

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL SPREY PROSESİ İLE AISI 316 PASLANMAZ
ÇELİĞİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adalet BOZKAN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

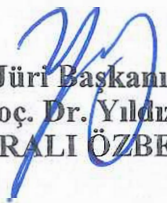
TERMAL SPREY PROSESİ İLE AISI 316 PASLANMAZ
ÇELİĞİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Adalet BOZKAN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliğiyle kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı
Doç. Dr. Yıldız
YARALI ÖZBEK


Jüri Üyesi
Prof. Dr. Uğur
ÖZSARAC


Jüri Üyesi
Doç. Dr. Mediha
İPEK

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.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının 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 Bölümüne ve değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Çalıőmam süresince desteğini, inancını ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen değerli anneme ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
TERMAL SPREY KAPLAMA YÖNTEMLERİ	5
2.1. Alevle Sprey Yöntemi	7
2.2. Elektrik Ark Sprey Yöntemi	7
2.3. Detonasyon Sprey: D-Gun (alev şok sprej) Sprej Yöntemi	7
2.4. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Sprej Kaplama(HVOF).....	8
BÖLÜM 3.	
PLAZMA SPREY KAPLAMA	10
3.1. Plazma Sprej Kaplama Kriterleri.....	12
3.2. Plazma Sprej Kaplama Teknikleri.....	12
3.3. Plazma Sprej Kaplamanın Mekanik Özelliklere Etkisi	13
3.4. Plazma Sprej Kaplamanın Avantajları Ve Dezavantajları	14
3.5. Plazma Sprej Kaplamanın Uygulama Alanları.....	15
3.6. Plazma Sprej Kaplamaya Etki Eden Faktörler	15

BÖLÜM 4.

AŞINMA.....	20
4.1. Abrazif Aşınma	21
4.2. Eroziv Aşınma	22
4.3. Adheziv Aşınma.....	22
4.4. Yorulmalı Aşınma	22

BÖLÜM 5.

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK.....	24
-------------------------------	----

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
6.1. Giriş.....	25
6.2. Atmosferik Plazma Sprey Kaplama Yöntemi	25
6.3. Metalografik İncelemeler	27
6.4. Optik Çalışmalar	27
6.5. Mikrosertlik Ölçümleri.....	27
6.6. X-Işınları Analizleri	28
6.7. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri	28
6.8. Aşınma Deneyleri.....	28

BÖLÜM 7.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	31
7.1. Optik Görüntüler	31
7.2. X-Işını Analiz Sonuçları.....	33
7.3. Mikro Sertlik Sonuçları.....	36
7.4. Sürtünme Katsayıları.....	36
7.5. Aşınma Deney Sonuçları.....	54
7.6. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri	68
7.7. EDS (Enerji Saçınım Spektrometresi) Analizleri.....	80
7.8. Pürüzlülük	91

BÖLÜM 8.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
8.1. Sonuçlar.....	100
8.2. Öneriler.....	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	109



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplamaların sınıflandırılması [8].	2
Şekil 1.2. Termal sprej kaplama yöntemleri [13].	2
Şekil 2.1. Termal Sprej Kaplama Prosesi [12].	5
Şekil 2.2. Farklı yöntemlerin kıyaslama diyagramı[13].	6
Şekil 2.3. D-Gun Sprej Kaplama Prosesi [16].	8
Şekil 2.4. HVOF kaplama prosesi [20]	9
Şekil 3.1. plazma sprej kaplama sistemi ünitesi.....	11
Şekil 3.2. Plazma sprej kaplama prosesi	11
Şekil 3.3. Plazma Sprej Kaplama Teknikleri	14
Şekil 3.4. Altlık malzemeye plazma halinde püskürtülen tozun yapışması [28]. ...	16
Şekil 3.5. CoNiCrAlY içerikli bağ kaplamaların kesit görüntüsü; a. APS yöntemiyle üretilen bir kaplamanın kesit görünümü, b. VPS yöntemiyle üretilen bir kaplamanın kesit görünümü [36].	18
Şekil 3.6. APS CoNiCrAlY bağ ve APS YSZ üst kaplamaya sahip TBC numunelerine ait 1000 °C sıcaklıktaki oksidasyon sonrası SEM mikroyapıları: a) 8 saat, b) 24 saat ve c) 50 saat [36].	19
Şekil 4.1. Mekanik aşınma proseslerinin sınıflandırılması [38]	21
Şekil 4.2. İki boyutlu aşınma.....	21
Şekil 4.3. Üç boyutlu aşınma	21
Şekil 4.4. Eroziyon aşınma	22
Şekil 4.5. Adheziyon aşınma	22
Şekil 6.1. Mikrosertlik cihazı	28
Şekil 6.2. KLA TENCOR marka Alpha-Step D-600 Stylus Profiler model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	29
Şekil 6.3. Termal Sprej Kaplama cihazı.....	30

Şekil 7.1. a) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki sağ taraf optik görüntüsü	
b) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü	
c) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki sağ taraf optik görüntüsü	
d) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü.....	32
Şekil 7.2. a) %100 7202 Woka tozuyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki orta kısım optik görüntüsü	
b) %100 7202 Woka tozuyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki sol taraf optik görüntüsü	
c) %100 7202 Woka tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü	33
Şekil 7.3. %50 7202 Woka tozu ve %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan karışımın kaplama numunesine ait XRD analiz sonuçları....	34
Şekil 7.4. %100 7202 Woka tozu kullanılarak hazırlanan kaplama numunesine ait XRD analiz sonuçları.....	35
Şekil 7.5. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	37
Şekil 7.6. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	38
Şekil 7.7. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	38
Şekil 7.8. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	39
Şekil 7.9. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	40
Şekil 7.10. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	40
Şekil 7.11. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	41

Şekil 7.12. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	42
Şekil 7.13. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.....	42
Şekil 7.14. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	43
Şekil 7.15. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	44
Şekil 7.16. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	44
Şekil 7.17. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	45
Şekil 7.18. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	46
Şekil 7.19. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	46
Şekil 7.20. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	47
Şekil 7.21. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	47
Şekil 7.22. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği.....	48
Şekil 7.23. 0,1 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	48
Şekil 7.24. 0,2 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	49
Şekil 7.25. 0,3 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	50
Şekil 7.26. 0,1 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	50
Şekil 7.27. 0,2 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	51

Şekil 7.28. 0,3 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	52
Şekil 7.29. 0,1 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	52
Şekil 7.30. 0,2 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	53
Şekil 7.31. 0,3 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği	54
Şekil 7.32. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği	57
Şekil 7.33. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği	58
Şekil 7.34. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği	58
Şekil 7.35. %50 Woka 7202 -%50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği ..	59
Şekil 7.36. %50 Woka 7202 -%50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği ..	59
Şekil 7.37. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği ..	60
Şekil 7.38. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği	60
Şekil 7.39. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği	61

Şekil 7.40. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	61
Şekil 7.41. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği	62
Şekil 7.42. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği	62
Şekil 7.43. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği	63
Şekil 7.44. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği.....	63
Şekil 7.45. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği.....	64
Şekil 7.46. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	65
Şekil 7.47. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği.....	65
Şekil 7.48. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	66
Şekil 7.49. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği	66

Şekil 7.50. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği	67
Şekil 7.51. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği	67
Şekil 7.52. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği	68
Şekil 7.53. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 7.54. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri	70
Şekil 7.55. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.....	71
Şekil 7.56. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri	72
Şekil 7.57. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.....	73
Şekil 7.58. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri	74
Şekil 7.59. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/ sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin kaplanan numunenin SEM görüntüleri	75
Şekil 7.60. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri	76
Şekil 7.61. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.....	77

Şekil 7.62. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.	78
Şekil 7.63. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.....	79
Şekil 7.64. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri	80
Şekil 7.65. 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü.....	81
Şekil 7.66. 2N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü.....	82
Şekil 7.67. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü	83
Şekil 7.68. 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü.....	84
Şekil 7.69. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.....	85
Şekil 7.70. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.....	86
Şekil 7.71. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.....	87

Şekil 7.72. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü...	88
Şekil 7.73. 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.....	89
Şekil 7.74. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü	90
Şekil 7.75. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü	91
Şekil 7.76. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 2 boyutlu pürüzlülük grafiği.....	92
Şekil 7.77. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği.....	92
Şekil 7.78. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği.....	93
Şekil 7.79. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği.....	93
Şekil 7.80. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	94
Şekil 7.81. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	95
Şekil 7.82. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	96
Şekil 7.83. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	97
Şekil 7.84. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü.....	98

Şekil 7.85. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü..... 99



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Termal sprej kaplama proseslerinin porozite ve oksit yüzdelерinin karşılaştırılması [14].....	6
Tablo 2.2. Termal sprej kaplama proseslerinin birikme verimi [14].	6
Tablo 3.1. Farklı plazma gazlarının temel özellikleri [24].....	13
Tablo 3.2. Termal sprej kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması [25].....	15
Tablo 5.1. AISI 316 Paslanmaz çeliğinin kimyasal özellikleri.....	24
Tablo 5.2. AISI 316 Paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri.....	24
Tablo 6.1. Altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	26
Tablo 6.2. Kullanılan tozların kütlece oranları	26
Tablo 6.3. Kaplama tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri	26
Tablo 7.1. %100 7202 Woka tozu ve %50 Woka tozu-%50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan numunelere ait farklı sertlik değerleri	36
Tablo 7.2. 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	55
Tablo 7.3. 200 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	55
Tablo 7.4. 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	56
Tablo 7.5. 100 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	56

Tablo 7.6. 200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	56
Tablo 7.7. 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler.....	57
Tablo 7.8. 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri....	81
Tablo 7.9. 2N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	82
Tablo 7.10. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	83
Tablo 7.11. 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS analizleri.....	84
Tablo 7.12. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	85
Tablo 7.13. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.	86
Tablo 7.14. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.	87

Tablo 7.15. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri....	88
Tablo 7.16. 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	89
Tablo 7.17. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	90
Tablo 7.18. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
APS	: Atmosferik Plazma Sprey
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
D-GUN	: Detonasyon Püskürtme
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
FBB	: Fiziksel Buhar Biriktirme
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
HV	: Vickers Sertliği
İDDB	: İyon Demeti Biriktirme Yöntemi
KBB	: Kimyasal Buhar Biriktirme
μ	: Mikron, Sürtünme Katsayısı
μm	: Mikrometre
OM	: Optik Mikroskop
Θ	: Theta
Ra	: Kaplama Yüzey Pürüzlülük Değeri
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
VPS	: Vakumlu Plazma Püskürtme

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yüzey kaplama, Aşınma, 316 Paslanmaz çeliği, Termal sprej kaplama

Bu tez çalışmasında AISI 316 paslanmaz çeliğinin termal sprej kaplama yöntemi kullanılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Paslanmaz çelik grupları birçok sektörde yaygın kullanıma sahiptir. Kullanım sırasında yaşanan en büyük sorunların başında aşınma problemi gelmektedir. Yüzey kaplaması yapılarak bu problemin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yüzey kaplama işleminde atmosferik plazma sprej yöntemi kullanılarak kaplama iki farklı içeriğe sahip tozlarla gerçekleştirilmiştir. Farklı kimyasal kompozisyona sahip tozlar kullanılmasıyla tozların kaplama özelliklerine etkisi de araştırılmıştır. %100 woka (Ni 78-82% Cr 18-22) 7202 tozu ve %50 woka 7202 (Ni 78-82% Cr 18-22) - diamalloy 2002(Ni 66%-Cr 18%) toz karışımı tercih edilmiştir. Kaplama numunelerine aşınma deneyi, optik görüntü ve mikroyapı incelemesi yapıp sonrasında sertlik ölçümleri, XRD analizi, SEM analizi, EDS analizi, 2D ve 3D yüzey pürüzlülüğü görüntüleri alınmıştır. Aşınma deneyi alümina bilya kullanılarak farklı hız, mesafe ve yük parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonucunda EDS ve SEM analizleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTIES OF AISI 316 STAINLESS STEEL BY THERMAL SPRAY PROCESS

SUMMARY

Keywords: Surface coating, Abrasion, 316 stainless steel, Thermal spray coating

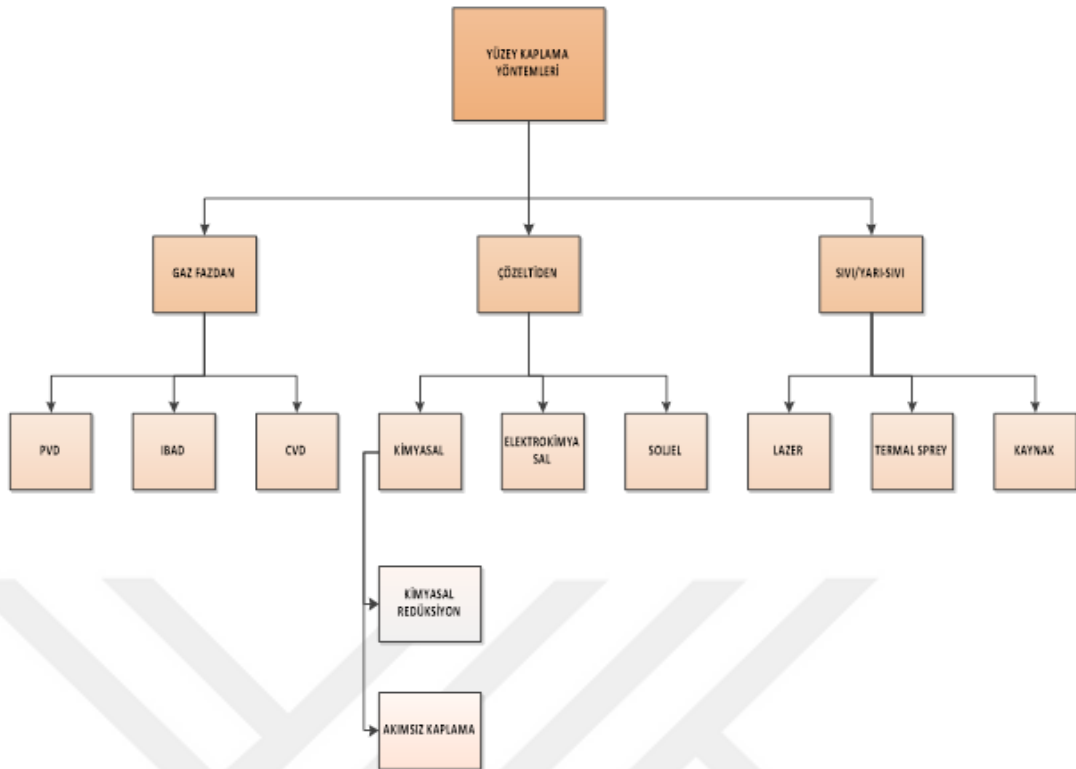
Aim of this thesis is to improve the mechanical properties of AISI 316 stainless steel by applying thermal spray coating methods. Stainless steel are widely used in many different industrial areas. Abrasion of stainless steels are very important issue during daily use. It is aimed to prevent this problem by applying surface coating. Surface coating by aps method has been applied with using two different types of powder. In addition, that was investigated to how effect to coating with using of powders which have different chemical compositions. %100 woka 7202 and %50 woka 7202-%50 diamalloy 2002 was preferred as coating powders. Firstly, coated samples are investigated with wear resistance test, optical image and microstructural observation. After that, hardness measurement, XRD analysis and SEM analysis is applied. Additionally, images of surface roughness of samples are observed as 2D and 3D. Wear test is made using alumina balls in different velocities, distance and load parameters. EDS and SEM analysis are observed in detail according to wear test.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

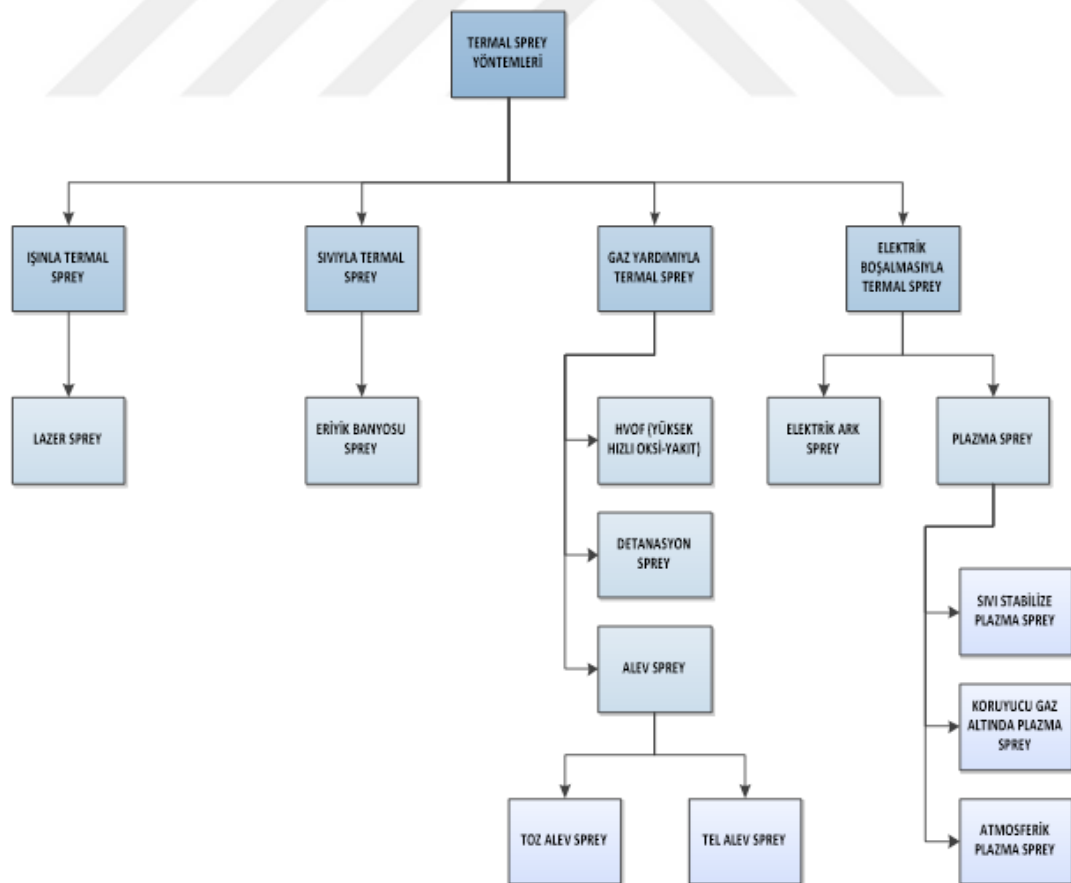
Günümüzde fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri bakımından yüksek performanslı, aynı zamanda daha hafif, daha ucuz malzeme üretimi tüm sektörlerin beklentisidir. Bir malzemenin istenilen mekanik özelliklere sahip olması iç yapı ve yüzey özellikleri ile ilişkilidir. Üretilen bir malzemenin yüzey veya iç yapısında değişikliğe yol açacak herhangi bir işlem, malzeme performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir [1, 3, 4]. Malzemenin istenilen özelliklere cevap veremediği durumlarda malzemeyi bir bütün olarak değiştirmek yerine farklı bir malzeme dış yüzeye kaplanarak hem daha ekonomik hem de istenen mukavemet özellikleri elde edilebilir [2, 3, 4].

Malzemelerin korozyon direnci, yüksek sıcaklık, oksidasyon, yorulma ve aşınma dayanımı gibi yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve ortam koşullarından korunması maksadı ile geliştirilen uygulamalara kaplama ve yüzey işlem teknikleri denilmektedir [2, 5]. Endüstri de korozyona uğramış parçaların tamiri, aşınmış yüzeylerin iyileştirilmesi ve endüstriyel parçaların korunması amacıyla kaplama teknikleri endüstride yaygın kullanım alanları bulmaktadır. Yüzey işlem teknikleri hem ekonomik hem de üstün mekaniksel özellikler sağlamaktadır [6]. Isıl püskürtme teknikleri kullanım alanlarına göre farklılık göstermekte olup alev püskürtme, ark püskürtme, patlama(detanasyon) alev püskürtme, yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) ve plazma püskürtme olarak 5 başlık altında inceleyebiliriz.

Isıl püskürtme ile kaplama işlemi sıvı yakıtın yanıp ergiyen toz, tel ya da çubuk formunda bulunan kaplama malzemesinin püskürtülmesine dayanmaktadır. Püskürtme için kullanılan püskürtme tabancası ergime işlemi için plazma arkı, yanıcı gazlar veya elektrik arkından gerekli ısı elde edilir [7].



Şekil 1.1. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplamaların sınıflandırılması [8].



Şekil 1.2. Termal spray kaplama yöntemleri [13].

Plazma sprej kaplama yöntemi karmaşık parçaların kaplanmasında kullanılmaktadır. Plazma sprej kaplama yöntemi metalik ve metalik olmayan toz bileşiklerin bir sprej çökeltisi üzerine ergimiş bir halde altlık malzemesine püskürtüldüğü bir prosestir [9, 10, 11].

Ergime noktası çok yüksek olan malzemelerin de kaplama malzemesi olarak kullanılmasına imkan tanımaktadır bu yöntem. Yapılan bu deneysel çalışmada, AISI 316 paslanmaz çelik malzemenin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda; 30x30x3 mm ebatlarında dikdörtgen kaplama yapılacak numuneler hazırlanmıştır. Uygulanacak plazma sprej işleminde; 5,10,15 pulse sayısı, %100 woka 7202 tozu ve %50 woka 7202 - diamalloy 2002 tozlarından 2 farklı numune hazırlanmıştır, numune nozul mesafe aralığı 15 cm sabit tutulmuştur. Plazma sprej öncesi bağ mukavemetini arttırmak için kaplama öncesi malzeme yüzeylerine kumlama işlemi yapılmıştır. Plazma işlemi sonrası, numuneler hassas bir şekilde kesilmiş, metalografik olarak hazırlanmış, optik, pürüzlülük, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Bu analizlerle yapılan kaplama işleminin element dağılım haritaları çıkarılmıştır.

Numunelerin yüzeyinden içeriye doğru 50 gr yük altında 10 sn süre mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan mikrosertlik deneyleri sonrası plazma sprej kaplama işlemi uygulanmadan sertliği 210-220 HV olan AISI 316 çeliğinin sertliği en üst değer olarak 1408 ve 1102 HV bulunmuştur. Numune grupları içinde sertlik değerleri plazma sprej kaplama uygulanma parametrelerine bağlı olarak 900 HV-1408 HV arasında değişmektedir.

CSM-dairesel aşınma cihazı ile 100 m, 200 m ve 400 m mesafelerde, 2 N, 3 N ve 5 N yük altında, 0.1 m/sn, 0.2 m/sn ve 0.3 m/sn hızda dairesel aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşındırıcı bilya olarak 6 mm çapında alümina bilya seçilmiştir. Aşınma deneyi sonucunda sürtünme katsayı değerleri ve aşınma hız değerleri elde edilmiştir. Hıza, mesafeye ve uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayı ve aşınma miktarlarında değişimler görülmüştür. Aşınma sonrası aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri alınmış, pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Aşınma ürünlerinin ve bazı

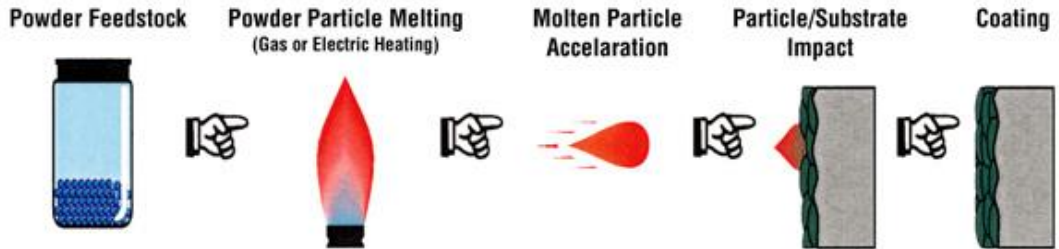
aşınma bölgelerinin EDS analizleri yapılmıştır. Aşınma deneyleri sonunda plazma spreylere kaplama ile yüzeyleri kaplanmış çelik gruplarının aşınma dayanımlarının kaplama işlemi uygulanmamış numunelere göre 2 kat arttığı gözlemlenmiştir.



BÖLÜM 2. TERMAL SPREY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

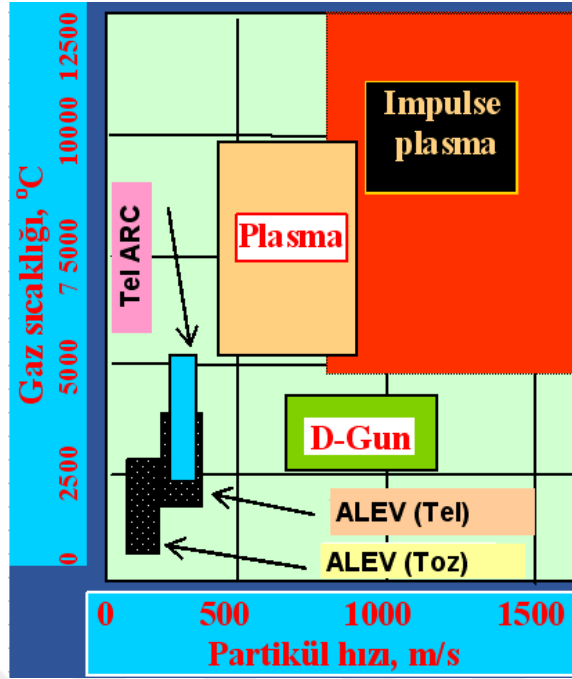
Bir iş parçasında kitlesel halde olmayan bir veya birkaç özelliği o iş parçasının yüzeyinde oluşturmak için yapılan işlemlerin tümüne yüzey işlemleri denilmektedir [12,13]. Termal spreycaplama metalik veya metalik olmayan parçaların yüzeyinde bir kaplama oluşturmak için tel, toz, seramik çubuk gibi malzemelerin ertirilerek yüzey üzerinde biriktirildiği bir grup kaplama işlemidir. 1900lerin başlarında Dr. Mu Schoop ve çalışma arkadaşlarının erimiş ve toz metalleri kullanarak geliştirdikleri kaplama işlemidir. Birkaç yıl sonra katı tel parçasının oksijenle yakılarak erimesi ve erimiş metal tel atomize olarak kolayca yüzey kaplanır [12].

Thermal Spray Coating Process



Şekil 2.1. Termal Spreycaplama Prosesi [12].

Termal spreycaplamaya en büyük avantajı istenilen tip metal formundaki malzemeye kaplama yapılmasının mümkün olmasıdır. Bu sayede maliyeti düşük olan malzemeye kaplama yapılarak sertliği ve aşınma dayanımı artırılmış olur. Maliyeti yüksek parçaların ölçüsünde meydana gelen değişiklik malzemenin değişimine gerek kalmadan istenilen ölçülere ve mekanik değerlere ulaşılabilir. Ayrıca yapılan seramik kaplamalarla ısı ve elektrik yalıtkanlığı istenilen değerlerde olur [12,13].

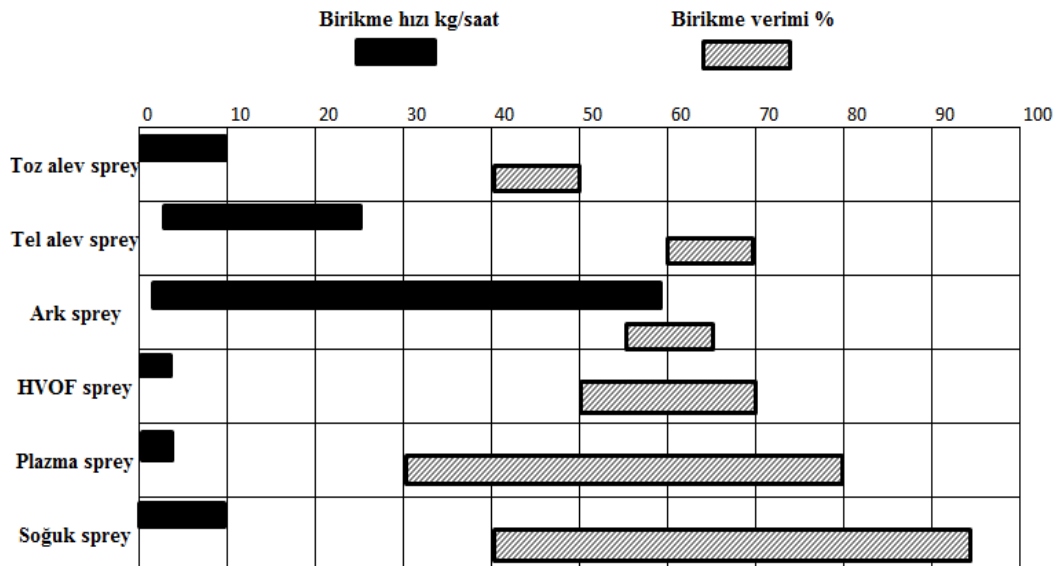


Şekil 2.2. Farklı yöntemlerin kıyaslama diyagramı[13]

Tablo 2.1. Termal sprey kaplama proseslerinin porozite ve oksit yüzdelerinin karşılaştırılması [14].

PROSES	POROZİTE %	OKSİT %
SOĞUK SPREY KAPLAMA	0,1-1	Toz ile aynı
HVOF KAPLAMA	1-5	0,2-1
ALEV SPREY KAPLAMA	10-25	4-6
ARK SPREY KAPLAMA	10-15	0,5-3
PLAZMA SPREY KAPLAMA	1-20	0,5-1

Tablo 2.2. Termal sprey kaplama proseslerinin birikme verimi [14].



2.1. Alevle Sprey Yöntemi

Termal sprej kaplama yöntemlerinin en basiti ve en ucuzudur. Kaplanacak metal tel püskürtme tabancasının nozulunu beslemektedir. Tel oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımıyla ergitilmekte ve ergimiş tel yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmektedir. Kaplanan yüzey sıcaklığı 95-200 °C arasında değişmektedir. Bu yöntemde bağ mukavemeti oldukça düşük, düşük çalışma sıcaklığına bağlı olarak kaplama yüzeyi boşluklu bir yapıya sahiptir. Fakat ilk yatırım maliyeti oldukça düşüktür [11, 12, 13].

2.2. Elektrik Ark Sprey Yöntemi

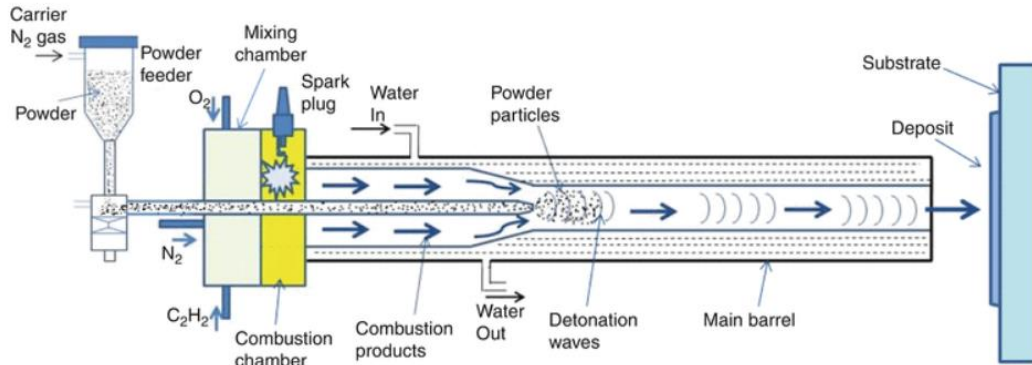
İki sprej telin arasında bir elektriksel kuvvet uygulanır 1 mm² ye düşen 100 amperin üzerindeki yüksek akım nedeniyle ergime gerçekleşir ve ergimiş teller bir sürücü tarafından tabancaya beslenir ve basınçlı havayla 100 ile 150 m/s' lik hızla taşınırlar.

Otomatik sistemlere uyarlanması kolay, dolgu oranları yüksek ve aşınmaya, korozyona, sürtünmeye dirençli kaplamalar yapmak mümkündür. Karbürler, nitrürler ve oksitler püskürtülemezler [11, 12, 13].

2.3. Detonasyon Sprey: D-Gun (alev şok sprej) Sprey Yöntemi

D-Gun sprej işlemi, son derece yüksek aşınma direnci sağlayan ve tozun yüzeye yapışması yüksek olan, düşük porozite ve kaplama kalıntısı az olan bir termal sprej kaplama yöntemidir. Yanma için oksijen, propan, propilen veya asetilenden oluşan karışım bir tüp şeklinde yanma odasına verilir ve yanma odasına toz beslenir. Ateşleyici buji sistemiyle gaz karışımı patlamaya bırakılır ve gaz karışımı detonasyon dalgası (yüksek basınç şok dalgaları) oluşturur ve hızı 3500 m/sn' ye ulaşır ve sıcak gaz akışının sıcaklığı 4000 °C kadar çıkabilir. Sistem gaz ve toz besleme üniteleri ile uzun namludan meydana gelir. Ergimiş olan toz parçacıkları yüksek kinetik enerji ile altlık malzemeye çok yoğun ve güçlü bir şekilde yapışır. Kaplama kalınlığı toz parçacık boyutu, gaz akış hızı, namlu ucu, frekans ve alt

tabaka ile tabanca arasındaki mesafeye bağlıdır [15]. Detonasyon sprej kaplama yöntemi diğer yöntemlere göre daha yavaş olduğu için diğer termal sprej kaplama teknikleri kadar gelişmemiştir.



Şekil 2.3. D-Gun Sprej Kaplama Prosesi [16].

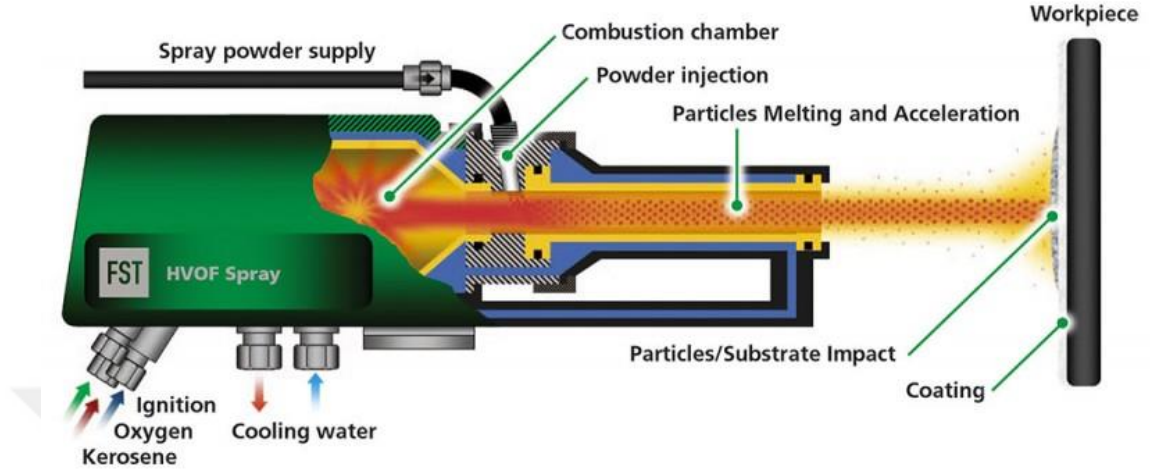
2.4. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Sprej Kaplama (HVOF)

HVOF, hidrojen veya gaz yağı gibi bir sıvı yakıtın yüksek basınç altında yaklaşık 6 ile 10 bar arasında basınçla yanmasına dayanan ve sürekli ince boyutlu tozların beslendiği bir termal sprej kaplama yöntemidir. Yanma sonrası açığa çıkan gazların hızı püskürtülen partikül hızına, tane boyutuna, tane yoğunluğuna bağlı olarak 500 ile 700 m/sn arasında değişebilir ve maximum 2000 m/sn ulaşabilir.

Alev sprej prosesinin geliştirilmiş bir versiyonudur ve süpersonik hızlarda alevleri püskürten bir grup termal sprej kaplama prosesidir.

HVOF prosesinin en önemli avantajı yüksek kaplama yoğunluğu ve yüksek bağ mukavemetiyle beraber, düşük porozite, yüksek sertlik, düşük oksitle çalışma imkanı tanımaktadır. Nikel ve kobalt esaslı alaşımlar, demir bazlı alaşımlar AISI 316, karbürler ve sermentlere uygulanabilir. Yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalara, aşınma veya korozyon dayanımında, kimyasal veya mekanik direncin gerektiği proseslerdeki parçalara uygulanabilir.

Prosesin dezavantajı yüksek hıza sahip olduğu için tamamen ergitilmeden yüzeye çarpabilir ve yüksek yatırım maliyetine sahiptir [17,18].



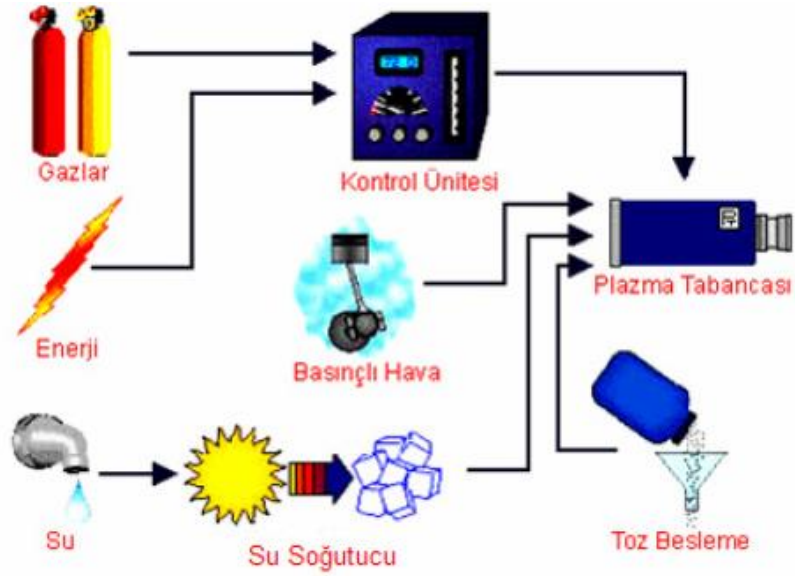
Şekil 2.4. HVOF kaplama prosesi [20].

BÖLÜM 3. PLAZMA SPREY KAPLAMA

Termal sprey kaplamanın bir üyesi olan plazma sprey kaplama yöntemi 1937 yılında Reineck öncülüğünde Amerikan şirketi tarafından geliştirilmiş ve ilk uygulama havacılık ve uzay sanayide olmuştur [21]. Malzemelerin çevresel koşullardan dolayı malzeme yüzeyinde yaşanan sorunlardan dolayı plazma sprey kaplama yöntemi alev sprey ve ark spreyden sonra geliştirilmiştir.

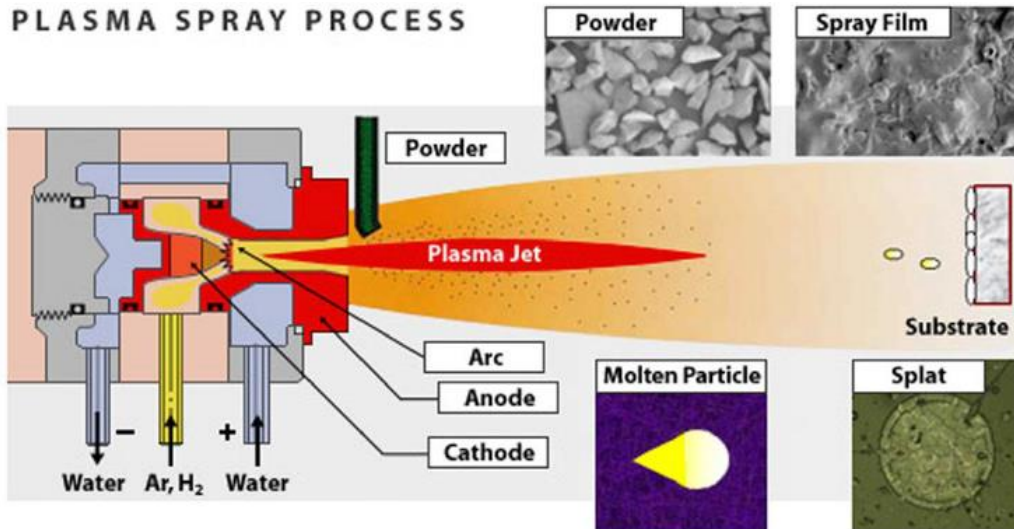
Aşınmaya neden olan mekanik sürtünme, korozyon ve erozyon mekanizma elemanlarını kullanılamaz hale getirerek, pahalı ve özel malzemelerin büyük miktarda kaybına yol açmaktadır [13].

Mekanik olarak meydana gelen aşınma ve bununla beraber korozyon kayıpları hem endüstriyel hem de ekonomik zararların oluşumuna sebep olmaktadır. Bu sebeple ağır şartlar altında çalışan malzemelerin çalışma yüzeylerin bu ağır şartlara karşı gerekli yüksek yüzey özelliklerine sahip olması gerekmektedir [13]. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama ana malzemenin üstün özellikleri korunurken aynı zamanda istenilen özellikleri de bir arada bulundurabilmektedir. Çok ince kaplama kalınlıklarıyla istenilen özellikler parçaya eklenmiş olur. Yüksek basınç uygulanarak argon, helyum, azot, hidrojen gibi inert gazlar kullanılarak mekanik, manyetik, elektrik, ısı, ışın enerjisiyle plazma formuna dönüşür. En çok kullanılan ve kolay olan yöntem ise gaz kütlesine elektrik vererek enerji oluşturmaktır. Plazma ile tüm malzemelerin katı formundan sıvı formuna dönüştürmek mümkündür. Bu sistemde gaz kaynağı, kontrol ünitesi, tabanca, nozul, toz besleme ünitesi, güç kaynağı bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Plazma sprey kaplama sistemi ünitesi

Plazma sprey kaplamada kaplama bağ mukavemetini arttırmak için yüzey pürüzlülüğü esas olan kumlama işlemi yapılır ve kaplanacak altlık malzemenin bir ön ısıtmaya tabi tutularak kaplama işleminde meydana gelebilecek iç gerilmeleri azaltmak amaçlanmıştır [22]. Plazma sprey kaplama yöntemi ile çok yüksek sıcaklıklara çıkılır yaklaşık 20000 °K kadar bu özelliği ile termal sprey kaplama yöntemleri arasında en yüksek enerjili prosestir fakat bu sıcaklıktan altlık malzemesi etkilenmez ve bu sıcaklık sayesinde tüm malzemeler kaplanabilir. Plazma sprey yöntemi vakum altında ve kontrollü atmosfer teknikleri ile oksit bileşikleri indirgenmektedir.



Şekil 3.2. Plazma sprey kaplama prosesi

3.1. Plazma Sprey Kaplama Kriterleri

- Toz boyutu
- Tabancanın gücü
- Gaz karışımları bileşimi
- Toz besleme hızı
- Tabanca ile altlık malzemesi arasındaki mesafe
- Kaplanacak yüzey pürüzlülüğü [23]

3.2. Plazma Sprey Kaplama Teknikleri

Plazma sprej kaplama yöntemlerini 4 ana başlık altında toplamak mümkündür. Kullanım olarak en yaygın olanı Atmosferik Plazma Sprej yöntemidir ki bu yöntem hem seramiklere hem de metallere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Plazma gazları 6000 ile 15000 °C arasında sıcaklığa sahip plazma huzmesini oluşturmaktadır. Plazma tabancasından havaya püskürtülen toz partikülleri altlık malzemeye gelirken erir ve hızlı bir şekilde çarparak yapışır ve kaplamayı oluşturur.

İnert gaz yöntemi ise erimiş toz partiküllerini oksitleyici atmosfer koşullarından korurken aynı zamanda atmosferik plazma sistem yöntemi ile kaplanamayan parçaların kaplanmasına imkan tanımaktadır. Bu malzemelere örnek olarak refrakter metallere TiC, B₄C gibi bileşiklerini belirtebiliriz. Plazma sprej kaplama eğer vakum ortamında gerçekleştiği durumlarda vakum altında plazma sprej olarak isimlendirilir. Kaplanacak tozlar nozuldan yüksek hızdaki plazma jetinden geçerek altlık malzeme yüzeyine kaplanır. Bu yöntemde açık atmosfer koşullarına göre yaklaşık 2 kat daha hızlı ve oksidasyonu önemli derecede azalmasına olanak tanıdığı için kaplama kalitesi çok daha yüksek ve oksit oranı çok düşüktür.

Tablo 3.1. Farklı plazma gazlarının temel özellikleri [24]

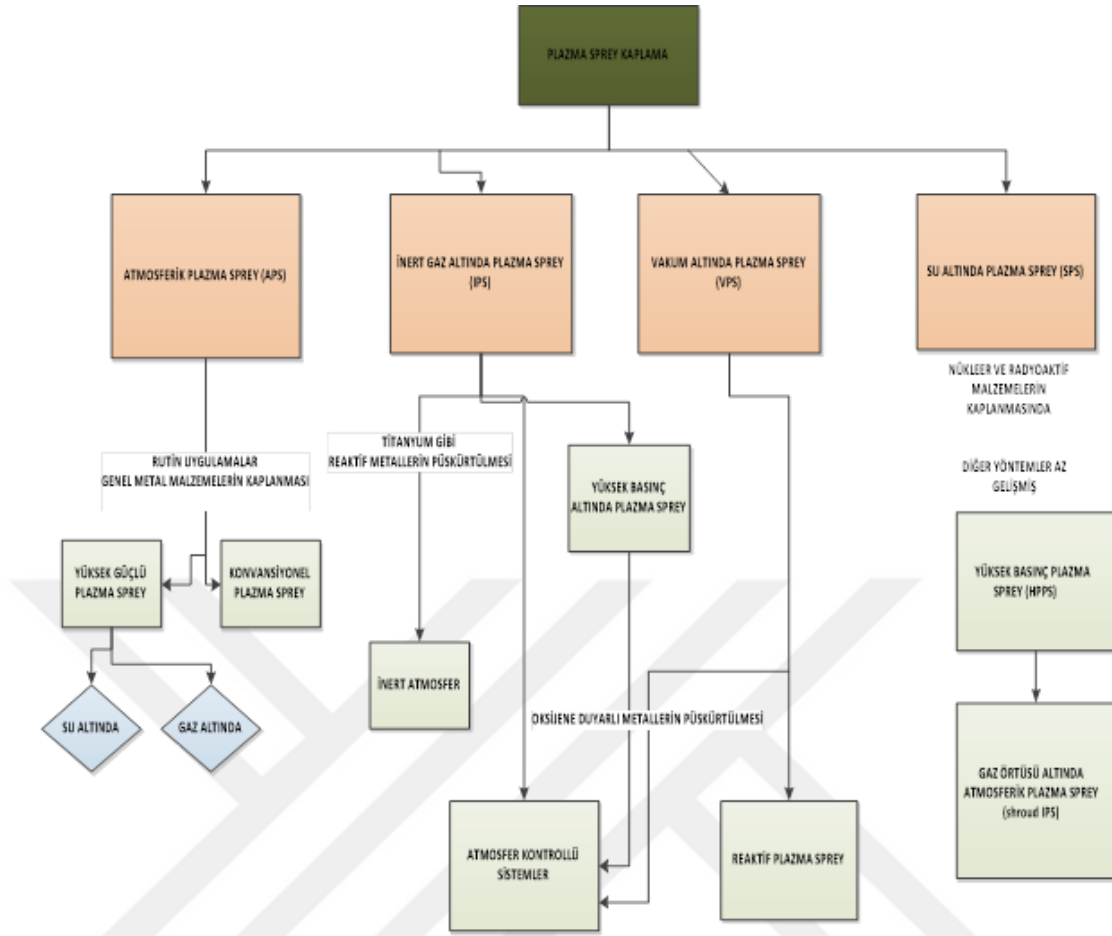
Plazma Gazları	Ar (Argon)	He (Helyum)	N (Azot)	H (Hidrojen)
Özellikler				
Relatif mol ağırlığı	39,944	4,0002	28,016	2,0156
Özgül ağırlık (kg/m ³)	1,783	0,1785	1,2505	0,898
Termal iletkenlik katsayısı (W/m °K)	0,01633	0,14363	0,0238	0,1754
Özgül ısı kapasitesi (20°C) (kJ/kg°K)	0,511	5,233	1,046	14,268
İyonizasyon Potansiyeli (v)	15,7-27,5	24-54,1	14,5-28,4	13,5
Sıcaklık (°K)	14.000	20.000	7.300	5.100
Ark Voltajı (V)	40	47	60	62
Ark gücü (kW)	-	50	65	120

3.3. Plazma Sprey Kaplamanın Mekanik Özelliklere Etkisi

Termal sprej kaplamaların malzemeye kazandırdığı en temel niteliklerin başında sertlik değeri gelmektedir. Plazma sprej kaplamada ise kullanılan toz bileşimine ve kaplamanın porozite miktarına bağlı olmakla beraber 200-1500 HV arasında değişmektedir.

Kaplama tabakası içerişindeki birim alandaki por yüzdesi sayısına porozite denir. Yapılan kaplamada porozite miktarının fazla olması, aşınma dayanımı, sertlik ve mukavemet özelliklerini negatif yönde etkilemekte fakat bazı durumlarda porozite yapıda istenmektedir. Termal izolasyon uygulamalarının yapıldığı uçak ve uzay sanayisinde porozite ısı yalıtımını sağladığı için istenen bir özelliktir. Toz partikül boyutunu büyük seçmek ve tabanca mesafesini uzun tutmak poroziteyi arttırmaya sebep olacaktır. Kaplamalarda diğer önemli faktör ise mukavemettir mukavemet özelliği kaplama kalınlığı gibi birçok özelliğe bağlıdır. Kaplama kalınlığı arttıkça mukavemet azalacaktır [24, 25]. Gerilmenin artmasına bağlı olarak yapışma mukavemeti azalmaktadır. Elastisite modülü arttığında kaplamanın porozitesi artar, sertlik ve mukavemet düşer.

Plazma sprej kaplama tabakaları heterojendir ve farklı kimyasal ve fiziksel özellik gösterirler. Kaplama tozları yüksek sıcaklık etkisiyle faz dönüşümüne uğrayabilmektedir. Aynı zamanda kaplama yapısı incelendiğinde yapıda ergimemiş partiküller, mikroboşluklar, poroziteler, gözenekler, oksitler bulunabilir.



Şekil 3.3. Plazma Sprey Kaplama Teknikleri

3.4. Plazma Sprey Kaplamanın Avantajları ve Dezavantajları

Çok yüksek ergime noktasına sahip tozların bu yöntemle kaplama malzemesi olarak kullanımına olanak sağlar.

Malzemenin oksitlenmesi kullanılan inert gazlar sayesinde en aza indirilir.

Büyük boyutlu, karmaşık şekillerdeki ve farklı formlardaki parçaların kaplamasına ve seri üretimine imkan tanır [22, 23].

Plazma sprej kaplama yöntemi kolaylıkla bütün sistemlere entegre edilebilir. Kaplamanın yapılacağı sistem çevreyle izole olduğu için çevre dostu bir yöntemdir. Kararsız karbür fazlarının oluşumuna neden olduğu için karbür esaslı malzemelerin mukavemet özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Tablo 3.2. Termal sprey kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması [25].

Kaplama Prosesi	Gaz Akışı m ³ /saat	Alev veya Plazma Çıkış Sıcaklığı °C	Partikül Çarpışma Hızı m/s	Kaplamanın Altlığı Bağlanması	Oksit İçeriği %	Max Sprey Hızı	Güç kW	Ergitme için gereken enerji kW/kg
Flame Tozu	11	2200	30	Düşük	6	7	25-75	11-22
Flame Teli	71	2800	180	Orta	4	9	50-100	11-22
HVOF	28-57	3100	610-1060	Çok Yüksek	0,2	14	100-270	22-200
Detonasyon Tabancası	11	3900	910	Çok Yüksek	0,1	1	100-270	220
Tel Ark	71	5500	240	Yüksek	0,5-3	16	4-6	0,2-0,4
Geleneksel Plazma	4,2	5500	240	Yüksek	0,5-1	5	30-80	13-22
Yüksek Enerjili Plazma	17-28	8300	240-1220	Çok Yüksek	0,1	23	100-250	9-13
Vakum Plazma	8,4	8300	240-610	Çok Yüksek	ppm seviyesinde	10	50-100	11-22

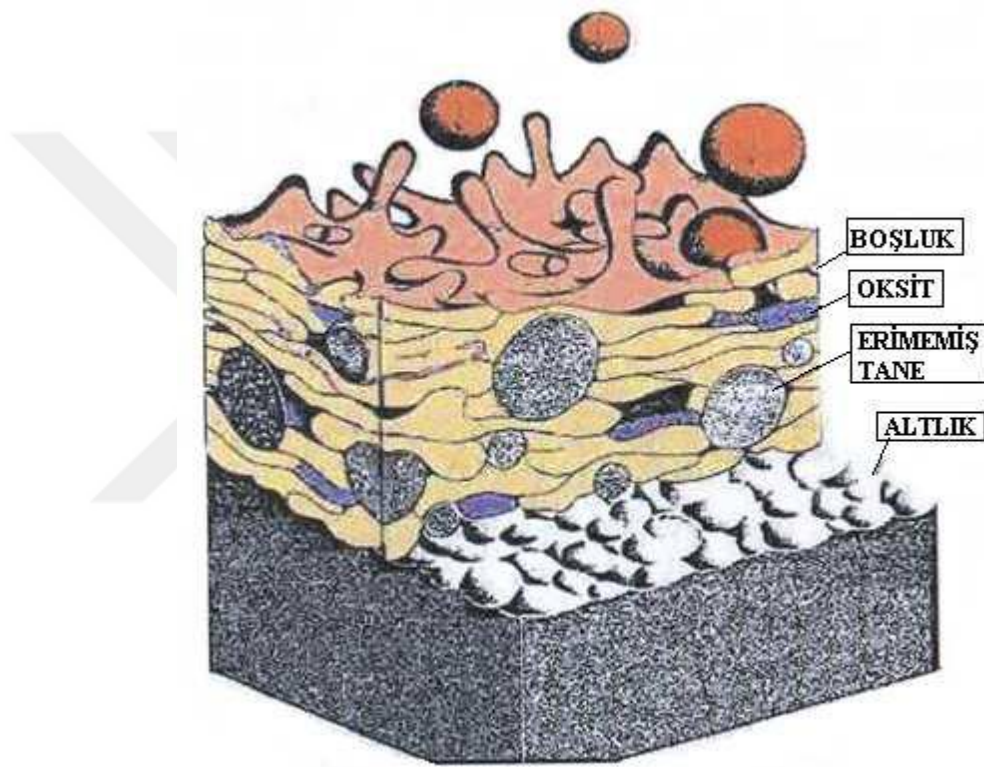
3.5. Plazma Sprey Kaplamanın Uygulama Alanları

Zor çalışma şartları altında malzemelerin ömrünün uzatmak için, borür, nitrür, karbür, intermetalik, oksit, esaslı kaplamalar tercih edilir. Vücut implantları için veya zarara uğramış parçaların kullanımını sağlamak için başvurulan yöntemlerdir. Endüstriyel olarak kullanım alanları: otomotiv, tıp, kimya, hidrolik makineler, cam endüstrisi, uçak ve uzay endüstrisi, nükleer teknoloji olarak belirtmemiz mümkündür.

3.6. Plazma Sprey Kaplamaya Etki Eden Faktörler

Anot ve katot arasında meydana gelen elektrik arkında plazma gazlarının iyonizasyonu ile tabancada plazma oluşur. Plazma gazı doğru akım arkı boyunca ilerler ve ısıtılır. Plazma sıcaklığına ulaşan gaz plazma alevi olarak anod nozulundan püskürtülmektedir. Elektrik ark ve plazma ark birbirinden farklıdır. Elektrik kaynağındaki ark elektriği iletmektedir. Tabancadan püskürtülen plazma serbest plazmadır ve elektrik akımını taşımaktadır [25, 26, 27].

Malzeme tozları, plazma alev içerisinde hızlı bir şekilde ısınmaktadır. Eriyen malzeme tozları çok kısa zamanda, çok hızlı yaklaşık 10 m/sn civarında hatta süpersonik hızlarda ve şiddetli bir şekilde kaplanacak malzeme yüzeyine çarparak yoğun bir kaplama tabakası oluşturur. Plazma jetler nozuldun uzaklaştıkça sıcaklıkla beraber, toz hızı da düşer. Toz partikülleri şekli ve boyutu; üniform ve küresel olmalıdır. Eğer ki toz partikül boyutu çok büyük olursa tozlar ergimez, çok küçük olması durumunda ise tozlar buharlaşır [27, 28].



Şekil 3.4. Altlık malzemeye plazma halinde püskürtülen tozun yapışması [28].

Sonuç olarak kaplamaya etki eden parametreleri; kaplama yapılacak malzeme, kaplama yüzeyi, kaplama tozu, plazma gazları, plazma sıcaklığı, tozların hızı, toz besleme hızları, püskürtme mesafesi, kaplama yapılacak malzemenin ön ısıtması, yüzey pürüzlülüğü, yüzey temizliği, püskürtme ortamı olarak sıralamak mümkündür [29].

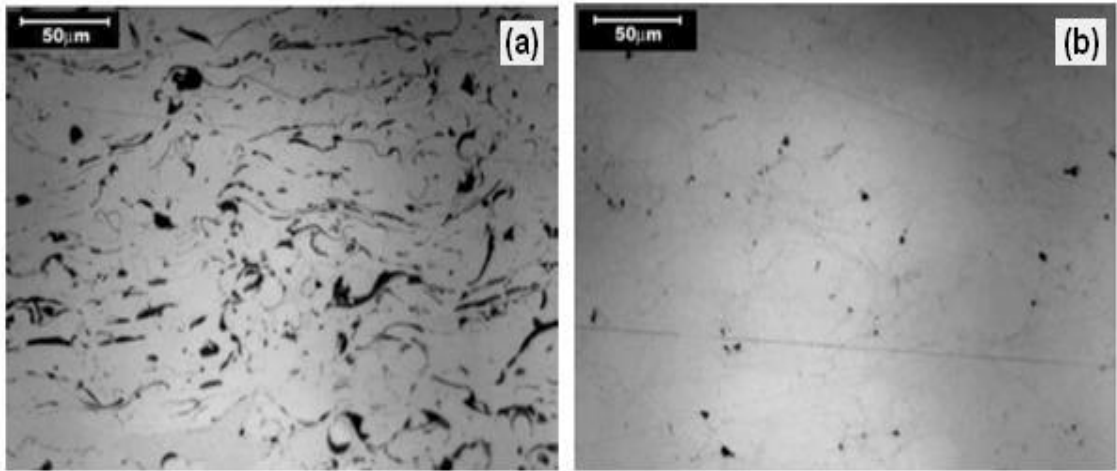
Plazma maddenin dördüncü halini ifade etmektedir. Plazma sprej kaplama yöntemi atmosfere açık ortamda yapılıyor ise atmosferik plazma adını alır. Yüksek

sıcaklıklara çıkılmaya olanak tanıdığı için seramik gibi yüksek ergime noktasına sahip malzemelerin de biriktirilmesine imkan tanımaktadır. Plazma sprey kaplama yöntemi yüksek sıcaklığa ulaşılmasını sağlayan plazma jetlerinden oluşmaktadır. Gaz halindeki madde ısıtılarak enerji sağlanmakta ve yüksek sıcaklıkta plazma oluşumu sağlamaktadır. 40 Kw gücünde bir plazma tabancası ile 15000 K sıcaklıkta bir plazma oluşturulabilmektedir. Paso esnasında tabanca hareket hızı 50 ile 2000 mm/s hızlara ulaşabilmektedir. Altlık ve tabanca arasındaki mesafe 60-130 mm arasında değişmektedir [30].

Genellikle toz beslemesi dışarıdan yapılır ve toz böylelikle en sıcak bölgeye ulaşır. Plazmadaki enerjinin tozlara aktarılması ile tozlar ergimeye başlar ve kaplanacak yüzeyde biriktirmek üzere altlık malzemesine püskürtülür. Tozların ebatları 20-90 mikrometre aralığında değişmektedir. Erimiş halde bulunan tozlar altlığa çok hızlı bir şekilde yapışır ve soğur ve katılaştır. Soğuma hızları paslanmaz çelikler gibi Ni veya Cr oranı yüksek alaşımlarda 10^7 K/s seviyelerine çıkar. Atmosferik plazma sprey kaplama yöntemi yüksek verimliliğe sahip kaplama yöntemidir. Verim ile alakalı anlatılmak istenen gönderilen malzemelerin tamamına yakınının yapışmasıdır. Örneğin; CoNiCrAlY malzeme üzerine yapılan Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme(HVOF) altlığa yapışan parçacık miktarının altlığa püskürtülen toz miktarına oranı %45 iken, atmosferik plazma sprey kaplama(APS) yöntemi ile %60 gibi yüksek verim oranı elde edilmektedir [31].

Atmosferik plazma sprey kaplama yöntemi hem kullanım alanı olarak çok fazla imkan tanımakta, hem ucuz, hem de kolay bir yöntem olmasına karşın oksit kalıntılarına karşı en hassas kaplama işlemidir [32].

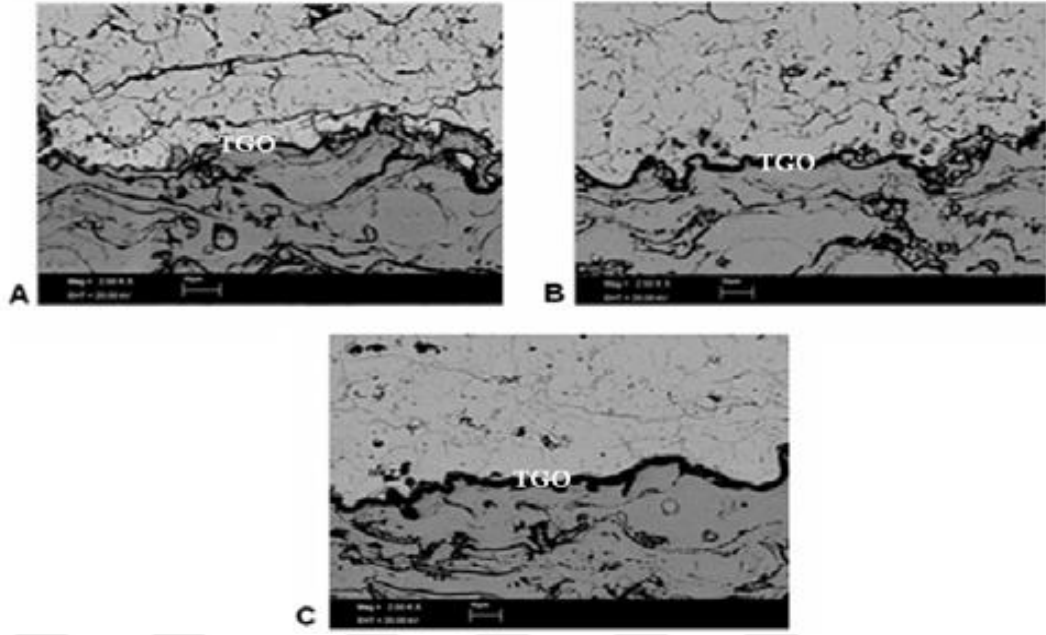
Atmosferik plazma sprey kaplamada porozite %1-7 arasında değişmekte olup bu oran porozitenin istendiği termal bariyer kaplamalarda daha da yukarı seviyelere çıkabilmektedir [33, 34, 35]. Aşağıdaki resimde atmosferik yöntemin oksitlenmeye karşı dirençli olmadığını görmekteyiz.



Şekil 3.5. CoNiCrAlY içerikli bağ kaplamaların kesit görüntüsü; a. APS yöntemiyle üretilen bir kaplamamın kesit görünümü, b. VPS yöntemiyle üretilen bir kaplamamın kesit görünümü [36].

Kullanımında birtakım kısıtlar olmasına rağmen plazma sprey kaplama yöntemi birçok malzemeye uygulanabilir oluşu, hızlı ve ekonomik olması gibi sebeplerden dolayı endüstride çok yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

Yapılan diğer bir çalışmada ise atmosferik plazma sprey kaplama (APS) yöntemi kullanılarak üretilen $ZrO_2 + Y_2O_3$ içeriğe sahip termal bariyer kaplamaların oksitlenme durumu ve oluşan oksit yapısı büyüme davranışları araştırılmıştır. Altlık malzemesi Inconel 718, kullanılan tozlar ise CoNiCrAlY (Sulzer-Metco USA, Amdry 9951, 5-37 μm) ile $ZrO_2-8\%Y_2O_3$ (GTV Germany, 45+20 μm) malzemelerdir. Yapılan kaplama sonucu kaplama kalınlıkları 100-300 μm oluşmaktadır. Kaplama yapılan malzemeye 1000 °C farklı zamanlarda oksidasyon yapısı incelenmiş ve oksit yapısı tüm kaplama arayüzeylerinde net bir şekilde gözlenmiştir [36].



Şekil 3.6. APS CoNiCrAlY bağ ve APS YSZ üst kaplamaya sahip TBC numunelerine ait 1000 °C sıcaklıktaki oksidasyon sonrası SEM mikroyapıları: a) 8 saat, b) 24 saat ve c) 50 saat [36].

Atmosferik kaplama plazma sprej yöntemi termal bariyer kaplama istenen yerlerde başarılı sonuçlar vermiştir.

BÖLÜM 4. AŞINMA

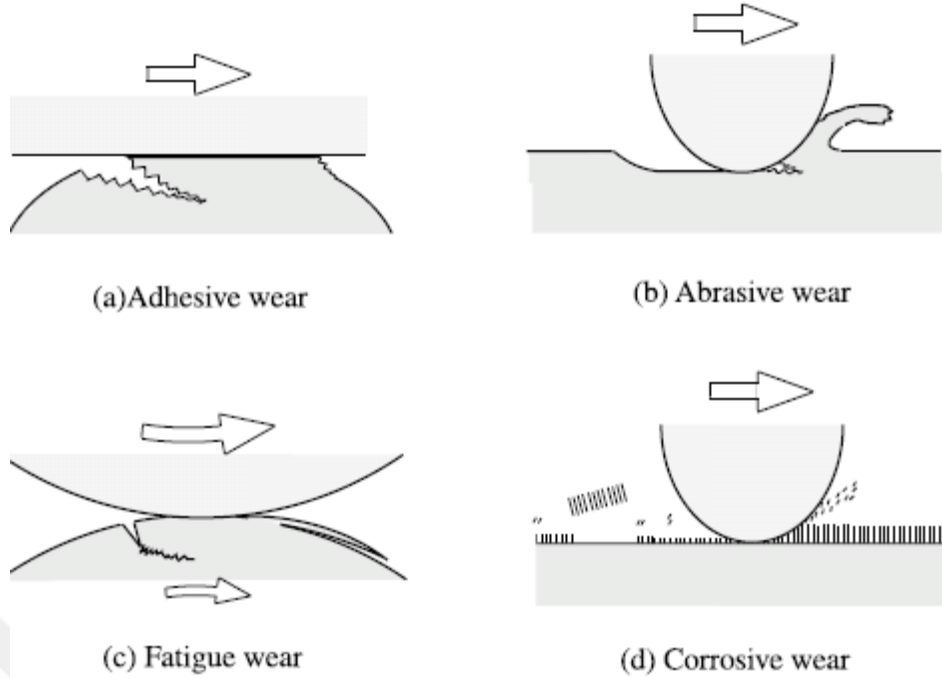
Aşınma, sürtünme ve yağlama konularını ele alan bilim dalına triboloji denilmektedir. Sürtünme enerji kayıplarına neden olurken, aşınma malzeme kaybına neden olur. Benzer çalışan yüzeylerde farklı aşınma türleri meydana gelebilir ve genel bir aşınma kanunu tanımlamak bu durumlar göz önünde bulundurularak mümkün olmaz [37,38].

Aşınmanın oluşma şartları:

- Yüzey geometrisi
- Çevresel koşullar
- Mekanik, termal, kimyasal özellikler
- Yuvarlanma veya kayma hızı
- Uygulanan yük
- Yağlayıcının fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri [37,38].

Aşınma türleri:

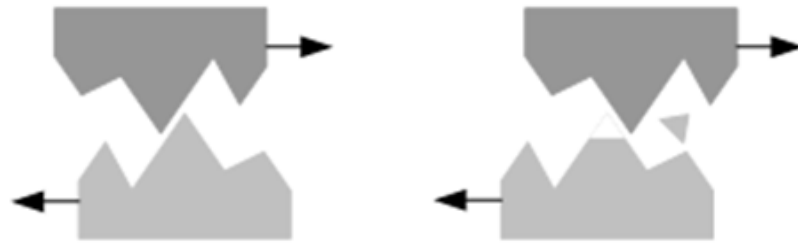
- Adhezif aşınma
- Abrazif aşınma
- Yorulma aşınması
- Eroziv aşınma [37,38].



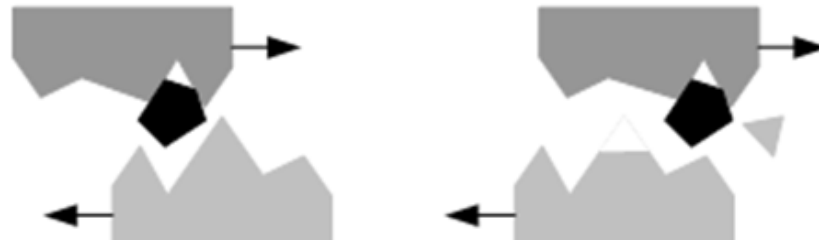
Şekil 4.1. Mekanik aşınma proseslerinin sınıflandırılması [38]

4.1. Abrazif Aşınma

Daha sert bir malzeme daha yumuşak bir malzemeye sürtünme durumunda abrazif aşınması meydana gelir.



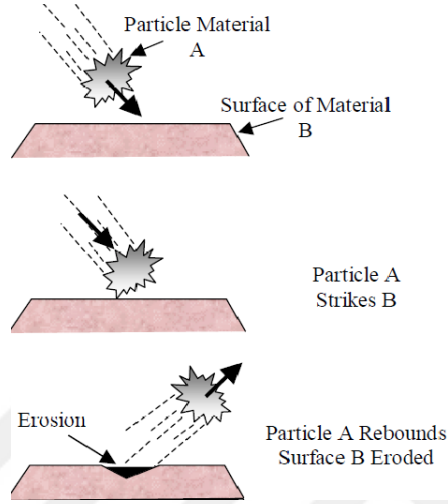
Şekil 4.2. İki boyutlu aşınma



Şekil 4.3. Üç boyutlu aşınma

4.2. Eroziv Aşınma

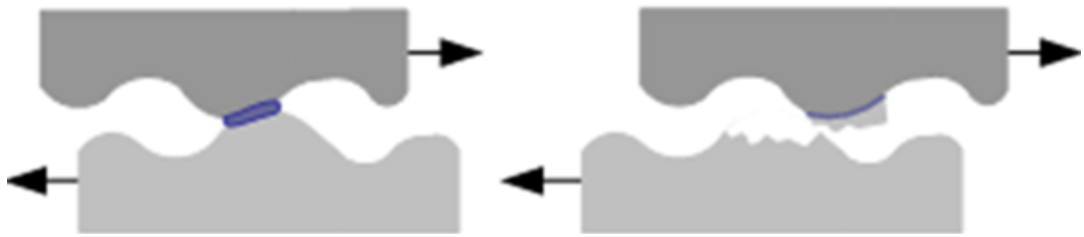
Katı parçacıkların veya küçük gaz veya sıvı damlacıklarının katı yüzeyine çarpması nedeniyle erosiv aşınma meydana gelir.



Şekil 4.4. Eroziv aşınma

4.3. Adhezif Aşınma

Biri biri üzerinde kayan iki parçadan uygulanan yüklerle birinden diğerine malzeme transfer olmasıdır.



Şekil 4.5. Adhezif aşınma

4.4. Yorulmalı Aşınma

Yüzey yorulması: Temas halinde olan iki yüzeyin yuvarlanma (rolling) ya da kısa mesafeli kaymaya sahip yuvarlanma göstermesi durumunda meydana gelmektedir.

Kontak yorulma: Bir malzemenin diğer malzeme üzerinde çok kez yuvarlanması (rolling) ile gerçekleşir. Bu yorulmada maksimum kayma gerilmesi yorulma sınırından yüksektir.



BÖLÜM 5. AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK

Paslanmaz çelikler yüksek korozyon direnci ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle geniş kullanım alanına sahiptir. Yüksek oranlarda Cr ve Ni yapıda korozyon direncini arttırmasına karşın malzemenin işlenebilirliğini düşürmekte fakat ilave edilen bazı elementler sayesinde malzemenin korozyon direncinden herhangi bir şey kaybetmeden işlenebilirlik kabiliyeti arttırılmaktadır.

Tablo 5.1. AISI 316 Paslanmaz çeliğinin kimyasal özellikleri

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	Ti	Co	Sn	Fe
0,039	1,8116	0,6704	0,0323	0,0056	16,5397	10,2502	1,8877	0,2313	0,0179	0,0548	0,0058	0,0628	0,009	68,3619

Tablo 5.2. AISI 316 Paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri

Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri			
Kalite	Kopma mukavemeti	Akma mukavemeti, (%0.2)	Sertlik, Rockwell (B)
316 (1.4401) X5CrNiMo17-12-2	515 MPa	205 MPa	95

Bu paslanmaz ostenitik paslanmaz sınıfına girmektedir. AISI 316 paslanmaz çeliğine iyi şekil verilebilir, iyi kaynak yapılabilir ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Kimya ve petrokimya endüstrisinde, gıda tesislerinde, buhar kazanlarında, aşındırıcı etkinin çok fazla olduğu tanklarda ve kazanlarda yaygın kullanıma sahiptir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Atmosferik plazma sprej kaplama yöntemi malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan ekonomik ve uygulama olarak yüksek sıcaklıklara çıkılabilen bir yüzey kaplama prosesidir.

Bu çalışmada AISI 316 paslanmaz çelik altlık malzemesi olarak kullanılmıştır. İki farklı bileşiğe sahip tozlar farklı oranlarda karıştırılmış ve termal sprej yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyine kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kaplama işlemi ile AISI 316 paslanmaz çelik yüzeylerin mekanik özelliklerin gelişmesi ve bu yüzey gelişimi ile ekonomik kazançlar sağlanması hedeflenmiştir.

Deneysel çalışmalarda; %100 Woka 7202 ve %50 Woka 7202 ile %50 Diamalloy 2002 toz karışımı kullanılarak atmosferik plazma sprej yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplanan yüzeye XRD analizi yapılarak meydana gelen fazlar incelenmiştir. Kaplanan yüzey özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi için SEM görüntüleri alınıp yorum yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün malzeme aşınma direncine etkisinin incelenmesi için yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Aşınma deneyi ile numunelerin sürtünme katsayıları ve aşınma hızları hesaplanmıştır.

6.2. Atmosferik Plazma Sprej Kaplama Yöntemi

AISI 316 paslanmaz çelikten alınan kimyasal analiz sonuçları Tablo 6.1.'de verilmiştir. Kare kesitler halinde alınan AISI 316 paslanmaz çeliği CNC tezgahında tüm numuneler aynı ölçüde olacak biçimde kesilmiştir.

Tablo 6.1. Altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	Ti	Co	Sn	Fe
0,039	1,8116	0,6704	0,0323	0,0056	16,5397	10,2502	1,8877	0,2313	0,0179	0,0548	0,0058	0,0628	0,009	68,3619

Yapılan deney çalışmasında kaplama tozu olarak 2 farklı bileşiğe sahip toz karışımları kullanılmıştır. Kullanılan toz karışımının kütlece oranları Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Kullanılan tozların kütlece oranları

Toz-1	Toz-2
% 100 Woka 7202 Cr ₃ C ₂ -NiCr	% 50 Woka 7202 Cr ₃ C ₂ -NiCr % 50 Diamalloy 2002 (WC12Co)

Woka 7202 tozu aynı zamanda Cr₃C₂-NiCr ürün adı ile de endüstride bilinmekte ve 69,9Cr - 20Ni - 9,6C - 0,5Fe kimyasal bileşene sahiptir. Tablo 6.3.' de kullanılan kaplama tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Görünür yoğunluğu 2,5-3,5 g/cm³, toz tane boyut aralığı -45+15 µm ve tane yapısı küresel şeklindedir. Diamalloy 2002 kimyasal kompozisyon olarak WC 88% - Co 12% yapıdadır ve endüstride WC12Co ismiyle bilinmekte ve 50(WC-12Co) 33Ni - 9Cr - 3.5Fe - 2Si - 2B - 0.5C kimyasal bileşene sahiptir. Tane boyut aralığı -45 +11 µm arasındadır. Bu toz yüksek akıcılığa sahip olması ve yapışma özelliğinin çok yüksek seviyelerde olması aşınmaya dayanımı arttırmaktadır. Diğer bir avantajı ise pürüzsüz yüzey kaplama istenen malzemeler için çok uygun olması ve bununla beraber yapışma sonrası düşük porozite oranına sahiptir.

Tablo 6.3. Kaplama tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kullanılan Tozlar	Toz-1(Woka 7202)	Toz-2(Diamalloy 2002)
Kimyasal Kompozisyon	69,9Cr - 20Ni - 9,6C - 0,5Fe	50(WC-12Co) 33Ni - 9Cr - 3.5Fe - 2Si - 2B - 0.5C
Toz Boyut Dağılımı	-45+15 µm	-45 +11 µm
Çalışma Sıcaklığı	870 °C	540 °C
Toz morfolojisi	küresel	küresel

Altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğinin kimyasal analizi spektrometre cihazında ölçülmüş Tablo 6.1.'de verilmiştir. CNC tezgahında hazırlanan kaplama yapılacak altlık malzemelere öncelikle kaplama işleminin istenilen performans kriterlerine sahip olabilmesi için kumlama işlemi yapılmıştır.

Kumlama işlemi yapıldıktan sonra hazırlanan toz karışımları altlık malzemesine püskürtülmüş ve kaplama işlemi gerçekleşmiştir.

6.3. Metalografik İncelemeler

Atmosferik plazma spreycaplama yöntemi ile üretilen altlık malzemeler metalografik incelemelerin yapılması için kesme cihazı (Struers Labotom-3) ile hassas biçimde kesilmiş ve kesit incelemesi yapılmak amacıyla bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler 60, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh' lik Metaserv 2000 marka SiC zımparalardan geçirilmiştir. Zımpara işlemi sonrası yüzey parlatma işlemi yapıp %2 (2 ml HNO₃, 98 ml alkol)' lik nital çözeltisi kullanılarak yüzey dağlanmıştır.

6.4. Optik Çalışmalar

Dağlanmış deney numuneleri Zeiss marka AX10 model optik mikroskop yardımıyla kaplanmış olan numunelerin kesitlerinden değişik büyütmelerde optik görüntüleri alınmıştır.

6.5. Mikrosertlik Ölçümleri

Kaplama tabakasının yüzey sertliği Leica marka VMHT MOT model mikrosertlik cihazı kullanılarak alınmıştır (Şekil 6.1.). Yüzey sertlikleri 10 saniye 50 gr yük altında uygulanarak 3 farklı bölgeden elde edilen üç değerın ortalaması alınarak bulunmuştur.



Şekil 6.1. Mikrosertlik cihazı

6.6. X-Işınları Analizleri

Kaplanan deney numuneleri kesme işlemine tabi tutulmadan önce analizleri Rigaku X-Ray D/MAX/2200 marka x-ışınları difraktometresi kullanılarak yapılmıştır. X-ışınlarının enerjilerini hesaplayarak elementlerin tayin edilmesini, gelen ışınları da sayarak element miktarlarının belirlenmesini sağlar.

6.7. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri

SEM çalışmaları JEOL JSM-6060 LV marka cihazla yapılmıştır. Ayrıca aşınma deneyleri sonrasında da SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Elektron demetleri göndererek numune yüzeyi taranır, elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek malzeme yüzeyi hakkında farklı yüksekliklerde pikler gönderir. Bu da malzeme yüzeyinde var olan elementler ve oluşan bileşikler hakkında bilgi verir.

6.8. Aşınma Deneyleri

Hazırlanan deney numunelerine aşınma deneyleri CSM marka bilya-disk cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 6 mm çapında alümina bilya ile yapılmıştır.

Aşınma deneyleri ortam sıcaklığının ortalama 25°C, nem oranının ise yaklaşık %30 olduğu ortamda yapılmıştır. Aşınma deneyinden önce deney numuneleri ve kullanılacak 6mm çapındaki alümina bilyalar alkolle temizlenmiştir. Deney sırasında uygulanan yükler 2N, 3N ve 5N' dir. Deneylerde kullanılan mesafe parametreleri ise 100 m, 200 m ve 400 m'dir. Hız olarak 0.1 m/sn, 0.2 m/sn ve 0.3 m/sn olmak üzere 3 farklı hız seçilmiştir. Deney esnasında aşındırıcı bilyanın yönü her deney için çevrilmiştir. Aşınma deneyinin doğru veriler vermesi için kaplama uygulanan yüzeye yük uygulayan kolun temasında çok hassas davranılmıştır. Bilyada oluşan iz genişlikleri stereo mikroskop yardımı ile ölçülmüştür. Uygulanan deney esnasında elde edilen veriler CSM firmasına ait programa aktarılmakta ve sürtünme katsayısı ile aşınma hızı değerleri hesaplanıp yol grafikleri elde edilerek yorumlanmıştır. Aşınma yöntemi olarak çizgisel (lineer) aşınma uygulanmıştır.

Daha sonra aşınma hesaplamalarına ve yorumlarına yardımcı olması amacıyla KLA TENCOR marka Alpha-Step D-600 Stylus Profiler model ile numunelerin aşınma sonrası yüzey pürüzlülükleri 2D ve 3D olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.2. KLA TENCOR marka Alpha-Step D-600 Stylus Profiler model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Şekil 6.3.'de Sulzer Metco marka çoklu kaplama yapılan cihaz ve ekipmanları bulunmaktadır.



Şekil 6.3. Termal Sprey Kaplama cihazı

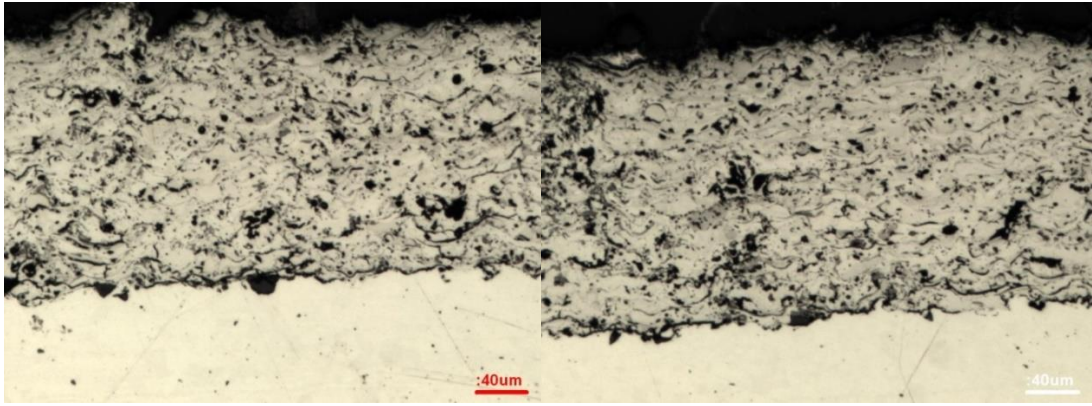
BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Optik Görüntüler

Atmosferik plazma sprej kaplama sonrasında malzeme yüzeyinde meydana gelen değişimleri tespit edebilmek, oluşan kaplamaların kalınlıklarını görebilmek için numunelerin kesitleri incelenmiştir. Şekil 7.1. ve Şekil 7.2.' de %100 7202 Woka tozu ve %50 7202 Woka ile %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan kaplamaların optik görüntüleri görülmektedir. Optik görüntülerden de anlaşılacağı üzere kaplama tabaka kalınlıkları tozların farklılık durumuna göre değişiklik göstermektedir. %100 7202 Woka tozu kullanılarak yapılan kaplama işlemi kalınlığı 27.20 μm iken, %50 7202 Woka ve %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplama işlemi kalınlığı 53.78 μm 'dir.

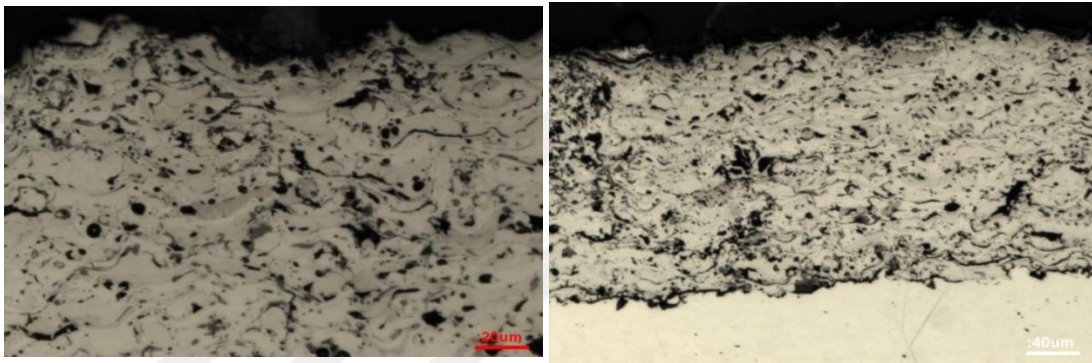
Toz püskürtme mesafesi ve paso sayısı aynı olmasına rağmen kaplama kalınlığındaki farklılığa sebep olarak kullanılan kaplama tozu içeriğini dikkate alabiliriz. Yapı içerisinde tam ıslanma sağlanamadığından gözenekli bir kaplama oluşmuştur. Krakhmalev ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yapı içerisinde oluşan WC fazların malzemenin aşınma dayanımını arttırdığı görülmüştür [55].

Optik yapılarda en altta ana malzeme(altlık), kaplama tabakası görülmektedir. %100 woka 7202 tozu kullanıldığında kaplama içeriğindeki porozite miktarı biraz daha düşüktür. Karışım tozla yapılan kaplamada kaplama içerisindeki porozite miktarı artmıştır. Ancak bu karışım tozu ile yapılan kaplama kalınlığının daha yüksek oluşu da gözden kaçmamaktadır [45].



a) %50 7202 Woka tozu-%50 Diamalloy tozu 100x büyütmedeki optik görüntü

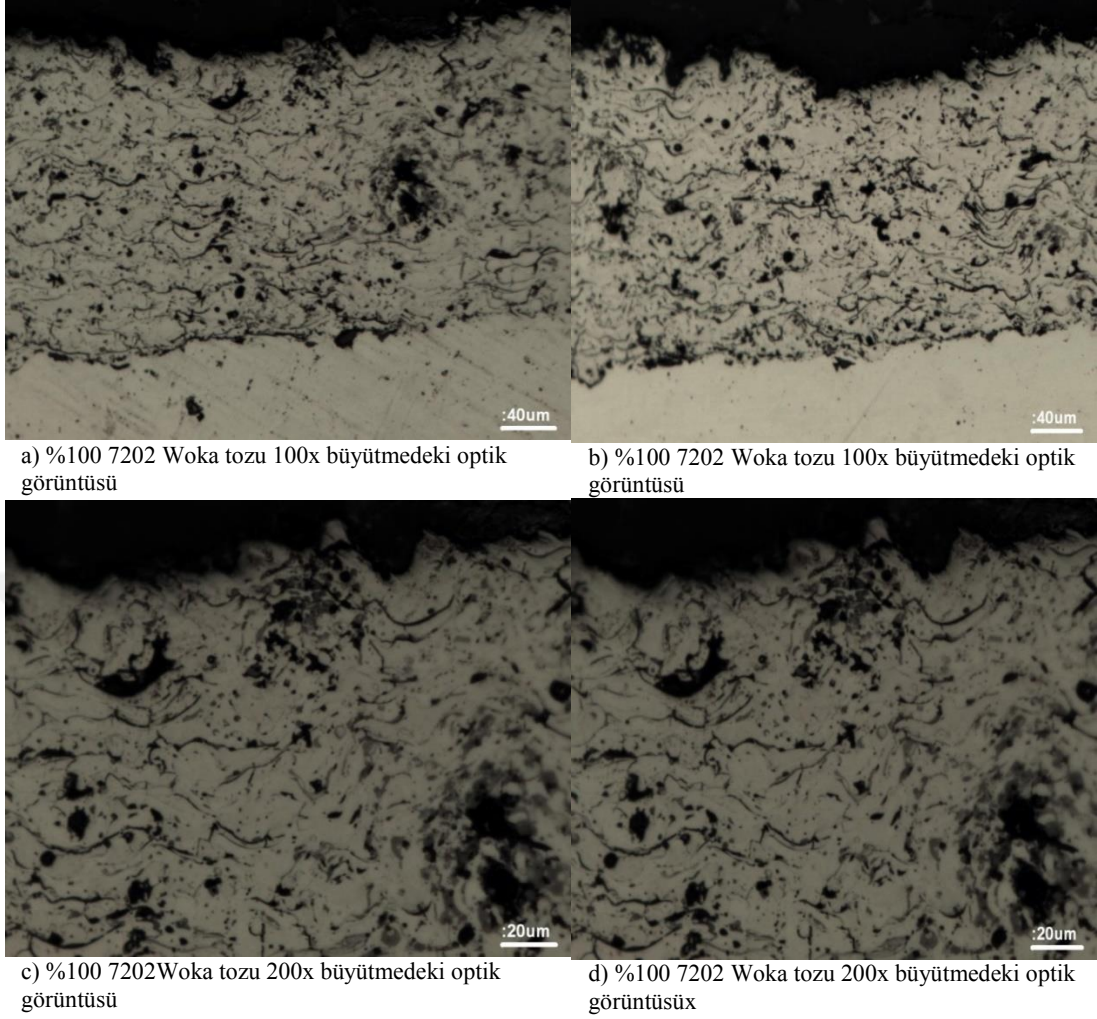
b) %50 7202 Woka tozu-%50 Diamalloy tozu 100x büyütmedeki optik görüntü



c) %50 7202 Woka tozu-%50 Diamalloy tozu 200x büyütmedeki optik görüntü

d) %50 7202 Woka tozu-%50 Diamalloy tozu 200x büyütmedeki optik görüntü

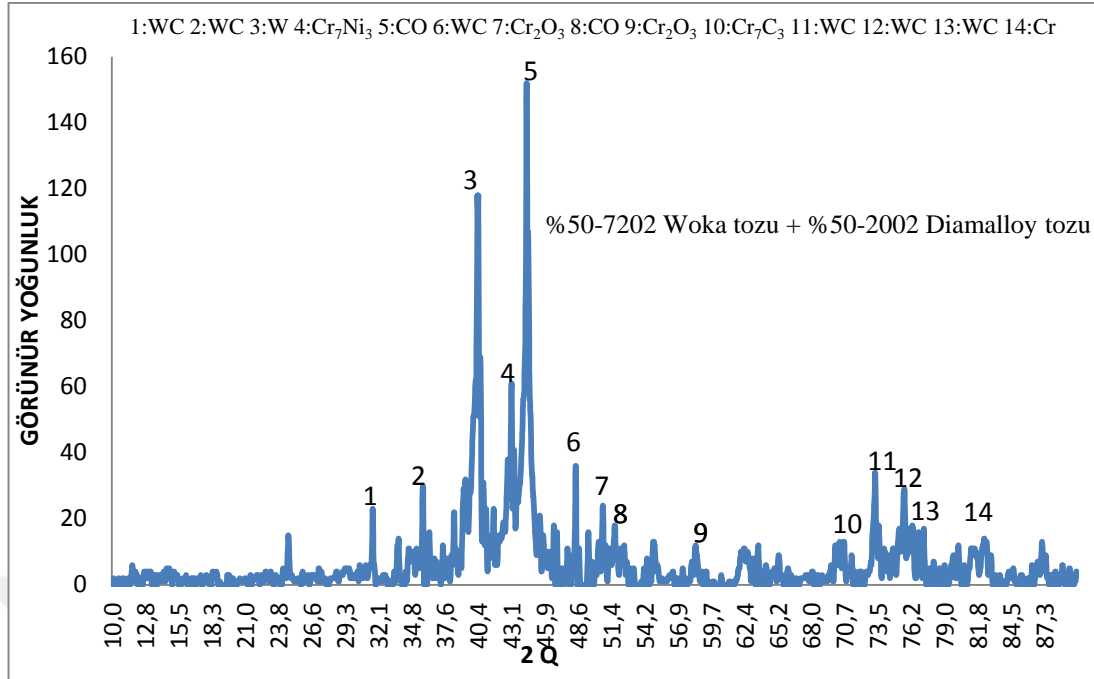
Şekil 7.1. a) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki sağ taraf optik görüntüsü b) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü c) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki sağ taraf optik görüntüsü d) %50 7202 Woka tozu ve %50 Diamalloy tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü



Şekil 7.2. a) %100 7202 Woka tozuyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki orta kısım optik görüntüsü b) %100 7202 Woka tozuyla kaplanan numunenin 100X büyütmedeki sol taraf optik görüntüsü c) %100 7202 Woka tozu karışımıyla kaplanan numunenin 200X büyütmedeki orta kısımdan optik görüntüsü d) %100 7202 Woka tozu 200x büyütmedeki optik görüntüsü

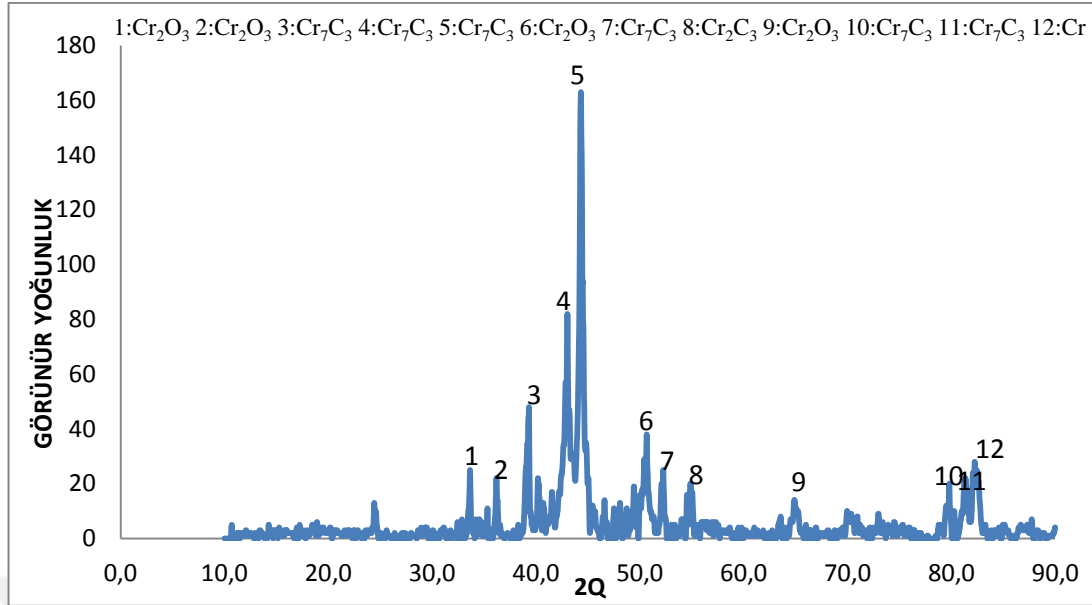
7.2. X-Işını Analiz Sonuçları

% 100 7202 Woka tozu ve %50 Woka tozu ile %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak uygulanan atmosferik plazma sprej kaplı AISI 316 paslanmaz çeliklerinin x-ışını analizleri yapılmıştır. İşlem öncesi ana yapıdaki fazlar belirlenmiş ve 2 farklı deney parametresi kullanılarak yapılan kaplama deney numuneleri işlemden sonra x-ışını analizleri ile oluşan yeni fazlar bulunmuştur.



Şekil 7.3. %50 7202 Woka tozu ve %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan karışımın kaplama numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 7.3.'de X-ışını analizi kaplama işlemi sonrası meydana gelen yeni faz oluşumları görülmektedir. CuK α radyasyonu yardımı ile gerçekleştirilen x-ışınları sonucu elde edilen fazlar grafik üzerinde verilmektedir. Kaplama işlemi sonrası yeni fazların oluştuğu görülmüştür. Kaplama tabakasında WC, W, Cr₇Ni₃, CO, Cr₂O₃, Cr₇C₃, Cr bileşiklerinin mevcut olduğu görülmüştür. Yapı içerisinde yüzey özelliklerine katkı sağladığı düşünülen bu fazların varlığı mekanik özellikler bakımından önemlidir. CO ve W fazlarının yapı içerisinde miktarca fazla olduğunu XRD analizindeki pik seviyesinden tespit edilmiştir. WC malzeme içerisinde oluşan ve mekanik özelliklerin iyileşmesinde etkisi yapılan çalışmalarda da görülmüştür [39, 40, 55].



Şekil 7.4. %100 7202 Woka tozu kullanılarak hazırlanan kaplama numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 7.4.'de X-ışını analizi kaplama işlemi sonrası meydana gelen yeni faz oluşumları görülmektedir. $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu yardımı ile gerçekleştirilen x-ışınları sonucu elde edilen fazlar grafik üzerinde verilmektedir. Kaplama işlemi sonrası yeni fazların oluştuğu görülmüştür. Kaplama tabakasında Cr_2O_3 , Cr_7C_3 , Cr_2C_3 , Cr bileşiklerinin mevcut olduğu görülmüştür. Yapı içerisinde yüzey özelliklerine katkı sağladığı düşünülen bu fazların varlığı mekanik özellikler bakımından önemlidir. Cr_7C_3 fazlarının miktarca fazla olduğu vermiş olduğu pikin şiddetinden görülmüştür [39, 40].

X-ışınları sonuçlarında görülmüştür ki; kaplama işlemi sonrası yapıda yeni fazlar oluşmuştur. Atmosferik plazma sprej kaplama işlemi sonrası farklı faz oluşumları gözlemlenmiştir. Bu fazlar krom karbür ve volfram karbür esaslı fazlar (Cr_7C_3 , Cr_2C_3 , WC), Cr ve W bileşikleridir. Oluşan bu yeni fazlar malzemenin mekanik özelliklerini ve aşınma dayanımını olumlu yönde etkileyecektir [40]. Özellikle malzeme yüzeyinde oluşabilecek aşınma hasarlarını minimize edebilecek faz oluşumları görülmüştür. Yapı içerisinde var olan Ni ve Cr gibi elementler artarsa aşınma dayanımı da artar [41].

7.3. Mikro Sertlik Sonuçları

Atmosferik plazma sprey yöntemi ile farklı toz karışımı kullanılarak kaplanan yüzeylere mikro sertlik cihazıyla 3 farklı bölgeden sertlik değerleri alınmış ve bu 3 değerlerin ortalaması ile sertlik değerleri bulunmuştur. Kaplama işlemi ile oluşan fazlar sebebiyle yüzeyde sertlik değerlerinde artış görülmüştür. Altlık olarak seçilen paslanmaz çeliğin sertliği 200 HV iken yapılan kaplama işlemi ile yüzeyde ki sertlik değerlerinde neredeyse 5 katlık bir artış meydana gelmiştir. Tablo 7.1.'de %100-7202 woka tozunun sertlik değerleri 1022 HV iken karışım tozunun 1200 HV olarak gösterilmiştir. Tablo 7.1.'de sertlik değerlerini karşılaştırdığımızda ise karışım tozunun sertlik değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karışım tozlarının yapısındaki sert faz çeşitliliğinin fazla olması sebebiyle sertlik değerlerinde ki artış veya farklılık beklenen bir sonuçtur [42].

Tablo 7.1. %100 7202 Woka tozu ve %50 Woka tozu-%50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan numunelere ait farklı sertlik değerleri

	%100 7202 Woka Tozu	%50 7202 Woka Tozu-%50 2002 Diamalloy Tozu
Ortalama Sertlik (HV)	1022	1200

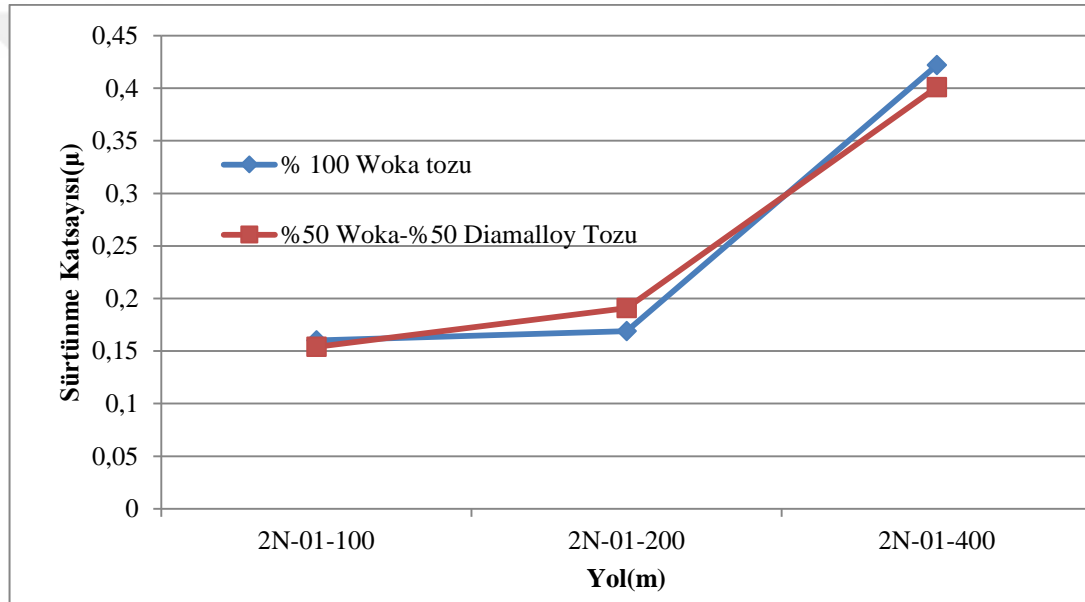
7.4. Sürtünme Katsayıları

Hız, yüzey pürüzlülüğü, malzeme sertliği, karşı yüzey malzeme cinsi, oluşan film tabakası, ortam şartları, uygulanan yük gibi parametrelere bağlı olarak sürtünme katsayısı değişiklik göstermektedir. Uygulanan yük artmasıyla sürtünme katsayısı ve aşınma oranında artış görülür. Yapı içerisinde oluşan karbür gibi sonradan oluşan fazlar da sürtünme katsayısını etkilemektedir [47, 49, 51].

Metal havayla temas halinde olduğunda bir miktar oksitlenmekte ve birkaç dakika içinde yüzeylerinde ince bir oksit tabakası oluşmaktadır. Oluşan oksit tabakası metallerin birbiriyle temasını engellediğinden adhezyon azalmaktadır. Buna bağlı olarak sürtünme katsayısında düşüş meydana gelmektedir. Uygulanan yük oluşan oksit tabakasını kırmaya yetecek kadar büyük ise oksit tabakası parçalanarak metal yüzeylerin temasına neden olur ki bu durumda yüksek sürtünmeye neden olur [47, 50].

Yapılan deneysel çalışmalarda Quaglini ve arkadaşları oluşan film tabakasının sürtünme katsayısına etkisini azaltıcı bir faktör olarak tespit etmişlerdir [52].

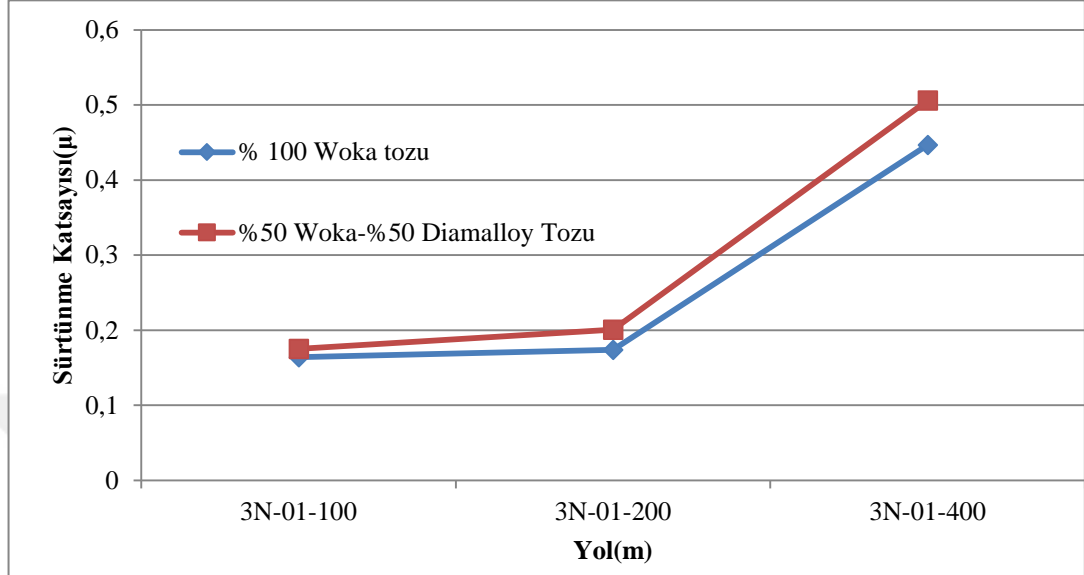
Şekil 7.5.'de 2N yük altında, 100,200 ve 400 metre mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. XRD analizlerinden de görüldüğü 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 [50].



Şekil 7.5. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

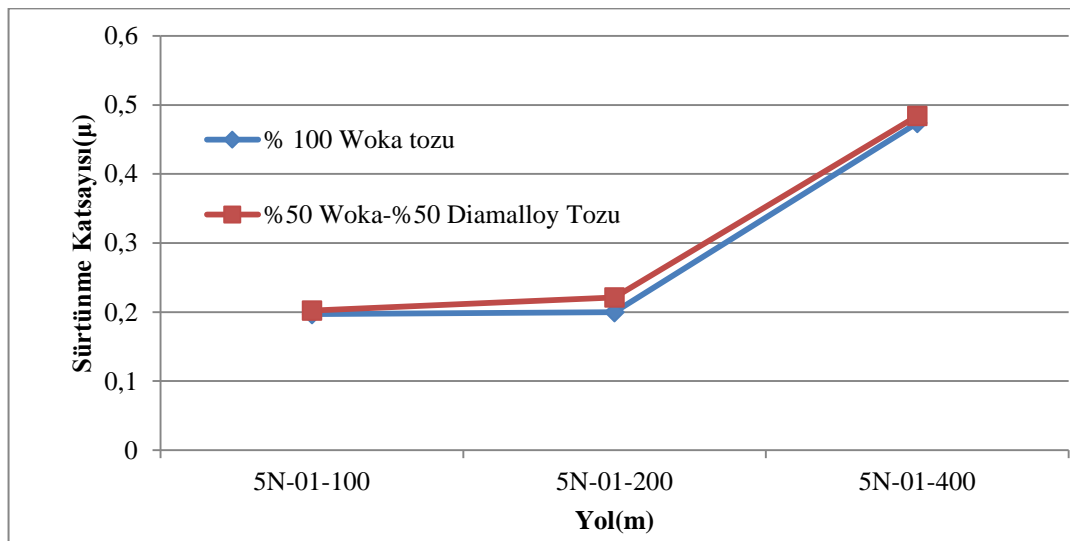
Şekil 7.6.'da 3N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde

düşüşe neden olmuş olabilir [49,50]. Benzer durum ve yorumlar diğer grafikler içinde aynıdır.



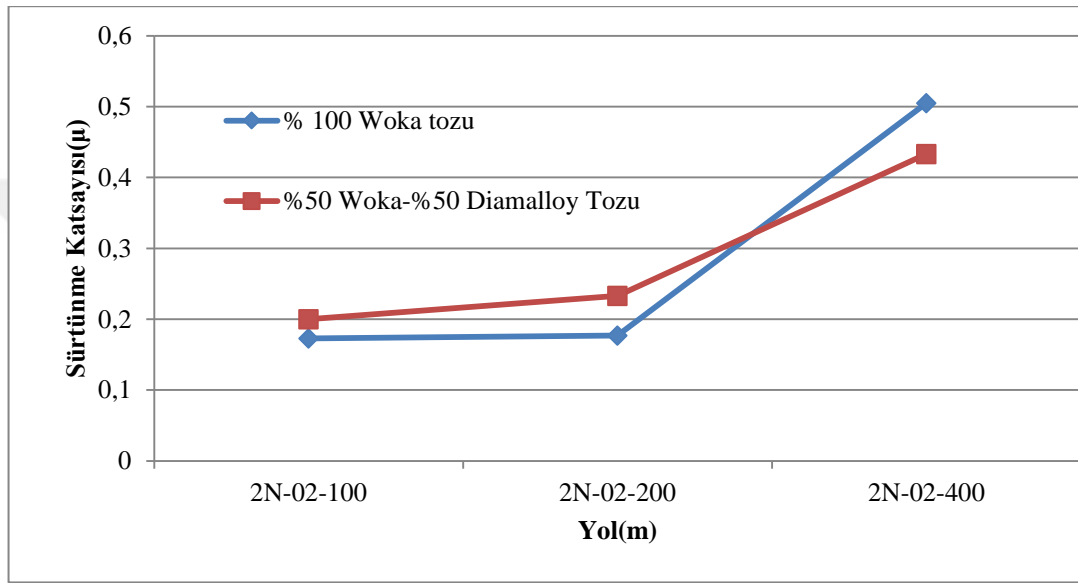
Şekil 7.6. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.7.'de 5N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre iki tozdan yapılan kaplama numunelerinin sürtünme katsayılarının yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür.



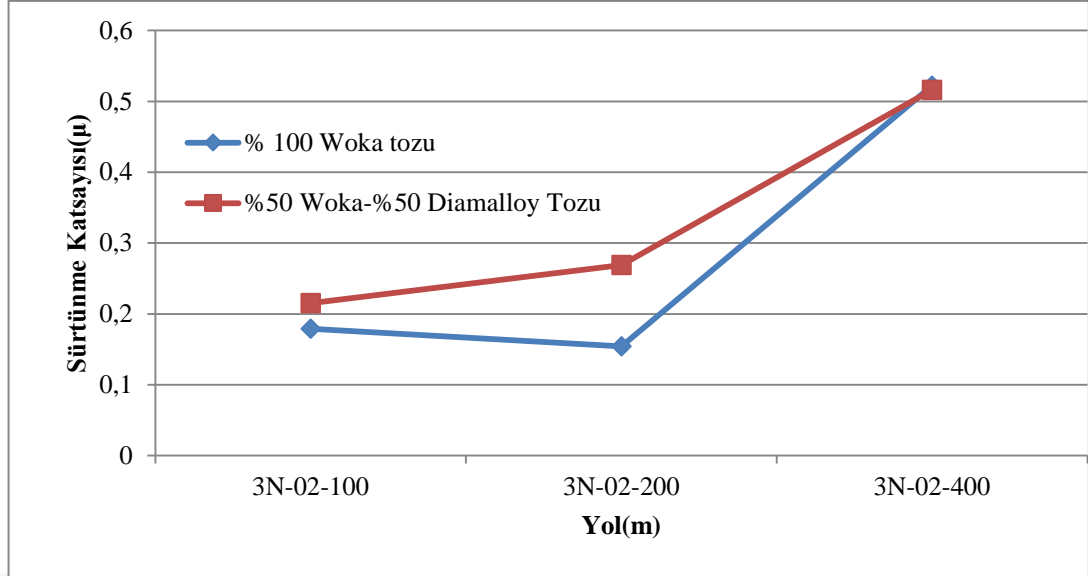
Şekil 7.7. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,1 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.8. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



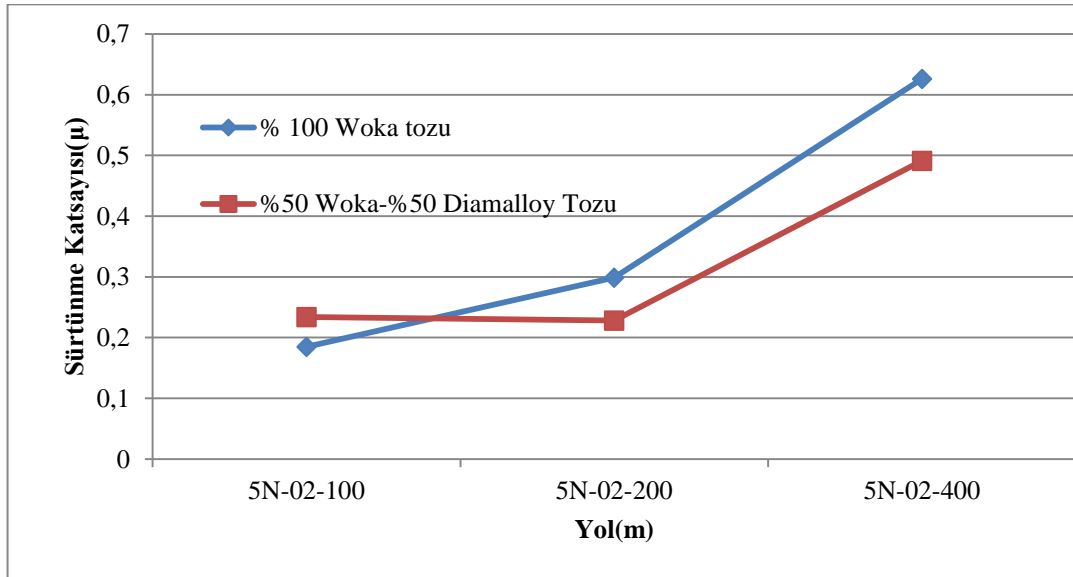
Şekil 7.8. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.9. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuyla yapılan kaplamadakine eşit olduğu görülmüştür.



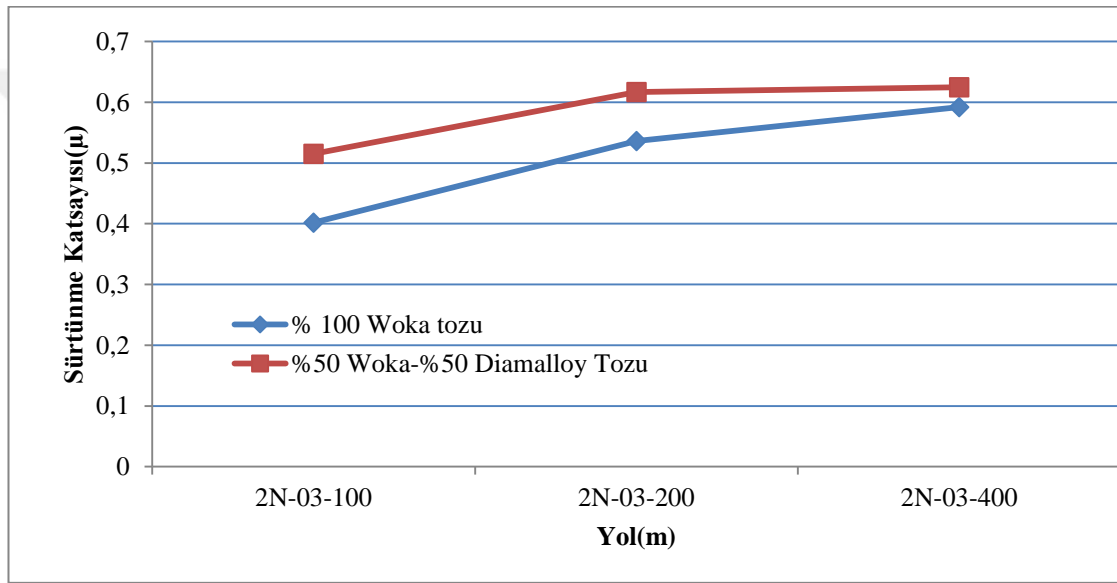
Şekil 7.9. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.10.'da 5N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 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.



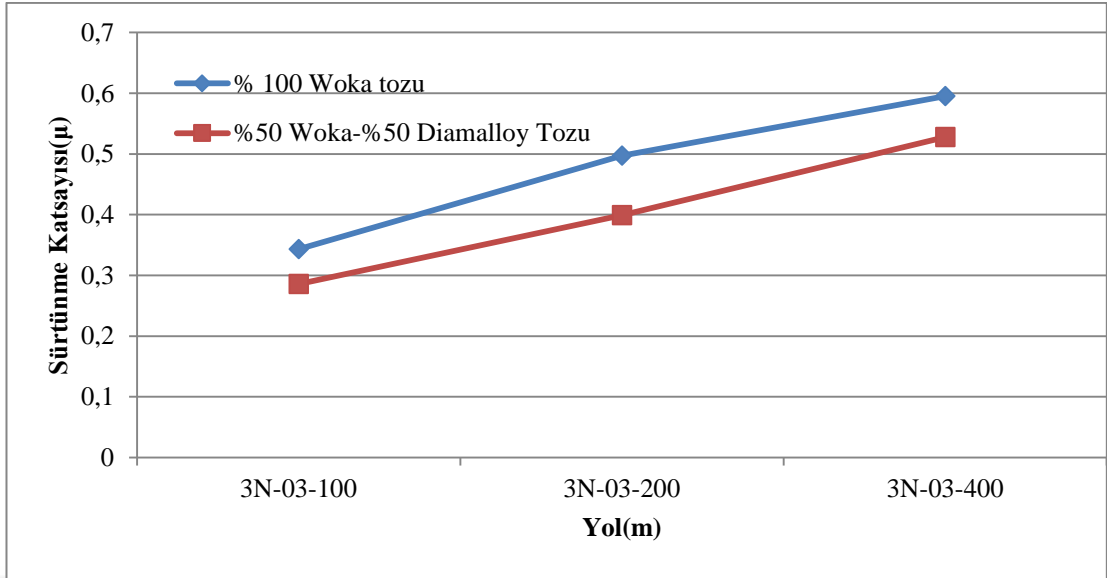
Şekil 7.10. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.11.'de 2N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



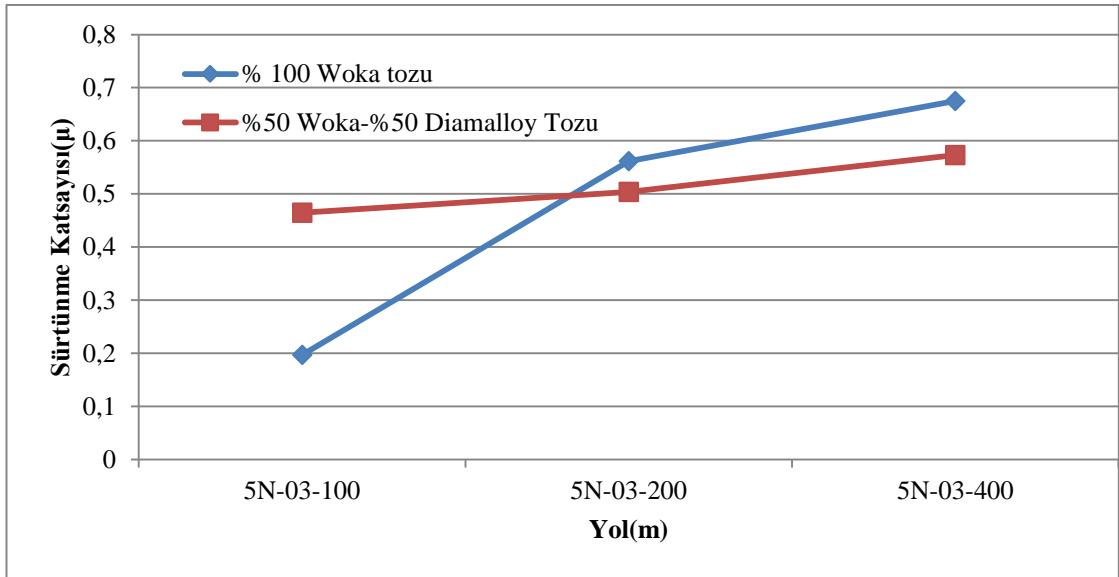
Şekil 7.11. 2N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği.

Şekil 7.12.'de 3N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 7.12. 3N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

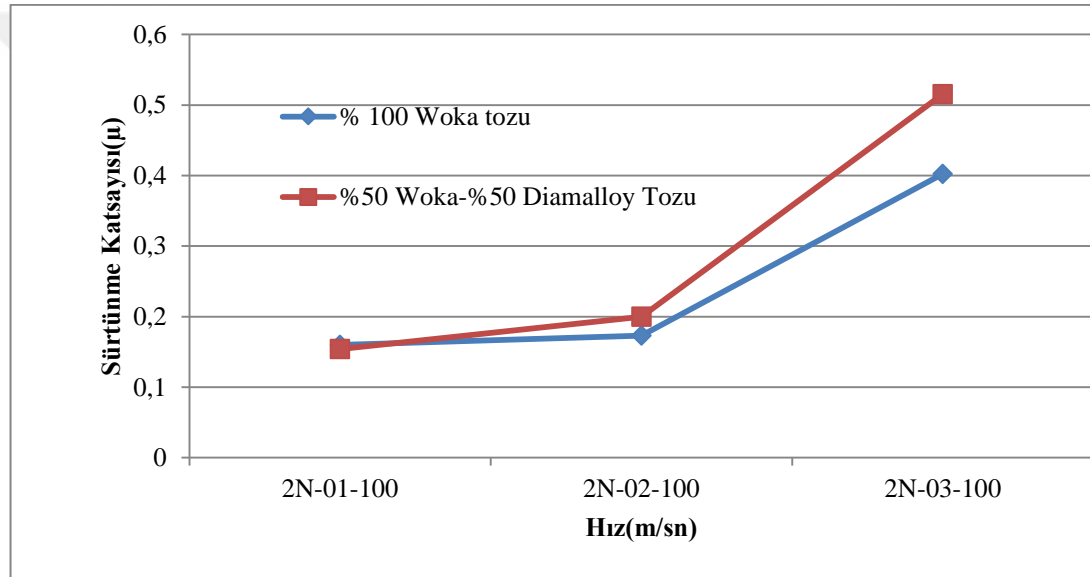
Şekil 7.13.'de 5N yük altında, 100, 200 ve 400 metre mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımınkine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 7.13. 5N yük altında, 100, 200 ve 400 m mesafede 0,3 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yol grafiği

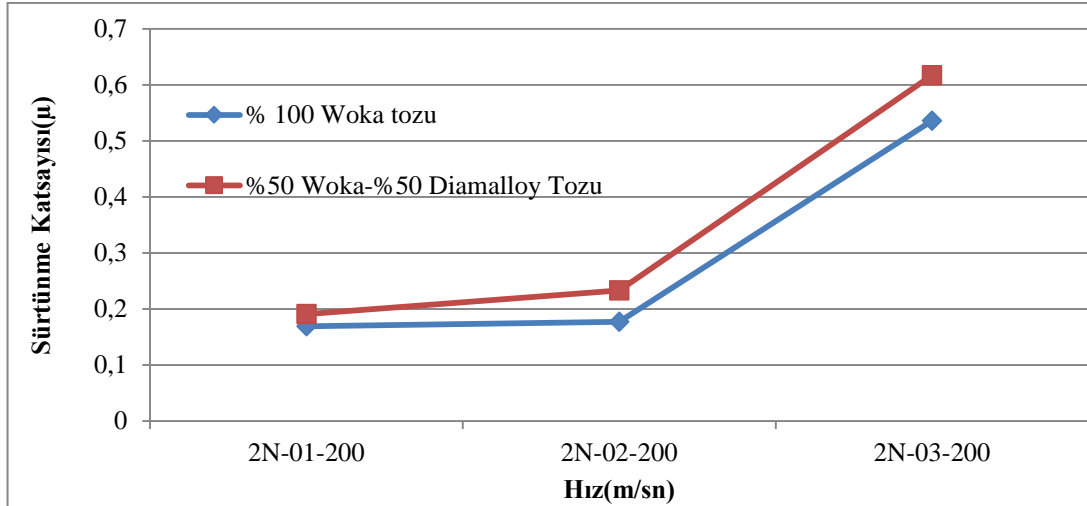
Şekil 7.14.'de 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %50 7202

woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir. Bu numune grubunda sürtünme katsayı değerleri hız arttıkça artan eğilim göstermiştir.



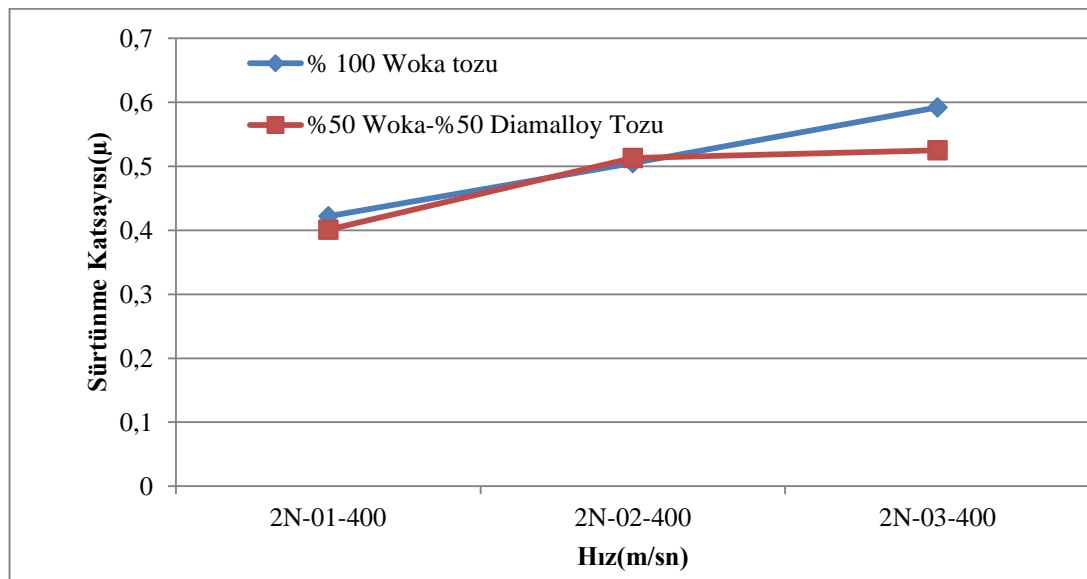
Şekil 7.14. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.15.'de 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sertliği arttıran fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Bu numune grubunda da sürtünme katsayı değerleri hız arttıkça artan eğilim göstermiştir.



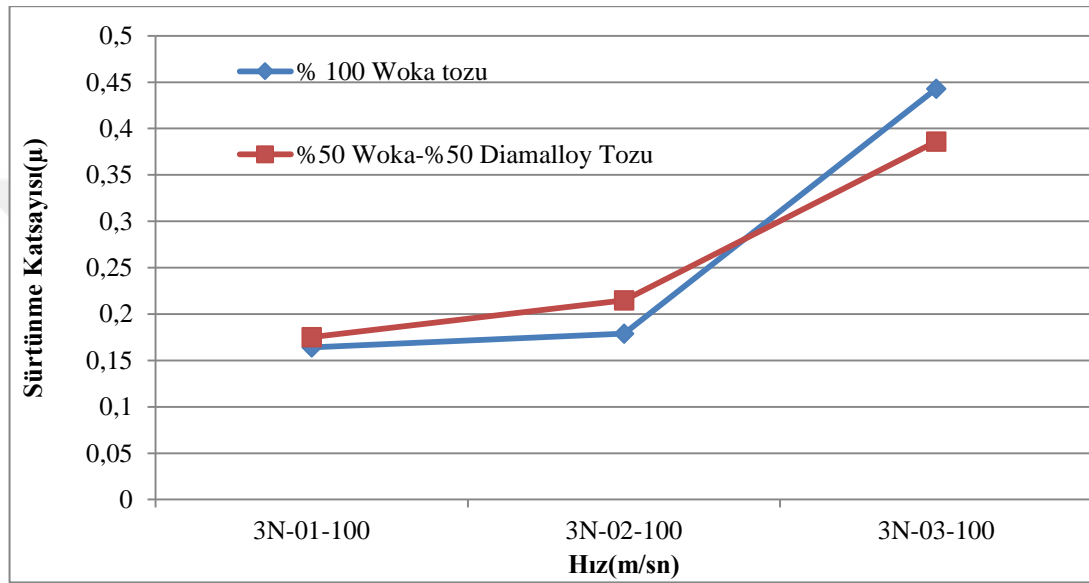
Şekil 7.15. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.16.'da 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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. Bu numune grubunda da sürtünme katsayı değerleri hız arttıkça artan eğilim göstermiştir.



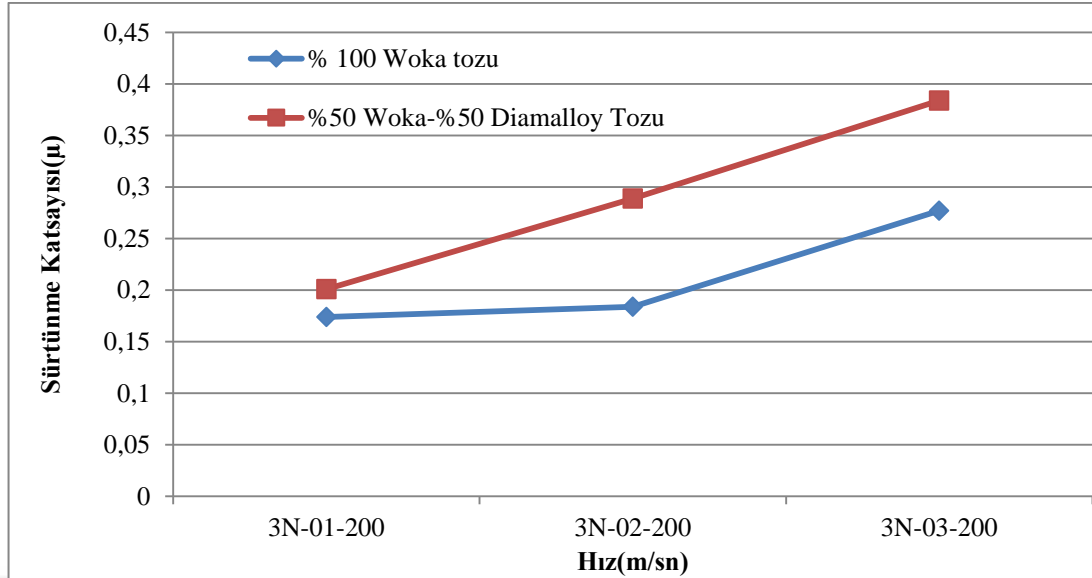
Şekil 7.16. 2N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.17.'de 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



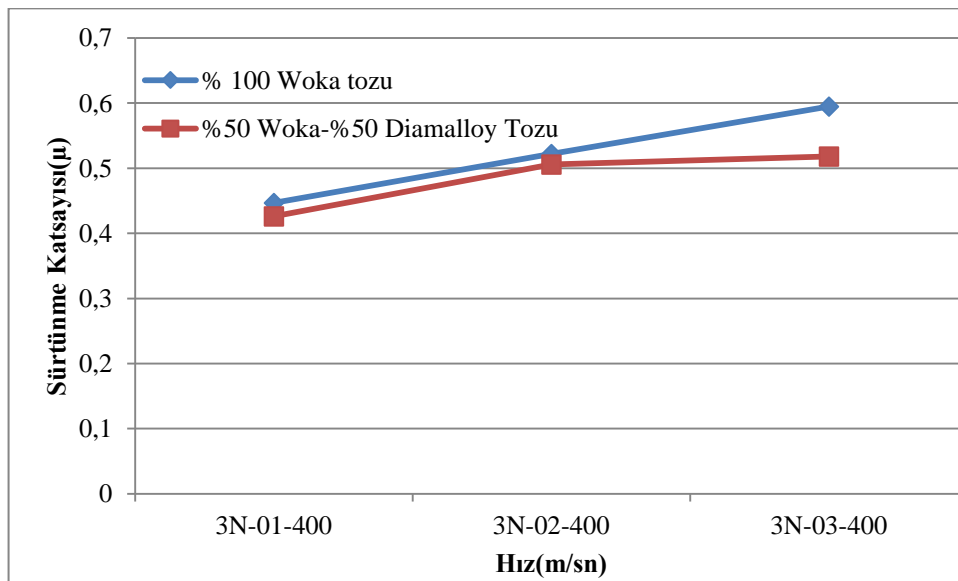
Şekil 7.17. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.18.'de 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



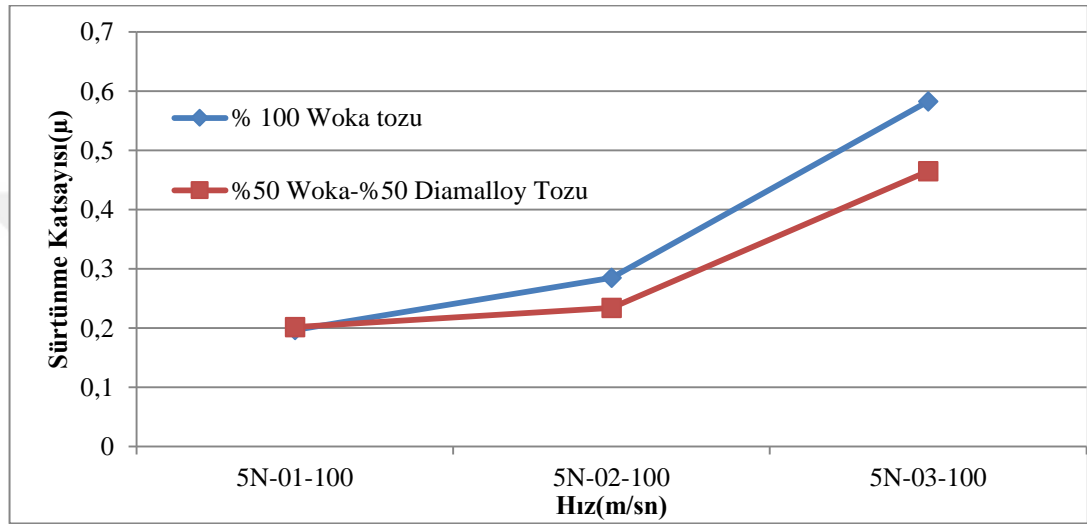
Şekil 7.18. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.19.'da 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımınkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



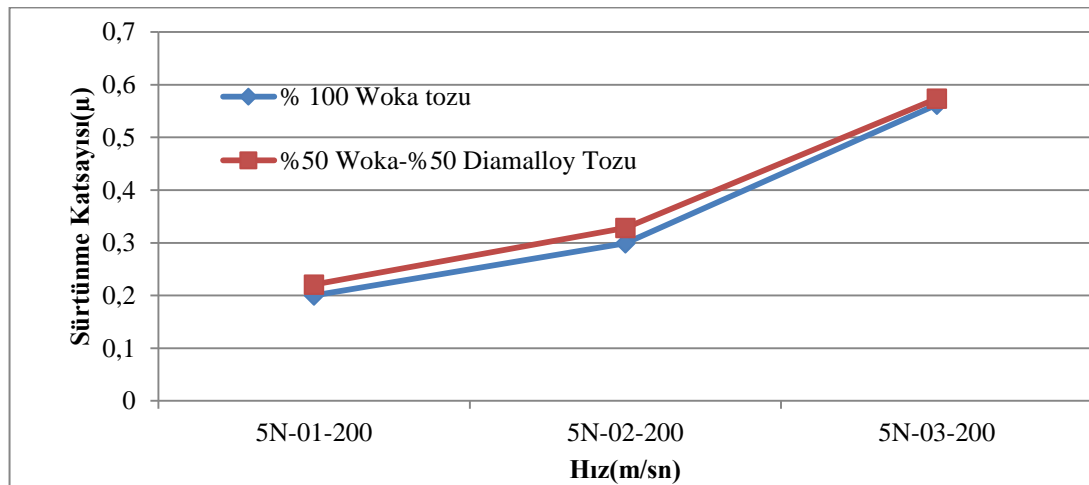
Şekil 7.19. 3N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.20.'de 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %100 Woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



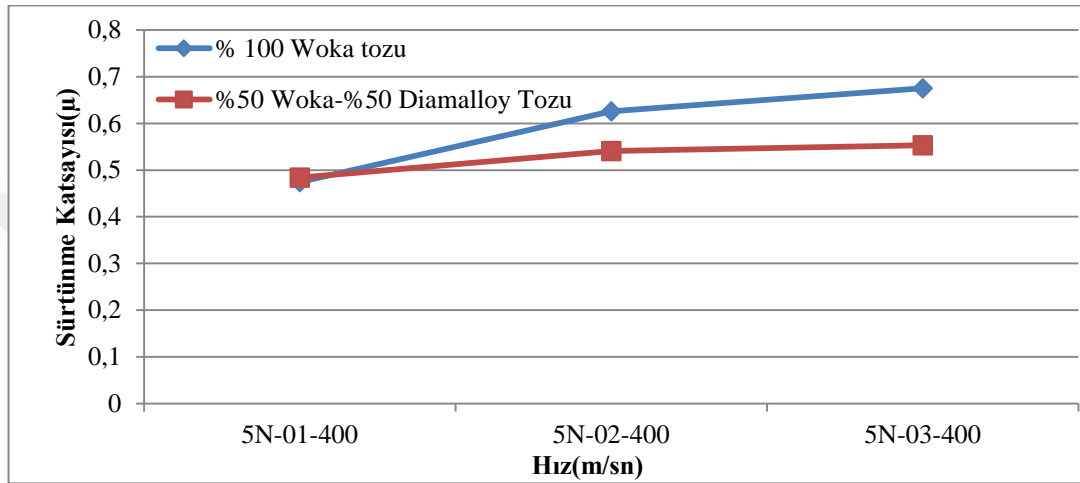
Şekil 7.20. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.21.'de 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. Uygulama da kullanılan 2 farklı toz karışımının sürtünme katsayı değerleri eşitlik göstermiştir.



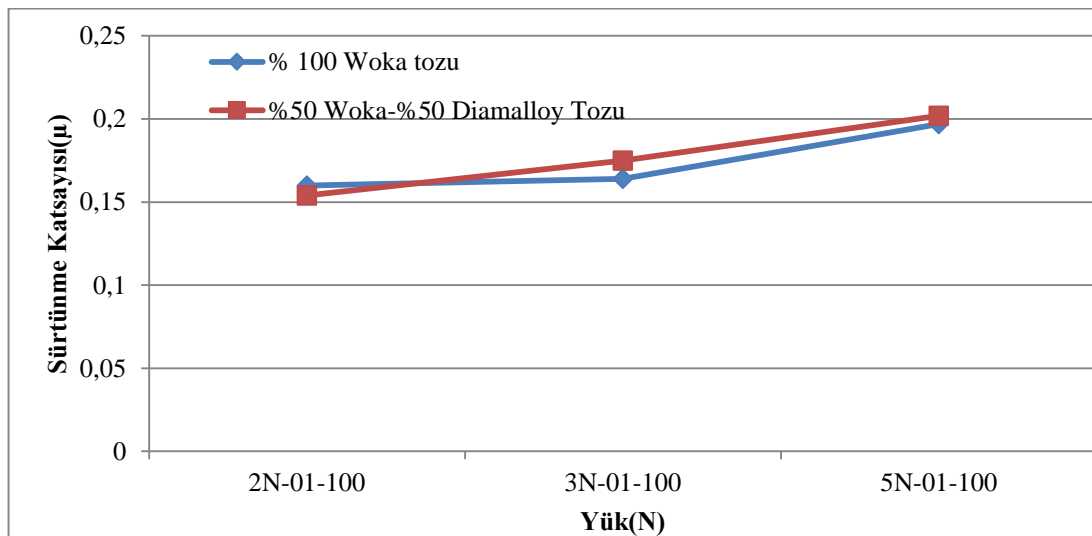
Şekil 7.21. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 200 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.22.'de 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği verilmiştir. %100 Woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



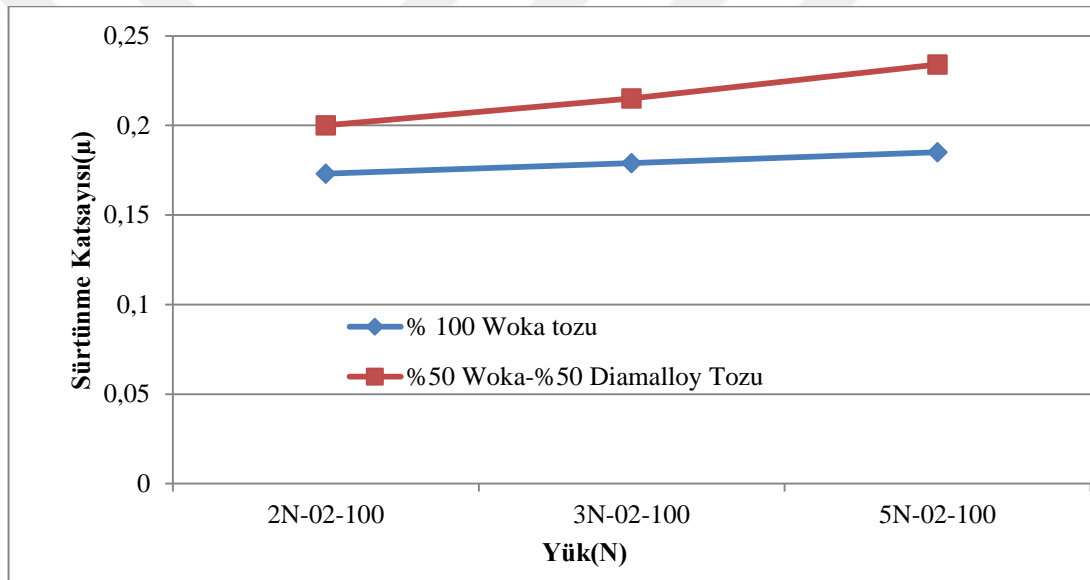
Şekil 7.22. 5N yük altında, 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 400 metre mesafede aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-hız grafiği

Şekil 7.23.'de 0,1 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. Yapılan kaplamada 2 numunenin de sürtünme katsayılarının eşit olduğu görülmüştür.



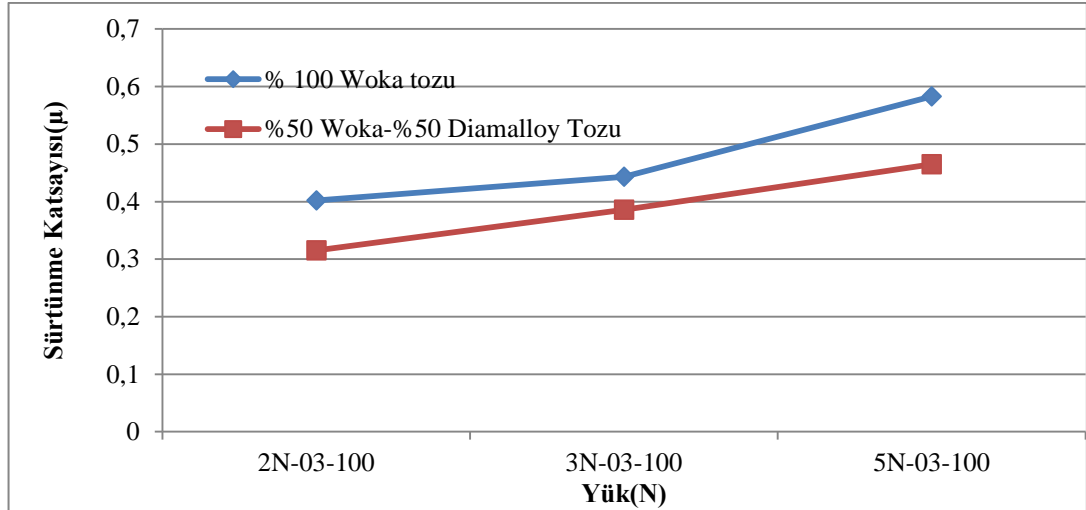
Şekil 7.23. 0,1 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.24.'de 0,2 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu - %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



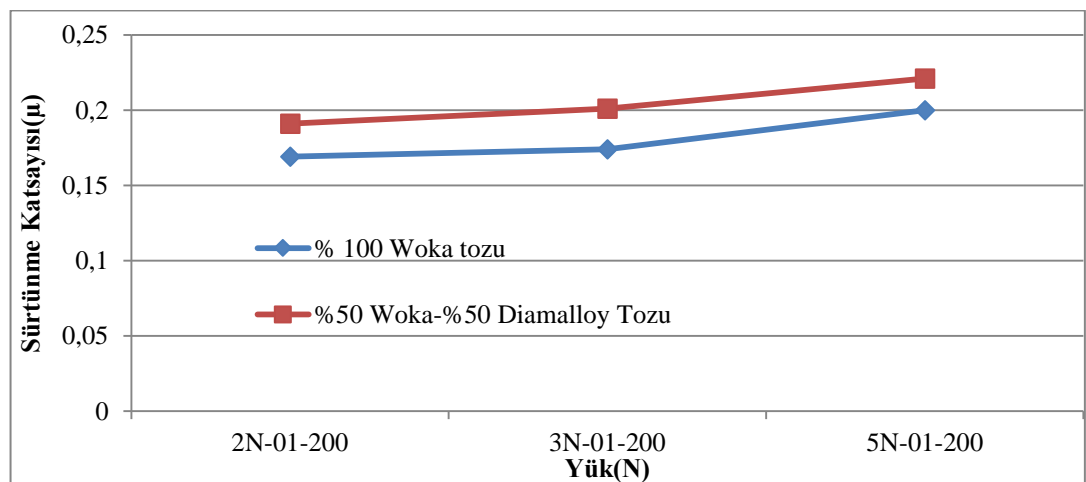
Şekil 7.24. 0,2 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.25.'de 0,3 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışımınkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



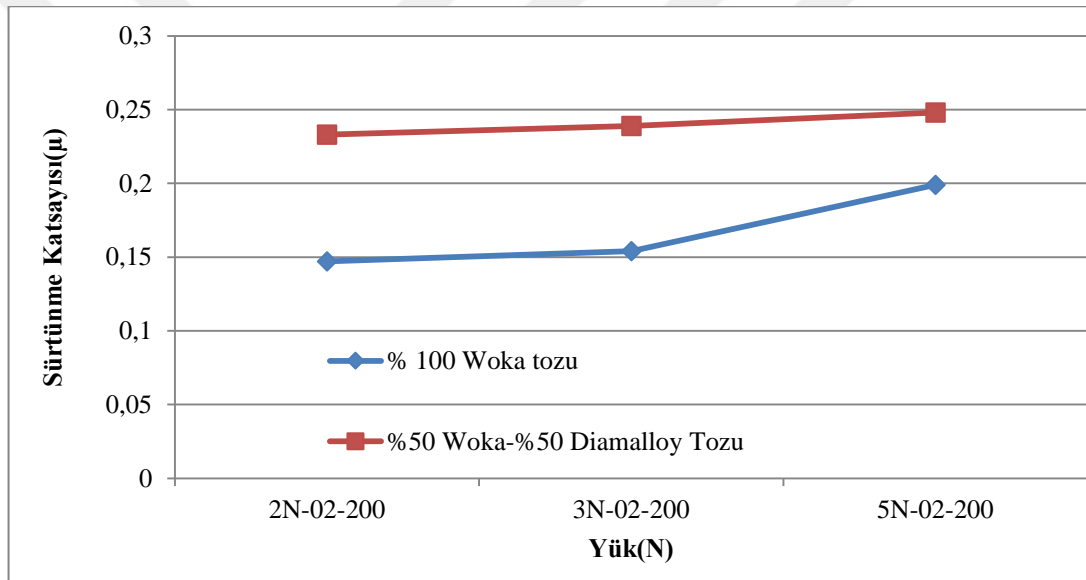
Şekil 7.25. 0,3 m/sn hızda 100 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.26.'da 0,1 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



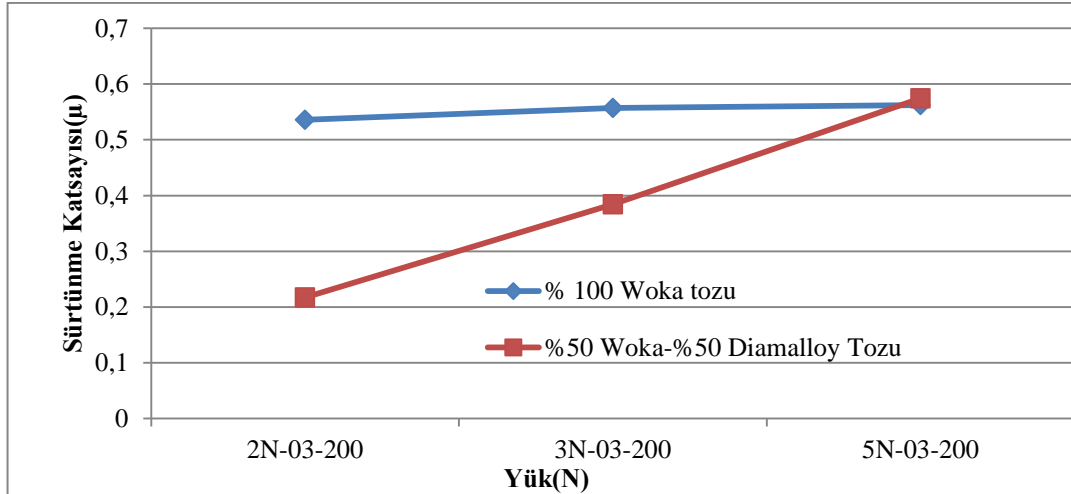
Şekil 7.26. 0,1 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.27.'de 0,2 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



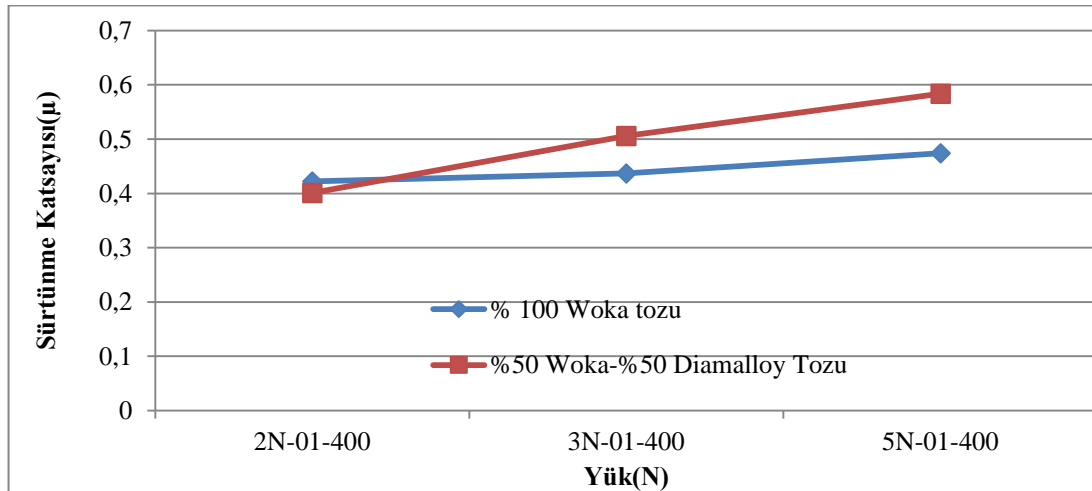
Şekil 7.27. 0,2 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.28.'de 0,3 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. İki kaplama numunesinin sürtünme katsayı değerlerinin eşit olduğu görülmüştür.



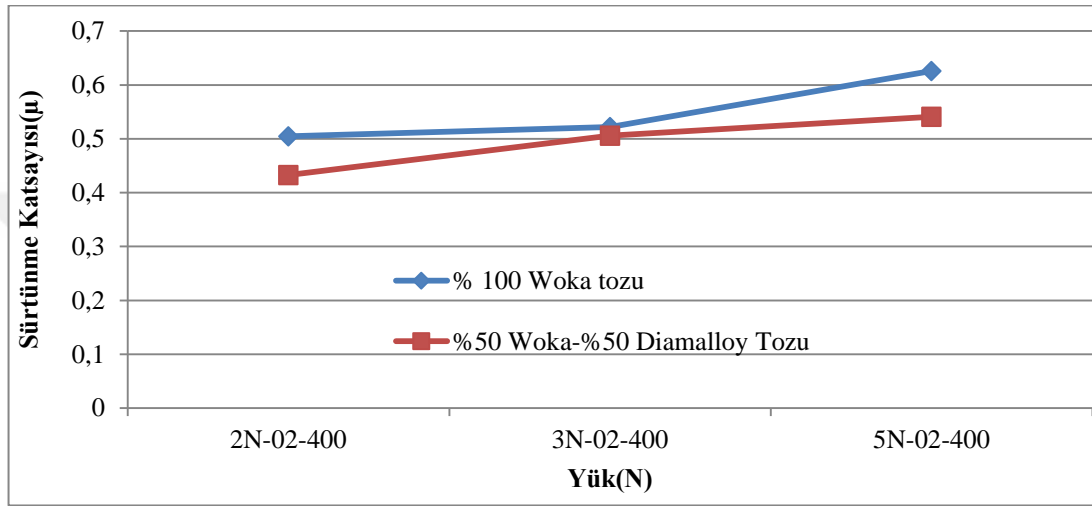
Şekil 7.28. 0,3 m/sn hızda 200 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.29.'de 0,1 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



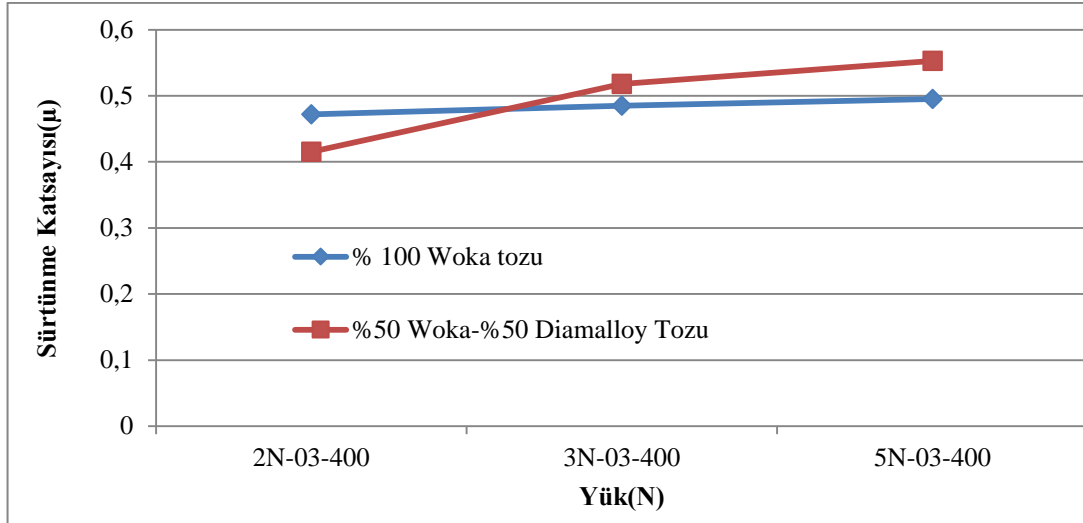
Şekil 7.29. 0,1 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.30.'da 0,2 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %100 7202 woka tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının karışıminkine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 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.



Şekil 7.30. 0,2 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

Şekil 7.31.'de 0,3 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği verilmiştir. %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamadaki sürtünme katsayısının %100 7202 woka tozuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımın içerisinde yüksek oranda var olan sert fazlar sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Daha düşük porozite miktarına sahip olduğu için %100 7202 woka tozunun kullanıldığı kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşüktür. Ayrıca kaplanan yüzeyden kopan aşınma ürünleri bir tabaka gibi birikerek yüzey sıvanmış ve bir koruyucu örtü gibi davranarak sürtünme katsayısı değerlerinde düşüşe neden olmuş olabilir.



Şekil 7.31. 0,3 m/sn hızda 400 metre mesafede 2N, 3N ve 5N yükler altında, aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayısı-yük grafiği

7.5. Aşınma Deney Sonuçları

3 farklı parametre (yük, yol, hız) ile aşınma deneyi yapılmıştır. Deneyler esnasında hava sıcaklığı ortalama 25°C ve nem oranı %30 civarındadır. Aşınma deneyleri sonrası aşınma cihazı yazılımı sürtünme katsayılarını ve iz derinlik değerlerini de vermektedir. Sürtünme katsayısına artarsa aşınma oranı da artacaktır [52].

Sürtünme katsayısı, iz derinliği ve aşınma oranları hız arttıkça artmakta, yük arttıkça azalmaktadır [50, 52].

Ünal ve arkadaşları sürtünme katsayısındaki azalmaya yükün artış göstermesini neden olarak görmüşlerdir [53]. Kaplama tozlarının içerisinde Cr, Mo, W gibi karbür yapıcı elementler bulunuyorsa krom karbür, volfram karbür gibi çökelti oluşabilir ve bu durumda aşınma direnci artırır. Yapıda ki karbür fazları abrasif aşınmaya direnci arttırmakta fakat sertlik ve aşınma direnci arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır [54].

Tablo 7.2.'de 100 metre mesafede farklı hız ve farklı yükler uygulanarak iz derinlik, sürtünme katsayısı, aşınma hacmi ve aşınma oranları değerleri verilmektedir. Uygulanan hız arttıkça kaplama yüzeyinde meydana gelen iz derinliği ve sürtünme katsayısı da artış göstermiştir. Bununla birlikte aşınma oranlarında da benzer durum

söz konusudur. Benzer durum Tablo 7.3., Tablo 7.4., Tablo 7.5., Tablo 7.6. ve Tablo 7.7. içinde geçerlidir. Karaoğlanlı ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmadaki gibi yük miktarı veya hız miktarı arttıkça aşınma oranı ve aşınma hacminde artış görülmüştür. Aşınma deneyi sonucu kaplanan yüzeylerde aşınma iz derinliği en yüksek değer 1120 (μm) ile %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafeden yapılan numunede görülmüştür. Aşınma deneyi sonucu en düşük aşınma iz derinliği ise %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan karışımda 2N yük altında 0,1 (m/sn) hızla 100 metre mesafede 200 (μm) olarak ölçülmüştür. Aşınma deneyi sonucu kaplanan yüzeylerde aşınma oranı en düşük değer %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan karışımda 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 100 metre mesafeden yapılan numunede görülmüştür.

Tablo 7.2. 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-100	600	0,16	0,1064	0,001064
2N-02-100	623	0,173	0,1237	0,001237
2N-03-100	596	0,402	0,1286	0,001286
3N-01-100	654	0,164	0,1002	0,001002
3N-02-100	700	0,179	0,1316	0,001316
3N-03-100	680	0,443	0,1472	0,001472
5N-01-100	690	0,197	0,5454	0,005454
5N-02-100	740	0,285	0,6368	0,006368
5N-03-100	1040	0,583	0,78569	0,0078869

Tablo 7.3. 200 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-200	643	0,169	1,4042	0,007021
2N-02-200	675	0,177	1,706	0,00853
2N-03-200	756	0,536	1,8688	0,009344
3N-01-200	678	0,174	1,7578	0,008789
3N-02-200	734	0,184	1,9914	0,009957
3N-03-200	776	0,277	2,0094	0,010047
5N-01-200	720	0,2	2,0838	0,010419
5N-02-200	776	0,299	2,5936	0,012968
5N-03-200	824	0,562	3,1186	0,015593

Tablo 7.4. 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-400	778	0,422	1,8532	0,004633
2N-02-400	794	0,505	1,877332	0,00469333
2N-03-400	836	0,592	1,884024	0,00471006
3N-01-400	764	0,447	1,8684	0,004671
3N-02-400	808	0,522	2,3392	0,005848
3N-03-400	896	0,595	2,754	0,006885
5N-01-400	912	0,474	2,282	0,005705
5N-02-400	1040	0,626	3,868	0,00967
5N-03-400	1120	0,675	3,98812	0,0099703

Tablo 7.5. 100 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-100	200	0,154	0,00431	0,0000431
2N-02-100	298	0,2	0,00946	0,0000946
2N-03-100	752	0,515	0,0263	0,000263
3N-01-100	269	0,175	0,02859	0,0002859
3N-02-100	349	0,215	0,031	0,00031
3N-03-100	716	0,386	0,044	0,00044
5N-01-100	369	0,202	0,05077	0,0005077
5N-02-100	440	0,234	0,06229	0,0006229
5N-03-100	708	0,465	0,08265	0,0008265

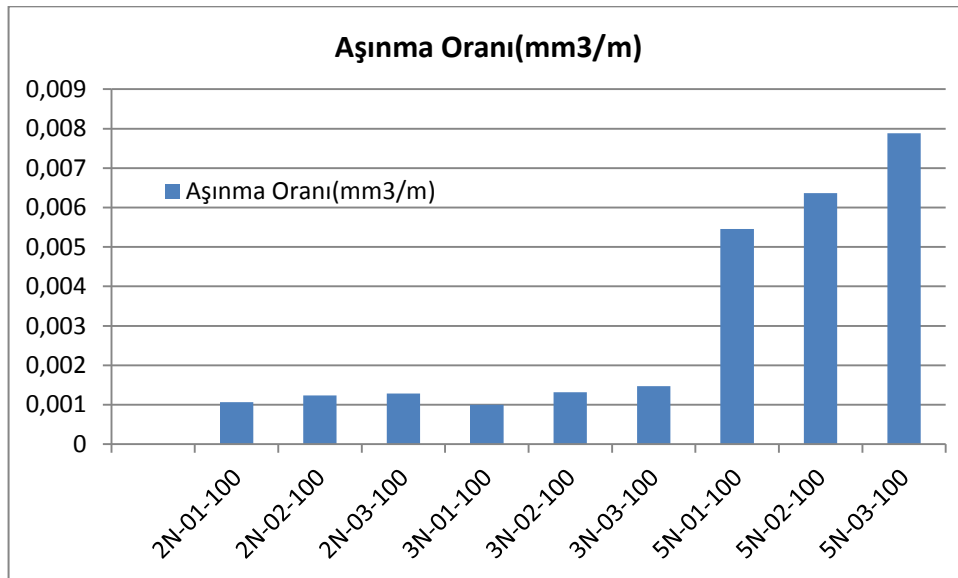
Tablo 7.6. 200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-200	256	0,191	0,0352	0,000176
2N-02-200	356	0,233	0,0616	0,000308
2N-03-200	636	0,617	0,078	0,00039
3N-01-200	389	0,201	0,1252	0,000626
3N-02-200	400	0,289	0,1398	0,000699
3N-03-200	780	0,384	0,137	0,000685
5N-01-200	420	0,221	0,1038	0,000519
5N-02-200	450	0,328	0,1344	0,000672
5N-03-200	928	0,574	0,244	0,00122

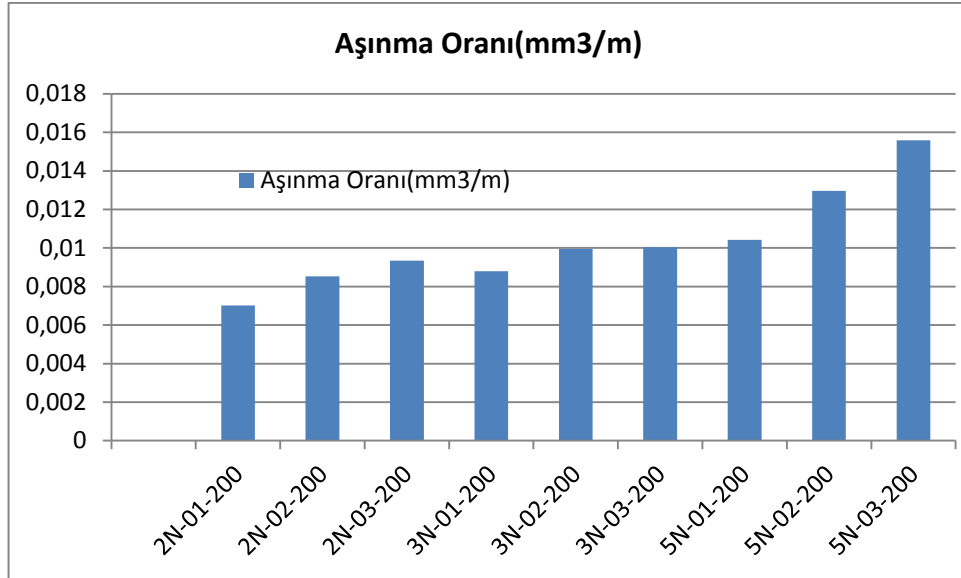
Tablo 7.7. 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune No	İz Derinlik (μm)	Sürtünme Katsayısı (μm)	Aşınma Hacmi (mm^3)	Aşınma Oranı(mm^3/m)
2N-01-400	286	0,401	0,0548	0,000137
2N-02-400	398	0,513	0,2056	0,000514
2N-03-400	628	0,525	0,2368	0,000592
3N-01-400	608	0,426	0,2748	0,000687
3N-02-400	644	0,506	0,2768	0,000692
3N-03-400	672	0,518	0,28	0,000700
5N-01-400	630	0,484	0,2464	0,000616
5N-02-400	648	0,541	0,296	0,000740
5N-03-400	650	0,553	0,5152	0,001288

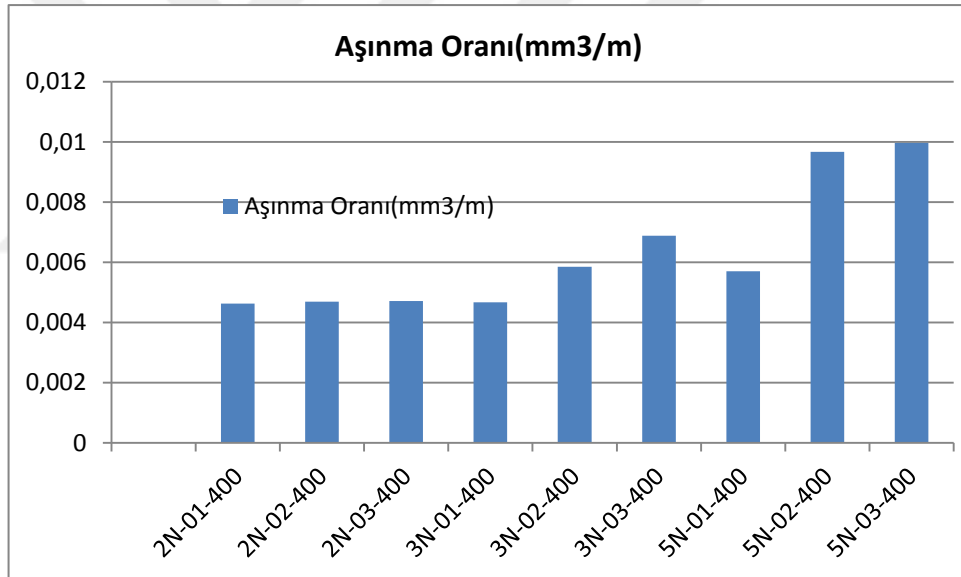
Aşınma oranı kullanılan farklı toz ve mesafelerdeki değerleri aşağıdaki Şekil 7.32., Şekil 7.33., Şekil 7.34., Şekil 7.35., Şekil 7.36., ve Şekil 7.37.'deki grafiklerde gösterilmiştir. Uygulanan yük arttıkça genel olarak aşınma oranında artış görülmüştür. Aynı şartlar altında hızın artmasıyla aşınma oranı benzer şekilde artış göstermiştir. Aşınma oranı %50 7202 woka tozu- %50 2002 diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplamalarda daha düşüktür. Karışım tozunun içerisinde var olan poroziteler kaplamanın aşınma dayanımını arttırmıştır. %100 -7202 tozu kullanıldığında kaplama içeriğindeki porozite miktarı biraz daha düşük olduğu için bu tozla yapılan kaplamanın aşınma oranı daha yüksektir.



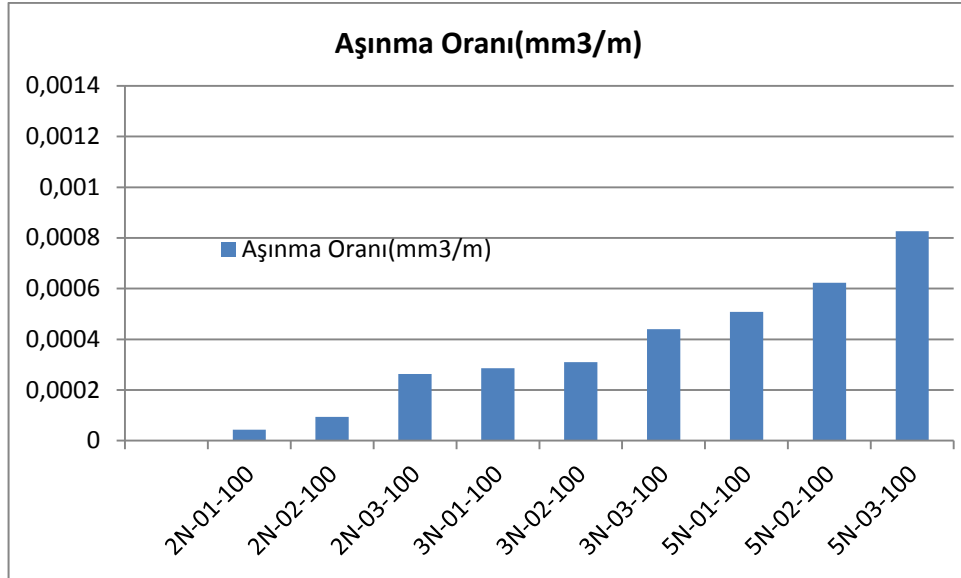
Şekil 7.32. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği



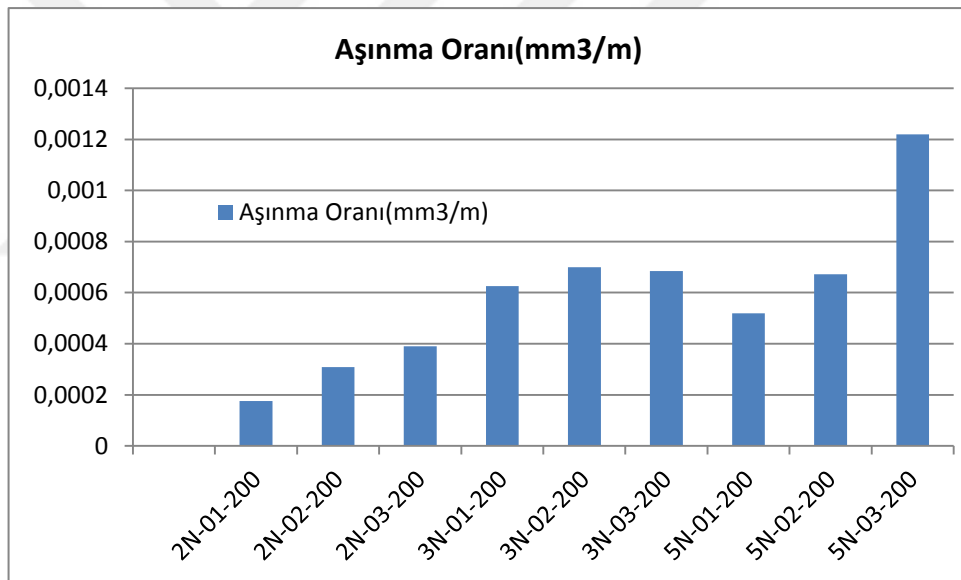
Şekil 7.33. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği



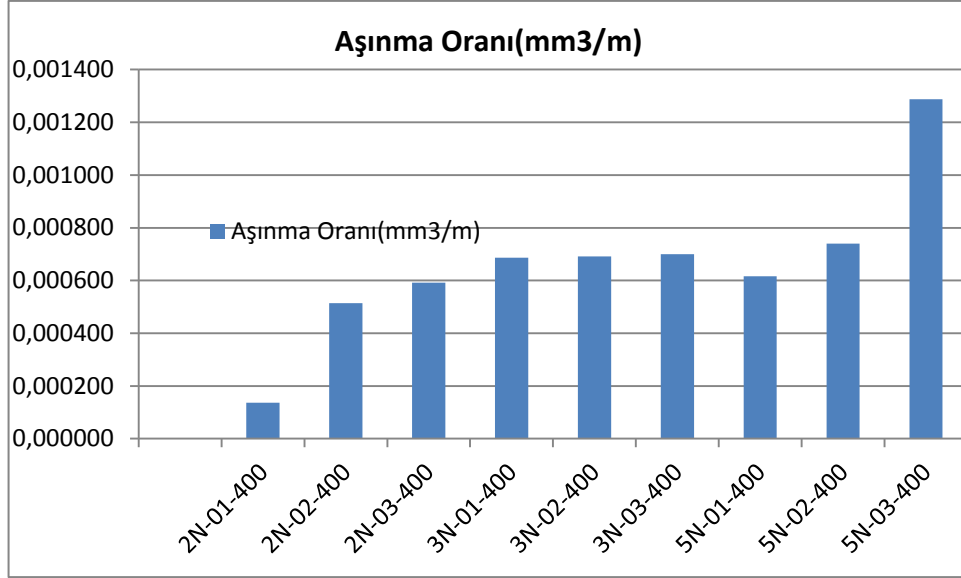
Şekil 7.34. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği



Şekil 7.35. %50 Woka 7202 -%50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği



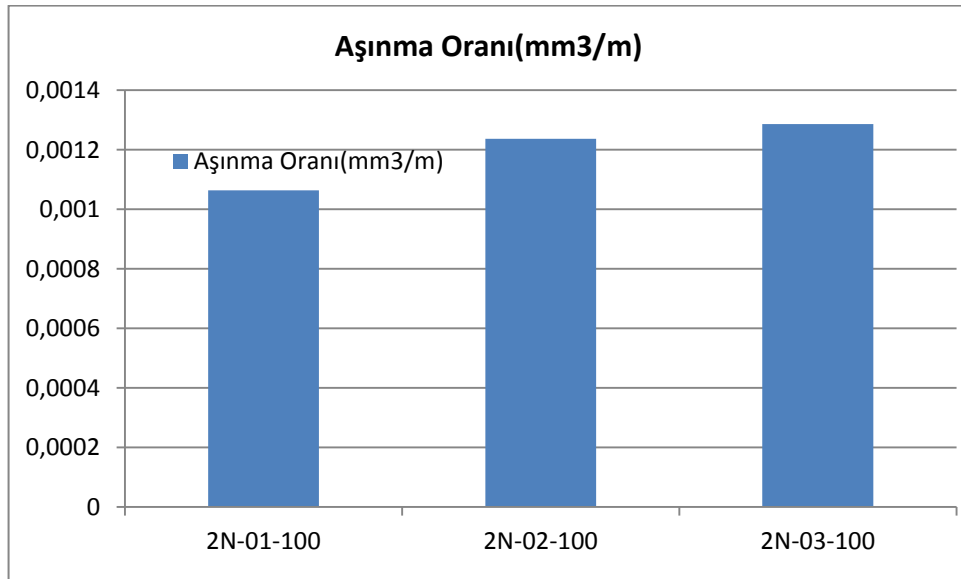
Şekil 7.36. %50 Woka 7202 -%50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği



Şekil 7.37. %50 Woka 7202- %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N, 3N ve 5N yükler altında aşınma oranı grafiği

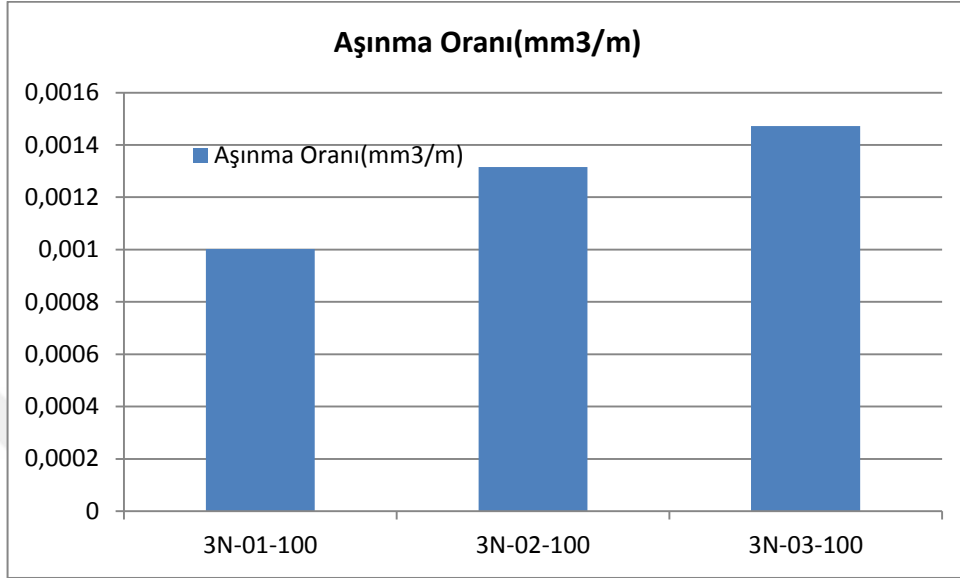
Mesafeler ve yükler sabit tutularak hızdaki değişim aşınma oranında artışa neden olmuştur [52,54].

Şekil 7.38. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



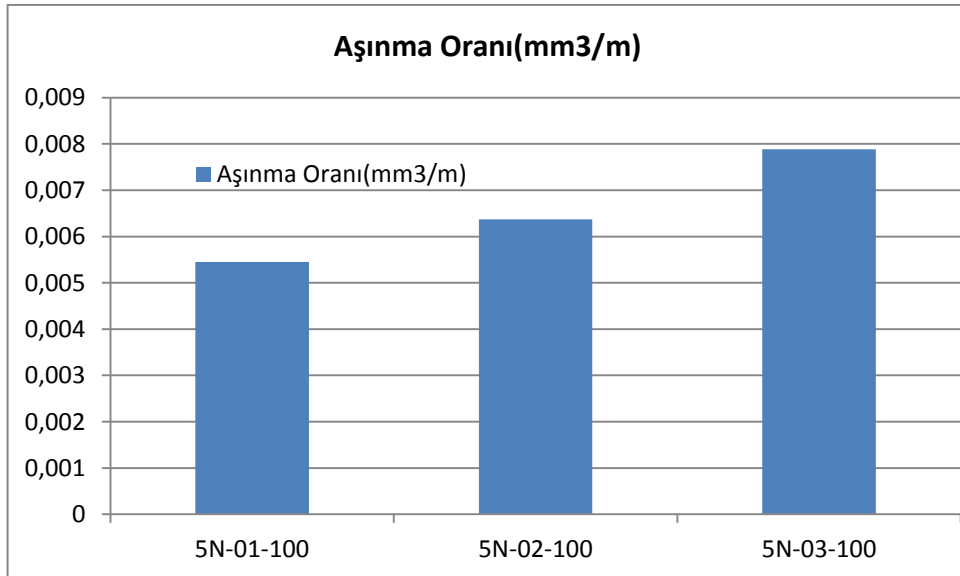
Şekil 7.38. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.39. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



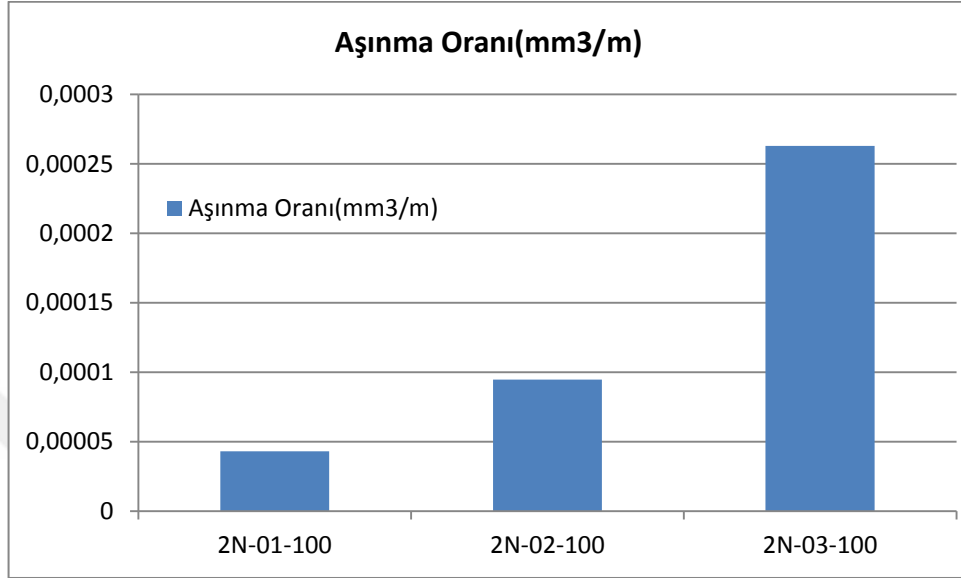
Şekil 7.39. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.40. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



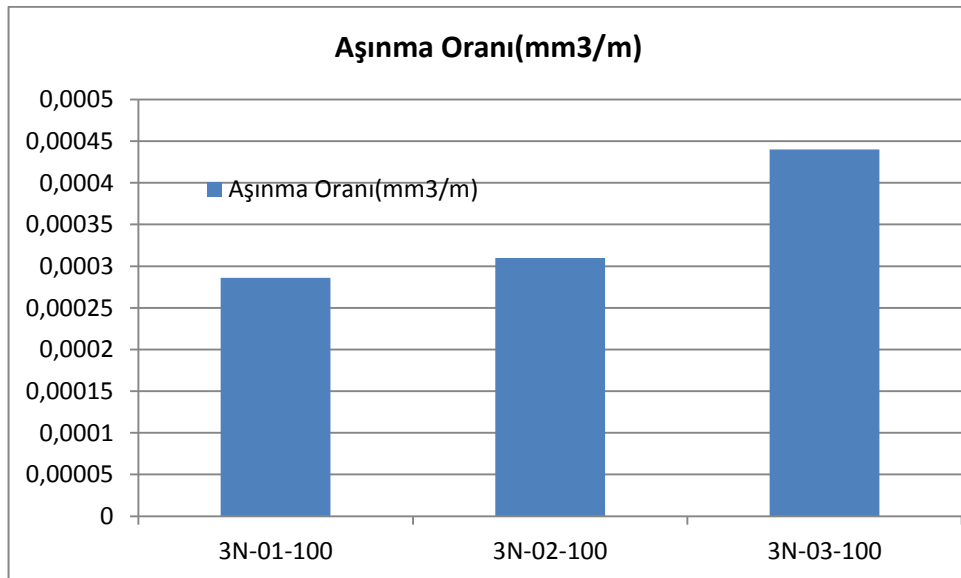
Şekil 7.40. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.41. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



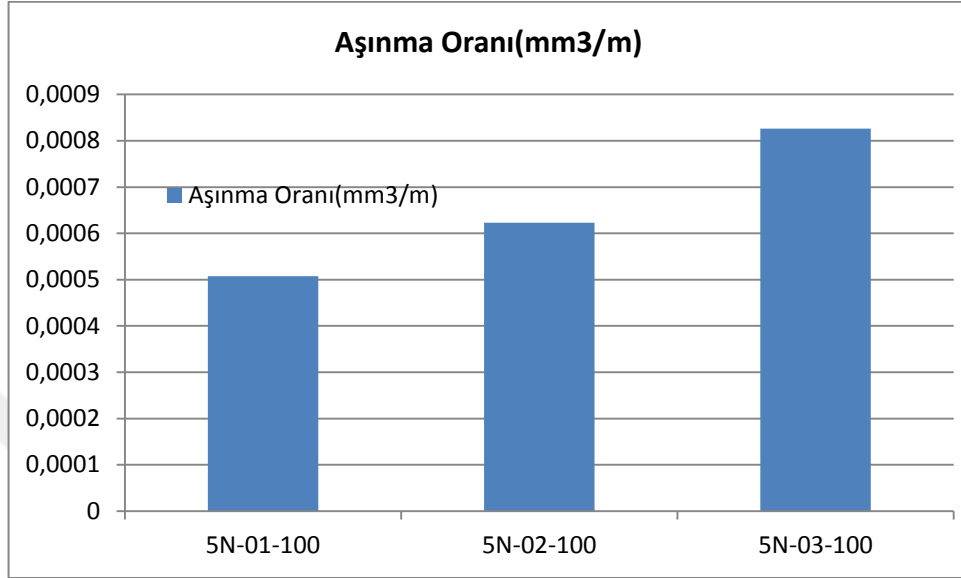
Şekil 7.41. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.42. %50 Woka 7202- %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



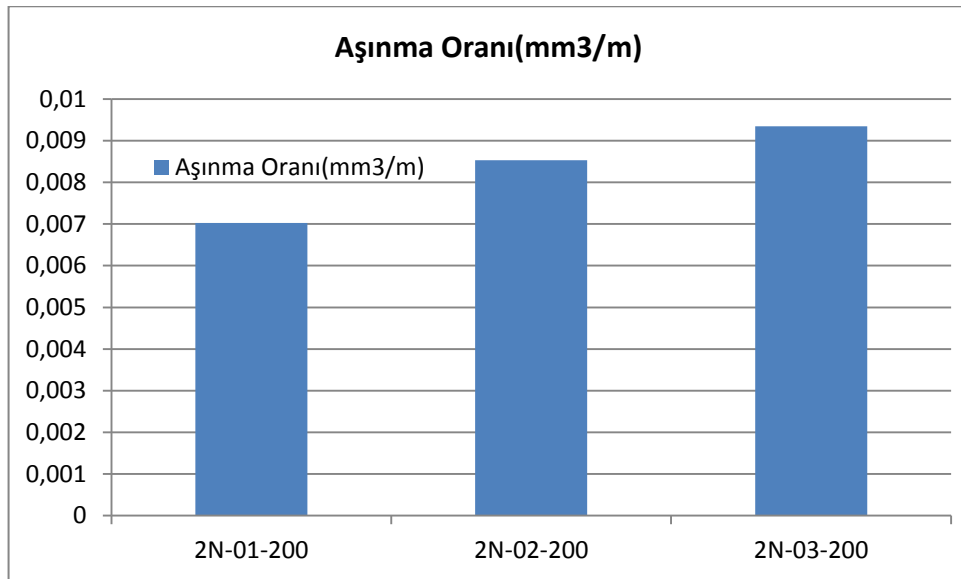
Şekil 7.42. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.43. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



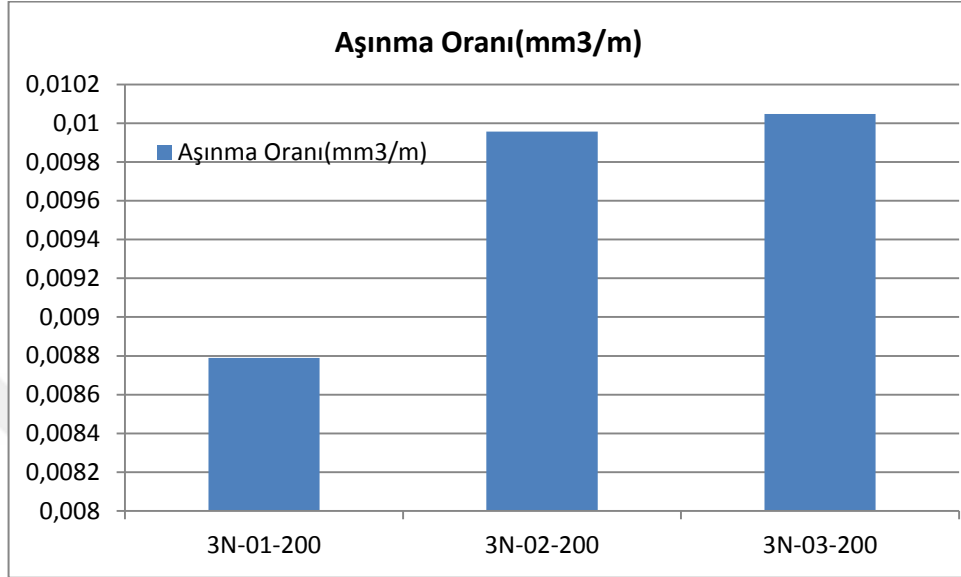
Şekil 7.43. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 100 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.44. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



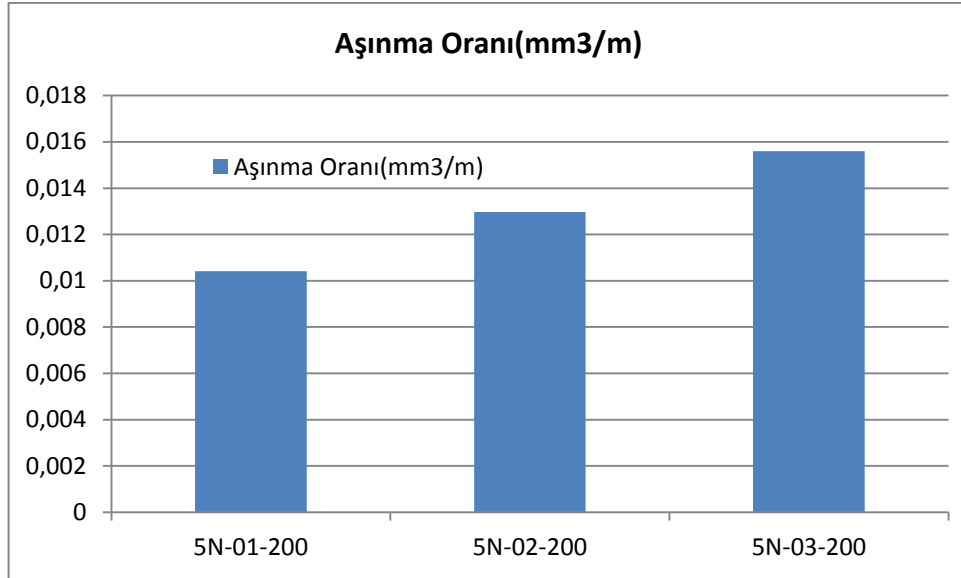
Şekil 7.44. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 2N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.45. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



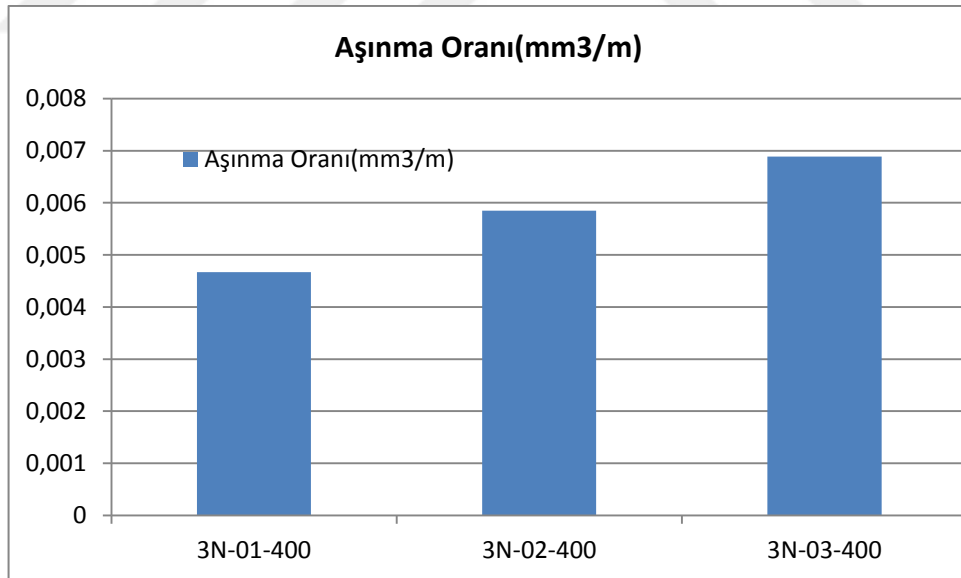
Şekil 7.45. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.46. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



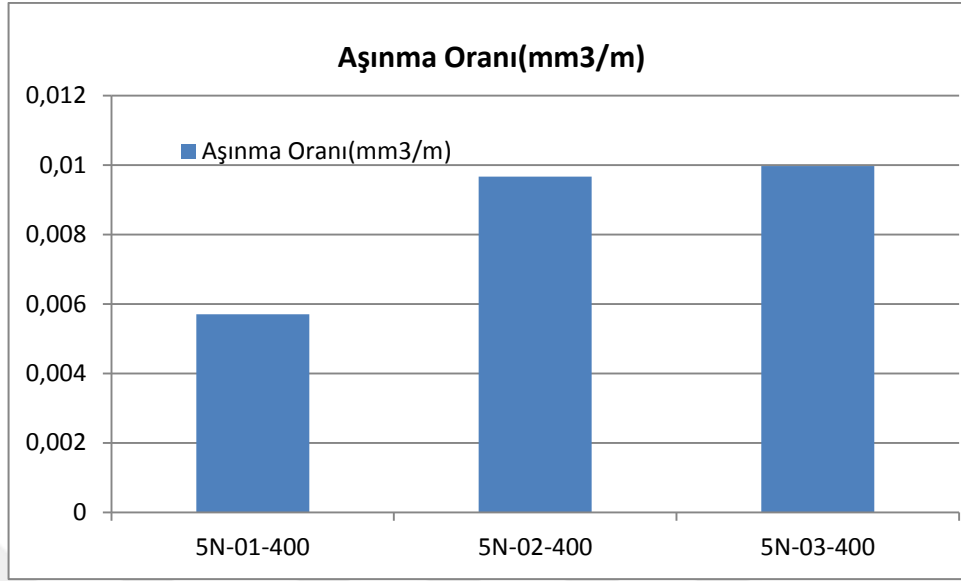
Şekil 7.46. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.47. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



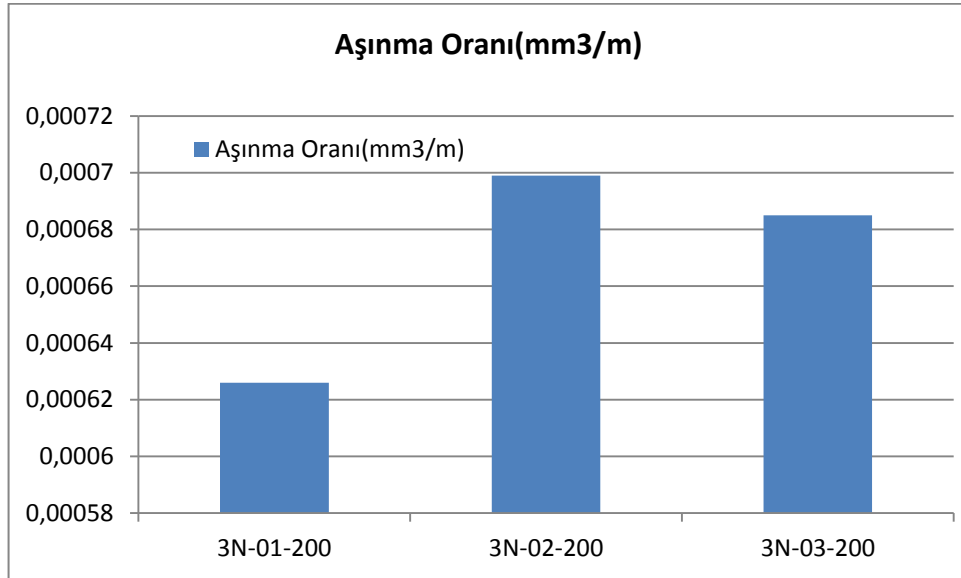
Şekil 7.47. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.48. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



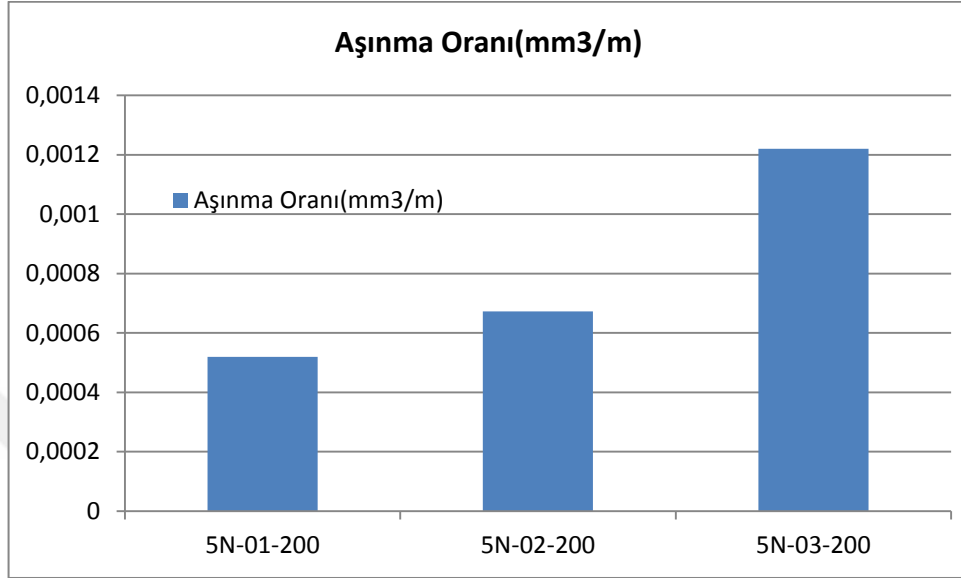
Şekil 7.48. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.49. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



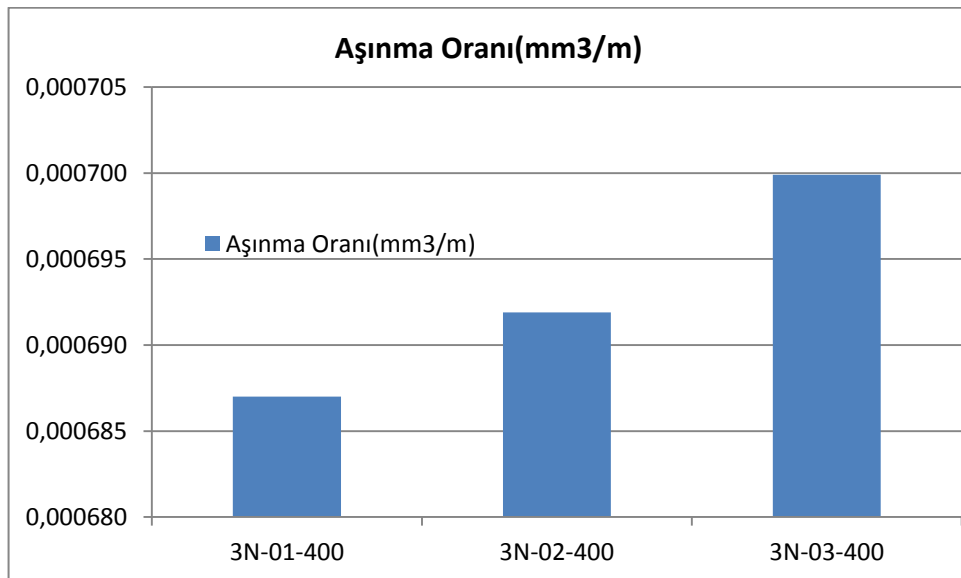
Şekil 7.49. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.50. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



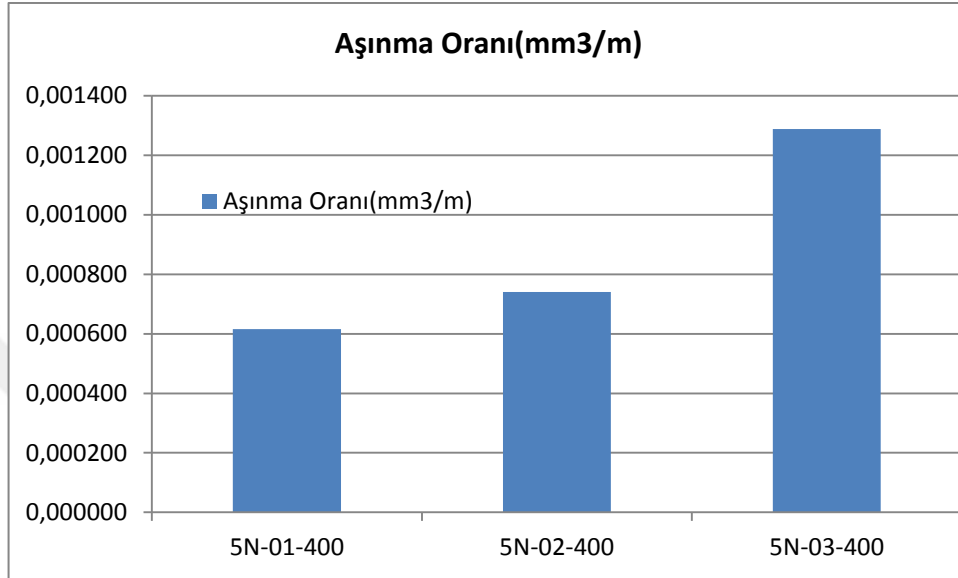
Şekil 7.50. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 200 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.51. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 7.51. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 3N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 7.52. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği gösterilmiştir.



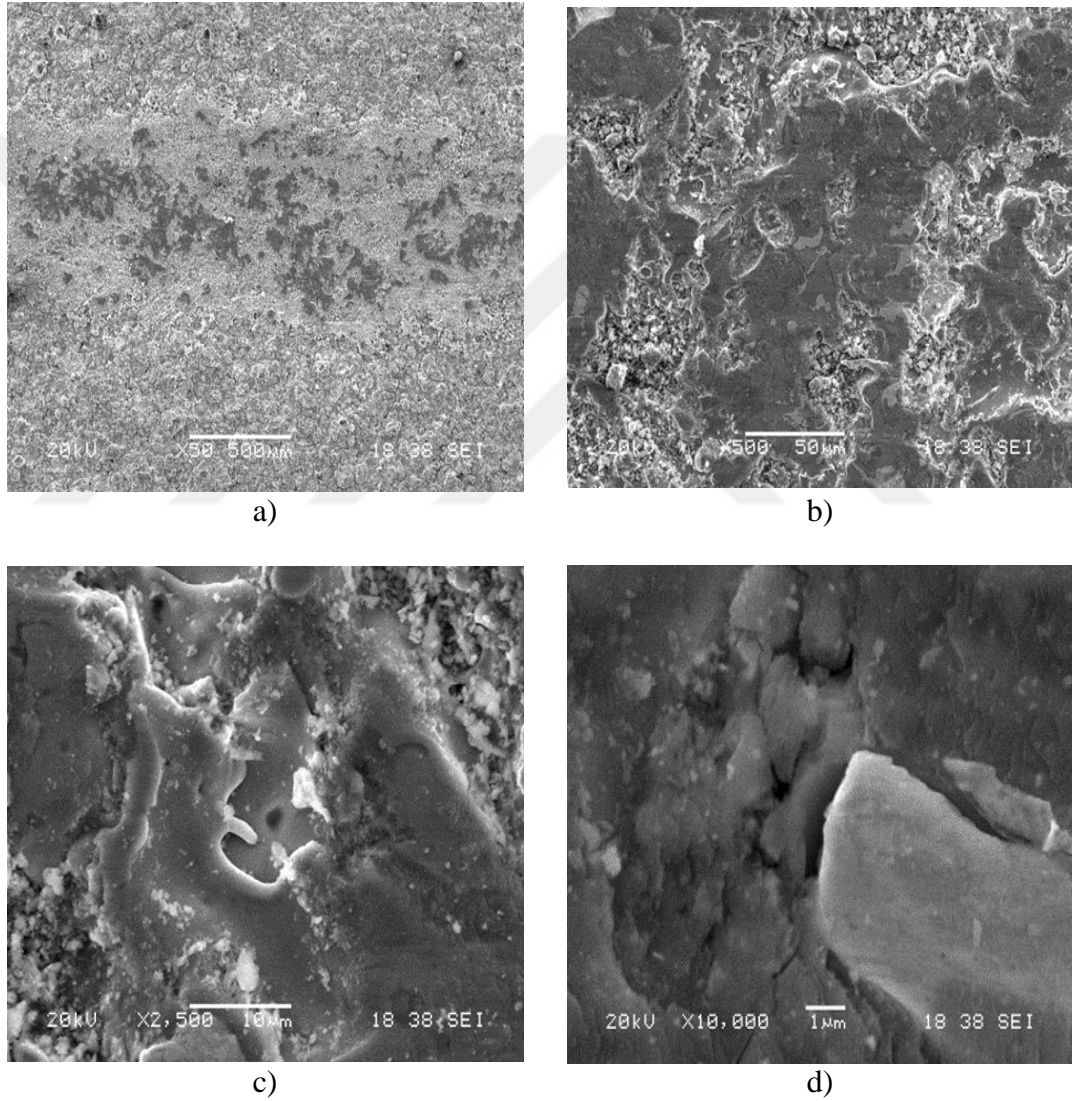
Şekil 7.52. %50 Woka 7202 - %50 Diamalloy 2002 tozları kullanılarak hazırlanan numunelerde 400 metre mesafede 0,1 m/sn, 0,2m/sn ve 0,3 m/sn hızlarda 5N yük altında aşınma oranı grafiği

7.6. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Kesit görüntü için hazırlanan numunelerden bazıları iletken bakalite alınarak SEM analizleri için hazırlanmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde atmosferik plazma sprey kaplama uygulamaları sonucunda yapıda mikro çatlaklar ve çözünmeyen partiküller oluştuğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık ve ergime süreci bu durumun oluşmasına neden olmuştur. Yapılan literatür araştırmalarına göre yüksek parçacık hızına ters olarak toz partiküllerinin erimesi yavaş olacaktır. Eğer toz partikülleri farklı ebatlarda olursa bu durumda da erimeyen toz partikülleri bulunabilir. Yapı içerisinde porozite oluşumu görülmüştür yüzeyde oksit oluşmasına neden ise yeterli olmayan ıslatmadır. Paslanmaz çelik kaplamada kullanıldığı için yapısal olarak zaten korozyona direnci mevcut olan bir malzeme olduğu için oksitlenme daha az miktarlarda görülmüştür [45].

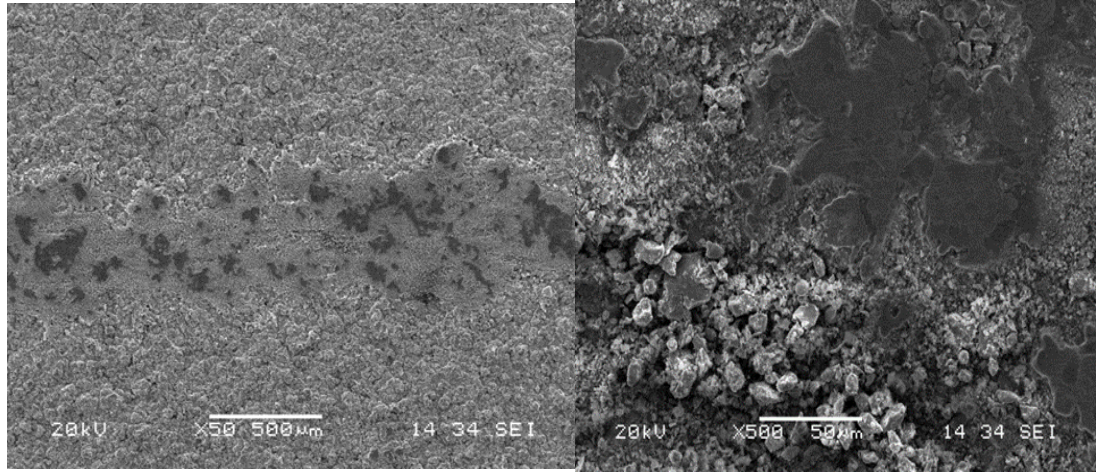
Farayibi ve arkadaşlarının yaptığı aşınmaya dayanıklı uygulamalar çalışmasında WC parçacıklarının yapı içerisinde mükemmel bağlanma oluşumu sağlamıştır. Buna ek olarak sertlik değerlerinde artış görülmüştür.

Şekil 7.53. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri verilmiştir.



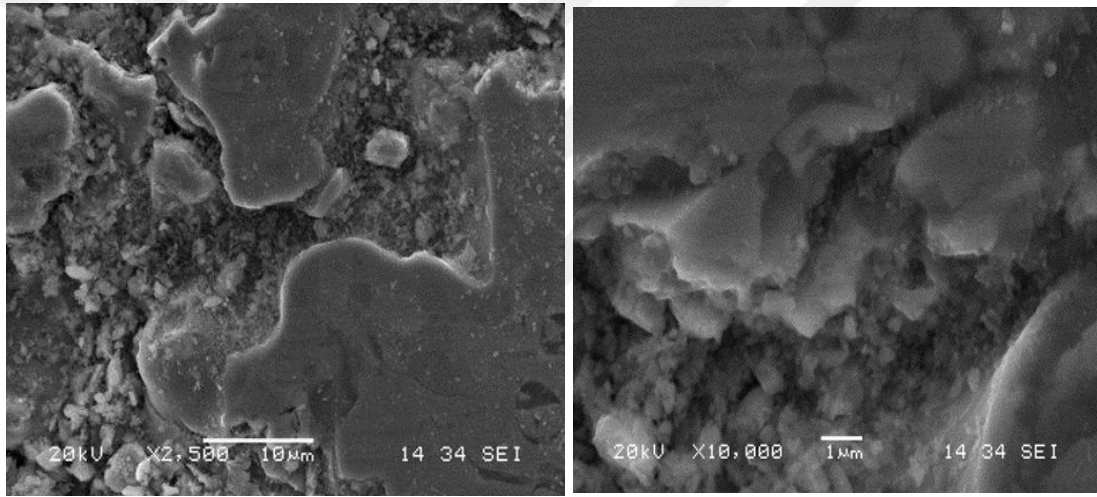
Şekil 7.53. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.54. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri görülmektedir.



a)

b)

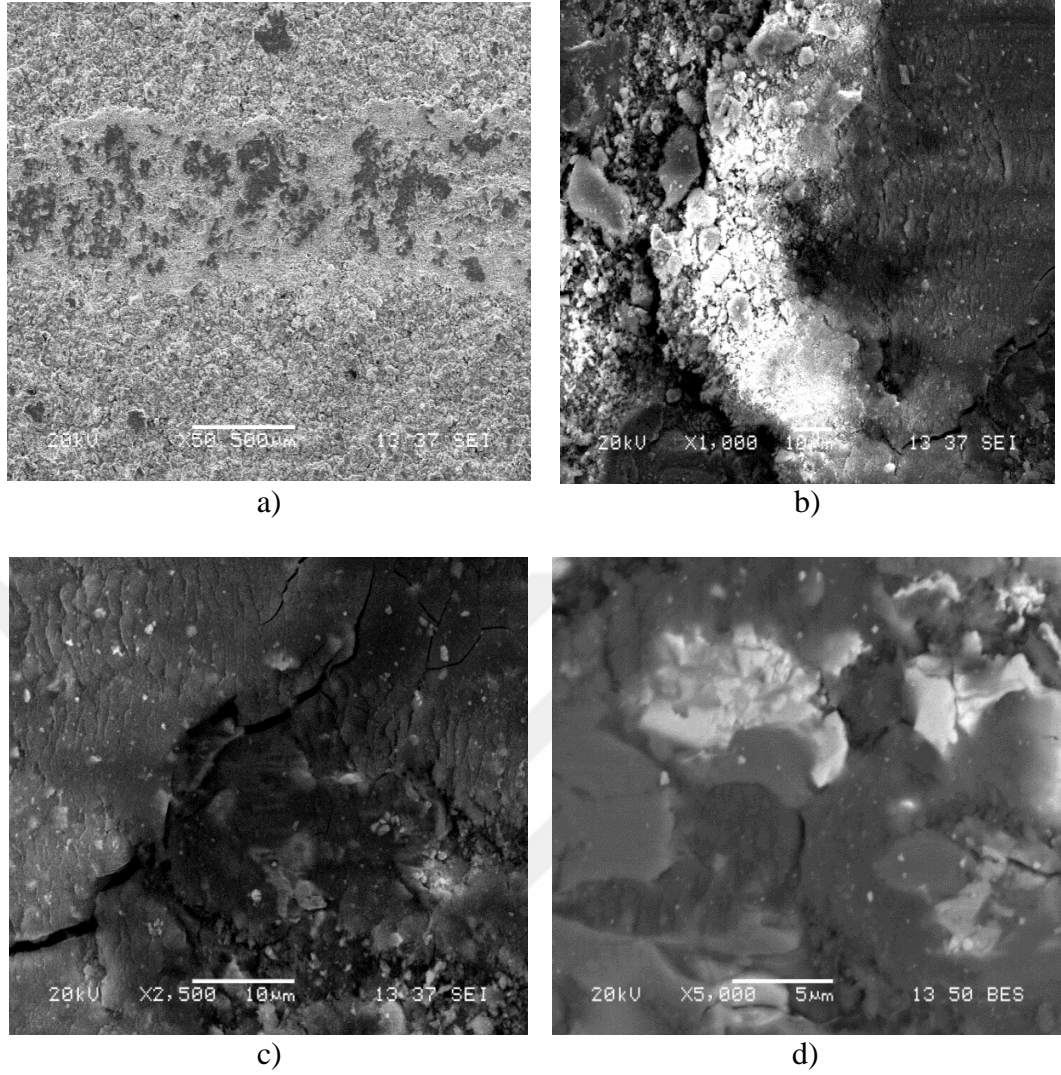


c)

d)

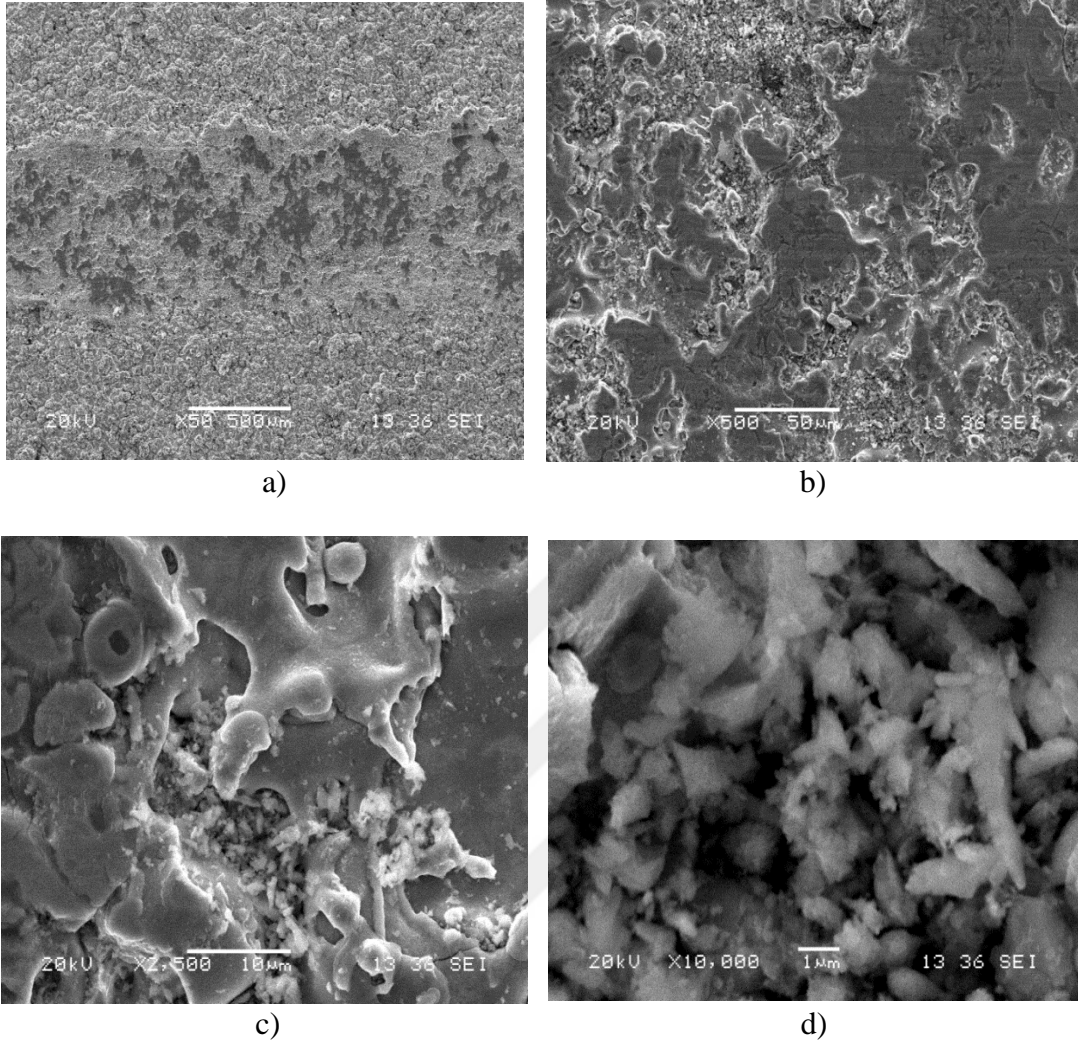
Şekil 7.54. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.55. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Yüzeyde ki izlerden görüleceği üzere plastik deformasyon meydana gelmiştir. İnce kılcal çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Aşınma ürünleri yüzeyde görülmektedir. Kaplamada aşınma hızı yüksek olması sebebiyle ayrılmalar da meydana gelmiştir [46].



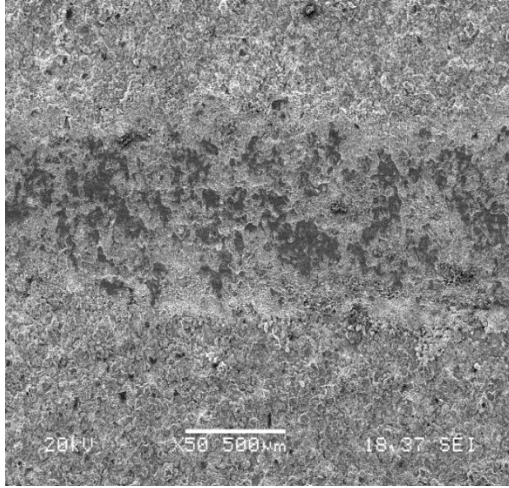
Şekil 7.55. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.56. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri verilmiştir. Yüzeyde abrazyif aşınma oluşumları görülmektedir [46].

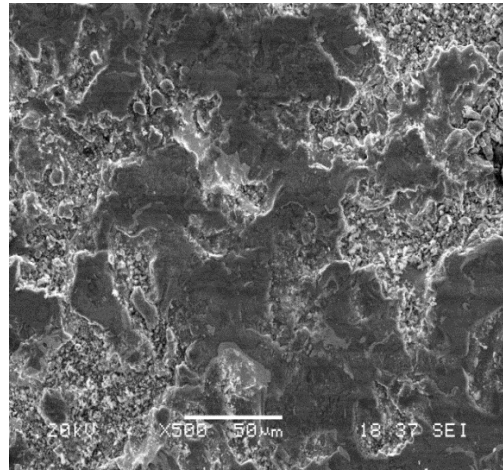


Şekil 7.56. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

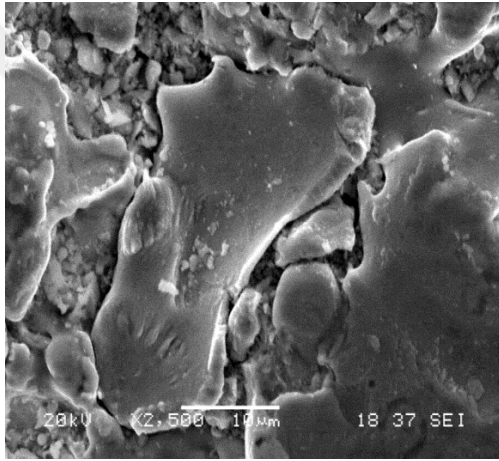
Şekil 7.57. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Kaplamadan kopmalar olmuştur. İnce çatlaklar görülmektedir.



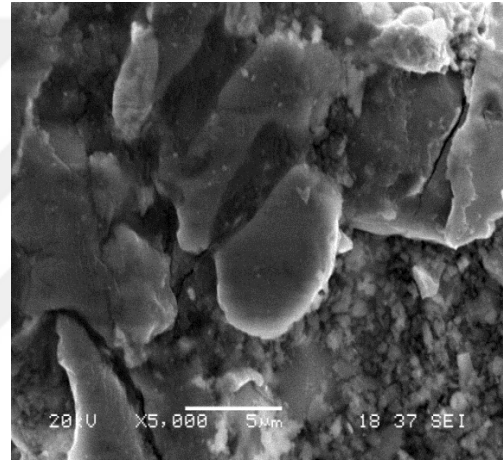
a)



b)



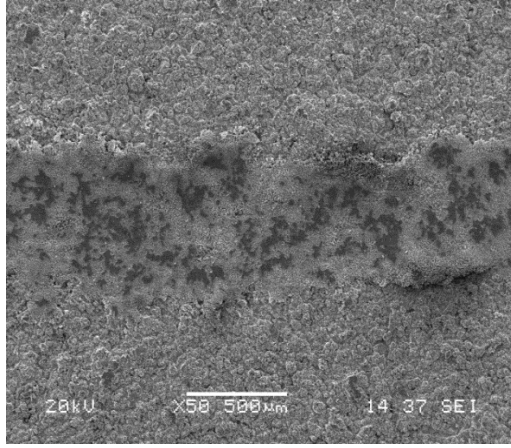
c)



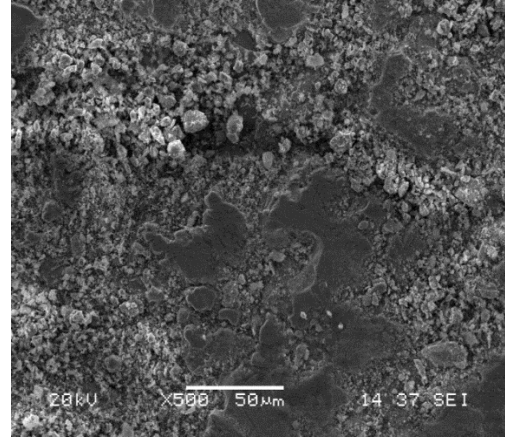
d)

Şekil 7.57. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

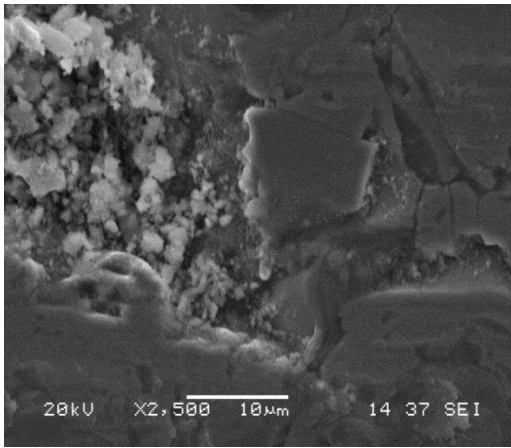
Şekil 7.58. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Hız yüksekliği sebebiyle aşınma ürünleri biraz fazla olmuş ve yüzeyde birikme yapmıştır. Abrasif aşınma izleri görülmektedir.



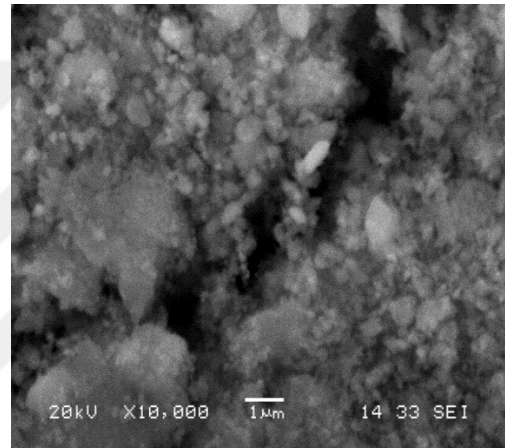
a)



b)



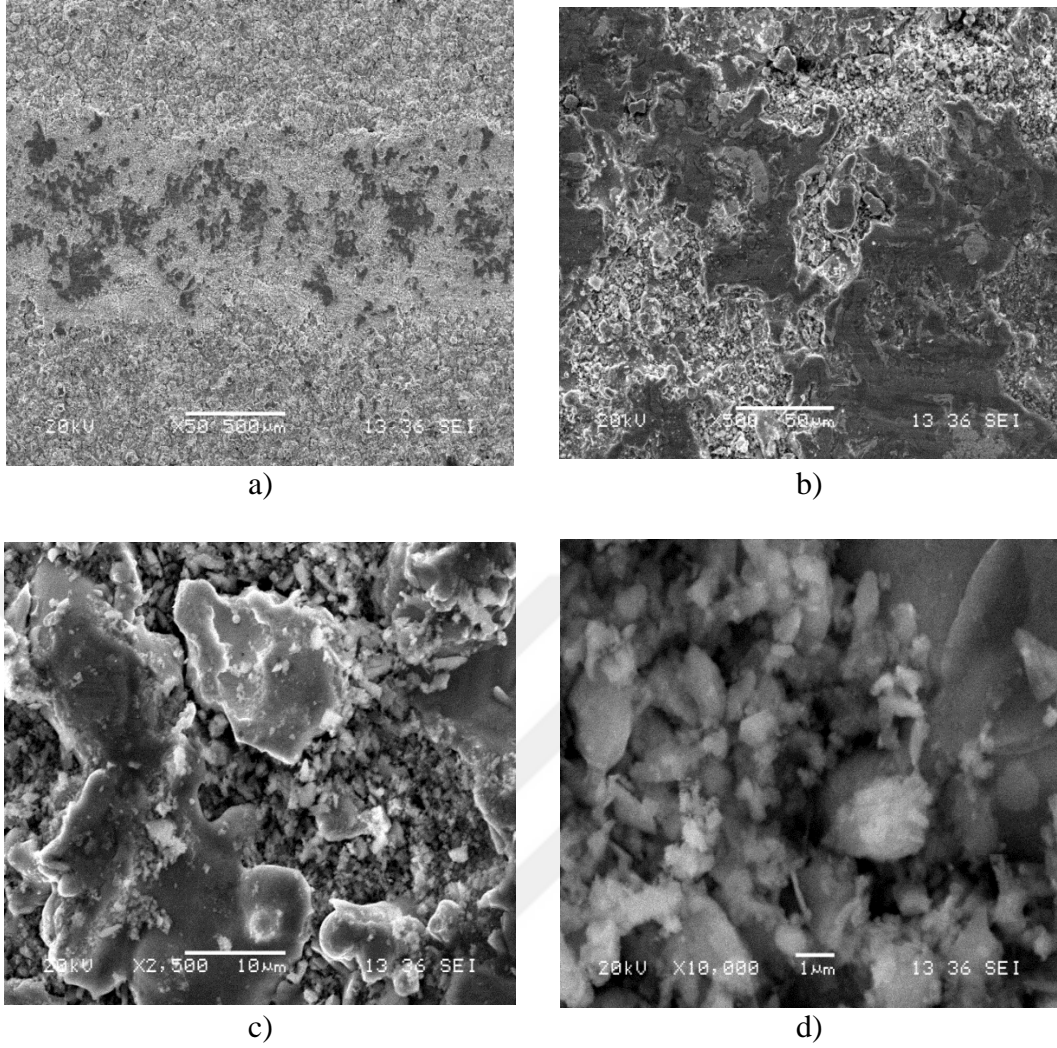
c)



d)

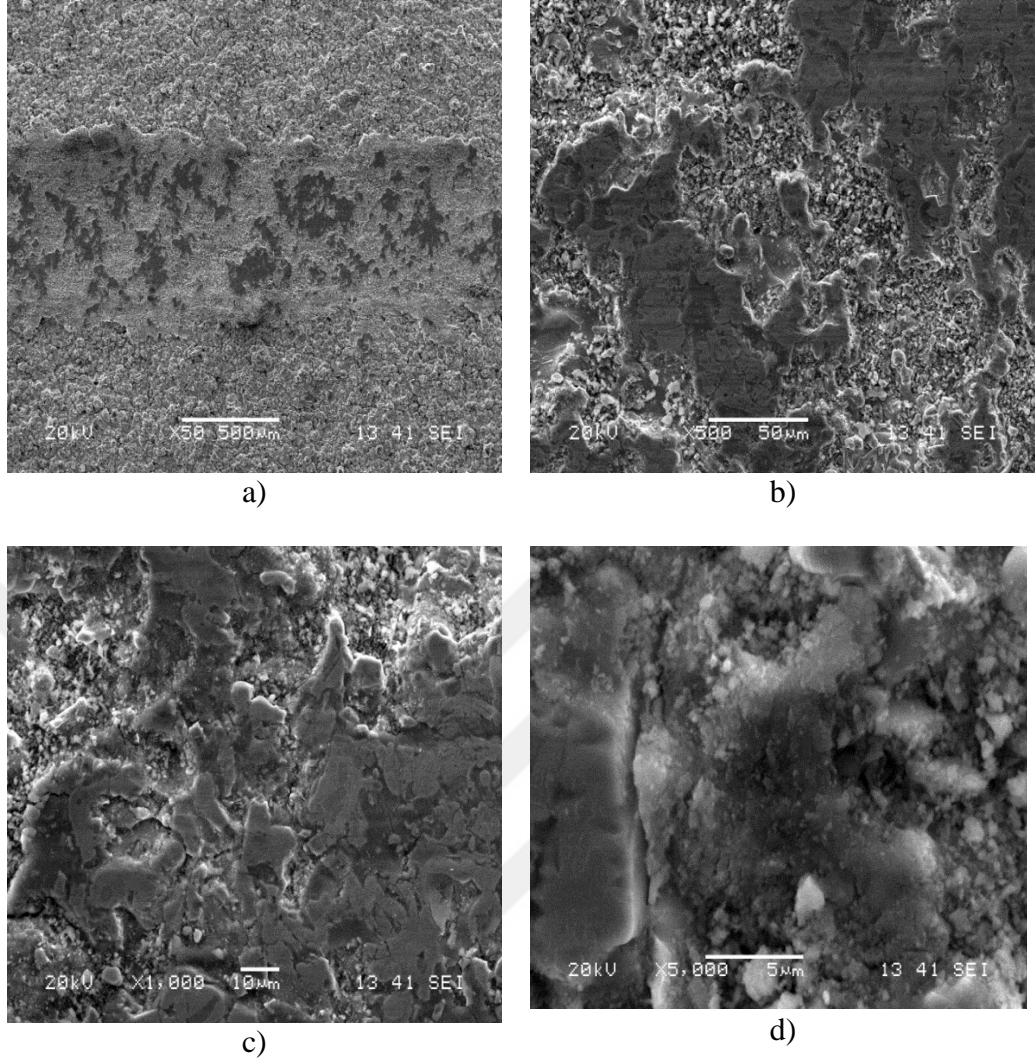
Şekil 7.58. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.59. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/ sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir.



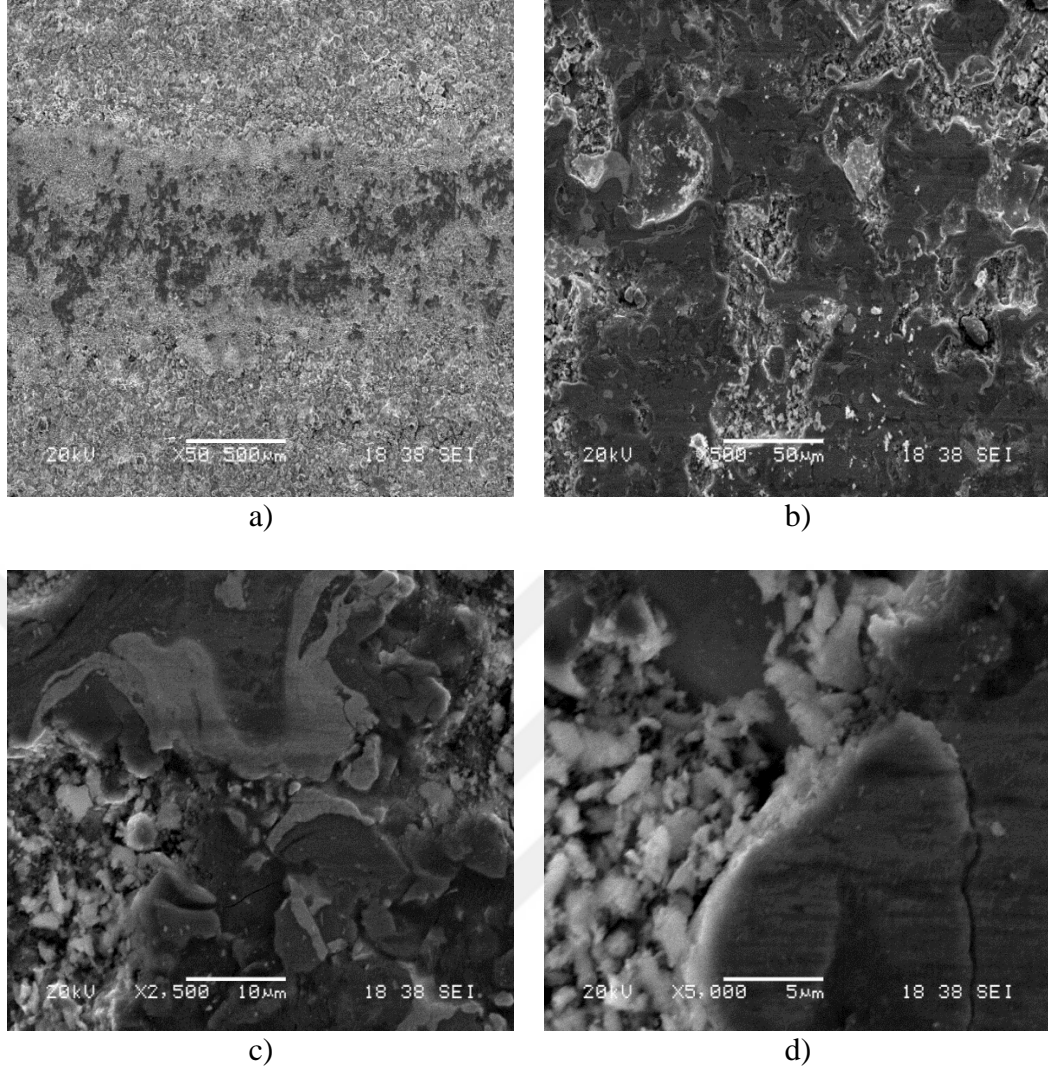
Şekil 7.59. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/ sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.60. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Abrasif aşınma oluşturarak ince çatlak oluşumuna sebep olmuştur [48].



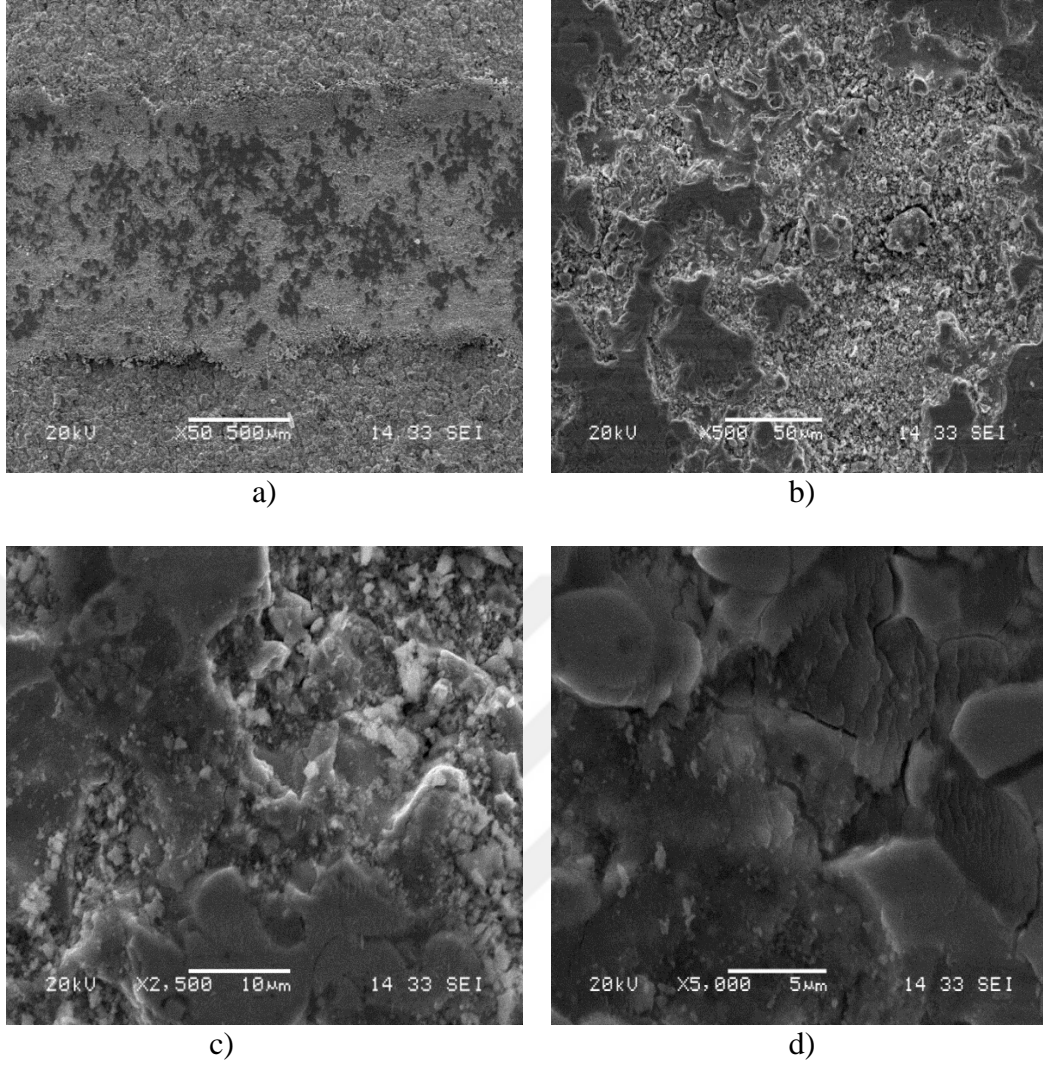
Şekil 7.60. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

Şekil 7.61. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Yük ve hız yüksekliği sebebiyle abrazif aşınma şiddeti artmıştır. Aşınma ürünleri yüzeyde yığıl şekilde görülmektedir [48].



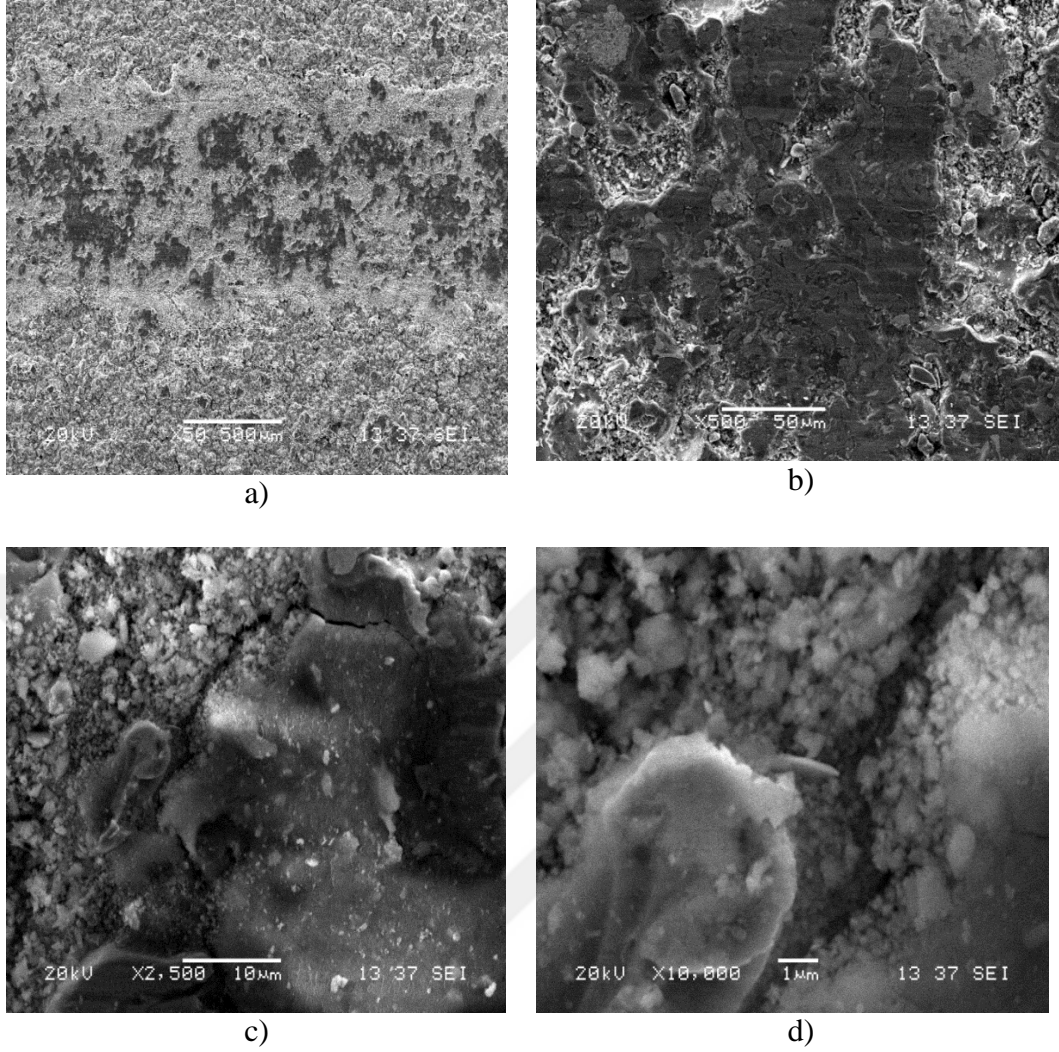
Şekil 7.61. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.

Şekil 7.62. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. İnce çatlaklar görülmektedir. Plastik deformasyon oluşmuştur.



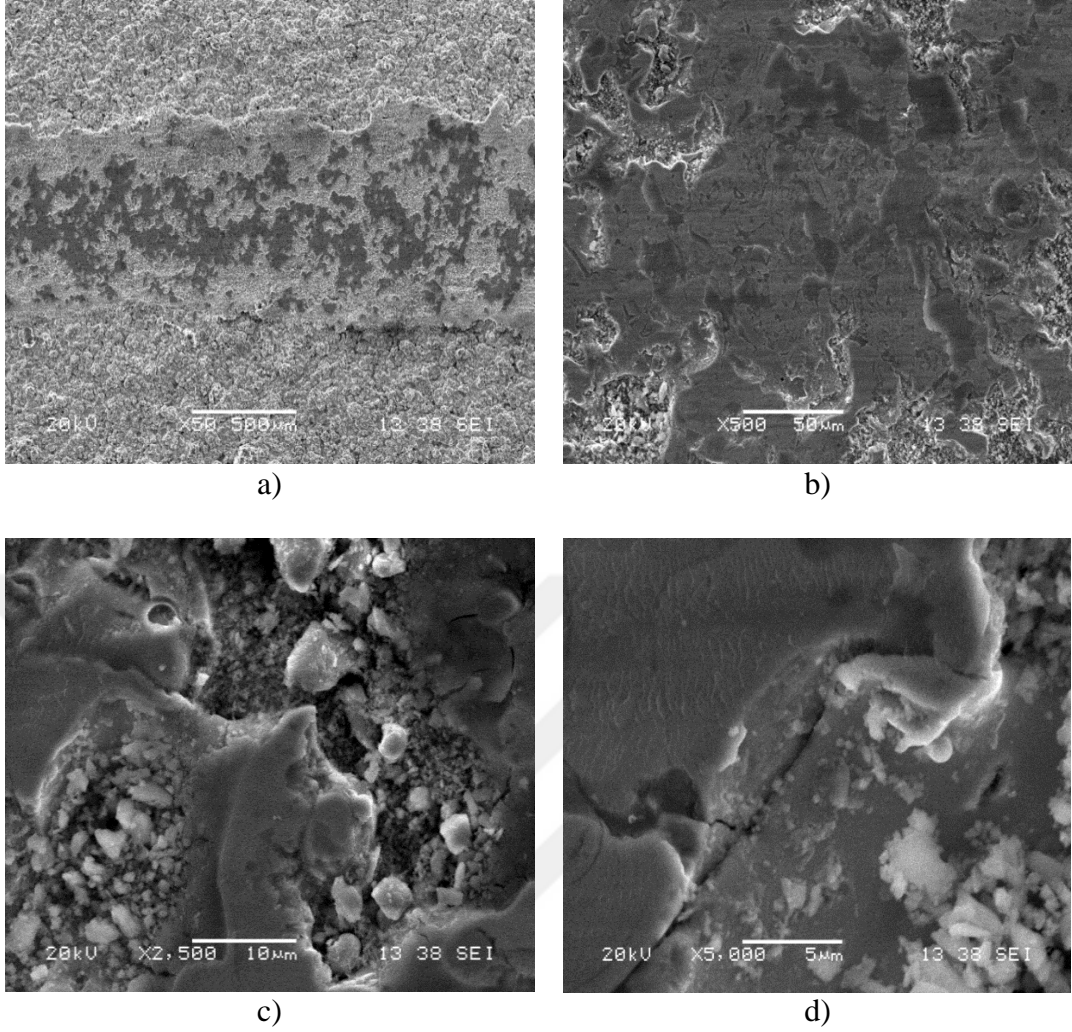
Şekil 7.62. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri.

Şekil 7.63. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 7.63. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

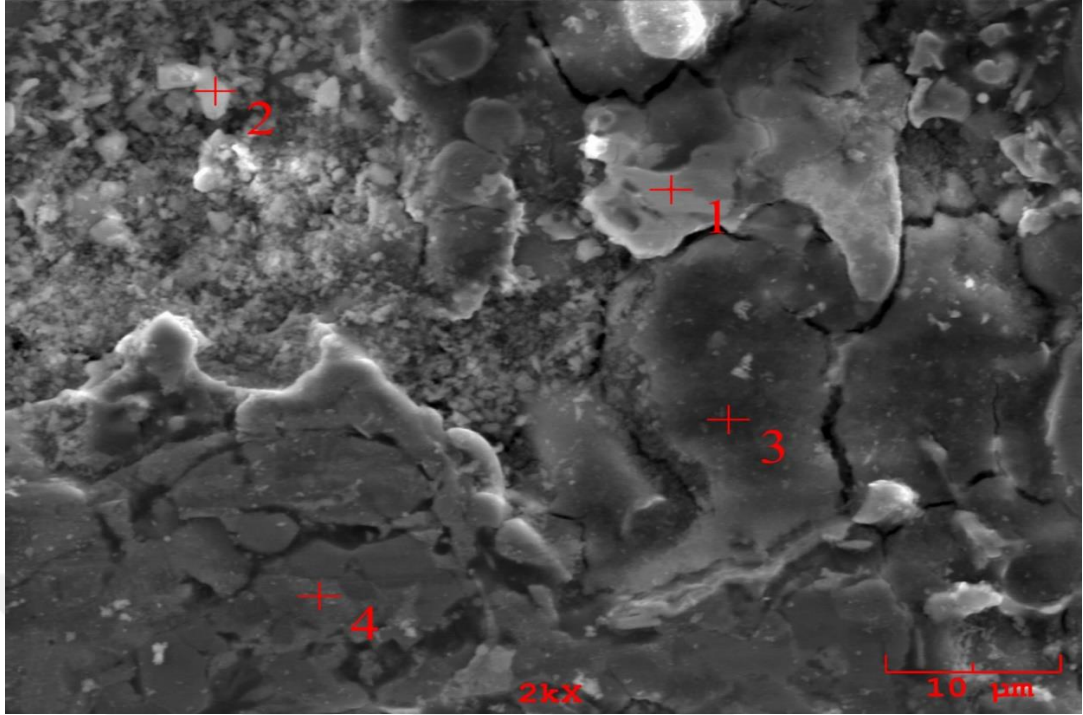
Şekil 7.64. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Homojen bir dağılım söz konusu değildir. Yapıda gözenekli bir oluşum söz konusudur buna oksijenin neden olduğu düşünülmektedir [48].



Şekil 7.64. %100 Woka 7202 tozu kullanılarak 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 200 metre mesafede kaplanan numunenin SEM görüntüleri

7.7. EDS (Enerji Saçınım Spektrometresi) Analizleri

Şekil 7.65. 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü gösterilmiştir. 1. bölgede çok yüksek miktarda W görülmesine rağmen yüzeyden içerilere doğru gidildikçe azalma eğilimi göstermiştir. 1. bölgede ağırlıkça çok az miktarda bulunan Ni elementi diğer bölgelerde artış göstermiştir. Oksijen elementi analiz sonucunda açık atmosferde yapıldığı için oksijenin var olması beklenen bir sonuçtu. Oksitlenme arttıkça daha fazla aşınma meydana gelecektir.

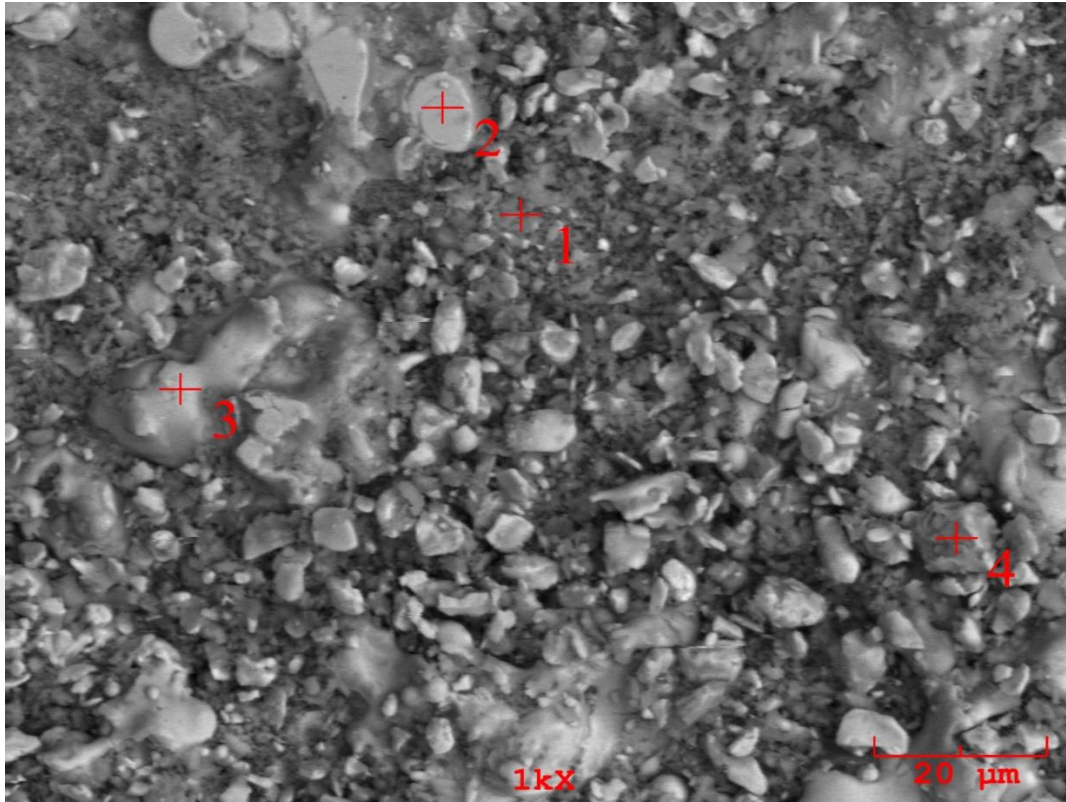


Şekil 7.65. 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 7.8. 2N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Cr (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Co (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	1.971	0.900	0.234	1.866	0.405	5.265	2.728	86.631
2	4.869	22.913	0.421	52.060	0.218	0.031	17.529	1.960
3	0.955	30.781	1.557	35.097	0.831	0.860	22.444	7.475
4	2.559	4.602	0.309	31.233	0.417	0.176	59.198	1.263

Şekil 7.66. 2N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü gösterilmiştir. Analiz sonucu incelendiğinde yapı içerisinde Al elementi azalma eğilimi göstermiştir. Cr ve Ni elementleri ağırlıkça kullanılan tozun içeriğine bağlı olarak beklenen miktarlardadır. Açık atmosferde yapıldığı için yüzeyde oksijen birikmesi beklenen bir sonuçtur. Yapı içerisinde var olan WC aşınmaya karşı direnci arttırmaktadır. Aşındırıcı bilye olarak alümina kullanılmıştır bilyeden aşınmaya maruz kalıp bilyeden ayrılan ve sistemden uzaklaştırılmamış parçacığın malzeme yüzeyinde olduğu gözlenirken oksit yapıların varlığı da belirlenmiştir. Yüksek miktarlardaki oksitlenme daha fazla aşınma kaybı anlamına gelmektedir.

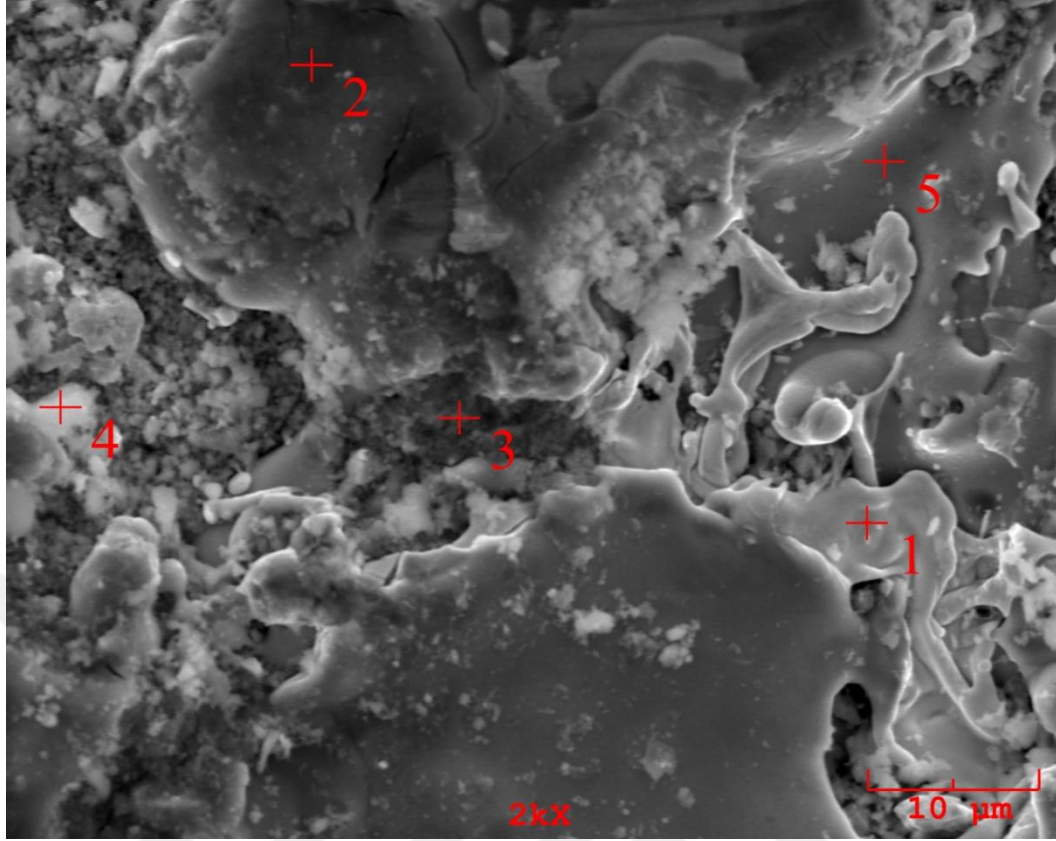


Şekil 7.66. 2N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 7.9. 2N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Cr (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı
1	0.327	22.926	0.395	64.385	11.966
2	2.860	8.550	0.154	66.674	21.762
3	1.512	21.848	0.178	61.400	15.063
4	0.209	5.890	0.060	75.591	18.251

Şekil 7.67. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri gösterilmiştir. EDS analizleri sonucuna bakıldığında Cr ve Ni elementi miktarları oldukça fazladır. Oksijen elementi kullanılan kaplama yöntemi dikkate alındığında beklenen miktarlarda görülmüştür.

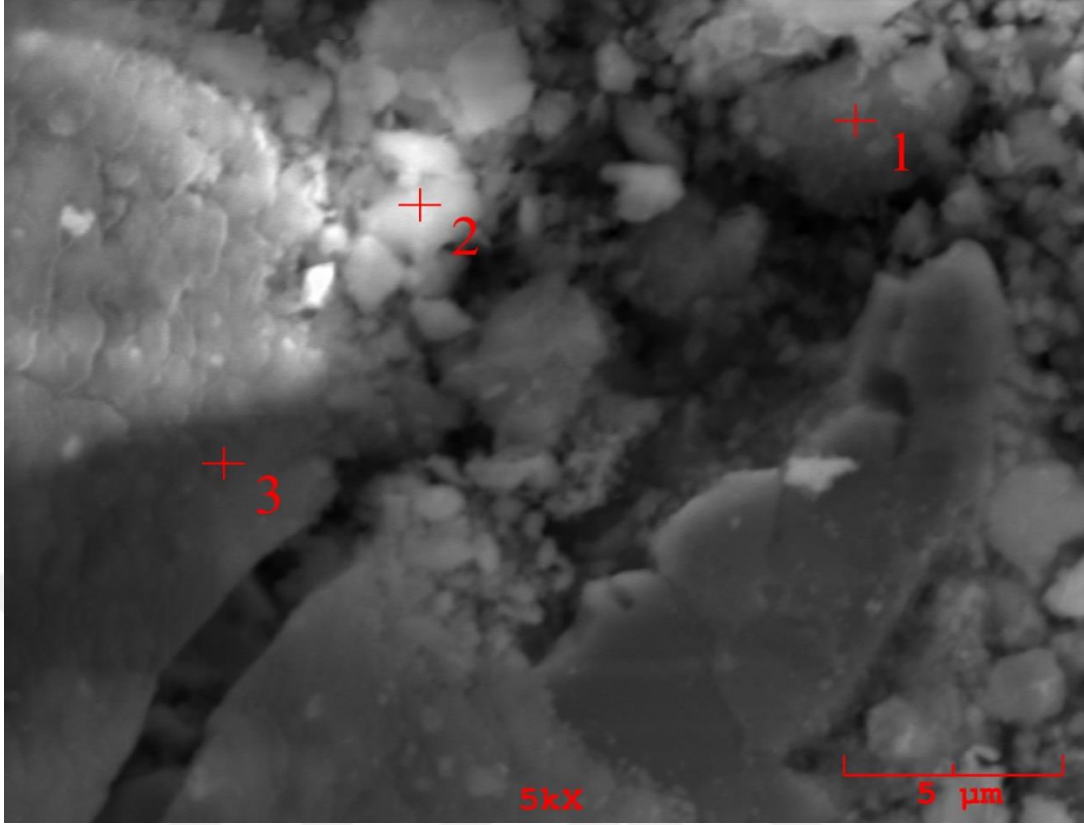


Şekil 7.67. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.10. 5N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Cr (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Co (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0.397	4.167	0.690	5.311	0.174	4.322	5.694	79.245
2	0.000	38.348	4.166	27.368	0.000	0.908	19.992	9.217
3	0.000	29.947	2.862	33.000	0.508	0.346	21.224	12.113
4	0.000	44.315	4.008	26.672	1.269	0.727	16.024	6.986
5	0.000	4.229	0.040	18.886	3.226	0.000	69.166	0.000

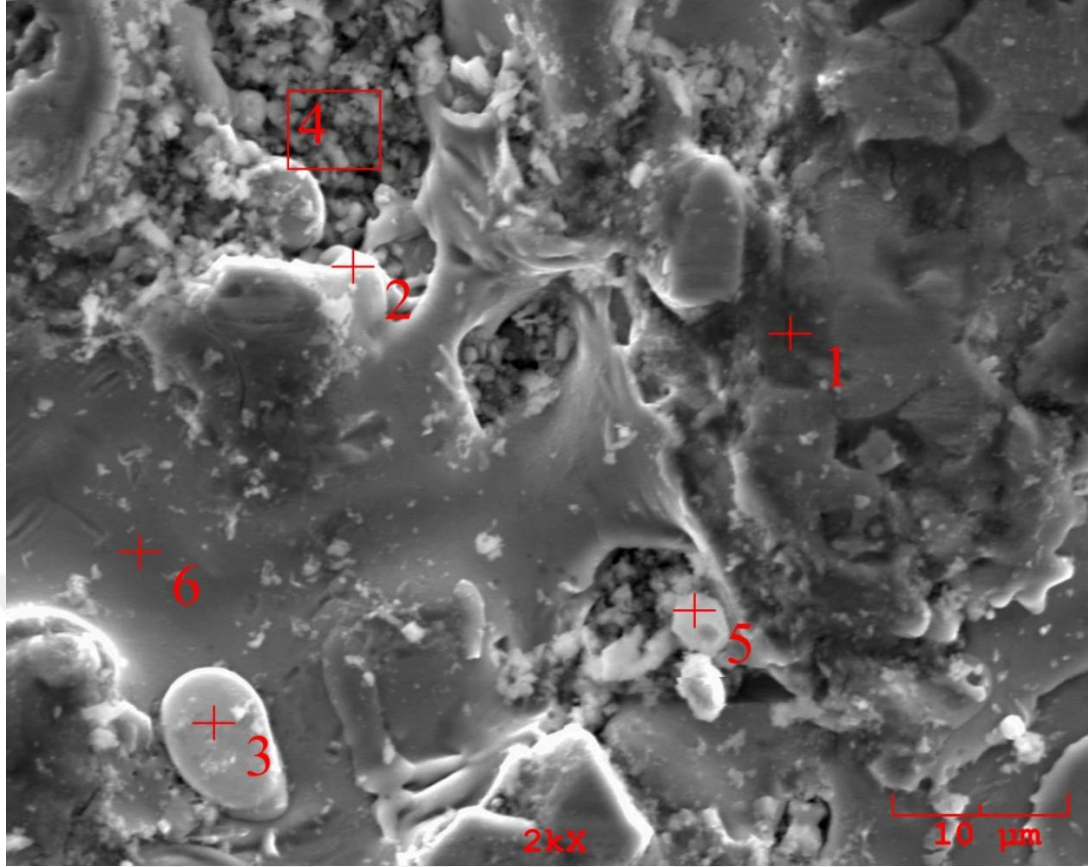
Şekil 7.68. 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü gösterilmiştir. Kullanılan woka 7202 tozu yüksek miktarlarda Ni ve Cr elementi ihtiva ettiği için EDS analizi sonucunda da yapıda yüksek oranlarda görülmüştür.



Şekil 7.68. 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS görüntüsü

Tablo 7.11. 3N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin EDS analizleri

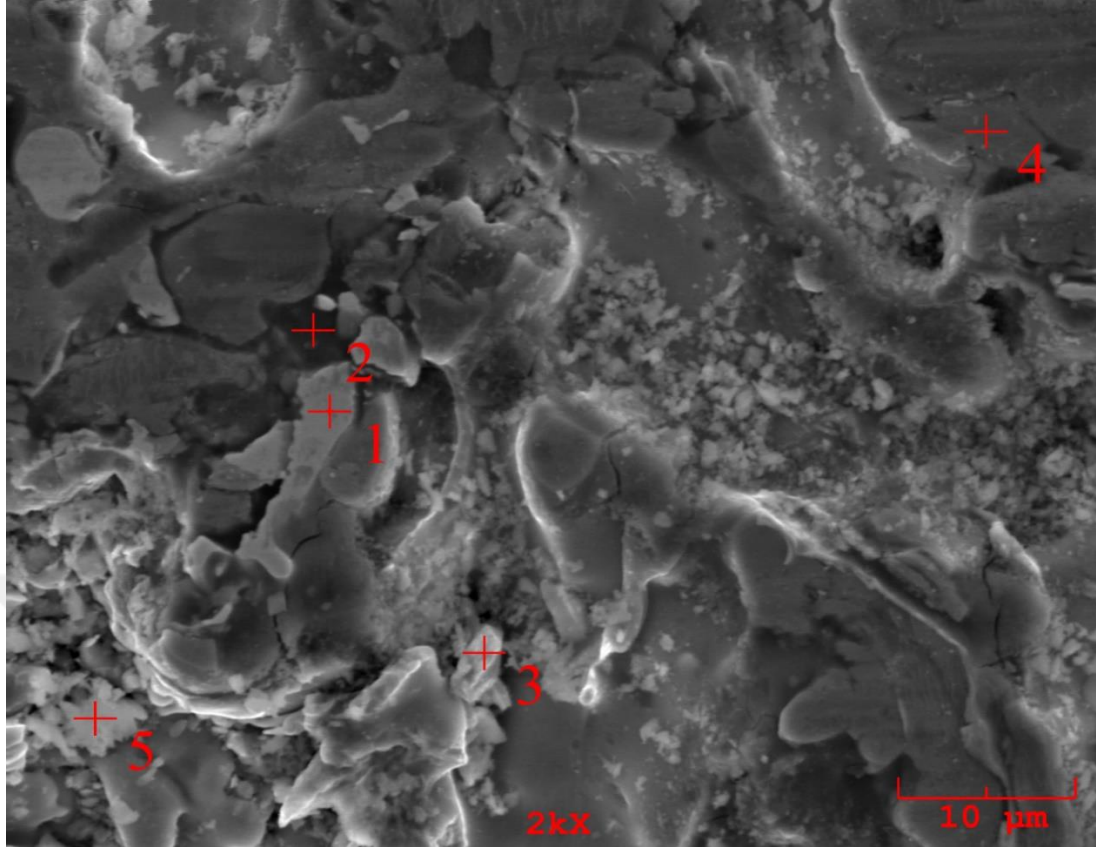
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Cr (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı
1	1.553	42.954	0.358	45.133	10.002
2	2.681	43.453	0.768	42.409	10.690
3	1.998	43.456	0.632	43.954	9.960



Şekil 7.69. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.12. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

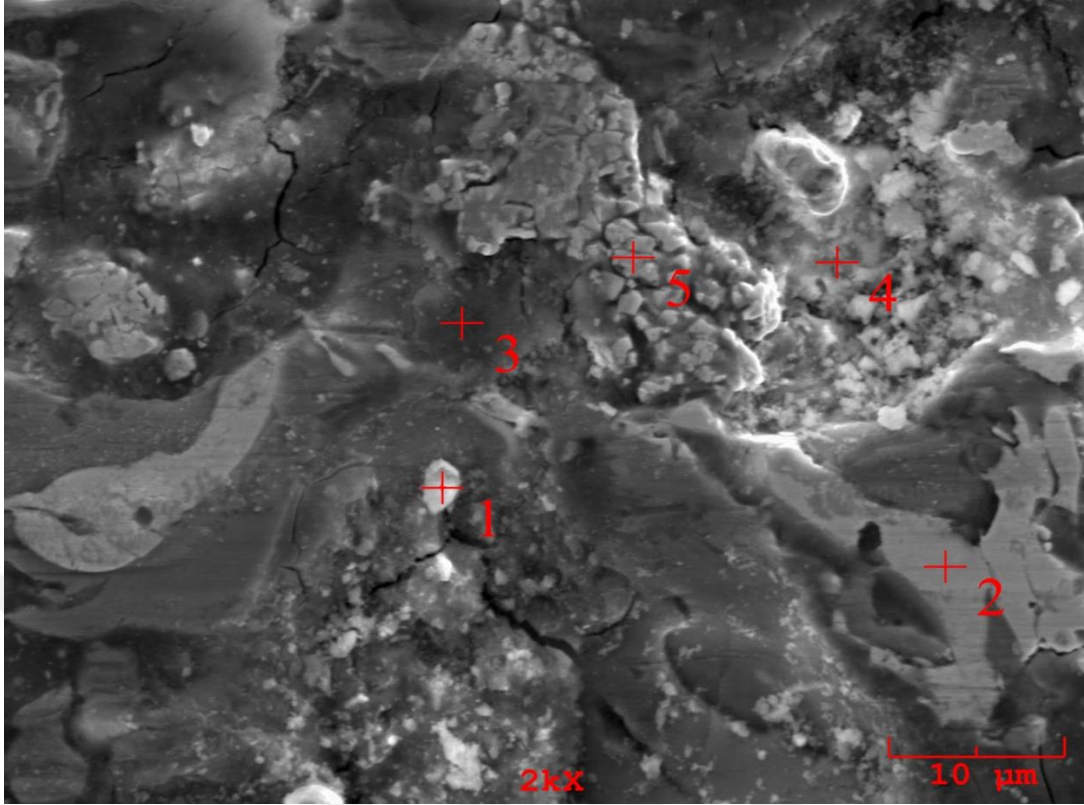
No	C	O	Al	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	0.000	26.777	1.176	47.795	0.294	0.564	20.330	3.054
2	0.000	21.916	0.116	43.801	1.128	0.000	30.640	0.718
3	0.000	6.824	0.307	5.007	0.832	7.805	6.395	72.830
4	0.000	26.192	1.208	36.746	0.931	1.183	29.344	4.132
5	1.013	17.813	0.739	51.541	0.381	0.343	23.957	4.213
6	0.000	8.588	0.235	67.631	0.408	0.311	22.826	0.000



Şekil 7.70. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.

Tablo 7.13. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

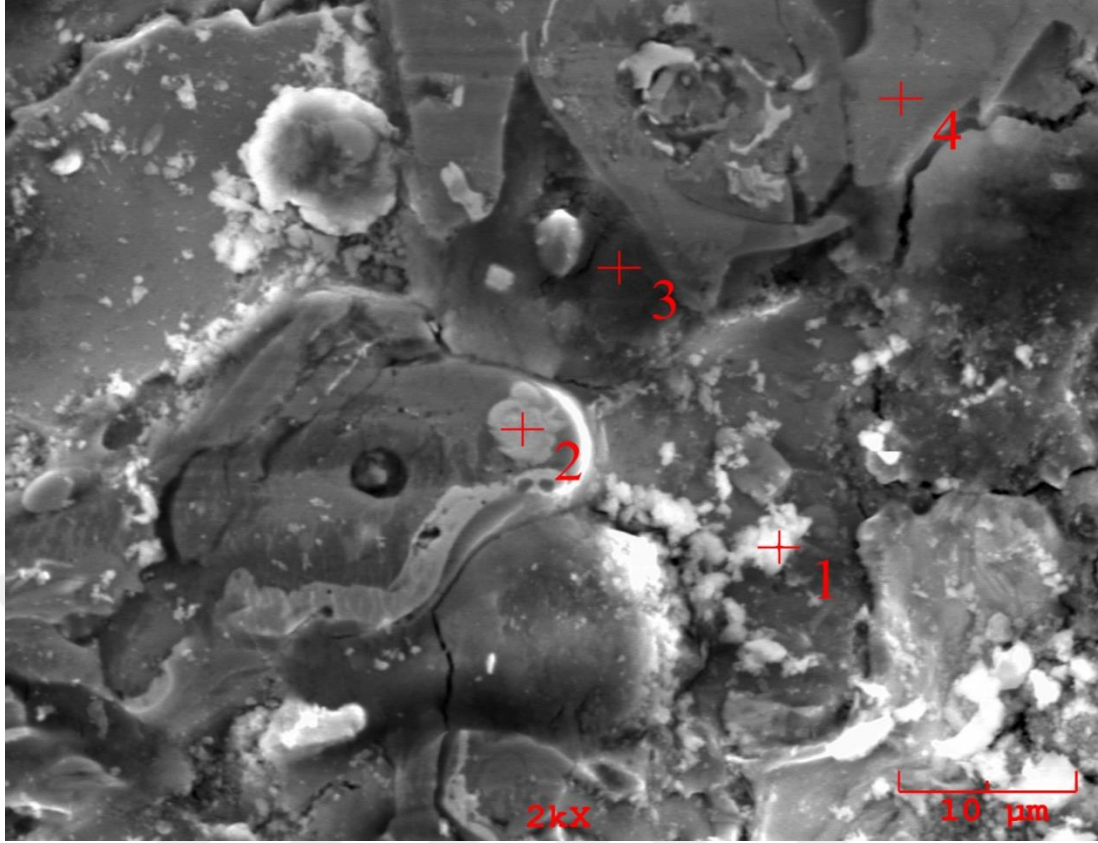
No	C	O	Al	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	1.944	0.500	0.531	3.571	0.183	9.721	5.542	78.008
2	0.000	32.580	0.942	33.444	1.287	1.134	20.864	9.751
3	1.335	13.850	0.243	25.663	1.673	0.193	50.363	2.915
4	1.952	10.260	0.000	70.947	0.381	0.266	13.731	2.462
5	0.000	7.325	0.430	46.067	1.210	0.973	38.512	5.397



Şekil 7.71. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü.

Tablo 7.14. 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

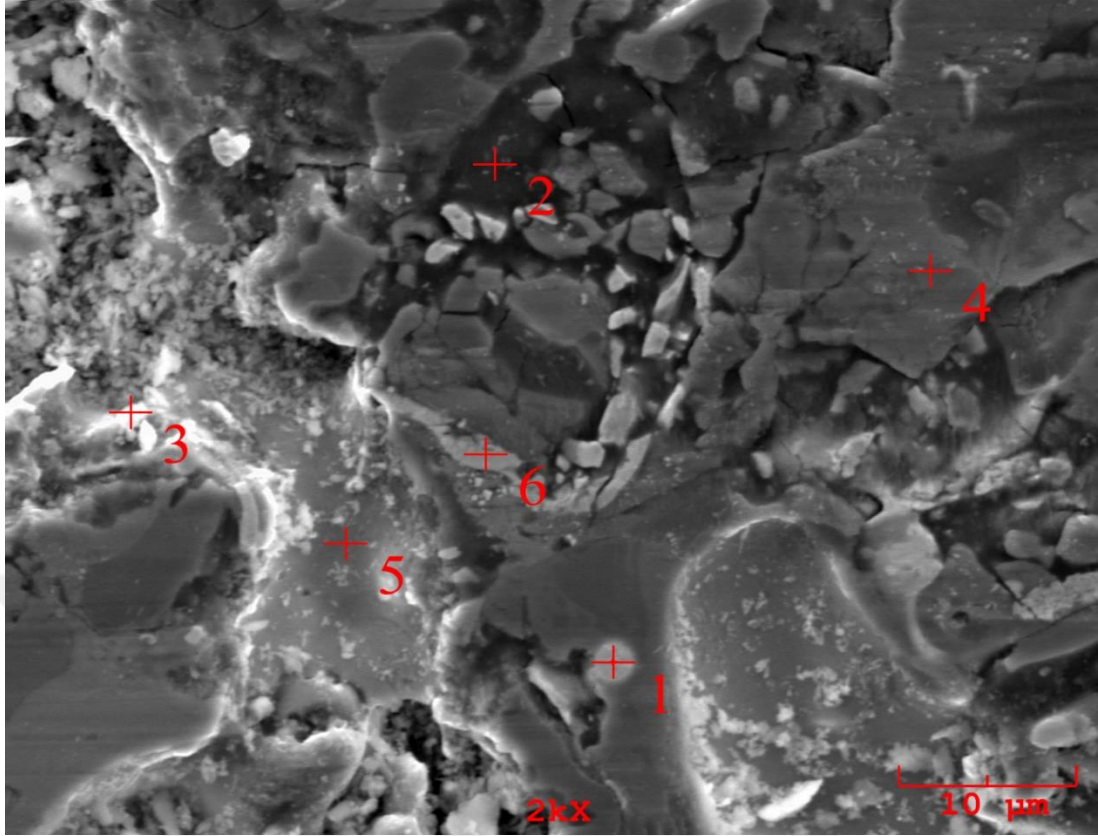
No	C	O	Al	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	4.936	20.393	0.768	50.620	0.687	0.379	20.812	1.372
2	1.874	0.373	0.348	4.329	0.946	14.234	1.503	76.393
3	0.000	24.778	1.732	47.305	1.070	0.591	19.190	5.334
4	0.000	18.304	0.673	7.435	0.431	18.085	4.907	50.165
5	1.692	2.291	0.124	1.526	0.816	9.362	2.672	81.517



Şekil 7.72. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.15. 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

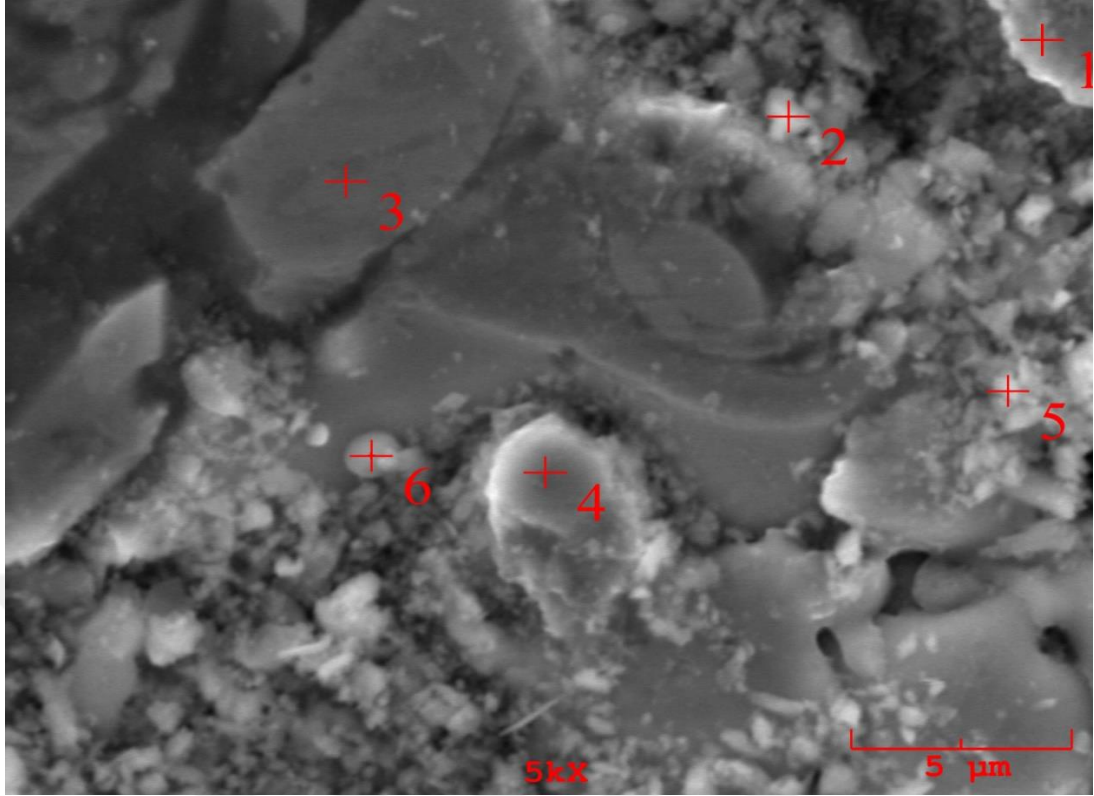
No	C	O	Al	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	0.000	29.866	1.639	41.236	0.564	0.449	21.425	4.067
2	0.173	0.182	0.133	10.204	0.361	4.726	4.385	79.836
3	1.993	25.286	2.746	45.585	0.052	0.361	19.634	4.343
4	0.122	2.035	0.386	23.416	2.639	0.000	64.471	1.172



Şekil 7.73. 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.16. 5N yük altında 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 ve %50 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

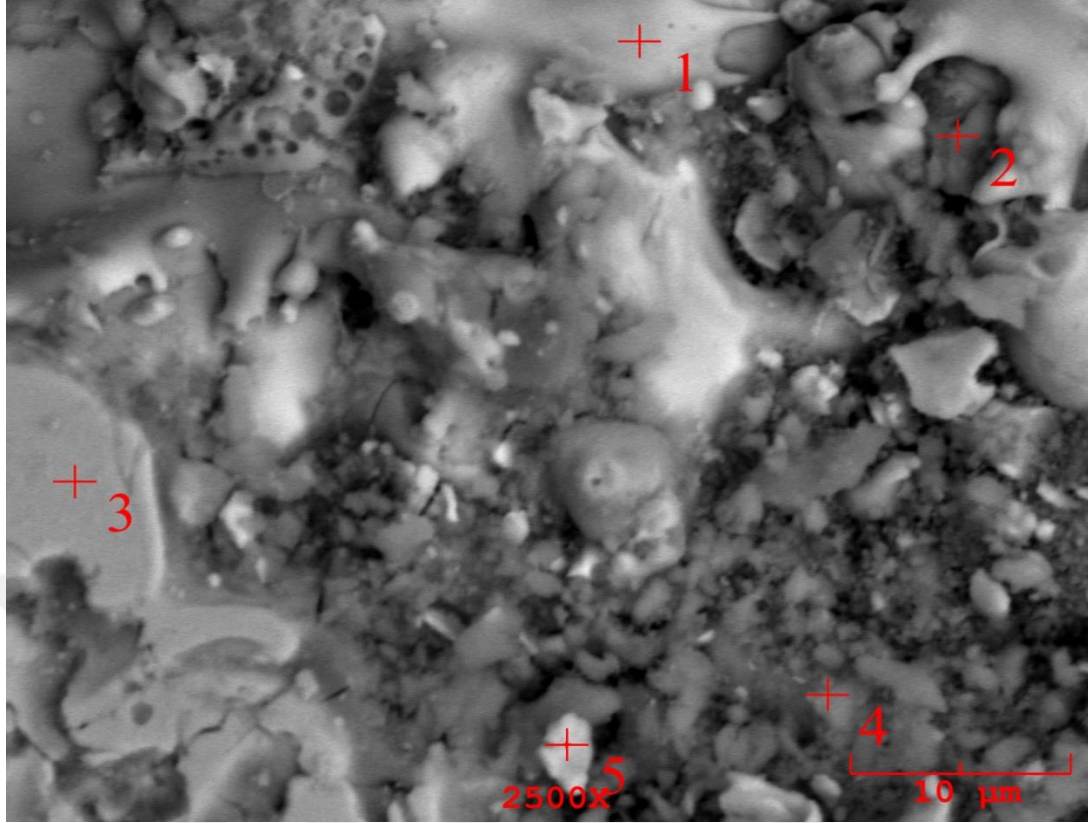
No	C	O	Al	Cr	Fe	Co	Ni	W
1	2.039	0.927	0.383	4.077	0.728	10.138	0.524	81.184
2	0.000	31.434	2.087	38.809	0.568	0.991	20.503	5.607
3	0.566	30.482	0.774	21.924	1.503	0.585	35.306	8.153
4	1.622	7.923	0.303	70.213	0.337	0.540	18.555	0.507
5	0.000	3.891	0.108	17.458	2.723	0.164	69.906	2.498
6	0.000	3.069	0.270	7.944	0.354	10.782	2.781	74.799



Şekil 7.74. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.17. 2N yük altında 0,3 m/sn hızla 100 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4, 5 ve 6 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	C	O	Al	Cr	Ni
1	0.000	11.811	0.494	40.661	47.034
2	1.669	39.054	0.227	46.448	12.601
3	1.825	6.649	0.208	71.057	20.261
4	5.434	13.900	0.348	55.684	24.635
5	0.964	26.891	0.301	56.409	15.436
6	0.000	7.115	0.354	71.855	20.676



Şekil 7.75. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS görüntüsü

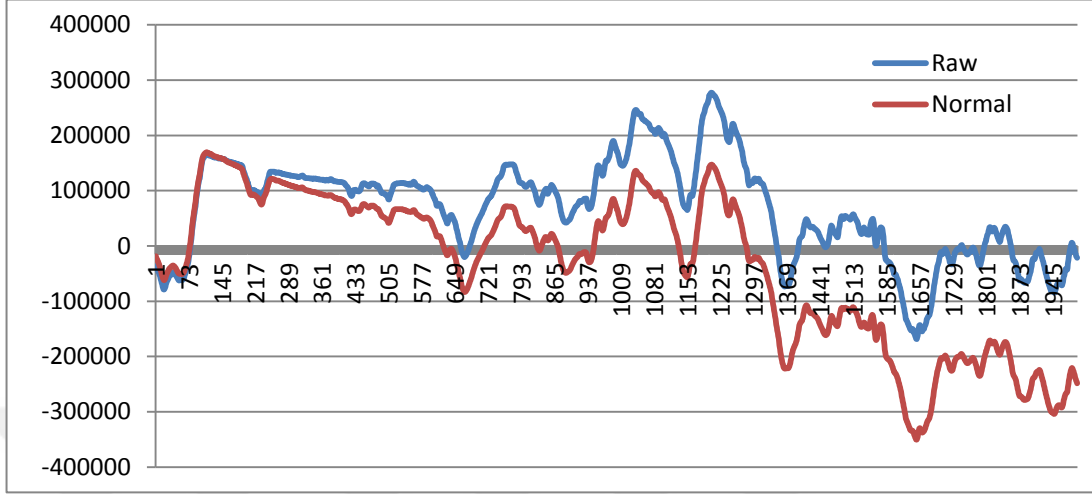
Tablo 7.18. 3N yük altında 0,1 m/sn hızla 400 metre mesafede %100 Woka 7202 tozları kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3,4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	C	O	Al	Cr	Ni
1	1.812	8.892	0.324	67.151	21.821
2	0.000	22.737	0.095	65.832	11.336
3	1.452	10.545	0.176	0.214	69.406
4	0.159	40.300	0.803	45.501	13.236
5	2.280	26.190	0.352	51.789	19.389

7.8. Pürüzlülük

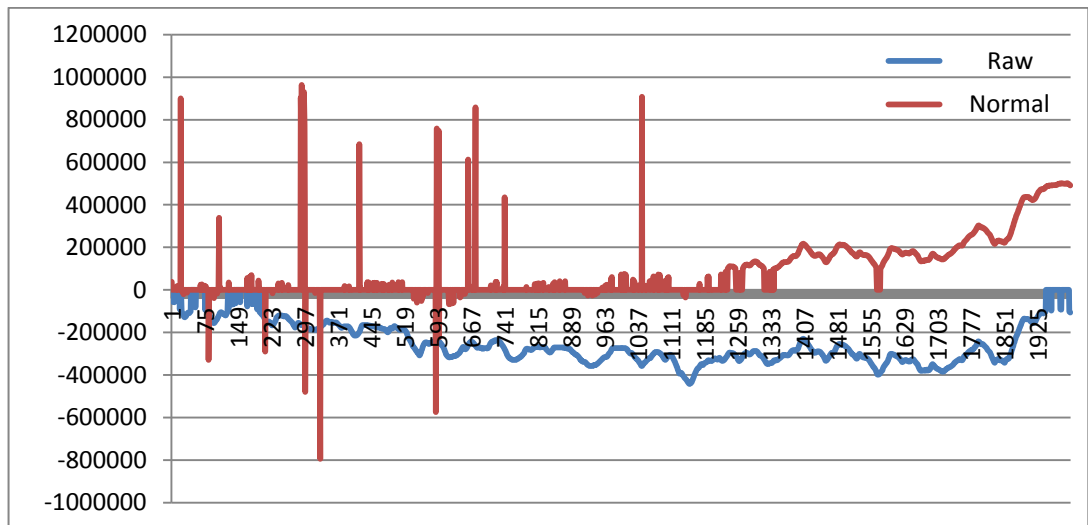
Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana gelmesidir. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazları yüzeyin profilini grafik olarak çizerler. Yüzey pürüzlülüğü geleneksel olarak iki boyutlu yapılabılırken optik ölçüm cihazlarının yardımıyla üç boyutlu tarama yapılarak da ölçülebilmektedir. Bu taramayla yüzey morfolojisi hakkında daha fazla bilgi sağlamaktadır. Üç boyutlu yüzey pürüzlülük ölçümü ile kaplama hatalarını en aza indirerek maliyetleri en aza indirmek mümkündür. Yüzeyin uzun dalga boylarında olması, yüzey pürüzlülüğü ölçme parametre değerini etkiler. Bu nedenle çok uzun dalga boylarının etkisi önlenmelidir.

Şekil 7.76.'da %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 2 boyutlu pürüzlülük grafiği gösterilmiştir.



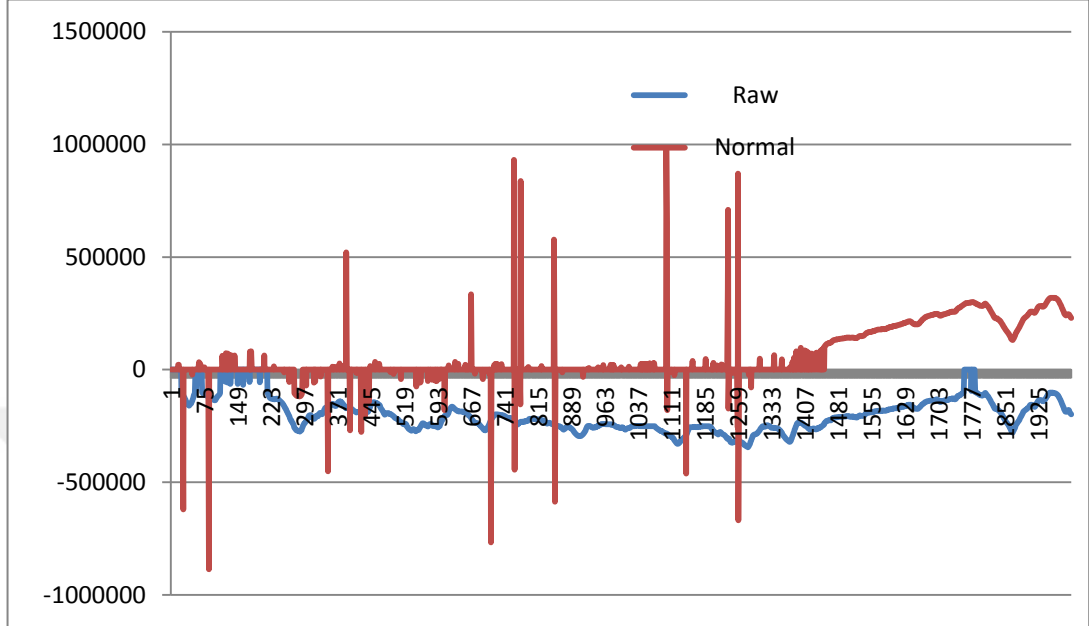
Şekil 7.76. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 2 boyutlu pürüzlülük grafiği

Şekil 7.77. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 2 N yüke maruz bırakılan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği gösterilmiştir. Bu grafikte mavi renk malzeme yüzeyinde meydana gelen pürüzlülüğü ifade etmektedir. Kaplama yüzeyinden içerilere doğru gidildikçe aşınma olduğu ve malzeme kopmaları meydana geldiği görülmüştür Birbirinden farklı da olsa profiller aynı Ra değerini bulabiliriz. Aynı Ra değerlerine sahip olunması aynı yüzey özelliğine sahip olduğu anlamına gelmemektedir.



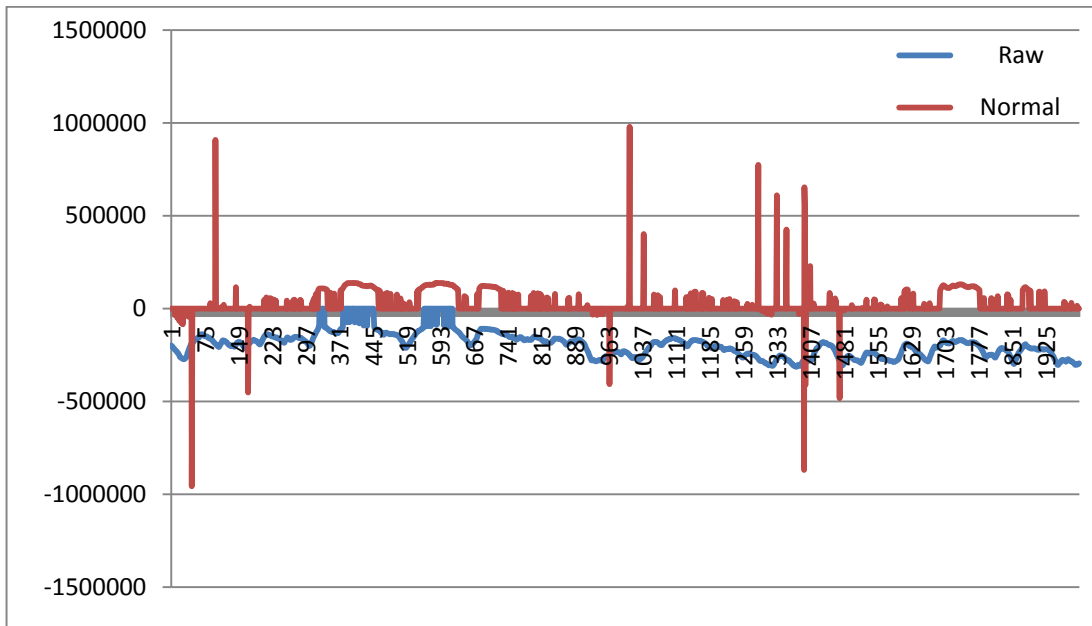
Şekil 7.77. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği

Şekil 7.78. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 5 N yüke maruz bırakılan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği gösterilmiştir.



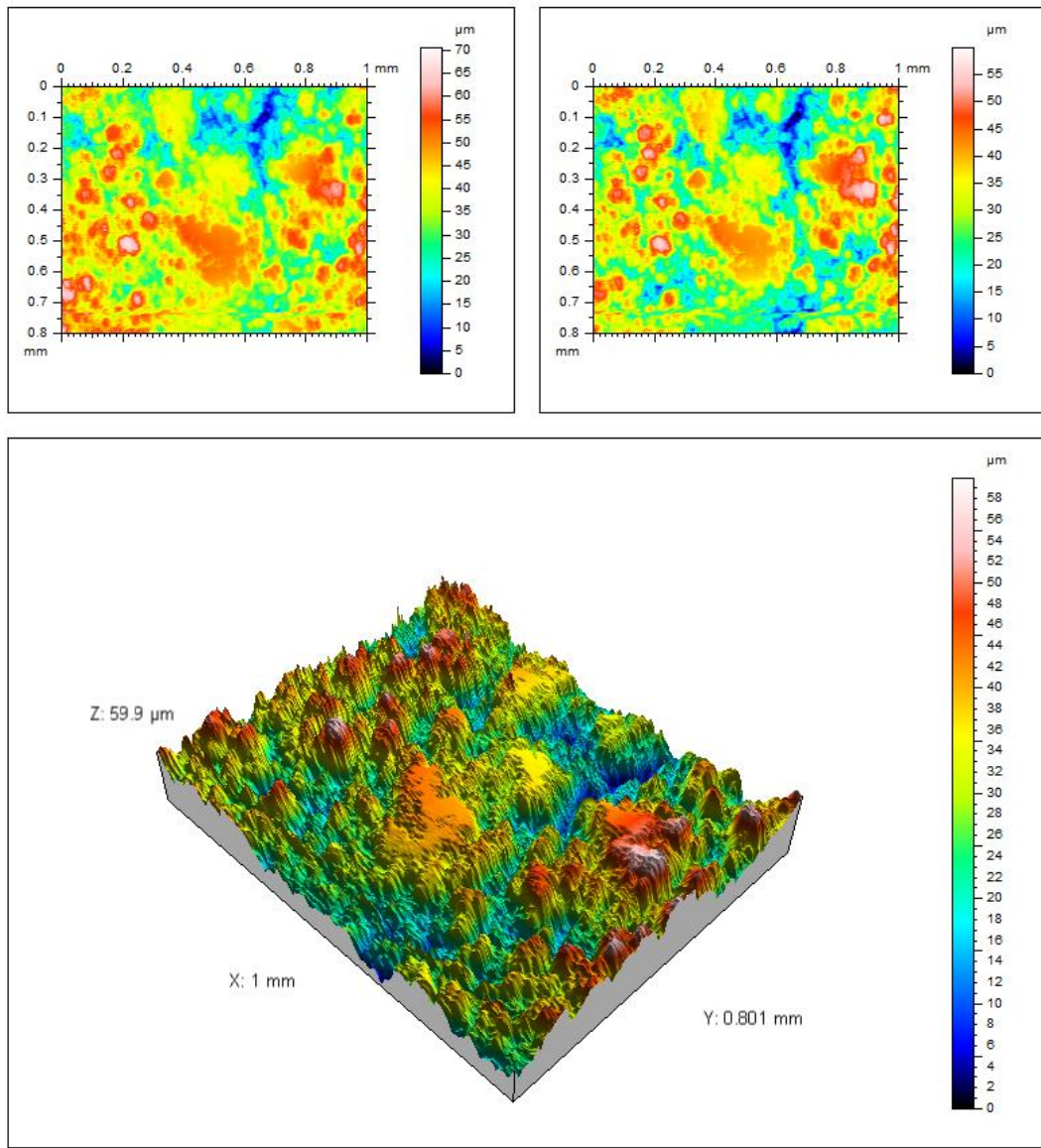
Şekil 7.78. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği

Şekil 7.79. %100 Woka tozu kullanılarak 2N yüke maruz bırakılan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği gösterilmiştir.



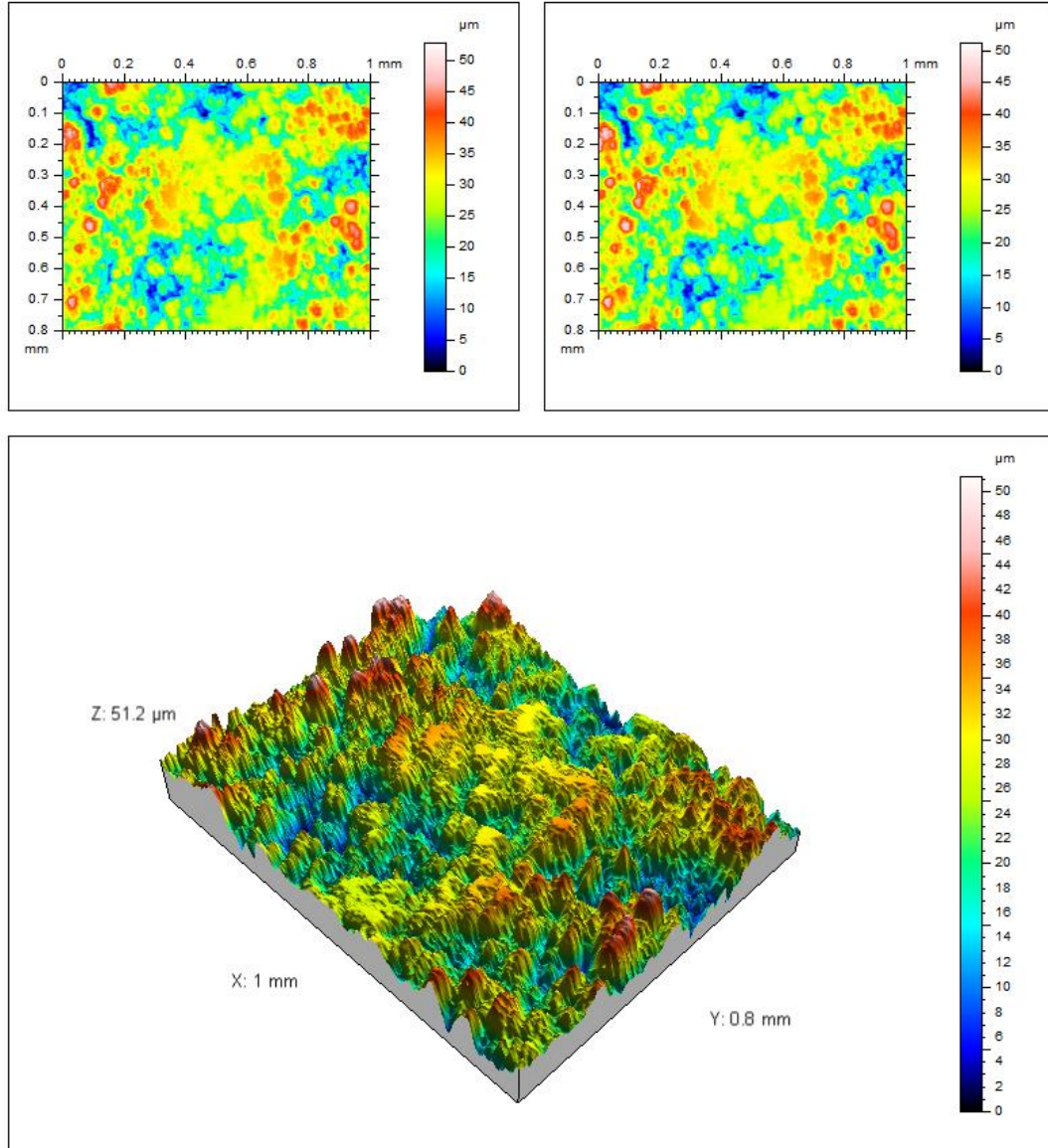
Şekil 7.79. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin iki boyutlu pürüzlülük grafiği

Şekil 7.80.'de %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü gösterilmiştir. Yapılan test sonucunda 3D optik yüzey profilometresi kullanılarak pürüzlendirme sonrası yüzey yapısı incelendiğinde homojen bir dağılımın söz konusu olmadığı görülmüştür. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 59,9 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir. Kaplama üst yüzeyinden alınan görüntülerde yüzey topografyasında farklılıklar görülmektedir.



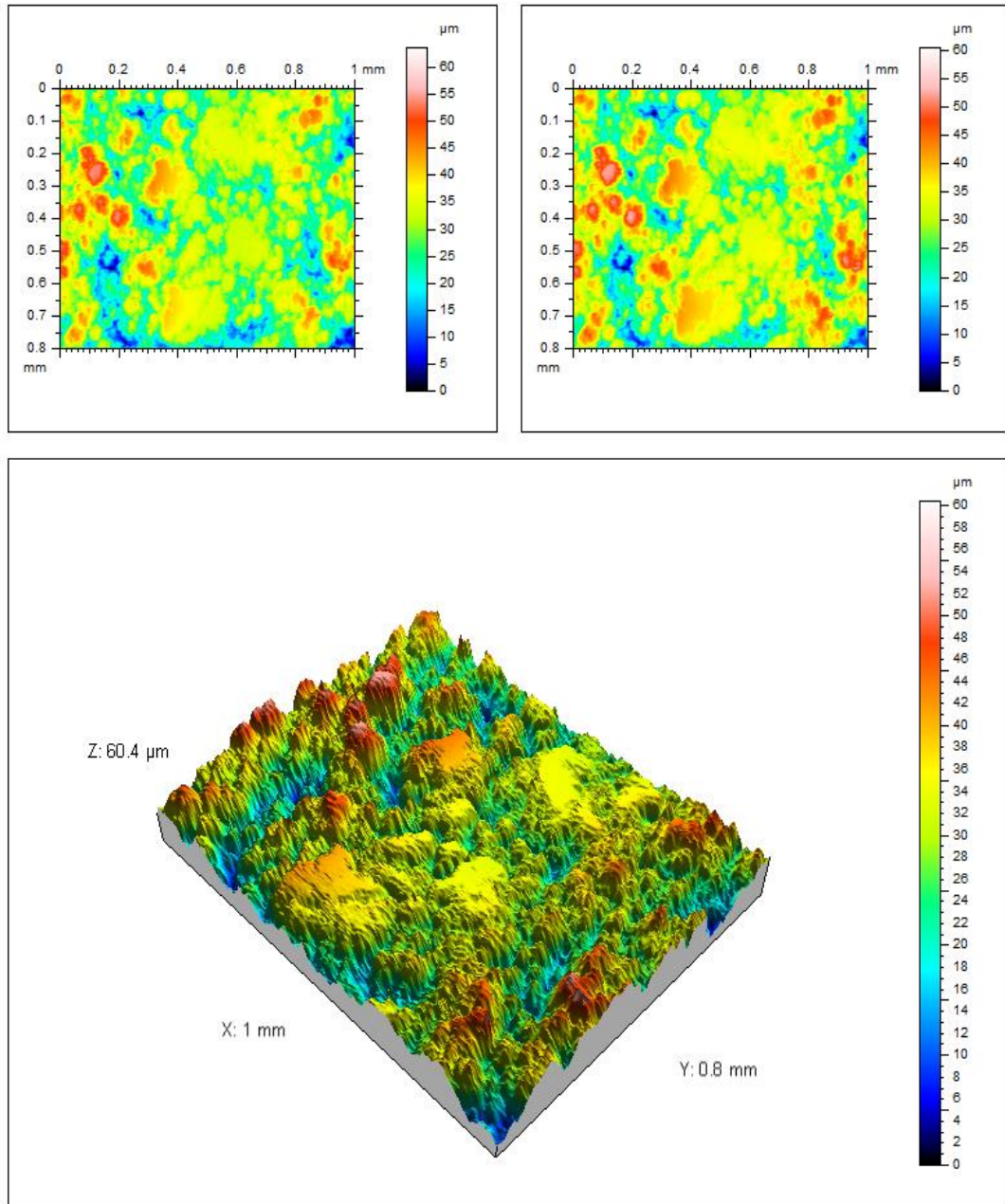
Şekil 7.80. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü

Şekil 7.81. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 2N yüke maruz bırakılan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü gösterilmiştir. Yüzey yapısı incelendiğinde homojen bir dağılımın söz konusu olmadığı görülmüştür. Kaplama üst yüzeyinden alınan aşağıdaki görüntülerde yüzey topografyasında farklılıklar görülmektedir. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 51,2 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir. Tamamen düz ve homojen bir yüzey oluşmamasına neden olarak yüzeye püskürtülen tozların ergime noktalarının farklı olmasına bağlayabiliriz.



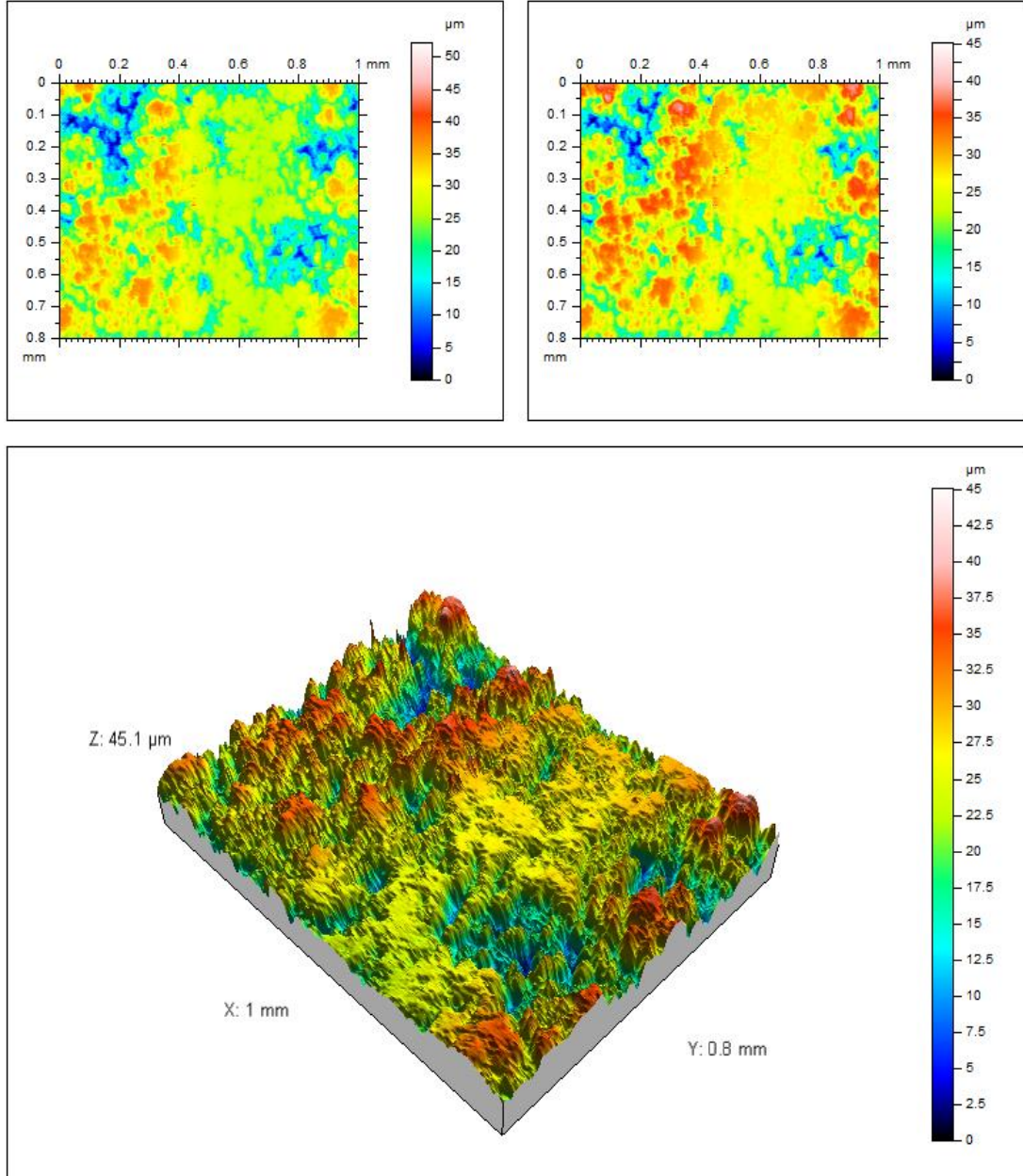
Şekil 7.81. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü

Şekil 7.82. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü gösterilmiştir. Yüzey yapısı incelendiğinde bazı bölgelerde homojen bir dağılımın söz konusu olmadığı görülmüştür. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 60,4 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir.



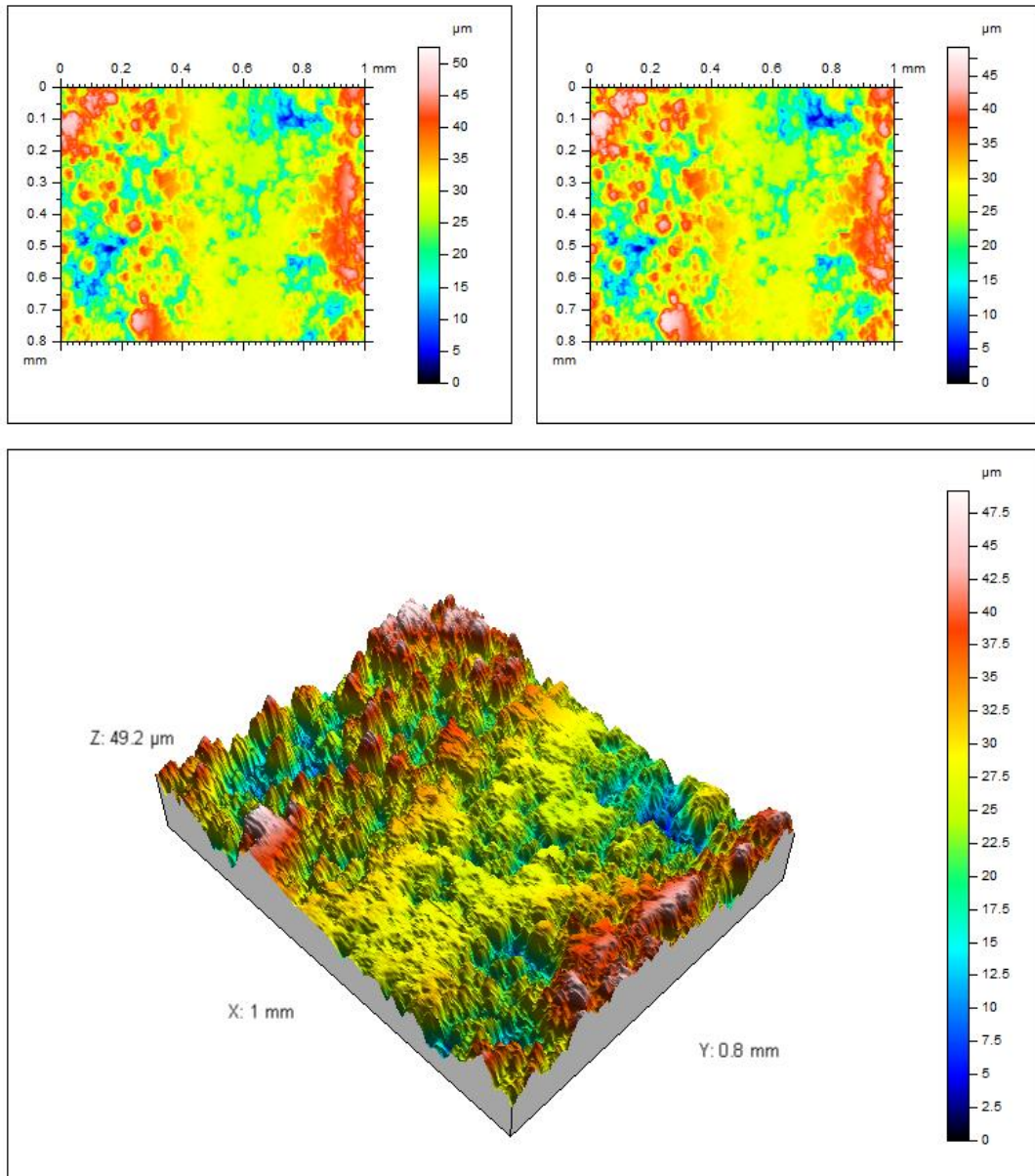
Şekil 7.82. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü

Şekil 7.83. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 3 N yüke maruz bırakılan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 45,1 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir.



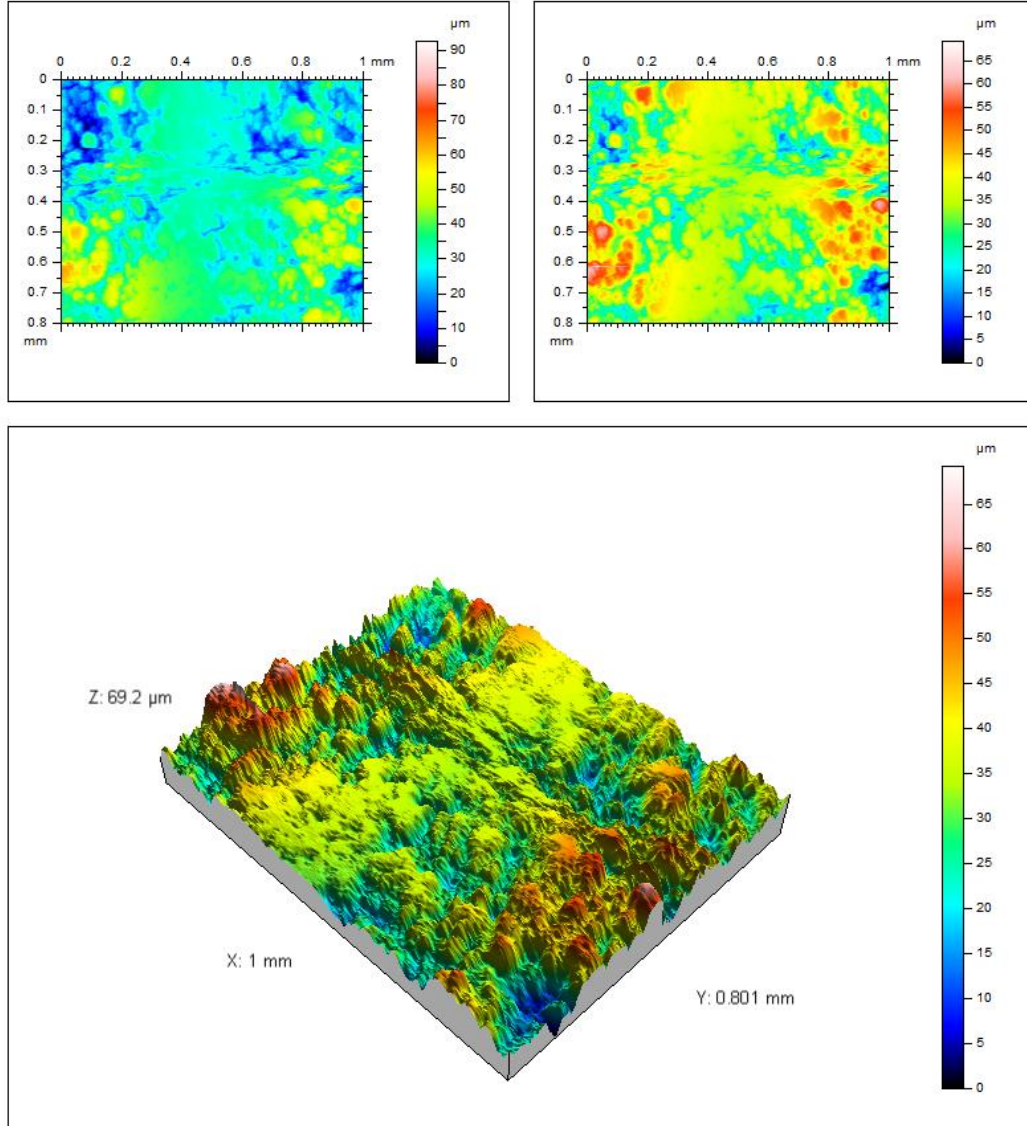
Şekil 7.83. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü

Şekil 7.84.'de %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 5N yüke maruz bırakılan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü gösterilmiştir. Yüzey yapısı incelendiğinde homojen bir dağılımın söz konusu olmadığı görülmüştür. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 49,2 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 7.84. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin 3 boyutlu pürüzlülük görüntüsü

Şekil 7.85. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan 5 N yüke maruz bırakılan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü gösterilmiştir. Uygulanan kaplama işlemi sonucu numune yüzeyinde 69,2 μm derinliğine sahip olan numunede yer yer yüzey pürüzlülüğü mevcuttur. Kavisli yüzeyler kaplamanın yüksek pürüzlülüğe sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 7.85. %100 Woka tozu kullanılarak hazırlanan numunenin üç boyutlu pürüzlülük görüntüsü

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Yapılan bu deneysel çalışmada, AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyleri atmosferik plazma tekniği ile farklı tozlar ve toz karışımları kullanılarak yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. İlk kaplama numunesi tozu olarak %100 7202 woka tozu, ikincisinde ise %50 7202 woka ve %50 2002 diamalloy toz karışımı kullanılarak paslanmaz çeliğin mekanik ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Atmosferik plazma sprej kaplama yöntemi tercih edilmiş olup paso sayısı ve nozul mesafesi sabit tutulup tozların etkisi incelenmiştir. Kaplama işlemi yapılan numunelere sırasıyla optik mikroskop görüntüleri, mikrosertlik verileri, XRD analizleri, SEM analizleri, EDS analizleri, aşınma sonuçları ve yüzey pürüzlülük analizleri yapılmıştır. Yapılan optik görüntü incelemesi sonucu kullanılan farklı tozların kaplama kalınlıkları ve malzeme sertlikleri ölçülmüştür. X-ışınları analizi sonucunda ise yapı içerisinde var olan element miktarları ve pik şiddetlerine göre elementler ve etkileri irdelenmiştir. Alınan SEM görüntülerine göre kaplama tabakası incelenmiştir ve mekanik özelliklere etkisi irdelenmiştir. Aşınma testi yük (2N, 3N, 5N), hız (0,1-0,2-0,3 m/sn) ve mesafe (100, 200 ve 400 m) parametreleri sonucunda sürtünme katsayısı değerleri ve aşınma oranlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Kullanılan paslanmaz çeliklerinin yüzey özelliklerinin incelenmesi çalışmalarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Metalografik incelemeler sonucunda, tabaka kalınlığının kullanılan toz içeriklerine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Kaplama tabaka kalınlıkları %100 7202 Woka tozu kullanılarak yapılan kaplama işleminde 27.20 µm iken,

%50 7202 Woka ve %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak yapılan kaplama işleminde $53.78 \mu\text{m}$ 'dir.

- 2- Yüzeyde ergime ve birtakım bozulmalar gözlemlenmiştir. Özellikle %100 7202 Woka tozu kullanılarak yapılan kaplamalarda diğer karışım toz tabakasına göre daha poroziteli olduğu görülmektedir. Yer yer ergime problemleri oluşmuştur. Az oranda da olsa bu problem görülmüştür. Tamamen düz ve homojen bir yüzey oluşmamasını yüzeye püskürtülen tozların ergime noktalarının farklı olmasına bağlayabiliriz. Ergimelerde bazen cihaz kaynaklı sıkıntılar oluşabilmektedir.
- 3- SEM analizleri neticesinde yapıda gözenekli poroz yapıların mevcudiyeti söz konusudur. Buna oksijenin neden olduğu düşünülmektedir. Yapılan kaplama işlemi açık atmosfer şartları altında uygulandığı için EDS analizleri sonucunda oksijen elementine rastlanması beklenen bir sonuçtur. Poroz bir yapı olağandır.
- 4- XRD analizleri sonucunda kaplama tabakasında %50 7202 Woka tozu ve %50 2002 Diamalloy tozu kullanılarak hazırlanan karışımın WC, W, Cr₇Ni₃, Co, Cr₂O₃, Cr₇C₃, Cr bileşiklerinin oluştuğunu göstermiştir. Oluşan bu fazların varlığı aşınma dayanımını ve sertlik değerlerini artırmaktadır. Ayrıca numune pik şiddetleri değerlerinde değişikliğe yol açmış olduğu görülmüştür. En yüksek pike sahip olan fazlar W ve Co'dır. %100 7202 Woka tozu kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinde oluşan fazlar ise Cr₂O₃, Cr₇C₃, Cr₂C₃, Cr'dur. En yüksek pike sahip olan faz miktarca da yüksek oranda bulunuyor demektir. Cr₂C₃ yapı içerisinde en fazla bulunan bileşiktir. Sertlik değerlerindeki artışa bu fazlar neden olabilir.
- 5- Kaplama yapılan numunelerden alınan mikrosertlik değerlerinin kaplama öncesine kıyasla arttığı görülmüştür. Kaplama yapılmadan alınan çelik sertlik değeri 190 HV'dir. Kaplama tabakasının farklı bölgelerinden alınan ortalama mikrosertlik değerlerinden elde edilen en yüksek değer 1200 HV (%50 7202 Woka Tozu-%50 2002 Diamalloy Tozu), en düşük değer 1022 HV (%100 7202 Woka Tozu). Sertlik değerlerinin farklılığına sebep olarak toz içeriğinin farklı olması görülmüştür. Farklı toz karışımı ile yeni ve farklı fazlar oluşmuştur. Bu

fazlar mikro sertlik değerlerinde pozitif bir eğilim sağlayarak artışa neden olmuştur.

- 6- Aşınma testi 2N, 3N ve 5N yükler uygulanarak 0,1, 0,2 ve 0,3 m/sn hızlarda 100, 200 ve 400 metre mesafelerde yapılmıştır. Yapılan aşınma deneyi sonucunda en yüksek sürtünme katsayısı 5N yük uygulanmış 0,3 m/sn hızla 400 metre mesafedeki numunede 0,675 (μm) olarak ölçülmüştür. Yük arttıkça sürtünme katsayısında da artış gözlenmiştir. Bu deney sonucunda en düşük sürtünme katsayısı 2N yük uygulanarak 0,1 m/sn hızla 100 metre mesafedeki numunede 0,154 (μm) olarak ölçülmüştür. Yükteki azalma sürtünme katsayısında azalmaya neden olmuştur. Buna bağlı olarak aşınma oranlarını da etkilemiş olduğu düşünülmektedir. Hızın artmasıyla sürtünme katsayısının artması yüzeyde oluşan aşınma ürünlerinin varlığından dolayı olabilir. Oluşan fazlar sürtünme katsayısı değerlerinde düşüğe neden olmuştur. Aşınma esnasında elde edilen aşınma ürünlerinde alümina bilyadan kopan parçaların miktarı fazladır. Açık atmosfer koşullarında yapıldığı için oksitlenen yüzeyler metallerin temasını engellediği için adhezyon aşınmasını azaltmaktadır.
- 7- Yapılan yüzey pürüzlülük test sonucunda 3D olarak yüzey yapısı incelendiğinde kaplama tabakasında homojen bir dağılımın söz konusu olmadığı görülmüştür. 3D görüntülerde görüldüğü üzere aşınma yüzeylerinde plastik deformasyon oluşumları ve malzeme kopmaları gözlemlenmiştir. Derinlik farklılıkları vardır. Bu da bölgesel olarak aşınma oluşumuna verilen tepkisel farklılıktan kaynaklanmaktadır. Kaplamalarda bölgesel olarak kopmalar bu sebeptendir. Farklı renklerle ifade edilen kaplamada ki derinlik ve yükseklik ifadelerinden yüzeydeki aşınma oluşumları net bir şekilde görülebilmektedir.

Sonuç olarak; atmosferik plazma ile yüzey kaplama işlemi yapılan AISI 316 paslanmaz çeliklerine uygulanmış tüm deneysel çalışmalar neticesinde mekanik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerin geliştirilmesi adına çok önemli ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle alışımlı ve pahalı çelik gruplarının yerine, kolay bulunan ve ucuz çelik gruplarının yüzey özelliklerinin geliştirilerek kullanılabilmesi adına yapılan bu çalışma sonuçlarının önemli olduğu düşünülmektedir. Özellikle

maliyetlerin ve malzeme kaynaklarının korunmasının son derece önemli olduğu günümüzde atmosferik plazma prosesinin 1-2 dk. gibi çok kısa sürede meydana getirdiği kaplamaların ekonomik ve endüstriyel açıdan büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sadece yüke maruz kalacak yüzeye kaplama uygulanması diğer bir avantajdır. Tüm yapı bozulmadan yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüzeyde meydana getirdiği değişimler eşdeğer birçok prosese göre çok daha avantajlıdır.

Ekonominin ve hammaddenin özellikle zamanın son derece önemli olduğu günümüzde atmosferik plazma prosesinin endüstriyel alanlarda her anlamda büyük kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir.

8.2. Öneriler

- Farklı oranlarda toz karışımları kullanılarak optimum özellikte yapıya ulaşılabilir.
- Farklı aşındırıcı bilya kullanılarak aşınma test sonuçları karşılaştırılabilir.
- Toz püskürtme parametreleri değiştirilebilir.
- Kalıntı gerilim ölçümleri yapılabilir.
- Aşınma deneyi farklı hız, yük ve mesafe için denenebilir.
- Korozyon testleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Trabzon 1999.
- [2] Özdemir U., Erten M., “Plazma (İyon) Nitritleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz 2003, cilt 1, sayı 2, sayfa 41-48.
- [3] Ürgen, M., Haziran 1997, “Modern Yüzey İşlem Teknolojileri ve Türkiye’deki Gelişmeler”, 9th Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, sayfa 333-350.
- [4] Smith D.L., 1995, “Thin-Film Deposition - Principles & Practice, McGraw-Hill Inc” - New York.
- [5] “Çelik Yüzeylerin Kaplanması”, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, pp.1- 8, 2006.
- [6] Wen, F., Lo, Y.L., Lin, C.H: Mou, S.C., “A Pulse DC Plasma Deposited Resistor”.
- [7] Xie L., Ma X., Jordan E.H., Padture N.P., Xiao D.T., Gell M., Deposition mechanisms of thermal barrier coatings in the solution precursor plasma spray process, Surface and Coatings Technology, 177-178, 103-107,2004.
- [8] Bunshata, R. F., 1980. High Rate Physical Vapor Deposition Processes, 21-26, Agard Lecture Series No:106, Materials Coating Techniques, Harford House, London.
- [9] Peikoszewski, J., Werner, Z., Langer, J., Walis, L., “Modification of the surface Properties of Materials by Pulsed Plasma Beams” Surface and Coating Technology, Vol. 106, pp.228-233, 1998.
- [10] Wernwer., Z., Peikoszewski, J., Barcz, Grotzschel, R., Prokert, F., Stanislawski, J., Szymczyk, W., “Alloying of Pd into Ti by Pulsed Plasma Beams”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, pp 767-771, 2001

- [11] Awazu, K., Sakudo, N., Yasui, H., Saji, E., Okazaki, K., Hasegawa, Y., Ikenaga, N., Kanda, K., Nambo, Saitoh, K., "DLC Films Formed by Hybrid Pulse Plasma Coating (HPPC) System, Surface and Coatings Tech. 136, pp.172-175, 2001.
- [12] AWS, International Thermal Spray Association, 2017.
- [13] Zeytin S., Yüzey İşlemleri Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, syf. 18-23, 2003.
- [14] Sunil Mohan, Anita Mohan Wear, friction and prevention of tribo-surfaces by coatings/nanocoatings Anti-Abrasive Nanocoatings, 2015, pp. 3-22.
- [15] Goyal Rakesh, Sidhu Buta Singh, Grewal J.S.; "Surface Engineering and Detonation Gun Spray Coating", International Journal of Engineering Studies, Volume 2, Number 3 (2010), 351-357.
- [16] Souza V.A.D., Neville A.; "Aspects of microstructure on the synergy and overall material loss of thermal spray coatings in erosion-corrosion environments", Wear, Volume 263, (2007), 339-346.
- [17] Holmerg, K., Matthews, A., 1994. "Coating Tribology", Elsevier, s (11-21, 172 -189, 257-268, 269-283, 289-308, 351-371).
- [18] Pogrebnyak., A. D, Tyurin Y., Modification of material properties and coating deposition using plasma jets, Physics ± Uspekhi 48 (5), syf. 487-514, 2005.
- [19] Paton Enstitüsü, Teknik Yayınları 1, 2001.
- [20] Flame Spray Technologies(<https://www.fst.nl/systems/hvof-high-velocity-oxygen-fuel-thermal-spray/>).
- [21] Yüksek, E., Altuncu E., Seker Y., Üstel, F., 2002. Plazma Sprey Kaplama Yöntemi ve Teknolojik Uygulamaları, Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, Termal Sprey Laboratuvarı, Sakarya.
- [22] Demirkıran A. Ş., MgZrO₃ Esaslı Fonksiyonel Değişken Kaplamaların İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1997.
- [23] Salman S., Köse R., Urtekin L., Fındık F., An investigation of different ceramic coating thermal properties, Materials and Design, 27, pp. 585-590, 2006.
- [24] Çelik E., Plazma sprej tekniğiyle üretilen seramik kaplamaların korozyon davranışlarının incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1995.

- [25] Hermann H., Sampath S., Lecture Note: Thermal spray coating, State University of New York, 2008.
- [26] Tas, A., "AISI 316L Paslanmaz Çelik Üzerine Plazma sprej Tekniği ile Hidroksiapatit Kaplama ve Karakterisasyonu", Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malz. Müh., Lisans Tezi, Ağustos 2007, s. 11-12.
- [27] Demirtas, H., Tektas, Y., B Plazma "Sprej Kaplama Metodu", Sunum, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malz. Müh. 2004.
- [28] Ercek, E., "Bazalt Esaslı SiC Takviyeli Cem-Seramik Kaplamalar", Sunum, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Metalurji ve Malz. Müh. 2004.
- [29] Kılavuz, Z., "AISI Paslanmaz Çelik Üzerine Plazma Sprej Tekniği ile Kaplama ve Karakterizasyonu", Lisans Tezi, 2004.
- [30] Bose S., High Temperature Coatings, Butterworth-Heinemann, Elsevier, ISBN-13:978-0-7506-8252-7, 73-96, 2007.
- [31] Scrivani A., Bardi U., Carrafiello L., Lavacchi A., Niccolai F., Rizzi G., A comparative Study of High Velocity Oxygen Fuel, Vacuum Plasma Spray, and Axial Plasma Spray for the Deposition of CoNiCrAlY Bond Coat Alloy, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 12, 504-507, 2003.
- [32] Patrick R., Development of Conventional and Nanocrystalline Bond Coats by Cold Gas Dynamic Spraying for Aerospace Thermal Barrier Coatings, PhD Theses, University of Ottawas, Ottawa Ontario Canada, 1-227, July 19, 2010.
- [33] Pawlowski L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, John Wiley&Sons, 2nd Edition, 67-165, 2008.
- [34] Scrivani A., Rizzi G., Bardi U., Giolli C., Miranda M. M., Ciattini S., Fossati A., Borgioli F., Thermal Fatigue Behavior of Thick and Porous Thermal Barrier Coatings Systems, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 16, 816-821, 2007.
- [35] Golosny I.O., Cipitria A., Clyne T.W., Heat Transfer Through Plasma-Sprayed Thermal Barrier Coatings in Gas Turbines: A Review of Recent Work, Journal of Thermal Spray Technology, Vol : 18, 809-821, 2009.
- [36] Scrivani A., Bardi U., Carrafiello L., Lavacchi A., Niccolai F., Rizzi G., A comparative Study of High Velocity Oxygen Fuel, Vacuum Plasma Spray, and Axial Plasma Spray for the Deposition of CoNiCrAlY Bond Coat Alloy, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 12, 504-507, 2003.
- [37] Gür, A. K. "Aşınma Mekanizmaları, FÜ Fen Bilimleri Ens." Doktora Semineri (2006).

- [38] Pei, Xianqiang, Qihua Wang, And Jianmin Chen. "Tribological responses of Phenolphthalein Poly (ether sulfone) on proton irradiation." *Wear* 258.5-6 (2005): 719-724.
- [39] Proskurovsky, D.I, Rotshtein, V.P., Ozur, G.E. Ivanov Yu.F., Markov, A.B., "Physical Foundations For Surface Treatment Of Materials With Low Energy, High Current Electron Beams", *Surface and Coatings Technology* Vol.125), pp.49 56, 2000.
- [40] Ahangarani, Sh., Sabour, A.R., Mahboubi, F., "Surface modification of 30CrNiMo8 Low-Alloy Steel by Active Screen Setup and Conventional Plasma Nitriding Methods", *Applied Surface Science* Vol. 254, pp.1427–1435, 2007.
- [41] J. C. Grosskreutz And G. G. Shaw "Critical Mechanisms in the Development of Fatigue Cracks in 2024-T4 Aluminum", AFML-TR-68-137, May 1968, AD 840 403.
- [42] Mrówka-Nowotnik, Grażyna, And Jan Sieniawski. "Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys." *Journal of Materials Processing Technology* 162 (2005): 367-372.
- [43] Chahar, Vijay Kumar. *Studies on Wear Characteristics of Cultivator Shovels*. Diss. Department of Farm Machinery and Power Engineering College of Technology and Engineering: Udaipur, 2006.
- [44] Bansal, Pavitra, Nitin P. Pature, and Alexandre Vasiliev. "Improved interfacial mechanical properties of Al₂O₃-13wt% TiO₂ plasma-sprayed coatings derived from nanocrystalline powders." *Acta Materialia* 51.10 (2003): 2959-2970.
- [45] Elsevier dergi, 'Surface Modification Of Al-20Si alloy by high current pulsed electron beam', 2011.
- [46] B. Bhushan, "Principles and applications of tribology", John Wiley and Sons USA, 1020 p. (1999).
- [47] Wu, K., Wang, Y.Q., Zheng, M.Y., (2007) Effects of microarc oxidation surface treatment on the mechanical properties of Mg alloy and Mg matrix composites. *Materials Science and Engineering A* 447, 227– 232.
- [48] Karamış, M.B., "Tribological behaviour of plasma nitrided 722M24 material under dry sliding conditions", *Wear*, 147, 385-399, 1991.
- [49] Jahanmir S. "Wear Transitions and Tribochemical Reactions in Ceramics". *Engineering Tribology*, 216(6), 371-385, 2002.

- [50] Y.Q. Wang, J. Li, Sliding wear behavior and mechanism of ultra-high molecular weight polyethylene, *Materials Science and Engineering A266*, 155–160, (1999).
- [51] V. Quaglini, P. Dubini, D. Ferroni, C. Poggi, Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications, *Materials and Design*, Basımda, (2008).
- [52] H.Ünal, U. Sen, A. Mimaroglu, Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface, *Tribology International* 37, 727-732, (2004).
- [53] Coronado, J.J., Caicedo, H.F., Gómez, A.L. The Effects of Welding Processes on Abrasive Wear Resistance for Hardfacing Deposits, *Tribol. Int.* 2009; 42, 745-749.
- [54] Krakhmalev, P. V., Rodil, T. A., and Bergstrom, J., 2007. Influence of microstructure on the abrasive edge wear of WC–Co hardmetals. *Wear*, 263, 240-245.

ÖZGEÇMİŞ

Adalet BOZKAN, 1989 yılında Hatay, İskenderun ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İskenderun' da tamamladı. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' nde yüksek lisans eğitimine başladı. Haziran 2013 yılında Tosçelik Profil ve Sac Endüstri A.Ş. firmasında üretim planlama mühendisi olarak başladığı görevine 2017 yılından itibaren ar-ge mühendisi olarak devam etmektedir.