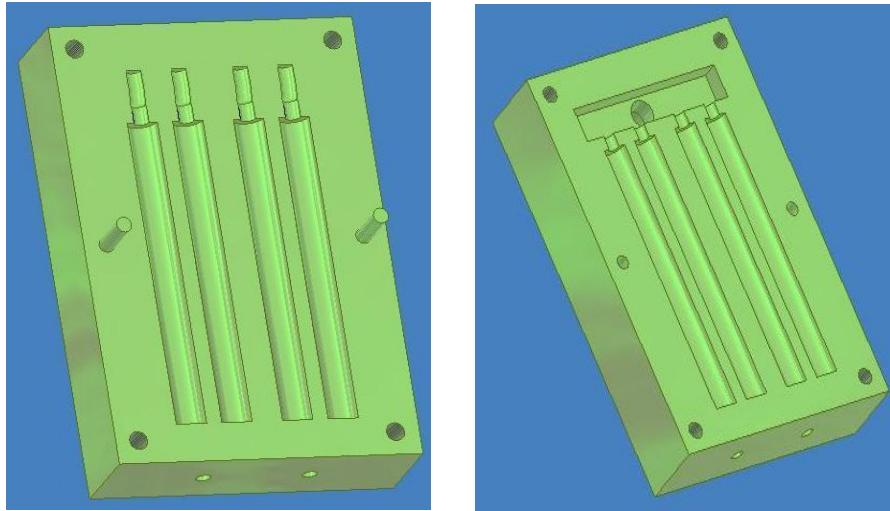
5.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ

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 Ti ve Cu 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 (Al-ağırlıkça %10 Sr ön alaşımı yardımı ile), %0,2 kırmızı fosfor ve %0,3 NaCl+30MgCl₂+10KCl tuz karışımları bu ergiye 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 kullanılarak yapılmıştır. Ergiyik, 20 mm çapında 250 mm uzunluğunda çubuk şekilli ingotlar üretmek için 300 °C’de metalik kalıba dökülmüştür. Kullanılan metalik kalıbın teknik resmi ve 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. Mikroyapı 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 resimler ve her bir resim üzerine çizilen 10 adet çizgi üzerinden yapılan ölçümlerle saptanmıştır.

5.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN XRD İNCELEMESİ

İncelenen alaşımların matriksinde bulunan fazlar, Philips marka XRD cihazında tespit edilmiştir. 50 kV jeneratör gerilimi, 20 mA akımda 20°-150° açı aralığında ve 0,07° adım tarama boyutlu 1°/d. hızda elde edilmiştir. Radyasyon oluşturmak için Cu-K α ışını kullanılmıştır.

5.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İncelenen alaşımların optimum ısıl işlem parametrelerinin belirlenmesi ve alaşım elementine bağlı olarak alaşım özelliklerinin değişimini belirlemek için kütleli sertlikleri, Shimadzu HMV2 mikro sertlik 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.

Yüksek yüklerdeki sertlik ölçüm sonuçları, 1000 g yük altında gelişen iz, mikroyapı bileşenlerinin (matris, birincil Mg_2Si partikülleri ve diğer intermetaliklerin) 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 Ti ve Cu içeren Al-12Si-20Mg alaşımları 12 mm çapında 5 mm yüksekliğinde silindirik şekilli olarak hazırlanmıştır. Numunelerin yüzeyleri üzerinde 3 mm çapında delik delinerek korozyona dayanıklı naylon ipliklerle çözelti içerisine daldırılmıştır. Korozyon deneyi öncesinde numunelerin tüm yüzeyleri metalografik prosedüre uygun olarak 1000 mesh zımparaya kadar parlatılmış ve deney öncesi numuneler saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik (Şekil 5.5) olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur.



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

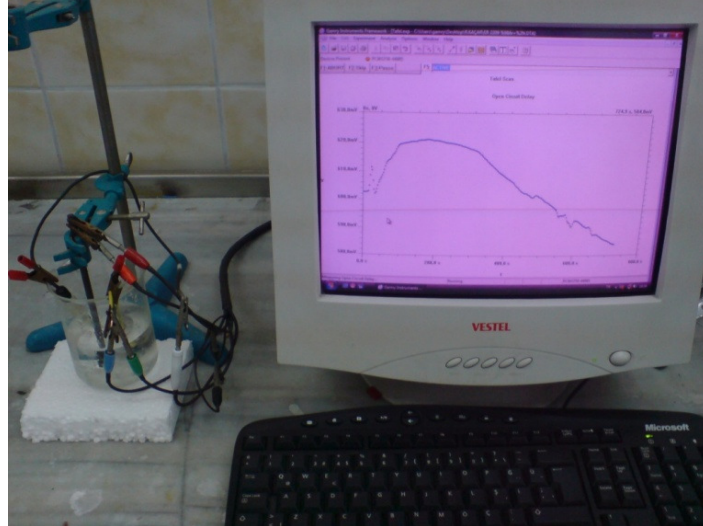
Çözelti hacminin numune yüzey alanına oranı yaklaşık olarak 175 ml/cm^2 'dir. Numunelerin ağırlık kayıpları, 2 saat aralıklarla toplam 24 saat süre içerisinde 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide (Şekil 5.6) ölçülmüştür. Deney sonuçları, numunelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına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



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

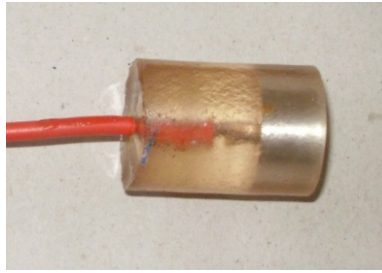
5.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Deneyler

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



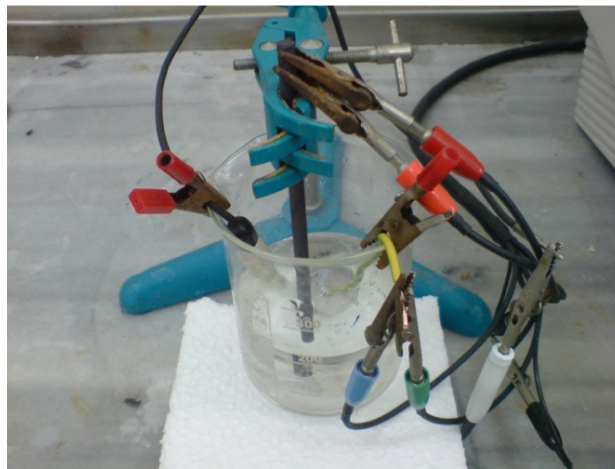
Şekil 5.7. Potansiyodinamik/Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.

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, çalışma elektrotu olarak $0,785 \text{ cm}^2$ sabit yüzey alanına sahip incelenen alaşımlar, karşı elektrot görevini yapan 6mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doymun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Çalışma elektrotu ile karbon elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, referans elektrot ise çalışma elektroduna olabildiğince yakın yerleştirilmiştir (Şekil 5.9).



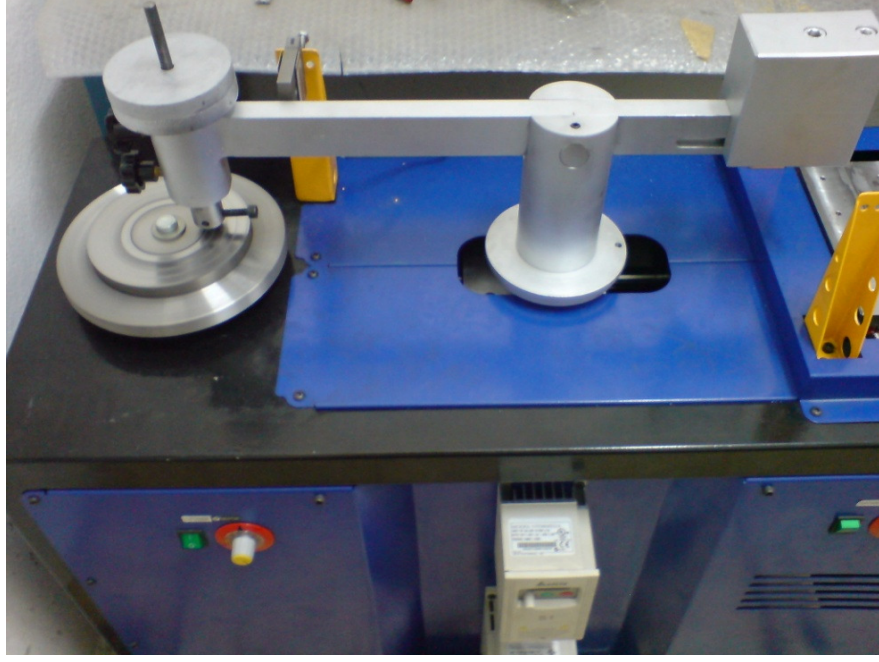
Şekil 5.9. Statik korozyon deney hücresi.

Korozyon deneyleri sırasında elektrolit içine çalışma elektrotunun ve referans elektrotunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi ilk 45 dakika süreyle, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (E_{corr}) ulaşıldıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri -1.00'dan 1.00 V'a kadar 1 mV/s tarama aralığında 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 olmak üzere polarizasyon eğrileri birbirlerini doğrulayınca kadar tekrar edilerek sonuçların daha güvenilir olmasına çalışılmıştır.

Gerek ağırlık kaybı ve gerekse potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrasında numuneler, çözelti içerisinden 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 (Şekil 5.10) aşınma cihazında yapılmıştır. İncelenen numunelerin aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak 59 HRC sertliğine sahip 4140 kalite çelik disk ve 10 mm çapında 20 mm yüksekliğinde deney numunesi kullanılmıştır.



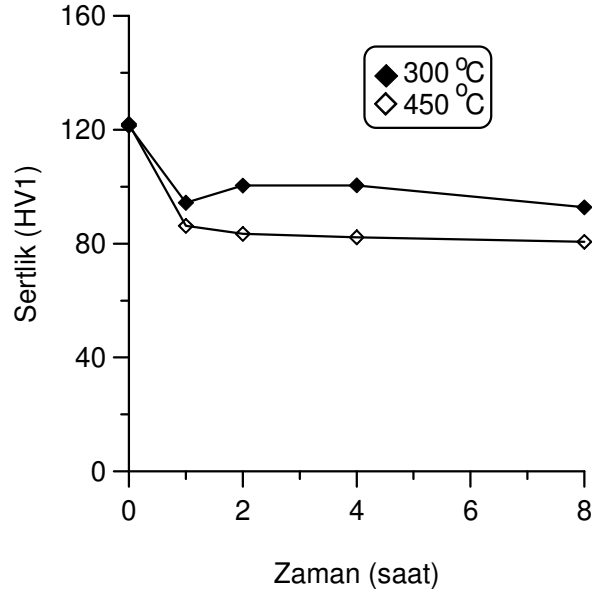
Şekil 5.10. Pim üzeri disk tipi aşınma cihazı.

Numuneler, 3N, 5N ve 20N yük altında, 0,5 m/s kayma hızında ve 2000 m ve 4000 m kayma mesafelerinde test edilmiştir. Deney öncesi ve sonrası numuneler 0,1 mg hassasiyetine sahip elektronik terazide ağırlıkları 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 çapında ve 200 mm yüksekliğinde çubuk halinde dökülen Al-12Si-20Mg master alaşımına farklı sürelerde ve 300 ile 450 °C’de uygulanan homojenleştirme ısıl işlemi sonuçları Şekil 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.1 göz önünde bulundurularak döküm halindeki numunelere uygulanacak homojenleştirme koşulu için, homojenleştirme sıcaklığı 300 °C ve bekleme süresi 4 saat olarak seçilmiştir.

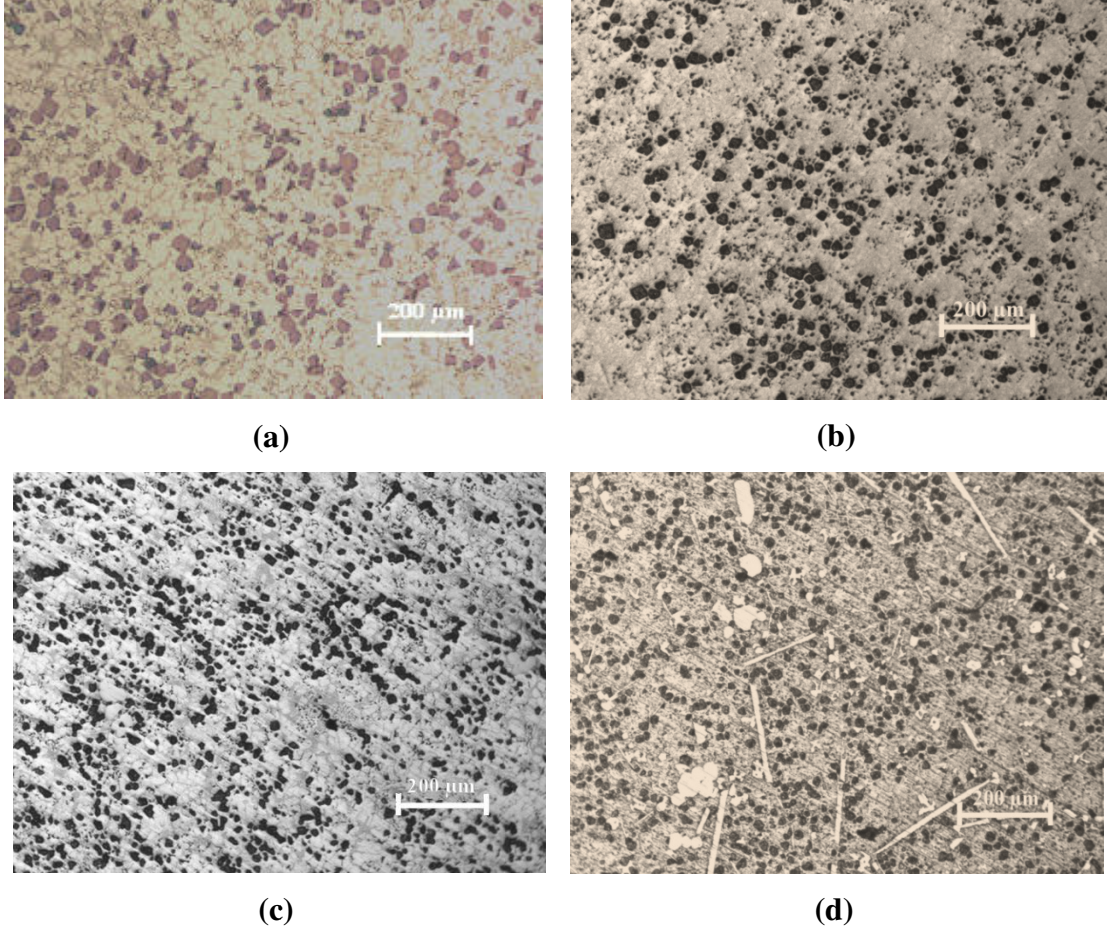


Şekil 6.1. İki farklı sıcaklıkta homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmış Al-12Si-20Mg alaşımının zamana göre sertlik değişim grafiği.

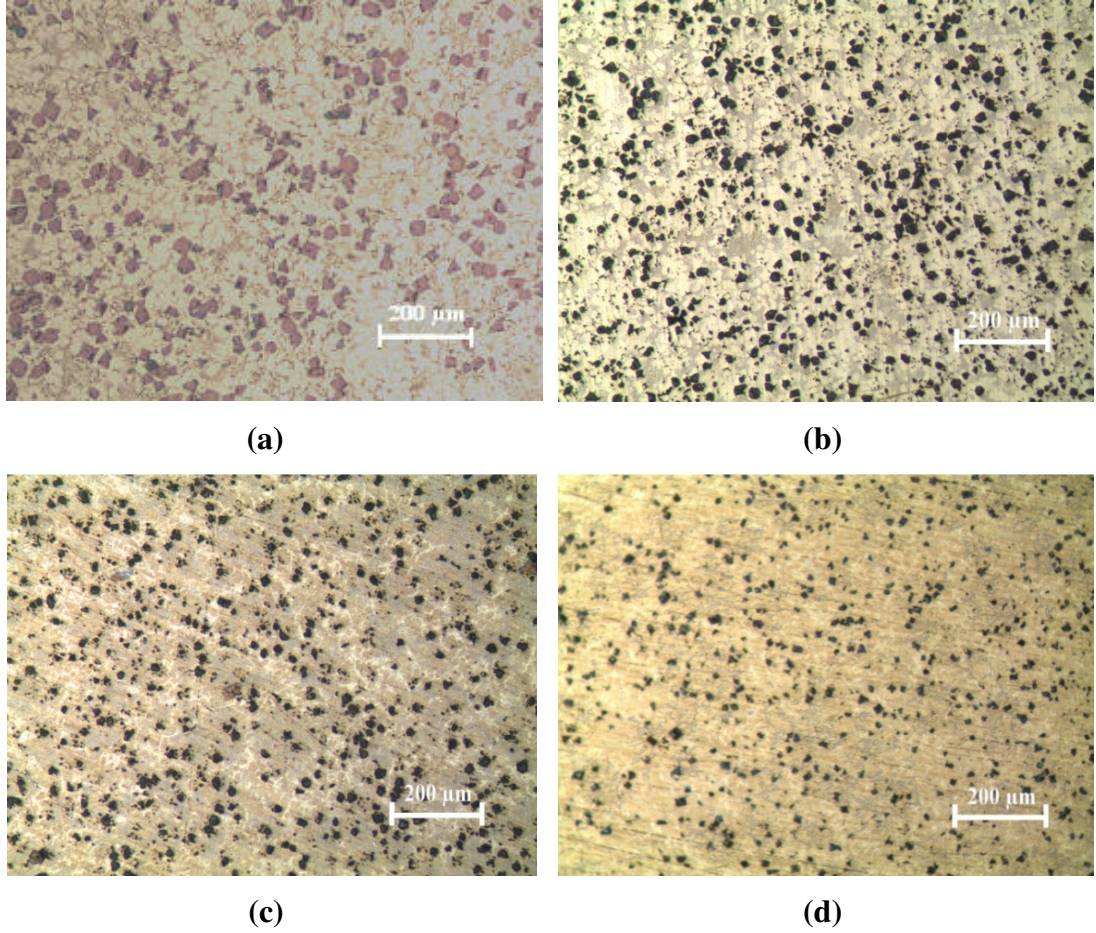
6.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI SONUÇLARI

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’de sırasıyla Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşımları için verilmiştir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’den 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 göstermektedir. Ayrıca Al-12Si-20Mg alaşımına gerek Ti ve gerekse Cu ilavesi ile poligonal şekilli partiküllerin miktarı ve boyutunda belirgin bir azalma meydana gelmiştir.



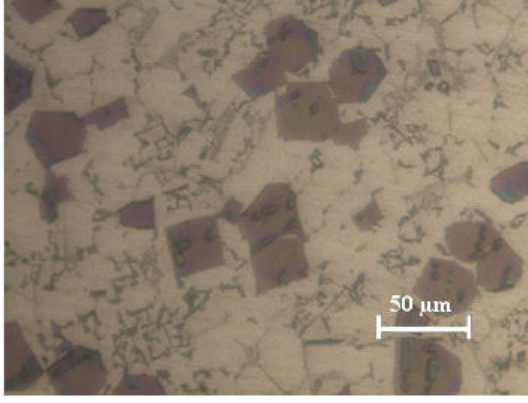
Şekil 6.2. Homojenleştirme ısı işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti ve (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.



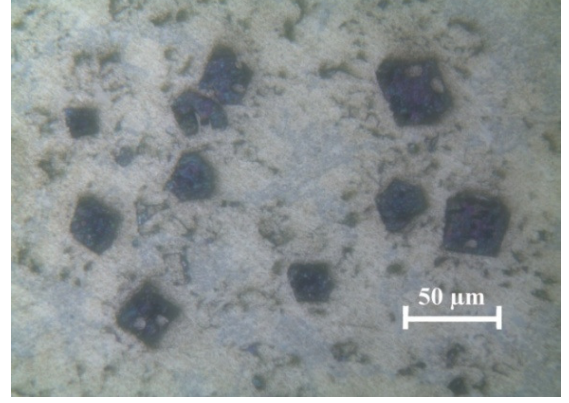
Şekil 6.3. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu ve (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.

İncelenen alaşımların yüksek büyütmedeki optik ışık mikroyapıları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sırasıyla Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşımları için verilmiştir. Alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımının mikroyapısında köşeli (poligonal) koyu gri renkli partikülünün yanı sıra gri renkli Çin yazısı şekilli faz, açık gri renkli iğnesel faz ve beyaz renkli matris yer almaktadır.

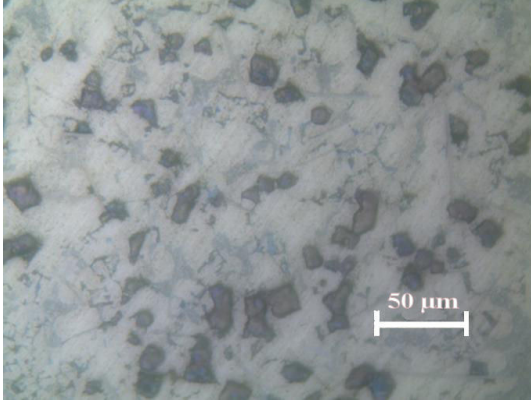
Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının mikroyapı incelemeleri alaşıma gerek Ti ve gerekse Cu ilavesinin poligonal şekilli partiküllerin yanı sıra, sırasıyla açık gri renkli kaba çubuk şekilli (Şekil 6.4) ve koyu gri şekilsiz fazların oluşumuna (Şekil 6.5) sebep olduğunu ortaya koymuştur.



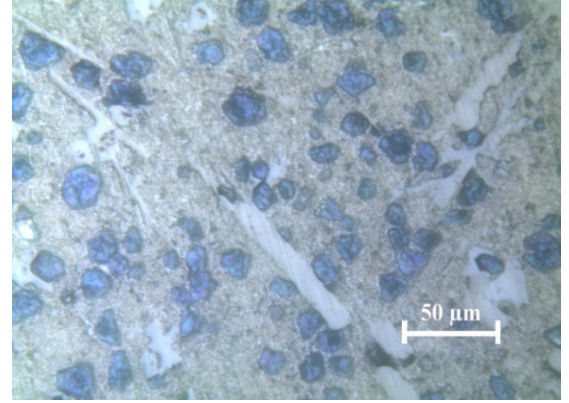
(a)



(b)

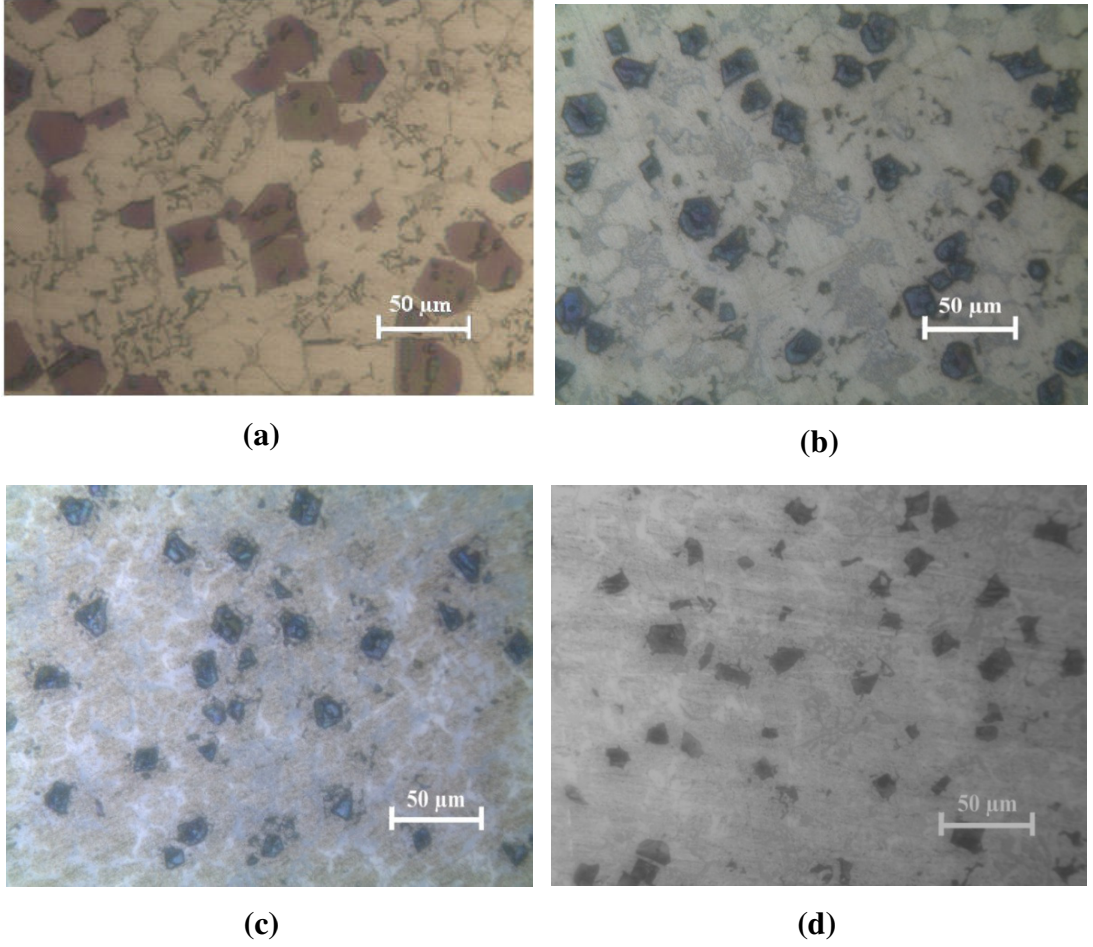


(c)



(d)

Şekil 6.4. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti ve (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.

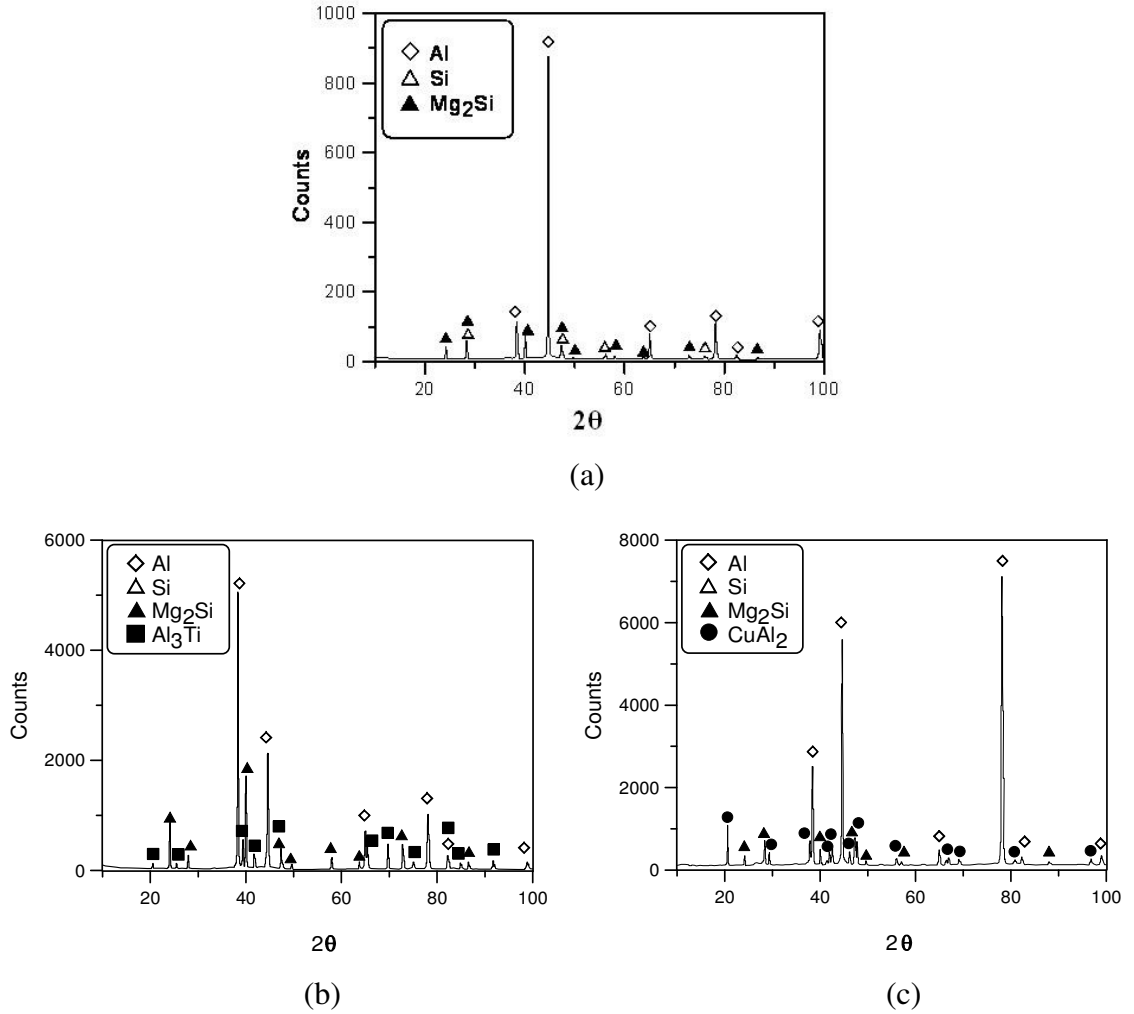


Şekil 6.5. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu ve (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait optik mikroyapı görüntüleri.

6.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLEŞENLERİNİN YAPI ANALİZ SONUÇLARI

İncelenen Al-12Si-20Mg, Al-12Si-20Mg-4Ti ve Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarının mikroyapısında bulunan bileşenlerin yapı analizi, XRD testi ve SEM’de gerçekleştirilen EDS testleri ile yapılmıştır. İncelenen alaşımların XRD ve EDS analiz sonuçları Şekil 6.6-Şekil 6.9’da verilmiştir. Alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımının XRD sonuçları, Al (matris), Si ve Mg_2Si fazının oluştuğunu ortaya koymaktadır. Literatürde [70], bu çalışma ile uyumlu olarak bu fazların oluştuğu belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 6.6, Al-12Si-20Mg alaşımına %4 oranında ilave edilen Ti ve/veya Cu alaşım elementleri ile sırasıyla Al_3Ti ve/veya $CuAl_2$ fazlarının oluştuğunu göstermektedir. EDS analizleri (Şekil 6.7-6.9) bu fazların ilgili alaşımın

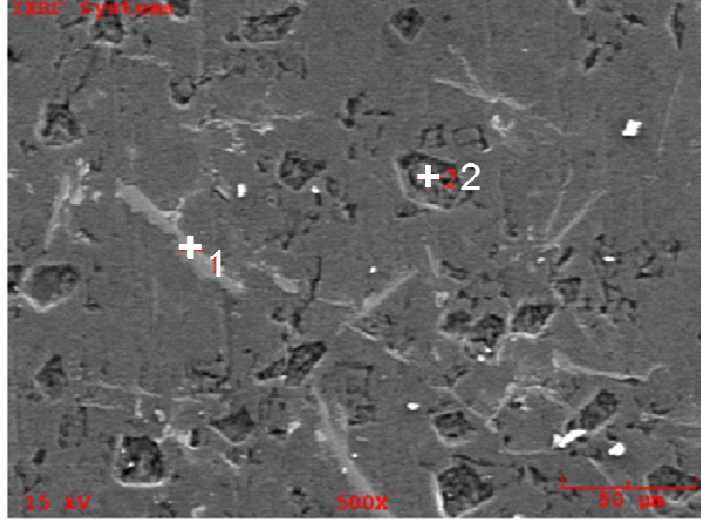
mikroyapısında hangi renk ve şekildeki fazların olabileceğini göstermiştir. Si fazı, yalnız alaşım elementi içermeyen Al-12Si-20Mg alaşımında görülürken, diğer alaşımın mikroyapısında (Şekil 6.6) ortaya çıkmamıştır. Çokgen şekilli koyu renkli fazın ve Çin yazısı şekilli ötektik yapının ise Mg_2Si olduğunu EDS analizleri belirtmektedir. Buna ilave olarak, Al_3Ti ve $CuAl_2$ fazları verilen elementlerce zengin ilgili mikroyapı fotoğraf üzerinde (Şekil 6.6-Şekil 6.9) sırasıyla açık gri renkli kaba iğnesel ve yuvarlak şekilli (Şekil 6.8) faza ve açık renkli şekilsiz (Şekil 6.9) faza karşılık gelmektedir.



Şekil 6.6. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg, (b) Al-12Si-20Mg-4Ti ve (c) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarına ait XRD sonuçları.

Optik ışık mikroskobu incelemelerinden farklı olarak, Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımının SEM fotoğrafında koyu gri renkli şekilsiz faza rastlanmıştır. Bu faz üzerinden alınan EDS analiz sonuçları bu fazın Al, Mg, Si ve Cu'dan oluşan kompleks bir bileşime

sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 6.9). Bu faza ait pik, XRD analizinde tespit edilememiştir.

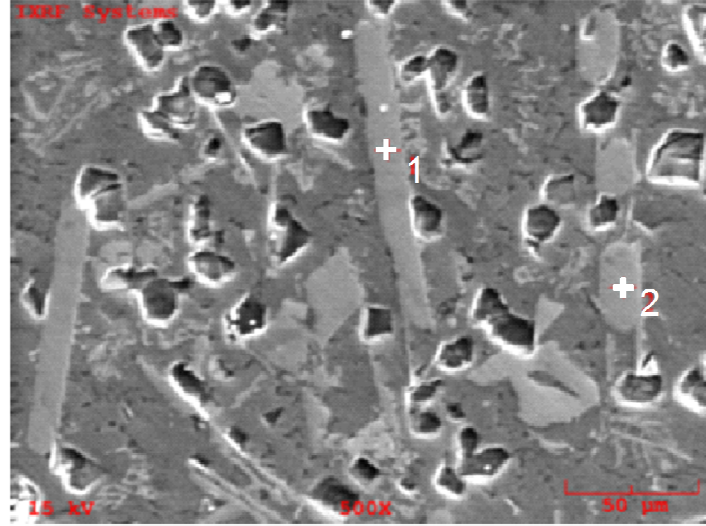


(a)

| EDS Analiz Sonuçları | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Element | % Ağırlık | |
| | 1 Nolu nokta | 2 Nolu nokta |
| Al | 72.8 | 67.0 |
| Si | 26.9 | 12.3 |
| Mg | 0.25 | 11.5 |

(b)

Şekil 6.7. Homojenleştirme ısı işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.

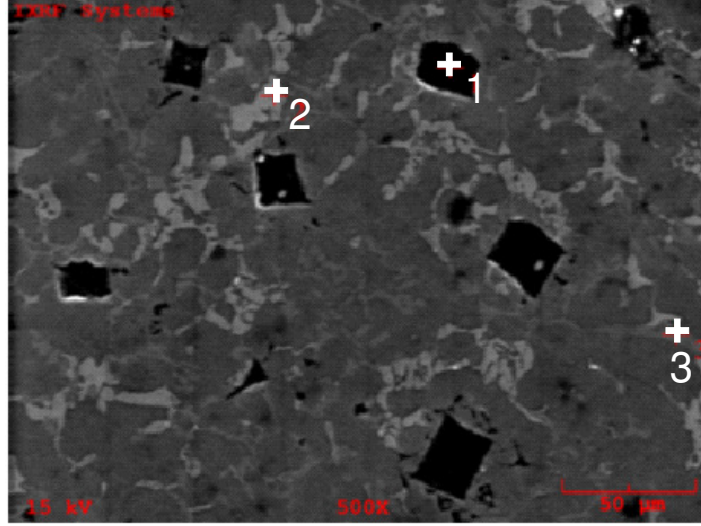


(a)

| EDS Analiz Sonuçları | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Element | % Ağırlık | |
| | 1 Nolu nokta | 2 Nolu nokta |
| Al | 59.9 | 57.6 |
| Si | 10.4 | 11.2 |
| Mg | 0.21 | 0.25 |
| Ti | 29.5 | 31.0 |

(b)

Şekil 6.8. Homojenleştirme ısı işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.



(a)

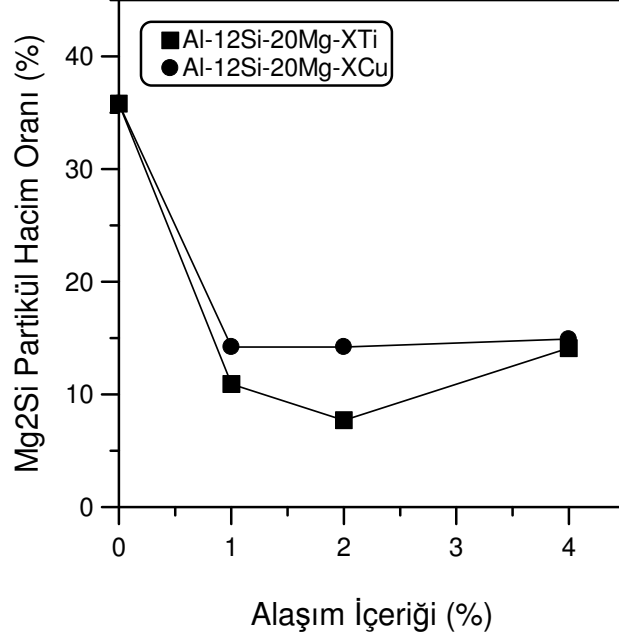
| EDS Analiz Sonuçları | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Element | % Ağırlık | | |
| | 1 Nolu nokta | 2 Nolu nokta | 3 Nolu nokta |
| Al | 0.8 | 57.7 | 18.5 |
| Si | 55.2 | - | 33.8 |
| Mg | 44.0 | - | 29.4 |
| Cu | - | 42.3 | 18.3 |

(b)

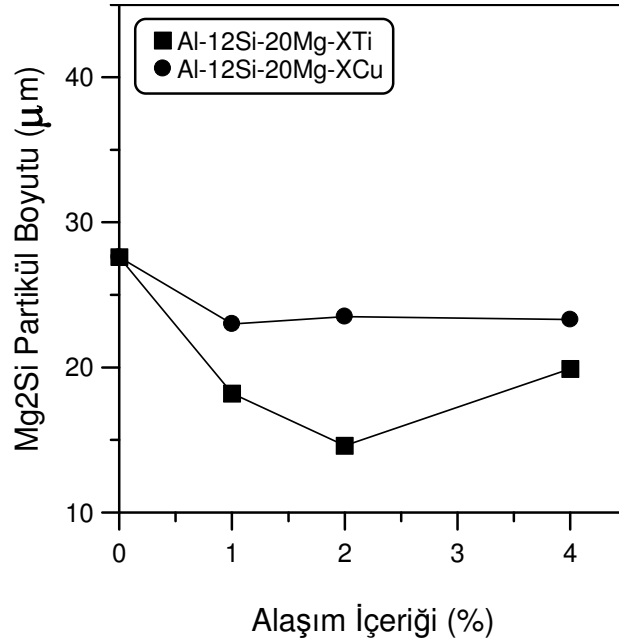
Şekil 6.9. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımına ait (a) SEM görünümü ve (b) görüntü üzerindeki noktaların EDS analiz sonuçları.

6.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN GÖRÜNTÜ ANALİZ SONUÇLARI

İncelenen mikroyapılarda gözlenen poligonol şekilli Mg_2Si partiküllerin % hacim oranı ve boyutunun, alaşım elementi içeriği ile değişimi Şekil 6.10'da çizilmiştir. Gerek Mg_2Si partikül hacim oranı ve gerekse partikül boyutu %1 oranında alaşım elementi ilavesi ile düşüş göstermiştir. Partikül hacim oranı ve boyutunda en belirgin azalma %1 Ti ilavesi ile meydana gelirken, %1'in üzerinde daha fazla Ti ve Cu ilavesi ile partikül boyut ve hacim oranında belirgin bir değişim gözlenmemektedir.



(a)



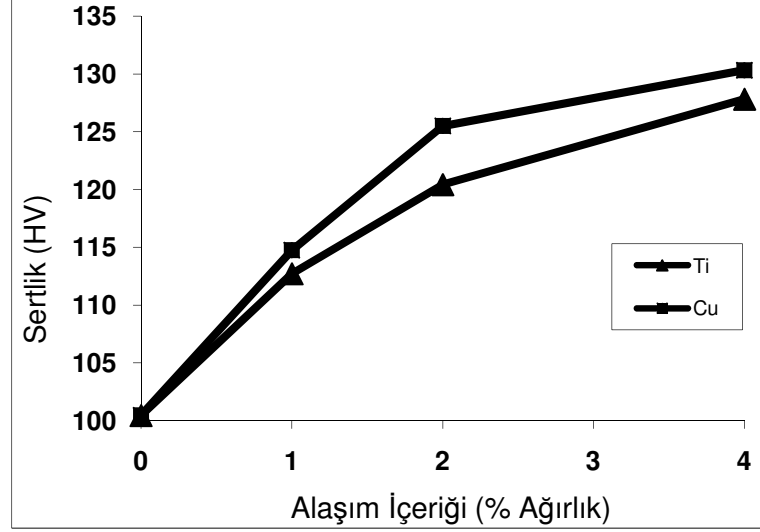
(b)

Şekil 6.10. Homojenleştirme ısı işlemi görmüş incelenen alaşımların mikroyapısında bulunan poligonal şekilli Mg_2Si partikül (a) hacim oranına ve (b) boyutuna alaşım elementinin etkisi.

6.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

İncelenen alaşımların kütesel sertlikleri (HV1) alaşım elementi içeriğine bağlı olarak Şekil 6.11'de verilmiştir. Sertlik değerleri, alaşım elementi ilavesi ile artış

göstermiştir. Sertlikteki artış Cu ilavesi ile da fazla iken Ti ilavesi ile düşük seviyelere taşınmıştır.



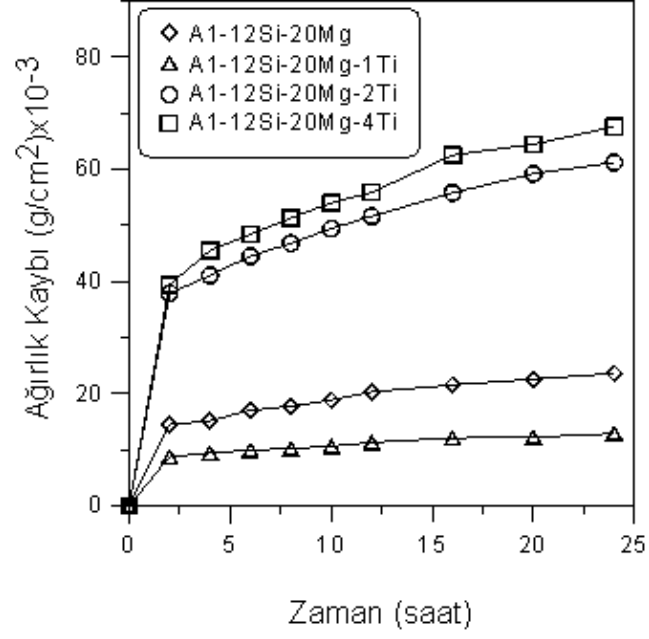
Şekil 6.11. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların sertliğine alaşım elementinin etkisi.

6.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI

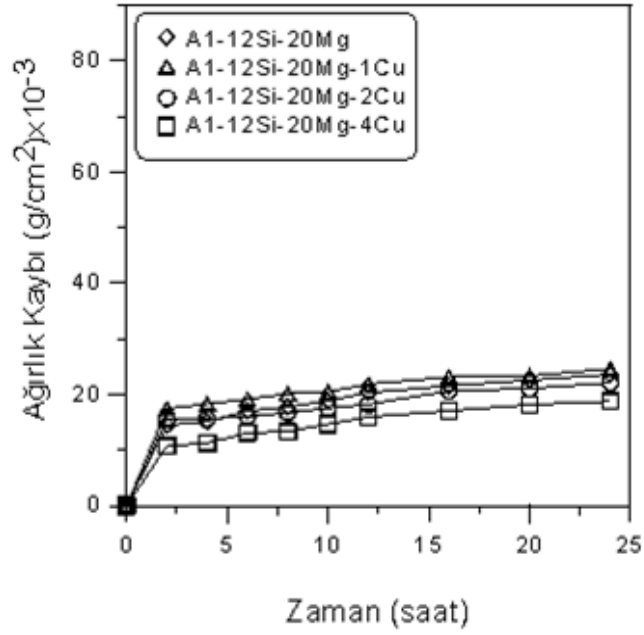
Farklı oranlarda Ti ve Cu elementleri içeren Al-12Si-20Mg alaşımlarının 30gr/l NaCl +10ml/l HCl çözeltisi içerisinde zamana göre ağırlık kayıpları ve potansiyodinamik polarizasyon ile korozyon potansiyeli ve korozyon akımına bakılarak yapılan korozyon deneyi sonuçları sırasıyla Bölüm 6.5.1 ve Bölüm 6.5.2’de verilmiştir.

6.5.1. Ağırlık Kaybı Ölçülerek Yapılan Korozyon Deneyi Sonuçları

Şekil 6.12’te zamana bağlı olarak incelenen alaşımların 30gr/l NaCl + 10ml/l HCl solüsyonundaki ağırlık kaybı ölçümleri 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-4Ti alaşımı en yüksek ağırlık kaybına sahip iken en düşük ağırlık kaybını Al-12Si-20Mg-1Ti ve Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımları sergilemiştir.



(a)



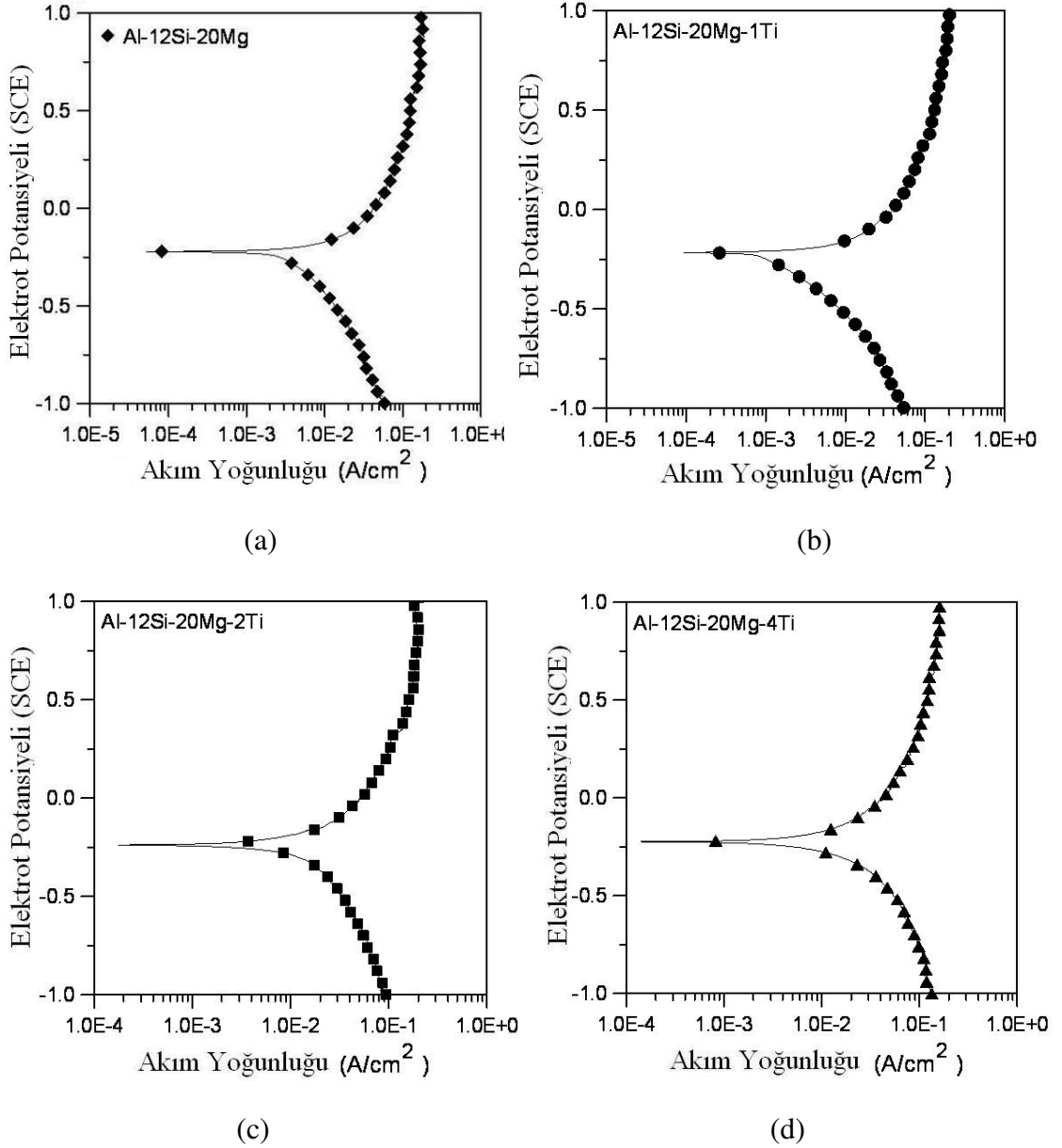
(b)

Şekil 6.12. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg-XTi ve (b) Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının 30 g/l + 10 ml/l HCl solüsyonundaki zamana bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişimi.

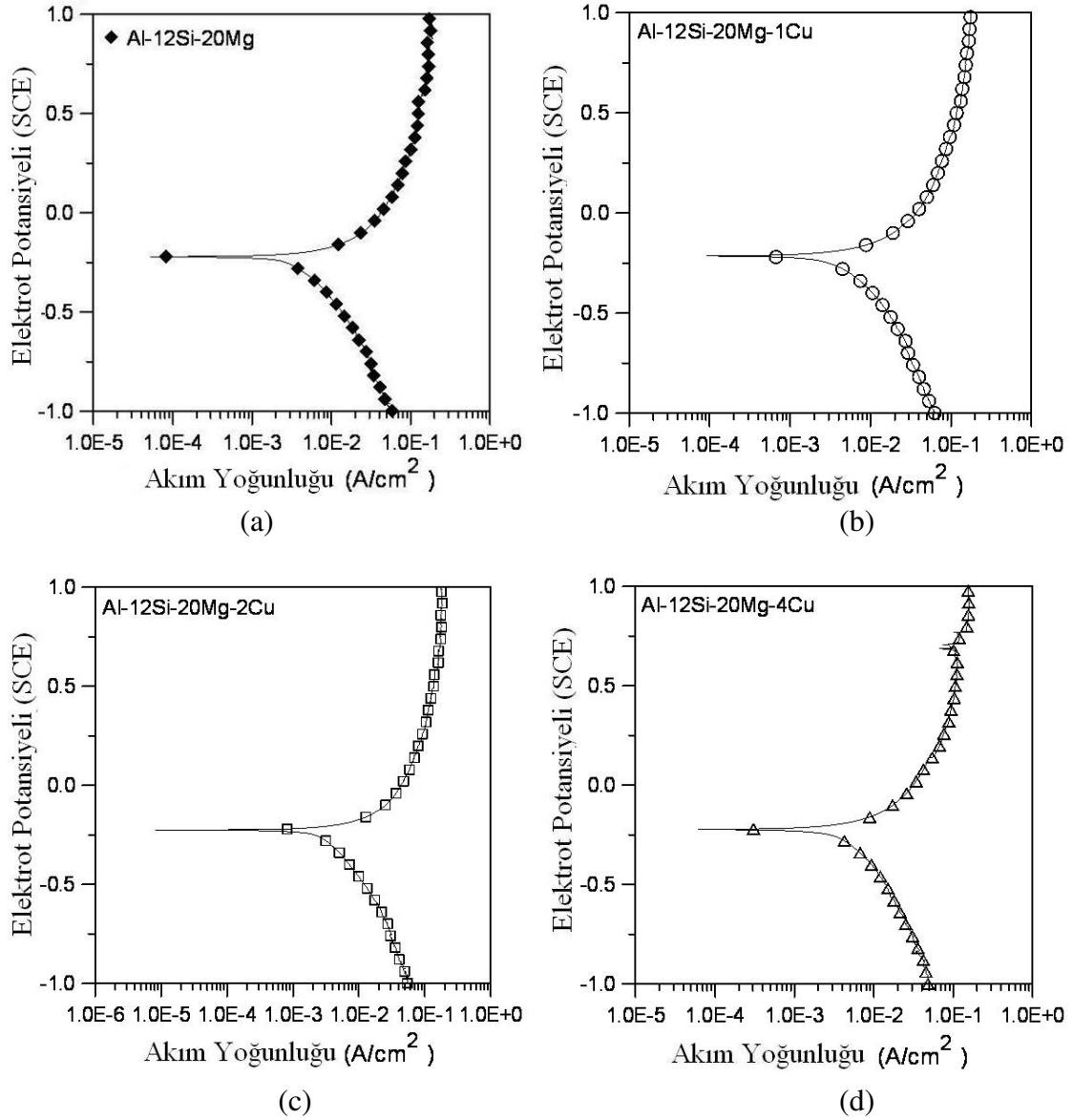
6.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon İle Yapılan Korozyon Deney Sonuçları

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te Al-12Si-20Mg alaşımına %1-4 oranlarında ilave edilen sırasıyla Ti ve Cu'nun 30g/l NaCl + 10ml/l HCl içeren solüsyondaki potansiyodinamik

polarizasyon deney sonuçları verilmiştir. Elektrod potansiyeli/akım yoğunluğu eğrileri, incelenen tüm alaşımların korozyon potansiyelinin hemen hemen sabit olduğunu, korozyon akımlarının alaşım elementi tipi ve içeriğine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. En düşük korozyon akımı Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımları sahip iken, Al-12Si20Mg-4Ti alaşımının korozyon akımı diğerlerinden yüksektir.



Şekil 6.13. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Ti, (c) Al-12Si-20Mg-2Ti, (d) Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımlarının 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.

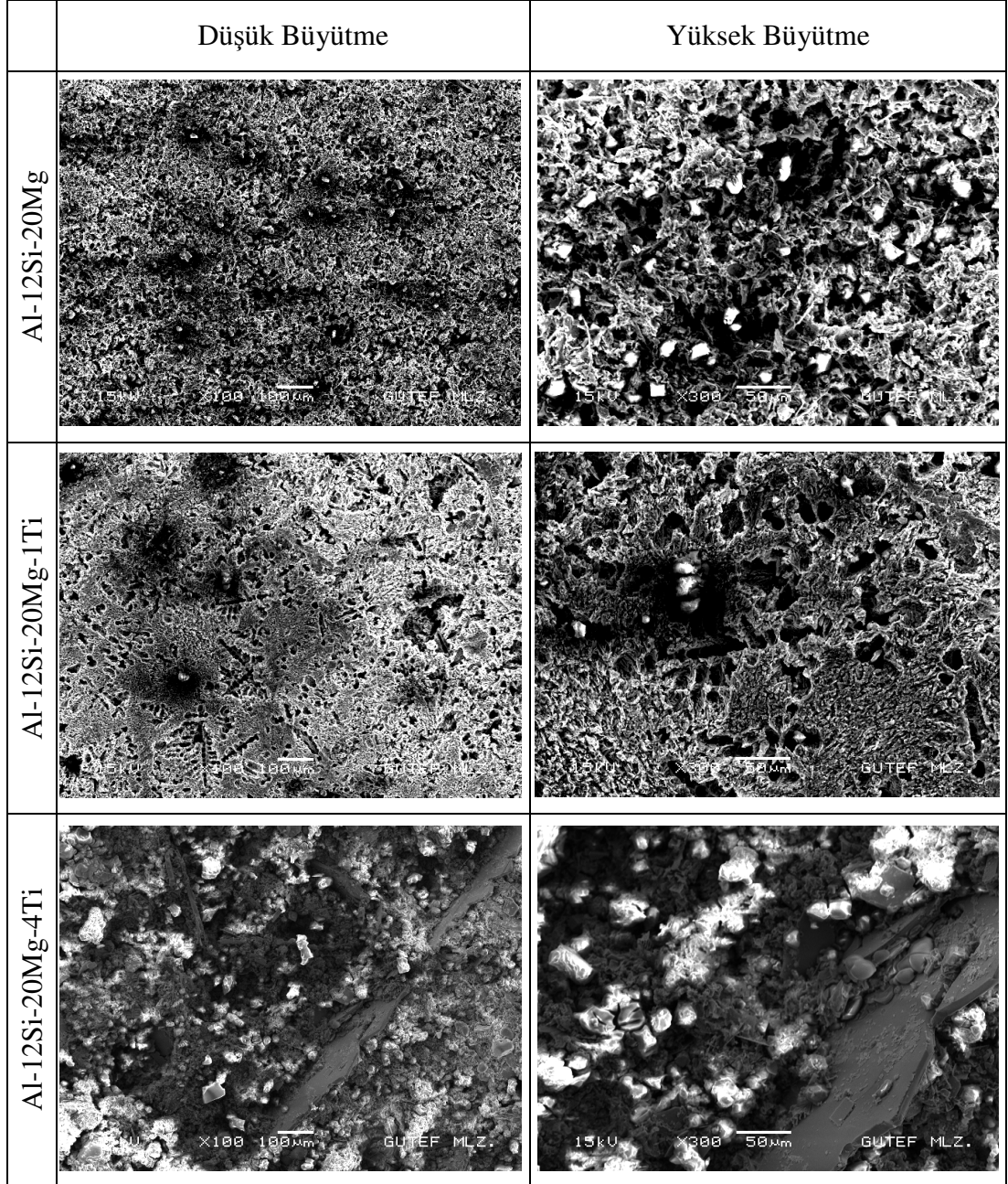


Şekil 6.14. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş (a) Al-12Si-20Mg (b) Al-12Si-20Mg-1Cu, (c) Al-12Si-20Mg-2Cu, (d) Al-12Si-20Mg-4Cu alaşımlarının 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki polarizasyon eğrileri.

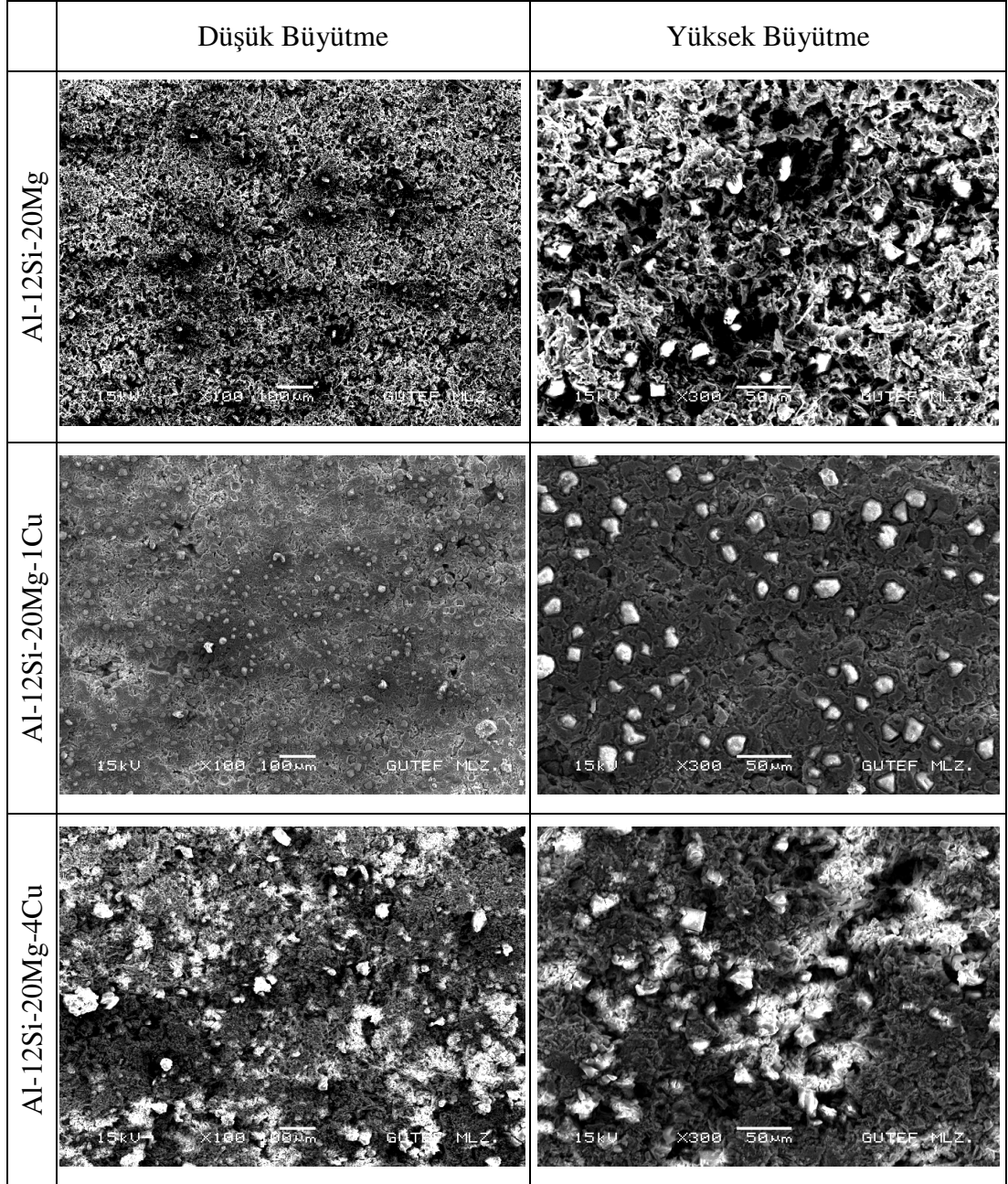
6.5.3. Korozyon Yüzey ve Yüzealtı Görüntülerinin İncelenmesi

Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen numunelerin ağırlık kaybı korozyon deneyleri sonrası yüzey görünümleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilmiştir. Korozyon hasarı, homojen olarak linear bir şekilde matrisin korozyona uğraması ile gerçekleşmiş olup korozyona uğramış numunelerin yüzey pürüzlülükleri alaşım içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Al-12Si-20Mg alaşımına 1Ti elementi ilavesi alaşımın korozyon hasarını bir miktar azaltırken alaşıma 4Ti ilavesi korozyon hasarını şiddetlendirmiş ve Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımın yzey gürnümü pürüzlenmiştir. Bununla birlikte Al-12Si-20Mg alaşımına Cu elementi ilavesi korozyon hasarını azaltmıştır.



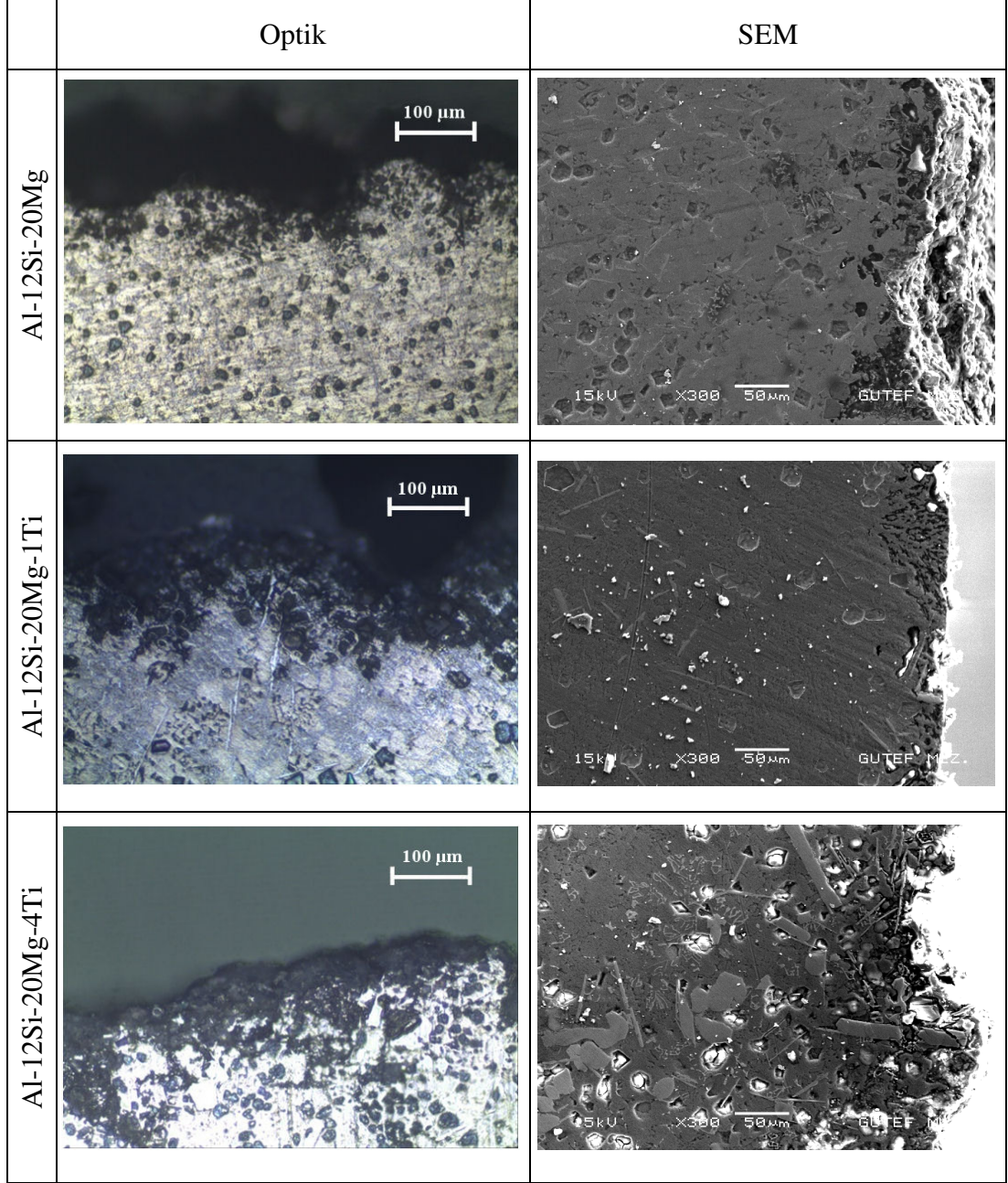
şekil 6.15. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM gürüntüleri.



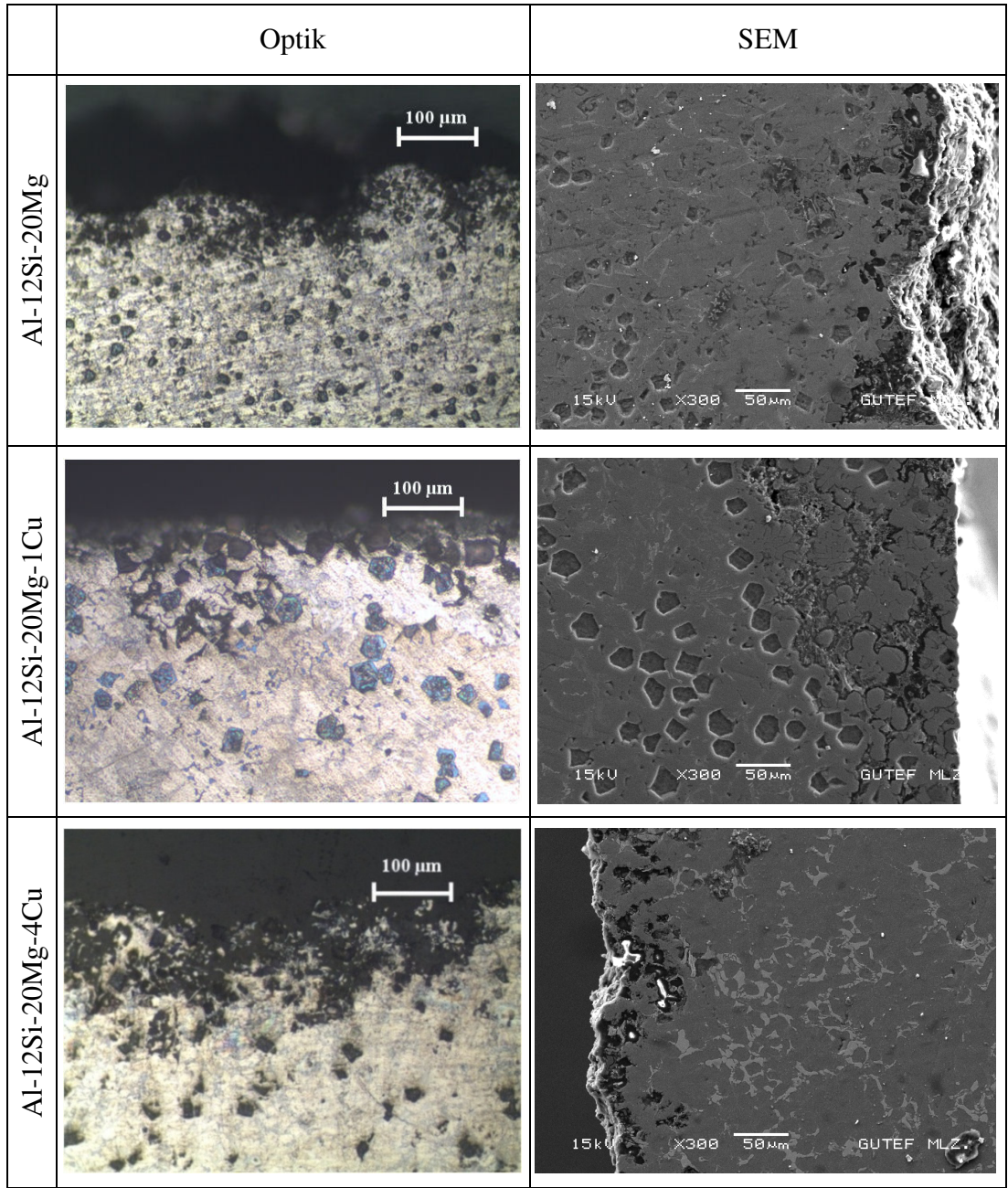
Şekil 6.16. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri.

Korozyon davranışları incelenen numunelerin optik ışık mikroskopunda çekilmiş yüzey altı optik görüntüleri Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de verilmiştir. Korozyona uğramış alaşımların yüzey altı görünümüleri korozyonun homojen yani genel tipte ilerlediği desteklemekte ve ayrıca korozyon mekanizması hakkında bilgi vermektedir. Korozyon yapı içinde çökelmiş intermetaliklerin çevresinde matrisin hızlı bir şekilde çözünmesi ile başlamakta ve intermetaliklerle birlikte yüzeyde

malzeme kaybının gerçekleşmesi ile sonuçlanmaktadır. Al-12Si-20Mg alaşımına Cu ilavesi ile korozyon yüzeyi daha düzgün bir şekilde ilerlerken Ti ilavesi ile daha pürüzlü bir korozyon yüzeyi oluşmaktadır.



Şekil 6.17. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri.

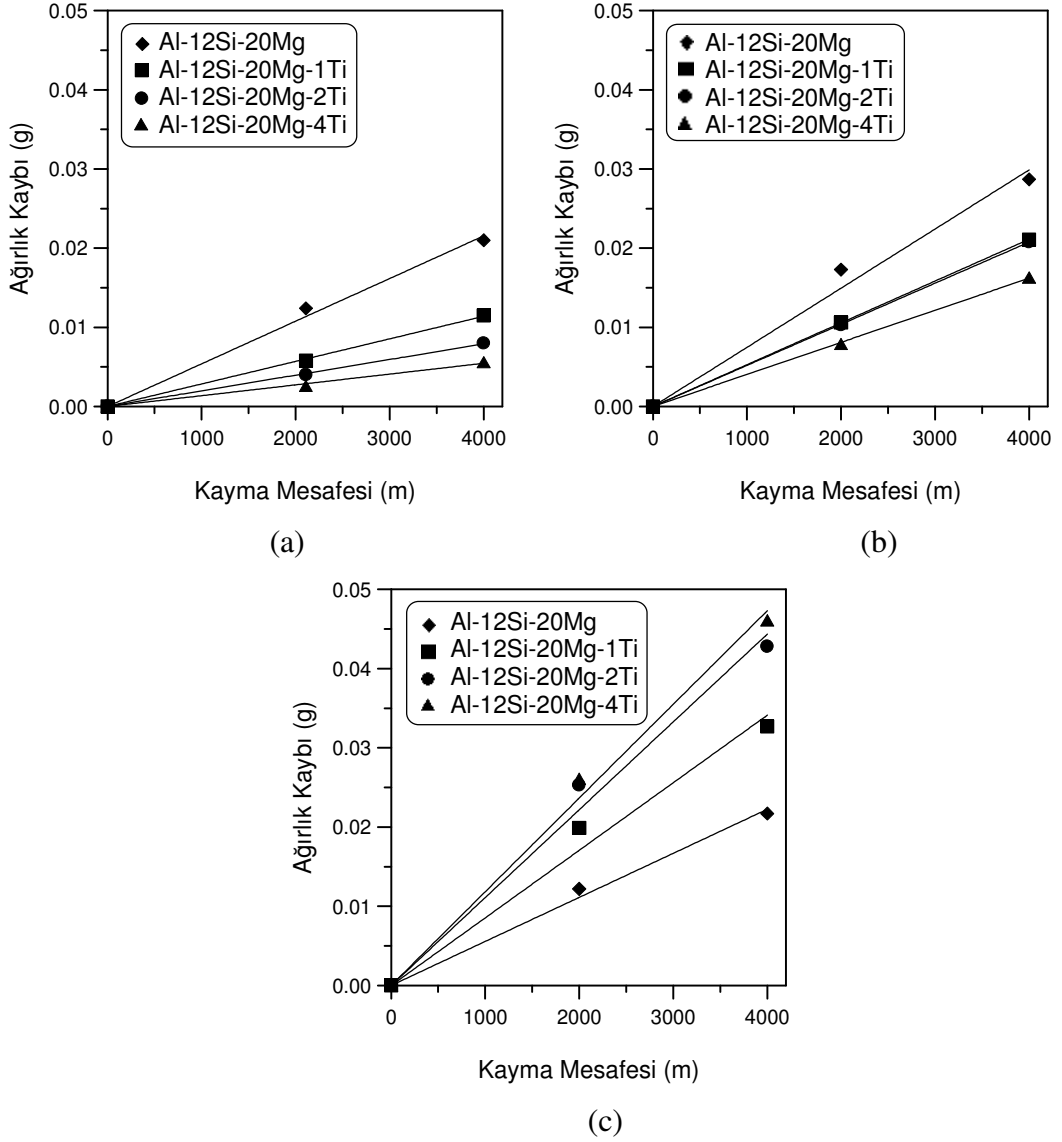


Şekil 6.18. Korozyon deneyleri yapılan Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının yüzey altı optik ve SEM görüntüleri.

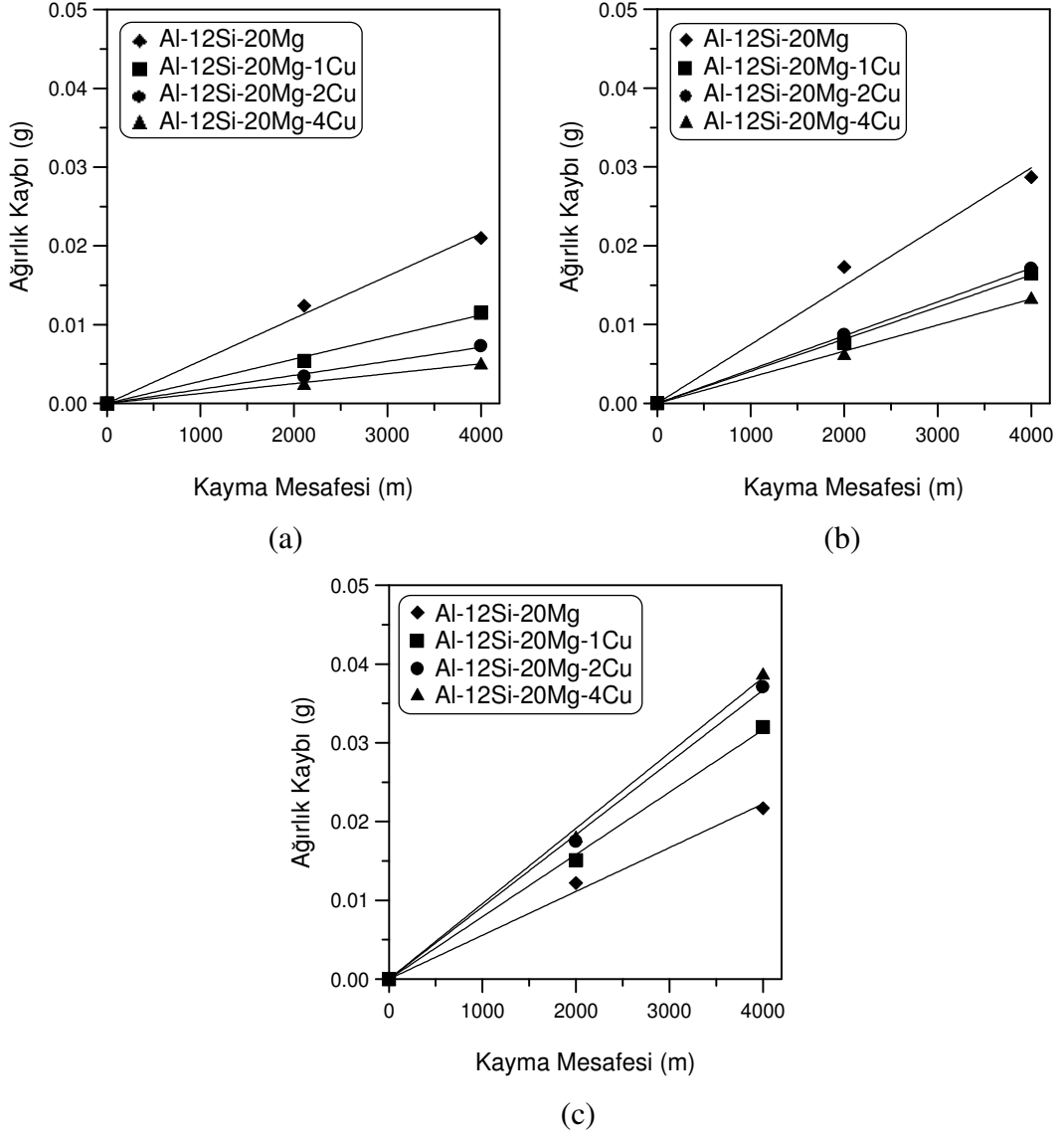
6.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada incelenen alaşımların 3N-20N aralığında uygulanan yük altındaki kayma mesafesine karşılık ağırlık kaybı değişimi Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'da verilmiştir. Ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri, uygulanan kayma mesafesi boyunca lineer olarak değişmektedir. Al-12Si-20Mg alaşıma ilave edilen alaşım

elementlerinin aşınma davranışına etkisi uygulanan yüke bağlı olarak değişim göstermiştir. Belirli bir kayma mesafesi için düşük yüklerde alaşım elementi içeriğinin artması ile ağırlık kaybı azalırken yüksek yüklerde ağırlık kaybı alaşım elementi içeriği ile artmıştır. Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'deki grafiklerin eğimi g/m cinsinden aşınma hızını vermektedir.

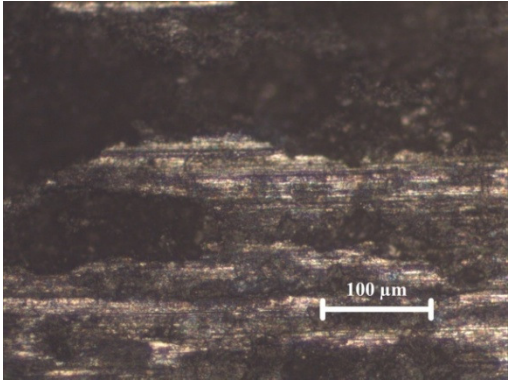
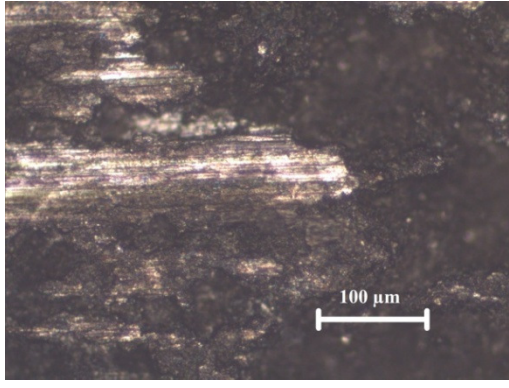
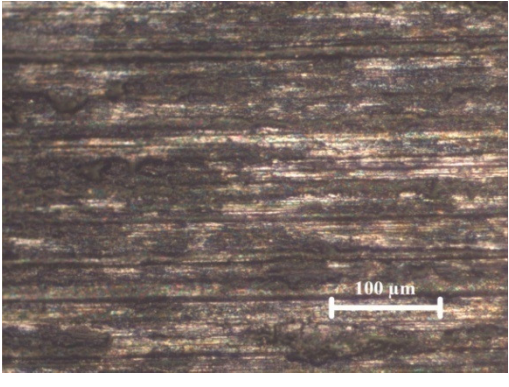
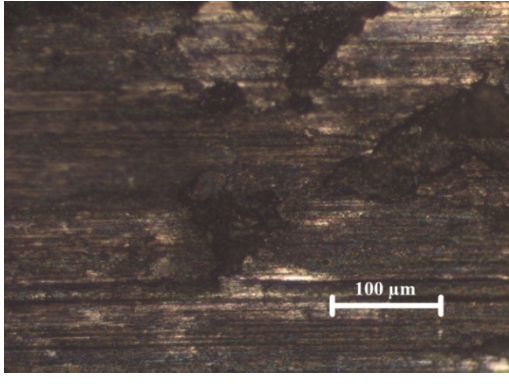
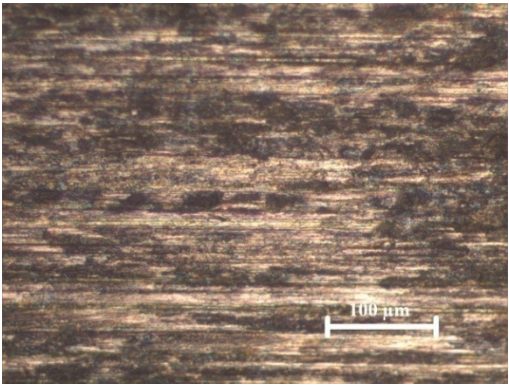
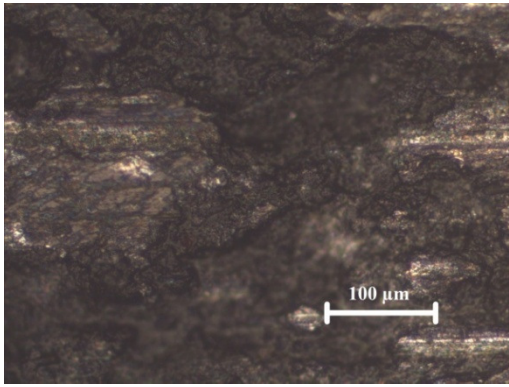


Şekil 6.19. Homojenleştirme ısıl işlemini görmüş Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.

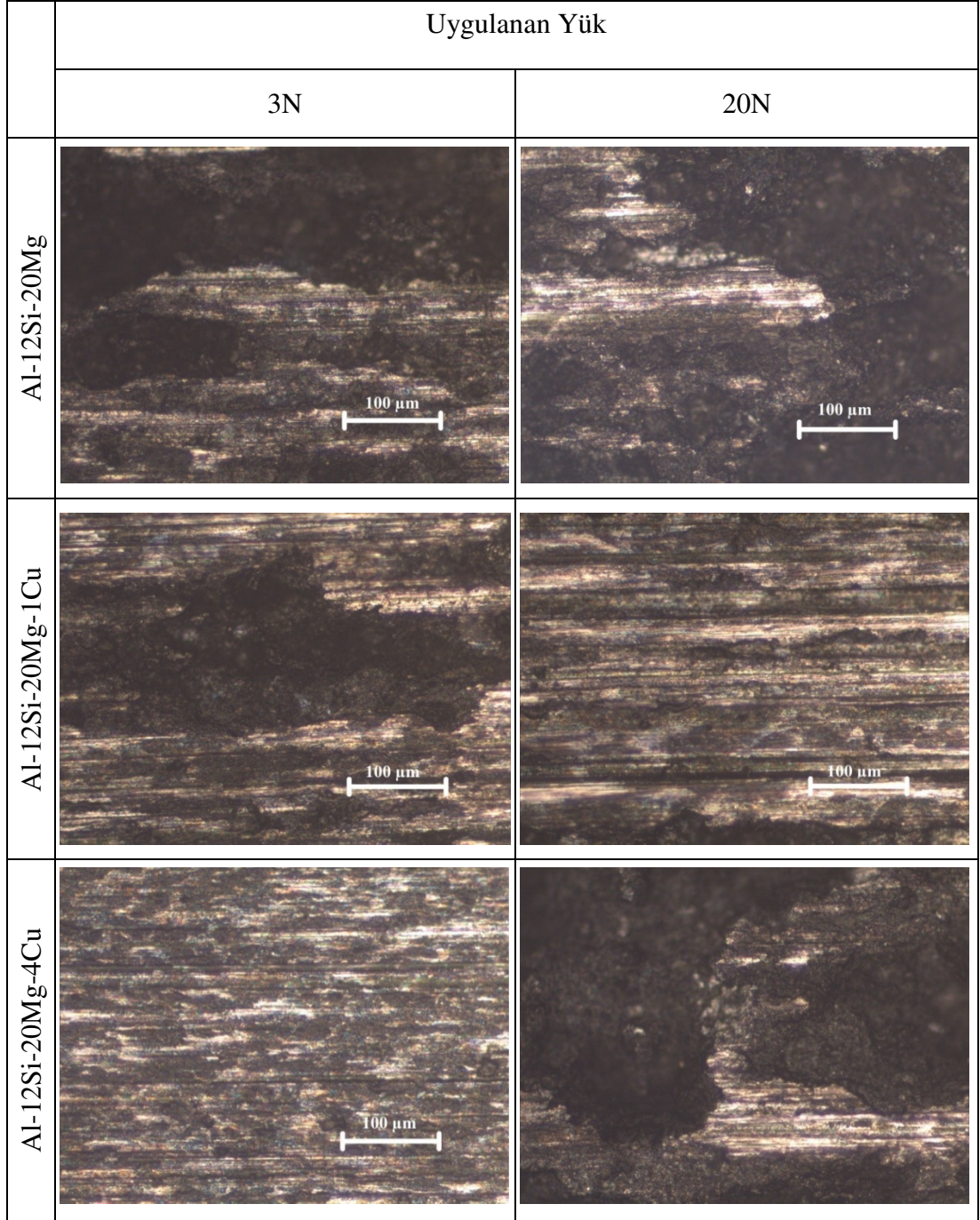


Şekil 6.20. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının (a) 3N, (b) 5N ve (c) 20N yük altındaki ağırlık kaybının kayma mesafesi ile değişimi.

Farklı yüklerde aşınma deneyine tabi tutulmuş numunelerin aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 de 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 ilerlemesi sonucu gerçekleşen parça kopmalarının belirtisi boşluklar ve iri oyuklar meydana gelmiştir.

| | Uygulanan Yük | |
|------------------|---|--|
| | 3N | 20N |
| Al-12Si-20Mg |  |  |
| Al-12Si-20Mg-1Ti |  |  |
| Al-12Si-20Mg-4Ti |  |  |

Şekil 6.21. Al-12Si-20Mg-XTi alaşımlarının aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.



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

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

7.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada homojenleştirme ısıl işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımların düşük büyütmedeki mikroyapıları (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3) genel olarak iğne şekilli açık gri renkli fazlardan, çokken şekilli siyah partiküllerden, Çin yazısı şekilli fazlardan ve beyaz renkli matristen oluşmaktadır. Mikroyapıda porozite belirlenmemiştir. Şekil 6.6'da gösterilen XRD ve Şekil 6.7-Şekil 6.9'da verilen EDS analiz sonuçlarını göz önünde bulundurarak, mikroyapı bileşenleri, Si (iğne şekilli açık gri renkli fazlar), Mg_2Si ve Al (açık renkli matris). Literatürde yayınlandığı gibi [9-20], Mg_2Si iki farklı morfolojide (yani çokken şekilli koyu partiküller ve gri renkli Çin yazısı şekilli fazlar) gözlenmiştir.

İncelenen alaşımların bileşimi ötektik üstü [15-24] olduğu için, katılaşmanın ilk aşaması süresince sıvı içerisinde (yerinde) oluşan çok kenarlı siyah partiküller, birincil Mg_2Si partikülleri olarak tanımlanmıştır. Çok kenarlı Mg_2Si 'nin oluşum mekanizması, literatürde [24,32,36-38] açık bir şekilde şimdiye kadar açıklanmamış olmasına rağmen, Strontium, kırmızı fosfor ve tuz karışımları gibi bazı modifiye edicileri, birincil Mg_2Si partiküllerin morfolojisini (boyutunu ve şeklini) kontrol etmek için Al-Mg-Si alaşım eriyiklerine ilave edilmiştir. Var olan bir açılama, modifiye edicilerin çekirdekleşme için aşılavıcı gibi davrandığı, çekirdek sayısında artışa yol açtığı ve böylece birincil yerinde Mg_2Si partiküllerin morfolojisinin ve boyutunun değiştirildiği şeklindedir. Diğer açıklamalar ise, ya hem sıvı-katı ara yüzey hem de katı Mg_2Si fazının yüzey enerjilerinin modifikasyonu ile ya da katı-sıvı ara yüzeyinde Na veya K'un segregasyonu yardımıyla yerinde Mg_2Si çekirdeklerinin yüzeyini zehirleyerek birincil yerinde Mg_2Si partiküllerinin anizotropik (aşırı) büyümesinin bastırılması şeklindedir [9,14,16].

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

7.1.1. Titanyum Elementinin Mikroyapıya Etkisi

Al, %0.28 oranında Ti yapısında çözerek katı eriyik oluşturmaktadır. Bu çalışma, Al-12-Si-20Mg-XTi, alaşımlarına %1'in üzerinde Ti ilave edildiğinden Al₃Ti intermetalığı (Şekil 6.2, Şekil 6.4 ve Şekil 6.8).



Peritektik reaksiyon sonucu oluşmaktadır. EDS analiz sonuçlarına dayandırılarak, Al₃Ti intermetalığı mikroyapı üzerinde iğnesel ve küresel formda oluştuğu söylenebilir. Ti, Al alaşımlarına tane inceltici amacıyla ilave edildiğinden, Al-12-Si-20Mg-XTi alaşımının mikro yapısında oluşan çokgen şekilli Mg₂Si partiküllerinin hacim oranı ve boyutunu azaltmıştır (Şekil 6.2, Şekil 6.4). Ayrıca Si oluşumunu engellerken Çin yazısı şekilli Mg₂Si intermetalığı inceltmiş ve miktarını azaltmıştır.

Al-12-Si-20Mg-XTi alaşımlarının sertliği, mikroyapıda çokgen şekilli Mg₂Si partikül hacim oranı ve boyutunun azalmasına rağmen yüksek ergime sıcaklığına sahip Al₃Ti intermetalığın oluşması ile orantılı olarak artmıştır.

7.1.2. Bakır Elementinin Mikroyapıya Etkisi

Al-12Si-20Mg-XCu alaşımının matrisinde Si hariç çokgen şekilli Mg₂Si ve Al₂Cu intermetalığı (Şekil 6.3, Şekil 6.5 ve Şekil 6.9) oluşmuştur. İlave edilen Cu elementi, çokgen şekilli Mg₂Si partiküllerin incelmeye ve Mg₂Si partiküllerin hacim oranının azalmasına (Şekil 6.10) sebep olmuştur.

Dörtlü (Al-Mg-Si-Cu) faz diyagramlarına göre [57], bu çalışmada incelenen bileşim için katıdaki faz dağılımı "Al+Mg₂Si+CuAl₂+CuMg₅Si₄Al₄"dır. XRD paternlerinde

metalik Si pikinin gözlenmemesi ve EDS analizlerinde koyu gri renkli şekilsiz intermetalığın içeriğinde Al-Mg-Si-Cu elementlerinin bulunması bu fazın $\text{CuMg}_5\text{Si}_4\text{Al}_4$ intermetalığı olma ihtimalini doğurmaktadır. Ancak XRD analiz (Şekil 6.6) sonuçlarında $\text{CuMg}_5\text{Si}_4\text{Al}_4$ intermetalığına ait pik bulunmamıştır. Ayrıca bu faz, dağlamasız metalografik numuneler üzerinden yapılan optik mikroskobu analizlerinde gözlenmemiştir.

Alaşımında artan Cu miktarı ile matriste oluşan Mg_2Si partiküllerinin boyutunun azaldığı (Şekil 6.10) gözlenmektedir. Bu, Cu ilavesinin artışı ile Mg ve Si'nin Mg_2Si fazı yerine koyu gri renkli şekilsiz fazın (büyük ihtimalle $\text{CuMg}_5\text{Si}_4\text{Al}_4$ intermetalığı) oluşumunda kullanılmasına dayandırılabilir.

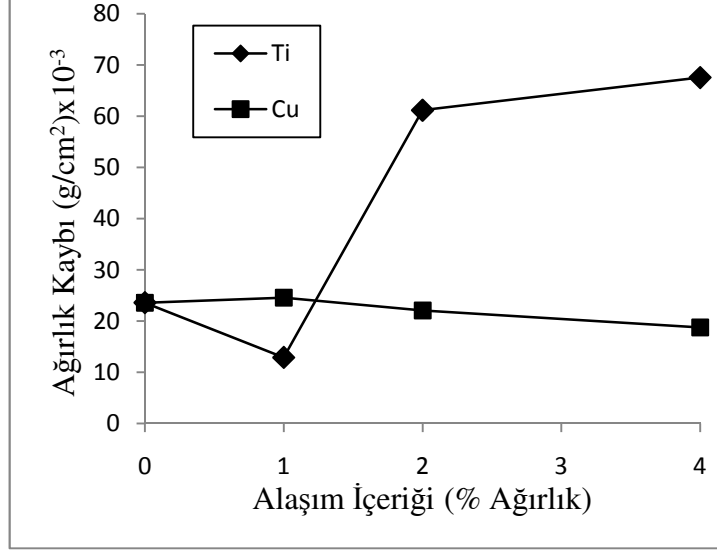
Sonuç olarak, EDS analiz sonuçlarına göre, Mg ve Si, çokgen şekilli Mg_2Si partikülleri oluşturma yerine koyu gri renkli intermetalikte çözünmesi, mikroyapıda çokgen şekilli Mg_2Si partikül hacim oranı ve boyutunun azalmasına yol açmıştır.

Çokgen şekilli Mg_2Si partiküllerin hacim oranı ve boyutunun azalmasına rağmen, matriste Al_2Cu intermetalığın ve Cu-Mg-Si elementlerince zengin intermetalığın oluşmasından dolayı Al-12Si-20Mg alaşımının sertliği (Şekil 6.11) alaşıma Cu ilavesi ile artmıştır.

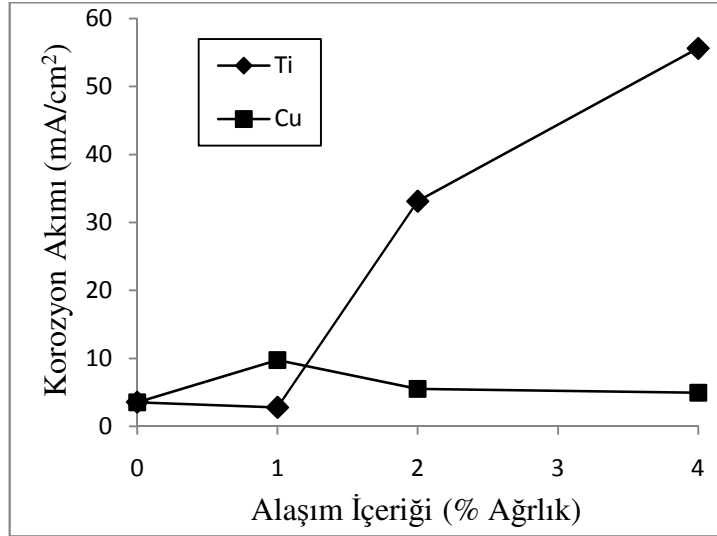
7.2. Korozyon Sonuçlarının incelenmesi

Şekil 7.1'de Al-12Si-20Mg alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Ti ve/veya Cu'nun, 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonundaki ağırlık kaybı ve korozyon akımı ölçümlerine etkisi görülmektedir. Al-12Si-20Mg-XTi alaşımların ağırlık kaybı, %1 Ti ilavesinde azalmakta olup daha fazla Ti ilavesinde ise artış sergilemiştir. Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarında ise alaşıma Cu elementi ilavesi ile ağırlık kayıpları hemen hemen sabit bir çizgi hattında çok az bir azalma eğilimindedir. Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının potansiyostat polarizasyon deney sonuçları (Şekil 7.1) alaşıma %4'e kadar Cu ilavesi ile korozyon akımı bir miktar azalırken %1 Ti alaşım içeriğinin altında ve üstünde korozyon akımı değişim göstermiştir. %1 Ti içeriğine

kadar korozyon akımı Al-12Si-20Mg alaşımına göre hemen hemen sabit iken %1 oranının üzerinde Ti elementi ilavesi korozyon akımını artırmıştır.



(a)



(b)

Şekil 7.1. Homojenleştirme ısıl işlemi görmüş incelenen alaşımların 30g/l + 10ml/l HCl solüsyonunda 24 saat sonundaki (a) ağırlık kayıplarına ve (b) korozyon akımına alaşım elementi içeriğinin etkisi.

Alaşımların korozyon davranışındaki iyileşme ancak ilave edilen elementin katı eriğik içinde çözünmesine bağlı olmaktadır [42-50]. Bu çalışmada ise Al-12-Si-20Mg alaşımına ilave edilen Ti ve Cu elementleri matris içinde intermetalik (Mg_2Si , Si, Al_3Ti , Al_2Cu) oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durumda, bu intermetaliklerin

korozyon potansiyellerinin ve korozyon akımlarının, Al matris ve Mg₂Si intermetaliklerinin korozyon potansiyeli ve korozyon akımına göre konumları alaşımın korozyon davranışını belirlemektedir. Birbilis ve arkadaşları [53,54], Al alaşımlarında oluşan bazı intermetaliklerin korozyon davranışlarını Çizelge 7.1’de özetlemişlerdir.

Çizelge 7.1. Bazı intermetaliklerin potansiyel değerleri [53,54].

| | E _{kor} (mV _{SCE}) | E _{oyuk} (mV _{SCE}) | E _{Galvanik} (mV _{SCE})/Ortalama Akım (A/cm ²) |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Al ₂ Cu | -695 | -652 | -665 / -4.7x10 ⁻⁴ |
| Al ₃ Ti | -799 | -646 | -603 / -2.7x10 ⁻⁴ |
| Mg ₂ Al ₃ | -1162 | -959 | -1013 / 19x10 ⁻⁴ |
| Mg ₂ Si | -1536 | - | -1538 / 1.9x10 ⁻⁴ |
| Mg(AlCu) | -936 | - | -943 / -12x10 ⁻⁴ |
| Al ₂ CuMg | -1061 | 135 | -883 / -210x10 ⁻⁴ |
| Al (saf) | -849 | -696 | -823 / -47x10 ⁻⁴ |
| Cu (saf) | -220 | -94 | -232 / -0.18x10 ⁻⁴ |
| Si (saf) | -452 | - | - / - |
| Mg (saf) | -1688 | -1473 | - / - |

Al-12Si-20Mg alaşımlarının matrisinde iki tipte oluşan Mg₂Si fazlarından Çin yazısı şekilli ötektik yapı korozyona uğrarken çokgen şekilli partiküller korozyona uğramamakta ve korozyon yüzeyinde bozulmamış (Şekil 6.16-Şekil 6.19) olarak kalabilmektedir.

Al alaşımlarına alaşım elementleri ilave edildiği zaman, korozyon direncini düşürmemek için mikroyapının tek fazda kalmasının, yani alaşımlama katkılarının ikincil intermetalik partiküllerini oluşturmamasının esas olduğu bilinen bir gerçektir [77-86]. Winkler ve Flower [85], magnezyumun daha yüksek bölgesel yoğunlaşması, katı çözültü halinde de olsa, Al alaşımlarının korozyon duyarlılığını artırdığını, bu çalışmanın sonucu ile uyumlu olarak, rapor etmiştir. MgZn₂ ve Al₂CuMg intermetalikleri gibi Çin yazısı şekilli Mg₂Si fazının Al alaşımlarının korozyon

direncini önemli bir şekilde kötüleştirdiği [43-47,53,54] 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. Katılaşma sırasında ilk olarak çekirdeklenen birincil Mg_2Si partikülü oldukça yüksek saflıkta iken en son çekirdeklenen faz (yani Çin yazısı şekilli), çözültüce zengin yani saflığı düşüktür. Bu yüzden, referans 47’de rapor edildiği gibi Al alaşımların saflığı azalırken korozyon direncinin azaldığı sonucu ile uyumlu olarak, korozyonun Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazının bulunduğu yerde meydana gelmesi beklenmektedir.

7.2.1. Titanyum Elementinin Korozyona Etkisi

Al-12Si-20Mg alaşımına %1 oranında Ti ilavesi korozyon direncini bir miktar iyileştirirken daha fazla Ti ilavesi (%2 ve %4) korozyon hızını artırmıştır (Şekil 7.1). Alaşıma Ti elementinin ilavesi ile mikroyapıda Çin yazısı şekilli Mg_2Si intermetaliklerin incelenmesi korozyon davranışı açısından olumlu iken katodik karakterli çokgen şekilli Mg_2Si partikülün hacim oranı ve boyutunun azalması korozyon davranışını olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir. Ayrıca Al-12Si-20Mg-XTi alaşımının matrisinde oluşan iri boyutta iğnesel Al_3Ti intermetaliklerin daha fazla katodik davranması ve matrisin de anodik karakter sergilemesinden dolayı galvanik eşleşme meydana gelmesi korozyon hızını artırmıştır.

Şekil 6.15’de korozyona uğramış Al-12Si-20Mg-4Ti alaşımın yüzeyinde Al_3Ti intermetaliklerin çevresinde matrisin şiddetli bir şekilde korozyona uğramış olduğunu göstermektedir. Buna benzer delil, Şekil 6.17’de verilen korozyona uğramış numunenin metalografik kesitinden alınan optik ve SEM mikrofotograflarından da elde edilmektedir.

7.2.2. Bakır Elementinin Korozyona Etkisi

Tablo 7.1’de verilen Mg_2Si intermetaliklerin, saf Al ve saf Mg’nin korozyon potansiyellerine kıyasla Al_2Cu intermetaliklerin korozyon potansiyelinin daha pozitif

olması, Al-12Si-20Mg-XCu alaşımın korozyon direncinin iyileşmesine sebep olmuştur [53,54]. Al-12Si-20Mg alaşımına Cu ilavesi ile Çin yazısı şekilli Mg₂Si intermetalik bakır ve silisyumca zengin bir koyu gri renkli intermetalik (Şekil 6.3) dönüşmesi korozyonun iyileşmesine (Şekil 7.1) katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu durum, alaşıma Cu elementi ilavesi ile çokgen şekilli Mg₂Si partikülün hacim oranı ve boyutunun azalmasıyla doğacak olumsuzluğu ortadan kaldırdığı tahmin edilmektedir.

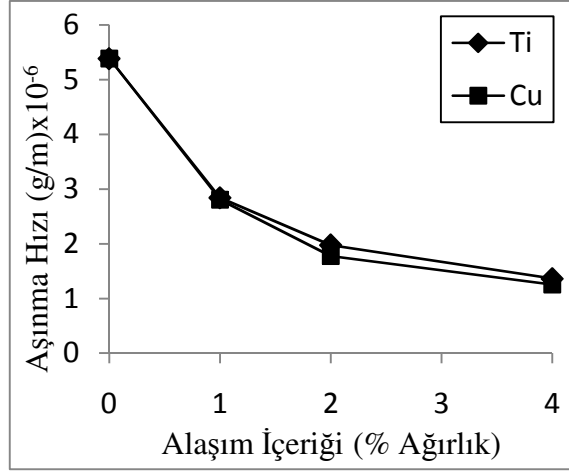
Korozyon deneyleri sonrası incelenen korozyon yüzey (Şekil 6.16) ve korozyon kesit görünümünün (Şekil 6.18) daha düzgün bir davranış sergilemesi, Al-12Si-20Mg alaşımına Cu ilavesinin alaşımın korozyon direncini iyileştirdiğini göstermektedir.

7.3. Aşınma Davranışının İncelenmesi

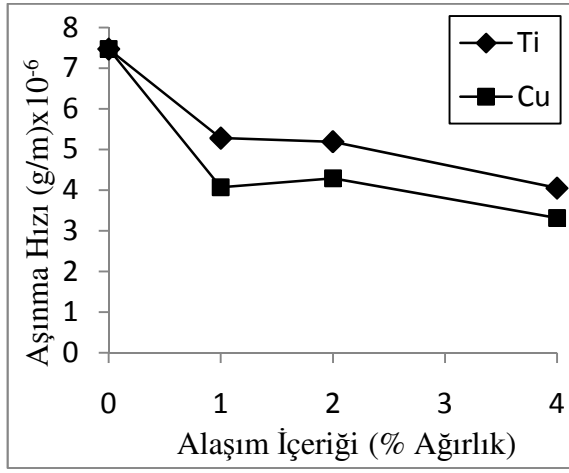
Homojenleştirme ısı işlemi görmüş Al-12Si-20Mg alaşımın aşınma davranışına alaşıma ilave edilen Ti ve Cu elementlerinin etkisi, uygulanan yük, alaşımın sertliğine ve dolayısıyla alaşımın elementinin % içeriğine bağlıdır.

İncelenen alaşımların aşınma hızları, düşük (3 N ve 5 N) 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 herhangi bir alaşım içeriğinde sırasıyla Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşıma doğru azalırken yüksek yüklerde ise aşınma hızı sıralaması yaklaşık olarak bunun tam tersi olmuştur.

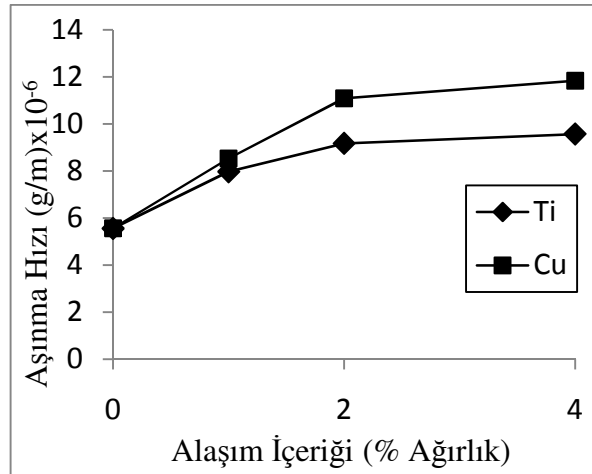
İncelenen Al-12Si-20Mg-XTi ve Al-12Si-20Mg-XCu alaşımlarının düşük yüklerdeki yüksek aşınma direnci, yüksek sertliğe sahip olmalarındandır. Sertliğin yüksek olması alaşımın süneklikten ödün verdiği anlamına gelmektedir. Yüksek yüklerde bu alaşımların şiddetli aşınma sergilemesi, gevrek davranış göstermesine dayandırılabilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.2. Homojenleştirme ısııl işlemi görmüş incelenen alaşımların (a) 3 N, (b) 5 N ve (c) 20 N yük altındaki aşınma hızının alaşım içeriği ile değişimi.

Aşınma deneyleri sonrası alaşımların aşınma yüzeylerinin incelenmesi, düşük yüklerde karakteristik adhesif aşınma ve ince yiv olumu, yüksek yüklerde ise yüzeyden parça kopması ve iri yiv oluşumu, hafif ve şiddetli aşınma davranışını açıklamaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Döküm yolu ile katılaşıma sırasında sıvı içerisinde oluşturulan Mg₂Si partikül takviyeli Al-12Si-20Mg matrisli kompozitlerin korozyon ve aşınma davranışına Ti ve Cu'nun etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- 1- Al-12Si-20Mg alaşımanın içerdiği Mg₂Si partikül hacim oranı %35 iken alaşıma %1 oranlarında ilave edile Ti ve Cu hacim oranını şiddetli bir şekilde azaltmış ve daha fazla alaşım elementi ilavesi ile hacim oranı yaklaşık %15 oranlarında sabit kalmıştır.
- 2- İncelenen alaşımanın içerdiği Mg₂Si partikül boyutu başlangıçta 26 µm iken alaşıma Cu ilavesi partikül boyutunu hafif bir şekilde azaltmıştır. Mg₂Si partikül boyutu alaşımanın Ti içeriği ile ortalama olarak 16 µm'a azalmıştır.
- 3- Al-12Si-20Mg alaşıma Ti ve/veya Cu ilavesi ile alaşımanın matrisinde sırasıyla Al₃Ti ve Al₂Cu intermetalikleri oluşmuştur. Ayrıca Cu ilave edilmiş Al-12Si-20Mg alaşımanın matrisinde XRD analizleri ile belirlenemeyen ve EDS analizleri sonucu CuMg₅Si₄Al₄ olduğu tahmin edilen faza rastlanmıştır.
- 4- İncelenen alaşımanın kütleli sertliği alaşıma ilave edilen Ti ve Cu elementleri ile sırasıyla 130 ve 125 HV₁'e kadar artmıştır.
- 5- Al-12Si-20Mg alaşıma %1 Ti ilavesi ile alaşımanın korozyon direnci hafif bir şekilde artarken daha fazla Ti (%4'e kadar) ilavesi alaşımanın korozyon direncini düşürmüştür. Alaşıma %4'e kadar Cu ilavesi ile korozyon direnci hemen hemen sabit kalmıştır.

- 6- İncelenen alaşımların korozyon hasarı lineer yani homojen olarak meydana gelmiş olup alaşıma Ti ilavesi ile korozyon, Mg_2Si partiküllerinin ve Al_3Ti intermetaliklerin katot ve matrisin ise anot olarak davranması sonucu matrisin hızlı bir şekilde uzaklaşması ile gerçekleşmiştir. Alaşıma Cu ilavesi sonucu korozyon hasarı öncelikle intermetalik (Al₂Cu) ve ardından matrisin uzaklaşması ile meydana gelmiştir.
- 7- %4'e kadar Ti ve/veya Cu ilave edilmiş Al-12Si-20Mg alaşımın aşınma direnci düşük yüklerde (≤ 5 N) alaşım içeriği ile artarken yüksek yüklerde ($5 < N$) alaşım içeriği ile azalmıştır.
- 8- İncelenen alaşımların aşınma hasarı düşük yüklerde karakteristik adhesif aşınma ve ince yiv olumu, yüksek yüklerde ise yüzeyden parça kopması ve iri yiv oluşumu şeklinde gerçekleşmiştir.

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 $Mg_2Si/Al-Si-Cu$ 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 $Mg_2Si/Al-Si$ Composite Modified by K_2TiF_6 ”, *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 Mg_2Si in $Mg-Si$ alloys with K_2TiF_6 , KBF_4 and $KBF_4 + K_2TiF_6$ ”, *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 ($Mg_2Si + Si$)/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 Mg_2Si 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 $AlSi_{12}CuNiMg$ 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”, *Metallurji 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 Metallurjisi Yöntemi İle Üretimi”, *3.Uluslararası Toz Metallurjisi 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: Kınkoğlu, 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. Toptan, F., “Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi İle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-18 (2006).
56. Bedir, F., “Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 47: 554-556 (2006).
57. 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).

58. 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).
59. Mondolfo, L. F., “Metallography of Aluminum Alloys”, *Oxford University Press*, Oxford, 26-40 (1943).
60. 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 Alaşımının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Pirinç Alaşımına Benzotriazol’ün İnhibitör Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-3 (2008).
61. Konaş, M. T., “Alüminyum-Bakır-Silisyum Alaşımının Sulu Ortamlardaki Korozyonuna Lantanitlerin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-5 (2005).
62. 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).
63. Bilhan, H., “Çeşitli Organik Tükürük Komponentlerinin Diş Hekimliğinde Kullanılan Farklı Döküm Alaşımaları Ve Amalgam’ın Korozyonu Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *İ.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-29 (2003).
64. 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).
65. İnternet: “Anodizing World”, <http://aluminumsurface.blogspot.com/2009/04/corrosion-between-anodized-aluminum-and.html>, (2009).
66. İnternet: “Corrosion Clinic”, http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/filiform_corrosion_underfilm_corrosion.htm, (2009).
67. İnternet: “Azo Journal of Materials Online”, www.azom.com/details.asp?ArticleID=100, (2001).
68. İnternet: “Saritaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.”, <http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf/Paslanmaz%20Celik%20Saritas%2006.pdf>, (2007).

69. Ahlatci, H., "Wear and corrosion behaviours of extruded Al-12Si-XMg alloys", *Materials Letters*, 62: 171-175 (2008).
70. Frankel, G. S., "Pitting Corrosion", Metals Handbook, Boyer, H. E., *American Soc. for Metals*, Ohio, 317-332 (1975).
71. 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).
72. 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).
73. Altenpohl, D., "Aluminium: technology, applications and environment; A profile of a modern metal, sixth edn", *The minerals, Metals and Materials Society (TMS), Warrendale, Pennsylvania*, 47: 45-54 (1998).
74. Frankel, G. S., "Pitting Corrosion of Metals: Review of the Critical Factors", *J. Electrochem. Soc.*, 145: 2186-2198 (1998).
75. Smialowska, Z. S., "Pitting Corrosion of Aluminum", *Corrosion Science*, 41: 1743-1767 (1999).
76. Zhang, W. And Frankel, G. S., "Anisotropy of localized corrosion in AA2024-T3", *Electrochemical and Solid State Letters*, 3: 268-270 (2000).
77. Zhang, W. And Frankel, G. S., "Localized Corrosion Growth Kinetics in AA2024 Alloys", *Journal of the Electrochemical Society*, 149: 510-519 (2002).
78. 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).
79. Zhang, W. And Frankel, G. S., "Transitions between Pitting and Intergranular Corrosion in AA2024", *Electrochimica Acta*, 48: 1193-1210 (2003).
80. 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).
81. 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).

82. 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).
83. Bialobrzewski, 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).
84. 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).
85. Winkler, S. L. And Flower, H. M., "Stress corrosion cracking of cast 7xxx aluminium fibre reinforced composites", *Corrosion Science*, 46: 903-915 (2004).
86. Davis, J. R., "Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys", *The materials Information Society*, San Francisco, 8-12 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Ali PALTA 18.03.1981’de Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesinde doğmuştur. İlk ve ortaöğrenimini Gazi Mustafa Kemal i.ö.o ve lise eğitimini ise Elbistan 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: Baddal gazi mah.

Ziya Gökalp cad.

Mehmetçik sok

No:18

Elbistan/Kahramanmaraş

Tel: 0 506 389 46 89

E-posta: apalta46@hotmail.com