

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVOF PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE AISI 304
PASLANMAZ ÇELİK YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Evren KILIÇ

Enstitüsü Anabilim Dalı : **METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK**

Haziran 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HVOF PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE AISI 304
PASLANMAZ ÇELİK YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Evren KILIÇ

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

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.

Evren KILIÇ

30.03.2021

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında desteğini ve bilgilerini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Deneysel çalıőmalarım ile ilgili süreçte yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü çalıőanlarına ve değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Çalıőmam süresince desteğini esirgemeyen ve bana olan inancını hiçbir zaman kaybetmeyen değerli eőim Eva KILIÇ'a ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
--------------------	---

BÖLÜM 2.

YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Isıl Sprey (Termal püskürtme) Yöntemleri	5
2.1.1. Alev püskürtme kaplama yöntemi	7
2.1.1.1. Alevle toz püskürtme yöntemi	8
2.1.1.2. Alev tel püskürtme yöntemi	9
2.1.2. Plazma püskürtme yöntemi	9
2.1.3. D-Gun (Patlatmalı püskürtme) yöntemi	11
2.1.4. Elektrik ark püskürtme yöntemi	12
2.1.5. Buhar biriktirme fazı yöntemleri	13
2.1.5.1. PVD Uygulamaları	15
2.1.6. Vakum Buharlaşma	15

BÖLÜM 3.

YÜKSEK HIZLI OKSİJEN YAKITLI (HVOF) PÜSKÜRTME YÖNTEMİ	18
3.1. HVOF Püskürtme Yönteminin Avantajları, Dezavantajları	21

BÖLÜM 4.

AŞINMA	24
4.1. Aşınma Yöntemlerinin Sınıflandırılması	25
4.1.1. Adhesif Aşınma	25
4.1.2. Abrazif Aşınma	26
4.1.3. Eroziv aşınma	27
4.1.4. Yorulma Aşınması	28

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
5.1. AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Genel Özellikleri	30
5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Tozlar	31
5.3. HVOF uygulama süreci	32
5.4. Metalografik Çalışmalar	34
5.5. Optik Çalışmalar	34
5.6. Yüzey Pürüzlülük	35
5.7. Sertlik Ölçümleri	35
5.8. X-Işınları Analizleri	36
5.9. SEM-EDS Analizleri	36
5.10. Aşınma Deneyi	36

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
6.1. Optik Mikroskop Sonuçları	38
6.2. XRD Analiz Sonuçları	39
6.3. Kaplama Kesit SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri	40
6.4. Mikro Sertlik Sonuçları	43

6.5. Aşınma Deney Sonuçları	44
6.6. Sürtünme Katsayıları	50
6.7. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi	57
6.7.1. EDS (Enerji saçınım spektrometresi) Analizleri	73
6.8. Pürüzlülük	97
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE İRDELEME	105
7.1. Giriş	105
7.2. Sonuçlar.....	105
7.3. Öneriler	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	117

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
HV	: Vickers Sertliği
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
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

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kaplama yöntemlerinin sınıflandırılmasının şematik gösterimi	4
Şekil 2.2. Kaplama yöntemlerine göre altlık sıcaklığı ve kalınlık ilişki grafiği	5
Şekil 2.3 Termal sprey kaplama yönteminin şematize edilmesi	6
Şekil 2.4. Alev püskürtme kaplama yöntemi uygulaması	8
Şekil 2.5. Alev Toz Püskürtme yönteminin uygulama örneği.....	8
Şekil 2.6. Alev Tel Püskürtme yönteminin şematik gösterimi ve uygulama örneği ...	9
Şekil 2.7. Atmosferik püskürtme yönteminin şematik olarak gösterimi.....	10
Şekil 2.8. Plazma püskürtme yönteminin kaplama oluşum örneği	11
Şekil 2.9. D-Gun (Patlatmalı) yönteminin şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.10. Elektrik Ark Püskürtme yönteminin şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.11. Buhar biriktirme uygulamasının şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.12. Vakum Buharlaştırma yöntemi şematik görseli.....	15
Şekil 2.13. Sıçratma yöntemi şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.14. İyon Kaplama yöntemi şematik görseli	17
Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) püskürtme yönteminin şematize edilmesi	18
Şekil 3.2. Gaz yakıtlı HVOF şematik gösterimi	20
Şekil 3.3. Sıvı yakıtlı HVOF şematik gösterimi	21
Şekil 3.4. HVOF yönteminin endüstrideki uygulama bölgeleri.....	21
Şekil 4.1. Tribolojik aşınma sisteminin şematik gösterimi	25
Şekil 4.2. Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....	26
Şekil 4.3. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....	26
Şekil 4.4. Eroziv Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi.....	27
Şekil 4.5. Eroziv Aşınma mekanizmasının şematize edilmesi ve aşınma örneği	28
Şekil 4.6. Yorulma aşınma mekanizmasına ait aşınma örnekleri.....	29

Şekil 5.1. HVOF deney düzeneği görseli.....	34
Şekil 5.2. Pürüzlülük ölçüm cihazı	35
Şekil 5.3. Mikrosertlik cihazı (LEICA VHMT MOT)	36
Şekil 5.4. CSM aşınma test cihazı.....	37
Şekil 6.1. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) 10x büyütmedeki optik görüntüleri, 20x büyütmedeki optik görüntüleri	39
Şekil 6.2. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) (a)10x büyütmedeki optik görüntüleri, (b) 20x büyütmedeki optik görüntüleri	39
Şekil 6.3. %100 Diamalloy 2002 (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 ile %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) ile kaplanan numunelere ait XRD analiz sonuçları	40
Şekil 6.4. %100 Diamalloy 2002 tozunun aşınma öncesi kaplama kesit görüntüsü..	41
Şekil 6.5. %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının aşınma öncesi kaplama kesit görüntüsü.....	42
Şekil 6.6. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği.....	47
Şekil 6.7. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği.....	48
Şekil 6.8. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği	49
Şekil 6.9. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği	49
Şekil 6.10. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	51
Şekil 6.11. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	51

Şekil 6.12. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	52
Şekil 6.13. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	53
Şekil 6.14. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	53
Şekil 6.15. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği	54
Şekil 6.16. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği	55
Şekil 6.17. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği	55
Şekil 6.18. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği	56
Şekil 6.19. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği	57
Şekil 6.20. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	58
Şekil 6.21. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	59
Şekil 6.22. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	59
Şekil 6.23. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	60
Şekil 6.24. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	61
Şekil 6.25. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri	61

Şekil 6.26. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	62
Şekil 6.27. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	63
Şekil 6.28. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	63
Şekil 6.29. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	64
Şekil 6.30. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 6.31. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 6.32. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	66
Şekil 6.33. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	67
Şekil 6.34. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	67
Şekil 6.35. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	68
Şekil 6.36. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 6.37. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 6.38. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	70

Şekil 6.39. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	71
Şekil 6.40. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	71
Şekil 6.41. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	72
Şekil 6.42. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	72
Şekil 6.43. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri.....	73
Şekil 6.44. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	74
Şekil 6.45. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	76
Şekil 6.46. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	77
Şekil 6.47. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	78
Şekil 6.48. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	79
Şekil 6.49. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	80
Şekil 6.50. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	81
Şekil 6.51. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	82
Şekil 6.52. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	83

Şekil 6.53. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	84
Şekil 6.54. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	85
Şekil 6.55. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	86
Şekil 6.56. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	87
Şekil 6.57. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	88
Şekil 6.58. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	89
Şekil 6.59. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	90
Şekil 6.60. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	91
Şekil 6.61. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	92
Şekil 6.62. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	93
Şekil 6.63. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	94

Şekil 6.64. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	95
Şekil 6.65. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü.....	96
Şekil 6.66. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü	97
Şekil 6.67. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 100 µm’de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü	99
Şekil 6.68. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü, a) 50 µm, b) 100 µm c) 100 µm d) 100 µm.....	100
Şekil 6.69. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan numunenin 100 µm’de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü...	101
Şekil 6.70. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü , a) 100 µm, b) 100 µm c) 100 µm d) 100 µm	102
Şekil 6.71. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü	103
Şekil 6.72. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	104

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Termal sprey yöntemlerinin karşılaştırılması	6
Tablo 2.2. Vakum, Sıçratma ve İyon Kaplama Yöntemlerinin özellikleri ve kıyaslama tablosu	17
Tablo 3.1. Plazma püskürtme ve HVOF özelliklerinin kıyaslanması	19
Tablo 3.2. Sıvı Yakıtlı HVOF ile Gaz Yakıtlı HVOF kıyaslaması	20
Tablo 3.3. Yaygın HVOF yüzey uygulamaları	22
Tablo 5.1. AISI 304 mekanik özellikleri	31
Tablo 5.2. AISI 304 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları	31
Tablo 5.3. Sulzer Metco Diamalloy 2002 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri .	32
Tablo 5.4. Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 4700 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri	32
Tablo 5.5. HVOF kaplama işlem parametreleri	33
Tablo 5.6. HVOF kaplamada kullanılan tozların yüzde oranları	33
Tablo 6.1. %100 Diamalloy 2002 tozunun kaplama kesit görüntüsü EDS analizi	41
Tablo 6.2. %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının kaplama kesit EDS analizi	43
Tablo 6.3. %100 Diamalloy 2002 tozu ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımlarının ortalama sertlik değerleri kıyaslaması	43
Tablo 6.4. Aşınma sürecinde kullanılan parametreler	44
Tablo 6.5. 200 metre mesafede % 100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları	45
Tablo 6.6. 400 metre mesafede % 100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler	46

Tablo 6.7. 200 metre mesafede % 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 Tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları.....	46
Tablo 6.8. 400 metre mesafede % 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 Tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları.....	47
Tablo 6.9. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	74
Tablo 6.10. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	76
Tablo 6.11. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	77
Tablo 6.12. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	78
Tablo 6.13. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	79
Tablo 6.14. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	80
Tablo 6.15. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	81
Tablo 6.16. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	82

Tablo 6.17. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	83
Tablo 6.18. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	84
Tablo 6.19. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	85
Tablo 6.20. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	86
Tablo 6.21. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	87
Tablo 6.22. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	88
Tablo 6.23. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	89
Tablo 6.24. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	90
Tablo 6.25. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	91
Tablo 6.26. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	92

Tablo 6.27. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	93
Tablo 6.28. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	94
Tablo 6.29. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	95
Tablo 6.30. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	96
Tablo 6.31. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	97

ÖZET

Anahtar Kelimeler: HVOF, 304L Paslanmaz Çelik, Aşınma, Sürtünme, Yüzey Kaplama Diamalloy 2002, Diamalloy 4700.

Bu tez çalışmasında, Sulzer Metco Diamalloy 2002 (Nikel Bazlı Eriyebilir Alaşım / Tungsten Karbid) ve Diamalloy 4700 (CoNiCrAlY) tozları farklı oranlarda hazırlanarak endüstride geniş bir kullanıma sahip olan AISI 304L paslanmaz çelik yüzeylerine HVOF püskürtme metodu ile kaplama sayesinde yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Sulzer Metco Diamalloy 2002 tozundan %100 oranında alınarak C numunesi, %75 Sulzer Metco Diamalloy 2002 ile %25 Diamalloy 4700 tozlarının karışımından ise D numunesi hazırlanmıştır. Farklı oranlarda alınan toz bileşimlerinin HVOF püskürtme yönteminde kaplama özelliklerine etkileri incelenmiştir.

AISI 304 çelik numune yüzeylerine yapılan kaplamaların metalografik işlemleri sonrasında optik inceleme ve kaplama kalınlık ölçümleri yapılmış, mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

C ve D numuneleri için Alümina bilya (Al_2O_3) ile değişken hız, yükler altında ve yol mesafelerinde aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma sonrası numunelerin sürtünme, pürüzlülük, SEM, XRD analizleri yapılarak kaplama sonrası ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

IMPROVEMENT OF AISI 304 STAINLESS STEEL SURFACE PROPERTIES BY HVOF SPRAY PROCESS

SUMMARY

Keywords: HVOF, 304 stainless steel, Abrasion, Friction, Surface Coating, Diamalloy 2002, Diamalloy 4700.

The goal of this study was to improve the surface properties of AISI 304L stainless steel, which is widely used in the industry, by mixing Sulzer Metco Diamalloy 2002 powder (Nickel Based Fusible Alloy / Tungsten Carbide) and Diamalloy 4700 powder (CoNiCrAlY) in various proportions and by applying the coating on steel surface using the HVOF spray method.

The C sample was prepared from 100% Sulzer Metco Diamalloy 2002 powder and the D sample was prepared from a mixture of 75% Sulzer Metco Diamalloy 2002 powder and 25% Diamalloy 4700 powder. The impact of powders with different compositions was investigated after the coating was applied.

After the metallographic processes on the coating applied to AISI 304 steel sample surfaces were completed, the visual examination was made, and coating thickness measurements and microhardness measurements were carried out.

Abrasion tests were performed with Alumina ball (Al_2O_3) from different distances, at variable speed and with different loads. After the abrasion, friction, roughness, SEM, and XRD analyzes of the samples were made and all samples were investigated in detail after the coating was applied.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde malzeme bilimi ve mühendislik araştırmaları için en önemli zorluk, kritik malzemelerin değiştirilmesi ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Burada belirtilen "kritiklik" tedarik kıtlığı ve malzeme güvensizliğinden kaynaklanabilir. Bir malzemenin yüzeyi, farklı alanlarda hizmet ömrü bakımından önemli belirleyici bir etken olmuştur ve etki altında kalacağı tüm yüzey hadiselerinden korunma sağlanması için farklı çalışmalar yürütölmüştür [1].

Malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilip iyileştirilmesi ile Yüzey Mühendisliği bilim dalı ilgilenmektedir. Bu bilim dalı, bir tabaka üzerinde sunduğu yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Metalik malzeme özelliklerini bozan ve bozunmayı hızlandıran unsurlar genellikle aşınma, yorulma ve korozyon gibi etkenlere bağlanır [2]. Mühendislik bileşenlerindeki hataların büyük bir kısmı, malzemenin yüzeyindeki bozulmalar dolayısıyla oluşmaktadır [3]. Altyapı maliyetleri ve bakım programlarının yüksek olduğu ve teçhizatların en zorlu koşullarda dahi çalışmasının beklenildiği, endüstri şartlarında malzemelerin yüzey özelliklerinin muhafaza edilerek erken arızalanması ve iş görememesi gibi durumların üstesinden gelebilmek için yüzey mühendisliği metotlarına yönelinmiştir. Bu yönelimle asıl ulaşılmak istenen hedef, pahalı ekipmanların çalışma ömrünü uzatmak ve planlı bakım program frekans aralığını arttırarak maliyet avantajı elde etmektir [4].

Aşındırıcı aşınma sert parçacıkların yüzeyde sert lehimleme ile bileşen bozulmasına ve sonucunda ise arızalanmaya neden olur. şiddetine ve hızına göre zamanında önlem alınmayan aşınmalar önemli maliyet ve iş kayıplarına neden olabilir. Endüstride düşük karbonlu çelikler ve paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş

kullanım alanları nedeniyle aşınmaya karşı direnç daha fazla direnç gerektiren çalışma koşullarında kolayca aşınabilirler [2].

Piyasada paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direnci ve nispeten daha düşük maliyetle iyi mekanik özellikler gerektiren uygulamalar için iyi yapılandırılmış malzemelerdir. Kaplama, oksidasyon direnci, çekici görünüm, aşınma direnci, elektrik direnci, renk veya termal koruma gibi belirli yüzey özellikleri eklemek için metallere bağlı ince bir malzeme filmidir. Östenitik paslanmaz çeliğin mükemmel özelliklerine rağmen, erken bozulmaya ve yüksek maliyet değişimine yol açan ciddi bozunma sürecinin meydana geldiği zorlu koşullarda çalışır. Bu konu, paslanmaz çelik bileşenlerin korunması için tasarlanmış kaplamaların geliştirilmesi ve artan kullanımını motive etmiştir [5].

Kavitasyon erozyonunun yorgunluk, çatlak yayılımı olduğu ve bu nedenle ciddi bir verimlilik kaybına yol açan ciddi malzeme bozulmasına bağlı olduğu deniz ortamlarında çalışan türbinlerdir [6]. Gittikçe sertleşen ortam, malzeme seçimini, yeterli sünme ve korozyon direnci sağlayabilecek yüksek alaşımlı çelikler ve nikel bazlı alaşımlarla sınırlar. Korozyona karşı korumayı daha da geliştirmek için korozyona dayanıklı örtü HVOF kaplamalar uygulanabilir [7]. Yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) püskürtme kaplama biriktirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. HVOF tekniği, demir içeren malzemeleri kaplamak için endüstrilerde kullanılan en popüler ve ucuz teknolojidir. Başka termal püskürtme metotları arasında, HVOF yüksek yapışma, yüksek sertlik ve düşük gözenekliliğe sahip yoğun kaplamalar üretmek için gerekli olan yüksek hızların ve düşük sıcaklıkların mükemmel bir kombinasyonunu sağlayabilmektedir [8]. HVOF püskürtme işlemi sırasında yakıt, yüksek basınçta oksijen ile yakılır ve yüksek hızlı egzoz jetini üretir. Bu işlemin ana avantajı, tozların alevde daha kısa kalış süresidir (düşük toz sıcaklığı) ve etkileyen parçacıkların daha yüksek kinetik enerjisidir. Bu, püskürtme sırasında tozun daha az bozunması ile yoğun bir kaplama oluşturur [9]. Zorlu ortamlara maruz kalan karmaşık şekillerde kaplama için HVOF metodu başarıyla uygulanabilmektedir [10].

BÖLÜM 2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

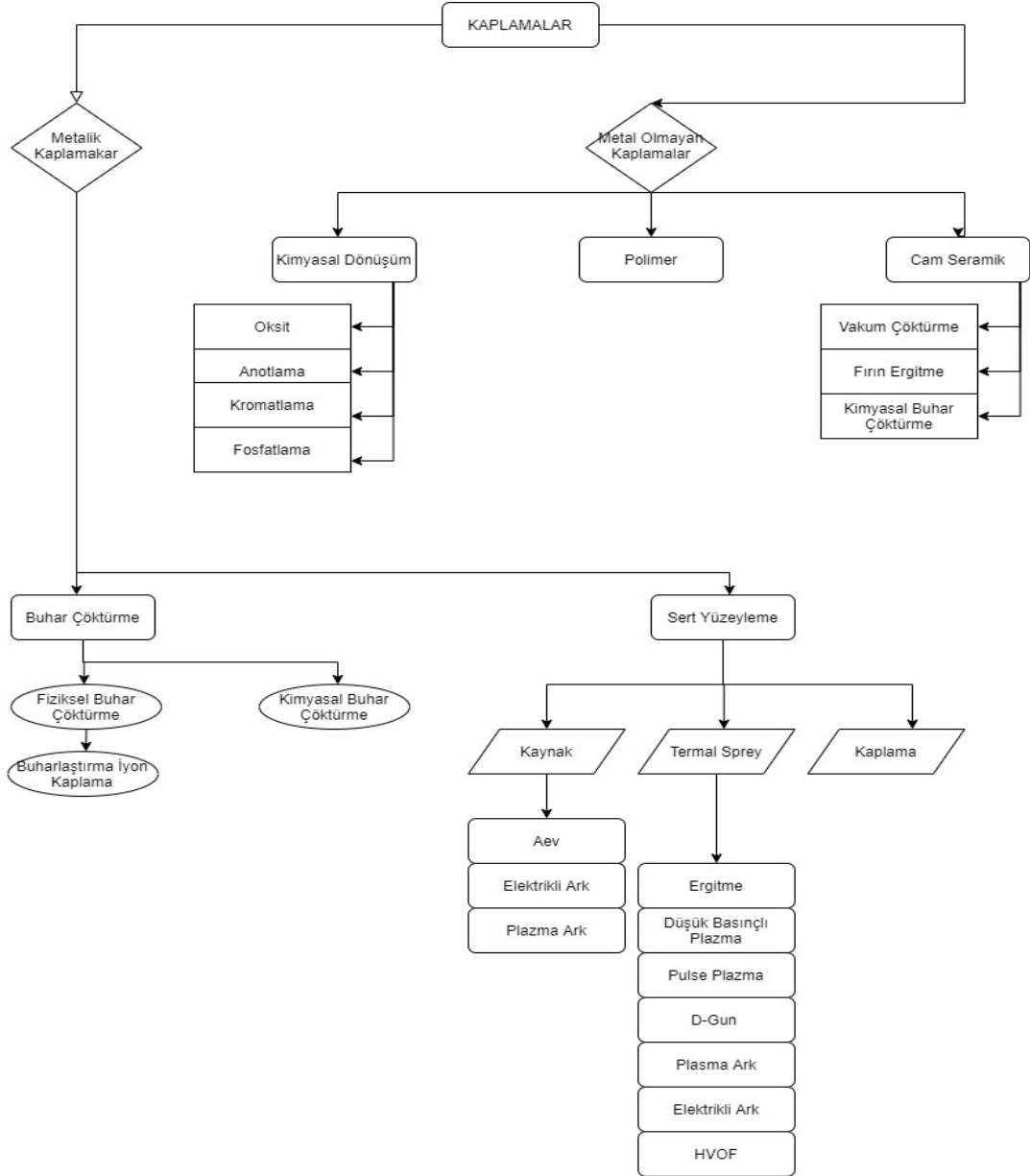
Yüzey kaplama, metallerin ya da alaşımların yüzeylerine kaplama yapılarak mevcut malzemeye göre değişik özellikte kimyasal bileşimli yüzey elde etme işlemine denir. Bu alanda inceleme yapan bilim dalına da yüzey mühendisliği denir [11]. Malzemenin yüzeyine bir bileşik veya elementin çöktürme işlemiyle malzeme yüzeyini korumak ve yüzey görüntüsünü iyileştirmek ayrıca bulunduğu çevredeki zorlu ortam etkisinden korumak için yapılan yüzey işlemine kaplama denir. Bu işlemde altlık malzeme ciddi bir parametre olmadığı için geniş kullanım alanına sahip bir yöntemdir [12].

Günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile malzemelerin endüstride etkin olarak kullanılmasını sağlamak için geliştirilen malzemelerin iyileştirilmiş yüzey özelliklerine sahip olması arzu edilmektedir [13]. Arzu edilen gelişmiş özellikler bazı kaplama yöntemleri uygulanarak daha az maliyetle elde edilebilmektedir. Çeşitli ortam ve zor koşullarda fiziksel ve kimyasal bozulma yaşamadan malzemelerin kullanılabilmesi için mühendislik bileşenleri gerekmektedir. Aşınma yüzeylerin çalışmasını etkileyen yüzey özellikleridir. Aşınmaya örnek olarak; talaşlı imalat proseslerindeki torna ve işleme takımlarında yüksek sıcaklık etkisi ile yüzeyde aşınmalar meydana gelir. Bu aşınmaları azaltmak için temas yüzeylerinin yağlanması, takım veya malzeme yüzeylerinin geliştirilmesi ile kullanım ömrünün artırılması mümkün olur. Kaplama, malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilerek aşınma, korozyon ve yorulma dayanımlarının iyileştirilmesi, geliştirilmesi ve ayrıca yüzeyi bozulmuş malzemelerin onarımını kapsayan bir yüzey mühendislik yöntemidir. [35]. Yüzey kaplama bakımından kaplamalar metalik olmayan ve metalik kaplamalar olarak ikiye ayrılmıştır. Şekil 2.1.'de şematik olarak gösterilmiştir [12].

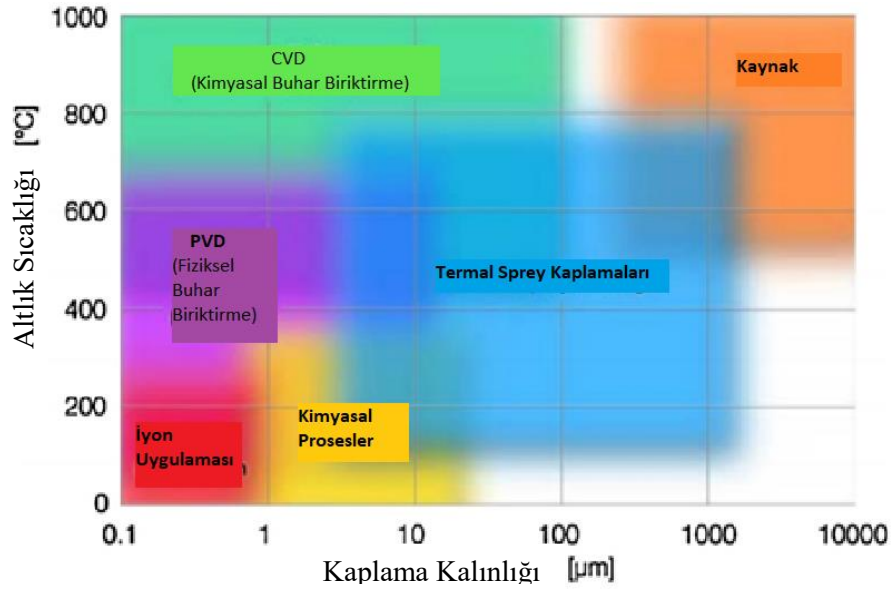
Yüzey mühendisliğinin bazı hedefleri:

- 1- Aşınma direncinin geliştirilmesi

- 2- Sürtünme kaynaklı yiten enerjiyi azaltmak ve ısı izolasyonunu geliştirmek
- 3- Elektrik, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi
- 4- Malzeme görünümünü iyileştirmek



Şekil 2.1. Kaplama yöntemlerinin sınıflandırılmasının şematik gösterimi [12].

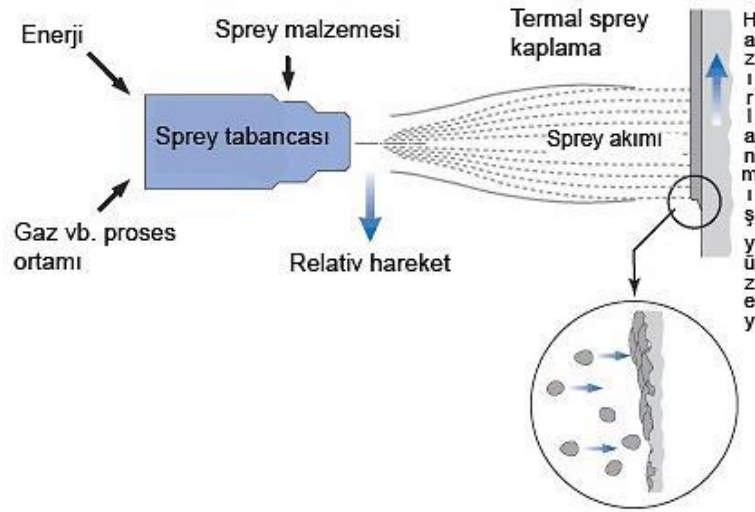


Şekil 2.2. Kaplama yöntemlerine göre altlık sıcaklığı ve kalınlık ilişki grafiği [14].

Kaplama yöntemlerinin hepsi değişik altlık sıcaklıklarında ve kaplama kalınlık ilişkisi ile çalışılmaktadır. Hangi kaplamanın yapılacağı kararlaştırılırken malzeme türü, ana tabaka sıcaklığı ve uygulanacak kaplama kalınlığı dikkate alınmalıdır. Bu ilişki Şekil 2.2.'de gösterilmiştir [14].

2.1. Isıl Sprey (Termal püskürtme) Yöntemleri

Isıl püskürtme metodu tel ya da toz halinde bulunan kaplama malzemelerinin taşıyıcı ve yanıcı gazlarla püskürtme tabancasından püskürtülerek ana parça üzerinde biriktirilip, koruyucu kaplama tabakasının gerçekleştirilmesine dayanmaktadır (Şekil 2.3.). Kaplama malzemesini ergitmede sıcaklık torç tarafından sağlanır. Püskürtülen kaplama malzemesi ana yüzeye tanecikler şeklinde ısı transferi ile yapışıp daha sonra soğuması ile kaplama tabakası elde edilir [15,16]. İstenilen bağlanmanın sağlanabilmesi için kaplanacak malzemenin yüzeyine kaplama işlemi yapılmadan pürüzlendirme işlemi yapılır. Termal spreycaplama yönteminin şematik olarak gösterimi Şekil 2.3.'te verilmiştir [17].



Şekil 2.3 Termal sprej kaplama yönteminin şematize edilmesi [17]

Kaplama seçiminde kaplama kalınlığı ve sıcaklığı en önemli iki parametredir. Kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri detaylı şekilde kıyaslamalı olarak Tablo 2.1.'de verilmektedir [18].

Termal sprej yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Alevle püskürtme kaplama Metodu
2. Plazma- jeti ile püskürtme Metodu
3. D-Gun (Patlatmalı püskürtme) Metodu
4. Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi
5. Yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) püskürtme yöntemi [19].

Tablo 2.1. Termal sprej yöntemlerinin karşılaştırılması [18]

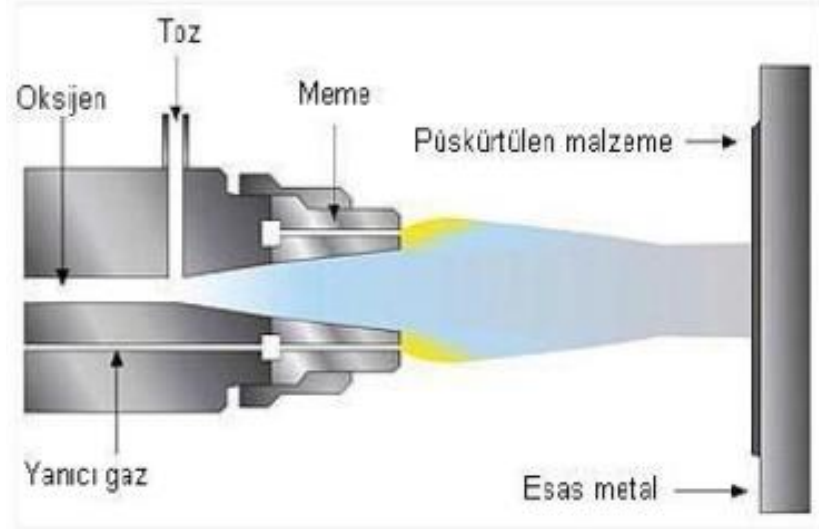
	Alev Sprej	Ark Sprej	D-Gun	HVOF	APS	Soğuk Sprej
TUTUŞMA						
Sıcaklık (°C)	3500	>6000	>4000	2500-3000	10000-15000	0 - 700
Hız (m/s)	80 – 100	50 - 100	>2500	500 - 2000	300 - 1000	300 -1200
Gaz Tipi	O ₂ / Asetilen Propan, H ₂	Hava, Nitrojen, Ar	O ₂ , Asetilen Propan, H ₂	O ₂ , Kerosen Propan, H ₂	Ar, H ₂ , Helyum, N ₂	N ₂ , Hava, Helyum
Güç (kW)	20	5 - 10	-	150 - 300	40 -200	-

Tablo 2.1. (Devamı)

	Alev Sprey	Ark Sprey	D-Gun	HVOF	APS	Soğuk Sprey
ALEV						
Max Alev Sıc. (°C)	2500	>3800	-	3300	>3800	250
Alev Sıc.(°C)	50 - 100	50 - 150	750 - 1000	200 -1000	50 - 100	500
KAPLAMA						
Porozite (%)	10-15	10-20	<2	<2	5-10	<5
Kalınlık(μm)	100 - 2500	100 - 2000	100 - 400	50 - 20000	100 -1500	250 - 600
Oksit İçeriği	<1		<1	<1	<3	

2.1.1. Alev püskürtme kaplama yöntemi

İsviçreli Max Schoop tarafından bilim dünyasına kazandırılan alev püskürtme ile kaplama metodu, bilinen en eski patentli termal püskürtme metodudur. Termal sprej metotları açısından kıyaslandığında en basit ve ekonomik olanıdır. Malzeme yüzeyine kaplanacak olan tel ya da tozlar nozulda ertitildikten sonra yüzeye püskürtülmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu işlem O₂ ve yanıcı gaz ile yüksek alev sıcaklığı elde edilerek gerçekleştirilebilmektedir. Alev sprej yönteminde aşınma ve darbe dirençleri açısından iyi neticeler alınabilmektedir. İlk zamanlarda O₂ ve asetilen karışımı gazların yakılması sonucu alev ile Pb ve Sn gibi düşük ergime sıcaklığına sahip teller ertitilerek yapılmaya başlanmıştır [20]. Asetilen gazı 3087 °C gibi yüksek alev sıcaklığı ile kaplama malzemesi kullanımı açısından uygundur. Ayrıca ekonomik olması, kolay tedarik edilebilirliği de kullanımını yaygınlaştırmıştır. Günümüzde ise endüstri açısından daha güvenli ve daha ekonomik alternatif yöntemlerin araştırması devam etmektedir. Kaplamanın uygulanacağı malzemenin kriterlerine göre alev sprej yöntemi tel veya toz sprej olarak uygulanabilir [21]. Alev püskürtme yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.4.'te verilmektedir.



Şekil 2.4. Alev püskürtme kaplama yöntemi uygulaması [21].

2.1.1.1. Alevle toz püskürtme yöntemi

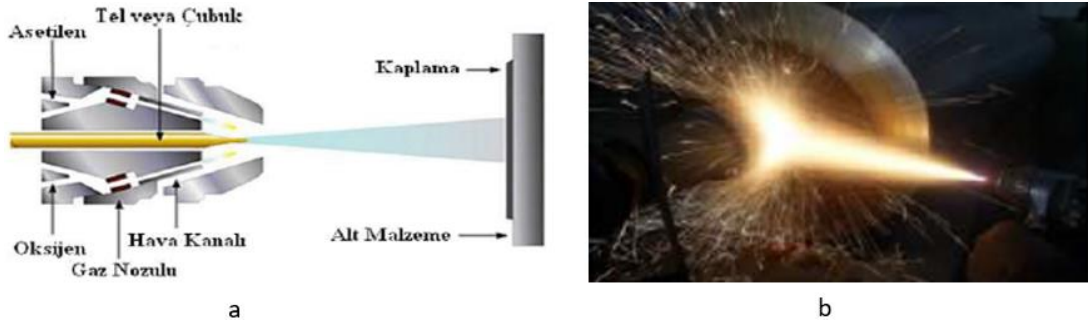
Alevle toz püskürtme metodu Alev püskürtme yöntemlerinden kolay olanıdır. Alev tabancası besleyicisi yer çekimi sayesinde tozlar beslenir, taşıyıcı gaz ile toplanan tozlar ergitilme amacıyla püskürtme tabancası uç kısmına transfer edilir. Tabanca uç kısmında eriyen tozlar malzeme yüzeyine püskürtülerek kaplama meydana getirilir. Bu metod oksidasyona dayanıklı metal ve alaşımlarda kullanımı olması ile birlikte yaygın olarak seramik tozlarında kullanılmaktadır. Bu yöntemle Ni-Co, Al-Ti, Al_2O_3 , Zr_2O_3 gibi tozlar altlık malzemesine en çok püskürtülen tozlardır. Altlık malzemesinden sınırlı kullanım alanı olmasına rağmen ilk yatırım maliyeti diğer yöntemlere göre daha azdır [13,22]. Alev Toz püskürtme yöntemi ile elde edilen ürüne ait örnek görsel Şekil 2.5.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Alev Toz Püskürtme yönteminin uygulama örneği [13].

2.1.1.2. Alev tel püskürtme yöntemi

Tel alev püskürtme metodunda tel şeklinde çekilmiş eriyebilen bütün metaller püskürtülebilmektedir. Bu yöntemle üretilen kaplamalarda %5-15 arasında porozite mevcuttur. Püskürtme işlemi tel uçlarının eritildiği nozul memesindeki ayarlanabilir hız motor vasıtasıyla beslenebilmektedir. Uygulama sırasında alev hızı 80 -100 m/s aralığındadır. Nozul memesine basınçlı hava dışarıdan verilmektedir. Alev sıcaklığı 2700 – 3100 °C arasında değişmektedir [23]. Alev tel püskürtme yönteminin şematik olarak gösterimi ve uygulama örneği Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Alev Tel Püskürtme yönteminin şematik gösterimi (a) ve uygulama örneği (b) [23]

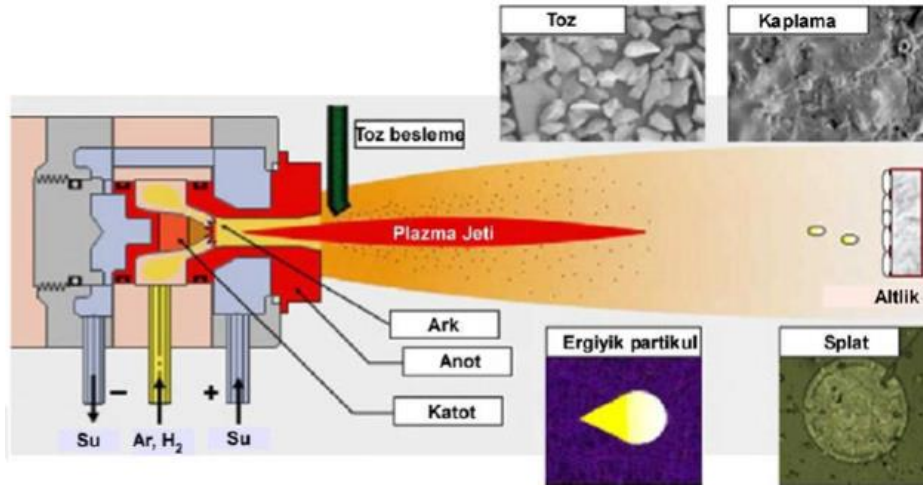
Tel ucu devamlı olarak ergime noktasına kadar ısıtılarak, sıvı zerrercikleri havayla küçük parçacıklar halinde altlık malzemesine püskürtülmektedir. Bu metotla Cu, Zn, Al, Çelik, Bronz, Mo gibi malzemeler püskürtülebilir. Alevle tel püskürtme, farklı boyut ve şekillerdeki parçalara püskürtme yapılabilmesi ve düşük maliyetli olması kullanımı açısından avantaj sağlamaktadır. Çoğunlukla korozyona karşı dayanıklı olması istenen parçalarda ve deformasyon oluşmuş parçaların iyileştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır [21].

2.1.2. Plazma püskürtme yöntemi

Plazma püskürtme ile kaplama teknolojisi alev ve ark püskürtmeden daha sonra geliştirilmiştir. Plazma püskürtme teknolojisi ile metaller kaplanarak yüksek sıcaklık, aşınma ve korozyona dirençlerinin artırılması seramik kaplamalar sayesinde mümkün

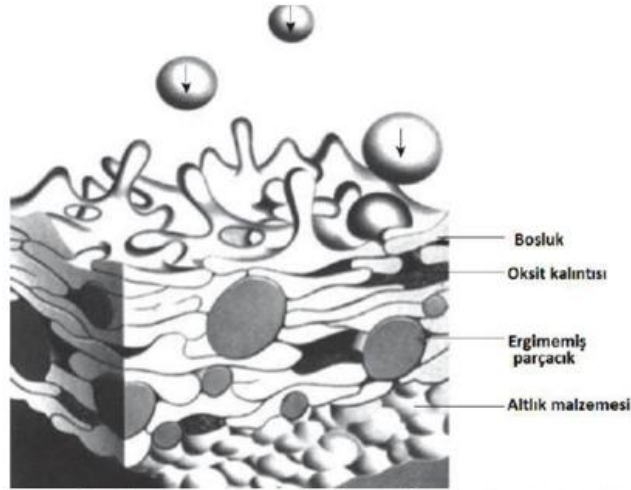
olmaktadır. Bununla birlikte metal ve seramiklerin üstün özelliklerinden birlikte istifade edilebilmektedir.

Atmosferik basınçta plazma yöntemi (APS) enerji kaynağından ark oluşturarak sprey yapılan malzemenin eritilmesine yarayan işlemdir. Anot boyunca katot çevresine gaz karışımı sprey yapılır. Tozlar taşıyıcı gaz sayesinde taşınarak plazmaya püskürtülür. Parçacıkların hepsi ya da bir kısmı plazma ile ertilir ve altlık malzemesinin yüzeyine gönderilir. Yüzeğe gönderilen parçacıklar deforme olarak hızlı şekilde katılır. Sistemin çalışma mantığı Şekil 2.7.'de, üretilen kaplamanın ana yapısı Şekil 2.8.'de verilmektedir [13,24].



Şekil 2.7. Atmosferik püskürtme yönteminin şematik olarak gösterimi [24]

Asal gaz olarak Ar, He, N, H₂ gazları kullanılır ve Volfram (-) elektrot ile Cu (+) elektrot arasında oluşan ark ile hareket ettirilir [44]. Isı kaynağı 8000 K sıcaklıklarına ulaşabilir. Plazma sprey sistemi, tabanca, toz besleme ünitesi, enerji kaynağı ve gaz kaynağı içerir. Yüksek sıcaklıklarda koruma için su ile soğutulur [5, 25].



Şekil 2.8. Plazma püskürtme yönteminin kaplama oluşum örneği [25]

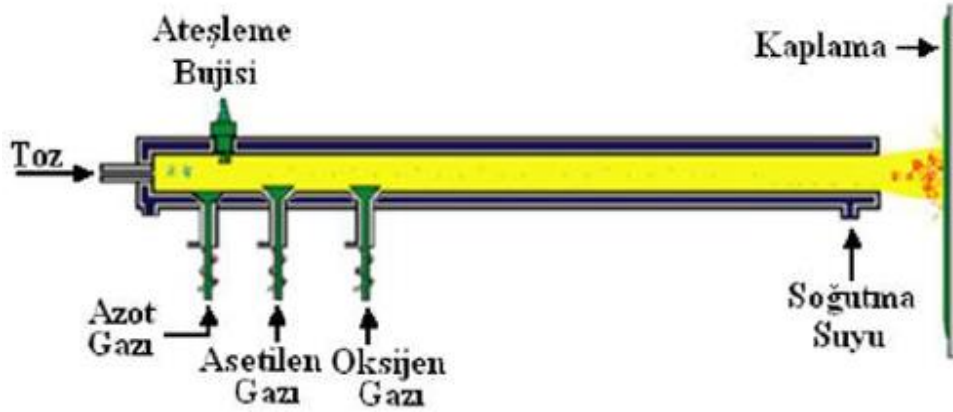
Maddedeki atomlar arası bağ enerjisi atom enerjisinden fazla olursa katı halde bulunur. Atom enerjisi bağ enerjisinden daha yüksek olursa sıvı ve akabinde gaz haline geçer. Gaz fazındaki atom enerjileri yükseldikçe, elektronlar çekirdekten ayrılarak özgür hale gelebilirler ve müteakip madde anyon ve katyon yüklü hale gelir. Plazma kaplama yapısı, gözenekler, erimemiş veya kısmi ergitilmiş parçacıklar ve oksit parçacıklarını oluşturan homojen olmayan ve lamel yapılarından meydana gelmektedir [26].

2.1.3. D-Gun (Patlatmalı püskürtme) Yöntemi

D-Gun metodu için özel dizayn edilmiş olan tabanca ve N_2 , O_2 ve Asetilen içinde bulunan toz kaplama malzemesinin uygun miktarlarda ölçüldüğü hücreyi içermektedir. Su soğutmalı yanma odasının iç çapı 20-30 mm ve uzunluğu 1000-1500 mm'dir. Bu odada gaz karışımlarının patlatılmasıyla toz karışımları eritilir ve kaplanacak yüzeye püskürtülür. Kaplamalar sert, yoğun ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir.

Oksi asetilen karışımı elektrik kıvılcımları ateşleme bujisi sayesinde saniyede yaklaşık 4-8 kez patlatılır. Oluşan patlama sıcaklık ve yüksek gaz akışı meydana getirmektedir. Bu işlem esnasında kaplama tozu plastik faza gelene kadar ısıtılır ve akabinde partiküller 800 m/sn hızla tabanca nozulundan hareket ettirilir. Kaplanacak yüzeye parçacıklar çarpar ve arzu edilen kalınlıklarda biriktirme işlemleri meydana getirilir. Yüksek hız, kaplama kalitesini arttırmaktadır [27].

Bu yöntemde yüksek gaz akış hızı yüksek erozyona neden olmaktadır. Patlamalı püskürtme sisteminin şematik görüntüsü Şekil 2.9.'da verilmektedir [17].



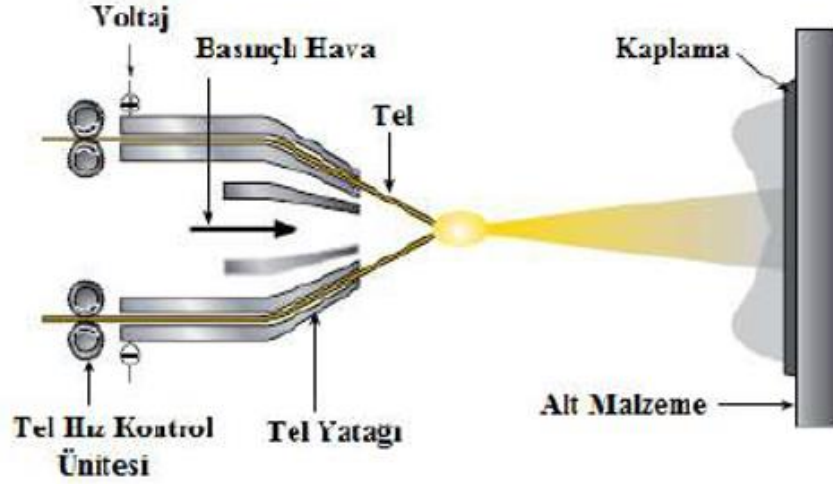
Şekil 2.9. D-Gun (Patlamalı) yönteminin şematik gösterimi [17]

Kaplama yapılan parçanın az ısınması ve erime sıcaklığı fazla olan (Karbürler) malzemelerin kaplanması bu metodun avantajı iken, biriktirme hızınının az olması, esnek ve ekonomik olmaması dezavantajlarındandır. Bu yöntem ile kaplama yapılan parçalarda düşük gözeneklilik, güçlü bağ yapısı ve basma gerilme özellikleri iyi olması gibi yüzey özellikleri elde edilebilir.

2.1.4. Elektrik ark püskürtme yöntemi

Elektrik ark püskürtme yöntemi 1900'lü yıllarda bulunmasına rağmen 1960'lı yıllarda metallerin korozyona karşı mukavemetini arttırmak için yaygınlaşmıştır. Elektrik ark püskürtme iki elektrot (anot ve katot) arasından sürekli bir ark sonucu ısı ortaya çıkması esasına dayanmaktadır. Tel uçlarının birbirine teması ile elektrik arkı üretilir. Neticede tellerin uçları erir ve ergimiş metal hava akımı mikroparçacıklar şeklinde atomize edilerek kaplamayı elde edebilmek için yüksek hızlarda parça üzerine doğru püskürtülür. Yüksek hızlı elektrik ark yöntemi deforme parçaların kurtarılması ve tekrar üretim mühendisliği açısından görsel amaçlı kaplamalarda da kullanılabilmesi için önemli bir yöntemdir. Bu metotla üretilen kaplamalar alevle püskürtme metoduna kıyasla daha yüksek bağ kuvveti, birikme hızı ve kaplamada uygun maliyet gibi avantajları vardır [28]. Elektrik ark yönteminde oksit oranı yüksektir. Çalışma

sıcaklığı 4000 – 5000 °C arasındadır. Sistemin çalışma mantığı Şekil 2.10.'da gösterilmektedir [20].



Şekil 2.10. Elektrik Ark Püskürtme yönteminin şematik gösterimi [20].

Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi özellikle kazanlarda yüksek sıcaklık mühendisliği uygulamalarında büyük kayıpları azaltmak için mümkün olan en iyi yüzey kaplama yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, çeliklerin temel özelliklerini değiştirmeden istenen tipte alt tabaka malzemesine kaplama yapılabilir [29].

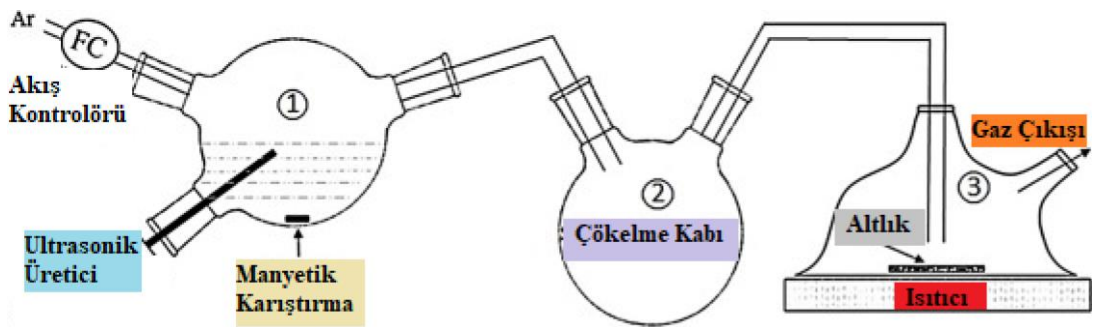
2.1.5. Buhar biriktirme fazı yöntemleri

Günümüz teknolojisinde kaplama için kullanılan malzeme türlerinde ortaya çıkan yüksek artış, buhar fazından çökeltme prosesi ile geliştirilen kaplama metotları ile açıklanabilir. Sıvı ve buhar halden elde edilmiş katı malzemelerin özellikleri, sıvı halden elde edilmiş benzer malzeme özelliklerinden daha geniş değişikliğe yol açabilmektedir. Buhar fazı biriktirme metoduyla balans dışı değerlerde malzemeler elde edilebilirken, eritme metodunda balans değerlerine yakın katı malzemeler elde edilebilir. Buhar fazı kaplama metodunda kaplama yapılacak alt malzemenin özelliği ile kaplama arasında direkt bir ilişki yoktur, bu sebepten dolayı buhar fazı kaplamasının endüstriyel alanda geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yönteminin yüksek sıcaklıklarda (1000 °C) yapılması alt malzemedeki

bozulmalara sebep olması bu yöntem için dezavantajdır. Buna karşın daha Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi düşük sıcaklıklarda benzer kalınlık ve özelliklerde kaplamalar yapılmasına imkan tanır. PVD ve CVD metotları ana malzemenin yüzeyinde sert kaplama tabakası meydana getirmek için kullanılmaktadır [30].

PVD yöntemi buharlaştırma ve sıçratma metotları ile atomların yüzeyden kopartılması ya da vakum altındaki malzemelerin alt kısmında malzeme biriktirilerek elde edilmesi hususuna dayanan bir kaplama metodudur. Bu yöntemler dışında uygulanabilen en önemli kaplama yöntemlerinden biri de iyon kaplama yöntemidir. İyon kaplama yöntemi atomların iyonize edilmesi ve kaplama yapılan ana malzemeye negatif potansiyel uygulanması esasına dayanır [31]. Bu yöntemde metal buhar üretimi, belirli gazlarla tepkime ve altlık malzemesi üzerinde bir bileşime sahip ince film tabakası ortaya çıkararak metal üzerinde kaplama yapılabilen bir yöntemdir. En çok püskürtme ve katodik ark yöntemleri kullanılmaktadır. Katodik ark yönteminde, malzemeyi buharlaştırmak için yineleyen vakum ark deşarjları kullanır.

Sıçratma yöntemi Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden en önemlisidir. Bu yöntemde kaplama yapılacak alt yüzeye kaynaktan çıkan hızlandırılmış gaz iyonları yüksek voltajı ile bombardıman edilir. Kaplama tabakasının oluşumu için malzeme iletimi buharlaştırma ile gerçekleşir. Buhar biriktirme uygulamasının şematik gösterimi Şekil 2.11.'de verilmiştir [32].



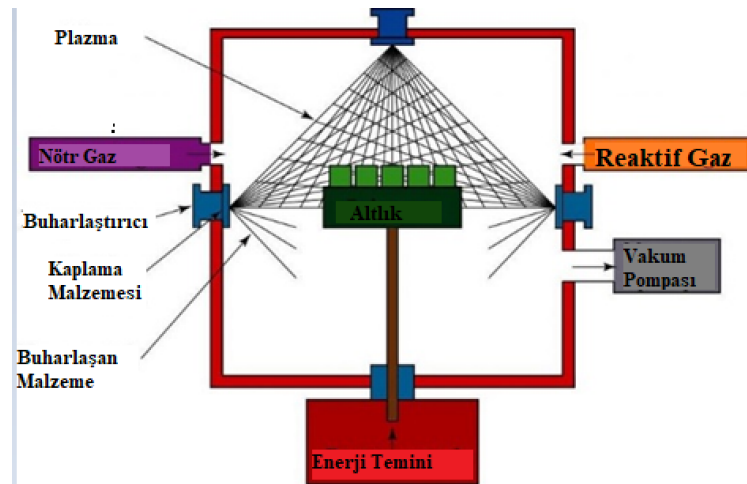
Şekil 2.11. Buhar biriktirme uygulamasının şematik gösterimi [32].

2.1.5.1. PVD uygulamaları

Uygulamalar arasında kupalar, oyuncaklar, kalemler ve kurşun kalemler gibi plastik ve metal parçalar üzerinde ince dekoratif kaplamalar, saat kutuları ve otomobillerde iç kaplama yer alır. Kaplamalar, yüksek parlaklıkta gümüş veya krom görünümü vermek için şeffaf sprej ile kaplanmış ince alüminyum filmlerdir (yaklaşık 150 nm). PVD'nin bir başka kullanımı, optik lenslere yansımaya önleyici magnezyum florür (MgF_2) kaplamaları uygulamaktır. PVD elektronik cihazların imalatında, esas olarak entegre devrelerde elektrik bağlantıları oluşturmak için metal biriktirmek için uygulanır. Son olarak, PVD, aşınma direnci için kesme aletleri ve plastik enjeksiyon kalıpları üzerine titanyum nitrürü (TiN) kaplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama buharının sentezi, mevcut bir katı (veya sıvıyı) buharlaştırmak için elektrik dirençli ısıtma veya iyon bombardımanı gibi çeşitli yöntemlerden herhangi biri ile gerçekleştirilebilir [33]. Bu yöntemler Vakum buharlaşması, Sıçratma ve İyon kaplama yöntemleri olmak üzere üç ana PVD yöntemleridir.

2.1.6. Vakum buharlaşma

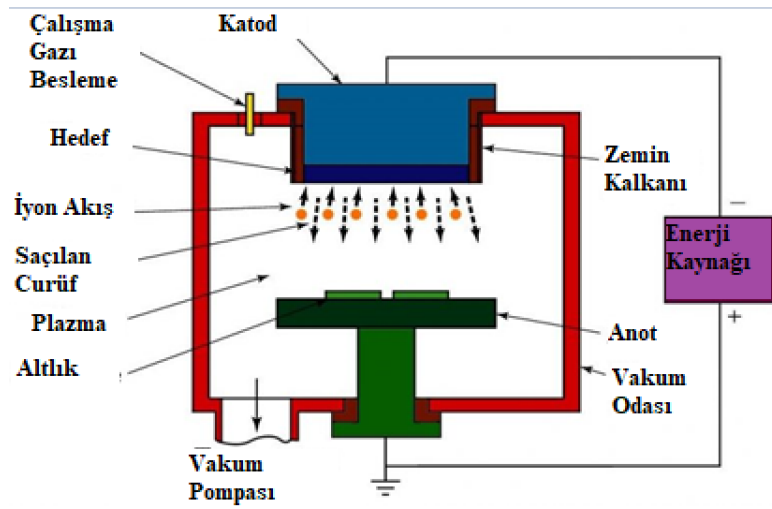
Özel malzemeler (çoğunlukla saf metaller), önce bir vakumda katıdan buhar haline dönüştürülerek ve daha sonra altlık yüzeyi üzerinde yoğunlaşmasına izin verilerek bir altlık üzerine çökmesi ile elde edilir. Vakum buharlaşma yöntemi şematik olarak Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Vakum Buharlaşma yöntemi şematik görseli [34].

2.1.6.1. Sıçratma

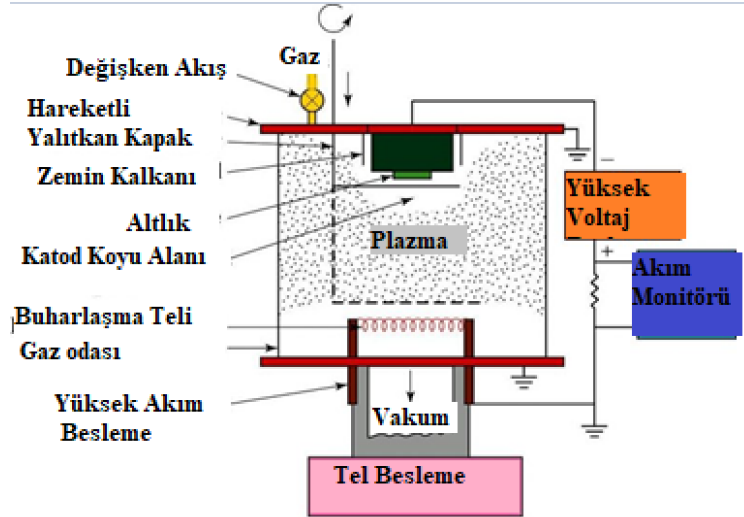
Bir katının (veya sıvının) yüzeyi yeterince yüksek enerjili atomik parçacıklar tarafından bombardımana tutulursa, yüzeyin tek tek atomları momentum aktarımı yoluyla yüzeyden fırladıkları çarpışma nedeniyle yeterli güç elde edebilirler. Püskürtme olarak bilinen süreç budur. Sıçratma yönteminin çalışma prensibi Şekil 2.13.'te verilmektedir [34].



Şekil 2.13. Sıçratma yöntemi şematik gösterimi [34].

2.1.6.2. İyon Kaplama

İyon kaplama, ince bir filmi bir altlık üzerine çökeltmek için püskürtme ve vakumla buharlaştırmanın bir kombinasyonudur. İşlem aşağıdaki gibi çalışır. Altlık malzeme, odanın üst kısmında katot olacak şekilde ayarlanır ve kaynak malzeme bunun altına yerleştirilir. Daha sonra bölmede bir vakum oluşturulur. Argon gazı kabul edilir ve gazı iyonlaştırmak (Ar^+) ve bir plazma oluşturmak için bir elektrik alanı uygulanır. Sistemin çalışma mantığı Şekil 2.14.'te verilmektedir. PVD yöntemi ile ilgili detaylı açıklama Tablo 2.2.'de verilmektedir [34].



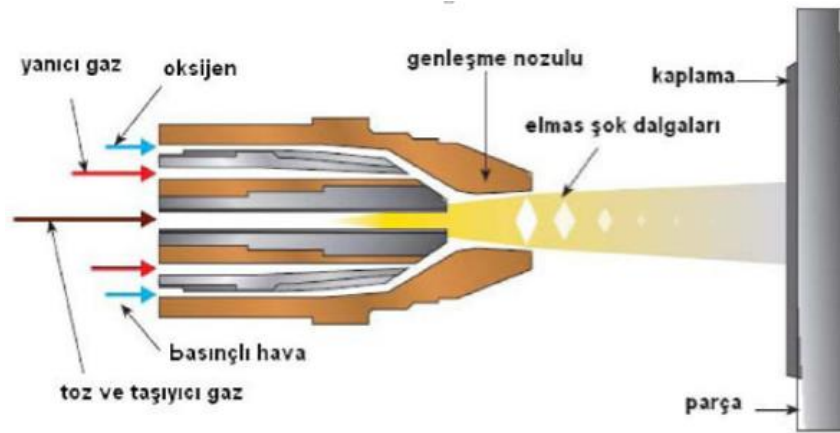
Şekil 2.14. İyon Kaplama yöntemi şematik görseli [34].

Tablo 2.2. Vakum, Sıçratma ve İyon Kaplama Yöntemlerinin özellikleri ve kıyaslama tablosu

PVD Metodu	Özellikler ve Karşılaştırmalar	Kaplama Malzemesi
Vakum Buharlaşması	Ekipman nispeten düşük maliyetli ve basittir; bileşiklerin birikmesi zordur; kaplama yapışması diğer PVD işlemleri kadar iyi değildir.	Ag, Al, Au, Cr, Cu, Mo, W
Sıçratma	Vakum buharlaşmasından daha iyi sıçratma gücü ve kaplama yapışması, vakum buharlaşmasına göre bileşikleri, daha yavaş birikme oranlarını ve daha zor proses kontrolünü kaplayabilir.	Al ₂ O ₃ , Au, Cr, Mo, SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , TiC, TiN
İyon Kaplama	PVD proseslerinin en iyi örtü ve kaplama yapışması, en karmaşık proses kontrolü, püskürtmeden daha yüksek biriktirme oranları.	Ag, Au, Cr, Mo, Si ₃ N ₄ , TiC, TiN

BÖLÜM 3. YÜKSEK HIZLI OKSİJEN YAKITLI (HVOF) PÜSKÜRTME YÖNTEMİ

Yüksek hızlı oksijen yakıtlı püskürtme metodu 1980'li yıllarda D-Gun patlatma metoduna alternatif olarak geliştirilmiş ve günümüzde metal püskürtme kaplamalarında kullanılan en önemli yöntemidir. Bu metod ile yüksek gaz debisi ve sıcaklıkta mekanik özellikler açısından üstün özellikli kaplamalar elde edilebilmektedir [35]. Sistemin çalışması; toz halinde bulunan kaplama malzemesi, taşıyıcı gaz (Azot ve Argon) sayesinde sprej tabanca içinden yanma odasına (60-120 psi) transfer edilir [36]. Oksijen ile sıvı yakıtın karışım odasında yanmasından sonra tozlar besleyici kanalla nozula yönlendirilir. Kaplama toz boyutları 4-45 μm ve hızları ise 20-120 gr/dk arasında olabilmektedir. Sprej tabancası ucundaki tozlar kinetik enerjisi sayesinde kaplanacak yüzey üzerine çok hızlı bir biçimde (1525-1825 m/sn) püskürtülen partiküller mekanik olarak birbirine bağlanarak gerçekleştirilen yöntemdir. Püskürtülen toz parçacıklarının sıcaklık 2300 $^{\circ}\text{C}$ – 3000 $^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır [17, 37]. HVOF metodunda 0.2 – 2 mm arasında kaplama kalınlığı elde edilebilmektedir [26]. Sistemin çalışma mantığı Şekil 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) püskürtme yönteminin şematize edilmesi [17].

HVOF püskürtmeli numunelerin mikro yapısal incelemelerinde HVOF kaplamalı örneklerin aşınma dayanımlarının daha fazla ve aşınma dayanımlarının daha iyi olduğu görülmüştür [38].

Plazma püskürtme ile HVOF arasındaki farklar ise Tablo 3.1.'de verilmiştir [13].

Tablo 3.1. Plazma püskürtme ve HVOF özelliklerinin kıyaslanması [13].

Özellik	Plazma Püskürtme	HVOF
Alev Sıcaklığı	11000 °C	3000 °C
Nozul – Ana Malz. Arası	75 – 150 mm	130 – 350 mm
Kaplama Açısı	60° – 90°	45° – 90°
Kaplama Verimi	%45	%75

HVOF sisteminde, gaz kontrol ünitesi (gaz debisini ayarlama), toz besleme ünitesi, kompresör (basınçlı hava temini), soğutma ünitesi (tabancanın soğuması için) ve sprej tabancası bulunmaktadır.

Bu metotta sprej işlemi sırasında ana metal yüzeyinin yaklaşık sıcaklığı 100 °C'yi aşmaması sayesinde malzemede bozunma ve metalurjik olarak değişiklikler olmamaktadır. Ana yüzey ile sprej torcu mesafesinin ayarlanması neticesinde ana yüzeyde anormal sıcaklık artışı görülmeyecektir [37]. HVOF metodunun aşınma ve sürtünme mukavemetlerine ihtiyaçlarına cevaplar vermesi, ekonomik olması ve esnekliği sayesinde havacılık, otomotiv, tekstil ve enerji endüstrisi gibi bir çok alanda kullanılabilir.

HVOF püskürtme metodunda gaz ve sıvı yakıt kullanılmaktadır. Gaz yakıt çeşitlerinde propan, doğalgaz, H₂ ve propilen kullanılmaktadır. Sıvı yakıt çeşitlerinde ise kerosen ve gaz yağı kullanılmaktadır. HVOF metodunun seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar aşağıdaki gibidir. Yakıt farklılığının HVOF sisteminde oluşturabileceği farklar Tablo 3.2.'de verilmektedir.

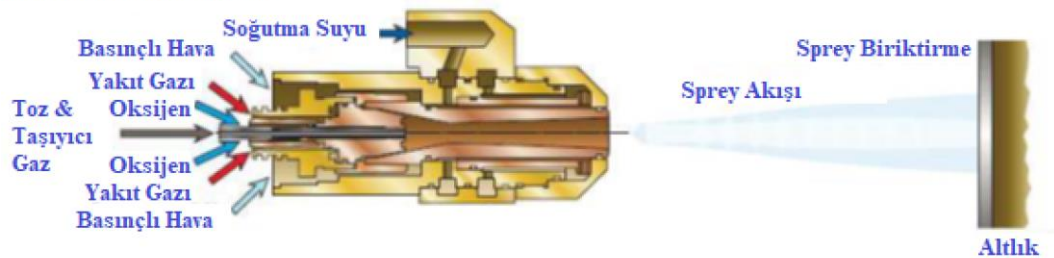
Tablo 3.2. Sıvı Yakıtlı HVOF ile Gaz Yakıtlı HVOF kıyaslaması

	Gaz Yakıtlı HVOF	Sıvı Yakıtlı HVOF
Genel Karakteristik Özellikler		
Yakıt Çeşitleri	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈	Jet veya Kerosen
Yanma Basıncı	~ 55 Mpa	55 -0,83 Mpa
Gaz Hızı	1800 – 2100 m/s	2000 – 2200 m/s
Tanecik Hızı	450 – 600 m/s	475 – 700 m/s
Toz Yedirme	Eksenel	Radyal
Toz Yedirme Hızı	Yüksek	Düşük
Sprey Oranı	<120 g/dk	<200 g/dk
Tüketim Değeri		
Yakıt	438000 lt H ₂ veya 5280 lt Propilen / Propan	28 lt Kerosen
Oksijen	18420 lt	61400 lt
Su	600 lt	2375 lt

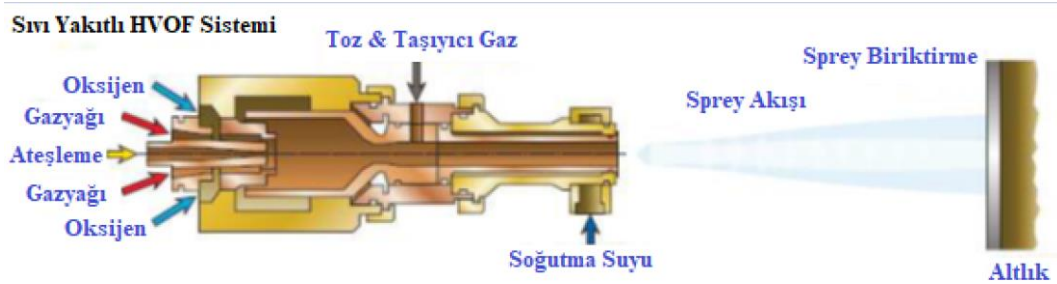
Yakıt sistemleri farklı olan HVOF tabanca sistemleri Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'te verilmiştir.

- Kaplanacak parçanın geometrisi
- Uygulanacak kaplama malzemesi
- Kaplama kalınlığı
- Arzu edilen yüzey kalitesi (pürüzlülüğü), iç gerilmeleri
- Kaplama yapılacak parça sayısı [22].

Gaz Yakıtlı HVOF Sistemi



Şekil 3.2. Gaz yakıtlı HVOF şematik gösterimi [22]



Şekil 3.3. Sıvı yakıtlı HVOF şematik gösterimi [22]

3.1. HVOF Püskürtme Yönteminin Avantajları, Dezavantajları

Son zamanlarda metal püskürtme teknolojileri arasında gelişen HVOF metodu ile kalın kaplamaların ekonomik olması ve parça boyutunda limit olmaması bu yöntemin sağladığı önemli avantajlardandır. Bu metodla yapılan uygulamalarda Fe, Cr, Mo, W, C, Co/Ni, Cr, ve Mo kaplamaları yapılmaktadır. Bu malzemelerle kaplanan yüzeylerin korozyona karşı dirençli ve yüksek yapışma özelliklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. HVOF yönteminin sağladığı yüksek kaplama hızları ve maliyet avantajları metodun geniş uygulama alanlarında değerlendirilmesini sağlar. Bu metodla parça ömrünü uzatan kalın kaplamalar üretilebilmektedir [37]. HVOF yüzey kaplamalarının kullanıldığı sektörler ve uygulama alanları ile ilgili geniş bilgi Tablo 3.3.'te verilmektedir. HVOF yöntemi uygulamalarının endüstrideki kullanımları Şekil 3.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. HVOF yönteminin endüstrideki uygulama bölgeleri [50].

Tablo 3.3. Yaygın HVOF yüzey uygulamaları [50].

Sektör	Uygulama Alanları
Havacılık	Türbin motor fan kanadı orta açıklıkları, kompresör kanatları, stator ve rotor disk geçme çapları, iniş takımları, aktüatörler, kanat parçaları,
Güç Üretimi	Endüstriyel gaz türbinleri, hidroelektrik Pelton kovaları, nozullar ve kanatlar, egzoz fanları
Otomotiv	Şanzıman vites çataları
Ağır Ekipmanlar	Hidrolik çubuklar, pistonlar, gemi direksiyonları
Yazıcı ve Kağıt	Baskı rulosu kapakları, mürekkep ruloları, takvim ve baskı rulosu kapakları
Petrokimyasallar	Pompa bileşenleri, sürgülü vanalar, küresel vanalar, vana yatakları, egzoz yığınları, enayi çubuklar, hidrolik çubuklar, konveyör vidaları
Cam Üretimi	Cam kalıp pistonları
Metal Prosesleri	Çelik fabrikası kılavuzları ve ruloları, tel çekme kapaklar, şekillendirme kalıpları, sac kesiciler
Tekstil	İplik kılavuzları, sıkma silindirleri
Genel Endüstri	Pompa gövdeleri, çarklar ve şaftlar, subap iticileri, aşınma halkaları, makine yatakları, pres bağlantı parçaları,

HVOF prosesinin sağladığı yararları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kaplamalardaki gözeneklilik % 2'den azdır. Bazı kaplamalarda gözeneklilik % 0.5'e kadar düşebilmektedir.
- HVOF işlemi ile kaplanan malzemeler, diğer yöntemlerle üretilen kaplamalara göre daha yüksek bağ mukavemetine ve yüksek yoğunluğa sahiptir.
- HVOF yöntemi yüksek hızlarla ve düşük sıcaklıklarda mükemmel darbe dayanımına sahip, aşınmaya karşı dirençli kaplamalar üretebilir.

- Diğer yöntemlere kıyasla aynı kaplama malzemesi kullanılarak daha fazla birikme verimliliği sağlanabilir. Özel uygulamalarda değişik kaplama kimyasalı ile kullanılabilir. Yüksek kalitede kaplamaların elde edilmesi için geniş bir çalışma alanı vardır.

- Yorulma ömrünü arttırır, darbe duyarlılığını azaltır.

- Ek işlem gerektirmeden düzgün yüzeyler elde edilebilir.

- HVOF kaplamaları yüksek dayanımları sayesinde aşınma, korozyon, oksidasyon ve sıvı aşındırıcılara karşı iyi direnç göstermektedir.

HVOF metodu, tüm bu yararları ile birlikte, mevcut termal sprey metodları arasındaki en kullanışlısı, en basiti ve en az bakım frekansı gerektiren methodur. Kaplama teknolojisine gelebilecek yeniliklere çok az değişken parametre ile adapte olması bu yöntemin avantajlarındanır.

HVOF prosesinin diğer yöntemlere göre dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir.

1. HVOF metodunda ortaya çıkan ısı çok yüksek olduğu için ana malzemesinin fazla ısınma olasılığı mevcuttur. Ana malzemenin ideal sıcaklığa kadar soğutulmasına özen gösterilmelidir. Sprey esnasında sıvı CO₂ ya da hava kullanılarak soğutma yapılır.
2. Yüksek gözenekliliğe sahip kaplamaların elde edilebilmesi için yardımcı malzeme ilavesi gerekir. (Polyester gibi) Bu durum HVOF ile Termal Bariyer Kaplamaların üretimini zorlaştırır [39, 40].

BÖLÜM 4. AŞINMA

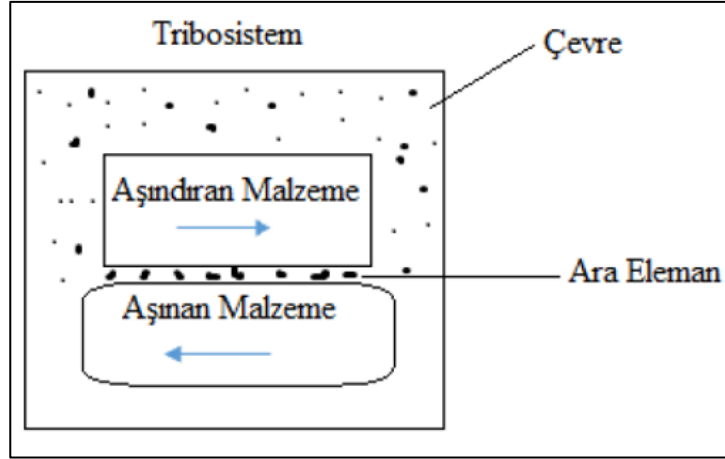
Teknik anlamda aşınma: "Katı cisimlerin yüzeylerinden tribolojik faktörler sebebiyle küçük parçacık kaybı" olarak tarif edilebilir. Temas durumundaki katı yüzeylerde kimyasal çözünmeler, bölgesel erimeler ve yüzeyden fiziksel olarak kopmalarla üç şekilde gerçekleşebilir. Bir aşınma prosesinde aşınan, aşındırıcı, ara malzeme, hareket ve yük aşınmanın ana öğelerini oluşturmaktadır. Bu sisteme "Tribolojik Sistem" denir. Aşınmada ilk olarak yüzeylerde bozulma gerçekleşir, yapılar arası boşluklar büyüyerek parçalar gereken işlemleri yerine getiremez [41, 42].

Aşınma önceden tahmin edilebilen, aşınma etkileri çeşitli uygulamalarla azaltılabilen ancak tamamen engellenemeyen bir hasar türüdür. Birbiri ile temasta olan yüzeyler oksit filmleri ya da yağlayıcı gibi koruyucular ile korunabilmektedir. Bu temas neticesinde meydana gelen sürtünme malzemenin ömrünü ve performansını doğrudan etkilemektedir. Aşınma konusunda günümüzde yapılan çalışmalar, sürtünme ve aşınmayı azaltarak veya kontrol altında tutmak üzerine odaklanılmıştır.

Aşınma sisteminde bulunan ve aşınma olayına neden olan genel unsurlar Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

- 1- Aşınan malzeme: Ana malzeme
- 2- Aşındıran malzeme: Karşı malzeme
- 3- Ara malzeme
- 4- Çevresel durum: Yük, Basınç

Aşındıran malzeme katı, sıvı, gaz ya da bu üç halin karışımı olabilir [43].



Şekil 4.1. Tribolojik aşınma sisteminin şematik gösterimi [43].

4.1. Aşınma Yöntemlerinin Sınıflandırılması

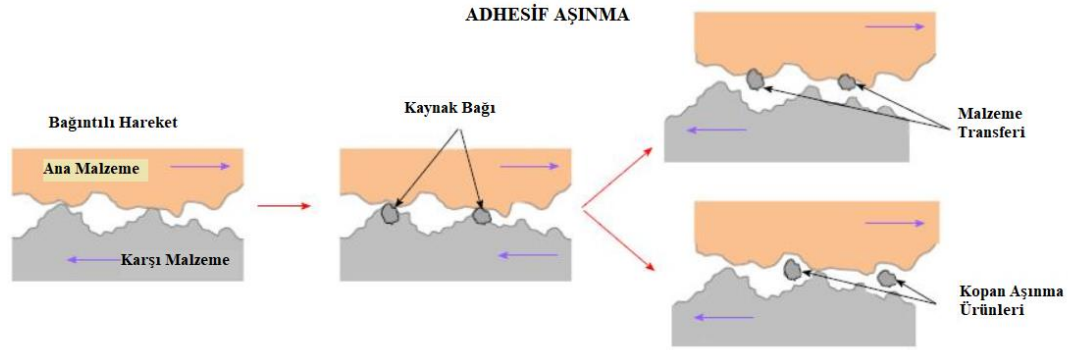
Aşınma mekanizmaları dört ana başlık altında incelenmektedir [44, 45].

- 1- Adhesif aşınma,
- 2- Abrasif aşınma
- 3- Yorulma aşınması
- 4- Erozyon aşınması

4.1.1. Adhesif aşınma

Birbirine göre kayan, karşılıklı temas ile yüke maruz kalarak iki yüzeyin birinden diğerine malzeme taşınması olayına adhesif aşınma denir [44]. Uygulanan yük etkisiyle yağ tabakasının bir bölümü kopar ve daha küçük temas alanları oluşur. Adhesif aşınmasının oluşum mantığı Şekil 4.2.'de verilmektedir. Bu bölgedeki sürtünme etkisiyle mikro kaynak biçiminde yapışmalar aşınmayı meydana getirir. Temas yüzeyleri için uygun olmayan yağ tabakası kullanılması halinde aşırı yüklenme ve sarf edilen yağ filminin özelliklerini kaybetmesi sonucu adhesif aşınmanın kazımalı, oksidasyon, sürünmeli ve parça kaldırmalı gibi çeşitleri görülebilir [46]. Temas eden yüzeylerdeki pürüzlülükler yüksek bölgesel basınç, plastik şekil değişikliği, adhezyon ve bölgesel birleşmelere neden olur.

Dişlilerde, kuru ve az yağlanmış kaymalı yataklarda, kesme takımlarında, pistonlarda, tel çekmede kalıplarda, kam mekanizmalarında adhesiv aşınma görülmektedir.

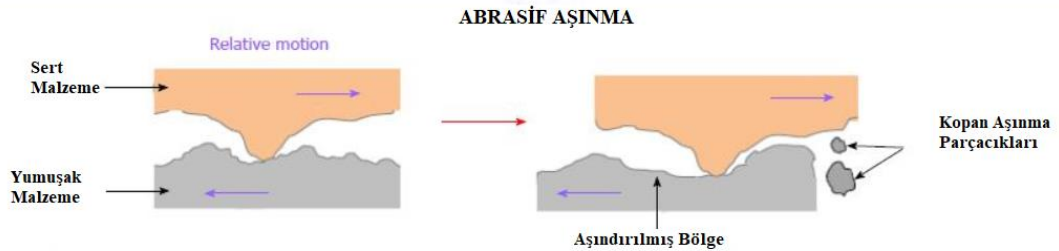


Şekil 4.2. Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [45].

4.1.2. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, pürüzlü yüzeylerin birbiri üzerinde düşük basınçlarında temas ettiği kayma hareketiyle veya sert partiküllerin yüzeyden malzeme kaldırması durumunda ortaya çıkar. Sertlikleri aynı ya da daha sert malzemenin parçacıklarının yük altında çalışıyorsa abrasif aşınma oluşur [46]. Toprak eşmeye çalışan kepçe örneği abrasif aşınmaya örnek olarak gösterilebilir. Abrasif aşınmasının oluşum mantığı Şekil 4.3.'te verilmektedir [45].

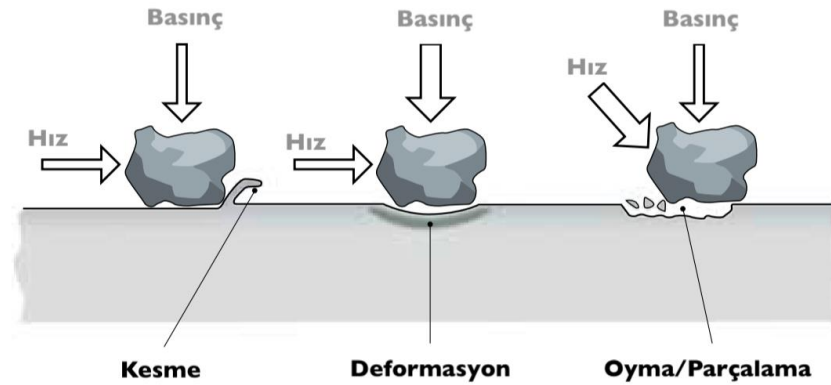
Abrasif aşınma örnekleri olarak; kırıcılar, toz metalurji kalıpları, hidrolik sistemler, kayma olukları ve tırtıklı yüzeylerle eş çalışan yüzeyler abrasif aşınmaya maruz kalırlar. Bu aşınma mekanizmaları; oyucu, yüksek gerilmeli öğütücü, düşük gerilmeli çizici ve parlatma aşınması olarak dört farklı şekilde meydana gelir [44].



Şekil 4.3. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [45].

4.1.3. Eroziyon aşınma

Eroziyon aşınma, bir parça yüzeyine katı ya da sıvı aşındırıcı parçacıkların numune yüzeyine çarparak malzeme kaldırmasına denir. Eroziyon aşınma için toz bulutu içinden geçen uçağın gaz türbin pervanelerinde hasar ve mineral çıkarma sistemlerinde aşınma meydana gelmesi örnek olarak verilebilir. Eroziyon aşınma mekanik direnç konusunda aşınmayı engelleyemez ancak malzeme karakteristiği çalışılarak aşınma etkisi azaltılabilir. Bilinen eroziyon aşınma mekanizmaları Şekil 4.4.'te gösterilmiştir [47].



Şekil 4.4. Eroziyon Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi [47].

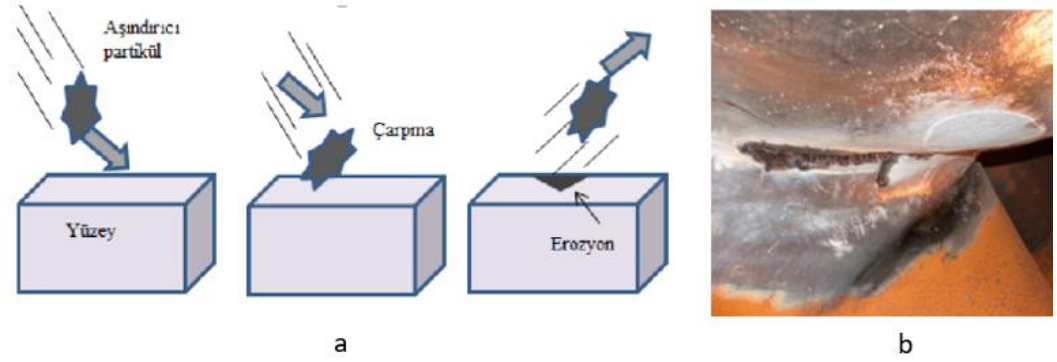
Eroziyon aşınmanın düşük çarpma açılarında maksimum olduğu hallerde sünek eroziyon aşınma yapısı geçerlidir ve abrasif aşınmaya benzer. Aksi takdirde ise, maksimum aşınma yüksek çarpma açılarında görülüyorsa, kırılmalı eroziyon aşınma yapısı geçerlidir ve tipik erozyon sistemine neden olur.

Düşük çarpma hızı malzemede plastik bozulmaya neden olacak gerilme değerleri meydana getiremez ve yüzey yorulması oluşur. Eğer aşındırıcı parçacıklar yuvarlaksa plastik deformasyon neticesi ortaya çıkar. Çarpma hızlarının yüksek olduğu durumlarda aşınma yüzeyinde ergime ortaya çıkar. Çatlak ilerlemesi ise gevrek malzemelerde görülmektedir [44].

Erozyon aşınmasının bazı ortaya çıkış şekilleri aşağıdaki gibidir.

- a- Partiküllerin, yüksek hızlarla katı yüzeye çarpması (Şekil 4.5.).

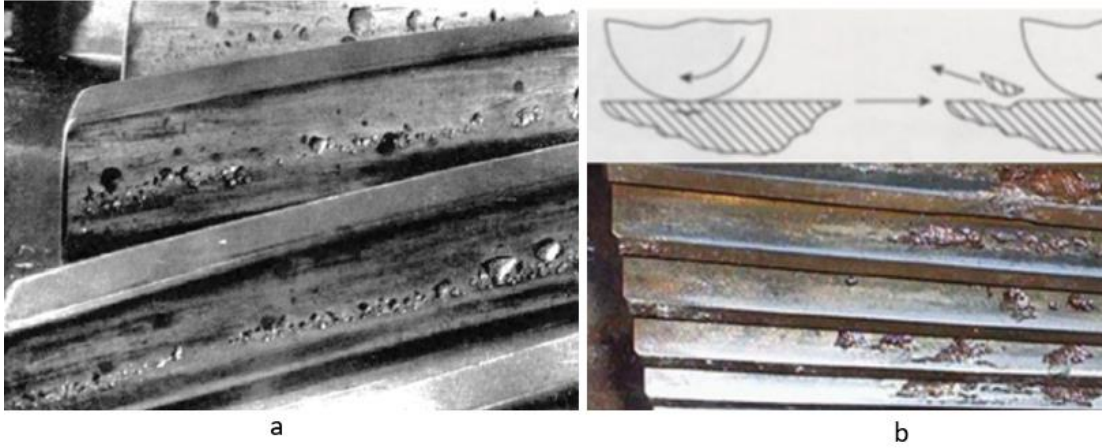
- b- Hareket halindeki sıvı damlacıklarının, yüksek hızlarla yüzeye çarpması ile şok etkisiyle tahribat ortaya çıkması
- c- Yüksek hızlı hareket halindeki katının, kendinden yavaş damlacıklarına sürekli çarpması
- d- Gaz kabarcıklarının yüksek basınçla parça yüzeyine çarpması [43].



Şekil 4.5. Eroziv Aşınma mekanizmasının şematize edilmesi (a) ve aşınma örneği (b) [43].

4.1.4. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması pitting aşınması olarak da bilindir. Sürekli ve değişken kuvvetler sebebiyle çatlak oluşumu ve malzeme dökülmesiyle ortaya çıkan yüzey yorulmasının sebebiyet verdiği aşınmaya yorulma aşınması denir. Yüksek basınçta birbiri ile devamlı temas halinde çalışan pistonlar, silindirler, rulman yatakları, dişli çarklar ve kam mekanizmaları gibi hareket aktarma mekanizmalarda yaygın olarak görülmektedir. Bu mekanizmalarda temas yüzeyleri az olduğu için yüzeylerde Hertz basınçları ortaya çıkar. Bu basınç etkisi ile yüzey altında kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Temas durumundaki yüzeylerde sürtünme kaynaklı güç kaybı oluşur ve aşınma ile malzemenin çalışma koşullarının bozulmasına ve verimliliğin azalmasına sebep olur. Kayma gerilmelerinin en yüksek olduğu nokta plastik deformasyonun olduğu noktayı gösterir ve bu deformasyon belli bir zaman sonra yüzey altındaki çatlaklar gelişerek malzeme kaybı ortaya çıkarır. Bu malzeme kaybı oyuklanma, yüzey ayrılması, darbe yüklemesi, karıncalanma ve brinelling olarak görülür [43]. Görsel 4.6. (a) ve (b)'de, su verilmiş ve temperlenmiş bir dişli çarktaki karıncalanma aşınması gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yorulma aşınma mekanizmasına ait aşınma örnekleri (a,b) [43]

Aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme cinsi, yük miktarı, aşınma hızı, sürtünme esnasında oluşan yüzey film özellikleri ve sıcaklık gibi etkenler aşınmayı etkilemektedir. Parçanın yorulması, elastik ve plastik şekil değişimi, yumuşama, çekirdeklenme ve çatlak ilerleme sistemlerini içerir. Aşınmalar her ne kadar istenmeyen durumlar olarak bilinseler bile; kalem ile yazı yazma, tornalama, cilalama ve talaşlama gibi bazı aşınma örnekleri yararlı aşınma türleri olarak belirtilebilir [44, 45].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AISI 304L paslanmaz çelik üzerine yapılan HVOF kaplamanın yüzey özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sulzer Metco Diamalloy 2002 ve 4700 tozları farklı oranlarda alınmıştır ve bu farklı toz bileşenlerinin yüzey özelliklerine nasıl etki ettiğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için ilk numune olarak % 100 Diamalloy 2002 tozu, ikinci numune olarak ise % 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 Tozu karışımları kullanılarak paslanmaz çelik üzerine HVOF yöntemi ile kaplama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada nozul mesafesi 20 cm ve paso sayısı 5'te sabit tutulmuştur. HVOF uygulaması yapılan numune yüzeylerine aşınma testi, yüzey pürüzlülük testleri yapılmıştır. Aşınma kalınlıkları optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Kaplamanın yüzeylere etkilerinin yorumlanabilmesi için SEM analizi ve kimyasal yapının incelenmesi amacıyla XRD analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.1. AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Genel Özellikleri

Östenitik paslanmaz çelikler grubundaki AISI 304 çeliği paslanmaz çelik çeşitlerinden en yaygın olarak kullanılanıdır. Östenitik paslanmaz çelikler Cr (%16-25) ve Ni (%7-20) içeren Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. Bu alaşımlar östenitik (YMK, γ demir tipi) yapıda olduğundan östenitik olarak adlandırılırlar. Düşük karbon içeren AISI 304 çeliği, sahip olduğu mekanik özellikler, kaynak olabilme kabiliyeti, kimyasal bileşimi ve korozyon direnci gibi özelliklerinin iyi ve fiyat performans açısından verimli olmasından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. 304 paslanmaz çelik sahip olduğu kaliteden dolayı, ev aletleri, otomotiv, kimya, gıda sanayi, petrokimya, medikal aletler vb. alanlarda kullanılmaktadır. 304 çeliklerine hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda uygulama yapılabilinmektedir.

AISI 304 paslanmaz çeliğine ait mekanik değerleri tablosu Tablo 5.1.'de gösterilmiştir [45, 48].

Tablo 5.1. AISI 304 mekanik özellikleri [45, 48].

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Kuvveti	500 – 700 Mpa
Akma Mukavemeti	≥ 170 Mpa
Sertlik Brinell (HB)	≤ 215
Kopma Mukavemeti	485 Mpa
Rockwell Sertlik	92
% Uzama	40

Ayrıca AISI 304 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir [49].

Tablo 5.2. AISI 304 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları [49]

Çelik Türü		% Ağırlık (wt%)							
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N
AISI 304	Standart	0,08	2,0	0,045	0,03	0,75	18 -	8 -	0,1
Paslanmaz	Bileşim	max	max	max	max	max	20	10,5	max
Çelik	Analiz Sonuçları	0,03	2	0,045	0,03	0,75	20	12	0,1

5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Tozlar

Deneyde ticari olarak Sulzer Metco firmasına ait Diamalloy 2002 ve 4700 tozları kullanılmıştır. Diamalloy 2002 tozunun kimyasal kompozisyonu 50(Ni 18Cr 7Fe 4Si 4B 1C) 50(WC 12Co) olarak verilmiştir. Diamalloy 2002 tozu yüksek aşınma ve korozyon direncine sahiptir. Sulzer Metco Diamalloy 2002 tozu ince tane boyutlarına sahip ve düzgün kaplama yüzeyleri için kullanılmaktadır [50]. Bu toza ait kimyasal bileşimler ve matriksleri Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Sulzer Metco Diamalloy 2002 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri [50].

Ürün	Sert Faz					Matriks					
	Faz	Nominal Kompozisyon (%)				Faz	Nominal Kompozisyon (%)				
	%	WC	Co	Fe	Ni	%	Ni	Cr	Fe	B	Si
Diamalloy 2002	50	88	12	---	---	50	66	18	7	4	4
Kimyasal Yapısı					Tane Boyutu		Toz Özellikleri / Yöntem				
50(Ni 18Cr 7Fe 4Si 4B 1C) 50(WC 12Co)					-45 +11 µm		İnce – Aglomere olmuş / HVOF				

Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 4700 tozunun kimyasal kompozisyonu Co 32Ni 21Cr 8Al 0.5Y olarak verilmiştir. HVOF kaplamalarında yüksek biriktirme verimliliği sağlar. İnce tane yapısına sahip olan Diamalloy 4700 tozunun iyi korozyon direnci, oksidasyon/sülfüstasyon direnci ve yüksek sıcaklıkta kullanılabilme (850°C’de) özellikleri bulunmaktadır [51]. Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 4700 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri Tablo 5.4.’te gösterilmektedir.

Tablo 5.4. Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 4700 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri [51].

Ürün	Faz	Nominal Kompozisyon (%)					
		Co	Ni	Cr	Al	Si	Y
Diamalloy 4700	Bal.	29.0 – 35.0	18.0 – 24.0	5.0 – 11.0	---	0.1 – 0.8	1
Kimyasal Bileşimi		Parça Boyutu			Ürün		
Co 32Ni 21Cr 8Al 0.5Y		-45 +15 µm			Diamalloy 4700		

5.3. HVOF Uygulama Süreci

Deneysel çalışmada altlık malzemesi olarak 100 x 100 x 4 mm ebatlarında 304L östenitik paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Çelik üzerine verimli ve efektif bir kaplama yapabilmek için öncelikle AISI 304 çelik yüzeyi kumlama işlemine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmada kaplama tozları olarak Sulzer Metco firmasına ait %99 saflıkta Diamalloy 2002 ve 4700 tozları kullanılmıştır. Tozların tane boyutları $-45 +11 \mu\text{m}$ arasındadır. Sulzer Metco 2002 ve 4700 tozları $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik fırında kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından kaplama yapılacak tozlar Tablo 5.6.'da belirtilen oranlarda alındıktan sonra mekanik olarak karıştırılmıştır. 304 paslanmaz çelik üzerine robot tarafından 300 mm/s hızla püskürtme ile HVOF ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma esnasında yakıt olarak H_2 gazı kullanılmıştır. HVOF kaplama sisteminde mevcut olan püskürtme tabancası Diamond Jest 2600 kullanılmıştır. Kaplama işlemi esnasında kullanılan parametreler Tablo 5.5.'te gösterilmiştir. Her bir püskürtme işlemi yaklaşık 3 dakikada sürmüştür. Kaplama işleminde numune üzerine kaplama 5 paso atılarak uygulanmıştır.

Tablo 5.5. HVOF kaplama işlem parametreleri

Deneysel Parametreleri	
Shrouded	400 mm
O_2	150
H_2	300
Taşıyıcı Gaz	10 (Argon)
Disk	%15
Hız (mm/sn)	300 mm/s
Püskürtme Tabanca Mesafesi	20 mm
Paso	5

Tablo 5.6. HVOF kaplamada kullanılan tozların yüzdece oranları

Tozlar	TOZ KARIŞIMI-1 (C)	TOZ KARIŞIMI -2 (D)
Kimyasal Kompozisyon	% 100 Sulzer Metco Diamalloy 2002 Tozu (50(Ni 18Cr 7Fe 4Si 4B 1C) 50(WC 12Co))	% 75 Sulzer Metco Diamalloy 2002 Tozu (50(Ni 18Cr 7Fe 4Si 4B 1C) 50(WC 12Co)) % 25 Sulzer Metco Diamalloy 4700 Tozu (Co32Ni 21Cr 8Al 0.5Y)
Tane boyut	$-45 +11 \mu\text{m}$	$-45 +11 \mu\text{m}$

Kaplama sonrası numuneler (C) ve (D) grupları olacak şekilde numaralandırılmıştır. Toz karışımlarına ait sınıflandırma Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.1. HVOF deney düzeneği görseli

Şekil 5.1.'de verilen HVOF püskürtme deney sisteminde Diamond Jest 2600 püskürtme tabancası, kaplanan parça ve genişleme nozulu görünmektedir.

5.4. Metalografik Çalışmalar

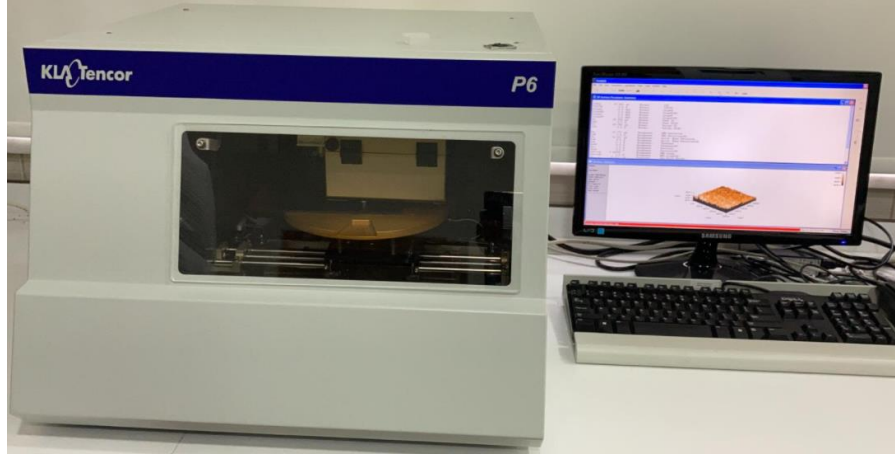
HVOF metodu ile üretilen numuneler C ve D numuneleri Struers Labotom kesme cihazı ile 12 eş parçaya bölünmüştür. Numunelerin kaplama kesit görüntülerinin alınabilmesi için numuneler bakalite alınarak metalografik işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 4000 mesh'lik SiC aşındırıcılar yardımıyla zımparalama yapılarak metalografik işlem gerçekleştirilmiştir. Numunelerin parlatması elmas ile gerçekleştirilmiş ve ardından dağlama işlemine tabii tutulmuştur.

5.5. Optik Çalışmalar

Metalografi işleminden sonra dağlama yapılan numuneler ZEISS marka optik mikroskop ile kaplama kesit görüntülerinin optik görüntüleri çekilmiştir ve kaplama kalınlıkları ölçülmüştür.

5.6. Yüzey Pürüzlülük

Numunelerin 2 boyutlu ve 3 boyutlu pürüzlülük ölçümleri KLA Tencor firmasının P6 marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük cihazına ait görsel Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Pürüzlülük ölçüm cihazı

5.7. Sertlik Ölçümleri

HVOF yöntemi ile elde edilen kaplama yüzey sertlikleri LEICA VHMT MOT marka mikrosertlik cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri 50 g yükün 15 sn uygulanması ile alınmıştır. Numunelerin kaplama tabakasının farklı bölgelerinden alınan üç ölçüm değerinin ortalaması alınarak sertlik değerleri elde edilmiştir. Sertlik ölçüm cihazının görseli Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Mikrosertlik cihazı (LEICA VHMT MOT)

5.8. X-Işınları Analizleri

HVOF yöntemi ile kaplanmış numunelerin kaplama tabakalarına XRD analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada $\lambda=1.54056$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılmıştır. Tarama açısı 2θ $0-90^\circ$ arasında ve $2^\circ/\text{dk}$ tarama hızına sahip RIGAKU XRD D/MAX/2200/PC marka XRD difraktometresi kullanılmıştır.

5.9. SEM-EDS Analizleri

Kaplama yapılan numunelerin kesitlerine ve numunelerin aşınma yüzeylerine JEOL JSM-6060 LV cihaz ile SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Numune yüzeylerine gönderilen elektron demetleri numunedeki atomlarla temasa geçerek yüzeyleri hakkında farklı pik değerleri malzemenin yüzeyindeki elementler ve bileşikleri gösterir.

5.10. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyleri CSM marka aşınma cihazı ile ASTM G133 standartına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihaz görüntüsü Şekil 5.3.'te verilmektedir. Aşınma deney ortam sıcaklığının 25°C , nemin ise %25 olduğu ölçülmüştür. Kaplama yapılmış yüzeyleri lineer aşınma deneyi uygulanmıştır. Aşındırıcı bilye olarak alümina

kullanılmıştır. Deneysel çalışmada uygulanan yük 3 N ve 5N olarak alınmıştır. Aşınma deneyleri 0,1 m/s , 0,2 m/s ve 0,4 m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada mesafe olarak yol 200 m ve 400 m olarak seçilmiştir. Aşınma iz genişlikleri optik mikroskop yardımıyla ölçülerek aşınma cihazının programına değerler girilerek aşınma miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca sürtünme katsayısı ve aşınma derinlikleri grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.4. CSM aşınma test cihazı

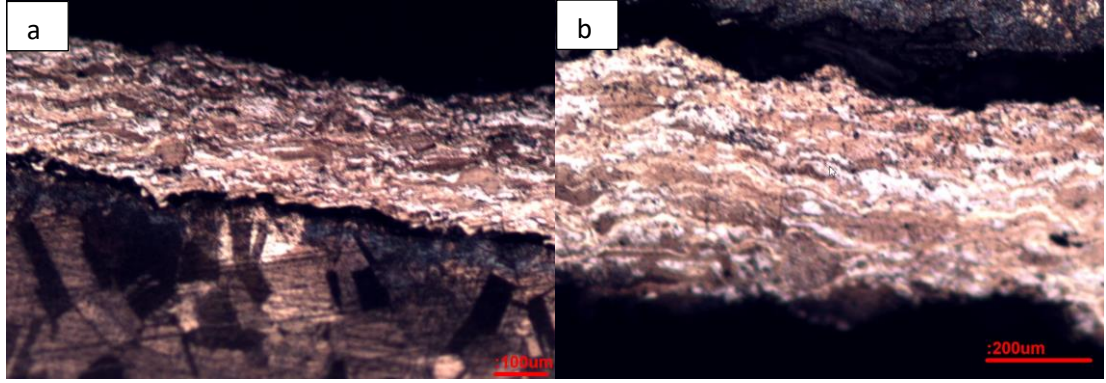
BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde %100 Diamalloy 2002 ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımlarının HVOF ile kaplama sonrası deneysel çalışmalar yapılmış ve bulguları değerlendirilmiştir.

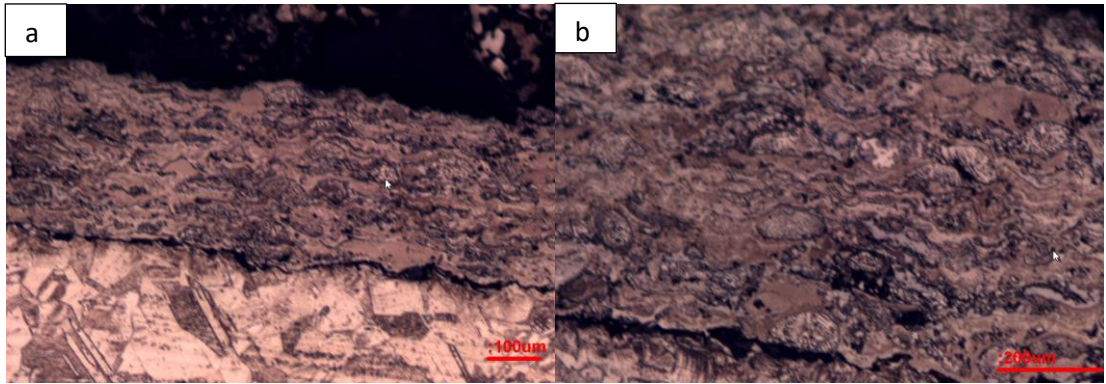
6.1. Optik Mikroskop Sonuçları

Metalografi işlemleri yapılan numuneler optik mikroskop yardımıyla kaplama kalınlıkları ve kaplama görüntüleri incelenmiştir. Optik görüntülerden elde edilen kaplama kalınlık farklarının değerlendirildiğinde; tozların birleşim oran farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. %100 Diamalloy 2002 tozunun (C numunesi) kaplama kalınlığı 256 µm iken, %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz bileşiminin (D numunesi) kaplama kalınlığı 350 µm olarak görülmüştür.

%100 Diamalloy 2002 tozunda porozitenin daha az olduğu görülmektedir. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımının püskürtme esnasında 304 paslanmaz çelik altlık yüzeyinde daha fazla birikme yapmasına rağmen daha fazla porozite meydana geldiği görülmüştür. Kaplama tabakasında az da olsa yer yer ergimeme problemleri görülmektedir. Optik görüntüler Şekil 6.1. (a,b) ve Şekil 6.2. (a,b)'de verilmektedir.



Şekil 6.1. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) (a) 10x büyütmedeki optik görüntüleri, (b) 20x büyütmedeki optik görüntüleri

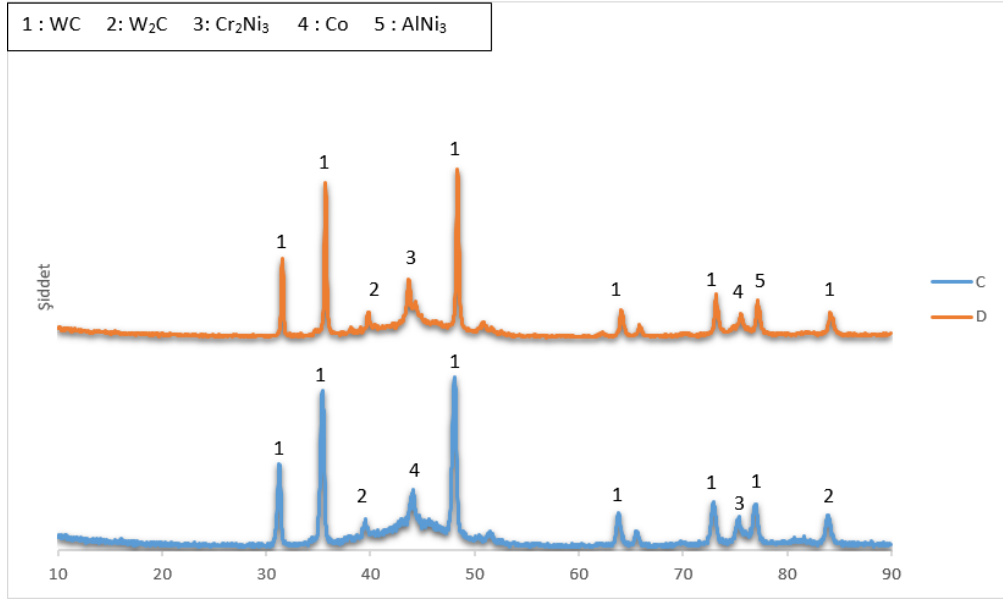


Şekil 6.2. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) (a)10x büyütmedeki optik görüntüleri, (b) 20x büyütmedeki optik görüntüleri

C ve D numuneleri kıyaslandığında C numunesinde kullanılan tek bir toz yerine, karışım tozun kaplama kalınlığını arttırmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

6.2. XRD Analiz Sonuçları

%100 Diamalloy 2002 tozu ve %75 Diamalloy 2002 ile %25 Diamalloy 4700 toz karışımını kullanılarak uygulanan HVOF kaplamaların x-ışını analizleri yapılmıştır. Farklı içeriklere sahip C ve D grubu numunelerinden kaplamalı yüzeylerinden alınan XRD analizleri Şekil 6.3.'te verilmiştir. Toz içeriklerine göre yeni faz oluşumları gözlemlenmiştir.

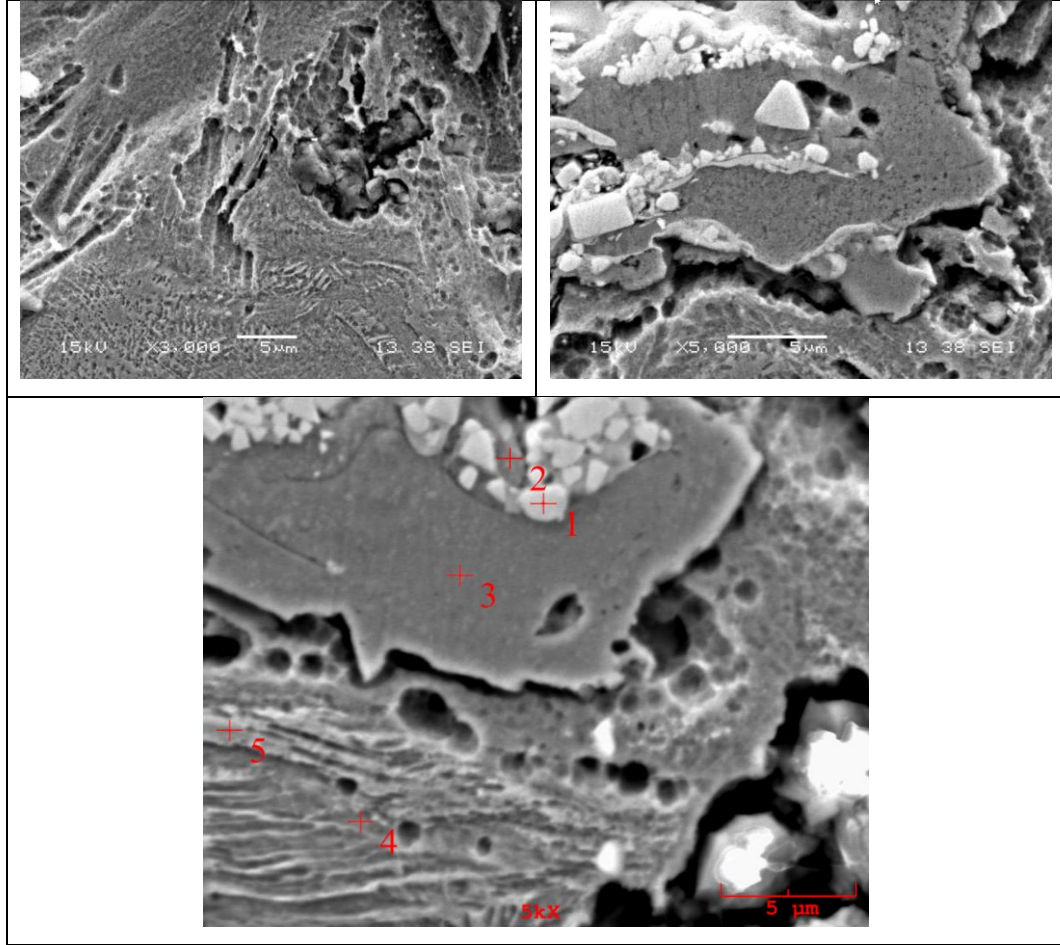


Şekil 6.3. %100 Diamalloy 2002 (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 ile %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) ile kaplanan numunelere ait XRD analiz sonuçları

Şekilde 6.3.'te %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 ile %25 Diamalloy 4700 toz karışımına (D numunesi) ait XRD analiz sonuçları yer almaktadır. XRD analizleri incelendiğinde C ve D numunelerinde WC, W₂C, Cr₂Ni₃ ve Co fazlarına rastlanılmıştır. D numunesinde ayrıyeten AlNi₃ fazı görülmektedir. Her iki numune için de 35 ve 48° 2θ açılarında WC pik şiddetinin yoğun olduğu görülmüştür. Sert faz olan WC ve W₂C fazları C numunesinde daha yüksektir. Cr₂Ni₃ oranı da C numunesinde daha yüksektir. Sert faz içeriklerinin oluşumu her iki numunede de mevcuttur ancak C numunesinde sert fazların pik oranları daha yüksektir. Bu pik oranlarının değişimi haliyle yüzey mekanik özelliklerini etkileyecektir.

6.3. Kaplama Kesit SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

C numunesinin kaplama kesit SEM görüntüleri Şekil 6.4.'te verilmektedir. Kaplama yapısı incelendiğinde yer yer ufak porozitelerin oluşumu görülmüştür. Abu-Warda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada porozite değerinin %2'nin altında olması durumunda göz ardı edilebileceğini belirtilmiştir ve yaptıkları çalışmada porozitenin varlığı tespit edilmiştir [52]. HVOF kaplamaların olağan yapısı gereği poroziteler olağan bir durumdur. Çok az da olsa çok çok az ergimemiş bir kaç tanecik görülmüştür.



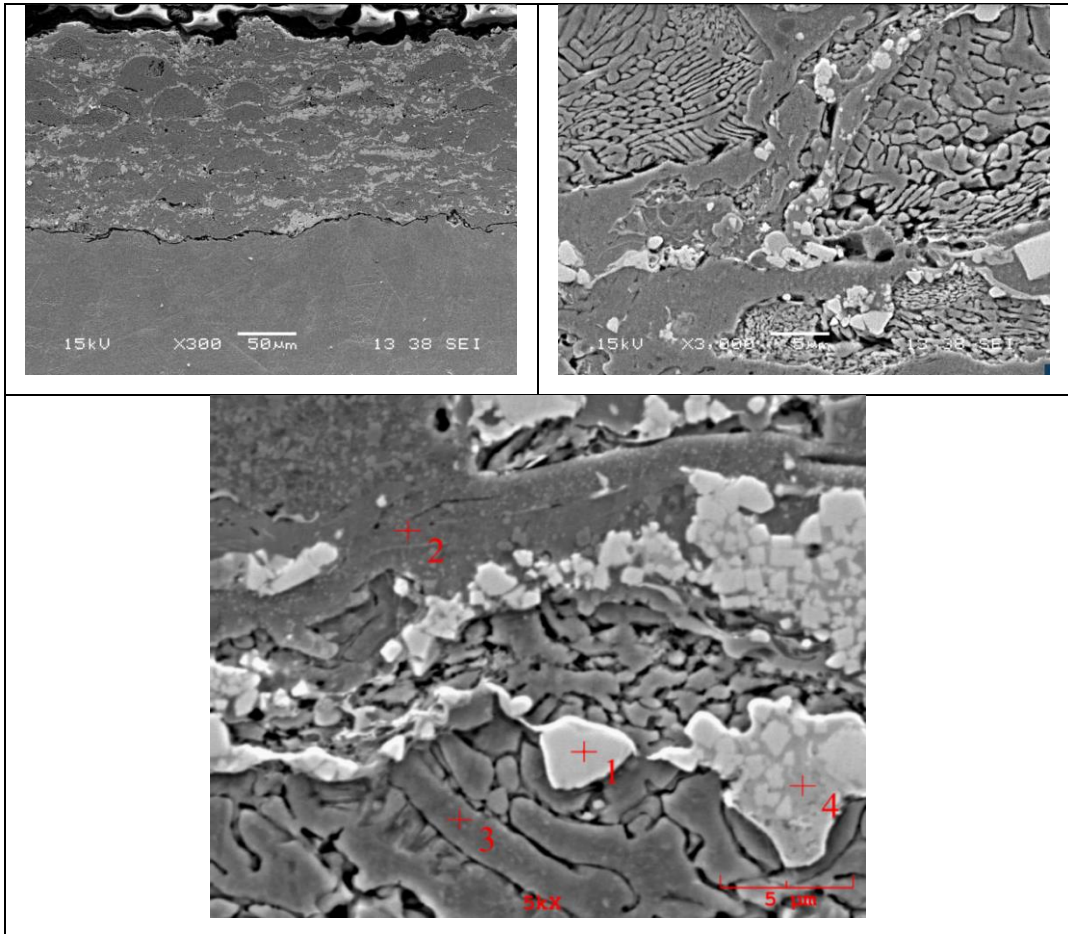
Şekil 6.4. %100 Diamalloy 2002 tozunun aşınma öncesi kaplama kesit görüntüsü

Tablo 6.1.'de %100 Diamalloy 2002 tozunun (C numunesi) kaplama kesit görüntüsü EDS analizi verilmiştir.

Element, % wt	1	2	3	4	5
C	1,602	0,000	0,303	0,023	0,022
Si	0,000	1,053	1,078	0,172	0,167
Cr	5,459	6,632	9,305	12,337	12,483
Fe	9,042	2,671	3,000	70,996	72,168
Co	6,676	0,119	0,033	0,343	0,647
Ni	77,222	89,526	86,281	16,129	14,513
W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

D numunesi bilindiği üzere karışım bir tozdur. Tozların boyutları ve yapılarının farklılığı sebebiyle homojen bir şekilde bazen ergimeme problemleri olabilmektedir. C numunesi (saf) ile kıyaslandığında yapı farklılığı açık ve nettir. Ergimeme ve porozite oranı daha yüksektir. D numunesinin kaplama kesit SEM görüntüleri Şekil 6.5.'te verilmektedir.

Hajare ve Gogte'nin çalışmalarında buna benzer sonuçları bulmuştur. Tanecik boyutları değişiklik gösterebilir, küçük olan tanecikler eriyebilirken, büyük ve nemli olan tanecikler yetersiz ergiyecektir. Bu durum ıslatmanın yeterli olmamasından dolayı yüzeyde oksit oluşmasıdır. Kaplama üzerinde gözenekli yapının artmasına neden olurken sertliği de azaltmaktadır. Karbür ebatlarındaki artışın da kaplama yapısındaki gözenek miktarını arttırdığı belirtilmiştir [53]. Tablo 6.2.'de %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) kaplama kesit EDS analizi verilmektedir.



Şekil 6.5. %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının aşınma öncesi kaplama kesit görüntüsü

Tablo 6.2. %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının kaplama kesit EDS analizi

Element, % wt	1	2	3	4
C	3,124	0,000	0,000	0,549
Al	0,978	0,046	1,739	0,158
Cr	3,496	12,040	10,914	1,271
Fe	2,885	1,419	0,244	1,468
Co	26,024	0,454	40,860	90,249
Ni	63,493	86,040	46,168	6,305
Y	0,000	0,000	0,074	0,000
W	0,000	0,000	0,000	0,000

6.4. Mikro Sertlik Sonuçları

HVOF yöntemi ile iki farklı toz karışımıyla yapılan numunelerden elde edilen sertlik sonuçları değerlendirildiğinde numune yüzeylerinde meydana gelen yeni sert fazlardan dolayı sertlik artışları görülmüştür. Kullanılan paslanmaz çelik altlık malzemesinin sertliği yaklaşık 200 HV gelirken kaplama sonrası yüzeyde ciddi sertlik artışları gözlemlenmiştir.

Tablo 6.3.'te %100 Diamalloy 2002 tozunun ortalama sertlik değeri 1500 HV iken, %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı ile elde edilen kaplamanın ortalama sertlik değeri yaklaşık 1000 HV olduğu görülmüştür.

Tablo 6.3. %100 Diamalloy 2002 tozu ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımlarının ortalama sertlik değerleri kıyaslaması

Numune	% 100 Diamalloy 2002 Tozu (C numunesi)	% 75 Diamalloy 2002 Tozu ve % 25 Diamalloy 4700 toz (D numunesi)
Sertlik		
Ortalama Sertlik (HV)	1500 HV	1000 HV

Sreenivas ve arkadaşları 304 paslanmaz çelik üzerine yaptığı kaplamada porozitenin az olmasının sertlik ve aşınmayı geliştireceğini belirtmişlerdir [54].

Bu duruma paralel olarak Tablo 6.3'teki sertlik değerleri kıyaslandığında karışım tozlarının saf tozlara göre porozite oranları daha yüksektir. Bu sebeple sertlik değerleri porozite oranlarına bağlı olarak daha düşük olmaktadır. (C ve D numunelerinde olduğu gibi) Ayrıca toz içeriklerinden kaynaklanan fazların sertliğe de etkisi olduğu düşünülmektedir. C numunesi tamamen sert WC içeriğinden dolayı yapısına yumuşak fazların girmemesi nedeniyle sertlik değeri yüksek kalmıştır.

6.5. Aşınma Deney Sonuçları

Aşınma deneylerinde mesafe olarak 200 m ve 400 m yol ve 0,1 m/s , 0,2 m/s ve 0,4 m/s hızlarda, yük ise 3N ve 5N'da alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma esnasında kullanılan parametreler Tablo 6.4.'te verilmiştir. Aşınma deneyi sonrası numunelerdeki aşınma iz genişlikleri optik mikroskop ile 5x büyütmede ölçülmüştür. Elde edilen veriler ile aşınma hız dayanımları hesaplanmıştır. Aşınma sonrası sürtünme katsayı verileri aşınma cihazındaki yazılımdan alınmıştır.

Tablo 6.4. Aşınma sürecinde kullanılan parametreler

Kullanılan Tozlar	Yük (N)	Hız (m/s)	Yol (m)
C numunesi	3 N	0,1	200
D numunesi	5 N	0,2	400
		0,4	

Toz grubu C ve Toz grubu D'den elde edilen kaplama yüzeylerinde oluşan iz genişliklerinin incelenmesi amacıyla her iki gruba ait numuneye 12 farklı aşınma deneyi yapılmıştır. HVOF ile kaplanmış numunelerin yol, hız ve yük değişkenlerinin aşınmaya etkisinin gözlenebilmesi için deneysel düzenek tasarlanmıştır. Aşınma deneyine ait sonuçlar Tablo 6.5., Tablo 6.6., Tablo 6.7., Tablo 6.8.'de verilmiştir. En yüksek iz genişliği (781 μm) D numunesinde 3N yük altında 0,4 m/s hızda ve 200 metrede ulaşılmıştır. C numunesinde bulunan en yüksek iz genişliği (590 μm) ise 3N yük altında 0,4 m/sn hızda ve 200 metrede bulunmuştur.

% 100 Diamalloy 2002 tozunun aşınma sonuçları incelendiğinde en yüksek aşınma oranı 200 metre mesafede 3N yük altında ve 0,4 m/sn hızda görülmüştür. En düşük aşınma oranı ise 5N yük altında 0,1 m/sn hızda gerçekleşmiştir. Aynı mesafede yük arttırıldığında ise iz genişliklerinin düştüğü görülmüştür. Dolayısıyla aşınma miktarı da azalmıştır. Bu oluşuma sebep olarak aşınma esnasında yüzeyden kopan oksitli partiküllerin yüzeye sıvanarak yeni bir tabaka meydana getirerek aşınma dayanımının artmasına sebebiyet vermiş olabileceği düşünülmektedir. 200 mesafe için % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) aşınma test sonuçları Tablo 6.5.'te detaylı olarak gösterilmiştir.

Sreenivas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer olarak kaplama sonrası yüzeylerin aşınma dayanımları kaplamasız yapıya göre kıyasla aşınma dayanımında artış olduğu görülmüştür [54].

Tablo 6.5. 200 metre mesafede % 100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği (µm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı (mm ³ /m)	Aşınma Hacmi (mm ³)
3N - 01 - 200	498	0,462	1,01E-06	2,01E-04
3N - 02 - 200	502	0,465	1,04E-06	2,08E-04
3N - 04 - 200	590	0,666	1,99E-06	3,97E-04
5N - 01 - 200	504	0,471	1,05E-06	9,92E-05
5N - 02 - 200	512	0,504	1,07E-07	1,19E-04
5N - 04 - 200	598	0,688	2,08E-06	2,37E-04

400 m mesafe için % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) aşınma test sonuçları Tablo 6.6.'da verilmektedir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde en düşük aşınma miktarını 5N yük, 0,1 m/sn hızda görülmüştür. En yüksek ise 5N yük, 0,4 m/sn hızda 400 m mesafede görülmüştür. Burada yük artışı ile çok az da olsa iz genişliklerinde daralma görülmüştür. Bu oluşumun sebebi yüzeyden kopan aşınma ürünlerinin yüzeye sıvanması ile kaplama tabakası üzerinde yeni bir tabaka oluşturarak aşınmayı yavaşlatıcı etkisi olan bir oluşumun meydana geldiği düşünülmektedir.

Tablo 6.6. 400 metre mesafede % 100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği (μm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı(mm^3/m)	Aşınma Hacmi (mm^3)
3N - 01 - 400	514	0,450	5,72E-07	2,29E-04
3N - 02 - 400	533	0,463	1,32E-06	5,29E-04
3N - 04 - 400	548	0,626	1,48E-06	5,91E-04
5N - 01 - 400	496	0,448	2,95E-07	1,18E-04
5N - 02 - 400	502	0,489	3,12E-07	1,25E-04
5N - 04 - 400	549	0,624	7,45E-07	2,98E-04

% 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 toz karışımı numunesinde (D numunesi) 200 metre mesafede 0,1 , 0,2 , 0,4 m/sn hızlarında yapılan aşınma testlerinde en düşük iz genişliklerine 3 N yük 0,1m/sn hız altında rastlanılmıştır. Yükün artması ile aşınma iz genişlikleri artmıştır. Bu duruma yükün artması ile aşınma miktarının artması sebep olmuştur. Tahminen aşınma ürünleri yüzeyden uzaklaşarak yüzeyin aşındırıcı bilyaya karşı korunmasına yardımcı olmamıştır. En yüksek aşınma ise 3 N yük 0,4 m/sn hız altında olduğu görülmüştür. Hızın artması yüzeydeki aşınma oranının artmasına sebebiyet vermiştir. D numunesinin 200 m mesafedeki aşınma deney sonuçları Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. 200 metre mesafede % 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 Tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

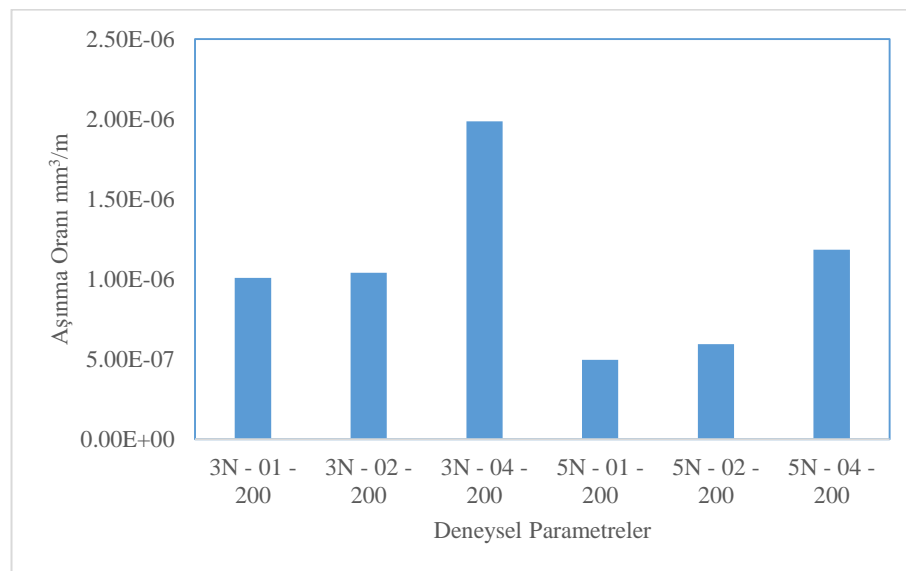
Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği (μm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı(mm^3/m)	Aşınma Hacmi (mm^3)
3N - 01 - 200	480	0,335	6,10E-07	1,22E-04
3N - 02 - 200	541	0,466	8,70E-07	1,74E-04
3N - 04 - 200	781	0,763	1,40E-06	2,81E-04
5N - 01 - 200	598	0,451	1,26E-06	2,51E-04
5N - 02 - 200	665	0,542	1,92E-06	3,85E-04
5N - 04 - 200	700	0,729	2,36E-06	4,72E-04

% 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 toz karışımı numunesinde (D numunesi) 400 metre mesafede 0,1 , 0,2 , 0,4 m/sn hızlarında yapılan aşınma testlerinde en düşük iz genişliklerine 5 N yük altında 0,1 m/sn hızda rastlanılmıştır. En yüksek aşınma oranı ise 5N ve 0,4 m/sn hızlarda görülmüştür. D numunesinin 400 m mesafedeki aşınma deney sonuçları Tablo 6.8.'de verilmiştir.

Tablo 6.8. 400 metre mesafede % 25 Diamalloy 4700 Tozu ve % 75 Diamalloy 2002 Tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

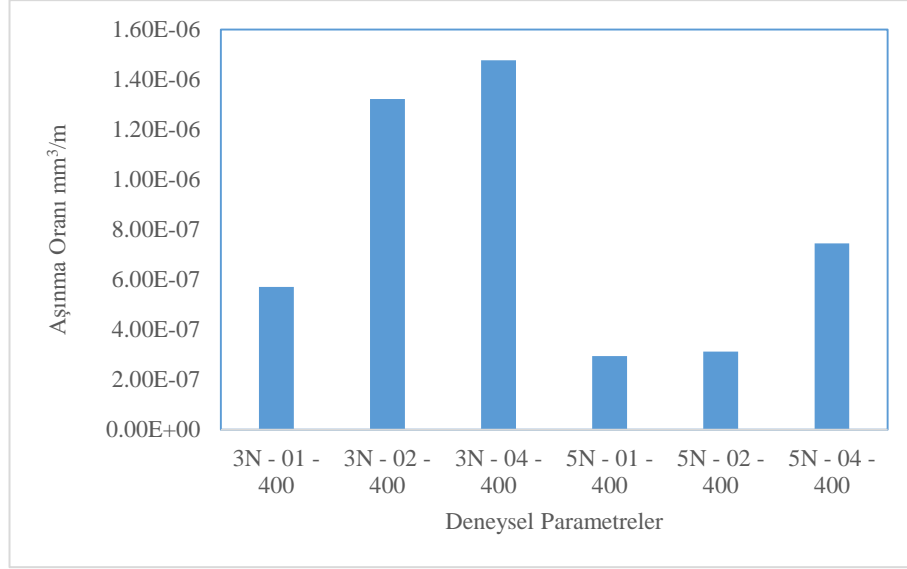
Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği (μm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı(mm^3/m)	Aşınma Hacmi (mm^3)
3N - 01 - 400	624	0,533	7,45E-07	2,98E-04
3N - 02 - 400	648	0,598	8,67E-07	3,47E-04
3N - 04 - 400	656	0,648	9,11E-07	3,64E-04
5N - 01 - 400	525	0,227	6,22E-07	2,49E-04
5N - 02 - 400	561	0,449	8,11E-07	3,25E-04
5N - 04 - 400	601	0,453	1,61E-06	6,44E-04

% 100 Diamalloy 2002 tozu numunesinin (C numunesi) 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,4 m/sn de 200 m mesafede aşınma oranları grafik olarak Şekil 6.6.'da verilmektedir. Yukarıda Tablo 6.3.'te açıklandığı gibi oluşumları grafik tablolarda daha net görülmektedir.



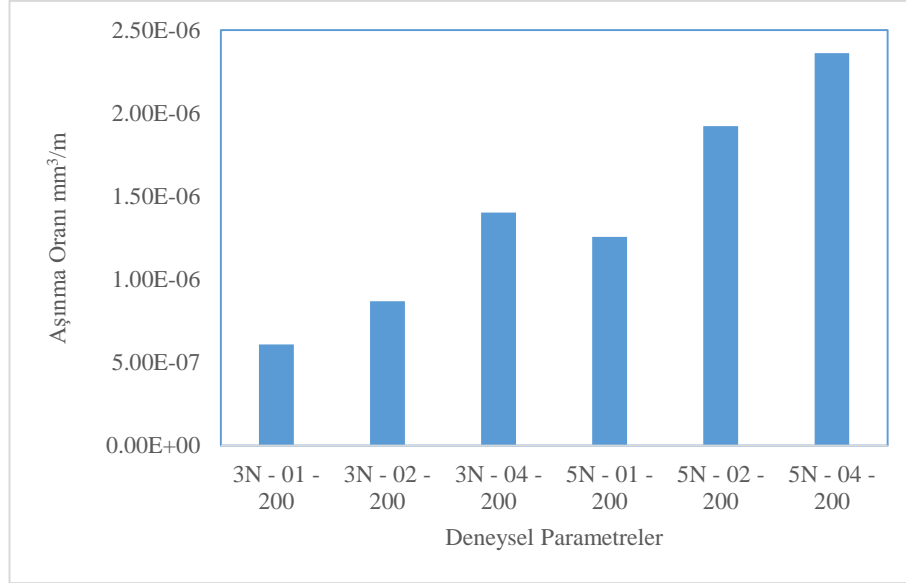
Şekil 6.6. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği

%100 Diamalloy 2002 tozu numunesinin (C numunesi) 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,4 m/sn de 400 m mesafede aşınma oranları grafik olarak Şekil 6.7.'de verilmektedir. Yukarıda Tablo 6.4.'te açıklandığı gibi oluşumları grafik tablolarında daha net görülmektedir.



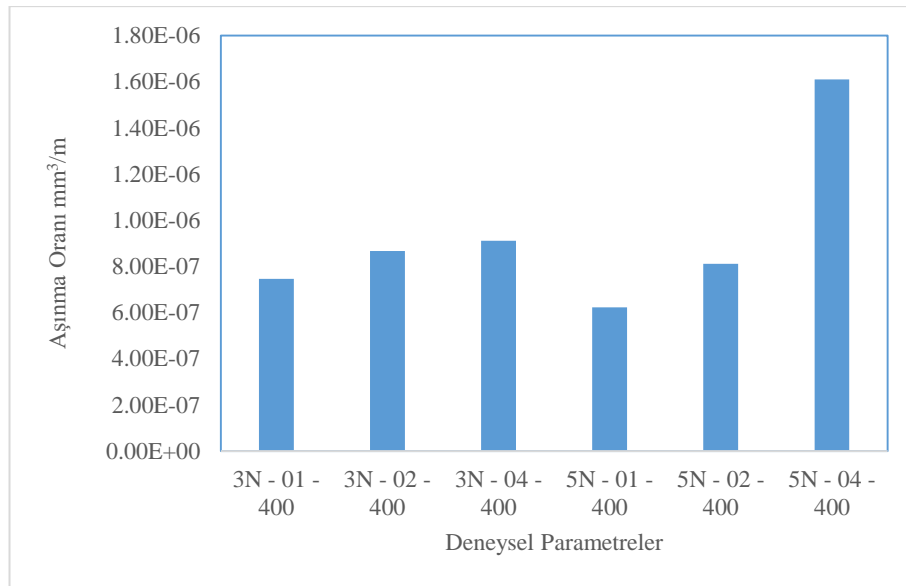
Şekil 6.7. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği

%75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 karışım tozuna (D numunesi) ait 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda aşınma oranları grafik olarak Şekil 6.8.'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere en düşük aşınma 3N yük, 0,1 m/sn hızda, en yüksek aşınma ise 5N yük ve 0,4 m/sn hızda görülmektedir.



Şekil 6.8. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği

%75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 karışım tozuna (D numunesi) ait 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda aşınma oranları grafik olarak Şekil 6.9.'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere en düşük aşınma 5N yük, 0,1 m/sn hızda, en yüksek aşınma ise 5N yük ve 0,4 m/sn hızda görülmektedir. Yükün artışı ile aşınma ürünleri yüzeyde fazla oluşmuştur ve bu aşınma ürünleri yüzeyde sıvanarak aşınma değerlerinin değişimine sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.9. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği

6.6. Sürtünme Katsayıları

Aşınma deneyi uygulama sürecinde ulaşılan veriler aşınma cihazına transfer edilmiştir ve buradan çıkan sürtünme katsayısı ve yol grafikleri yorumlanmıştır. Sürtünme katsayıları; ortam şartları, malzeme çeşidi ve sertliği, yüzey pürüzlülüğü, kaplama tabakası, yük, hız gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik gösterir. Chakraborty ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sürtünme katsayısının işlem parametreleri ile değiştiği sonucuna ulaşmıştır [55].

Malzemeye uygulanan yükteki artış aşınma oranını da arttırmaktadır. Sürtünme katsayısını kaplama tabakasının içindeki karbür fazları da etkilemektedir. Hava ile temasla birlikte ortaya çıkan oksitlenme sürtünme katsayısında azalma meydana getirmektedir ancak uygulanan yük oksit tabakasını parçalayacak kadar yüksek olursa yüksek sürtünme ortaya çıkacaktır. Cho ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sürtünme katsayısının büyük ölçüde kaplama işlemine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedeni olarak kaplamanın sertliğinin ve gözenekliliği kaplama prosesine bağlı olduğunu ortaya belirtmişlerdir [56].

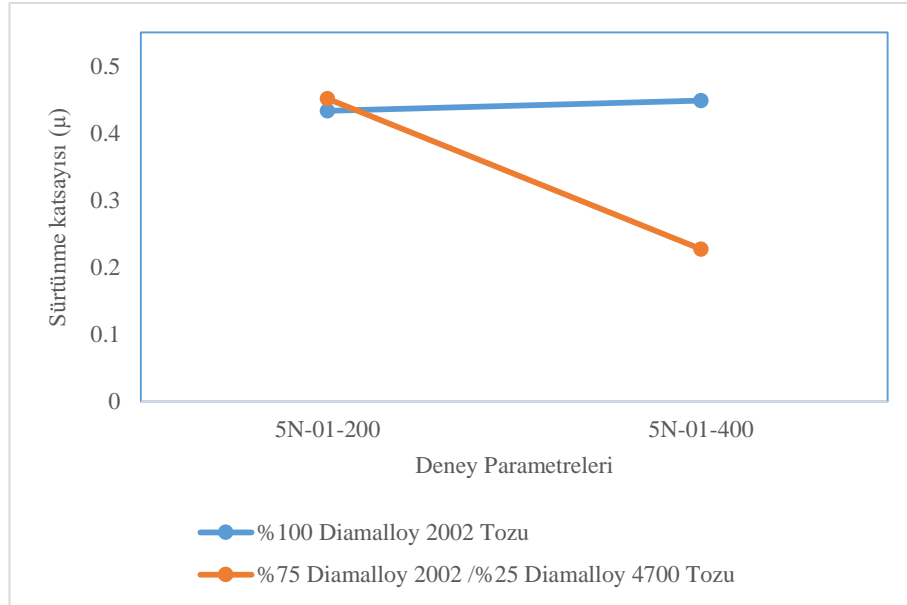
Bu bilgiler ışığında sürtünme katsayısı değerlerimize baktığımızda aşağıda Şekil 6.10.'da gösterildiği gibi 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu 200 m mesafede D numunesi daha düşük sürtünme katsayısına sahipken mesafe 400 m olduğunda sürtünme katsayıları eşitlenmiştir. D numunesinde 200 metrede daha düşük sürtünme katsayısı olmasının nedeni C numunesinin yüzeyinin çok sert ve gevrek oluşu sebebiyle aşınma bilyasının yüzeye ilk çarptığı anda yüzeyde kırılmalara sebebiyet vererek sürtünme katsayısının D numunesinden fazla çıkmasına neden olmuş olabilir.

XRD analizlerinden de görüldüğü üzere karışım tozu ile yapıda daha fazla sert faz tespit edilmiştir. Yapıdaki bu sert fazlar sürtünme katsayı değerlerinde pozitif bir etki yaparak düşüşe neden olmuş olabilir. Sürtünme katsayı artışının aşınma oranını arttırdığı, sürtünme katsayısındaki azalmasının ise yükün artış gösterdiği Ünal ve arkadaşları tarafından bulunmuştur [57].



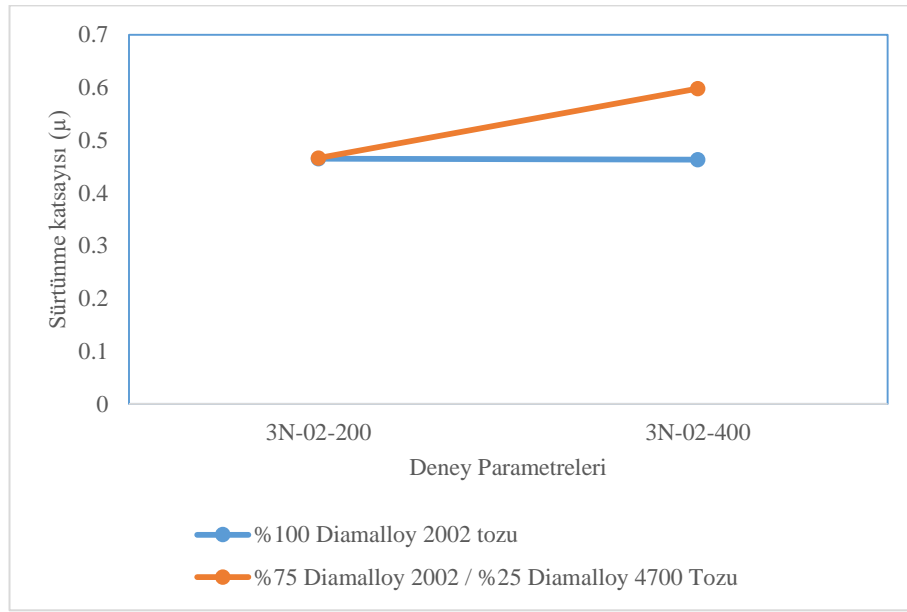
Şekil 6.10. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 6.11.'de 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Sadece mesafe değişimi meydana gelmiştir. Çok sert fazlar ve kaplama yapısının gevrek oluşu sürtünme katsayısının daha yüksek olmasına sebep olmuş olabilir.



Şekil 6.11. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 6.12.'de 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Aynı şartlar altında hızın artması ile sürtünme katsayı değerlerinde bazı değişimler gözlemlenmiştir. Hız artışı C numunesinde daha düşük sürtünme katsayısı elde edilmesine sebep olmuştur. Hız artışı ile gevrek fazlardan kopan parçalar yüzeye sıvanmış olup sürtünme katsayısının düşüşüne sebep olmuş olabilir.



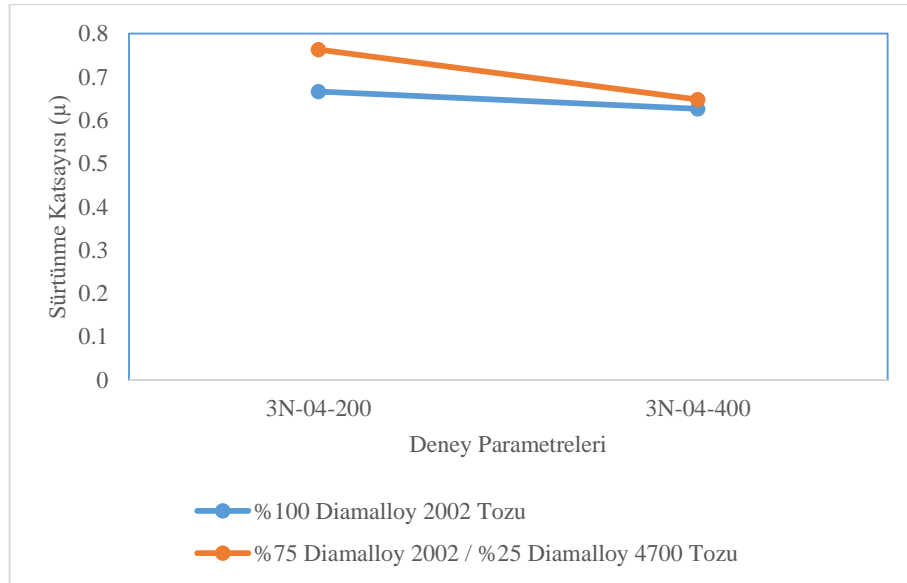
Şekil 6.12. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 6.13.'te 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Yük artışı (5N) ile beraber düşük mesafede C numunesinde daha düşük sürtünme katsayısı elde edilirken D numunesinden daha fazla elde edildiği görülmüştür. Yük artışı yüzeyde aşınma ürünlerini arttırır. Düşük mesafede C numunesinin sürtünme katsayısı daha düşükken, yüzeyden kopan parçaların yüzeye sıvanması ile sürtünme katsayısı değerlerinde değişim görülüp, D numunesinde daha düşük olduğu görülmüştür.



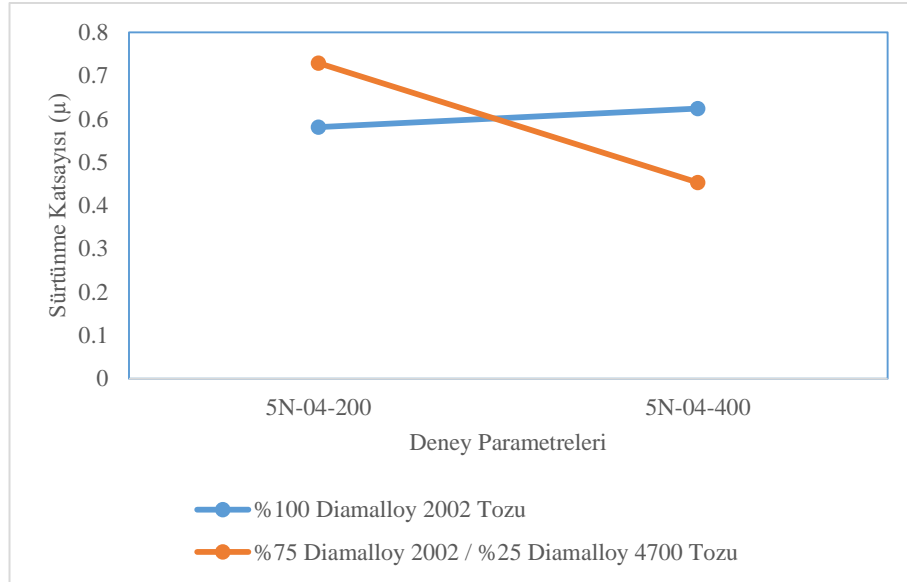
Şekil 6.13. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 6.14.'te 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. 200 m mesafede ve 400 m mesafede C numunesinin sürtünme katsayı değerleri daha düşük çıkmıştır. Mesafe değişiminin sürtünme katsayı değerlerinin değişiminde aynı eğilimi göstermiştir.



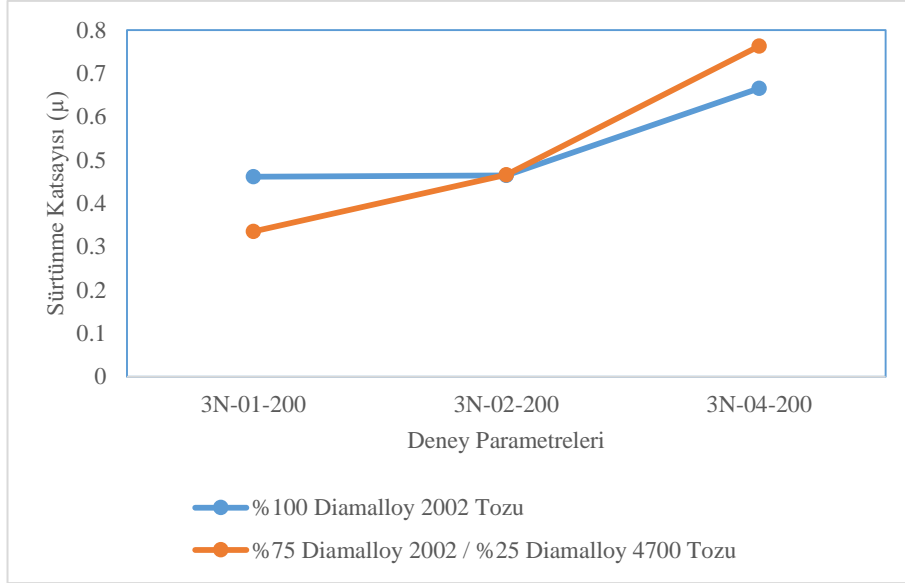
Şekil 6.14. 3N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

Şekil 6.15.'te 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. 200 m mesafede en düşük sürtünme katsayısı C numunesi iken, 400 m mesafede D numunesi en düşük sürtünme katsayısı sahiptir.



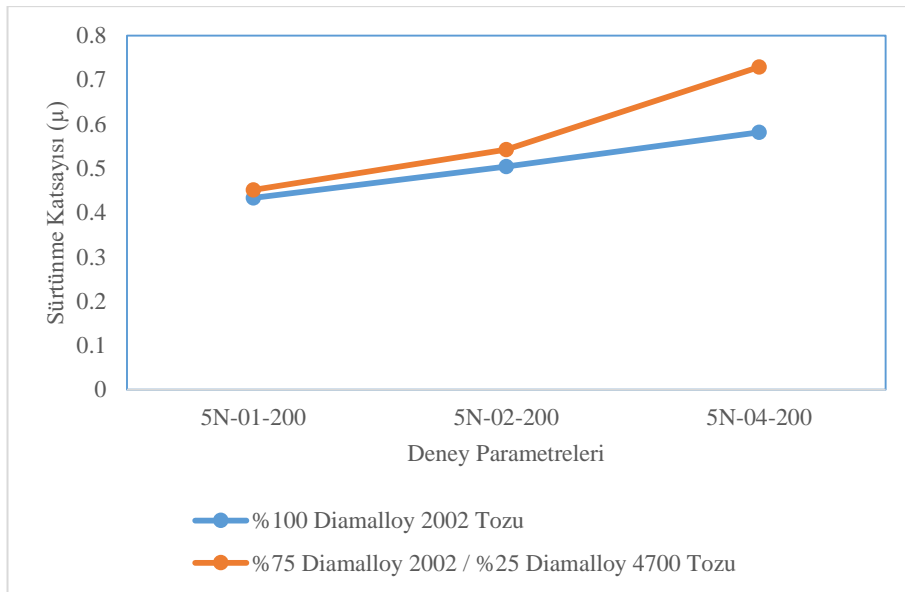
Şekil 6.15. 5N yük altında, 200 ve 400 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 6.16.'da 3N yük altında, 200 m mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Hız arttığında sürtünme katsayısı değerlerinin eğiliminde artış görülmüştür. Hız düşükken D numunesinin sürtünme katsayısı daha düşükken, hız arttığında ise C numunesinin sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Hız düşükken (0,1 m/sn) D numunesi daha sünek olması sebebiyle daha düşük sürtünme katsayısı eğilimi göstermiştir. Hız arttığında daha gevrek ve sert olan C numuneden kopan parçaların yüzeye sıvanması ve yüzeye bir katman oluşturması sebebiyle sürtünme katsayı değerleri daha düşük olmuştur.



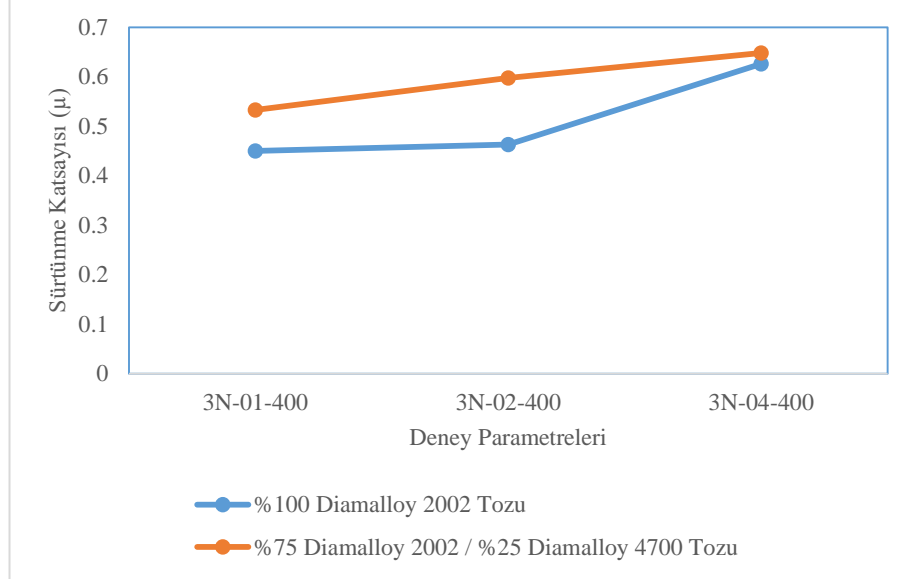
Şekil 6.16. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 6.17.'de 5N yük altında, 200 m mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Sert ve gevrek fazların yük artışı ile beraber daha fazla aşınma ürününe sahip olması nedeniyle aşınma ürünleri yüzeye sıvanarak C numunesinde sürtünme katsayısının daha düşük olmasına neden olduğu düşünülmektedir. C numunesi ve D numunesi için hız artışı ile sürtünme katsayısının artması beklenen bir durumdur.



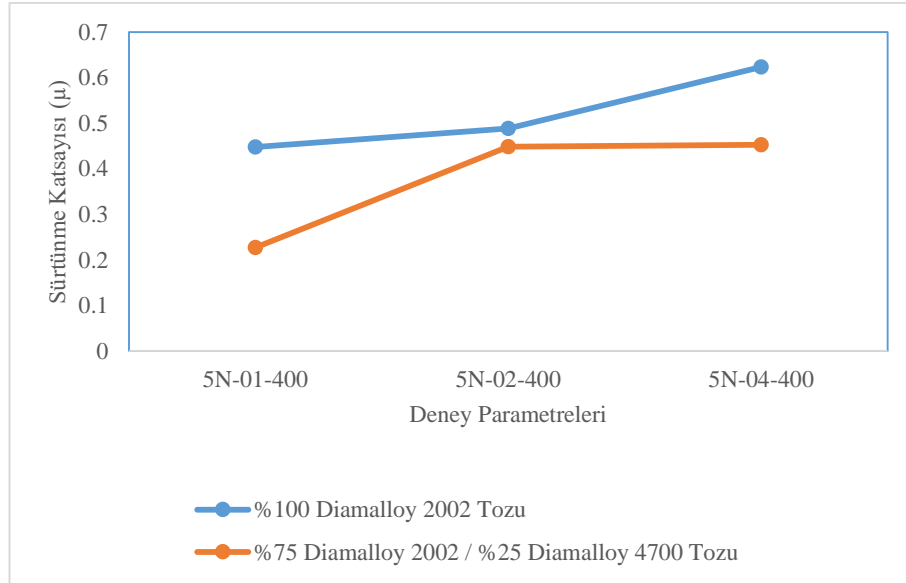
Şekil 6.17. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 6.18.'de 3N yük altında, 400 m mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. C numunesinin sürtünme katsayı değerleri D numunesine göre daha düşük çıkmıştır. Yüzeydeki sert fazlar sürtünme katsayısının düşüklüğüne neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.18. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 6.19.'da 5N yük altında, 400 m mesafede 0,1 m/sn, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hızlarda C ve D numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Yük artışı (5N) ile 400 m mesafede D numunesinin sürtünme katsayı değerleri daha düşük çıkmıştır. Çok sert ve gevrek fazları olan C numunesi uzun mesafeli aşınma deneylerinde sürtünme katsayı değerleri daha yüksek çıkmıştır.



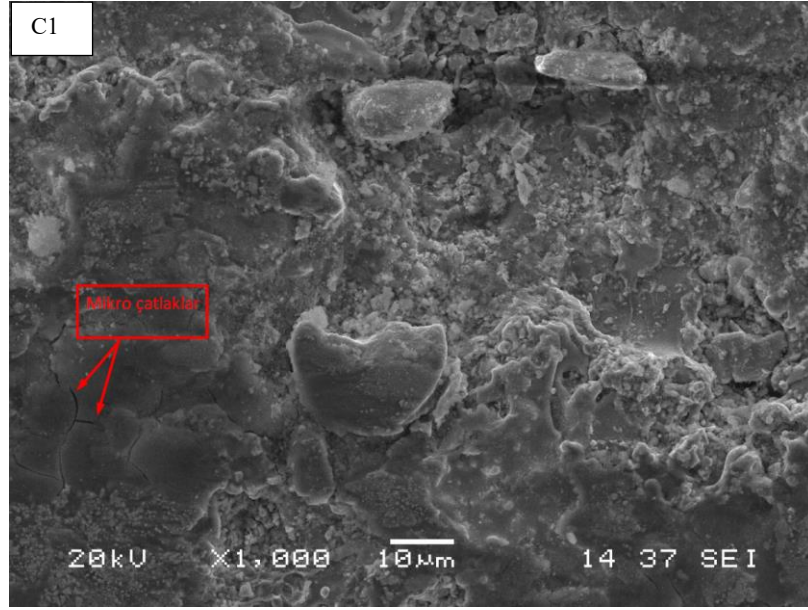
Şekil 6.19. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Deney parametreleri sürtünme katsayısı grafiklerinden de çıkarım yapılacağı üzere hız artışının sürtünme katsayısı değerini lineer olarak arttırdığı görülmektedir.

6.7. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

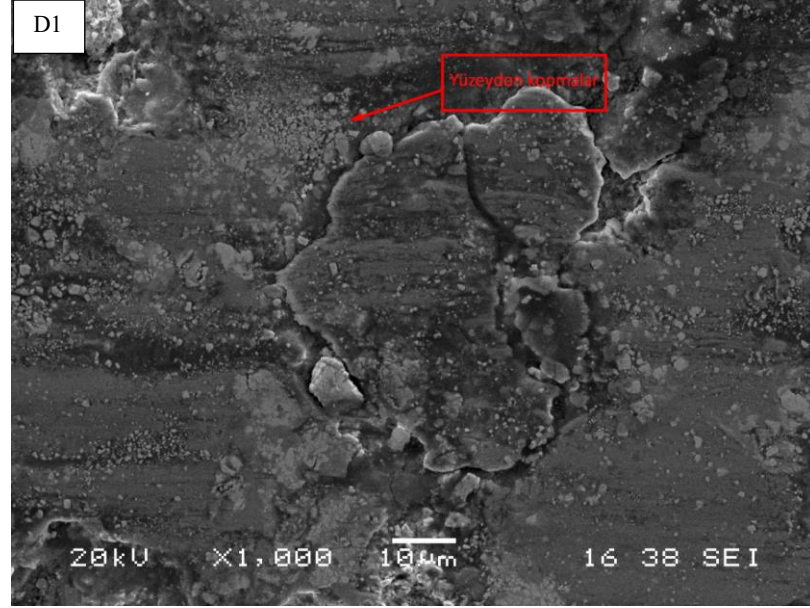
Aşınma testlerinin ardından % 100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozlarının (D numunesi) kaplama sonrası aşınma yüzeylerinin incelenmesi amacıyla SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.

Şekil 6.20.'de 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde mikroçatlaklar ve poroziteler görülmüştür. Az da olsa plastik deformasyonlar mevcuttur. Bazı bölgelerden kopmalar meydana gelmiştir. Sert bir yüzey olduğu için aşınma esnasında bu oluşumun gözlenmesi beklenen bir durumdur.



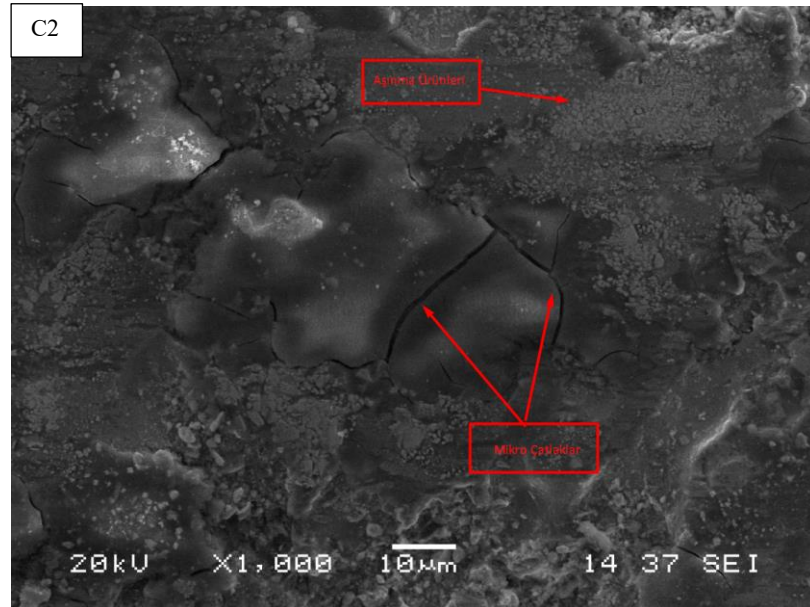
Şekil 6.20. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.21.'de 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde abrazyon aşınma (yüzeyden kopmalar) görünmüştür. Sert bir kaplama olduğu için bu olağan bir durumdur. Bu deneysel çalışmaya benzer olarak Wang ve arkadaşlarının çalışmasında yüksek sıcaklıkta sürtünme sırasında oluşan oksitler daha sonra çatlama ve kırıntılar halinde mekanizmaya dahil olduğunu tespit etmiştir [58].



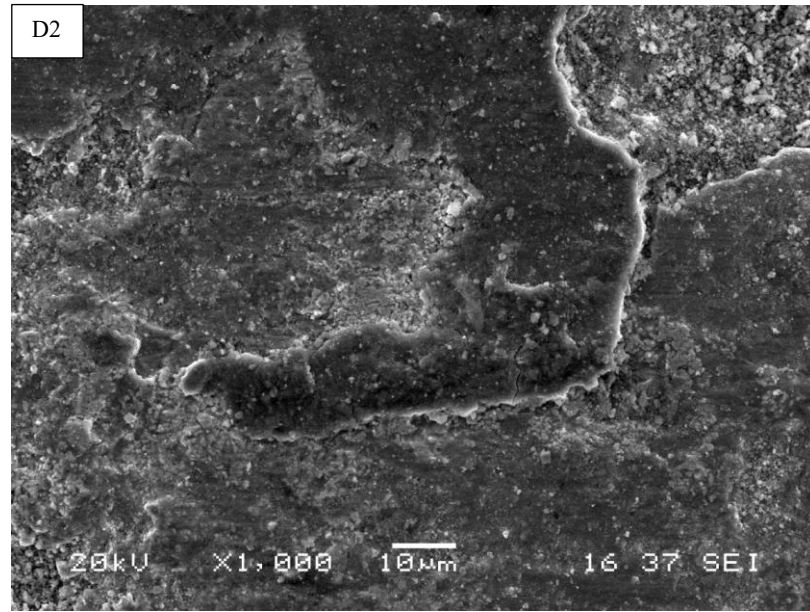
Şekil 6.21. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.22.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma ürünleri gözlemlenmiştir.



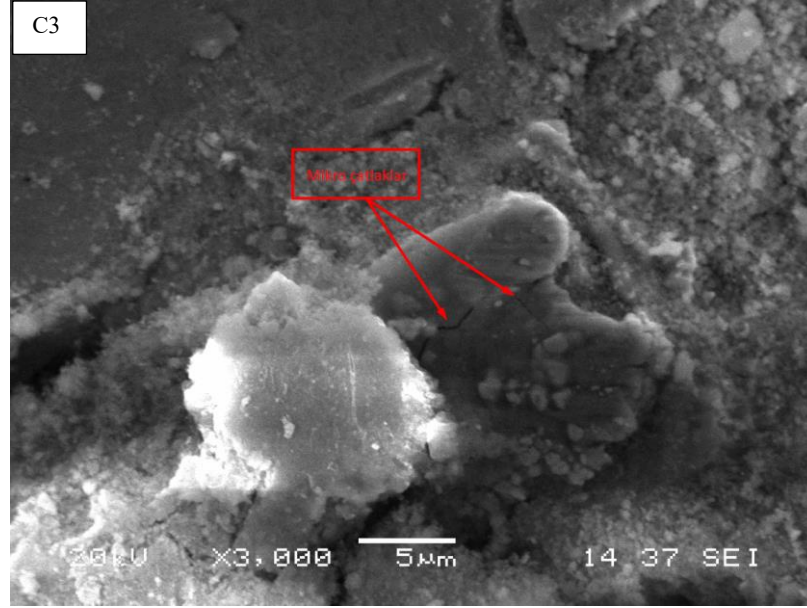
Şekil 6.22. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.23.'te 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde mikro çatlaklar görülmüştür. Aşınma ürünleri yüzeye sıvanmıştır. Sıvanan aşınma parçaları yüzeyi kaplayarak aşınmaya karşı bir direnç oluşturabilir. Ayrıca %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımına göre kaplamanın daha kararlı olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.23.'te çok yüksek miktarda plastik deformasyon gözükmemektedir. Aşınma ürünleri fazladır.



Şekil 6.23. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.24.'te 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde mikro çatlaklar ve aşınma ürünleri görülmektedir.



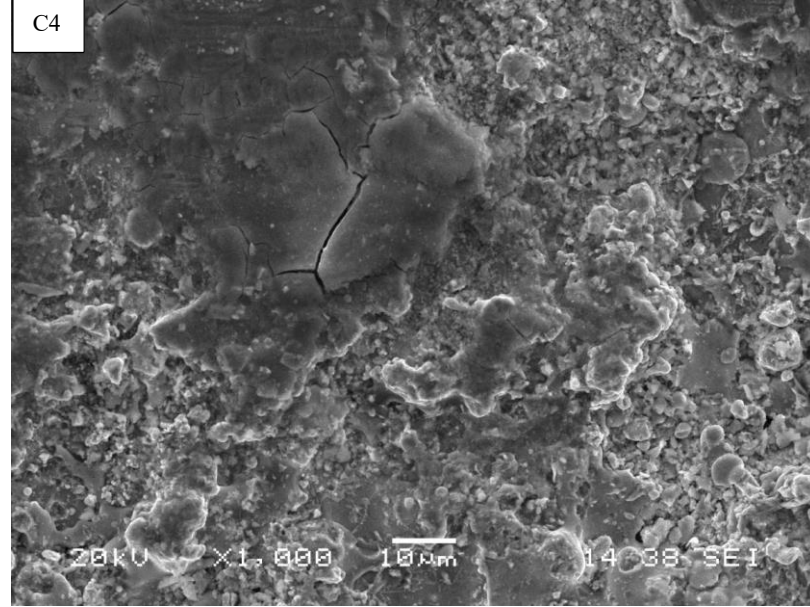
Şekil 6.24. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.25.'te 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde yer yer katmanlı çatlaklar görünmektedir. Bu durum aşınan yapıda kuvvetli bir adhezif aşınmanın olduğunu göstermektedir.



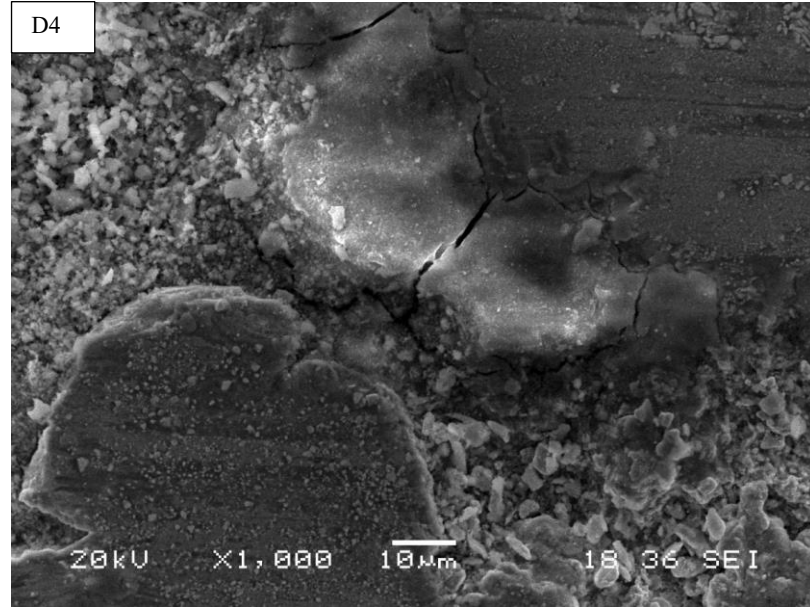
Şekil 6.25. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.26.'da 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde büyük çatlaklar vardır. Yükün artması ile yüzeyde meydana gelen aşınma şiddetlenmiştir ve çatlak genişlikleri artmıştır. Aşınma ürünleri yine yüzeye sıvanmış şekilde görünmektedir.



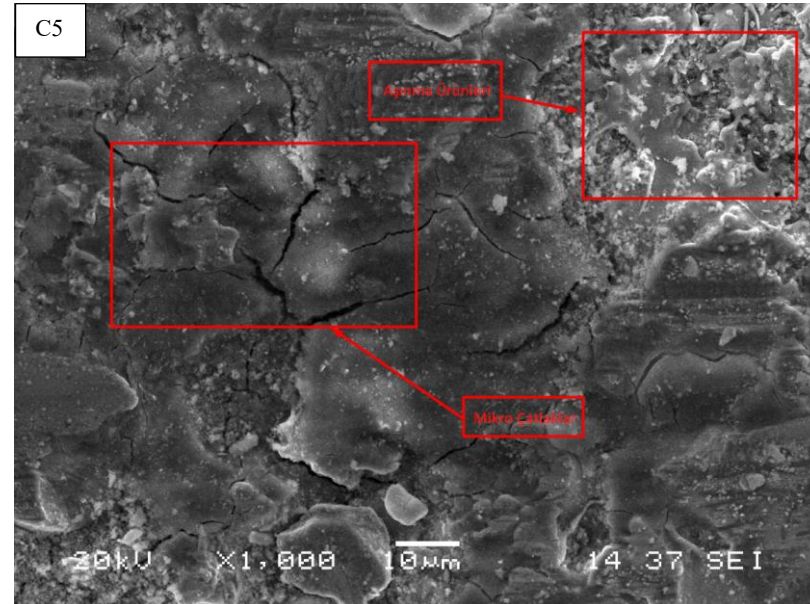
Şekil 6.26. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.27.'de 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde aynı şartlar altında D numunesinde ise yine yükün artışı ile aşınma şiddetlenmiş, daha fazla aşınma ürünü oluşmuş ve yüzeyde plastik deformasyon oluşumu gözlenmiştir.



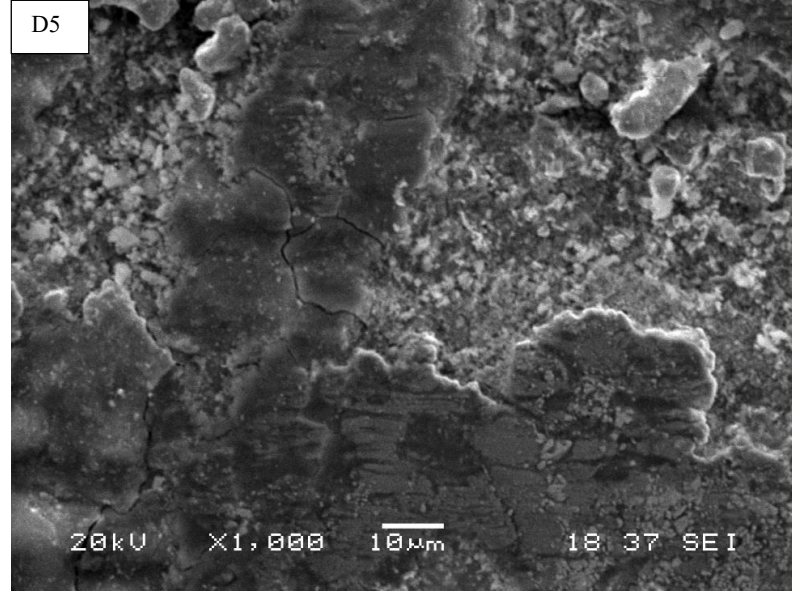
Şekil 6.27. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.28.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde 5N altında hız arttığında yer yer mikro çatlaklar görülmüştür.



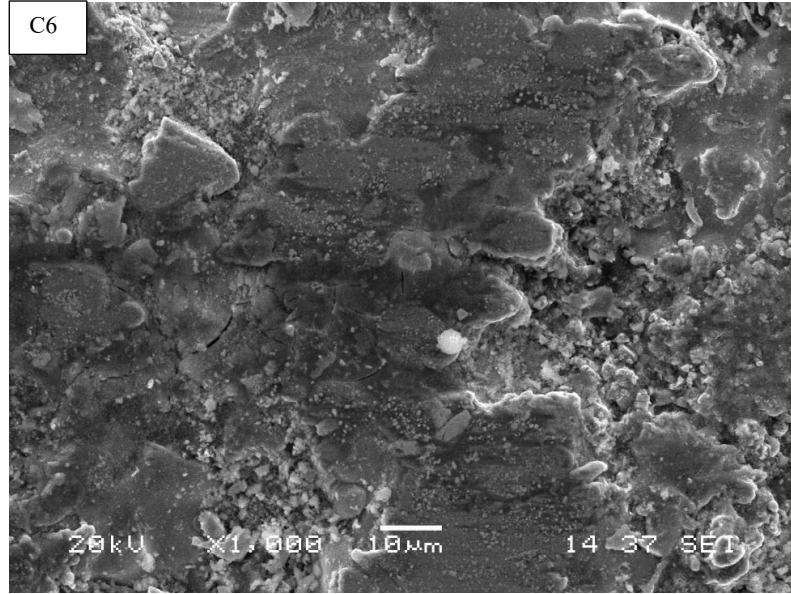
Şekil 6.28. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.29.'da 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde yük ve hız artışının kaplama tabakasında abrazif aşınma sebep olmuştur.



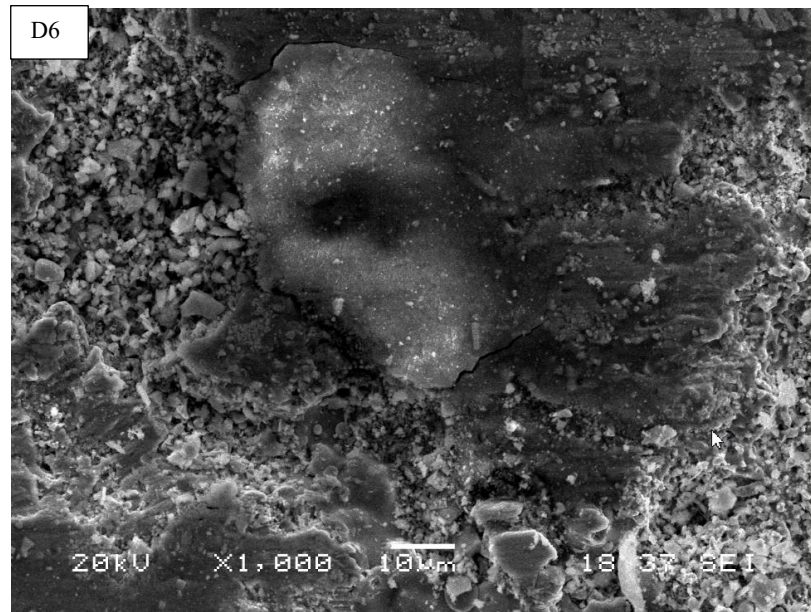
Şekil 6.29. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.30.'da 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntülerinde abrazif aşınmalar ve yüzeyde kopmalar görülmüştür. Hız ve yük artışı yüzey deformasyonunu arttırmıştır.



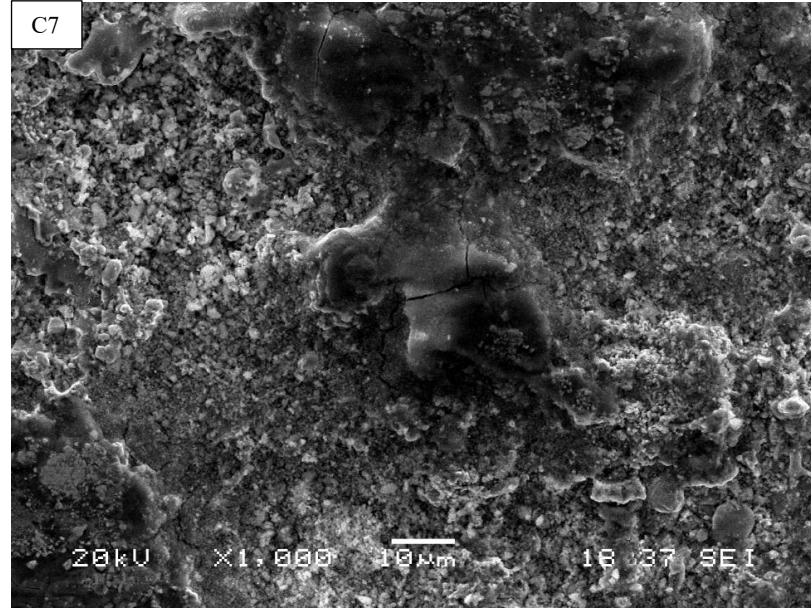
Şekil 6.30. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.31.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemesinde ise yüzeyde çok kuvvetli plastik deformasyonlar oluşmuştur. Derin çatlaklar görünmektedir.



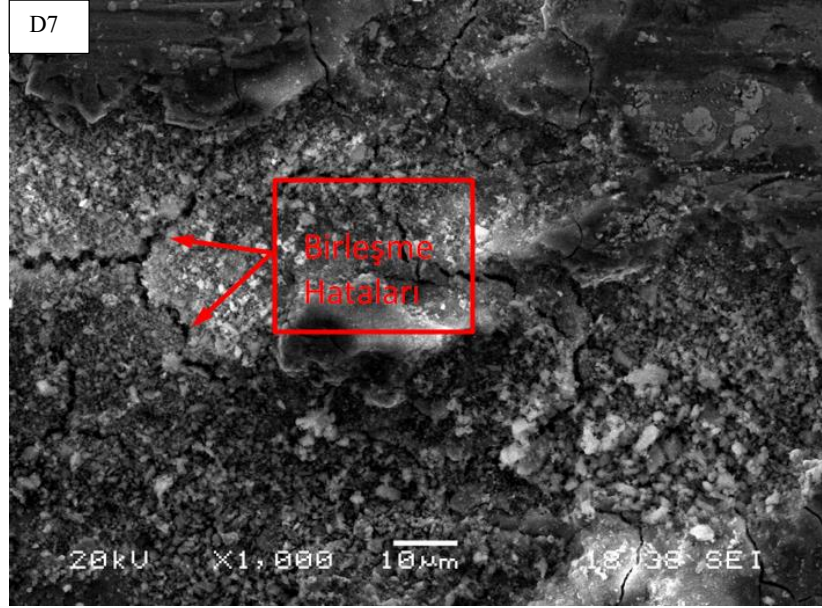
Şekil 6.31. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.32.'de 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma mesafesi arttırıldığında kaplanan yüzeyde yer yer yorulma meydana gelmiştir. Mesafenin artması ile bu yorulmanın görülmesi beklenen bir durumdur.



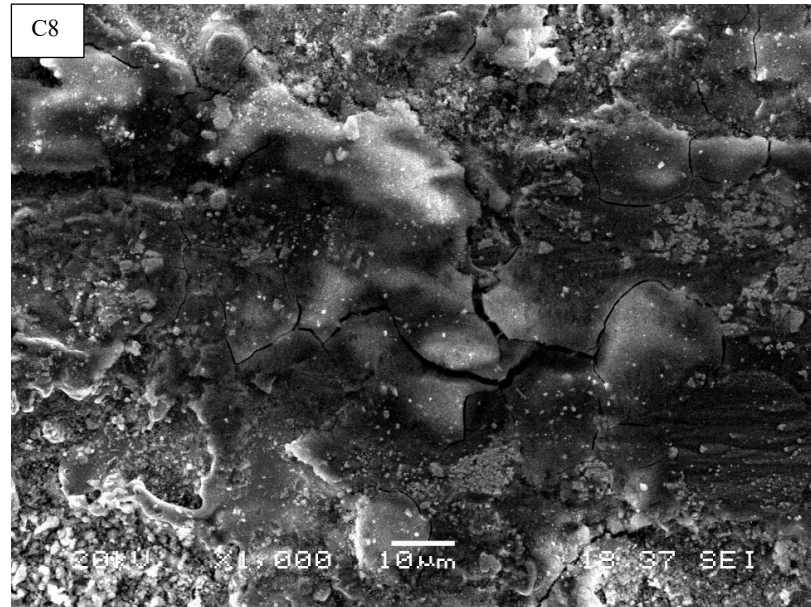
Şekil 6.32. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.33.'te 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde mesafenin artması ile aynı şartlar altındaki C numunesine göre çok fazla mikro çatlak oluşmuştur. Bazı çatlak genişlikleri oldukça geniştir. Aşınma ürünleri yer yer görünmektedir.



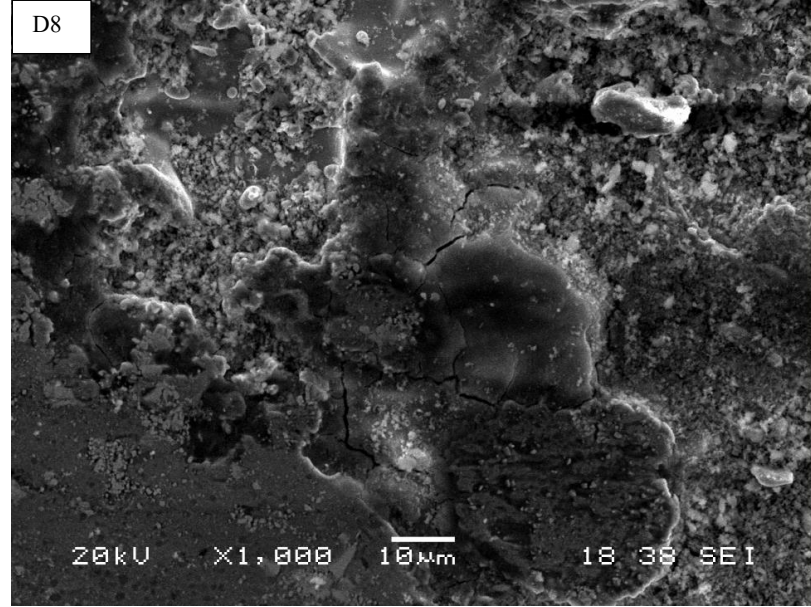
Şekil 6.33. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.34.'te 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde bir miktar hız arttırılması ile yüzeydeki aşınma haliyle biraz daha fazla oluşmuştur. İrili ufaklı mikro çatlaklar görünmektedir.



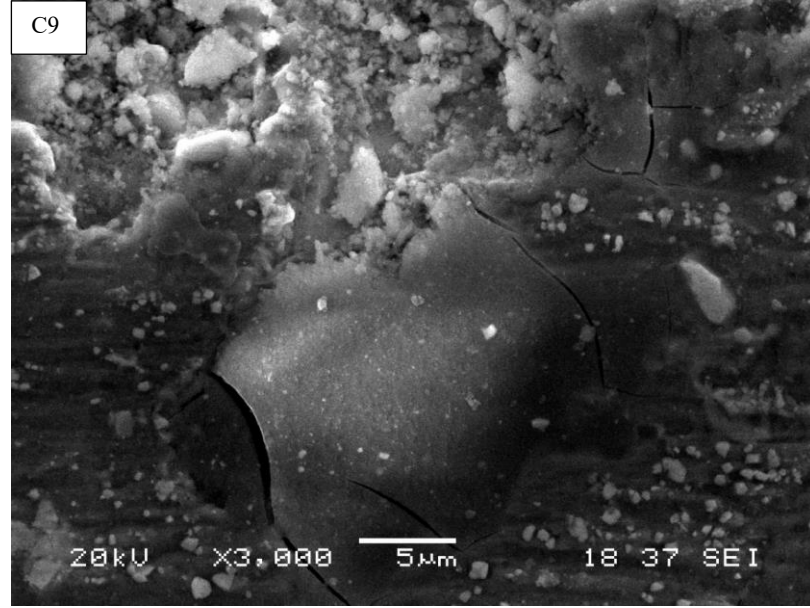
Şekil 6.34. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

C numunesi ile aynı parametrelerdeki Şekil 6.35.'te 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde çatlaklar mevcuttur. Yüzeyde plastik deformasyonlar gözükmemektedir.



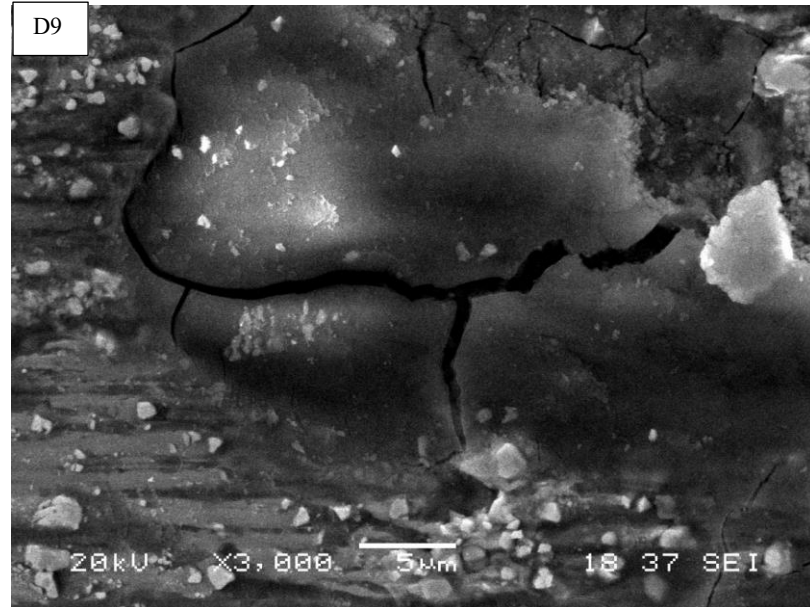
Şekil 6.35. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.36.'da 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri hızın artışı ile beraber yüzeydeki çatlaklar çok ilerlememiştir. Aşınma ürünleri görünmektedir. Az da olsa abrasif aşınma ürünleri mevcuttur.



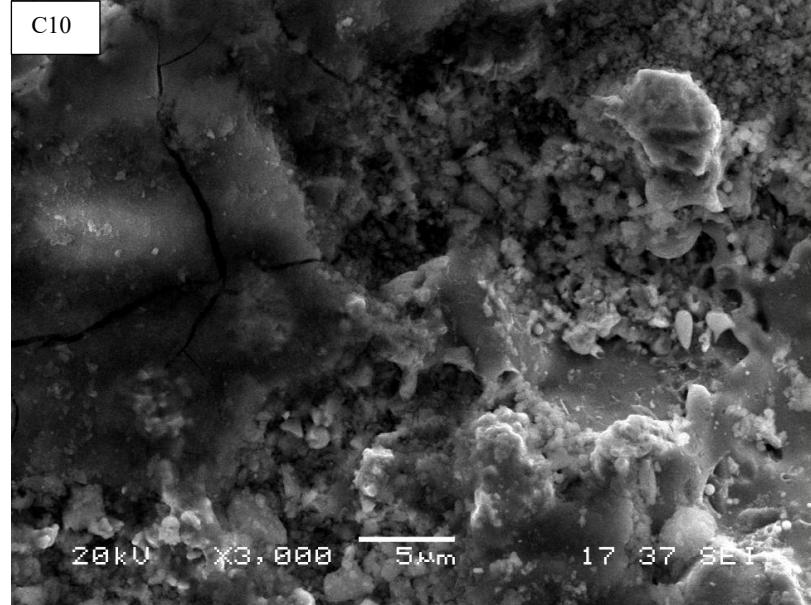
Şekil 6.36. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

C numunesi ile aynı şartlarda gerçekleştirilen aşınma incelemelerinde Şekil 6.37.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımında da (D numunesi) mikroçatlaklar görünmektedir. Hızın artışı ile yüzeydeki kılcal çatlaklar sıklaşmıştır.



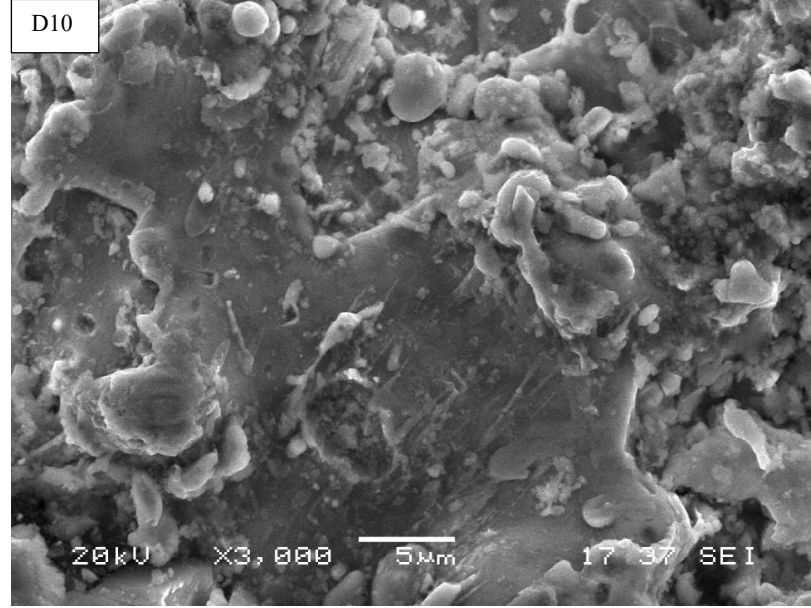
Şekil 6.37. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.38.'de 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yük arttırıldığında aşınma ürünleri oldukça fazladır. Mikro çatlak ve aşınma ürünleri olağan şekilde kaplama yüzeyinde görülmüştür.



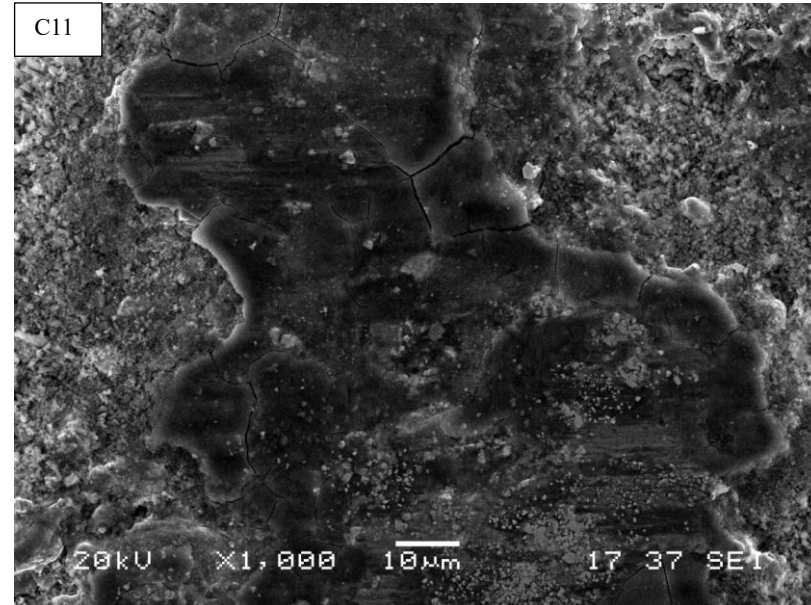
Şekil 6.38. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.39.'da 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde yük artışı ile yüzeydeki deformasyon oldukça fazla olmuştur. Kaplama yüzeyinde yer yer kopmalar ve abrasif aşınma görülmüştür.



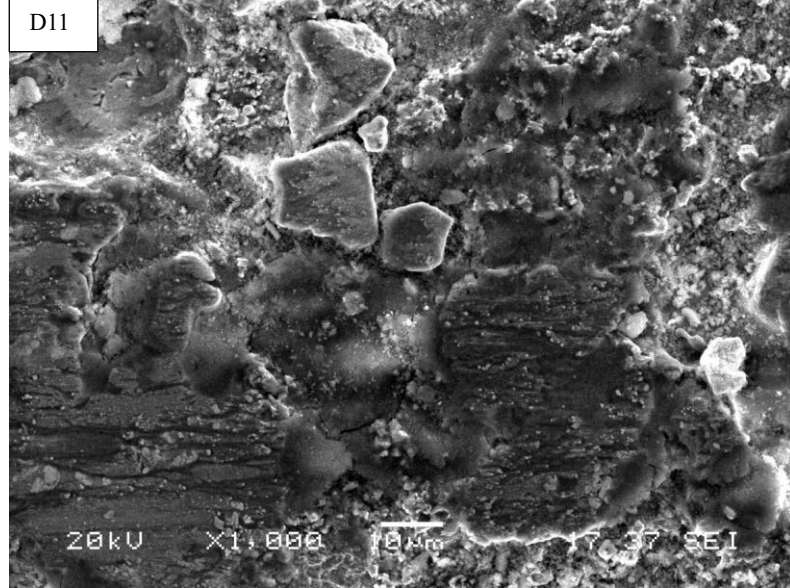
Şekil 6.39. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (Dnumunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.40.'ta 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde hız ve yük yüksekliği yüzeydeki deformasyonu bir miktar daha arttırmıştır. Mikro çatlaklar biraz daha sıklaşmıştır. Bilyadan ve kaplamalardan kopan aşınma ürünleri görülmektedir.



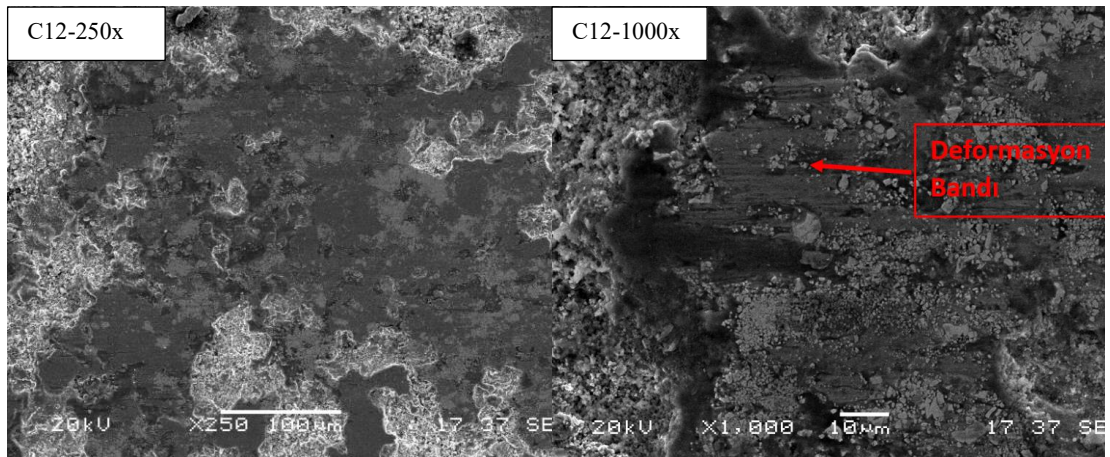
Şekil 6.40. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

C numunesi ile aynı parametrelerde, Şekil 6.41.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde çatlak izleri biraz daha genişlemiştir. Deformasyon biraz daha şiddetlidir. Aşınma ürünleri oldukça fazladır.



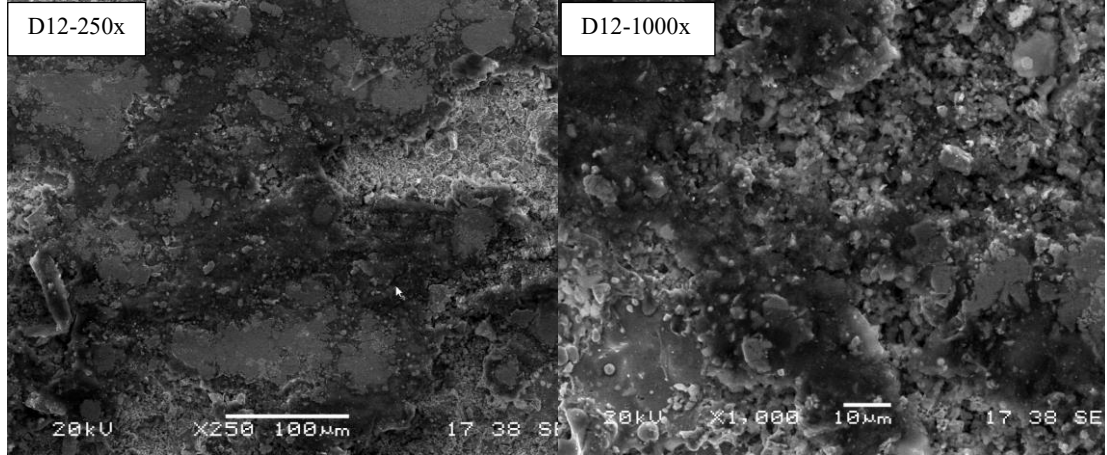
Şekil 6.41. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.42.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan % 100 Diamalloy 2002 (C numunesi) tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde yorulma aşınmaları görülmüştür. Aşınma ürünleri yüzeye sıvanmıştır. İnce yivler (yorulma bantları) oluşmuştur.



Şekil 6.42. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 6.43.'te 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımının (D numunesi) SEM incelemelerinde hem abrasif hem de adhezif aşınma oluşmuştur. Aşınma şartlarının yüksek olması haliyle aşınmayı arttırdığı görülmüştür.



Şekil 6.43. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede aşınan numunenin SEM görüntüleri

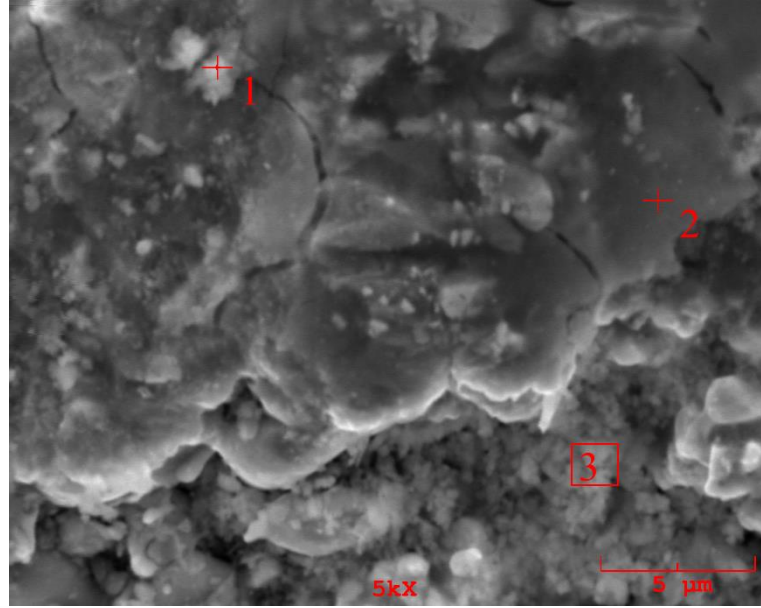
6.7.1. EDS (Enerji saçınım spektrometresi) analizleri

%100 Diamalloy 2002 (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) numunelerinin aşınma yüzeylerinden EDS analizleri yapılmıştır. Kaplama tozlarının yapılarında olmamasına rağmen aşınma deneyi sonrası EDS analizlerinde Oksijen ve Alüminyum elementlerine rastlanmıştır. EDS analizlerinden yapılan çıkarımlara göre bu oksijen varlığı yapıda oksitlenmenin olduğunu göstermektedir. %100 Diamalloy 2002 tozu ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımlarında aşınma sonrası oksit oluşumları gözlemlenmiştir. Abu-warda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada oksit oluşumunun, yüksek erime noktası ve düşük gözeneklilik içeriği nedeniyle kaplamanın koruyucu yapısının artmasına katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir [52].

Her bir aşınma numunesine EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan EDS sonucu yapıda ortaya çıkan fazlar bu bölümdeki tablolarda belirtilmiştir.

Şekil 6.44.'te 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 numaralı

bölgede fazla oksijen varlığı görülmektedir. Bu durum 1 numaralı bölgede fazla oksitlenmenin oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca yapı içerisinde az miktarda da olsa Al elementi görünmektedir. 2 ve 3 numaralı bölgelerde Co elementinin yoğunluğu fazladır. 2 ve 3 nolu bölgelerin aşınma ürünlerine ait olduğu düşünülmektedir. Tablo 6.9.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.



Şekil 6.44. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

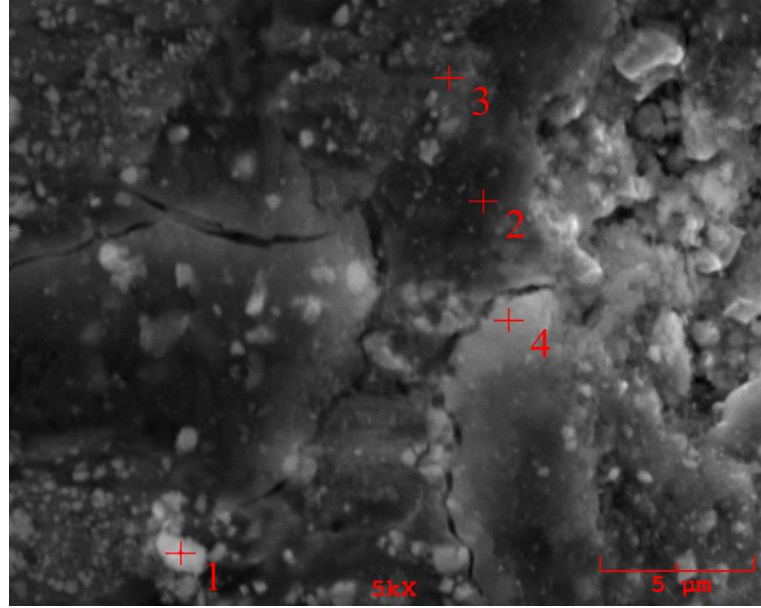
Tablo 6.9. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	6,465	29,727	23,796
O	32,640	5,122	3,213
Al	5,696	0,616	0,022
Si	0,373	9,046	7,304
Cr	8,247	2,005	2,084
Fe	2,970	3,541	9,988
Co	3,717	36,273	32,331
Ni	29,790	13,668	21,260
W	10,101	29,727	23,796

Şekil 6.45.'te 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 ve 4 nolu

bölgelerde Al elementine rastlanmıştır. Alüminyumun aşındırıcı bilya olan alüminadan geldiği düşünülmektedir. 2 ve 3 nolu bölgeler kaplamadan kalkan aşınma ürünlerine aittir.

Numuneler açık ortamda analizi yapılan tüm bölgelerde oksijen elementine rastlanılmıştır. Aşınma deney çalışması açık ortamda yapıldığı için yüzeylerde oksidatif aşınma meydana gelmiştir. EDS analizleri de bunu desteklemektedir. W ve C elementlerinin yapıda bulunması sertliği arttırarak aşınma direncini yükseltmektedir. Tablo 6.10.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir. Hajare ve Gogtenin çalışmasında da bu yapıda oluşan WC fazlarının aşınma dayanımını arttırdığını göstermektedir [53].



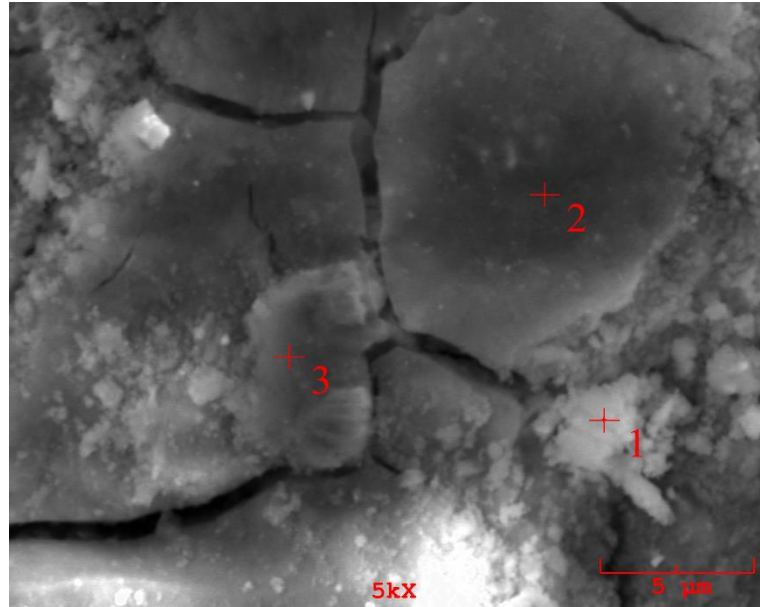
Şekil 6.45. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.10. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	3,933	0,000	0,089	0,000
O	28,585	19,878	12,832	28,128
Al	3,704	3,067	1,752	4,547
Si	1,876	0,000	4,214	0,000
Cr	10,448	6,247	15,197	6,868
Fe	1,879	1,517	2,329	1,738
Co	0,953	17,121	1,176	8,529
Ni	39,241	26,463	55,956	28,967
W	9,382	25,707	6,456	21,223

Şekil 6.46.'da 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

1 nolu bölgedeki Al elementi aşındırıcı bilyadan geldiği düşünülmektedir. Yine az da olsa bilyadan kopan parçalar yüzeyde görülmektedir. 1, 2 ve 3 nolu bölgelerdeki elementler tozun kimyasal yapısından gelmektedir. Açık atmosferde aşınma gerçekleştiği için oksidatif aşınma yine oluşmuştur. Tablo 6.11.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

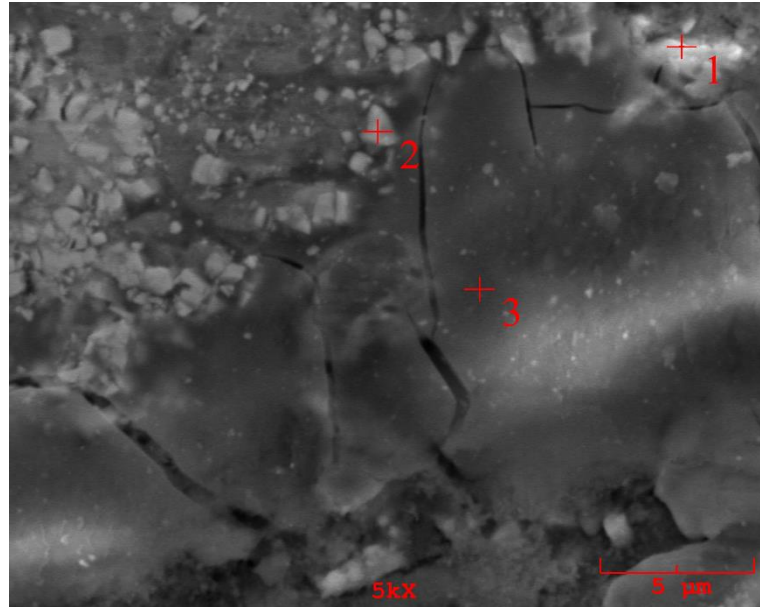


Şekil 6.46. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.11. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	2,472	0,000	0,000
O	41,153	26,488	20,831
Al	5,209	2,955	2,145
Si	1,378	0,000	3,727
Cr	8,231	7,325	14,761
Fe	2,322	1,862	2,295
Co	2,663	14,325	2,656
Ni	30,509	32,465	49,507
W	6,064	14,580	4,078

Şekil 6.47.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı bilyadan gelen aşınma ürünleri analiz edilmiştir. 3 nolu bölgede nispeten daha fazla oksidatif aşınma olduğu görülmüştür. Tablo 6.12.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

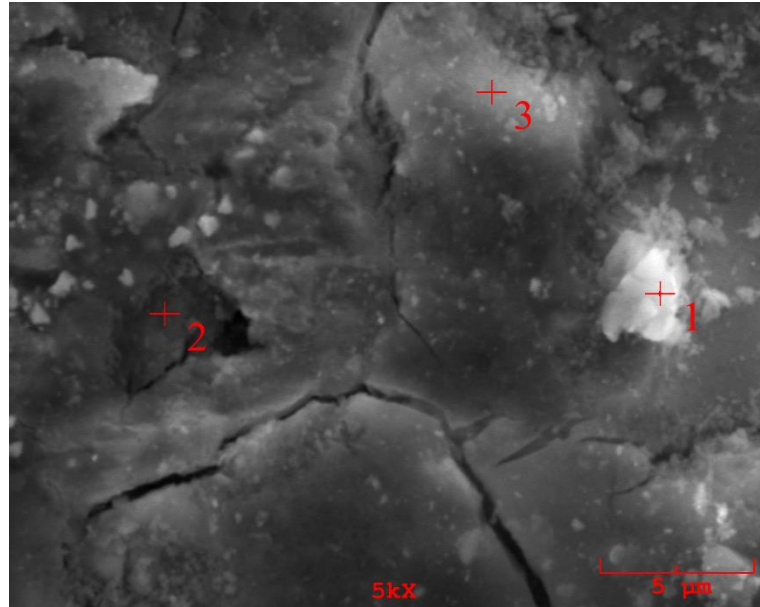


Şekil 6.47. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.12. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	4,582	1,242	0,000
O	10,388	9,747	32,841
Al	0,894	2,088	5,410
Si	0,000	0,000	1,196
Cr	2,339	1,996	9,939
Fe	1,042	0,814	2,618
Co	25,016	0,978	5,944
Ni	10,612	10,677	34,893
W	45,127	72,459	7,160

Şekil 6.48.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. %100 Diamalloy 2002 tozunun yapısından gelen Ni elementi yüksek miktarda, C elementinin yok denecek kadar az seviyede olduğu tespit edilmiştir. Özellikle 3 nolu bölgede alümina bilyadan gelen aşınma ürünleri yoğundur. Oksijen element fazı fazladır. Yüzeyde oksidatif aşınma meydana gelmiştir. Tablo 6.13.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

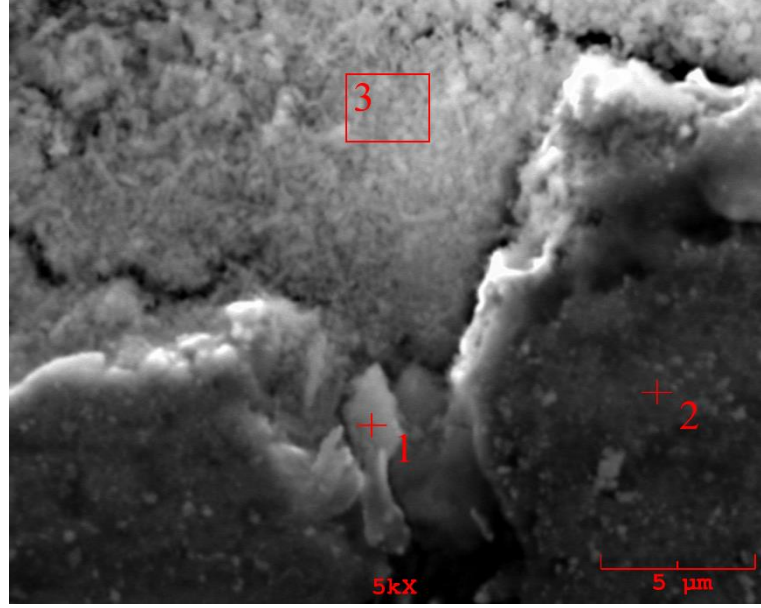


Şekil 6.48. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.13. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,000	0,955	0,029
O	14,203	20,380	32,010
Al	1,140	2,569	8,090
Si	5,884	3,142	1,954
Cr	17,569	15,846	9,699
Fe	3,212	2,522	2,392
Co	0,476	0,436	1,052
Ni	55,099	49,264	38,494
W	2,416	4,887	6,281

Şekil 6.49.'da 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. %100 Diamalloy 2002 tozunun yapısında Ni elementi ihtiva ettiği için analizlerde ortaya çıkmaktadır. 3 nolu bölgede aşındırıcı bilyadan gelen çok yoğun aşınma ürünleri görülmektedir. EDS analizinde Alüminyum elementinin aşındırıcı bilyadan geldiği, Oksijen elementinin ise açık ortamda aşınma kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 6.14.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

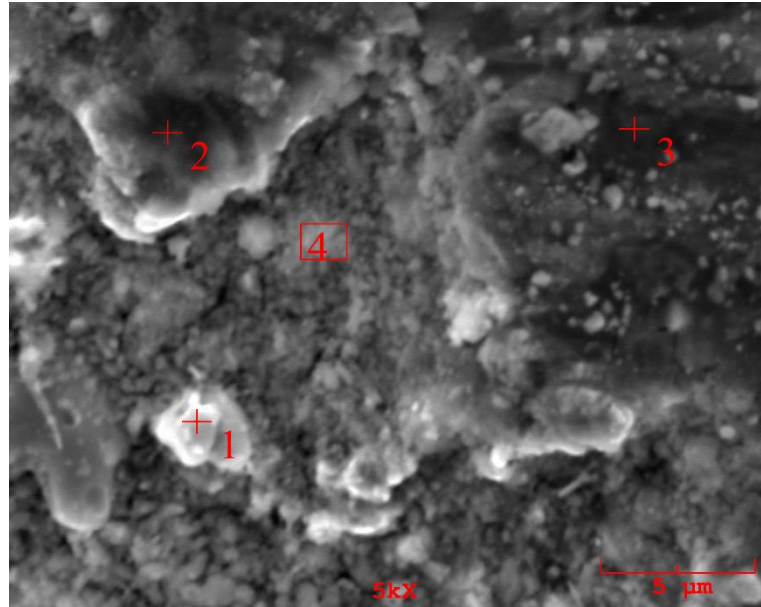


Şekil 6.49. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.14. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	2,741	0,000	2,667
O	18,741	1,650	28,210
Al	3,293	0,384	7,192
Si	1,226	4,908	0,000
Cr	9,319	13,589	6,342
Fe	1,427	2,494	1,719
Co	2,363	0,000	6,970
Ni	49,771	74,054	25,909
W	11,119	2,921	20,991

Şekil 6.50.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 4 nolu bölgede aşındırıcı bilya kalıntılarına rastlanmıştır. Diğer bölgelerden analizlerde kaplama tozları elementlerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca aşındırıcı bilyadan gelen Alüminyum ve açık atmosferde yapılan deneyde oksidatif aşınma kaynaklı yapıda oksijen elementi görülmektedir. Tablo 6.15.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

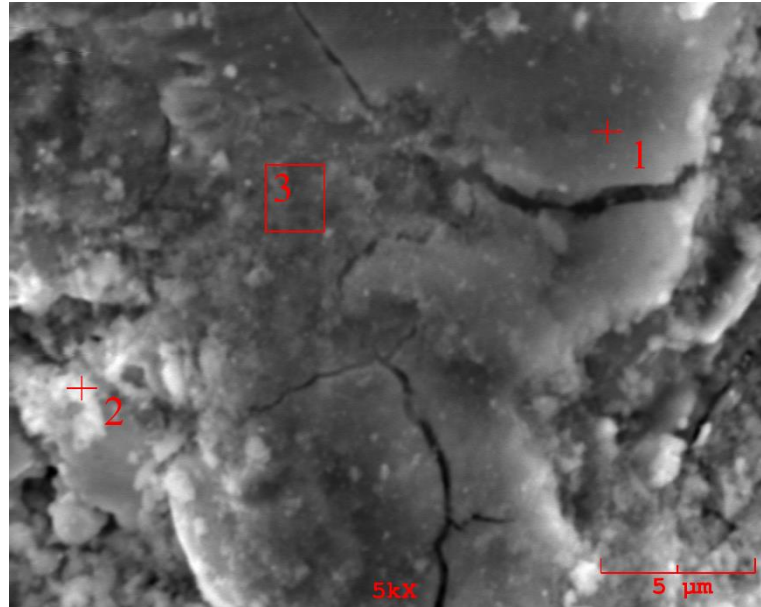


Şekil 6.50. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.15. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	0,000	1,026	0,000	0,000
O	5,573	13,661	11,788	15,117
Al	0,407	3,464	2,797	3,491
Si	5,199	1,922	4,452	1,093
Cr	14,655	13,150	14,165	10,738
Fe	3,219	3,073	3,101	2,321
Co	0,533	2,919	0,873	4,453
Ni	64,361	51,169	59,547	48,135
W	6,053	9,615	3,278	14,651

Şekil 6.51.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Çatlakların olduğu 1 nolu bölgede aşındırıcı bilyadan geldiği düşünülen Alüminyum fazına rastlanmıştır. 2 ve 3 nolu bölgelerde az da olsa alüminyum ürünü vardır ve aşındırıcı bilya ürünleri dağılmıştır. %100 Diamalloy 2002 tozunun kimyasal yapısından gelen Cr ve Ni elementi analizlerde tespit edilmiştir. Tablo 6.16.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

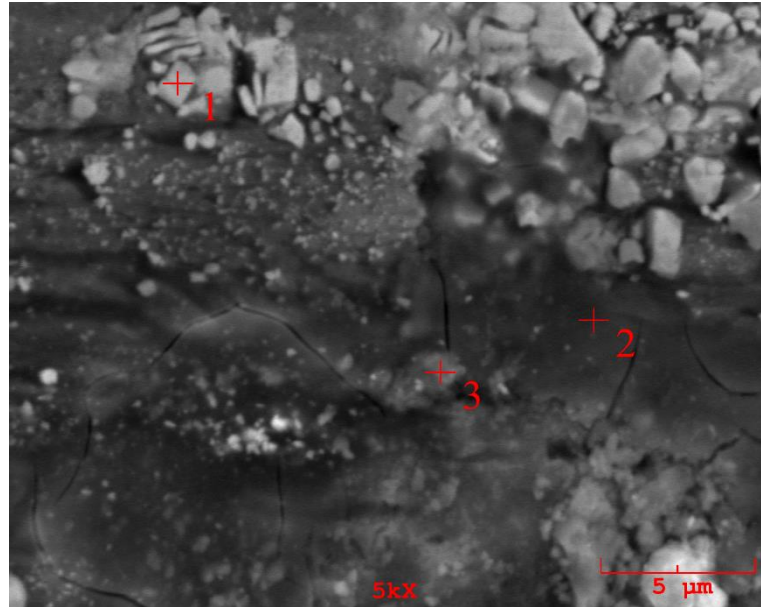


Şekil 6.51. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.16. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,245	2,301	4,046
O	26,665	23,221	12,239
Al	5,903	3,727	2,086
Si	1,651	1,063	3,296
Cr	10,542	10,697	14,184
Fe	2,274	2,527	3,281
Co	1,618	2,076	0,260
Ni	40,324	46,623	58,087
W	10,777	7,767	2,521

Şekil 6.52.'de 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 nolu bölgede yüksek miktarda W elementi tespit edilmiştir. Bu bölgede sert bir faz olduğu düşünülmektedir. 2 ve 3 nolu bölgelerde ise Ni ve Cr elementinin yoğunluğundan bahsedebiliriz. 1 nolu bölgede oksitlenme çok düşük seviyelerde olmasına rağmen 2 ve 3 nolu bölgelerde daha yoğun görülmektedir. Tablo 6.17.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

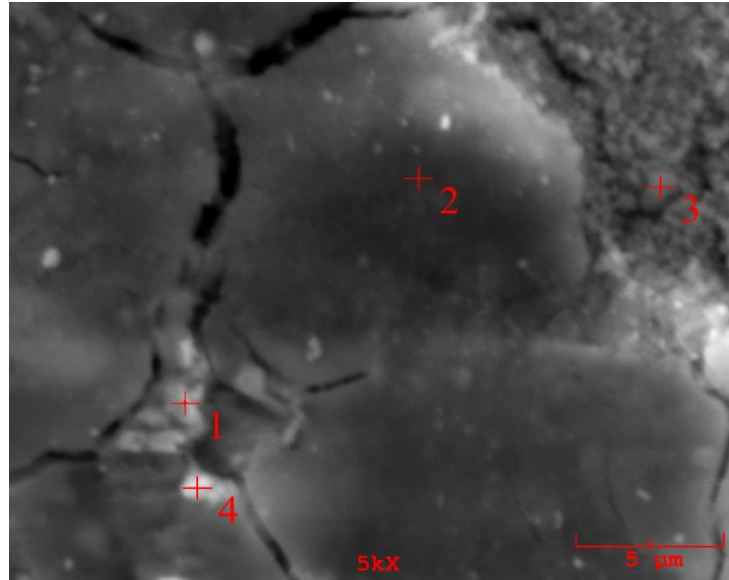


Şekil 6.52. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.17. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	1,342	0,000	0,000
O	0,583	14,352	10,274
Al	0,303	1,263	0,967
Si	0,000	3,527	5,401
Cr	1,715	13,518	12,654
Fe	0,689	3,321	2,621
Co	3,516	0,172	0,487
Ni	10,292	60,594	64,206
W	81,559	3,255	3,391

Şekil 6.53.'te 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 nolu bölgede Co elementi ve yüksek miktarda W elementi tespit edilmiştir. Bu elementler tozun ihtiva ettiği yapıdan gelmektedir. 2, 3 ve 4 nolu bölgelerde ise Ni elementinin yoğunluğu yüksektir. Bununla birlikte Oksijen miktarının da fazla olduğu görülmektedir. Aşındırıcı bilyadan gelen aşınma ürünleri EDS analizinde tespit edilmiştir. Özellikle 3 nolu bölgede bu aşınma ürünlerinin varlığından bahsedebiliriz. Tablo 6.18.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

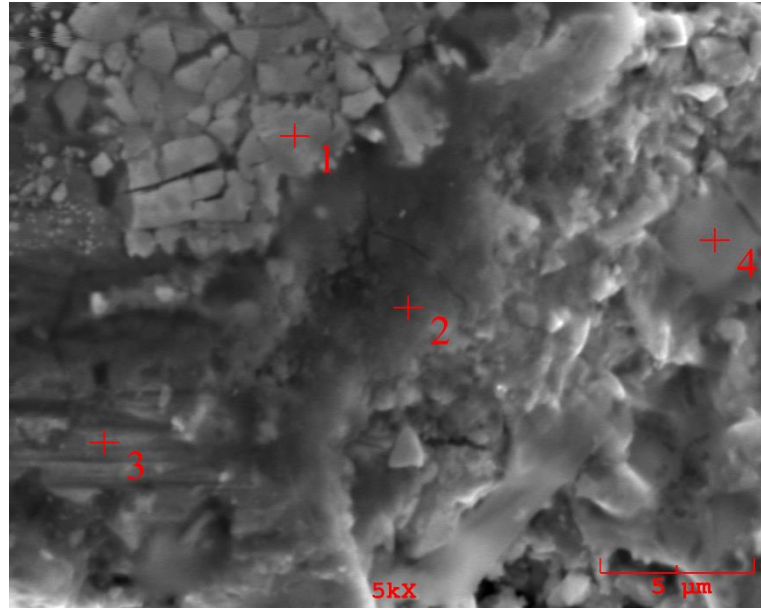


Şekil 6.53. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.18. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	3,213	2,361	0,194	1,862
O	5,568	31,948	25,916	24,360
Al	0,225	8,918	5,217	2,625
Si	0,000	1,033	2,656	0,000
Cr	1,592	7,974	13,411	9,126
Fe	1,094	1,790	2,434	1,624
Co	18,567	3,652	1,207	8,449
Ni	4,590	31,347	41,088	36,743
W	65,151	10,978	7,877	15,212

Şekil 6.54.'te 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 nolu bölgede çok yüksek miktarda W elementi tespit edilmiştir. 2 ve 4 nolu bölgelerde oksitlenme miktarının arttığı gözlemlenmiştir. 3 nolu bölgede ise yüksek miktarda Ni elementi tespit edilmiştir. Aşındırıcı bilyadan gelen aşınma ürünleri EDS analizinde görülmektedir. Yüzeyde kopmalar da mevcuttur. Tablo 6.19.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

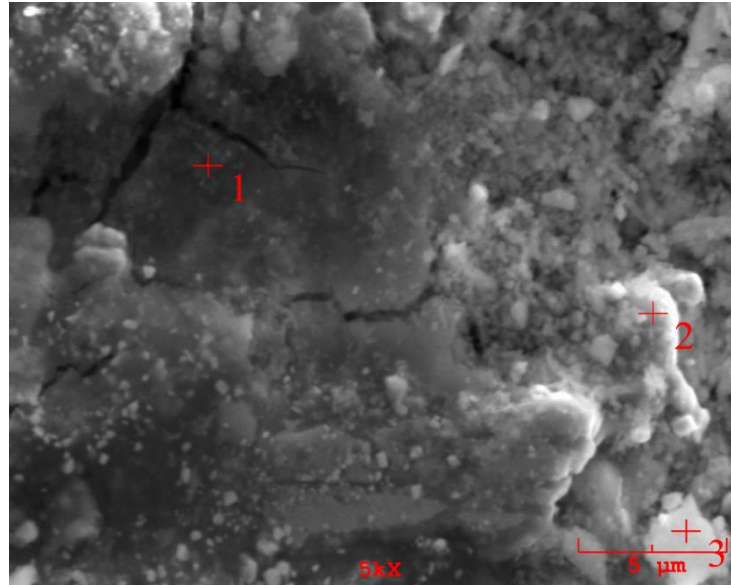


Şekil 6.54. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.19. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Diamalloy 2002 kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	3,899	1,326	0,000	9,030
O	0,062	30,332	3,680	30,217
Al	0,757	5,805	0,143	0,437
Si	0,000	0,000	5,040	0,000
Cr	0,863	4,638	17,750	1,276
Fe	0,669	1,345	3,204	0,664
Co	1,707	5,873	0,395	15,954
Ni	1,652	22,300	67,700	3,764
W	90,390	28,380	2,087	38,659

Şekil 6.55.'te 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Yapıda C elementine rastlanılmamıştır. Aşınma esnasında; kullanılan aşındırıcı bilyadan yapıya geçen Al elementi ve açık ortamda gerçekleşen aşınmadan dolayı ortaya çıkan O elementi yapıda gözlemlenmektedir. 3 bölgede de ağırlıklı olarak Ni ve Co elementlerine rastlanılmıştır. Tablo 6.20.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

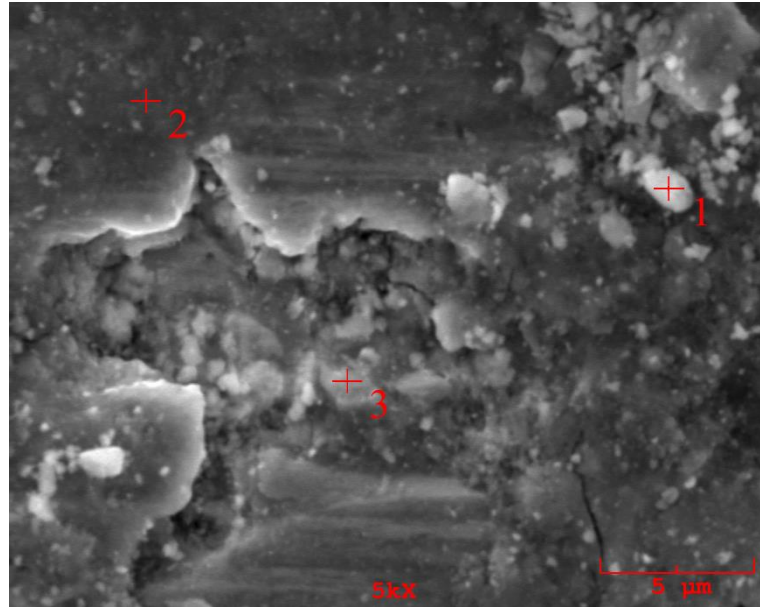


Şekil 6.55. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.20. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,000	0,000	0,000
O	26,539	15,544	25,721
Al	3,832	2,089	6,035
Si	0,896	3,956	0,000
Cr	9,793	19,920	12,030
Fe	1,627	2,696	1,035
Co	28,211	5,303	16,934
Ni	25,528	46,513	29,461
W	3,575	3,978	8,784

Şekil 6.56.'da 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 nolu bölgede yok denecek kadar az C elementi görülmüştür. 3 nolu bölgede yüksek yoğunlukta Ni elementi mevcuttur. Al elementinin miktarı D numunelerinde daha yüksektir. Tablo 6.21.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

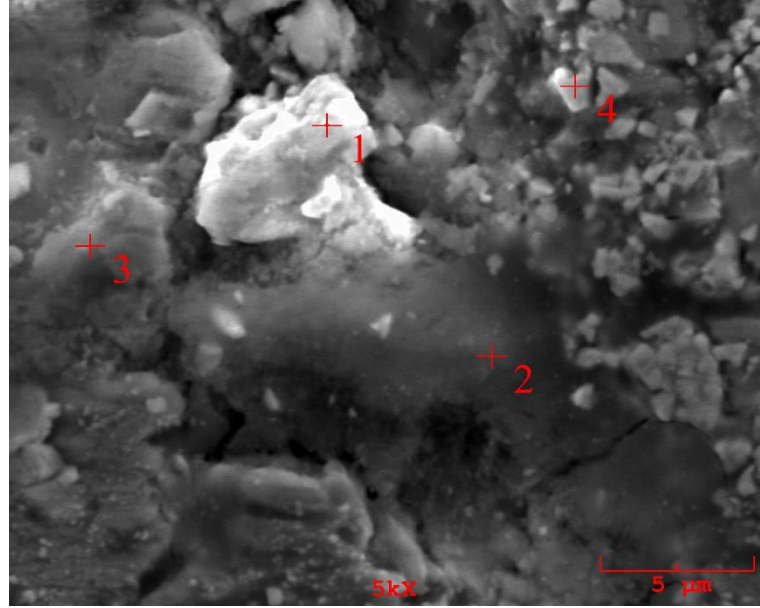


Şekil 6.56. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.21. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,709	0,000	0,000
O	31,985	16,398	9,367
Al	6,205	8,780	1,650
Si	0,967	0,296	5,405
Cr	12,405	15,712	15,521
Fe	0,618	0,319	2,679
Co	16,155	26,235	3,359
Ni	26,732	27,250	61,468
W	4,225	5,010	0,551

Şekil 6.57.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Parlak görünen 1 nolu bölgede Ni elementinin yoğunudur. 4 nolu bölgede ise çok yüksek miktarda W elementinin bulunurken oksijen miktarının çok az olduğu analizlerde tespit edilmiştir. Tablo 6.22.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

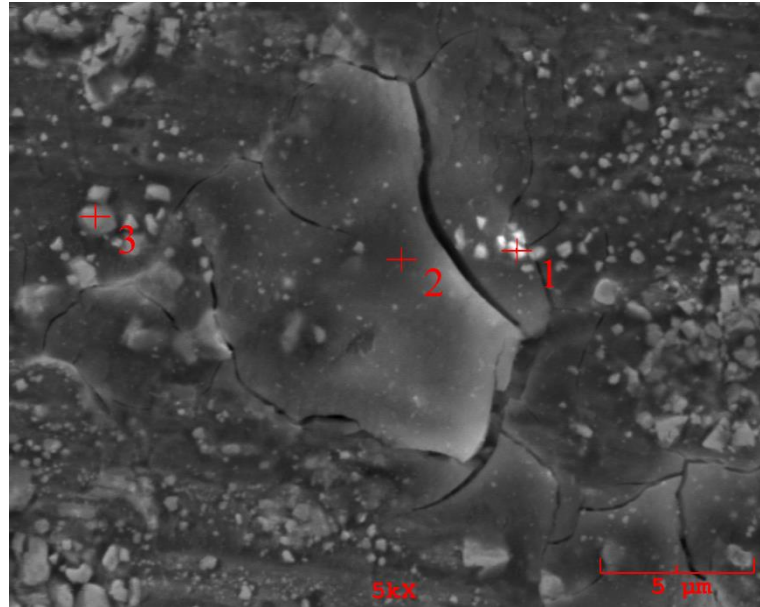


Şekil 6.57. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.22. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	0,000	4,072	4,485	1,524
O	6,876	34,038	13,743	3,222
Al	3,389	5,060	1,764	0,534
Si	5,497	0,000	4,446	0,000
Cr	17,473	8,924	12,992	1,215
Fe	2,430	1,196	2,574	0,548
Co	4,226	16,395	3,699	1,432
Ni	58,756	17,733	53,307	3,299
W	1,352	12,580	2,991	88,226

Şekil 6.58.'de 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 ve 3 nolu bölgede ise çok yüksek miktarda W elementinin bulunurken oksijen miktarının az olduğu analizde tespit edilmiştir. Numune yapısında hiç Si elementine rastlanılmamıştır. Tablo 6.23.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

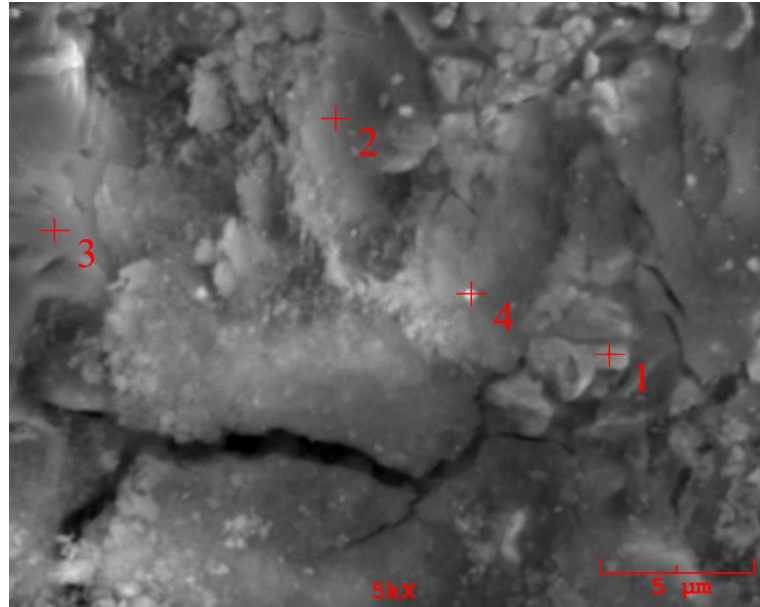


Şekil 6.58. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.23. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	4,350	0,000	2,396
O	14,745	26,381	1,046
Al	2,508	5,240	0,286
Si	0,000	0,000	0,000
Cr	4,133	14,264	0,946
Fe	0,419	1,454	0,796
Co	3,926	12,011	1,423
Ni	10,247	31,377	5,285
W	59,672	9,272	87,822

Şekil 6.59.'da 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 nolu bölgede yüksek yoğunlukta W elementi mevcuttur. 2, 3 ve 4 nolu bölgelerde ise Ni elementinin yoğunluğu görülmektedir. Tablo 6.24.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

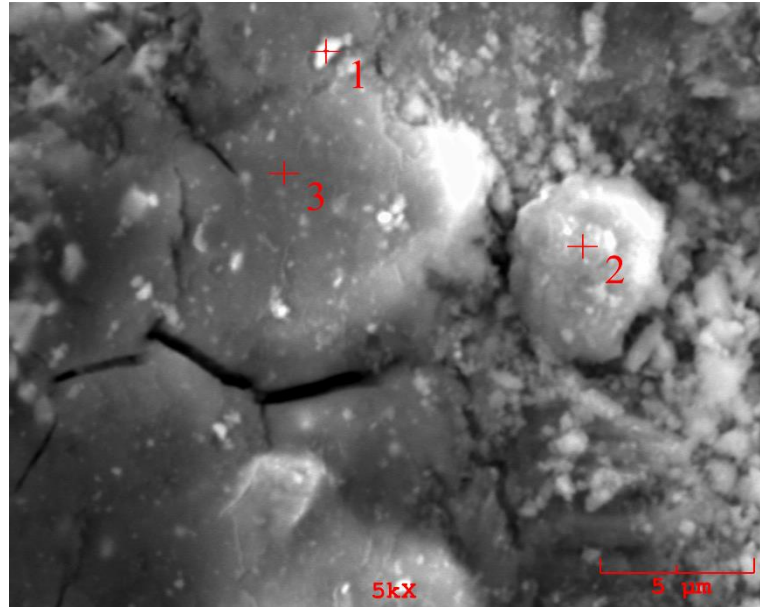


Şekil 6.59. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.24. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	4,646	0,396	0,000	2,108
O	0,790	24,847	3,326	24,981
Al	0,215	4,378	1,015	5,336
Si	0,000	0,000	6,877	0,000
Cr	0,699	12,661	15,646	9,636
Fe	0,353	1,666	2,297	0,796
Co	2,675	9,415	1,360	12,434
Ni	5,526	39,638	69,479	23,241
W	85,096	7,000	0,000	21,468

Şekil 6.60.'da 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu bölgelerde oksitlenmenin yüksek olduğu görülmektedir. EDS görüntüsünden de anlaşılacağı üzere oksijen elementinin yüksek olduğu bölgeler daha beyaz gözükmemektedir. Toz karışımının içerdiği kimyasal yapıdan gelen Ni, Co, W analizlerde görülmektedir. Bunun yanı sıra Oksijen ve Alüminyum miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Tablo 6.25.'te EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

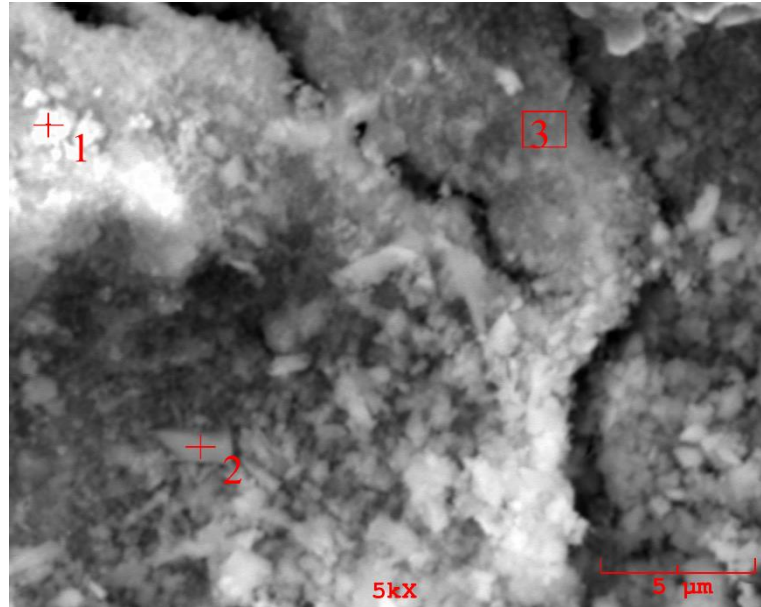


Şekil 6.60. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.25. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,000	0,000	0,000
O	32,949	15,477	24,904
Al	9,907	10,814	12,020
Si	0,389	0,000	0,000
Cr	9,183	16,408	9,926
Fe	0,587	0,552	0,874
Co	10,279	24,945	12,150
Ni	24,943	28,089	30,716
W	11,762	3,716	9,411

Şekil 6.61.'de 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu bölgelerde oksitlenmenin yüksek olduğu görülmektedir. EDS görüntüsünden de anlaşılacağı üzere oksijen elementinin yüksek olduğu bölgeler daha beyaz gözükmektedir. Tablo 6.26.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

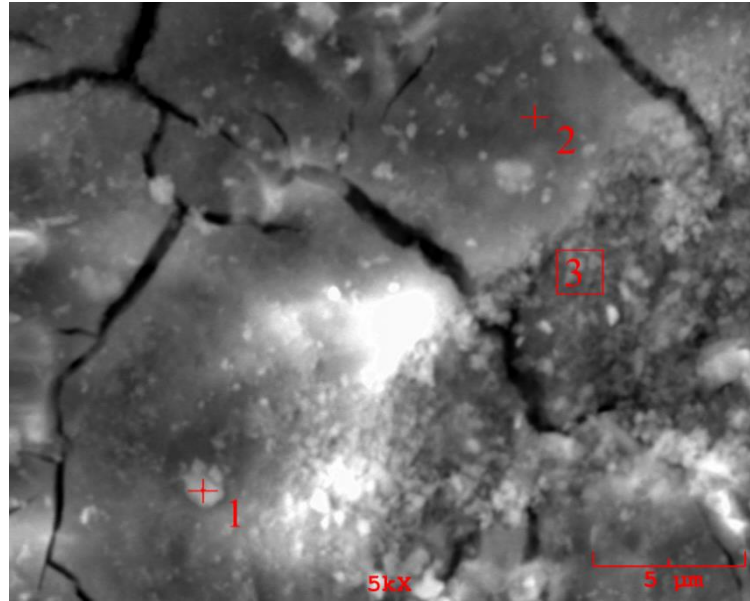


Şekil 6.61. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.26. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,337	1,589	1,015
O	32,225	32,247	29,776
Al	6,431	5,887	4,835
Si	0,017	0,111	0,375
Cr	10,474	10,826	11,564
Fe	1,057	1,396	1,153
Co	12,157	12,425	14,593
Ni	27,731	29,343	30,217
W	9,570	6,176	6,473

Şekil 6.62.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu bölgelerde oksitlenmenin yüksek olduğu görülmektedir. Toz karışımının içerdiği kimyasal yapıdan gelen Ni, Co, W analizlerde görülmektedir. Bunun yanında aşındırıcı bilyadan gelen Alüminyum elementi de analizlerde gözlemlenmiştir. Tablo 6.27.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

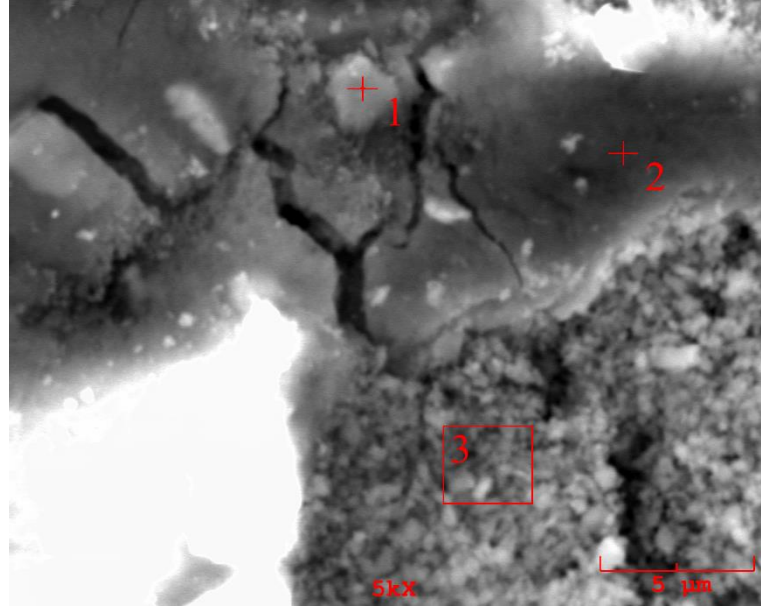


Şekil 6.62. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.27. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	1,592	0,945	0,608
O	37,188	31,112	29,709
Al	7,056	3,860	5,773
Si	0,000	0,000	0,305
Cr	8,671	6,592	10,413
Fe	0,905	0,755	1,211
Co	11,210	13,366	11,782
Ni	22,416	20,246	28,600
W	10,961	23,124	11,598

Şekil 6.63.'te 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu bölgelerde oksitlenmeye bağlı Oksijen elementinin yüksek olduğu görülmektedir. Toz karışımının içerdiği kimyasal yapıdan gelen Ni, Co, W, Cr analiz sonuçlarında görülmektedir. Bunun yanında aşındırıcı bilyadan gelen Alüminyum elementi de analizlerde gözlemlenmiştir. Tablo 6.28.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

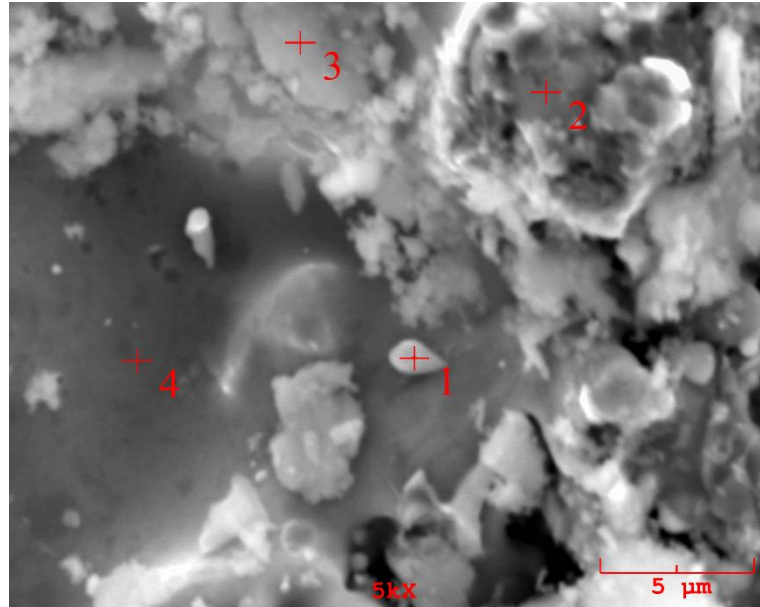


Şekil 6.63. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.28. 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	0,000	1,383	2,992
O	15,560	28,173	31,265
Al	9,490	7,609	8,113
Si	0,439	0,139	0,444
Cr	16,842	11,258	9,486
Fe	0,681	1,586	0,705
Co	25,299	12,551	10,997
Ni	30,003	29,917	26,774
W	1,686	7,384	9,223

Şekil 6.64.'te 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 4 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 nolu bölgelerde Ni elementinin yoğun olduğu analiz sonuçlarından elde edilmiştir. 3 nolu bölgede O elementi miktarı diğer bölgelere göre daha fazladır. Ayrıca kaplama yapısında diğer elementlere göre Cr elementinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında aşındırıcı bilyadan gelen Alüminyum elementi miktarında azalma gözlemlenmiştir. Tablo 6.29.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.

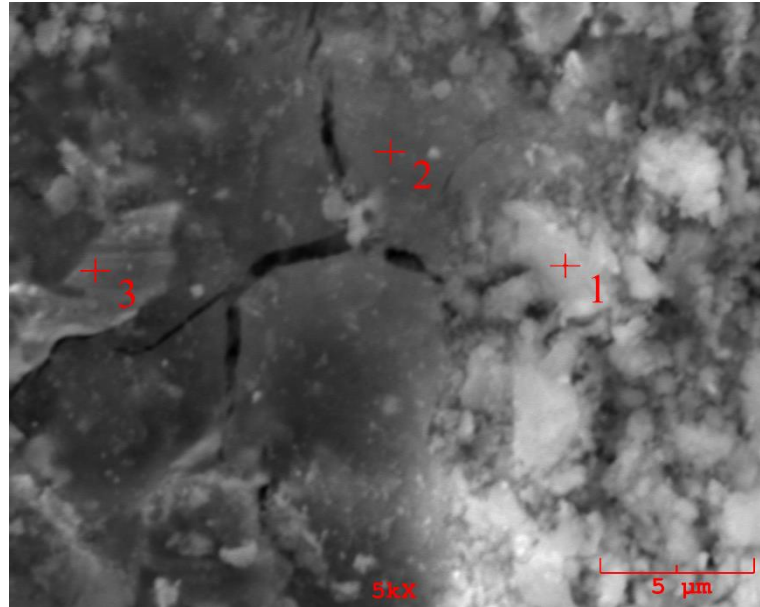


Şekil 6.64. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.29. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3	4
C	0,186	0,000	1,233	0,000
O	1,200	1,830	17,703	1,334
Al	0,040	0,169	2,685	0,780
Si	1,584	5,253	2,672	0,158
Cr	17,377	17,046	13,141	14,868
Fe	3,644	3,817	3,046	3,535
Co	0,211	0,343	6,456	0,198
Ni	73,825	71,541	46,219	77,709
W	1,933	0,000	6,845	1,419

Şekil 6.65.'te 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 ve 2 nolu bölgelerde Oksijen elementinin yoğun olduğu görülmektedir. 3 nolu bölgede ise yoğun miktarda Ni elementinin varlığı analiz sonuçlarından çıkarılabilmektedir. Tablo 6.30.'da EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir

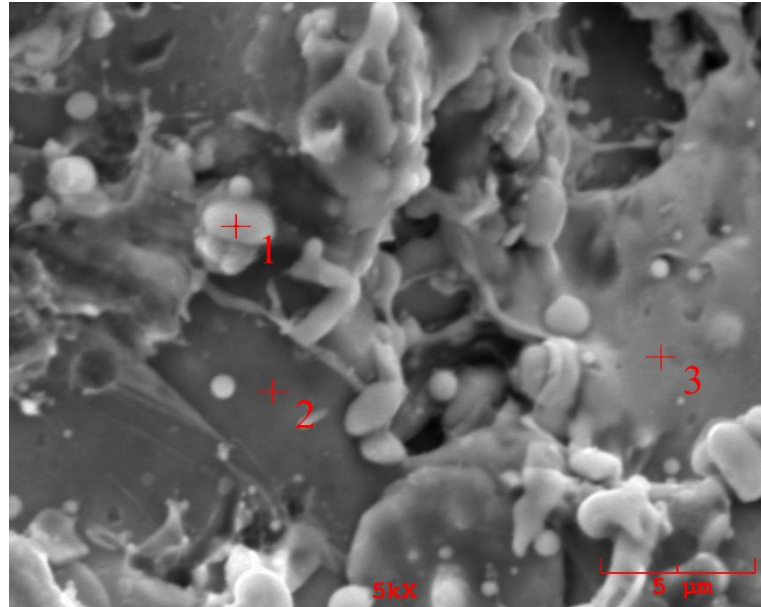


Şekil 6.65. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.30. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	4,012	3,306	0,000
O	37,237	28,076	1,690
Al	5,155	4,172	0,185
Si	0,266	0,000	6,859
Cr	10,232	9,519	16,346
Fe	1,097	1,082	3,357
Co	9,554	18,939	0,234
Ni	26,206	22,159	69,311
W	6,241	12,746	2,018

Şekil 6.66.'da 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı numunesinin 3 farklı bölgesinden EDS analizi gerçekleştirilmiştir. 1 ve 2 nolu bölgelerde Ni elementinin yoğun olduğu analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Tüm bölgelerde Oksijen ve Alüminyum elementinin miktarının düşük olduğu görülmektedir. 3 nolu bölgede W ve Co elementinin yoğunluğu söz konusudur. Tablo 6.31.'de EDS analizi yapılan numunenin yapısındaki elementler gösterilmiştir.



Şekil 6.66. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 6.31. 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 400 metre mesafede %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

Element, % wt	1	2	3
C	2,199	2,850	4,852
O	2,407	2,616	1,235
Al	0,142	0,041	1,141
Si	7,320	5,974	0,000
Cr	15,251	16,239	3,812
Fe	4,069	3,187	0,733
Co	0,851	0,840	30,870
Ni	66,497	66,969	6,454
W	1,264	1,284	50,903

6.8. Pürüzlülük

%100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozlarına (D numunesi) yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile 2 ve 3 boyutlu ölçümler gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu ölçümler aşınma yüzeylerinin topografik yapısının aşınmadan etkileşim mekanizmalarının daha iyi anlaşılması için yapılmıştır.

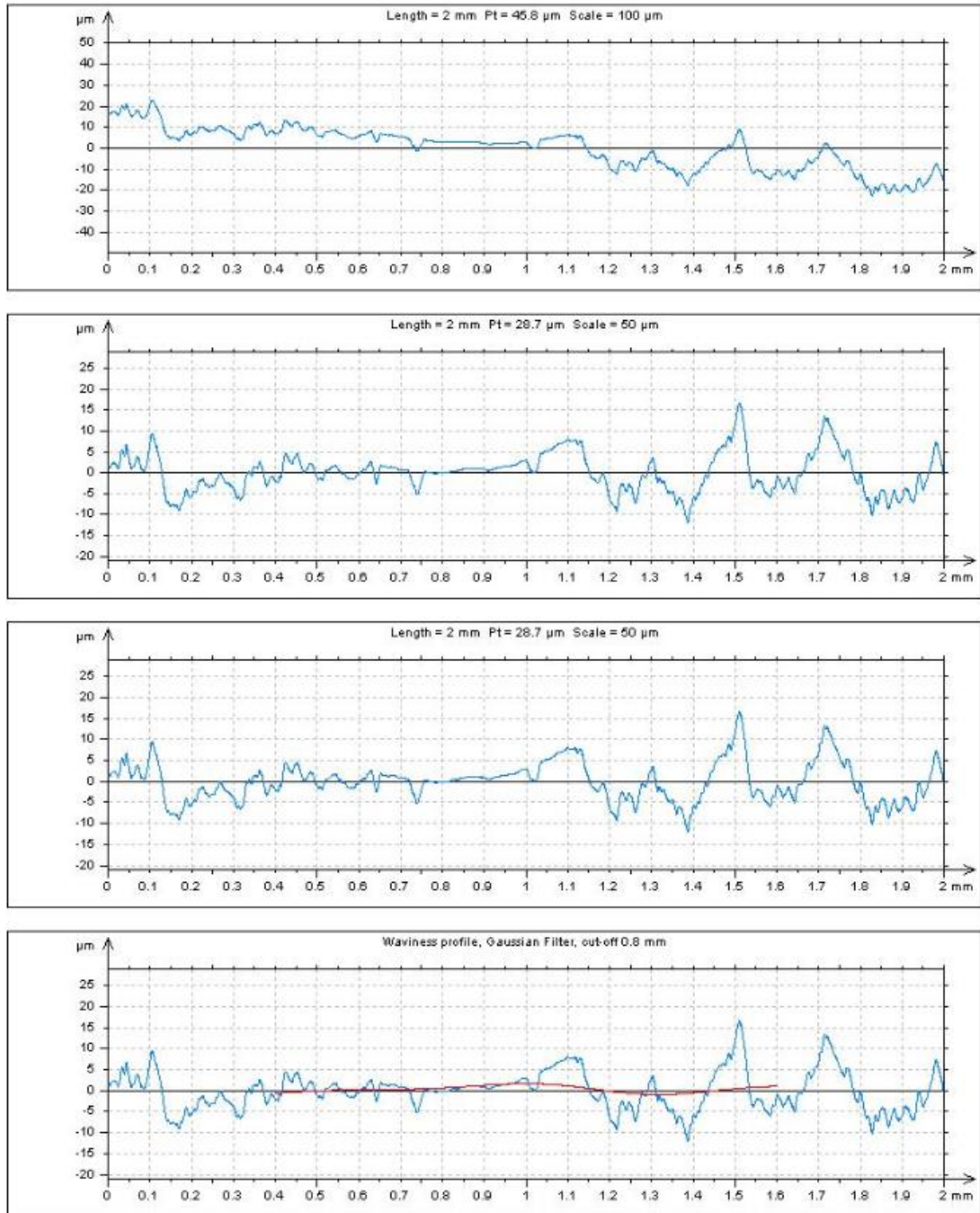
%100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kaplamasında, %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozlarına (D numunesi) nispeten daha pürüzsüz kaplama yüzeyleri elde edilmiştir. Bu durumu C numunesinin içeriği %100 saf tozdan kaplama yapıldığı için D numunesi toz karışımına göre daha iyi karışarak numune yüzeyine kaplama gerçekleştirilmiş şeklinde açıklanabilir. Kaplama sonrasında pürüzsüz yüzeyler elde edebilmek küçük tane boyutları ile elde edilebilmektedir.

Majumdar ve Sharma'nın çalışmasında genel olarak HVOF metodunda püskürtme esnasında çok yüksek taşıyıcı gaz hızına sahip olması nedeniyle, tanecik boyutları daha küçük ve pürüzsüz yüzeyler elde edilebildiği belirtmiştir [59].

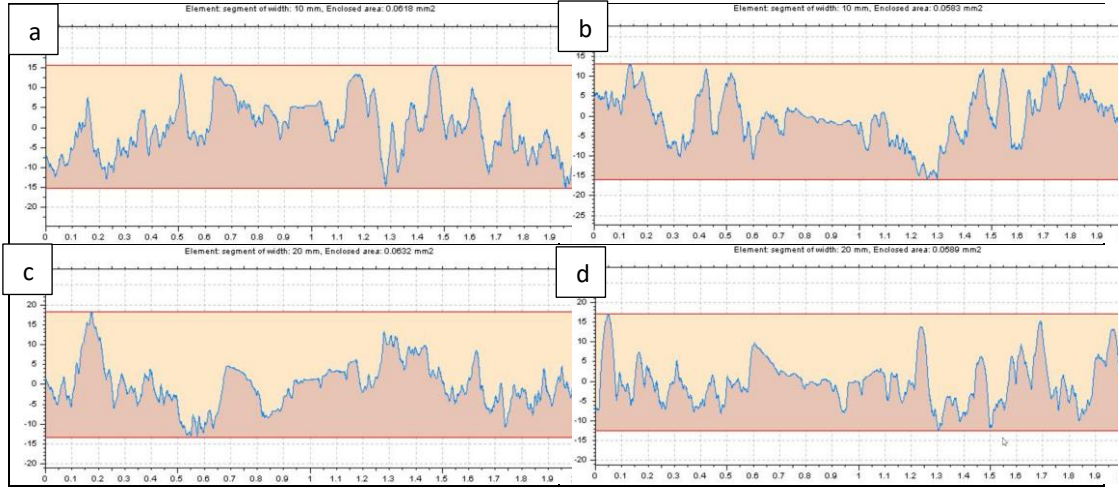
Şekil 6.67.'de %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 100 μm 'de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü verilmiştir.

C numunesinin parça kopmaları fazla olmadığı için 2 boyutlu görüntüsü daha girintili çıkıntılıdır. İz görüntülerinden de görüleceği üzere yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır.

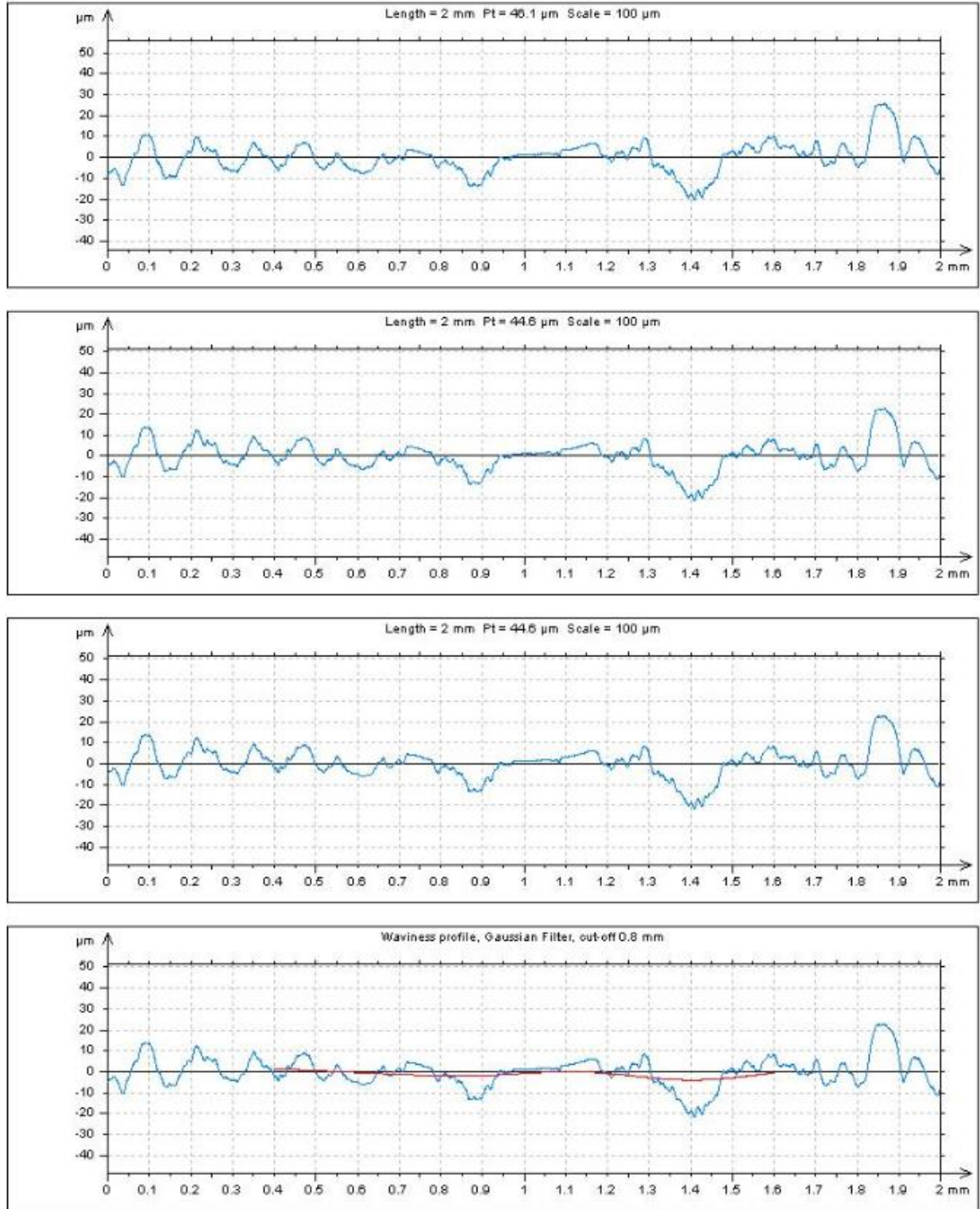
C numunesine ait aşınma izlerinin 2 boyutlu pürüzlülük değerleri Şekil 6.68.'de verilmektedir.



Şekil 6.67. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 100 μm 'de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü

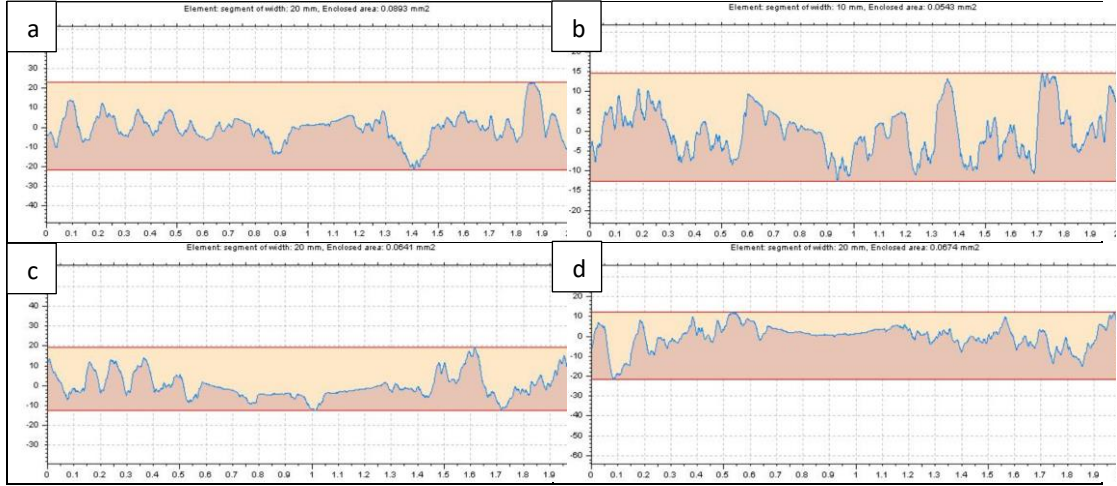


Şekil 6.68. %100 Diamalloy 2002 tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü, a) 50 μm , b) 100 μm c) 100 μm d) 100 μm



Şekil 6.69. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan numunenin 100 μm'de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü

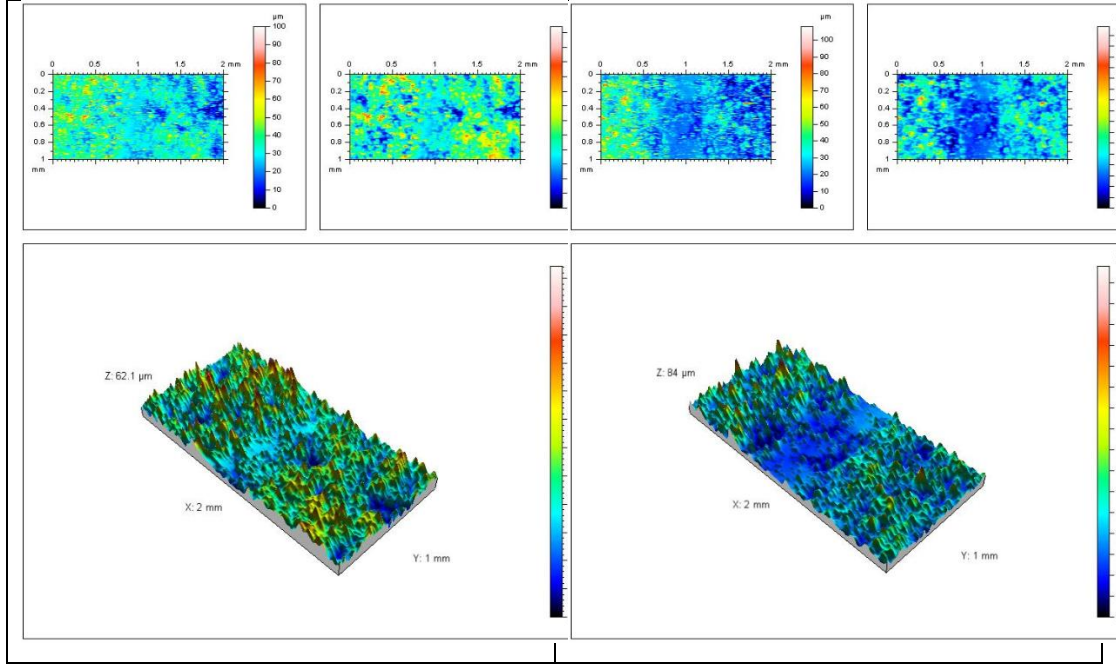
Şekil 6.69.'da %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan numunenin 100 μm'de iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.70. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük görüntüsü , a) 100 μm , b) 100 μm c) 100 μm d) 100 μm

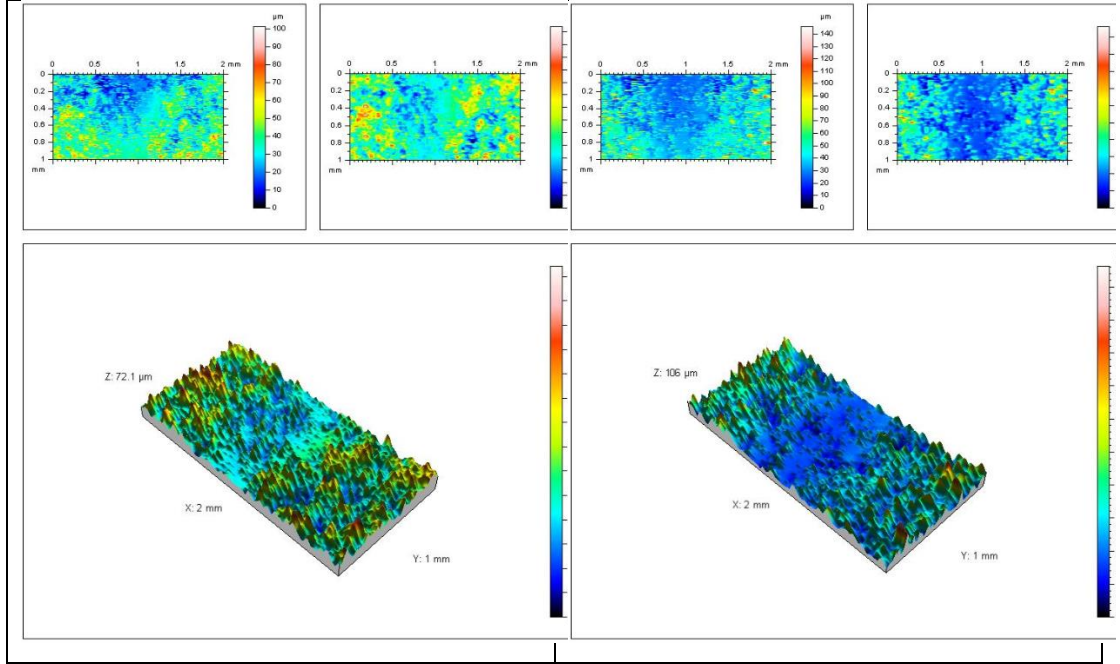
2 boyutlu yüzey pürüzlülük ölçümleri değerlendirildiğinde D numunesinin yükselti farklılıkları daha fazladır. Aşınmanın daha fazla olması buna sebep olmuş olabilir. Yüzeyde kopmalar ve deformasyon daha fazla meydana gelmiştir. D numunesine ait aşınma izlerinin 2 boyutlu pürüzlülük değerleri Şekil 6.70.'de verilmektedir.

3 boyutlu görüntülere bakıldığında yer yer malzeme kopmaları görünmektedir. Renk skalasından da görüleceği üzere kırmızı (derin çukurlar) hemen hemen hiç gözükmemektedir. Bu da aşınmanın çok şiddetli olmadığı, çok derinlere inmediği ve kaplama yapısını çok bozmadığının bir emaresi olabilir. Yer yer abrazif aşınma izleri görünmektedir. Malzeme kopmaları ve yüzeyde süreksizlikler mevcuttur. Az da olsa bazı bölgelerde oyuklar meydana gelmiştir. Pürüzlülük değerleri homojen değildir. Bu da HVOF kaplamaların aşınma davranışları için olağan bir görüntüdür. C numunesinin aşınma sonrası farklı bölgelerinden alınan 3 boyutlu görselleri Şekil 6.71.'de verilmiştir.



Şekil 6.71. %100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü

D numunesinde 3 boyutlu analizlerine bakıldığında C numunesi ile kıyaslandığında yüzeyde abrazyif aşınmaların olduğu ve yüzeyden kopmaların meydana geldiği görülmektedir. Az da olsa yer yer kırmızı (derin) aşınma izlerinin olduğu görülmüştür. C numunesi ile karşılaştırıldığında aşınma yüzeyde daha fazla deformasyon oluşturmuştur. 3 boyutlu görüntülerden D numunesinin aşınma sonrası farklı bölgelerinden alınan 3 boyutlu görselleri Şekil 6.72.'de verilmiştir.



Şekil 6.72. %75 Diamalloy 2002 ve %25 Diamalloy 4700 toz karışımı (D numunesi) kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE İRDELEME

7.1. Giriş

Bu deneysel çalışmada, AISI 304L paslanmaz çelik yüzeylerine HVOF termal püskürtme yöntemiyle farklı oranlarda alaşım tozları kaplanarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. İlk numunede Sulzer Metco %100 Diamalloy 2002 tozu, ikinci numunede ise Sulzer Metco %75 Diamalloy 2002 - Sulzer Metco (Oerlikon) %25 Diamalloy 4700 toz karışımları kullanılarak paslanmaz çelik yüzeylerine kaplama yapılmıştır.

HVOF ile kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin yüzey kaplamalarından optik mikroskop ile kesit görüntüleri alınmış, XRD analizleri, mikro sertlik ölçümleri yapılmış, aşınma testi yapılmıştır. Aşınma deneyleri, yük (3N, 5N), hız (0,1 – 0,2 – 0,4 m/sn) ve mesafe (200-400 m) altında yapılmıştır. Aşınma sonrası pürüzlülük ölçümleri yapılmış, SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir.

7.2. Sonuçlar

Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

1. Optik görüntülerden % 100 Diamalloy 2002 tozunun kaplama kalınlığı 256 μm olarak ölçülmüştür. %75 Diamalloy 2002- %25 Diamalloy 4700 toz karışımlarının kaplama sonrası tabaka kalınlığı ise 350 μm olarak ölçülmüştür. Aynı parametrelerde kaplanan numunelerin farklı kaplama kalınlıklarına sahip olma durumu toz birleşim oranları ile bağdaştırılabilir.
2. Kaplama sonrası numunelerin X ışınları analizlerinde WC, W_2C , Cr_2Ni_3 ve Co fazlarına rastlanılmıştır. %75 Diamalloy 2002- %25 Diamalloy 4700 toz karışımında ayrıca AlNi_3 fazı oluşmuştur. Her iki numunede de sert faz olan WC ve W_2C fazları ortaya çıkmıştır. %100 Diamalloy 2002 tozuna ait

kaplamada daha yüksek oranda bahsi geçen fazlar mevcuttur. Bu sert fazlar kaplama yüzeyinin mekanik özelliklerini (aşınma ve sertlik) geliştirmiştir. Literatürde de bu konuda pek çok çalışma görülmüştür.

3. Numunelerin kaplama kesit görüntüleri değerlendirildiğinde %75 Diamalloy 2002- %25 Diamalloy 4700 toz karışımında daha poroz bir kaplama meydana gelmiştir. Bu durum karışım tozlarda boyut ve yapı farklılığı sebebiyle homojen bir şekilde bazen ergimeme problemleri oluşturmasıdır. Bazen ergimeme problemleri deneysel çalışma esnasında kullanılan cihaz kaynaklı da olabilmektedir.
4. Kullanılan paslanmaz çelik altlık malzemesinin sertliği yaklaşık 200 HV gelmiştir. Kaplama sonrası %100 Diamalloy 2002 tozunun ortalama kaplama sertlik değeri 1500 HV gelirken, %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozunun ortalama kaplama sertlik değeri yaklaşık 1000 HV gelmiştir. Sertlikler arasında oluşan farkın toz bileşen farkından olduğu görülmüştür. %100 Diamalloy 2002 numunesinde WC içeriğinden dolayı yapısına yumuşak fazların girmemesi nedeniyle sertlik değeri daha yüksek kalmıştır. Gözeneklilik arttıkça sertlik azalmaktadır.
5. Aşınma deneyleri; 200 m ve 400 m yol ve 0,1 m/s, 0,2 m/s ve 0,4 m/s hız, yük ise 3N ve 5N'da alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan aşınma deneyi neticesinde 75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 toz karışım numunesinde en yüksek iz genişliği (781 μm) ve sürtünme katsayısı (0,763 μm) 3N yük altında 0,4 m/s hızda ve 200 metrede elde edilmiştir. %100 Diamalloy 2002 numunesinde en yüksek iz genişliği (590 μm) ve sürtünme katsayısı (0.666 μm) 3N yük altında 0,4 m/s hızda ve 200 metrede ulaşılmıştır. Aynı mesafede yük arttırıldığında ise iz genişliklerinin düştüğü görülmüştür. Dolayısıyla aşınma miktarı da azalmıştır.
6. Aşınma numunelerinde hız artışı sürtünme katsayı değerlerini lineer olarak arttırmaktadır.

7. Aşınma testlerinin ardından % 100 Diamalloy 2002 tozu (C numunesi) ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozlarının SEM görüntüleri incelendiğinde mikroçatlaklar, poroziteler ve yüzeyde abrazif aşınmalar (yüzeyden kopmalar) görünmüştür. Sert bir kaplama olduğu için bu olağan bir durumdur. Aşınma yapılan numunelerde aşınma yol mesafesi arttırıldığında kaplanan yüzeyde yer yer yorulma meydana gelmiştir. Mesafenin artması ile bu yorulmanın görülmesi beklenen bir durumdur.
8. Aşınma deneyi sonrası yapılan EDS analizlerinde aşındırıcı bilyadan kopan parçaların yapıya sıvanması sonucu yapıda geçtiği tespit edilmiştir.
9. Aşınma deney çalışması açık ortamda yapıldığı için yüzeylerde oksidatif aşınma meydana gelmiştir. Oksitlenmenin fazla olması aşınma kaybının artmasına sebep olacaktır.
10. %100 Diamalloy 2002 tozu ve %75 Diamalloy 2002 - %25 Diamalloy 4700 karışım tozlarının aşınma yüzeylerinin topografik yapısı değerlendirildiğinde; %100 Diamalloy 2002 tozu kaplamasında nispeten daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. %100 saf tozdan kaplama yapıldığında homojenlik tam sağlanmış ve karışım toza kaplamalara göre daha pürüzsüz yüzeyler oluşmuştur.
11. Pürüzlülük numunelerinde yer yer kopmalar ve abrazif aşınmalar bulunmuştur.
12. Pürüzlülük değerleri homojen değildir.

Sonuç olarak; Deneysel çalışma sonunda HVOF püskürtme yöntemiyle yüzeyine kaplama yapılan AISI 304 paslanmaz çeliklerinin aşınma dayanımları artırılmış ve mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Kısa bir sürede, ekonomik bir şekilde HVOF püskürtme yöntemi ile kaplanabilen ucuz çeliklerin yüzeyleri iyileştirilerek ekonomik açıdan avantajlı şekilde kullanılabilir.

7.3. Öneriler

- Toz karışımlarının oranları değiştirilerek inceleme yapılabilir.
- Kaplama yüzeylerinde korozyon davranışları incelenebilir.

- Aşınma deney parametreleri değiştirilerek (yol, hız, zaman) test sonuçları kıyaslanabilir.
- Farklı HVOF kaplama parametreleri kullanılarak kıyaslama yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bolelli, G., Colella, A., Lusvarghi, L., Puddu, P., Rigon, R., Sassatelli, P., Testa, V., Properties of HVOF-sprayed TiC-FeCrAl coatings, *Wear* 418–419, 36–51, 2019.
- [2] Adarsha, H., Ramesh, C. S., Nair, N., Karisiddeshwaraswamy, K. M., Chaturvedi, A., Investigations on the Abrasive Wear Behaviour of Molybdenum Coating on SS304 and A36 using HVOF Technique, *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 25667–25676. 2017.
- [3] Koga, G.Y., Wolf, W., Schulz, R., Savoie, S., Bolfarini, C., Kiminami, C.S., Botta, W.J., Corrosion and wear properties of FeCrMnCoSi HVOF coatings, *Surface & Coatings Technology* 357, 993–1003, 2019.
- [4] Schulz, C., Schlafer, T., Charrault, E., Hall, C., Erosive Wear Testing of Laser Clad and HVOF Coatings for Drilling in Mining, *Journal of Thermal Spray Technology*, 29, 520–529, 2020.
- [5] Davis J.R., *Surface Engineering for Corrosion and Wear*, ASM International, Materials Park, Ohio, 2001.
- [6] Lavigne, S., Pougoum, F., Savoie, S., Martinu, L., Klemberg-Sapieha, J.E., Schulz, R., Cavitation erosion behavior of HVOF CaviTec coatings, *Wear* 386–387, 90–98, 2017.
- [7] Hong, S., Wu, Y., Li, G., Wang, B., Gao, W., Ying, G., Microstructural characteristics of high-velocity oxygen-fuel (HVOF) sprayed nickel-based alloy coating, *J. Alloys Compd.* 581, 398–403, 2013.
- [8] Oksa, M., Turunen, E., Suhonen, T., Varis, T., Hannula, S. P., Optimization and characterization of high velocity oxy-fuel sprayed coatings: techniques, materials, and applications, *Coatings* 1, 17–52, 2011.
- [9] Wang, Y., Sayre, G., Commercial thermal barrier coatings with a double-layer bond coat on turbine vanes and the process repeatability, *Surface & Coatings Technology* 203, 2186–2192, 2009.

- [10] Zheng, Z.B., Zheng, Y.G., Sun, W.H., Wang, J.Q., Erosion–corrosion of HVOF-sprayed Fe-based amorphous metallic coating under impingement by a sand-containing NaCl solution, *Corros. Sci.* 76, 337–347, 2013.
- [11] Özorak, E., Weldox Çeliği Yüzeyinde HVOF İle Üretilen Kaplamaların Mikroyapı Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [12] Ayday, A., Elektrolitik Plazma Teknolojisi ile Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesinin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Doktora Tezi, 2013.
- [13] Pierlot, C., Pawlowski, L., Bigan, M., Chagnon, P., Design of experiments in thermal spraying: A review, *Surface & Coatings Technology* 202 (2008) 4483–4490.
- [14] Billard, A., Maury, F., Aubry, P., Balbaud-Célérrier, F., Bernard, B., Lomello, F., Maskrot, H., Meillot, E., Michau, A., Schuster, F., Emerging processes for metallurgical coatings and thin films” *Comptes Rendus Physique*, Elsevier Masson, 19 (8), pp.755-768. ff10.1016/j.crhy.2018.10.005, 2018.
- [15] Sarıkaya, Ö., Al-12Si Malzeme Üzerine Plazma Püskürtme Tekniği ile AlSi+B₄C Kaplama, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 2003.
- [16] Özel, S., Alüminyum Alaşımı Ve Bronzu Yüzeyine Oksit Ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanmasının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 2009.
- [17] Özel, S., Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 88–97, 2013.
- [18] Bölükbaşı, G., Östenitik Paslanmaz Çelik Yüzeylerinin HVOF Yöntemi İle Karbür Kaplanması ve Karakterizasyonu, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [19] İpek, A., HVOF İle Yapılan WC-Co Esaslı Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [20] Diltemiz, S. F., Plazma Sprey Termal Bariyer Kaplamaların Isıl ve Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği, Doktora Tezi, 2010.

- [21] Zeybek, Ü., Paslanmaz Çelikler Üzerine HVOF Yöntemi İle Wc Kaplamasının Özelliklerinin İncelenmesi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [22] Introduction to thermal spray coatings, Handbook of Thermal Spray Technology. 2004.
- [23] Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, Alev Sprey <http://www.teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10715/42048/alev-sprey>, 2017.
- [24] İnternet : <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/245-plasma-spray-coating>, Erişim Tarihi: 30.03.2021.
- [25] Pantelis, D. I., Psyllaki, P., Alexopoulos, N., Tribological behaviour of plasma-sprayed Al₂O₃ coatings under severe wear conditions, *Wear* , 237, 197-204 2000.
- [26] Avcı, A. Termal Bariyer Kaplamaların Oksidasyon ve Sıcaklık Korozyonu Davranışlarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [27] Tuncer, R., HVOF Yöntemiyle Kaplanmış Küresel Grafitli Dökme Demirin Sıcak Korozyon Davranışının Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [28] Kahraman, N., Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2000.
- [29] Kant S., Kumar M., Chawla V., Singh S., Study of High Temperature Oxidation Behavior of Wire Arc Sprayed Coatings, *Materials Today: Proceedings* 21, 1741–1748, 2020.
- [30] Okay, F., Sert, H., Habalı, K., Gül, F., Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Aşınma Davranışı Üzerinde PVD Yöntemi İle TiN Kaplamanın Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No 4, 787-794, 2010.
- [31] Türküz, M. C., Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile yapılan zirkonyum nitür ince film kaplamanın kaplama parametrelerinin incelenmesi ve optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğ, Doktora Tezi, 2006.

- [32] Rasoulnezhad, H., Kavei, G., Ahmadi, K., Rahimipour, M.R., Combined sonochemical/CVD method for preparation of nanostructured carbon-doped TiO₂ thin film, *Applied Surface Science* 408, 1–10, 2017.
- [33] Mrkvica, I., Neslušán, M., Čep, R., Sléha, V. “Properties And Comparison Of PVD Coatings” ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online) DOI: 10.17559/TV 20140509105317
- [34] İnternet: <https://me-mechanicalengineering.com/physical-vapor-deposition/>, Erişim Tarihi: 30.03.2021.
- [35] Stokes J., Production of coated and free-standing engineering componenets using the HVOF process, Dublin City University, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Doctor of Philosophy, 2003.
- [36] Gök, M. G., Çok Katmanlı ve Fonksiyonel Derecelendirilmiş CYSZ/GD2Zr₂O₇ Esaslı Yeni Nesil Termal Bariyer Kaplamaların Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Doktora Tezi, 2015.
- [37] Kaya, A.Ö., Plazma Püskürtme ve HVOF Yöntemleri Kullanılarak, Cr₃C₂-NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı ve Yüzey Özellikleri, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [38] Subbiah, R., .Arun, A., Lakshmi, A.A., Harika, S., Ram, N, Sateesh, N., Experimental Study of Wear Behaviour on Al-2014 Alloy Coated with Thermal Spray HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) and Plasma Spray Process– A Review, *Materials Today: Proceedings* 18, 5151–5157, 2009.
- [39] Özbek, T. ve Kayral, S.A., Termal sprej kaplama yöntemlerine genel bakış: Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) sprej kaplama. *The Journal of International Manufacturing And Production Technologies*, 1: 46-53. 2017.
- [40] Bohur, B.G., HVOF Tekniğiyle Ti₆Al₄V Metal Altlık Yüzeyine Farklı Silika Kaynağı İçeren Biyoseramiklerin Kaplanması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [41] Taşdemir, F., Toz Metalurjisi İle Üretilen Cu Matrisli Nano Kompozitlerin Elektrik İletkenliği ve Aşınma Dirençlerinin İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2017.

- [42] Bourithis, L., Papadimitriou, G.D., the effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, *Wear* 266, 1155-1164, 2009.
- [43] Güney, B., Kaplanmış Otomotiv Fren Diskinin Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri, Metal Eğitimi, Enstitüsü Doktora Tezi, 2013.
- [44] Williams, J. A., Wear and Wear Particles-Some Fundamentals, *Tribology International* 38, 863–870, 2005.
- [45] İnternet : <https://www.wjgnet.com/2218-5836/full/v6/i1/77.htm> Puccio FD, Mattei L. Biotribology of artificial hip joints. *World J Orthop* 2015; 6(1): 77-94 [PMID: 25621213 DOI: 10.5312/wjo.v6.i1.77], Erişim Tarihi: 30.03.2021.
- [46] Algan, İ.B., Organik Fren Balatalarında Kullanılan Metal Tozlarının Aşınma ve Sürtünme Performansının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [47] Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., *Engineering Tribology*, Butterworth-Heinemann, 2001.
- [48] Osmanoğlu, T., AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [49] Kırık, İ., Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi, Doktora Tezi, 2012.
- [50] Sulzer Metco, High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Solutions, *Thermal Spray Materials Guide*, Issue: April 2013.
- [51] Oerlikon Metco, BRO-0001.17, *Thermal Spray Materials Guide*, April 2017.
- [52] Abu-warda, N., López, A.J., López, M.D., Utrilla, M.V., High temperature corrosion and wear behavior of HVOF-sprayed coating of Al₂O₃-NiAl on AISI 304 stainless steel, *Surface & Coatings Technology* 359, 35–46, 2019.
- [53] Hajare, A. S., Comparative study of wear behaviour of Thermal Spray HVOF coating on 304 SS, *International Journal of Innovations Engineering and Technology*, ISSN : 2319 – 1058, 2015.

- [54] Sreenivas, K.V., Girisha, K., Jamuna, K., Tejaswini, G. C., Erosion Behaviour of HVOF Sprayed SiC-WC-Cr₃C₂ Multilayer Coating on 304 Stainless Steel, *Materials Today: Proceedings* 5, 24685–24690, 2018.
- [55] Chakraborty, A., Singh, J. K., Sen, D., Pityana, S., Manna, I., Krishna, S., Majumdar, J. D., Microstructures, wear and corrosion resistance of laser composite surfaced austenitic stainless steel (AISI 304 SS) with tungsten carbide, *Optics and Laser Technology* 134, 106585, 2021.
- [56] Cho, T.Y., Yoon, J.H., Kim, K.S., Song, K.O., Joo, Y.K., Fanga, W., Zhang, S.H., Youn, S.J., Chun, H.G., Hwang, S.Y., A study on HVOF coatings of micron and nano WC-Co powders, *Surface & Coatings Technology* 202, 5556–5559, 2008.
- [57] Ünal, H., Sen, U., Mimaroglu, A., Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface, *Tribology International* 37, 727–732, 2004.
- [58] Wang, Y., Zhang, W., Chen, D., Liu, X., Hu, W., Liu, L., Yan, J., Xiong, X., High temperature friction and wear performance of TiB₂-50Ni composite coating sprayed by HVOF technique, *Surface & Coatings Technology* 407, 126766, 2021.
- [59] Sharma P, Majumdar, J.D., Microstructural Characterization and Properties Evaluation of Ni-Based Hardfaced Coating on AISI 304 Stainless Steel by High Velocity Oxyfuel Coating Technique, *The Minerals*, 10.1007/s11661-012-1407-y, Metals & Materials Society and ASM International 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Evren KILIÇ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2014
Lise	Giresun Mimar Sinan Anadolu Lisesi	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Etka-d Otomotiv Plastik Kalıp Ltd.Şti	Proje Mühendisi
2016-2018	Poyraz Kalite İnsan Kaynakları Tic.A.Ş.	Müşteri Kalite Müh

YABANCI DİL

İngilizce