



Bİ-METAL MALZEME ÜRETİMİ KOROZYON DAVRANIŞI VE KARAKTERİZASYONUNUN İNCELEMESİ

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Obaid HAMOOD SAIF SAEED AL-MEKHLAFI

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melik ÇETİN**

**Bİ-METAL MALZEME ÜRETİMİ KOROZYON DAVRANIŞI VE
KARAKTERİZASYONUNUN İNCELEMESİ**

Obaid HAMOOD SAIF SAEED AL-MEKHLAFI

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melik ÇETİN**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2024**

Obaid HAMOOD SAIF SAEED AL-MEKHLAFI tarafından hazırlanan “Bİ-
METAL MALZEME ÜRETİMİ KOROZYON DAVRANIŞI VE
KARAKTERİZASYONUNUN İNCELEMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi
olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Melik ÇETİN

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. /01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBU)

.....

Üye : Prof. Dr. Melik ÇETİN (KBU)

.....

Üye : Doç. Dr. Hasan HASIRCI (GU)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans
derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim 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.”

Obaid Hamood Saif Saeed AL-MEKHLAFI

ÖZET

Yüksek Lisans

Bİ-METAL MALZEME ÜRETİMİ, KOROZYON DAVRANIŞI VE KARAKTERİZASYONUNUN İNCELEMESİ

Obaid Hamood Saif Saeed AL-MEKHLAFI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Melik ÇETİN

Ocak 2024, 92 sayfa

Bi-metal malzemeler farklı metaller birleştirilerek daha iyi mekanik, termal veya elektriksel özelliklere sahip olması amacıyla oluşturulan malzemelerdir. Bi-metal malzemelerin üretimi için farklı birleştirme yöntemleri kullanılabilmekte ve üretim süreci malzemenin özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu malzemeler farklı metal kombinasyonlarından kaynaklanan özelliklerin birleşmesiyle çeşitli uygulama alanlarına sahip olabilir. Bi-metalik malzemeler; genellikle daha iyi mukavemet; sertlik; aşınma veya korozyon direnci gibi özelliklere sahip olabilir. Korozyon; malzemelerin çevresel etkilere maruz kaldığında kimyasal veya elektrokimyasal olarak bozunması sürecidir. Bi-metalik kompozitlerin korozyon direnci farklı metallerin birleşimiyle ortaya çıkan galvanik korozyon etkisiyle ilgilidir. Galvanik korozyon farklı elektrokimyasal özelliklere sahip metallerin birleşmesi sonucu oluşan bir elektrokimyasal hücreye dayanır. Aşınma, malzeme yüzeyinin sürtünme veya diğer mekanik etkiler sonucu zamanla aşınması veya kaybıdır. Bi-metalik kompozitlerin aşınma direnci farklı metallerin birleştirilmesiyle elde edilen

kombinasyonun mekanik dayanıklılığına bağlı olabilir. Bi-metalik kompozitlerin sertlik özellikleri birleştirilen farklı metallerin sertlikleri ve mikroyapısal özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

Bu çalışmada; bi-metal malzemelerin üretim sürecini ve bu sürecin sonucunda elde edilen malzemelerin özelliklerini incelenmiştir. Bi-metal malzeme üretimi süreci kademeli döküm yöntemiyle iki farklı metalin bir araya getirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle üretilecek bi-metal kırıcı çekicinin modeli hazırlanmış, sonra alphaset reçineli kalıplama sisteminde kalıpları hazırlanmıştır. Döküm işlemleri iki kademeli döküm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Döküm aşamasında iki malzemenin birleşme yüzeyi kontrol edilerek bi-metal döküm kırıcı çekiç üretimi gerçekleştirilmiştir. Çekiçlerden alınan numuneler; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX), X-ışınları Difrakrometresi (XRD), makrosertlik, aşınma testi, yüzey pürüzlülük ölçümü ve elektrokimyasal korozyon testleri yapılarak incelenmiştir. Korozyon testleri %3,5 NaCl ve H₂SO₄ çözeltisi içerisinde oda sıcaklıklarında elektrokimyasal olarak yapılmıştır. Aşınma testleri ileri-geri aşınma test cihazında, oda sıcaklığında 10, 20 ve 40N yükler altında 200, 400 ve 600 m olmak üzere toplamda 600 m kayma mesafesinde, 0,1 m/s hızında ve 6 mm çapında 52100 çelik ve Al₂O₃ bilyelere karşı yapılmıştır. Aşınma deney sonuçlarından; 10, 20 ve 40N deney yüklerinde ve 400 m kayma mesafesinde her iki bilye ile aşındırılan numunelerin aşınma kaybının en az olduğu tespit edilmiştir. Aşınmış numunelerin yüzey morfolojileri, Al₂O₃ bilyeyle aşındırılan numunede aşınma mekanizmasının abrasiv, 52100 çelik bilyeyle aşındırılan numunede ise adheziv aşınmanın baskın aşınma mekanizması olduğunu ortaya koymuştur. Korozyon direncinin ise çoğunlukla yüzey pürüzlülüğüne ve yüzeyde bulunan kusurlara (özellikle mikro çatlaklara) bağlı olduğu tespit edilmiştir

Anahtar Sözcükler : Bi-metal kompozit malzeme, Aşınma, Korozyon, Sertlik, Yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu :91511

ABSTRACT

Master Thesis

BI-METAL MATERIAL PRODUCTION, CORROSION BEHAVIOR AND CHARACTERIZATION OF

Obaid Hamood Saif Saeed AL-MEKHLAFI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Melik CETIN

January 2024, 92 pages

Bi-metal materials are materials created by combining different metals to have better mechanical, thermal or electrical properties. Different joining methods can be used to produce bi-metal materials and the production process can affect the properties of the material. These materials can have various application areas by combining the properties resulting from different metal combinations. Bi-metallic materials; generally better strength; hardness; It may have properties such as wear or corrosion resistance. Corrosion is the process of chemical or electrochemical degradation of materials when exposed to environmental influences. The corrosion resistance of bi-metallic composites is related to the galvanic corrosion effect that occurs when the combination of different metals. Galvanic corrosion is based on an electrochemical cell formed by the union of metals with different electrochemical properties. Abrasion is the wear or loss of the material surface over time because of friction or other mechanical effects. The wear resistance of bi-metallic composites may depend

on the mechanical strength of the combination obtained by joining dissimilar metals. The hardness properties of bi-metallic composites may vary depending on the hardness and microstructural properties of the different metals combined.

In this study, the production process of bi-metal materials and the properties of the materials obtained because of this process were examined. The bi-metal material production process is carried out by combining two different metals with the gradual casting method. In the study, firstly, the model of the bi-metal crusher hammer to be produced was prepared, and then the molds were prepared in the alphaset resin molding system. Casting operations were carried out with a two-stage casting technique. Bi-metal casting crusher hammer was produced by checking the joining surface of the two materials during the casting stage. Samples taken from hammers; It was examined by Scanning Electron Microscope (SEM-EDX), X-ray Diffraction (XRD), macrohardness, wear test, surface roughness measurement and electrochemical corrosion tests. Corrosion tests were carried out electrochemically in 3.5% NaCl and H₂SO₄ solution at room temperatures. Wear tests were carried out on a forward-backward wear test device against 52100 steel and Al₂O₃ balls with a speed of 0.1 m/s and a diameter of 6 mm, at a sliding distance of 200, 400 and 600 m, a total of 600 m, under 10, 20 and 40 N loads at room temperature. From the wear test results, It was determined that the wear loss of the samples abraded with both balls was the least at 10, 20 and 40N test loads and 400 m sliding distance. The surface morphologies of the worn samples revealed that the dominant wear mechanism was abrasive in the sample abraded with Al₂O₃ shot, and adhesive wear was the dominant wear mechanism in the sample abraded with 52100 steel shot. It has been determined that corrosion resistance mostly depends on surface roughness and defects (especially microcracks) on the surface.

Key Word : Bimetallic composite material, Wear, Corrosion, Hardness, Surface roughness.

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Sayın hocam Prof. Dr. Melik ÇETİN bu tez çalışmasının tamamlanması sürecinde bana sağladığınız destek, rehberlik ve öğretimden dolayı size derin bir minnettarlık duyuyorum. İlgili bilgi ve deneyimlerinizden büyük ölçüde faydalandım ve çalışmamı başarıyla tamamlamama yardımcı oldunuz. Tezimin planlanması ve araştırma süreci boyunca gösterdiğiniz ilgi ve yönlendirmeler sayesinde, çalışmamı doğru bir şekilde yönlendirebildim. Önerileriniz, bilimsel temellere dayalı bir şekilde çalışmamın gelişmesine yardımcı oldu ve sonuçların daha güvenilir olmasını sağladı. Ayrıca deneysel çalışma sırasında katkılarından dolayı Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI hocama çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında üstün gayretini ve yardımlarını esirgemeyen Yüksek Metalurji ve Malzeme Mühendisi sayın Tugay FIRAT'a teşekkür ederim.

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünce KBUBAP-23-YL-048 nolu projesi desteklenmiştir. Bu değerli destek için adları geçen bu saygın kurumlara da teşekkür ederim.

Ailem sizlere hayatım boyunca verdiğiniz destek için teşekkür ederim. Maddi ve manevi olarak her zaman benim yanımda olduğunuz için minnettarım. Sizlerin fedakarlıkları, sevginiz ve inancınız benim için paha biçilemez. Sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Sizler, zor zamanlarımda yanımda olduğunuzda ve güçlü olduğum zamanlarda beni desteklediğinizde her zaman orada oldunuz. Maddi ihtiyaçlarımı karşılamak için büyük emekler verdiniz ve beni en iyi şekilde yetiştirmek için fedakârlık yaptınız. Sizin sağladığınız güvenlik ve huzur ortamı, benim için en değerli hazinedir.

Bu tez çalışmasının tamamlanması sürecinde bana sağladığınız destek ve sabır için derin bir minnettarlık duyuyorum. Sizin desteğiniz olmasaydı, bu çalışmayı başarıyla

tamamlamak daha zor olurdu. Eşim Anhar AL-ZINDANI VE Kızım Roslın AL-MEKHLAFI her zaman yanımda olduğunuz ve motivasyonumu yüksek tuttuğunuz için size teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
DÖKME DEMİRLER.....	4
2.1 DÖKME DEMİR TÜRLERİ.....	5
2.2 GRİ DÖKME DEMİR.....	6
2.3 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR	6
2.4. BEYAZ DÖKME DEMİR	6
2.4.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirler	8
2.4.2. Beyaz Dökme Demir Kullanım Alanları ve Özellikleri	12
2.4.3. Beyaz Dökme Demir Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları	13
2.4.4. Beyaz Dökümün Sertlik Özelliği Ve Avantajları	14
BÖLÜM 3	17
ÇELİK.....	17
3.1. ÇELİK ÜRETİMİ GENELLİKLE TEMEL OLARAK İKİ ANA YÖNTEMLE GERÇEKLEŞTİRİLİR.....	17

3.2. ÇELİK MALZEMELER:TÜRLERİ ÜRETİM SÜREÇLERİ MIKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER, UYGULAMA ALANLARI VE İŞLEME TEKNIKLERİ	18
3.2.1. Çelik Türleri	18
3.2.2. Çelik Üretim Süreçleri.....	18
3.2.3. Mikroyapı ve Mekanik Özellikler	18
3.2.4. Çelik Uygulama Alanları.....	19
3. 3. ÇELİK MALZEMENİN KOROZYON AŞINMA ÖZELLİĞİ.....	19
3.3.1. Korozyon	19
3.3.2. Aşınma.....	19
3.4. ÇELİK MALZEMELERİNDE SERTLİK: ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ, ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE UYGULAMADAKİ ÖNEMİ.	20
3.4.1. Çelik Malzemenin Sertliği ve Etkileyen Faktörler	20
3.4.1.1. Karbon İçeriği	21
BÖLÜM 4	22
Bİ-METAL MALZEMELER	22
4.1. BİMETAL MALZEMELER ÖZELLİKLER VE UYUGULAMALAR.....	23
4.2. NİKEL VE SILİSYUM-KARBUN BI-METALİK MALZEMELER: ÜRETİM ÖZELLİKLER VE KARAKTERİZASYON.....	24
4.3. BI-METAL NİKEL-KROM.....	25
4.3.1. Krom.....	25
4.4. KOMPOZİTLERİN Bİ-METALİK ÖZELLİKLERİ	26
4.4.1. Arayüz Özellikleri	26
4.4.2. Mekanik Özellikler	28
4.4.3. Aşınma Özellikleri.....	29
BÖLÜM 5	32
KOROZYON	32
5.1. KOROZYONUN ÖZELLİKLERİ	34
BOLÜM 6	36

	<u>Sayfa</u>
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
6.1. DENEYE NUMUNESİ HAZIRLAMA e DÖKÜM İŞLEMİ.....	36
6.2. NUMUNE HAZIRLANMASI	39
6.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	41
6.4. SERTLİK.....	43
6.5. AŞINMA TESTİ	43
6.6. SÜRTÜNME KATSAYISI TESTİ.....	45
6.7.YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ	45
6.8. KOROZYON TESTİ.....	46
 BÖLÜM 7	 49
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	49
7.1. MİKRO YAPI	49
7.2. SERTLİK.....	55
7.3. AŞINMA	57
7.4. SÜRTÜNME KATSAYISI.....	63
7.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	66
7.6. ELEKTROKİMYASAL KOROZYON TEST DAVRANIŞLARI.....	68
 BÖLÜM 8	 83
SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
 ÖZGEÇMİŞ	 92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dökme demirler ve alt grupları	4
Şekil 2.2. Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik alanları	5
Şekil 2.3. Şekil 2.3'te farklı dökme demir türlerinin mikroyapıları görülmektedir: a) Gri dökme demir, b) Nodüler dökme demir, c) Beyaz dökme demir, d) Temper dökme demir.....	7
Şekil 2.4. Çeşitli karbür yapıcı elementlerin çil derinliğine etkisi	16
Şekil 6.1. Bi-metal üretim prosesinin şematik gösterimi.....	37
Şekil 6.2. Dökümü yapılmış bi-metal malzeme (a)Bi-metal çekiçin şematik gösterimi ve dökülmüş hali (b) Spektral analiz alınan bi-metal malzeme bölge görüntüsü	38
Şekil 6.3. Su jeti makinesi ile kesim işleminin yapılışı	39
Şekil 6.4. Numunelerin kesim öncesi ve sonrası numune hazırlanması görüntüleri...	40
Şekil 6.5. Su jeti ile kesilmiş bi-metal numuneler.....	40
Şekil 6.6. Kullanılan optik mikroskopun görüntüsü.....	41
Şekil 6.7. İleri-geri aşınma test cihazının şematik gösterimi.....	44
Şekil 6.8. Deneylerde kullanılan PRECISE XB 220A markalı hassas terazi.....	44
Şekil 6.9. İleri-geri aşınma test cihazının şematik gösterimi.....	45
Şekil 6.10. Mitutoyo SJ201 marka profilemetre cihazı.	46
Şekil 6.11. Korozyon test numuneleri	47
Şekil 6.12. Statik korozyon deney hücresi ve potansiyodinamik test ekipmanı.....	48
Şekil 7.1. Bi-metal malzemede çelik, BDD ve kompozit kısımların mikroyapıları...	50
Şekil 7.2. Bimetal malzeme SEM mikroyapı görüntüsü	51
Şekil 7.3. Bi-metal numune yüzeyinde üç farklı bölgeden alınan XRD kırınım desen analiz grafikleri a)Yüksek alaşımlı beyaz dökme demir bölge, b) Geçiş bölgesi, c) Düşük alaşımlı çelik bölge.....	52
Şekil 7.4. Bi-metal numunenin SEM görüntüleri ve ve EDS haritalama yöntemi ile analizi a)Genel görünüm, b)Krom, c) Mangan, d)Demir, e)Karbon, f) Oksijen, g)Nikel ve h)Krom, Mangan, Demir, Karbon, Nikel.	54
Şekil 7.5. Bi-metal malzemenin mikro yapısı	55
Şekil 7.6. Bi-metal malzemenin döküm hali sertlik geçişi	56
Şekil 7.7. Al ₂ O ₃ Seramik bilye ile aşındırılan bi-metal malzemenin aşınma kaybı	58

Şekil 7.8. 52100 Çelik bilye ile test edilen bi-metal malzemenin aşınma kaybının değişimi	58
Şekil 7.9. Bi-metal numunenin 10,20 ve 40N yük altında çelik ve seramik bilye ile temas eden abrasif aşınmaya maruz kalmış aşınma yüzeyi SEM	62
Şekil 7.10. Bi-metal numune üzerinde yapılan nokta EDS elementel analizi sonuçları	63
Şekil 7.11. Çelik bilye ile aşındırılan numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	67
Şekil 7.12. Seramik bilye ile aşındırılan numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	68
Şekil 7.13. İşlemsiz numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	68
Şekil 7.14. Bi-metal numunenin %3,5 H ₂ SO ₄ solüsyonunda potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	69
Şekil 7.15. Bi-metal numunenin %3,5 NaCl solüsyonunda potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	69
Şekil 7.16. %3,5 H ₂ SO ₄ ve %3,5 NaCl çözeltileri içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numunenin SEM yüzey görünümü.	73
Şekil 7.17. %3.5 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune çelik bölgesi SEM ve Edax analizi.....	74
Şekil 7.18. %3.5 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune ara yüzey geçiş bölgesi SEM ve Edax analizi	75
Şekil 7.19. %3.5 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune yüksek alaşımlı BDD bölgesi SEM ve Edax analizi.....	77
Şekil 7.20. %3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune çelik bölgesi SEM ve Edax analizi.....	78
Şekil 7.21. %3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune arayüzey geçiş bölgesi SEM ve Edax analizi.	79
Şekil 7.22. %3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune yüksek alaşımlı BDD bölgesi SEM ve Edax analizi.....	81

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. 25- 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli BDD’lerin mekanik özellikleri	9
Tablo 2.2. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri.	11
Tablo 2.3. Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikler.....	11
Tablo 6.1. Bi-metal malzemenin kimyasal bileşimi, % ağ.....	38
Tablo 7.1. Bi-metal malzemede seramik ve çelik bilye kullanılarak yapılan aşınma test sonuçları.....	57
Tablo 7.2. Seramik bilye ile yapılan sürtünme katsayısı sonuçlarının ortalaması	64
Tablo 7.3. Çelik bilye Seramik bilye ile yapılan sürtünme katsayısı sonuçlarının ortalaması.....	64
Tablo 7.4. İşlemsiz ve farklı aşındırıcı ile aşındırılmış bi-metal numunelerin pürüzlülük değerleri	66
Tablo 7.5. Korozyon testi için İcorr ve Ecorr oranları.	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

O	: oksijen
Ni	: nikel
Cr	: krom
Mn	: mangan
Fe	: demir
C	: karbon
Ni	: nikel
Mo	: molibden
erf(z)	: hata işlevi
γ	: birim hacim ağırlığı
$\Gamma(x)$	: gama işlevi
θ	: kutupsal açı
σ	: normal gerilme
σ_c	: tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılacak ekipmanların üretiminde aşınma göz önüne alınması gereken parametredir. Bu nedenle cevher hazırlama, kömür, porselen toprak, kimya sanayi ve öğütücü değirmen bilyeleri gibi üstün aşınma dayanımı istenen sektörlerde yüksek kromlu beyaz dökme demir (BDD) kullanılır. Bu tip çalışma ortamlarında kullanılan malzemelerin aşınması sonucunda iş kayıpların yaşandığı durumlar göz önüne alındığında, daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli malzemelerin geliştirilmesi zorunluluk arz etmektedir. Bu hedefe ulaşmak için beyaz dökme demirler en uygun malzeme sınıfını temsil etmektedir. En başarılı uygulamalarından birisi de darbe çubukları ve darbeli kırıcıların çekiçleridir. Krom oranı yüksek BDD'ler genel olarak iyi bir aşınma direnci gösterirlerken, darbeli çalışma koşullarında yüksek sertliklerinden dolayı kırılmalara sebep olmaktadır.

Darbeli çalışma ortamlarında çalışacak olan çekiçlerin kırılabilirliğinin önüne geçebilmek için iki katlı döküm sistemiyle üretim tekniği geliştirilmiştir. Bi-metal olarak da adlandırılan bu döküm tekniğiyle aşınmaya maruz kalacak bölgeyi yüksek kromlu BDD konkasör diskinin mil kısmına bağlanan tarafı da alaşımlı çelik olarak üretilmiştir. Beyaz dökme demirler aşınmaya dayanıklı ticari malzemeler olarak yaklaşık yüz yıldır kullanılmaktadır.

Döküm maliyetini düşürmek ve tokluğu arttırmak için bi-metal üretim tekniği geliştirilmiştir. Değişik özelliklere sahip farklı metallerin birlikte oluşturduğu bir yapı bi-metal özelliği gösterirler. Alüminyum-giydirmeli çelik tellerden oluşan bi-metal malzeme, çelik teller mukavemet ve dayanım kazandırırken, aynı zamanda alüminyum bimetal malzemenin elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini yükseltir. Mühendislik alaşımlarında, iki malzemenin her birinin zayıf yönlerini telafi etmek için iki farklı alaşımların güçlü yönlerini harmanlayabilen bi-metal malzemelerin

/kompozitlerin geliştirilmesi için son zamanlarda pek çok gelişme yapılmıştır. Bi-metal malzemeler farklı özellikteki metallerin beraberce oluşturduğu bir nevi kompozit/ yapı özelliğine sahiptir ve üretilen parçalar düşük maliyetli, hafif, dayanımı yüksek, iyi aşınma ve korozyon özelliklerine haiz olmalıdır. Bi-metal malzeme üretimi: savurma döküm; ekstrüzyon, sürekli döküm; metal parçaların içine ve etrafına maçalı veya kalıp şeklinde yerleştirilmiş ön ısıtma uygulanmış halde dökülmek suretiyle yapılmaktadır. [1,2,3,4,5,6,7].

Bi-metal malzemeler farklı metallerin birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir ve iyi performans ve uzun ömür göstermesi nedeniyle son yıllarda tercih edilmektedirler. Bu malzemeler farklı metalik özelliklerin kombinasyonunu kullanarak daha iyi performans göstermeyi amaçlar. Ayrıca bi-metal malzemelerin üretimi genellikle farklı ısıl genleşme katsayılarına ve mekanik özelliklere sahip olan metallerin birleştirilmesini içerir. Bu birleştirme işlemi kaynak laminasyon veya metalik bir bağlayıcı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bimetal malzemelerin üretimi süreci malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyebilir. Örneğin, kaynakla birleştirme işlemi sırasında malzemeler arasında ısıl etkiler ve mikro yapı değişiklikleri meydana gelebilir. Bu durum malzemenin mekanik dayanıklılığı korozyon direnci ve diğer özelliklerini etkileyebilir. Ayrıca bi-metal malzemelerin üretim süreci ve bu sürecin malzeme özellikleri üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. [2]. Korozyon davranışı bimetal malzemelerin çevresel etkilere maruz kaldığında nasıl tepki verdiğini ifade eder. Bi-metal malzemeler farklı metallerin birleştirilmesinden dolayı galvanik korozyona yatkın olabilir. Galvanik korozyon farklı metallerin birleşmesiyle oluşan elektrokimyasal bir süreçtir. Bu süreçte bir metal diğerine göre daha aktif hale gelir ve korozyona daha fazla maruz kalır. Bimetal malzemelerin korozyon davranışının bilinmesi malzemelerin uzun ömürlülüğü ve güvenilirliği açısından önemlidir. Bi-metal malzemelerin karakterizasyonu malzemenin fiziksel mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesini içerir. İki farklı metalin kombinasyonunu içeren bi-metal benzersiz bir malzeme sınıfını temsil eder ve bu birleşim her iki metalin avantajlarını bir araya getirerek özel mekanik özellikler dayanıklılık ve korozyon direnci sağlar. Ayrıca Bi-metal malzemelerin üretimi, geleneksel malzeme işleme yöntemlerinden farklı zorluklar ve fırsatlar sunar. Madencilik, mineral işleme ve iş makineleri

sanayilerinde yüksek aşınma dayanımı ve kırılma tokluğuna sahip parçalara olan ihtiyaç artmakta ve bu iki özelliği bir arada bulunduran malzeme üretimi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Özellikle darbeli ve aşınmaya maruz servis şartlarında kullanılan malzemelerin üretim maliyeti yüksek, aşınması fazla ve bu parçalar sıklıkla değişmektedir. Bu ihtiyacın karşılanması üretim maliyetini düşürmek ve verimliliği artırmak için döküm yoluyla bi-metal döküm malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Literatür taramasında genellikle döküm işlerimizden sonraki yapı özellik ilişkisi incelenmiştir. Ara yüzeyde bağlayıcı olarak kullanılan flaks tozlar hakkında bilgi verilmemiştir.[3]. Bu çalışmada ise değişik ara yüzey flaks tozları kullanılarak bu tozların bağ yapısına etkisi incelenecektir

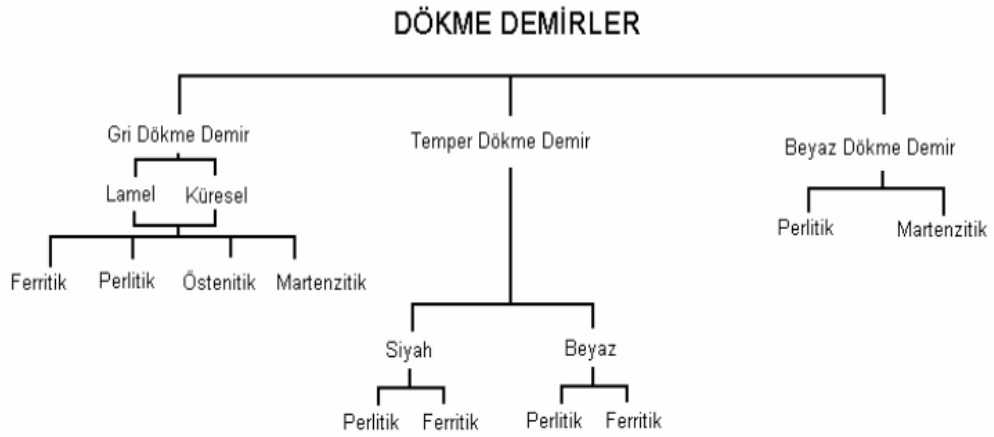
Bu çalışmada, bi-metal malzemelerin, mikroyapısal analizi, mekanik özellikleri, ara yüzey morfolojisi, aşınma ve korozyon direnci gibi özellikleri karakterize etmek amacıyla: bi-metal döküm tekniğinin uygulanması sırasında yüksek kromlu beyaz dökme demir ile alaşımlı çeliğin birleşme yüzeyinde sabit sıcaklıkta farklı flaks tozları kullanılmıştır. Her flaks tozla dökülen numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Kimyasal analizi, SEM incelemeleri ve ve X-ışını karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca her bölgenin sertlikleri alınmış, aşınma dirençleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve korozyon davranışı karakterizasyonu üzerine bir derinlik sağlamayı hedeflemektedir.

BÖLÜM 2

DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler geniş bir demir alaşımları sınıfını kapsayan bir terimdir ve özellikleri çok çeşitli olabilir. Genellikle %2'den fazla karbon içeren demir malzemelerini ifade ederler. Bu demir-karbon-silikon alaşımları genellikle %2-4 karbon ve %1-3 silikon içerir. Dökme demirler genellikle sıcak ve soğuk şekillendirmeye uygun değildir, bu nedenle döküldükleri şekliyle kullanılırlar. [3].

Dökme demirlerin özellikleri, içerdikleri karbon miktarı, soğuma hızı ve diğer alaşım elementlerine bağlı olarak değişebilir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, beyaz dökme demir, gri dökme demir, dövme dökme demir, küresel grafitli dökme demir gibi farklı tipleri vardır, her biri belirli özelliklere sahiptir. Kullanım alanları arasında çeşitli endüstriyel uygulamalar bulunmaktadır. [4].

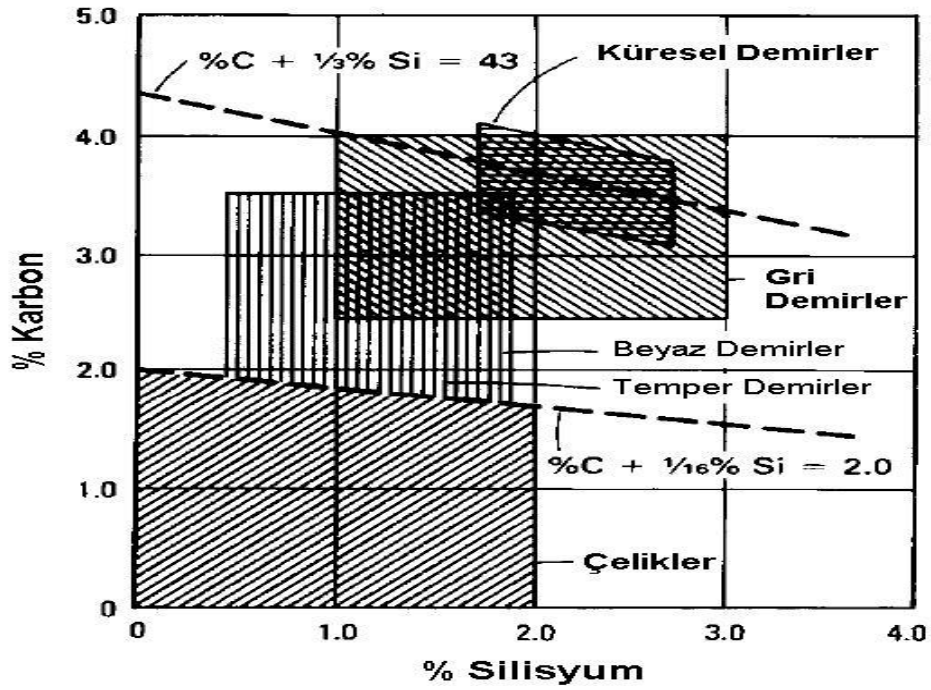


Şekil 2.1. Dökme demirler ve alt grupları

Dökme demirlerde çeşitli grupların oluşumunu etkileyen bir dizi faktör vardır. Malzemenin kimyasal bileşimi, soğuma hızı, üretim yöntemi ve sonrasındaki ısıtma işlem teknikleri gibi etkenler, dökme demirlerin özelliklerini belirlemede kilit bir rol oynar.

2.1 DÖKME DEMİR TÜRLERİ

Dökme demirlerin sınıflandırılması mikroyapı ve grafit dağılımına göre yapılmaktadır. Şekil 2.2'de dökme demirlerin grafit ve mikro yapıları görülmektedir. Bu mikroyapı özelliklerine göre gri dökme demir, beyaz dökme demir, küresel grafitli dökme demir ve temper dökme demir gibi farklı tiplerde sınıflandırılan dökme demirler bulunmaktadır. Ayrıca, yüksek alaşımlı dökme demirleri beşinci bir tip olarak kategorize edebiliriz.



Şekil 2.2. Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik alanları

2.2 GRİ DÖKME DEMİR

Gri dökme demirler, alaşımın katılaştığında içerdikleri karbonla tanımlanan dökme demir tipleridir. Kırık yüzeyleri her zaman gri renkte görünür. Şekil 2.3a'da, gri dökme demirin mikroyapısı lamel şeklindeki grafitleri sergilemektedir. Bu mikroyapı resminde görüldüğü gibi grafitler lamel yapıda bulunmaktadır. Bu dökme demir çeşitleri, demir alaşımlarının en akışkan olanları arasında yer alır ve bu özellikleri sayesinde karmaşık ve ince kesitli parçaların üretimine olanak tanır.

2.3 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR

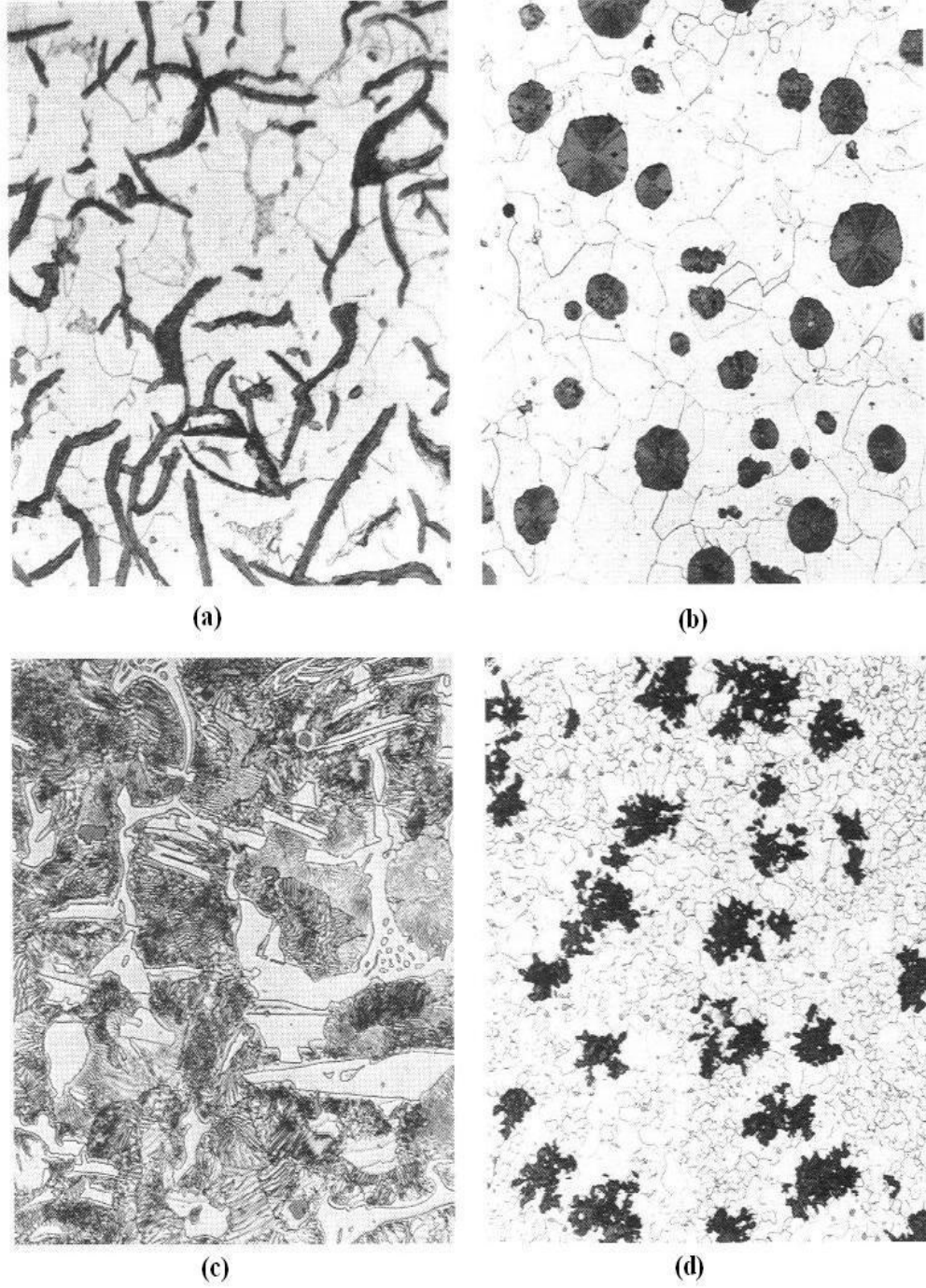
Küresel grafitli dökme demirler, yaygın olarak sünek dökme demirler olarak bilinir. Bu dökme demirlerin serbest karbonları, lamel yerine küresel bir şekle sahiptir. ABD'de genellikle "nodüler dökme demir" olarak adlandırılırlar. Grafitlerin küresel bir şekle dönüşebilmesi için sıvı dökme demire magnezyum veya seryum gibi çok az miktarda ek ilavesi yapılması gerekir. Kırık yüzeyleri parlak bir görünüme sahiptir. Şekil 2.2b'de küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı gösterilmektedir. [5].

2.4. BEYAZ DÖKME DEMİR

Beyaz döküm yüksek karbon içeriğine sahip demir ve çelik alaşımlarının soğuk haliyle çekme veya basınç altında dökülerek elde edildiği bir döküm yöntemidir. Bu döküm yöntemi karbonun büyük miktarlarda sementit fazı olarak bulunduğu bir mikroyapıya sahiptir. Sementit sertlik ve kırılganlık ile karakterizedir. [6]. Beyaz dökümün özellikleri mikroyapısı ve mekanik davranışı, çeşitli faktörler tarafından etkilenir. Bu faktörler arasında karbon içeriği döküm parametreleri (sıcaklık, döküm hızı, basınç vb.) soğutma hızı ve ısıtma süreçleri gibi etmenler bulunur.

Beyaz dökümün mikrostrüktürü, genellikle lamelar veya plaka şeklindeki sementit fazları ile perlitik bir matrisden oluşur. Soğutma hızı arttıkça, mikrostrüktürdeki sementit fazı artar ve daha ince bir yapı oluşur. Bu, malzemenin sertliği ve kırılganlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. [7]. Beyaz dökümün mekanik özellikleri genellikle düşük darbe dayanımı, yüksek sertlik ve düşük çekme

mukavemeti ile karakterizedir. Ancak, beyaz dökümün mekanik özellikleri ısıt işlemleri ve sertleştirme işlemleri ile iyileştirilebilir. Bu işlemler, malzemenin mikroyapısını değiştirerek



Şekil 2.3. Şekil 2.3'te farklı dökme demir türlerinin mikroyapıları görülmektedir: a) Gri dökme demir, b) Nodüler dökme demir, c) Beyaz dökme demir, d) Temper dökme demir.

daha istenen mekanik özelliklere sahip bir yapı oluşturmayı amaçlar. Beyaz dökümde kalıp tasarımı da büyük önem taşır. Kalıp tasarımı, döküm sürecinde malzemenin akışın soğutma hızını ve dolayısıyla mikrostrüktürü etkileyebilir. Kalıp tasarımının optimize edilmesi, homojen bir soğuma sağlayarak malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirebilir. [8].

BDD içindeki karbon, eriyikte demirle birleşerek demir karbür veya sementiti meydana getirir. Bu bileşik, kırılmış yüzeyde beyaz kristal bir görünüm sergiler ve oldukça sert bir yapıya sahiptir. Şekil 2.3c, beyaz dökme demirin mikroyapısını göstermektedir. Bu sert ve kırılgan malzemeler, özellikle aşınma ve yenme direncinin kritik olduğu uygulamalarda alaşımsız veya krom-molibden gibi karbür oluşturan elementlerle alaşımlanarak üretilirler. BDD'ler, yüksek basınç ve üstün aşınma direnci özelliklerine sahiptir.

2.4.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirler

Bu tür dökme demirlerde alaşım miktarı genellikle %4'ün üzerindedir. Yüksek alaşımlı BDD'ler, genellikle aşınma direnci gerektiren çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu uygulamalar arasında cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım aletleri ve makineleri, pistonlar, dişliler, konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar yer almaktadır. Yüksek alaşımlı BDD'lerin içerdikleri krom, korozyon direncini artırıcı bir özellik sunmaktadır. Ayrıca, mikroyapıdaki birincil veya ötektik karbürlerin geniş hacim oranı, özellikle kırıcı ve öğütücü parçalar için gerekli olan yüksek sertliği desteklemektedir. Alaşımları destekleyen metalik matris, aşınma direnci ve mukavemet özelliklerini geliştirmek için alaşım içeriği ve ısıl işlemlerle ayarlanabilir. [9].

Yüksek kromlu BDD'lerde bulunan karbürler, yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özellikler sağlayan yüksek sertlik ve kararlılık özelliklerine sahiptir. Krom içeriğine bağlı olarak, bu demirler kullanım amaçlarına göre genellikle üç ana gruba ayrılabilir.

- 15 – 17 % Cr ısı ve aşınma direnci için
- 26 – 28 % Cr aşınma direnci için
- 30 – 35 % Cr ısı ve korozyon direnci

Ancak ötektik karbon yüzdesine ulaşılmadığı takdirde çok kaba- iri taneli- primer karbürler oluşur. Bunlar gevrekler, aşındırıcı taneciklerin çarpması ile kırılır, aşınma ile ağırlık kaybı fazla olur. Bunun ardından tokluk ve diğer mekanik özellikler de düşer. Sonuç olarak, ötektik karbon yüzdesi çoğu uygulamalar için izin verilebilen en yüksek karbon yüzdesidir. Sadece aşınmanın çok az darbe ve mekanik gerilimlerle ve hem mikroskobik hem de makroskobik ölçekte olduğu yerlerde hiperötektik (ötektik üstü) karbon yüzdesi faydalı olabilir. Ötektik karbon yüzdeleri

- % 15 Cr için yaklaşık %3.6
- % 20 Cr için yaklaşık %3.2
- % 25 Cr için yaklaşık %3.0 dir.

Başka elementler bu değerleri değiştirebilir özellikle silisyum bu değerler düşürür. Artan karbon miktarının etkisiyle özgül ağırlıklarında düşüş gözlemlenen BDD’de, yapıdaki östenit kalıntıları arttıkça özgül ağırlık da artar. Genellikle özgül ağırlık 7.5 – 7.8 g/cm³ arasındadır. Isıl genleşme katsayıları 20 – 450 °C arasında 13.5 – 18 µm/m °C düzeyindedir. Elektrik direnci 0.5 µΩm, ısı iletkenlikleri ise 22 w/m °K civarındadır. Tablo 2.1’de 25 – 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin çeşitli mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. 25- 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli BDD’lerin mekanik özellikleri

% C	Malzeme	Sertlik			Çekme N/mm ²	Modül	Basma N/mm ²	Modül	Genleşme
		HB	DPH	HRC					
2.51	15-3LC	716	782	61.7	100	25.9	305	183	12.7
3.68	15-3HC	712	813	62.8	48.5	23.2	317	122	15.0
3.32	15-2-1	760	646	62.3	310	23.7	226	115	14.3
2.89	20-2-1	757	824	63.8	68.5	22.6	286	187	13.6
2.51	15-3LC	426	497	47.1	61.5	22.0	75	203	14.4
3.6	15-3HC	564	681	58.0	23.4	164	68.9	-	23.4
3.6	15-2-1	463	508	45.6	22.5	183	70	-	17.6
2.89	20-2-1	451	530	54.5	23.8	197	83.4	-	11.1

Tablo 2.1'deki değerler, çeşitli ısıl ve mekanik işlemler sırasında oluşabilecek çatlaklar nedeniyle geniş sapmalar gösterebilir; ancak bu değerler, pratik uygulamalardaki verilerle uyumluluk göstermektedir.

Normalde, yüksek BDD'lerde mekanik testler genellikle sertlik testleri ile sınırlı tutulur. Çekme testi uygulamak, özellikle sert ve kırılğan malzemeler için numune hazırlamak zor ve maliyetlidir. Numunelerin elde edilmesi sırasında küçük çatlakların oluşma riski oldukça yüksektir. Eğme testleri daha basit bir alternatiftir, ancak elde edilen sonuçlar ile gerçek döküm sonuçları arasında büyük farklılıklar olabilir. Mikroyapı ve termal ortamın birçok özelliği hala detaylı bir şekilde bilinmemektedir. Sonuç olarak, bu tür malzemelerin kalite kontrolü, sertlik testi dışındaki diğer mekanik testlerle belirlenememektedir.

Krom grafit yerine karbür oluşturarak, kararlı karbon zengini ötektik faz meydana gelir. Genellikle Fe_3C ve Cr_7C_3 formunda olan karbürler, karbür oluşturan elementlerin eklenmesiyle daha karmaşık yapılar olan $(Cr,Fe)_7C_3$ ve $(Fe,Cr)_3C$ 'ye dönüşebilir. Beyaz dökme demirde yüksek krom miktarı ($> \%10$), yapıda kararlı M_7C_3 karbürlerini oluşturur. [10].

BDD'ler, sadece yüksek aşınma direnci sağlamakla kalmayıp aynı zamanda kritik sıcaklığa yakın ($650\text{ }^{\circ}C$) yüksek sıcaklık uygulamalarında da etkili bir performans sergileyebilirler. Bu zellik, BDD'in sertliğinin bu sıcaklıklarda, adi karbon ve alçak alaşımlı çeliklerde gözlemlenen belirgin bir düşüşü yaşamamasından kaynaklanır. Yüksek kromlu demirlerin döküm sonrası mikroyapısı, krom açısından zengin ferritik matris içinde, özellikle ötektik karbürlerin oluştuğu ve daha sonra bu karbürlerin matris içinde çökelmeye devam ettiği gözlemlenir [11]. BDD'lerin olağanüstü aşınma direnci, mikro yapıların doğrudan bir sonucudur. Mikroskobik ölçekte birçok aşınma süreci, aşındırıcı tanelerinin metal yüzeyine nüfuz etmesi, deformasyon ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar koparmasıyla gerçekleşir. Bu mekanizmanın etkili olabilmesi için aşındırıcı partikülün, metalden daha sert olması gereklidir. Eğer partikülü metalden daha yumuşaksa, süreç korozyon

veya oksidasyona benzer ve sadece az miktarda aşınma oluşur. Tablo 2.1, çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertliklerini göstermektedir. Bu tablo, çoğu aşındırıcı minerallerin ana bileşeni olan kuvarsın, tüm demir esaslı alaşımların matris yapılarından daha sert olduğunu ve bunları kolayca aşındırabileceğini vurgulamaktadır. Yüksek krom-molibdenli BDD'ler, mikro yapıda bulunan krom karbürlerin etkisiyle, sementit içeren dökme demirlerden daha sert ve aşınmaya daha dirençlidir. Bu demirlerde mikro yapıda süresiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler gözlemlenmektedir. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 mikro yapıda bulunan karbürlerin sertliklerini göstermekte olup, karbürlerin, minerallerin ve matrislerin sertlikleri bileşime göre değişkenlik göstermektedir. [12].

Tablo 2.2. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri.

Karbür Tipi	Sertlik(HV)
M3C	840 - 1100
M7C3	1200 - 1800
M2C	1500

Tablo 2.3. Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikler

Malzeme	Sertlik		Malzeme	Sertlik		Malzeme	Sertlik	
	Knop	HV		Knop	HV		Knop	HV
Talk	20	-	Vanadyum Karbür	2660	2800	Perlit (Alaşımli)	-	300-460
Karbon	35	-	Zımpara	1200	-	Ostenit (% 12 Mn)	305	170-230
Gibsiyum	40	36	Korund	2020	1800	Ostenit (Az Alaşımli)	-	250-350
Kalsit	130	140	Silisyum Karbür	2585	2600	Ostenit (Yüksek Cr)	-	300-600
Florit	175	190	Elmas	7575	10000	Martenzit	500-800	500-1010
Apalit	335	540	Ferrit	235	70-200	Sementit	1025	840-1100
Cam	455	500	Perlit (Alaşımsız)	-	250-320	Krom-Karbür	1735	1200-1600
Feldspat	550	600-750	Kuars	840	900-1280	Molibden Karbür	1800	1500
Manyetit	575	-	Topaz	1330	1430	Titanyum Karbür	2470	3200
Ortoglas Filint	620	-	Garnet	1360	1360	Bor Karbür	2800	3700
Filint	820	-	Tungsten Karbür	1800	1800			

2.4.2. Beyaz Dökme Demir Kullanım Alanları ve Özellikleri

BDD 19. yüzyılda icat edilmiştir. Bu döküm yöntemi, yüksek karbon içeriğine sahip demir ve çelik alaşımlarının soğuk haliyle dökülerek elde edilir. İcadının temel amacı, döküm işlemi sırasında karbonun büyük miktarlarda sementit fazı olarak bulunduğu bir mikroyapının oluşturulmasıdır. Beyaz döküm, sertlik, aşınma direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklere sahip olduğu için birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. İşte beyaz dökümün bazı önemli kullanım alanları:

- **Makine ve Otomotiv Sektörü:** BDD, makinelerde ve otomotiv sektöründe kullanılan yüksek mukavemet gerektiren parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Örnek olarak, dişliler, valfler, fren tamburları, kam mili yatakları ve silindir blokları beyaz döküm ile üretilir.
- **Madencilik Sektörü:** Madencilik ekipmanlarında, özellikle aşınmaya dayanıklı parçaların üretiminde BDD sıklıkla kullanılır. Maden kırıcısı çeneleri, öğütme topları ve öğütme plakaları gibi aşınmaya maruz kalan parçalar beyaz döküm ile üretilir.
- **İnşaat Sektörü:** İnşaat sektöründe BDD, köprülerde kullanılan rulmanlar, kaldırma ve taşıma sistemleri, dökme demir çerçeveler ve diğer ağır yük taşıyan yapısal parçaların üretiminde kullanılır.
- **Enerji Sektörü:** BDD, enerji sektöründe kullanılan yüksek sıcaklık ve aşınma direnci gerektiren parçaların üretiminde önemli bir rol oynar. Bu parçalar arasında rüzgar türbinleri hidroelektrik türbinler, gaz türbinleri ve termal santral bileşenleri yer alır.
- **Demiryolu Sektörü:** BDD demiryolu sektöründe raylar, tekerlekler, fren diskleri kavrama yüzeyleri ve diğer yüksek mukavemet gerektiren bileşenlerin üretiminde kullanılır. [12].

2.4.3. Beyaz Dökme Demir Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları

BDD, yüksek karbon içeriğine sahip demir ve çelik alaşımlarının soğuk haliyle dökülerek elde edilen bir döküm yöntemidir. İşte beyaz dökümün bazı özellikleri:

- Mikrostrüktür: BDD, döküm işlemi sırasında karbonun büyük miktarlarda sementit fazı olarak bulunduğu bir mikroyapıya sahiptir. Bu faz, karbonun demir matrisinde çökmesiyle oluşur ve döküm parçasının sertliğini artırır. Sementit fazı, beyaz ve parlak bir görünüme sahip olduğundan bu döküm yöntemi "beyaz" döküm olarak adlandırılmıştır.
- Sertlik: BDD, diğer döküm yöntemlerine göre daha yüksek sertliğe sahiptir. Yüksek karbon içeriği ve sementit fazının varlığı, döküm parçalarının aşınmaya ve deformasyona karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Bu nedenle, beyaz döküm özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilir.
- Aşınma Direnci: Sementit fazının sertliği ve döküm parçalarının kompakt mikroyapısı, beyaz döküm parçalarının yüksek aşınma direncine sahip olmasını sağlar. Bu özellik, BDD'in madencilik ekipmanları, taşıma sistemleri ve ağır yük taşıyan yapısal parçalar gibi aşınmaya maruz kalan uygulamalarda kullanılmasını sağlar.
- Yüksek Sıcaklık Dayanımı: BDD, yüksek sıcaklık ortamlarında da mükemmel dayanıklılık gösterir. Yüksek karbon içeriği ve sementit fazının varlığı, döküm parçalarının yüksek sıcaklıkta şekil değiştirmesini ve yumuşamasını engeller. Bu nedenle BDD, enerji sektöründe kullanılan türbinler motorlar ve termal santral bileşenleri gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilir.
- İyi Dökülebilirlik: BDD'in döküm işlemi sırasında kolayca akar ve doldurulması zor şekilleri bile başarılı bir şekilde oluşturabilir. Bu özelliği sayesinde karmaşık geometrilere sahip parçaların üretiminde kullanılabilir.
- Korozyon Direnci: BDD, yüksek karbon içeriği nedeniyle bazı koşullarda korozyona eğilimli olabilir. Bu nedenle, uygun korozyon önleyici kaplamalar veya paslanmaz çelik gibi diğer. [13].

2.4.4. Beyaz Dökümün Sertlik Özelliği Ve Avantajları

BDD'in Sertlik Özelliği: BDD, karbon içeriği yüksek olduğu için diğer dökme demir tiplerine göre daha sert bir malzemedir. Genellikle 2.8% - 4.0% karbon içeriği ile karakterize edilir. Bu yüksek karbon içeriği, çelikteki karbon miktarından daha fazladır ve kristal yapının sertleşmesine katkıda bulunur. Beyaz dökümün sertliği, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Bunlar arasında karbon içeriği soğutma hızı, alaşım elementleri ve işleme süreci yer alır. Beyaz döküm malzemesinin hızlı soğutulması sertliği artırırken yavaş soğutma daha düşük sertlik seviyelerine neden olabilir. Beyaz dökümün sertliği ölçüm için çeşitli sertlik testleri kullanılarak belirlenebilir. Rockwell sertlik testi veya Brinell sertlik testi gibi yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri tercih edilebilir. BDD'in Sertlik Avantajları ve Kullanım Alanları: BDD, yüksek sertlik özelliği sayesinde çeşitli avantajlar sunar:

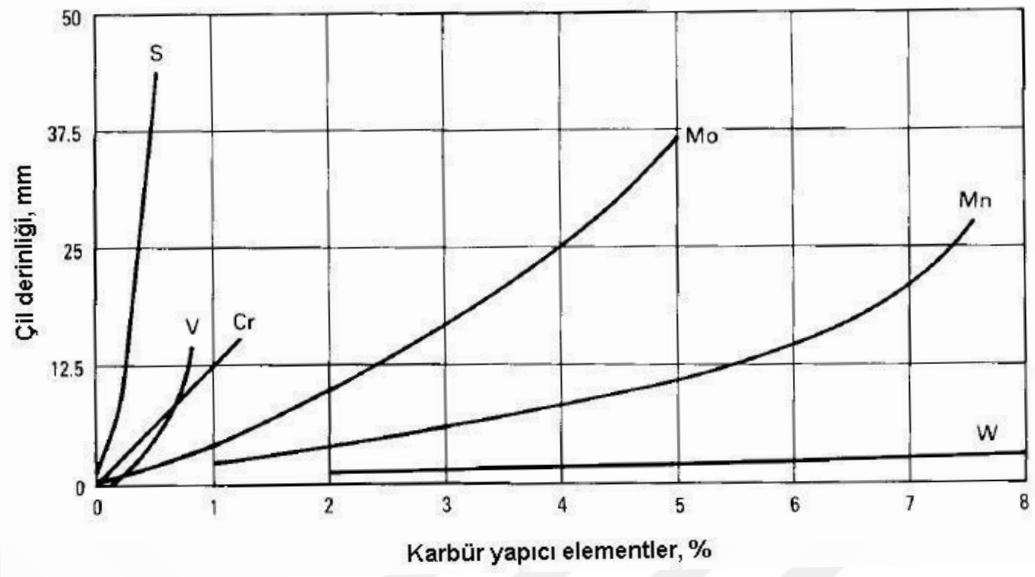
- Aşınma Direnci: BDD malzemesi yüksek sertliği nedeniyle aşınma direnci sağlar. Bu özellik, aşınma ve sürtünme ile ilgili uygulamalarda tercih edilmesini sağlar.
- Yüksek Yüzey Sertliği: BDD'in yüzey sertliği, çizilme, çarpmaya dayanıklılık ve darbe direnci gibi faktörlerde avantaj sağlar. Bu özellik çeşitli endüstriyel uygulamalarda önemli bir faktördür.
- Isıl İşleme Olasılığı: BDD, uygun ısıtma işlem süreçleri ile sertlik özelliklerinin optimize edilebildiği bir malzemedir. Bu sayede belirli uygulamalara uygun sertlik seviyeleri elde etmek
- BDD dökümdeki sertlik malzemenin mikroyapısı ve karbon grafit yapısı tarafından etkilenir. BDD yüksek karbon içeriği ve hızlı soğutma süreci nedeniyle metal matrisinde çimentoit fazının oluşmasına yol açar. Bu çimentoit fazı sertliği artıran bir etkiye sahiptir.
- BDD'in sertliği, diğer dökme demir tiplerinden daha yüksektir. Genellikle 200-300 HB (Brinell sertlik) aralığında sertlik değerleri elde edilir. Bu yüksek sertlik, BDD'i aşınmaya karşı dayanıklı hale getirir.
- Sertliğin yanı sıra, BDD'in kırılabilirliği de dikkate alınması gereken bir özelliktir. BDD, yüksek karbon içeriği nedeniyle kırılabilirlik gösterebilir. Bu

nedenle, uygulama gereksinimleri ve kullanım koşulları dikkate alınarak uygun tasarım ve işleme teknikleri kullanılmalıdır.

- BDD, genellikle aşındırıcı ortamlarda veya yüksek darbe yükleri altında kullanılan bileşenlerde tercih edilir. Örneğin, döküm çekiçler, kırıcılar, değirmenler, madencilik ekipmanları ve döküm valfler gibi uygulamalarda BDD malzemeler kullanılabilir.
- Sertlik, BDD malzemenin dayanıklılığı, aşınma direnci ve yorulma ömrü gibi mekanik özelliklerini etkiler Yüksek sertlik, malzemenin yüzeyinin çizilmeye ve aşınmaya karşı dirençli olmasını sağlar.[14].

2.4.5. Alaşım Elementlerinin Beyaz Dökme Demir Üzerindeki Etkileri

Dökme demir tiplerinin çoğunda alaşım elementleri ve ana yapıyı oluşturan karbon ve silis elementlerinin malzemenin özelliklerine etkisi çok fazladır. Grafit ve karbürlerin miktarları ve şekilleri alaşım elementleriyle doğrudan ilişkilidir. Genel olarak çok düşük miktarlarda alaşım elementi ilavesi çil derinliğinin artırılması (Şekil 2.4), daha yüksek sertlik ve mukavemet için yeterlidir. Çil derinliği ve beyazlaşma eğilimi, dökme demirin karbon eşdeğeri ve karbon-silisyum oranına büyük ölçüde bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu temel özellikleri belirlemede Mn, Cr, Mo, Ni ve V gibi alaşım elementleri de eklenerek yönlendirme sağlar. Beyaz dökme demirlerde, malzemenin hizmet özelliklerine bağlı olarak maliyet, ısıtılma işlem, parça boyutu ve karmaşıklığı gibi üretim parametreleri dikkate alınarak optimum kimyasal bileşim ayarlaması yapılır. İstenen mikro yapı ve aşınma direncini elde etmek için C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni ve V gibi alaşım elementleri ilave edilir. [12-14].



Şekil 2.4. Çeşitli karbür yapıcı elementlerin çil derinliğine etkisi

BÖLÜM 3

ÇELİK

Çelik, demir ve karbonun belirli oranlarda karışımından oluşan bir metal alaşımıdır. Genellikle karbon oranı % 0,2 ile %2,1 arasında değişir. Çelik, yüksek mukavemet, dayanıklılık dövülebilirlik kaynak yapılabirlik ve yüzey sertleştirme gibi özellikleri nedeniyle geniş bir endüstriyel kullanım alanına sahiptir.

3.1. ÇELİK ÜRETİMİ GENELLİKLE TEMEL OLARAK İKİ ANA YÖNTEMLE GERÇEKLEŞTİRİLİR

Yassı Çelik Üretimi: Yassı çelik, çelik haddeleme prosesi kullanılarak üretilir. Bu süreçte çelik eritilir ve ardından bir haddehane tesisinde dökme bloklar veya dökme levhalar halinde şekillendirilir. Şekillendirme işlemi haddehane tesisindeki haddehane geçişleri soğutma ve gerilim alma adımlarını içerir. Sonuç olarak, yassı çelik, ince levha veya şeritler halinde üretilir ve birçok farklı endüstride kullanılır örneğin otomotiv inşaat, beyaz eşya ve ambalaj endüstrileri gibi.

Şekilli Çelik Üretimi: Şekilli çelik üretimi, erimiş çelikten döküm işlemiyle gerçekleştirilir. Döküm işlemi, çelik eritildiğinde erimiş çelik haline gelir ve ardından belirli bir şekle sahip dökme parçalar elde edilir. Şekilli çelik üretimi döküm tesislerinde özel kalıplar ve şekillendirme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem karmaşık geometrilere sahip parçaların üretimi için uygundur ve otomotiv enerji makine imalatı ve yapı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır. Çelik üretimi ayrıca demir cevherinden başlayarak demir çeliğe dönüştürme işlemlerini içerir. Bu işlemler arasında demir cevherinin metalurjik işlemlerle saflaştırılması, eritilmesi ve ardından karbon ve diğer alaşım elementlerinin eklenmesi yer alır. Bu süreçler istenen çelik türünün özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre belirlenir.[15].

3.2. ÇELİK MALZEMELER: TÜRLERİ ÜRETİM SÜREÇLERİ MIKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER, UYGULAMA ALANLARI VE İŞLEME TEKNİKLERİ

3.2.1. Çelik Türleri

Çelik, karbon ve diğer alaşım elementlerinin bir araya gelmesiyle oluşan bir malzemedir. Yapısal çelik, en yaygın kullanılan çelik türlerinden biridir ve genellikle inşaat sektöründe kullanılır. Paslanmaz çelik, korozyona dayanıklı özelliklere sahip olan ve gıda endüstrisinden tıbbi uygulamalara kadar geniş bir yelpazede kullanılan bir çelik türüdür. Aşınmaya dayanıklı çelik, sürtünme ve aşınma koşullarına maruz kalan parçaların üretiminde kullanılırken, yüksek mukavemetli çelikler yüksek dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

3.2.2. Çelik Üretim Süreçleri

Çelik üretimi genellikle demir cevherinin kok kömürü veya doğal gazla yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girmesiyle başlar. Bu reaksiyon sonucunda elde edilen ham demir, çelik üretimi için kullanılan farklı süreçlere tabi tutulur. Bunlar arasında temizleme, ergitme, rafinasyon alaşım eklemesi ve döküm gibi aşamalar yer alır. İlgili kaynaklarda, farklı çelik üretim yöntemlerini (örneğin, oksijen konvertörü, elektrik ark ocakları, sürekli döküm) ve bu süreçlerin çelik malzemenin özellikleri üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde bulabilirsiniz.

3.2.3. Mikroyapı ve Mekanik Özellikler

Çelik malzemenin mikroyapısı çelik kristallerinin düzenlenmesi faz bileşimi ve tane boyutu gibi faktörleri içerir. Mikroyapı çelik malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Örneğin ince ve homojen tane yapısı, çelik malzemenin mukavemetini artırabilir. Ayrıca, çelik malzemenin sertlik, dayanıklılık, esneklik ve çatlak direnci gibi mekanik özellikleri de mikroyapı ile doğrudan ilişkilidir. Mikroyapı-mekanik özellik ilişkisini anlamak çelik malzemelerin tasarımı ve uygulamasında önemlidir.

3.2.4. Çelik Uygulama Alanları

Çelik geniş bir kullanım alanına sahiptir. İnşaat sektöründe yapısal çelik, taşıyıcı sistemlerin ve binaların yapımında yaygın olarak kullanılır. Otomotiv sektör. [16].

3. 3. ÇELİK MALZEMENİN KOROZYON AŞINMA ÖZELLİĞİ

3.3.1. Korozyon

Çelik demirin oksijenle etkileşimi sonucunda oluşan demir oksitlerinin tabakalaşmasıyla korozyona yatkın bir malzemedir. Korozyon çelik yüzeyindeki metalin zamanla aşındığı ve bozulduğu bir süreçtir. Korozyon, nem, su asitler tuzlar ve diğer kimyasal maddelerle temas sonucunda hızlanır. Korozyon çelik yapıların dayanıklılığını ve ömrünü etkileyebilir. Bu nedenle, çelik yapıların korozyona karşı korunması için farklı yöntemler kullanılır, örneğin kaplama paslanmaz çelik kullanımı koruyucu boyalar vb.

3.3.2. Aşınma

Aşınma sürtünme veya yüzeysel etkileşim sonucu çelik malzemenin yüzeyinin yıpranması ve kaybıdır. Aşınma, çelik malzemenin kullanıldığı sürtünmeli ve aşındırıcı ortamlarda meydana gelir. Örneğin makine parçaları, dişliler, rulmanlar gibi uygulamalarda sürekli sürtünme ve yüksek yükler çelik malzemenin aşınmasına neden olabilir. Aşınmayı azaltmak veya kontrol altında tutmak için çeşitli yöntemler kullanılır örneğin, sertleştirme yüzey kaplamaları yağlama vb. Korozyon ve aşınma, çelik malzemenin ömrünü ve performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle, çelik yapıların tasarımı ve malzeme seçimi, korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklılığı dikkate alacak şekilde yapılmalıdır. Korozyon ve aşınma mekanizmalarını anlamak, uygun koruyucu önlemlerin alınmasına ve çelik yapıların uzun süreli kullanımına katkıda bulunur. [15,16,17].

3.4. ÇELİK MALZEMELERİNDE SERTLİK: ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ, ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE UYGULAMADAKİ ÖNEMİ.

Sertlik, bir malzemenin yüzeyine uygulanan bir kuvvet karşısında direncini ifade eden bir özelliktir. Çelik malzemenin sertliği, çelik yapısındaki mikroyapı ve kimyasal bileşimi tarafından belirlenir. Sertlik, çelik malzemenin dayanıklılığı, aşınma direnci ve yorulma ömrü gibi mekanik özelliklerini etkiler.

Çelik malzemenin sertliği, genellikle Brinell, Rockwell, Vickers veya Knoop sertlik testleriyle ölçülür. Bu testler, çelik yüzeyine belli bir yük uygulayarak yüzey izlenimini veya çapraz boyutlarını ölçer. Bu ölçümler belirli bir sertlik ölçeği üzerinde bir sayısal değerle ifade edilir.

Çelik malzemenin sertliği çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bunlar arasında malzemenin karbon içeriği, alaşım elementleri, soğuma hızı mikroyapı ve işlem geçiren süreçler yer alır. Genellikle, yüksek karbon içeriği olan çelikler daha sert olma eğilimindedir çünkü karbon atomları kristal yapının sertleşmesine katkıda bulunur. Ayrıca alaşım elementler çelik malzemenin sertliği üzerinde de etkilidir. Örneğin, çelikteki krom ve vanadyum gibi alaşım elementleri sertlik özelliklerini artırabilir. Çelik malzemenin belirli bir sertlik seviyesi, uygulamaya bağlı olarak tercih edilen özellikleri sağlamak için önemlidir. Örneğin aşınma direnci gerektiren uygulamalarda daha sert çelikler tercih edilirken darbe dayanımı veya işlenebilirlik gibi özellikler gerektiren uygulamalarda daha düşük sertlik seviyeleri tercih edilebilir.

Sertlik, çelik malzemenin tasarımı, işlenmesi ve kullanımı süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli bir mekanik özelliktir. Bu nedenle, çelik yapıların kullanım amacına ve uygulama koşullarına uygun sertlik seviyeleri belirlenmelidir. [18].

3.4.1. Çelik Malzemenin Sertliği ve Etkileyen Faktörler

Sertlik çelik malzemenin bir dizi mekanik özelliği ve faktör tarafından etkilenen önemli bir özelliktir. İşte çelik malzemenin sertliğini etkileyen bazı ana özellikler ve faktörler.

3.4.1.1. Karbon İçeriği

Çelikteki karbon miktarı, malzemenin sertliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Karbon elik içindeki kristal yapının sertleşmesine katkıda bulunur. Yüksek karbon içeriği olan çelikler genellikle daha sert olma eğilimindedir.

- Alaşım Elementleri: elik, genellikle diğer elementlerle alaşımlanarak farklı özelliklere sahip elik sınıfları elde etmek için kullanılır. Alaşım elementleri elik malzemenin sertliğini etkileyebilir. Örneğin, krom, vanadyum ve molibden gibi alaşım elementleri sertlik özelliklerini artırabilir.
- Mikroyapı: elik malzemenin mikroyapısı, kristal yapıların boyutu şekli ve dağılımı gibi faktörleri içerir. İyi bir kristal yapının düzenli ve homojen olması elik malzemenin sertliğini artırabilir. [18,19].
- Isıl İşlem: elik malzeme, farklı ısııl işlem yöntemleriyle sertleştirilebilir. Örneğin, su veya yağ banyosunda hızlı soğutma (temperleme) işlemi, elik malzemenin sertliğini artırabilir. Tersine yavaş soğutma (saklama) işlemi, elik malzemenin daha düşük sertlik seviyelerine sahip olmasını sağlar.
- Soğuma Hızı: elik malzemenin soğuma hızı, sertliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Hızlı soğutma, daha sert çeliklerin oluşmasına yol açarken, yavaş soğutma daha yumuşak çeliklere neden olabilir.
- İşleme Yöntemleri: elik malzeme işleme süreçleri sertlik üzerinde etkili olabilir. Örneğin, soğuk şekillendirme veya dövme işlemi elik malzemenin mikroyapısını değiştirerek sertliğini artırabilir.
- Çekme Dayanımı: elik malzemenin çekme dayanımı, sertlikle ilişkilidir. Genellikle, yüksek çekme dayanımına sahip çelikler daha yüksek sertlik değerlerine sahip olma eğilimindedir.

Bu faktörler, elik malzemenin sertlik özelliğini etkileyen temel etmenlerdir. [18,19].

BÖLÜM 4

Bİ-METAL MALZEMELER

Bi-metal malzemeler farklı metallerin birleştirilmesiyle oluşturulan ve özelliklerini optimize etmek veya geliştirmek amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Bi-metalik malzemelerin bazı uygulama alanları.

1. Otomotiv Endüstrisi: Bimetalik malzemeler, otomobil parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, pistonlar, motor valfleri egzoz sistemleri gibi parçalar dayanıklılığı artırmak ve aşınmaya karşı direnç sağlamak amacıyla bimetalik yapılar kullanılarak üretilir.
2. Enerji Sektörü: Bimetalik malzemeler, enerji üretimi ve dağıtım alanında kullanılan birçok bileşen için önemlidir. Örneğin, güneş enerjisi panellerinde, yakıt hücrelerinde elektrik iletim hatlarında ve rüzgar türbinlerinde bimetalik malzemelerin kullanımı yaygındır. Bu malzemeler, dayanıklılık ısı transferi ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri optimize etmek için kullanılır.
3. Elektronik Endüstrisi: Bimetalik malzemeler elektronik cihazların üretiminde de kullanılır. Özellikle mikroelektronik bileşenlerde ve entegre devrelerde sıcaklık yönetimi ve mekanik stabilite sağlamak amacıyla bimetalik yapılar tercih edilir.
4. Kimyasal Endüstri: Kimyasal endüstride, bimetalik malzemelerin kullanımı katalitik reaksiyonlarda önemli bir rol oynar. Bimetalik katalizörler, kimyasal tepkimelerin hızını artırabilir, selektiviteyi iyileştirebilir ve reaksiyon verimliliğini artırabilir. Bu nedenle petrokimya, farmasötik, gıda işleme gibi birçok kimyasal endüstri uygulamasında bimetalik katalizörler tercih edilir.
5. Savunma Sanayi: Bimetalik malzemeler savunma ve havacılık sektöründe de yaygın olarak kullanılır. Bu malzemeler hafiflik, dayanıklılık korozyon direnci gibi özellikleri optimize etmek için kullanılarak uçak gövdeleri zırh plakaları askeri araç parçaları gibi uygulamalarda kullanılabilir. [20].

4.1. Bİ-METAL MALZEMELER ÖZELLİKLER VE UYUGULAMALAR.

Bi-metal terimi, farklı iki metalin birleştirilerek oluşturulan bir malzemeyi ifade eder. Bi-metalin bileşenleri genellikle farklı özelliklere sahip metallerden seçilir ve bu kombinasyon malzemenin belirli özelliklerini geliştirmek veya optimize etmek amacıyla kullanılır.

Bir bi-metal örneği nikel ve korumanın birleştirilmesidir. Nikel yüksek korozyon direnci ve mükemmel ısı ve elektriksel iletkenlik gibi özelliklere sahip bir metaldir. Koruma ise genellikle çelik veya pirinç gibi daha dayanıklı bir metalden oluşur. Nikel-koruma bi-metalin birleşimi malzemenin hem korozyon direncini artırırken hem de daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olmasını sağlar. Bu tür bi-metal yapılar genellikle elektro-uyarlı reaksiyonlarda kullanılır ve kimyasal endüstride yaygın olarak kullanılan korozyon direncine sahip kaplamaların üretiminde tercih edilir

Diğer bir bi-metal kombinasyonu silisyum ve karbundur. Silisyum, yarı iletken ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklere sahip bir elementtir. Karbon ise genellikle karbon ve bor bileşenlerini içeren sert bir malzemeden oluşur. Silisyum-karbon bimetalin birleşimi, malzemenin yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımını sağlar. Bu tür bimetal yapılar elektronik enerji üretimi ve yüksek sıcaklıkta çalışan cihazlarda kullanılan substratlar ve bileşenler için önemli olabilir

Bi-metal malzemelerin üretimi, genellikle farklı metallerin birleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu birleştirme süreci kaynak, laminasyon metalurjik bağlama veya benzeri yöntemlerle yapılabilir. Bi-metalik malzemelerin özellikleri kullanılan metallerin seçimine, birleştirme yöntemine ve bileşenlerin oranına bağlı olarak değişebilir. Bi-metalik malzemelerin karakterizasyonu, mikroyapısal analiz, mekanik testler yüzey morfolojisi incelemeleri ve korozyon direnci testleri gibi çeşitli yöntemleri içerir. Bu teknikler malzemenin yapısal özelliklerini, mekanik dayanıklılığını, yüzey kalitesini ve korozyon davranışını belirlemek için kullanılır. Bi--metalik malzemeler farklı metal kombinasyonlarının avantajlı özelliklerini birleştirerek çeşitli endüstrilerde geniş bir kullan. [21-25].

4.2. NIKEL VE SILİSYUM-KARBUN BI-METALİK MALZEMELER: ÜRETİM ÖZELLİKLER VE KARAKTERİZASYON.

Nikel bi-metal, nikelin yüksek korozyon direnci ve mükemmel ısı ve elektriksel iletkenlik özelliklerini, koruma gibi daha dayanıklı bir metalle birleştirir. Bu kombinasyon, malzemenin hem korozyon direncini artırırken hem de daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olmasını sağlar. Bu tür bi-metal yapılar, korozyon direncine sahip kaplamaların üretiminde ve elektro-uyarlı reaksiyonlarda kullanılan malzemelerde yaygın olarak tercih edilir

Silisyum-karbon bi-metal, yarı iletken ve yüksek sıcaklık dayanımı özelliklerine sahip silisyumun, sert ve yüksek sıcaklıkta çalışabilen karbonla birleşimini ifade eder. Bu tür bi-metal yapılar, elektronik, enerji üretimi ve yüksek sıcaklıkta çalışan cihazlar için substratlar ve bileşenler gibi uygulamalarda önemli olabilir. Bi-metalik malzemelerin üretimi genellikle farklı metallerin birleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu birleştirme süreci kaynak laminasyon, metalurjik bağlama veya benzeri yöntemlerle yapılabilir. Her bir bi-metal kombinasyonu için özel bir üretim prosedürü kullanılabilir

Bi-metalik malzemelerin karakterizasyonu malzemenin yapısal mekanik ve yüzey özelliklerini belirlemeyi içerir. Mikroyapısal analiz, malzemenin iç yapısını inceleyerek farklı bileşenlerin dağılımını ve arayüzey özelliklerini belirlemek için kullanılır. Mekanik testler malzemenin dayanıklılığını sertliğini ve elastik özelliklerini değerlendirir. Yüzey morfolojisi incelemeleri, malzemenin yüzey kalitesi, pürüzlülük ve topografisini inceler. Korozyon direnci testleri ise malzemenin çevresel etkilere karşı dayanıklılığını değerlendirir. [26].

4.3. BI-METAL NIKEL-KROM

4.3.1. Krom

Yüksek kromlu BDD'ler, sertlik ve aşınma direncini artırmak amacıyla kullanılan önemli bir elementtir. Bu alaşımın içinde bulunan krom, kararlı bir karbür yapısı oluşturmak için kullanılır. Aynı zamanda, korozyon direncini artırmak ve yüksek sıcaklık uygulamalarında yapıyı kararlı hale getirmek için krom eklenir. BDD'lerde krom miktarının %2-3 civarında olmasının, sertleştirmeye ve aşınma direncine etkisi oldukça sınırlıdır. Krom miktarı %10'u aştığında ise M7C3 tipi ötektik karbürler oluşur. Krom içeriği %10'dan az olan alaşımlarda ise M3C karbürleri meydana gelir. M7C3 karbürleri içeren ötektik altı demirler, M3C karbürleri içeren demirlere kıyasla daha yüksek mukavemetli ve daha tok bir yapı sergilerler.

Nikel-krom bi-metal, nikel ve kromun birleştirilmesiyle oluşturulan bir malzemedir. Bu bimetalin özellikleri ve uygulamaları şunlardır:

Özellikler:

- Yüksek sıcaklık dayanımı: Nikel ve kromun her ikisi de yüksek sıcaklıklara dayanıklı metallerdir. Bu nedenle, nikel-krom bimetal, yüksek sıcaklık ortamlarında kullanıldığında mekanik dayanıklılığını korur.
- Korozyona direnç: Nikel ve krom, korozyona karşı yüksek dirence sahip metallerdir. Nikel-krom bimetal, kimyasal ortamlarda, özellikle asit ve bazlara maruz kaldığında korozyona karşı dayanıklılık sağlar.
- Termal genleşme uyumu: Nikel ve kromun termal genleşme katsayıları benzerdir. Bu özellik, nikel-krom bimetalin termal döngülerde veya yüksek sıcaklık değişimlerinde mukavemetini korumasını sağlar. [27].

Uygulamalar:

- Elektrikli rezistanslar: Yüksek ısı üretme kapasitesine sahip olan nikel-krom bimetal, elektrikli ısıtma elemanlarında sıklıkla kullanılır. Bu, ev aletleri, endüstriyel fırınlar, ısıtma sistemleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanımını sağlar.

- Kimyasal endüstri: Nikel-krom bimetal, kimyasal tesislerde kullanılan borular, valfler ve reaktörler gibi bileşenlerde kullanılabilir. Bu malzeme, kimyasallara ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık sağlar.
- Otomotiv sektörü: Nikel-krom bi-metal, egzoz sistemleri gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalan otomotiv uygulamalarında kullanılır. Bu malzeme, yüksek sıcaklıkta oksidasyona karşı dirençli olduğu için egzoz sistemlerinde dayanıklılık sağlar. [27-30].

4.4. KOMPOZİTLERİN Bİ-METALİK ÖZELLİKLERİ

4.4.1. Arayüz Özellikleri

Bi-metal kompozitler farklı veya alaşımlardan oluşan iki veya daha fazla katmanın bir araya getirilmesiyle metal oluşturulan malzemelerdir. Bu kompozitler, farklı metallerin özelliklerini bir araya getirerek özel uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanır. Aşağıda bi-metal kompozitlerin özellikleri ve arayüz özellikleri hakkında daha fazla bilgi verilmektedir

- **Arayüz Özellikleri:** Bi-metal kompozitlerin performansı ve özellikleri, matris ve takviye edici matris arasındaki arayüzün niteliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bu arayüz özellikleri, kompozitin mekanik dayanıklılığı, korozyon direnci ve ısı iletimi gibi temel özelliklerini etkiler. [31,32].
- **Faz Etkileşimi:** Matris ile takviye edici matris arasındaki faz etkileşimi, kompozitin mukavemetini ve diğer mekanik özelliklerini belirler. Bu faz etkileşimi, iki farklı metal veya alaşımın bir araya geldiğinde oluşan kimyasal reaksiyonları içerir. Bu nedenle, tasarım ve üretim aşamalarında bu etkileşim dikkate alınmalıdır
- **İslanma:** İslanma, takviye edici matrisin matris tarafından nasıl kaplandığını ve bu kaplamanın ne kadar homojen olduğunu ifade eder. İyi bir ıslatma, daha güçlü bir arayüz bağlantısı ve daha iyi mekanik özellikler anlamına gelebilir.[33].
- **Korozyon Direnci:** Bi-metal kompozitlerin bir uygulama alanı, bir metalin yüksek korozyon direnci sağlayan özelliklerini diğer bir metalin

avantajlarıyla birleştirmek olabilir. Bu nedenle, bi-metal kompozitlerin korozyon direnci de önemli bir faktördür

- **Uygulama Alanları:** Bi-metal kompozitler, farklı metallerin özelliklerini bir araya getirerek birçok farklı alanda kullanılabilir. Örneğin, alüminyum ve çelik kombinasyonları termik santrallerin hava soğutma sistemlerinde kullanılabilir.
- **İmalat Teknikleri:** Bi-metal kompozitler, farklı metallerin birleştirilmesi için çeşitli imalat teknikleri kullanılarak üretilebilir. Bu teknikler arasında buharla sinterleme, enjeksiyon kalıplama ve döküm gibi yöntemler bulunabilir.
- **Intermetalik Fazlar:** Intermetalik fazlar, farklı metallerin arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşabilir. Bu fazlar, kompozitin mekanik özelliklerini etkileyebilir. İyi bir tasarım, bu intermetalik fazların kontrol altında tutulmasını gerektirebilir

Sonuç olarak, bi-metal kompozitlerin özellikleri, tasarım, imalat ve uygulama aşamalarında dikkate alınması gereken bir dizi faktöre bağıdır. Bu faktörler, kompozitin istenen performansı ve özellikleri elde etme açısından önemlidir. Yapılan çalışmalarda, bi-metal kompozitlerin imalatında önemli olan reaksiyon hızı gözlemlenmiştir. Çekirdek bölgesinin merkezindeki reaksiyon hızı, kenar bölgelerine kıyasla daha yüksekti. Bu fark, numune çekirdeğinin daha sonradan soğuması ve erimiş metale daha uzun süre maruz kalmasından kaynaklanmıştır. Bu, reaksiyon fazının merkezi bölgede daha hızlı ilerlediğini göstermektedir. Öte yandan, paslanmaz çelik/Al kompozitlerin incelendiği başka bir çalışmada intermetalik fazlar üzerinde önemli gözlemler yapılmıştır. Bu çalışmada, intermetalik fazların sayısı paslanmaz çelik ve alüminyum kombinasyonunda azalmış, ancak orta ve dış bölgeler arasındaki intermetalik fazlar arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, kompozitlerin içsel yapısının, farklı bölgelerde farklılık gösterdiğini ve bu farklılıkların mekanik özelliklere etki edebileceğini göstermektedir. Ayrıca, başka bir çalışmada ise kızak üretiminde kullanılan demir parçacıkları ile güçlendirilmiş saf bir Al matrisinin bir kompoziti incelenmiştir. [31].

4.4.2. Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler, kompozit malzemelerin performansını değerlendirmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, bi-metal kompozit sistemlerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla kararsız çelik Al-matris takviyeli kompozitler üzerinde yapılmıştır.

- **Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi:** Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, çekme testleri başta olmak üzere sertlik, eğilme, yorulma, geri tepme ve sertlik gibi testlerle belirlenir.
- **Takviye Malzemesi Seçimi:** Çalışmada, takviye malzemesi seçimi, elastikiyet farklılıkları ve paslanmaz çeliğin çelikten daha güçlü olması gibi faktörler dikkate alınarak yapılmıştır. Elastik liflerin dış yüklerin büyük bir kısmını taşıdığı göz önüne alındığında, takviye malzemesinin seçimi, kompozitin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.[34,35].
- **Üretilen Kompozitlerin Özellikleri:** Çalışma kapsamında, maksimum elemental hacim içeriği %20 olan çeşitli kompozitler üretilmiştir. Bu kompozitlerin TM (Toz Metalürjisi) yöntemi ile üretildiği belirtilmiştir. Bu kompozitlerin, saf Al alaşımından daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapıdaki lif sayısının artmasıyla çekme dayanımının arttığı görülmüştür.
- **TM Yöntemi ve Maliyetler:** TM yöntemi, kompozitlerin üretiminde etkili bir yöntem olarak görülmektedir, ancak malzeme ve ekipmanın ilk maliyeti yüksektir. Ayrıca, tozlar baskı işlemi sırasında birbirine paralel akamadığından dolayı parçaların geometrisinde sınırlamalar olabilir.
- **Intermetalik Fazın Oluşumu:** Çalışmada, arayüzde kimyasal reaksiyon olmadığı için intermetalik fazın oluşumunun kesintiye uğradığı belirtilmiştir. Bu durum, kompozitin plastisitesini artırdığına ve çekme dayanımını yükselttiğine işaret etmektedir.
- **Çekme Mukavemeti ve Plastik Deformasyon:** Araştırma, çekme mukavemetinin arttığını, rijitlik ve çekme dayanımının arttığını göstermektedir. Ayrıca, paslanmaz çeliğin tavlanmasıyla, çekme mukavemetinde yüksek bir artış elde edildiği belirtilmiştir. Bi-metal

kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi açısından önemli bulgular, metal bağlantı parçalarının plastisitesinin arttığını ve mekanik dayanımının arttığını göstermesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu açıklamalar, bi-metal kompozitlerin üretiminde ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan farklı yöntemleri ve takviye malzemelerini ele almaktadır.

- **Bimetalik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi:** Birçok bimetalik kompozit, arayüzde faz oluşumu gerektirmez ve sürtünme kaynağı yöntemi gibi avantajlı üretim yöntemlerini kullanır. Bu şekilde üretilen kompozitler matrisin mukavemetini artırmak için T1 parçacıklarını takviye elemanları olarak kullanabilir.

Bunun ötesinde, $TiAl_3$ fazının yüksek erime noktası, bu parçacıkların yüksek sıcaklıkta kararlılığını sürdürdüğünü doğrular. [32].

4.4.3. Aşınma Özellikleri

Aşınma özellikleri malzemelerin sürtünme ve yüzey teması sonucu kaybettiği malzeme miktarını ifade eder. Bu fenomen, giyme ve aşındırma olarak iki ana kategoriye ayrılır

- **Yapışma (Adhesif) Aşınma:** İki yüzey arasında temasın sonucu olarak meydana gelir. Bu tür aşınma, temas yüzeylerindeki yüksek gerilmelerin lokal plastik deformasyona yol açtığı bir süreçtir. Yüzeyler arasındaki bu yapışkan bağ, sürekli kayma hareketi ile zayıf dayanımlı malzemenin akma dayanımına ulaşana kadar devam eder. Bu tür aşınmada, sürtünme yüzeyi arttıkça yerel temas stresleri azalır
- **Aşındırıcı Aşınma:** Sert parçacıkların kayan yüzeyler arasında bulunduğu durumlarda meydana gelir. Malzemenin kaybı, parçacıkların bağıl sertliğine ve sürtünme yüzeyine bağlıdır. Ayrıca, çevresel faktörler de malzeme kaybını etkileyebilir. Bu tür aşınma sırasında yüzey pürüzlülüğü aşınır ve temas yüzeyleri birbirine yapışır. Bu, yerel temas streslerini azaltan artan temas alanına neden olur.

Aşındırıcı aşınma sürecinde, oksitlenmiş parçacıklar yüzeyden uzaklaştırılır ve temiz bir yüzeyin oksitlenmesi gereklidir. Bu süreç, matristen gelen sert takviye fazının aşınma direncini artırabileceği uygun koşullarda gerçekleşir. Ancak, bazı durumlarda, örneğin seramik parçacıklar matristen ayrılırsa, takviye fazı, kompozitin aşınma direncini azaltarak malzeme kaybına neden olabilir

Bir başka önemli nokta kompozitlerin kırılma tokluğu değerlerinin parçacık boyutu veya parçacık boyutu ile azalabileceğidir. Bu, kırılma tokluğunun azalması, parçacık aşınma sürecine girerek malzeme hasarını artırabilir. Bu nedenle kompozitlerin sertliğini korumak ve aşınma direncini artırmak, kompozit malzeme tasarımında önemli bir öncelik olmalıdır

Aşınma sürecindeki aşınma kalıntılarının rolü oldukça önemlidir ve aşınma mekanizmasını etkileyen bir dizi faktörü içerir. Aşınma kalıntılarının rolüne dayalı olarak aşınmayı etkileyen faktörler şunlar olabilir

- **Matrisin Yapısı (Sünek veya Kırılgan):** Matrisin yapısı, kompozitin aşınma davranışını etkiler. Sünek matrisli kompozitler, kırılgan matrisli olanlara göre genellikle daha iyi bir aşınma direncine sahiptir. Sünek matrisler, aşınma sırasında daha fazla deformasyona izin verir ve bu nedenle aşınma kalıntılarının oluşumunu kolaylaştırabilir.
- **Pekiştirme Fazının Hacmi:** Takviye fazının hacmi kompozitin aşınma direncini etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek hacimli takviye fazları, aşınma direncini artırabilir, çünkü daha fazla takviye malzemesi aşınma kalıntılarını oluşturabilir ve aşınma mekanizmasını etkileyebilir.
- **Üçüncü Beden (Aşındırıcı Parçacıklar):** Aşındırıcı malzemenin yüzey özellikleri, aşınma direncini etkiler. Sert ve keskin aşındırıcı parçacıklar, yüzeyleri daha etkili bir şekilde aşındırabilir ve aşınma kalıntılarının oluşumunu teşvik edebilir. [34].
- **Aşındırıcı Malzemenin Yüzey Özellikleri:** Aşındırıcı malzemenin yüzey özellikleri, kompozitin aşınma direncini etkiler. Özellikle aşındırıcı malzemenin sertliği, kompozitin aşınma direncini belirleyen önemli bir faktördür. [36].

- **Test Parametreleri:** Aşınma testi sırasında kullanılan parametreler aşınma mekanizmasını etkileyebilir. Test hızı, uygulanan yük, kayma mesafesi, ortam sıcaklığı ve bağıl nem gibi faktörler, aşınma davranışını değiştirebilir.
- **Takviye Tipi, Boyutu ve Dağılımı:** Takviye malzemesinin tipi (parçacıklar, lifler veya bıyıklar), boyutu ve matris içindeki dağılımı, kompozitin aşınma davranışını etkileyen kritik faktörlerdir. Takviye malzemesi homojen bir şekilde dağıtıldığında ve uygun boyutlara sahipse, aşınma direnci artabilir.
- **Hacim Miktarı:** Hacim miktarı, takviye malzemesinin kompozit içinde ne kadar bulunduğunu ifade eder. Daha yüksek hacimli takviye fazları, aşınma direncini artırabilir çünkü daha fazla takviye malzemesi aşınma sürecine katkıda bulunabilir.

Sonuç olarak kompozit malzemenin aşınma direnci, bir dizi kompleks faktörden etkilenir ve bu faktörlerin bir araya gelmesi, malzemenin aşınma davranışını belirler. Bu faktörlerin iyi anlaşılması, daha dayanıklı kompozit malzemelerin tasarımında önemlidir. [37].

BÖLÜM 5

KOROZYON

Korozyon metallerin alaşımların veya diğer malzemelerin çevresel etkilerle nasıl etkilendiğini ve bozulduğunu anlamak için geniş bir araştırma alanıdır. Bu süreç kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonların metallerin yüzeyinde gerçekleştiği bir olaydır. Oksijen nem tuzlar ve diğer kimyasal maddeler gibi faktörler, bu reaksiyonları tetikleyebilir ve hızlandırabilir. Korozyon, endüstriyel tesislerden inşaat sektörüne otomotiv endüstrisinden denizcilikteki gemilere kadar birçok uygulamada ciddi sorunlara yol açabilir. [38].

Korozyon davranışını incelemek malzemelerin dayanıklılığını artırmak ve maliyetleri azaltmak için hayati öneme sahiptir. Araştırmacılar bu süreci laboratuvar deneyleri ve saha çalışmaları yoluyla incelerler. Laboratuvar testleri, belirli malzemelerin korozyon hızını ve dayanıklılığını belirlemeye yardımcı olurken saha çalışmaları gerçek dünya koşullarında nasıl davrandığını anlamak için gereklidir. Korozyon kontrolü için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler kaplamalar pas önleyici boyalar katodik koruma sistemleri ve uygun malzeme seçimi gibi çeşitli yöntemleri içerir. Endüstriye ve uygulamaya özgü olarak bu yöntemler uyarlanır ve korozyonun etkilerini en aza indirir.

Sonuç olarak, korozyon davranışının araştırılması, malzeme mühendislerinin ve bilim insanlarının önemli bir sorumluluğudur. Bu çalışmalar, dayanıklı malzemelerin tasarlanması, yapıların güvenliği ve çevresel etkilerin kontrol edilmesine katkı sağlar. Korozyon birçok sektörde karşılaşılan bir sorun olduğu için, bu alandaki araştırmaların devam etmesi gerekmektedir. [39,40,41].

Korozyon, gerçekten önemli bir araştırma alanıdır ve birçok endüstriyel uygulamada ciddi sorunlara yol açabilen bir fenomendir. Korozyonla mücadeledeki ilerlemeler

malzemelerin dayanıklılığını artırmada ve yapısal bütünlüğün korunmasında büyük öneme sahiptir. İşte korozyon araştırmalarının ve kontrol stratejilerinin önemli yönleri. [42].

- **Malzeme Seçimi:** Korozyon direnci, başlangıçta malzeme seçimi ile başlar. Farklı endüstrilerde kullanılan malzemelerin korozyon direnci farklıdır. Örneğin, denizcilik sektöründe kullanılan malzemelerin tuzlu suya dayanıklı olması gerekebilir.
- **Kaplama ve Boyalar:** Korozyonu önlemek veya yavaşlatmak için kaplamalar ve pas önleyici boyalar kullanılır. Bu kaplamalar, metal yüzeyin doğrudan çevresel etkilerle temasını engelleyerek korozyonu azaltır.
- **Katodik Koruma:** Bu yöntem, bir metalin korozyonunu başka bir metal veya malzeme ile koruma altına alarak gerçekleşir. Bu yöntem, borular, gemiler ve diğer yapıların korozyonunu kontrol etmek için yaygın olarak kullanılır.
- **Düzenli Bakım:** Korozyon kontrolünde düzenli bakım çok önemlidir. Malzemelerin düzenli olarak kontrol edilmesi, korozyonun erken aşamalarda tespit edilmesine ve tedavi edilmesine yardımcı olur.
- **Laboratuvar Deneyleri:** Korozyon hızını ve dayanıklılığını belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılır. Bu deneyler yeni kaplama malzemelerinin veya korozyon kontrol stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılır.
- **Farklı Çevresel Koşulların İncelenmesi:** Farklı endüstrilerde, farklı çevresel koşullar altında korozyon farklı şekillerde meydana gelebilir. Araştırmalar bu farklı koşullar altında nasıl başa çıkılacağını anlamak için önemlidir.
- **Çevresel Etkilerin İzlenmesi:** İklim değişikliği gibi faktörler, korozyonun hızını etkileyebilir. Bu nedenle çevresel değişikliklerin izlenmesi ve bunların malzemeler üzerindeki etkilerinin araştırılması önemlidir.

Korozyonun önlenmesi veya kontrol edilmesi mühendislik ve malzeme bilimi alanlarında sürekli olarak çalışmaları gerektiren bir konudur. Bu çalışmalar, yapıların güvenliğini sağlamak, Maliyetleri düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmek, önemli bir stratejik hedef taşır. [43,44].

5.1. KOROZYONUN ÖZELLİKLERİ

Korozyon metallerin ve alaşımların çevresiyle etkileşimine bağlı olarak ortaya çıkan malzeme kaybını ifade eden genel bir terimdir. Korozyon kimyasal, biyokimyasal ve elektrokimyasal etkileşimlerin bir sonucu olarak meydana gelir. Korozyona yol açabilen aşındırıcı ortamlar arasında nem, oksijen, inorganik ve organik asitler klorürler yüksek basınç ve sıcaklık örnek verilebilir. Korozyon sırasında metaller, termodinamik olarak kararlı bileşikler olan oksitler, hidroksitler, tuzlar veya karbonatlara dönüşürler. Ayrıca, cevherden metal geri kazanımı sırasında kullanılan enerji, korozyon reaksiyonları sırasında geri kazanılır. Korozyon, koşullara bağlı olarak malzeme yüzeyinin tamamını (genel korozyon) veya belirli bir bölgeyi (yerel korozyon) etkileyebilir. Yerel korozyon, metal taneciklere nüfuz ederek yarık oluşumuna, oyuklaşmaya veya transgranüler korozyona kadar ilerleyebilir. Özellikle alüminyum matrisli kompozitlerde, pasif film nedeniyle lokalize bozunma, birikintiler ve korozyon için açık bir tehdittir. Takviye malzemelerinin eklenmesi bu pasif filmin süreksizliklerini artırarak korozyonun başlayacağı ve ilerleyeceği bölgenin boyutunu büyütebilir. Geleneksel alüminyum matrisli kompozitlerin korozyon direnci genellikle takviyesiz matris alaşımından daha düşük olmuştur. Çelik takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin korozyon özelliklerini araştırırken, belirlediğimiz baskın korozyon mekanizmasının galvanik korozyon olduğunu fark ettik. Çelikten oluşan takviye, alüminyum matris üzerinde galvanik etkiler yaratmaktadır. Liflerin eklenmesinin korozyon akım yoğunluğunu yani korozyon direncini arttırdığını bulmuşlardır. Üretilen kompozitlerde [45]. Çelik-Al arayüzünde $FeAl_3$ intermetalik faz oluşmuştur. Faz oluşumu nedeniyle çelik ve Al yerine $FeAl_3$ ve Al arasında galvanik bir hücre oluştu ve bu da korozyon hızının artmasına neden oldu. Çalışmada korozyon akım yoğunluğunun artması; Bunun nedeni, klorür ortamında $FeAl_3$ ve Fe_2Al_5 fazının çökmesinin Al matrisinin çökmesine yol açacak oksijen indirgeme bölgeleri olarak hareket etmesidir. Aynı çalışmada, korozyon davranışının fabrikasyon kompozitler üzerindeki etkisini araştırmak için Cu ve Ni kaplamalar kullanılmıştır. Cu kaplama kompozitin özelliklerini kötüleştirirken Ni kaplama, korozyon direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Ni-kaplı kompozitte, kaplama ile Al matrisi arasına bir galvanik hücre yerleştirilir ve arayüzde oluşan $FeAl_3$ fazı, matristen kaplamaya olan akım akışını sınırlama görevi

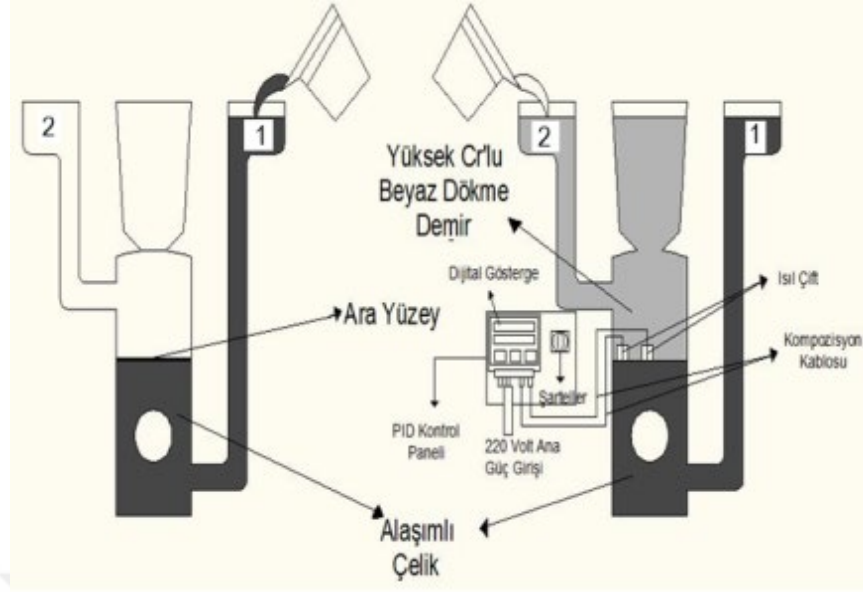
görür. Böylece korozyon akım yoğunluğu değerlerinde önemli bir azalma gözlemlenir. [46]. Cu ise Al matrisi içinde çözünerek bir Al-Cu intermetalik oluşturmuş ve çelik lif ile Al-Cu arasında bulunan galvanik hücrenin potansiyel farkının artması nedeniyle akım yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. artırmak ve azaltmak [47]. Kompozitin korozyon direnci başka bir çalışmada Ti ve AZ80 (Mg-Al) alaşımı birleştirilmiş ve ara yüzey faz oluşumunun çiftin galvanik korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Arayüzde $TiAl_3$ ve Al difüzyon katmanları oluşur Ti (-1,63 V) ve Mg (-2,35 V) arasındaki standart elektrot potansiyel farkı azaltılarak, galvanik korozyonun başlaması geciktirildi. Oluşan ara yüzey tabakaları Ti ve Mg arasında lokal galvanik hücrelerin oluşumunu engeller ve daldırma testleri sonucunda reaksiyon tabakasının yokluğunda ortaya çıkan $Mg(OH)_2$ faz yapısı oluşmaz. Bimetalik kompozitlerin korozyon davranışı ile ilgili olarak mevcut literatür bilgi vermek için yetersiz olsa da Verilen örneklerden de görülebileceği gibi, bimetalik kompozitlerde oluşan arayüzey fazları kurulan galvanik hücrenin tipine bağlı olarak korozyon direnci üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkiye sahip olabilir. [48, 49].

BOLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEYE NUMUNESİ HAZIRLAMA VE DÖKÜM İŞLEMİ

Bu çalışmada, bi-metal malzeme üretimi için kırıcı çekiç modeli ahşap malzemeden hazırlanmış, Şekil 6.1’de görüldüğü gibi alphaset reçineli kalıplama sisteminde kalıplanmıştır. Ergitme işlemleri 2 adet indüksiyon ocağında şarjlar hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Şekil 6.1’de verildiği gibi 1 nolu indüksiyon ocağından 1580-1600°C’de düşük alaşımlı sıvı çelik malzeme alınmış, 1nolu yolluktan dökülmüş ve ara yüzey sıcaklığı termokupl kullanılarak belirlenmiş, istenilen en uygun sıcaklığına ulaşıldığında ise 2 nolu indüksiyon ocağından 1370-1380°C’de yüksek alaşımlı beyaz dökme demir malzeme alınarak; Şekil 6.1’de görülen 2 numaralı yolluktan döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. İki aşamalı/kademeli döküm işlemi sırasında ara yüzeyde farklı flakslar kullanılmıştır. Ancak, bu çalışmanın döküm işlerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen firmanın ticari sırrını vermemek adına kullanılan flaksların isimleri gizli tutulmuştur. Çalışma için üretilen numunenin farklı bölgelerinden spektral analizleri alınmış ve Tablo 6.1’de verilmiştir. Üretilen bi-metal çekiçlere endüstriyel şartlarda ısıtma işlemi uygulanmış, daha sonra ise laboratuvar şartlarında çeşitli deneylerin yapılabilmesi için kırıcı çekiç parçalarından numuneler su jeti ile kesilerek hazırlanmıştır. Üretilen bi-metal çekiçler 1000oC 2 saat bekletme ve ardından havada soğutmayı takiben 3 saat 450°C’e çıkıp bu sıcaklıkta 4 saat gerilim giderme ısıtma işleminden sonra ise daha sonra hava soğumaya bırakılarak işlem tamamlanmıştır. Spektral analiz almak için kullanılan kırıcı çekiçten kesilmiş bi-metal malzemenin resmi Şekil 6.2 (a) ve Şekil 6.2 (b)’de verilmiştir. Şekil 6.2. ‘de verilen yüksek kromlu beyaz dökme demir, düşük alaşımlı çelik ve ara bölgenin spektral analizleri Tablo 6.1’de verilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri Rockwell C ile en az 15 farklı sertlik ölçümünün ortalamaları sonuç olarak değerlendirmeye alınmıştır [50]

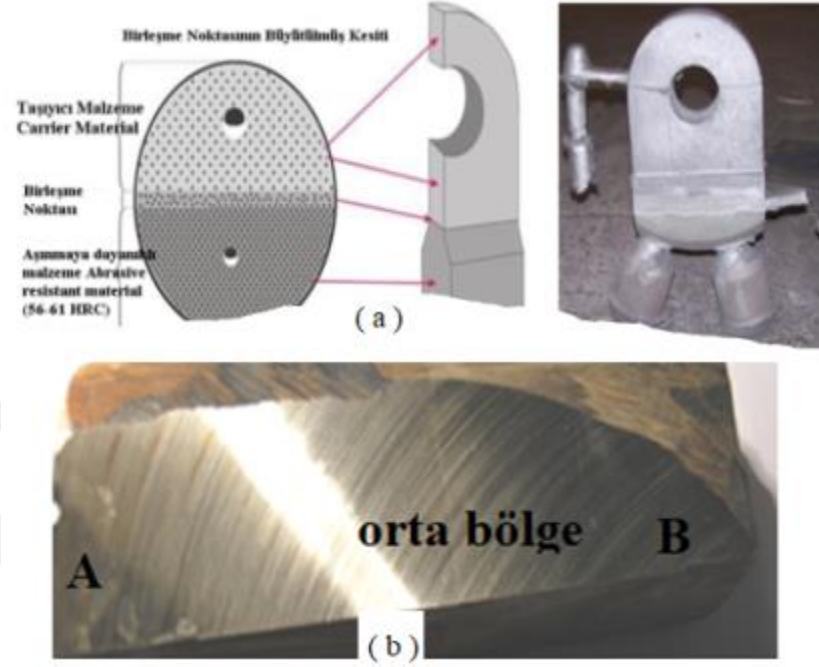


Şekil 6.1. Bi-metal üretim prosesinin şematik gösterimi

Şekil 6.1'de özellikle kırıcı çekiç üretimi için optimum bir döküm tasarımı şematik olarak gösterilmiştir. Çekicinin üst kısmında yüksek tokluk gereksinimi, alt kısmında ise sürekli aşınma ile karşılaşacak sert ve aşınma direnci yüksek malzeme kullanımı gerekmektedir. Tasarlanan kalıp deneysel numunelerin yanı sıra endüstriyel düzeyde bi-metal kırıcı çekiç malzemesi üretimine olanak tanımaktadır. Bi-metal üretim sürecinde, Şekil 6.1'de gösterilen kalıp tasarımı iki farklı alaşımların bir araya getirilerek tek bir kalıpta dökülüp bi-metal elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemle birçok farklı malzeme çifti kullanılarak bi-metal döküm parçalar ticari olarak üretilebilir. Genellikle aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılarak üretilen Bi-metal döküm parçalar yaygındır. Beyaz Dökme Demir (BDD) ve düşük alaşımlı çelikler bu tür dökümler için yaygın olarak tercih edilen malzemeler arasındadır. Yapılan araştırmalara [1,50] göre, bi-metal döküm parçaların kullanım ömrü geleneksel yüksek Mn'lı çeliklere kıyasla daha uzun olabilmektedir. Örneğin; BDD yüzeyli ve düşük karbonlu altlıklı bi-metal kullanıldığında kömür kırıcı olarak 5 kat daha fazla servis ömrü sağlayabilmektedir.

Bi-metal malzemenin spektral analiz A ve B bölgelerinin incelenmesi şeklinde yapılmıştır. Karbonsuz faz (A bölgesi), karbon oranı % 2.967 olarak belirlenmiştir. Genellikle karbonsuzluğun avantajları, mekanik dayanıklılık ve korozyon direncinde artış gibi özellikleri içerir. Düşük karbonlu faz (B Bölgesi) karbon oranı bu bölgede %0.198'dir. Bu düşük karbon içeriği, malzemenin belirli uygulamalarda daha iyi

işlev görmesini sağlar. Düşük karbon içeriği genellikle dökme işlemlerde işlenebilirliği artırabilir.



Şekil 6.2. Dökümü yapılmış bi-metal malzeme (a)Bi-metal çekiçin şematik gösterimi ve dökülmüş hali (b) Spektral analiz alınan bi-metal malzeme bölge görüntüsü

Tablo 6.1. Bi-metal malzemenin kimyasal bileşimi, % ağırlık

A	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W
bölgesi	2,967	0,723	0,790	0,014	0,028	0,0048	20,83	0,163	1,118	0,112	0,052	<0,01
B	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W
bölgesi	0,198	0,778	0,440	0,020	0,020	0,0037	1,980	0,074	0,288	0,171	0,006	0,026
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W
	1.	2,400	0,763	0,729	0,019	0,025	0,0041	16,59	0,152	1,030	0,119	<0,01
Orta	2.	2,684	0,711	0,735	0,017	0,028	0,0043	18,25	0,147	1,034	0,122	<0,01
bölge	3.	2,574	0,726	0,727	0,020	0,028	0,0040	17,25	0,151	1,088	0,119	<0,01
	4.	2,804	0,702	0,745	0,018	0,031	0,0045	19,12	0,149	1,138	0,114	<0,01

Orta bölge (bi-metal ara yüzey/bölge) numuneler 1-4 arasında değişen karbon, silisyum, mangan, fosfor, sülfür, magnezyum, krom, nikel, molibden, bakır, vanadyum ve tungsten içerir. Bu bölgelerdeki değişkenlik malzemenin farklı özelliklere sahip olabileceğini gösterir. Numuneler arasındaki küçük farklılıklar malzemenin spesifik uygulamalara uyum sağlamak üzere ayarlanabileceğini göstermektedir.

6.2. NUMUNE HAZIRLANMASI

Çalışma sırasında numuneler kesme sırasında yapısal değişim olmaması ve kesmenin zor olması gibi nedenlerle Şekil 6.3’de gösterilen su jeti ile kesilerek hazırlanmıştır. Bu makineler sert ve dayanıklı malzemeleri hassas bir şekilde kesme yeteneği ile tanınırlar. Şekil 6.4’de görüldüğü gibi su jeti ile bi-metal parçaları kolayca ve hassas bir şekilde kesme yapılmıştır. Mikro yapı, sertlik, aşınma ve korozyon ölçümleri için hazırlanan numuneler Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Su jeti makinesi ile kesim işleminin yapılışı



Şekil 6.4. Numunelerin kesim öncesi ve sonrası numune hazırlanması görüntüleri



Şekil 6.5. Su jeti ile kesilmiş bi-metal numuneler

6.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Üretilen numuneler, metalografik inceleme için (mikro yapı analizleri mikroskop SEM, XRD analizleri ve aşınma testleri) 10×20×5 mm boyutlarında dikdörtgen kesite dönüştürülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde Şekil 6.6’da verilen Carl Zeiss marka optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için numuneler bakalite gömülmüş, ardından sırasıyla, yüzeyleri 180-1200 grid aralığındaki SiC zımpara ile zımparalanmış ve 1 µm gümüş pasta ile parlatılmıştır.



Şekil 6.6. Kullanılan optik mikroskopun görüntüsü

Parlatılmış yüzeyler, mikro yapıları ortaya çıkarmak amacıyla $\text{HNO}_3/\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O} = 1:2:17$ oranlarından oluşan asidik karışım ile elektrolit dağlama ayracı olarak kullanılarak dağlanmıştır. Numunelerin hazırlık aşamasında, numune yatağına uygun bir şekilde kesilmiş ve yüzeyleri 60 - 1200 mesh aralığında SiC zımparayla zımparalanarak saf su ve alkol ile temizlenmiştir. Daha sonra kimyasal çözeltide (klorik asit HClO_4 % 10 ve ETANOL $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ %90) 12 saniye

süreyle dağlanmıştır. Üretimi tamamlanan her bir ürünün metalografik incelemeler için yüzey temizliği ve dağlama işlemi gerçekleştirilip döküm sonrası homojenleştirme sonrası mikroyapısı optik mikroskop ile incelenmiştir. Numunelerin yüzey temizliği sırasıyla 400, 600, 800 ve 1200 grit'e kadar SiC kağıdı ile zımparalama ve 1µm alümina pasta kullanılarak polisaj keesinde parlatma işlemi uygulanmıştır. Farklı asit (6 gr pikrik asit, 5 ml asetik asit, 10 ml saf su ve 100 ml etil alkol) kombinasyonlarıyla hazırlanmış dağlayıcı solüsyona daldırılıp optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Bunun yanısıra detaylandırılmış mikroyapı incelemeleri için ise SEM analizleri yapılmıştır. Ayrıca faz analizi için XRD analizleri de yapılmıştır. XRD ve SEM analizleri Karabük Üniversitesi Demir-elik Enstitüsü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bi-metal numunelerin yüzeyleri yüksek alaşımlı BDD, arayüzey geçiş bölgesi ve düşük alaşımlı elik bölgesi aşağıda sırasıyla görüleceği üzere farklı dağlayıcılarla dağlanarak mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Beyaz dökme demir tarafı: 5ml nitrik asit ve 45ml etil alkol içeren özel bir çözelti ile elik tarafı: ise 5ml nitrik asit ve 45ml metanol içeren başka bir çözelti ile dağlandı. Bu işlem, numunelerin yüzey yapısında meydana gelen değişiklikleri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Farklı asit kombinasyonları ile hazırlanan dağlayıcı solüsyona daldırıldıktan sonra optik mikroskop altında incelenmiştir. Her iki tarafın yüzey morfolojisi ve olası korozyon izleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu alışma kapsamında, mikroyapıların detaylı bir şekilde incelenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, numunelerin yüzey morfolojisi mikro çatlaklar ve yapısal özellikleri hakkında daha derinlemesine bilgi sağlamayı hedeflemektedir.

Numunelerin kristal yapısını ve olası faz değişimlerini belirlemek üzere X-ışını kırınımı (XRD) testleri planlanmıştır. Bu analiz numunelerin kimyasal bileşimindeki değişiklikleri ortaya çıkarmaya yardımcı olacak ve malzemenin içsel yapısal özelliklerini netleştirecektir. Bu aşamada numunelerin mekanik özellikleri için basma testi, kimyasal bileşim analizi için XRF (X-ışını floresans) testi ve diğer analizler için

uygun olan Karabük Üniversitesi Demir-Çelik Enstitüsü Laboratuvarlarından faydalanılmıştır. Bu laboratuvar olanakları çalışmanın daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde etmesine olanak tanımıştır.

6.4. SERTLİK

Numunelerin sertlik dağılımları makrosertlik cihazı kullanılarak incelenmiştir. Sertlik testi ölçüm işlemleri numune yüzeyinde belirli mesafelerde Rocwell C türünden en az 5 defa tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mikroyapıların detaylı bir değerlendirmesi için SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı kullanılarak numuneler üzerinde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 5 farklı bölgede yani BDD, ara geçiş bölgesi bi-metal ve çelik bölgelerinde olmak üzere toplamda beş ayrı ölçüm noktasında 0,5 kg yük altında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler numunelerin farklı bölgelerindeki sertliğindeki değişimi belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiş ve her bir ölçüm noktasında elde edilen değerlerin ortalaması alınarak genel bir sertlik profili oluşturulmuştur.

6.5. AŞINMA TESTİ

Aşınma testleri; Şekil 6.7'de gösterilen ileri-geri aşınma test cihazında sabit yük altında, sabit hızda ve sabit mesafede ölçülmüştür. Aşınma testi öncesi cihazdaki numune yatağına uygun şekilde kesilen numunelerin yüzeyleri 1200 numaralık zımparaya kadar zımparalanarak alkol ile temizlenmiştir. Aşınma testleri; 10, 20 ve 40N yük altında, 0,1 m/s kayma hızında ve toplamda 600 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir (her 200 m'de bir ağırlık kaybı ölçülmüştür). Aşınma sırasında sürtünme kuvveti, tribometre koluna bağlı olan yük hücresi ile ölçülüp anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir. [51]. Batıcı uç malzemesi olarak 6 mm çapında Al₂O₃ seramik ve AISI 52100 kalite çelik bilye kullanılmıştır. Numune ağırlıkları PRECISE XB 220A markalı hassas terazi de tartılmıştır (Şekil 6.8)



Şekil 6.7. İleri-geri aşınma test cihazının şematik gösterimi

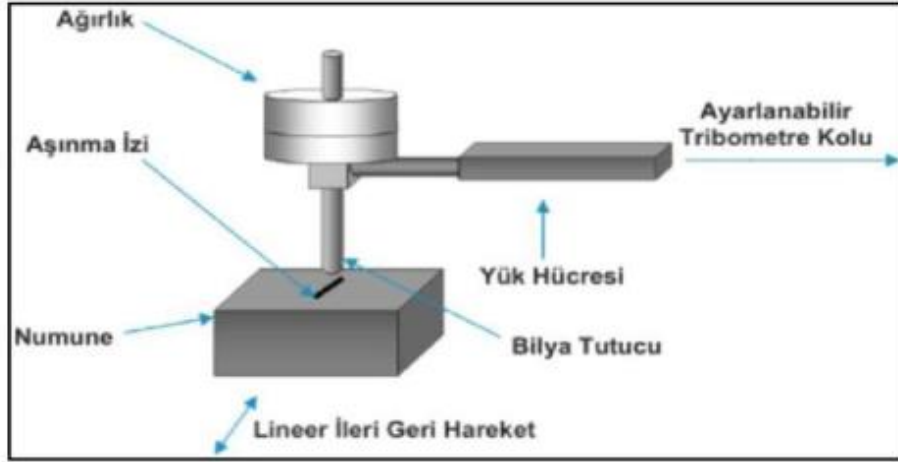


Şekil 6.8. Deneylerde kullanılan PRECISE XB 220A markalı hassas terazi.

Aşınan yüzeyler SEM ile detaylı olarak incelenip aşınma mekanizmaları belirlenmiştir. Her bir numuneden 3 adet aşınma testi yapılmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınmıştır.

6.6. SÜRTÜNME KATSAYISI TESTİ

Sürtünme katsayısı ölçümleri Şekil 6.7 UTS Tribometer T10 Test Cihazı ve Şekil 6.9'da şematik olarak gösterilen biçimde yapılmıştır. Bu çok yönlü cihaz, pin on disk tipi sürtünme katsayısı test cihazı olarak tasarlanmış olup her tür yükte çalışma kapasitesine sahiptir. Farklı devirlerde ve değişen kayma hızlarında çalışabilme özelliğini barındırmaktadır. Bu çalışma; bi-metal, beyaz dökme demir ve çelik alaşımlarının sürtünme katsayısı davranışını 10, 20 ve 40N yükleri altında, 0,1 m/s sabit kayma hızında incelerken, aynı zamanda malzemelerin sürtünme özelliklerini ayrıntılı bir şekilde değerlendirmeyi hedeflemiştir. Her belirli mesafede sürtünme kuvveti 45 dakika süresi boyunca anlık olarak ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Ayrıca sürtünmede hata oluşmaması ve yolu değiştirmemek adına cihazın stabil hale getirilmesine ve işlem bitene kadar mümkün olduğunca yaklaşılmamasına özen gösterilmiştir. İlgili olarak her işlem sonrasında seramik ve çelik bilye değiştirilerek süreklilik ve tutarlılık sağlanmıştır. [52].

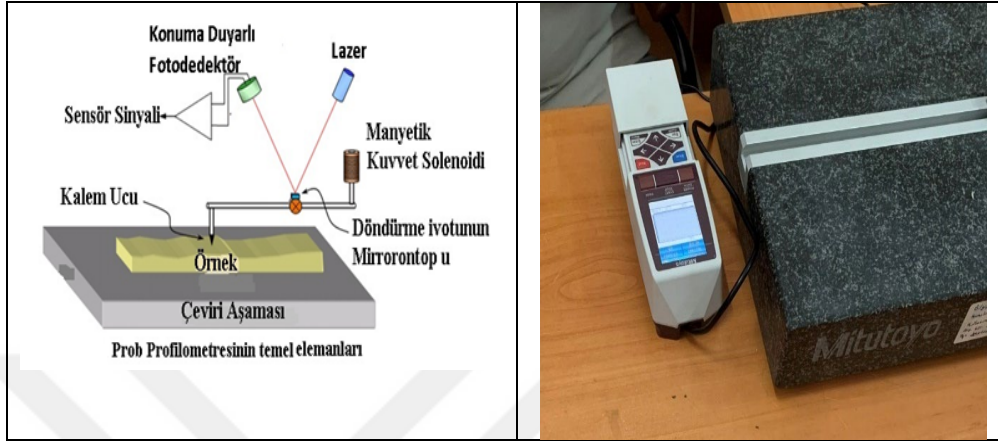


Şekil 6.9. İleri-geri aşınma test cihazının şematik gösterimi

6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan ve Şekil 6.10'de verilen Mitutoyo SJ201 marka profilemetre cihazında ölçülmüştür. Aşınmaya etkiyen parametrelerden olan yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6.10'de

cihazın doğru şekilde monte edildiğinden emin olmak için ilk adımı gerçekleştirdikten sonra, cihazın üzerinde bulunan güç düğmesini kullanarak cihaz açılmıştır.



Şekil 6.10. Mitutoyo SJ201 marka profilemetre cihazı.

Ölçüme başlamadan cihazın doğru ölçümler yapabilmesi için önce cihazın kalibre olup olmadığı kontrol edilmiş ve gerektiğinde kalibrasyon işlemi uygulanmıştır. Ardından, cihazın ekranında veya kontrol panelinde ölçüm parametrelerini belirleyerek, ölçülen yüzeyin özelliklerine bağlı olarak değişen bu parametreler ayarlanmıştır. Profil ölçümlerinin gerçekleştirileceği nokta belirlendikten sonra, cihazın sensörü bu noktaya yerleştirilir ve ölçümü yapılır. Cihaz, sensörünü yüzey üzerinde hassas bir şekilde hareket ettirerek profil ölçümleri gerçekleştirir. 52100 çelik ve Al₂O₃ seramik bilye ile aşındırılan bi-metal numunelerin ölçülen pürüzlük değerleri verilmiştir. Ve Aşınma yapılmamış bimetal numunenin pürüzlük değerleri ise Tablo 7.4'te verilmiştir.

6.8. KOROZYON TESTİ

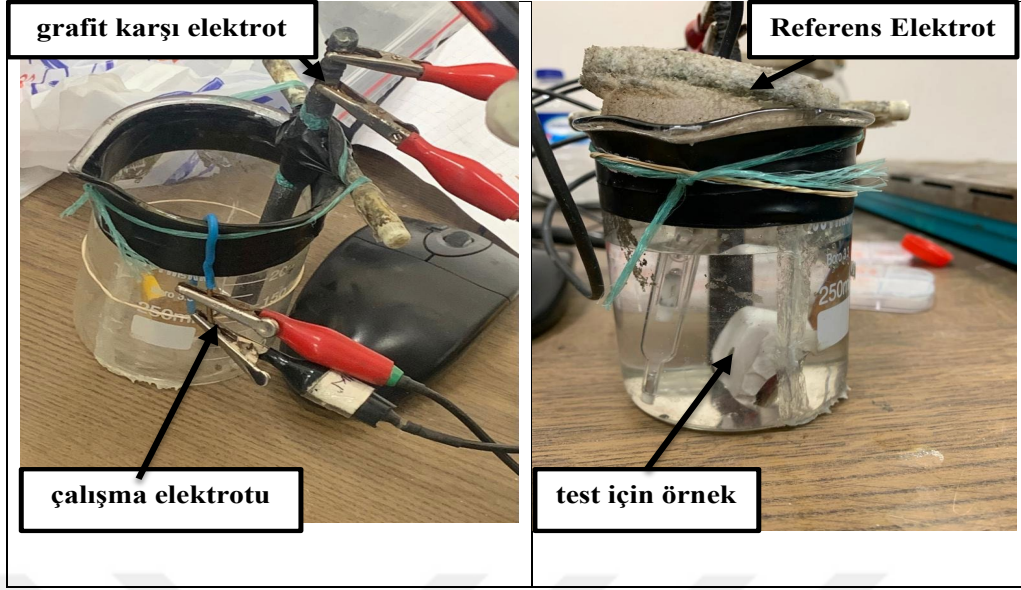
Numuneler başlangıçta 1200 mesh'e kadar SiC kâğıdı ile zımparalanarak temizlenmiştir. Numunelerin yüzeyleri zımparalandıktan ve temizlendikten sonra 0,25 cm²'lik bir alana sahip yuvarlak boşluklu güçlü yapışkanlı bir bant ile kapatılmış, ayrıca elektrik bağlantısı için bir elektrik teli yapıştırılmış ve özellikle epoksi birleşim yerlerinden kaynaklanabilecek korozyon etkilerinin önlenmesi

hedeflenmiştir (Şekil 6.11). Elektrokimyasal ölçümlerde; katot olarak çalışma parçası, anot olarak platin tel, referans elektrot olarak ise Ag/AgCl kullanılmıştır. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin yüzey alanı 0.25 cm² olarak belirlenip, aşındırıcı solüsyon olarak ise %3,5 NaCl çözeltisi ve %3,5 sülfürik asit çözeltisi kullanılmıştır (Şekil 6.12). Deneyler oda sıcaklığında, açık devre potansiyeli (ocp) 3600 saniye süresince ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Potansiyodinamik ölçümler 500s süreyle 0,1 mV/s potansiyel tarama hızında Ekor değerinin -250 mV altında ve üstünde olacak şekilde alınmıştır. Korozyon hızları Tafel yöntemi ve Gamry model PC4/300 mA potansiyostat /galvanostat ile elde edilen potansiyodinamik eğriler kullanılarak belirlenmiştir. Her numune için ölçümler iki kez tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınarak korozyon parametreleri çizelge ve grafikler ile gösterilmiştir. Elektrokimyasal empedans spektrometresi kullanılarak korozyon dirençleri incelenecek ve numunelerin yüzeyleri mekanik olarak temizlendikten sonra SEM görünüşleri ve EDS analizleri ile korozyon tipleri belirlenecektir.



Şekil 6.11. Korozyon test numuneleri

Numuneler birincisi çelik, ikincisi bi-metalik ve üçüncüsü beyaz dökme demir olacak biçimde üç parçaya ayrıldıktan sonra tamamı yapıştırıcı ile kaplanmış ve akımın çözeltiye ulaşması için her bir parçaya küçük dairesel deliklerle açılmıştır



Şekil 6.12. Statik korozyon deney hücresi ve potansiyodinamik test ekipmanı

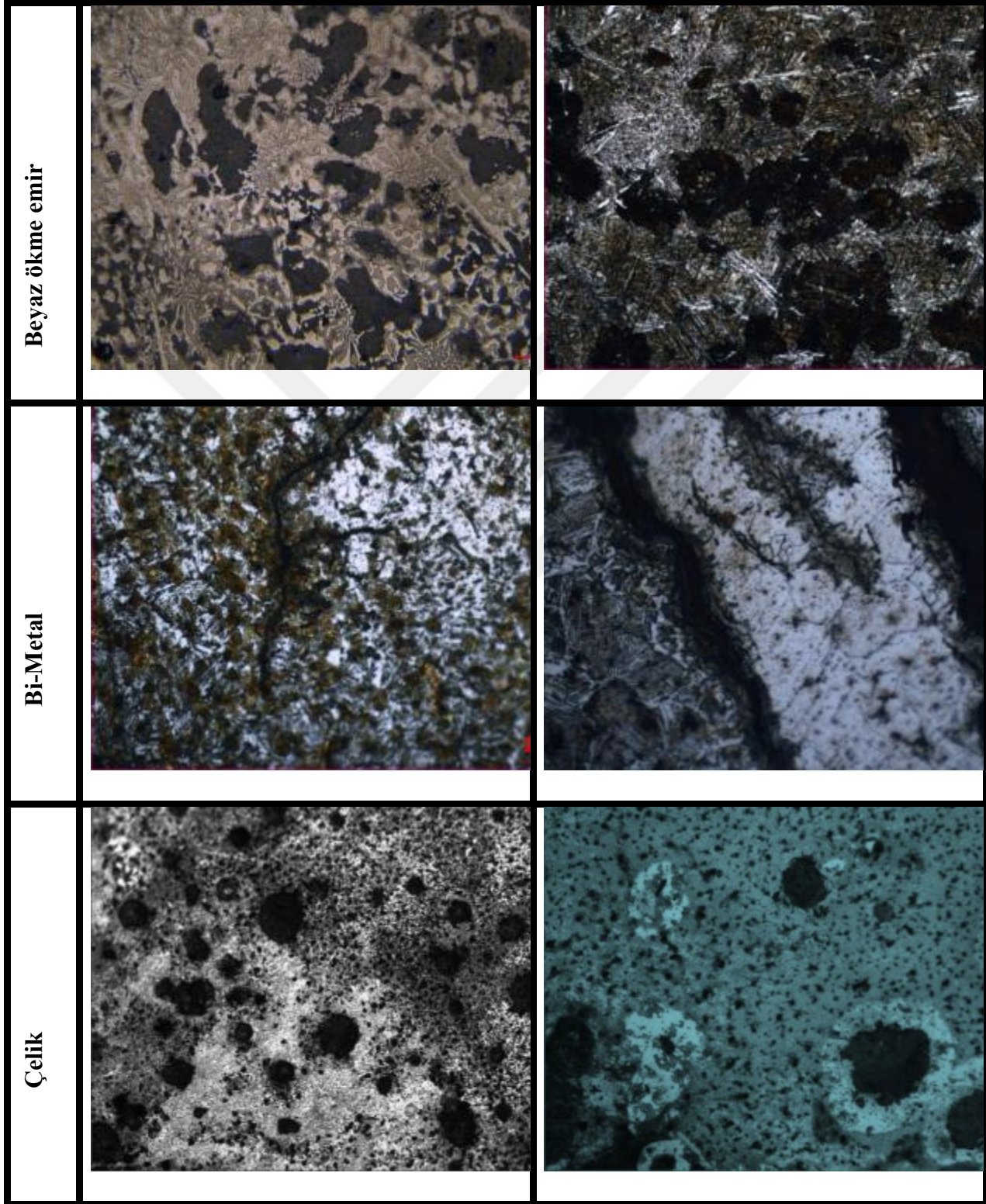
BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

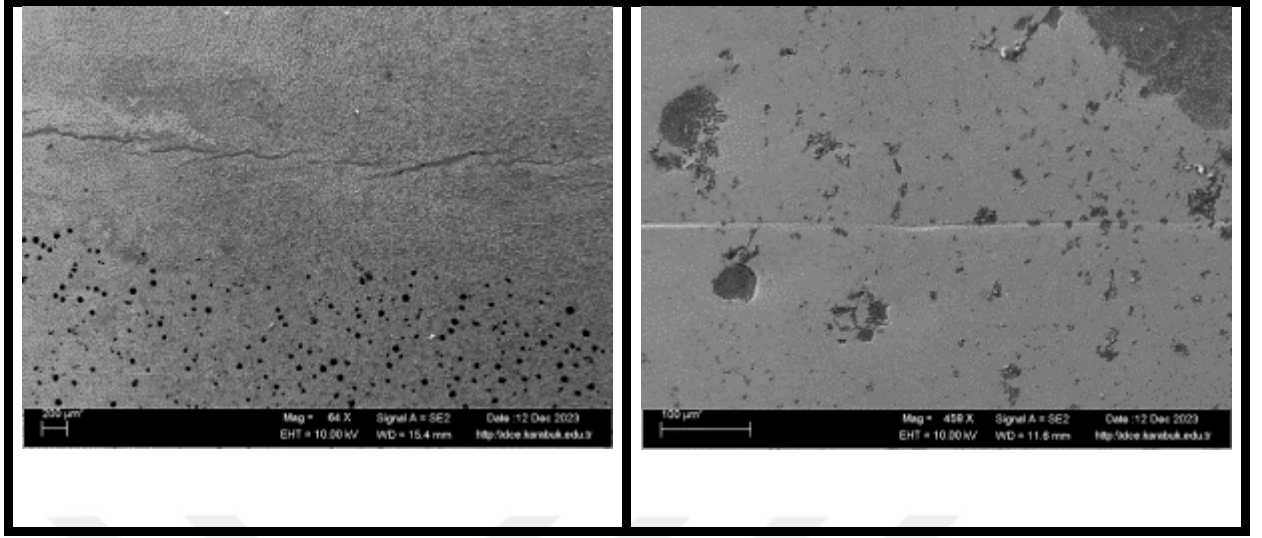
7.1. MİKRO YAPI

Bi-metal numunenin optik mikroskopla çekilen mikroyapıları Şekil 7.1’de ve SEM görüntüleri ise Şekil 7.2’de verilmiştir. Şekil 7.1 verilen numunenin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde; belirgin bir şekilde iri sementit tanelerinin mevcut olduğu ve bu sementit taneleri arasında krom karbürlerin bulunduğu görülmektedir. Bu mikroyapı numunenin içyapısının sementit taneleri ve krom karbürlerin bir arada bulunduğu bir düzene sahip olduğunu göstermektedir. Sementit genellikle çelikte bulunan bir fazdır ve karbon içerirken krom karbürler de genellikle yüksek krom içeren malzemelerde bulunur. Çekicinin orta ve diğer bölümünde yüksek tokluk gereksinimi nedeniyle tercih edilen malzeme düşük alaşımlı çeliktir. Düşük alaşımlı çelik mikro yapısı belirgin bir şekilde görülebilen ferrit ve perlitten oluşur. Bu mikro yapı, malzemenin dayanıklılığını ve tokluğunu optimize ederek çeşitli endüstriyel uygulamalarda güvenilir bir performans sunmaktadır. Şekil 7.3’te verilen XRD kırınım desen analiz grafiklerinden görüleceği gibi; yüksek kromlu BDD’de yoğun şekilde karbürler oluştuğu görülmekte, mikroyapıdaki karbürler de malzeme dokusuna homojen bir şekilde dağılmıştır. Bi-metal numunenin yüksek kromlu BDD’lerdeki krom karbürler, malzemenin aşınma direncini artırarak yüksek dayanıklılık sağlar. Bi-metal malzemenin/kompozit arayüzünün parlatılması için çekilen görüntüler, değişen büyütme oranlarına sahiptir. Yüksek kromlu BDD’in mikro yapısı incelendiğinde yapıda yoğun karbür oluşumu gözlemlenmiştir [53]. Krom karbür ağı östenitik bir matris yoluyla çözülmüştür. Optik mikroyapı fotoğrafında çelik bölgesinde belirgin tane sınırları ve homojen bir mikro yapı gözlemlenmektedir. Tane sınırları çelik numunesinin içyapısındaki kristallerin sınırlarını belirlerken homojen mikro yapı bu kristallerin düzenli bir şekilde dağıldığını ve birbirine benzer özelliklere sahip olduğunu gösterir. Çelik bölgesi

ayrıca, ferrit ve pearlit fazları açıkça ayırt edilebilmektedir. Ferrit metalin yumuşak ve sünektir, pearlit (ferrit + sementit) ise dayanıklı ve sert bir yapıya sahiptir



Şekil 7.1. Bi-metal malzemedeki çelik, BDD ve kompozit kısımların mikroyapıları

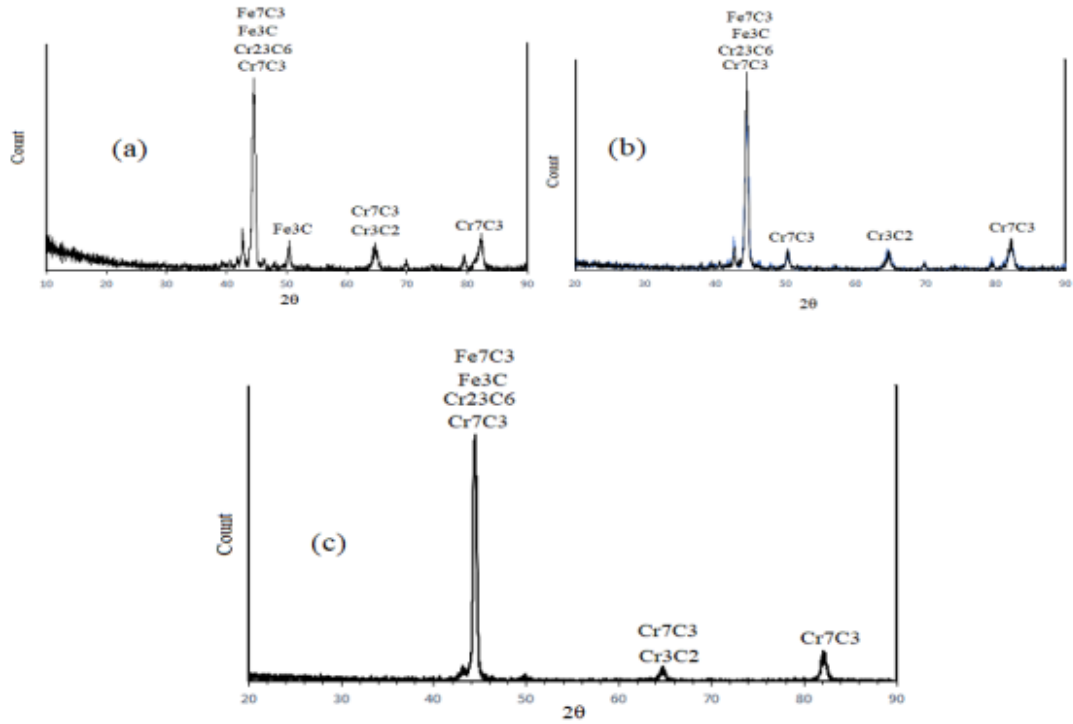


Şekil 7.2. Bimetal malzeme SEM mikroyapı görüntüsü

Ferit yüzdesi tavlama süresinin uzamasıyla perlit fazının demir ve karbona dönüşümünden kaynaklı olarak artmaktadır. Şekil 7.1'deki mikroskop görüntülerinden, Şekil 7.2'deki SEM görüntülerine ve Şekil 7.3'deki XRD grafiklerine bakıldığında BDD mikroyapısının değişik karbürlerden (Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Fe_3C , Fe_7C_3) oluştuğu görülmektedir. Genel olarak, BDD'in mikroyapısı sert ve kırılmandır. Şekil 7.1 ve 7.2'deki görüntülerde, büyük miktarda sementit (Fe_3C) ve diğer Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Fe_3C , Fe_7C_3 karbürleri içeren bölgeler belirgin bir şekilde görülebilir. Metal matrisinde karbon sementit kristalleri ve olası diğer fazların varlığı mikroskop altında tespit edilebilir. Beyaz renk tonu, mikro yapısındaki karbür fazlarından kaynaklanmaktadır. Yüksek kromlu BDD mikroskop görüntüsünde mikroyapıda yüksek oranda krom içeren bölgeler belirgin bir şekilde dikkat çekmektedir (Şekil 7.4). Bi-metal numunenin SEM görüntüleri ve EDS haritalama yöntemi ile analizi Şekil 7.4'de verilmiştir. Mikro yapıda krom karbürleri ve krom içeren diğer fazların varlığı mikroskop altında gözlemlenebildiği gibi, Şekil 7.3'deki XRD kırınım desen analiz grafikleri bu karbürlerin (Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Fe_3C , Fe_7C_3) varlığını kanıtlamaktadır. Metal matrisi içindeki kromun homojen dağılımı, mikroyapıdaki özellikleri belirginleştirir. [54].

Şekil 7.2. Bi-metal numune SEM mikroyapı görüntüsü numunenin mikroskobik düzeydeki yapısal özelliklerini gösterir ve malzemenin iç yapısının detaylı bir

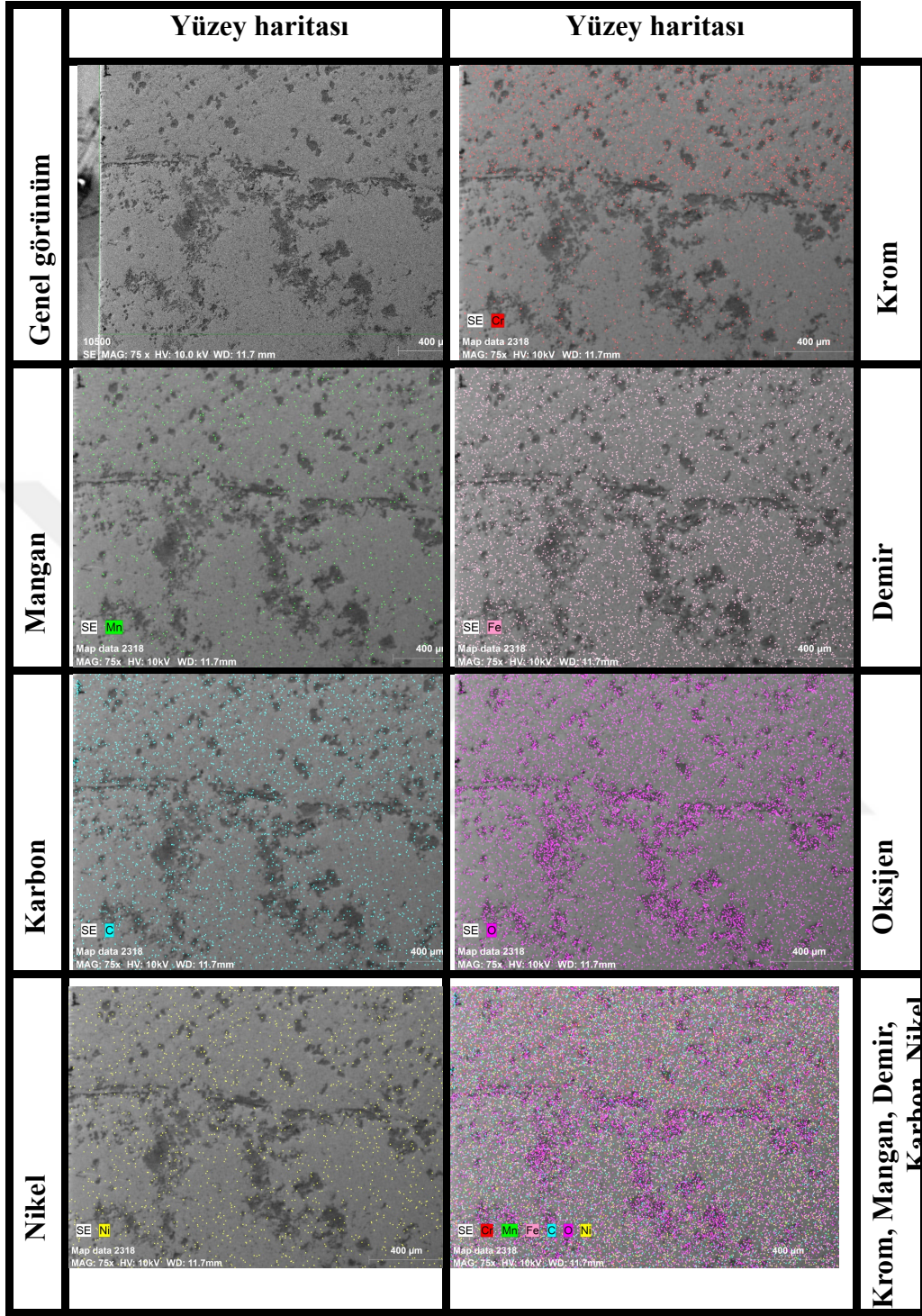
inceleme için kullanılır ve bu tür görüntüler malzemenin yüzey morfolojisini, yapısal özelliklerini ve olası kusurlarını anlamak için değerli bilgiler sağlar. BDD malzemenin özelliği genel olarak sert ve kırılgan bir yapı gösterir. Mikroskop altında sementit (Fe_3C) içeren bölgeler belirgin olarak görülebilir. Metal matrisinde karbon sementit kristalleri ve olası diğer fazlar gözlemlenebilir. Şekil 7.1’de ve Şekil 7.3’den yüksek kromlu BDD mikroyapısında yüksek krom içeren bölgelerde krom karbürlerden oluştuğu görülmektedir. Mikroyapıdaki kromun homojen dağılımı bu görüntülerde açıkça anlaşılmaktadır. Çelik bölgesinin optik mikroyapı fotoğrafında, bu bölgede belirgin tane sınırları ve homojen bir mikro yapı gözlemlenir. Ferrit ve perlit fazları açıkça ayırt edilebilir. Ferrit yumuşak ve sünek, perlit dayanıklı ve sert bir yapıya sahiptir. Bi-metal kompozit ve sünek demir bi-metal kompozit arayüzünün çeşitli büyütme oranlarıyla çekilen görüntülerdeki değişikliklere vurgu yapılmıştır. Uygulanan ısıtıl işlemin mikro yapı üzerindeki etkisi, tavlama süresine bağlı olarak değiştiği ve perlit fazının azaldığı, artan tavlama süresiyle ferit fazının yüzdesinin arttığı belirtilmiştir. [55,56].



Şekil 7.3 Bi-metal numune yüzeyinde üç farklı bölgeden alınan XRD kırınım desen analiz grafikleri a)Yüksek alaşımlı beyaz dökme demir bölge, b) Geçiş bölgesi, c) Düşük alaşımlı çelik bölge

Şekil 7.3'teki XRD grafikleri, üç farklı bölgeyi temsil eden analiz desenlerini içermektedir. Ayrıca, SEM ve EDS analizlerinden elde ettiğimiz sonuçlarla uyumlu olarak, her üç numunedeki XRD analizleri Cr_7C , Cr_{23}C_6 , Fe_3C , Fe_7C_3 fazlarının varlığını göstermiştir. Elde edilen Fe_7C_3 piklerinin derece ve düzlemleri de belirlenmiştir. Sıcaklık arttıkça, Fe_7C_3 fazının şiddetinde artış gözlemlenirken, 80°C 'deki numunede Fe fazının şiddetinin azaldığı hatta tamamen kaybolduğu görülmüştür. Bu artış, XRD ışınlarının belirli bir mesafeye kadar alt katmanlara ulaşabilmesiyle ilişkilidir. Ayrıca, XRD analizlerinde sıcaklıktaki artışla piklerin şiddetinde bir artış olduğu ancak pik genişliklerinin azaldığı gözlenmektedir. Bu durum, sıcaklıktaki artışın kristal yapının düzenliliğini arttırarak XRD ışınlarının daha belirgin pikler üretmesiyle ilişkilidir. [57].

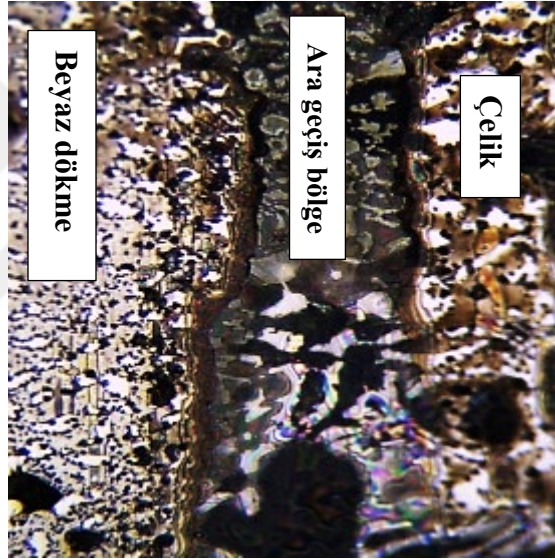
Şekil 7.4.'de gösterilen bi-metal numunesinin mikro yapısal analizi, taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) haritalama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, kademeli döküm yöntemiyle üretilen numunelerin düzenli gözenek yapısının ayrıntılı bir incelemesini sağlamayı amaçlamaktadır. Her bir bölgeden alınan SEM numuneleri, döküm işlemi sırasında oluşan mikro yapısal değişiklikleri anlamak ve anlamlandırmak için seçilmiştir. Analiz sonuçları, numunenin genel görünümünü (a) Krom (b), Mangan (c), Demir (d), Karbon (e), Oksijen (f), Nikel (g) ve Krom, Mangan, Demir, Karbon, Nikel içeren özel bölgelerin analizini içermektedir (h). Bu analitik yaklaşım, bi-metal numunesinin içsel yapısal özelliklerini detaylı bir şekilde anlamamıza olanak tanıyarak, kademeli döküm ile elde edilen malzemenin mikroyapısı üzerindeki etkileri belirlememizi sağlamaktadır. Bu, tezimizin temel konularından biri olan bi-metal malzemelerin üretim süreçleri ve mikro yapısal özelliklerinin incelenmesinde önemli bir adımdır.



Şekil 7.4. Bi-metal numunenin SEM görüntüleri ve ve EDS haritalama yöntemi ile analizi a)Genel görünüm, b)Krom, c) Mangan, d)Demir, e)Karbon, f) Oksijen, g)Nikel ve h)Krom, Mangan, Demir, Karbon, Nikel.

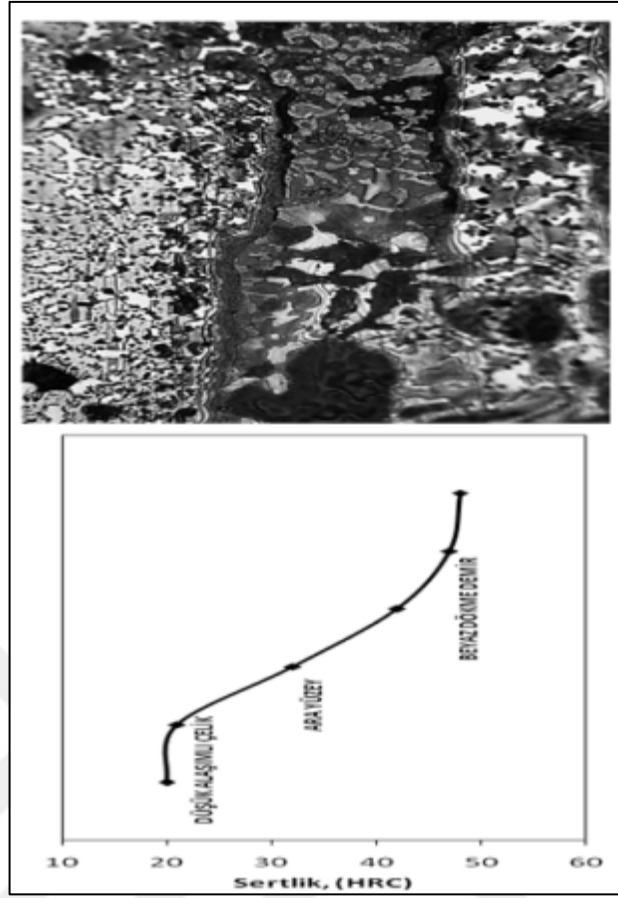
7.2. SERTLİK

Sertlik değerleri mikroyapı görüntüleri Şekil 7.5'den alınan numunenin üzerinden; düşük alaşımlı çelik, bi-metal/ara geçişve BDD olmak üzere 3 farklı bölgeden sertlik değerleri alınmış ve ortalama sertlik değerleri Şekil 7.6'da verilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri her bir bölge için ayrı ayrı alınmış ve sonuçlar değerlendirilerek ortalamaları belirlenmiştir. Bu grafik, numunenin farklı bölgelerindeki sertlik profillerini karşılaştırma ve değerlendirme imkanı sağlar. Elde edilen sonuçlar malzemenin mekanik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. [58,59].



Şekil 7.5. Bi-metal malzemenin mikro yapısı

Şekil 7.6'da bi-metal malzemenin sertliğinin analizi için ayrıca sertlik geçişlerini gösteren mikro yapı ile sertlik grafiği birlikte verilmiştir. Mikro yapı incelendiğinde yüksek kromlu BDD, ara yüzey olarak geçiş bölgesini ve düşük alaşımlı çelik şeklinde tanımlayabiliriz. Şekil 7.6'deki mikro yapısından dolgu malzemesi olarak kullanılan düşük alaşımlı çelikten, yüksek kromlu BDD'ye doğru difüzyon ve yerel ergime sonucu bölgeler arasında geçiş olduğu görülmektedir. Ara yüzeyde görülen karışıklık her iki alaşımların karşılıklı yayılımı sonucu oluşan karışımından oluşmaktadır.



Şekil 7.6. Bi-metal malzemenin döküm hali sertlik geçişi

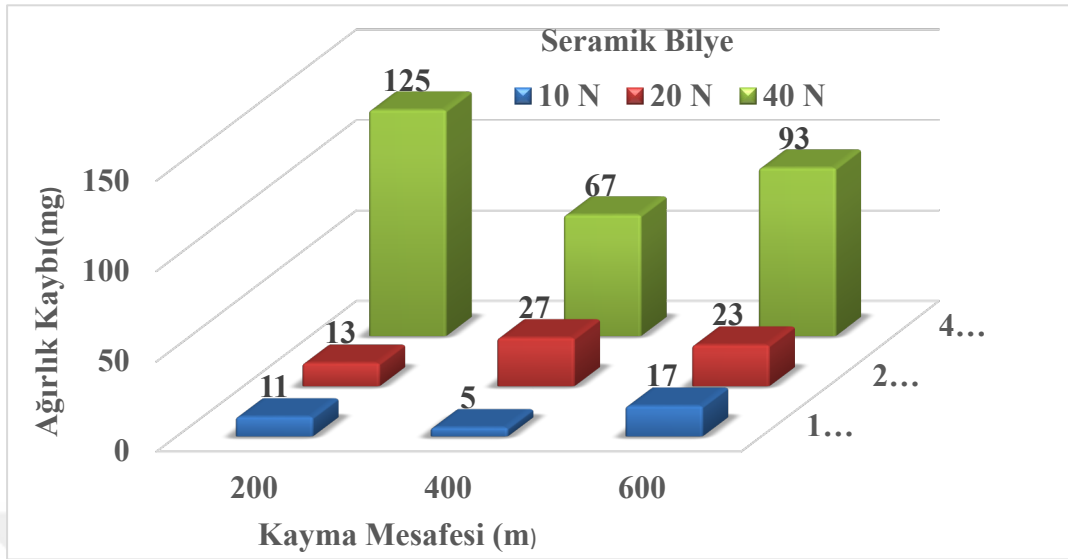
Bi-metal malzemenin sertliği ısıtılma işlemi sonrası alınmıştır. Şekil 7.6 incelendiğinde sertliğin bölgelere göre değişkenlik gösterdiği, bu durumun düşük alaşımlı çelik bölge, ara geçiş bölgesi ve yüksek kromlu BDD bölgenin yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Elde edilen sertlik sonuçları literatürle uyumludur. [1,60]. Çalışma sonuçlarına paralel olarak, literatürde sertliği yükseltmek ve tokluğunu iyileştirmek için yüksek kromlu BDD'lerin normal olarak ısıtılma işlemi yapıldığı belirtilmiştir. [1,60,61]. Bununla birlikte kırıcının kullanımı sırasında sertlikte artış olmakta bu durum, servis şartlarında çalışma sertleşmesinden kaynaklandığı ve/veya sonuçlar analiz edilirken kırıcı çekicinin yüksek kromlu beyaz dökme demir tarafının deformasyon sertleşmesine maruz kaldığı unutulmamalıdır. [62].

7.3. AŞINMA

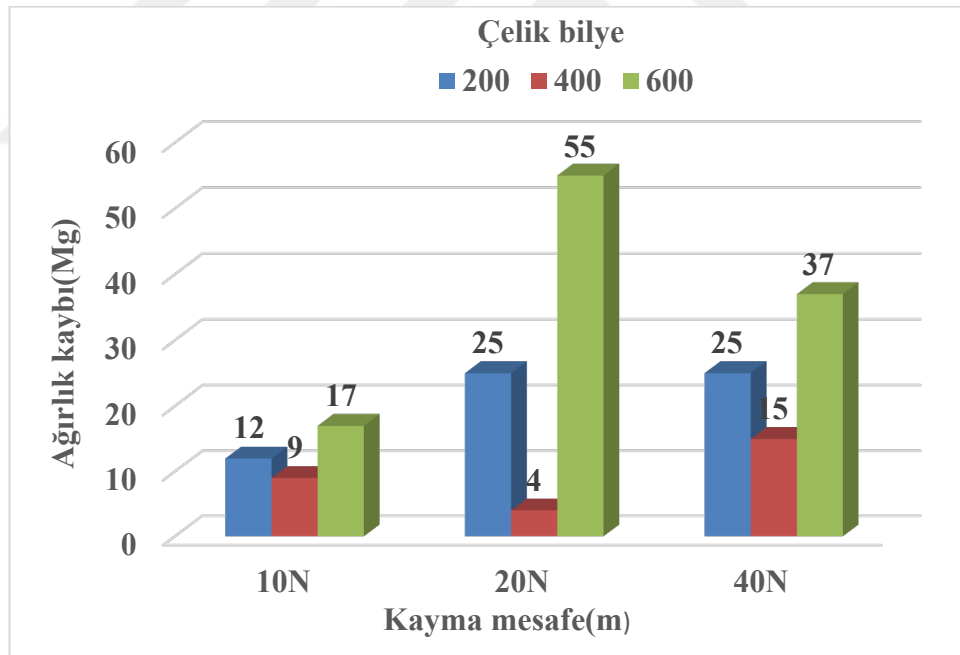
Yüksek alaşımlı BDD, geçiş bölgesi ve düşükalaşımlı çelikten oluşan bi-metal numunenin 200, 400 ve 600 m aşınma testi kayma mesafelerinde meydana gelen aşınma kayıpları Tablo 7.1, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir. Aşınma testinin başlangıcında tüm numunelerde aşınma eğrileri hızla artarken, daha sonra bir dengeye ulaşmaktadır. Bu durum başlangıç aşamasındaki yüksek temas basıncı ve temas alanı ile açıklanmaktadır. İlk aşamada sadece pürüz tepeleri ile karşı batıcı uç arasında temas olduğundan yüksek bir temas basıncı oluşur bu da aşınma değerlerinde hızlı bir artışa neden olur. Ancak aşınmanın ilerlemesi ve pürüz tepelerinin yok edilmesiyle temas alanı artar ve temas basıncı düşer. Bu noktadan sonra aşınma bir dengeye ulaşır. Pürüzlülüğün etkisi incelendiğinde daha yüksek pürüzlülüğe sahip seramik bilye numunelerde bu etkinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum pürüzlülüğün aşınma davranışını etkileyerek farklı numuneler arasında gözlemlenebilir aşınma farklılıklarını ortaya koymaktadır. [55,63,64].

Tablo 7.1. Bi-metal malzemede seramik ve çelik bilye kullanılarak yapılan aşınma test sonuçları

Kayma Mesafesi (m)	Ağırlık kaybı (mg)					
	Seramik bilye			Çelik bilye		
	Uygulanan Yük (N)			Uygulanan Yük (N)		
	10	20	40	10	20	40
200	11	13	125	12	25	21
400	5	27	67	9	4	15
600	17	23	93	17	55	37



Şekil 7.7. Al_2O_3 Seramik bilye ile aşındırılan bi-metal malzemenin aşınma kaybı



Şekil 7.8. 52100 Çelik bilye ile test edilen bi-metal malzemenin aşınma kaybının değişimi

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de bi-metal numunelere ait aşınma davranışlarını gösteren grafikler ve 6 mm çapındaki seramik ve çelik bilyeye karşı maruz kaldıkları aşınma değerleri malzeme çiftlerinin aşınma kayıplarının yüke ve yola göre değişkenlik

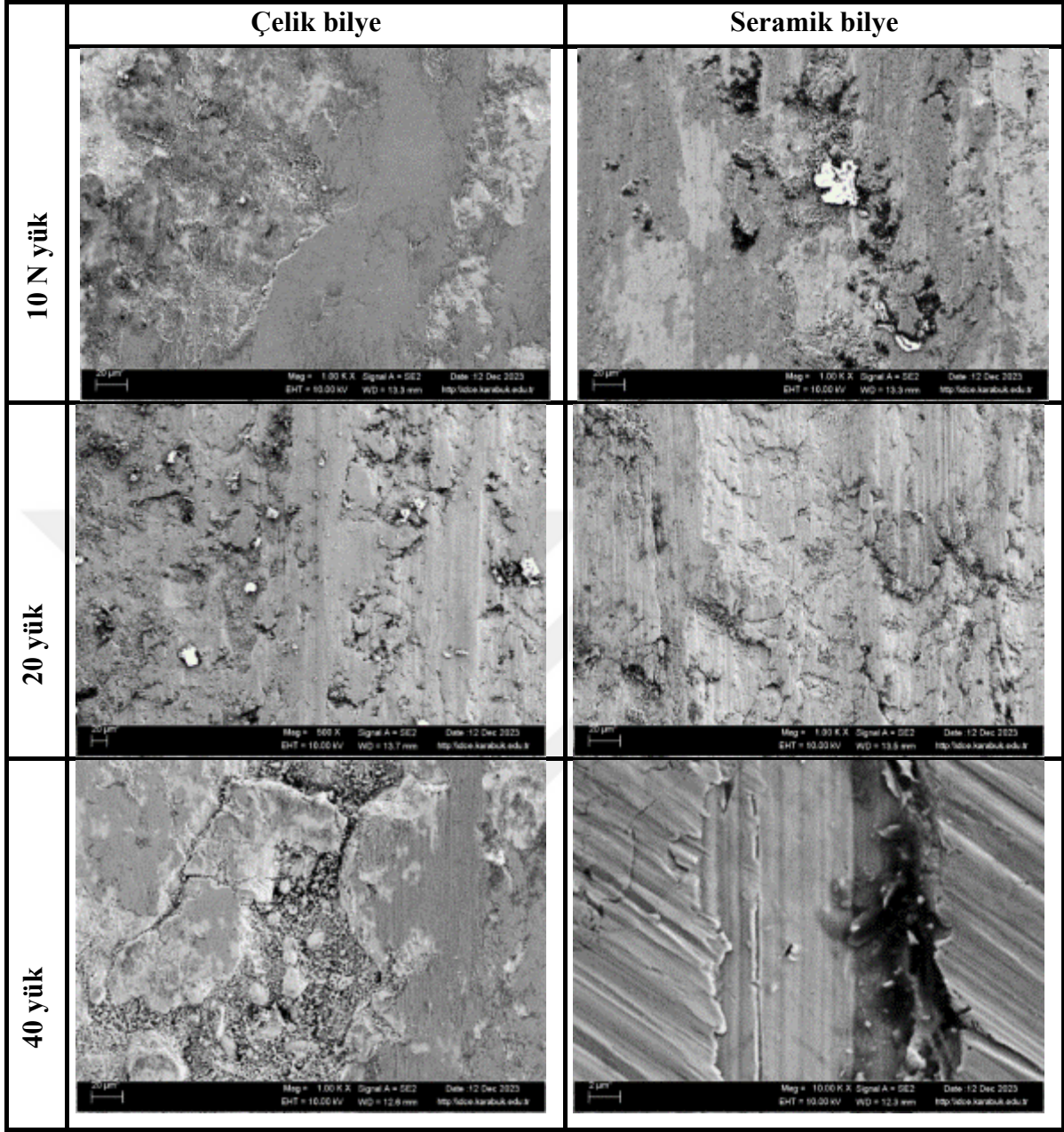
gösterdiği görülmektedir. Şekil 7.7’de seramik bilye ile 600m kayma mesafesinde yapılan abrasif aşınma deneylerinde aşınma kaybı tüm 10, 20 ve 40N yükler için sırasıyla; 125, 67 ve 93 mg’dır. Şekil 7.8’de çelik bilye ile 600m kayma mesafesinde yapılan abrasif aşınma deneylerinde aşınma kaybı tüm 10N, 20N ve 40N yükler için sırasıyla; 17, 55 ve 37 mg’dır. Çelik bilye, seramik bilyeye kıyasla daha düşük aşınma direncine sahiptir. Bu nedenle, çelik bilye daha hızlı aşınır. Tablo 7.1, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’den görüldüğü gibi tüm deney yüklerinde (10, 20 ve 40N) çelik ve seramik bilye kıyaslandığında; çelik bilye ile aşındırılan bi-metal numune daha az ağırlık kaybı uğramıştır. Yük arttıkça ve kayma mesafesi uzadıkça, her iki bilye ile aşındırılan numunelerin ağırlık kaybının arttığı görülür. Yani daha yüksek bir yük altında veya daha uzun bir kayma mesafesinde, her iki bilye de daha fazla ağırlık kaybı meydana gelir. Bu aşınma sürecinin hızlandığını göstermektedir. Grafikler incelendiğinde; ağırlık kaybının kayma mesafesine bağlı olarak arttığı ve yük altında farklı hızlarda farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu durum farklı yük değerlerinde veya kayma mesafelerinde her iki bilye ağırlık kaybı hızı farklı olabilir. Bu malzeme özelliklerine, aşınma direncine ve sürtünme koşullarına bağlı olarak değişebilir. [60-62]. Sonuç olarak seramik bilye, çelik bilye göre bi-metal malzemeyi daha hızlı aşındırdığı ve bu nedenle daha fazla ağırlık kaybettiği söylenebilir. Ancak, daha fazla ayrıntı ve veriye ihtiyaç duyulduğundan tam bir analiz yapmak için test sayısının artırılması daha doğru olur. Çelik bilyenin aşınma direnci seramik bilye kıyasla daha düşüktür. 40N yük altında seramik bilye ile aşındırılan numune daha fazla ağırlık kaybı gösterirken çelik bilye ile aşındırılan numune daha az ağırlık kaybına uğramıştır. Genel olarak yük arttıkça ve kayma mesafesi uzadıkça her iki bilye de ağırlık kaybı artmaktadır Grafiklere bakıldığında ağırlık kaybının kayma mesafesine bağlı olarak arttığı ve farklı yük altında farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Aşınmanın oluşabilmesi için karşı yüzeyin numune yüzeyine batması ve bununla beraber hareket etmesi gerekmektedir. Yüzeyde oluşturulan katman ne kadar sert olursa, karşı ucun yüzeye batması o kadar zor olacak ve nispi hareket olsa bile aşınma kayıpları azalacaktır. Tabi burada aşınma kayıplarına bakıldığında tamamen sertlikle bir orantıdan bahsetmek mümkün değildir. Sertliğin artması aşınma dayanımı açısından önemlidir ancak unutulmamalıdır ki yüksek sertlik değerleri beraberinde düşük kırılma toklukları getirmektedir. Ayrıca aşınma mesafesini 200 m’den 400 m’ye veya 600 m’ye artması beklendiği gibi ağırlık

kayıplarını arttırmıştır. Tüm yükler için daha uzun süre aşınmaya maruz bırakılan numunenin fazla kayıp göstermesi normaldir. Bi-metal malzeme düşük karbonlu çelikle karşılaştırıldığında, aşınmaya dayanıklı alaşım tabakası 20 ila 25 kat daha fazla aşınma direncine sahiptir. Yüksek kromlu dökme demirle karşılaştırıldığında ise aşınma direnci 1.5 ila 2,5 kat daha yüksektir. Bu özellikler aşınmaya dayanıklı alaşım tabakasının kimyasal bileşimi sertliği, aşınma direnci, darbe dayanımı ve ısı direnci gibi önemli özelliklerini vurgulamaktadır. [60-62]. Aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmada, incelenen bazı metallerin ağırlık kaybı ile değerlendirilmesi sırasında bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluklar kayma mesafesinin kısa olması ve uygulanan yüklerin düşük olmasından kaynaklanmıştır. Özellikle alaşımın sertliğinin azalması durumunda ağırlık kaybının artması beklenirken yumuşak yüzeye sahip matrisli alaşımların aşınma yüzeylerine debrislerin yapışması nedeniyle ağırlık kaybının doğru bir şekilde ölçülenemediği düşünülmektedir. Bu aşınma davranışlarını analiz etmeyi karmaşıklaştıran bir faktördür. Ayrıca aşınma deneyleri sırasında alaşımların alan kaybı değerlerinin uygulanan yük ve alaşımın sertliği arttıkça sırasıyla arttığı ve azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar aşınma davranışlarının incelenmesi sırasında bu faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. [65- 66].

Al₂O₃ seramik ve 52100 çelik bilye aşındırılan numunelerin aşınmış yüzeylerinin SEM resimleri Şekil 7.9'da verilmiştir. Şekil 7.9'dan görüldüğü gibi 52100 çelik bilye altında yapılan testlerde adhezyonla yapışma ve belirgin pürüz oluşumu gözlemlenmiştir. Seramik bilye altında ise yüzeydeki pürüzlerin temizlenmesi ve daha pürüzsüz hale gelmesi gözlemlenmiştir ancak, bu süreçte debrislerin meydana geldiği de tespit edilmiştir. Seramik bilye altında 20N yük altında gerçekleştirilen testte, pürüzlerin belirgin olduğu gözlenmiştir. 40N yük altında seramik bilye tarafından uygulanan abrasif aşınma ise SEM görüntüleri üzerinden detaylı bir şekilde incelenmiştir. Aşınma yüzeyinde izler, çatlaklar ve belirgin aşınma özellikleri gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinin analizi aşınma izlerinin oldukça sık ve dar olduğunu ortaya koymaktadır. Aşınma test süresine bağlı olarak aşınma mekanizmalarında farklılıklar oluşmuştur. 200 m aşınma yolu sonunda yüzeydeki bazı pürüzlerin plastik deformasyona bağlı olarak pürüzsüz bir hale geldiği görülebilir. Ayrıca aşınma testi sırasında yüzeyden kaldırılan parçaların yeniden

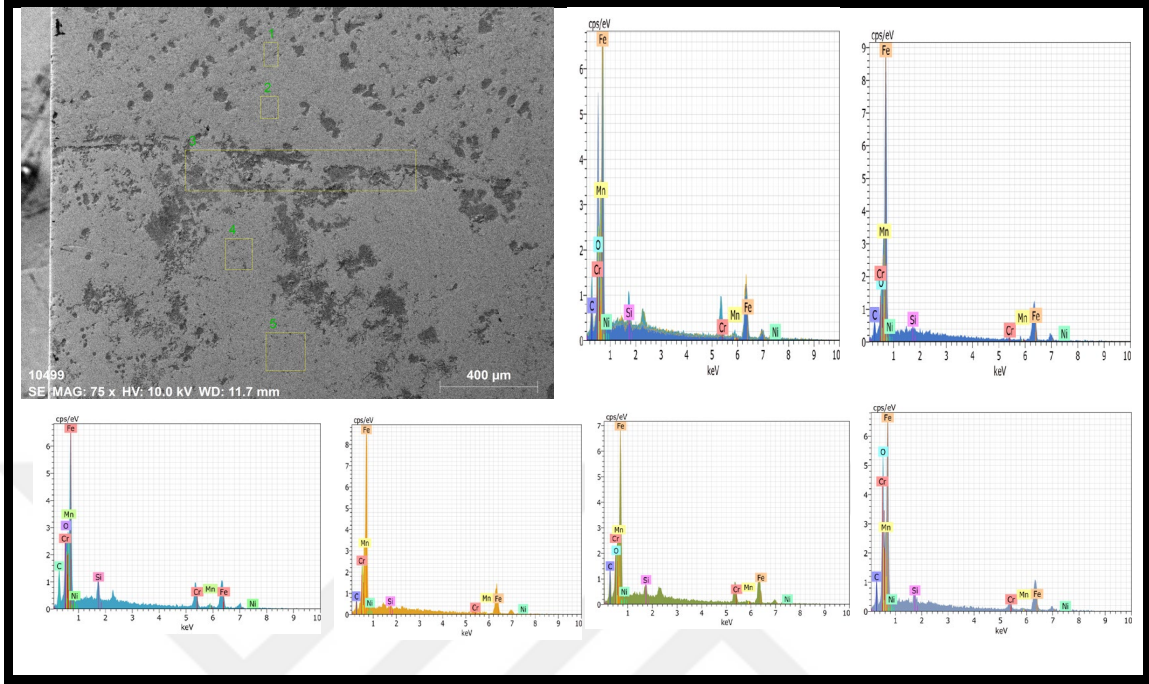
yüzeye sıvanması da söz konusudur. Plastik deformasyona ve aşınma sırasında meydana gelen sıcaklık artışlarına bağlı olarak yüzeyde yüksek oranda oksidasyon meydana gelmiştir. Ancak kayma mesafesi 600 m'ye yükseldiğinde aşınma mekanizmalarının değiştiği görülmektedir. Yüzeyde oksitli kısımların olduğu EDS sonuçlarında da (Şekil 7.10) tespit edilmiştir. Devamlı yükler altında bu gevrek oksitler çatlakların birleşmesi sonucu dökülmeye başlamıştır. Böylece delaminasyona bağlı olarak malzeme kaybı meydana gelmiştir. Ayrıca yüzeyde delaminasyonla ayrılan bölgelerde bir miktar aşınma kalıntısı da söz konusudur.

Şekil 7.10'da sunulan EDS elementel analizi, bi-metal numunesinin çeşitli bölgelerindeki kimyasal bileşenleri ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Spectrum 1'de demir oranının yüksek olduğu (% 67.01) ve ayrıca karbon (C) ile oksijen (O) oranlarının dikkat çekici olduğu görülmektedir. Spectrum 2'de benzer şekilde yüksek demir içeriği (% 65,29) ve belirgin karbon (C) ile oksijen (O) oranları gözlemlenmektedir. Spectrum 3'te ise yüksek demir (%59.59)ve oksijen(%29.25) içeriği dikkat çekicidir. Spectrum 4'te demir (56.39%) ve oksijen (32.58%) baskın elementlerdir, diğer elementler daha düşük seviyelerdedir. Spectrum 5, düşük demir içeriğine sahiptir (%53,73), ancak oksijen oranı yine de belirgindir (%32,87). Spectrum 6, en düşük demir içeriğine sahip bölgedir (%52,47) ve diğer elementlerin miktarları daha düşüktür. Bu analiz, numunenin farklı bölgelerindeki elementel bileşenlerdeki çeşitliliği vurgular ve materyalin heterojen yapısını açıkça gösterir



Şekil 7.9. Bi-metal numunenin 10,20 ve 40N yük altında çelik ve seramik bilye ile temas eden abrasif aşınmaya maruz kalmış aşınma yüzeyi SEM

Aşınma testinin başlaması ile yüzeylerde bulunan pürüzlerin ve süreksizlikler temizlenmeye başlamış, devamında ise tekrarlı yükler ve lokal ısıl artışlarına bağlı olarak yüzeylerde oksitlenmiş bölgeler oluşmuştur. Oksitlenen bölgelerde ise pul pul şeklinde dökülmeler mevcuttur. altlığa ulaşıldığı için aşınma testinin sonucunda başka aşınma mekanizmaları söz konusudur.



Spectrum	C	Mass percent (%)					
		O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
1	9.40	22.19	0.28	0.00	0.49	67.01	0.64
2	11.29	25.31	0.16	0.36	2.00	60.85	0.03
3	10.15	29.25	0.81	0.00	0.00	59.59	0.20
4	10.05	32.58	0.47	0.00	0.00	56.39	0.52
5	11.54	32.87	1.34	0.14	0.39	53.73	0.00
6	17.23	27.05	1.77	0.71	0.23	52.47	0.54

Şekil 7.10. Bi-metal numune üzerinde yapılan nokta EDS elementel analizi sonuçları

7.4. SÜRTÜNME KATSAYISI

Sürtünme katsayısı malzemelerin sürtünme davranışını tanımlayan önemli bir parametredir. Genellikle çelik ve seramik malzemeler için farklı sürtünme katsayıları vardır. Çelik genellikle daha yüksek sürtünme katsayısına sahipken, seramik daha düşük bir sürtünme katsayısına sahip olabilir. Sonuç olarak, çelik ve seramik arasındaki sürtünme kuvveti kullanılan malzemelerin türü, yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Genel olarak çelik yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti seramik yüzeylere kıyasla daha yüksek olma eğilimindedir. Bi-metal numunelere ait COF (sürtünme katsayısı) grafikleri ve 6mm

çapında 52100 soğuk iş takım çeliği bilye ve 6 mm çapında seramik bilyeye karşı aşınmaya maruz bırakılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri. Eldeki verilere göre çelik bilye seramik bilye kıyasla daha düşük aşınma direncine sahip olduğu ve bu nedenle daha hızlı aşındığı sonucuna varabiliriz. Aşınma direnci, bir malzemenin dayanıklılığını ve aşınma karşısındaki dayanıklılığını tanımlar. Çelik bilye daha hızlı aşınması, bu malzemenin seramik bilye göre daha yumuşak veya daha az dayanıklı olduğunu gösterebilir. Ayrıca yük altındaki çelik topun daha fazla ağırlık kaybettiği ve bu ağırlık kaybının yük arttıkça ve kayma mesafesi uzadıkça arttığı gözlemlenmiştir. Bu yükün ve kayma mesafesinin aşınma sürecini hızlandığını ve her iki bilyen aşındıkça daha fazla ağırlık kaybettiğini gösterir. Tablo 7.2 ve Tablo 7.3, seramik ve çelik bilye kullanılarak yapılan sürtünme katsayısı deneylerinin ortalamalarını göstermektedir.

Tablo 7.2. Seramik bilye ile yapılan sürtünme katsayısı sonuçlarının ortalaması

Yol	Yük(N)		
	10 N	20 N	40 N
200 M	0,032028	0,149819	0,256061
400 M	0,261607	0,159084	0,147787
600 M	0,797597	0,098095	0,009957

Tablo 7.3. Çelik bilye Seramik bilye ile yapılan sürtünme katsayısı sonuçlarının ortalaması.

Yol	Yük(N)		
	10 N	20 N	40 N
200 M	0,001035	0,004906	0,028159
400 M	0,00078	0,002953	0,029282
600 M	0,000619	0,002069	0,032065

Bu çalışmada seramik ve çelik bilyelerin farklı yük ve yol koşullarında gösterdiği sürtünme katsayıları incelenmiştir. Tablo 7.2'de seramik bilye ile yapılan deneylerin sonuçları, Tablo 7.3'te ise çelik bilye ile yapılan deneylerin sonuçları sunulmaktadır.

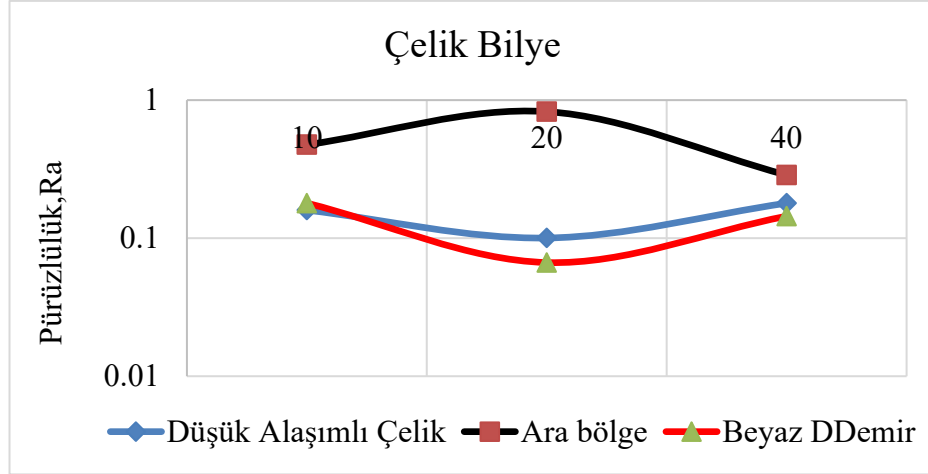
Seramik Bilye Sonuçları Seramik bilye için yapılan deneylerde, farklı yük ve yol koşullarına bağlı olarak sürtünme katsayılarında belirgin farklar gözlemlenmiştir. Özellikle 600 metreye kadar olan yollarda yük arttıkça sürtünme katsayısında düşüş eğilimi gözlenmiştir. Bu durum, seramik bilyelerin belirli yük ve yol koşullarında daha düşük sürtünme katsayılarına sahip olduğunu göstermektedir. Çelik Bilye Sonuçları Çelik bilyelerle yapılan deneylerde ise, genel olarak seramik bilyelere kıyasla daha düşük sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Özellikle 200 metreden 600 metreye kadar olan yollarda çelik bilyelerin sürtünme katsayıları istikrarlı bir şekilde düşük seviyede kalmıştır. Çelik ve seramik arasındaki sürtünme kuvveti, iki malzemenin özelliklerine ve sürtünme koşullarına bağlı olarak değişebilir. Aşınma testinin başlaması ile neredeyse tüm numunelere ait sürtünme katsayısı eğrilerinin ani bir artış gösterdiği ve sonrasında ortalama bir dengeye ulaştığı görülebilmektedir. Bu durum başlangıç aşamasındaki temas alanı ve temas basıncı ile açıklanabilir. [47]. Testin ilk başlaması sırasında, sadece pürüz tepeleri ile karşı batıcı uç arasında bir temas söz konusudur. Bu da yüksek oranda bir temas basıncı oluşturması sonucu sürtünme katsayısı değerleri hızla artış göstermektedir. Ancak aşınmanın ilerlemesi ve pürüz tepelerinin yok edilmesi ile temas alanı artacak ve bununla beraber temas basıncı düşecektir. Bu noktadan sonra sürtünme katsayısının bir dengeye ulaşması beklenebilir. Sertliği ve aşınma dayanımı yükseldikçe sürtünme katsayısı değerlerinde azalış meydana geldiğini söylemek mümkündür. [35]. Bununla beraber sürtünme katsayısı değerlerinde sertlik dışında birçok parametrenin de etki ettiği unutulmamalıdır. Genel olarak aşınma yolunun artması ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin düşüş göstermesine sebep olmuştur. [65-70]. Bu da testin başındaki pürüzlük etkisi ve testin devamındaki oksidasyon mekanizması ile açıklanabilir. Testin başında sürtünme katsayısında görülen ani artışın etkisi daha uzun mesafeli testlerde daha az etkili olacaktır. Ayrıca yine birçok durumda görülen ani sıcaklık artışına bağlı yağlayıcı oksit oluşumları da testin devamında sürtünme katsayısını düşürmeye yönelik etkide bulunabilir.

7.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğünü incelemek amacıyla profilometre kullanılarak yapılan değerlendirme sonrasında işlemsiz açısı incelenmiştir. Profilometre ile ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelemesinden elde edilen sonuçlar Şekil 7.11, Şekil 7.12 ve Şekil 7.13 ve Tablo 7.4’te verilmiştir. Çizelgede yer alan Ra değeri, bölgeler ve yüzeyler arasındaki ortalama uzunluğu temsil ederken, Rz değeri en derin bölgesi ile en yüksek ara yüzey arasındaki yükselti farkını simgelemektedir. Bu gösterimler, yüzey pürüzlülüğü ölçütlerinin nasıl hesaplandığını ve değerlendirildiğini daha açık bir şekilde ifade etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü analizi, malzemenin yüzey kalitesi hakkında önemli bilgiler sunmakta. Bu çalışma çelik, ara yüzey/geçiş bölgesi ve yüksek alaşımlı BDD malzemelerinin farklı bilye türleri ve yükler altında aşındırılması sonucu elde edilen ortalama pürüzlülük değerlerini incelemektedir. Şekil 7.11’de çelik bilye kullanılan numnelerin pürüzlülük değerleri görülmektedir. 10 N yük altında çelik ve bi metal örneklerinde düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir, ancak beyaz döküm örneğinde negatif bir değer gözlemlenmiştir. 20 N ve 40 N yüklerinde, çelik ve bi metal örneklerinde pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür, benzer şekilde beyaz dökümde de bir artış gözlemlenmiştir.

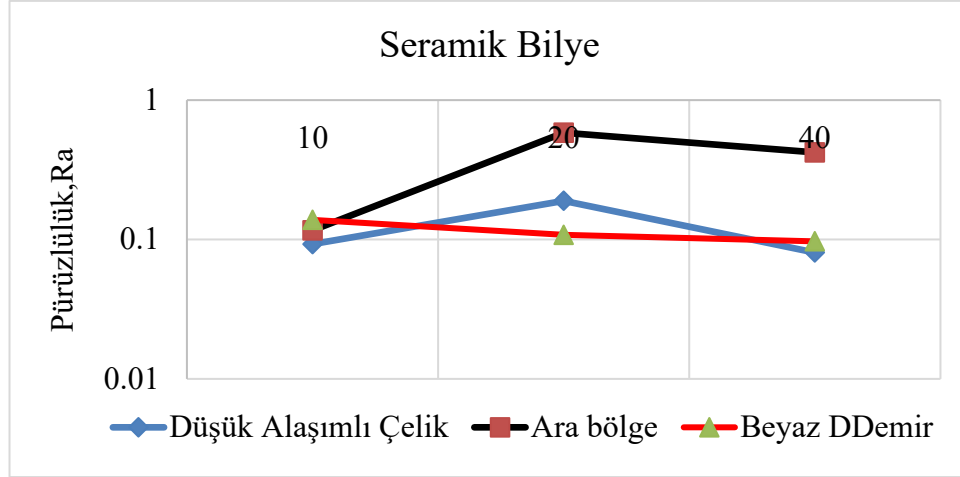
Tablo 7.4. İşlemsiz ve farklı aşındırıcı ile aşındırılmış bi-metal numunelerin pürüzlülük değerleri

Şartlar	Çelik kısım	Ara yüzey	Yüksek alaşımlı BDD
İşlemsiz numune	0,103	0,079	0,1
	0,103	0,079	0,1
	0,083	0,086	0,091
Aşındırılmış numune	52100 Çelik Bilye		Al₂O₃ Seramik Bilye
Yük (N)	Çelik kısım	Ara yüzey	Yüksek alaşımlı BDD
			Düşük Alaşımlı Çelik
			Ara bölge
			Beyaz DDemi r
10	0,1596	0,4756	0,1793
20	0,1003	0,8253	0,0666
40	0,1793	0,2866	0,1443
			0,0926 0,1163 0,1383
			0,1893 0,5836 0,108
			0,0806 0,4216 0,097

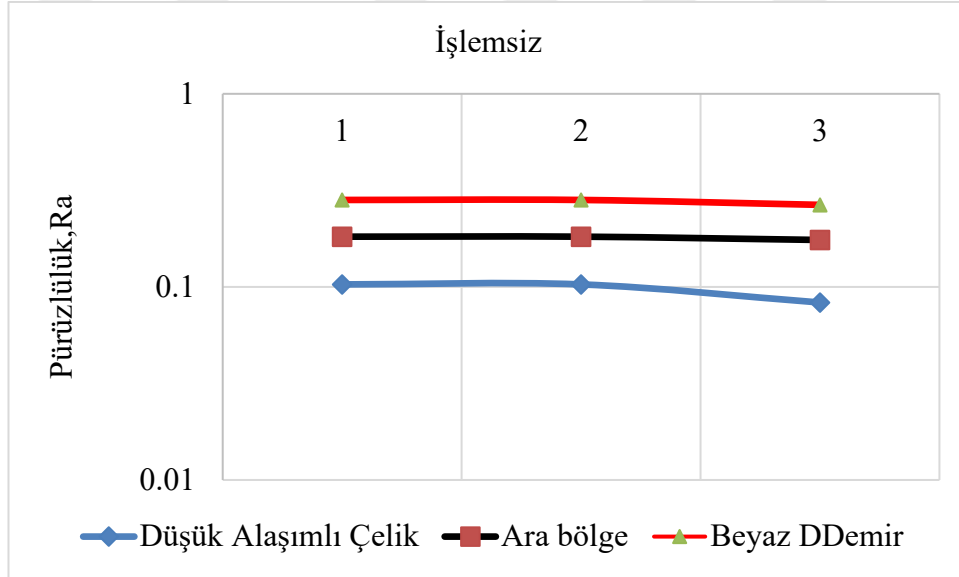


Şekil 7.11. Çelik bilye ile aşındırılan numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü

Şekil.7.12'te, seramik bilye kullanılan numnelerin pürüzlülük değerleri görülmektedir. 10, 20 ve 40 N yüklerinde çelik ve ara yüzey geçiş bölgesi örneklerinde genellikle artan pürüzlülük değerleri gözlemlenirken BDD örneğinde bu değerler daha sabit kalmıştır. İşlemsiz durumdaki ortalamaları gösteren Şekil 7.13, işlemsiz numunenin çelik, araeçiş bölgesi ve BDDörneklerinin benzer pürüzlülük değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, işleme sürecinin bu örnekler üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını düşündürmektedir. Seramik bilye kullanılan deneylerde genel eğilim çoğunlukla çelik ve ara yüzey geçiş bölgesi örneklerinde yük arttıkça pürüzlülükte artış meydana gelmiştir. BDD örneğinde ise pürüzlülük değerleri daha istikrarlı bir seyir göstermiştir. İşlemsiz durumda çelik, ara yüzey geçiş bölgesi ve beyaz döküm örnekleri arasında belirgin bir pürüzlülük farkı gözlemlenmemiştir bu da işleme sürecinin bu örnekler üzerinde minimal etkisi olduğunu düşündürmektedir. [71,72].



Şekil 7.12. Seramik bilye ile aşındırılan numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü

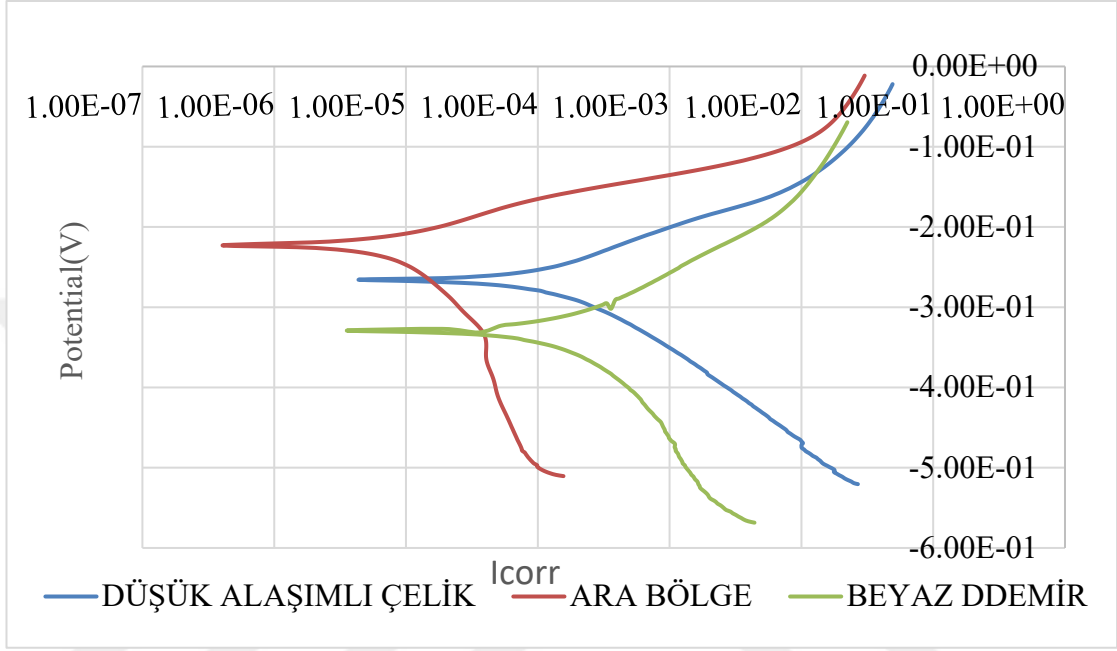


Şekil 7.13. İşlemsiz numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü

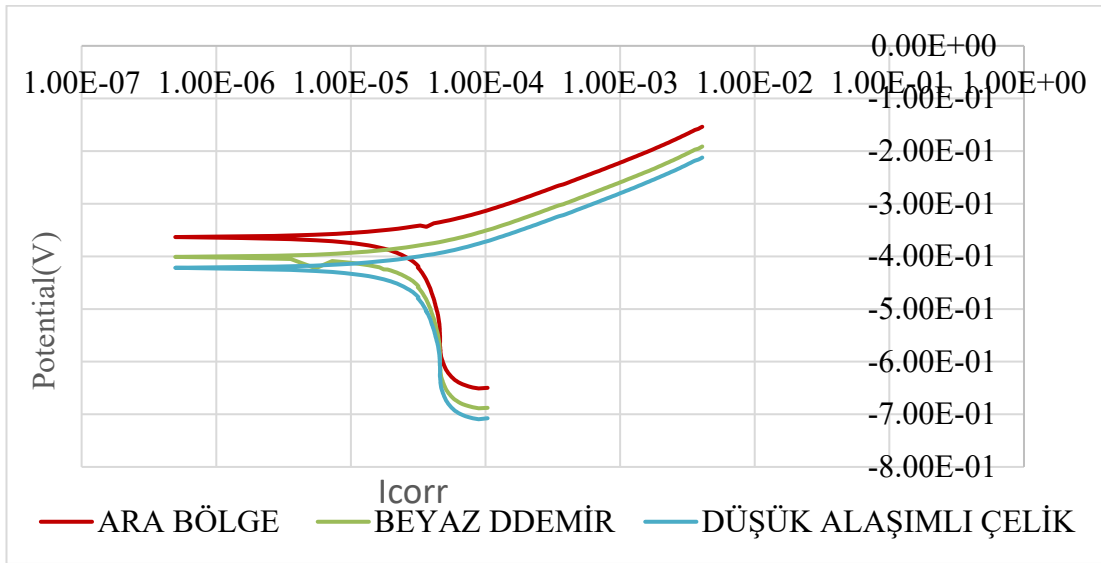
7.6. ELEKTROKİMYASAL KOROZYON TEST DAVRANIŞLARI

Elektrokimyasal korozyon testlerinde, banyo içerisinde meydana gelen anodik ve katodik reaksiyonların oluşturmuş olduğu açık devre potansiyeli (O_{cp}) ve bunlara ait potansiyel grafik eğrilerinin (Tafel extrapolasyon) korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacıyla %3,5 NaCl ve %3,5 H_2SO_4 çözeltileri içerisinde bi-metal malzemelere uygulanmıştır. Korozyon hızını belirlemenin en yaygın yöntemlerinden biri, elektrokimyasal yöntemlerin, özellikle polarizasyon gibi yöntemlerin

kullanılmasıdır. Şekil 7.15'te, %3,5'lik NaCl çözeltisi içinde yapılan bi-metal kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri görülmektedir. Bu eğriler, malzeme özellikleri ve korozyon direnci hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır ve bi-metal



Şekil 7.14. Bi-metal numunenin %3,5 H₂SO₄ solüsyonunda potansiyodinamik polarizasyon eğrileri



Şekil 7.15. Bi-metal numunenin %3,5 NaCl solüsyonunda potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Malzemelerin korozyon davranışının ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına ve malzemenin dayanıklılığının artırılmasına yönelik önemli bir adımdır. Meydana gelen potansiyel fark neticesinde farklı yüzeylerde oluşan katot ve anot reaksiyonlarını oluşturan bileşenlerin iletken bir sıvı içerisinde taşıyıcı iyonlar (Na^+Cl^- v.b.) aracılığıyla elektron değişimi neticesinde meydana gelen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarıdır. [73].

Potansiyodinamik polarizasyon testi kompozit malzemelerin korozyon direncini değerlendirmek için kullanılan bir test yöntemidir. Bu test malzemenin potansiyel ve akım yoğunluğu değerlerini ölçerek korozyon davranışını analiz etmeyi sağlar. Test sürecinde, malzeme numunesi üç kez potansiyel ve akım yoğunluğu ölçümlerine tabi tutulur. Her ölçüm için zaman ve sonuçların ortalaması alınır. Bu veriler, potansiyel akım yoğunluk grafiği olarak sunulur. Potansiyodinamik polarizasyon testi sonuçlarına dayanarak yapılan yorumlar şu şekildedir. Döküm alaşımlarının genellikle ekstrüde alaşımlardan daha yüksek korozyon potansiyeline sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durum, ekstrüzyonun yapısının daha ince hale gelmesiyle açıklanabilir. Ekstrüzyon ve anodik fazların yüzey alanının azalması korozyon etkisini artırır. Çelik takviyesinin korozyon potansiyelini azalttığı ve akım yoğunluğunu artırdığı görülmüştür. Ekstrüzyon yönüne dik olan ölçümler, paralel ölçümlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum, ekstrüzyon yönüne paralel olan bölgelerin daha yüksek korozyon direncine sahip olduğunu göstermektedir. Bi-metal ve yüksek alaşımlı BDD takviyeleri çelik alaşımının korozyon direncini artırmıştır. Yüksek kroma ilavesi, malzeme yüzeyinde oluşan nikel tabakası aracılığıyla korozyon direncini sağlamıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testi, kompozit malzemelerin korozyon davranışını anlamak ve uygun malzeme seçimlerini yapmak için önemli bir araçtır. Bu test sonuçları, mühendislik tasarımlarında ve malzeme seçiminde dikkate alınmalıdır. Korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) ve korozyon potansiyeli (E_{corr}) değerlerine göre, çelik kompozitlerin diğer kompozitlere kıyasla daha yüksek korozyon direnci gösterdiği belirlenmiştir. [74]. Tüm kompozit malzemelerin korozyon direncini karşılaştırmak için korozyon akım yoğunluğu ve potansiyel değerlerinin kullanıldığı ve çelik kompozitin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar aşınma ve korozyon direncini değerlendirmek için farklı malzemelerin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Çelik topun daha düşük aşınma direnci gösterirken, seramik topun

daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Korozyon testlerinde ise döküm alaşımlarının daha yüksek korozyon potansiyeli olduğu ve yüksek alaşımlı BDD kompozitin daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

PSD eğrilerinden hesaplanan korozyon parametreleri Tablo 7.5’de I_{corr} ve E_{corr} oranları verilmiştir. PDS eğrileri analizi, tüm kaplamalarda arayüzy/bi-metal bölgesinde potansiyelin arttığını ve akımın düzenli bir şekilde azaldığını göstermektedir. Bu durum, tüm kaplamalarda aktivasyon kontrollü bir korozyon mekanizmasının etkili olduğunu işaret etmektedir. Bu nedenle, korozyon eğilimini değerlendirmek için I_{corr} büyüklüklerini karşılaştırmak daha anlamlı olabilir. %3,5 H_2SO_4 (sülfürik asit) ve %3,5 NaCl çözeltileri altında yapılan çalışmada yüksek alaşımlı BDD alaşımının I_{corr} değeri ($4,43e-05 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$), sırasıyla düşük alaşımlı çelik, ara bölge/bi-metal ve yüksek alaşımlı BDD numunelere (322.0, $22.80e-6$ ve $4,43e-05 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$) oranla daha düşüktür. Bu I_{corr} değerindeki artış, kullanılan altlığın korozyon hızını arttırdığını göstermektedir. Ancak, değerlerin mikroamper seviyelerinde olması aralarında belirgin bir fark olmadığını göstermektedir.

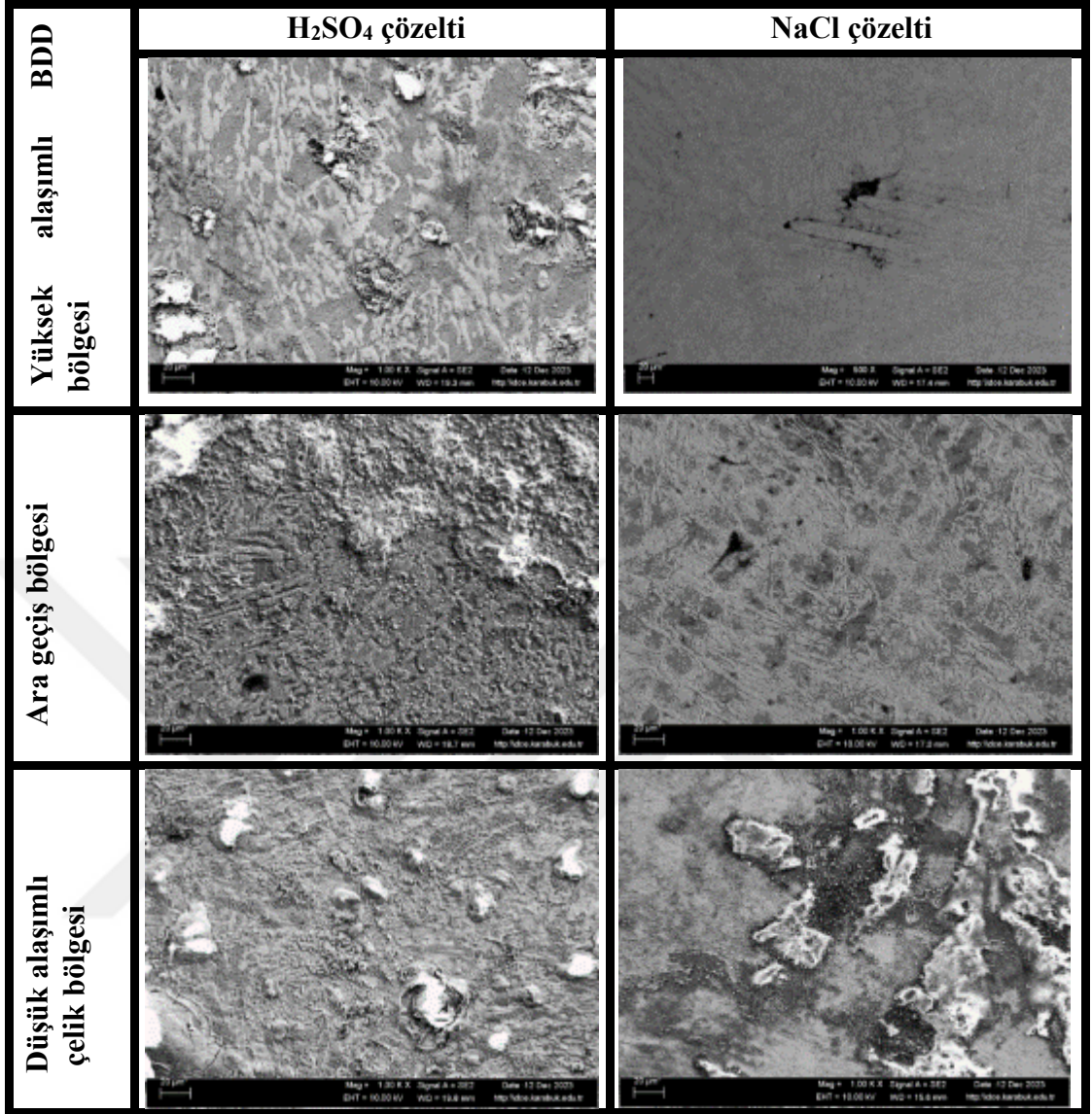
Tablo 7.5. Korozyon testi için I_{corr} ve E_{corr} oranları.

	Malzeme	Yüksek alaşımlı BDD	Ara bölge	Düşük alaşımlı çelik
%3,5	I_{corr} (A/cm^2)	4,43E-05	-426.0	$22.80e-6$
H_2SO_4	E_{corr} (mV)	-364	$52.50e-6$	-507.0
%3,5	I_{corr} (A/cm^2)	22.10	322.0	750.0
NaCl	E_{corr} (mV)	-269	-255	-232

Gözenekli yapısından kaynaklanan porozite, korozyon dayanımında beklenen artışın gözlenmemesine neden olabilir. Bu poroziteler, elektrolitin durgun kaldığı bölgelerdir ve zaman içinde bu porozitelerin iç kısımları değer oranlarının arttığı lokalize bölgeler haline gelebilmektedir. Taban malzemenin tüm numunelerde benzer koşullara maruz kalmasına rağmen, I_{corr} değerlerinin geniş bir dağılım göstermesi, korozyon hızının her bir bölge için farklı olduğunu göstermektedir. Bu durum,

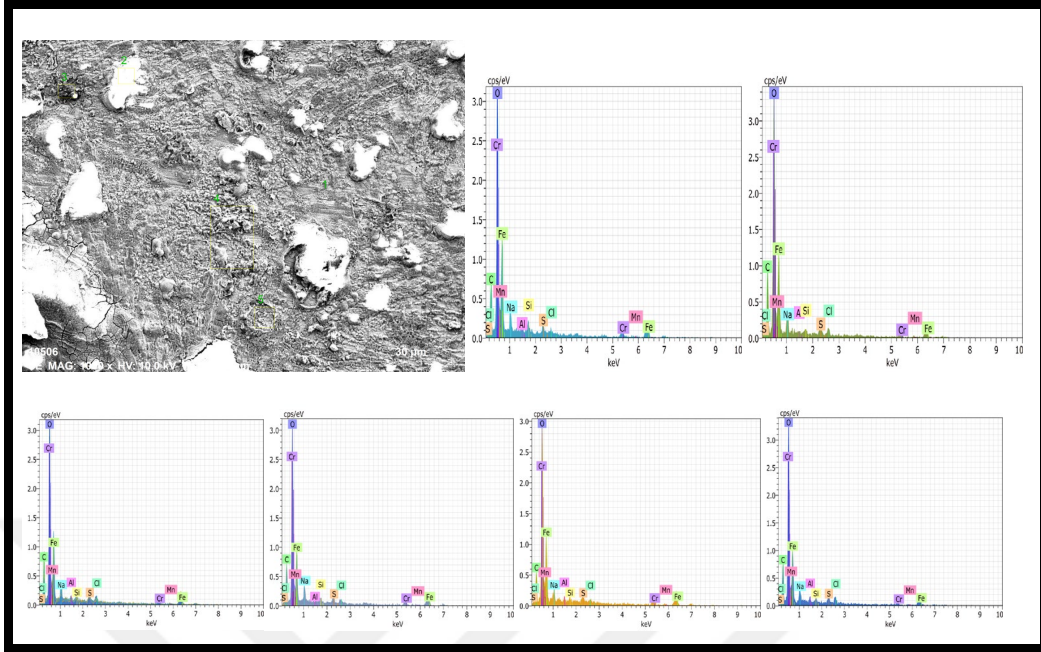
lokalize korozyon mekanizmasının belirgin bir özelliğidir. Benzer şekilde, tabloda gösterilen e_{corr} değerleri arasında da farklılıklar bulunmaktadır. [67-74].

Şekil 7.14'te %3,5 H_2SO_4 ve % 3.5 NaCl çözeltileri içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan numunelerin SEM yüzey görüntüleri verilmiştir. %3,5 H_2SO_4 çözeltisi ile korozyona uğramış bi-metal numunesinin SEM resmi incelendiğinde özellikle düşük alaşımlı çelik bölgesinin, ara yüzey bölgesi ve yüksek alaşımlı BDD bölgeye göre daha yüksek oranda korozyona uğradığı görülmektedir. Bu durum, Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de verilmiş olan optik mikroskop ve SEM resminde, XRD analizinde görüldüğü üzere, Bi-metal numunenin ferrit, perlit, semetit, kalıntı östenit, temperlenmiş martenzit, M_c ve Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, Fe_3C , Fe_7C_3 karbürleri gibi birbirinden farklı kimyasal yapıya sahip olmasının sonucudur. Çünkü farklı faz yapılarına sahip bölgelerin %3,5 H_2SO_4 çözeltisine karşı korozyon tepkileri farklı olacaktır.



Şekil 7.16. %3,5 H₂SO₄ ve %3,5 NaCl çözeltileri içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numunenin SEM yüzey görünümü.

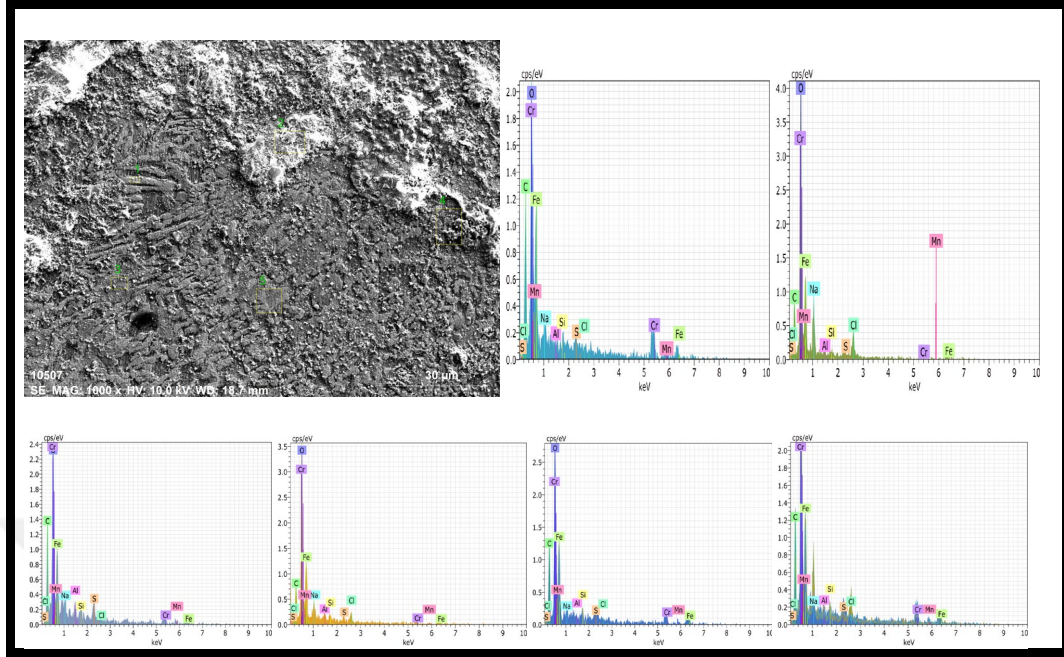
Düşük alaşımlı çelik bölge, ara yüzey/geçiş bölgesi ve yüksek alaşımlı BDD bölgelerinin %3,5 H₂SO₄ karşı korozyon tepkilerinden alınan EDS analizleri sırasıyla Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18’de verilmiştir. Şekil 7.16’deki çelik bölgesinde % 0.87 Cr, %18.46 Fe ve %3.5 C içermesi dolayısıyla Mc bölgesi olduğu düşünülen Sp₂ bölgesinde %18.77 civarında O₂ tespit edilmiş iken Sp₂ bölgesine göre nispeten daha az korozyona uğramış Sp₃ bölgesinde ise daha daha yüksek miktarda Cr içeriği ve daha yüksek oranda Fe ve daha düşük O₂ tespit edilmiştir. EDS analizlerinde Fe, Cr ve O₂ tespit edilmiş olması ise korozitif ürünlerin FeO ve CrO şeklinde meydana geldiği ileri sürülebilir.



Atom %	H	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	52.60	2.45	16.35	1.11	0.14	0.68	0.71	0.49	3.45	0.68	21.34
2	45.95	3.50	18.77	0.97	0.11	0.15	0.57	0.63	0.87	1.02	18.46
3	53.49	3.02	16.14	1.32	0.00	0.43	0.56	0.61	3.81	0.80	19.81
4	48.82	1.81	15.26	0.78	0.09	0.22	0.71	0.39	5.56	0.56	25.80
5	52.74	3.41	18.52	1.02	0.25	0.42	0.76	0.99	2.66	0.51	18.73

Şekil 7.17. %3.5 H₂SO₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune çelik bölgesi SEM ve Edax analizi

Şekil 7.17'deki ara yüzey/geçiş bölgesinde %0.27 Cr, % 7.99Fe ve % 3.76 C içermesi dolayısıyla MC bölgesi olduğu düşünülen Sp₁ bölgesinde %22.31 civarında O₂ tespit edilmiş iken Sp₁ bölgesine göre nispeten daha az korozyona uğramış Sp₅ bölgesinde ise daha daha yüksek miktarda Cr içeriği ve daha yüksek oranda Fe ve daha düşük O₂ tespit edilmiştir. Şekil 7.17 ve tablodaki veriler, bir bi-metal numunesinin H₂SO₄ çözeltisine maruz kaldıktan sonra yapılan elektrokimyasal korozyon testi sonuçlarını içermektedir. Beş farklı spektrum, çelik numunesinin çeşitli bölgelerini temsil etmekte olup, her bir spektrumun içerdiği elementel bileşim kütleli yüzdeliklerle ifade



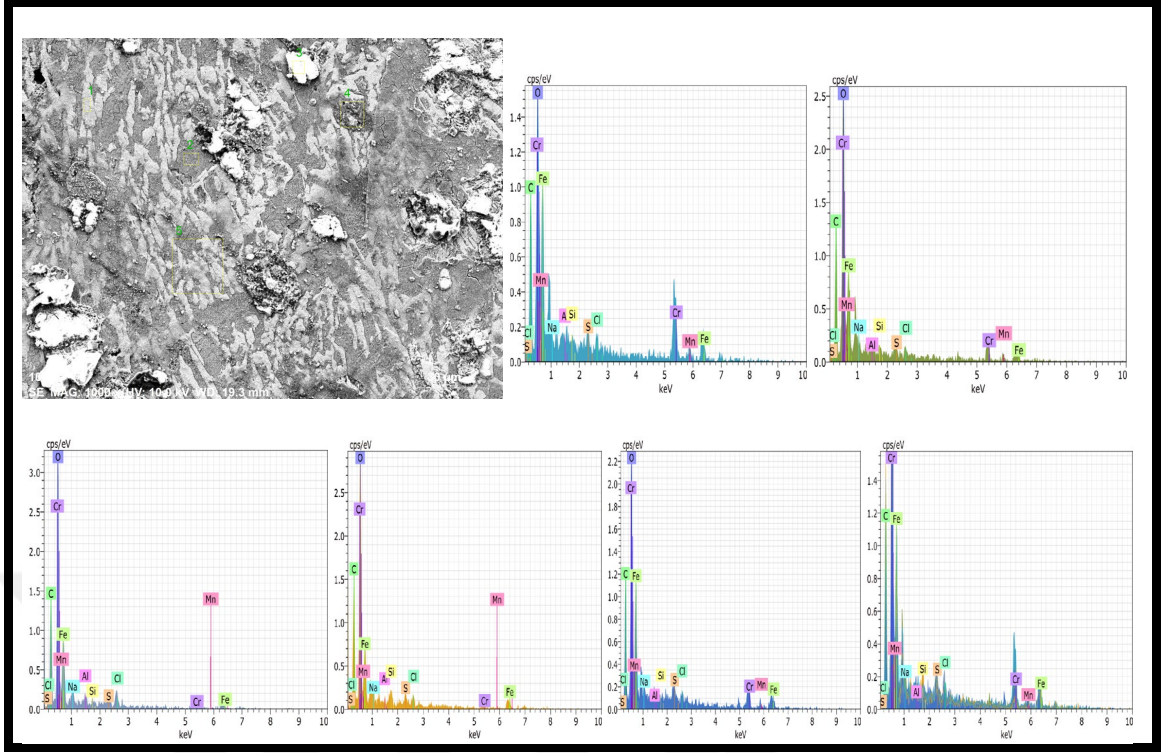
Atom %	H	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	56.54	4.57	8.33	0.74	0.05	0.12	0.61	0.11	17.33	1.72	9.88
2	57.84	3.76	22.31	3.69	0.25	0.30	0.08	3.52	0.27	0.00	7.99
3	55.55	6.23	11.99	1.19	0.75	0.87	1.79	0.25	7.69	3.08	10.61
4	61.04	2.80	19.43	1.66	0.57	0.62	0.83	1.63	2.98	2.43	6.01
5	55.27	4.58	11.88	0.35	0.13	0.60	0.84	0.17	11.00	2.35	12.84

Şekil 7.18. %3.5 H₂SO₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune ara yüzey geçiş bölgesi SEM ve Edax analizi

edilmiştir. Spectrum 1: Çelik numunesinin belirli bir bölgesi olarak düşünülen bu spektrum, özellikle %17.33 Cr ve %9.88 Fe içermektedir. Spectrum 2: Yüksek O₂ içeriği ile dikkat çeken bu spektrumda, Al, Si, ve Cl gibi elementlerin de belirgin oranlarda olduğu gözlemlenmiştir. Spectrum 3: Bu spektrumda yüksek Mn içeriği ön planda tutulurken, Cr ve Fe oranları da belirgin seviyededir. Spectrum 4: Düşük C ve Fe içeriğine sahip bu spektrum, özellikle %61.04 H içermektedir. Spectrum 5: Yüksek Fe ve Mn içeriği ile öne çıkan bu spektrumda, Cl ve Cr de belirgin oranlarda bulunmaktadır. Ortalama değerler, tüm spektrumların kombine edilmiş hali olarak

düşünülebilir. Özellikle ortalama %57.25 H, %14.79 O, %7.85 Cr, ve %9.47 Fe içermektedir. Standart sapmalar, ölçümlerin dağılımını gösterirken, ortalama değerlerin standart sapması, ölçümlerin ortalamasının güvenilirliğini ifade eder. Bu verilere dayanarak, elektrokimyasal korozyon testi sonrasında çelik numunesinin farklı bölgelerindeki kimyasal bileşimin çeşitliliği ve H₂SO₄ çözeltisinin bu bölgeler üzerindeki etkileri analiz edilmektedir.

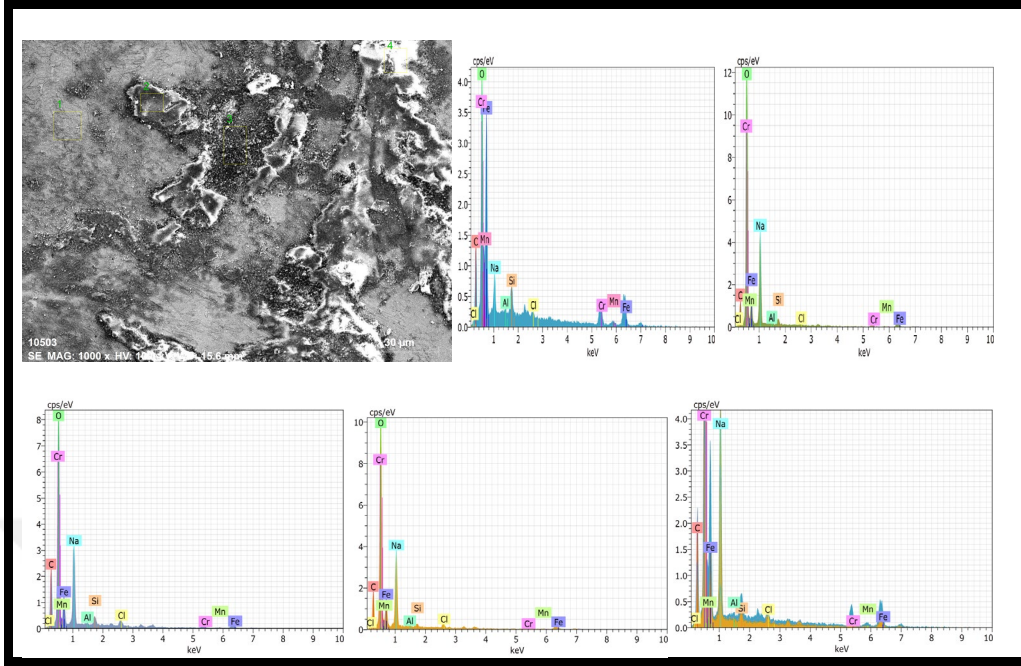
Şekil 7.18'daki yüksek alaşımlı BDD bölgesinde %22.61 Cr, % 21.36 Fe ve % 4.04 C içermesi dolayısıyla MC bölgesi olduğu düşünülen Sp₁ bölgesinde %5.07 civarında O₂ tespit edilmiş iken Sp₁ bölgesine göre nispeten daha fazla korozyona uğramış Sp₅ bölgesinde ise daha düşük miktarda Cr içeriği ve daha düşük oranda Fe ve daha yüksek O₂ tespit edilmiştir. Bölgelerinin EDS analizleri, bu bölgelerin (Sp₁, Sp₂,Sp₃,Sp₄, ve Sp₅) elementel içeriğini detaylı bir şekilde göstermektedir. Şekil 7.18 ve tablo yüksek alaşımlı BDD bölgesinin H₂SO₄ çözeltisine maruz kaldıktan sonraki korozyon analizini temsil etmektedir. Beş farklı spektrum (1-5), çelik numunesinin çeşitli bölgelerini yansıtmaktadır ve her bir spektrumun içerdiği elementel bileşim kütsel yüzdeliklerle ifade edilmiştir. Spectrum 1: Bu spektrumda öne çıkan özellikler arasında yüksek Fe ve Cr içeriği bulunmaktadır, özellikle %22.61 Fe ve % 21.36 Cr içermektedir. Spectrum 2: Yine yüksek Fe ve Cr içeriği gözlemlenirken, O, Na ve Al gibi diğer elementler de belirgin oranlarda bulunmaktadır. %18.71 Cr içermektedir. Spectrum 3: Yüksek C ve O içeriği ile dikkat çeken bu spektrum, diğer spektrumlara göre düşük Fe ve Cr içeriği ile karakterize edilmiştir. %60.84 C ve %19.63 O içermektedir. Spectrum 4: Bu spektrumda da belirgin bir Fe içeriği gözlemlenirken, Si, S ve Mn gibi diğer elementler de bulunmaktadır. %18.33 Fe içermektedir. Spectrum 5: Yüksek Fe ve Cr içeriğine ek olarak, Cl, Mn ve Si gibi elementler de belirgin oranlarda bulunmaktadır. %19.55 Fe içermektedir. Ortalama değerler, tüm spektrumların kombine edilmiş hali olarak düşünülebilir. Özellikle ortalama %50.14 Fe, %13.13 O ve %17.22 Cr içermektedir. Standart sapmalar, ölçümlerin dağılımını gösterirken, ortalama değerlerin standart sapması, ölçümlerin ortalamasının güvenilirliğini ifade eder.



Atom %	H	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	42.60	4.04	5.07	0.26	0.00	0.21	0.51	0.56	22.61	2.78	21.36
2	46.29	5.95	13.33	0.60	0.00	0.36	0.55	0.69	10.52	3.00	18.71
3	60.84	7.08	19.63	0.76	0.46	0.42	0.31	1.80	0.58	0.00	8.13
4	51.87	7.90	17.04	0.63	0.17	0.93	0.83	0.91	1.38	0.00	18.33
5	49.09	5.09	10.58	0.44	0.00	0.00	1.13	0.81	11.44	1.87	19.55

Şekil 7.19. %3.5 H₂SO₄ çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune yüksek alaşımlı BDD bölgesi SEM ve Edax analizi

Düşük alaşımlı çelik bölge, ara yüzey/geçiş bölgesi ve yüksek alaşımlı BDD bölgelerinin %3,5 HCl karşı korozyon tepkilerinden alınan EDS analizleri sırasıyla Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de verilmiştir. Şekil 7.20.’den görüleceği gibi bi-metal numunesinin çelik bölgesinin NaCl çözeltisine maruz kaldıktan sonraki korozyon analizini yansıtmaktadır. Dört farklı spektrum (1-4), çelik numunesinin çeşitli bölgelerini temsil etmekte olup, her bir spektrumun içerdiği elementel bileşim kütleisel yüzdeliklerle ifade edilmiştir.



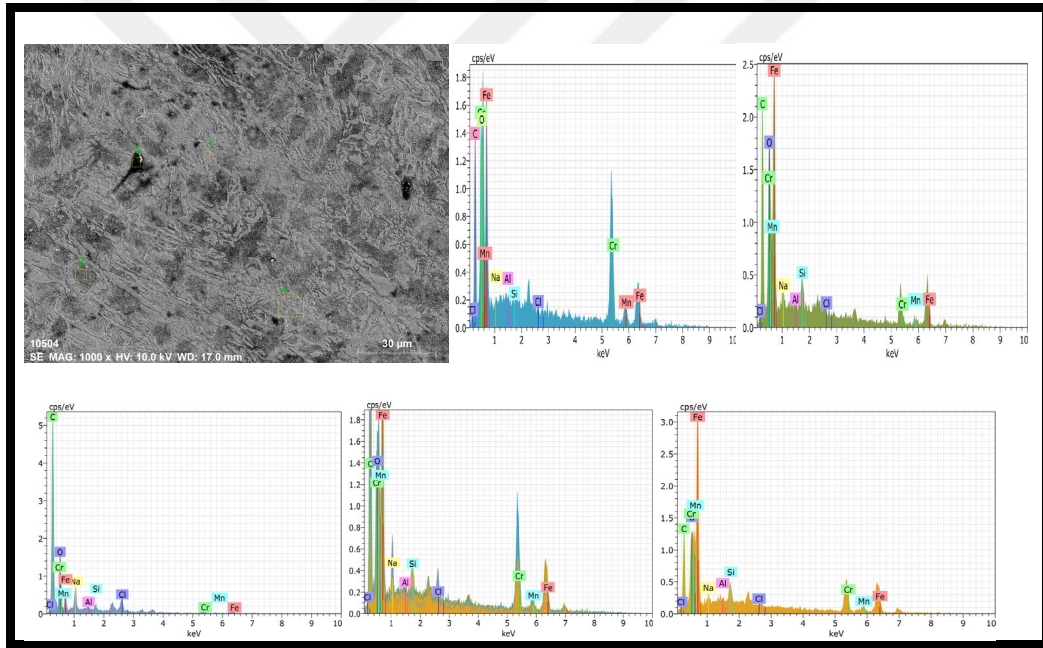
Atom %	C	O	Na	Al	Si	Cl	Cr	Mn	Fe
1	11.26	20.66	3.19	0.12	2.25	0.46	14.78	1.13	46.14
2	8.38	52.75	15.69	0.00	1.15	0.34	2.20	0.51	18.98
3	18.41	47.27	12.61	0.13	1.57	1.63	3.23	0.67	14.50
4	13.22	49.58	13.68	0.12	0.62	0.92	0.24	0.65	20.96

Şekil 7.20. %3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune çelik bölgesi SEM ve Edax analizi

Spectrum 1: Bu spektrumda öne çıkan özellikler arasında yüksek Fe içeriği (46.14%) ve O içeriği (20.66%) bulunmaktadır. Spectrum 2: Yüksek O (52.75%) içeriğine ek olarak, C, Na, ve Fe içeriği belirgin olarak gözlemlenmektedir. Spectrum 3: Bu spektrumda, C, O, ve Fe içeriği öne çıkmakta olup, Mn ve Cr de belirgin oranlarda bulunmaktadır. Spectrum 4: Yüksek Fe içeriğine ek olarak, O, Na ve Si içeriği belirgin olarak gözlemlenmektedir. Ortalama değerler, tüm spektrumların kombine edilmiş hali olarak düşünülebilir. Özellikle ortalama %12.82 C, %42.57 O, ve %25.14 Fe içermektedir. Standart sapmalar, ölçümlerin dağılımını gösterirken,

ortalama değerlerin standart sapması, ölçümlerin ortalamasının güvenilirliğini ifade eder. Bu analiz, bi-metal numunesinin çelik bölgesinin NaCl çözeltisi altında korozyona uğramış bölgelerindeki kimyasal bileşimi inceleyerek, korozyon direncini değerlendirmekte ve elementel içeriği ortaya koymaktadır.

Şekil 7.21'deki ara yüzey/geçiş bölgesinde %46.65 Cr, % 33.28Fe ve % 13.66 C içermesi dolayısıyla MC bölgesi olduğu düşünülen Sp₁ bölgesinde %2.64 civarında O₂ tespit edilmiş iken Sp₁ bölgesine göre nispeten daha az korozyona uğramış Sp₄ bölgesinde ise daha az miktarda Cr içeriği ve daha yüksek oranda Fe ve Sp₁ bölgesiyle yaklaşık aynı oranda O₂ tespit edilmiştir.



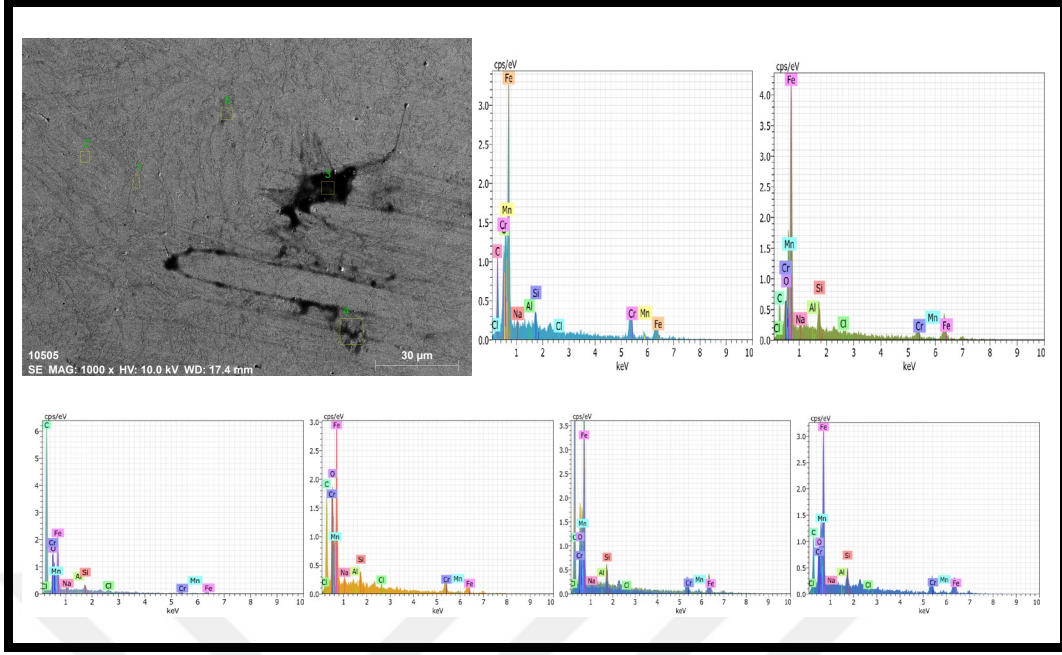
Atom %	C	O	Na	Al	Si	Cl	Cr	Mn	Fe
1	13.66	2.64	0.33	0.05	0.00	0.13	46.65	3.27	33.28
2	22.10	10.13	1.23	0.22	1.79	0.27	13.65	2.10	48.5
3	58.47	21.39	3.37	0.42	0.91	3.39	2.68	0.13	9.25
4	13.64	4.88	0.90	0.16	1.70	0.01	21.63	2.98	54.10

Şekil 7.21. %3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune arayüzey geçiş bölgesi SEM ve Edax analizi

Şekil 7.21'deki analiz, bi-metal numunesinin ara geçiş bölgesinin NaCl çözeltisine maruz kaldıktan sonraki korozyon durumunu yansıtmaktadır. Dört farklı spektrum

(1-4), numunenin çeşitli bölgelerini temsil etmektedir ve her bir spektrumun içerdiği elementel bileşim kütleli yüzdeliklerle ifade edilmiştir. Spectrum 1: Bu spektrumda öne çıkan özellikler arasında yüksek Cr (46.65%) ve Fe (33.28%) içeriği bulunmaktadır. Spectrum 2: Yüksek Fe ve Cr içeriği göze çarpmakta olup, O, Na ve Si gibi diğer elementler de belirgin oranlarda bulunmaktadır. Spectrum 3: Bu spektrumda, C, O ve Fe içeriği öne çıkmakta, yüksek C (58.47%) ve O (21.39%) içeriği dikkat çekmektedir. Spectrum 4: Yüksek Cr ve Fe içeriğine ek olarak C, O ve Si içeriği de belirgin olarak gözlemlenmektedir. Ortalama değerler tüm spektrumların kombine edilmiş hali olarak düşünülebilir. Özellikle ortalama %26.96 C, %9.76 O, ve %36.28 Fe içermektedir. Standart sapmalar ölçümlerin dağılımını gösterirken, ortalama değerlerin standart sapması ölçümlerin ortalamasının güvenilirliğini ifade eder. Bu analiz bi-metal numunesinin ara geçiş bölgesinin NaCl çözeltisi altında korozyona uğramış bölgelerindeki kimyasal bileşimi inceleyerek korozyon direncini değerlendirmekte ve elementel içeriği ortaya koymaktadır. Bi-Metal Ara Geçiş Bölgesi Çeşitli spektrumlar arasında farklı elementel bileşimler gözlemlenmiştir. Ortalama değerler, C, O, Fe, ve Cr içeriğinin önemli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, korozyon direnci çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Farklı numunelerdeki kimyasal bileşim farklılıkları, korozyon direncinde belirleyici rol oynamaktadır. Çatlak korozyon mekanizması ve galvanik korozyon etkileri, numunelerin özelliklerini etkileyerek korozyon direncini artırmak veya azaltmak üzerinde etkili olmaktadır.[75].

Şekil 7.22'deki yüksek alaşımlı BDD bölgesinde %26.27 Cr, % 43.18 Fe ve % 18.34 C içermesi dolayısıyla MC bölgesi olduğu düşünülen Sp₁ bölgesinde %5.65 civarında O₂ tespit edilmiş iken Sp₁ bölgesine göre nispeten daha fazla korozyona uğramış Sp₃ ve Sp₄ bölgelerinde ise daha düşük miktarda Cr içeriği ve daha düşük oranda Fe ve daha yüksek O₂ tespit edilmiştir.



Atom %	C	O	Na	Al	Si	Cl	Cr	Mn	Fe
1	18.34	5.65	1.26	0.34	2.13	0.00	26.27	2.83	43.18
2	12.72	0.00	1.74	0.47	5.14	0.34	14.03	0.00	65.56
3	62.92	20.67	0.69	0.00	1.48	0.53	3.85	0.21	9.65
4	28.66	19.82	1.18	0.15	2.15	0.46	16.10	0.98	30.52
5	19.11	2.45	0.79	0.06	2.87	0.00	18.71	1.43	54.58

Şekil 7.22.%3.5 NaCl çözeltisi içinde elektrokimyasal korozyon testine maruz bırakılan bi-metal numune yüksek alaşımlı BDD bölgesi SEM ve Edax analizi

Şekil 7.22' i incelediğimizde, bi-metal numunesinin yüksek alaşımlı BDD bölgesinin NaCl çözeltisi altında korozyona uğramış bölgelerindeki kimyasal bileşimi inceleyerek, korozyon direncini değerlendirmekte ve elementel içeriği ortaya koymaktadır. Spectrum 1:Yüksek Cr (26.27%) ve Fe (43.18%) içeriği gözlemlenmiştir.C, O, ve Si gibi diğer elementler de belirgin oranlarda bulunmaktadır.Spectrum 2:Belirgin bir Cr (14.03%) ve Fe (65.56%) baskınlığı gözlemlenmiştir.Diğer elementlerin çoğu düşük oranlarda bulunmaktadır.Spectrum 3:Yüksek C (62.92%) ve O (20.67%) içeriği dikkat çekmektedir.Cr ve Fe düşük miktarlarda tespit edilmiştir.Spectrum 4:Belirgin Cr (16.10%) ve Fe (30.52%) içeriği bulunmaktadır.C, O, ve Si de belirgin oranlarda gözlemlenmiştir.Spectrum 5:Fe

(54.58%) baskın bir içeriğe sahiptir.C, O, Si gibi diğer elementler de belirgin oranlarda bulunmaktadır.Ortalama Değerler:Ortalama %28.35 C, %9.72 O, ve %40.70 Fe içermektedir.Standart sapmalar, ölçümlerin dağılımını göstermekte ve ortalama değerlerin güvenilirliğini ifade etmektedir.Bu analiz, bi-metal numunesinin yüksek alaşımlı beyaz dökme demir bölgesinin NaCl çözeltisi altında korozyona uğramış bölgelerindeki kimyasal bileşimi inceleyerek, korozyon direncini değerlendirmekte ve elementel içeriği ortaya koymaktadır. Dökme alaşımların yapısal analizi, SEM görüntüleme ve EDX analizleri temelinde şu sonuçları ortaya koymaktadır



BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Bu tez Bi-metal malzeme üretimi, korozyon davranışı ve karakterizasyonu üzerine bir dizi önemli sonuç ortaya koymaktadır. Anahtar sözcükler olan Bi-metal, aşınma, korozyon sertlik, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve X-ışını karakterizasyonu alanlarında elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

- Kullanılan flaks tozları iki farklı malzemenin bağ yapısına önemli bir katkı sağlayarak iki farklı malzemenin birleşmesini sağladığı, mikroyapıdan tespit edilmiştir.
- İki kademeli döküm yöntemiyle bi-metal kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulanmış bi-metal-numunenin mikroyası, düşük alaşımlı çelik bölgesi ise ferrit ve perlit fazlarından Fe_7C_3 , Cr_7C_3 karbürlerden; ara geçiş bölgesi ve yüksek kromlu dökme demir bölgesinin yüksek krom içeren $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 karbürle mikroyapısı ve ötektik karbürlerden oluşmaktadır.
- Bi-metal kompozit malzemenin sertlik değerleri bölgelere göre değişkenlik göstermektedir. Sertlik değişimi sırasıyla; düşük alaşımlı çelik bölge 23 HRC, ara geçiş bölgesi 36 HRC ve yüksek alaşımlı BDD bölge ise 52HRC dir.
- Seramik ve Çelik her iki bilye ile yapılan aşınma testleri için uygulanan yüke ve kayma mesafesine göre aşınma kaybının değiştiği, aşınma kaybının 600m kayma mesafesinde en yüksek degree ulaştığı tespit edilmiştir.
- Bi-metal malzemenin korozyon testlerinden %3.5 H_2SO_4 çözeltisinin %3.5 NaCl çözeltisine göre daha yüksek tahribata uğrattığı tespit edilmiştir. %3.5 H_2SO_4 çözeltisi yapılnn deneyde korozyon morfolojisi deışkenlik gösterirken, %3.5 NaCl çözltisinde ise hasar daha düzenlidir.
- Sıvı-sıvı bimetal kompozit döküm teknolojisi, düşük alaşımlı çelik ile yüksek kromlu beyaz dökme demirin birleşiminden oluşan kompozit katmanın

retimine dayanmaktadır. Bu inovatif teknoloji, metalurjik kombinasyon ve kafanın mamındaki mukavemet kaynağı sonrasında oldukça etkili bir Şekilde uygulanmıştır. Pratik kullanımda kırılma olaylarına rastlanmamıştır.

- Yüksek karbonlu, yüksek kromlu dökme demir ve standart yüksek kromlu dökme demirle karşılaştırıldığında, bu yeni eki kafası malzemesi belirgin avantajlar sağlayabilir. Düşük alaşımlı elik ve yüksek kromlu dökme demirin kombinasyonu, eki kafasının dayanıklılığını artırabilir ve kırılma direncini geliştirebilir. Sonuç olarak, geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında daha dayanıklı bir eki kafası elde edilebilir.



KAYNAKLAR

1. Studnicki, S., Kilarski, J. Przybyl, M., Suchon,J.,Bartocha, D., “Wear resistance of chromium cast iron-research and application”, JAMME, 16(1-2).63-73 (2006).
2. Jung, Jae-Young., “Bimetallic casting wear-resistant materials”, Metallic Materials and Coating Process Research Team, Pohang, Korea Research Institute of Industrial Science And Technology (2000).
3. Marukovich, E.I., Branovitsky, A.M., Young-Sang N., Lee, J-H., Choi, K-Y., “Study on the possibility of continuous-casting of bimetallic components in condition of direct connection of metals in a liquid state”, Materials and Design, 27,1016-1026 (2006) .
4. Heijkoop T., and Sare I.R., “Cast-bonding- a new process for manufacturing composite wear products”, Cast Metals, 2(3),160-168 (1989).
5. Arnold, B.K., Heijkoop, T.,Lloyd P. G., Rubenis,G., and Sare, I.R., “Wear of cast-bonded components in a coal pulveriser mill”, Wear, 203-204, 663-670 (1997).
6. Viala, J.C., Peronnet,M., Barbeau, F., Bosselet,F., Bouix, J., “Interface chemistry in aluminium alloy castings reinforced with iron base inserts” Journal of Composites (2002).
7. Vamsi Krishna, B.,Venugopal,P., Prasad Rao,K., “Analysis of deformation during simultaneous plastic deformation of dissimilar powder metallurgical preforms” Journal of Powder Technology, 142-148 (2004).
8. Davis J.R., Classification and basic metalurgy of cast irons –ASM speciality handbook, ASM international, materials park, OH.pp.3-15 (1996).
9. Song, X. Wang, J. Li, Y., “High-Chromium White Irons: A Critical Review” Journal of Materials Science & Technology (2016).
10. Zhongli L., Xiang C., Yanxiang L., and Kaihua H. Effect of Chromium on Microstructure and Properties of High Boron White Cast Iron. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International (2008).
11. Tabrett, C. P. and Sare I. R, J. Mater. Sci., 35, 2069–2077 (2000).
12. Çetin, M.,_Karabük Pikinden Küresel Grafitli Dökme Demir Üretiminde Etkili Parametreler, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Ankara (1998).

13. Mahlami, C., Pan, X., Mechanical properties and microstructure evaluation of manganese steel alloys with vanadium, Andhra Pradesh Volume 1859, Issue 1,
14. India (2017).
15. Çetin, M., Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışlarının geliştirilmesi, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara (2005).
16. Honeycombe, R.W.K., Steels Microstructure and Properties, Metallurgy ad Materials Science Series ,Edward Arnold, London (1992).
17. Er, Y., Çelik malzemelerin aşınma ve korozyon dayanımını arttırmak için çeşitli kimyasal kaplamaların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul (2005).
18. Atabaki, M. M., Jafari, S., Abdollah-Pour, H., abrasive wear behavior of high chromium cast iron and hadfield steel- A comparison, Journal of Iron And Steel Research, International, 19(4), 43-50 (2012).
19. Andrew Ruble, Hardenability of Steel: the Jominy Test, http://www.materialseducation.org/educators/matedumodules/docs/Hardenability_of_Steel.pdf
20. Sertlik Deneyi Föyü Samsun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölü
21. Xiong, B., Caia, C., Lub, B., Effect of volume ratio of liquid to solid on the interfacial microstructure and mechanical properties of high chromium cast iron and medium carbon steel bimetal, Journal of Alloys and Compounds 509, 6700–6704 (2011).
22. Liyu Chen, a Hao-Fan Wang, a Caixia Li a and Qiang Xu. Chem. Sci. Bimetallic metal–organic frameworks and their derivatives (2020).
23. Çalıkoğlu, E., Çetin, M., "Döküm Tekniğiyle Bi-Metal (Yüksek-Cr Dökme Demir-Düşük Alaşımlı Çelik) Kırıcı Çekiç Üretiminin Araştırılması", V. Demir-Çelik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası , Türkiye (2011).
24. Ölmez, E., Çetin, M., "Production of Bi-Metal Material", IISS'12, International Iron Steel Symposium (2012).
25. Çetin, M., Çalıkoğlu, E., "Production of Bi-metal Material Step-casting Technique", IATS'11, 6th International Advanced Technologies Symposium (2011).

26. Çetin, M., Al-Mekhlafi, O.H.S.S. (2023) "Bİ-metal composite production and investigation of its properties", 4th. International Turkish World Engineering and Science Congress (ITWESC-2023), (pp. 232-241), Antalya, Türkiye (2023).
27. Yu-Duan , Y., Yu, Z-Y., Yang,L., Zheng, L-R ., Zhang, C-T., Yang, X-T., Gao, F-Y., Zhang, X.-L., Yu, X., Liu, R., Ding, H-H., Gu, C., Zheng, X-S., Shi, L., Jiang, J., Zhu, J-F., Gao, M-R., ., Yu, S-H, Bimeallic nickel-molybdenum/tungsten nanoalloys for high-efficiency hydrogen oxidation catalysis in alkaline electrolytes, *Nature Communications*, 11, 4789 (2020).
28. Rzepka, G. Nawrocki, J., Sieniawski, J., Manufacture of two-layer castings using Fe base heat-resistant alloys, *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 42, No. 1-4,31-41 (2018).
29. Yang, P., Rong, S., Zhao , X., Zhu, Y., Wu, Y., Li, X., New type of bimetal composite casting and welding connection square hammer, *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering* 153-157 (2015).
30. Li, Y., Li, Y., Han, P., Wang, S., Jiang, Z., Wang, X., Analysis of high-Cr cast iron/low carbon steel wear-resistant laminated composite plate prepared by hot-rolled symmetrical billet, *CMES*, 117(1),109-123, doi: 10.31614/cmes.2018.04077 (2018).
31. Çetinkaya, Ç., Yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin Al₂O₃ ile aşınma davranışlarının incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar, Ankara (2003).
32. Zhang, W., Xue, X., Bai,H., Mechanical and electrical properties of Cu-Steel bimetallic porous composite with a double-helix entangled structure, *Composite Structures*, 255, 112886 (2021).
33. Zhao, K.N., Xu, D.X., Li, H.X., Zhang, J.S., Chen, D.L., Microstructure and mechanical properties of mg/mg bimetal composites fabricated by hot-pressing diffusion and co-extrusion. *Materials Science and Engineering: A*, 764, 138194 (2019).
34. Nagata, F. , Inoue, K., Shinoda, K.,Suzuki, S., "Characterization of formation and oxidation of green rust (Cl) suspension", *ISIJ International*, 49(11): 1730–1735. (2009).
35. Sallam H E M, El-Aziz K A, El-Raouf H A, Failure analysis and flexural behavior of high chromium white cast iron and AISI4140 steel bimetal beams. *Materials and Design*, 52: 974-980 (2013).
36. Zhang, K., Wen, M., Meng, Q. N., Hu, C. Q., Li, X., Liu, C., & Zheng, W. T., Effects of substrate bias voltage on the microstructure, mechanical properties

and tribological behavior of reactive sputtered niobium carbide films. *Surface and Coatings Technology*, 212, 185-191 (2012).

37. Hussein, M.A., Mohammed, A. S., and Al-Aqeeli, N., Wear characteristics of metallic biomaterials: a review. *Materials*, 8(5), 2749-2768, (2015).
38. Corăbieru, P., Corăbieru, A., Dragoş Vasilescu, D., Economical aspects and management of the industrial application of bimetallic bushings, *Fascicle of Management and Technological Engineering*, volume VII (XVII), 2029-2033, (2008).
39. Landolt, Dieter. *Corrosion and surface chemistry of metals*. CRC press, (2007).
40. Günen, A., & Çürük, A. Properties and High-Temperature Wear Behavior of Remelted NiCrBSi Coatings. *JOM*, 72(2), 673-683 (2020).
41. Revie, R. W., & Uhlig, H. H., *Corrosion and corrosion control : an introduction to corrosion science and engineering* (4th ed.). J. Wiley. (2008).
42. Nagata, F. , Inoue, K., Shinoda, K., & Suzuki, S., Characterization of Formation and Oxidation of Green Rust (Cl^-) Suspension, *ISIJ International*, 49, 1730–1735. (2009).
43. Davis, J. R., *Corrosion : Understanding the Basics*, A S M International, ProQuest Ebook Central. (2000).
44. Wang, H., Yu, S.F., Khan, A.R., Huang, A.G., Effects of vanadium on microstructure and wear resistance of high chromium cast iron hardfacing layer by electroslag surfacing, *Metals* , 8(6), 458; (2018).
45. Roberge P.R. , *Handbook of Corrosion Engineering*, Second Edition, The McGraw-Hill Companies, USA. (2012).
46. Evans, U.R. *An Introduction to Metallic Corrosion*, 2nd ed. London: Arnold (1972).
47. Günen, A., Keddām, M., Alkan, S., Erdoğan, A., & Çetin, M. Microstructural characterization, boriding kinetics and tribo-wear behavior of borided Fe-based A286 superalloy. *Materials Characterization*, 186, 111778. (2022).
48. Fischer, A., & Bobzin, K. (Eds.). *Friction, wear and wear protection* (Vol. 10). John Wiley & Sons. (2009).

49. Mandhyan, A.Kr., Corrosion of metals and its prevention, Industrial Corrosion:Evaluation and Mitigation, 19-47 (2007).
50. Cholewa, M., Wróbel, T., Tenerowicz, S., Bimetallic layer castings, Journal of Achiment in Materials and Manufacturin Engineering, 43(1), 385-391, (2010).
51. Li, S. X., Li, L., Yu, S. R., Akid, R., and Xia, H. B., “Investigation of Intergranular Corrosion of 316L Stainless Steel Diffusion Bonded Joint by Electrochemical Potentiokinetic Reactivation,” Corros. Sci., 53(1), pp. 99–104.(2011).
52. Alp, T., Wazzan, A. A., Microstructure–Property Relationships In Cast Irons.pp.165-171(2005)
53. Wellinger, K., Uetz, H. A., Critical analysis of erosion problems. Gleit- und Strahlverschlei, Buntersuchungen. Kiew, 18.H (1959).
54. Günen, A., Soylu, B., & KarakaÇ, Ö. Titanium carbide coating to improve surface characteristic, wear and corrosion resistance of spheroidal graphite cast irons. Surface and Coatings Technology, 437, 128280 (2022).
55. Şap, E., Güçlendirilmiş bakır esaslı kompozit malzemelerin mikroyapı ve sertlik özellikleri, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1): 590-598, 565-567 (2021).
56. Bentur, A., Berke, N., & Diamond, S. Steel corrosion in concrete : Fundamentals and civil engineering practice. ProQuest Ebook Central. (2011)
57. Uzun, M., Münis M.M., Usca Ü.A., Farklı oranlarda CrC partikül takviyesi kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Cu matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2): 495-501(201) (2018).
58. Zhang, K., Wen, M., Meng, Q. N., Hu, C. Q., Li, X., Liu, C., & Zheng, W. T. Effects of substrate bias voltage on the microstructure, mechanical properties and tribological behavior of reactive sputtered niobium carbide films. Surface and Coatings Technology, 212, 185-191(2012).
59. Günen, A., & Çürük, A. Properties and High-Temperature Wear Behavior of Remelted NiCrBSi Coatings. JOM, 72(2), 673-683 (2020).
60. Açıkgoz, H.H., AISI D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyinde niyobyum karbür kaplamalarının oluşturulabilirliği, aşınma ve korozyon davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği

Anabilim Dalı İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,103-104 (2023).

61. El-Aziz, K. A., and Saber, D., “Mechanical and microstructure characteristics of heat-treated of high-Cr WI and AISI4140 steel bimetal beams,” J. Mater. Res. Technol., **9**(4), pp. 7926–7936,(2020).
62. Jung, J-Y., “Bimetallic casting wear-resistant materials”, Metallic Materials and Coating Process Research Team, Pohang, Korea Research Institute of Industrial Science And Technology.
63. Pan, Y. N., Chang, W. S., and Chang, R. M., “Optimal heat treatment conditions and properties of bimetal (high Cr cast iron/alloyed steel) hammers,” Int. J. Cast Met. Res., **21**(1–4), 71–75, (2008).
64. Marimuthu, V., Kannoorpatti, K., Corrosion behaviour of high-chromium white iron hardfacing alloys in an alkaline solution, J Bio Tribo Corros, **2**:26,1-14 (2016).
65. Zaki, A., Principles of corrosion engineering and corrosion control. Elsevier, (2006).
66. Döleker, K. M., Erdogan, A., Yener, T., Karaoglanlı, A. C., Uzun, O., Gök, M. S., & Zeytin, S. Enhancing the wear and oxidation behaviors of the Inconel 718 by low temperature aluminizing. Surface and Coatings Technology, **412**, 127069. (2021).
67. Wallaert, E., Depover, T., Arafın, M., & Verbeken, K. Thermal desorption spectroscopy evaluation of the hydrogen-trapping capacity of NbC and NbN precipitates. Metallurgical and Materials Transactions A, **45**(5), 2412-2420. (2014).
68. Hüdayım Başak. Haddeme (Galetaj) ile 5083 Al-Mg malzeme yüzeyinin işlenmesi, haddeme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine etkilerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü.,473-475 (2015).
69. Günen, A., & Çürük, A., Properties and High-Temperature Wear Behavior of Remelted NiCrBSi Coatings. JOM, **72**(2), 673-683. (2020).
70. Ahlatçı, H., Yargül, G., Çuğ, H., Çevik, E., Yaşın, S., Sun, Y., Corrosion and wear behaviour of boronized high carbon and chromium cast steel, ISIL International, **53**(5), 887-892, (2013).

71. Srikanth, M., Annamalai, A. R. Muthuchamy, A., & Jen, C. P. A Review of the Latest Developments in the Field of Refractory High-Entropy Alloys. *Crystals*, 11(6), 612. (2021).
72. Berger, D.M., Corrosion Theory, Gilbert / Commonwealth companies, p. 308(1990)
73. Ejaz, A., Lu, Z., Chen, J., Xiao, Q., Ru, X., Han, G., & Shoji, T. The effects of hydrogen on anodic dissolution and passivation of iron in alkaline solutions. *Corrosion Science*, 101, 165-181. (2015).
74. Campos, I., Rosas, R., Figueroa, U., VillaVelázquez, C., Meneses, A., & Guevara, A. Fracture toughness evaluation using Palmqvist crack models on AISI 1045 borided steels. *Materials Science and Engineering: A*, 488(1-2), 562-568. (2008).
75. Wallaert, E., Depover, T., Arafin, M., & Verbeken, K. Thermal desorption spectroscopy evaluation of the hydrogen-trapping capacity of NbC and NbN precipitates. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45(5), 2412-2420 (2014).
76. Ejaz, A., Lu, Z., Chen, J., Xiao, Q., Ru, X., Han, G., & Shoji, T. The effects of hydrogen on anodic dissolution and passivation of iron in alkaline solutions. *Corrosion Science*, 101, 165-181. (2015).
77. EDAX/EDS (enerji dağılımlı spektroskopi) analizi
<https://drbenyamin.com/dr/edax-eds/>

ÖZGEÇMİŞ

Obaid AL-MEKHLAFİ 2017 yılında imalat mühendisliği Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bölümü'ne lisans okumaya başladım ve 2021 yılında mezun oldum mezun olduktan sonra. 2021 yılında başlamış olduğum yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı altında sürdürmektedir Halen bu bölümde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2021 yılında yüksek lisans bartın üniversitesi girişimcilik bölümüne girdim 2023 yılinda mezun oldum. Uluslararası ilişkiler diplomasına sahiptir.