

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVOF YÖNTEMİ İLE NiCr-WC-Co ESASLI KARIŞIM
TOZLARIN AISI 304L ÇELİK YÜZEYLERİNE
KAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza KIŞLALI

Enstitü Anabilim Dalı

**: METALURJİ ve MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK

Ocak 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVOF YÖNTEMİ İLE NiCr-WC-Co ESASLI KARIŞIM
TOZLARIN AISI 304L ÇELİK YÜZEYLERİNE
KAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hamza KIŞLALI

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 11.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile
kabul edilmiştir.**

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hamza KIŞLALI

11.01.2022

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında yol gösteren ve desteğini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK’e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli patronum, iş adamı Sayın Tansel Cavit KULAK’a, çalışmam boyunca elinden gelen her türlü desteği veren değerli arkadaşım Yüksek Metalurji ve Malzeme Mühendisi Cihan ÇEPER’e ve çocukluk arkadaşım Aşkın AYVACI’ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim öğretim hayatım boyunca her türlü koşulda beni destekleyen aileme ve özellikle validem Müzeyyen KURUKAVAK’a sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	2
2.1. Buhar Fazı Yöntemleri.....	3
2.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD).....	3
2.1.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD).....	6
2.2. Sol-Jel Yöntemi.....	8
2.3. Elektrolitik Kaplama.....	11
2.4. Ergitme Yöntemleri.....	12
2.4.1. Isıl püskürtme (termal sprey) yöntemleri.....	12
2.4.1.1. Yüksek hızda oksit yakıt püskürtme yöntemi (HVOF).	14
2.4.1.2. Plazma ile püskürtme.....	17
2.4.1.3. Patlamalı püskürtme (D-Gun).....	20
2.4.1.4. Elektrik arkı ile püskürtme.....	21

BÖLÜM 3.

AŞINMA	23
3.1. Abrazif Aşınma	24
3.2. Adhezif Aşınma	26
3.3. Yüzey Yorulması	28
3.4. Erozif Aşınma	29

BÖLÜM 4.

PASLANMAZ ÇELİKLER	31
4.1. Paslanmaz Çeliğin Tanımı.....	31
4.2. Paslanmaz Çeliğin Kullanım Alanları	32
4.3. Paslanmaz Çeliklerin Üretim Yöntemleri.....	32
4.4. Paslanmaz Çelik Türleri.....	35
4.4.1. Östenitik paslanmaz çelikler.....	35

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
5.1. Deney Süreci.....	38
5.2. HVOF ile Kaplama Süreci.....	38
5.3. Metalografik Çalışmalar.....	40
5.4. Optik Çalışmalar.....	40
5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	40
5.6. X-Işınları Analizleri.....	40
5.7. Sertlik Ölçümleri.....	40
5.8. Aşınma Deneyleri.....	41

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	42
6.1. Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları.....	42
6.2. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi.....	44
6.3. XRD Analiz Sonuçları.....	51
6.4. Mikro Sertlik Sonuçları.....	52
6.5. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	53
6.6. Kaplanan Numunelerin Aşınma Sonrası SEM ve EDS analizleri.....	65

BÖLÜM 7.

7.1. Giriş.....	82
7.2. Sonuçlar.....	82
7.3. Öneriler.....	84

KAYNAKÇA.....	85
---------------	----

ÖZGEÇMİŞ	92
----------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
D-GUN	: Detonasyon Püskürtme
HB	: Brinell Sertliği
HRC	: Rockwell Sertliği
HRV	: Vickers Sertliği
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
İDDB	: İyon Demeti Biriktirme Yöntemi
OM	: Optik Mikroskop
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SS	: Paslanmaz Çelik
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
VPS	: Vakumlu Plazma Püskürtme
μ	: Mikron, Sürtünme Katsayısı
μm	: Mikrometre
sn.	: Saniye
m	: Metre
N	: Newton

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları (Şafak, 2008).....	2
Şekil 2.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (Bülbül, 2013).....	4
Şekil 2.3. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleri (Atmaca, 2015).....	5
Şekil 2.4. Sol-Jel yönteminin şematik gösterimi (Gül, 2019).....	9
Şekil 2.5. Termal spreycaplama yönteminin şematik gösterimi (Güzel, 2018).....	13
Şekil 2.6. Termal spreycaplama metodunda kullanılan kaplama malzemeleri (Özel,2013).....	13
Şekil 2.7. Termal spreycaplaması oluşumu (Bunshah, 2001).....	14
Şekil 2.8. HVOF tabancasının şematik gösterimi (Şahin, 2019).....	15
Şekil 2.9. Plazma püskürtme sisteminin şematik gösterimi (Kayral,2011).....	19
Şekil 2.10. Patlamalı püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Özel, 2013).....	20
Şekil 2.11. Elektrik arkı ile püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Stokes, 2003).....	21
Şekil 2.12. (a) Toz alev spreycaplaması, (b) Tel alev spreycaplaması (Zeybek, 2017).....	22
Şekil 3.1. Aşınma türleri ve sınıflandırılması (Stokes, 2003).....	24
Şekil 3.2. Abrazif aşınma şematik gösterimi (Yıldız, 2006).....	24
Şekil 3.3. Abrazif aşınma mekanizmaları (a) mikro kesilme, (b) kırılma, (c) yorulma, (d) tane ayrılması (Demir, 2012).....	25
Şekil 3.4. Üç elemanlı abrazif aşınmanın şematik gösterimi (Demir, 2012).....	26
Şekil 3.5. Adhesif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Biçer, 2015).....	27

Şekil 3.6. Yuvarlanan ve kayan hareket altında oluşan yorulmaya bağlı çatlakların şematik gösterimi (Boynueyri, 2019).....	28
Şekil 3.7. Olası erozyon mekanizmaları (Stachowiak, 2005).....	30
Şekil 4.1. Paslanmaz çeliğin oluşumu (Davis, 2000).....	31
Şekil 4.2. Şematik AOD gösterimi (Altuntaş, 2015).....	33
Şekil 4.3. Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) yönteminin şematik gösterimi (Altuntaş, 2015).....	34
Şekil 4.4. EAF / AOD-VOD işlemlerinin şematik gösterimi (Edelstahl, 2011).	34
Şekil 4.5. Fe-Cr faz diyagramı (Davis, 2000).....	36
Şekil 4.6. Ferritik ve östenitik çeliğin kristal yapısının şematik gösterimi (Altuntaş, 2015).....	37
Şekil 6.1. Kaplama sonrası elde edilen A, B, E numunelerine ait kaplama kalınlığı optik ölçümleri.....	43
Şekil 6.2. (a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 100x ve 500x SEM görüntüleri.....	45
Şekil 6.3.(a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 1000x SEM görüntüleri.....	46
Şekil 6.4. (a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 5000x SEM görüntüleri.....	47
Şekil 6.5. A numunesine ait 3 farklı noktadan EDS analizi.....	48
Şekil 6.6. B numunesine ait EDS analizi.....	49
Şekil 6.7. E numunesine ait EDS analizi.....	50
Şekil 6.8. A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait XRD analiz sonucu.....	51
Şekil 6.9. B (%50 4700-%50 2002) numunesine ait XRD analizi.....	51
Şekil 6.10. E (%75 4700-%25 2002) numunesine ait XRD analizi.....	52

Şekil 6.11. 1 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.....	56
Şekil 6.12. 2 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.....	56
Şekil 6.13. 3 no.lu deney parametreleri (200m 0,2 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.....	57
Şekil 6.14. 4 no.lu deney parametreleri (200m 0,2 m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.....	58
Şekil 6.15. A numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği.....	58
Şekil 6.16. B numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği....	59
Şekil 6.17. E numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği.....	59
Şekil 6.18. A. B ve E numunelerine ait 0,1m/sn hızda 3N ve 5N yüklerde elde edilen sürtünme katsayıları.....	60
Şekil 6.19. A. B ve E numunelerine ait 0,2m/sn hızda 3N ve 5N yüklerde elde edilen sürtünme katsayıları.....	60
Şekil 6.20. A. B ve E numunelerine ait 3N yükte 0,1m/sn ve 0,2 m/sn hızlarında elde edilen sürtünme katsayıları.....	61
Şekil 6.21. A. B ve E numunelerine ait 5N yükte 0,1m/sn. ve 0,2 m/sn. hızlarında elde edilen sürtünme katsayıları.....	61
Şekil 6.22. 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 3N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	62
Şekil 6.23. 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 5N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	62
Şekil 6.24. 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 3N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	63
Şekil 6.25. 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 5N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	63
Şekil 6.26. (a) A1, (b) B1 ve (c) E1 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri.....	66
Şekil 6.27. (a) A2, (b) B2 ve (c) E2 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri.....	67

Şekil 6.28. (a) A3, (b) B3 ve (c) E3 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri.....	68
Şekil 6.29. (a) A4, (b) B4 ve (c) E4 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri.....	69
Şekil 6.30. Aşınma deneyi sonrası A1 numunesine ait EDS analizi.....	70
Şekil 6.31. Aşınma deneyi sonrası A2 numunesine ait EDS analizi.....	71
Şekil 6.32. Aşınma deneyi sonrası A3 numunesine ait EDS analizi.....	72
Şekil 6.33. Aşınma deneyi sonrası A4 numunesine ait EDS analizi.....	73
Şekil 6.34. Aşınma deneyi sonrası B1 numunesine ait EDS analizi.....	74
Şekil 6.35. Aşınma deneyi sonrası B2 numunesine ait EDS analizi.....	75
Şekil 6.36. Aşınma deneyi sonrası B3 numunesine ait EDS analizi.....	76
Şekil 6.37. Aşınma deneyi sonrası B4 numunesine ait EDS analizi.....	77
Şekil 6.38. Aşınma deneyi sonrası E1 numunesine ait EDS analizi.....	78
Şekil 6.39. Aşınma deneyi sonrası E2 numunesine ait EDS analizi.....	79
Şekil 6.40. Aşınma deneyi sonrası E3 numunesine ait EDS analizi.....	80
Şekil 6.41. Aşınma deneyi sonrası E4 numunesine ait EDS analizi.....	81

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. HVOF kaplamaların yararları ve nedenleri (Karanfil, 2017).....	17
Tablo 5.1. Kaplama tozlarının kimyasal bileşimi.....	39
Tablo 5.2. Kaplamada kullanılan tozların karışım oranları.....	39
Tablo 5.3. HVOF kaplama parametreleri.....	39
Tablo 6.1. Kaplama sonrası numunelerden alınan mikro sertlik değerleri.....	52
Tablo 6.2. Aşınma parametreleri	53
Tablo 6.3. 1 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.....	54
Tablo 6.4. 2 no.lu deney parametreleri (200m 0,1m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.....	54
Tablo 6.5. 3 no.lu deney parametreleri (200m 0,2m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.....	54
Tablo 6.6. 4 no.lu deney parametreleri (200m 0,2m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.....	55

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüzey kaplama, HVOF, Aşınma, AISI 304L, Diamalloy 2002, Diamalloy 4700

Bu çalışmada, endüstride sıkça tercih edilen AISI 304L paslanmaz çeliğinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunu yapmak için AISI 304L çeliğinin yüzeyi, Oerlikon Metco Diamalloy 2002 (WC, Co, NiCrFeBSiC) ve Diamalloy 4700 (CoNiCrAlY) tozlarının 3 farklı oranda karışımı ile HVOF yöntemi kullanılarak kaplanmış, karışım miktarlarının farklı aşınma ortamlarındaki aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Bu karışımlardan ilki (A) %100 Diamalloy 4700, ikincisi (B) %50 Diamalloy 4700 %50 Diamalloy 2002 ve üçüncüsü (E) ise %75 Diamalloy 4700 %25 Diamalloy 2002 şeklindedir. Kaplama sonrası SEM ve EDS analizleri incelenmiş, sertlik değerleri ölçülmüş ve daha sonra elde edilen numuneler farklı yük ve hızlarda aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma deneylerinden sonra aşınma oranları ve sürtünme katsayıları incelenmiş, aşınma bölgesine ait SEM görüntüleri ve EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

COATING OF NiCr-WC-Co BASED MIXED POWDERS ON AISI 304L STEEL SURFACES BY HVOF METHOD

SUMMARY

Keywords: Surface Coating, HVOF, wearing, AISI 304L, Diamalloy 2002, Diamalloy 4700

The article focuses on developing the specifications of the surfaces of AISI 304L stainless steel. In order to achieve this, the surface of AISI 304L steel was plated by using the HVOF method with a mixture of Oerlikon Metco Diamalloy 2002 (WC, Co, NiCrFeBSiC) and Diamalloy 4700 (CoNiCrAlY) powders in 3 different proportions, and the effect of the mixture amounts on wear properties in different wear environments was analyzed.

The first of these mixtures was 100% Diamalloy 4700, the second was 50% Diamalloy 4700 50% Diamalloy 2002 and the third was 75% Diamalloy 4700 25% Diamalloy 2002. After coating, SEM and EDS analysis were viewed, the hardness values were measured, and then the samples obtained were subjected to wear tests at different loads and speeds. After the wear tests, the wear rates and the friction coefficients were examined. The SEM images of the wear zone and the results that were obtained from EDS analysis were evaluated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde yüksek teknoloji ürünlerinin artması yüksek mekanik özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu ihtiyacın uygun şekilde karşılanmasını sağlayan yöntemlerden biri de malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmektir. Malzemelerin aşınma ve korozyon özellikleri gibi yüzey özelliklerinin geliştirilmesi için uygulanan yöntemlere yüzey mühendisliği yöntemleri denir (Bloyce, 1995).

Makine endüstrisinde sıkça kullanılan metallerin yüzey özelliklerini geliştirmek amacı ile yapılan kaplamalar, difüzyonlu ve difüzyon oluşmadan mekanik bağlanma olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Yüksek hızda oksijen-yakıt püskürtme yöntemi (HVOF) difüzyon olmadan yapılan kaplama yöntemlerinden biridir. HVOF malzeme yüzeyinde kaplama oluşturmak için ergimiş veya yarı ergimiş kaplama malzemesini yüzeyde biriktirme işlemidir (İpek, 2019).

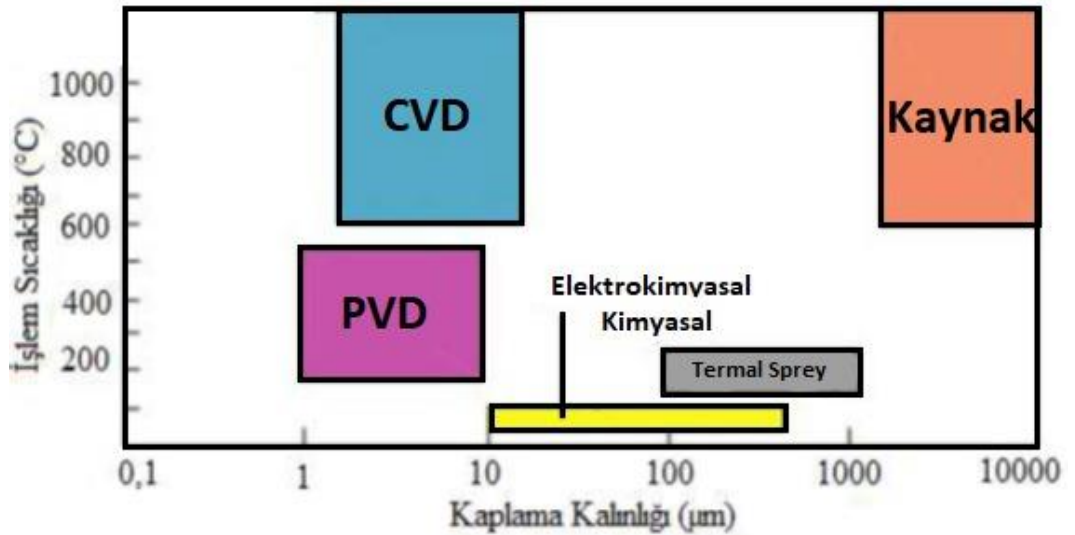
Aşınmanın farklı tanımları mevcut olmakla beraber DIN 50320 standardına göre; katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma neticesinde devamlı ilerleyen malzeme kaybı olarak tanımlanmıştır (Büyükkelleci, 2008). Aşınma türlerinin sınıflandırılması genel kabul gören hali ile; abrazyon, erozyon, adhezyon, korozyon ve yüzey yorulması şeklindedir (Stokes, 2003).

Bu çalışmada AISI 304L paslanmaz çeliği yüzey özelliklerinin, HVOF yöntemi kullanılarak geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan kaplama malzemelerinin çeşitli oranlarda karışımları malzeme yüzeyine uygulanmış ve bu yüzeylerin farklı aşınma koşullarında davranışları incelenmiştir. Deneylerin sonucunda mikro yapılarda oluşan fazlar tayin edilmiş, aşınma oranları ölçülmüş ve aşınma mekanizmaları yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Günümüz teknolojisinin ihtiyaç duyduğu malzemelerin imalatına olanak sağlayan Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ayrıca teknolojik alanlarda da yeniliklerin meydana gelmesine yardımcı olmaktadır. Sanayide kullanılacak olan malzemeler yapılarında bazı yüzey özelliklerini içermelidir. Yüzey sertleştirme teknikleri ile ilgilenen bilim dalları ile mühendislik arasındaki bütünlük yüzey işlemleri ve kaplamalar olarak bilinmektedir. Malzemelerin yorulma dayanımı, aşınma ve korozyon özellikleri ve bunların meydana getirdiği özellikleri geliştirmek için kullanılacak yöntemler de yüzey mühendisliği yöntemleridir (Bloyce, 1995).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte sanayide kullanılan malzemelerde istenilen özellikler çeşitlilik kazanmıştır. İstenilen bu özelliklerin bazıları kaplama yöntemleri ile elde edilebilmektedir (Şekil 2.1.) (Şafak, 2008).



Şekil 2.1. Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları (Şafak, 2008).

Malzemelerin yüzeylerini korozyon, aşınma gibi olaylara karşı korumanın yanında malzemelerin çeşitli özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için sol-jel prosesi, elektrolitik kaplama, ergitme yöntemleri ve buhar biriktirme gibi yöntemler ile yüzey kaplama işlemleri yapılmaktadır. Malzeme özelliklerini geliştirmede kullanılmakta olan çeşitli yüzey değişim işlemlerinin verimsiz olması nedeniyle bu yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde bahsedilen bu yöntemlerin kullanılması ile yüzey mühendisliği alanında araştırmalar artmıştır (Islak, 2005).

2.1. Buhar Fazı Yöntemleri

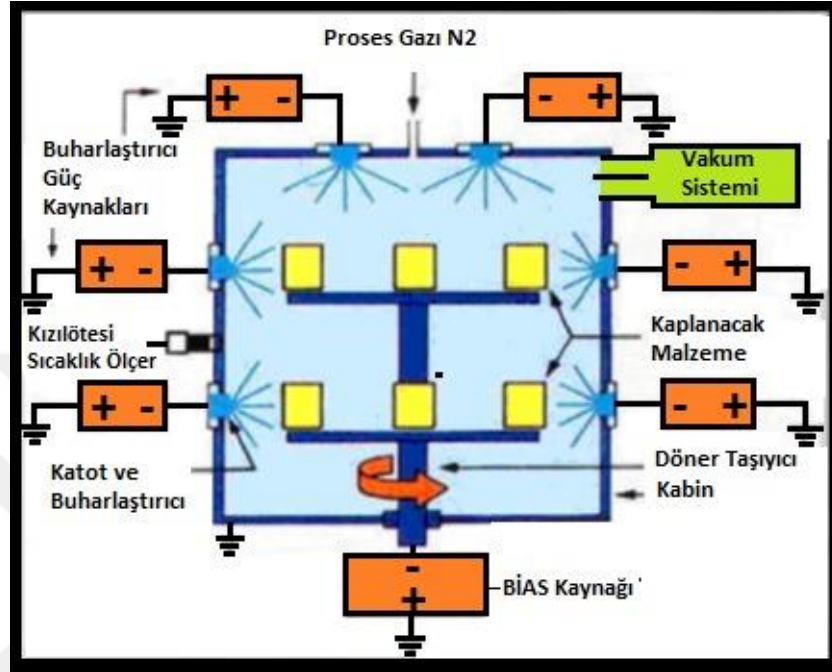
Buhar fazından çökeltme işlemi ile geliştirilen kaplama yöntemlerinin yardımıyla günümüzde kaplamalarda kullanılan malzemelerin çeşitliliğinde büyük artış olmuştur. Sıvı fazdan üretilmiş katı malzemelerin özelliklerine kıyasla buhar ve sıvı fazından üretilmiş aynı malzeme özelliklerinde daha geniş aralıkta değişiklik yapılabilmektedir. Buhar fazında biriktirme yöntemi ile denge dışı özelliklerde malzemeler imal edilebilirken, ergitme yöntemleri ile denge özelliklerine yakın olan özelliklerde katı malzemelerin imalatı yapılabilmektedir. Buhar fazından kaplama yöntemi ile yapılan kaplamaların, kaplama işlemi yapılacak ana malzeme özelliğiyle doğrudan ilgili olmadığı için kullanım alanı bir hayli geniştir. Bu sebeple bu kaplama yöntemleri sanayi uygulamaları için önemlidirler (Bunshah, 1982).

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklıkta (1000°C) yapılan kaplamalarda alt malzemede deformasyon meydana gelmesi kimyasal buhar biriktirme (CVD) yönteminin en mühim olumsuz yönüdür. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin bu olumsuz yönü daha düşük sıcaklıklarda (350-500°C) aynı kalınlık ve özellikleri gösteren kaplamaların yapılmasını sağlayan fiziksel buhar biriktirme (PVD) yönteminin gelişim göstermesinde etkili olmuştur (Bunshah, 1982).

2.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD)

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi, vakum altında bulunan malzemelerin sıçratılarak veya buharlaştırılarak yüzeyden atomların kopartılması ve kaplanmak istenilen alt

malzeme yüzeyine (iyonik veya atomik olarak) biriktirilmesi temeline dayanır (Doğan, 2005). Şekil 2.2.'de fiziksel buhar biriktirme (PVD) yönteminin şematik gösterimi verilmiştir (Bülbül, 2013).

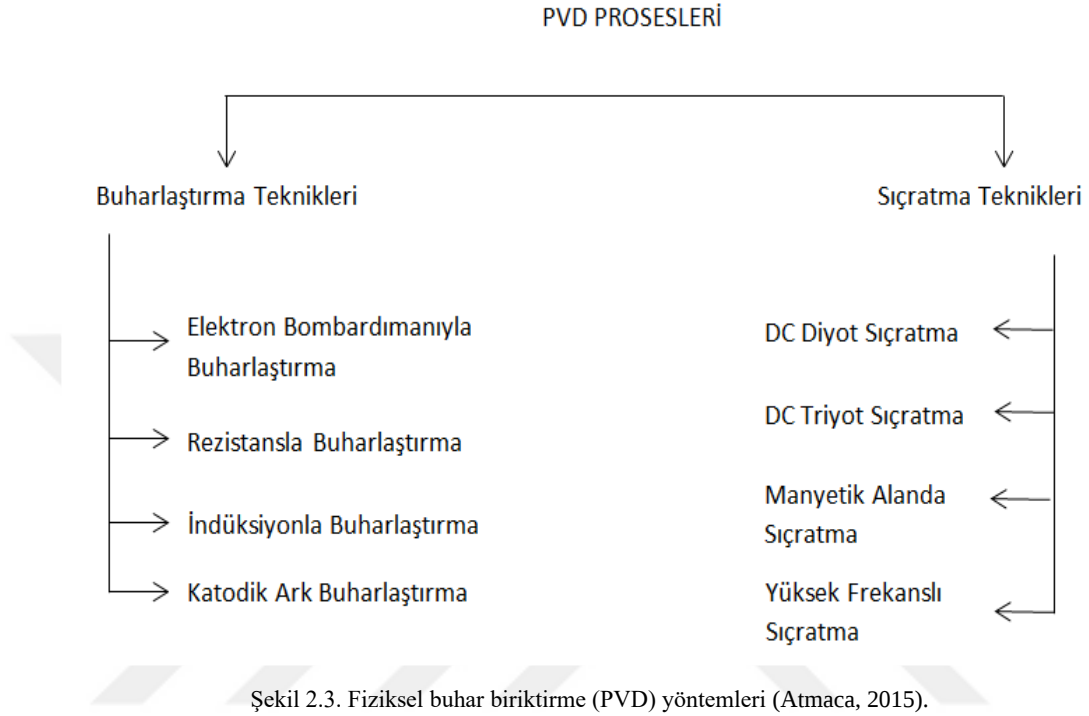


Şekil 2.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (Bülbül, 2013).

1850 yılında Faraday'ın vakum altında metalleri buharlaştırarak ürettiği kaplamalar, fiziksel buhar biriktirme yöntemine ait ilk uygulama olarak kabul edilmektedir. Kundt 1888 yılında bu yöntemle üretilmiş olan ince filmlerin yansıtma özellikleri üzerine bazı çalışmalar yapmıştır. İlerleyen yıllarda gaz-metal reaksiyonları, gazların difüzyonu ve ince metal film tabakaların kinetiği üzerine çalışmalar yapılmıştır. 2. Dünya Savaşı döneminde vakum teknolojisinde yapılan gelişmeler sonucunda PVD yöntemi endüstri uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Dinç, 2010).

Fiziksel buhar biriktirme yönteminde kaplama malzemesi gaz, sıvı veya katı kaynağından fiziksel olarak elde edilip moleküler, iyon veya atomik şeklinde yüzeye gönderilir. Çoğunlukla kimyasal buhar biriktirme işleminden daha soğuk (50-500°C) olan ana malzemenin yüzeyinde kimyasal reaksiyonlar oluşabilir. Ancak böyle bir reaksiyonun oluşumu gerekli değildir. Fiziksel buhar biriktirme işleminin nispeten daha düşük sıcaklıklarda uygulanması, yöntemi daha ilgi çekici yapmaktadır. Ayrıca,

kaplama işlemi sona erdikten sonra ana malzemenin özellikleri ve mikro yapısı etkilenmemektedir (Dinç, 2010). Fiziksel buhar biriktirme yöntemleri Şekil 2.3.'te verilmiştir (Atmaca, 2015).



PVD kaplamanın özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- 1) Sık dokulu kristal tabaka yapısına sahip olması,
- 2) Kaplamaların sökülerek yeniden kaplama yapılabilmesi,
- 3) Keskin uçların ve köşelerin keskinliklerin bozulmadan kaplanabilmesi,
- 4) Çok ince (1-5 μm) kaplama kalınlığının olması ve parça toleransının korunması,
- 5) Çalışan yüzeylerde malzeme sıvanmasının önüne geçilmesi,
- 6) Kaplanan tabakaların tutunma kuvvetinin çok yüksek olması ve yüzeyden dökülmemesi,
- 7) Kalıpların ve takımların bilindikten sonra yeniden kaplanabilmesi,
- 8) Karmaşık geometriye sahip parçaların homojen özelliklerde kaplanabilmesi,
- 9) Isıl işlem görmüş takım çeliklerinin, parçalarda sertlik kaybı olmadan kaplanabilmesi (Bülbul, 2013).

PVD kaplamanın olumlu yönleri aşağıda belirtilmiştir;

- 1) Yüksek sertlik,
- 2) Uzun ömür ve yüksek verimlilik,
- 3) Çalışılan parçalarda yüzey pürüzlüğünün giderilmesi,
- 4) Çapak birikintisinin önlenmesi,
- 5) Malzeme, enerji ve zaman tasarrufu,
- 6) Aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzey,
- 7) Kenar keskinliğinin aynı kalması,
- 8) Yüksek korozyon mukavemeti (Bülbül, 2013).

PVD kaplamanın olumsuz yönleri aşağıda belirtilmiştir;

- 1) Proses ekipmanları yüksek derecede gelişmiştir. Bu sebeple başlangıç maliyeti yüksektir.
- 2) Belirli istisnalar haricinde polimerik malzemelerin biriktirilmesinde yetersizdir (Alaf, 2007; Aydın, 2011).

2.1.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi çevre ile uyumuş reaktan gazların kimyasal reaksiyonunu ve ayrışmasını içermektedir. CVD yöntemi homojen gaz fazı reaksiyonları ihtiva etmektedir. Heterojen kimyasal reaksiyonlarsa tozların ya da filmlerin etkileşimine yol açan ısıtılmış haldeki yüzeyin etrafına yakın yerlerde oluşmaktadır. Ayrıca, CVD yöntemi ayrışmış tozların üretilmesinde de kullanılmaktadır (Mol, 2003).

CVD yöntemi buhar fazındaki bir kimyasal reaksiyondan ısıtılmış bir yüzeyin üzerine bir katının biriktirilmesi gibi ifade edilebilmektedir. CVD yöntemi bir buhar aktarma prosesi olmakla birlikte doğadaki atomlar ile ilgilidir. Biriktirme çeşitleri moleküllerin, atomların ve bunların kombinasyonlarıdır. İlave olarak püskürtme ve

buharlaştırma, moleküler buhar kaplama ve kimyasal buhar biriktirme iyon kaplama gibi çeşitlerini de ihtiva etmektedir. Ayrıca yeni proseslerin birçoğu aktif püskürtme ve genişletilmiş plazma kimyasal buhar biriktirme gibi iki sistemin tamamen etkileşimi halindedir (Mol, 2003).

CVD yöntemi oldukça eski bir prosestir. 1880’lerde akkor lamba filamentlerinin daha dayanıklı hale getirilmesi için, filamentlerin metaller ya da karbon ile kaplanması ilk pratik uygulaması olarak örnek verilebilir. Aynı senelerde Ludwig Mond ve arkadaşları saf nikel eldesi için kimyasal buhar biriktirmeyle karbonil prosesini geliştirmişlerdir. Takip eden 50 senede yavaş yavaş gelişim gösteren yöntem, zirkonyum, titanyum ve tantal gibi yüksek saflıkta refrakter imalatı için kullanılmıştır. Ayrıca Kroll prosesi, magnezyum indirgeme prosesi De Boer – Van Arkel prosesi ve iyodür parçalanması gibi çeşitli prosesler geliştirilmiştir. CVD yöntemi 2. Dünya savaşından sonra araştırmacılar tarafından epey ilgi görmüştür (Pierson, 1999).

Genel olarak bakıldığında CVD yönteminin olumlu yönleri, olumsuz yönlerinden daha ağır basmaktadır. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin olumlu yönleri şunlardır;

- 1) Organik metaller, hidrürler ve halojenürler gibi başlangıç kimyasal maddelerinin kullanılabilmesi ile II-IV ve III-V grup elementleri, karbürler, nitrürler, oksitler ve sülfürler geniş bir spektrumda biriktirme yapmasına imkân sağlamaktadır.
- 2) Geleneksel CVD yöntemi için proses maliyeti sanayi uygulamaları açısından uygundur.
- 3) Biriktirme oranı kolaylık ile ayarlanabilmektedir. Kalın korumalı kaplamaların yapılabilmesi için yüksek biriktirme oranları kullanılmaktadır. Ayrıca mikro-elektronik uygulamalarda kristal yapının meydana gelmesi için düşük biriktirme oranları tercih edilmektedir (Parlak, 2011).

Kimyasal buhar biriktirme yönteminin olumsuz yönleri şunlardır;

- 1) Proseste kullanılan gazlar zehirleyici, aşındıran, alev alabilen ve patlayıcı özelliklerinden dolayı güvenlik ve kimyasal açıdan tehlike meydana getirebilmektedir. Ancak yanmalı kimyasal buhar biriktirme ve elektrostatik püskürtmeli buhar biriktirme gibi kimyasal buhar biriktirme yöntemleri kullanılarak bu tehlikeler azaltılmaktadır (Carlsson, 1994).

2.2. Sol-Jel Yöntemi

Sol-Jel metodu, bir sıvı faz içerisinde bulunan katı taneciklerden meydana gelen kolloidal süspansiyonların (sol) ve ardından sürekli bir sıvı faz içinde üç boyutlu katı haldeki inorganik ağ yapılarının (jel) meydana gelmesini içerir. Sol, katı taneciklerin sıvı içindeki kararlı bir süspansiyonudur. Sol-Jel metodunda metal alkoksit, alkol ve su içeren bir çözelti hazırlanır. Bu çözelti jelleştirilir ve çözücüler uzaklaştırılır. Sıvı içinde asılı kalan katı tanecikler sol'u meydana getirir. 1-1000 nm boyutlarındaki kolloid denilen bu tanecikler, yerçekimi kuvvetinden daha büyük olan Van Der Waals kuvvetleriyle elektriksel itme kuvvetleri nedeniyle dibe çökmezler. Jel ise çözelti içerisinde molekülün genişleyerek makro boyuta gelmiş halidir. Sıvı ve katı faz arasında, sürekliliği olan bir ara fazdır. Sol-Jel metodu, kelime anlamı ile solüsyon ve jelleşme kelimelerinin kısaltılmış hali olarak kullanılmaktadır (Durmuş, 2011; Brinker, 1990; Turhan, 2008; Özdemir, 2014).

Sol-jel yöntemi seramik imalatında kullanılan kimyasal bir prosestir. 1800'lerde Graham ve Ebelman'ın yaptığı çalışma ile keşfedilmiştir. Sol-Jel yöntemi 1930'lu yıllardan itibaren yaygın olarak çalışılmaya başlanmıştır. Sol-Jel prosesiyle ilgili ilk patent 1938 yılında Almanya'da alınmıştır. 1943 yılında Jenaer Glas Werk Sol-Jel yöntemini kullanarak oksit kaplamalar yapmıştır. 1970'li yıllarda oda sıcaklığında cam oluşumu başarılı şekilde gerçekleştirildiğinde tekrardan ilgi çekici olmuştur (Karabaş, 2006).

Sol-Jel metodunun olumlu yönleri aşağıda verilmiştir;

- 1) Gerekli olan malzeme ve alet çok basittir,
- 2) Saf kaplama elde edilir,
- 3) Hava kirliliğine neden olmaz,
- 4) Gözenekli yapı oluşur,
- 5) Hazırlanan ortamla etkileşimde bulunmaz,
- 6) Kaplanan filmin mikro yapısının kolay bir şekilde kontrol edilmesine imkân sağlar,
- 7) Enerji tasarrufu sağlar,
- 8) Kaplanan malzemenin her yerinde eş kalınlık elde edilebilir,
- 9) Her türlü geometrideki malzemeye uygulanabilir,
- 10) Düşük işleme ısısı gerektirir (Arslan, 2010).

Sol-Jel yönteminin olumsuz yönleri aşağıda verilmiştir;

- 1) İşleme esnasında malzeme kaybı fazladır,
- 2) Kullanılan malzemeler sağlığa zararlı olabilir,
- 3) Filmlerde karbon çökeltisi kalır,
- 4) Malzeme maliyeti fazladır (Arslan, 2010).

Sol-Jel metodu ile seramik, cam, polimer ve metal malzemeler üzerine çeşitli kaplamaların yapılması mümkündür. Sol-Jel kaplama yöntemleri şunlardır;

- 1) Baskı kaplama yöntemi,
- 2) Merdaneli kaplama yöntemi,
- 3) Laminer kaplama yöntemi,
- 4) Akış kaplama yöntemi,
- 5) Döndürme kaplama yöntemi,
- 6) Daldırma kaplama yöntemi,
- 7) Püskürtme kaplama yöntemi (Biçer, 2015; Kurmı, 2018).

2.3. Elektrolitik Kaplama

Bir metalin elektrolitik olarak kaplanması için yüzeyi kaplanacak olan malzeme uygun bir elektrolit içerisinde batırılır ve katot olarak kullanılır. Anotsa yüksek saflıkta (%99,98) ve çöken metalden olmalıdır. Elektrolitik kaplamada düşük voltajlı doğru akım kullanılmaktadır. Elektrolitik kaplama şu amaçlar ile yapılır;

- 1) Yıpranmaya ve aşınmaya karşı dayanıklılığın artırılması,
- 2) Dekoratif amaçlar ile daha iyi bir görünüm,
- 3) Korozyona direncinin artırılması.

Elektrolitik kaplama ile elde edilen bir metal tabakasının yapısı ve biçimi sadece metalin cinsine değil, aynı zamanda elektroliz şartlarına da bağlıdır. Bununla birlikte işlemi etkileyen çeşitli yapılarda tabakalar elde edilir.

Gerek X ışınları difraksiyonu gerekse metalografi yöntemleri ile metallerin kristal yapıda oldukları tespit edilmiştir. Buna göre bir metalin katotta çökmesi kristalleşme olarak düşünülebilir. Çökmüş olan metalin özellikleri kristalin büyüklüğüne ve yapısına bağlıdır. Bu kristallerin oluşma şekli kristallerin oluşum ve gelişim hızına bağlıdır.

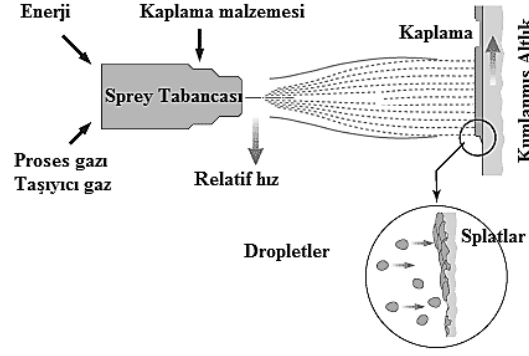
Şayet kristallerin oluşum hızı büyüme hızından daha büyükse oluşan tabaka küçük kristaller halinde, aksi durumda büyük kristaller halinde olur. Oluşumun kolay olduğu şartlarda küçük kristaller oluşur. Küçük kristalli yapı ince, yapışık ve düzgün bir tabaka oluşmasını sağlar (Demircan, 2008).

2.4. Ergitme Yöntemleri

2.4.1. Isıl püskürtme (termal sprej) yöntemleri

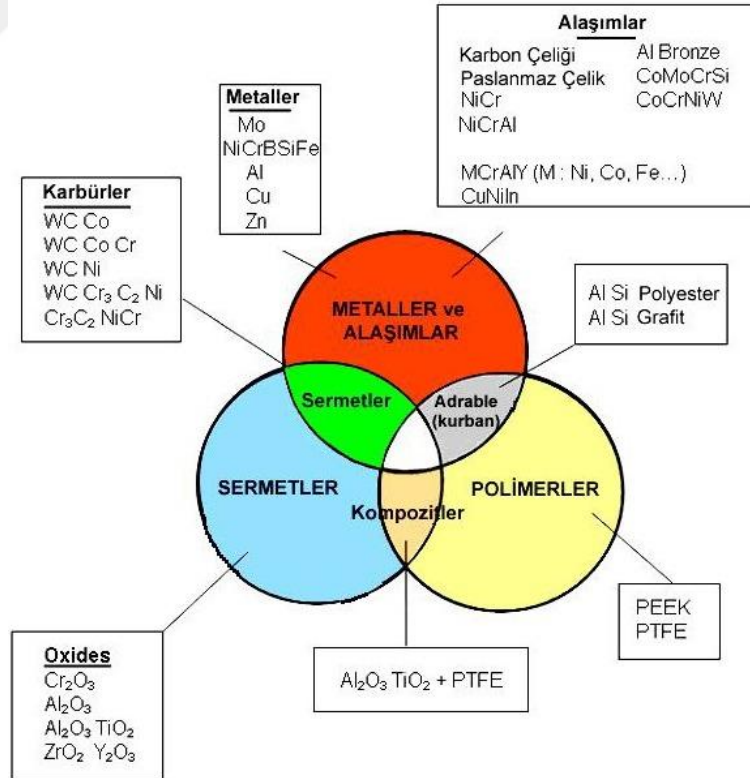
Isıl püskürtme yöntemleri, kaplamaların özelliklerinin anlaşılabilmesi, termal sprej kaplama yöntemlerinin uygulamalarının artması ve düşük basınçlı plazma spreyleme gibi proseslerin geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Isıl püskürtme kaplamaları; herhangi bir bileşimden veya karışımdan, seramik, metalik ve plastik malzemelerden olabilmektedir (Salman, 1995; Rickerby, 1991).

Isıl püskürtme kaplama yöntemleri tel ya da toz halinde bulunan kaplama malzemelerinin yanıcı, yakıcı ve taşıyıcı gazlar ile beraber bir püskürtme tabancası yardımı ile püskürtülerek altlık malzeme üzerinde biriktirilerek koruyucu tabakanın elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Plazma arkı, elektrik arkı ve yanıcı gazlarla kaplama malzemesini eritmek için kullanılan sıcaklığın sağlanmasında termal sprej torcu kullanılmaktadır. Kaplama yapılacak olan malzemenin soğuk yüzeyine ergimiş kaplama malzemesi püskürtülür ve darbe etkisinde yüzeye çarpan tanecikler, ana metale yapılan ısı aktarımı sonucunda soğuyarak katılaşmaktadır. Tanecikler birbirleri ile temas halinde oldukları için kaplaması yapılacak malzeme yüzeyinde arzu edilen kaplama tabakasını oluşturmaktadırlar. Elde edilen bu kaplamalar mekanik ve bölgesel olarak bağlanma şeklinde kimyasal bağ kuvvetleri sebebiyle elde edilir (Özel, 2009; Sarıkaya, 2003). İstenilen bağlanmanın sağlanabilmesi amacıyla kaplanacak malzemenin yüzeyine kaplama yapılmadan önce pürüzlendirme işlemi uygulanır. Termal sprej kaplama metodunun şematik gösterimi Şekil 2.5.'te verilmiştir (Güzel, 2018).



Şekil 2.5. Termal sprej kaplama yönteminin şematik gösterimi (Güzel, 2018).

Termal sprej kaplama yöntemleriyle kaplama işlemi yapılacak olan malzemenin yüzeyinde ısı iletkenliği düşük malzemelerden oluşan ısı iletkenliği düşük bir bariyer oluşmaktadır. Ana malzemenin oldukça yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesine olanak sağlayan ısı iletkenliği düşük bariyer kaplama uygulamalarıdır. Nitrürler, karbürler ve oksitler ısı iletkenliği düşük bariyer kaplama olarak kullanılmaktadır. Termal sprej kaplama yönteminde kullanılan çeşitli kaplama malzemeleri Şekil 2.6.'da verilmiştir (Özel, 2013).



Şekil 2.6. Termal sprej kaplama metodunda kullanılan kaplama malzemeleri (Özel, 2013).

Isıl püskürtme kaplamaları ısı yalıtımı sağlamak, oksidasyonu önlemek ve çeşitli aşınma olaylarının önüne geçmek için kullanılabildikleri gibi onarma, yenilenebilir kaplama yapımı ve dekoratif amaçlar için de kullanılmaktadırlar. Ticari olarak beş temel kaplama yöntemi kullanılmaktadır (Dorfman, 2012). Termal sprej tabakasının oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.7.'de gösterilmektedir (Bunshah, 2001).



Şekil 2.7. Termal sprej tabakası oluşumu (Bunshah, 2001).

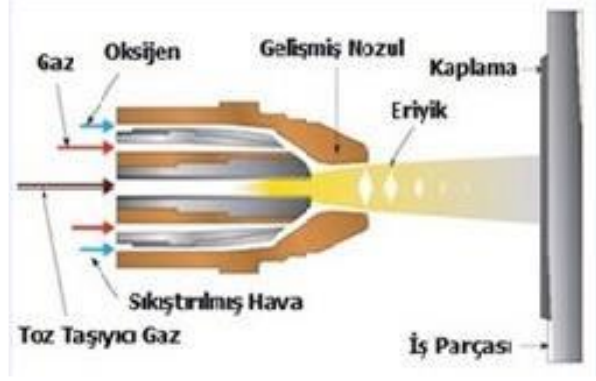
Termal sprej yöntemleri 5 başlık altında incelenmiş olup, bu yöntemler;

- 1) Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme (HVOF),
- 2) Plazma ile püskürtme,
- 3) Patlamalı püskürtme (D-Gun),
- 4) Elektrik arkı ile püskürtme,
- 5) Alevle püskürtme (Özorak, 2017).

2.4.1.1. Yüksek hızda oksji yakıt püskürtme yöntemi (HVOF)

HVOF kaplama yöntemi en yeni termal sprej kaplama yöntemlerinden birisidir. HVOF tabancası 1970'li yılların sonu ile 1980'li yılların başında geliştirilmiştir. HVOF yöntemi, D- tabanca yöntemi ile benzerlik göstermektedir ancak yakıtın yanma yöntemi farklıdır. HVOF kaplama yönteminde yakıt sıvı veya gaz halde oksijen ile beraber yakıt çemberine alınır. Ateşleme işlemi yakıt çemberinde başladıktan sonra nozul yardımıyla egzoz gazı şekillenir ve genişleme borusundan geçerek atmosfere erişir. Toz eksenel veya radyal şekilde jete verilir. Nozul, genişleme borusu ve yakıt

çemberi suyla soğutulur (Şahin, 2019). HVOF tabancasının şematik gösterimi Şekil 2.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. HVOF tabancasının şematik gösterimi (Şahin, 2019).

HVOF yönteminde kullanılan toz halindeki kaplama malzemesi tabanca içerisindeki yanma odasına azot taşıyıcı gaz kullanılarak aktarılır. Taban içerisindeki oksijen ve yakıt karışarak nozuldan dışarıya doğru püskürtülür. Ateşleme işlemi tabancanın dışında meydana gelir. Yakıt ateşlenmenin ardından kaplama malzemesini çevreleyerek ısıtır ve alt malzemenin üzerine aktarır. Toz malzeme yüksek kinetik enerji değeri kazanmaktadır. Bu sebep ile kaplama malzemesinin tamamen ergimesi gerekmemektedir. Toz parçacıklar plastik deformasyona uğramış ve yarı ergimiş bir halde alt malzemenin yüzeyine çarpıp yayılarak kaplamayı oluşturur (Minisker, 2009).

HVOF sistemi için toz, alev, püskürtme mesafesi, toz püskürtme gibi etkenler işlem parametresi olarak sayılabilir. HVOF yönteminde alev oluşturmak için oksijenin yanında doğalgaz, C_3H_8 , C_3H_6 , C_2H_2 gibi hidrokarbon gazlarla kerosen gibi hidrokarbon sıvılar kullanılmaktadır. HVOF kaplama yönteminde kullanılan tozların boyutları 5-45 μm civarında olup karbit destekli kompozitler, metal ve alaşımları tercih edilmektedir. Sistem için taşıyıcı gaz argon ya da nitrojen, toz besleme oranı 20-120 g/dk olup dönen levha tipi toz besleme üniteleri kullanılmaktadır (Pawlowski, 2008).

Son on yılda HVOF yönteminin kullanımı düzenli olarak artmaktadır. Özellikle termal püskürtme üzerine çeşitli uluslararası ve ulusal toplantılarda birçok uygulama rapor edilmiştir. HVOF kaplama yöntemi ile en çok karbür kaplama uygulamaları yapılmaktadır.

HVOF yönteminin uygulama alanları;

- 1) Lastik sanayisinde: Bamburi mikserleri,
- 2) Petro kimya sanayisinde: Sürgülü vanalar, piston rodları, salmastra burçları,
- 3) Tel çekme sanayisinde: Tel çekme makinaları,
- 4) Tekstil sanayisinde: Polimer bıçakları,
- 5) Kâğıt sanayisinde: Sıyırıcı bıçaklar, kurutma silindirleri,
- 6) Uçak sanayisinde: türbin kanatları (Kaya, 2007).

HVOF yönteminin olumlu yönleri;

- 1) Düşük oksit seviyesi,
- 2) Kalınlık kapasitesi artışı,
- 3) Daha iyi verimlilik,
- 4) Daha düşük maliyetler,
- 5) Daha iyi elektriksel özellikler,
- 6) Parçaların zorlu kimyasal ortamlarda çalışmasını sağlamak,
- 7) Eşleşen parçaların daha uzun ömürlü olması,
- 8) Daha iyi performans,
- 9) Parçaların daha düşük / daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasını sağlamak,
- 10) Nispeten daha pürüzsüz yüzeyler (Karanfil, 2017).

HVOF yöntemi ile yüksek kalitede kaplamaların yapılmasının nedenleri Tablo 2.1.'de verilmiştir (Karanfil, 2017).

Tablo 2.1. HVOF kaplamaların yararları ve nedenleri (Karanfil, 2017).

Kaplamanın yararları	Bu yararların ana sebebi
Daha yüksek darbe enerjileri	Az kalıntı gerilmesi
Daha kalın kaplamalar	Spreylenmiş yüzeylerde düzgünlük
Daha iyi faz ve kimyasal kararlılığı	Yüksek sıcaklıklarda kalma süresinde azalma
Daha az ergimemiş partikül içeriği	Partiküllerin iyi ısıtılması
Daha az oksit bileşimi	Oksijenden az etkilenme
Daha iyi birleşme ve bağ mukavemetleri	Gelişmiş partikül bağlanması
Gelişmiş aşınma direnci	Daha tok ve sert kaplama
Yüksek sertlik değerleri	Daha az küçülme, iyi bağlanma
Gelişmiş korozyon engeli	Az gözeneklilik
Yüksek yoğunluk	Daha yüksek darbe enerjisi

2.4.1.2. Plazma ile püskürtme

Plazma ile püskürtme kaplama yöntemi 25 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. 1950'li yılları sonu ile 1960'lı yılların başında ilk önemli çalışmalar refrakter malzemeler üzerinde yapılarak rapor edilmiştir. Günümüzde herhangi bir malzeme, herhangi bir altlık malzeme üzerine plazma püskürtmek için kullanılabilir. Bu durum, plazma püskürtme yönteminin hızlı gelişim göstermesinin temel sebeplerinden birisidir. Plazma püskürtmenin uygulamaları sıcaklık, abrasiv direnç ve korozyon kaplamalarını kapsamaktadır (Sert, 2007).

Plazma püskürtme kaplama prosesi, yüksek sıcaklıklardaki (8000-20000°C) bir plazma alevinde ergitilen kaplama malzemesinin ana malzemenin yüzeyine püskürtülmesinden ibarettir. Lamelli bir yapıya sahip olan bu kaplamaların özellikleri kullanılan kaplama sisteminden önemli oranda etkilenir (Sert, 2007).

Plazma püskürtme yöntemi ile üretilen kaplamaların bazı avantajları vardır. Bu yöntem ile plastikleri, seramikleri, metalleri veya bunların kombinasyonlarını püskürtmek olasıdır. Camsı metallerin tozları, amorf yapılarında değişikliğe uğramadan plazmayla püskürtülebilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda kullanılan süper iletken malzemeleri de plazma püskürtme yöntemiyle püskürtülebilmektedir. Plazma

kaplamalar, altlık malzemenin sıcaklığını fazla arttırmadığı için altlık malzemeyi metalürjik olarak etkilemezler. Helyum ve argon gibi asal gazların kombinasyonlarının kullanımıyla plazma püskürtme işlemi sırasında kaplamanın oksidasyonu en aza indirilir.

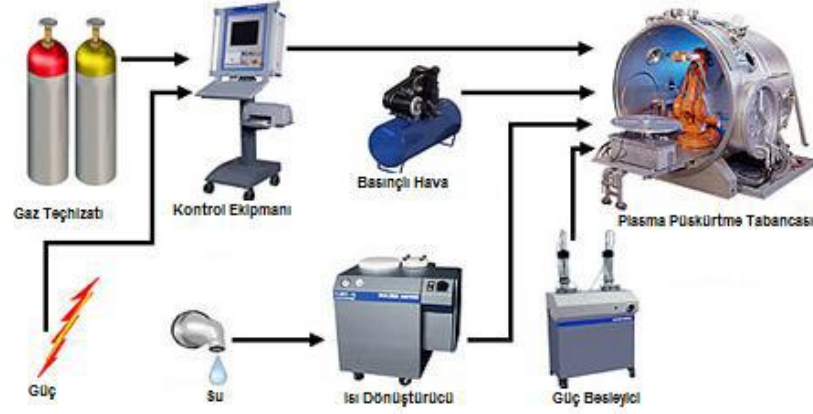
Herhangi bir yanma ürününün bulunmamasından dolayı plazma kaplamaların kirlenmesi oldukça düşük seviyelerdedir. Yüksek yoğunlaşma hızı sebebiyle kompozisyonda önemli bir değişim gerçekleşmez.

Plazma kaplama işlemi sırasında ana metalin sıcaklığı düşük tutularak hassas parçaların ısıl deformasyona uğrama ihtimali ortadan kaldırılır. Daha yüksek sıcaklıklarda kullanılacak malzemenin kalitesinin düşürülmesi maliyetin azalmasına sebep olur. Ayrıca, seramik kaplamaların sağladığı yalıtım sebebiyle yanma odaları gibi yerlerde hem ısı kaybı azaltılır hem de yüksek sıcaklıklarda çalışma olanağı sağlanır (Pawloski, 1995; Heimann, 1996; Matejka, 1989).

Plazma püskürtme sistemini oluşturan başlıca kısımlar şunlardır;

- 1) Toz besleme ünitesi,
- 2) Kontrol ünitesi,
- 3) Güç ünitesi,
- 4) Püskürtme tabancası,
- 5) Soğutma sistemi
- 6) Gaz besleme ünitesi.

Plazma püskürtme yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.9.'da verilmiştir (Kayral, 2011).



Şekil 2.9. Plazma püskürtme sisteminin şematik gösterimi (Kayral, 2011).

Genel olarak kullanılan plazma püskürtme yöntemleri şunlardır;

- 1) Su altında plazma püskürtme (SPS) yöntemi,
- 2) Vakum plazma püskürtme (VPS) yöntemi,
- 3) Atmosferik plazma püskürtme (APS) yöntemi,
- 4) İnert plazma püskürtme (IPS) yöntemi (Bayar, 2016).

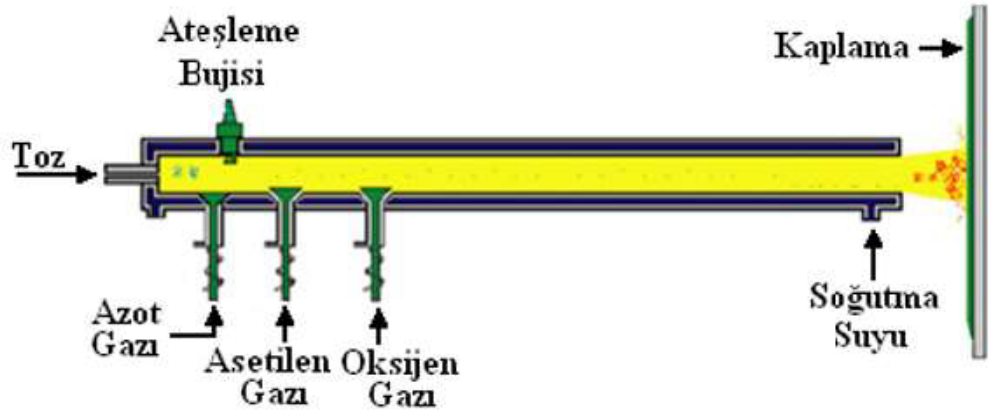
Başlıca kullanım alanları;

- a) Uzay ve havacılık endüstrisinde, türbin kanat, gaz türbin motorları ve yanma odaları kaplamalarında,
- b) Kimya endüstrisinde, petrol sondaj çalışmalarında kullanılan takımların krom oksit kaplamalarında,
- c) Nükleer endüstrisinde füzyon cihazı parçalarında,
- d) Demir – çelik endüstrisinde, tavlama prosesi için kullanılan soğutma silindirlerinde,
- e) Ambalaj baskı işlemlerinde kullanılan merdane ve silindirlerin kaplanması,
- f) Otomotiv endüstrisinde, subap yüzeyleri, dizel motor piston başlıklarının seramik kaplamalarında,
- g) Günlük yaşamımızda elektrikli ocak üstleri, kaygan ütüler ve yapışmayan tavalar,
- h) Tıp ve biyomedikal uygulamalarında, vidalar, kalça protezleri, diz eklemleri, implantlar gibi biyomalzemelerin kaplamalarında (Kıyıcı, 2011).

2.4.1.3. Patlamalı püskürtme (D-Gun)

D-Gun yöntemi özel tasarlanan bir tabanca vasıtasıyla yapılır. Bu tabanca asetilen, oksijen ve azot içerisinde asılı halde bulunan toz haldeki kaplama malzemesinin kullanılacak miktarlarının ölçüldüğü bir bölüm içermektedir. Elektrik kıvılcımı sayesinde saniyede birkaç kere oksii-asetilen karışımı patlatılır. Mevcut detonasyon yüksek hızlı ve sıcak bir gaz akışı sağlamaktadır. Bu işlem sırasında ilk olarak toz, plastik hale kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra partiküllerin tabanca namlusundan ayrılması esnasında partikülleri yaklaşık 2500 ft/sn hız ile ivmelendirmektedir.

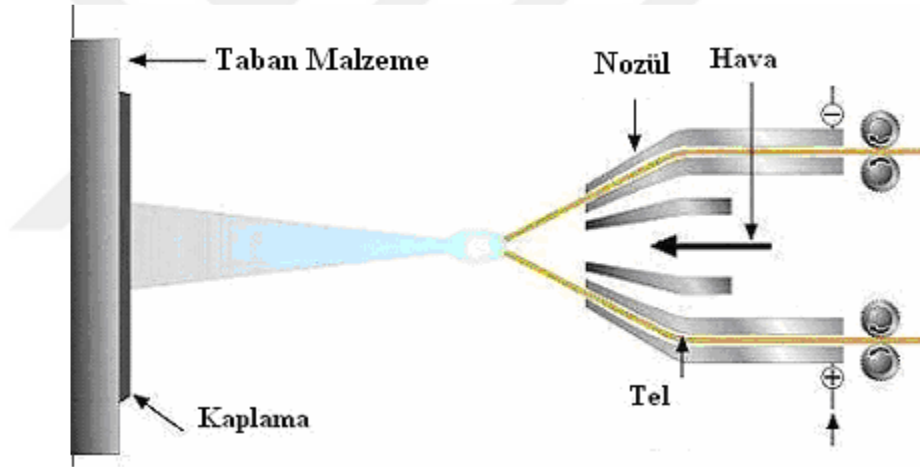
Kaplanmak istenen malzemenin kaplanacak yüzeyine ergimiş durumdaki partiküller çarpar ve arzu edilen kalınlığa göre tabanca içerisindeki detonasyonlar biriktirme işlemini gerçekleştirirler. Patlamalı püskürtme yönteminde patlatma işlemi kinetik enerji kontrollü olarak yapılmaktadır. Bu yöntemle yüzey sertliği 50-60 HRC'den daha yüksek olan bütün malzemeler kaplanabilmektedir ama metalik olmayan malzemelere kaplama işlemi yapılamamaktadır. Bunun nedeni bu yöntemde yüksek erozyona neden olan yüksek hızlı gaz akışı bulunmaktadır (Kahraman, 2001). D-Gun yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.10.'da verilmiştir (Özel, 2013).



Şekil 2.10. Patlamalı püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Özel, 2013).

2.4.1.4. Elektrik arkı ile püskürtme

Bu kaplama yönteminde, tel şeklindeki çeşitli kaplama malzemeleri kullanılarak taban malzemeleri kaplanabilmektedir. İki metal telinin bir elektrik arkı içerisinde ergitilmesi ve ergimiş haldeki partiküllerin kaplanmak istenen yüzeye doğru püskürtülmesiyle bir kaplama tabakası meydana getirilir. Ark sprej sistemi iki metal telin eş zamanlı ve aynı hız oranı ile devamlı bir şekilde besleyen ekipmandan meydana gelir. (-) ve (+) yük ile yüklenen teller birbirlerine temas ettiği zaman 6000°C 'ye yakın sıcaklıkta bir ark oluşur. Bu sıcaklık telleri eritmek için yeterlidir. Ardından eriyik halde olan malzeme yüksek basınçlı havayla atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtülür. Bu kaplama yönteminde elektriksel olarak iletken ve sünek malzemeler kullanılabilir (Stokes, 2003; Minisker, 2009).



Şekil 2.11. Elektrik arkı ile püskürtme yönteminin şematik gösterimi (Stokes, 2003).

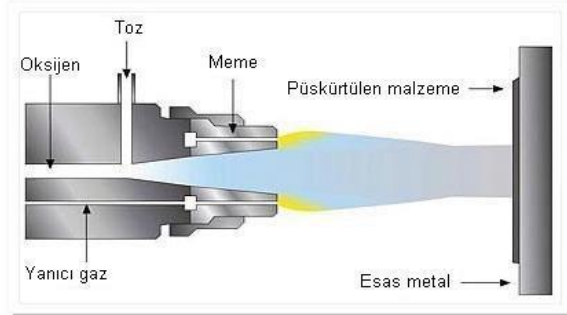
2.4.1.5. Alev ile püskürtme

Termal sprej yöntemlerinin arasında en düşük maliyetli ve en basit olanı alev ile püskürtme yöntemidir. Bu yöntem ilk zamanlarda ergime derecesi düşük olan kalay ve kurşun gibi metaller için kullanılırken ilerleyen zamanlarda yüksek ergime derecesine sahip olan metaller için kullanılmıştır. Kaplama işlemi yapılacak olan malzemenin özelliklerine bağlı olarak toz, çubuk veya tel alev şeklinde uygulanabilir. Toz alev püskürtme yönteminde (Şekil 2.12. a) yanıcı gaz (asetilen, hidrojen veya propan) ve oksijen torç ağzında yanma işlemini gerçekleştirir iken taşıyıcı gaz

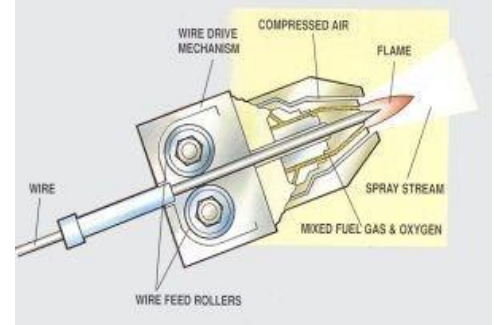
vasıtasıyla iletilen kaplama tozu bu bölmede eriyik haline gelerek gaz basıncı ile kaplanmak istenilen parça üzerine püskürtülmektedir. Alev sıcaklığı kullanılan gaza bağlı olarak 2700-3100°C arasında değişmektedir. Tel alev püskürtmede (Şekil 2.12. b) ise yanıcı gaz ve oksijen torç ağzında yanarken tel bu sayede erir ve eriyen tel gaz basıncı ile kaplanmak istenilen parça yüzeyine püskürtülmektedir (Pawlowski, 2008; Zeybek, 2017).

Uygulama sırasında alev hızı 80-100 m/s aralığında olabilmektedir. Tel alev sprej metodunda tel malzemesi olarak; paslanmaz çelikler, bronz, alüminyum, bakır, çinko ve molibden kullanılmaktadır. Toz sprej metodunda toz malzemesi olarak; alüminyum oksit, tungsten karbür, zirkonyum oksit, kobalt, nikel gibi metal ya da seramik alaşımları kullanılmaktadır.

Büyük boyutlardaki ve karmaşık şekilli parçalara uygulanabilmesi ve düşük maliyetli olması yöntemin avantajlarıdır. Çoğunlukla yıpranmış, deforme olmuş ve aşınmış makine elemanlarının iyileştirilmesinde ve korozyon direncinin artırılması arzu edilen parçalarda kullanılır (Zeybek, 2017).



(a)



(b)

Şekil 2.12. (a) Toz alev sprej, (b) Tel alev sprej (Zeybek, 2017).

BÖLÜM 3. AŞINMA

ASTM G40-93 ve DIN 50320 standartlarına göre aşınmanın tanımı: “kullanılmakta olan malzemelerin başka malzemeler ile (gaz, sıvı veya katı) temas etmesi sonucu mekanik etkenler ile yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması ile oluşan ve istenmeyen yüzey bozulması” olarak ifade edilmektedir. Ayrıca DIN 50320 standardına göre; katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma neticesinde devamlı ilerleyen malzeme kaybıdır (Kisecik, 2010; Büyükkelleci, 2008).

Aşınma prosesinde beş temel değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler; ana (aşınan) malzeme, karşı (aşındıran) malzeme, hareket, yük ve ara malzeme olarak sıralanabilir. Bu değişkenlerin yanı sıra altıncı değişken olarak sıcaklık da değerlendirilebilir. Aşındıran ve aşınan malzemelerin bir araya gelmesi sonucunda “aşınma çifti” meydana gelir. Aşınma çiftiyle sert parçacıklı buhar, gaz ve sıvı ara malzemelerinin bütününe de “aşınma kombinasyonu” adı verilmektedir. Aşınma sonucunda oluşan parçacıklar da ara malzemeler ile beraber aşınmaya etki yaparlar (Karabaşoğlu, 2008; Yüksel, 2012).

Aşınma türlerinin sınıflandırılmasında bazı fikir ayrılıkları vardır. Bununla birlikte literatürde fikir birliğine varılan sınıflandırma yöntemi Şekil 3.1.’de verilmiştir (Stokes, 2003; Atamert, 1988).



Şekil 3.1. Aşınma türleri ve sınıflandırılması (Stokes, 2003).

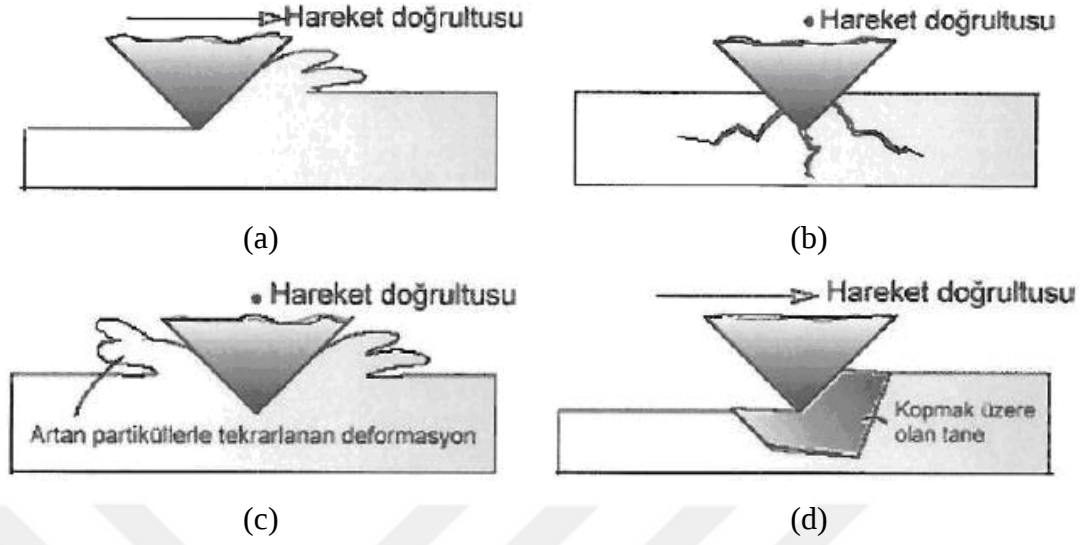
3.1. Abrasif Aşınma

Sert çıkıntı ya da sert partiküllerinin katı yüzeyine karşı istikamette hareket etmesi sonucu oluşur. Başka bir deyiş ile; SiC ya da WC gibi sert seramik partiküllerin birbirlerine karşı ters istikamette hareket etmekte olan cisimlerin arasında kalması neticesinde malzeme kaybının oluşmasına denir (Chawla, 2016; Yüksel, 2014). Abrasif aşınmanın şematik gösterimi Şekil 3.2.'de verilmiştir (Yıldız, 2006).



Şekil 3.2. Abrasif aşınma şematik gösterimi (Yıldız, 2006).

Abrasif aşınma miktarı aşındırıcı partiküllerin boyutu ve şeklinin yanı sıra malzemeyi meydana getiren fazların abrasyon özellikleri ile de ilgilidir. Numunenin sertliği aşındırıcı malzemenin sertliğinde daha yüksek ise aşınma miktarında ciddi düşüşler meydana gelir (Bhushan, 2001; Gupta, 1991). Abrasif aşınma mekanizmaları Şekil 3.3.'te verilmiştir (Demir, 2012).

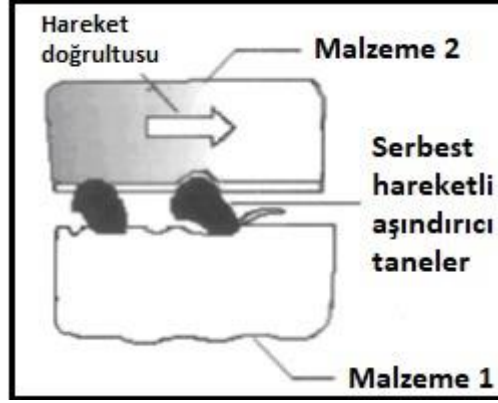


Şekil 3.3. Abrazif aşınma mekanizmaları (a) mikro kesilme, (b) kırılma, (c) yorulma, (d) tane ayrılması
(Demir, 2012)

Abrazif aşınma iş makinelerinin tırnak ve bıçaklarında, değirmenlerde, cevher işleme tesislerinde, nakil makinelerinde ve elekler gibi endüstriyel makinelerde karşılaşılan en önemli aşınma türüdür. Abrazif aşınma, tüm aşınma maliyetinin yaklaşık olarak %63'ünü oluşturmaktadır (Yıldız, 2006).

Abrazif aşınma iki ve üç elemanlı aşınma olarak iki sınıfa ayrılır. İki elemanlı abrazif aşınma, sürtünen elemanların direkt olarak birbirleri ile etkileşimleri neticesinde oluşur. Üç elemanlı abrazif aşınma ise, ana ve karşı malzeme arasında aşınma neticesi yüzeylerden kopan parçacıklar olabileceği gibi, serbest haldeki hareketli aşındırıcı tanecikler de ara malzeme etkisi yaparak üçüncü eleman olarak görülebilir.

Şekil 3.4.'te üç elemanlı abrazif aşınmanın şematik gösterimi verilmiştir (Demir, 2012).



Şekil 3.4. Üç elemanlı abrazif aşınmanın şematik gösterimi (Demir, 2012).

Abrazif aşınma direncini arttıran etkenler aşağıda verilmiştir;

- a) Yabancı partiküller,
- b) Ana fazdan daha sert, elastik modülü yüksek, tok ve iri boyutlu partiküller,
- c) Azalan deformasyon sertleşme hızı,
- d) Artan sertlik (Akbulut, 2006; Ayvaz, 2013).

3.2. Adhezif Aşınma

Birbirleri ile etkileşim halinde bulunan iki yüzeyin birisinden bir parçanın koparak diğer yüzeye yapışması ile oluşan aşınma türüdür. Temas halindeki iki malzemeye yük uygulandığında temas noktalarında gerilmeler meydana gelir. Oluşan bu gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında iki yüzey arasında soğuk kaynama oluşur. Meydana gelen bu kaynak noktaları hareketin etkisiyle kopar ve malzeme yüzeyinde parça kayıplarının oluşmasına neden olur.

Kopma olayı çoğunlukla zayıf olan malzeme yüzeyinde meydana gelir. Kopan bu parçacıklar eğer iki yüzey arasında kalırsa abrazif aşınmaya neden olabilmektedir. Fakat yüzeyde bulunan oksit ve nitrür tabakaları koparak daha yumuşak olan malzemeye gömülerek daha sert olan malzemeyi aşındırabilir (Teber, 2015; Aktaş, 2018). Şekil 3.5.'te adhesif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi verilmiştir (Biçer, 2015).



Şekil 3.5. Adhesif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Biçer, 2015).

Adhesif aşınmanın söz konusu olduğu hallerde, daha kolay tamir edilebilen parçaların diğerine kıyasla daha yumuşak olması tercih edilir. Örneğin, ana dişliye kıyasla pinyon dişlisinin daha yumuşak olması tercih edilir. Adhesif aşınma çoğunlukla, kam mekanizmalarında, dişlilerde, demiryollarındaki ray-teker sistemlerinde ve yataklarda görülmektedir. Yüksek hız ve yükleme hallerinde yağlama aşınmasının azaltılması istenmektedir. Yapılan çalışmalar yüzeyler arasında bulunan azot, nem ve karbondioksit gibi maddelerin adhesif aşınma miktarını azalttığı göstermiştir (Odabaş, 1987; Kılınç, 1993; Korkut, 1991).

Archard, adhesif aşınma teorisini, sertlik, normal yük ve kayma hızı parametrelerinin fonksiyonu olarak tarif etmiştir. Ancak aşınmanın malzemenin mikroyapısı üzerindeki etkileri yeterince açıklığa kavuşmadığı için bu teori fazla kabul görmemektedir. Bu teori temel olarak, pürüzlerdeki kohezyon hataları ve pürüzlerdeki adhezyon mekanizmalarından meydana gelmektedir. Aşınma esnasında malzemede oluşan çatlaklar dikkate alınmamaktadır. Temas alanında bulunan aşınan parçacıkların benzer yarıçaplarda olan yarı küresel parçacıklardan meydana geldiği teorisi ile Eşitlik (3.1)'deki denklem geliştirilmiştir.

$$W = KdP / 3H \quad (3.1)$$

Burada;

H : Malzemenin hacim sertliği,

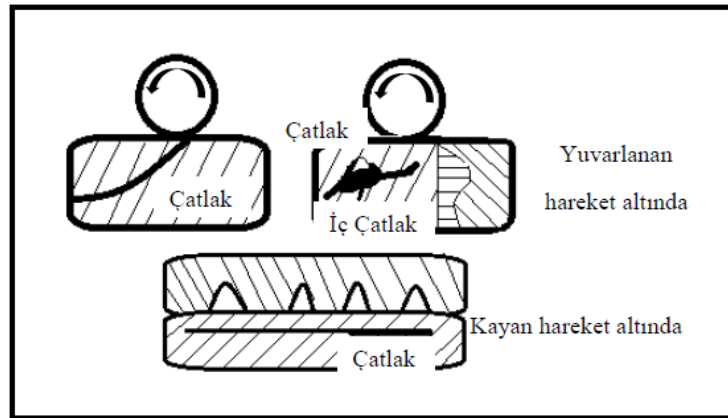
P : Uygulanan yük,

- D : Kayma mesafesi,
 K : Aşınma katsayısı,
 W : Aşınma oranıdır.

Archard, aşınma oranının uygulanan yük ile doğru orantılı olduğunu belirtmektedir. Bu teoriyle malzemenin aşınma direnci ile sertliği arasında bir bağıntı oluşturulmaktadır (Nalçacıoğlu, 2019).

3.3. Yüzey Yorulması

Yorulma aşınması, tekrarlayan yükler altında, temas halindeki yüzeylerde meydana gelen aşınma hasarı olarak ifade edilir. Temas halindeki iki yüzey, birbirleri ile devamlı yük altında periyodik olarak temas ettirildiğinde, yüzeyler arasında sadece adhesif aşınma meydana gelmez, yorulma aşınması da oluşabilir. Tribolojik yüklemeler, çoğunlukla yüzeyde, zamana, konuma ve büyüklüğe bağlı olarak mekanik gerilmelerden kaynaklandığı için, birçok aşınma mekanizmasında yorulma aşınmasına rastlanmaktadır. Malzeme yüzeyinde çatlak oluşumuyla başlayan süreç, oyuk ve çukurların oluşumuyla devam eder ve parçacıkların yüzeyden ayrılması ile hasar oluşur. Yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde meydana gelen yorulma aşınması, aslında bir malzemenin yorulması sonucu oluşur. Şekil 3.6.'da yorulma aşınmasına bağlı olarak oluşan çatlağın şematik gösterimi verilmiştir (Boynueyri, 2019).



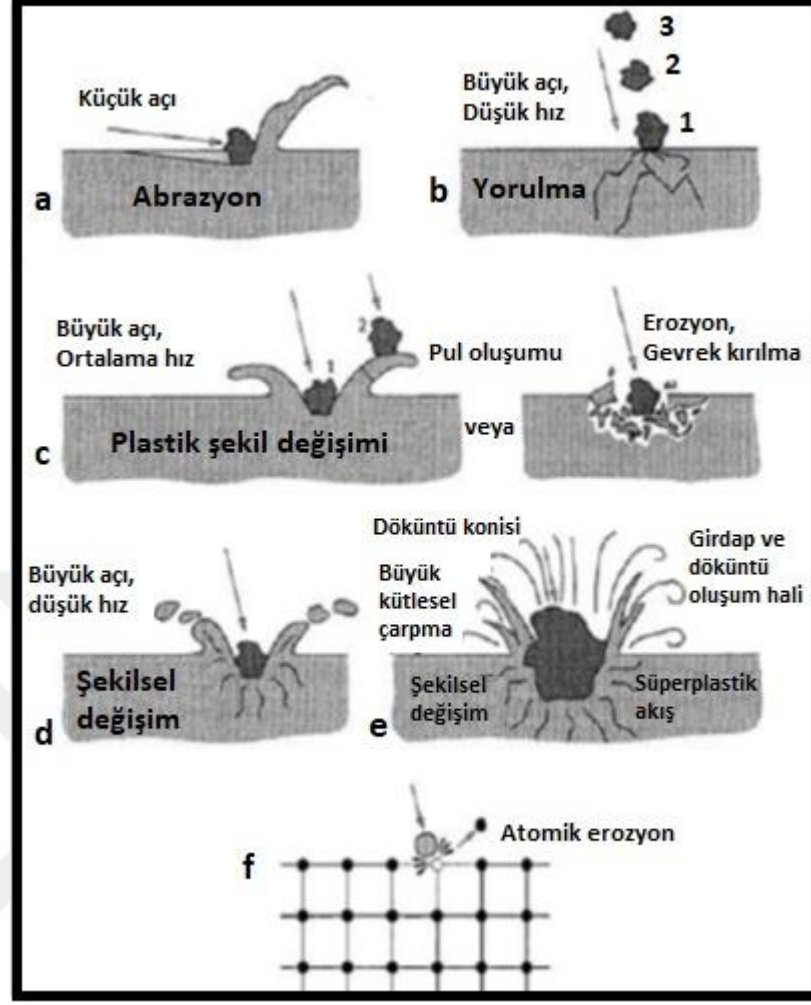
Şekil 3.6. Yuvarlanan ve kayan hareket altında oluşan yorulmaya bağlı çatlağın şematik gösterimi (Boynueyri, 2019).

Yorulma aşınması iki çeşittir. Bunlar tahrip edici yorulma aşınması ve basit yorulma aşınmasıdır. Basit yorulma aşınmasında oluşan çukurcuklar çok küçüktür ve büyümemektedirler. Bu sebeple yüzeye yayılmazlar. Tahrip edici yorulma aşınmasında ise meydana gelen çukurcuklar zaman ile büyürler ve direkt olarak yüzeye yayılırlar. Basit yorulma aşınması, makine parçalarının çalışmasını çoğunlukla engellemezler. Tahrip edici yorulma aşınmasıysa makine parçalarını kullanılmaz duruma getirir ve büyük hasarların oluşumuna sebep olur (Boynueyri, 2019).

3.4. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma, sıvı ya da katı aşındırıcı parçacıkların hava ya da sıvı bir ortam içinde hedef numunenin yüzeyine çarpması sonucu numuneden malzeme kaldırması olayına denir. Eroziyon aşınma birkaç aşınma mekanizması içerir. Bu mekanizmalar, parçacık boyutu, çarpma hızı, çarpma açısı ve parçacık malzemesiyle kontrol edilebilir. Sıvı parçacıkların aşındırıcı olduğu durumlarda, abrazyon aşınmadan bahsedilemez. Çarpmaya bağlı tekrar tekrar oluşan çarpma kuvvetlerinin ve bunların meydana getirdiği gerilmelerin aşınmaya neden olması etkilidir (Karl-Heinz, 1987).

Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi eroziyon aşınma, küçük parçacıkların mekanik bileşenlere çarptırılmasıyla oluşturulan belirsiz sayıda aşınma mekanizmalarını içerir (Stachowiak, 2005).



Şekil 3.7. Olası erozyon mekanizmaları (Stachowiak, 2005).

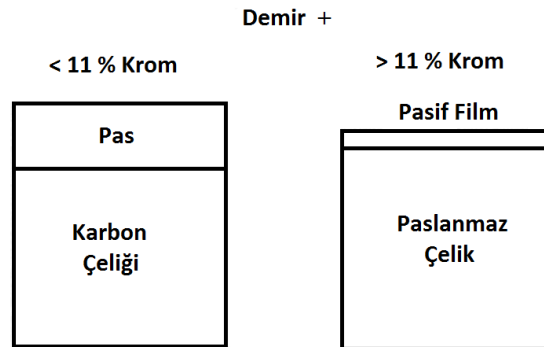
Aşınan malzemeye aşındırıcı parçacığın yörüngesi arasındaki açı Şekil 3.7.'de belirtilmiştir. Düşük çarpma açılarındaki aşınma prosesin abrazif aşınmaya benzemesini destekler. Yüksek çarpma açılarıysa tipik erozyon mekanizmasına sebep olur. Erozyon parçacığının çarpma hızı da aşınmayı etkilemektedir. Düşük çarpma hızları plastik deformasyona neden olacak gerilme değerlerinin meydana gelmesini sağlayamaz ve aşınma yüzey yorulmasıyla oluşur. Örneğin, eğer hız 20 m/s gibi bir değere çıkar ise aşınan malzeme plastik deformasyona uğrar. Aşındırıcı partiküller küreselse aşınma yüzeylere aşırı plastik deformasyon neticesinde oluşur. Gevrek malzemelerse çatlak ilerleme mekanizmasının yardımı ile aşınırlar. Parçacıkların çok yüksek hızlarda yüzeye çarpması durumunda erime söz konusu olur (Karl-Heinz, 1987; Kosa, 2016).

BÖLÜM 4. PASLANMAZ ÇELİKLER

4.1. Paslanmaz Çeliğin Tanımı

Demir esaslı malzemeler ve çeliklerin korozyon dayanımları düşüktür. Bu malzemeler asit, hava ve bazı atmosferlik koşullarda paslanmaktadırlar. Demir-Krom-Nikel alaşımı olan paslanmaz çelikler yüksek korozyon dayanımı özelliğine sahiptirler (Singh, 2011).

US Steel Co. el kitabında bir paslanmaz çeliğin en az yüzde 4 oranında krom içermesi gerektiği belirtilmektedir. Ancak birçok kaynakta krom miktarının en az yüzde 11,5 olması gerektiği ifade edilmektedir. Bazı paslanmaz çelikler yüzde 50'den az demir ve yüzde 30'dan fazla krom içermektedir. Paslanmaz çelik içerisine ilave edilen krom elementi, malzeme yüzeyinde korozyona karşı dayanıklı ince bir krom oksit tabakası meydana getirmektedir. Malzeme içerisindeki krom miktarının artması ile korozyon dayanımı artmaktadır. Paslanmaz çelikler yüzde 0,03 – 1 arasında karbon içermektedir (Meyrick, 2001; Davis, 2000). Şekil 4.1.'de paslanmaz çeliğin oluşumunun şematik gösterimi verilmiştir (Davis, 2000).



Şekil 4.1. Paslanmaz çeliğin oluşumu (Davis, 2000).

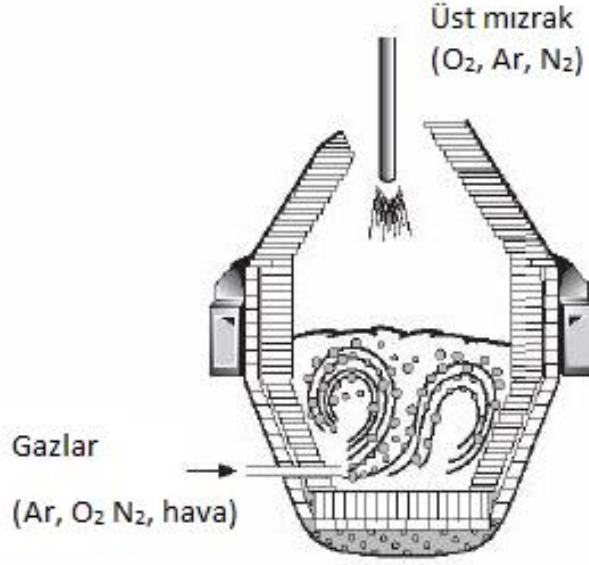
4.2. Paslanmaz Çeliğin Kullanım Alanları

Paslanmaz çelikler sahip olduğu korozyon dayanımı, mekanik özellikleri ve estetik görünümü gibi özellikleri ile çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları gıda ve ambalaj sektörü, ev aletleri, kimya sektörü, mimari, elektronik uygulamalardır (Davis, 2000).

4.3. Paslanmaz Çeliklerin Üretim Yöntemleri

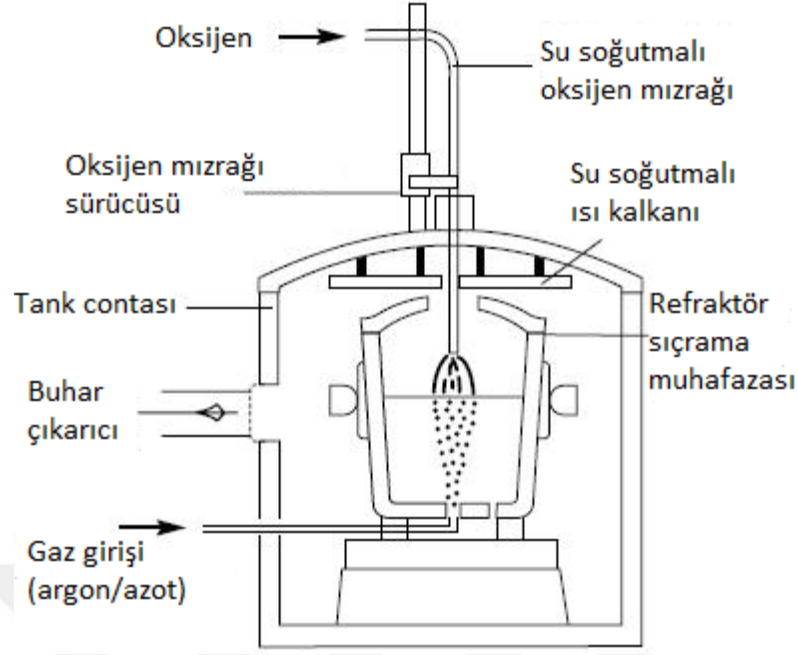
Paslanmaz çeliklerin üretiminde dövme yöntemleri, toz metalurjisi ve döküm yöntemi kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik üretiminde öncelikle hurda ergitme (EAF) ve elektrik ark ocakları içerisinde ferroalaşım elementi ilavesi (AOF) yapılmaktadır. Ardından argon oksijen dekarbürizasyon işlemi ile çeliğin karbon içeriği ayarlanmaktadır. AOD işleminde karbonun krom üzerinde tercihli oksidasyonuna imkân verilmektedir. Ergitme işlemi için alternatif olarak elektron demeti ergitme, elektro ergitme, vakum ark ergitme ve vakum indüksiyon ergitme yöntemleri kullanılmaktadır (Davis, 2000; Shade, 2003).

Ergitme işlemi için ferrokrom alaşımları, karbon çelik hurdası, uygun paslanmaz çelik hurdası ve gerektiğinde molibden ve nikel gibi alaşım elementleri öncelikle tartılır ve kurutma işlemi uygulanır. Kurutulan malzemeler, bazik astarlı elektrik ark ocağına yüklenir ve ergitme işlemi gerçekleştirilir. “Argon oksijen karbür gidericisinde yapılan işlem üretimin en önemli adımıdır. Şekil 4.2.’de AOD’un şematik gösterimi verilmiştir (Altuntaş, 2015).



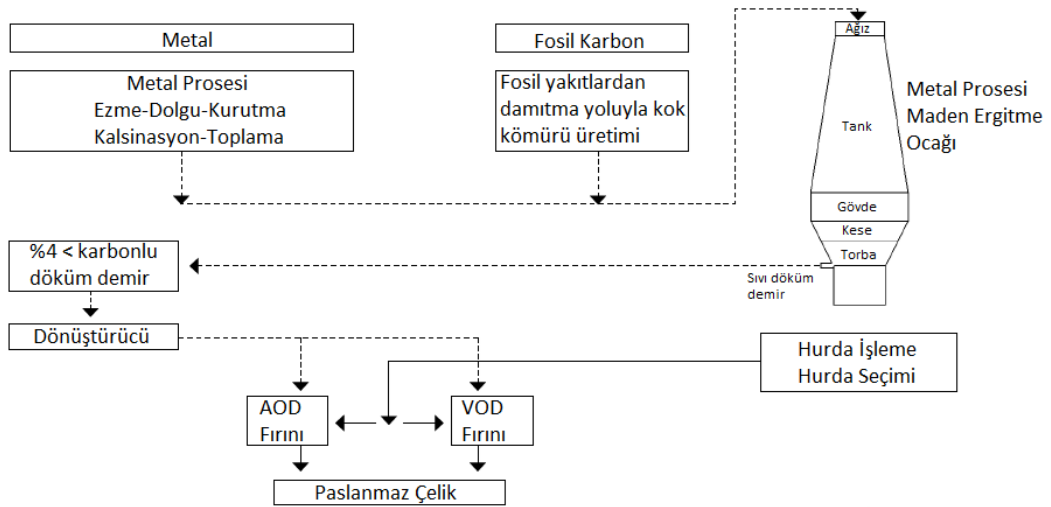
Şekil 4.2. Şematik AOD gösterimi (Altuntaş, 2015).

Bu aşamada demir içerisine krom ilave edilerek malzeme kimyasal olarak paslanmaz çelik haline getirilmektedir. İlk olarak yanlardan ve üstten argon ile oksijen gazları üflenerek ergiyik metal rafine edilir. Bu aşamada bileşimde yer alan karbon yakılarak %0.01 ile %0.04 aralığında karbon değeri elde edilmektedir. Krom oksitlenmeye hassas olduğu için bu esnada bir miktar krom cürufa geçer. Bu sebeple kromun alaşım içerisinde ilave edilmesi genellikle karbür giderme işleminin ardından yapılmaktadır. AOD yöntemine seçenek olarak vakum oksijen dekarburizasyon (VOD) yöntemi de kullanılmaktadır. Şekil 4.3.'te VOD yönteminin şematik gösterimi verilmiştir (Altuntaş, 2015; Edelstahl, 2011).



Şekil 4.3. Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) yönteminin şematik gösterimi (Altuntaş, 2015).

Bu yöntem paslanmaz çeliklerden başka alaşımlar için de kullanılmaktadır. AOD + VOD birlikte kullanılması ile karbon miktarı %0.005 oranına düşürülmektedir. Bileşim ve sıcaklık istenilen seviyeye geldiği zaman, ergiyik metal döküm potasına aktarılır ve son düzenlemeler yapılır. Bu aşamada tekrar alaşım elementi ilave yapılır ve ardından homojenleştirme işlemi yapılır. Şekil 4.4.'te EAF / AOD-VOD işlemlerinin şematik gösterimi verilmiştir (Edelstahl, 2011).



Şekil 4.4. EAF / AOD-VOD işlemlerinin şematik gösterimi (Edelstahl, 2011).

4.4. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri değiştirilerek farklı özelliklere sahip alaşımlar elde edilmektedir. Paslanmaz çeliklere ilave edilen en önemli elementler nikel, molibden ve krom elementleridir. Bunların haricinde selenyum, kükürt, azot, niyobyum, silisyum, alüminyum ve bakır elementlerinin ilave edilmesi ile de farklı olumlu sonuçlar elde edilmektedir (Mayer, 1998).

Paslanmaz çelik çeşitlerinin sayısı 200'den fazladır. Her paslanmaz çeliğin içerdiği alaşım elementi miktarı ile sahip oldukları korozyon direnci, mekanik özellikleri ve diğer çeşitli özellikleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Temel olarak 5 paslanmaz çelik sınıfı bulunmaktadır. Bunlar; çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, çift fazlı paslanmaz çelikler, martenzit paslanmaz çelikler ve ferritik paslanmaz çeliklerdir (Avallone, 2006).

4.4.1. Östenitik paslanmaz çelikler

Kullanım alanı bakımından en çok tercih edilen paslanmaz çelik sınıfı östenitik paslanmaz çelikleridir. Östenitik çelikler içerisinde nikel ve krom ihtiva edenler 300 serisi çeliklerdir. Nikel ve krom ile birlikte içerisinde manganez alaşım elementi içerenler ise 200 serisi östenitik çeliklerdir (Altuntaş, 2015; Davis, 2000). 200 serisi östenitik çelikler, 300 serisine kıyasla daha yüksek soğuk şekillendirme dayanımına sahiptirler. Bu çelikler ile birlikte bazı harfler de ifade edilmektedir. Bu harfler çeliklerin sahip olduğu bazı özellikleri ifade etmektedir. Bu harfler;

L: Maksimum %0.03 karbon içermektedir.

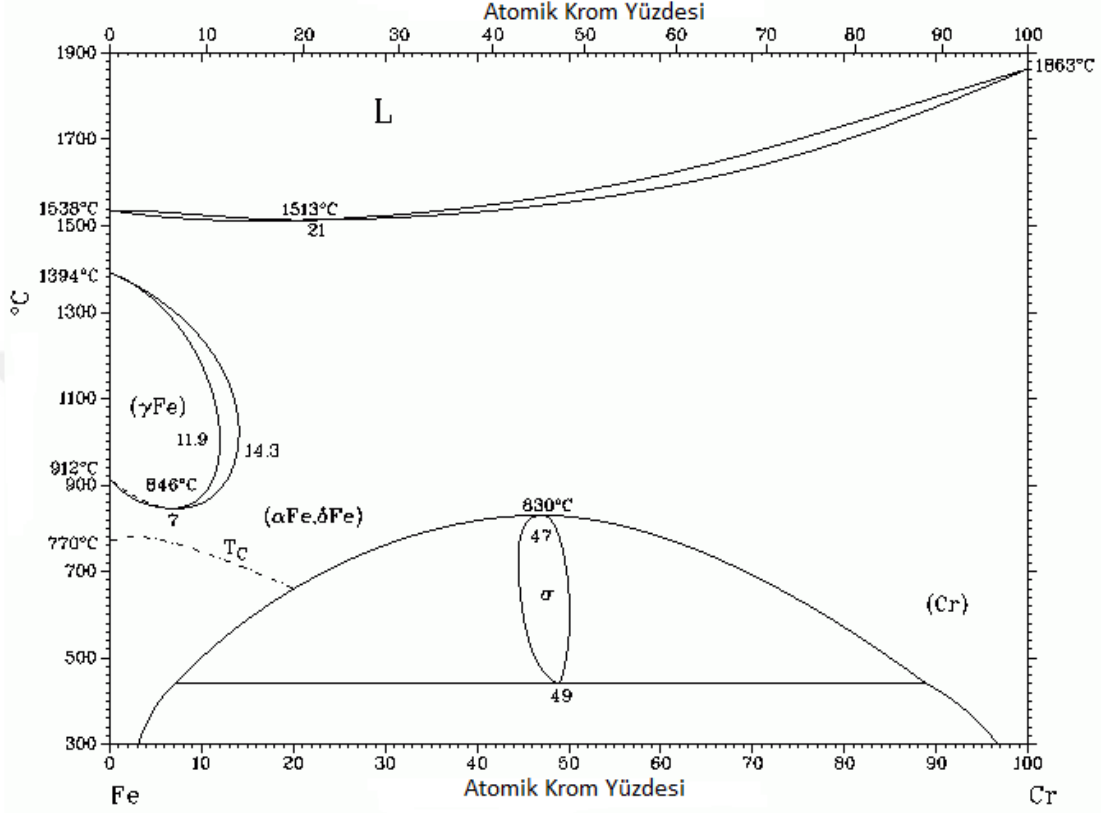
Se: İçerisinde %0.15 selenyum içermektedir.

N: İçerisinde %0,1 azot içermektedir.

H: İçerisinde 0.15 Nb ve 0.006 B içermektedir (Altuntaş, 2015).

Şekil 4.5.'te Fe-Cr faz diyagramı verilmiştir. Demir içerisine ilave edilen krom miktarı %16'nın altında iken malzeme oda sıcaklığında ferritik yapıdadır. Malzeme içerisine

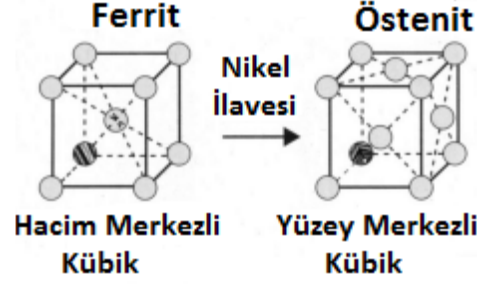
N, C, Mn ve Ni ilave edilmesi ile malzeme östenitik yapıya geçmektedir. Bu alaşım elementlerin ilave edilmesi ile elde edilen 300 serisi paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklarda ferrit fazı içerebilmektedir (Davis, 2000).



Şekil 4.5. Fe-Cr faz diyagramı (Davis, 2000).

Östenitik paslanmaz çeliklerde alaşım elementleri çeşitli oranlarda kullanılmaktadır. En çok kullanılan alaşım elementi oranı %8 Ni ve %18 Cr şeklindedir. Bu çelikler genellikle AISI 304 çeliği olarak bilinmektedir. AISI 304 çeliğinin sertliği su verme yöntemi ile artmamaktadır. AISI 304 çeliği 1100°C'den hızlı soğutularak yumuşatılırlar. Yüksek sıcaklıklarda yüksek korozyon direnci ve iyi mekanik özellikler göstermektedirler (Khurmi, 2004).

Aynı krom oranına sahip ferritik çeliklere göre, yüzey merkezli kübik yapıya sahip östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci daha iyidir (Smith, 1994). Şekil 4.6.'da ferritik ve östenitik çeliğin kristal yapısının şematik gösterimi verilmiştir (Altuntaş, 2015).



Şekil 4.6. Ferritik ve östenitik çeliğin kristal yapısının şematik gösterimi (Altuntaş, 2015).

Paslanmaz çelik üretiminin %70'ini östenitik paslanmaz çelikler oluşturmaktadır ve en çok tercih edilen alaşım 304 sınıfı çeliklerdir. Paslanmaz çelikler manyetik özellikte olmamalarına rağmen soğuk şekillendirme işleminin ardından manyetik özellik gösterebilmektedirler. 304 paslanmaz çelikleri genellikle korozyon ortamlarda kullanılmaktadır. 304 çeliğine %2- %4 oranında Mo ilave edilmesi ile korozyon direnci daha yüksek olan 316 ve 317 çelikleri elde edilmektedir. Düşük alaşıma sahip 304 ve 304L çelikleri buharlaştırıcılar, ısıtıcılar ve soğutucular gibi sıfırın altı uygulamalarda tercih edilmektedir (Altuntaş, 2015; Avallone, 2006).

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deney Süreci

Bu çalışmada AISI 304 çeliğinin yüzeyi HVOF yöntemi ile kaplanarak yüzey özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Kaplama olarak iki farklı toz üç farklı karışım şeklinde kullanılmıştır. Hazırlanan bu toz karışımlardan elde edilen kaplamaların aşınma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kaplamada kullanılan tozlardan ilki Oerlikon Metco Diamalloy 4700 ikincisi ise Oerlikon Metco Diamalloy 2002 tozudur. Bu tozlar ilk olarak %100 Diamalloy 4700, ikinci olarak %50 Diamalloy 4700 ve %50 Diamalloy 2002 ve son olarak %25 Diamalloy2002 ve %75 Diamalloy 4700 karışımı şeklinde paslanmaz çelik yüzeyine HVOF yöntemi ile kaplanmıştır. Sertliğin aşınma özelliklerine olan etkisini belirlemek için sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaplama yüzeyini incelemek amacıyla SEM görüntüleri alınmış ve kaplama yapısında oluşan fazların tespiti için XRD-EDS analizleri yapılmıştır. HVOF ile kaplanmış yüzeylere farklı yük ve hızlarda aşınma testi uygulanmıştır. Yapılan aşınma testi sonrası aşınma oranları ve sürtünme katsayıları hesaplanmış ve yüzeylerin SEM görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmıştır.

5.2. HVOF ile Kaplama Süreci

Deneyde iki farklı toz 3 farklı karışımda kullanılmıştır. Bu tozlardan ilki olan Oerlikon Metco Diamalloy 4700 CoNiCrAlY kimyasal bileşimine sahiptir ve tane boyutu aralığı $-45 +15 \mu\text{m}$ 'dir. Süper alaşım ailesinden olan bu bileşim kaplandıktan sonra yüksek sıcaklık koşullarında çalışabilen korozyona ve aşınmaya dirençli bir yüzey karakteristiği sağlar. Deneyde kullanılan diğer toz Oerlikon Metco Diamalloy 2002 ise WCCo-NiCrFeBSiC bileşimlerinde oluşup tane boyut aralığı $-45 +11 \mu\text{m}$ 'dir. Tozların içerikleri aşağıdaki Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kaplama tozlarının kimyasal bileşimi.

	İçerik
Diamalloy 2002	WC,Co,Ni,Cr,Fe,B,Si,C
Diamalloy 4700	Co,Ni,Cr,Al,Y

Kaplanacak olan AISI 304L plakalar 10x10 boyutlarında hazırlanmış, kaplamadan önce kumlama işlemi uygulanmıştır. Kaplamada kullanılacak olan iki farklı toz A, B ve E şeklinde üç ayrı karışım olarak hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kaplamada kullanılan tozların karışım oranları.

	A	B	E
Diamalloy 2002	0%	50%	25%
Diamalloy 4700	100%	50%	75%

Kaplama işlemi sırasında 10x10 ebatlarındaki bir plaka için A karışımından 101gr, B karışımından 97.5 gr, E karışımından 133 gr harcanmıştır.

Kaplama işleminde Sulzer Metco DJ 2600 tipi tabanca kullanılmıştır. HVOF kaplama parametreleri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. HVOF kaplama parametreleri.

Shrouded	400
O ₂	150
H ₂	300
Taşıyıcı Gaz	10
Disk	15%
Hız (mm/sn)	300
Püskürtme Mesafesi (cm)	20
Paso	5

5.3. Metalografik Çalışmalar

HVOF yöntemi ile kaplanan 10x10 ebadındaki numuneler Struers Labotom-3 marka cihazla kesilmiş ve metalografi işlemlerini kolaylaştırmak için Struers Lobopress-1 marka cihaz ile iletken bakalite alma işlemi yapılmıştır. Bakalite alma işleminden sonra numuneler sırasıyla 60, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2500 mesh'lik SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımpara işleminden sonra numune yüzeyleri elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Daha sonra görüntüleme için numuneler paslanmaz çelik dağlayıcı solüsyon ile dağlanmıştır.

5.4. Optik Çalışmalar

Bu çalışmadaki optik görüntüler ve aşınma iz genişlikleri ZEISS AX10 marka optik mikroskop ile alınmıştır.

5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Kaplanmış numunelerden bazıları kesit görünüş için bakalite alınmış ve SEM analizleri yapılmıştır. Analiz çalışmasında JEOL JSM-6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

5.6. X-Işınları Analizleri

Kaplanmış numunelerin kesme işleminden sonra X-ışını analizleri yapılmıştır. XRD ölçümlerinde, tarama açısı 0-90° arasında dalga boyu $\lambda=1.54056$ olan $\text{CuK}\alpha$ ışın demeti 2 °/dk tarama hızında olacak şekilde RIKAGU XRD D/MAX/2200/PC model X-ışını difraktometresi kullanılmıştır. Difraksiyon diyagramları üstünde yapılan ölçümlere göre mevcut fazlar tanımlanmış, bu fazların analizleri MDI JADE0.7 bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

5.7. Sertlik Ölçümleri

Bu deneysel çalışmalarda sertlik ölçümleri LEICE VHMT MOT model mikro sertlik cihazı ile alınmıştır. Sertlik ölçümleri 15 saniye boyunca 50 gr yük uygulanarak yapılmıştır. Sertlik değerleri, kaplama, kaplama ve altlık arası, altlık malzeme olmak üzere 3 farklı bölgeden 3'er farklı ölçümün ortalaması alınarak elde edilmiştir.

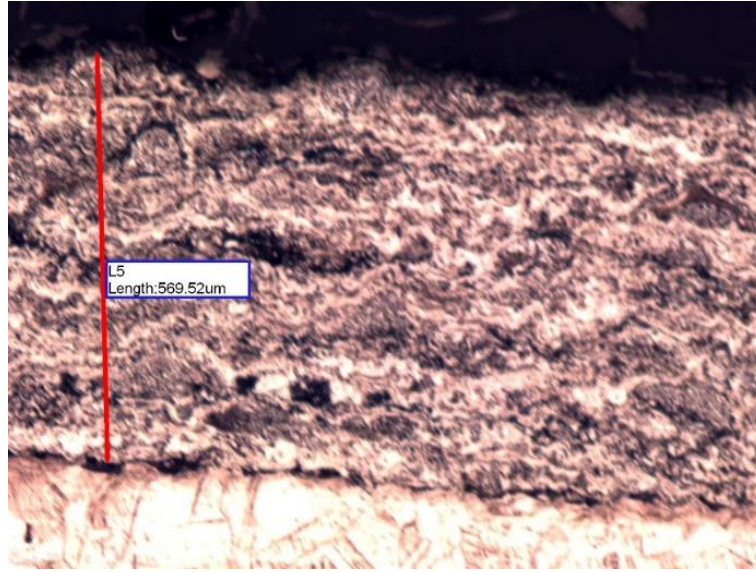
5.8. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri yapılırken ASTM G133 standartlarına uygun CSM aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneyleri 25°C ve %25 nem ortamında 6 mm çapında alümina bilye kullanılarak lineer aşınma yöntemi ile yapılmıştır. Tüm deneylerde yol 200m alınmıştır. Aşınma deneyleri 0,1 m/s ve 0,2 m/s hızlarında, 3 N ve 5 N yükler altında yapılmıştır. Elde edilen verilere göre aşınma oranları, sürtünme katsayıları ve deneysel parametre değişimlerine bağlı grafikleri hesaplanmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

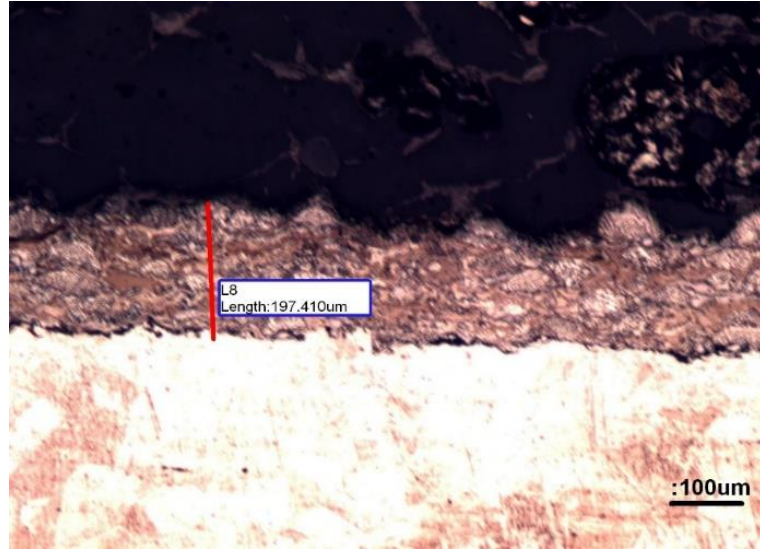
6.1. Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları

Diamalloy 2002 ve Diamalloy 4700 tozları %100 4700, %50 4700-%50 2002 ve %75 4700-%25 2002 şeklinde 3 farklı karışım olarak 304L paslanmaz çeliğine HVOF yöntemiyle kaplanmış ve numunelerin optik mikroskopta görüntüleri alınmıştır. Ayrıca optik görüntülerden kaplama kalınlıkları ölçülmüştür. Bu görüntülere göre bir miktar porozite ve numune yüzeyinde ergimeme problemleri görülmüştür. Kaplama kalınlığı en fazla A en az B numunesinde görülmüştür.

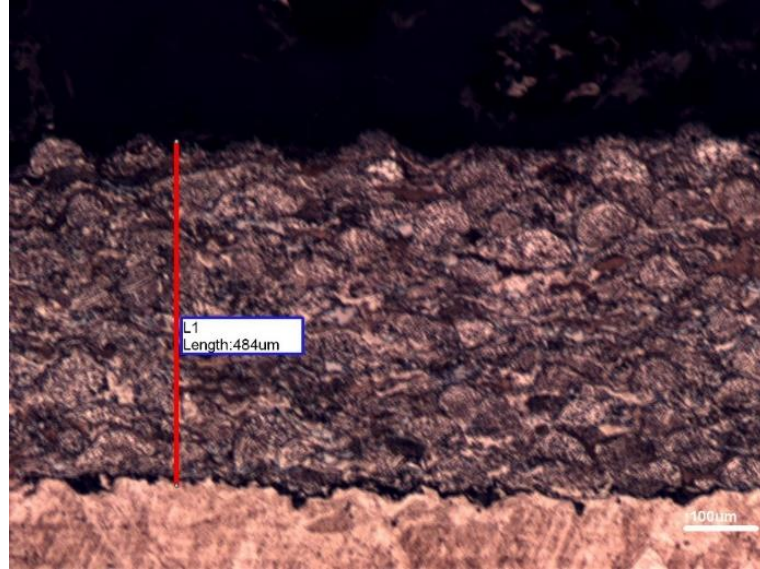


a) A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait kaplama kalınlığının optik görüntüsü.

Şekil 6.1. Kaplama sonrası elde edilen A, B, E numunelerine ait kaplama kalınlığı optik ölçümleri.



b) B (%50 2002-%50 4700) numunesine ait kaplama kalınlığının optik görüntüsü.



c) E (%75 4700-%25 2002) numunesine ait kaplama kalınlığının optik görüntüsü.

Şekil 6.1. (Devamı)

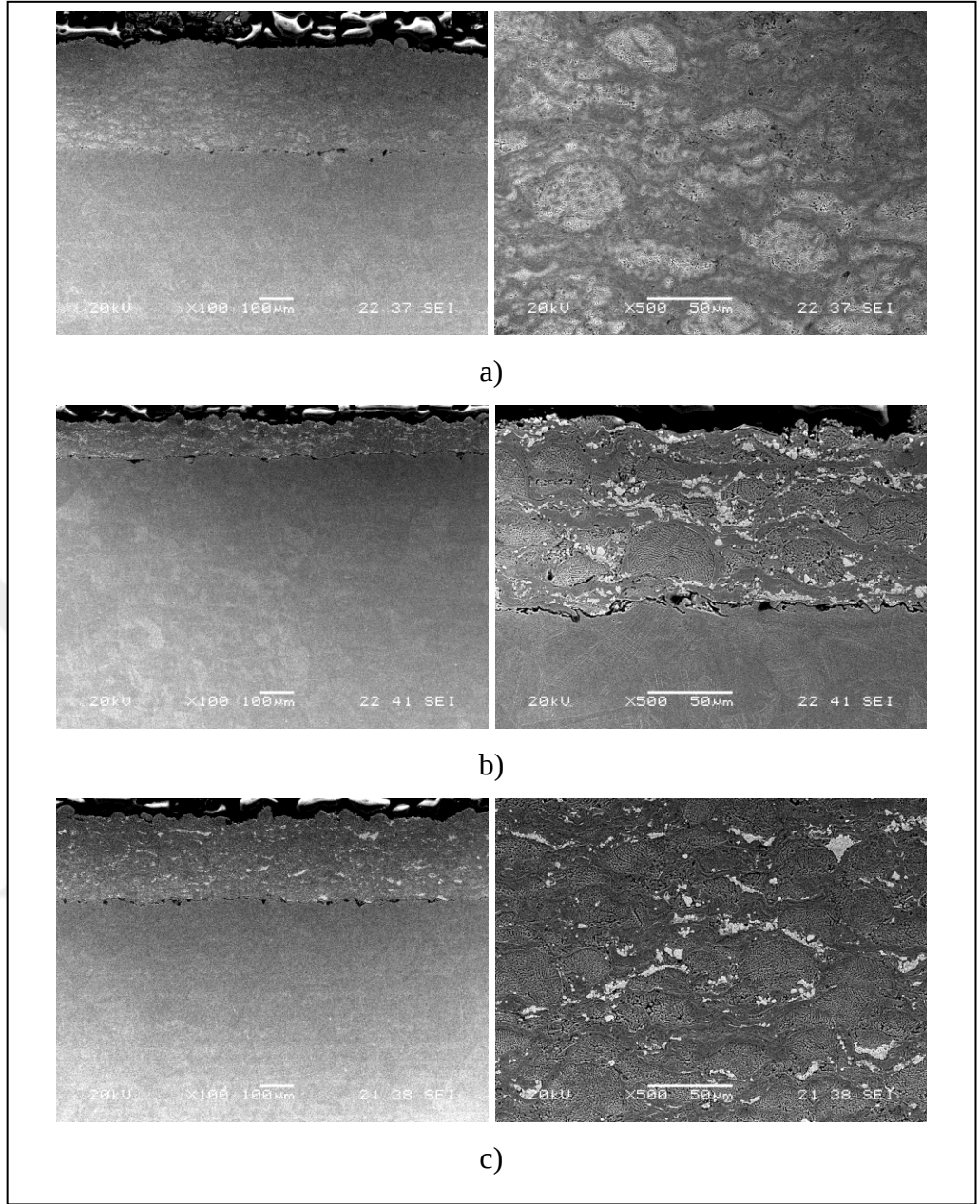
Şekil 6.1.'de görüldüğü gibi A numunesi kaplama kalınlığı 570 μm , B numunesi kaplama kalınlığı 197 μm , C numunesi kaplama kalınlığı 484 μm olarak ölçülmüştür.

6.2. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

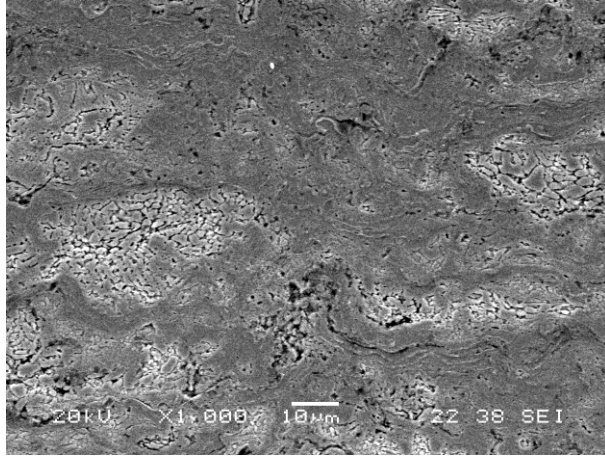
Kaplama işlemlerinden sonra A, B ve E numunelerinin kaplama kesitlerinden SEM görüntüleri alınmış ve görüntülerde yapılarda yer yer poroziteler tespit edilmiştir. Özellikle karışım tozlarında tane boyutlarının farklılığından kaynaklandığı düşünülen az da olsa ergimeme problemleri mevcuttur. Numunelere ait görüntüler Şekil 6.2., Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'de verilmiştir. Daha sonra EDS analizi yapılan A, B ve E numunelerinin sonuçları Şekil 6.5., Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'de verilmiştir.

Şekil 6.2.'de görüldüğü üzere kaplama ve altlık arasında bağlanma problemleri görülmektedir. Tamamı Diamalloy 4700'den oluşan A numunesinde bağlanma problemleri daha az iken karışım tozlardan oluşan B ve E numunesinde A numunesine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış durumuna, kaplama sırasında toz karışımlarının meydana getirdiği fazlar sebep olmuş olabilir.

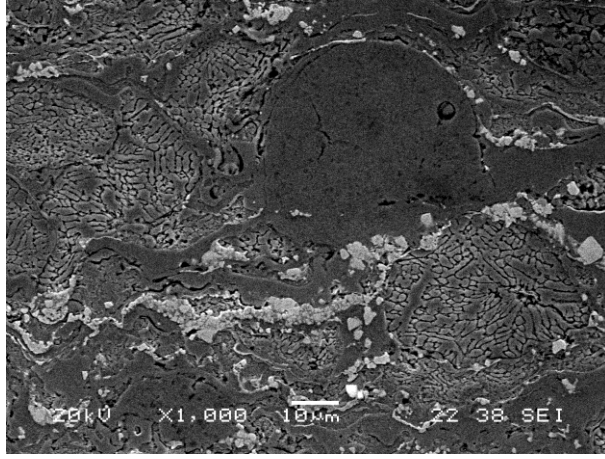
Üç grup numuneye ait yüksek büyütme SEM görüntüleri Şekil 6.3. ve Şekil 6.4. incelendiğinde kaplama morfolojilerinin farklı olduğu görülmüştür. Morfolojiler incelendiğinde sadece Diamalloy 4700 kullanılan A numunesinin morfolojisi karışım tozlarına göre daha homojendir. Özellikle E numunesinde 4700 ün %75 olması ile boşluk oranları daha da artmıştır. Yüzeyde yine ergimemiş toz tanecikleri görülmektedir. Aynı oluşumlar Şekil 6.4.'da verilen 5000x büyütmede daha net görülmektedir.



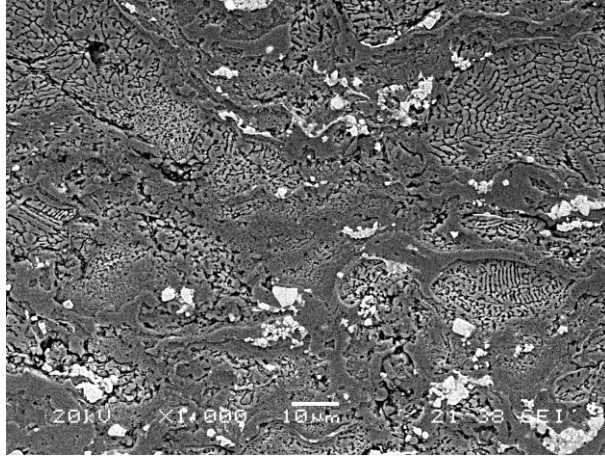
Şekil 6.2. (a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 100x ve 500x SEM görüntüleri.



a)

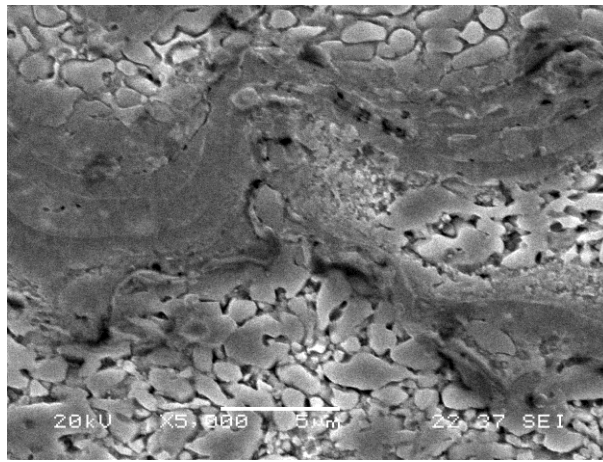


b)

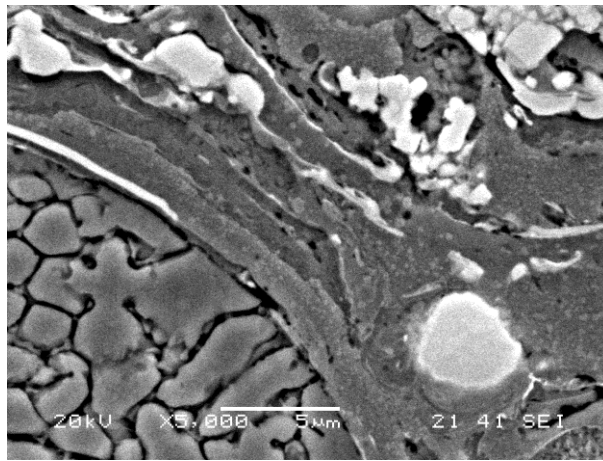


c)

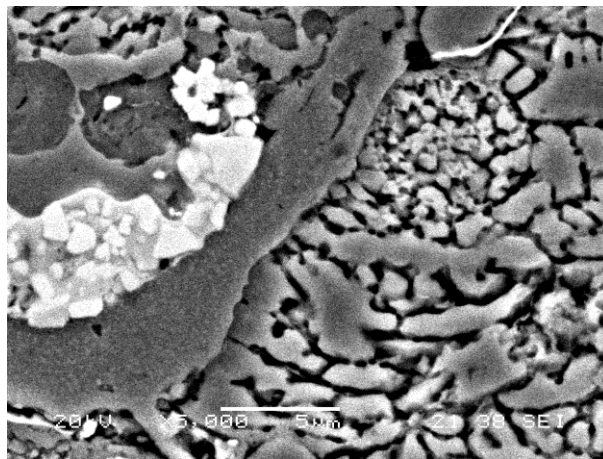
Şekil 6.3.(a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 1000x SEM görüntüleri.



a)

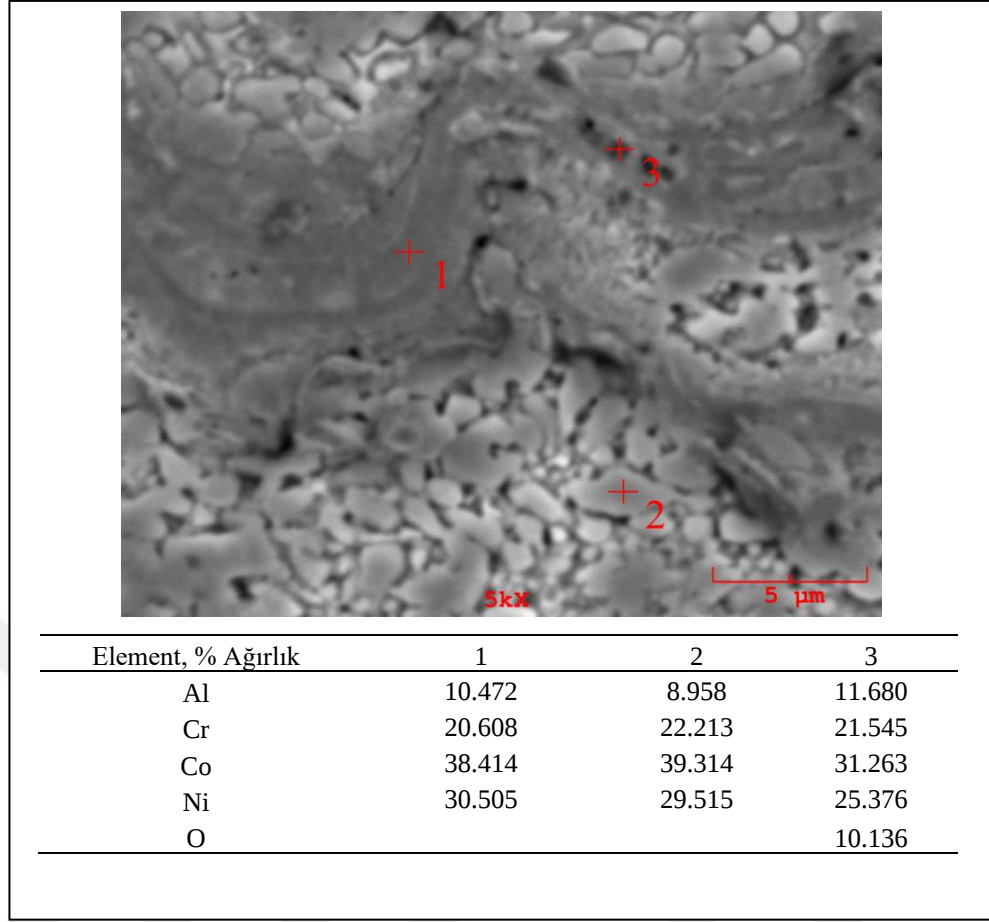


b)



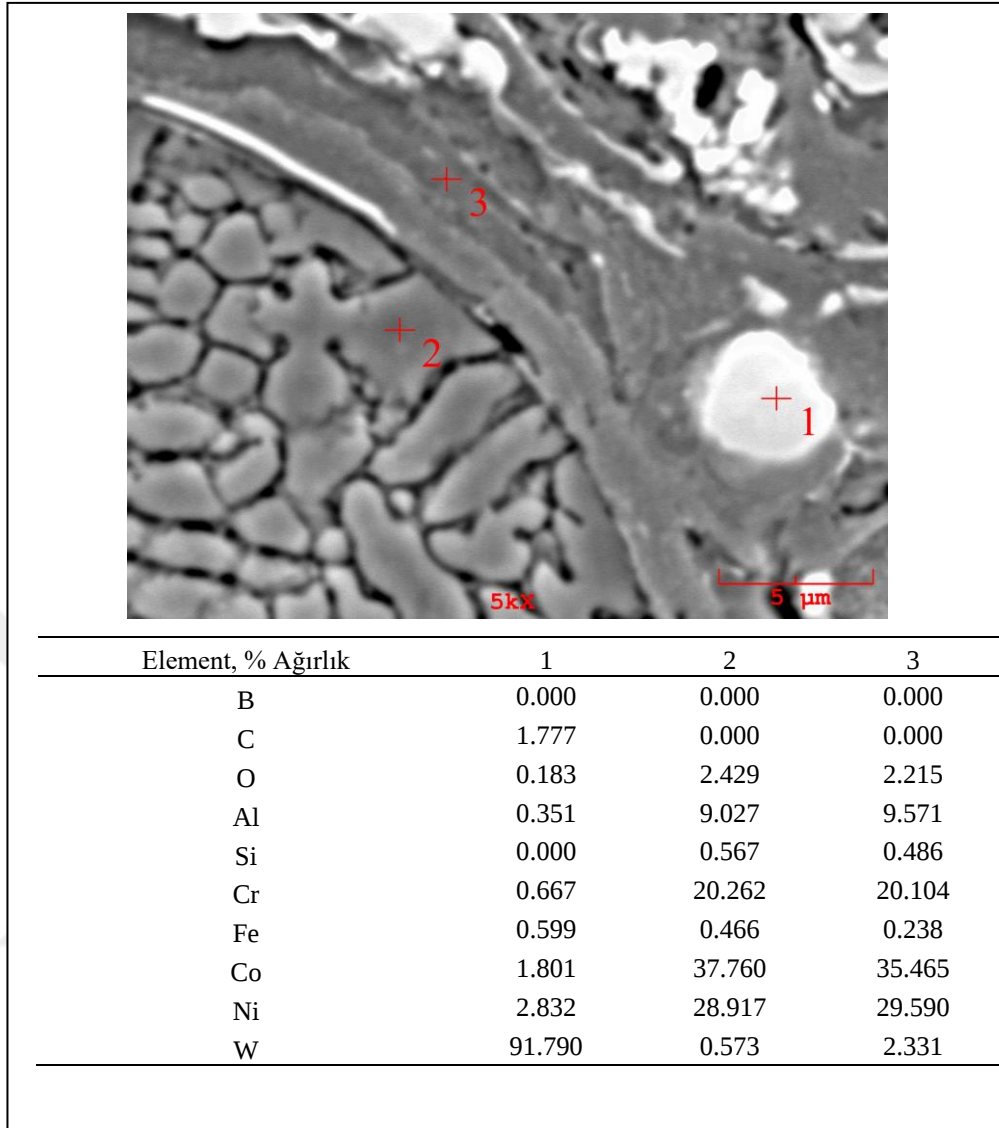
c)

Şekil 6.4. (a) A, (b) B ve (c) E numunelerinin kaplama kesitine ait 5000x SEM görüntüleri.



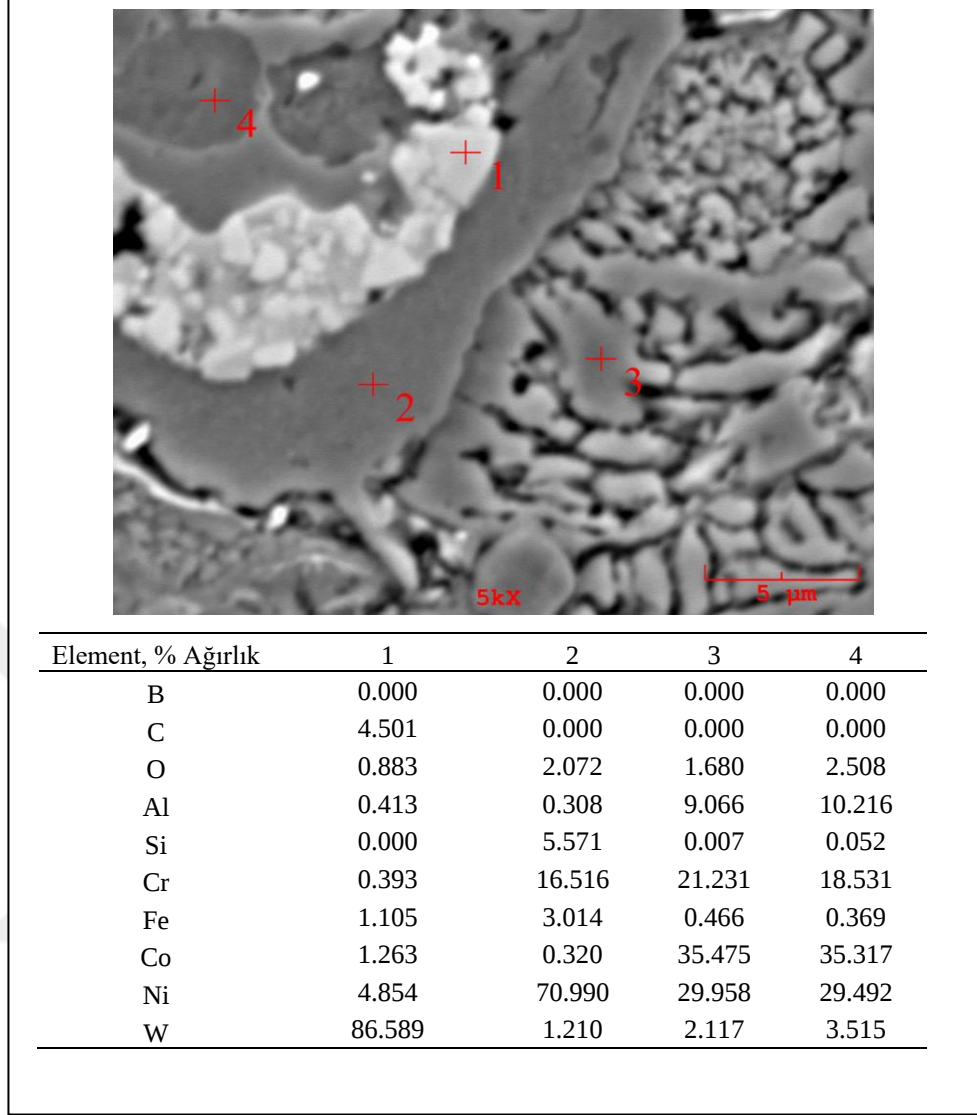
Şekil 6.5. A numunesine ait 3 farklı noktadan EDS analizi.

Şekil 6.5.'de verilen A numunesine ait EDS analizi verilmektedir. Toz içeriğine uygun olarak noktasal analiz sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 6.6. B numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.6.'da B numunesine ait EDS analizleri verilmektedir. B bir karışım tozudur. B'nin karışım tozu olması itibari ile yapısında çok fazla element olduğu belirlenmiştir. Toz içerikleri ile uygun analiz sonuçları elde edilmiştir. Özellikle büyük beyaz tanecikler tungstendir.

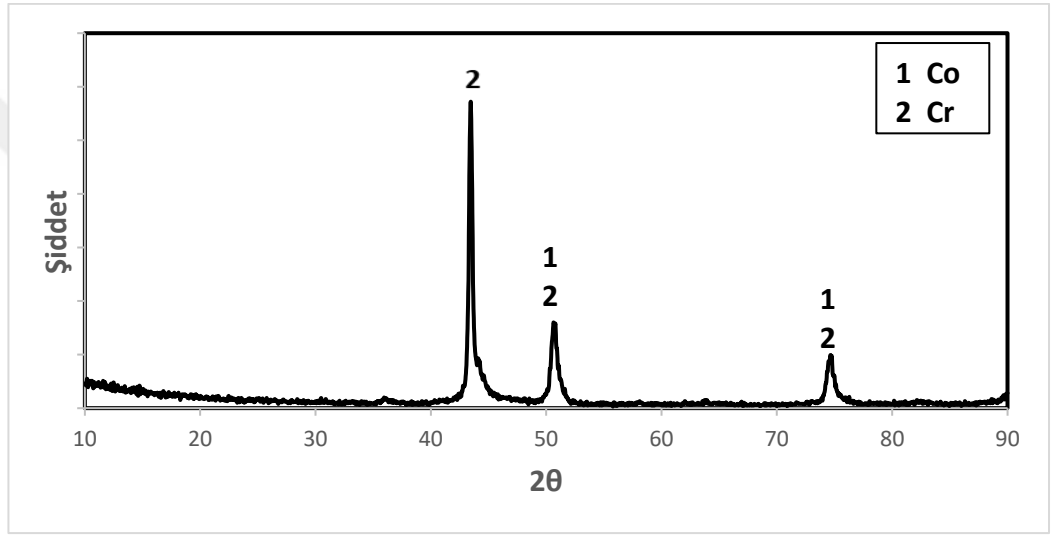


Şekil 6.7. E numunesine ait EDS analizi.

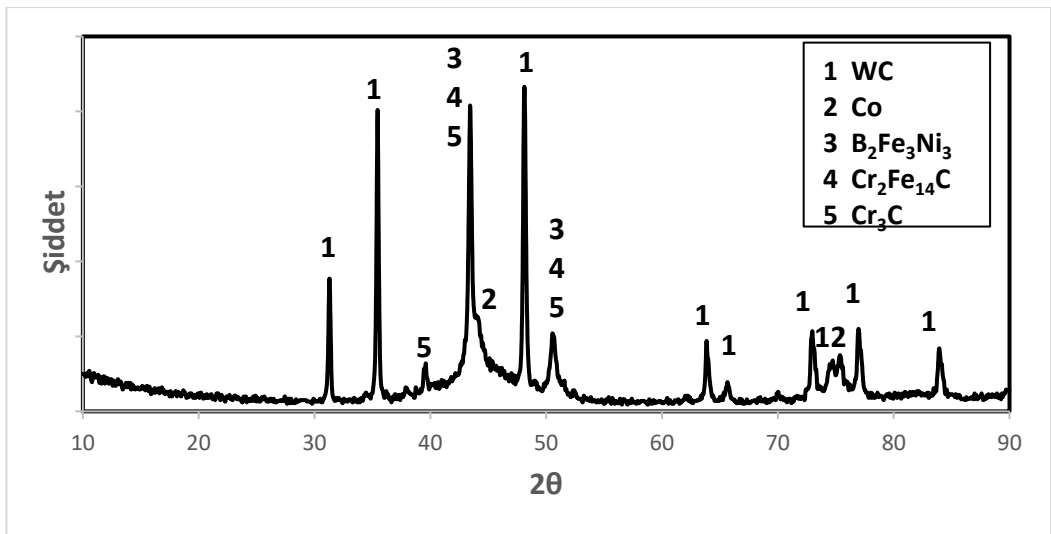
Şekil 6.7.'de E numunesine ait EDS analiz sonuçları verilmektedir. Bu numune gurubunda Diamalloy 4700 alaşımının içeriğinin artması (%75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002) ile elementel analizde B numunesine göre bir farklılık oluşmuştur. Analiz sonuçları toz içerikleriyle uygundur. Yine özellikle beyaz bölgeler tungstendir (W). 3 ve 4 no.lu bölgelerde kobalt ve nikel yoğunluğu belirlenmiştir.

6.3. XRD Analiz Sonuçları

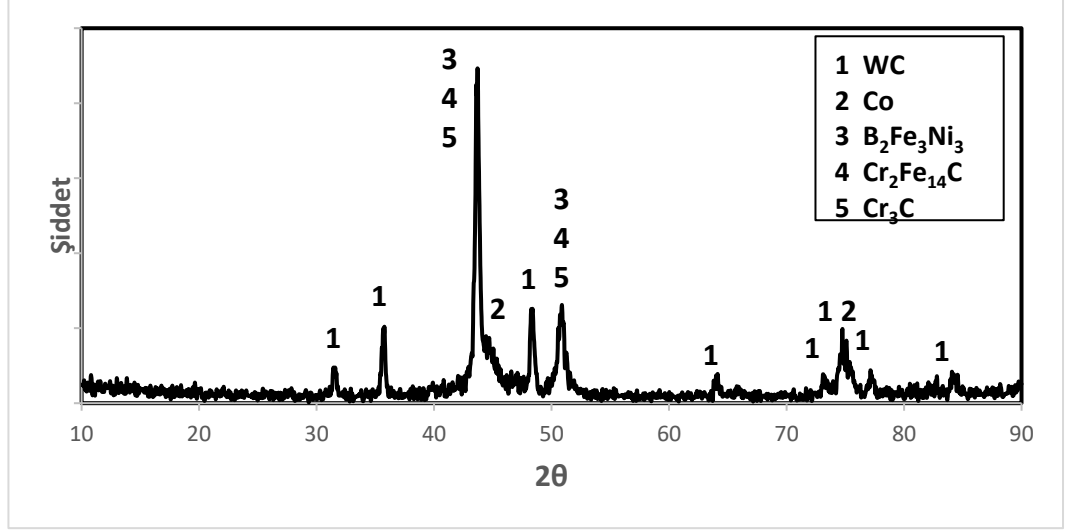
XRD analiz sonuçları incelendiğinde A numunesinde Co, Cr fazları görünürken B ve E numunelerinde WC, Co, $B_2Fe_3Ni_3$, $Cr_2Fe_{14}C$ ve Cr_3C fazları tespit edilmiştir. %50-50 karışıma sahip B numunesinde piklerin şiddetlendiği görülmüştür. A, B ve E numunelerine ait X-ışını grafikleri Şekil 6.8., Şekil 6.9. ve Şekil 6.10.'de verilmiştir. A numunesi ile kıyaslandığında beklenildiği üzere B ve E numunesinde faz çeşitliliği fazladır.



Şekil 6.8. A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait XRD analiz sonucu.



Şekil 6.9. B (%50 4700-%50 2002) numunesine ait XRD analizi.



Şekil 6.10. E (%75 4700-%25 2002) numunesine ait XRD analizi.

A numunesi sadece Diamalloy 4700 içerdiğinden dolayı yapısında az sayıda faz vardır. Bununla birlikte karışım tozu olan B ve E numuneleri yapılarında her iki toz içeriğinden gelen yeni ve farklı faz oluşumları görülmektedir. B numunesinde piklerin şiddetleri daha yüksektir.

6.4. Mikro Sertlik Sonuçları

Numuneler kaplandıktan sonra kaplama, altlık ve kaplama-altlık arası geçiş bölgelerinin 3 farklı noktadan sertlik ölçümleri alınmıştır. Buna göre B'nin (%50 Diamalloy 4700 ve %50 Diamalloy 2002) E karışımına (%75 Diamalloy 4700- %25 Diamalloy 2002) göre daha iyi sertlik değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Sertlik değerleri Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kaplama sonrası numunelerden alınan mikro sertlik değerleri.

Numune Kodu	Ortalama Kaplama Sertliği (HV)	Altlık Sertlik Değeri (HV)	Altık ve kaplama Arası Geçiş Bölgesinin Sertlik Değeri (HV)
A (%100 4700)	332	178	268
B (%50 4700-%50 2002)	523	178	312
E (%75 4700-%25 2002)	471	178	304

Elde edilen sertlik değerlerinde B numunesinin sertliğinin yüksek çıkmasının sebebi yapısındaki sert fazların varlığı ve yüksekliğidir. A numunesi saf 4700 olması sebebi ile yapısında çok fazla faz yoktur. Bu durum sertliğinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Wang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada WC, Co tabanlı oluşan sert fazların daha yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olduklarını belirtmişlerdir (Yueming Wang, 2021).

6.5. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyleri 200 m yol, 3 ve 5 N yük altında 0,1 ve 0,2 m/s hızlarında yapılmıştır. Aşınma parametreleri Tablo 6.2.'da verilmiştir.

Tablo 6.2. Aşınma parametreleri.

Deney Sırası	1	2	3	4
Frekans (Hz)	1,59	1,59	3,18	3,18
Maks. Lineer Hız (cm/sn)	10	10	20	20
Normal Yük (N)	3	5	3	5
Toplam Yol (m)	200			
Toplam Genlik (mm)	20			
Kazanç oranı (Hz)	100			
Yörünge	SİNÜS			
Sıcaklık (°C)	25			
Nem (%)	25			
Atmosfer	HAVA			
Aşındırıcı Malzeme	BİLYA (6mm Çap)			

A, B ve E numuneleri 1, 2, 3 ve 4 numaralı deney parametreleri ile aşınma testine tabi tutulmuş ve deney sonrası optik mikroskop yardımıyla iz genişlikleri ölçülmüştür. Ayrıca ortalama kütle kayıplarına göre aşınma oranları Denklem 6.1'e göre hesaplanmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Tablo 6.3., Tablo 6.4., Tablo 6.5. ve Tablo 6.6.'da verilmiştir.

$$K_0 = \Delta m / L \cdot F \cdot \rho \text{ (mm}^3\text{N}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{)} \quad (6.1)$$

Δm = Ortalama kütle kaybı, g

L= Kayma mesafesi, mm

F= Uygulanan kuvvet, N

P= Yoğunluk, g/mm³

Tablo 6.3. 1 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.

Numune No	Ortalama İz Genişliği(μm)	Aşınma Oranı(mm ³ /N/m)	Sürtünme Katsayısı(μ)
A1	653	4,979E-006	0,752
B1	550	2,503-006	0,647
E1	600	3,547E-006	0,652

Tablo 6.4. 2 no.lu deney parametreleri (200m 0,1m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.

Numune No	Ortalama İz Genişliği(μm)	Aşınma Oranı(mm ³ /N/m)	Sürtünme Katsayısı(μ)
A2	800	6,744E-006	0,799
B2	600	2,628E-006	0,658
E2	730	4,671E-006	0,713

Tablo 6.5. 3 no.lu deney parametreleri (200m 0,2m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.

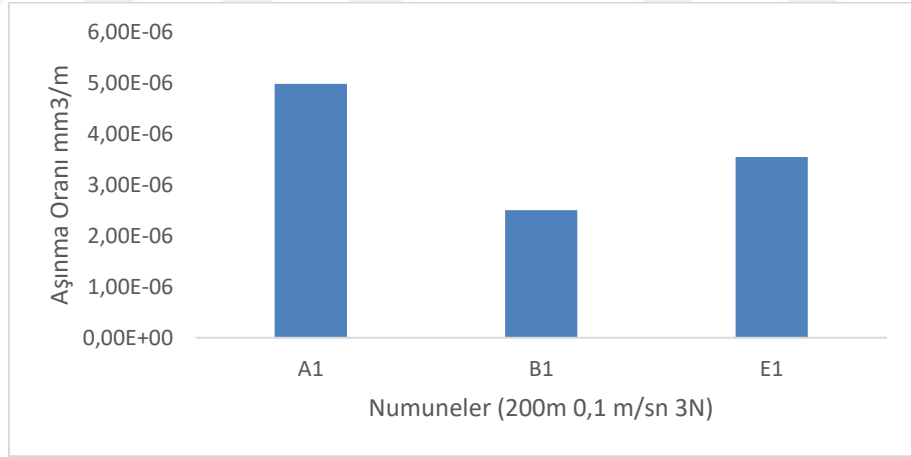
Numune No	Ortalama İz Genişliği(μm)	Aşınma Oranı(mm ³ /N/m)	Sürtünme Katsayısı(μ)
A3	681	5,892E-006	0,774
B3	655	5,041E-006	0,673
E3	679	5,823E-006	0,733

Tablo 6.6. 4 no.lu deney parametreleri (200m 0,2m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen veriler.

Numune No	Ortalama İz Genişliği(μm)	Aşınma Oranı(mm ³ /N/m)	Sürtünme Katsayısı(μ)
A4	970	6,462E-006	0,782
B4	612	5,304E-006	0,681
E4	690	5,926E-006	0,749

Sonuçlar incelendiğinde Tablo 6.3.'de görüldüğü üzere 1 no.lu deney parametreleri için en yüksek aşınma oranı A karışımı (%50-4700/%50-2002) en düşük aşınma oranı ise B karışımında (%75-4700/%25-2002) olduğu görülmüştür. Tablo 6.4.'de ise 2 no.lu deney parametrelerinde en düşük aşınma oranı yine B en yüksek aşınma oranı A karışımında olduğu gözlemlenmiştir. Hızın 0,2 m/sn 'ye çıktığı 3 ve 4 no.lu deneylerde ise Tablo 6.5. ve Tablo 6.6.'da görüldüğü üzere, 3N yük altında en düşük aşınma oranı B en yüksek aşınma oranı A karışımında (%100 4700), 5N yük altında en yüksek aşınma oranı A en düşük aşınma oranı B karışımında olduğu ölçülmüştür.

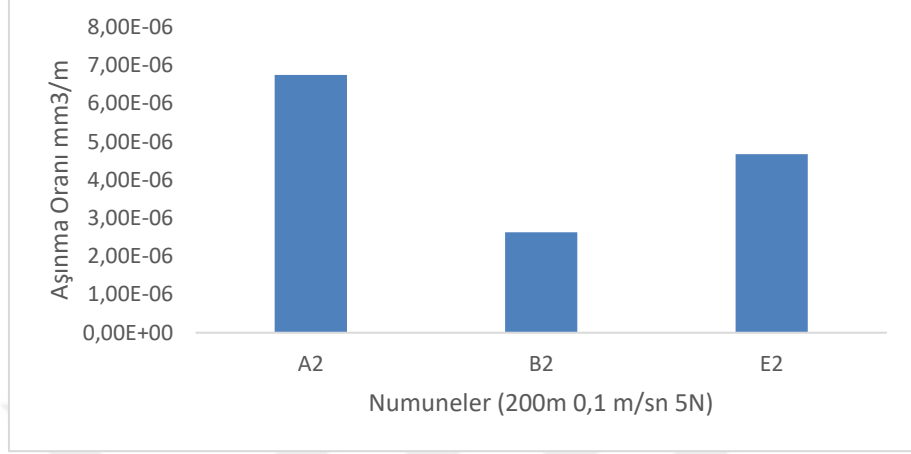
Tablo 6.3.'de görüldüğü üzere 1 no.lu deney parametrelerinde en yüksek sürtünme katsayısı 0,852 μ ile A numunesine aittir, en düşük sürtünme katsayısı ise B numunesinde ölçülmüştür. Aynı şartlar altında yük 5N'a çıkarıldığında yine A numunesi Tablo 6.4.'de görüldüğü üzere en yüksek sürtünme katsayısına ve B numunesi en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. 3 ve 4 no.lu deney parametrelerinde Tablo 6.5. ve Tablo 6.6.'da görüldüğü üzere yine A numunesi en yüksek sürtünme katsayısına B numunesi ise en düşük sürtünme katsayısına sahiptir.



Şekil 6.11. 1 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.

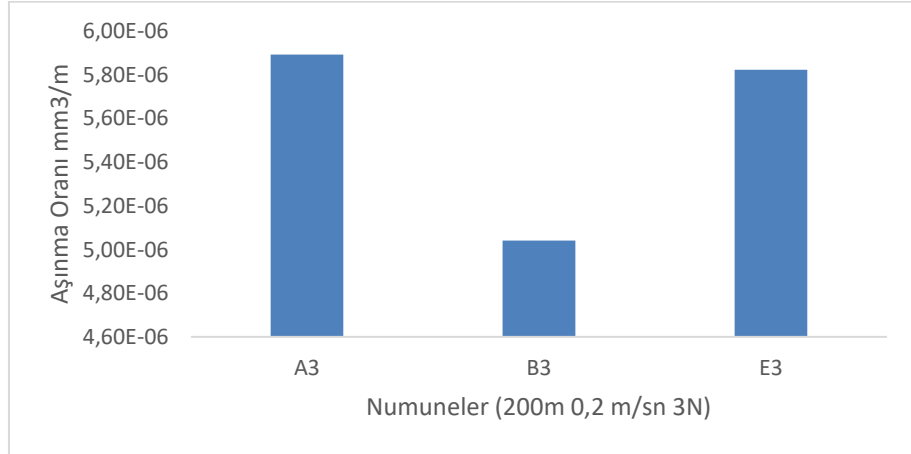
Şekil 6.11.'de görüldüğü üzere 1 no.lu deneyde 200m 0,1m/sn 3N uygulandığında elde edilen sonuçlarda görülmüştür ki B numunesi aşınma oranı diğer guruplardan daha düşüktür. A numunesinin ise aşınma oranı diğerlerinden çok daha yüksektir. B

numunesinin yapısındaki sert ve yoğun fazların varlığı B türü kaplamanın aşınma dayanımında artışa sebebiyet vermiştir.



Şekil 6.12. 2 no.lu deney parametreleri (200m 0,1 m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.

2 no.lu deneyde yük arttırılmıştır. Yükün artmasıyla tüm numune gruplarında aşınma oranı biraz daha yükselmiştir. Ancak yine aynı eğilim Şekil 6.12.'de görüldüğü üzere (B numunesinin daha az aşınması) bu deney grubunda da tespit edilmiştir.

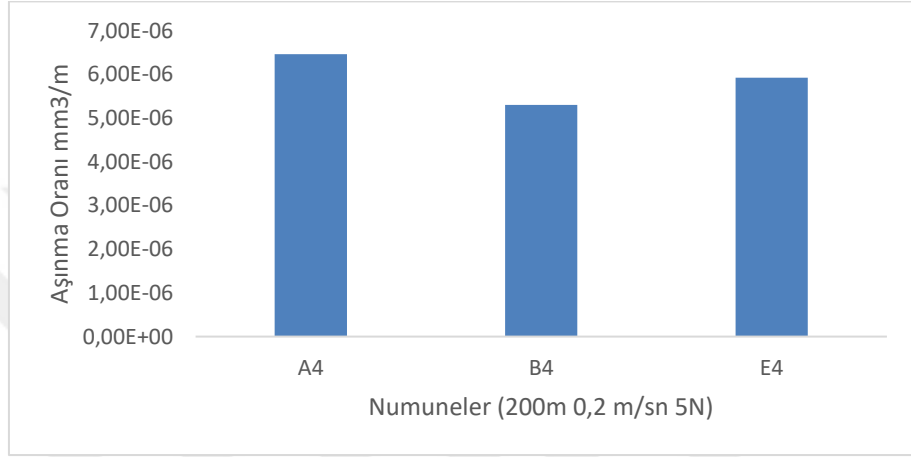


Şekil 6.13. 3 no.lu deney parametreleri (200m 0,2 m/sn 3N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.

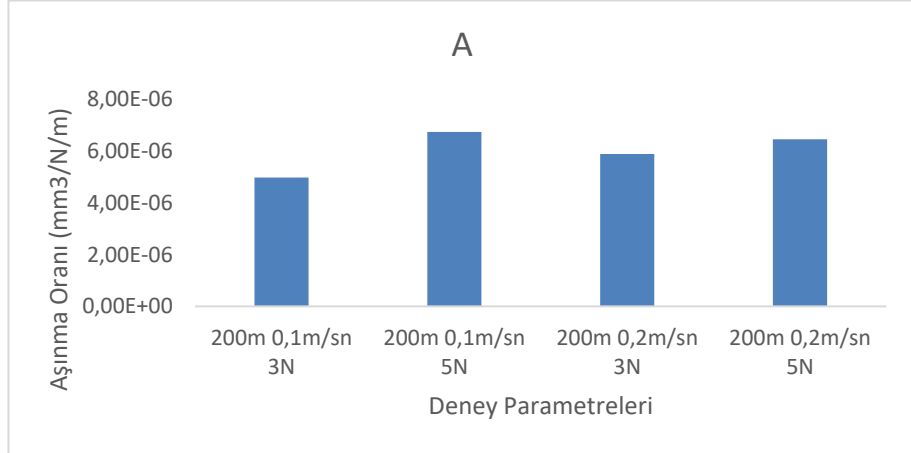
Şekil 6.13.'de görüldüğü gibi 3 no.lu deneyde hız arttırılmıştır. Hızın artması numune gruplarında aşınma oranının artmasına sebebiyet vermiştir. Hızın artmasıyla yüzeyden kopan aşınma ürünleri biraz daha fazlalaşacaktır. Dolayısıyla hem hız hem de yükün arttığı Şekil 6.14.'de gösterilen 4 no.lu deneyde aşınma oranları numune gruplarında

arttığı görülmüştür. Yolun ve yükün artması, aşınmanın şiddetinin artması ve aşınma deformasyon mekanizmasının şiddetlenmesi anlamına gelmektedir.

Sanjay ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, aşınma hızının ve aşınma yükünün aynı anda artmasının aşınma miktarını artırdığını tespit etmişlerdir (Sanjay W. Rukhande, 2021).

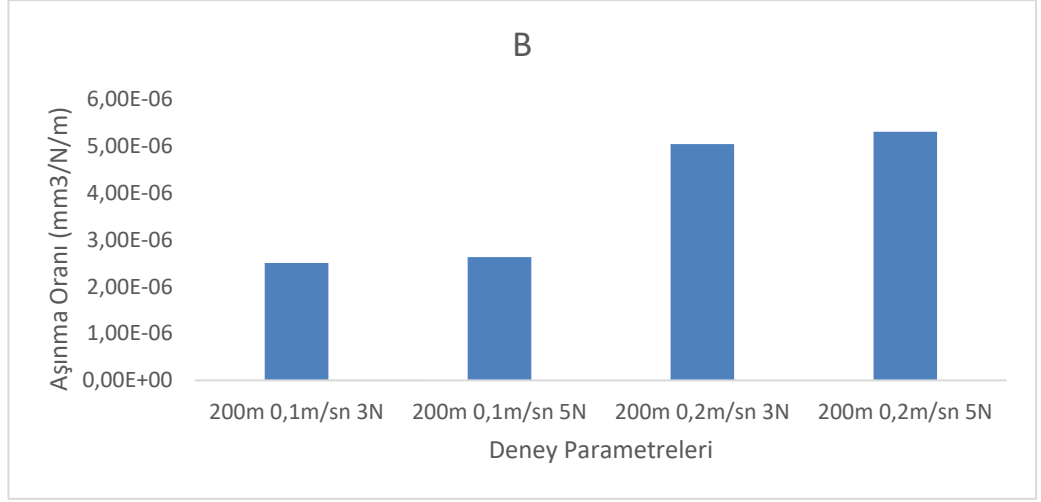


Şekil 6.14. 4 no.lu deney parametreleri (200m 0,2 m/sn 5N) ile yapılan deneyden elde edilen aşınma oranları verilerinin grafiği.

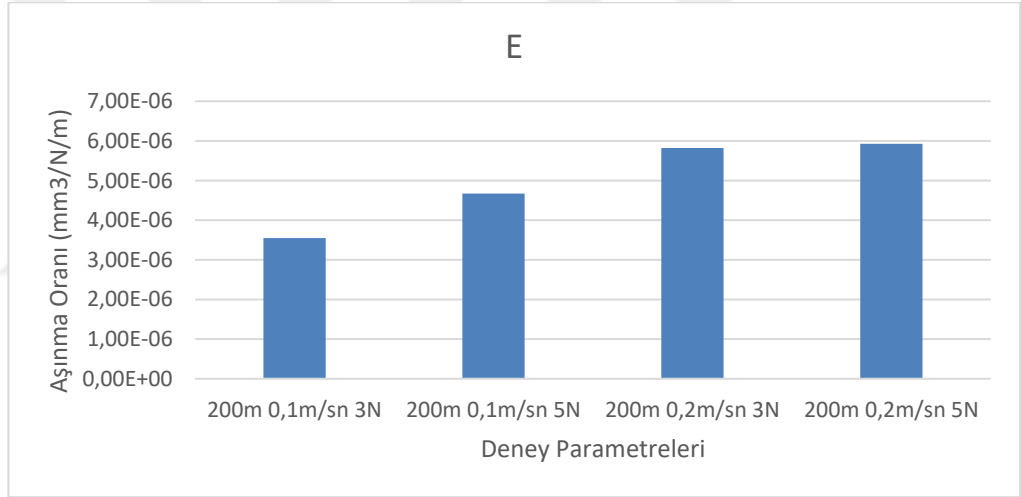


Şekil 6.15. A numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği.

Şekil 6.15.-6.17.'de aşınma deneyleri toplu olarak gösterilmektedir. Özellikle B ve E grubu numunelerinin toplu aşınma oranı grafiklerinde şu görülmüştür ki yükün atışıyla aşınma oranı artmıştır. Ancak A numunesinde küçük bir azalma görülmüştür. Bu ilginç bulgunun sebebi aşınma sırasında kopan aşınma ürünlerinin yüzeye sıvanması ve yeni bir kaplama tabakası oluşturması ile aşınma oranının azalması şeklinde açıklanabilir.

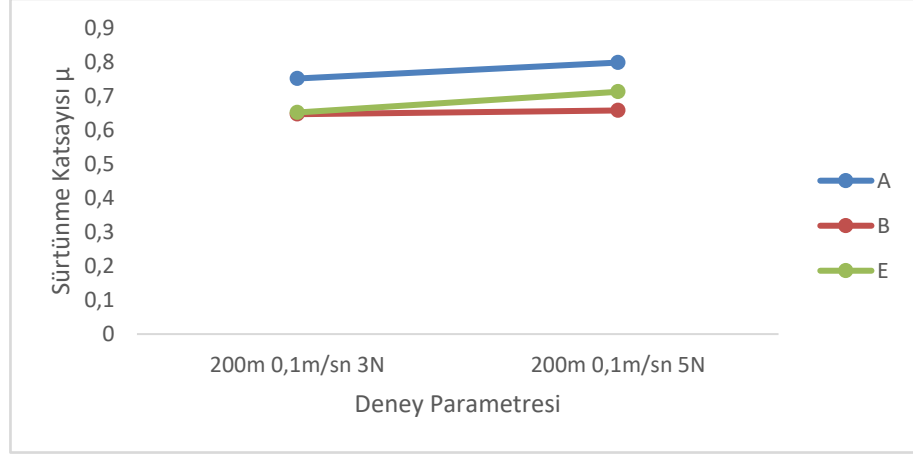


Şekil 6.16. B numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği.



Şekil 6.17. E numunesine ait çeşitli parametrelerdeki aşınma oranları grafiği.

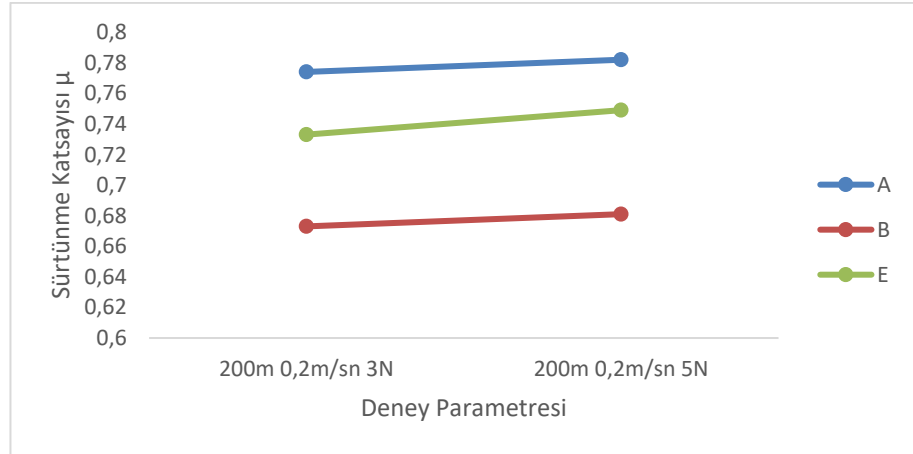
Ayrıca, aşınma deneyleri sonrası sürtünme katsayıları tespit edilmiştir. Buna göre aynı deney parametrelerinde farklı numunelerin sürtünme katsayıları karşılaştırmalı olarak grafiğe dökülmüş ve yorumlanmıştır. A, B ve E numunelerine ait yüke bağlı sürtünme katsayıları değişim grafikleri Şekil 6.18.'de verilmiştir. Grafikten görülüyor ki A, B ve E numunelerinin sürtünme katsayıları yükün artmasıyla beklenildiği gibi artmıştır.



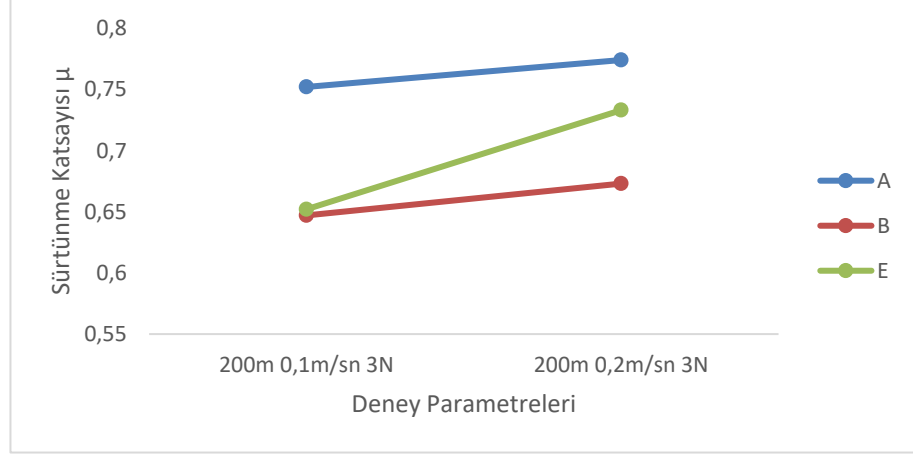
Şekil 6.18. A, B ve E numunelerine ait 0,1m/sn hızda 3N ve 5N yüklerde elde edilen sürtünme katsayıları.

Şekil 6.19.'da A, B ve E numunelerinin sürtünme katsayılarına bakıldığında ise 3N yükte en düşük değere B numunesi sahipken Yük artışıyla en düşük değer yine B numunesinde görülmüştür.

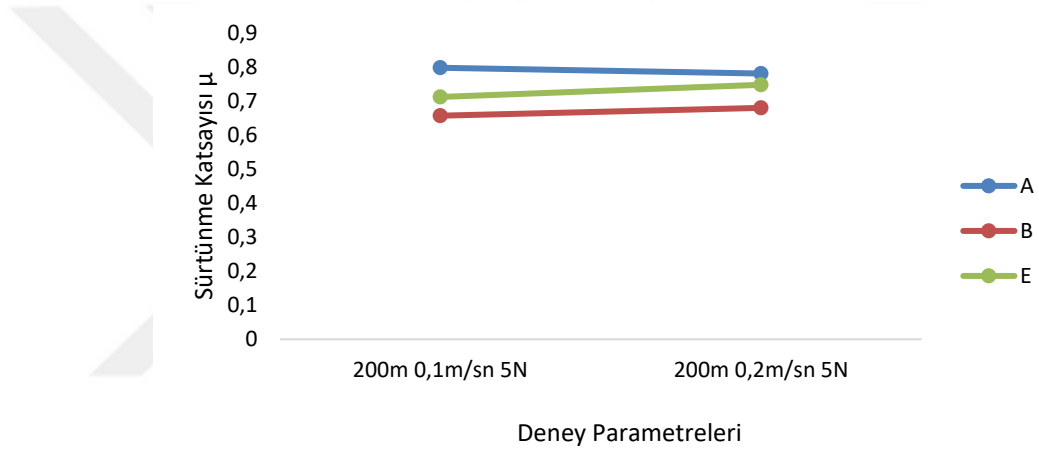
Şekil 6.20.'de görüldüğü üzere 3N yük altında hızın artması ile A, B ve E numunelerinin sürtünme katsayıları değişkenlik gösterirken E numunesinin artış miktarı en fazla olmuştur.



Şekil 6.19. A, B ve E numunelerine ait 0,2m/sn hızda 3N ve 5N yüklerde elde edilen sürtünme katsayıları.

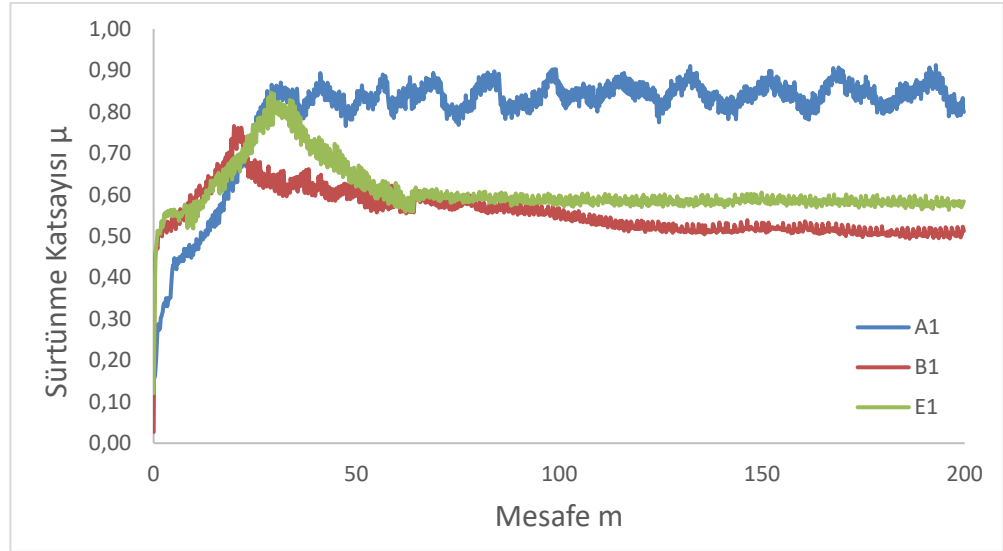


Şekil 6.20. A. B ve E numunelerine ait 3N yükte 0,1m/sn ve 0,2 m/sn hızlarında elde edilen sürtünme katsayıları.

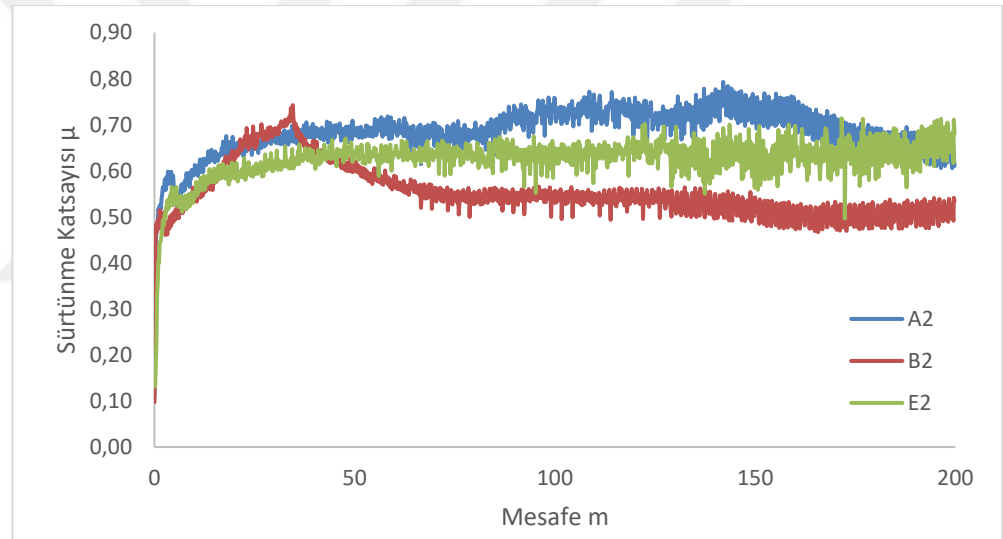


Şekil 6.21. A. B ve E numunelerine ait 5N yükte 0,1m/sn. ve 0,2 m/sn. hızlarında elde edilen sürtünme katsayıları.

Şekil 6.21.'de görüldüğü üzere 5N yük altında her iki hızda da B numunesi en düşük sürtünme katsayısına sahipken onu sırasıyla E ve A numuneleri takip etmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere iki farklı hızda katsayı değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır.

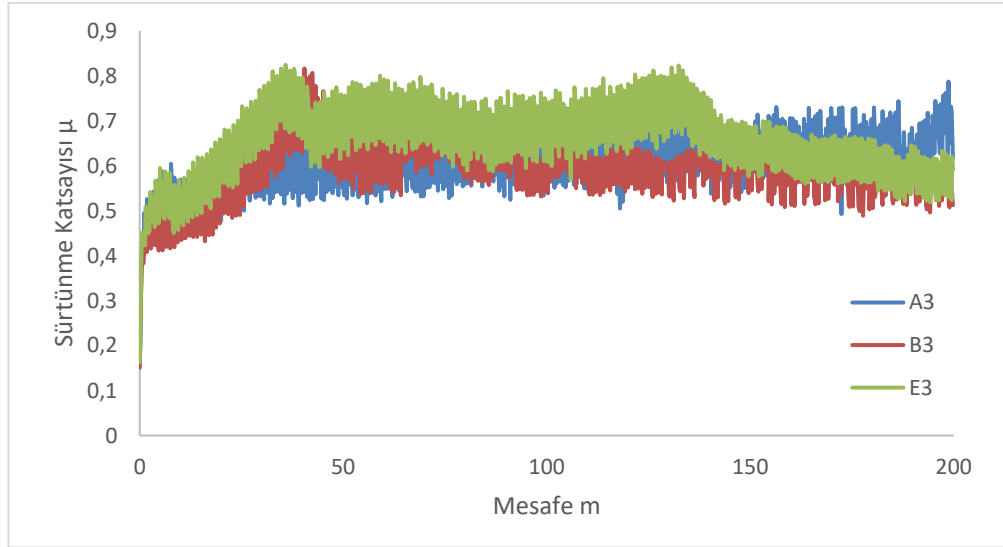


Şekil 6.22. 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 3N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

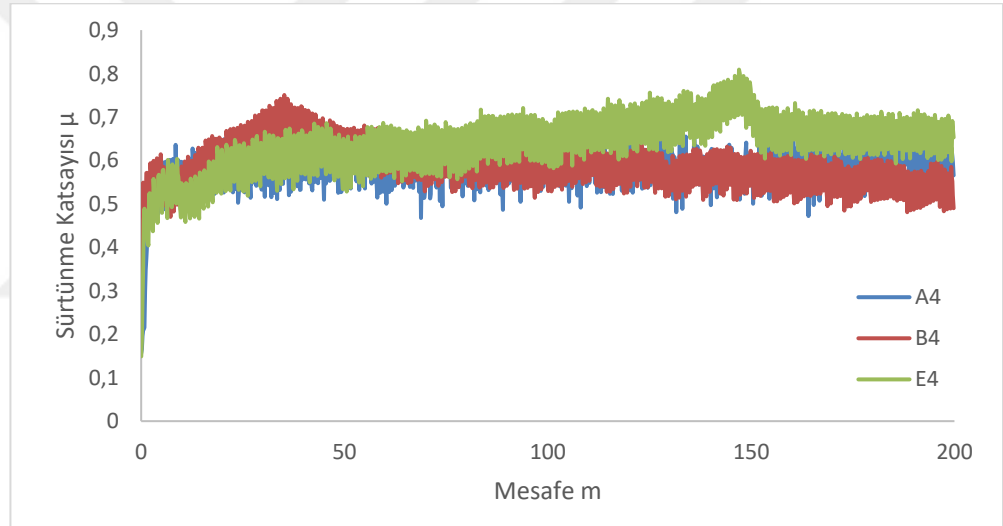


Şekil 6.23. 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 5N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 6.22.'de A, B ve E numunelerinin 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 3N yük altında sürtünme katsayı grafikleri verilmektedir. Grafikten de görüleceği üzere B grubu numunenin sürtünme katsayısı daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.24. 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 3N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.



Şekil 6.25. 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 5N yük altında A, B ve E numunelerine ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 6.23.'de A, B ve E numunelerinin 200m mesafe 0,1 m/sn hız ve 5N yük altında sürtünme katsayı grafikleri verilmektedir. Grafikten de görüleceği üzere yine B grubu numunenin sürtünme katsayısı daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6.24.'de A, B ve E numunelerinin 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 3N yük altında sürtünme katsayı grafikleri verilmektedir. Buna göre B numunesi en düşük sürtünme katsayısına sahiptir.

Şekil 6.25.'de A, B ve E numunelerinin 200m mesafe 0,2 m/sn hız ve 5N yük altında sürtünme katsayısı grafikleri verilmektedir. Şekil 6.25. incelendiğinde yine en düşük sürtünme katsayısı B numunesinde gözlemlenmiştir.

Genel olarak sürtünme tespit edilen sürtünme katsayıları beklenildiği gibi gelmiştir.

6.6. Kaplanan Numunelerin Aşınma Sonrası SEM ve EDS analizleri

Aşınma Deneylerinden sonra numunelerin tamamı için SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır. Aşınma yüzeyleri SEM mikroskopunda elde edilen bulgular Şekil 6.26., Şekil 6.27., Şekil 6.28., Şekil 6.29.'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 6.26.'da 200m mesafede 3N yük altında 0,1m/sn. hızındaki aşınma deneyine ait A, B ve E numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x aşınma izi bölgesi SEM görüntüleri gösterilmiştir. Buna göre A numunesinde plastik deformasyona rastlanırken B ve E numunesinde aşınma sonucu ortaya çıkan aşınma ürünleri gözlemlenmiştir. Şekil 6.26.'da aşınma ürünlerinin B numunesinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi B numunesinin %50-50 karışıma sahip olması ve buna bağlı olarak kaplama sırasında oluşan sert fazların bu numunede miktarca daha fazla olması söylenebilir.

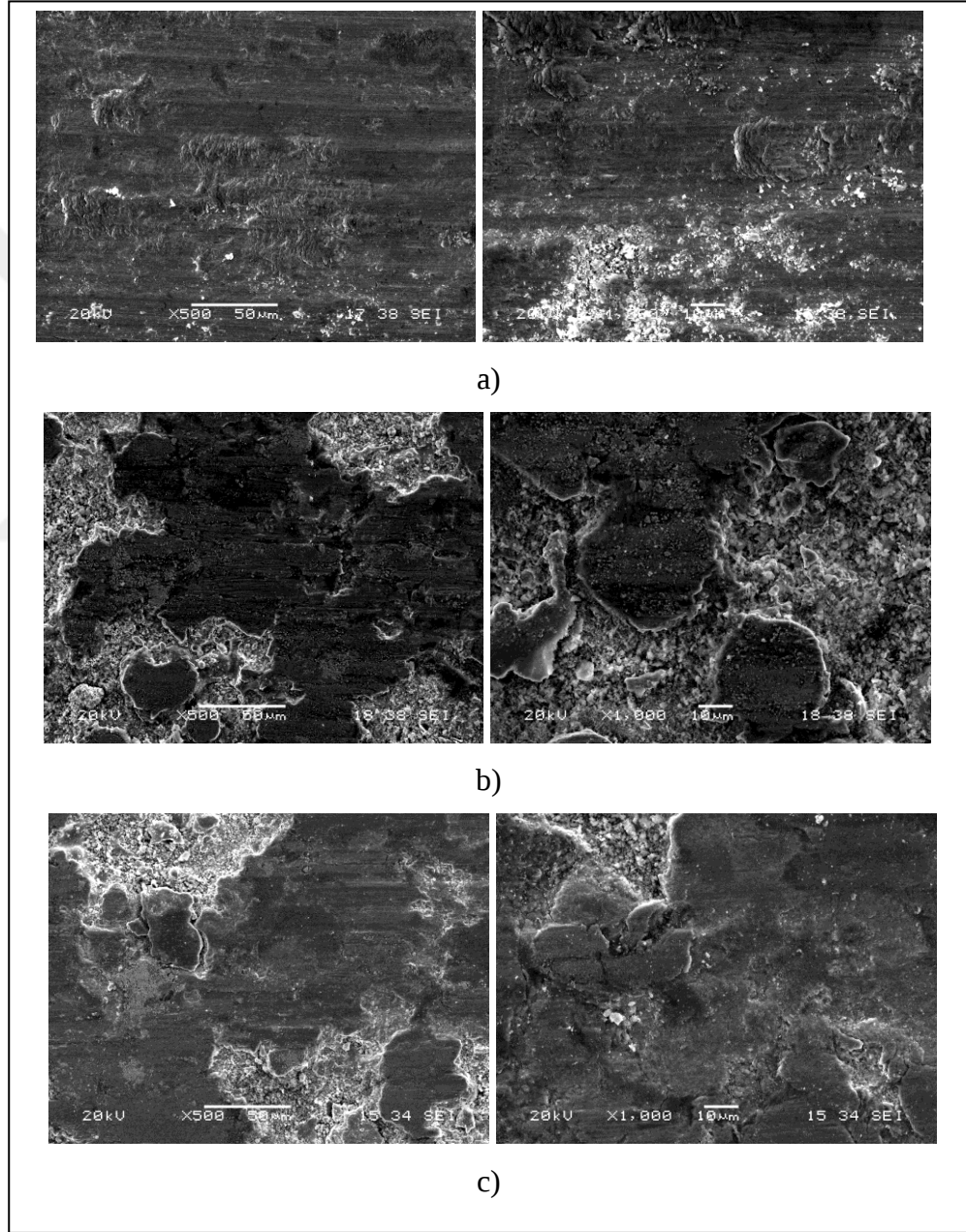
Şekil 6.27.'de 200m mesafede 5N yük altında 0,1m/sn. hızında yapılan aşınma deneyine ait aşınma bölgesi SEM görüntüleri sırasıyla 500x ve 1000x olacak şekilde gösterilmiştir. Aşınma yükünün artmasıyla sert fazların çoğunlukta olduğu B numunesinde mikro çatlaklar görülmüştür. Ayrıca yükün artması ile aşınma ürünlerinin sıvanma miktarının genel resimde arttığı görülmektedir.

Lei ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kaplama sonrası ortaya çıkan gözenek ve faz arayüzlerinden oluşan kusurların çatlak oluşumlarını hızlandırdığı buna karşın yapıdaki sert fazların çatlak yayılmasını engellediği görülmüştür (Lei Qiao, 2021).

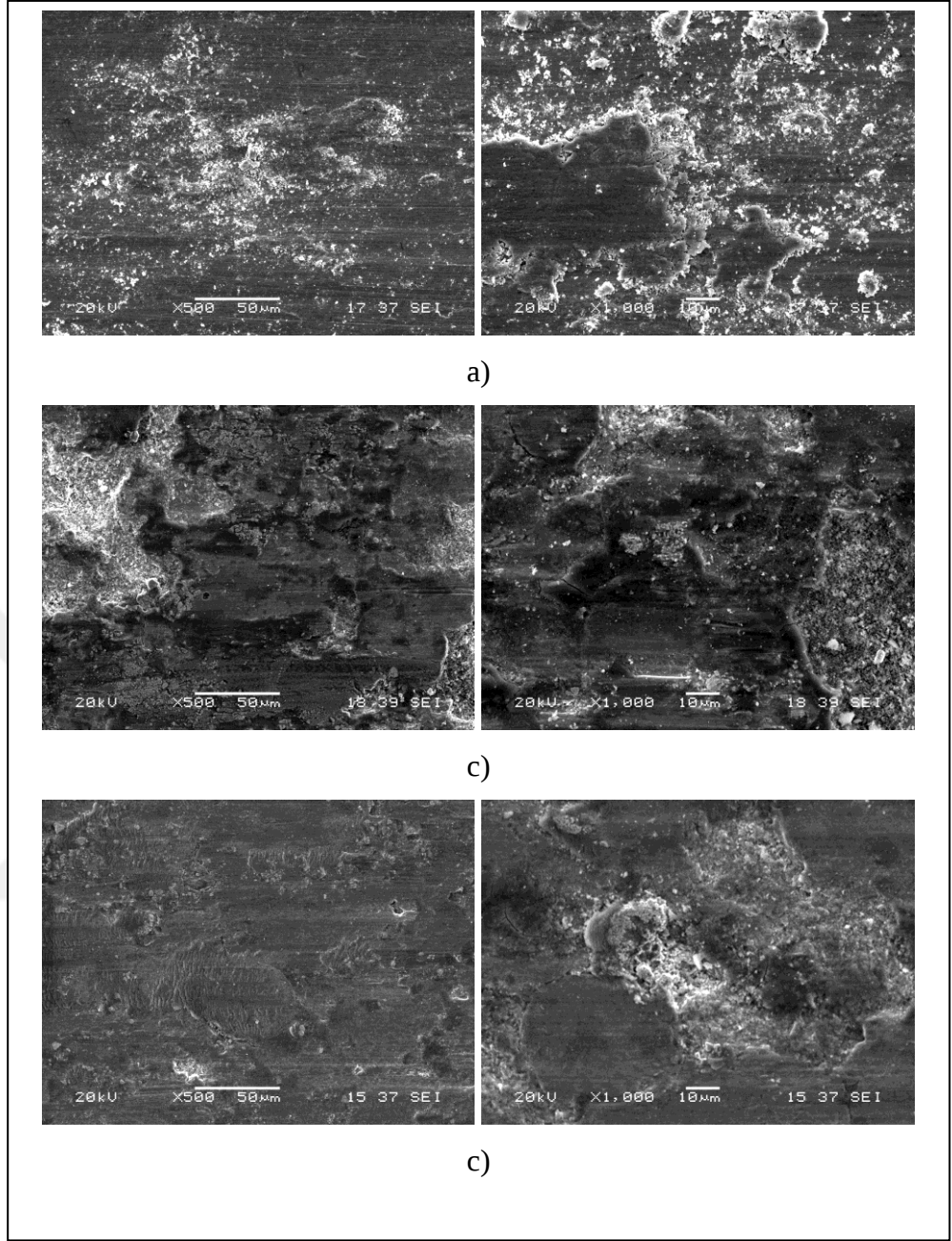
Şekil 6.28.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 3N yük altında A, B ve E numunelerine ait aşınma sonrası aşınma bölgesi SEM görüntüleri sırasıyla 500x ve

1000x büyütmede gösterilmiştir. Burada aşınma yolundaki çizgiler daha belirgin hale gelmiştir. Bu da abrazif aşınma meydana geldiğini ve hızın artması ile bu miktarın artması anlamına gelmektedir.

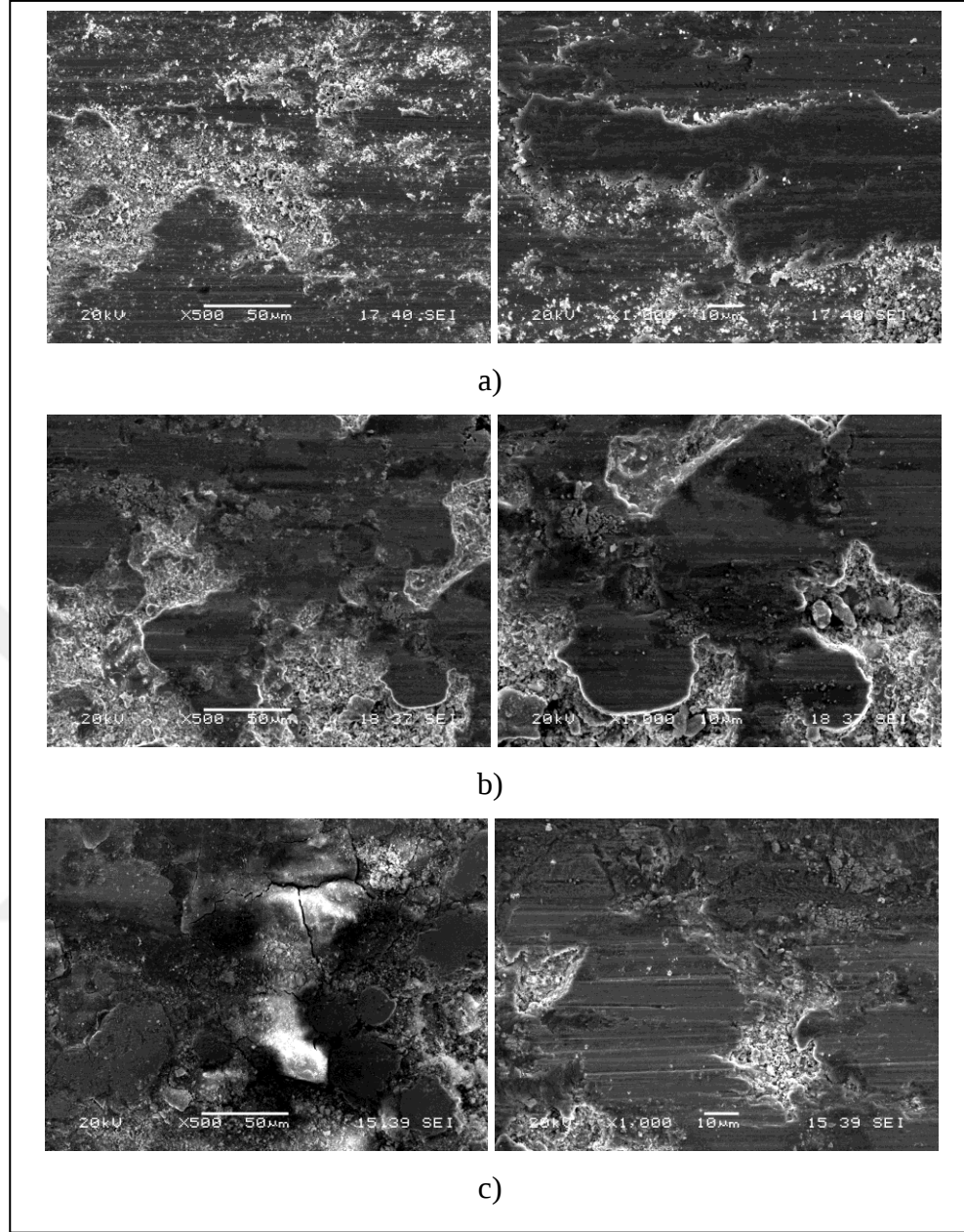
Yine Sanjay ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada aşınma ürünlerinin, gözenek ve mikro çatlakların abrasif aşınmaya neden olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır (Sanjay W. Rukhande, 2021).



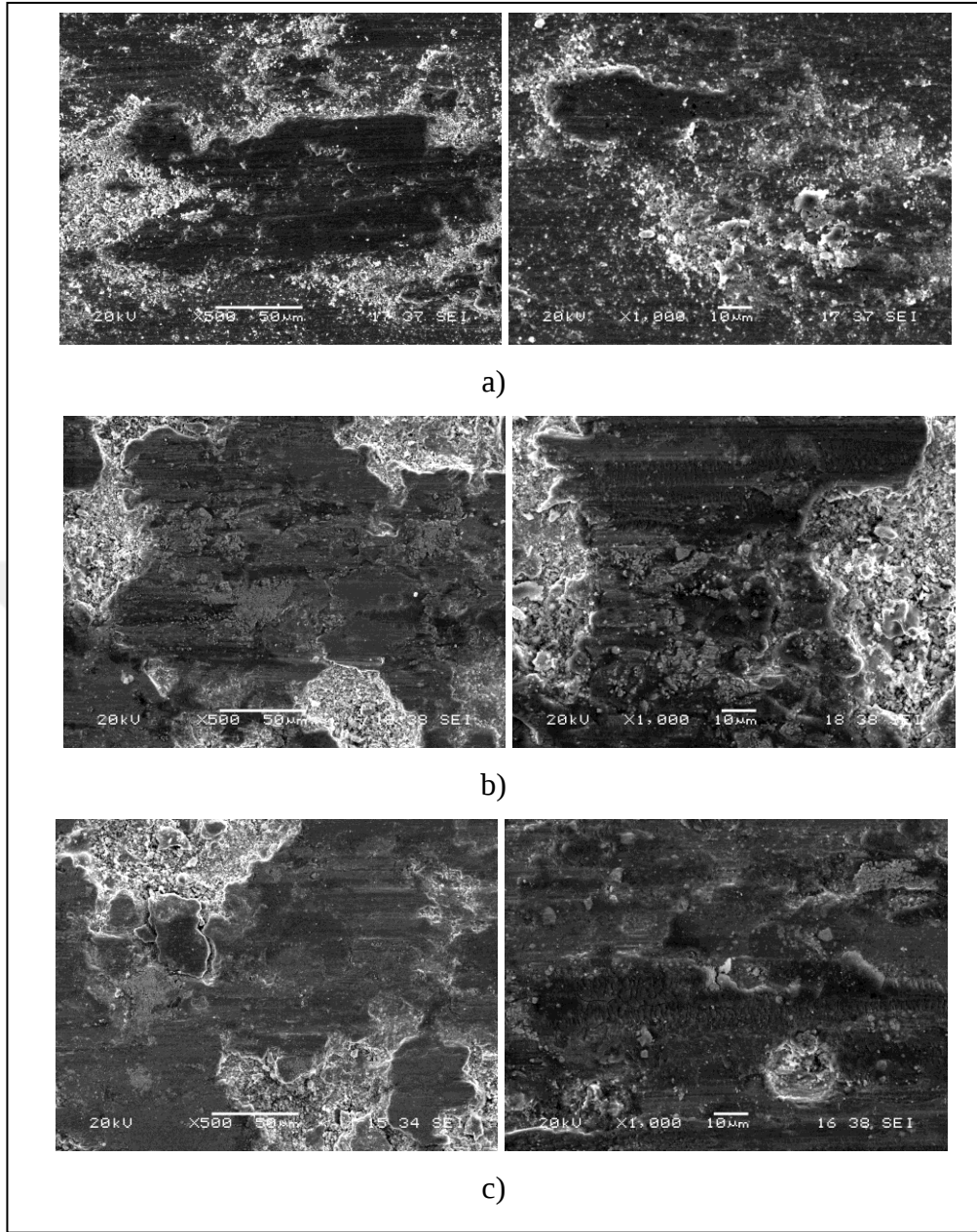
Şekil 6.26. (a) A1, (b) B1 ve (c) E1 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma SEM görüntüleri.



Şekil 6.27. (a) A2, (b) B2 ve (c) E2 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri.

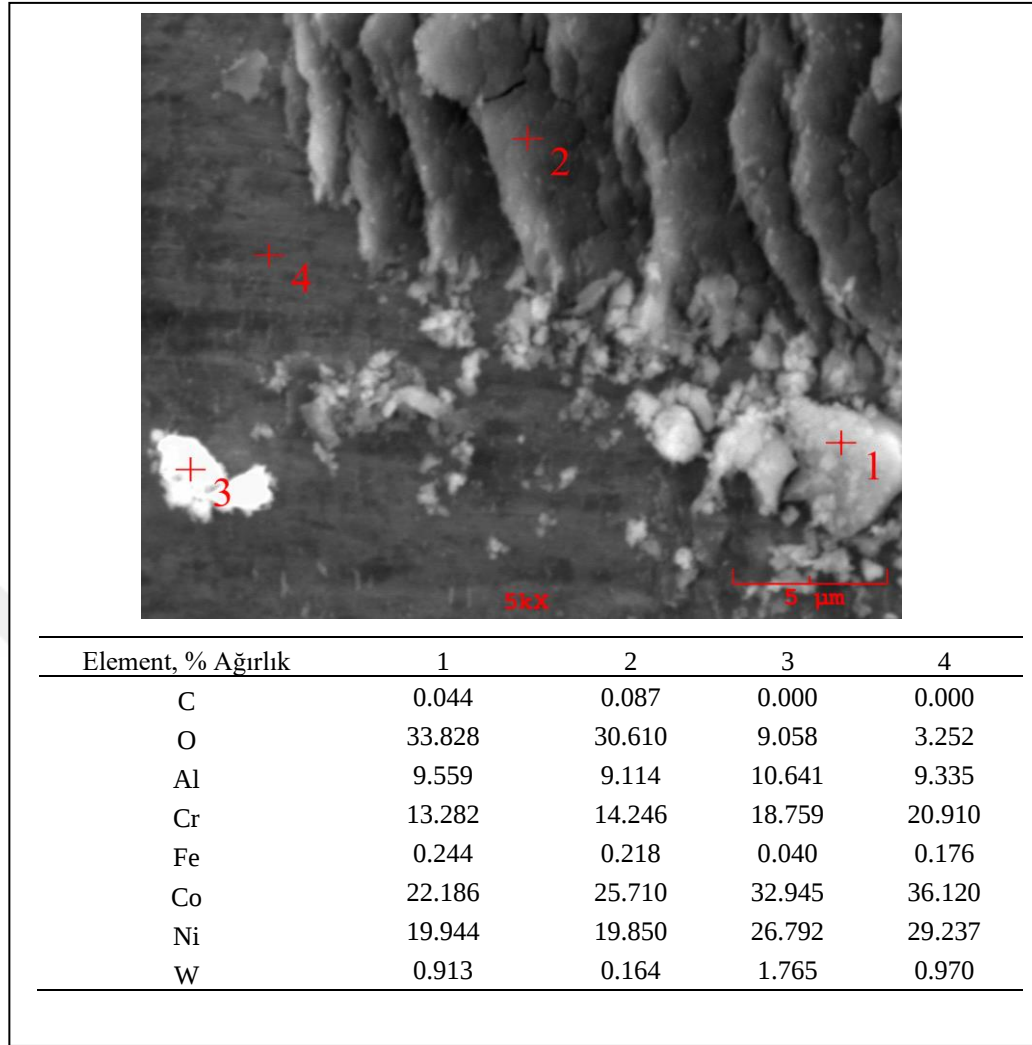


Şekil 6.28. (a) A3, (b) B3 ve (c) E3 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri



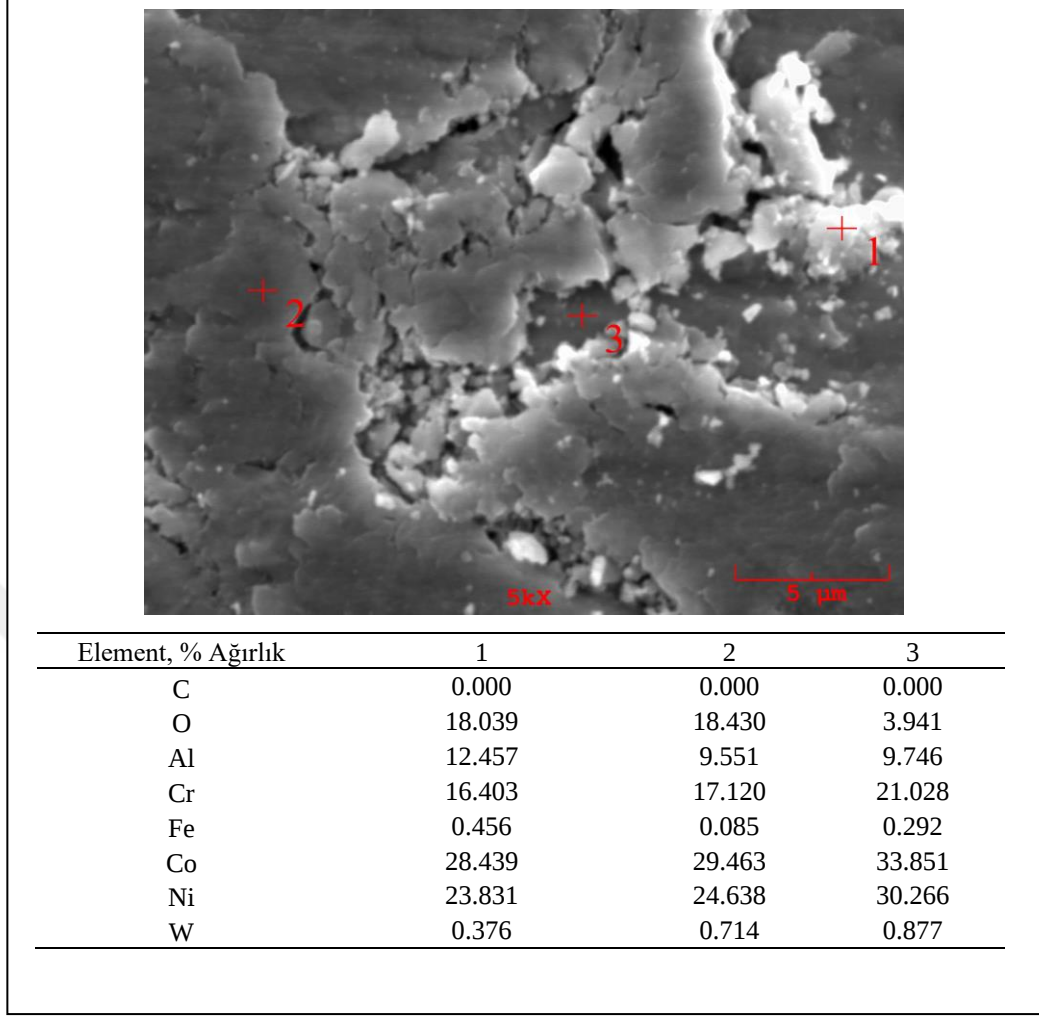
Şekil 6.29. (a) A4, (b) B4 ve (c) E4 numunelerinin sırasıyla 500x ve 1000x büyütmedeki aşınma izi SEM görüntüleri

Şekil 6.29.'da 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 5N yük altındaki aşınma deneyine ait aşınma bölgesinin SEM görüntüleri, sırasıyla A, B ve E numunelerine ait 500x ve 1000x büyütmedeki görüntüleri gösterilmiştir. Özellikle 1000x büyütme bakıldığında B ve E numunesindeki aşınma çizgileri belirgin olarak gözükmemektedir. Buna bağlı olarak abrazif aşınma meydana geldiği söylenebilir.



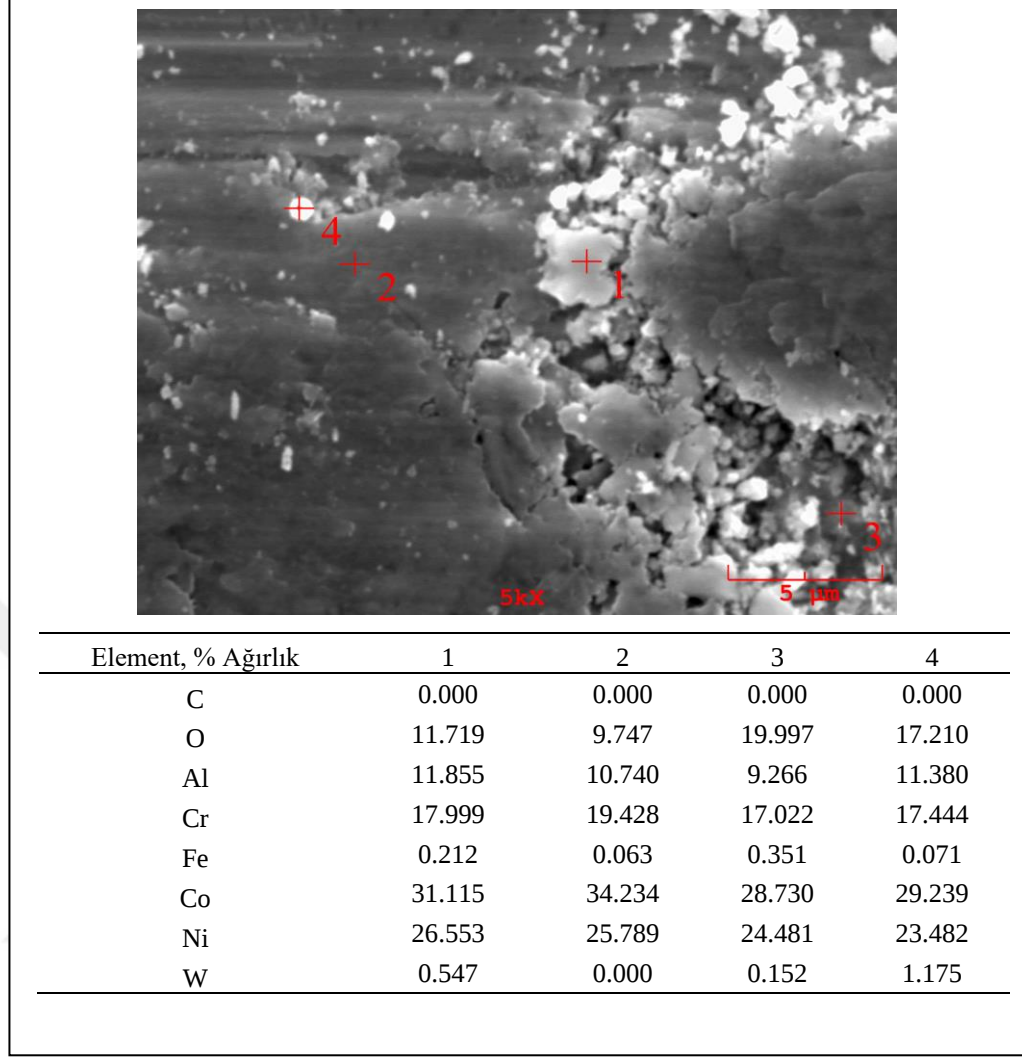
Şekil 6.30. Aşınma deneyi sonrası Al numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.30.'da 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 3N yük altında A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait 4 noktadan alınan EDS analizi gösterilmiştir. Sonuçlar tozun içeriğine uygun olarak gelmiştir. Sonuçlardaki oksijen miktarına bakılırsa aşınma deneyi açık atmosfer koşullarında yapıldığı için oksidatif aşınma gerçekleştiği söylenebilir.



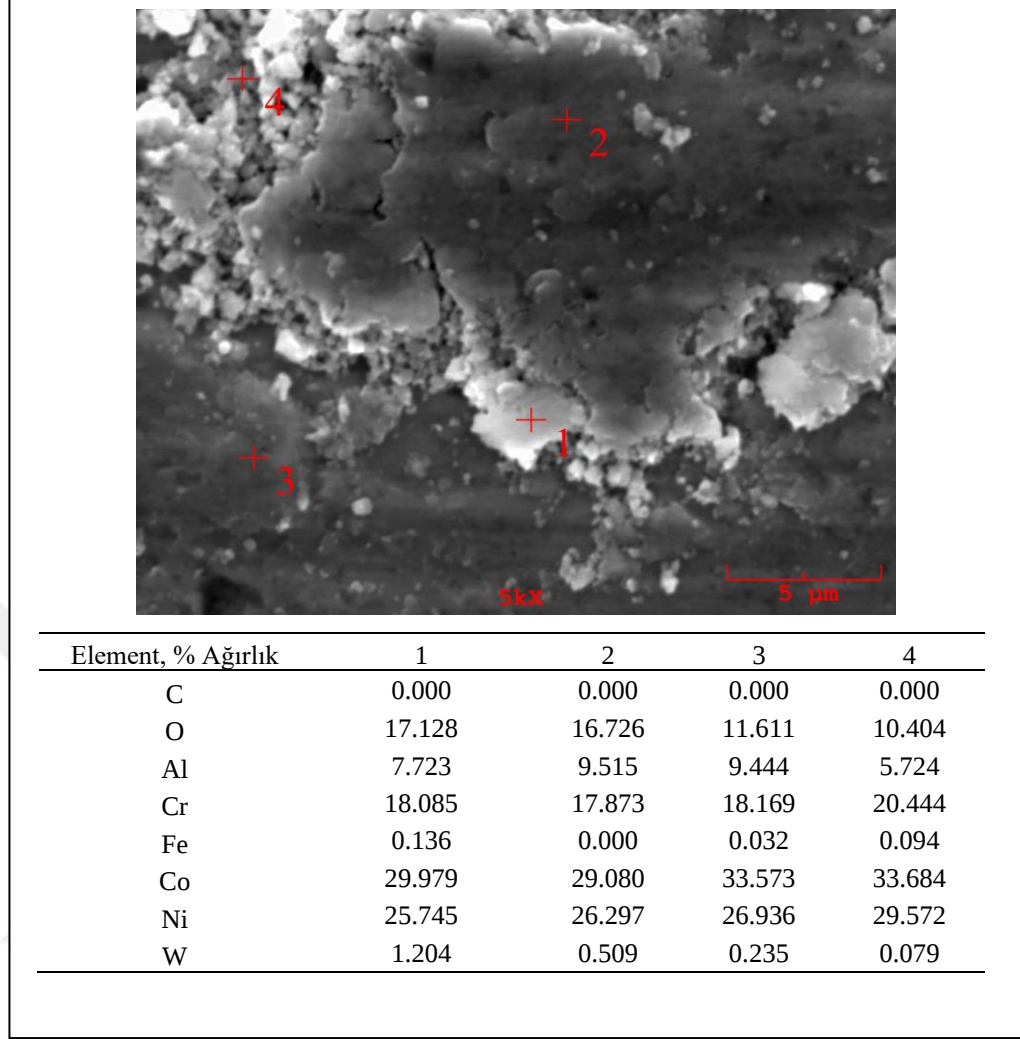
Şekil 6.31. Aşınma deneyi sonrası A2 numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.31.'de 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 5N yük altında A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait 3 noktadan yapılan EDS analizi gösterilmiştir. Sonuçlar tozun kimyasal içeriğine uygun olarak gelmiştir. A (%100 Diamalloy4700) numunesine ait toz içeriği Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.



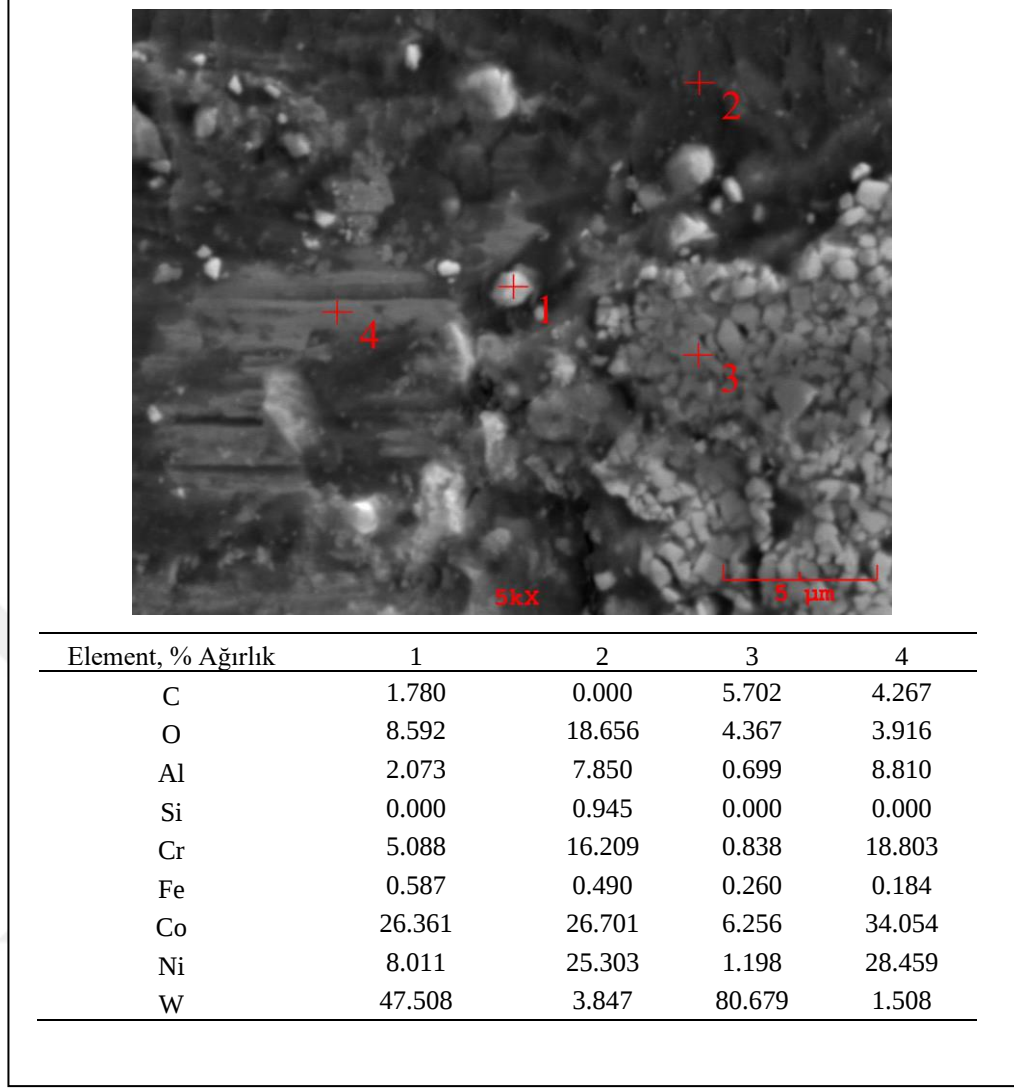
Şekil 6.32. Aşınma deneyi sonrası A3 numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.32.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 3N yük altında A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait 4 noktadan yapılan EDS analizi gösterilmiştir. Aşındırıcı alümina bilyeden gelen bir miktar aşınma ürünü tespit edilmiştir. Sonuçlar yine tozun kimyasal içeriğine uygun olarak gelmiştir.



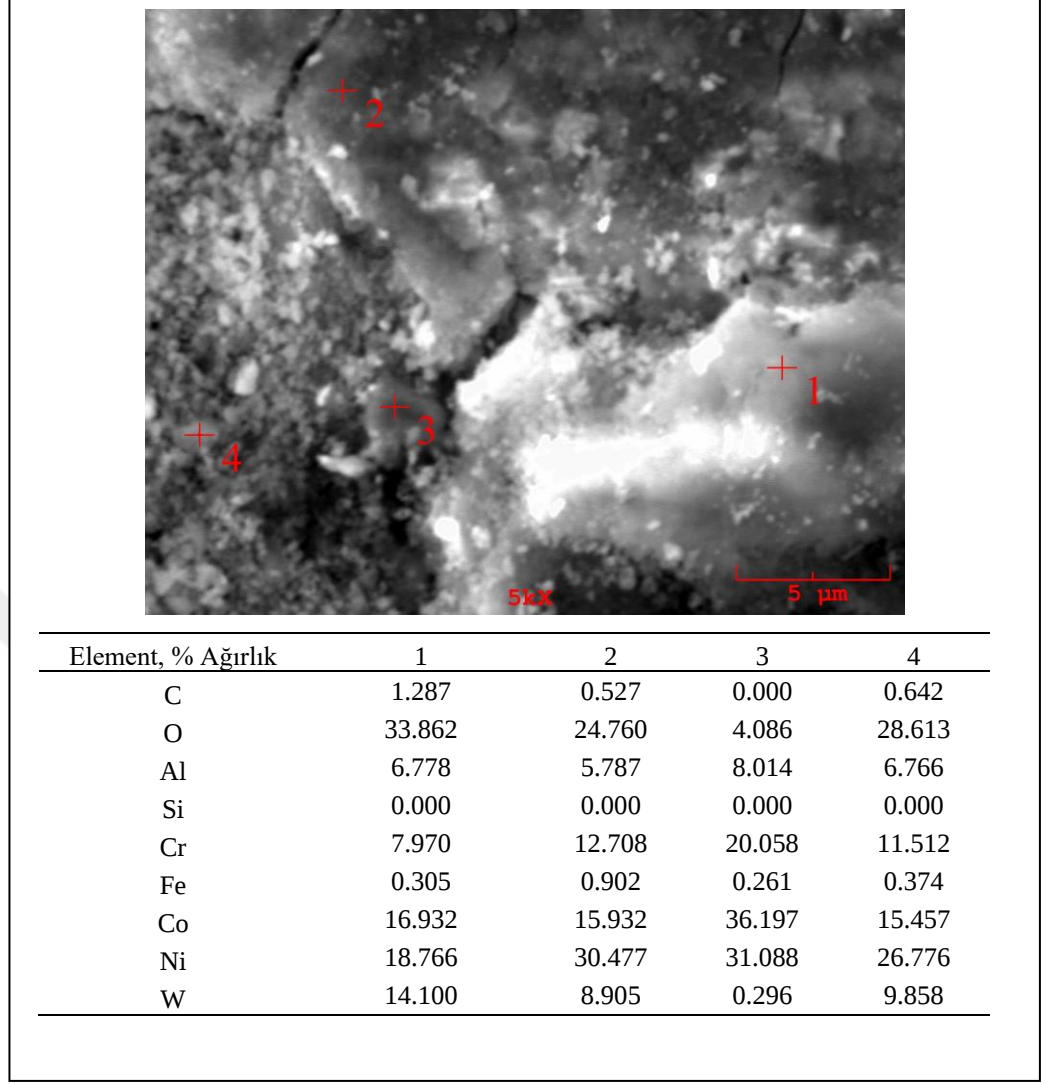
Şekil 6.33. Aşınma deneyi sonrası A4 numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.33.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 5N yük altında A (%100 Diamalloy 4700) numunesine ait 4 noktadan yapılan EDS analizi gösterilmiştir. Oksijen miktarına bakıldığında yine oksidatif aşınma meydana geldiği söylenebilir. Sonuçlar tozun kimyasal içeriğine uygun olarak gelmiştir.



Şekil 6.34. Aşınma deneyi sonrası B1 numunesine ait EDS analizi.

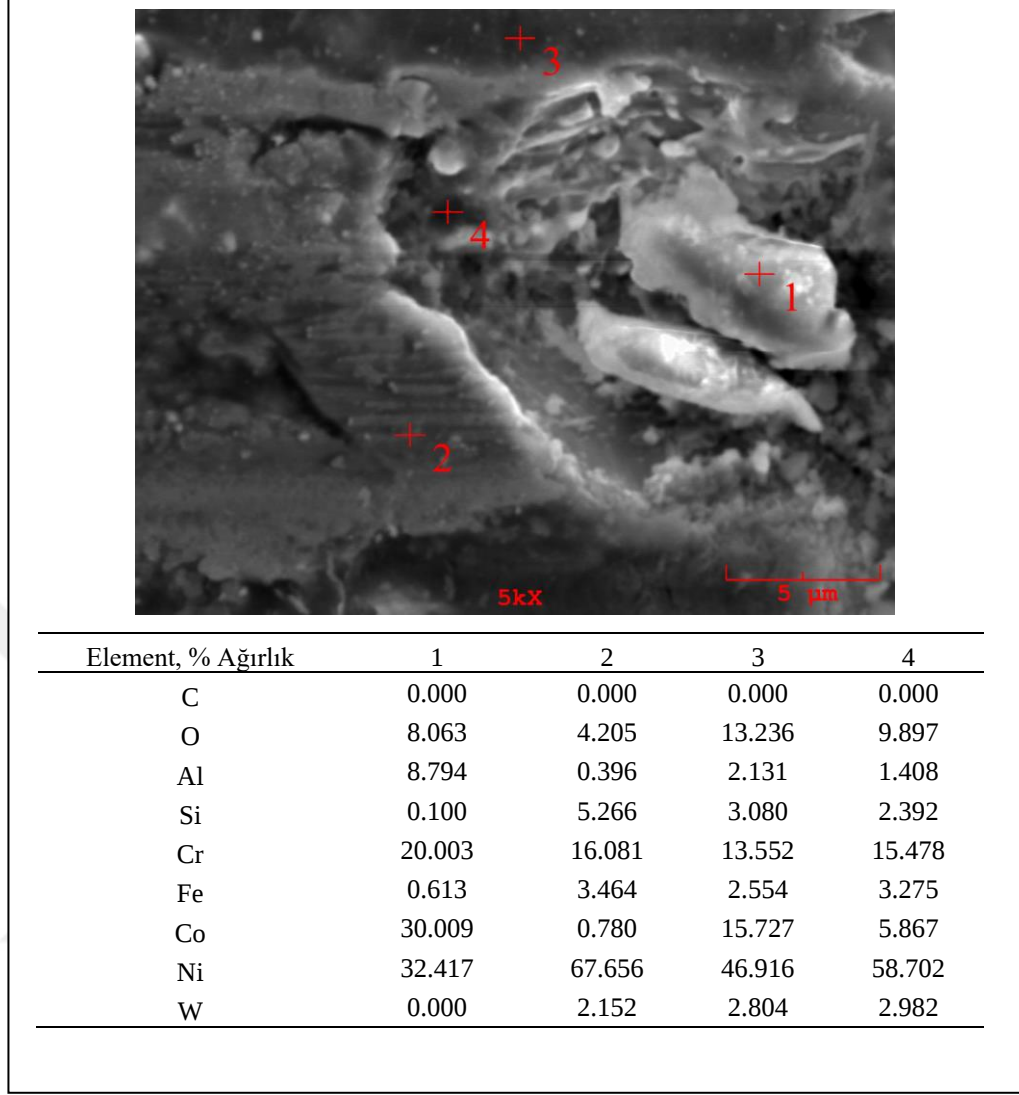
Şekil 6.34.'de 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 3N yük altında B (%50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar tozların kimyasal içeriklerine uygun olarak gelmiştir. 1 ve 3 no.lu noktalarda W miktarının, 2 ve 4 no.lu noktalarda Ni oranının diğer noktalara göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tozların karışımı ile oluşan sert fazlardan ve bu fazların dağılımından meydana gelmektedir.



Şekil 6.35. Aşınma deneyi sonrası B2 numunesine ait EDS analizi

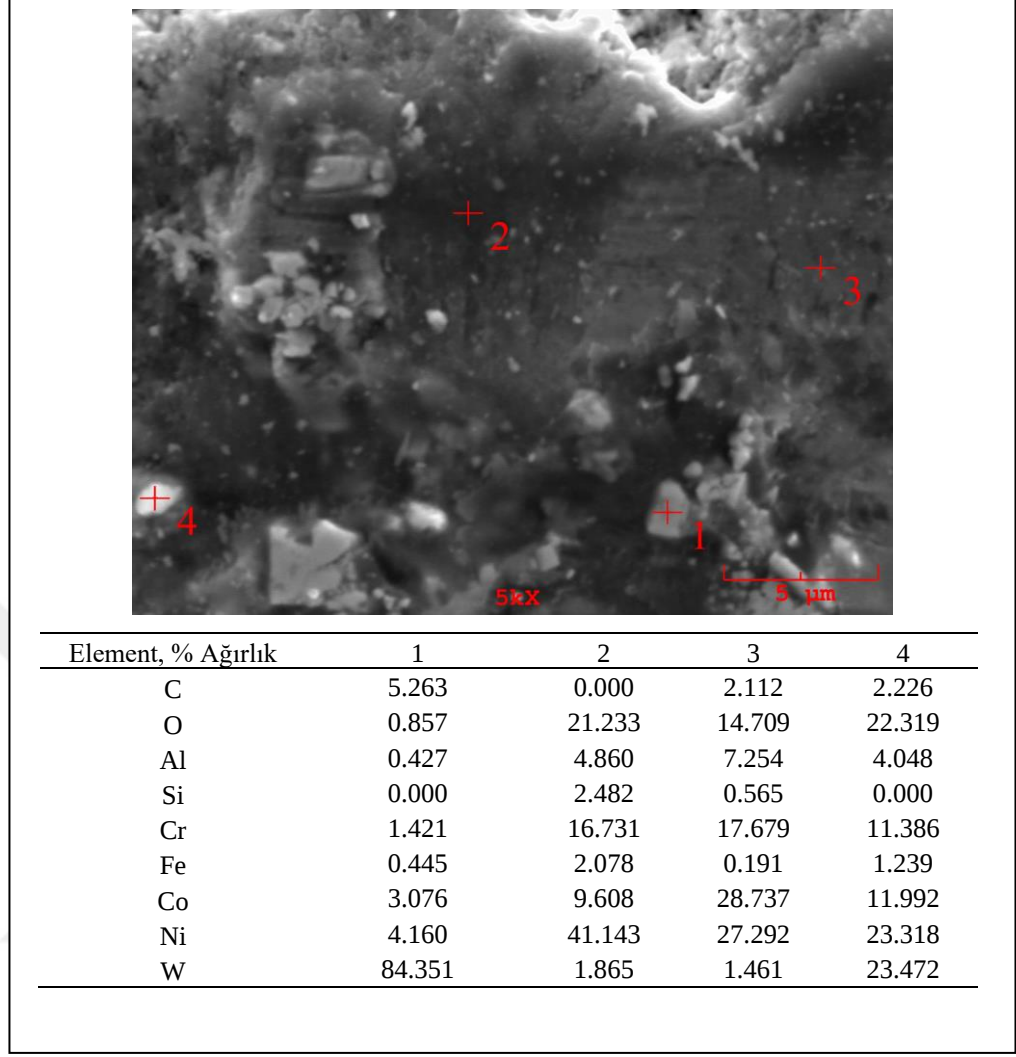
Şekil 6.35.'de 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 5N yük altında B (%50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Oksidatif aşınma meydana gelmiştir. C. Durga ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada oksidatif aşınma mekanizmasının daha pürüzsüz bir aşınma ortamı sağlayarak aşınma direncinin daha yüksek gözükmesine neden olduğunu belirtmiştir. (C. Durga Prasad. 2019).

Sonuçlar tozların kimyasal içeriklerine uygun gelmiştir. Sonuçlar Şekil 6.34. ile kıyaslandığında toz karışımından gelen sert fazların dağılımının nispeten daha dengeli olduğu söylenebilir.



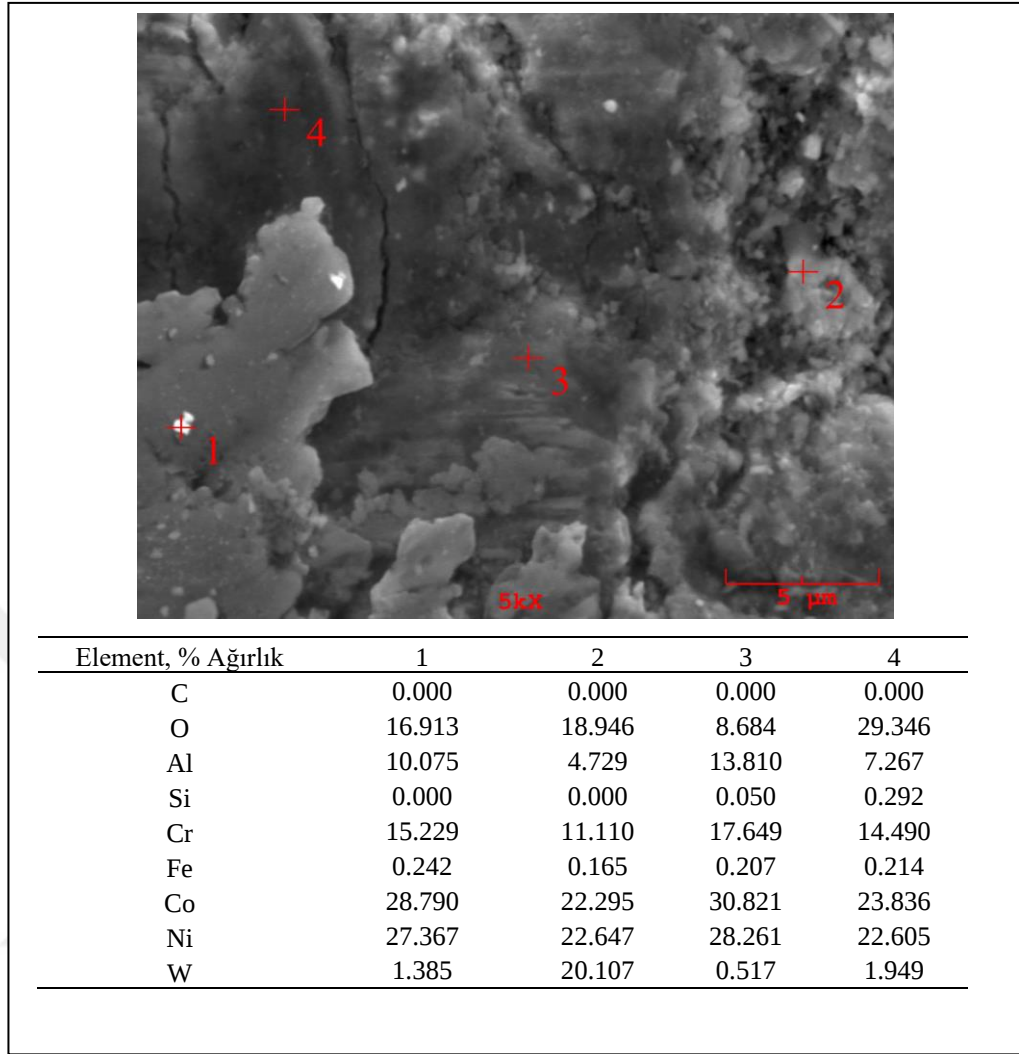
Şekil 6.36. Aşınma deneyi sonrası B3 numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.36.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 3N yük altında B (%50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Sonuçların tozların kimyasal içeriklerine uygun olduğu görülmüştür. Özellikle 2 ve 4 no.lu noktalarda Ni oranı yüksek tespit edilmiştir. Ni elementi Diamalloy 2002 tozundan gelmektedir. Sonuçlardaki oksijen ise deneylerin açık atmosfer koşullarında yapıldığından kaynaklanmaktadır.



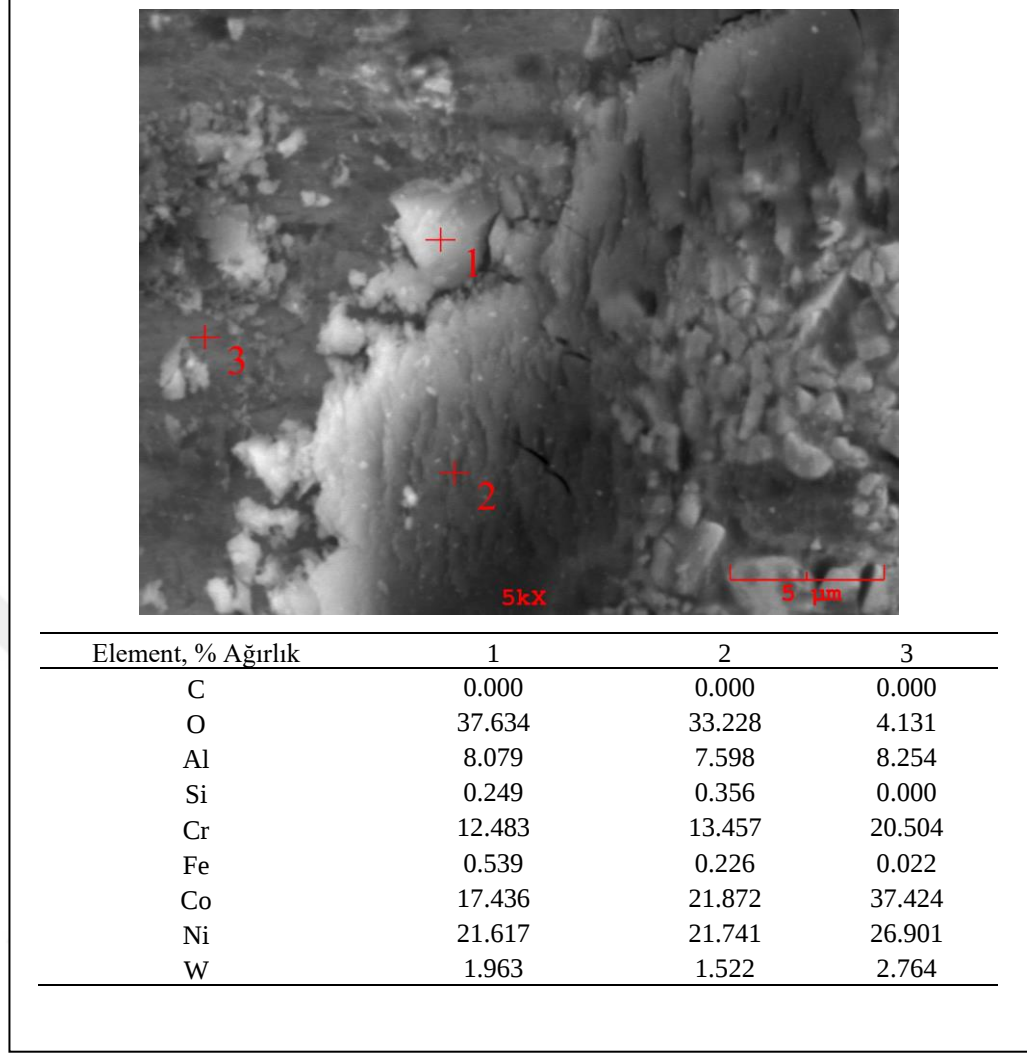
Şekil 6.37. Aşınma deneyi sonrası B4 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.37.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 5N yük altında B (%50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Yine oksidatif aşınma meydana gelmiştir. 1 no.lu noktada W elementi yüksek miktarda tespit edilmiştir. 2, 3, ve 4 no.lu noktalarda Al miktarının artmasına aşındırıcı alümina bilyeden gelen aşınma ürünlerinin sebep olduğu düşünülmektedir.



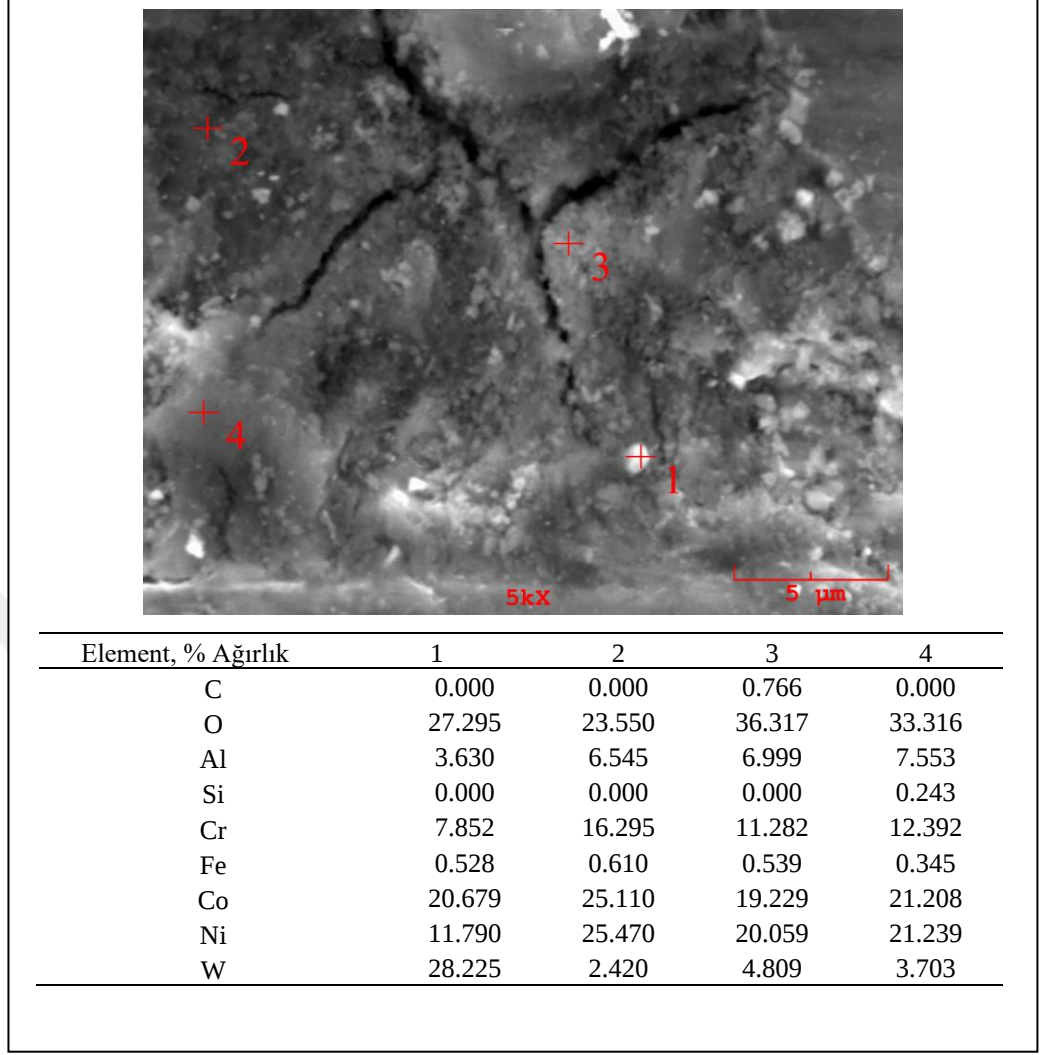
Şekil 6.38. Aşınma deneyi sonrası E1 numunesine ait EDS analizi.

Şekil 6.38.'de 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 3N yük altında E (%75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Oksidatif aşınma meydana gelmiştir. Sonuçların tozların kimyasal içeriklerine uygun olduğu gözlemlenmiştir. 1 no.lu noktada aşındırıcı bilyeden kaynaklı aşınma ürününe rastlanmıştır.



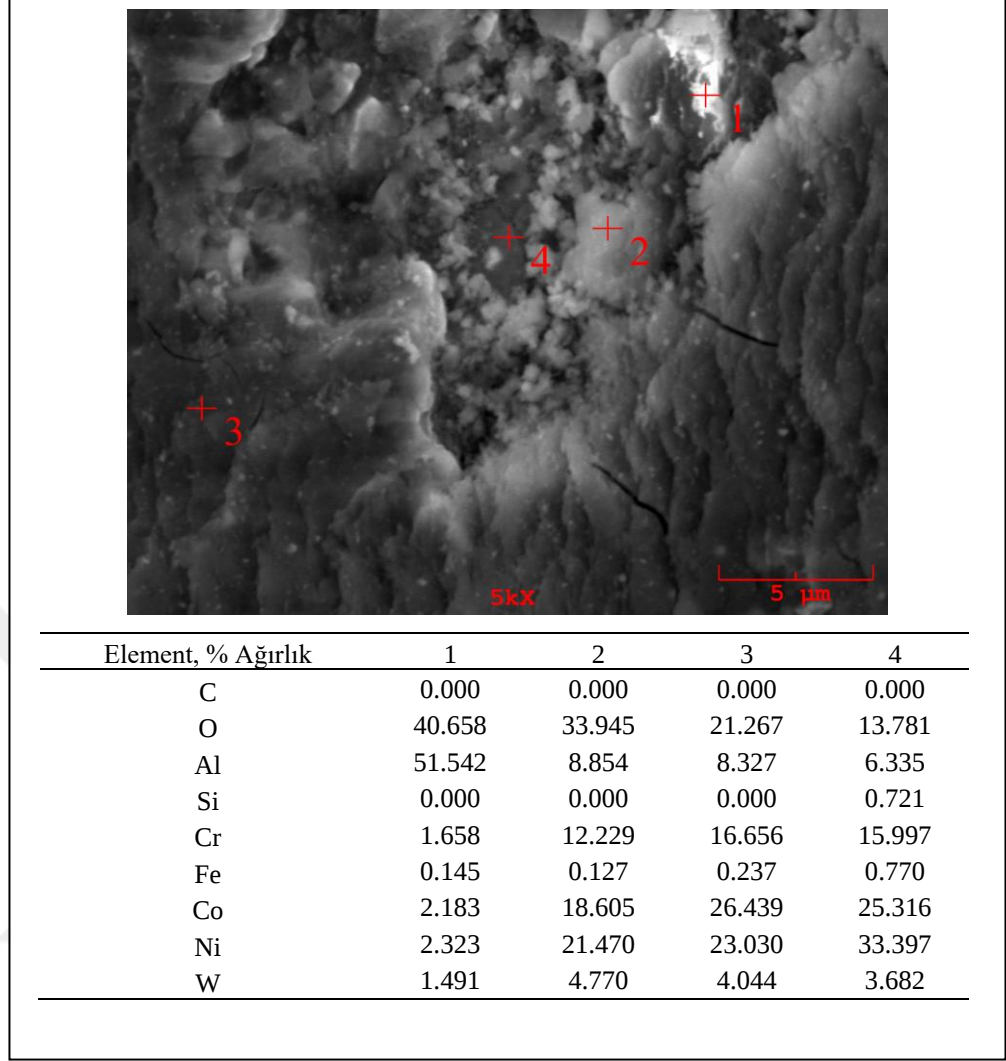
Şekil 6.39. Aşınma deneyi sonrası E2 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.39.'de 200m mesafede 0,1m/sn. hızında 5N yük altında E (%75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002) numunesine ait EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Özellikle oksijen miktarına bakıldığında oksidatif aşınma meydana geldiği görülmektedir. Toz içeriklerine uygun olarak Co, Ni ve Cr elementleri tespit edilmiştir.



Şekil 6.40. Aşınma deneyi sonrası E3 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.40.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 3N yük altında E (%75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002) numunesine ait 4 noktadan EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Yine oksijen miktarına bakıldığında yoğun oksidatif aşınma gözlemlenmiştir. Sonuçlar tozların kimyasal içeriklerine uygun olarak gelmiştir. Al elementi Diamalloy 4700 tozundan gelebileceği gibi yüksek ölçülen yerlerde aşınma bilyesinden kaynaklı bir artış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.41. Aşınma deneyi sonrası E4 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.41.'de 200m mesafede 0,2m/sn. hızında 5N yük altında E (%75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002) numunesine ait 4 noktadan EDS analizi sonuçları gösterilmiştir. Yine yoğun olarak oksidatif aşınma olduğu düşünülmektedir. Özellikle 1 no.lu ölçümde Al miktarının yüksek olması aşındırıcı bilyeden kopan aşınma ürünleri olduğu söylenebilir. Sonuçların, tozların kimyasal içeriklerine uygun olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

7.1. Giriş

Bu çalışmada, AISI 304L paslanmaz çeliğinin yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla, Oerlikon Diamalloy 4700 ve Diamalloy 2002 tozları farklı oranlarda karıştırılmış ve paslanmaz çelik yüzeyine HVOF yöntemi ile kaplanmıştır.

Kaplama yapılan numunelerin kaplama kesitleri optik mikroskop ile incelenmiş SEM görüntüleri ve EDS analizleri alınarak veriler değerlendirilmiştir. Daha sonra XRD analizi yapılmış ve mikro sertlik sonuçları değerlendirilmiştir. Numuneler ile 4 farklı aşınma parametresinde aşınma deneyleri yapılmış, deneyden sonra aşınma bölgesi SEM görüntüleri ve EDS analizleri ile birlikte incelenmiştir.

7.2. Sonuçlar

- 1) Kaplama kesitlerinden alınan optik görüntülerde %100 Diamalloy 4700 tozuna ait numunede kaplama kalınlığı 570 μm , %50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002 tozlarına ait karışımın uygulandığı numunede kaplama kalınlığı 197 μm , %75 Diamalloy 4700-%25 Diamalloy 2002 toz karışımının uygulandığı numunede kaplama kalınlığı 484 μm olarak ölçülmüştür. Kaplama parametrelerinin aynı olduğu göz önüne alındığında toz karışım oranlarının kaplama kalınlıklarını etkilediği söylenebilir.

- 2) Kaplama kesitinin SEM görüntüleri incelendiğinde kaplama ile altlık arasında bağlanma problemleri görülmüştür. Bu durum %100 Diamalloy 4700 tozunda yapılan kaplamada daha az iken karışım tozlar ile yapılan kaplamada bir miktar artmıştır. Karışım tozlar ile yapılan kaplamalarda oluşan sert fazların kaplamanın bağlanma özelliklerini etkilediği söylenebilir.
- 3) XRD analizlerinde karışım olan numunelerde WC, $B_2Fe_3Ni_3$, $Cr_2Fe_{14}C$ ve Cr_3C fazları tespit edilmiştir. Karışım olmayan %100 Diamalloy 4700 tozundan yapılan kaplamada sert fazlara rastlanmamıştır. En şiddetli pikler %50 Diamalloy 4700-%50 Diamalloy 2002 karışıma sahip tozdan yapılan kaplamada tespit edilmiştir. Sert fazların mevcudiyeti karışım olmadan yapılan kaplamaya göre yüzey özelliklerinin daha iyi olmasını sağlamıştır.
- 4) 304L paslanmaz çeliğinin sertliği 178 HV ölçülmüştür. Kaplama sonrası malzeme yüzeyinin sertlikleri %100 Diamalloy 4700 ile kaplandığında 268 HV, %50 Diamalloy 4700- %50 Diamalloy 2002 karışımı ile kaplandığında 523, %75 Diamalloy 4700- %25 Diamalloy 2002 karışımı ile kaplandığında 471 HV ölçülmüştür. Dengeli bir karışıma sahip numunedeki sert fazların miktarı sertliğin yüksek çıkmasına neden olmuştur.
- 5) Numuneler 200 m mesafede 0,1m/sn. ve 0,2m/sn. hızlarında, 3N ve 5N yüklerinde aşınma testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerde aşınma oranı en yüksek %100 Diamalloy 4700, en düşük ise %50 Diamalloy4700- %50 Diamalloy 2002 karışımı ile kaplanmış numunede ölçülmüştür. Tozlar dengeli karıştırıldığında ortaya çıkan sert fazlar kaplamanın aşınma özelliklerini iyileştirmiştir.
- 6) Aşınma deneylerinde yükün ve hızın artması genel olarak aşınma oranında artışa sebep olmuştur. Yalnız %100 Diamalloy 4700 ile yapılan kaplamada aşınma oranında küçük bir azalma gözlemlendi. Bu durum, aşınma esnasında kopan aşınma ürünlerinin, aşınma yolundan uzaklaşmayarak buraya sıvanması ve aşınma oranını düşürmesi şeklinde açıklanabilir.

- 7) Aşınma deneylerinden sonra yapılan SEM görüntüleri incelemelerinde abrazif aşınma tespit edilmiştir. Ayrıca karışım tozları ile yapılan kaplamalarda mikro çatlaklar gözlemlenmiştir. Sert fazların oluşumu göz önüne alındığında bu beklenen bir durumdur.
- 8) Aşınma deneyinden sonra aşınma yolu üzerinde aşındırıcı bilyeden kopan parçalar tespit edilmiştir.
- 9) Aşınma deneyleri açık atmosfer şartlarında yapıldığı için oksidatif aşınmalar oluşmuştur. Yapılan EDS analizlerinde bu durum tespit edilmiş analiz sonuçları toz içeriklerine uygun olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak, AISI 304L paslanmaz çelik yüzeyinin Diamalloy 4700 ve Diamalloy 2002 tozlarının karışımı ile HVOF yöntemi kullanılarak kaplanması, malzemenin aşınma özelliklerini iyileştirmiştir. Hammadde kaynaklarının, giderek artan talebi karşılamakta zorlandığı ve maliyetlerin arttığı günümüzde HVOF kaplama teknolojisi kullanılarak malzeme özelliklerinin geliştirilmesi son derece önemlidir.

7.3. Öneriler

- 1) Kaplama parametreleri değiştirilerek bunların etkileri incelenebilir.
- 2) Karışımların yüzde miktarları değiştirilerek kıyaslamalar yapılabilir.
- 3) Kaplama yüzeyinin diğer yüzey özellikleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Acar, M. T. 2018., Sol-Jel Yöntemi ile Bor Katkılı TiO₂ Kaplanmış Ti₆Al₄V Alaşımının Yapısal Tribolojik ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akbulut, H., Malzemelerin sürtünme ve aşınma ders notları. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 36-52, 2006.
- Aktaş, E. 2018., Paslanmaz Çelik Malzeme Üzerine Metalik ve Oksit İçerikli Kaplama Tozunun APS Yöntemi ile Kaplanması ve Soğuk Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Alaf, M. 2007., Kalay (Sn) ve Kalay Oksit (SnO₂) İnce Filmlerin Üretim ve Karakterizasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Altuntaş, M. 2015., AISI 304L Paslanmaz Çeliğin MIG ve TIG Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Anar, Z.Ö. 2015., Sol-Jel Yöntemi ile Nano Yapılı B₄C Üretimi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arslan, A. 2010., Sol-Jel Yöntemiyle Büyütülen Kalay Oksit Filmlerin Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Atamert, S. 1988., Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, University of Cambridge, PhD Thesis.
- Atmaca, E. S. 2015., İnconel 718 Süperalaşımının PVD Yöntemi ile AlTiN ve CrN Kaplanması ve Karakterize Edilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Avallone, E. A., Baumeister, T., and Sadegh, A. 2006., Marks Standard Handbook For Mechanical Engineers (Standard Handbook for Mechanical Engineers). Mcgraw-Hill Professional.
- Aydın, Y. 2011., Li-İyon Piller İçin Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) ile Zn/ZnO Nanokompozit Elektrotların Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ayvaz, S. 2013., Cr-Mo Çeliklerinin Aşınma ve Korozyon Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Bayar, İ. 2016., Plazma Kaynak Metodu ile Özellikleri Geliştirilmiş Plazma Püskürtme Kaplamaların Tribolojik Davranışlarının Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Biçer, A. 2015., Toz Metalurjisi ile Üretilen Ni₃Al Partikülleriyle Pekiştirilmiş Metal Matrisli Kompozitlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Biçer, E.D. 2015., Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanan TiO₂-SiO₂ Nanokompozit İnce Filmlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bloyce, A., How Surface Treatments Can Help The Designer. Design Engineering. September. pp. 32-34, 1995.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W., Sol-Gel Science, The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. Academic Press Inc., 1990.
- Bhushan, B., Modern Tribology Handbook, CRC Press LLC, Ch. 13 and Ch.7, 2001.
- Boynueyri, D. 2019, PVD Yöntemi ile Kaplanmış Kesici Takımların Mikro Ölçekli Aşınma Testi ile Aşınma Dayanımının Belirlenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bunshah, R.F., Deposition Technologies for Films and Coatings. USA, 85, 1982.
- Bunshah, R.F., Handbook of Hard Coatings: Deposition Technologies, Properties and Applications. Noyes Publications Park Ridge. New Jersey. USA. pp. 77-107, 2001.
- Bülbül, A. E. 2013., Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN ve AlTiN Kaplanmış DIN 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Büyükkelleci, Ü. 2008., Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Carlsson, J., Handbook of deposition technologies for films and coatings. University of California at Los Angeles California, USA, 1994.
- Chawla, N., Chawla, K.K., Metal Matrix Composites. First Edition, Springer, New York, 2006
- C.Durga Prasada, Sharnappa Joladarashi, M.R.Ramesh, M.S.Srinath, B.H. Channabasappa. Effect of microwave heating on microstructure and elevated temperature adhesive wear behavior of HVOF deposited CoMoCrSi-Cr₃C₂ coating. 374 (2019) 291-394.
- Davis, J.R., Alloy Digest Sourcebook: Stainless Steels, ASM International, United States of America, 2000.
- Demir A. 2012., Farklı Çeliklerin Yorulma Aşınmasında Malzeme Sertliğinin Aşınma Üzerine Etkisi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Demircan, M. 2008., Elektrolitik Kaplamada Organometalik Malzemelerin Kaplama Verimliliğine Etkisi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dinç, M., HSS (Yüksek Hız Çeliği) çeliklerinin PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemiyle AlTiN Kaplanması. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 4-20, 2010.
- Doğan, H., Karamolla, M., PVD – Fiziksel Buhar Biriktirme ile Yapılan Kaplama Yöntemleri. MakinaTek, Sayı 96, Ekim 2005.
- Dorfman, M. R., 19- Thermal Spray Coatings,” in Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, pp. 569-596, 2012.
- Durmuş, O. 2011., Vanadyum Oksit İnce Filmlerinin Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanması ve karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Edelstahl, R. Stainless Steel, Yayın No:1, Lucefin S.p.A., Brescia, 2011.
- Gupta, B. K., Bhushan, B., Handbook of Tribology. McGraw-Hill, NewYork, 1991.
- Gül, C. 2019., TM Yöntemiyle Üretilen AZ91 Magnezyum Alaşımının Sol-Jel Yöntemiyle Ta₂O₅ Kaplanması ve Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Güzel, K. 2018., Termal Sprey Yöntemi ile Üretilen Oksit Esaslı Kaplamaların Katı Partikül Eroziyon Aşınma Davranışının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Heimann, R. B., Plasma-Spray Coating. Weinheim, 1996.
- Islak, S. 2005., 45Mn5 Islah Çeliğinin Isıl İşlem ve Ergitme Yöntemleri ile Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- İpek, A. 2019. HVOF ile Yapılan WC-CO Esaslı Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karabaş, K. 2006., Bor Karbürlerin Üretim Yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karabaşoğlu, M. 2008, Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karanfil, S. 2017., Fren Disklerinin HVOF Yöntemi ile Kaplanması ve Taşıtlarda Fren Performansına Etkisinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karl-Heinz Z. G., John A. Williams., Microstructure and Wear of Materials. Tribology Series, 10, 1987.
- Kahraman N. 2001., Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Kaya, A. Ö. 2007., Plazma Püskürtme ve HVOF Yöntemleri Kullanılarak Cr_3C_2 – $\text{NiCr}(75/25)$ ve $\text{CrNiBSi} + \%80 \text{ WC-Co}$ Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı ve Yüzey Özellikleri. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kayral, S. A. 2011., Plazma Püskürtme Yöntemiyle BN, B_4C ve SiC Takviyeli Alüminyum Kaplamaların Üretimi, Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Khurmi, R. S., Gupta, J. K., Machine Design, S. Chand Publication, New Delhi, 2004.
- Kılınç, Y. 1993., Yağlı Sürtünme Şartlarında Çelik İnce Zırh Yataklarında Üretim Tekniklerinin Aşınma Etkisinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kıyıcı, İ. A. 2011., Plazma Püskürtme Yöntemiyle Üretilen Hidroksiapatit-Cam Kompozit Kaplamaların Karakterizasyonu. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kisecik, İ. 2010., Sertleştirilmiş ve Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Direncinin Araştırılması. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Korkut, M.H. 1991., Sürtünmeye Maruz Metalik Disklerin Aşınma Bölgelerinde Dolgu Kaynak İşleminde Sonra Aşınma Özelliklerinin Değişiminin DeneySEL Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kosa, E. 2016., Çeliklerin Eroziyon-Abrazif Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kurmi, S. Z. 2018., Sol-Jel Yöntemiyle TiO_2 ve Hap Kaplanan $\text{Ti}_6\text{Al}_7\text{Nb}$ Alaşımının Mekanik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Lei Qiao, Yuping Wu, Sheng Hong, Weiyang Long, Jie Cheng. Wet abrasive wear behavior of WC-based cermet coatings prepared by HVOF spraying. Ceramics International 47, (2021), 1829-1836
- Matejka, D., Benko, B., Plasma Spraying of Metallic and Ceramic Materials. John Wiley & Sons, New York, 1989.
- Mayer, K. (Eds.), Mechanical Engineers' Handbook, Second Edition, John Wiley & Sons, 1998.
- Meyrick, G., Robert H. W., Physical Metallurgy of Steel, Class Notes and Lecture Material for MSE 651.01. The Ohio State University, USA. 2001.
- Minisker, M.A. 2009., Termal Sprey Yöntemiyle Oluşturulan Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Mol, A. 2003., Chemical vapour deposition of tin oxide thin films. Philosophy of Doctorate Thesis, Eindhoven University, Germany.
- Nalçacıoğlu, E. 2019. , Toz Metalurjisi ile Üretilen 17-4 PH Paslanmaz Çelik Malzemelerde Aşınım Elementlerinin Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Odabaş, D. 1987., Ötektoid Altı Çeliklerin Kayma Sürtünme Aşınmasında Adhesiv Aşınma Katsayılarının Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özdemir, M. C. 2014., Termokromik Özellik Gösteren Vanadyum Oksit Esaslı İnce Film Kaplamaların Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanması ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özel, S. 2009., Alüminyum Alaşımı ve Bronzu Yüzeyine Oksit ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Özel, S., Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi. 2(1). 88-97, 2013.
- Özörak, E. 2017., Weldox Çeliği Yüzeyinde HVOF ile Üretilen Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Parlak, S. 2011., Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemiyle Li-İyon Pillere Uygun ZnO Anot Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pawlowski, L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coating. John Wiley & Sons, New York, 1995.
- Pawlowski, L., The Science And Engineering of Thermal Spray Coatings. John Wiley and Sons, 626p, England, 2008.
- Pierson, H., Handbook of Chemical Vapor Deposition: Principles. Technology and Applications. New Jersey, USA, 453, 1999.
- Rickerby, D.S., Matthews, A., Advanced Surface Coatings: a Handbook of Surface Engineering. New York, ABD, 1991.
- Şafak, H., E. 2008., Yüzeyi PVD Yöntemi ile Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Salman, S. 1995., Plazma ve Alev Püskürtme Tekniğiyle Al_2O_3 - %13 TiO_3 ve Cr_2O_3 - %5 SiO_2 - %3 TiO_2 Seramik Kaplanan Malzemelerin Özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Sarıkaya Ö. 2003., Al-12Si Malzeme Üzerine Plazma Püskürtme Tekniği ile Al-Si+B₄C Kaplama. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Sanjay W.Rukhandea, Walmik S.Rathod, Digvijay G.Bhosale. Dry sliding wear behaviour of HVOF sprayed NiCrBSiFe coating on SS 316L. 41 (2021) 765-771
- Sert, Y. 2007., Plazma Püskürtme Tekniğiyle Kaplanmış Tekstil parçasının Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Shade, C., Causton, R., Cimino-Corey, T., Improved Stainless Steel Processing Routes. Advances In Powder Metallurgy And Particulate Materials, (2): 3-9, 2003.

- Singh, R., Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards. UK: Butterworth-Heinemann, 2011.
- Smith, E. H. (Ed.). Mechanical Engineer's Reference Book, Twelfth Edition, Butterworth-Heinemann, 1994.
- Stachowiak, G. W. & Batchelor, A. W., Engineering Tribology, 3th edition, 2005.
- Stokes, J. 2003., Production of coated and free-standing engineering componenets using the HVOF process. Doktora Tezi, Dublin City University.
- Şahin, Ş. 2019., Taguchi Yöntemi Kullanılarak WC/Co, WC/CoCr HVOF Kaplamanın Optimizasyonu ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Teber, M. 2015., Yüzey Kaplama ile Ti₆Al₄V Alaşımının Aşınma ve Korozyon Direncinin Arttırılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Turhan I. 2008., Vanadyum oksit ve Katkılı Vanadyum oksit İnce Filmlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniverstiesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Yıldız, T., Gür, A. K., Aşınma Sistemleri. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 4, 2, 86-91, 2006.
- Yueming Wanga, Wei Zhang, Deqian, Chend Xiu, Liue Wang Hu, Longfei Liu, Jianhui Yan, Xiang Xiong. High temperature friction and wear performance of TiB₂-50Ni composite coating sprayed by HVOF technique. (407 2021) 126766
- Yüksel, F. 2014., Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yüksel, N. 2012., Farklı Kompozisyonlarda Üretilen Aşınma Plakalarının Karakterizasyonu ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zeybek, Ü. 2017., Paslanmaz Çelikler Üzerine HVOF Yöntemi ile WC Kaplamanının Özelliklerinin İncelenmesi. Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- <https://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10716/42049/hvof>, Erişim tarihi: 20.06.2021
- <https://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10729/42142/termal-sprey-nedir>, Erişim Tarihi: 20.06.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hamza KIŞLALI

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Devam ediyor.
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Teknoloji fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2015
Lise	Devrek Anadolu Lisesi	2010

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	OPTİMAK STU	Ar&Ge Mekanik Tasarım ve Analiz Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce