

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIM PLAZMA YÖNTEMİ İLE YÜKSEK
KARBONLU ÇELİKLERİN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe GÖKKAYA

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK

Haziran 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIM PLAZMA YÖNTEMİ İLE YÜKSEK
KARBONLU ÇELİKLERİN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe GÖKKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25 / 06 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Yıldız YARALI
Jüri Başkanı
ÖZBEK

Yrd. Doç. Dr.
Ahmet PARASIZ
Üye

Yrd. Doç. Dr.
Miray ALAF
Üye

BEYAN

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

Tuğçe GÖKKAYA

25.06.2015

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK başta olmak üzere çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Tuba YENER'e, Arş. Gör. İbrahim ALTINSOY'a, Arş. Gör. Mehmet UYSAL'a, Arş. Gör. Ubeyd TOÇOĞLU'na, Uzm. Ersan DEMİR'e ve deneysel çalışmalarım için gerekli olan cihazları kullanmama izin veren Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Sakin ZEYTİN'e, üniversite eğitimim süresince beraber birçok şey paylaştığım ve bana her zaman destek olan arkadaşım Gizem ŞİMŞEK'e, ayrıca her zaman benim için en iyisini isteyen ve maddi manevi bütün imkanlarıyla beni bu günlere getiren aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	xvi
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxii
BÖLÜM.1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM.2.	
YÜZEY İŞLEMLERİ.....	3
2.1. Yüzey İşlem Prosesleri.....	3
2.2. Yüzey İşlem Seçimini Etkileyen Faktörler	4
BÖLÜM.3.	
ATIM PLAZMA TEKNOLOJİSİ.....	5
3.1. Giriş.....	5
3.2. Atım Plazma.....	5
3.3. Atım Plazma Teknolojisinin Çalışma Prensipleri	8
3.4. İş Parçası Yüzeyi İle Atım Plazma Etkileşimi	11
3.5. Atım Plazma Teknolojisinin Avantajları	14
3.6. Atım Plazma Teknolojisinin Endüstriyel, Ekonomik ve Sosyal Yönleri. 14	
3.7. Atım Plazma Uygulama Örnekleri.....	15

BÖLÜM.4.

SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ	18
4.1. Çelikler	18
4.2. Takım Çelikleri	18
4.3. Soğuk İş Takım Çelikleri	19
4.4. DIN 1.2210 Çeliğinin Özellikleri ve Kullanım Alanları	19

BÖLÜM.5.

SÜRTÜNME VE AŞINMA	20
5.1. Giriş	20
5.2. Sürtünme	20
5.3. Aşınma	22
5.3.1. Adhesiv aşınma	26
5.3.2. Abrazif aşınma	27
5.3.3. Yorulma aşınması	30
5.4. Yüzey Pürüzlülüğü	31

BÖLÜM.6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
6.1. Giriş	33
6.2. Atım Plazma İşlemi Uygulamaları	34
6.3. Metalografik İncelemeler	35
6.4. Optik Çalışmalar	35
6.5. Mikrosertlik Ölçümleri	35
6.6. X-Işını Analizleri	36
6.7. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri	36
6.8. Aşınma Deneyleri	36

BÖLÜM.7.

DENEYSEL SONUÇLAR	38
7.1. Optik Görüntüler	38
7.2. X-Işını Analiz Sonuçları	47
7.3. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri	52

7.4. Mikrosertlik Sonuçları	64
7.5. Aşınma Deney Sonuçları	68
7.5.1. Aşınma hız değerleri	69
7.5.2. Sürtünme katsayıları	74
7.6. Aşınma Sonrası Aşınmış Yüzeylerin SEM ve EDS Analizleri	79
7.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları	121
BÖLÜM.8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	128
8.1. Sonuçlar	128
8.2. Öneriler	131
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ	137

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Oksitleyici katsayı
D	: Difüzyon sabiti
FWHM	: Pik yüksekliğinin yarısı
μ	: Sürtünme katsayısı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
τ	: Deformasyon süresi
X	: Azot-oksijen karışımındaki oksijen içeriği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Atım-plazma cihazı şematik görünümü.....	6
Şekil 3.2. Atım plazma ekipman düzeneği.....	7
Şekil 3.3. a) İşlem esnasında plazmatron görüntüsü, b) plazmatron görüntüsü.....	7
Şekil 3.4. Farklı yöntemlerin kıyaslama diyagramı.....	8
Şekil 3.5. a) Atım plazma ile modifikasyon oluşum mekanizması b) Atım plazma ile modifikasyon oluşum mekanizması	10
Şekil 3.6. Atım plazma teknolojisinin genel özeti.....	11
Şekil 3.7. Plazma detonasyon ekipman düzeneği.....	12
Şekil 3.8. Atım plazma uygulama örnekleri.....	16
Şekil 3.9. Atım plazma uygulama örnekleri (Devamı)	17
Şekil 5.1. Sürtünme ve aşınmanın istenen ya da istenmeyen özellikler olduğu ya da olmadığı bazı kullanım alanları.....	21
Şekil 5.2. Sürtünmenin ayrıntıları	22
Şekil 5.3. Aşındırıcı deney yöntemlerinden birkaçının temsili gösterimi.....	23
Şekil 5.4. Tribolojik sistemi meydana getiren unsurların şematik olarak gösterimi ve mikro kaynak oluşum noktaları	23
Şekil 5.5. Aşınmayı tamamlayıcı anahtar kelimeler ve birbirleri ile etkileşimleri	25
Şekil 5.6. Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi.....	26
Şekil 5.7. Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi	27
Şekil 5.8. Abrasif aşınma mekanizmasının üç tipi.....	28
Şekil 5.9. a) İki-yüzeyle ve, b) üç-yüzeyle abrasif aşınma tipleri	29
Şekil 6.1. Atım plazma uygulama sistemi (plazmatron).....	33
Şekil 6.2. Kontrol paneli ve güç üniteleri.....	34
Şekil 7.1. a) 1 (40 mm, 4 atım), b) 2 (40 mm, 8 atım) ve c) 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 20X büyütmede optik görüntüleri	40
Şekil 7.2. a) 4 (50 mm, 4 atım), b) 5 (50 mm, 8 atım) ve c) 6 (50 mm, 12 atım) no'lu	42

Şekil 7.3. a) 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 20X büyütmede, b) 8 (60 mm, 8 atım) no'lu ve c) 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 100X büyütmede optik görüntüleri	44
Şekil 7.4. a) 10 (70 mm, 4 atım), b) 11 (70 mm, 8 atım) ve c) 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 20X büyütmede optik görüntüsü.....	45
Şekil 7.5. 40 mm, 50 mm, 60 mm ve 70 mm numune-nozul mesafe aralığında 12 atım için modifikasyon tabaka kalınlık değerlerinin değişim grafiği.....	47
Şekil 7.6. İşlem görmeyen ve 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları.....	48
Şekil 7.7. İşlem görmeyen ve 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları.....	49
Şekil 7.8. İşlem görmeyen ve 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları.....	50
Şekil 7.9. İşlem görmeyen ve 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım), 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları.....	51
Şekil 7.10.3 (40 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü.....	52
Şekil 7.11. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü.....	53
Şekil 7.12. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü	54
Şekil 7.13. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin a)C, b)Fe, c)Mn, d)N, e)Ni, f)O, g)Si, h)W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları	55
Şekil 7.14. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü.....	56
Şekil 7.15. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü.....	56
Şekil 7.16. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü.....	57
Şekil 7.17. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin a)C, b)Fe, c)Mn, d)N, e)Ni, f)O, g)Si, h)W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları ..	58
Şekil 7.18. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü.....	59
Şekil 7.19. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü.....	59
Şekil 7.20. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü.....	60

Şekil 7.21. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü.....	61
Şekil 7.22. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü.....	61
Şekil 7.23. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü	62
Şekil 7.24. 12 (70 mm, 12 atım) numunenin no'lu a)C, b)Fe, c)Mn, d)N, e)Ni, f)O, g)Si, h)W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları..	63
Şekil 7.25. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri	64
Şekil 7.26. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri	65
Şekil 7.27. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri	66
Şekil 7.28. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri	67
Şekil 7.29. 3 (40 mm, 12 atım), 6 (50 mm, 12 atım), 9 (60 mm, 12 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri.....	67
Şekil 7.30. İşlem görmemiş numunenin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi	70
Şekil 7.31. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hızı miktarı ilişkisi	71
Şekil 7.32. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hızı miktarı ilişkisi	72
Şekil 7.33. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hızı miktarı ilişkisi	73
Şekil 7.34. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hızı miktarı ilişkisi	74
Şekil 7.35. İşlem görmemiş numunenin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi	76
Şekil 7.36. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi.....	76
Şekil 7.37. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi.....	77
Şekil 7.38. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi.....	78

- Şekil 7.39. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayı ilişkisi..... 78
- Şekil 7.40. İşlem görmemiş numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü..... 80
- Şekil 7.41. İşlem görmemiş numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü..... 81
- Şekil 7.42. İşlem görmemiş numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü..... 82
- Şekil 7.43. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 83
- Şekil 7.44. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 85
- Şekil 7.45. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü 86
- Şekil 7.46. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 87
- Şekil 7.47. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM

	görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....	88
Şekil 7.48. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....		90
Şekil 7.49. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü.....		91
Şekil 7.50. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....		92
Şekil 7.51. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....		93
Şekil 7.52. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....		94
Şekil 7.53. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....		95
Şekil 7.54. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c)		

	alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü	96
Şekil 7.55.	5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	97
Şekil 7.56.	5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü	98
Şekil 7.57.	5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	99
Şekil 7.58.	6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	100
Şekil 7.59.	6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü	101
Şekil 7.60.	6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü	102
Şekil 7.61.	7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	103

Şekil 7.62. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....	104
Şekil 7.63. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....	105
Şekil 7.64. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü.....	106
Şekil 7.65. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü.....	107
Şekil 7.66. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü.....	108
Şekil 7.67. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü.....	109
Şekil 7.68. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....	110
Şekil 7.69. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	111

- Şekil 7.70. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 112
- Şekil 7.71. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü 113
- Şekil 7.72. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bir bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 114
- Şekil 7.73. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü..... 115
- Şekil 7.74. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bir bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü..... 116
- Şekil 7.75. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü..... 117
- Şekil 7.76. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü 118
- Şekil 7.77. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış

SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü.....	119
Şekil 7.78. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü	120
Şekil 7.79. 6 (50 mm, 12 atım) no 'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	122
Şekil 7.80. 6 (50 mm, 12 atım) no 'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	123
Şekil 7.81. 6 (50 mm, 12 atım) no 'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	123
Şekil 7.82. 7 (60 mm, 4 atım) no 'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	123
Şekil 7.83. 7 (60 mm, 4 atım) no 'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	124
Şekil 7.84. 7 (60 mm, 4 atım) no 'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları	124
Şekil 7.85. 8 (60 mm, 8 atım) no 'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	124
Şekil 7.86. 8 (60 mm, 8 atım) no 'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	125

Şekil 7.87. 8 (60 mm, 8 atım) no 'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları	125
Şekil 7.88. 9 (60 mm, 12 atım) no 'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	125
Şekil 7.89. 9 (60 mm, 12 atım) no 'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları.....	126
Şekil 7.90. 9 (60 mm, 8 atım) no 'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları	126

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Farklı teknolojilerin karşılaştırılması.....	15
Tablo 5.1. Çeşitli aşınma türlerinde aşınmayı azaltmak için bazı öneriler	31
Tablo 6.1. DIN 1.2210 çeliğinin kimyasal içeriği	34
Tablo 6.2. Atım plazma uygulama şartları.....	35
Tablo 7.1. Atım plazma parametreleri ve modifikasyon tabakası kalınlık değerleri.39	
Tablo 7.2. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	53
Tablo 7.3. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	56
Tablo 7.4. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	59
Tablo 7.5. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	60
Tablo 7.6. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	62
Tablo 7.7. Numune gruplarının aşınma hız değerleri	69
Tablo 7.8. Numune gruplarının aşınma hız değerleri (Devamı).....	70
Tablo 7.9. Numune gruplarına ait sürtünme katsayı değerleri.....	74
Tablo 7.10. Numune gruplarına ait sürtünme katsayı değerleri (Devamı)	75
Tablo 7.11. İşlem görmemiş numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	80
Tablo 7.12. İşlem görmemiş numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	81

Tablo 7.13. İşlem görmemiş numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	83
Tablo 7.14. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	84
Tablo 7.15. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	85
Tablo 7.16. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	86
Tablo 7.17. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	87
Tablo 7.18. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	89
Tablo 7.19. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	90
Tablo 7.20. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	91
Tablo 7.21. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	92
Tablo 7.22. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	93
Tablo 7.23. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	94

Tablo 7.24. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	95
Tablo 7.25. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	96
Tablo 7.26. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	97
Tablo 7.27. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	98
Tablo 7.28. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	99
Tablo 7.29. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	100
Tablo 7.30. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	101
Tablo 7.31. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	103
Tablo 7.32. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	104
Tablo 7.33. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	105
Tablo 7.34. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	106

Tablo 7.35. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri	107
Tablo 7.36. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	108
Tablo 7.37. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	109
Tablo 7.38. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	110
Tablo 7.39. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	111
Tablo 7.40. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	112
Tablo 7.41. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	114
Tablo 7.42. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	115
Tablo 7.43. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	116
Tablo 7.44. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	117
Tablo 7.45. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	118

Tablo 7.46. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	119
Tablo 7.47. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri.....	120
Tablo 7.48. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları	122
Tablo 7.49. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin üç boyutlu aşınma yüzey profil görüntülerinden x, y ve z düzlemlerinde alınan değerleri	126

ÖZET

Anahtar kelimeler: Atım plazma, DIN 1.2210, yüzey modifikasyonu, çizgisel aşınma

Atım plazma teknolojisi ve ekipmanları parçaların yüzey modifikasyonu için geliştirilmiştir. Esas olarak yoğun enerjili atım kullanımı malzemenin işlem yüzeyinde morfolojinin değişimine yol açarak modifikasyona sebep olmaktadır. DIN 1.2210 çeliğinin yüzey özellikleri atım plazma sistemi ile geliştirilerek daha pahalı ve zor bulunan çelik gruplarının yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Atım plazma yöntemiyle DIN 1.2210 çeliklerinin yüzeyleri modifiye edilmiştir. Çalışma yüzeyleri atım plazma teknolojisi ile C_3H_8 , basınçlı hava ve O_2 gazları kullanılarak modifiye edilmiştir. Modifiye edilen numunelerin optik fotoğrafları çekilmiş, modifikasyon tabaka kalınlıkları ölçülmüştür. Atım plazma işleminin uygulandığı parametrelerin modifikasyon tabaka kalınlığını ve yapısını etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca modifiye edilen yüzeylerin SEM ve EDS analizleri de yapılmıştır.

Modifikasyon tabakasından alınan x-ışını analizlerinde FeN , Fe_2N , W_3O , $\alpha-Fe$, $\gamma-Fe$ piklerine rastlanmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinde mesafeye ve atım plazma parametrelerine göre değişen sertlik değerleri elde edilmiştir. Modifikasyon işlemi uygulanmadan 170-180 HV olan çeliğin sertlik değeri 1776 HV'ye kadar çıkarılmıştır.

200 m için 5 N yük altında 0.05 m/sn, 0.10 m/sn ve 0.15 m/sn hızlarda CSM aşınma cihazı ile çizgisel (lineer) aşınma deneyleri yapılmıştır. Numunelere uygulanan çizgisel aşınma deneyleri sonrası hız değişimiyle sürtünme katsayısının ve aşınma miktarlarının değiştiği gözlemlenmiştir. Aşınma sonrası, modifikasyon yüzeylerinden SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.

ENHANCEMENT OF HIGH-CARBON STEEL SURFACE PROPERTIES THROUGH ATIM PLASMA TECHNIQUE

SUMMARY

Keywords: Atim plasma, DIN 1.2210, surface modification, linear wear

The atim plasma technology which is a new process of surface modification have been developed for the production of materials, tools and machine parts with required surface properties, such as wear and corrosion resistance. Atimd plasma system with improved surface properties of DIN 1.2210 steel is more expensive and hard to find the availability of steel rather than groups studied.

The surface of DIN 1.2210 steel were modified by a newly developed plasma atim technique. The surfaces of the samples were modified by a mixture of air, C₃H₈ and oxygen gases by using plasma atim technique. The samples were investigated in optical microscope and modified coating layer thicknesses were measured. It was determined that atim plasma process parameters affect the thickness of modification layer and its microstructure. SEM and EDS analysis is also made of modified surfaces.

FeN, Fe₂N, W₃O, α -Fe, γ -Fe phases were detected in modification layer taken from x-ray analysis. Microstructural hardness measurements were taken from surface to core and different values were measured depending on various parameters. The hardness of steel sample was measured as 170-180 HV before atim plasma treatment. Its value was increased to 1776 HV after treatment.

Wear test was done in CSM-linear wear test machine with 0.05 m/s, 0.10 /s and 0.15 m/s sliding speeds under 5 N constant load for 200 m. It was observed that friction coefficient and wear value were changed in accordance with speed. Worn surfaces of specimens were studied by SEM and EDS analyses techniques.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Genel olarak bir malzemenin performansı, kütleli ve yüzey özelliğine bağlıdır. Malzemenin yüzey özelliklerindeki herhangi bir değişim, malzeme fonksiyonlarını büyük ölçüde etkilemektedir [1]. Gelişen teknolojiyle beraber gerek kullanım yerinden dolayı istenen özellikler ve gerekse ekonomiklik gibi nedenlerden dolayı artan isteklere cevap vermek için aynı paralelde malzemeyi tamamen değiştirmek yerine malzemenin kısmen ve yalnızca gerekli olan yerlerinde değişiklik yoluna gidilmektedir. Bu bağlamda kaplama ve yüzey işlem teknikleri malzemenin yüzeyinde bir takım değişiklikler yaparak hem mukavemet özelliklerini artırır hem de daha ekonomik malzeme üretebilmemizi sağlar [2].

Malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi veya çevresel etkilere karşı korumak amacıyla gerçekleştirilen işlemlere yüzey işlemleri denilmektedir. Yüzey işlem tekniklerinde amaç, korozyon direnci, yüksek sıcaklık, oksidasyon, yorulma ve aşınma dayanımını arttırmaktır. Yüzey işlemleri iş parçasında bir veya birkaçını gerçekleştirmek için uygulanabilir [3].

Atım plazma işlemi bir yüzey modifikasyon yöntemi olup çelik malzemelerin yüzeyinde değişim meydana getirmektedir. Yapılan bu çalışmada, yüksek karbonlu çeliklerin sertlik değerlerini daha da arttırıp yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; 19x5 mm ebatlarında silindirik olarak hazırlanan DIN 1.2210 çeliklerinin yüzeylerine uygulanacak atım plazma işleminde: atım sayısı 4, 8, 12, numune nozul mesafe aralığı 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, pil kapasitesi ise 800 mf olarak seçilmiştir. Atım plazma esnasında tükenen elektrod olarak “W” (wolfram) kullanılmıştır.

Parametre seçiminden sonra uygulanan atım plazma işlemi sonrası, numuneler hassas biçimde kesilmiş, metalografik olarak hazırlanmış, optik, SEM ve EDS analizleri

yapılmıştır. Bu analizler yardımıyla modifikasyon tabakasının element dağılım haritaları çıkarılmış, yüzeyden içeriye doğru modifikasyon tabaka yapısı incelenmiştir.

X-ışınları analiz çalışmaları sonucunda; atım plazma öncesi numune yapısında sadece α -Fe piki bulunurken, işlem sonrası yapılan analizlerde mekanik özellikler açısından önem arz eden γ -Fe, Fe₂N, FeN, W₃O piklerine rastlanmıştır.

Numunelerin yüzeyinden içeriye doğru 10 gr yük altında 15 sn süre ile mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Deneyle sonrası işlem uygulanmadan sertliği 170-180 HV olan DIN 1.2210 çeliğinin sertliği en üst değer olarak 1776 HV bulunmuştur. Numune grupları içinde sertlik değerleri atım plazma uygulanma parametrelerine bağlı olarak 874 HV-1776 HV arasında değişmektedir.

CSM-çizgisel (lineer) aşınma cihazı ile 200 m mesafede, 5 N yük altında, 0.05 m/sn, 0.10 m/sn ve 0.15 m/sn hızda çizgisel 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 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 atım plazma ile yüzeyleri modifiye edilmiş çelik gruplarının aşınma dayanımlarının işlem uygulanmamış numunelere göre arttığı gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2. YÜZEY İŞLEMLERİ

Bir iş parçasında kitlesel halde olmayan bir veya birkaç özelliği o iş parçasının yüzeyinde oluşturmak için yapılan işlemlerin tümüdür [4].

2.1. Yüzey İşlem Prosesleri

- Mekanik işlemler (kum püskürtme, bilya ile dövme)
- Yüzey dönüşümü (indüksiyon ile sertleştirme, lazer ile sertleştirme)
- Yüzey bileşimi değişimi (termokimyasal işlemler)
 - a) Karbürleme, karbonitrürleme
 - b) Nitrürleme, nitrokarbürleme
 - c) Borlama
- Kimyasal işlemler (dönüşüm kaplamaları: oksitleme, fosfatlama, kromatlama)
- Kaplamalar (boyama, püskürtme, buhar biriktirme, elektrolitik kaplamalar)
- Yüzey aktivasyonu (dağlama) [4]

Malzemelerin çevre ile etkileşimi doğrudan malzemenin yüzeyi ile gerçekleştiği için malzemenin yüzey özellikleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların başında malzemelerin yüzeyinde oluşturulan kaplamalar gelmektedir. Yüzey işlemlerini kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Kaplama, metal yüzeyine bir element veya bileşimini biriktirerek bir tabaka oluşturulması işlemlerini kapsamaktadır. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise, yüzey içyapısı ve/veya bileşiminin değişmesi söz konusudur. Aşınmaya neden olan mekanik sürtünme, korozyon ve erozyon mekanizma elemanlarını kullanılamaz hale getirerek, pahalı ve özel malzemelerin büyük miktarda kaybına yol açmaktadır [4].

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 [4].

2.2. Yüzey İşlem Seçimini Etkileyen Faktörler

Uygulanacak yüzey işleminin türü çeşitli faktörlerin etkisi altındadır.

- Performans faktörleri;
 - a) Aşınma direnci
 - b) Sertlik ve mukavemet
 - c) Korozyon direnci
 - d) Darbe direnci
 - e) Gerekli kaplama kalınlığı
- İşlem faktörleri;
 - a) Malzeme cinsi
 - b) Biriktirme hızı
 - c) Altlık sıcaklığı
 - d) Parça şekli ve boyutu
 - e) Fiyatı
 - f) Parçanın yorulma özelliği [4]

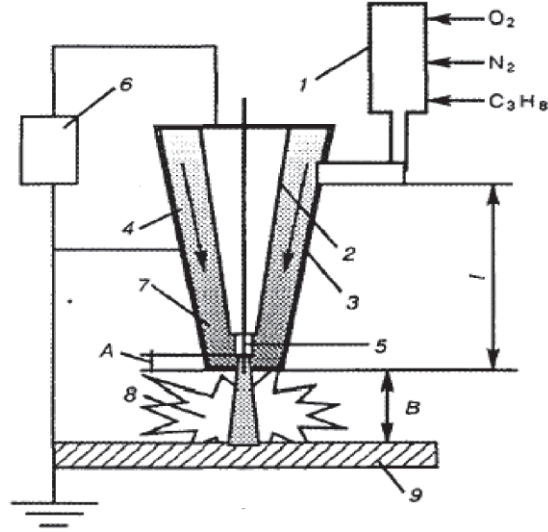
BÖLÜM 3. ATIM PLAZMA TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

Tribolojik uygulamalarda yüzey mühendislik uygulamaları çok önemlidir. Bunun en önemli sebebi; aşınma direncini arttırmak ve yüzey özelliklerini geliştirmektir. Lazer, elektron, plazma gibi enerji kaynakları parçaların sertleşmesinde geniş miktarda kullanılmaktadır. Bu sertleştirme işlemleri yüksek sertlik, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, korozyon dayanımı gibi eşsiz mekaniksel ve fiziksel özellikleri sağlar [5]. Teknolojideki gelişmeler ile parçaların korozyon, aşınma ve yorulma dayanımlarını sürekli arttırması beklenmektedir. Bu beklentilerle beraber, geliştirilecek proseslerin hem ekonomik hem ekolojik dengeye zarar vermeyen teknolojiler olması arzu edilmektedir [6].

3.2. Atım Plazma

Atım plazma teknolojisi ve ekipmanları parçaların yüzey modifikasyonu için geliştirilmiştir [7]. Esas olarak yoğun enerjili atım kullanımı malzemenin işlem yüzeyinde morfolojinin değişimine yol açarak modifikasyona sebep olmaktadır [8]. Bu teknoloji ve ekipmanları makine, metalurji ve üretim endüstrisindeki testlerden başarıyla geçmiştir [9].

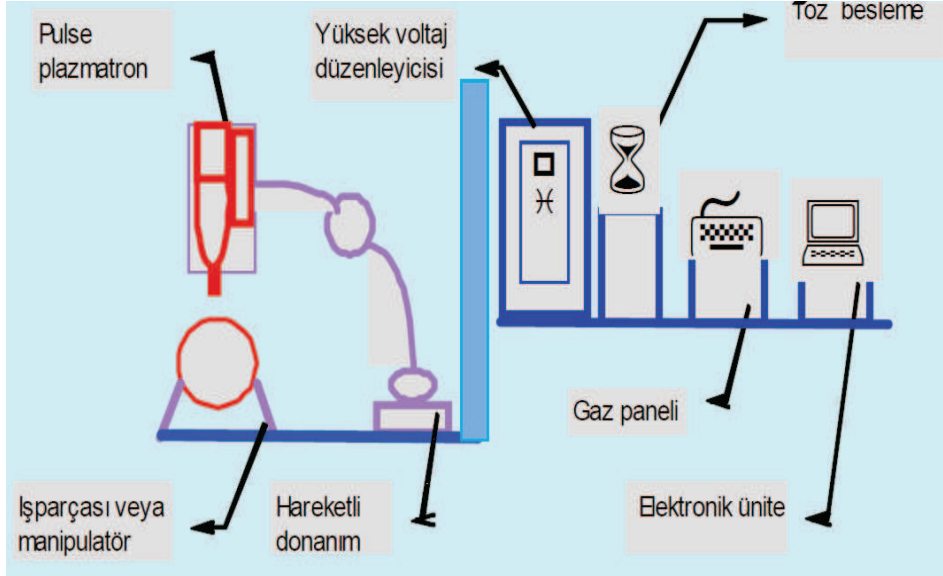


Şekil 3.1. Atım-plazma cihazı şematik görünümü; 1-elektrodlar arası boşluk, 2-merkez elektrod-anod, 3-detonasyon odasının plazmatron birleşimi (gaz girişi), 4-yan konik elektrodlar, 5-nozul ucu, 6-güç ünitesi, 7- elektrodlar arası boşluk, 8- atım plazma oluşumu, 9-iş parçası [10].

Detonasyonunun başlangıcında;

- İyonize yanma ürünleri detonasyon odasından (3) elektrodlar arası boşluklara (1) doğru besleme yapılır.
- Böylece elektrik akımı meydana gelir. Bu elektromagnetik ve gaz-dinamik güçlerin etkileri altında hızlandırılmış yanma ürünlerinin iletken tabakasının (7) oluşumuna yol açmaktadır.
- Tüklenen metal elektrod (2), merkez elektrodun (1) eksenini boyunca sabitlenmiştir. Isınma esnasında çubuğun sonu buharlaşır ve bu plazma jetine alaşım elementlerinin girişini sağlar.
- Anod olan elektrod ve katod olan çalışma parçasının arasında plazma jeti akımı tamamlar.

Atım plazma sistemin düzenek görüntüsünün açık şekli Şekil 3.2'de verilmektedir.



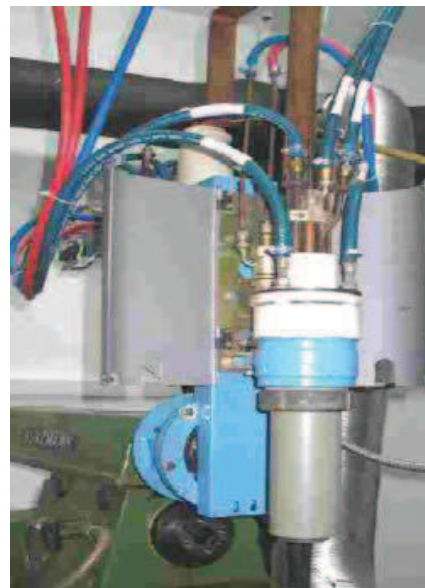
Şekil 3.2. Atım plazma ekipman düzeneği

Atım plazma teknolojisinin temelini yüksek hızlı plazma jetleri ile çok hızlı bir biçimde yoğun toz malzeme besleme teşkil eder. Standart manipulatör kullanımı vardır. Ayrıca toz besleme, soğutma ünitesi, elektrik akım konvertörü, proses kontrol panelleri, gaz kontrol panelleri, otomasyon araçları bu prosesin makine ekipmanlarını oluşturmaktadır.

Atım plazma sisteminde kullanılan plazmatron görüntüsü Şekil 3.3. (a) ve (b)'de verilmektedir.



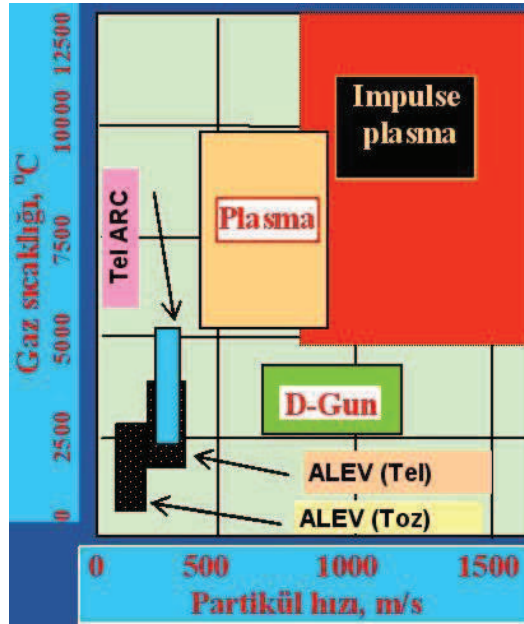
a)



b)

Şekil 3.3. a) İşlem esnasında plazmatron görüntüsü [7], b) Plazmatron

Atım-plazma teknolojisi ve ekipmanları tarafından meydana getirilen sert alaşım ve metal oksitlerden üretilmiş kaplamalar, en önemli uygulama örnekleridir. Atım plazma teknolojisi ile oksit ve karbürlerin yapılan yüksek performanslı kaplamaların deposizyonu araç ve makine parçalarının yüzeylerinin sertleşmesine olanak tanır. Özellikle bu kaplamalar çeliklerin korozyon dayanımlarını son derece iyi bir biçimde geliştirmektedir [11]. Bu gelişmeler, metalurjideki endüstriyel açıdan birçok sorun teşkil eden problemler için umut verici olmuştur. Bu teknoloji bilinen diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında, makine ve parçalarının yüzeylerinin hazırlanmasına gerek olmaması, yüksek verimlilik sağlaması, randımanlı proses evresi ve verimli fiyat politikası ile büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca uygulanma koşulları kıyaslandığında atım plazma şartlarının üstünlüğü dikkat çekicidir [9].



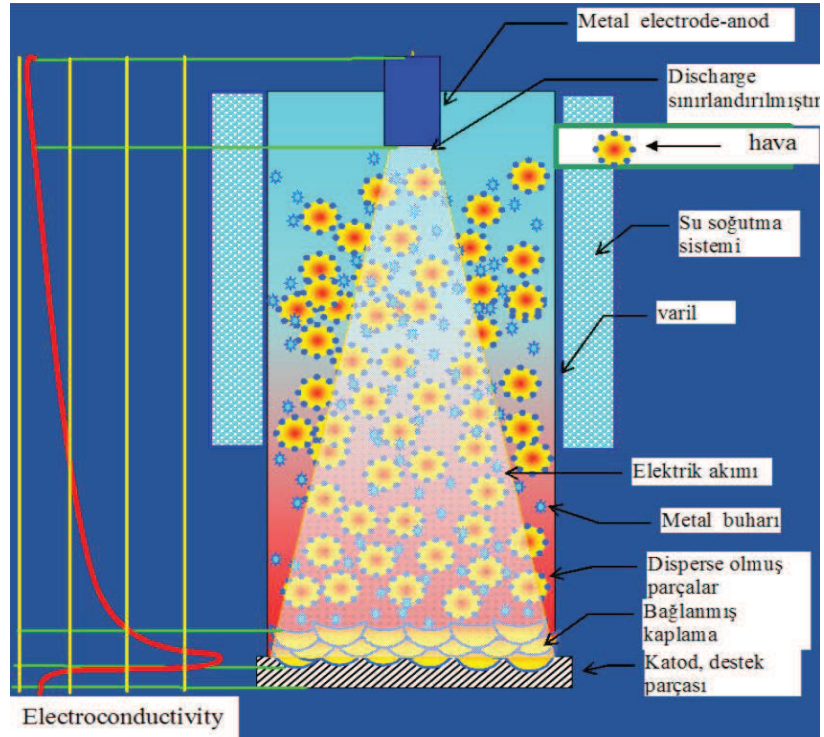
Şekil 3.4. Farklı yöntemlerin kıyaslama diyagramı

3.3. Atım-Plazma Teknolojisinin Çalışma Prensibi

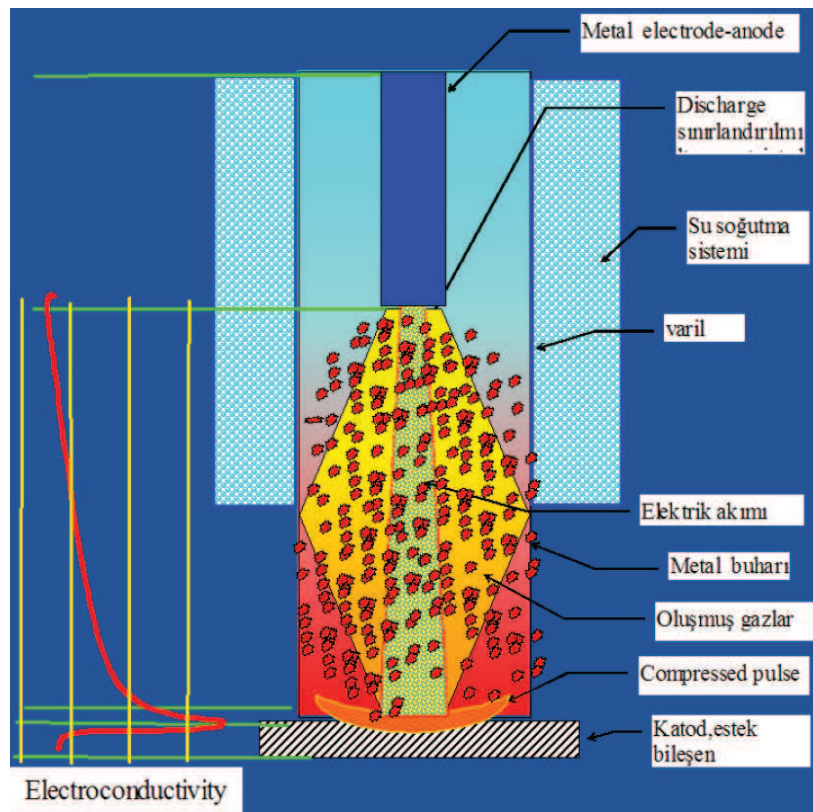
Lazer, elektron demeti, plazma gibi yüzey işlemleri, sıklıkla araç gereçlerin sertleştirilmesi için inşa edilmiş makinelerde kullanılmaktadır. Bu, parçaların yüzeylerinin aynı mekanik ve fiziksel özellikler kazanmasına neden olmaktadır (yüksek sertlik, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, korozyon direnci v.s. gibi) [12].

Konsantre enerji kaynakları metalin yüzey tabakasının hızlı ısıtılmasına (ısıtma süresi 1×10^{-3} - 1×10^{-6} s), peşinden de ısının hem yapıdan hem de çevreden atılması için yoğun soğutulmasını gerektirir. Bu yüksek oranlarda ki ısıtma ve soğutmalar metalin yüzey katmanlarında çözünmüş bir kristal yapıya, yüksek dislokasyon yoğunluğuna, karbon ve azot içeriklerinde dalgalanmalara sebebiyet vermektedir [11]. Hızlı ısınma ve soğuma sonucunda dengede olmayan amorf nanokristalin ya da metastabil fazlar oluşmakta ve bu fazlar tribolojik özellikleri geliştirmektedir. Sertlik artmaktadır [13-14]. Hızlı ısınma ve soğuma çeliklerin yalnızca yüzey tabakalarında ostenit fazının oluşumuna olanak tanır. Ostenitin korozyon dayanımı martenzitten daha iyidir [15]. Bu sebeple korozyon dayanımının arttığı literatürde belirtilmektedir.

Bu yüzey modifikasyonun da uygulanan termal etki alaşımlama prosesleriyle birleştirilir. Parçaların yüzeyleri, önceden ısıtılan kaplamaların ergimesiyle alaşımlandırılır veya çalışan ortama (plazma içine) gaz halindeki azot, hidrokarbon gazları, siyanidler gibi alaşım elementleri katılarak alaşımlandırılır. Araştırmalarında gösterdiği gibi iş parçasının yüzeyine atım hareketi uygulamak çok verimli olmaktadır. Bu arttırılan ısıtma ve soğutma hızlarıyla, yüzeylerin deformasyonu ile dislokasyon yoğunluğu arttırılarak, yüzeyde kimyasal kompozisyon değişimi sağlanır ve bundan dolayı difüzyon mekanizmaları işin içine girer [16]. Atım plazma sisteminin de kaplama oluşum mekanizması Şekil 3.5. (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



a)



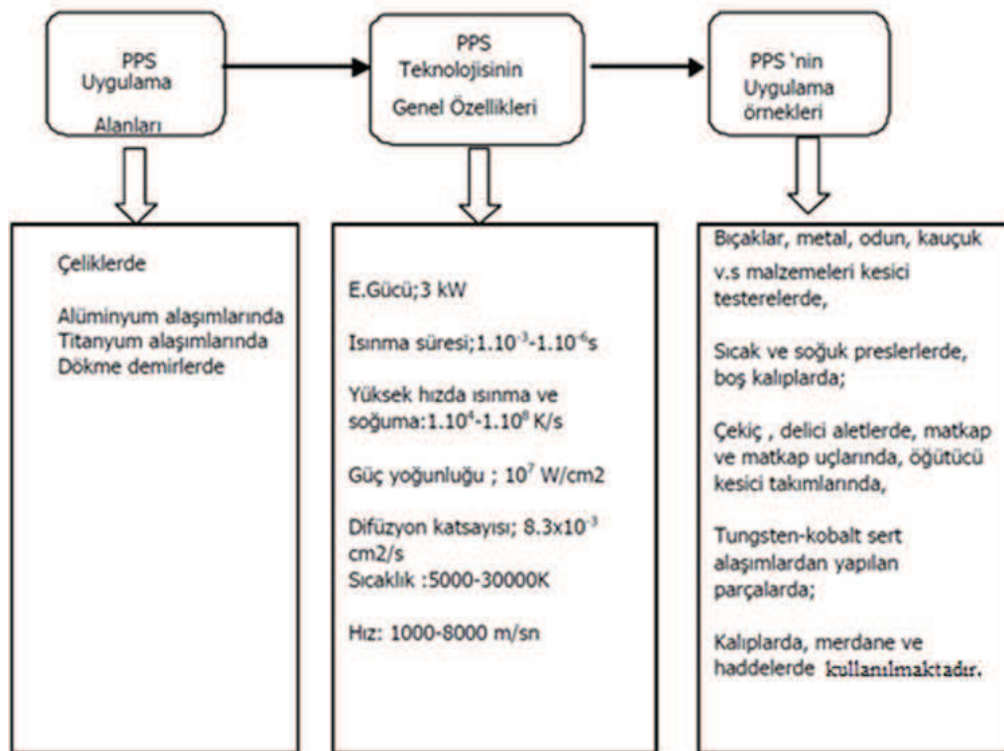
b)

Şekil 3.5. a) Atm plazma ile modifikasyon oluşum mekanizması

b) Atm plazma ile modifikasyon oluşum mekanizması [17]

Araştırma sonuçları göstermiştir ki; yüksek hızda ki bir plastik deformasyonda, atomların hareketi, yer değiştirmesi; elementlerin difüzyon yoluyla sıvı metale doğru hareketinden daha hızlıdır. Deformasyon süresi $\tau = 4 \times 10^{-3}$ s, deformasyon derecesi %10 ve temas bölgesinin sıcaklığı 800°C , difüzyon sabiti $D=8.3 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ olup sıcak metalinkinden 10^2 kat daha hızlıdır [10].

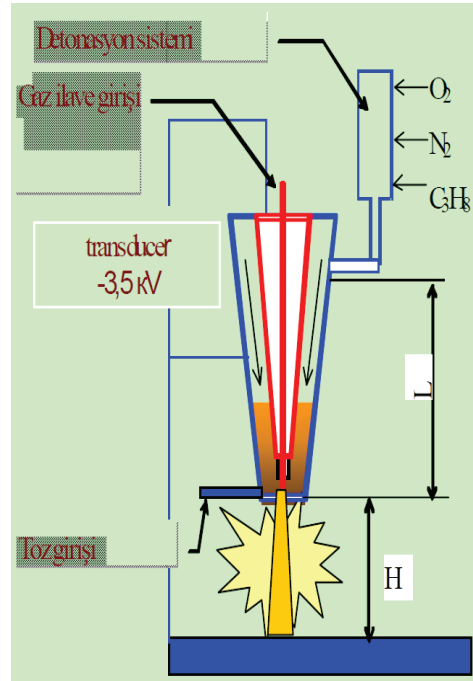
Şekil 3.6'da atım plazma teknolojisi hakkında genel bir özet verilmektedir.



Şekil 3.6. Atım plazma teknolojisinin genel özeti

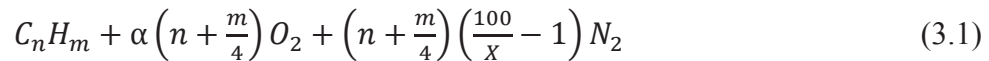
3.4. İş Parçası Yüzeyi İle Atım Plazma Etkileşimi

Yapılan araştırmalar sonucunda; alaşım elementlerinin de içinde olduğu atım plazma tarafından iş parçası yüzey işlemleri, termal, elektromanyetik ve deformasyon olgularını içine alan kompleks bir işlemler bütünüdür. Bu durum, iş parçası yüzeyinin plazma bileşenleri ile alaşımlandırılmasını ve bu yüzeyin sertleştirilmesini mümkün kılar. Alaşım elementleri metal elektrod (çubuk) erozyon ürünleri biçiminde veya propan, azot gibi gazlar biçiminde plazmaya katılır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Plazma detonasyon ekipman düzeneği [10]

Demir esaslı alaşıma sahip bir iş parçasını atım-plazma işleminde mikro-kristalli bir alaşım tabakası meydana gelir. Bu tabakanın yapısı plazma kompozisyonuna ve işleminde kullanılan atım sayısına bağlıdır. Plazmanın kompozisyonu oksitleyici/yakıt oranıyla belirlenir. Hidro karbonların, C_nH_m azot-oksijen karışımları içinde yanması neticesinde denge reaksiyonunun sol tarafı genellikle;



biçimindedir. Burada X, azot-oksijen karışımındaki oksijen içeriğidir. α ise oksitleyici kat sayısıdır. Artan oksijen içeriklerinde ($\alpha > 1$) plazmayla işleme girdikten sonra oksit inklüzyonları bu tabaka içinde sabitlenir. Bu arada $\alpha < 8$ olduğu durumlarda ise hiç böyle inklüzyon tespit edilememiştir.

İşlem tabakası çok sayıda atım plazma işleminden sonra daha kalın ve daha homojen hale gelmiştir. Literatüre göre atım plazma işlemi esnasında tungsten ve molibden elektrod kullanımı en yüksek sertlik değerlerinin eldesini sağlamaktadır [10].

Bu teknolojinin temelinde; çalışma parçalarının yüzeylerine doğru alaşım elementlerinin yüksek enerjili akışı ve aynı zamanda parçaya elektrik akımı akışının meydana gelmesi vardır.

Kuvvetli enerji kaynakları yoğun soğumanın takibinde ortam ve metal yapısı içerisinde ısının bir uçtan diğerine taşınımı ile metallerin yüzey tabakalarının hızlı ısınmasına sebep olur. Metallerin yüzey tabakalarının ısınması ve soğumasındaki yüksek hız (1×10^4 - 1×10^8 K/s) karbon ve nitrojen konsantrasyonundaki değişim ve yüksek dislokasyon yoğunluğuna, dağınık kristalin yapının oluşumuna yol açar. Bu hızlı soğuma nano kristalin yapının oluşumuna da katkıda bulunmaktadır [5].

Metal parçalarının aşınma yüzeylerinde yüksek-alaşımli mikrokristal tabakalarının üretimi parçaların performanslarının (3-10 kat) önemli derecede artışına yol açar. Artan performansla, kullanılan malzemelerde, makine fiyatlarında ve ısıl işlemlerde fiyat indirimi sağlar.

Endüstriyel alanlarda, kesici, delici ve şekil verici olarak kullanılan metal çalışma parçalarının (öğütücü parçalar, matkaplar, kalıpla, pres, haddeler v.s.) çalışma yüzeyleri ile, daha pek çok makine parçasının yüksek ısı dayanımına ve sertliğe sahip olması gerekmektedir. Bu gereksinimler mikrokristalin haldeki yüksek alaşımlarla yerine getirilmektedir. Kural olarak, bütün parçaların yapısında bu hali başarmak pahalı ve karışık bir problemdir. İlâveten, bu yapıdaki malzeme parçaları yüksek çarpma dayanımına ve yüksek termal difüzyona sahip olması gerekmektedir. Genelde, bu parçalar yüzeylerinde mikrokristalin tabakaları oluşturan alaşımlarla dop edilmiş sert çeliklerden yapılmaktadır.

Yalnızca pahalılık, yetersiz sonuçlar ve yüksek üretim maliyetleri değil ayrıca, enerji, malzeme, üretim kapasitesi diğer sorun teşkil eden konulardır. Atım plazma teknolojisi ile bahsi geçen dezavantajlar ortadan kaldırılarak malzeme üretimi mümkündür [18].

3.5. Atım-Plazma Teknolojisinin Avantajları

- Makine parçalarına ön ısıtma uygulanmaz.
- Yanlızca kesici uçlar sertleştirilir.
- Makinenin elektrik gücü 10-30 kW;
- Gaz-yakıt karışımı akış hızı 1.5 m³/h;
- Sertleştirme verimliliği 300 mm²/sec;
- Bu teknoloji atmosferde uygulanmaktadır;
- Makinenin konfigürasyonunda ve boyutlarında sınırlamalar yoktur.
- Sertleştirme için (makine) parçalarının yüzeylerinin hazırlanmasına ve temizlenmesine ihtiyaç yoktur [19].

3.6. Atım-Plazma Teknolojisinin Endüstriyel, Ekonomik Ve Sosyal Yönleri

Atım plazma konusunda yapılmış çalışmalar göstermiştir ki; bu teknoloji yüzey modifikasyon alanında büyük gelişmeler sağlayacaktır. Yapılan araştırmalar, özellikle uygulanma maliyetinin düşük olması açısından günümüz endüstrisinde mevcut yüzey modifikasyon problemlerinin çözümü açısından son derece yararlı olacağı düşünülmektedir [20].

Atım-plazma modifikasyon teknolojisinin endüstriyel ve ekonomik yararları;

- Metal parçaların servis ömrünü artırır
- Yüzey sertlik verimliliğini artırır.
- Metal parçaların fiyatlarını azaltır.
- Yüksek aşım kullanımını azaltır.
- Sertleşme prosesinin verimliliğini artırır.
- Enerji tüketim seviyesini azaltır.

Atım-plazma modifikasyon teknolojisinin sosyal yararları;

- Karmaşık parça üretimini ve kullanımında güvenliği artırır.
- Birleşik endüstrilerde ve parça üretiminde işçi kullanımını artırır.
- Bütün dünyada parçaların güvenilirliğini ve kullanımını artırır.
- Doğaya zararı azaltır.

Atım plazma teknolojisi ile diğer modifikasyon yöntemlerinin çeşitli açılardan kıyaslaması Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Farklı teknolojilerin karşılaştırılması [12]

	ALEV	İNDÜKSİYON	LAZER	ATIM PLAZMA
Yüksek Kaliteli Alaşım İhtiyacı	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Ekipman Fiyatları	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük
Proses Fiyatları	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük
Ürün Ömrü-Zaman	Kısa	Uzun	Uzun	Çok Uzun
Sertleştirme Hızı	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Proses Verimliliği	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Güç İhtiyacı	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük
Yüzey Sertleştirmede Boyut Sınırı	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Yüzeylerin Özel Hazırlanması	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Distorsiyon Seviyesi	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Aşınma Dayanımı	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yorulma Dayanımı	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek

3.7. Atım Plazma Uygulama Örnekleri

Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre; modifikasyon teknolojisi ile bıçak ve öğütücü millerin 3-4 kat, çelik testerelerin 5-6 kat, tungsten-kobalt sert alaşım testerelerin 2-3 kat, kalıp ve zımbaların 2-5 kat ve makine parçalarının 3-5 kat tüketim miktarı azalmıştır. Atım plazma sadece düşük karbonlu çeliklere değil yüksek hız çeliklerine de uygulanarak özelliklerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [8].

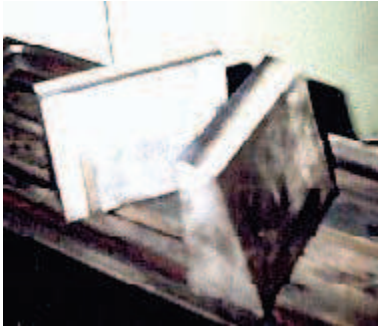
Atım plazma uygulama örnekleri; yukarıda bahsedildiği üzere oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Atım plazma teknolojisi ile yüzey modifikasyonuna uğrayan numune örnekleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmektedir.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

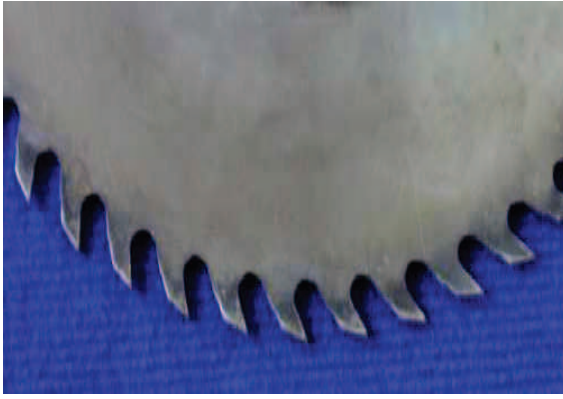
Şekil 3.8. Atım plazma uygulama örnekleri a) kesici bıçaklar, b) metal kesici bıçaklar, c) odun kesici bıçaklar, d) keskin oyucular e) makine parçası, f) şeker kamışı kesici bıçaklar



g)



h)



ı)



i)

Şekil 3.9. Atım plazma uygulama örnekleri g) kesici parçalar, h) testere bıçakları, ı) tahta kesici testereler, i) tahta kesici bıçaklar (Devamı)

BÖLÜM 4. SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ

4.1. Çelikler

Demir metallerin en ucuzudur ve alüminyumun yanında en çok bulunanıdır. Saf demir özel uygulamalar dışında kullanılamaz. Demir karbon alaşımına çelik, demir karbon ve çok az miktarda diğer elementlerin alaşımına ise sade karbonlu çelik adı verilmektedir. Sade karbonlu çeliklerin önemli olmasının nedeni sağlam, sünek, tok ve ucuz oluşlarıdır. Fakat bu çeliklerin korozyon dirençleri düşüktür. Karbon çeliğin en önemli alaşım elementidir. Karbon miktarındaki en ufak değişiklik bile özelliklere etki eder. Artan C oranıyla dayanım yükselir, süneklik çok şiddetli olmamak üzere düşer. Isıl işlem uygulanarak çeliğin özellikleri iyileştirilebilir [21-22]. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik elde edilebilir.

4.2. Takım Çelikleri

Takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan sıcak veya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile biçimlendiren yüksek nitelikli çeliklerdir.

Takımın, işlediği malzemeden çoğu zaman daha sert, daha yüksek dayanımlı ve aşınmaya dirençli olması gerekir. Bundan dolayı, takım imali için kullanılan malzemelerin birkaç ayrıcalık dışında, kullanım yerlerinin koşullarına uygun olarak, mümkün olduğunca yüksek sertlikte ve dayanımda, fakat yeterli süneklilikte olması gerekir. Özellikle ayırma işi yapan, form veren ve form değiştiren, darbe ya da çarpma tarzında zorlanan takımlarda, yüksek sertlik, iyi aşınma dayanımı ile erişilebilen en yüksek sertlikte kırılmaya karşı güvenlik istenir [23].

4.3. Soğuk İş Takım Çelikleri

Genel olarak soğuk iş takım çelikleri işlem sıcaklığı 200°C'nin altında bulunan parçalar işlenir. Bu tip çelikler talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılır. Kullanım amacına göre farklı özelliklere sahip soğuk iş takım çelikleri bulunmaktadır.

Tokluk ve aşınma dayanımı, yorulma direnci, işlenebilirliği ve boyutsal kararlılığı kullanım alanları bakımından soğuk iş takım çelikleri için hayati önem arz etmektedir. Ayrıca kalıbın kullanılacağı yer de önemlidir. Sürekli aşınmaya maruz kalan kalıp veya takımlarda, yüksek sertliğe erişebilen çelikler tercih edilebilir. Bu kalıplarda darbe olmadığından tokluğu düşük olabilir. Fakat darbeye maruz kalan kalın sac kesen makas ağızları, zimbalar veya soğuk makaslarda, tokluğu yüksek olan çelikler tercih edilmesi, kırılma ve atma gibi riskleri minimuma indirir [23].

4.4. DIN 1.2210 Çeliğinin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Ülkemizde civa çeliği olarak isimlendirilen, krom ve vanadyum alaşımli, kolay işlenebilen ve ısıtılabilir, kesici kenarlardan parça kopmama özelliğine sahip, aşınmaya dirençli, hassas taşlanmış ve parlatılmış soğuk iş takım çeliğidir [24].

DIN 1.2210 çelikleri kılavuzlar, iticiler, pimler, deliciler, zimbalar, havşa açma takımları, matkaplar, raybalar, oyma takımları, kılavuz pimleri, burgulu matkaplar, vida dişi kılavuzları, delik açma zimbaları, eğeler, raspalar, miller, cerrahi takımlar ve hassas ölçü gerektiren makina parçalarında kullanılırlar [25].

BÖLÜM 5. SÜRTÜNME VE AŞINMA

5.1. Giriş

Dünyada çeşitli kuruluşlarca yapılan bazı araştırmalarda üretilen enerjinin yaklaşık üçte birinin sürtünme sonunda harcandığı gerçeğini ortaya koymuştur. Diğer yandan makinelerin fonksiyon yüzeylerinde meydana gelen aşınmaların da çok büyük ekonomik kayıplara yol açtığı benzer araştırmalar sonucu tespit edilmiştir. Somut bir örnek vermek gerekirse, büyük bir entegre çelik tesisinde (yıllık üretim kapasitesi 10...15 milyon ton) çeşitli tip aşınmaların telafisi için gereken yıllık bakım, onarım ve yenileme çalışmalarının tesis kuruluş maliyetinin %10 ile 15' i kadar ek bir harcamayı gerektirdiği hesaplanmaktadır.

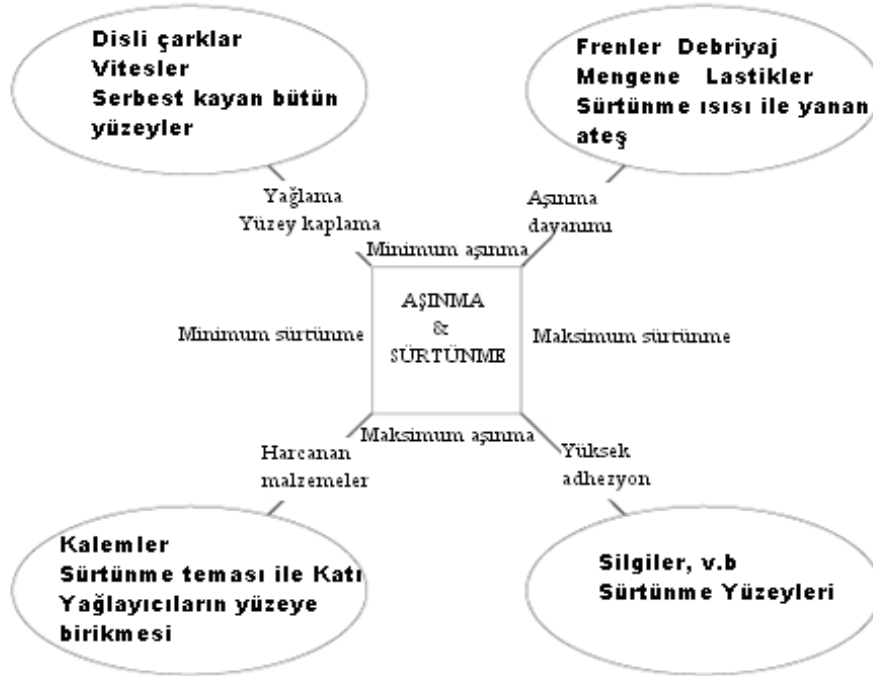
Artan hızlar ve zorlanmalar, makine sistemlerinin güvenilirlik ve ömür koşullarının daha dar toleranslara sokulması, aşınmanın sınırlandırılmasını ve kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Esnek ve katı otomasyon uygulayan fabrikalarda, uçak, roket sistemlerinde, nükleer reaktörlerde ve daha bir çok ileri teknolojinin uygulandığı sistemlerde sürtünme, aşınma ve bunlarla ilgili olarak yağlama en önemli boyutlandırma kriter ve parametrelerinin içine girmektedir [26].

Bu gereksinimlerin bir sonucu olarak son 30 yıl içinde sürtünme, aşınma ve yağlama konularını içeren yeni bir bilim dalı kurulmuştur. "Triboloji" veya "Tribo teknik" olarak adlandırılan bu disiplin gerek üniversitelerde gerekse teknikte geniş bir ilgi görmüştür [27].

5.2. Sürtünme

Sürtünme, temasta olan ve izafi hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin harekete karşı gösterdiği dirençtir. Genelde tanımlanan sürtünme her türlü yabancı maddeden

arındırılmış yüzeylerin mutlak vakumdaki hareketlerini ifade eder. Fakat mevcut sistemlerin çoğunluğu normal atmosfer şartlarında çalışmaktadır [28].

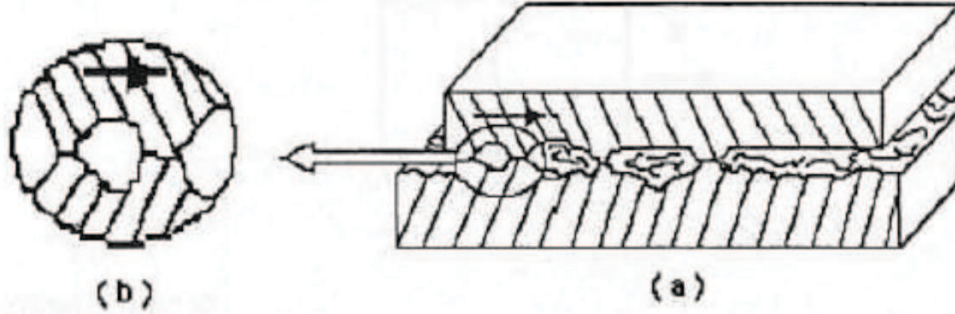


Şekil 5.1. Sürtünme ve aşınmanın istenen ya da istenmeyen özellikler olduğu ya da olmadığı bazı kullanım alanları [29]

Aşınma, malzeme sarfiyatının ve mekanik performansındaki düşüşün ana sebebi olmaktadır ve aşınmadaki herhangi bir düşüş önemli bir mali birikim sağlayacaktır. Sürtünme ise aşınmanın ve enerji dağılmasının baş nedenidir. Bununla birlikte iki yüzey arasında kayma sırasında enerji kaybı dışında sürtünme, ses oluşumuna da yol açmaktadır. Uygulamaların çoğunluğunda sürtünme dolayısıyla çıkan ses istenmemekte ve kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Ses emilimi ile bağlantılı olan ve yine sürtünme ile oluşan titreşim de zararlıdır. Ses oluşumu genellikle, düzgün ve sessiz bir kayma sağlamak amacıyla, aşınma ve sürtünmeyi kontrol etmekte olduğu gibi yağlama ilavesi ile kontrol altına alınabilmektedir [30].

Sürtünme, ilgili yüzeyler arasında belirli değerler içinde olmalıdır. Taşıt frenlerinde sürtünmenin azlığı nedeniyle taşıtın istenilen mesafe ve zamanda durmaması veya fazla sürtünme nedeniyle taşıtın frenlerinin bloke olması bu duruma tipik örnektir. Şekil 5.2 (a)'da üstteki cisim alttaki cisim üzerinde sağa doğru kaymaktadır, diyagram büyütülerek gösterilen Şekil 5.2 (b)'de ise yüzeysel yapışma noktaları

görülmektedir. Hareketin devam etmesi için uygulanan kuvvet bu yapışma noktalarını bozacak kadar büyük olmalıdır [31].

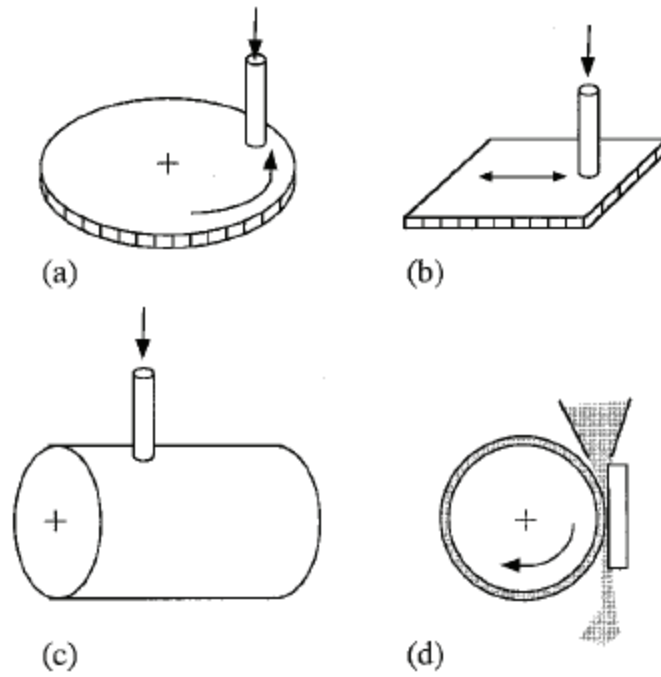


Şekil 5.2. Sürtünmenin ayrıntıları; a) Üstteki cisim alttaki cisim üzerinde sağa doğru kaymaktadır, b) Yüzeysel yapışma noktaları büyütülerek gösterilmiştir [31].

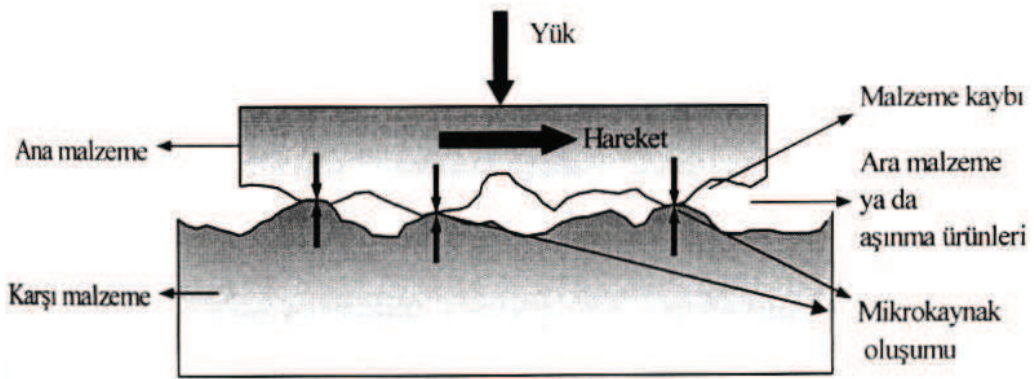
İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme, birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir. Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir. Her iki yüzey yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış olabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında oluşur; bu hale sıvı sürtünmesi denir. İkinci durumda, yani yüzeyler tamamıyla ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi hali vardır [32].

5.3. Aşınma

Aşınma; bir malzemenin yüzeyinden katı, sıvı ya da gaz bir başka malzemenin mekanik etkileşimi sonucu sürekli çok küçük parçaların kopması olarak tanımlanabilir [33,34]. Aşınmanın olabilmesi için iki yüzey arasında sürtünmenin gerçekleşmesi gerekmektedir. Katı yüzeyler oksit filmleri ile sınır tabaka yağlayıcıları ile korunsa bile, oksit filmlerinin mekanik yük altında parçalandığı yerlerde ve aktif sınır tabaka yağlayıcısının zayıf olduğu yerlerde, yer yer katı ile katı arasında temaslar oluşur. Bu temaslar aşınmaya neden olur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Aşındırıcı deney yöntemlerinden birkaçının temsili gösterimi [32]



Şekil 5.4. Tribolojik sistemi meydana getiren unsurların şematik gösterimi ve mikro kaynak oluşum noktaları [32]

Bir aşınma sistemi,

- Ana malzeme (aşınan)
- Karşı malzeme (aşındırıcı)
- Ara malzeme
- Yük
- Hareket

olarak beş ana unsurda incelenebilir. Bu sistemlerin tümü teknikte tribolojik sistemi meydana getirir ve Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Aşınma ve bağlı nedenleri,

sonuçları özet bir biçimde Şekil 5.5’de gösterilmektedir. Uluslararası alanda kabul gören belli bir aşınma standardı olmamasına karşın DIN ve ASTM normları ile sınıflandırılmış birkaç aşınma deneyi mevcuttur. Bunlar:

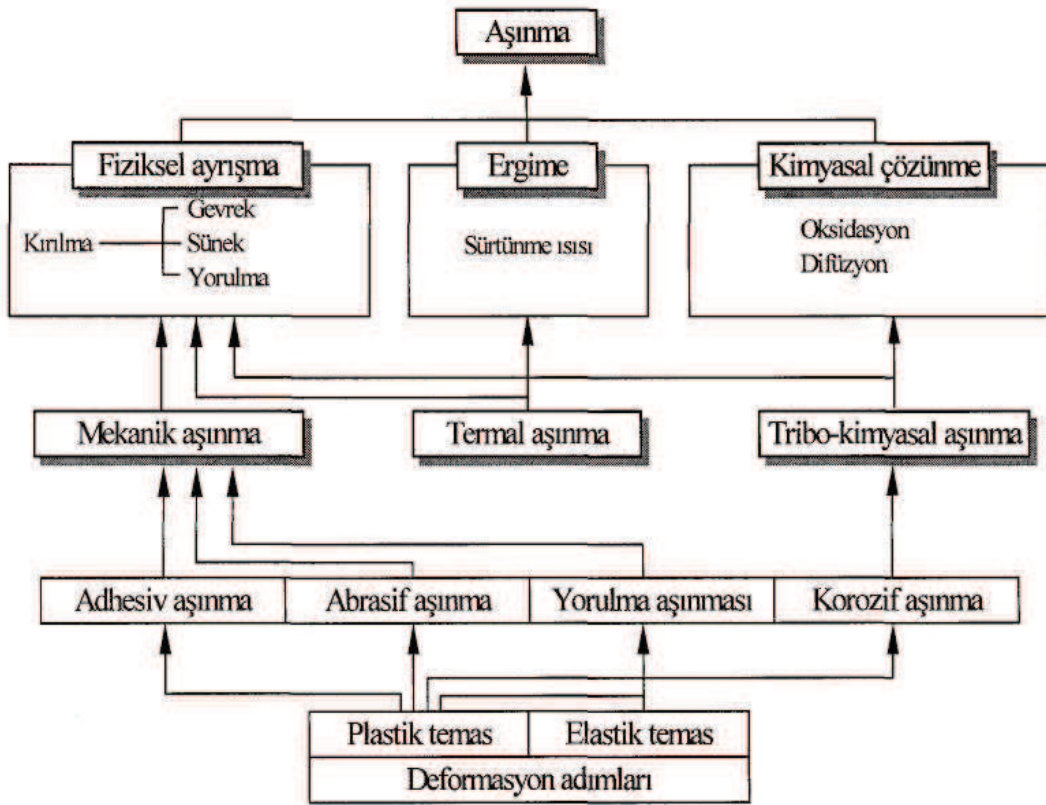
- Hareketli çember üstünde blok (çember: aşındırıcı, blok: numune) ASTM G77
- Birbirine çapraz dönen silindir (aşındırıcı, silindir: numune) ASTM G83
- Disk üstünde pin (disk aşındırıcı, pin: numune) DIN 50320
- Yatay plaka üstünde pin (plaka: aşındırıcı, pin: numune) ASTM G98

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmektedir.

- Ana malzemeye bağlı faktörler
 - a) Malzemenin kristal yapısı
 - b) Malzemenin sertliği
 - c) Elastisite modülü
 - d) Deformasyon davranışı
 - e) Yüzey pürüzlülüğü
 - f) Malzemenin boyutu
- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcı etkisi
- Ortamın etkisi
 - a) Sıcaklık
 - b) Nem
 - c) Atmosfer
- Servis koşulları
 - a) Basınç
 - b) Hız
 - c) Kayma yolu

Aşınma;

- Adhesiv aşınma
- Abrasiv aşınma
- Yorulma aşınması
- Korozyif aşınma olarak sınıflandırılmaktadır.

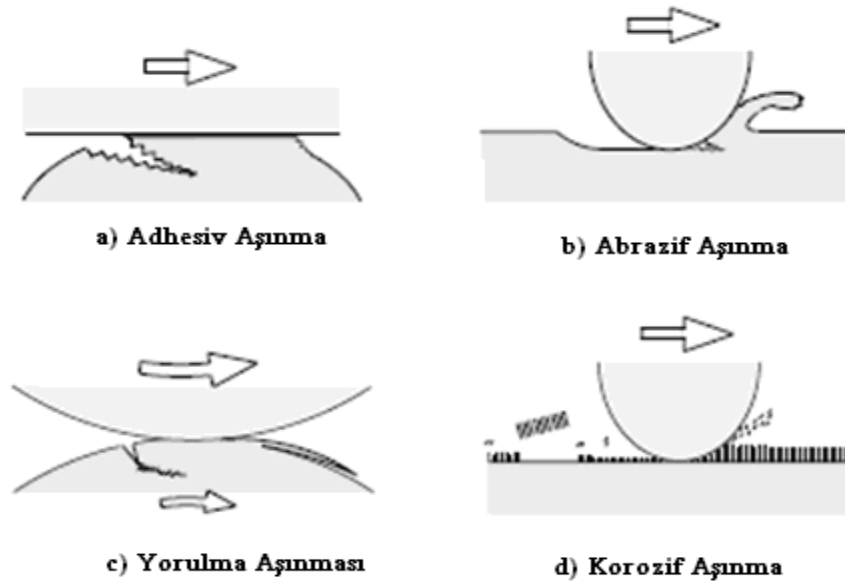


Şekil 5.5. Aşınmayı tanımlayıcı anahtar kelimeler ve birbirleri ile etkileşimleri [35]

Malzemede oluşacak çatlak ya da hasar işte bu sert faz partiküllerinin karşı malzeme yüzeyinde oluşturacakları mikro-yarıklar ya da mikro-çatlaklar sebebiyle oluşuyorsa bu tür aşınmaya abrazif aşınma denir.

Malzemenin temas arayüzeyinde meydana gelecek hasar eğer ki güçlü adhezyon sonucu oluşuyorsa bu tür aşınma mekanizmasına adhesiv aşınma adı verilir. Yorulma çatlak oluşumu tekrarlı sürtünme çevriminde meydana gelmektedir. Aşınma yüzey hasarının yorulma mekanizması ile meydana geldiği bu aşınma türüne ise yorulma aşınması denmektedir.

Hava da baskın olan korozif madde oksijen ise böyle bir ortamda metallerde meydana gelen tribokimyasal aşınma da oksidatif aşınma olarak adlandırılır. Yukarıda bahsedilen bu dört aşınmanın temsili gösterimi Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi [33]

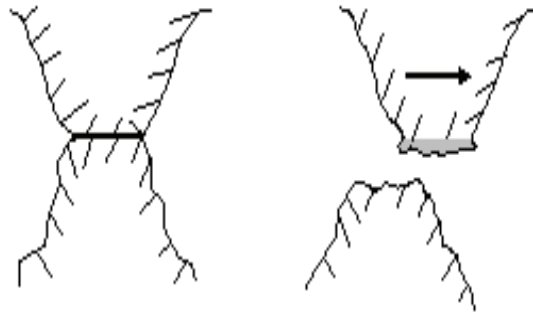
5.3.1. Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre relatif hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir [36]. Basınç altında bir araya getirilmiş malzemelerde bulunan karşılıklı pürüzler, sürtünme ile oluşan ısı ve soğuk kaynaklaşma etkisi ile birbirlerine bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, birleşen çıkıntıların diğer bölgelerindeki bağ yapısından daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirlerine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında birçok kere tekrarlanmasıyla, adhesiv aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır [37].

Adhesiv aşınma en yaygın aşınma türü olmasına karşılık aşınma hasarlarını hızlandırıcı etkisi abrasiv aşınmaya kıyasla daha azdır.

Adhesiv aşınmanın etkisini azaltmak için yapılan bazı uygulamaların faydalı olduğu görülmüştür.

- Malzeme çiftleri düşük katı çözünürlüğe sahip olmalıdır.
- Aşınma hızını en düşük seviyeye indirmek için kopan metal parçalarının her birinin boyutu mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun sağlanması için temas alanının küçük olması gerekmektedir. Yük azaltılarak ta aşınma azaltılabilir. Sertlik artırılarak temas alanını azalması sağlanarak ve benzer malzemelerin, özellikle metallerin birlikte çalışmasından sakınılarak aşınma azaltılabilir. Adhesiv aşınmanın şematik görünümü Şekil 5.7’de verilmektedir [38].



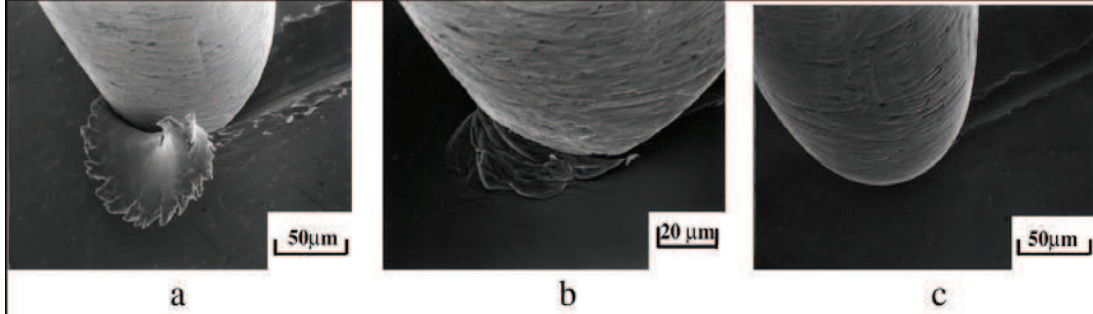
Şekil 5.7. Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi [37]

5.3.2. Abrazif aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasiv aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan partiküllerle basınç altında etkileşmesiyle, sert partiküllerin malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanabilir. Sert partiküller sisteme ya dışarıdan girmekte ya da aşınma ürünleri olarak sistem tarafından üretilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir [37].

Abrazyon boyunca yüzeyden malzemenin nasıl uzaklaştığının açıklanması amacıyla birçok mekanizmanın olduğu ileri sürülmektedir. Bunlar genel olarak kırılma, yorulma ve ergimedir. Abrazif aşınmanın meydana gelmesindeki karışıklıktan dolayı sadece bir tane mekanizma tüm malzeme kaybından sorumlu tutulamaz. Şekil 5.8’de tek bir abrazif ucun malzeme yüzeyinden geçerken oluşturduğu bazı abrazif aşınma

tipleri gösterilmektedir. Bu tipler kızıklama (ploughing), pulluklama (wedge) ve kesme (cutting) olarak adlandırılır [34].



Şekil 5.8. Abrazif aşınma mekanizmasının üç tipi olan a) Kesme, b) Pulluklama, c) Kızıklama aşınmalarının SEM görüntüleri [34]

Kızıklama (Ploughing) türü aşınma, temastaki iki yüzeyin sertliklerinin birbirinden farklı olduğu durumlarda meydana gelir. Diğerine göre daha sert olan malzeme yüzeyindeki tepcikler daha yumuşak olan yüzeyin içine girer ve eğer ki bir hareket söz konusu ise yüzeyde yiv oluşumuna sebep olurlar. Kızıklama oluşumunun iki ana sebebi kısaca yüzeylerdeki tepcikler ya da temas bölgesinde bulunan sert partiküllerdir.

Kızıklama mekanizmasında malzeme, yüzeyde meydana gelen yivlerin kenarlarına toplanır. Bu düşük yüklerde meydana gelir ve herhangi bir malzeme kaybına yol açmaz. Hasar, malzemenin yüzeyinde soğuk deformasyon sebebiyle gelişen ve büyüyen dislokasyonlar sonucu meydana gelir. Eğer ki bu soğuk deformasyon bölgesinde yiv oluşumu devam ederse, yüzeydeki hasara ilave olarak mikro yorulma mekanizması sonucu da hasar oluşur.

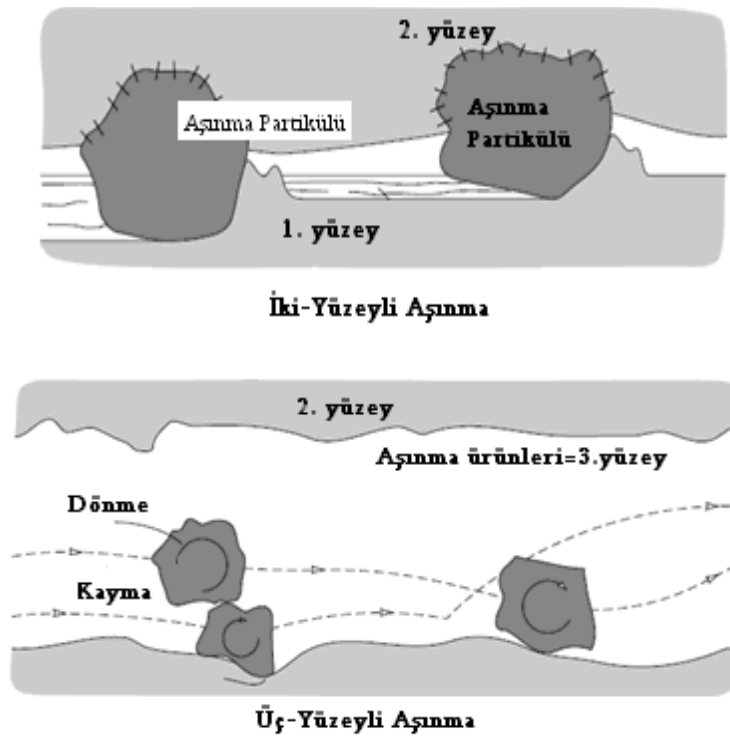
Pulluklama, abrazif ucun önünde meydana gelir. Pulluklama mekanizmasında, yiv önünde toplanan malzeme miktarı, kenarlara toplanan malzeme miktarından fazladır. Yine de, pulluklama oluşumu abrazif aşınmanın hafif hasar bırakan mekanizmalarından sayılmaktadır. Yumuşak malzemeler için en ağır aşınma mekanizması Kesme'dir.

İki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, her iki yüzeyde de aşınma meydana gelir. Endüstriyel kuruluşlar, oluşan ekonomik kayıpları sebebiyle aşınan yüzeyin üzerine

yoğunlaşarak ve diğer yüzeyin abrazif olduğunu düşünürler. Genel olarak her iki yüzey de abrazif aşınmaya meyillidir.

Aşınan ya da aşındıran yüzeylerde aşınma hızı, malzemenin doğasına değil, her iki yüzey karakteristiğine, yüzeyler arasındaki abrazif mevcudiyetine, temas hızına ve diğer çevresel şartlara bağlıdır.

Abrazyon tipik olarak temas ortamına göre olduğu gibi temas tipine göre de karakterize edilir. Temas tipleri iki-yüzey ve üç-yüzeyli aşınmayı kapsamaktadır. İki yüzeyli temas, abrazif malzemenin tek yüzey üzerindeki hareketinde, üç-yüzeyli temas ise abrazifin iki yüzey arasındaki hareketinde meydana gelmektedir. Şekil 5.9 (a) ve (b)'de iki-yüzeyli ve üç-yüzeyli temas tipleri gösterilmektedir.



Şekil 5.9. a) İki-yüzeyli ve b)üç-yüzeyli abrazif aşınma tipleri [34]

Erozyon aşınması ise, aşınma partiküllerinin ya da gaz, sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye serbestçe çarpması sonucu malzeme yüzeyinden parçaların kopmasıyla ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık ve akış hızı arttıkça aşınma hızlanır. Katı parçacıkların bağıl hareketleri katı yüzeye paralel olduğunda aşınma abrasif erozyon olarak adlandırılır. Katı parçacıkların bağıl hareketi katı

yüzeye dik olduğundan ise aşınma çarpma (impact) erozyonu olarak adlandırılır. Eroziyon aşınmaya örnek gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içindeki katı parçacıklar tarafından aşındırılmasıdır. Sıvı erozyonu sıvı damlacıkları içeren sıvı ve gaz jetleri ile meydana gelen bir aşınmadır ve çarpma karıncalanma oyulması (pitting) ve yenme yüzeyin kabalaşması şeklinde görülür.

5.3.3. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması değişken, tekrarlı yükler sonucu ortaya çıkar. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişken mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur ve bu da yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine neden olur.

Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür aşınma çoğunlukla dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür [39].

Aşağıdaki tabloda aşınma türleri için aşınmanın azaltılmasında tavsiye edilen bazı bilgiler verilmektedir [33].

Tablo 5.1. Çeşitli aşınma türlerinde aşınmayı azaltmak için bazı öneriler [40]

<p><u>Kazımalı Aşınma</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hareket kontrolü <ul style="list-style-type: none"> * Yüktü azalt * Yağla • Gerilme kontrolü <ul style="list-style-type: none"> * Yüktü artır * Bileşenleri bir arada tutmak için aparat kullan veya yapıştır. • Oksijeni at • Al veya Ti yerine Çelik kullan 	<p><u>Abrazif Aşınma</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Yüktü azalt • Aşındırıcı parçacıkları uzak tut • Küçük aşındırıcı parçacıkları filtreden geçir • Sünekliğinden ödün vermeden küçük ama sert malzemeleri kullan
<p><u>Erozyon Aşınma</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gaz hızını azalt • Mümkünse aşındırıcıyı uzaklaştır • Küçük aşındırıcı partikülleri filtre et • Sünekliğinden ödün vermeden küçük ama sert malzemeleri kullan • Düşük-erozyonlu vuruş açısı sağlamak için akışkan sıvıyı iyi dizayn et 	<p><u>Adhezif Aşınma</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrodinamik, elasto-hidrodinamik veya BL tipi yağlayıcı kullanmak • Yüktü azalt • Yüzeyi düzleştir • HD yağlama mümkün değilse, katı polimerleri, yumuşak metalleri kullan • Düşük adhezyonlu malzemeleri seç • Değiştirilebilir malzeme kullan

5.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Katı yüzeylerin özellikleri temas alanı, sürtünme, aşınma ve sürtünme yüzey özelliklerini etkilediğinden yüzey etkileşimi son derece önemlidir. Ayrıca, tribolojik fonksiyonlar; yüzey özellikleri, optik, elektriksel ve termal performans, boyama, görüntü gibi diğer uygulamalar için önemlidir.

Yüzey tabakanın deformasyon derinliği ve miktarından mekanik davranışlarından etkilenmektedir. Teknolojik uygulamalar için, yüzeylerin makro ve mikro nanotopografisi önemlidir. Yüzeydeki sapsmalara ilaveten, katı yüzeyler ana yapıdan mahsus fiziksel-kimyasal özelliklere sahip çeşitli zonlardan oluşmaktadır. Metal ve alaşımların oluşum proseslerin sonucunda, Beilby tabakası olarak adlandırılan amorf ve mikrokristalin tabaka bölgesinin üstünde deforme olmuş malzeme veya sertleşmiş

Çalışma tabakası vardır. Bu tabakalar özelliklerinden dolayı son derece önemlidir [34].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Atım plazma teknolojisi ve ekipmanları parçaların yüzey modifikasyonu için geliştirilmiştir. Düşük maliyetli, bulunması kolay olan çeliklerin yüzeyleri atım plazma teknolojisi ile modifiye edilerek daha yüksek maliyetli bulunması zor olan ve yüzey özellikleri iyi olan çeliklerin yerine kullanılması amaçlanmıştır. Geleneksel yüzey işlemlerinde ve de yeni yüzey işlemlerinde amaç aynıdır korozyon direnci, oksidasyon, yorulma ve aşınma dayanımını arttırmaktır.

Bu çalışmada DIN 1.2210 çelikleri kullanılmıştır. Modifikasyon işlemi öncesi ve sonrasındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmeye çalışılmıştır. DIN 1.2210 çeliklerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ile yüksek aşınma dayanımı ve sertliği artırılarak ekonomik kazançlar sağlanması hedeflenmiştir.

Atım plazma modifikasyon sistemi tüm ekipmanları ise Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.1. Atım plazma uygulama sistemi (plazmatron)



Şekil 6.2. Atım plazma kontrol paneli ve güç üniteleri

6.2. Atım Plazma İşlemi Uygulamaları

Kimyasal içeriği Tablo 6.1’de verilen çubuk halinde alınan DIN 1.2210 çeliği CNC tezgahında silindirik olarak 19 mm çapında 5 mm yüksekliğinde tüm numuneler aynı ölçüde olacak biçimde kesilmiştir. Kesim işlemi sonrası numuneler 80, 180, 240, 400, 600, 800 ve 1200 mesh’lik zımparalardan geçirilmiştir. Zımpara işlemi sonrası numunelerin yüzeyleri alkolle temizlenmiş ve atım plazma işlemi için hazır hale getirilmiştir. Atım plazma sistemi için hazırlanan numuneler Tablo 6.2’de verilmekte olan deney şartlarına göre yüzeyleri modifiye edilmiştir. Atım plazma öncesi numunelere herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır (karbürizasyon vb. gibi). Tüklenen elektrod olarak wolfram elektrod kullanılmıştır.

Tablo 6.1. DIN 1.2210 çeliğinin kimyasal içeriği

Kimyasal bileşim (ortalama %)	C	Si	Mn	P<	S<	Cr	V
DIN 1.2210 çeliği	1.18	0.25	0.30	0.030	0.030	0.70	0.10

Tablo 6.2. Atım plazma uygulama şartları

Numune No	Numune-Nozul Mesafesi (mm)	Atım Sayısı	Elektrod	Pil Kapasitesi (mf)
1	40	4	W	800
2	40	8	W	800
3	40	12	W	800
4	50	4	W	800
5	50	8	W	800
6	50	12	W	800
7	60	4	W	800
8	60	8	W	800
9	60	12	W	800
10	70	4	W	800
11	70	8	W	800
12	70	12	W	800

6.3. Metalografik İncelemeler

Atım plazma ile üretilen numuneler öncelikle modifiye olan yüzeylerinde meydana gelmiş spot merkezlerini ortalayacak biçimde kesme cihazı (Struers Labotom-3) ile hassas biçimde kesilmiş ve kesit incelemesi yapılmak amacıyla bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler standart numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800, 1200, 2400 ve 4000 mesh'lik SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmış (Metaserv 2000 marka) ardından da 1 µm elmas solüsyon kullanılarak parlatmaları yapılmıştır. Parlatılmış numuneler %2 (98 ml alkol, 2 ml HNO₃)'lik nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır.

6.4. Optik Çalışmalar

Dağlanmış numuneler Zeiss AX10 marka optik mikroskop yardımıyla modifiye olmuş numunelerin kesitlerinden değişik büyütmelerde optik görüntüleri alınmıştır.

6.5. Mikrosertlik Ölçümleri

Modifikasyon tabakasının yüzey sertliği Leica VMHT MOT mikrosertlik cihazı kullanılarak alınmıştır. Yüzey sertlikleri 10 gr yük altında 15 saniye uygulanarak

alınmıştır. Sertlik değerleri sıra sertlik biçiminde olup, modifikasyon tabakasında 5-10 mikron aralığında, modifikasyon tabakası dışında 20 mikron aralıklarla alınmıştır. Sertlik değerleri, numune üzerinde 3 farklı bölgede sertlik deneyi uygulanarak elde edilmiş üç değerın ortalaması alınarak bulunmuştur.

6.6. X-Işınları Analizleri

Üretilen numuneler kesme işlemine tabi tutulmadan önce X-ışını analiz (Rigaku marka) çalışmaları yapılmıştır.

6.7. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri

Kesit görüntü için hazırlanan numunelerden bazıları iletken bakalite alınarak SEM analizleri için hazırlanmıştır. SEM ve EDS çalışmaları JEOL JSM-6060 LV marka cihazla yapılmıştır. Ayrıca aşınma deneyleri sonrasında da aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

6.8. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri CSM marka bilya-disk (ball-on-disc) cihazında gerçekleştirilmiştir. Çizgisel (linear) aşınma yöntemi uygulanmıştır. Aşınma deneyinden önce numune ve kullanılacak bilyalar alkolle temizlenmiştir. Aşınma deneyleri 6 mm çapında alümina bilya ile yapılmıştır. Deney sırasında uygulanan yük 5 N'dur. Hız olarak 0.05 m/sn, 0.10 m/sn ve 0.15 m/sn olmak üzere 3 farklı hız seçilmiştir. Deney mesafesi 200 m'dir. Deney esnasında aşındırıcı bilyanın yönü her deney için çevrilmiştir. Deneyler ortalama sıcaklığın 25°C, nem oranı ise %30 aralığında olan ortamda yapılmıştır. Deney esnasında yük uygulama kolunun modifiye edilen yüzeye temasında hassas davranılmış yüzeyden doğru veriler alınması sağlanmıştır. Uygulanan deney esnasında elde edilen veriler yine CSM firmasına ait programa aktarılmaktadır.

Her bir numune aşınma deneyi sonrası ağzı kapalı poşette tutulmuş, tüm deneyler tamamlandıktan sonra SEM ve EDS çalışmaları yapılmıştır. Hem aşınma

yüzeylerinin hem aşınma ürünlerinin SEM (faklı büyötmelerde) ve EDS analiz çalışması yapılmıştır.

Bilyada oluşan iz genişlikleri stereo mikroskop yardımı ile ölçölmüştür.

Daha sonra aşınma hesaplamalarına ve yorumlarına yardımcı olması amacıyla KLA Tencor P-6 ile numunelerin aşınma sonrası yüzey pürüzlölükleri ölçölmüştür.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Optik Görüntüler

Atım plazma sonrası modifikasyon tabakasında meydana gelen değişimleri görebilmek için numunelerin kesiti incelenmiştir.

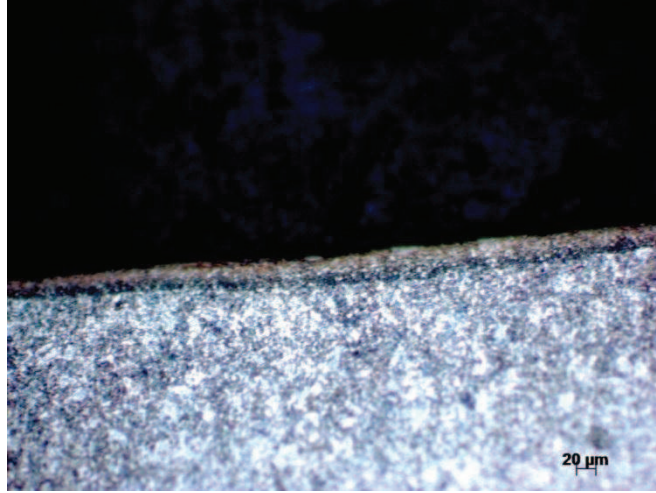
Tablo 7.1’de tüm numune gruplarının atım plazma parametrelerine bağlı olarak elde edilmiş modifikasyon tabaka kalınlıkları verilmektedir.

Şekil 7.1. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no’lu numunelerin kesitleri hazırlanarak alınmış optik görüntüler görülmektedir. Optik görüntülerden de anlaşılacağı üzere modifikasyon tabaka kalınlıkları birbirinden farklıdır. 1 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 27.20 μm iken, 2 no’lu numunenin 53.78 μm , 3 no’lu numunenin ise 49.17 μm ’dir.

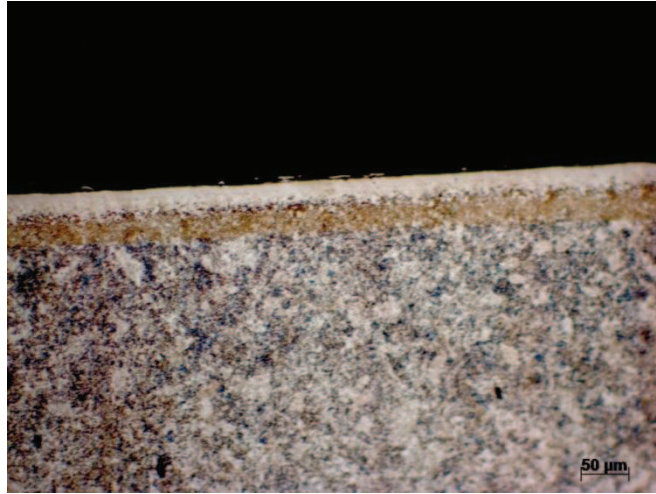
Şekil 7.1’de optik yapılarda kontrast farklılığından modifikasyon tabakasındaki bileşik zonu (beyaz tabaka) ve onun altındaki difüzyon zonunu (ısı tesiri altında kalan bölge) ve en sonunda ana malzemeyi (altlık) açıkça görmemiz mümkündür.

Tablo 7.1. Atım plazma parametreleri ve modifikasyon tabakası kalınlık değerleri

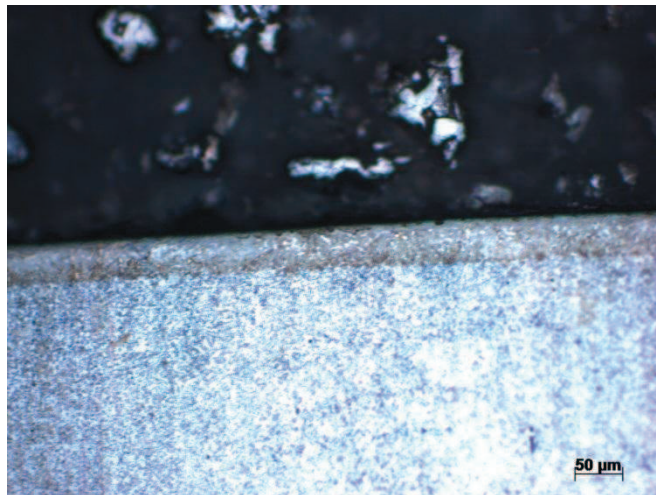
Numune No	Numune-Nozul Mesafesi (mm)	Atım Sayısı	Pil Kapasitesi (mf)	Modifikasyon Tabaka Kalınlığı (μm)
1	40	4	800	27,20
2	40	8	800	53,78
3	40	12	800	49,17
4	50	4	800	48,49
5	50	8	800	55,02
6	50	12	800	59,64
7	60	4	800	48,49
8	60	8	800	50,05
9	60	12	800	52,50
10	70	4	800	39,85
11	70	8	800	23,42
12	70	12	800	32,26



a)



b)

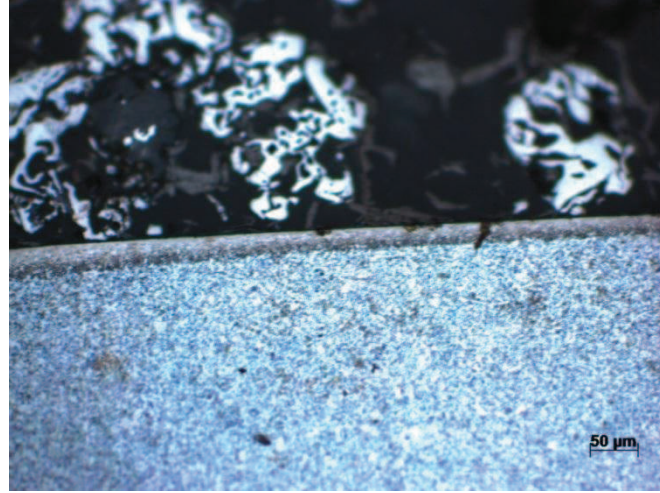


c)

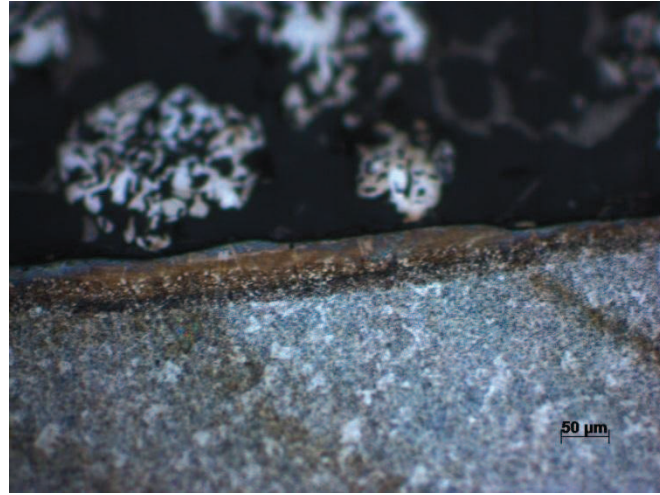
Şekil 7.1. a) 1 (40 mm, 4 atım), b) 2 (40 mm, 8 atım) ve c) 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 20X büyütmede optik görüntüleri

Şekil 7.2’de ise 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numunelerin kesit optik görüntüleri görülmektedir. Modifikasyon tabakası kontrast farklılığından dolayı hemen fark edilebilmektedir. 4 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 48.49 μm , 5 no’lu numunenin 55.02 μm ve 6 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 59.64 μm ’ dir. 3 (40 mm, 12 atım) no’lu numune ile 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numuneler arasında işlem parametreleri açısından tek fark numune-nozul mesafe aralığıdır. 3 no’lu numunede 40 mm olan mesafe 6 no’lu numunede 50 mm’ye arttırılmıştır. 40 mm mesafede yüzeyde aşırı ısınmadan dolayı gördüğümüz ergime olayları mesafe artışıyla azalmıştır ve daha kalın tabaka kalınlığı elde edilmiştir.

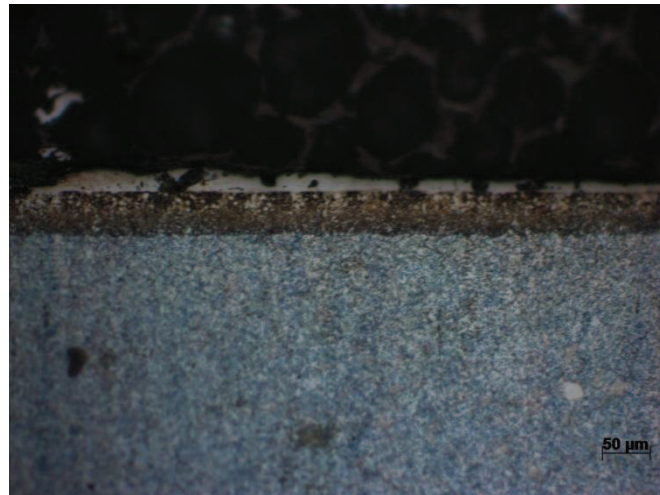
Ayrıca atım sayısının artması yine 4 (50 mm, 4 atım) no’lu ve 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numuneler arasında modifikasyon tabaka kalınlıklarında farklılık oluşumuna sebebiyet vermiştir. Atım sayısı arttıkça işlem süresi de arttığı için modifikasyon tabakasının kalınlığı artmıştır. En yüksek tabaka kalınlık değerleri 12 atım uygulandığında 6 no’lu numunede elde edilmiştir.



a)



b)

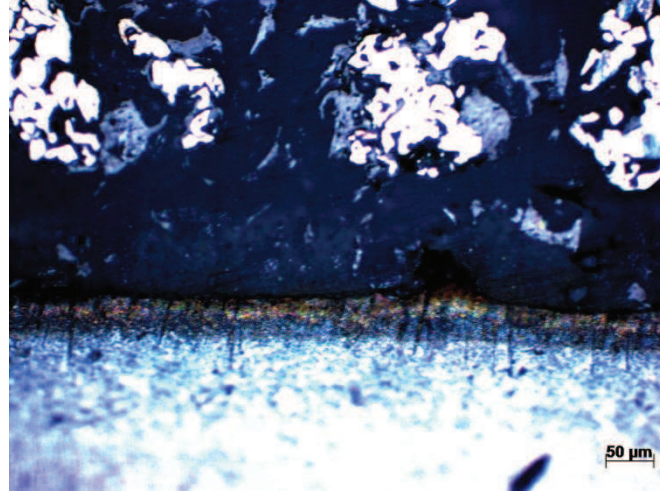


c)

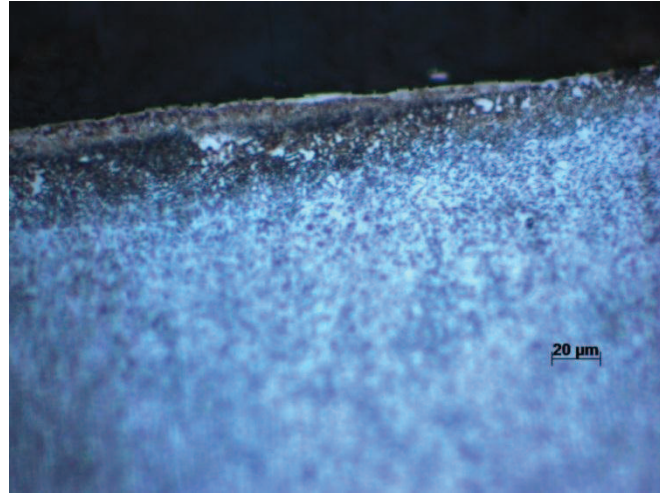
Şekil 7.2. a) 4 (50 mm, 4 atım), b) 5 (50 mm, 8 atım) ve c) 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 20X büyütmeye optik görüntüleri

Şekil 7.3’de ise 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no’lu numunelerin kesit optik görüntüleri görülmektedir. 7 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 48.49 μm , 8 no’lu numunenin 50.05 μm ve 9 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 52.50 μm ’ dir. 7 no’lu ve 8 no’lu numunelerin optik görüntülerinden görüldüğü üzere, atım sayısının az oluşu, işlem süresinin kısa oluşu ve numune-nozul mesafe aralığının artışı sebebiyle modifikasyon tabakasında homojensizlikler meydana getirmiştir. Fakat atım sayısının artması ile (12 atım) optik görüntülerden de anlaşılacağı üzere daha homojen ve düzgün yapıda bir tabakanın oluşumu gözlenmiştir.

Şekil 7.4’de ise 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no’lu numunelerin kesit optik görüntüleri görülmektedir. 10 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 39.85 μm , 11 no’lu numunenin 23.42 μm ve 12 no’lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 32.26 μm ’dir. Atım sayısı 12 olarak uygulandığında yine modifikasyon tabakası kalınlaşmış ve daha homojen hale gelmiştir. Fakat artan mesafeyle saçılmalar gerçekleşmiş ve tabaka kalınlığında diğer numune gruplarına göre azalmalar gözlenmiştir. Mesafe arttıkça odaklama problemi ortaya çıkması sebebiyle modifikasyon tabaka kalınlık değerleri azalmış ve yüzey tabaka kalınlıklarında düşmeler gözlemlenmiştir.



a)



b)

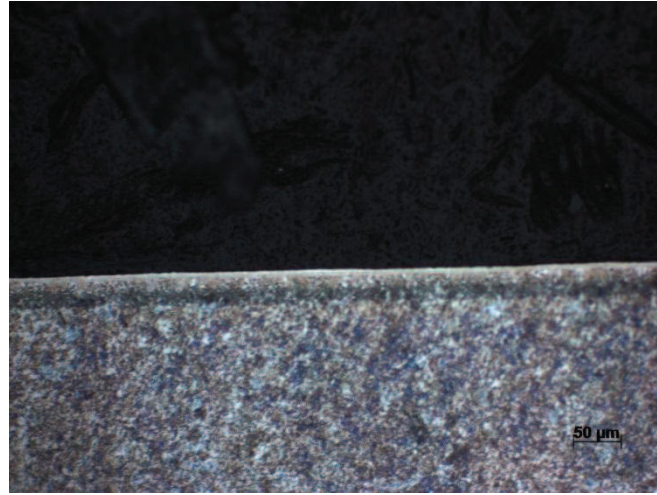


c)

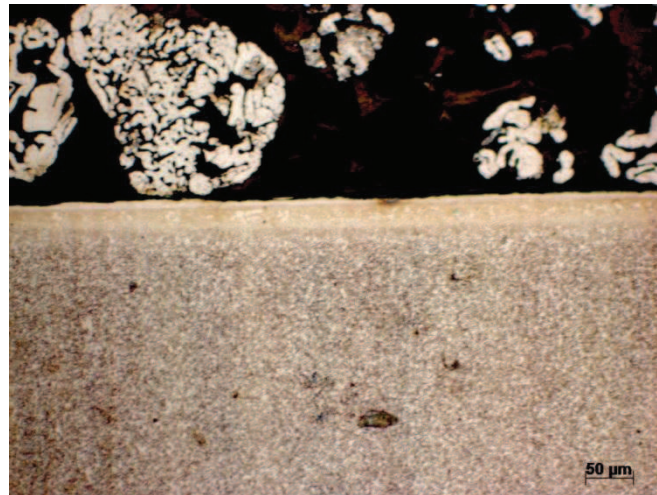
Şekil 7.3. a) 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 20X büyütmede, b) 8 (60 mm, 8 atım) ve c) 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 50X büyütmede optik görüntüleri



a)



b)



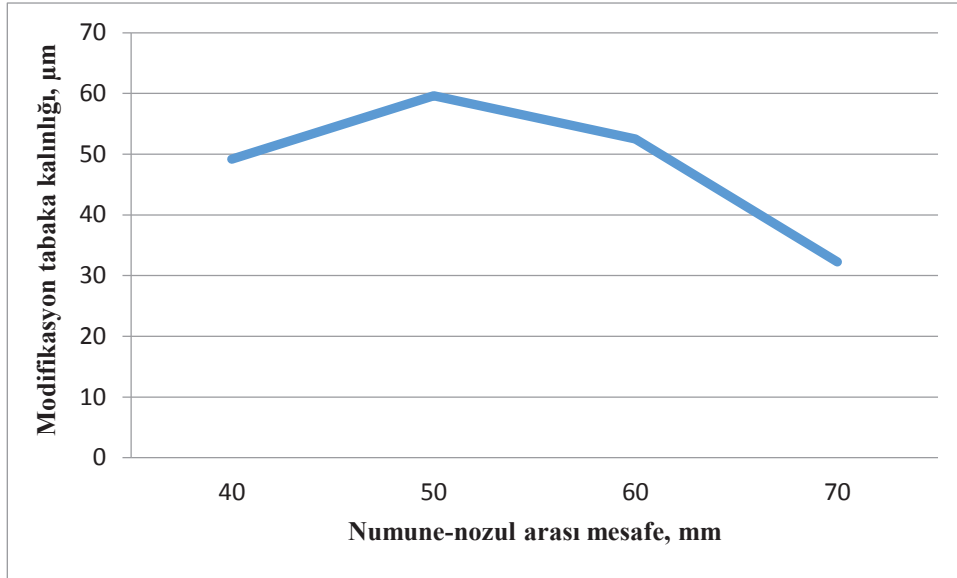
c)

Şekil 7.4. a) 10 (70 mm, 4 atım), b) 11 (70 mm, 8 atım) ve c) 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 20X büyütmede optik görüntüleri

Literatürsel çalışmalara göre, genellikle atım sayısının artışıyla, artması beklenen modifikasyon tabaka kalınlığı 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerde gelenekselliğin dışında bir oluşumunun meydana geldiğini görülmektedir. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin modifikasyon tabaka kalınlığı 27.20 μm iken, 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 53.78 μm , 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin ise 49.17 μm 'dir. Bu durumun sebepleri ise; ilk olarak, elektrik arkının yüzeyde hareket etmesidir ki bu genellikle normal olarak değerlendirilir. İkincisi kondansör pillerinin boşalımı (discharge) her zaman elektrik ölçümlerinde görüldüğü gibi aynı olmayabilir. Üçüncüsü ise, ısı iletim şartları birbirlerinden farklı olabilir. Modifikasyon bölgesinde merkez bölgedeki soğuma hızı ile kenar bölgede ki soğuma hızı birbirinden farklıdır. Bölgesel soğuma hızı farklılıkları modifikasyon tabakasında, tabaka kalınlık değerlerinin değişiminde etki sahibi olabilir [41].

İşlem süresi çok kısa olduğundan dolayı kompozisyonun her yerde tamamen homojen olmaması durumu söz konusudur. Bu özellikle, az sayıda atım yapıldığında doğru olmaktadır. Bundan dolayı ergimiş tabakanın kompozisyonu tamamen aynı olmayabilir. Atım sayısı arttığı zaman yüzeye girecek iyonize ürün miktarı (özellikler wolfram miktarı) artar ve kompozisyon çok daha homojen hale gelir. Atım sayısı artıkça, yüzeyde hızlı katılaşmadan dolayı metastabil ultra ince taneler oluşur [42, 43-44].

Kaplama kalınlıklarının işlem parametleriyle olan ilişkileri grafiklere aktarılmıştır. Şekil 7.5'de 12 atım uygulanmış numunelerin (3, 6, 9 ve 12 no'lu numuneler) mesafeye bağlı olarak modifikasyon tabaka kalınlık değerlerinin değişim grafiği görülmektedir. Mesafenin artması (70 mm) ile odaklama problemi ortaya çıkarak tabaka kalınlık değerlerinde azalmaya, mesafenin azalmasının (40 mm) ise yüzeyde ergime meydana getirerek tabaka kalınlık değerlerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Tabaka kalınlığındaki en yüksek değer 50 mm numune-nozul mesafe aralığında sağlanmıştır.

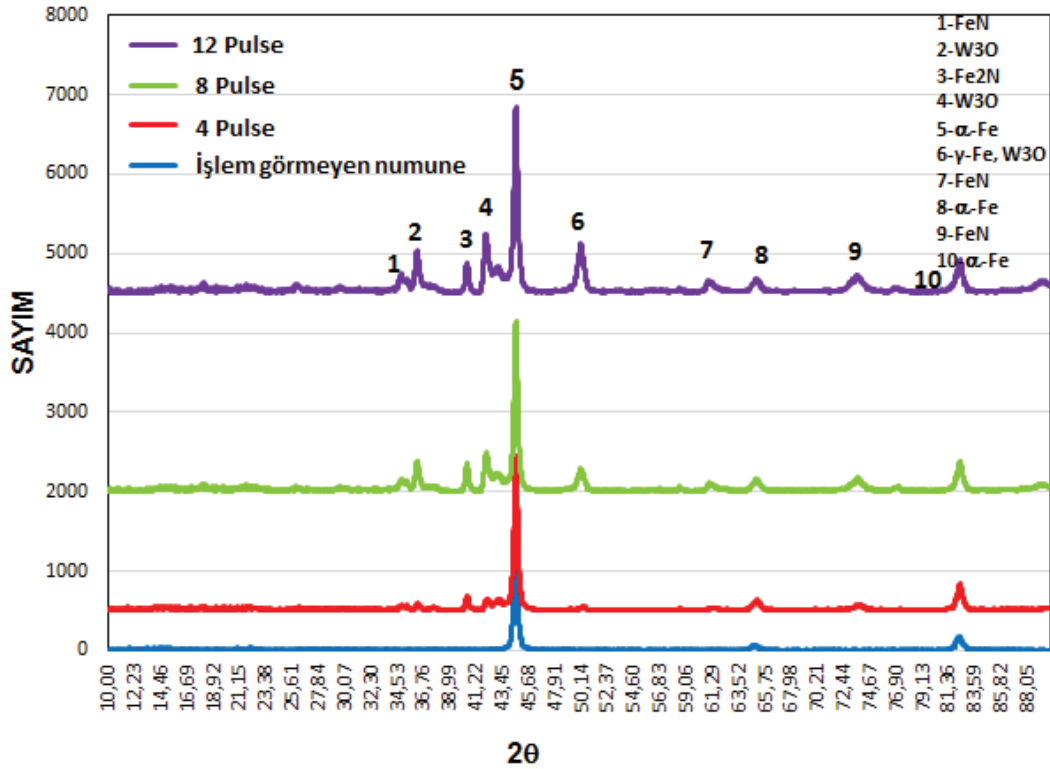


Şekil 7.5. 40 mm, 50 mm, 60 mm ve 70 mm numune-nozul mesafe aralığında 12 atım için modifikasyon tabaka kalınlık değerlerinin değişim grafiği

7.2. X-Işını Analiz Sonuçları

Atım plazma uygulanmadan önce DIN 1.2210 çeliklerinin x-ışını analizleri yapılmıştır. İşlem öncesi ana yapıdaki fazlar belirlenmiştir. Atım plazma yöntemi ile modifikasyon işleminden sonra 12 grup olan tüm deney numunelerine uygulanan x-ışını analizleri ile oluşan yeni fazlar bulunmuştur.

Şekil 7.6'da x-ışını analizi verilen işlem görmemiş DIN 1.2210 çeliği ve işlem sonrası meydana gelen yeni faz oluşumları 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numuneler için görülmektedir. $CuK\alpha$ radyasyonu yardımı ile gerçekleştirilen x-ışınları sonucu elde edilen fazlar grafik üzerinde verilmektedir.



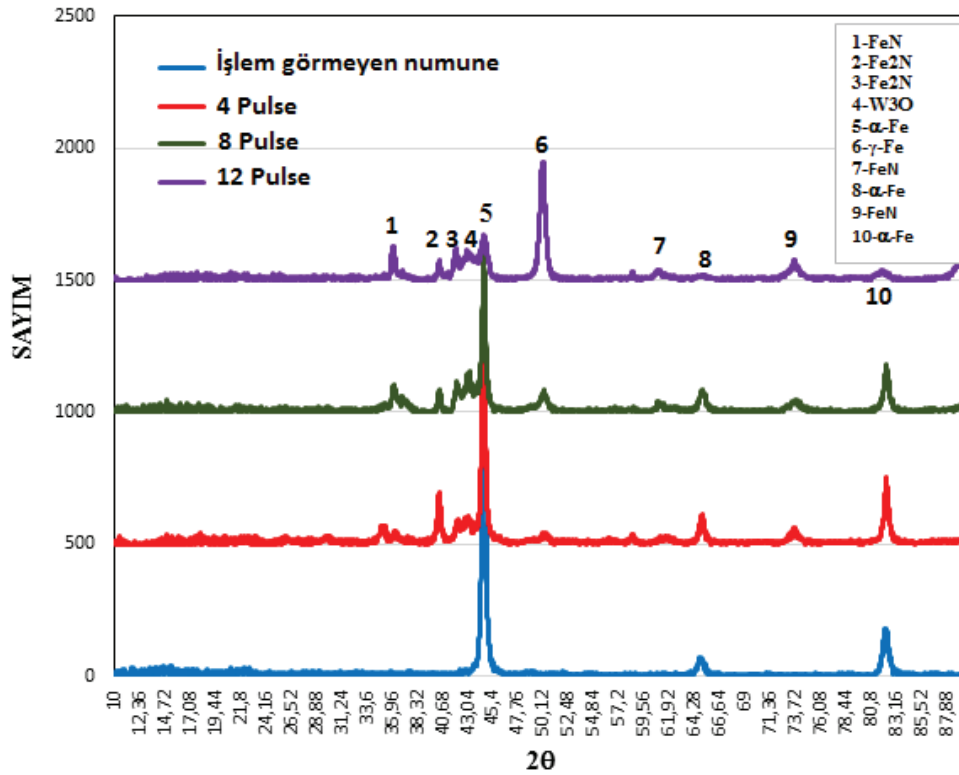
Şekil 7.6. İşlem görmeyen ve 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları

İşlem görmemiş DIN 1.2210 çeliğinde sadece α -Fe fazı bulunurken, işlem sonrası yeni fazların oluştuğu görülmüştür. Modifikasyon tabakasında FeN, Fe₂N, γ -Fe ve W₃O bileşiklerinin mevcut olduğu görülmüştür. Yapı içerisinde yüzey özelliklerine katkı sağladığı düşünülen bu fazların varlığı mekanik özellikler bakımından önemlidir [45-46].

Şekil 7.6'da görüleceği üzere atım sayıları aralarındaki tek fark olan bu üç grup numunelerden 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunedeki atım sayısının fazla olması nedeniyle pik genişlikleri artmıştır (FWHM değerleri büyümüştür). Atım plazma işlemi esnasında tükenen elektrod olan wolfram elektrodan geldiği düşünülen wolfram oksit ve Fe₂N bileşiklerinin pikleri 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunede 1 (40 mm, 4 atım) ve 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunelere kıyasla daha şiddetlidir. Bunun nedeninin atım sayısının artışıyla işlem süresinin artması olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, atım miktarı artmasıyla yüzeye giren iyonize ürün miktarı da artacaktır [47].

Ayrıca Scherrer bağıntısından da bilineceği üzere FWHM (pik genişliklerinin) değerlerinin artması tane boyutunun azaldığı anlamına gelmektedir. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numune gruplarında görülen pik genişlemeleri tane boyutlarının da küçüldüğünü anlamamızda yardımcı olmaktadır [48].

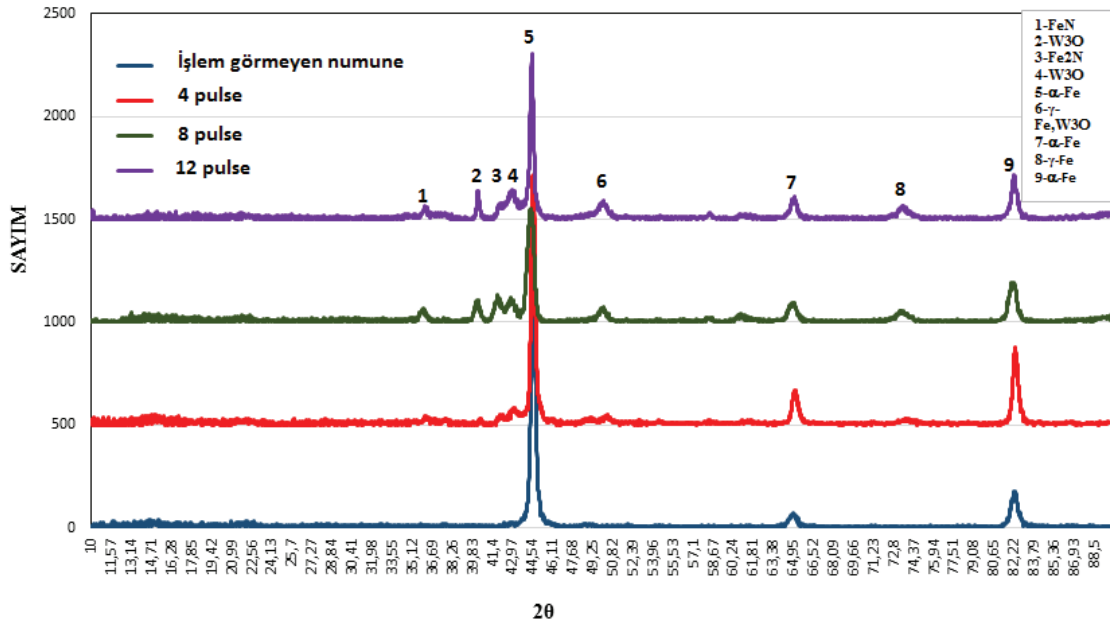
Şekil 7.7'de işlem görmemiş numune ile 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları görülmektedir. Modifikasyon tabakasında bu grup numunelerin yapılarında yine FeN, Fe₂N, γ -Fe ve W₃O fazlarının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7.7. İşlem görmeyen ve 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları

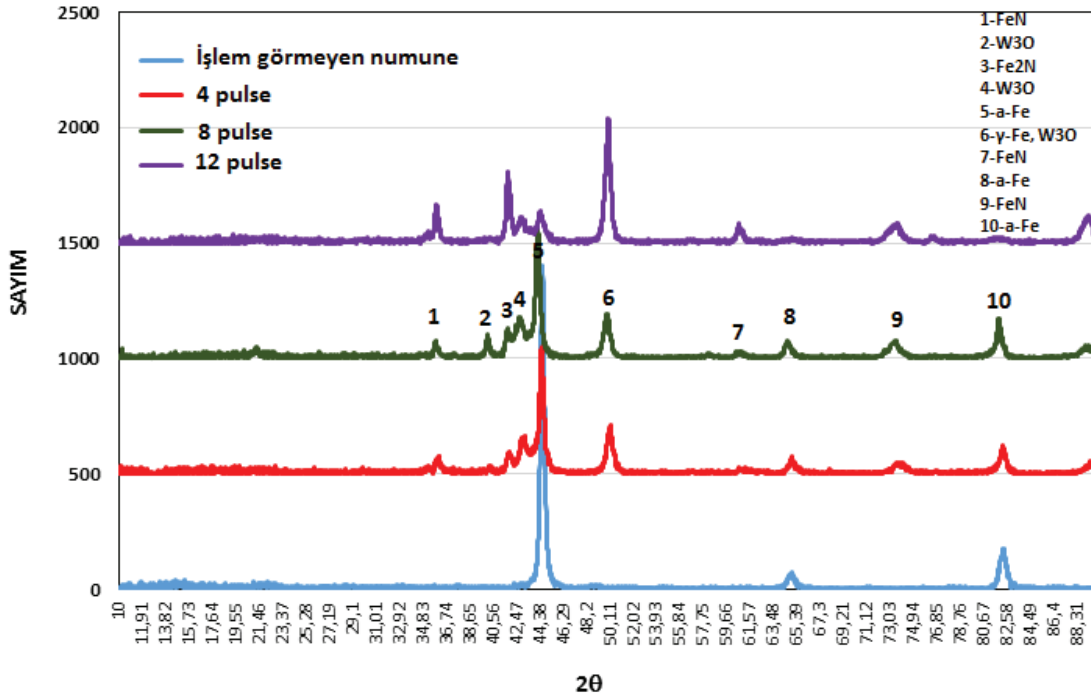
Şekil 7.7'de görüleceği üzere tek farkı atım sayıları olan bu üç grup numunelerden 12 atım uygulanmış 6 no'lu numunedeki östenit pik genişliğinin ve şiddetinin arttığı görülmektedir. Numune-nozul mesafe aralığının azlığı ve atım sayısının fazla oluşu ile yüzeyde aşırı ısınma oluşmuştur.

Şekil 7.8’de işlem görmemiş numune ile 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no’lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları görülmektedir. Bu numune grubunun modifikasyon tabakasında yine FeN, Fe₂N, γ -Fe ve W₃O fazlarının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7.8. İşlem görmeyen ve 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no’lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları

Şekil 7.9’da 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no’lu numunelerin x-ışını analizlerinde diğer numuneler için açıklamaya çalıştığımız gibi yeni faz oluşumları gözlemlenmiştir.



Şekil 7.9. İşlem görmeyen ve 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin x-ışını analiz sonuçları

Şekil 7.9'da en fazla atım sayısına sahip olan 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin diğer analizlerde görüldüğü gibi pik şiddetinde ve genişliklerinde artış görülmüştür.

X-ışınları sonuçlarında görülmüştür ki; modifikasyon işlemi sonrası yapıda yeni fazlar oluşmuştur. Atım plazma uygulanmadan önce sadece α -Fe fazının bulunduğu numunelerde, işlem sonrası farklı faz oluşumları gözlemlenmiştir. Bu fazlar nitrür esaslı fazlar (FeN-Fe₂N), γ -Fe ve W₃O bileşikleridir. Oluşan bu yeni fazlar malzemenin mekanik özelliklerini ve aşınma dayanımını olumlu yönde etkileyecektir. Ayrıca difraksiyon çizgilerin bir kısmında genişlemeler meydana gelmiştir [46].

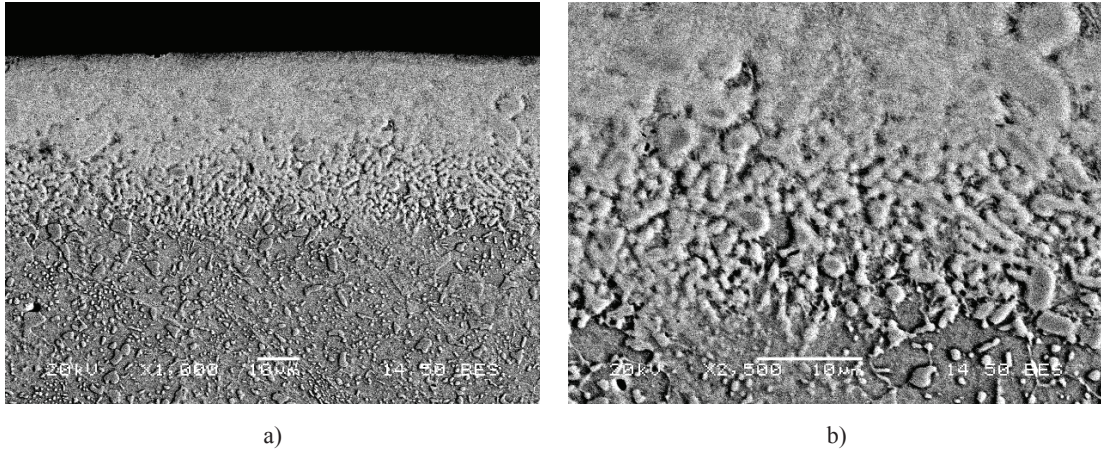
Analiz sonuçlarına göre, özellikle atım sayısının artmasıyla işlem süresinin uzayacağını ve bu sebeple yüzeye giren iyonize ürün miktarının artabileceği literatürde belirtilmektedir [47].

Ayrıca, yüzeye uygulanan atım sayısı arttıkça artan kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Son olarak, atım plazma sebebiyle yüzeyde oluşmuş basma gerilmelerinin

de (deformasyondan dolayı oluşan) pik genişlemelerine sebep olduğu literatürde belirtilmektedir [42].

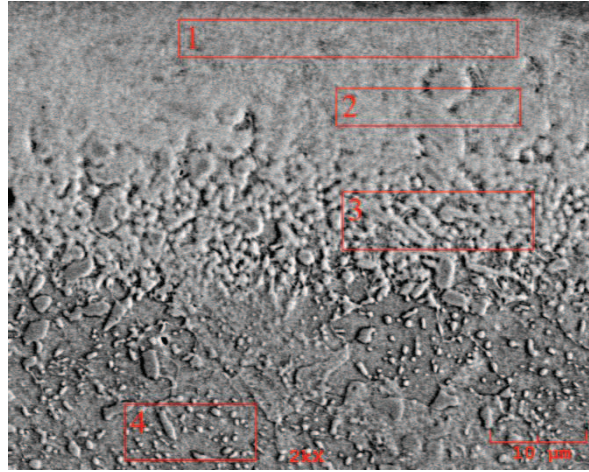
7.3. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri

Kesit görüntü için hazırlanan numunelerden bazıları iletken bakalite alınarak SEM analizleri için hazırlanmıştır.



Şekil 7.10. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.10 (a)'da 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir. Resimden anlaşılacağı gibi atım plazma yöntemi ile yüzey modifikasyonu sağlanmıştır. Ayrıca yüksek büyütmede bakılan numunede (Şekil 7.10 c) modifikasyon tabakası ile altlık arasında kolonsal dendritik yapı oluşumu gözlenmiştir. Atım-plazma yönteminin neden olduğu hızlı katılaşma modifikasyon tabakasında metastabil yapılar oluşturmuş ve bu yapıların oluşumu mekanik özelliklerin gelişmesi bakımından önemli olduğu düşünülmektedir [49].

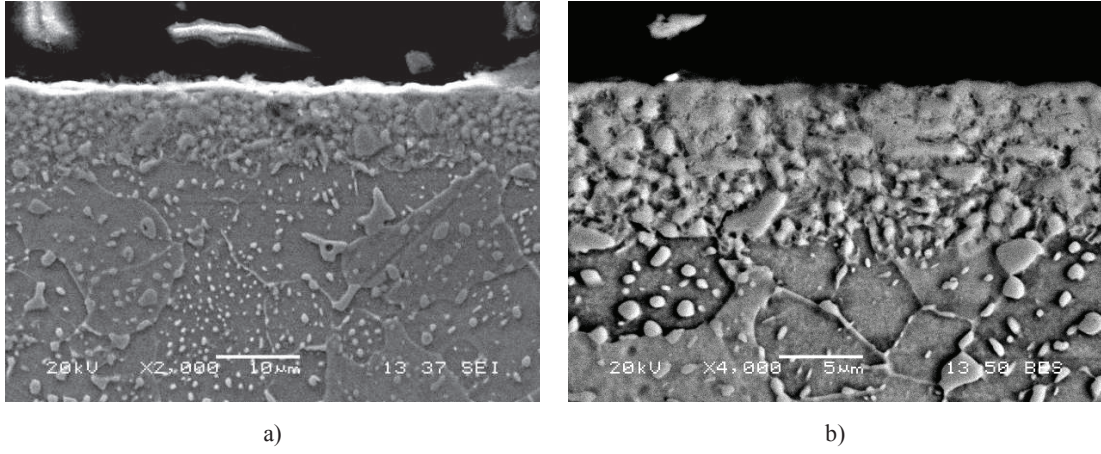


Şekil 7.11. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü

Tablo 7.2. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3 ve 4 no'lu bölgelerden alınmış EDS analizleri

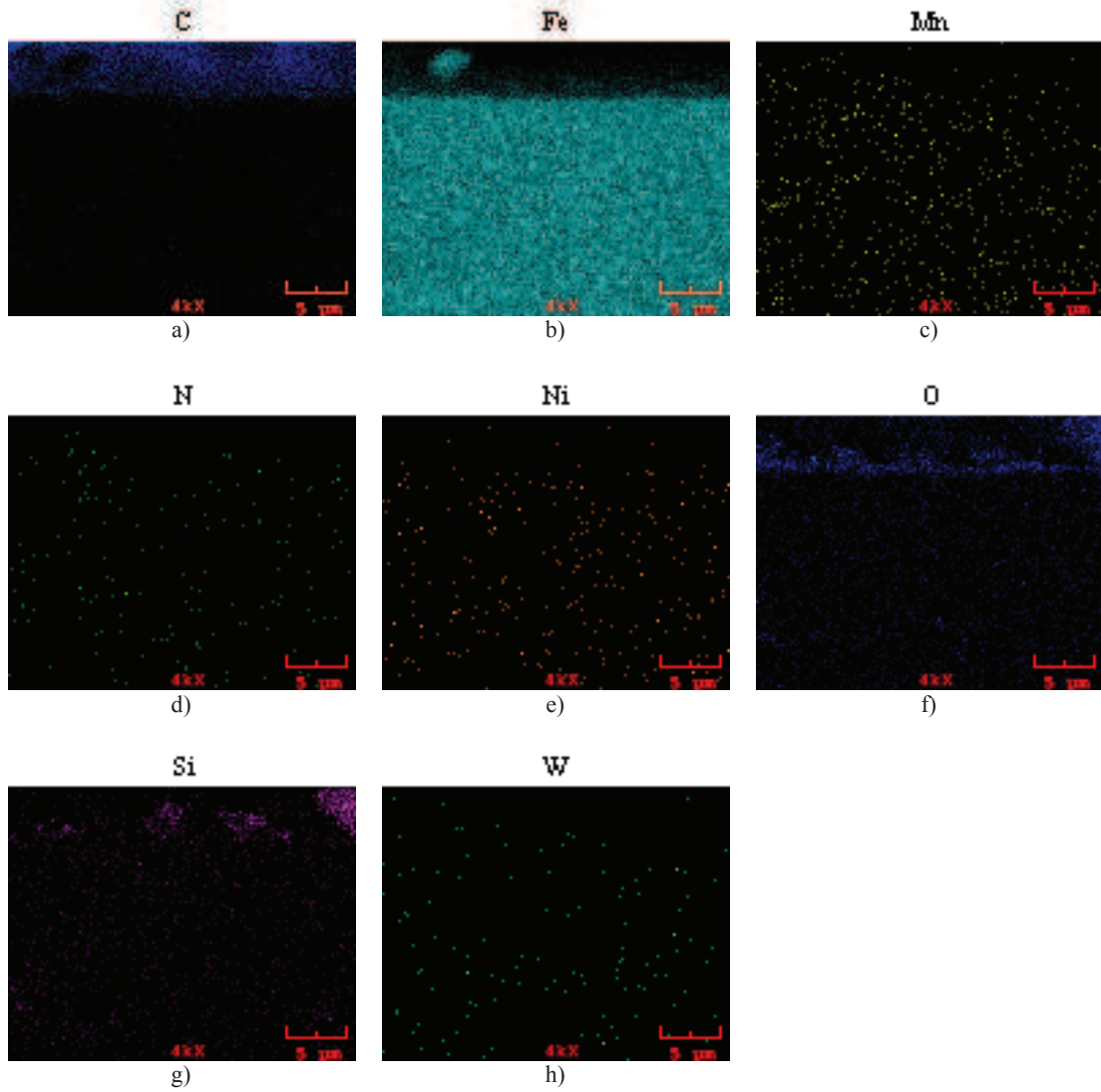
No	% C (ağırlıkça) miktarı	% N (ağırlıkça) miktarı	% Cr (ağırlıkça) miktarı	% O (ağırlıkça) miktarı	% Si (ağırlıkça) miktarı	% Mn (ağırlıkça) miktarı	% Fe (ağırlıkça) miktarı	% Ni (ağırlıkça) miktarı	% W (ağırlıkça) miktarı
1	0,066	0,637	0,000	3,100	0,474	0,328	93,599	0,739	1,057
2	0,625	0,206	0,000	1,738	0,210	0,477	95,242	0,545	0,958
3	0,338	0,166	0,000	2,447	0,098	0,364	93,499	0,388	2,701
4	0,000	0,000	0,221	0,000	0,618	0,461	98,197	0,503	0,000

Şekil 7.11'de EDS görüntüsü olan 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin, modifikasyon tabakasından içeri doğru EDS analizleri yapılmıştır. 1.bölgede miktar olarak yüksek olan W elementi yüzeyden içeriye doğru ilerlendiğinde miktar olarak önce düşen sonra yükselen bir eğilim gösterirken, N elementi yüzeyden numune içerisine doğru düzenli bir azalma eğilimi göstermiştir. Atım plazma yönteminin açık atmosferde uygulanan bir işlem olması sebebiyle O elementi varlığı beklenen bir sonuçtur. 4 no'lu bölgede ise modifikasyon tabakasının dışına çıkılması itibariyle çeliğin ana yapısında hiç bulunmayan W ve N elementlerine rastlanmamıştır.



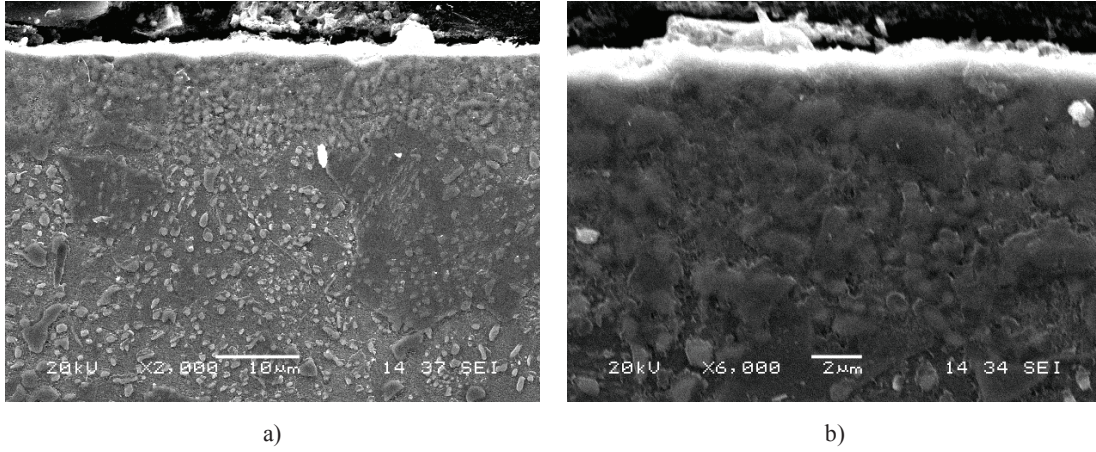
Şekil 7.12. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.12'de 4 no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir. Numune-nozul mesafe aralığı 50 mm olan 4 atım uygulanmış bu numunede modifikasyon tabaka kalınlığının az olması atım sayısının azlığı nedeniyle beklenen bir sonuçtur.



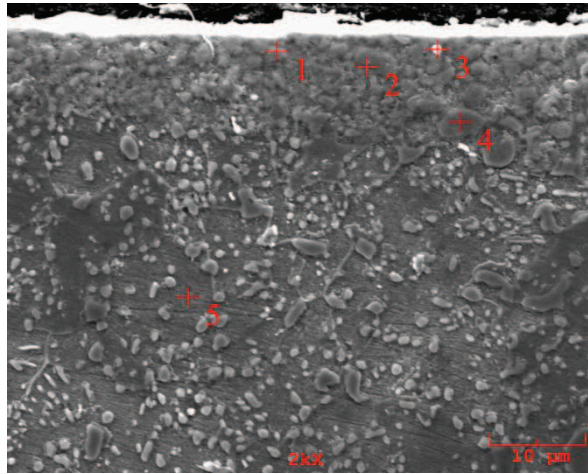
Şekil 7.13. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin a) C, b) Fe, c) Mn, d) N, e) Ni, f) O, g) Si, h) W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları

Şekil 7.13'de 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin modifikasyon tabakasında element dağılım haritalaması görülmektedir. Bölgeden alınan element dağılım haritalarına bakıldığında atım plazma işlemi esnasında tükenen elektrodan geldiği düşünülen W elementine rastlanmıştır. İşlem sonucu olarak yapıda görülmesi beklenen N elementi ise yoğun oranda Şekil 7.13. (d)'de görülmektedir. Oksijen element analizi sonucunda, modifikasyon tabakasının yüzeyinde oksijen varlığı belirlenmiştir (Şekil 7.13 f), açık atmosferde yapılan bir proses olduğundan bu beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7.14. a) 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.14 (a) ve (b)'de numune-nozul mesafe aralığı 50 mm olan ve 8 atım uygulanmış 5 no'lu numunenin SEM görüntüleri görülmektedir. 4 (4 atım) no'lu numuneye göre artan atım sayısı (numune-nozul mesafe aralığı aynı) daha kalın bir modifikasyon tabakası elde etmemizi sağlamıştır.

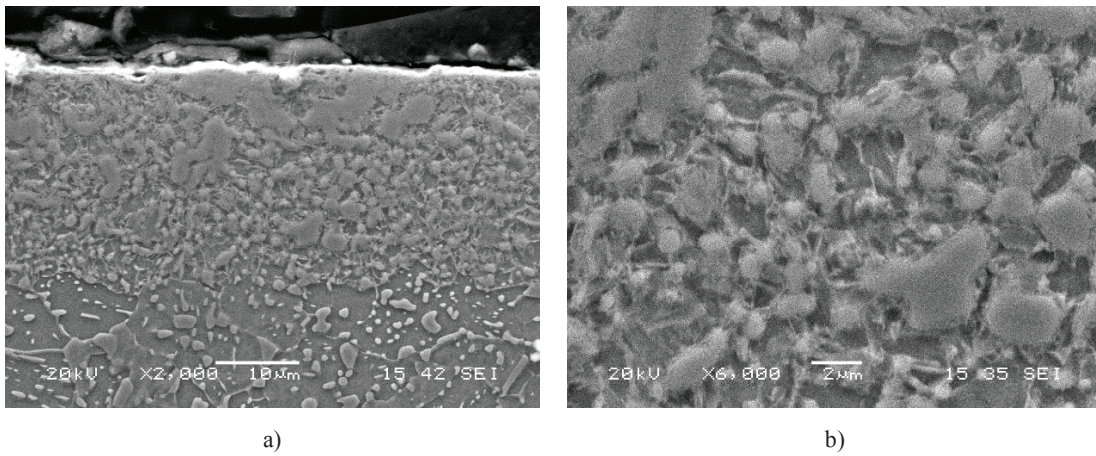


Şekil 7.15. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü

Tablo 7.3. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

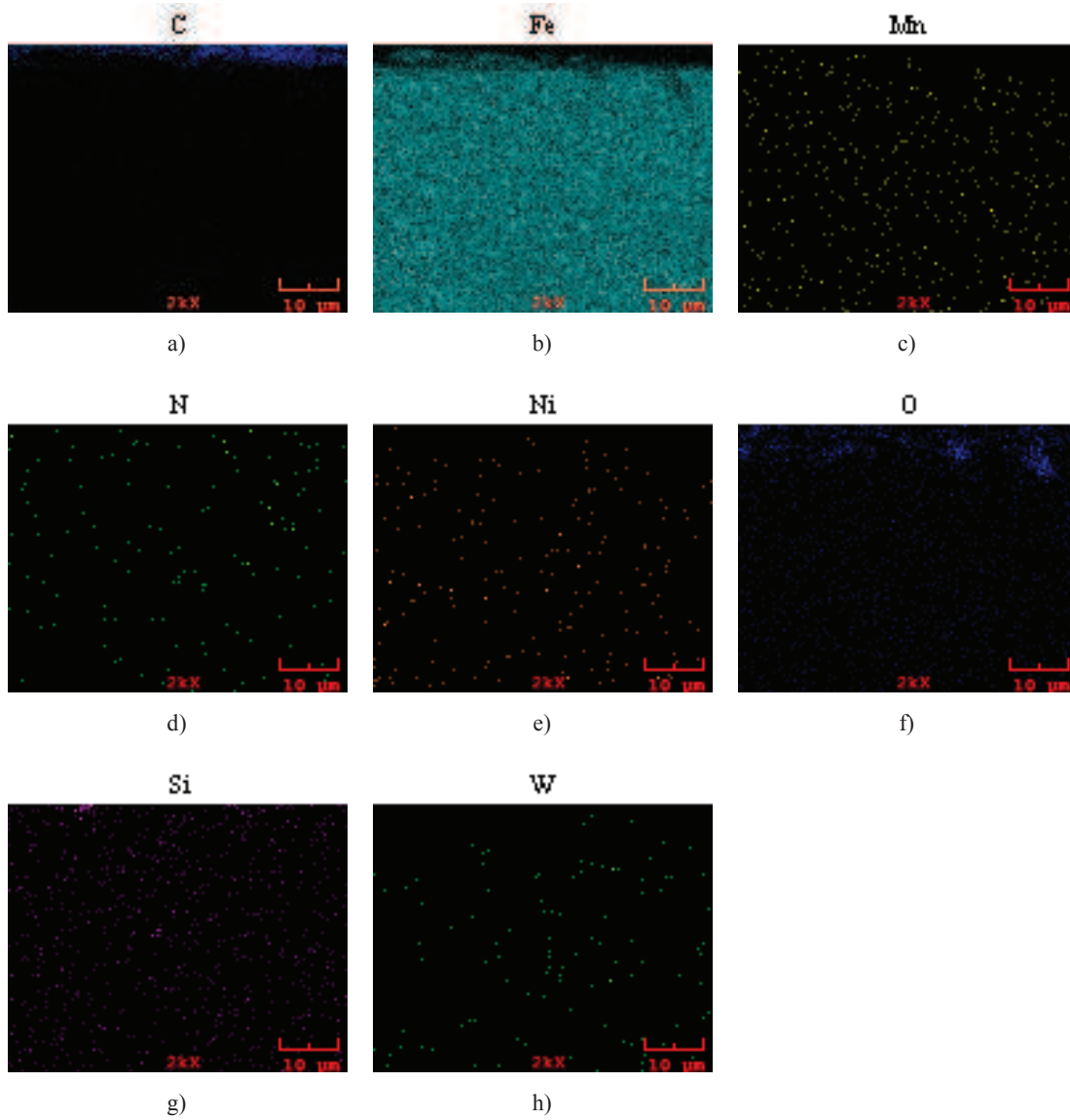
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	0,956	3,802	91,771	0,339	3,133
2	0,098	0,210	2,465	93,226	0,437	3,565
3	2,630	0,000	5,730	86,983	1,091	3,566
4	0,568	0,000	2,014	92,726	0,000	4,692
5	0,000	0,000	2,133	96,785	0,879	0,000

Şekil 7.15’de ise EDS görüntüsü olan 5 (50 mm, 8 atım) no’lu numunenin, modifikasyon tabakasından içeri doğru EDS analizleri yapılmıştır. 1.noktada miktar olarak yüksek olan W elementi yüzeyden içeriye doğru ilerlendiğinde miktar olarak yükselen bir eğilim gösterirken, N elementi yüzeyden numune içerisine doğru azalma eğilimi göstermiştir. 5 no’lu noktada ise modifikasyon tabakasının dışına çıkılması itibariyle çeliğin ana yapısında hiç bulunmayan W ve N elementlerine rastlanmamıştır. Ayrıca açık atmosferde yapılan bir proses olduğundan oksijen varlığı beklenen bir sonuçtur.



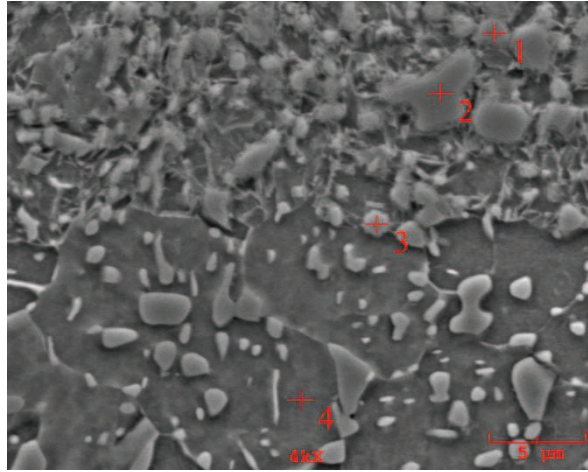
Şekil 7.16. a) 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.16 (a) ve (b) de 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numune yüzeyinin SEM görüntüleri görülmektedir. Şekil 7.16 (a)’da görüleceği üzere artan atım sayısı ile, aynı numune-nozul mesafe aralığına sahip 4 (50 mm, 4 atım) ve 5 (50 mm, 8 atım) no’lu numunelere kıyasla, modifikasyon tabakasının kalınlığında artış gözlemlenmiştir. Atım sayısı arttıkça işlem süresi de artacağından W konsantrasyonunda da artış beklenmektedir. Şekil 7.16 (b)’ de ise yine modifikasyon tabakasındaki taneler yüksek büyütmede incelenmiştir. Altlık malzemeye göre tane boyutlarının küçüldüğü görülmektedir. Tane küçülmesi malzemenin sertlik değerlerini olumlu yönde etkileyecektir. Artan atım sayısı ile tane boyutunun küçülmesi beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7.17. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin a) C, b) Fe, c) Mn, d) N, e) Ni, f) O, g) Si, h) W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları

Şekil 7.17'de 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin modifikasyon tabakasında element dağılım haritalaması görülmektedir. Bölgeden alınan element dağılım haritalarına bakıldığında atım plazma işlemi esnasında tükenen elektrottan geldiği düşünülen W elementine modifikasyon tabakasında rastlanmıştır. İşlem sonucu olarak yapıda görülmesi beklenen N elementi ise yoğun oranda Şekil 7.17 (d)'de görülmektedir. Oksijen element analizi sonucunda da, modifikasyon tabakasının yüzeyinde oksijen varlığı belirlenmiştir.

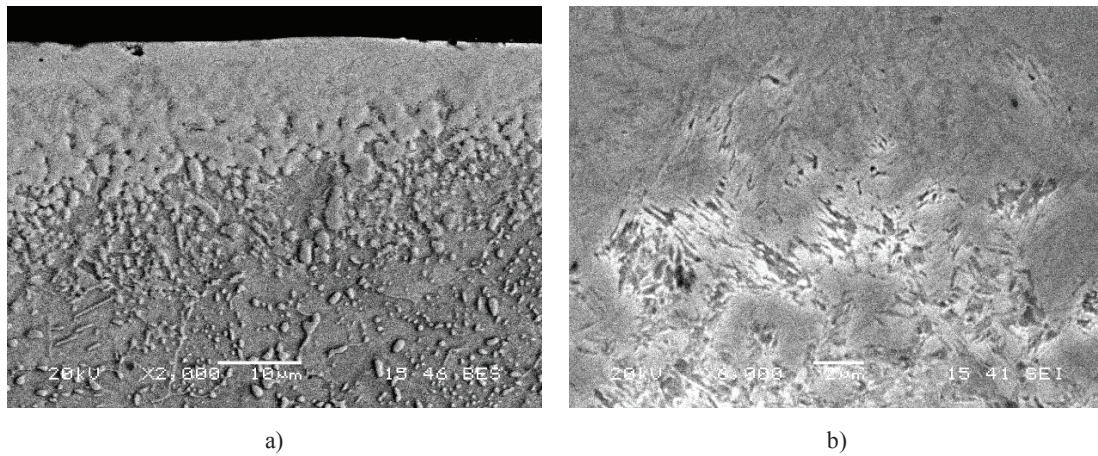


Şekil 7.18. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü

Tablo 7.4. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Cr (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,400	0,236	2,677	0,000	0,000	0,527	93,511	0,749	1,965
2	6,568	0,394	1,225	0,000	0,000	0,846	89,009	0,000	2,353
3	2,435	0,857	0,847	0,000	0,557	1,150	92,390	0,482	2,988
4	0,000	0,000	0,000	0,236	0,000	0,000	96,137	0,950	0,000

Şekil 7.18'de ise EDS görüntüsü olan 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin, modifikasyon tabakasından içeri doğru farklı noktalarda EDS analizleri yapılmıştır. 1.noktada var olan W ve N elementleri yüzeyden içeriye doğru ilerlendiğinde miktar olarak yükselen bir eğilim göstermişlerdir.

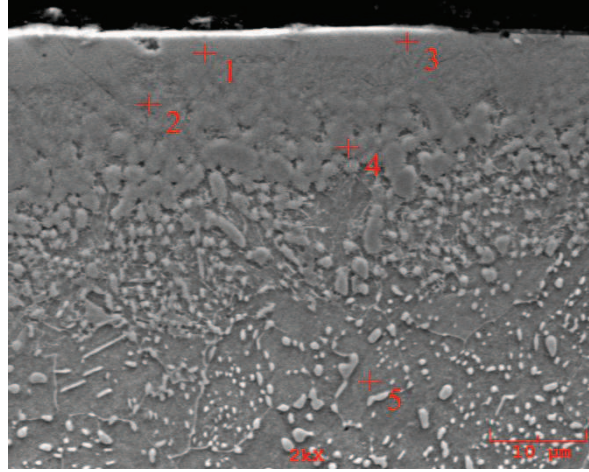


a)

b)

Şekil 7.19. a) 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.19. (a)'da 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 7.19. (b)'de ise yüksek büyütmede modifikasyon tabakasından SEM görüntüsü verilmiştir.

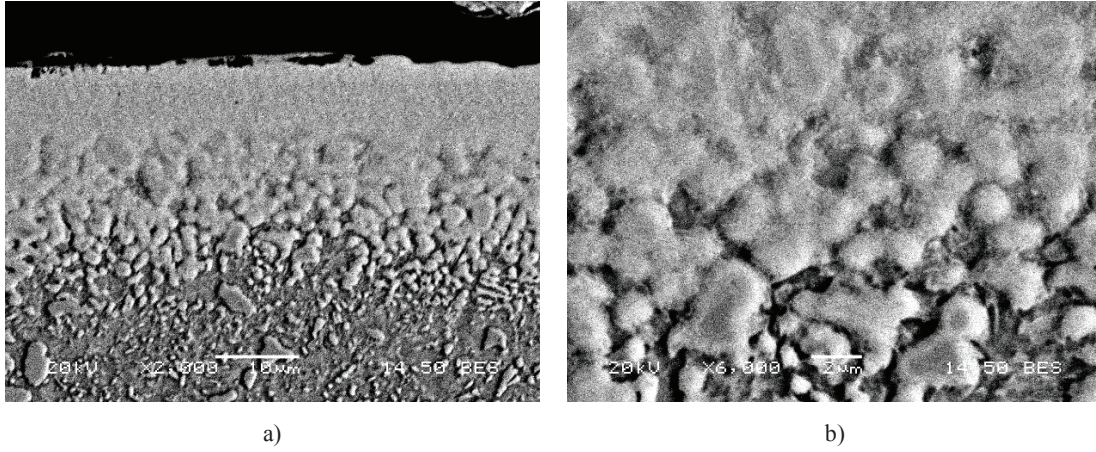


Şekil 7.20. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü

Tablo 7.5. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

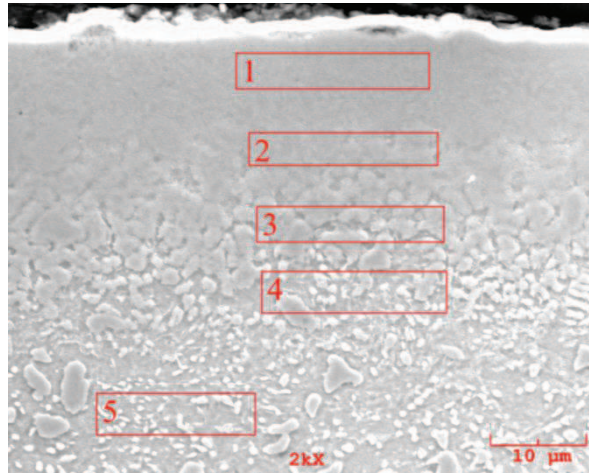
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,814	0,000	2,515	0,000	94,683	0,540	3,006
2	0,000	0,000	2,746	0,565	93,327	0,394	1,448
3	0,000	0,000	2,767	0,000	93,688	0,539	2,968
4	0,000	0,000	1,864	0,000	94,931	0,306	1,397
5	0,000	0,000	2,891	0,000	95,989	1,120	0,000

Şekil 7.20'de ise EDS görüntüsü olan 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin, modifikasyon tabakasından içeri doğru farklı noktalarda EDS analizleri yapılmıştır. 3.noktada var olan W elementi yüzeyden içeriye doğru ilerlendiğinde önce miktar olarak yükselen bir eğilim gösterirken daha sonra azalmıştır. N elementine ise EDS analizlerinde rastlanmamıştır. Eğer EDS analizleri farklı noktalardan alınacak olsaydı N atomuna rastlanılabilirdi çünkü atım plazma prosesinde N gazı kullanılmaktadır.



Şekil 7.21. a) 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numune yüzeyinin a) SEM görüntüsü, b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.21 (a) ve (b)'de 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numune yüzeyinin farklı büyütmelerde alınan SEM görüntüleri görülmektedir. 4 (50 mm) no'lu numune ile aynı atım sayısına sahip olan 10 no'lu numunenin modifikasyon tabakasının daha kalın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, 4 no'lu numunedeki numune-nozul mesafe aralığının azlığı ve yüzeyde aşırı ısınma oluşumu olabilir.

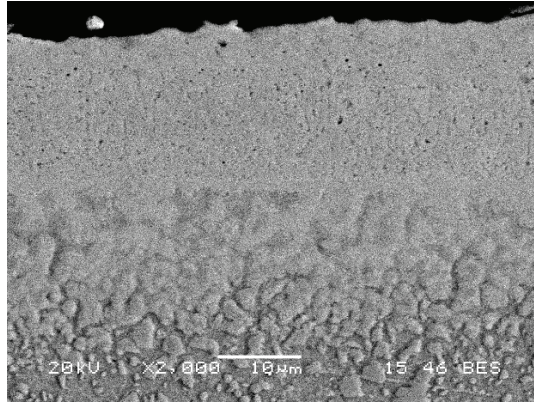


Şekil 7.22. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin EDS görüntüsü

Tablo 7.6. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu bölgelerden alınmış EDS analizleri

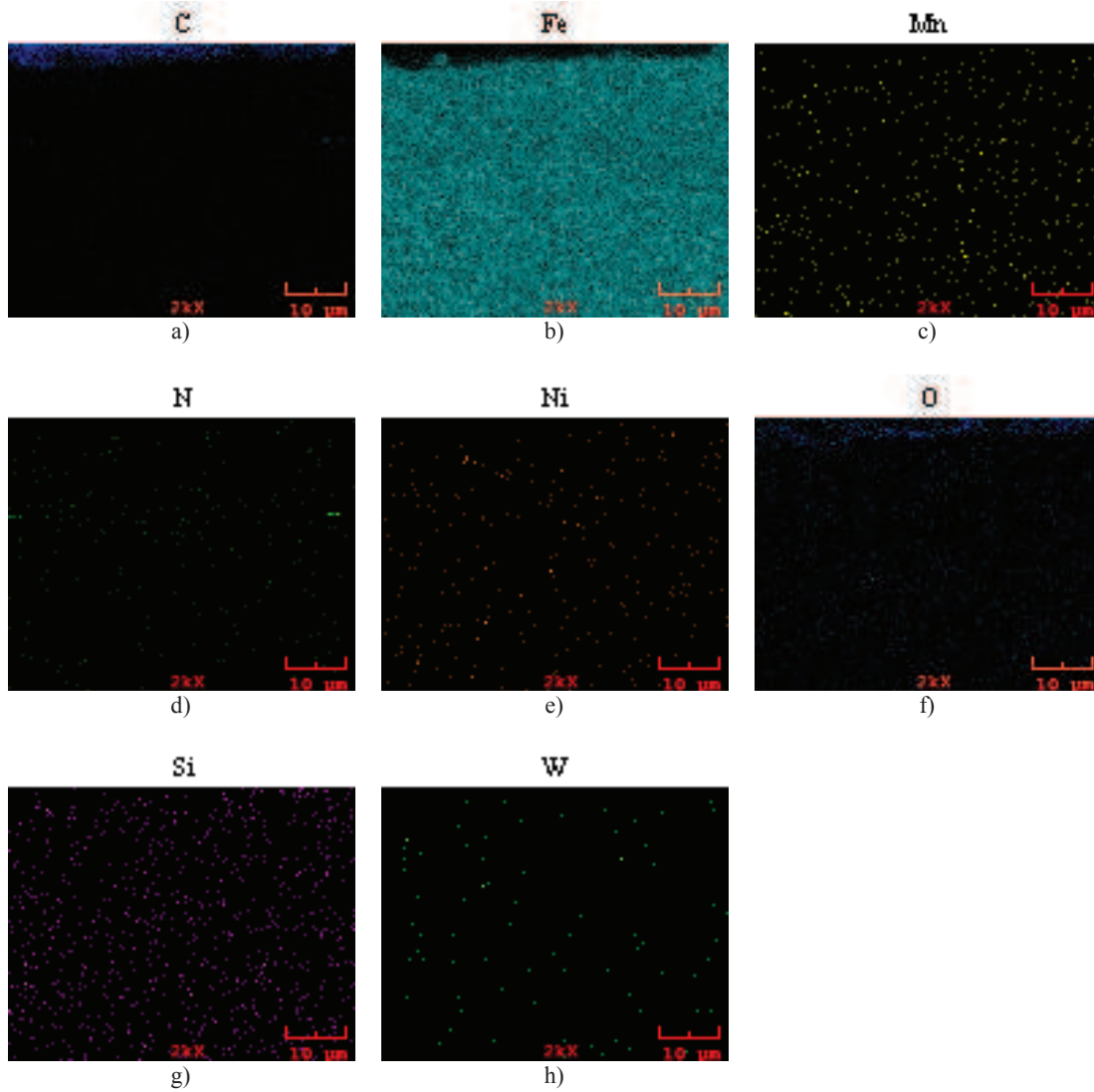
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	0,500	0,870	0,000	0,413	96,389	0,103	2,225
2	0,000	0,402	2,613	0,688	0,147	93,906	0,200	2,044
3	0,000	0,303	1,312	0,801	0,279	94,333	0,520	2,452
4	0,196	1,678	1,909	0,256	0,273	93,644	0,414	1,629
5	0,111	0,000	1,702	0,483	0,466	94,469	0,677	0,000

Şekil 7.22'de EDS görüntüsü olan 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin, modifikasyon tabakasından içeri doğru EDS analizleri yapılmıştır. Wolfram elementi ilk olarak yüksek değer vermiş sonra azalmış ve takibinde değersel olarak dalgalanmalar gözlemlenmiş ve tabaka dışına çıkınca miktarsal olarak hiç rastlanmamıştır. Atım plazma prosesinde kullanılan gazdan geldiği düşünülen N elementinin ise yapıya katıldığı yine EDS analiz sonuçlarından anlaşılabilir.



Şekil 7.23. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü

Şekil 7.23'de 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numune yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir. Yine atım plazma işlemi ile modifikasyon işleminin yapılabildiği görülmektedir.



Şekil 7.24. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin a) C, b) Fe, c) Mn, d) N, e) Ni, f) O, g) Si, h) W elementlerinin EDS analizleri ile element dağılım haritaları

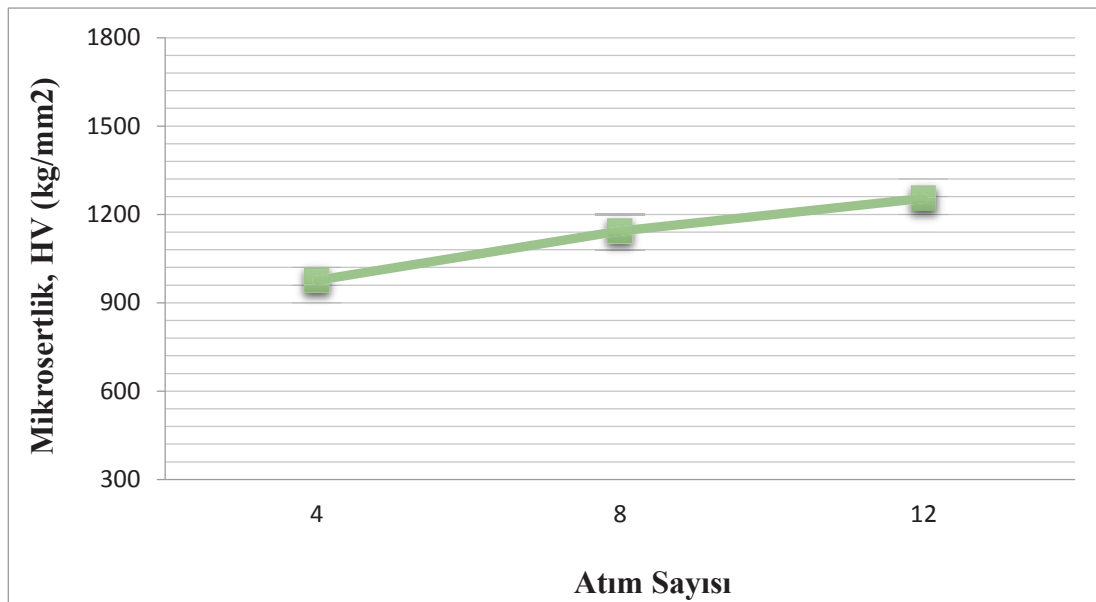
Şekil 7.24'de 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin modifikasyon tabakasında element dağılım haritalaması görülmektedir. Bölgeden alınan element dağılım haritalarına bakıldığında atım plazma işlemi esnasında tükenen elektrod olan W elementine malzemede rastlanmıştır. İşlem sonucu olarak yapıda görülmesi beklenen N elementine yüzeye yakın bölgede rastlanmıştır. N ve W elementinin 6 no'lu (50 mm, 12 atım) numuneye kıyasla element dağılım haritasında az gözükmesinin sebebi, numune-nozul mesafe aralığının artması ile odaklanma sorunu oluşmuş olabileceği ve buna bağlı olarak yüzeye giren iyonize ürün miktarının azalabileceği düşünülmektedir [49].

7.4. Mikrosertlik Sonuçları

Tüm numune gruplarında, 3 farklı bölgeye sertlik deneyi uygulanmış olup, elde edilen değerlerin ortalaması alınarak numunelerin sertlik değerleri belirlenmiştir.

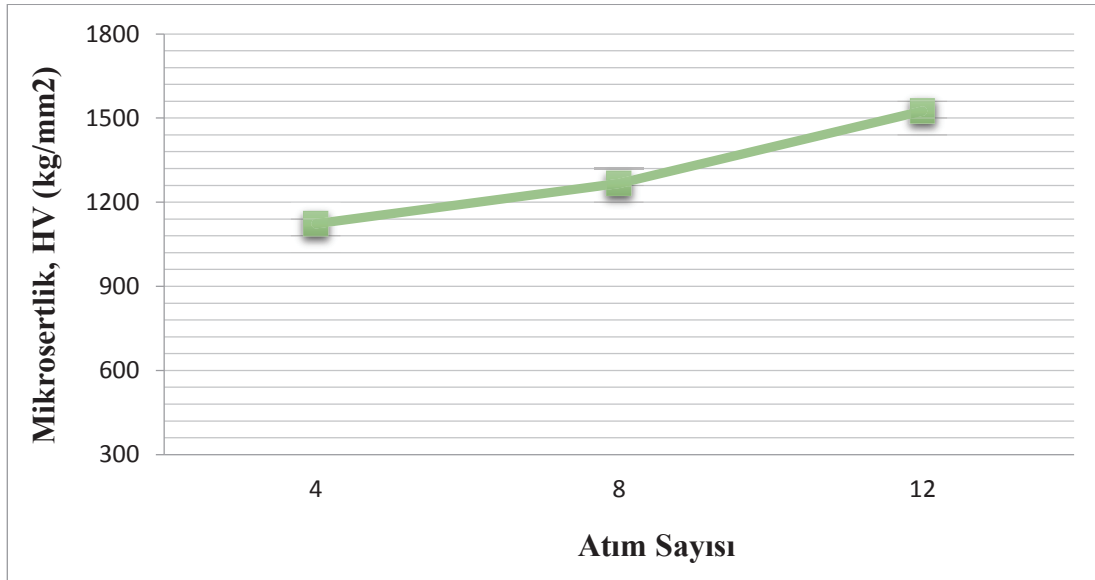
Şekil 7.25’de 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no’lu numunelerin karşılaştırmalı sertlik değerleri görülmektedir, bu üç grup çelik için elde edilmiş en yüksek sertlik değerleri sırasıyla 976 HV, 1144 HV ve 1255 HV’ dir. 1, 2 ve 3 no’lu numune grupları arasında atım sayısı farklılığı sertlik değerlerini etkilemiştir. Atım sayısı arttıkça bütün numunelerin sertlik değerlerinde artış görülmüştür bunun nedeni artan atım sayısı ile yüzeye iyonize olan gaz ürün miktarının (wolfram ve azot) artmasıdır. Ayrıca hızlı ısınma ve soğumanın da etkisi ile tane boyutunun küçülmekte ve bu durumda sertlik değerlerinde artışa neden olmaktadır [50].

Bu grup numunelerde, numune-nozul mesafe aralığının az oluşu (40 mm) yüzeyde aşırı ısınma ile tavlama oluşumuna ve yeniden kristalleşmeye neden olarak tane büyümesine neden olmuştur ve böylece elde edilen sertlik değerleri düşük çıkmıştır.



Şekil 7.25. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no’lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri

Şekil 7.26'da 4, 5 ve 6 no'lu numunelerin mikrosertlik değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. 50 mm'de yapılmış modifikasyon işlemi sonunda 4 (4 atım), 5 (8 atım) ve 6 (12 atım) no'lu numunelerin en yüksek sertlik değerleri sırasıyla 1123 HV, 1267 HV ve 1525 HV' dir. Numune grupları arasındaki atım sayısı farkı bu sertlik değişikliklerinin sebebidir. Ayrıca 3 (40 mm, 12 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin aralarındaki fark olan numune-nozul mesafe aralığı da sertliği etkileyen diğer bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. 3 no'lu numunede sertlik değeri 1255 HV elde edilirken, 6 no'lu numunede 1525 HV elde edilmiştir. Mesafenin artması ile yüzeyin aşırı ısınması ve buna bağlı olarak tane büyümesi önlenmiş olup sertlik artışı beklenen bir sonuçtur.



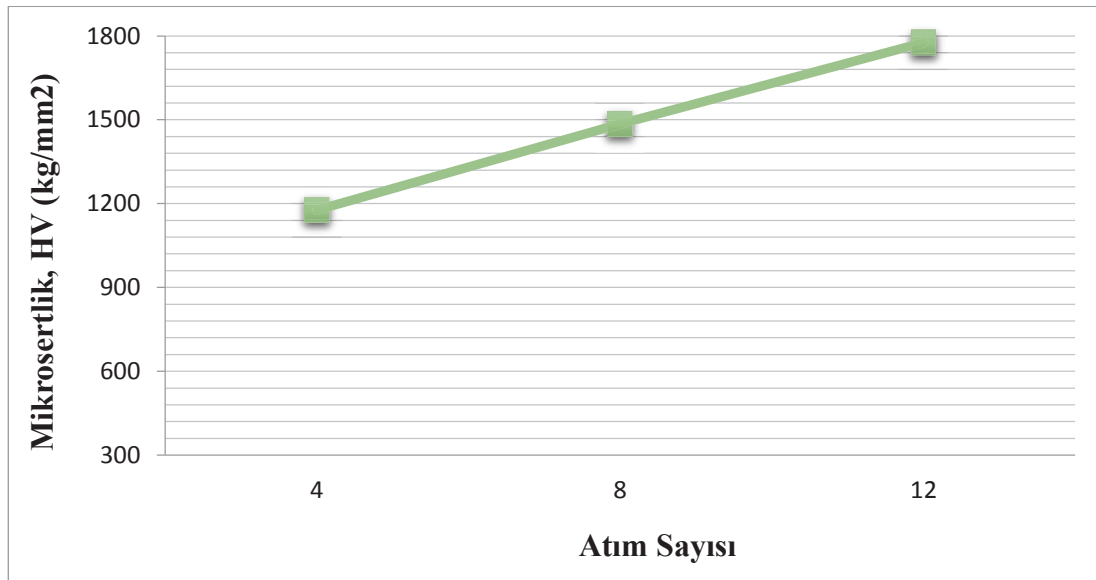
Şekil 7.26. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri

Şekil 7.27'de 7, 8 ve 9 no'lu numunelerin mikrosertlik değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. 60 mm'de yapılmış modifikasyon işlemi sonunda 7 (4 atım), 8 (8 atım) ve 9 (12 atım) no'lu numunelerin en yüksek sertlik değerleri sırasıyla 1177 HV, 1485 HV ve 1776 HV' dir.

Plazma sıcaklığı yüksektir. Atım sayısı arttıkça elastik deformasyon artar, bu deformasyondan dolayı tane boyutu azalır, tane boyutu azaldıkça, sertlik değerlerinin artmasına neden olur. Anlık enerji depozisyonu, hızlı katılaşma, soğuma, termal gerilmeye, şok dalgalarına ve artırılmış difüzyona neden olmaktadır. Ayrıca, atım

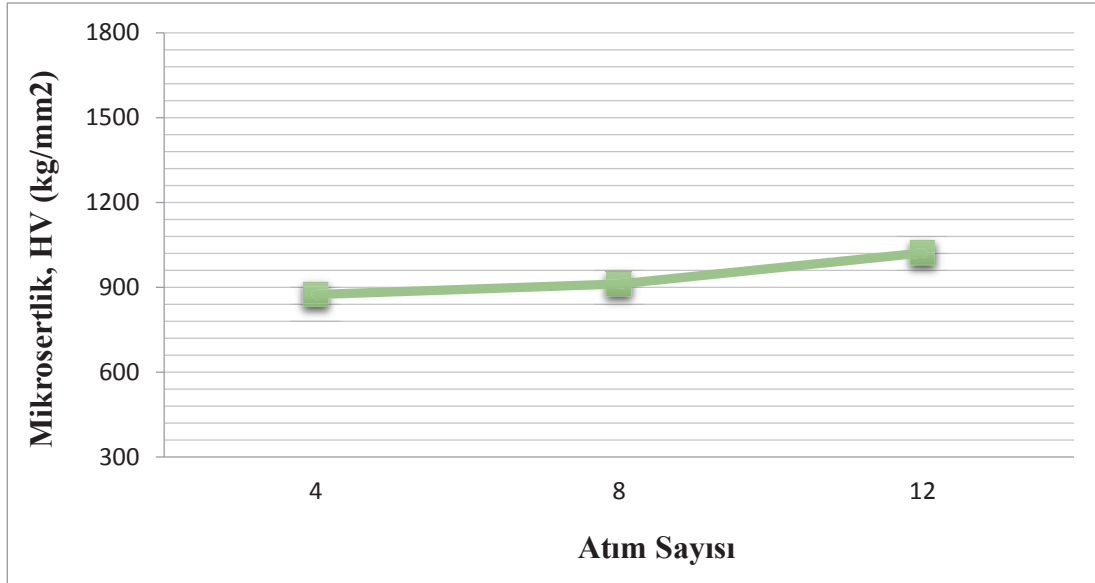
plazma esnasındaki yüksek ve yoğun iyon akışı sertliği ve takibinde de tribolojik özellikleri geliştirmektedir.

Atım sayısının fazla olması ve numune-nozul mesafesinin optimum olması sebebiyle 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin sertliği en yüksektir. Elde edilen sertlik değeri 1776 HV'dir. Bu sertlik, diğer yüzey işlemlerinde elde edilen sonuçlara göre çok yüksek bir değerdir. Bu artış miktarı ile işlem görmemiş numunenin sertliği 170 HV olan sertliği neredeyse 10 kat artırılmıştır. Geleneksel yüzey yöntemlerine göre bu çok büyük bir artıştır. İşlem başarılı şekilde yüzeyde uygulanabilmiş ve yüzeyde mekanik özellikler geliştirilebilmiştir.



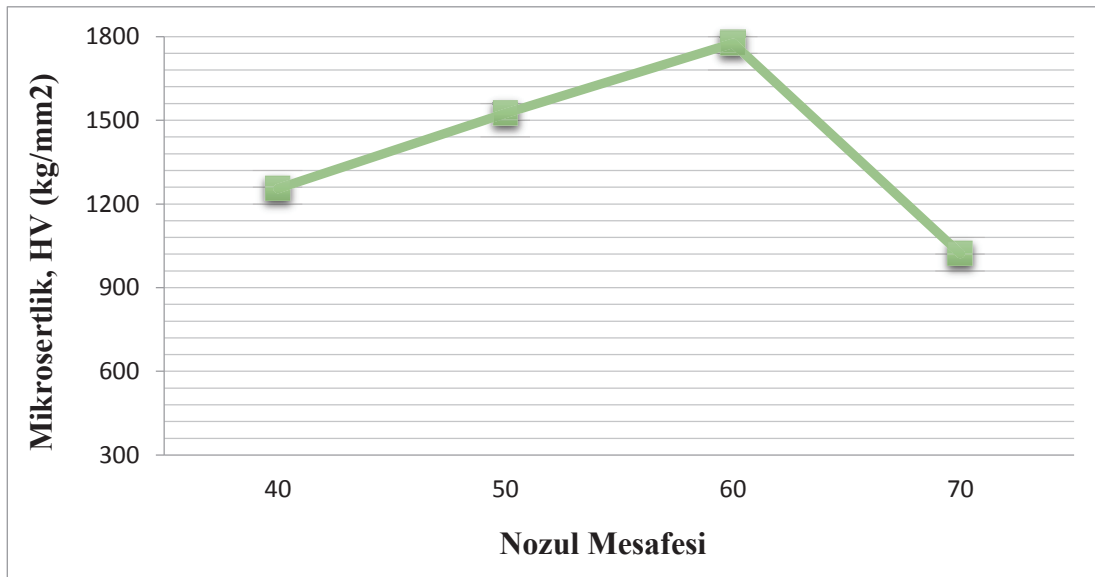
Şekil 7.27. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri

Şekil 7.28'de 10, 11 ve 12 no'lu numunelerin mikrosertlik değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. Mesafenin en yüksek değeri olan 70 mm'de yapılmış modifikasyon işlemi sonunda 10 (4 atım), 11 (8 atım) ve 12 (12 atım) no'lu numunelerin en yüksek sertlik değerleri sırasıyla 874 HV, 912 HV ve 1022 HV'dir. En düşük sertliğin, mesafenin en yüksek değer olduğu ve atım sayısı 4 olan 70 mm mesafede olduğu görülmektedir. Mesafenin artması nozul ile malzeme yüzeyinin etkileşimini azalttığı, yüzeye giren iyonize ürünlerin miktarının diğer mesafelerde aynı oranda olmadığı düşünüldüğü için bu sertlik düşüşü beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7.28. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri

Şekil 7.29'da mikrosertlik karşılaştırmaları görülen 3 (40 mm, 12 atım), 6 (50 mm, 12 atım), 9 (60 mm, 12 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin sırasıyla en yüksek sertlik değerleri 1255 HV, 1525 HV, 1776 HV, 1022 HV' dir. Bu değerlerin grafiği aşağıda gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere numune-nozul mesafe aralığının değişmesiyle birlikte sertlikte değişmeler gözlenmektedir.



Şekil 7.29. 3 (40 mm, 12 atım), 6 (50 mm, 12 atım), 9 (60 mm, 12 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin atım sayılarına göre mikrosertlik değerleri

Mikrosertlik çalışmaları sonucunda; x-ışınları analizleri ile modifikasyona uğramış tabakada varlıkları belirlenen nitrür esaslı ve wolfram esaslı fazların sertliğe artırıcı yönde bir etkiye sahip oldukları görülmüştür [50]. Özellikle yapıdaki FeN ve Fe₂N ve wolfram esaslı fazların mekanik özelliklerin gelişmesinde olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. Atım plazma metastabil ultra ince tanelerin oluşumuna sebebiyet vermektedir [43-51]. Atım plazma prosesi ile meydana gelen hızlı ısınma ve soğumadan dolayı meydana gelen deformasyon ve sonucunda tane boyutlarının nanometre seviyesine kadar inmesi sertlik değerlerinin artışı açıklamaktadır. Ayrıca modifikasyon işlemi ile yapıda meydana gelmiş olan kalıntı gerilmeler (basma kalıntı gerilmeleri) yine sertlik değerlerinin artmasında önemli faktördür [52].

Yukarıda bahsi geçen birçok mekanizmanın bir araya gelmesi ile modifikasyon işlemine maruz kalmadan sertlik değerleri 170-180 HV olan DIN 1.2210 çeliğinin sertlik değerleri atım plazma uygulama parametrelerine bağlı olarak 1776 HV gibi oldukça yüksek bir değere çıkmıştır. Böyle bir sertlik değerinin diğer difüzyon veya plazma prosesleri ile elde edilmesi çok zor veya imkansızdır. Atım plazma prosesi ile çok kısa sürede (1-2 dk) ve kolay bir şekilde sertlik artışı meydana gelmiştir. Kısa sürede yapılan yüzey geliştirme işlemi, hem iş gücü hem de ekonomik kazanım sağlayacaktır.

7.5. Aşınma Deney Sonuçları

Deneyler sonrası aşınma hız değerlerini veya aşınma miktarlarını hesaplamak için öncelikle aşınma izlerinden hacimsel aşınma miktarı belirlenip, daha sonra bu ölçümler yardımıyla, aşınma bölgelerinin alanları hesaplanmış ve elde edilen bu alan değerleri CSM yazılımındaki formülde yerine konularak aşınma hız miktarları hesaplanmıştır.

Aşınma deneyleri sonrası aşınma cihazı yazılımı sürtünme katsayılarını ve iz derinlik değerlerini de vermektedir.

7.5.1. Aşınma miktarı değerleri

Aşınma deneyleri sonrası elde edilmiş aşınma hız değerleri (wear rate) Tablo 7.7 ve Tablo 7.8’de verilmektedir.

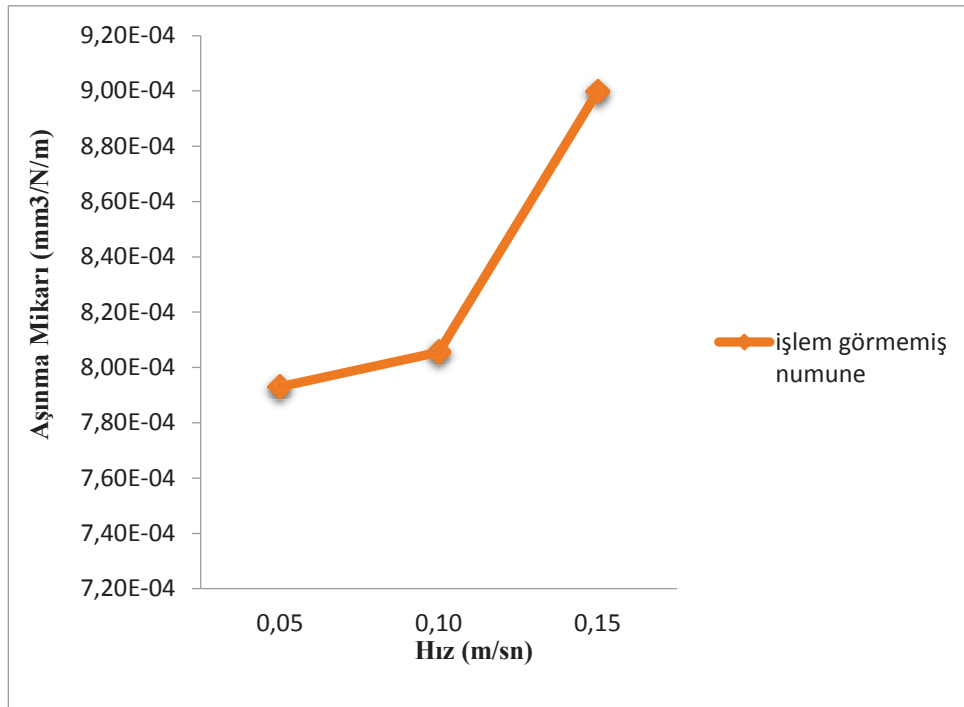
Tablo 7.7. Numune gruplarının aşınma miktarı değerleri

Numune No	Hız (m/sn)	Yol (m)	Yük (N)	Aşınma Miktarı (mm ³ /n/m)
İşlem görmemiş numune	0,05	200	5	7,930E-04
İşlem görmemiş numune	0,10	200	5	8,055E-04
İşlem görmemiş numune	0,15	200	5	8,999E-04
1	0,05	200	5	3,535E-05
1	0,10	200	5	5,427E-05
1	0,15	200	5	7,661E-05
2	0,05	200	5	3,350E-05
2	0,10	200	5	4,708E-05
2	0,15	200	5	6,663E-05
3	0,05	200	5	2,803E-05
3	0,10	200	5	4,581E-05
3	0,15	200	5	4,942E-05
4	0,05	200	5	4,215E-05
4	0,10	200	5	6,989E-05
4	0,15	200	5	7,120E-05
5	0,05	200	5	4,118E-05
5	0,10	200	5	4,384E-05
5	0,15	200	5	5,889E-05
6	0,05	200	5	3,935E-05
6	0,10	200	5	5,077E-05
6	0,15	200	5	5,120E-05
7	0,05	200	5	7,130E-05
7	0,10	200	5	4,942E-05
7	0,15	200	5	5,517E-05
8	0,05	200	5	4,044E-05
8	0,10	200	5	4,384E-05
8	0,15	200	5	5,121E-05
9	0,05	200	5	2,214E-05
9	0,10	200	5	3,050E-05
9	0,15	200	5	3,477E-05
10	0,05	200	5	5,031E-05
10	0,10	200	5	5,608E-05
10	0,15	200	5	9,210E-05
11	0,05	200	5	4,908E-05
11	0,10	200	5	6,041E-05

Tablo 7.8. Numune gruplarının aşınma hız değerleri (Devamı)

11	0,15	200	5	6,523E-05
12	0,05	200	5	4,661E-05
12	0,10	200	5	5,840E-05
12	0,15	200	5	6,041E-05

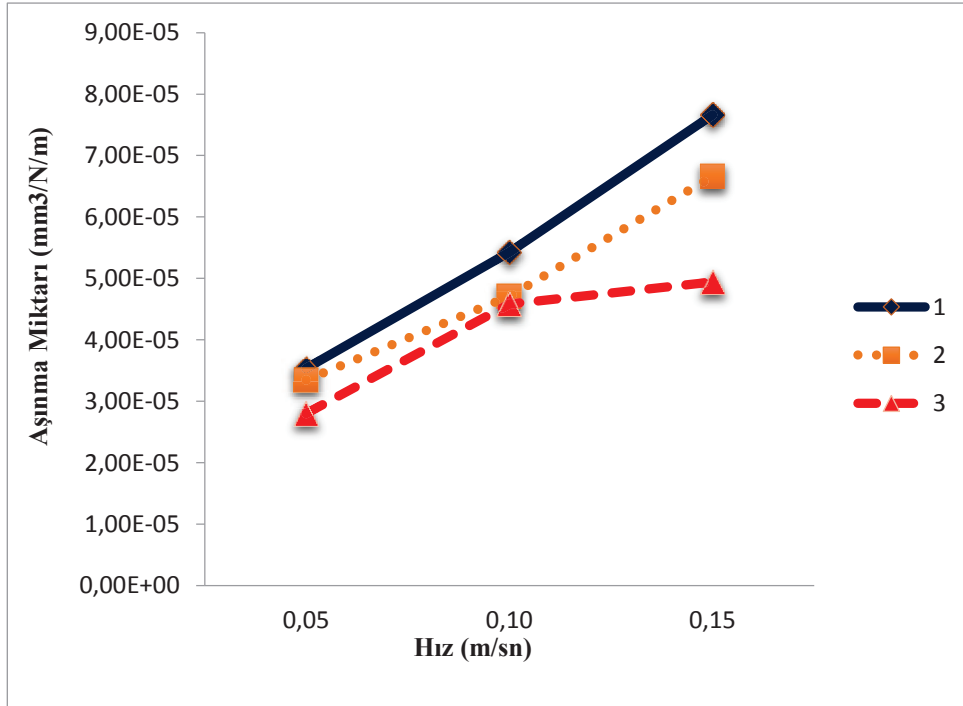
Şekil 7.30'da işlem görmemiş numunenin hıza bağlı olarak aşınma hız miktarı grafiği verilmektedir. Bu grafiğe göre; hızın artmasıyla aşınma hız miktarında artış görülmüştür. En fazla aşınma hız miktarının işlem görmemiş numunede görülmesi beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7.30. İşlem görmemiş numunenin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi

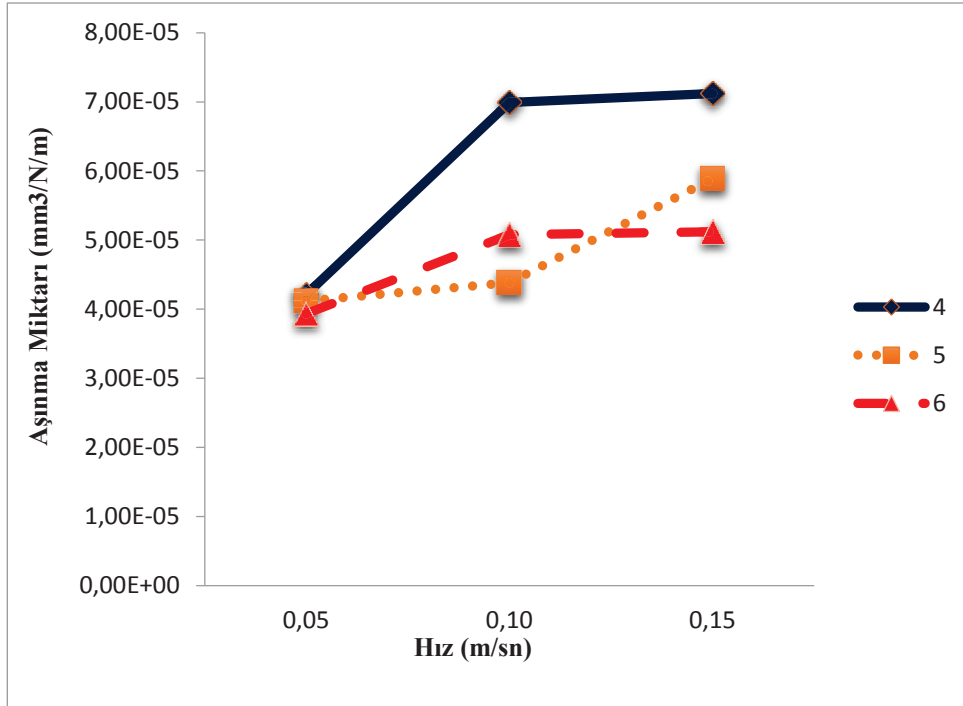
Şekil 7.31'de 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım), 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak aşınma hız miktarı grafikleri verilmektedir. Bu grafiğe göre; en fazla aşınma değeri 1 no'lu numunede, en düşük aşınma değeri ise 3 no'lu numunede görülmektedir. Bu üç numune grubu arasındaki tek fark olan atım sayısı aşınma miktarlarını da etkilemiştir. Daha önceden de bahsedildiği üzere atım sayısının artmasıyla tane boyutunun azalması ve modifikasyon tabakasının daha homojen bir hale gelmesi aşınma miktarlarını etkilemiştir. Nitrojen fazlarının varlığı aşınma dayanımını artırır [10]. Modifiye olmuş numune yüzeyinde oluşmuş demir nitrür ve wolfram oksit içeren tabaka oldukça yüksek sertliğe ve oldukça iyi tribolojik

özelliklere sahiptir [53]. Modifikasyon işleminde meydana gelen hızlı ısınma ve soğuma neticesinde oluşan küçük taneler yüksek sertliğe ve aşınma dayanımlarında artışa neden olmuştur. Aynı zamanda hızın artmasıyla aşınma hız miktarlarında da artış görülmüştür.



Şekil 7.31. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi

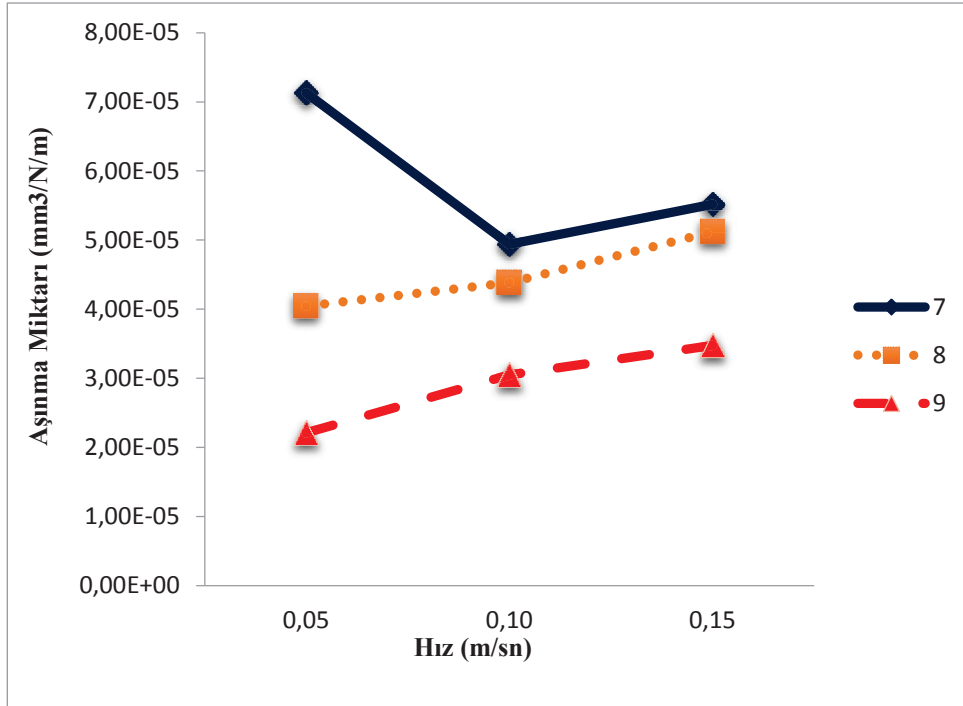
Şekil 7.32'de 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım), 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak aşınma hız miktar grafikleri verilmektedir. Aşınma hız miktarları uygulanan atım sayısına bağlı olarak paralel bir eğilim göstermesi beklenmektedir ancak atım plazma prosesi işlem süresinin kısalığı nedeniyle bazı durumlarda yüzeye homojen modifikasyon tabakası oluşturulamamış olabilir. Bu gibi durumlarda da (0.10 m/sn'de 5 ve 6 no'lu numunelerde) beklenenin aksine sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 7.32. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi

Şekil 7.33'de 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım), 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak aşınma hız miktarı grafikleri verilmektedir.

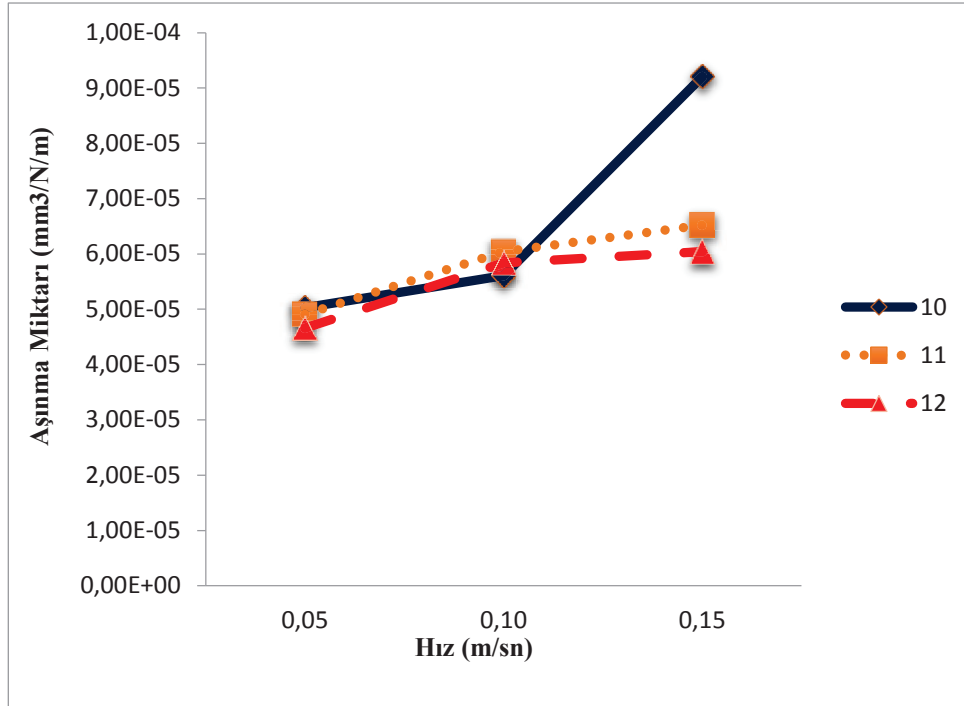
Atım plazma uygulanma şartlarının değişmesiyle numune yapılarında meydana gelen değişimler aşınma miktarlarını da etkilemiş olduğu görülmektedir. Diğer numune gruplarına göre artan numune-nozul mesafe aralığının optimum şartları sağlamasıyla, artan sertlik bu grup numunelerin aşınma hız miktarlarını düşürmüştür. En düşük aşınma hız miktarı, mikrosertliği en fazla ölçülen 9 (60 mm,12 atım) no'lu numuneye aittir.



Şekil 7.33. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi

Şekil 7.34'de 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım), 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak aşınma hız miktarı grafikleri verilmektedir. Bu grafiğe göre aşınma hız miktarları uygulanan atım sayısına bağlı olarak paralel bir eğilim gösterdiği söylenebilir.

Diğer numune gruplarına göre artan numune-nozul mesafe aralığıyla, yüzeye giren iyonize ürünlerin miktarı azalmıştır. Sertliğin az oluşu aşınma hız miktarlarını arttırmıştır. İşlem görmüş numuneler arasında, en yüksek aşınma hız miktarı 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numuneye aittir.



Şekil 7.34. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-aşınma hız miktarı ilişkisi

7.5.2. Sürtünme Katsayıları

Aşınma deneyleri sırasında CSM aşınma cihazındaki veriler neticesinde ortalama sürtünme katsayı değerleri elde edilmiştir. Tablo 7.9 ve Tablo 7.10'da tüm sürtünme katsayı değerleri gözükmektedir.

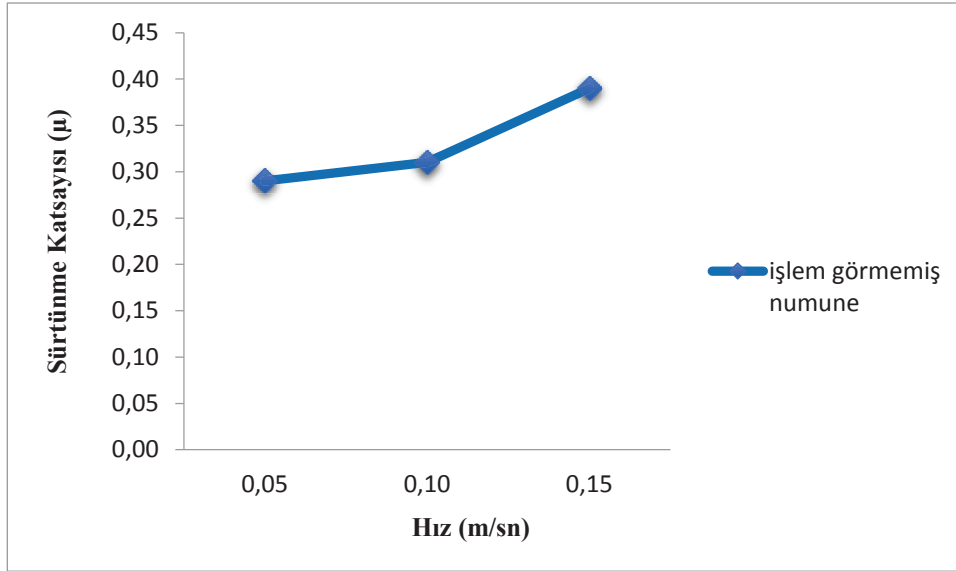
Tablo 7.9. Numune gruplarına ait sürtünme katsayı değerleri

Numune No	Hız (m/sn)	Yol (m)	Yük (N)	Sürtünme Katsayıları (μ)
İşlem görmemiş numune	0,05	200	5	0,29
İşlem görmemiş numune	0,10	200	5	0,31
İşlem görmemiş numune	0,15	200	5	0,39
1	0,05	200	5	0,19
1	0,10	200	5	0,21
1	0,15	200	5	0,22
2	0,05	200	5	0,16
2	0,10	200	5	0,18
2	0,15	200	5	0,20
3	0,05	200	5	0,10
3	0,10	200	5	0,14
3	0,15	200	5	0,16
4	0,05	200	5	0,13

Tablo 7.10. Numune gruplarına ait sürtünme katsayı değerleri (Devamı)

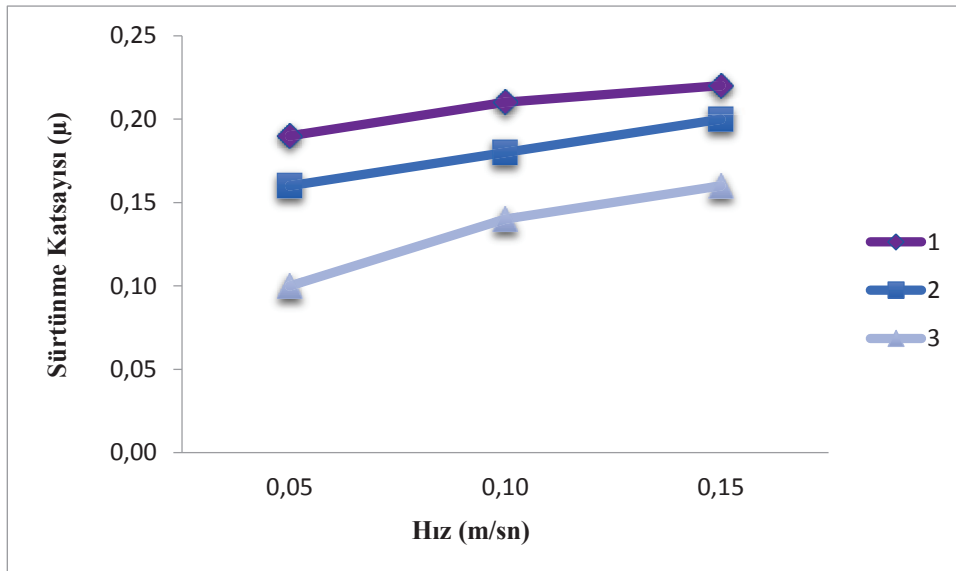
4	0,10	200	5	0,17
4	0,15	200	5	0,19
5	0,05	200	5	0,11
5	0,10	200	5	0,12
5	0,15	200	5	0,14
6	0,05	200	5	0,10
6	0,10	200	5	0,11
6	0,15	200	5	0,15
7	0,05	200	5	0,10
7	0,10	200	5	0,12
7	0,15	200	5	0,17
8	0,05	200	5	0,11
8	0,10	200	5	0,12
8	0,15	200	5	0,14
9	0,05	200	5	0,08
9	0,10	200	5	0,09
9	0,15	200	5	0,10
10	0,05	200	5	0,15
10	0,10	200	5	0,17
10	0,15	200	5	0,23
11	0,05	200	5	0,15
11	0,10	200	5	0,21
11	0,15	200	5	0,24
12	0,05	200	5	0,11
12	0,10	200	5	0,15
12	0,15	200	5	0,20

İşlem görmemiş numunelerin sürtünme katsayı değerleri hıza bağlı olarak sürekli artma eğilimi göstermiştir (Şekil 7.35).



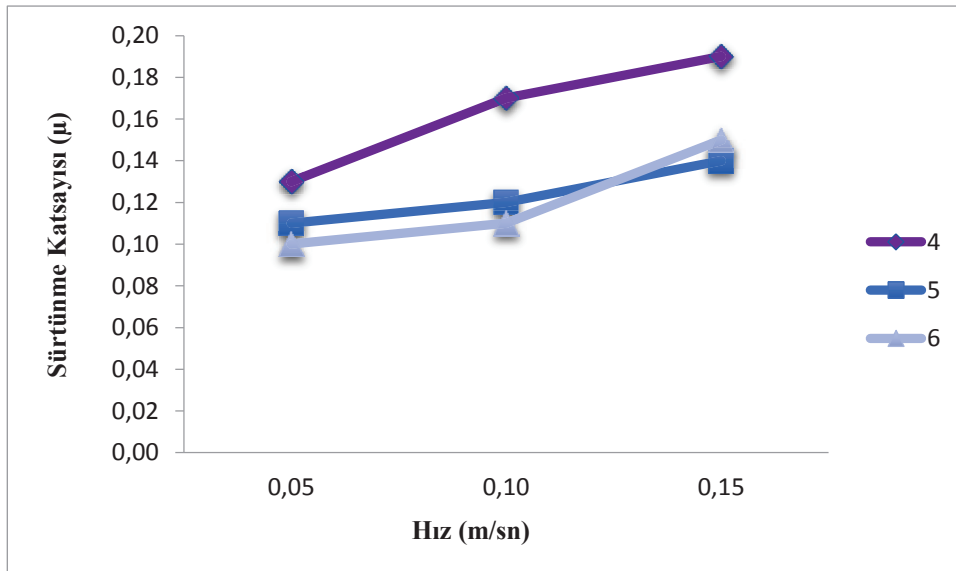
Şekil 7.35. İşlem görmemiş numunenin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi

1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak elde edilmiş sürtünme katsayı değerleri Şekil 7.36'da verilmektedir. 1, 2 ve 3 no'lu numunelerin sürtünme katsayı değerleri hıza bağlı olarak artma eğilimi göstermiştir. Bu numunelerde hız arttıkça yüzey üzerinde oluşabilecek aşınma ürünleri sürtünme katsayılarının artışına sebebiyet vermiş olabilir.



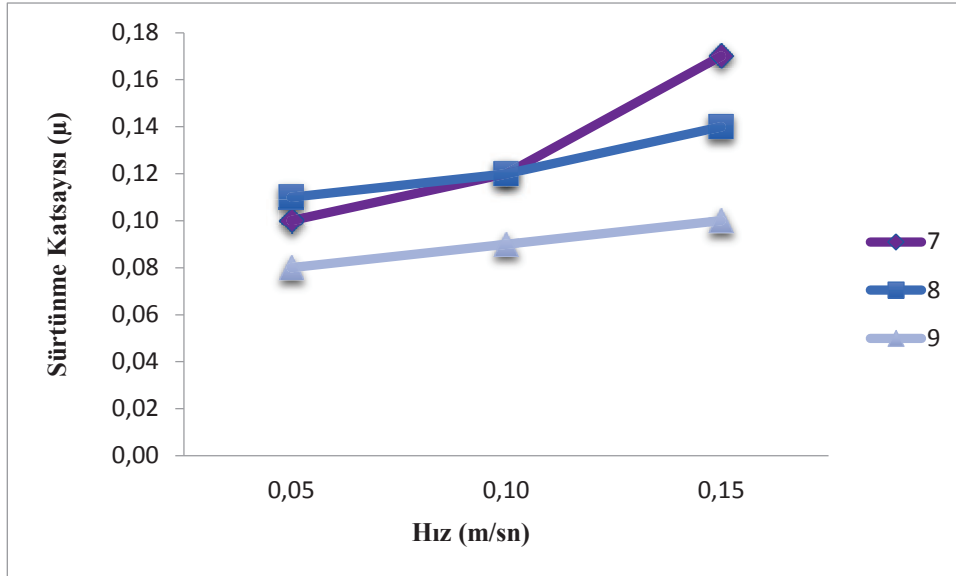
Şekil 7.36. 1 (40 mm, 4 atım), 2 (40 mm, 8 atım) ve 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayısı ilişkisi

4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak elde edilmiş sürtünme katsayı değerleri Şekil 7.37'de verilmektedir. 4, 5 ve 6 no'lu numunelerin sürtünme katsayı değerleri hıza bağlı olarak artma eğilimi göstermiştir. Bu numunelerde hız arttıkça yüzey üzerinde oluşabilecek aşınma ürünleri sürtünme katsayılarının artışına sebebiyet vermiş olabilir. Ayrıca atım sayısı az olan 4 no'lu (4 atım) numunedeki modifikasyon tabakasının daha ince oluşu sürtünme katsayı değerlerinin diğer numunelere kıyasla fazla olmasının nedeni olabilir. 6 (12 atım) no'lu numunenin atım sayısı 5 (8 atım) no'lu numuneden fazla olmasına rağmen 0.15 m/sn hızda sürtünme katsayı değeri daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni atım plazma prosesinde işlem süresinin kısa oluşu nedeniyle 6 no'lu numune yüzeyinde homojen tabaka sağlanamamış olabileceğidir.



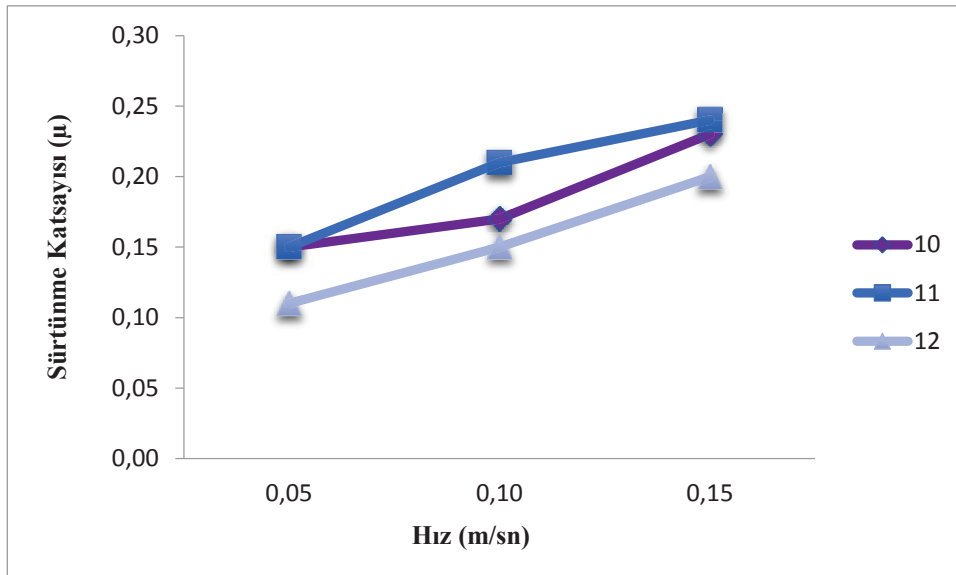
Şekil 7.37. 4 (50 mm, 4 atım), 5 (50 mm, 8 atım) ve 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayı ilişkisi

7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak elde edilmiş sürtünme katsayı değerleri Şekil 7.38'de verilmektedir. Bu numune grubunun sürtünme katsayı değerleri hız arttıkça artma eğilimi göstermiştir.



Şekil 7.38. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayı ilişkisi

10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hıza bağlı olarak elde edilmiş sürtünme katsayı değerleri Şekil 7.39'da verilmektedir. Bu numune grubunda da sürtünme katsayı değerleri hız arttıkça artan eğilim göstermiştir.



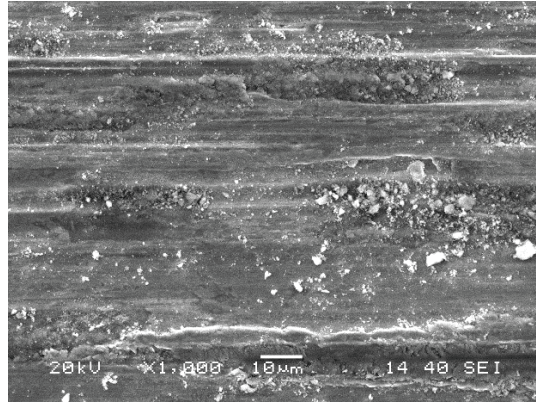
Şekil 7.39. 10 (70 mm, 4 atım), 11 (70 mm, 8 atım) ve 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunelerin hız-sürtünme katsayı ilişkisi

Aşınma testi esnasında yüzeyden kopan aşınma ürünleri numune yüzeyine sıvanarak yüzeyde sürtünme katsayı değerlerinde etkiye hatta düşüşe neden olmuştur diyebiliriz.

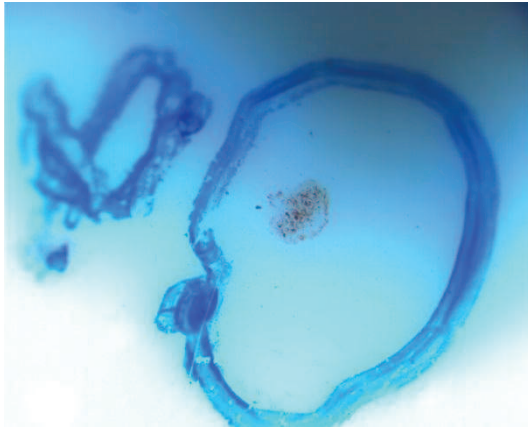
7.6. Aşınma Sonrası Yüzeylerin SEM ve EDS Analizleri

Aşınma deneyi sonrası tüm numune gruplarının aşınma yüzeylerinde SEM ve EDS çalışması yapılmıştır.

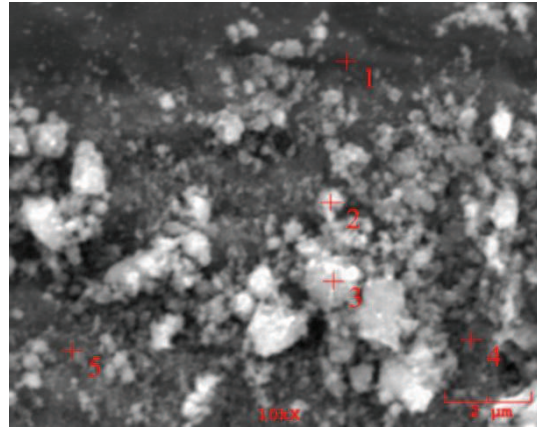
Şekil 7.40 (a)'da işlem görmemiş numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.40 (b)'de aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.40 (c)'de ise aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir. Aşınma deneyi sonrası SEM görüntülerinden yüzeyde bulunan küçük aşınma artıklarının kızak etkisi yaratarak abrazif aşınma oluşturmuş olduğu görülmektedir. Aşınma ürünleri yiv kenarlarında toplanmıştır. Abrazif aşınma hakimdir ve az miktarda da adhezif aşınma görülmektedir. SEM görüntülerinde beyaz renkte görülmekte olan parçaların da alümina bilyadan koptuğu düşünülmektedir. EDS analizinde de Al elementinin varlığı bu fikri desteklemektedir.



a)



b)



c)

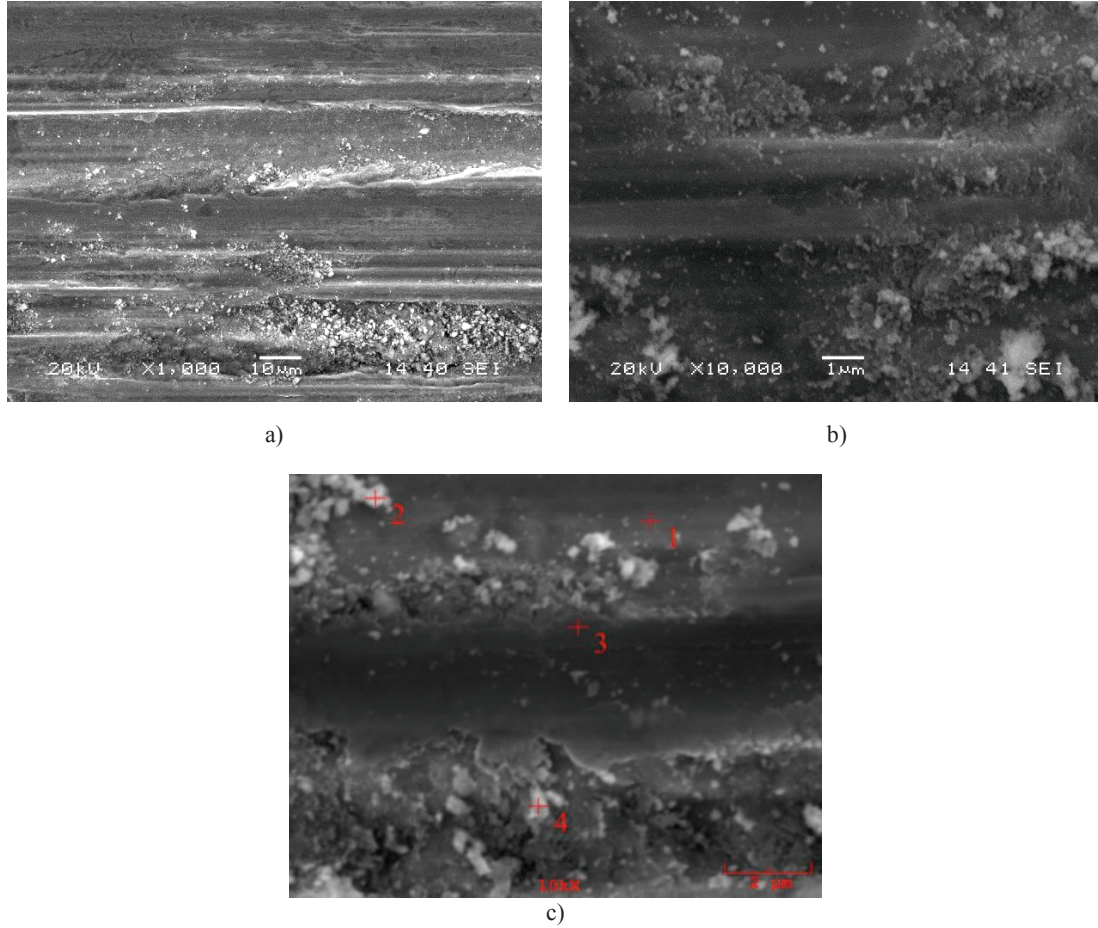
Şekil 7.40. İşlem görmemiş numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.11. İşlem görmemiş numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı
1	10,634	0,224	0,537	88,253	0,352
2	17,730	0,361	0,457	80,968	0,483
3	38,586	0,424	0,155	60,393	0,442
4	20,919	0,467	0,341	77,757	0,516
5	27,590	0,434	0,318	70,748	0,909

Şekil 7.41'de İşlem görmemiş numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılmış aşınma deneyi sonrası alınan SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM görüntülerine göre plastik deformasyon ve aşınma ürünlerinin varlığında artış görülmektedir. Aynı zamanda yüzeyde yiv oluşumu ve aşınma ürünlerinde sıvanmaların olduğu söylenebilir. Abrasif aşınma hakim olarak görülmektedir. SEM

görüntülerinde görülen beyaz tanelerin bilyadan kopmuş olabileceği düşüncesi yapılan EDS analizleri ile desteklenmiştir.



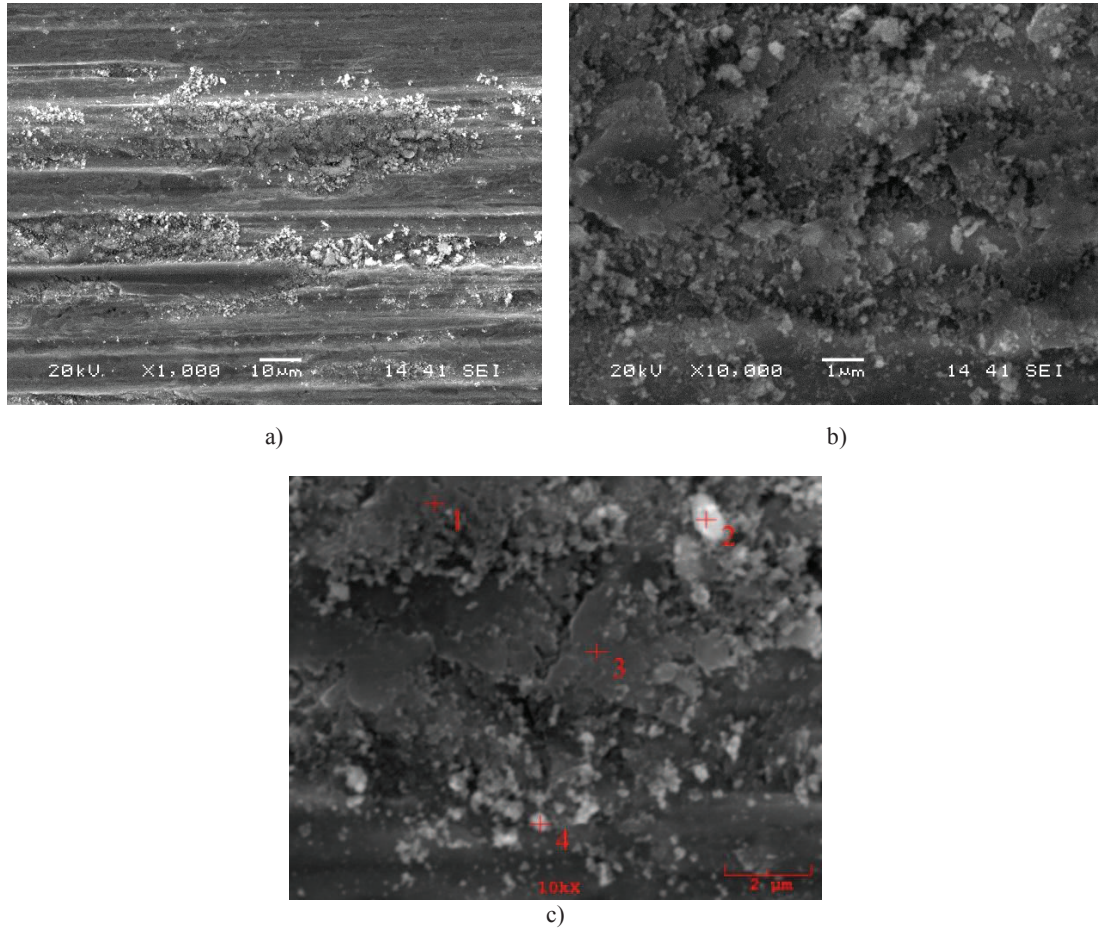
Şekil 7.41. İşlem görmemiş numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.12. İşlem görmemiş numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı
1	2,360	0,272	0,191	96,990	0,188
2	17,604	0,201	0,214	81,638	0,343
3	27,548	0,122	0,035	71,747	0,547
4	19,180	0,285	0,668	79,463	0,405

Şekil 7.42'de işlem görmemiş numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin ve aşınma ürünlerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Abrazif aşınmanın hakim olarak görüldüğü

söylenilebilir. Yüzeyde aşınma ürünleri oldukça fazladır. İşlem görmemiş numunedeki sertliğin az oluşu ve aşınma hızının fazla olması, aşınma ürünlerinin artışına ve aşınmanın daha derin yivler oluşturmasına sebebiyet vermiş olduğu söylenebilir. Aşınma ürünleri çok az olsa bile yüzeyde mekanik bir etki yaratarak yüzeylerin bozulmalarına sebebiyet vermektedirler. Aşınma ürünleri bazen abrazif etki yaratarak abrazif aşınmaya neden olmaktadır [54].

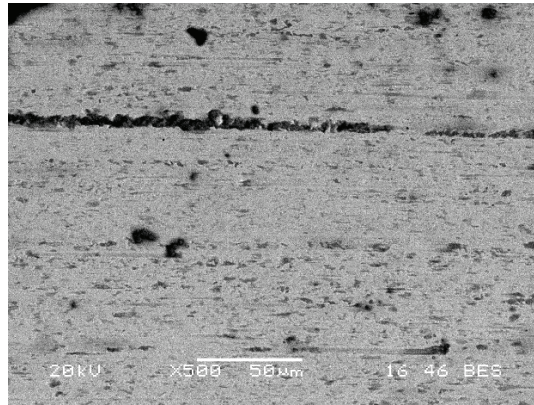


Şekil 7.42. İşlem görmemiş numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

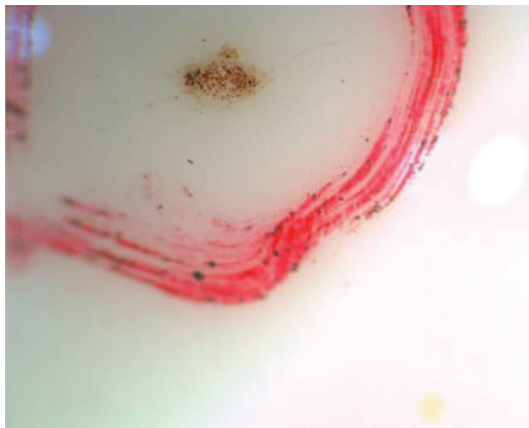
Tablo 7.13. İşlem görmemiş numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı
1	32,474	0,737	0,242	66,091	0,455
2	22,910	0,120	0,563	75,488	0,920
3	26,638	0,513	0,159	71,974	0,715
4	16,886	1,352	0,173	81,263	0,326

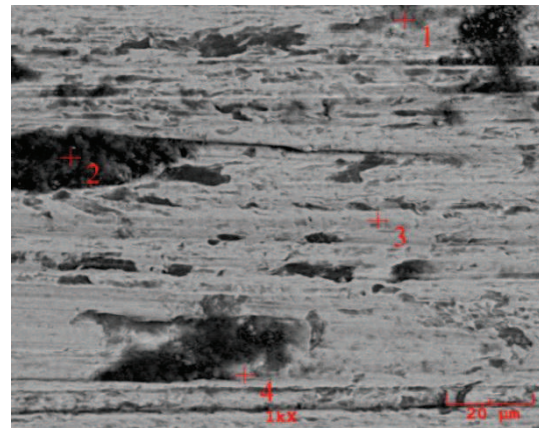
Şekil 7.43'de 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM görüntülerine göre aşınan bölge net bir şekilde görülmekte olup az oranda yiv oluşumu görülmektedir. Yüzeyde abrazif aşınmanın hakim olarak görüldüğü söylenebilir. Aşınma ürünlerinin oluşumu yine SEM ve EDS görüntülerinde görülmektedir.



a)



b)



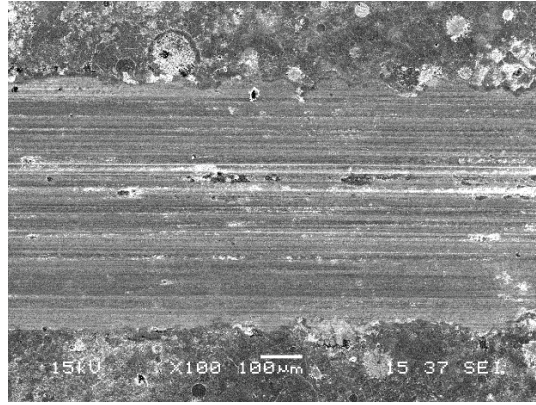
c)

Şekil 7.43. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

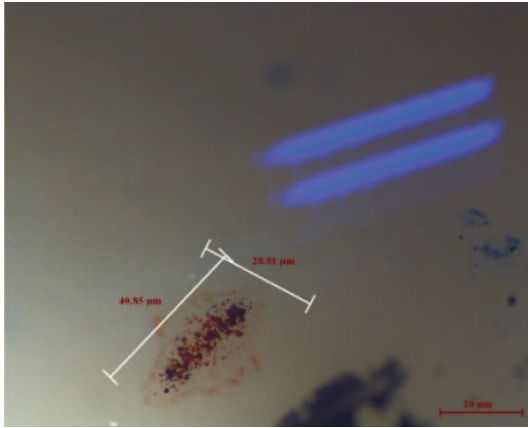
Tablo 7.14. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	1,820	0,628	18,685	0,128	0,000	0,000	76,550	2,188
2	14,547	0,077	30,354	0,587	0,000	0,000	52,464	1,972
3	0,000	0,485	5,811	0,091	0,273	0,000	91,162	2,177
4	0,000	1,038	3,836	0,276	0,000	0,079	93,498	1,273

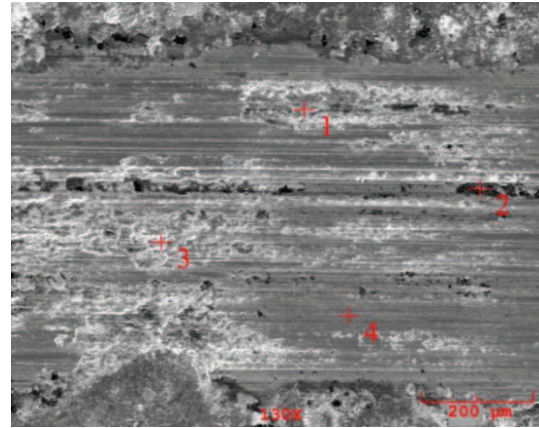
Şekil 7.44 (a)'da 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.44 (b)'de aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.44 (c)'de ise aşınma yüzeyinin EDS görüntüsü verilmektedir. Aşınma deneyi sonrası SEM görüntüsünden abrazyon aşınma meydana geldiği düşünülmektedir. Yine yapılan aşınma deneyi sonrası yiv oluşumu görülmüştür. SEM görüntüsünde beyaz olarak görülen parçaların alümina bilyaya ait olduğu düşünülmektedir. EDS analizlerine bakıldığında da Al elementinin varlığı bu fikri desteklemektedir. Ayrıca malzeme üzerinde ve aşınma izi üzerinde oksit tabakasının varlığı gözlemlenmiştir. EDS analizlerine bakıldığında 1 no'lu bölgede oksijenin varlığı daha fazladır.



a)



b)



c)

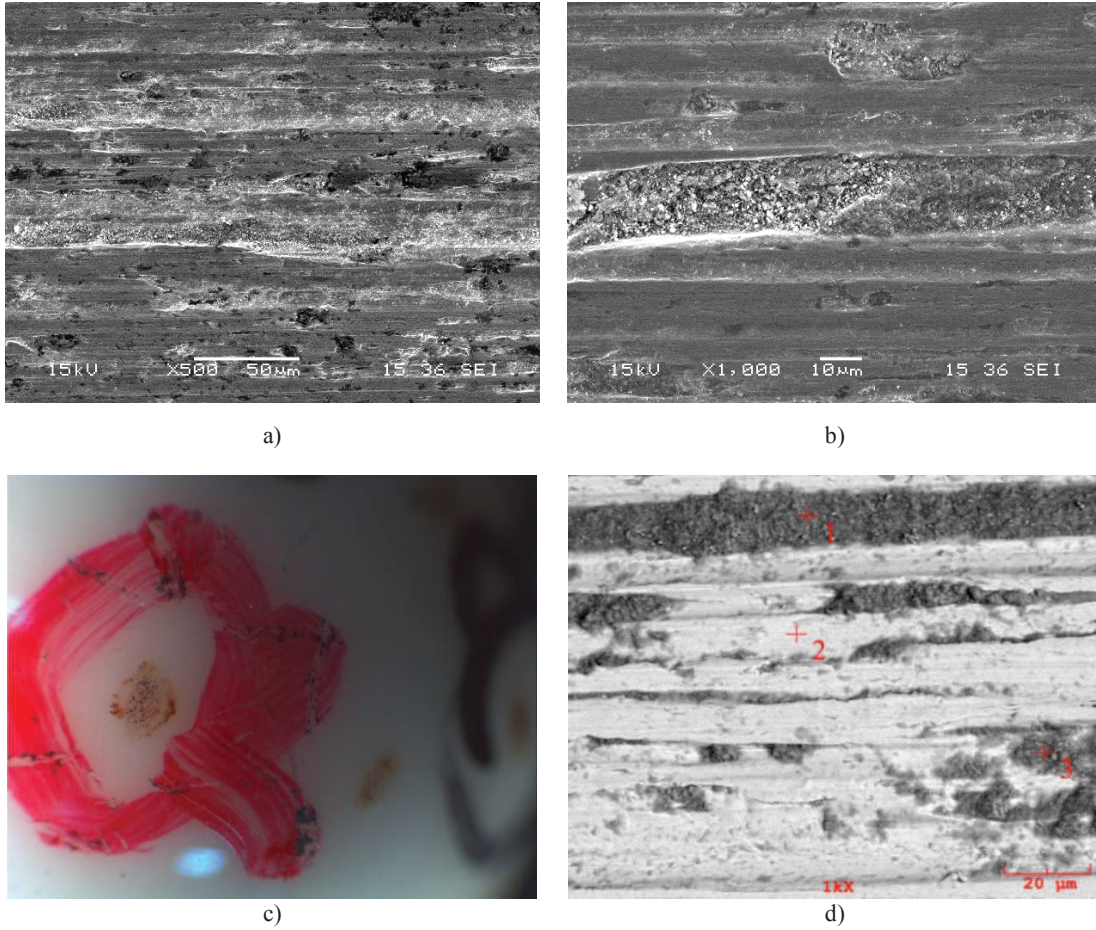
Şekil 7.44. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.15. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı
1	3,2171	49,055	0,667	0,983	46,024
2	0,000	9,224	0,4151	1,611	88,713
3	2,571	7,249	0,317	0,466	89,396
4	0,000	7,405	0,386	0,832	91,377

Şekil 7.45 (a)'da 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılmış aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü, Şekil 7.45 (b)'de farklı bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.45 (c)'de aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.45 (d)'de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir. Görüntülerde plastik deformasyon oluşumu ve abrazyon aşınma varlığı

görülmektedir. Hızın artmasıyla oluşan yivlerin daha geniş ve derin olduğu söylenebilir. Aynı zamanda hızın artmasıyla artan aşınma ürünleri hem abrazif hem de adhesiv aşınmaya neden olduğu söylenebilir. Şekil 7.45 (d)'de verilmekte olan EDS analizlerinden noktasal olarak alınmış değerlerden aşınma ürünleri ve bilya parçalarının daha iyi belirlenmesi mümkün olmuştur.

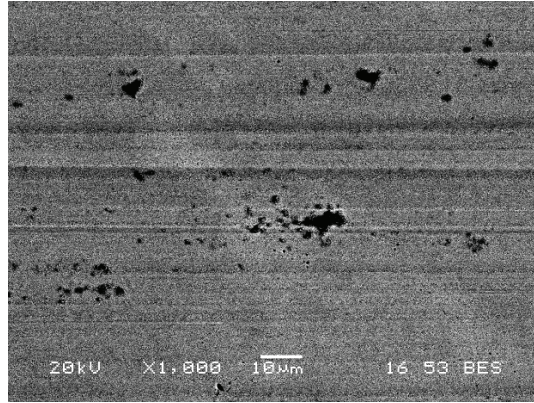


Şekil 7.45. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

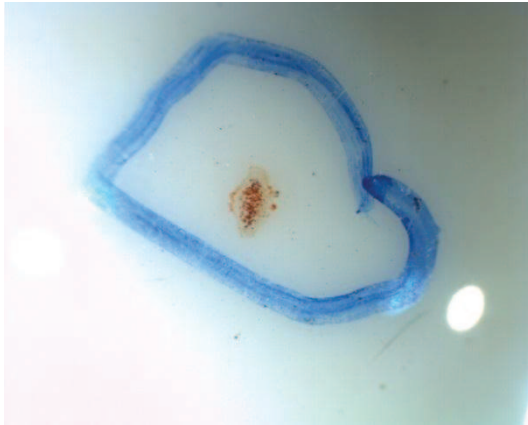
Tablo 7.16. 1 (40 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	3,662	52,529	0,999	0,848	39,492	2,471
2	0,000	7,813	0,480	0,425	87,807	3,474
3	3,504	39,900	0,441	0,976	53,796	1,384

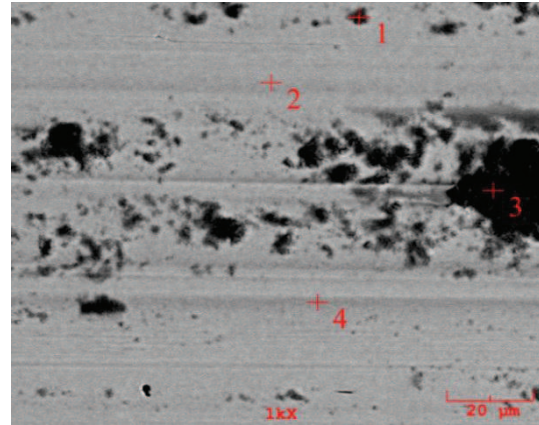
Şekil 7.46'da 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Aşınma sonrası alınan bu görüntülerden yüzeyde yiv oluşumu ve malzeme kopmaları meydana geldiği görülmektedir.



a)



b)



c)

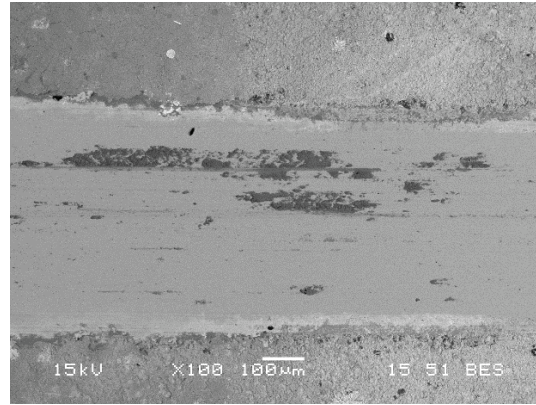
Şekil 7.46. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.17. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

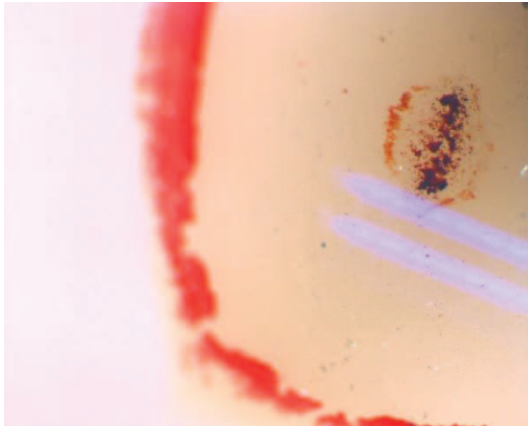
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	1,161	17,924	0,352	0,000	0,029	79,013	0,402	1,119
2	0,000	0,408	2,811	0,038	0,405	0,166	92,813	0,974	2,385
3	0,000	0,479	37,369	0,270	0,410	0,157	58,339	0,385	2,591
4	0,000	0,735	1,355	0,205	0,000	0,171	95,892	0,618	1,023

Şekil 7.47 (a)'da 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılmış aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyinden alınmış SEM

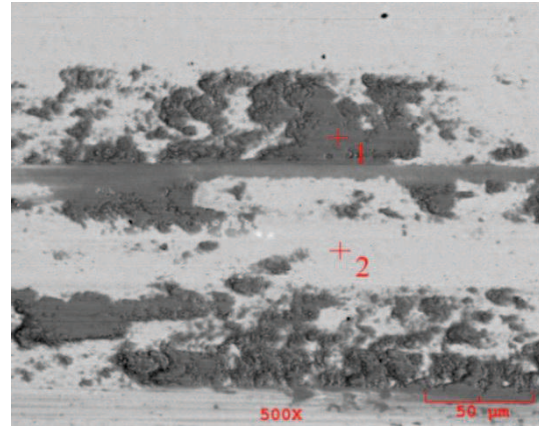
görüntüsü, Şekil 7.47 (b)'de aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.47 (c)'de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir. Hızın artmasıyla artan aşınma ürünleri hem adhezif hem abrazif aşınmaya neden olmuştur. Bu numunedeki aşınma yüzeyinden alınmış SEM ve EDS resimlerinden, yüzeyde aşınma ürünlerinin oluşumu ve bu ürünlerinin bir miktar sıvandığı görülmektedir. EDS analizine bakıldığında ise oksijen ile aşındırıcı bilya olarak kullanılan alüminadan geldiğı düşünölen alüminyumun varlığı görölmüştür.



a)



b)



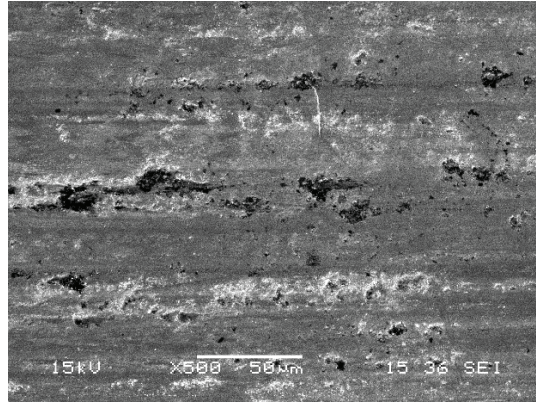
c)

Şekil 7.47. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.18. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%S (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	51,780	0,355	0,579	0,28	44,765	2,240
2	0,000	6,383	0,110	0,358	0,060	90,012	3,077

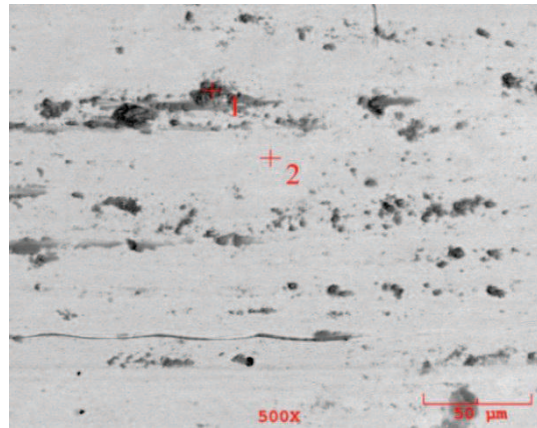
Şekil 7.48 (a)'da 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılmış aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü, Şekil 7.48 (b)'de aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.48 (c)'de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir. Diğer numune gruplarında da olduğu gibi hızın artmasıyla yüzeyde aşınma ürünlerinin arttığı söylenebilir. Ayrıca hızın artışı ile yüzey süreksizliklerinin oluştuğu ve yüzeyde meydana gelmiş olduğu düşünülen abrazyon aşınma gereği malzeme kopmaları meydana geldiği düşünülmektedir. Az miktarda adhesiv aşınmada görülmektedir.



a)



b)



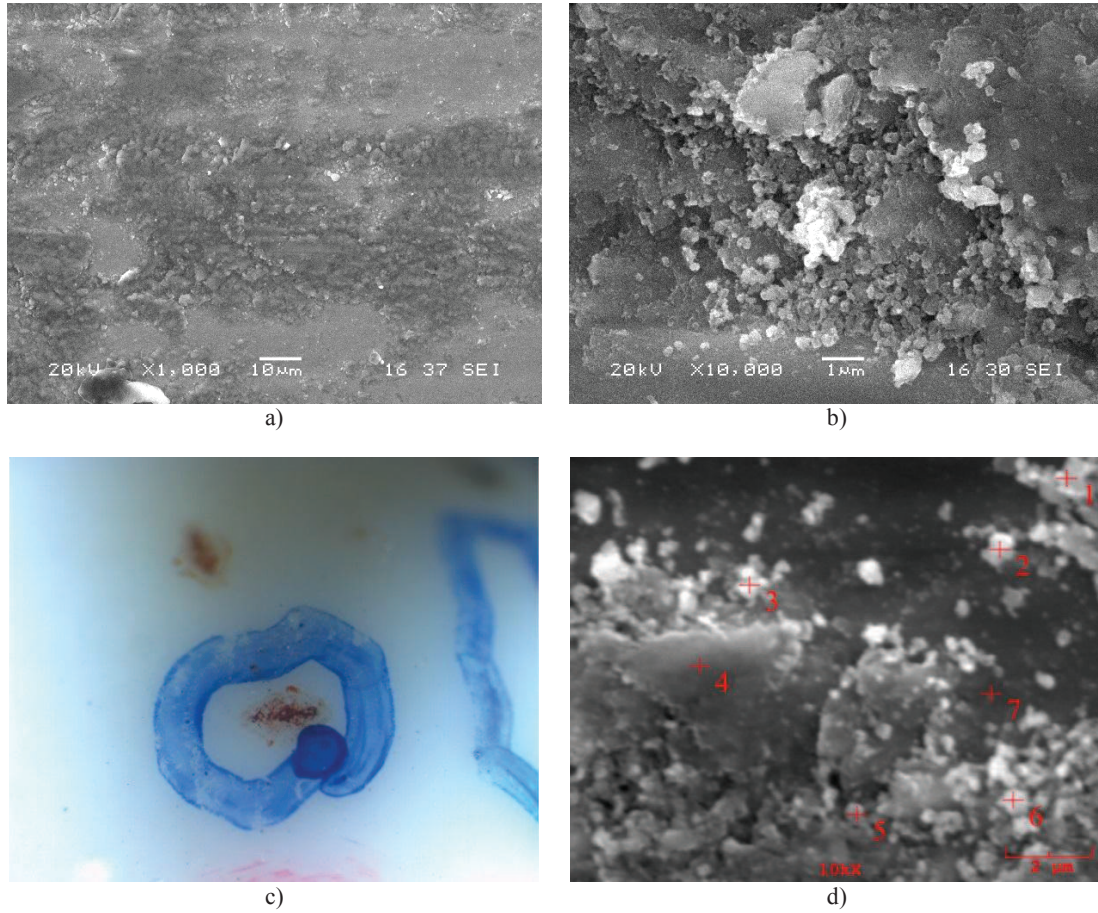
c)

Şekil 7.48. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.19. 2 (40 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	8,178	49,902	0,546	0,742	39,442	1,190
2	0,000	9,444	0,356	0,000	87,341	2,859

Şekil 7.49'da 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin ve aşınma ürünlerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Abrasif aşınma türünün hakim olduğu ve yüzeyde aşınma ürünlerinin oluştuğu görülmektedir. Aynı numuneye ait EDS analizleri ile kopmaların olduğu bölgede bilya parçalarının fazlalığı belirlenmiştir.



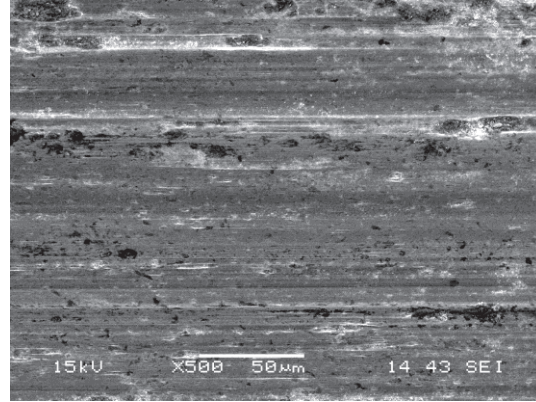
Şekil 7.49. 3 (40 mm, 12 atm) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.20. 3 (40 mm, 12 atm) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

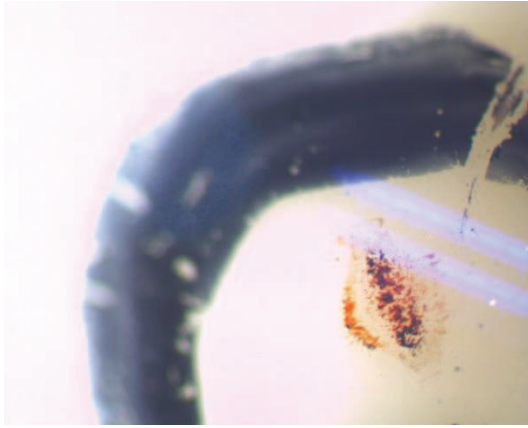
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,975	0,645	15,455	0,546	1,622	0,376	77,872	0,678	1,832
2	0,766	0,926	11,933	0,205	1,038	0,413	82,966	0,502	1,251
3	1,749	1,199	13,544	0,269	0,917	0,175	79,793	0,375	1,978
4	0,686	0,340	27,354	0,458	0,000	0,442	67,917	0,558	2,245
5	6,511	0,977	27,811	0,221	1,929	0,271	59,690	0,387	22,203
6	4,820	1,742	21,896	0,174	1,729	0,320	67,213	0,548	1,560
7	0,000	1,596	7,569	0,155	0,795	0,328	87,348	0,344	1,864

Şekil 7.50' de 3 (40 mm, 12 atm) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM görünsüne bakıldığında yüzeyde meydana gelmiş olduğu düşünülen abrazif aşınma gereği malzeme kopmaları meydana gelmiştir.

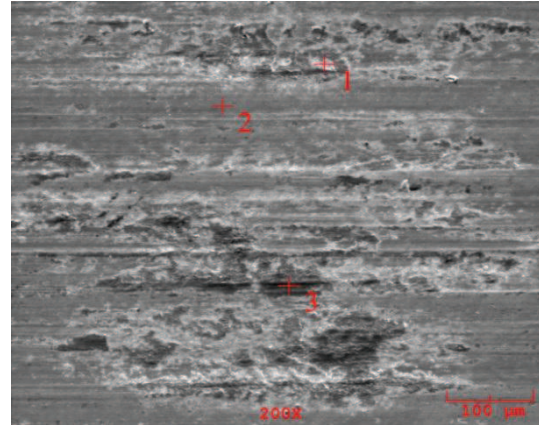
Ayrıca görüntülerde yivler, ince kazımalı aşınma oluşumları ve yine az oranda plastik deformasyon izleri mevcuttur.



a)



c)



d)

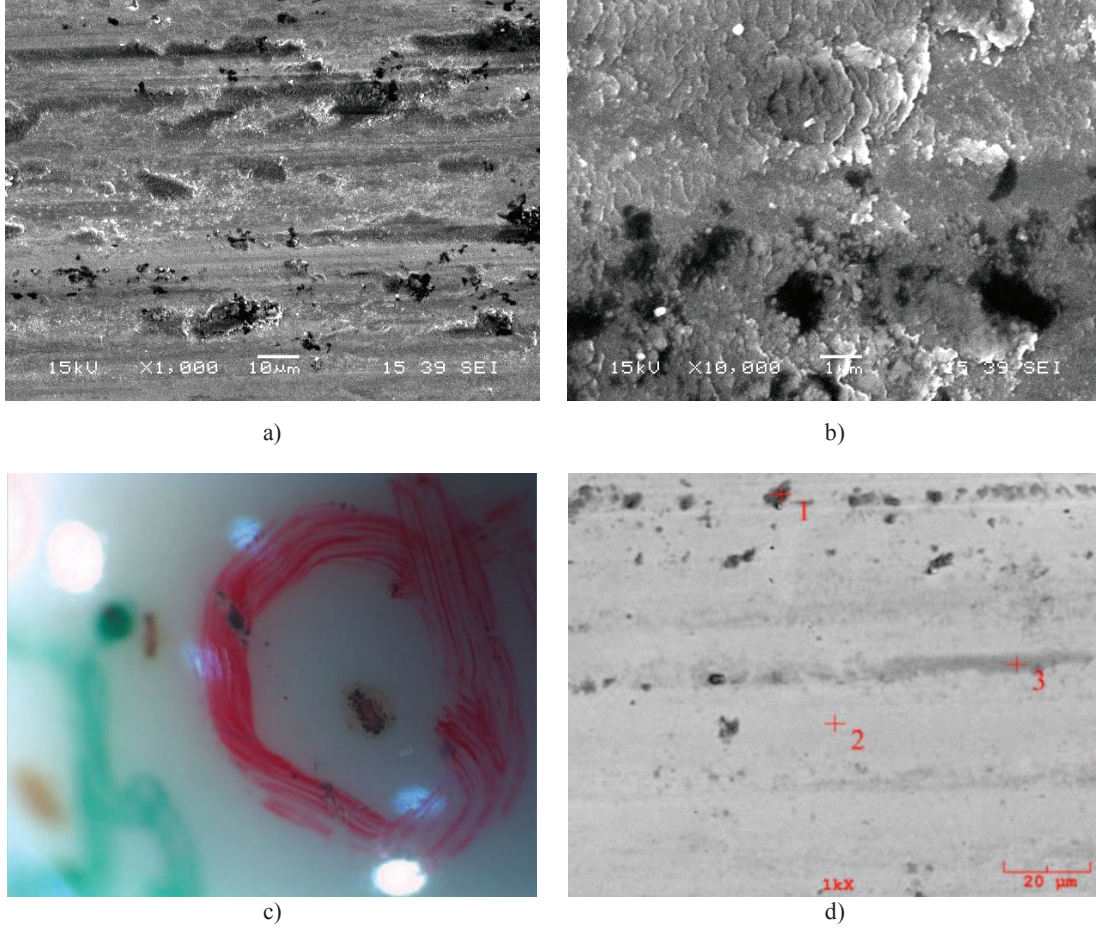
Şekil 7.50. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.21. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%S (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,811	24,474	0,406	0,808	0,109	68,801	2,591
2	0,000	7,060	0,156	0,765	0,362	89,052	2,605
3	0,304	51,310	0,396	0,348	0,464	45,401	1,778

Şekil 7.51'de 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Hız arttığında yüzeyde bozulmaların, aşınma ürünlerinin ve sıvanmaların arttığı söylenebilir. Yüzeyde plastik deformasyon ve yiv oluşumu vardır. Hız arttığında yer yer malzeme kopmalarına rastlanmıştır. Şekil 7.51 (c)'de

ise yine aşınma sonrası alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir.

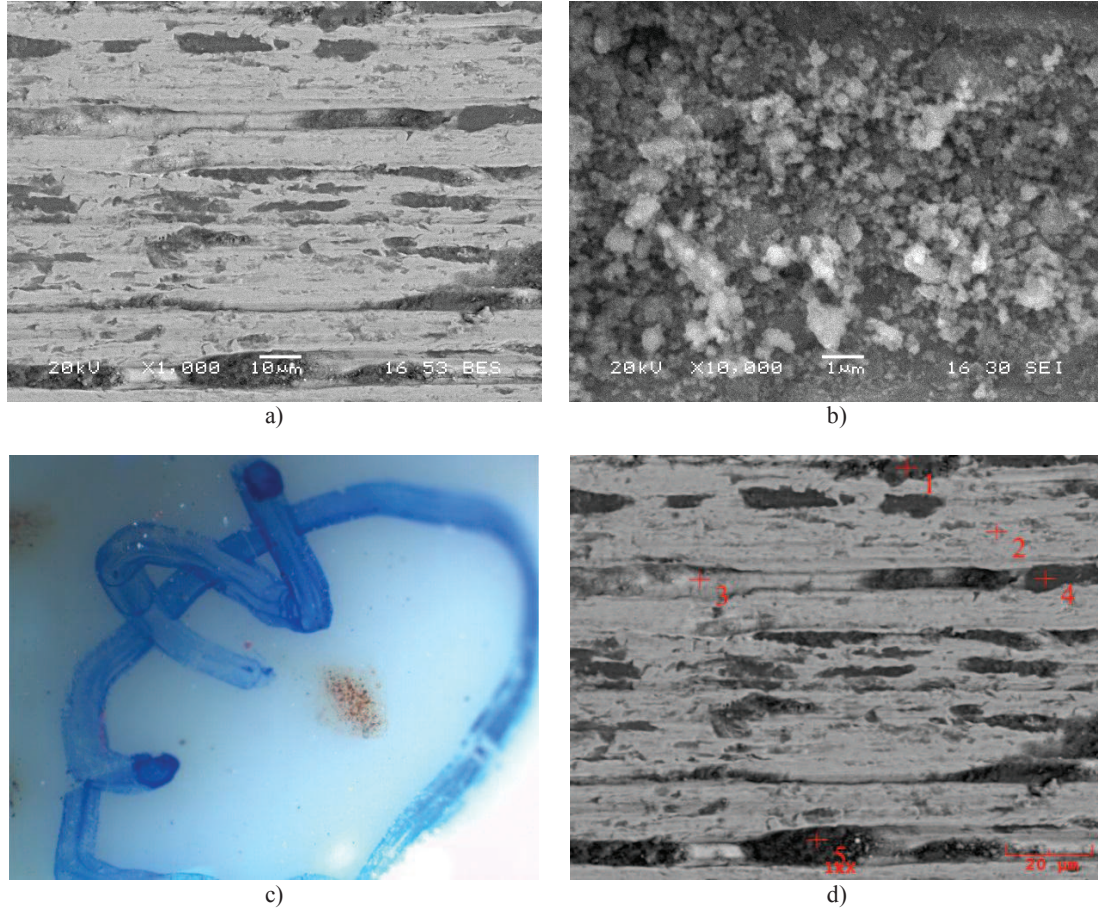


Şekil 7.51. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.22. 3 (40 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	25,186	29,47	0,691	0,521	41,526	2,605
2	0,000	6,961	0,205	0,437	89,661	2,737
3	0,000	31,524	0,318	0,354	65,155	2,649

Şekil 7.52'de 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin ve aşınma ürünlerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Resimlerde birçok yiv ve aşınma ürünü varlığı gözlemlenmiştir.



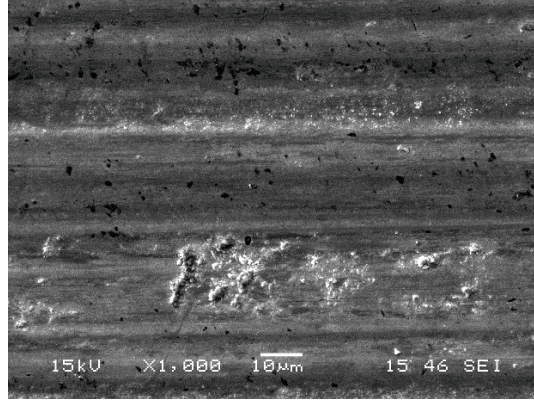
Şekil 7.52. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.23. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

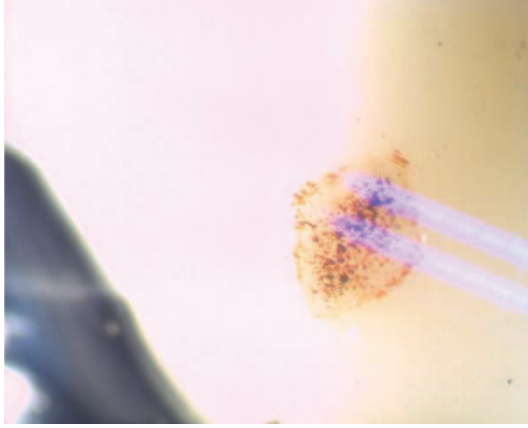
N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	0,973	30,078	0,168	0,390	0,300	65,686	0,831	1,573
2	0,000	0,140	9,721	0,097	0,028	0,168	87,273	0,675	1,897
3	0,000	0,000	2,312	0,497	0,000	0,314	92,829	0,439	3,608
4	0,000	0,000	36,688	0,536	0,000	0,133	60,284	0,260	2,099
5	2,993	0,266	28,048	0,484	0,000	0,081	65,684	1,021	1,424

Şekil 7.53'de 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM ve EDS görüntülerinden aşınma ürünlerinin varlığı, plastik deformasyon oluşumu ve abrazif aşınmanın hakim olarak gözlemlendiği

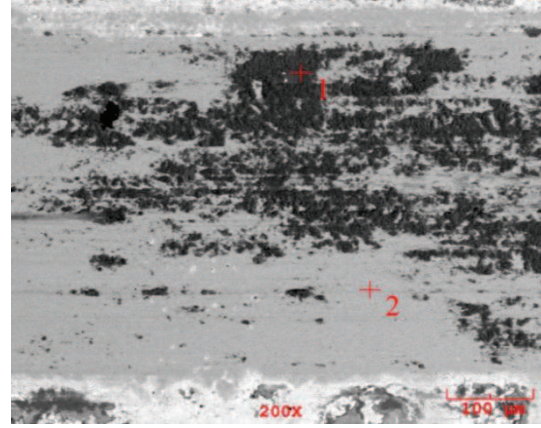
söylenbilir. Aşındırıcı bilyadan kopan parçalar yüzeyde aşınma ürünlerinin arasındadır.



a)



b)



c)

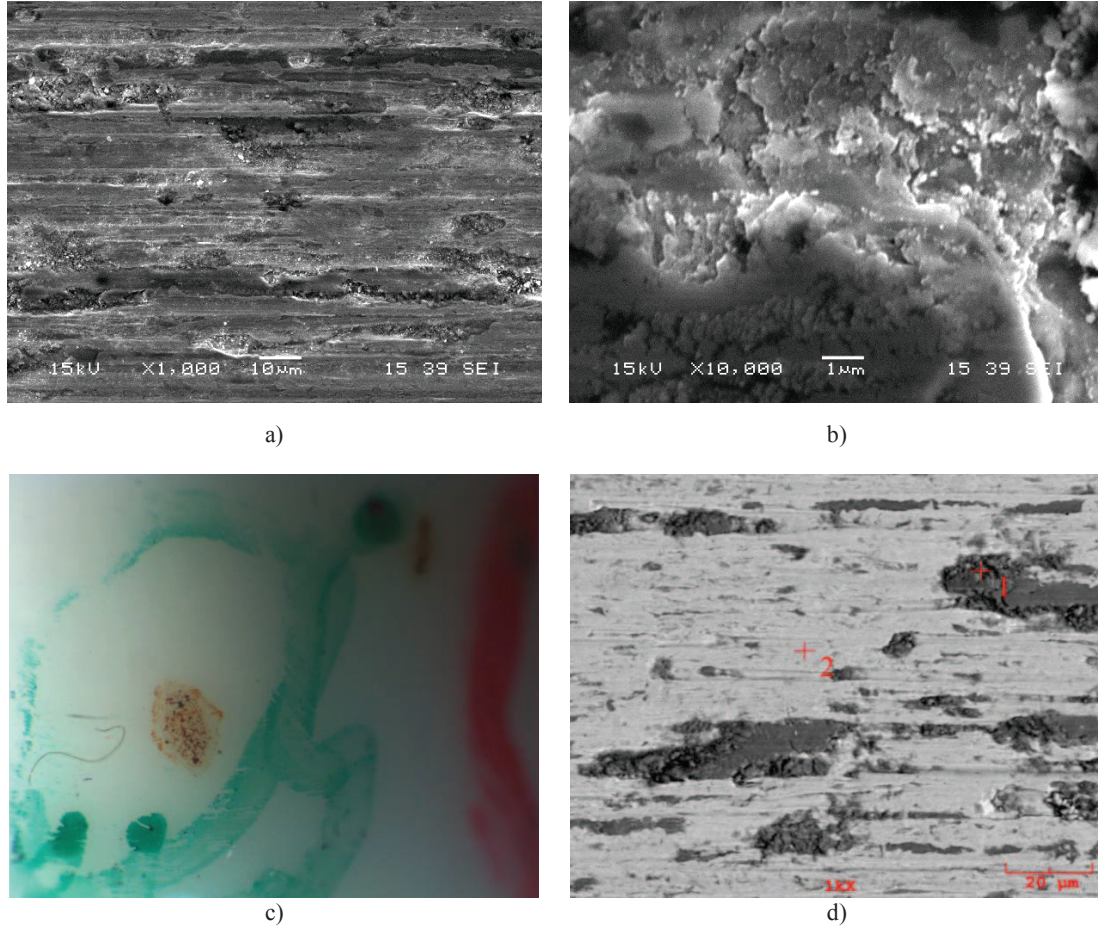
Şekil 7.53. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.24. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 ve no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%S (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,561	27,053	0,012	0,222	0,831	68,968	2,352
2	0,000	7,729	0,293	1,149	0,309	87,994	2,526

Şekil 7.54 (a) ve Şekil 7.54 (b)'de 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin ve aşınma ürünlerinin SEM görüntüleri verilmektedir. Hızın artışı ile yüzeyde derin yarıkların oluşumları gözlenmiştir. Yüksek büyütmede alınan SEM görüntüsünde aşınan bölge ve aşınma ürünleri daha iyi görülmektedir. Şekil 7.54 (c)'de aşınma sonrası

alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir. Şekil 7.54 (d)'de ise verilmekte olan EDS görüntüsünden noktasal olarak alınmış değerlerden aşınma ürünlerinin ve bilya parçalarının daha iyi belirlenmesi mümkün olmuştur.



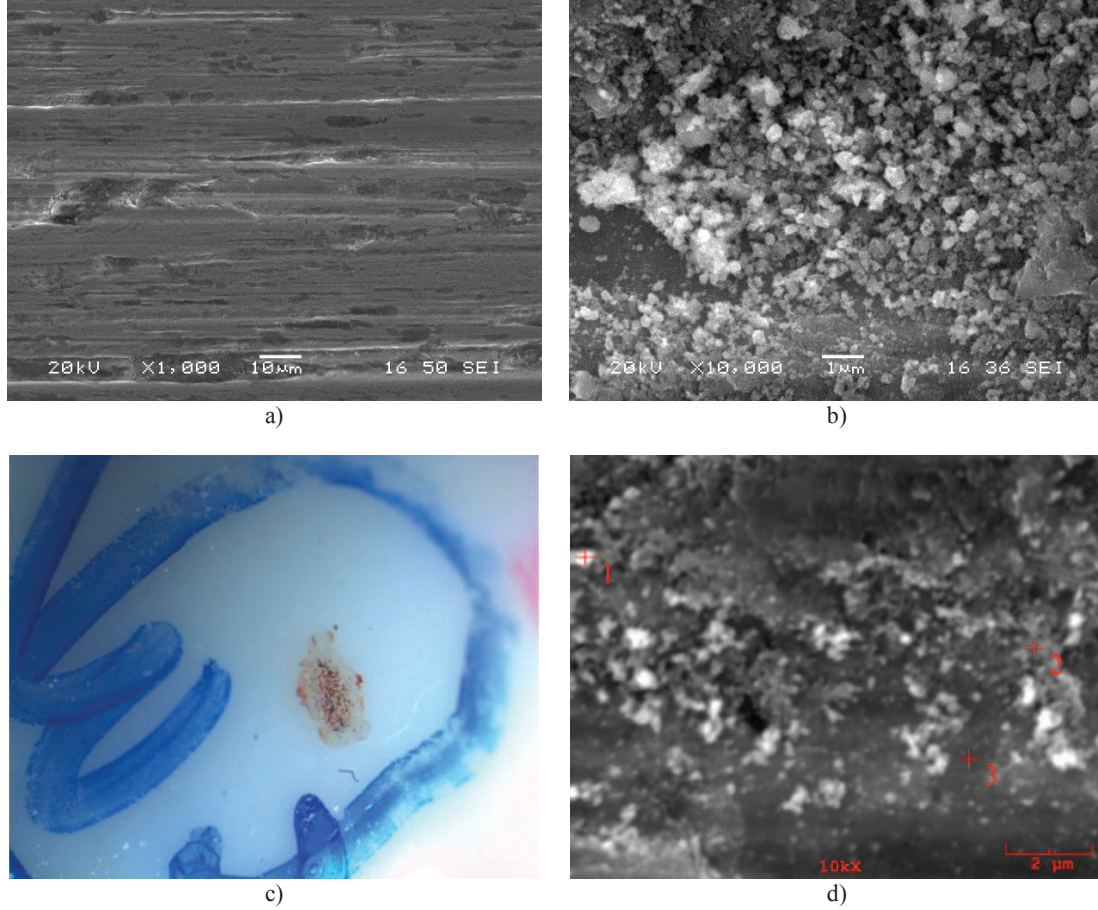
Şekil 7.54. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.25. 4 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,572	51,185	0,515	0,449	42,25	3,028
2	9,061	6,553	0,398	0,167	80,435	3,386

Şekil 7.55'de 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin ve aşınma ürünlerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere

abrazif aşınma hakim olarak görülmektedir. Yüzeyde yivler ve aşınma ürünleri mevcuttur.



Şekil 7.55. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.26. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

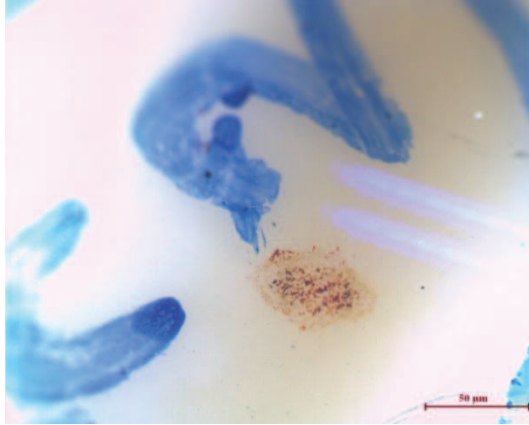
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,046	0,591	36,138	0,238	0,755	0,488	57,917	0,517	1,309
2	0,000	0,563	13,952	0,000	0,528	0,214	83,129	0,214	1,400
3	0,000	0,000	2,553	0,335	0,000	0,050	94,256	1,216	1,589

Şekil 7.56'da 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyinde yine yivler mevcuttur. Hızın artışı ile plastik deformasyon

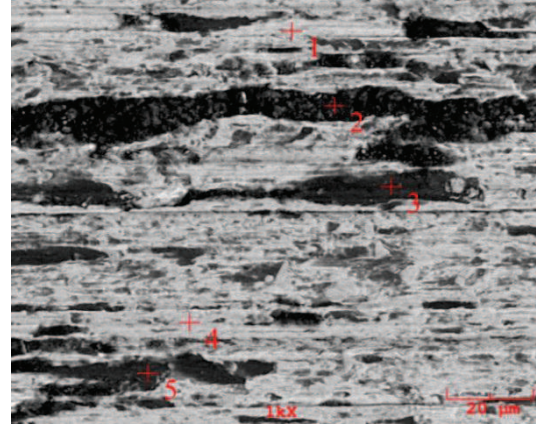
artmıştır. Aşınma ürünleri oluşmuş ve yer yer bu ürünlerde sıvanmalar meydana gelmiştir. Abrazif aşınma hakim olarak görülmektedir.



a)



b)



c)

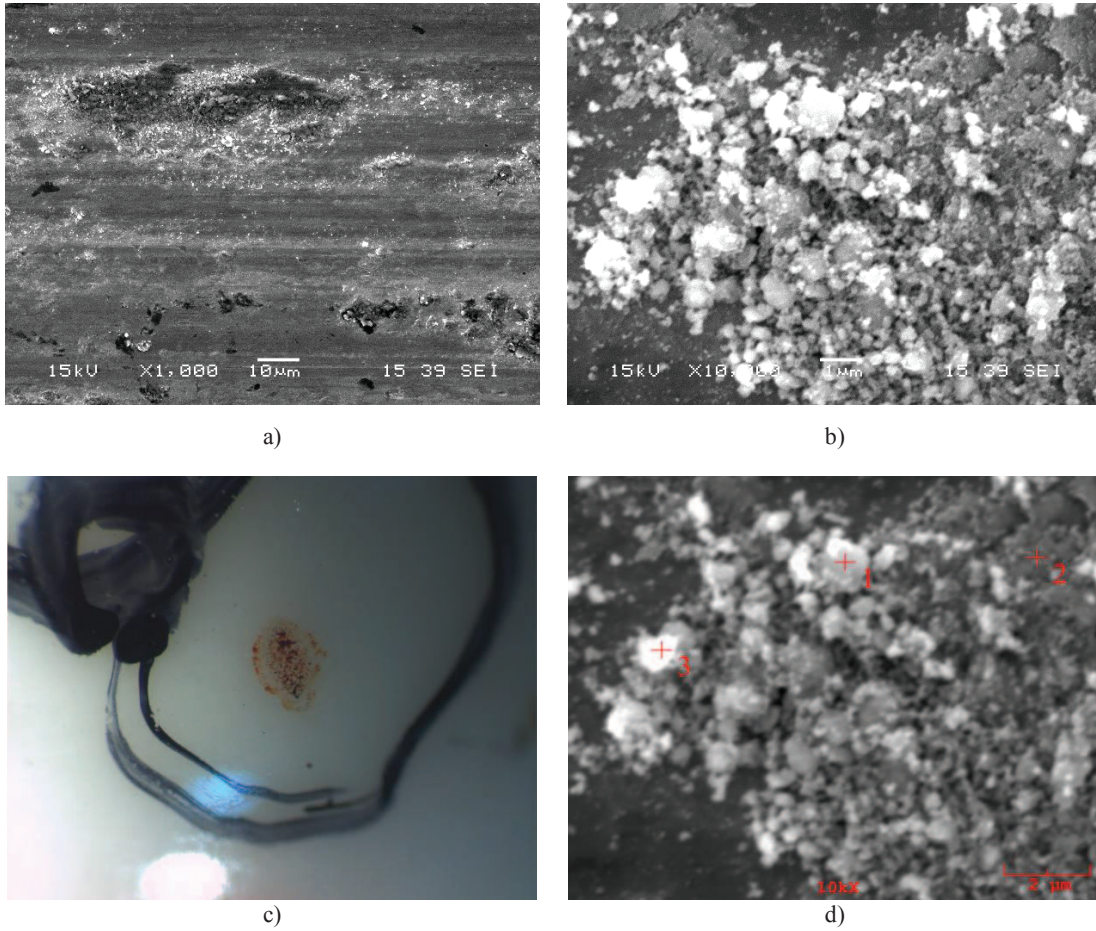
Şekil 7.56. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.27. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,124	21,580	0,322	0,000	75,393	2,581
2	2,926	51,687	0,701	1,137	41,631	1,918
3	0,000	55,596	0,457	0,102	42,669	1,177
4	0,000	11,283	0,200	0,673	84,825	3,019
5	0,000	54,394	0,470	0,316	44,055	0,765

Şekil 7.57'de 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS

görüntüleri verilmektedir. SEM görüntülerine bakıldığında plastik deformasyon gerçekleştiği söylenebilir. Hızın artmasıyla artan aşınma ürünleri hem adhezif hem de abrazif aşınmaya neden olmuştur. EDS analiz çalışmasında deneyde kullanılan alümina bilyanın da aşınması sonucu meydana gelmiş aşınma ürünleri arasında varlığı görülmüştür. Yüzeyde meydana gelen aşınma ürünleri de Şekil 7.57 (b)'de yüksek büyütme görülmektedir.

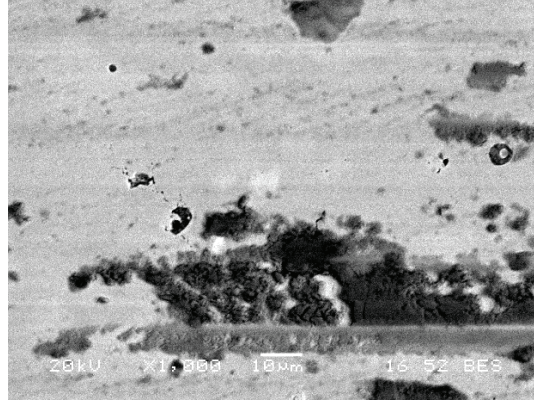


Şekil 7.57. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

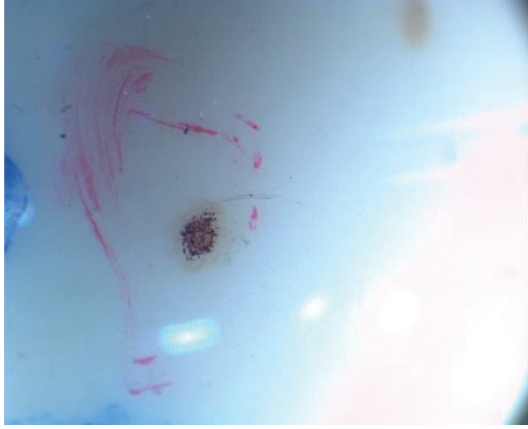
Tablo 7.28. 5 (50 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,182	49,294	0,424	0,388	46,552	1,160
2	1,852	39,521	0,594	0,611	57,008	0,414
3	3,223	46,890	0,916	0,480	47,935	0,555

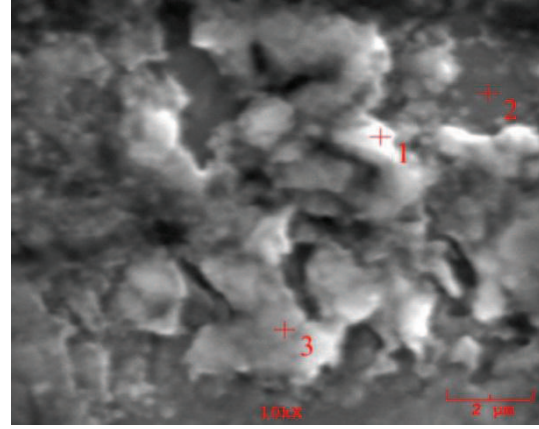
Şekil 7.58 (a)'da 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü ve Şekil 7.58 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir. Şekil 7.58 (c)'de ise verilmekte olan EDS görüntüsünden noktasal olarak alınmış değerlerden aşınma ürünlerinin ve bilya parçalarının daha iyi belirlenmesi mümkün olmuştur.



a)



b)



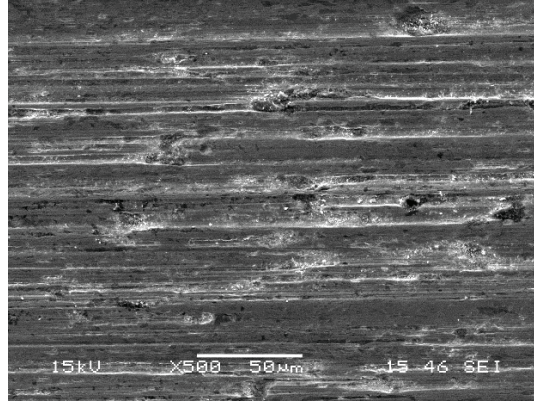
c)

Şekil 7.58. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

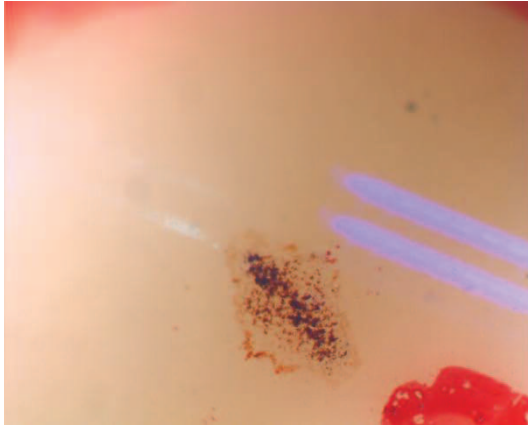
Tablo 7.29. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	6,425	1,088	36,727	0,434	0,000	0,168	53,363	0,000	1,795
2	1,223	0,042	4,335	0,397	0,000	0,235	91,752	0,655	1,361
3	2,550	1,269	25,195	0,589	0,186	0,115	67,613	0,468	2,015

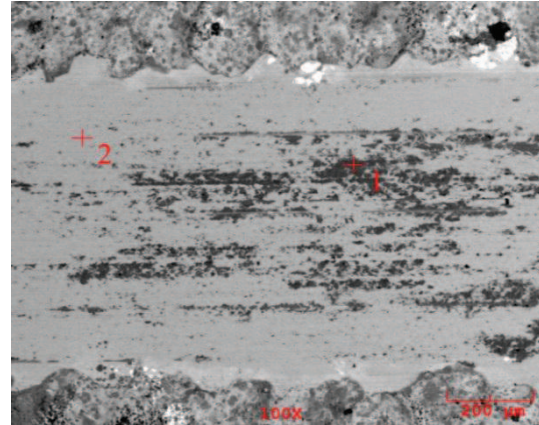
Şekil 7.59 (a)'da 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsünde yüzeyde yiv oluşumu ve malzeme kopmaları görülmektedir. Şekil 7.59 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir. Şekil 7.59 (c)'de ise aşınma yüzeyinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



c)

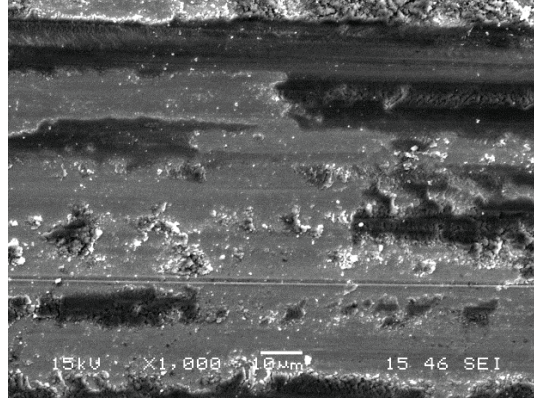
Şekil 7.59. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.30. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

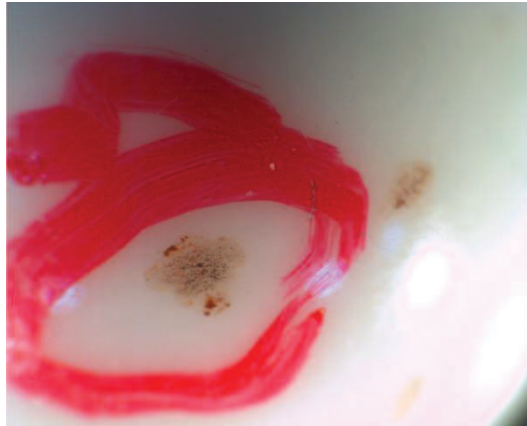
No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,680	42,686	0,444	0,301	50,913	4,976
2	0,000	9,261	0,183	0,592	86,809	3,156

Şekil 7.60 (a) ve Şekil 7.60 (b)'de 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin

SEM görüntüsü ve alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir.



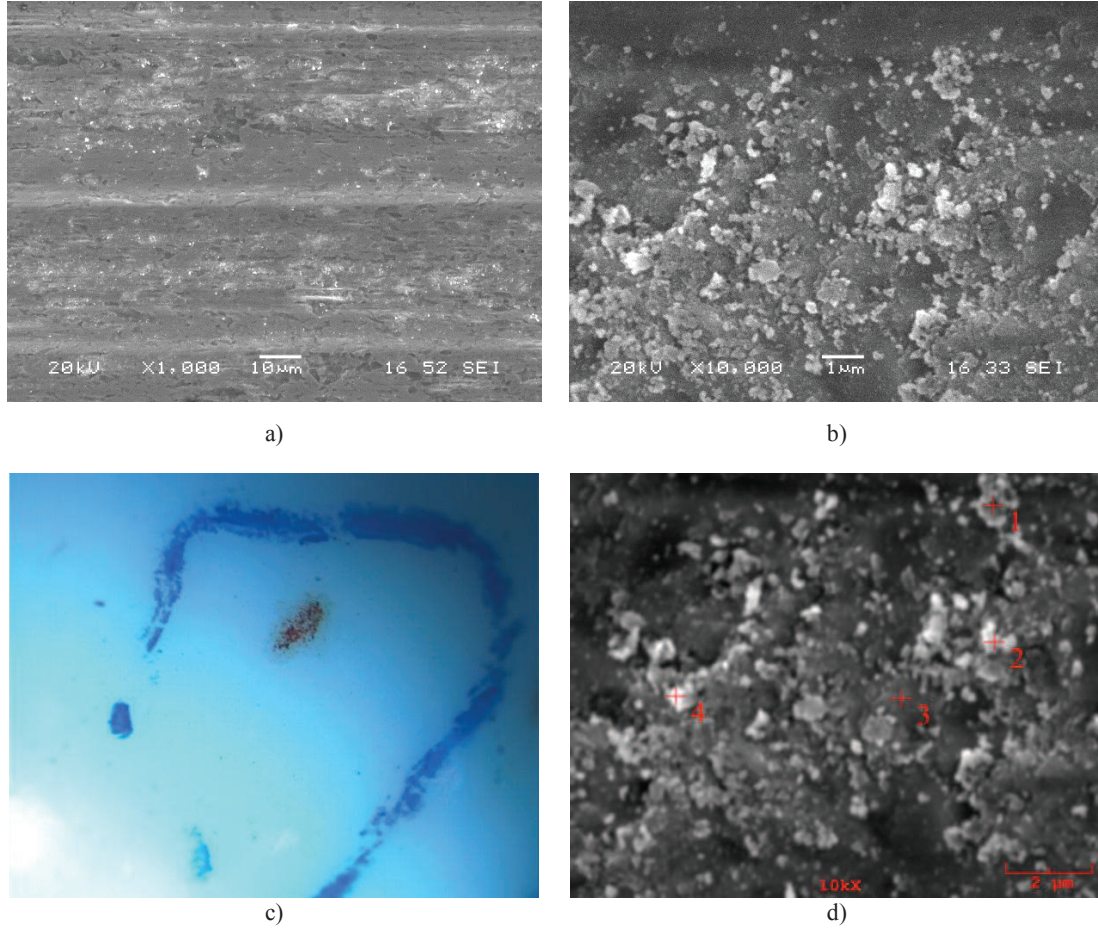
a)



b)

Şekil 7.60. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü

Şekil 7.61'de 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin ve aşınma ürünlerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. SEM görüntülerine göre aşınan bölge net bir şekilde görülmekte olup az miktarda yiv oluşumu mevcuttur. Yüzeyde meydana gelmiş olduğu düşünülen abrazyif aşınma gereği az miktarda malzeme kopmaları meydana gelmiştir.

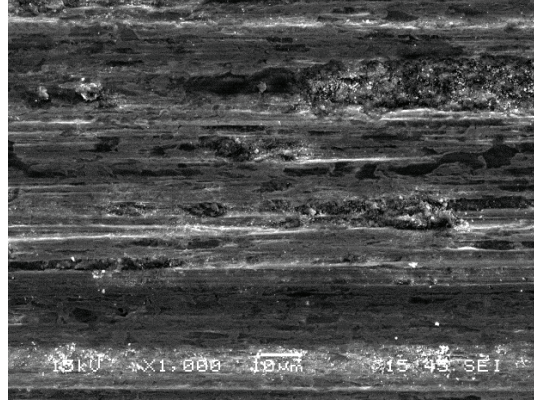


Şekil 7.61. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

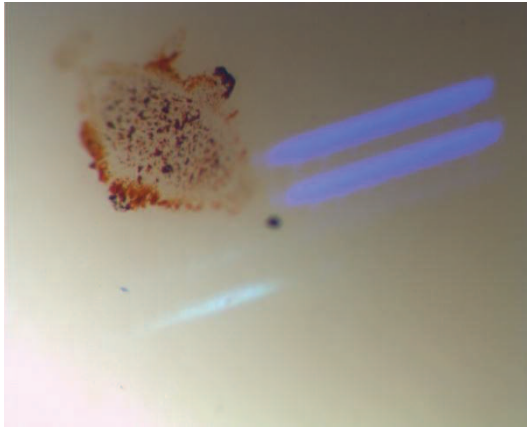
Tablo 7.31. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	0,266	3,645	0,207	0,000	0,239	92,987	0,314	2,342
2	1,902	0,653	21,393	0,330	0,740	0,311	73,310	0,444	0,917
3	0,797	1,772	16,211	0,430	0,000	0,117	77,865	0,583	2,227
4	1,707	0,498	12,498	0,367	0,000	0,105	82,593	0,414	1,819

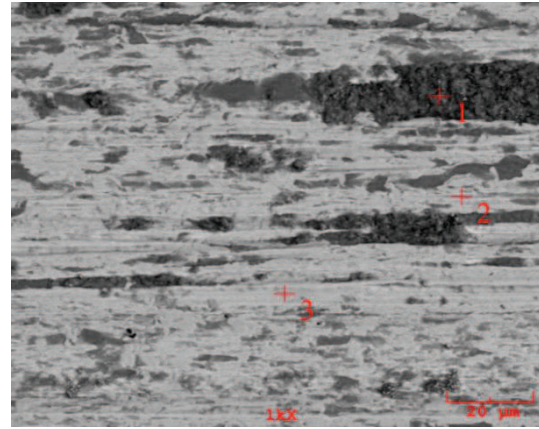
Şekil 7.62'de 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyinde yine delaminasyon aşınma izleri (yivler) mevcuttur. Az miktarda plastik deformasyon görülmektedir. Aşınma ürünlerinin oluşumu ve yer yer bu ürünlerde sıvanmalar meydana geldiği söylenebilir.



a)



b)



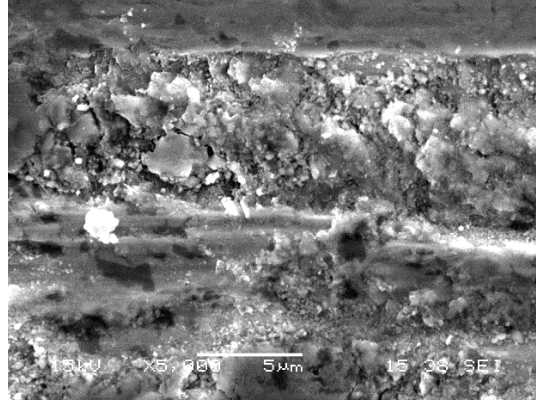
c)

Şekil 7.62. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

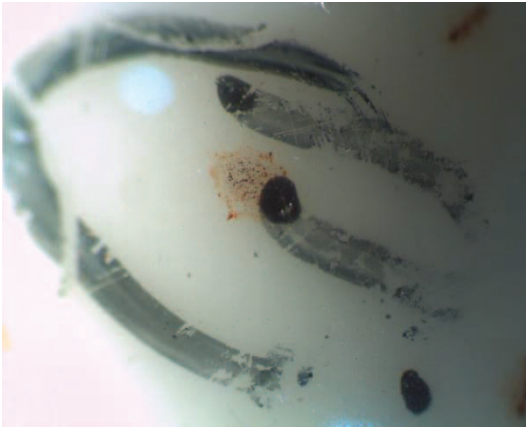
Tablo 7.32. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	3,588	51,445	0,261	0,654	41,055	2,997
2	0,000	27,057	0,537	0,758	68,409	3,24
3	0,000	13,579	0,565	0,174	84,183	1,499

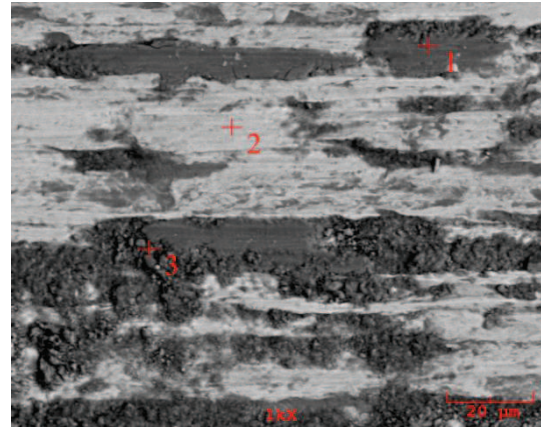
Şekil 7.63' de 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Hız arttığında yüzeyde bozulmalar ve aşınma ürünlerinde artış meydana geldiği söylenebilir. Yüzeyde plastik deformasyon ve yivler vardır. Yer yer malzeme kopmalarına da rastlanmıştır.



a)



b)



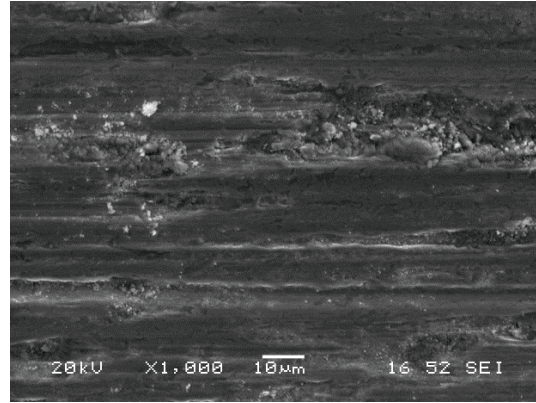
c)

Şekil 7.63. 7 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

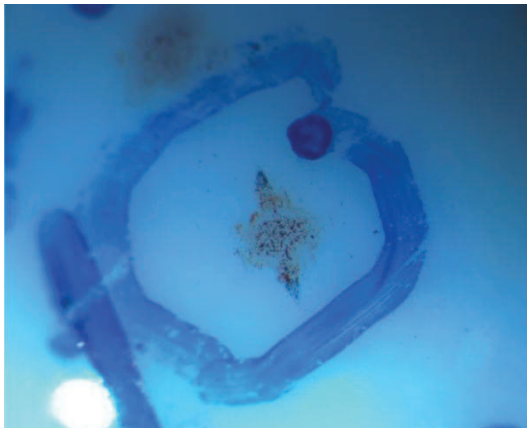
Tablo 7.33. 7 (50 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	52,978	0,580	0,204	44,131	2,107
2	0,000	9,583	0,178	0,833	86,376	3,030
3	4,650	48,144	0,662	0,045	44,734	1,765

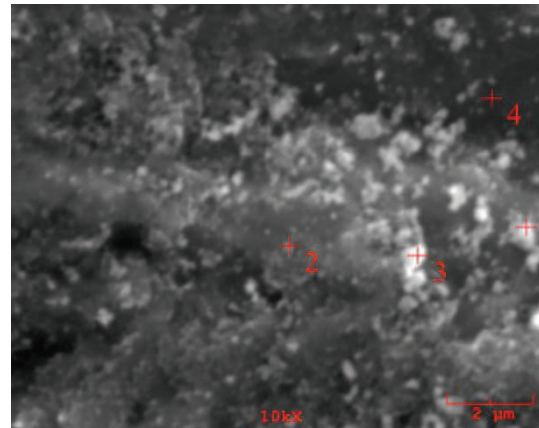
Şekil 7.64 (a)'da 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.64 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir. Şekil 7.64 (c)'de ise aşınma ürünlerinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



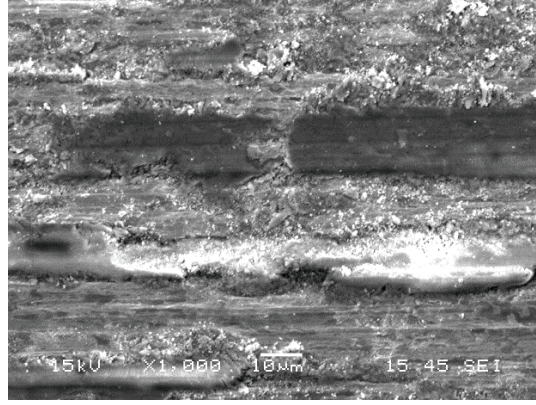
c)

Şekil 7.64. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

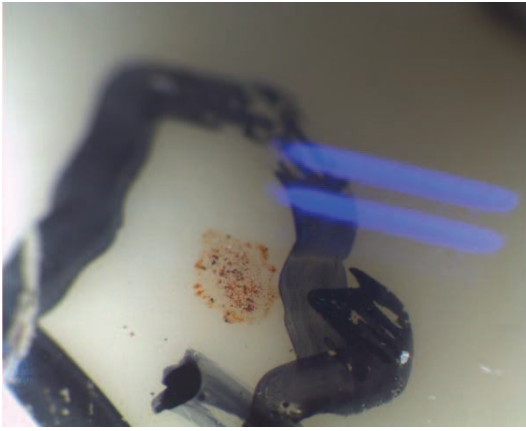
Tablo 7.34. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,061	0,264	11,322	0,261	0,000	0,226	84,952	0,641	2,272
2	0,000	0,000	4,711	0,106	0,000	0,116	92,365	0,840	1,862
3	0,000	0,979	21,979	0,405	0,599	0,542	72,766	0,623	2,106
4	0,000	0,366	1,685	0,223	0,000	0,137	94,821	0,432	2,337

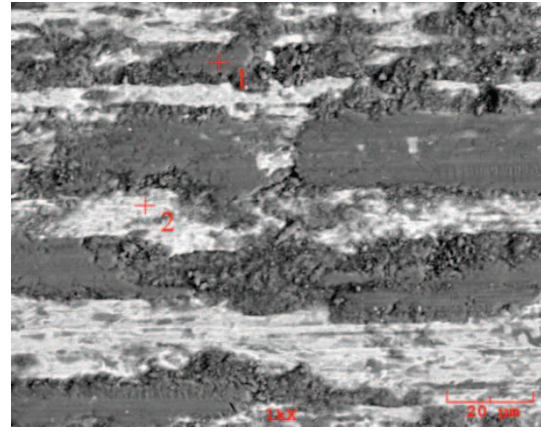
Şekil 7.65 (a)'da 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.65 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.65 (c)'de ise aşınma ürünlerinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



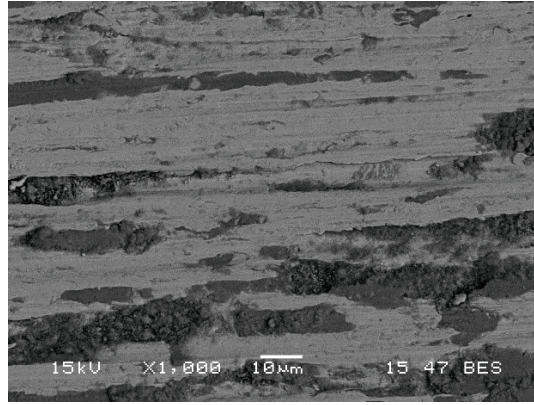
c)

Şekil 7.65. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

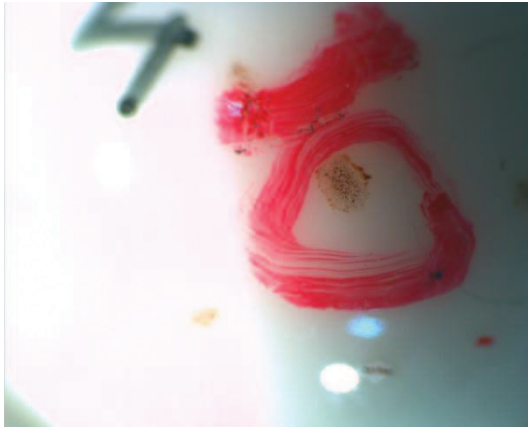
Tablo 7.35. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1 ve 2 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,585	55,282	0,504	0,81	41,506	1,313
2	0,000	9,873	0,578	0,646	87,322	1,581

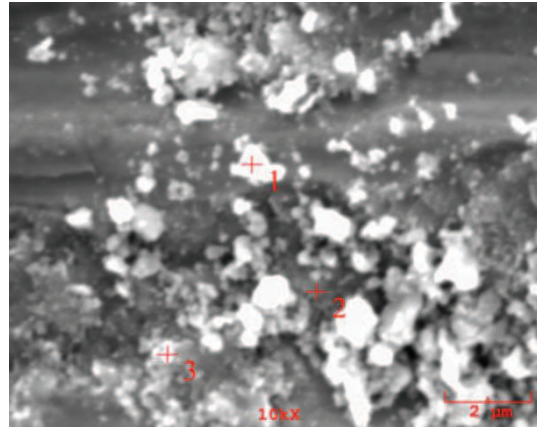
Şekil 7.66 (a)'da 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.66 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü, Şekil 7.66 (c)'de ise aşınma ürünlerinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



c)



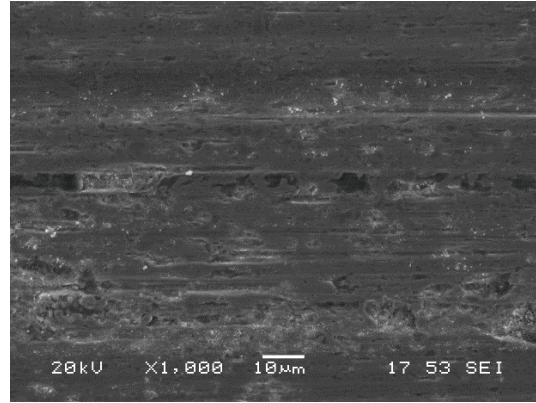
d)

Şekil 7.66. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

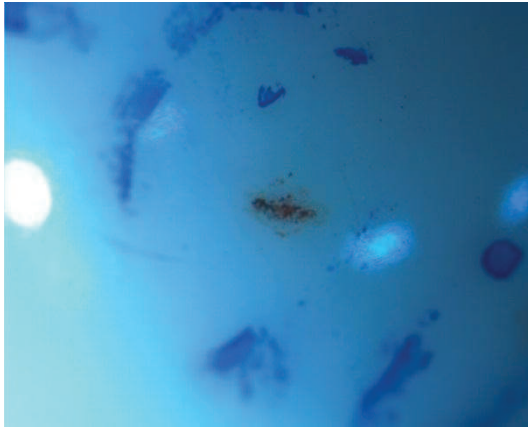
Tablo 7.36. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	46,324	0,634	0,0119	49,789	3,232
2	3,517	43,610	0,712	0,581	49,834	1,746
3	7,825	49,316	0,526	0,234	40,299	1,800

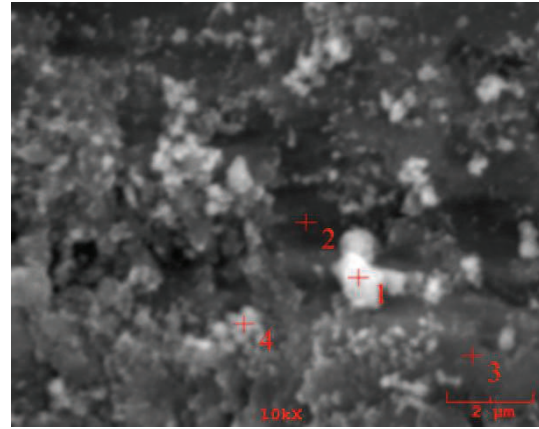
Şekil 7.67'de 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyinde az miktarda delaminasyon aşınma izleri (yivler) mevcuttur. SEM görüntüsüne bakıldığında yüzeyde meydana gelmiş olduğu düşünülen abrazyon aşınma gereği az miktarda malzeme kopmaları görülmektedir. Yine SEM görüntüsünde ince kazımalı aşınma oluşumları ve yine çok az bir oranda plastik deformasyon izleri mevcuttur.



a)



b)



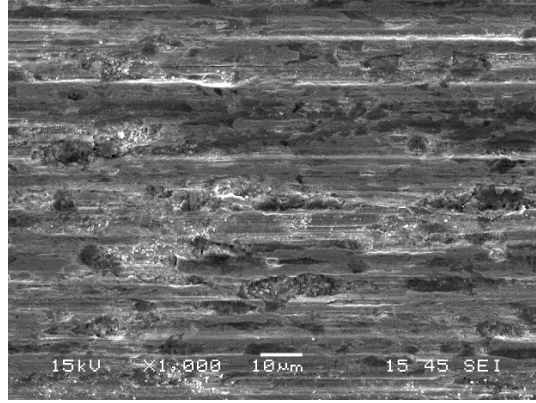
c)

Şekil 7.67. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

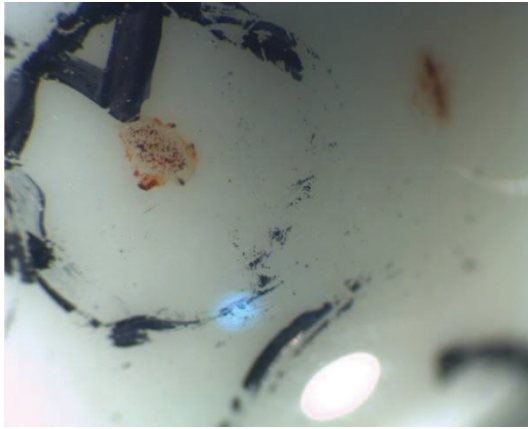
Tablo 7.37. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	0,442	26,580	0,513	0,000	0,136	70,536	0,574	1,220
2	0,000	0,489	2,225	0,226	0,000	0,097	93,639	0,618	2,707
3	0,943	0,149	4,062	0,759	0,000	0,410	91,814	0,828	1,035
4	0,000	0,669	13,109	0,102	0,000	0,503	84,056	0,242	1,318

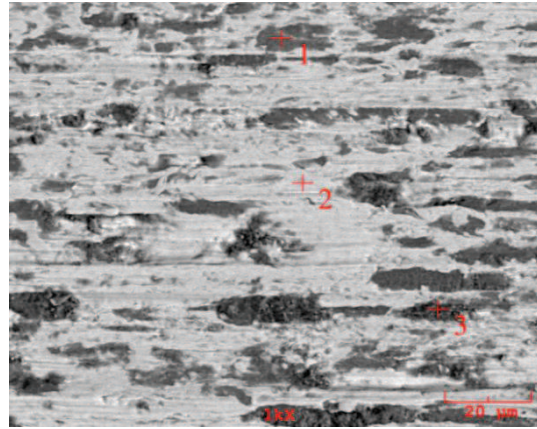
Şekil 7.68'de 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyinde yivler mevcuttur. SEM görüntüsüne bakıldığında yüzeyde meydana gelmiş olduğu düşünülen abrazyon aşınma gereği malzeme kopmaları görülmektedir. Bir önceki numuneye göre artan hız ile plastik deformasyon ve aşınma ürünleri miktarının arttığı görülmektedir.



a)



b)



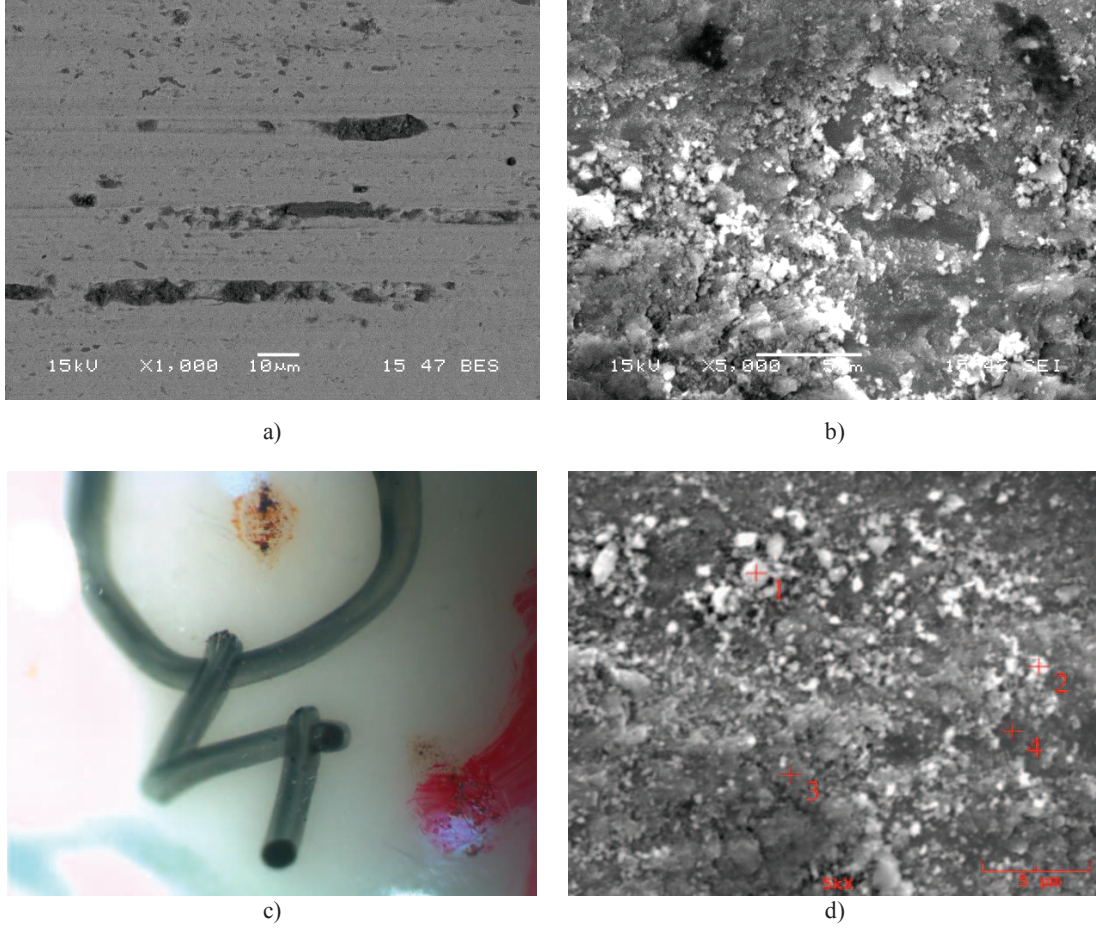
c)

Şekil 7.68. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.38. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	45,903	0,142	0,719	52,314	0,921
2	0,000	9,198	0,534	1,093	88,338	0,837
3	5,266	57,422	0,275	0,052	35,391	1,593

Şekil 7.69 (a) ve Şekil 7.69 (b)'de 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeylerinin ve aşınma ürünlerinin SEM görüntüleri, Şekil 7.69 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü, Şekil 7.69 (d)'de ise aşınma ürünlerinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.

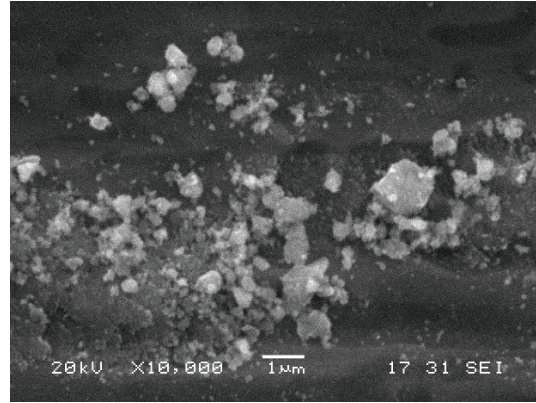


Şekil 7.69. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b)yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

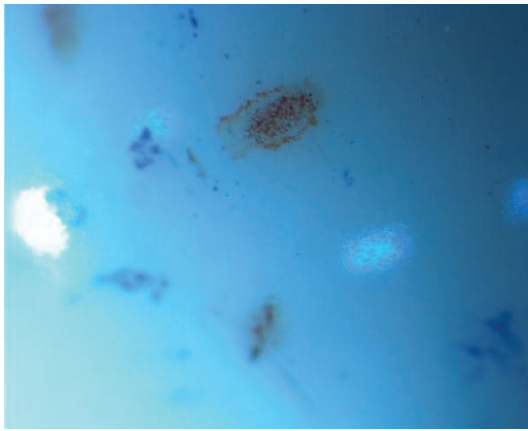
Tablo 7.39. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	2,248	55,594	0,039	0,433	38,886	2,800
2	6,206	35,368	0,113	1,083	55,547	1,683
3	3,032	49,109	0,606	0,230	46,071	0,952
4	0,000	10,048	0,748	1,453	85,043	2,709

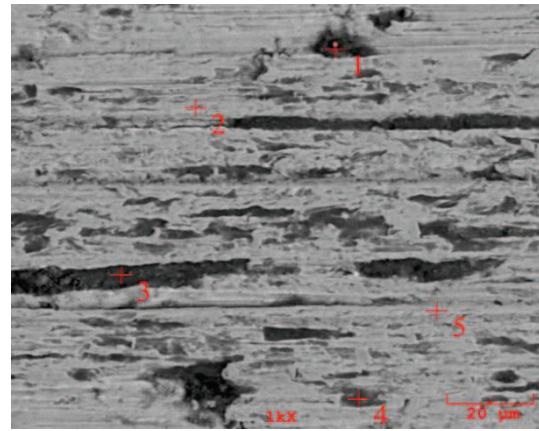
Şekil 7.70 (a)'da 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü, Şekil 7.70 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü, Şekil 7.70 (c)'de ise aşınma yüzeyinden alınan EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



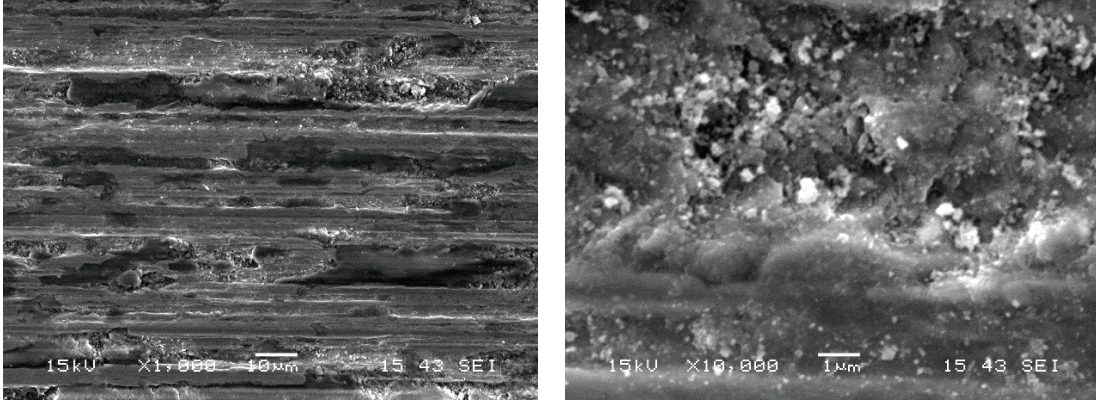
c)

Şekil 7.70. 10 (70 mm, 4 atm) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma ürünlerinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.40. 10 (70 mm, 4 atm) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

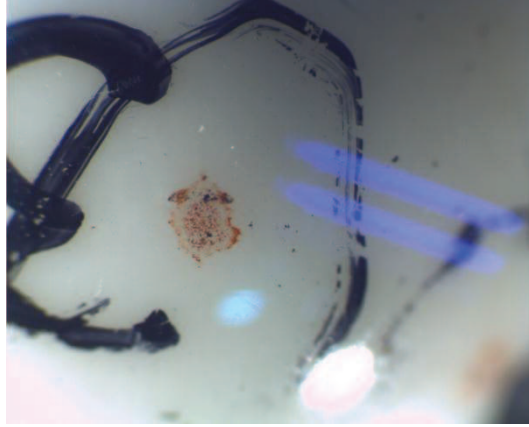
N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,242	0,569	31,249	0,454	0,000	0,103	64,462	0,673	2,249
2	0,000	0,307	8,406	0,005	0,000	0,186	87,722	1,049	2,326
3	0,000	0,000	33,494	0,237	0,000	0,167	63,238	1,076	1,787
4	0,000	1,103	25,817	0,159	0,487	0,263	69,675	0,788	1,707
5	0,000	0,000	4,783	0,129	0,000	0,488	92,231	0,206	2,162

Şekil 7.71 (a)'da 10 (70 mm, 4 atm) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.71 (b)'de aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü, Şekil 7.71 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü verilmektedir.



a)

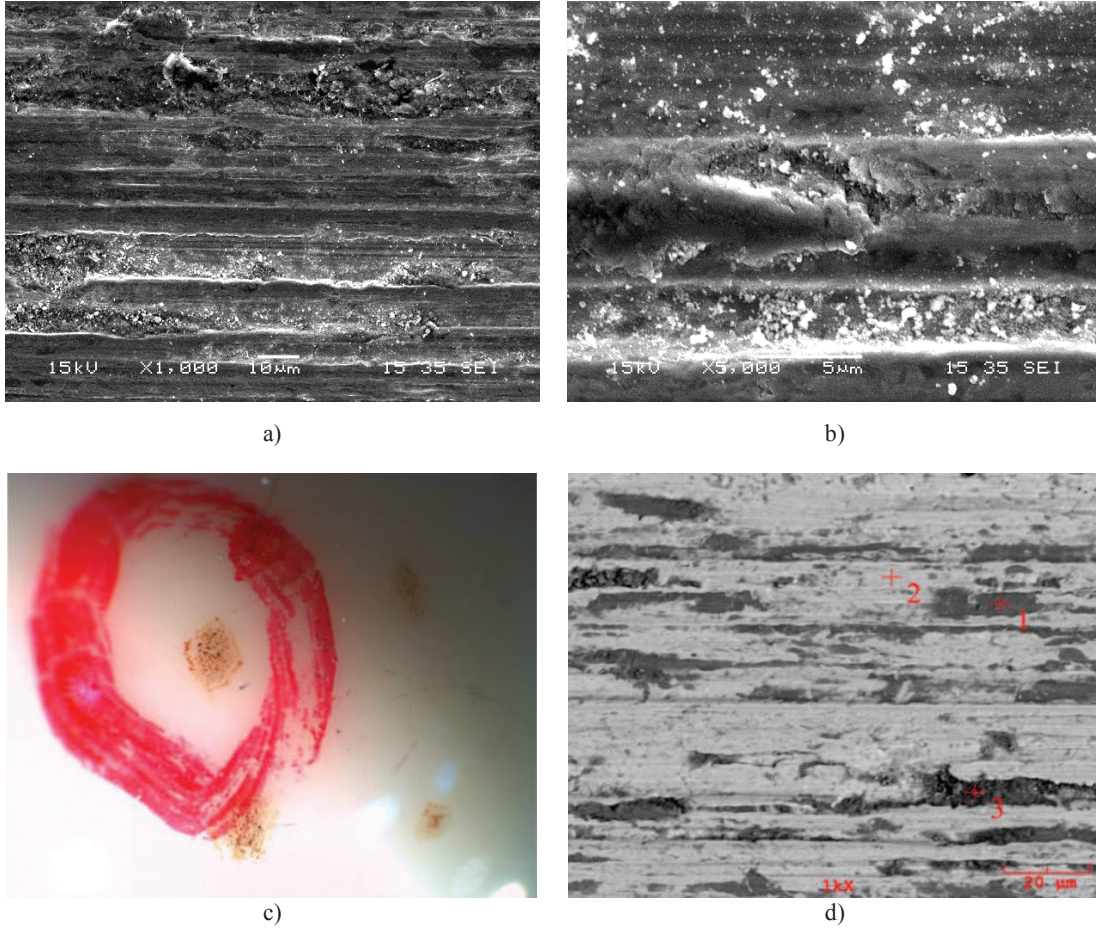
b)



c)

Şekil 7.71. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b)yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü

Şekil 7.72 (a)'da 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.72 (b)'de yüksek büyütmede alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.72 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.72 (d)' de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.

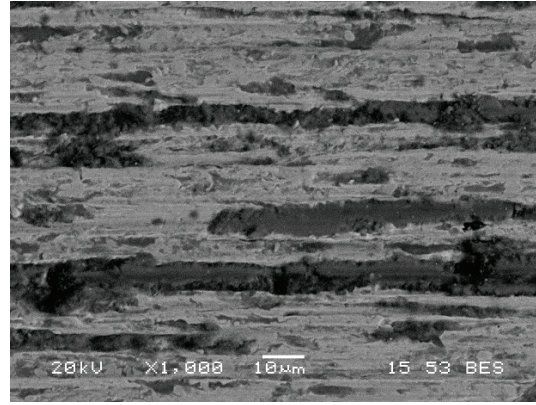


Şekil 7.72. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bir bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

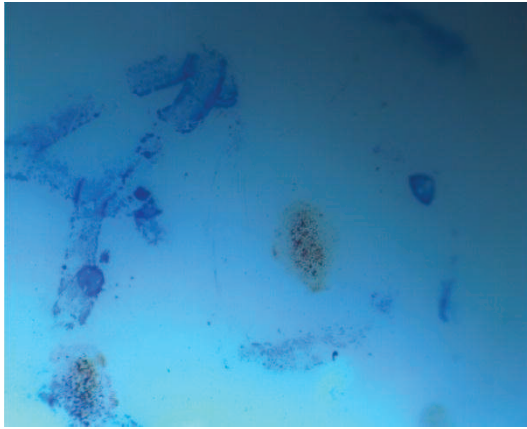
Tablo 7.41. 10 (70 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	1,035	51,147	0,766	0,309	45,129	1,615
2	0,000	12,630	0,281	0,394	84,332	2,363
3	1,337	48,363	0,556	0,726	46,282	2,736

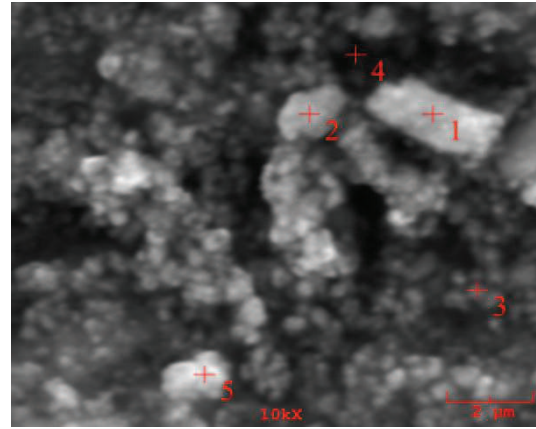
Şekil 7.73 (a)'da 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.73 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.73 (c)'de aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



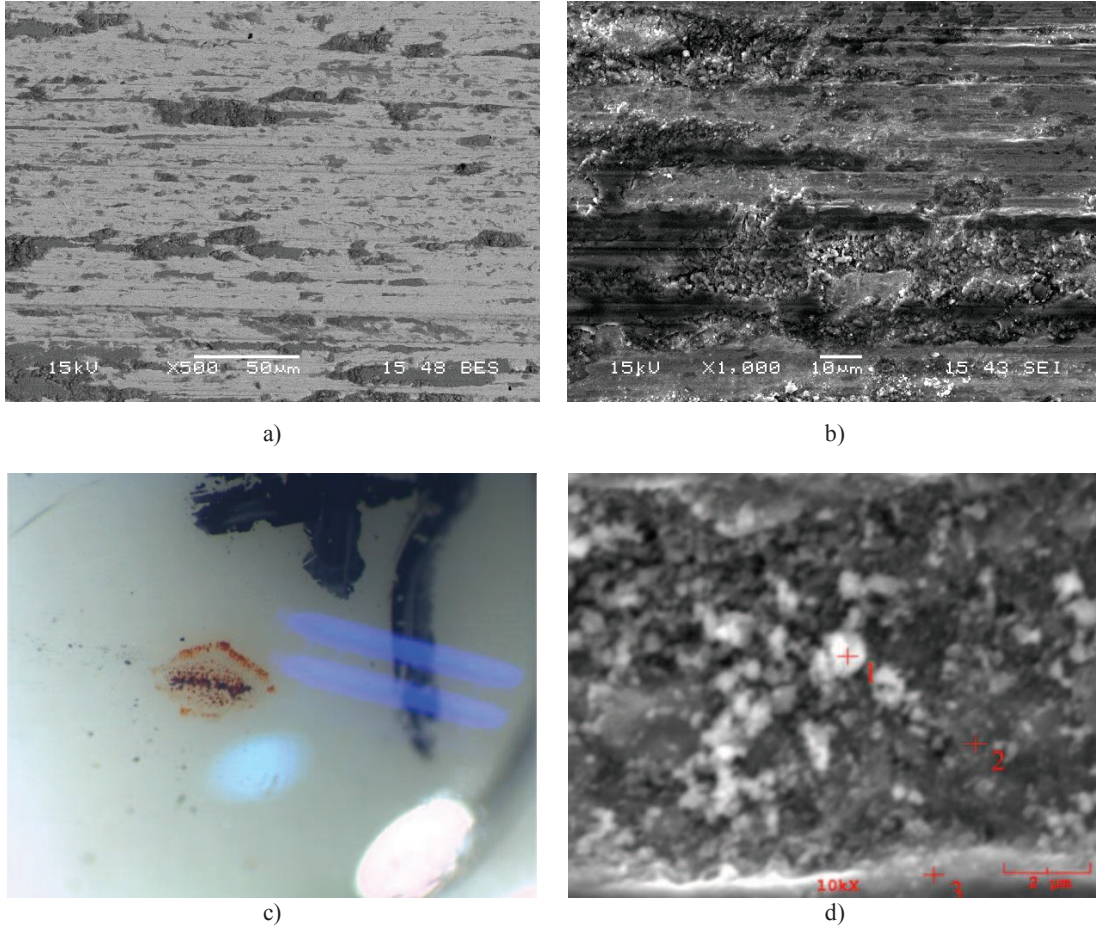
c)

Şekil 7.73. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.42. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	10,994	0,000	25,443	0,145	0,000	0,043	60,795	0,431	2,150
2	15,549	0,000	34,484	0,426	0,000	0,193	47,569	0,294	2,485
3	12,805	0,000	26,609	0,360	0,000	0,160	58,137	0,370	1,559
4	10,762	0,000	16,242	0,577	0,000	0,382	69,689	0,689	1,660
5	19,906	0,635	38,280	0,297	0,000	0,116	39,650	0,254	0,862

Şekil 7.74 (a)'da 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.74 (b)'de farklı bir bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.74 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.74 (d)'de aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.

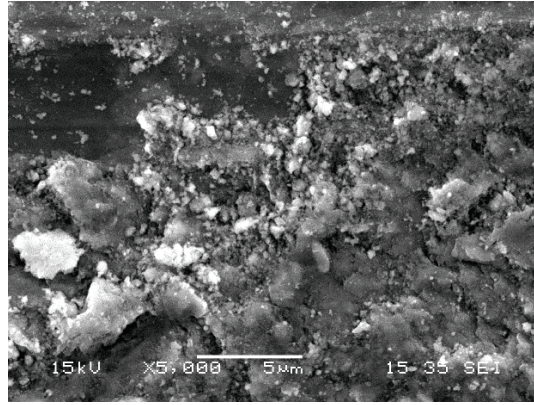


Şekil 7.74. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) farklı bir bölgeden alınmış aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

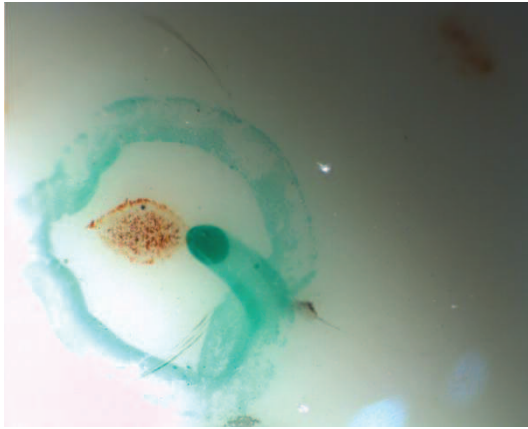
Tablo 7.43. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

N o	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	5,619	56,080	0,625	0,419	35,318	1,940
2	4,386	50,057	0,430	0,618	43,351	1,160
3	2,848	32,725	0,289	1,061	60,586	2,492

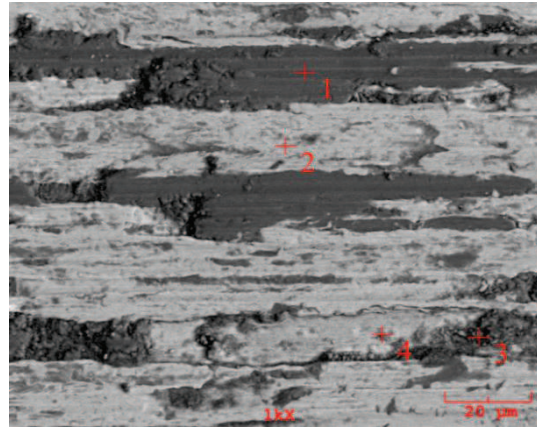
Şekil 7.75 (a)'da 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü, Şekil 7.75 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.75 (c)'de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



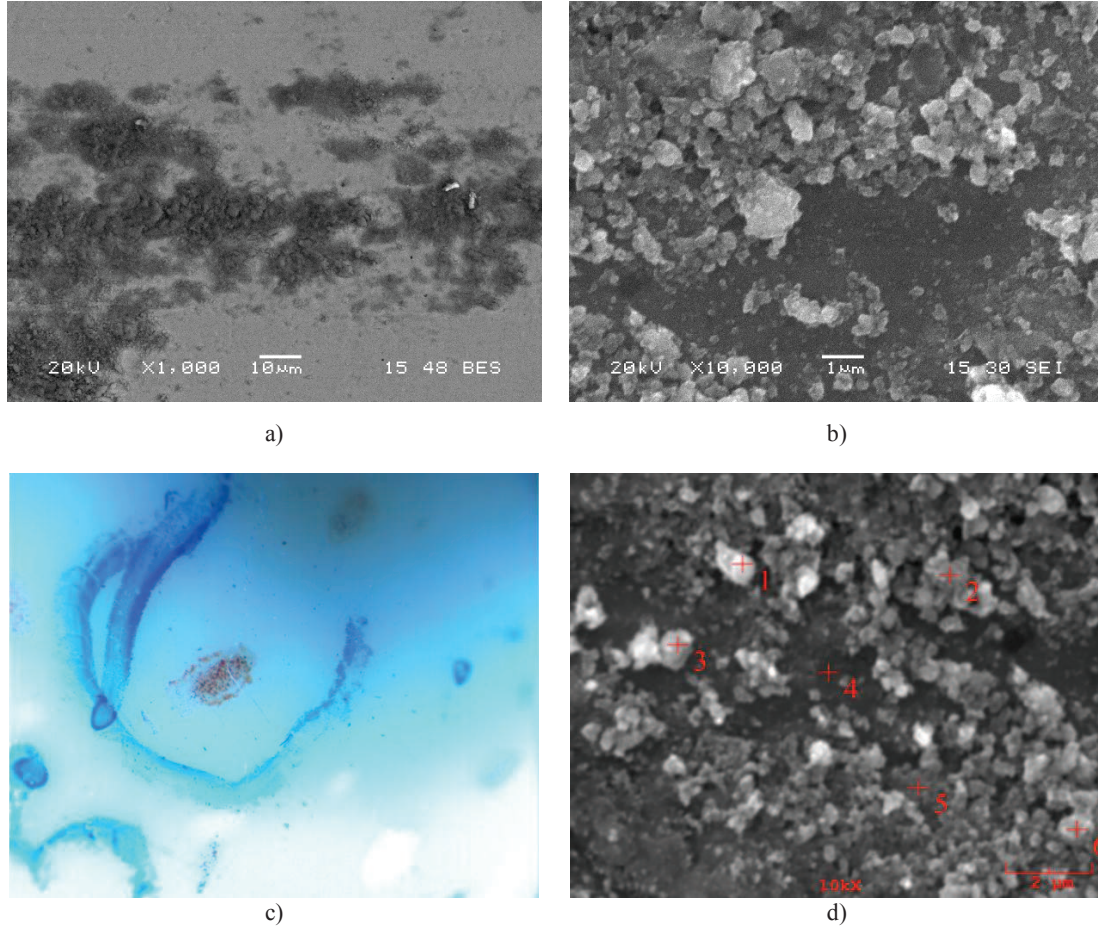
c)

Şekil 7.75. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.44. 11 (70 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	51,909	0,535	0,449	45,457	1,650
2	0,000	21,410	0,764	0,908	74,515	2,402
3	4,164	48,302	0,275	0,259	44,275	2,724
4	1,590	28,265	0,231	0,606	66,662	2,645

Şekil 7.76 (a)'da 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.76 (b)'de yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü, Şekil 7.76 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.76 (d)'de aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.

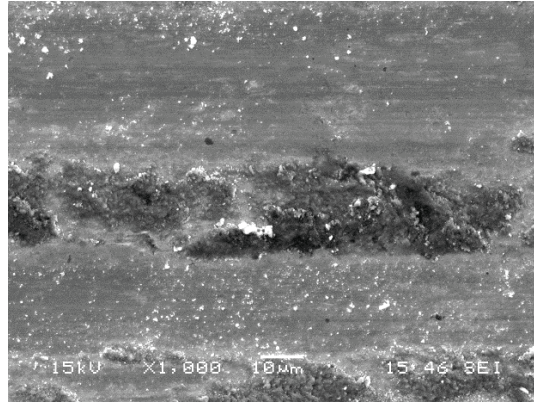


Şekil 7.76. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

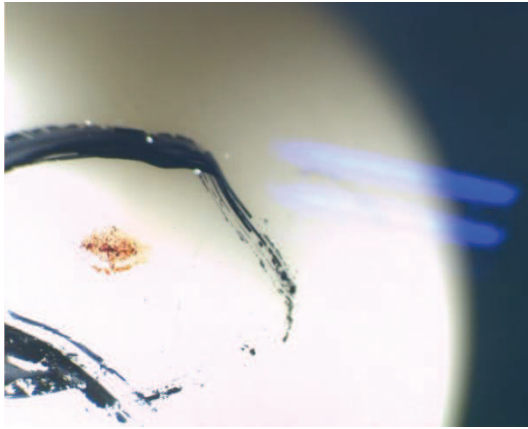
Tablo 7.45. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%N (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Mn (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%Ni (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	1,554	0,570	21,533	0,445	0,000	0,180	72,724	0,335	2,649
2	1,688	0,930	17,986	0,393	0,000	0,182	76,079	0,510	2,233
3	2,046	1,011	15,271	0,009	0,000	0,403	79,146	0,374	1,739
4	2,111	0,000	3,887	0,272	0,000	0,353	90,986	0,044	2,349
5	3,309	0,425	14,905	0,627	0,000	0,023	79,080	0,280	1,351
6	3,452	0,000	9,014	0,207	0,000	0,253	84,310	0,521	2,243

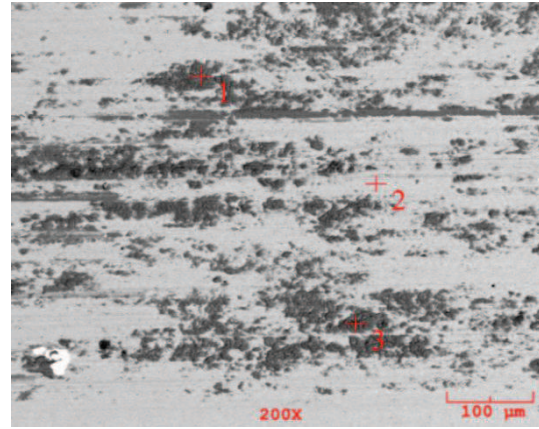
Şekil 7.77 (a)'da 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.77 (b)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.77 (c)'de aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.



a)



b)



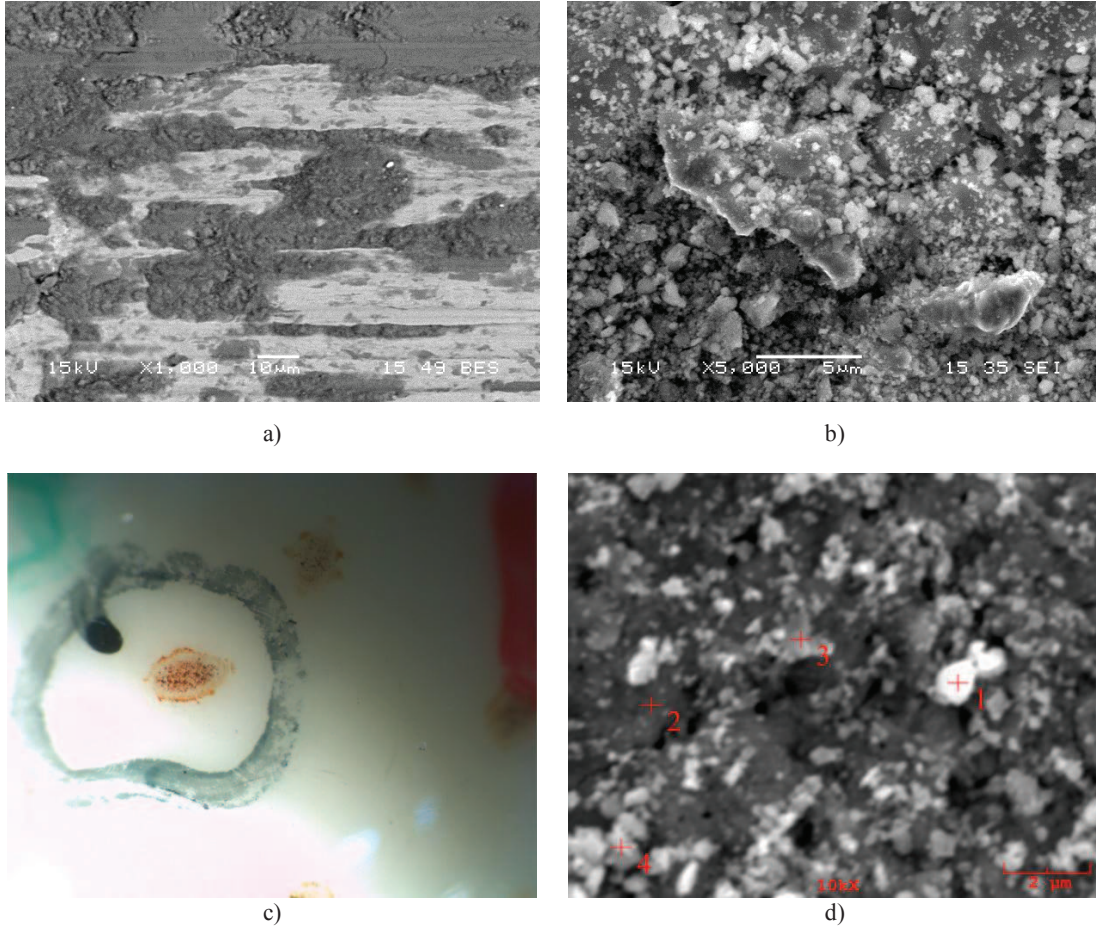
c)

Şekil 7.77. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü c) aşınma yüzeyinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.46. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2 ve 3 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	0,000	51,457	0,430	0,373	46,330	1,410
2	0,000	6,782	0,523	1,819	88,244	2,633
3	15,342	46,353	0,481	0,150	34,002	3,673

Şekil 7.78 (a)'da 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda 5 N yük altında 200 m'de yapılan deney sonrası elde edilmiş aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, Şekil 7.78 (b)'de yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü, Şekil 7.78 (c)'de alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü ve Şekil 7.78 (d)'de aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü verilmektedir.



Şekil 7.78. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası a) aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü b) yüksek büyütmede aşınma ürünlerinin SEM görüntüsü c) alümina bilyada oluşan izin stereo mikroskop görüntüsü d) aşınma ürünlerinden alınmış EDS görüntüsü

Tablo 7.47. 12 (70 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası 1, 2, 3 ve 4 no'lu noktalardan alınmış EDS analizleri

No	%C (ağırlıkça) miktarı	%O (ağırlıkça) miktarı	%Al (ağırlıkça) miktarı	%Si (ağırlıkça) miktarı	%Fe (ağırlıkça) miktarı	%W (ağırlıkça) miktarı
1	4,768	52,707	1,369	0,731	39,525	0,899
2	0,000	40,924	0,602	1,512	52,664	4,298
3	5,080	50,374	3,055	1,146	37,689	2,656
4	5,878	47,617	2,819	1,251	40,542	1,894

Aşınma deneyleri sonucunda; işlem görmemiş numune gruplarında meydana gelen aşınmanın çok şiddetli ve yüzeyi ağır hasara uğrattığı belirlenmiştir. Yüzey özellikleri atım plazma ile geliştirilen numunelerde x-ışınları analizi ile varlıkları belirlenen γ -Fe fazı, nitrür esaslı, wolfram ve/veya wolframoksit esaslı fazların varlığı aşınma dayanımının artmasına sebebiyet vermiştir [10]. Özellikle yüzeydeki

ince taneler ve 1-2 μm boyutundaki wolfram ve wolframoksit taneleri aşınma dayanımında çok etkili olmuştur.

İşlem görmemiş yüzeylerde abrazif aşınmanın daha ağır hasarlara yol açtığı görülmüş olup derin oyuklar ve çatlaklar meydana gelmiştir. Atım plazma yöntemi uygulanarak numune yüzeylerinde abrazif aşınma miktarının azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak; atım plazma yöntemi ile yüzeyleri modifiye edilen çeliklerin işlem uygulanmayan numunelere nazaran aşınma dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Yüzeylerde meydana gelen bozulmalar, atım plazma uygulanmayan numunelerde çok şiddetli iken, işlem uygulanmış numunelerde az miktarda meydana gelmiştir. İşlem gören yüzeylerin aşınma dayanımının artmasıyla, kullanım ömürleri artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu malzemelerin ağır çalışma şartları altında uzun süre hasara uğramadan kullanılabilceği düşünülmektedir.

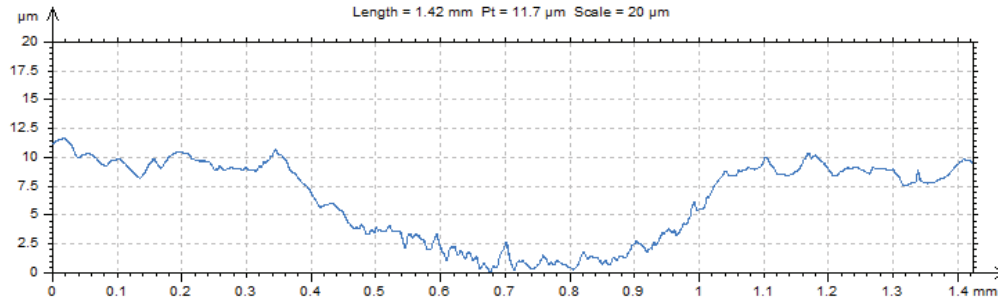
7.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

Tablo 7.48'de işlem görmeyen ve atım plazma uygulanmış numunelerin 0.10 m/sn hızda aşınma işlemi sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları görülmektedir. İşlem görmüş numunelerin ortalama pürüzlülük (R_a) ve (R_p) değerleri değişen parametrelere göre farklı sonuçlar vermiştir. İşlem görmemiş numunede daha düşük ortalama pürüzlülük değeri elde edilirken atım plazma işlemi yapılan numunelerden alınan ölçümler incelendiğinde ortalama pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. Atım plazma işlemi öncesi numune yüzeyinden alınan yüzey pürüzlük değeri 0.720 μm iken modifikasyon sonrası tüm numunelerde ortalama R_a değeri 0,720 ile 1,310 aralığında elde edilmiştir.

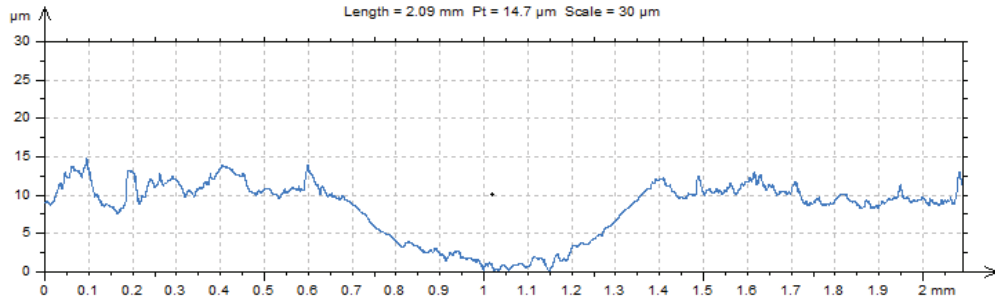
Tablo 7.48. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

Numune No	Hız (m/sn)	R _a (μm)	R _p (μm)
İşlem görmeyen numune	0,10	0,720	3,50
1	0,10	0,895	4,34
2	0,10	0,939	3,03
3	0,10	1,030	3,33
4	0,10	1,040	3,67
5	0,10	1,080	4,30
6	0,10	1,250	4,35
7	0,10	1,200	7,17
8	0,10	1,250	3,08
9	0,10	1,220	6,01
10	0,10	1,080	2,84
11	0,10	1,060	2,72
12	0,10	1,310	3,94

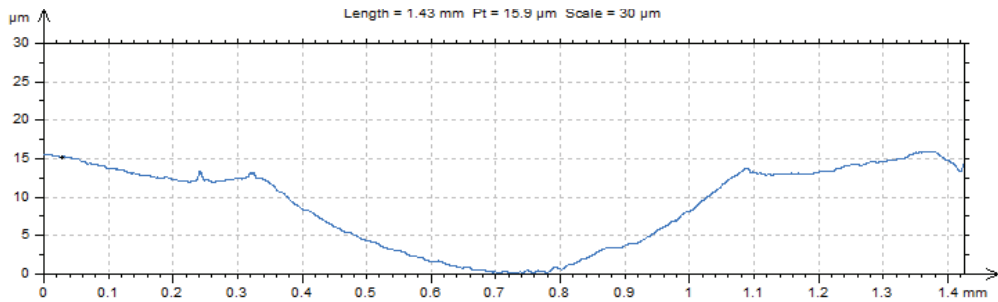
Şekil 7.79’da 0.05 m/sn hızda, Şekil 7.80’de 0.10 m/sn hızda ve Şekil 7.81’de 0.15 m/sn hızda 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numunenin 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları verilmiştir. Bu görüntülerde aşınma yüzeyinde meydana gelen malzeme kopmaları görülmektedir ve uygulanan hız arttıkça malzemede aşınma yüzey derinliğinin arttığı söylenebilir.



Şekil 7.79. 6 (50 mm, 12 atım) no’lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları

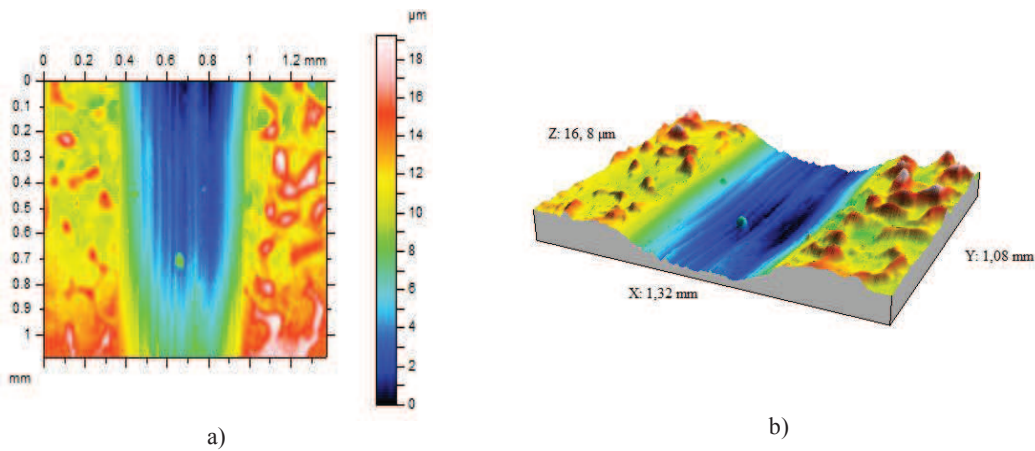


Şekil 7.80. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları

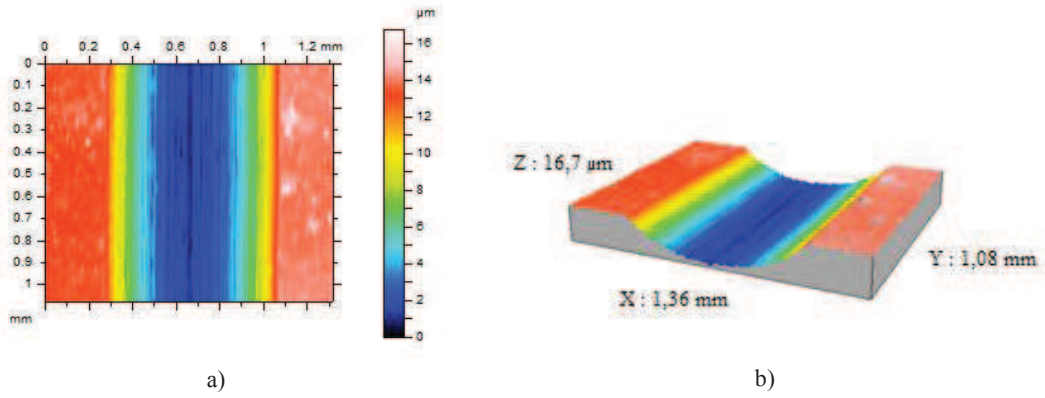


Şekil 7.81. 6 (50 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası iki boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları

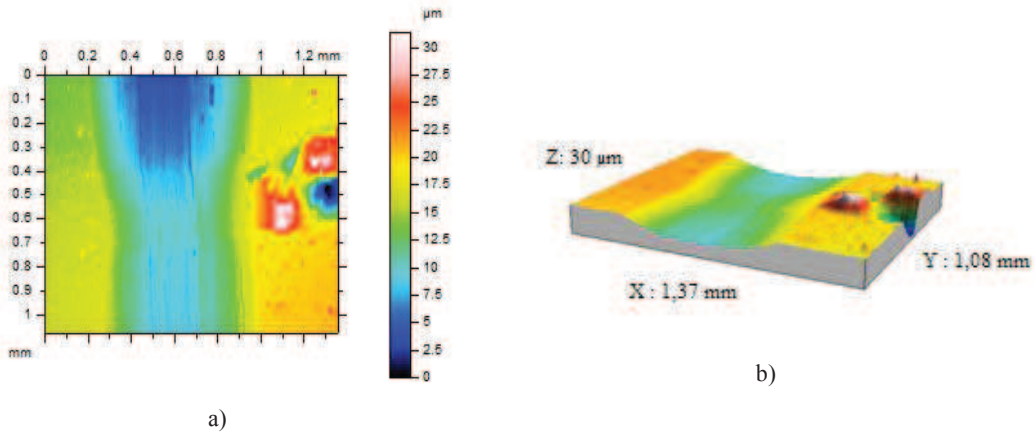
Şekil 7.82, Şekil 7.83, Şekil 7.84, Şekil 7.85, Şekil 7.86, Şekil 7.87, Şekil 7.88, Şekil 7.89 ve Şekil 7.90'da 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin 0.05 m/sn, 0.10 m/sn ve 0.15 m/sn hızlarda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları verilmiştir.



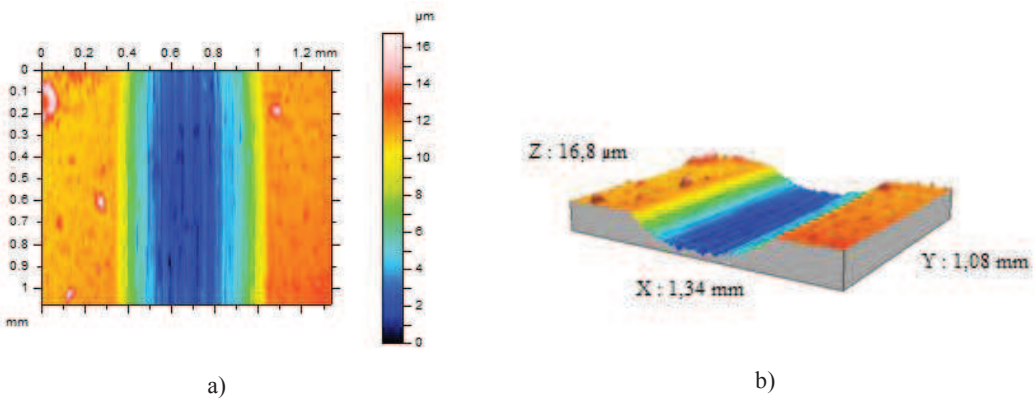
Şekil 7.82. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



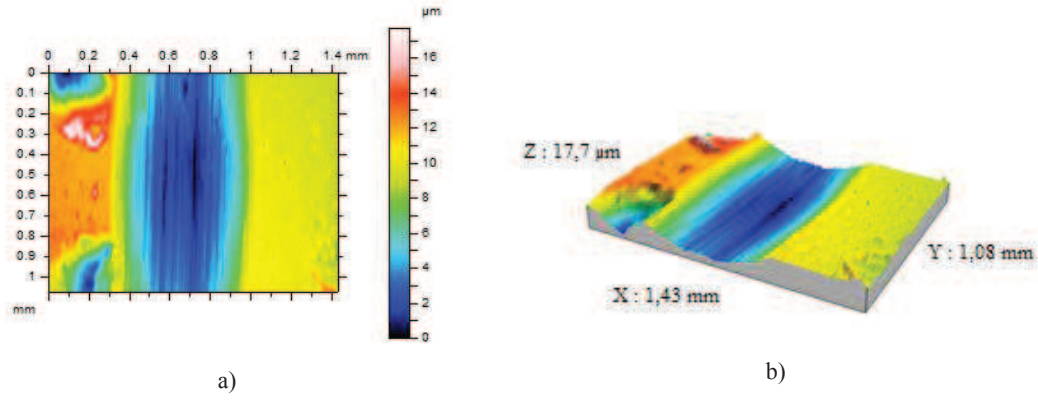
Şekil 7.83. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



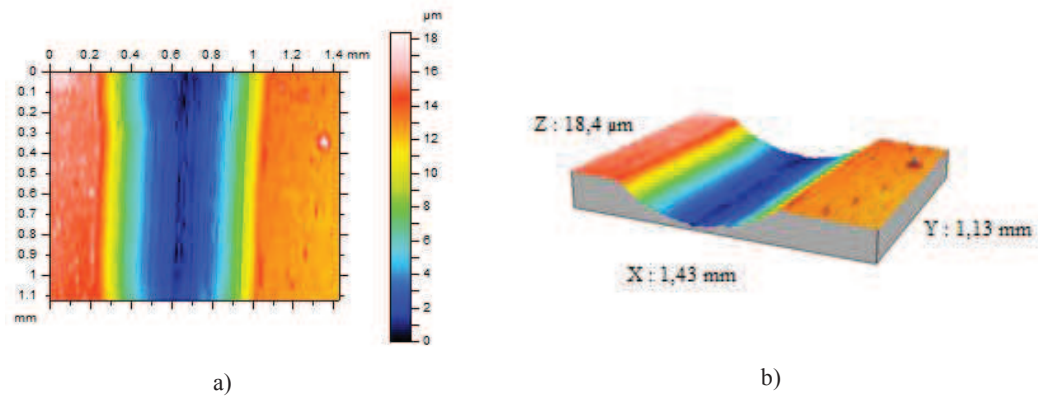
Şekil 7.84. 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



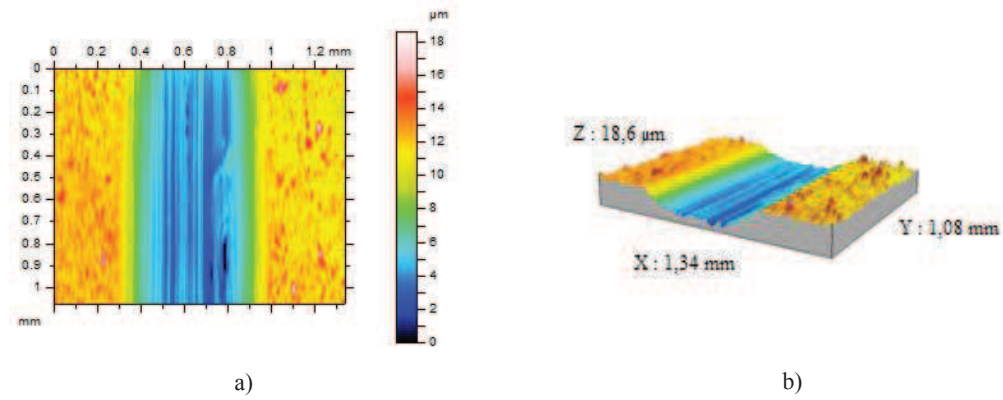
Şekil 7.85. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



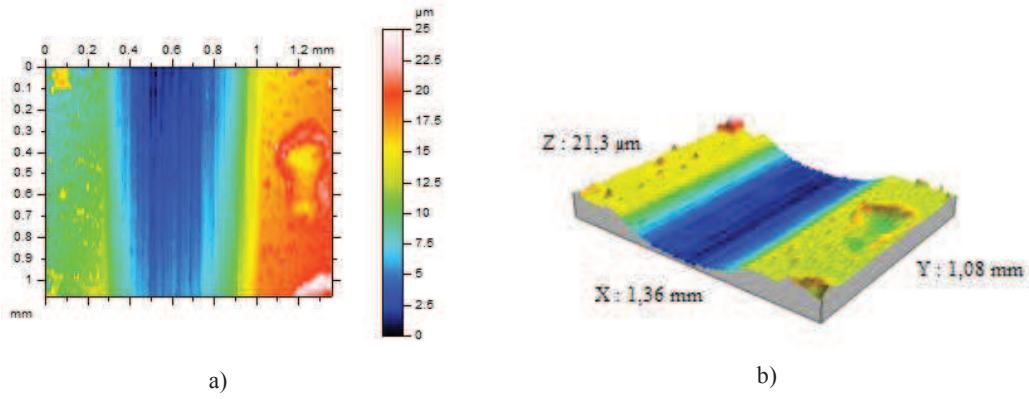
Şekil 7.86. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



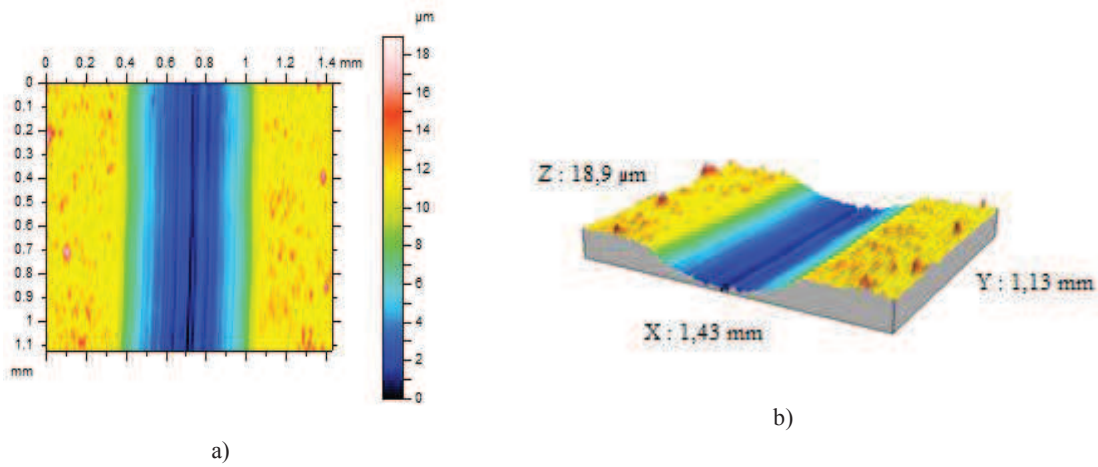
Şekil 7.87. 8 (60 mm, 8 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



Şekil 7.88. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.05 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



Şekil 7.89. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.10 m/sn hızda, 5 N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları



Şekil 7.90. 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunenin 0.15 m/sn hızda, 5N yük altında, 200 m mesafede aşınma deneyi sonrası üç boyutlu yüzey pürüzlülük analiz sonuçları

Tablo 7.49. 7 (60 mm, 4 atım), 8 (60 mm, 8 atım) ve 9 (60 mm, 12 atım) no'lu numunelerin üç boyutlu aşınma yüzey profil görüntülerinden x, y ve z düzlemlerinde alınan değerleri

Numune No	Hız (m/sn)	X (mm)	Y (mm)	Z (μ m)
7	0,05	1,32	1,08	16,80
7	0,10	1,36	1,08	16,70
7	0,15	1,37	1,08	30,00
8	0,05	1,34	1,08	16,80
8	0,10	1,43	1,08	17,70
8	0,15	1,43	1,13	18,40
9	0,05	1,34	1,08	18,60
9	0,10	1,36	1,08	21,30
9	0,15	1,43	1,13	18,90

Şekil 7.82, Şekil 7.83, Şekil 7.84, Şekil 7.85, Şekil 7.86, Şekil 7.87, Şekil 7.88, Şekil 7.89 ve Şekil 7.90'da verilen üç boyutlu aşınma yüzey profil görüntülerinden x, y ve

z düzlemlerinde alınan değerlerden görülmüştür ki hız değişimi yüzeydeki aşınma izlerinde boyutsal değişime neden olmuştur. Yüzeye uygulanan atım sayısında bu değişimde etkin olmuştur. En yüksek iz genişliği 7 (60 mm, 4 atım) no'lu numunede 0.15 m/sn hızda görülmüş olup Şekil 7.84'de görülmektedir.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek karbonlu DIN 1.2210 çeliklerinin yüzeyleri atım plazma tekniği ile modifiye edilerek, daha pahalı ve zor bulunan çeliklerin yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Atım plazma işleminde modifikasyon tabaka kalınlığında yüksek değer için genellikle yüksek atım sayısı, ortalama numune-nozul mesafe aralığının seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, dört farklı numune-nozul mesafe aralığı (40-50-60-70 mm) ve üç farklı atım sayısı (4-8-12 atım) değişken parametreler olarak seçilmiştir. Yapılan optik mikroskop görüntüleri, XRD analizleri, SEM ve EDS analizleri, mikrosertlik verileri, aşınma sonuçları, yüzey pürüzlülükleri ve aşınma sonrasında yapılan SEM ve EDS analizleri sonrasında atım plazma ile modifiye edilmiş DIN 1.2210 çeliklerinin yüzey özelliklerinin incelenmesi çalışmalarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Atım sayısı arttıkça modifikasyon tabaka kalınlığı artmakta, daha homojen ve düzgün bir hal almaktadır. Modifikasyon işlemi verimli şekilde uygulandığında, en yüksek tabaka kalınlığına 12 atım ile ulaşılmıştır. 4 atım ile yapılan çalışmalarda ise genellikle daha ince, daha az homojen yapıların elde edilmiştir. Atım sayısı hem modifikasyon tabaka kalınlığını, hem de mekanik özellikleri etkileyen önemli bir faktördür.
- Metalografik incelemeler sonucunda, modifikasyon tabaka kalınlığının artan atım sayısına ve nozul ile numune arasındaki mesafeye bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Nozul ile numune arasındaki mesafelerin içinde en uzak mesafe olan 70 mm'de en ince tabaka kalınlığı (23.42 μm) elde edilmiştir. En

yüksek kalınlık değeri ise 50 mm mesafede (59.64 μm) elde edilmiştir. Mesafenin azalması ile yüksek enerjiden dolayı yüzeyde ergime ve birtakım bozulmalar gözlemlenmiştir. Nozuldan saçılarak çıkan iyonlaşmış ürünlerin yüzeye tam odaklanarak girmesi bu proseste oldukça önem arz etmektedir. Mesafenin arttığı şartlar altında odaklanma sorun olmaktadır. Mesafenin artmasıyla etki alanı genişlemiş ve iyonize ürünler tam ve verimli şekilde spot bölgeye girememişlerdir. Dolayısıyla, modifikasyon tabaka kalınlıkları azalmıştır.

- XRD paternleri modifikasyon tabakasında $\alpha\text{-Fe}$, $\gamma\text{-Fe}$, FeN , Fe_2N , W_3O fazlarının oluştuğunu göstermiştir. Bu fazların varlığı aşınma dayanımını ve sertlik değerlerini artırmaktadır.
- Modifiye edilmiş numunelerden çıkarılan sertlik profillerinin modifikasyon öncesi numunelerinden daha yüksek sertlik değerleri verdiği görülmüştür. Kesit yüzeyinden numune içerisine doğru alınan mikrosertlik değerlerinde elde edilen en yüksek değer 1776 HV (9 no'lu numunede, 60 mm mesafe, 12 atım), en düşük değer 874 HV'dir (10 no'lu numunede, 70 mm mesafe, 4 atım). Nozul-numune arası mesafenin yüksek, atım sayısının az oluşu sertlik değerlerini düşürmüştür. Numune gruplarında elde edilmiş sertlik değerleri sonucunda atım plazma uygulanma şartlarının önemli olduğu görülmüştür.
- Metalografik olarak hazırlanmış ve parlatılmış kesit yüzeylerde yapılmış SEM ve EDS analizlerinde tabakalarda wolfram ve bazı element dağılımları incelenmiştir. Wolfram ve azotun başarılı bir şekilde yüzeye sokulması mekanik özellikler açısından son derece önemlidir.
- 200 m için 5 N yük altında 0.05 m/sn, 0.10 m/sn ve 0.15 m/sn hızlarda uygulanan aşınma deneyleri sonucunda aşınma hız miktarı en düşük olarak 9 (60 mm numune-nozul mesafesi, 12 atım) no'lu numune, en yüksek aşınma miktarı olarak da 10 (70 mm numune nozul mesafesi, 4 atım) no'lu numune ölçülmüştür. Ayrıca hızın artmasıyla aşınma miktarlarında genellikle artış görülmüştür.

- Modifikasyon sonrası numune gruplarının aşınma dayanımları artmıştır. Atım plazma uygulanma şartlarının değişmesiyle numune yapılarında meydana gelen değişimler aşınma miktarlarını da etkilemiş olduğu düşünülmektedir. Modifiye olmuş numune yüzeyinde oluşmuş FeN, Fe₂N ve W₃O içeren fazların varlığı aşınma dayanımını ve sertlik değerlerini arttırmaktadır.
- Atım plazma ile yüzey işlemi uygulanmış çeliklerde, işlem uygulanmamış DIN 1.2210 çeliklerine göre yaklaşık 3 kat daha düşük sürtünme katsayı değerleri elde edilmiştir. Farklı sertlik ve faz yapısına sahip numune grupları beklenildiği üzere farklı sürtünme katsayı değerleri vermiştir. Hızın artmasıyla sürtünme katsayı değerleri numunelerde artmıştır.
- Aşınma sonrası aşınmış yüzeylerin SEM ve EDS analizlerine göre aşınma yüzeyleri incelendiğinde; abrazif karakterli aşınma izleri gözlemlenmiştir. Hızın artmasıyla ince ve fazla derin olmayan yivler derinleşmiş ve genişlemiş ve aşınma ürünleri artmıştır.
- Aşınma esnasında elde edilen aşınma ürünlerinde alümina bilyadan kopan parçaların miktarı fazladır.

Sonuç olarak; atım plazma ile yüzeyleri modifiye edilen DIN 1.2210 çeliklerinin, tüm deneysel çalışmalar neticesinde mekanik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerinin geliştirilmesi adına çok önemli ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle daha pahalı çelik gruplarının yerine, kolay bulunan çelik gruplarının yüzey özellikleri geliştirilerek kullanılabilmesi adına yapılan bu çalışma sonuçlarının önemli olduğu düşünülmektedir. Özellikle maliyetlerin son derece önemli olduğu günümüzde, hem kurulumu hem de uygulamaları ucuz olan atım plazma prosesinin 1-2 dk. gibi çok kısa sürede meydana getirdiği yüzey özelliklerinin ekonomik açıdan büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Diğer yüzey işlem prosesleri ile (nitürleme, plazma nitürleme, iyon imp. v.s gibi) bu kadar kısa sürede yüzeyde elde ettiğimiz gelişimi elde etmek mümkün değildir. Hammadde ve enerji temininde sıkıntı çeken endüstriyel alanlarda, maliyeti çok az olan bu yöntemin kullanılmasının çok yönlü kazançlar sağlayacağı umulmaktadır. Özellikle uygun parametre seçimi ile diğer pek

çok yüzey işlemine göre daha verimli sonuçlar elde edilebilmesi mümkündür. Sadece iş göreceğ yüzeye atım plazma uygulanması diğere bir avantajdır. Tüm yapı bozulmadan yüzey işlemi gerçekleştirilmektedir.

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

8.2. Öneriler

- Atım plazma esnasında kullanılan elektrod değıştirilerek modifikasyon tabakasına ve mekanik özelliklere elektrodun etkisi incelenebilir.
- Atım plazma esnasında kullanılan pil kapasitesi 900 μ F ve daha üstü değıerlere çıkarılarak yüksek enerji kullanımının etkisi incelenebilir.
- Atım plazma uygulanmış numunelerde korozyon dayanımı araştırılabilir.
- Diğere yüzey modifikasyon yöntemleri ile çeliklerin yüzeyleri modifiye edilerek, atım plazma ile yüzeyleri modifiye edilmiş çeliklerin kazandırdığı özellikler kendi aralarında kıyaslanabilir.
- Kalıntı gerilim ölçümleri yapılabilir.
- Aşınma deneyi farklı hız, yük ve mesafe için denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] SAVAŞKAN, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Trabzon 1999.
- [2] ÖZDEMİR U., ERTEN M., “Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz 2003, cilt 1, sayı 2, sayfa 41-48.
- [3] “Çelik Yüzeylerin Kaplanması”, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, pp.1-8, 2006.
- [4] ZEYTİN S., Yüzey İşlemleri Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, syf. 18-23, 2003.
- [5] TYURIN, N., Yu., KOLISNICHEHKO, O.V ve TSYGANKOV, N.G., “Atım Plasma Hardening of Tolls” The Paton Welding Journal, Vol.1, pp.38-43, 2001.
- [6] WEN, F., LO, Y.L., LİN, C.H.; MOU, S.C., “ A Atım DC Plasma Deposited Resistor Process”, Materials Science Forum, Vol.505-507, pp.865-870, 2006.
- [7] Paton Enstitüsü, Teknik Yayınları 1, 2001.
- [8] POGREBNJAK., A. D, TYURIN Y., Modification of material properties and coating deposition using plasma jets, Physics ± Uspekhi 48 (5), syf. 487-514, 2005.
- [9] TYURIN, N., Yu., “Atım-Plasma”, Technical Proposal, 2000
- [10] TYURIN, Y., ZGADKEVICH, M., KOLINICHENKO, O., Development Of Atımd Plasma Technologies For Producing Micro And Nanstructured Intermetallic Compounds In Surface Layers, Advances In Surface Technology 2007, Indian welding society, Chennai, June, syf. 311-315, 2007.
- [11] PEIKOSZEWSKI, J., WERNER, Z., LANGER, J., WALIS, L., “Modification of the surface Properties of Materials by Atımd Plasma Beams” Surface and Coating Technology, Vol. 106, pp.228-233, 1998.

- [12] PANTELIS, D.I., BOUYIOURI, E., KOULOUMBI, N., VASSILIOU, P., KOUTSOMICHALI, A., “Wear And Corrosion Resistance Of Laser Surface Hardened Structural Steel”, Surface and Coatings Technology, Volume 161, pp.125-134, 2002.
- [13] BECKER, T.L., CANNON, R.M., RITCHIE, R.O., “An Approximate Method For Residual Stress Calculation In Functionally Graded Materials” Mechanics of Materials, Vol.32, pp.85-97, 2000.
- [14] MEI, X.X., SUN, W.F., HAO, S.Z., MA, T.C., DONG, C. “Surface Modification Of High-Speed Steel By Intense Atmd Ion Beam Irradiation”, Surface & Coatings Technology Vol.201, pp.5072–5076, 2007.
- [15] PIEKOSZEWSKI, J., GRÖTZSCHEL, R., WIESER, E., STANISLAWSKI, J., WERNER, Z., SZYMCZYK, W., LANGNER, J., “Kinetics Of The Atmd Erosion Deposition Process Induced By High Intensity Plasma Beams”, Surface and Coatings Technology Vol. 128-129, pp.394-399, 2000.
- [16] TYURIN, N., ZHADKEVICH, M., L., GUBENKO, B., KOLISNICHENKO, O., “Features Of Atmd-Plasma Alloying Of The Surface Of Iron-Base Alloys”, The E.O. Paton Electric Welding Institute.
- [17] TYURIN, N., KOLISNICHENKO, O. V., Surface Modification by Atm Plasma, Scientific and Technical, The Paton Welding Journal, syf. 1-6, 2001.
- [18] TONG, X., ZHANG, Z., DU, X., LIU, D., 5th World Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering, IFHT’95, Isfahan, Iran, 26-29, pp.599, 1995.
- [19] MICHALSKI, A., “Nanocrystalline Iron Layers Produced By the Atm Plasma Method”, NanoStructured Materials, Vol.8, No.6, pp. 725-730, 1997.
- [20] Atm-Plasma Technology and corresponding Equipment for formation of Highly Alloyed Micro-Crystalline Layers on a Surface of Metal Tools and Machine Parts, Paton Tech.Paper. 2001.
- [21] ASKELAND, D., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Çeviri: Erdoğan , M., cilt 1, pp.146-148, 2000.
- [22] SMITH,W., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”, Çeviri; KINIKOĞLU, N.G., pp. 451, 2001.
- [23] <http://www.takimceligi.com>, Erişim Tarihi: 05.02.2015.

- [24] <http://www.osmanlibohler.com>, Erişim Tarihi: 05.02.2015.
- [25] <http://ozct.com.tr/tr/pdf/1.2210%20115CrV3.pdf>, Erişim Tarihi: 06.02.2015.
- [26] <http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Triboloji.pdf>, Erişim Tarihi: 20.01.2015
- [27] KAYMAZ İ., Triboloji Ders Notları, Atatürk Üniversitesi, 2014.
- [28] TAKTAK, Ş. “Plazmada Nitrürülenmiş Ti-6Al-4V Alaşımının Difüzyon Kinetiği ve Aşınma Davranışının İncelenmesi”, SAÜ, Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi, pp.43-49, 2002.
- [29] FERRANTE, J., ABEL, P. B., Surface physics in tribology. Chapter 3, Handbook of Micro/Nanotribology, 2nd ed, syf. 21-26, 1999.
- [30] STACHOWIAK, G. W., BATCHELOR, A. W., Engineering tribology. TEAM LRN, Butterworth-Heinemann, syf. 11-15, 1999.
- [31] MUTLU, D., Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, SA.Ü, syf. 21-25, 2002.
- [32] ARSLAN, S., “SiC ve grafit takviyeli çinko alüminyum hibrid kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi”. Doktora Tezi, SAÜ, syf. 31-35, 2005.
- [33] BHUSHAN, B., “ The Enginerering Handbook” Second Edition, 21.bölüm, pp.230-235, 2003.
- [34] http://www-group.materials.ox.ac.uk/lectures/surface_handout_5.pdf/dersnotları, Erişim Tarihi: 21.07.2006.
- [35] HUTCHINGS , I. M., “Tribology : Friction and Wear of engineering Materials”, Adward Arnold , London, pp.50-56, 1992.
- [36] İbrahim GÜNEŞ, ‘Plazma Nitrürleme ile Çelikler Üzerinde Kompleks Kaplamaların Oluşturulması’, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 2006.
- [37] Şükrü ÜLKER, ‘Puls Nitrürleme Cihazının Tasarımı ve AISI 52100 Çeliğinin Plazma Nitrürlenmesi’, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 2006.
- [38] YILMAZ, F. “Sürtünme ve Aşınma”, Malzeme Mühendisliğinde Olay Çalışmalar, Sakarya Üniversitesi, pp.18-20, 2000.

- [39] CHUANG, J.H. , TSAY, L.W., CHEN, C., “Crack Growth Behaviour Of Heat-Treated 4140 Steel In Air And Gaseous Hydrogen” Int. J. Fatigue Vol. 20, No.7, pp.531–536, 1998.
- [40] <http://www.materials.ox.ac.uk/peoplepages/roberts.html>, Erişim Tarihi: 18.12.2014.
- [41] WITHERS, P. J., BHADESHI, H. K., “Residual Stress Part 1 – Measurement Techniques”, Materials Science and Technology, Vol. 17, pp.223-225, 2001.
- [42] HOLZAPFEL, H., SCHULZE, V., VOHRINGER, O., MACHERAUCH, E., “Residual Stress Relaxation In An AISI 4140 Steel Due To Quasistatic And Cyclic Loading At Higher Temperatures” Materials Science and Engineering Vol. A248, pp.9–18, 1998.
- [43] [116http://www.physiqueindustrie.com/residual_stress.php#Definition](http://www.physiqueindustrie.com/residual_stress.php#Definition), Erişim Tarihi: 07.06.2007.
- [44] UGLOV, V.V., ANISHCHİK, V.M., ASTASHYNSKI, V.V., SVESHNIKOV, Y.V., RUMIANCEV, I.N., KOSTYUKEVICH, E.A., “Structure And Phase Transformation Of Iron Surface Layer Treated By Compression Nitrogen Plasma Flows”, Surface and Coatings Technology, Vol.180 –181, pp.633–636, 2004.
- [45] PROSKUROVSKY, D.I, ROTSHEIN,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.
- [46] 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.
- [47] MEDINA-FLORES, A., OSEGUERA, J., SANTIAGO,P., ASCENCIO, J.A., “Structural Analysis Of AISI-SAE 4140 Steel Nitrided By Post-Discharge Microwave”, Surface & Coatings Technology Vol. 188–189, pp.7– 12, 2004.
- [48] ZEYTİN S., Malzeme Analiz Teknikleri Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2011.
- [49] HAO Y., GAO B., TU G. F., DONG C., “Surface Modification Of Al-20Si Alloy By High Current Atmd Electron Beam”, Applied Surface Science Vol. 257, pp.3913-3919, 2011.

- [50] POGREBNJAK, A.D., SHABLYA, V.T., SVİRİDENKO, N.V., VALYAEV, A.N., PLOTNIKOV, S.V., KYLYSHKANOV, M.K., “Study Of Deformation States In Metals Exposed To Intense-Atom-Ion Beams ”, Surface and Coatings Technology Vol. 111, pp.46-50, 1999.
- [51] http://www.h-and-m-analytical.com/pdfs/residual_stress.pdf, Erişim Tarihi: 22.12.2014
- [52] POSKUROVSKY, D.I, ROTSHEIN, 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.
- [53] SVAHN, F., RUDOLPHI, Å. K., WALLÉN, E., “The Influence Of Surface Roughness On Friction And Wear Of Machine Element Coatings”, Wear , Vol., 254, pp.1092–1098, 2003.
- [54] HEITKEMPER, M., FISCHER, A., BOHNE, CH., PYZALLA, A., “Wear Mechanisms Of Laser-Hardened Martensitic High-Nitrogen-Steels Under Sliding Wear”, Wear, Vol.250, pp.477–484, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

28.06.1989'da Karabük'te doğdu. İlköğretim eğitimini Karabük Çamkent İlköğretim okulunda tamamladı. Lise eğitimini Karabük 75.yıl Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri Bölümünden mezun olarak bitirdi. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında tamamlayan Tuğçe Gökkaya, aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen aynı bölümde yüksek lisans eğitimine devam etmekte olup aynı zamanda 2012-2014 yılları arasında Ada Gürsoy Çelik Yapı Tic. Ltd. Şti.nde kalite mühendisi olarak görev almıştır.