

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KOMPOZİSYONLARDA ÜRETİLEN AŞINMA
PLAKALARININ KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Nilay YÜKSEL

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon ve İmalat

MANİSA 2012

FARKLI KOMPOZİSYONLARDA ÜRETİLEN AŞINMA
PLAKALARININ KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Nilay YÜKSEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.06.2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 25.06.2012

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Salim ŞAHİN.....

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adem KURT.....

Prof. Dr. Ahmet TÜRK

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜRTÜNME VE AŞINMA	2
2.1. Sürtünme.....	2
2.2. Aşınma	2
2.2.1. Aşınma Türleri.....	3
2.2.2. Abratif Aşınma.....	3
2.2.2.1. Düşük gerilmeli abrazyon	8
2.2.2.2. Yüksek gerilmeli abrazyon	9
2.2.2.3. Oyma abrazyonu	10
2.2.3. Adheziv Aşınma.....	10
2.2.4. Eroziv Aşınma.....	12
2.3. Aşındırıcı Özelliklerinin Aşınmaya Etkisi.....	13
2.3.1. Aşındırıcı Sertliği.....	14
2.3.2. Aşındırıcı Biçimi	15
2.3.3. Aşındırıcı Boyutu.....	15
2.3.4. Aşındırıcı Parçalanmasının Etkisi	16
3. METAL YÜZEYLERİ VE YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ	17
3.1. Yüzey	17
3.2. Yüzey Kaplama Teknikleri.....	18
4. SERT DOLGU	19
4.1. Seyrelme	19
4.2. Sert Dolgu Yöntemleri	23
4.2.1. Ark Kaynağı	24

4.2.1.1. Korumalı metal ark kaynağı.....	25
4.2.1.2. Özlü telle ark kaynağı	26
4.2.1.3. Tozaltı ark kaynağı	27
4.2.1.4. Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı.....	27
4.2.1.5. Gaz metal ark kaynağı	28
4.2.1.6. Plazma ark kaynağı	29
4.2.2. Oksi-asetilen Gaz Kaynağı	30
4.2.3. Isıl Püskürtme Yöntemleri.....	31
4.2.3.1. Alev püskürtme.....	32
4.2.3.2. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) termal püskürtme	33
4.2.3.3. Elektrik (tel) ark püskürtme.....	33
4.2.4. Lazer	34
4.3.Sert Dolgu Malzemeleri	36
4.3.1. Demir Esaslı Alaşımlar	36
4.3.1.1. Perlitik çelikler.....	37
4.3.1.2. Östenitli mangan çelikleri	37
4.3.1.3. Martenzitik çelikler	38
4.3.1.4. Yüksek kromlu demir	38
4.3.1.5. Östenitik paslanmaz çelik.....	39
4.3.2. Demir Dışı Alaşımlar	40
4.3.2.1. Kobalt esaslı alaşımlar	40
4.3.2.2. Nikel esaslı alaşımlar.....	41
4.3.2.3. Bronz alaşımlar.....	42
4.4. Sert Dolgu Alaşımlarında Mikroyapı ve Aşınma Direnci	42
4.4.1. Demir Esaslı Alaşımlarda Oluşan Karbür Tiplerinin Morfolojileri ve Özellikleri	42
4.4.2. Sert Dolgu Alaşımlarında Pekleşme ve Aşınma Özellikleri	46
4.4.3. Element ve Karbürlerin Mikroyapı ve Abratif Aşınmaya Etkisi.....	47
4.4.3.1. Karbon (grafit) ve krom.....	47
4.4.3.2. Bor	48
4.4.3.3. Mangan.....	49
4.4.3.4. Molibden	50

4.4.3.5. Niyobyum.....	50
4.4.3.6. Silisyum	51
4.4.3.7. Tungsten-tungsten karbür	52
4.4.3.8. Titanyum karbür - Vanadyum karbür.....	53
4.5. Sert Dolgu Uygulama Alanları.....	54
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	55
5.1. Malzeme ve Yöntem	55
5.2. Mikroyapı İncelemeleri	64
5.3. XRD Analizleri	83
5.4. EDX Analizleri	87
5.5. Sertlik Testi.....	95
5.6. Aşınma Testi	100
5.7. Aşınma Yüzeyleri	105
6. MALİYET ANALİZİ.....	121
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	122
8. KAYNAKLAR	123

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Aşınma türleri ve sınıflandırılması	3
Şekil 2.2. İki gövdeli ve üç gövdeli abrazyon aşınma	4
Şekil 2.3. Abrazyonda malzeme kaldırma mekanizmalarının şematik gösterimi	5
Şekil 2.4. Çarpma açısının kritik çarpma açısına oranının bir fonksiyonu olarak mikro kesmenin mikro pulluklamaya oranı	6
Şekil 2.5. SEM'de görüntülenmiş aşınma mekanizmaları (a) mikro pulluklama, (b) takozlama, (c) mikro kesme	7
Şekil 2.6. Çeliklerde çarpma açısının, batma derecesinin ve sertliğin fonksiyonu olarak aşınma modları	8
Şekil 2.7. Metal malzemeden talaş kaldıran abrazyon parçacığının ve metal talaşının şematik görüntüsü	9
Şekil 2.8. Abrazyon malzemenin düşük gerilimli şekilde kayarak yüzeyi aşındırması	9
Şekil 2.9. Abrazyon parçalarının köşeli küçük parçalara bölünerek kırılması ve iki metal yüzeyden küçük talaşlar kaldırması	10
Şekil 2.10. Adhezyon aşınmanın oluşumu	11
Şekil 2.11. Aşındırıcı çarpma hızının erozyona etkisi	13
Şekil 2.12. Hm/Ha oranının metalik ve seramik malzemelerin abrazyon aşınma direncine etkisi ..	14
Şekil 2.13. Aşınma kalıntıları tarafından tıkanmış aşınmış yüzeyin şematik gösterimi	15
Şekil 3.1. Metal bir yüzeyin şematik gösterimi	17
Şekil 3.2. Yüzey dokusunun üç bileşeni	18
Şekil 4.1. Seyrelmenin şematik gösterimi	20
Şekil 4.2. Yüksek krom alaşımlı dökme demir sert dolgu kaplamasının makro yapısı, %18-20 seyrelme, metalik bağ	20
Şekil 4.3. Plazma ark kaynağı ile yapılmış sert dolgu kaplamanın makro yapısı (Ni-Cr-Mo-B-Si alaşımlı matris + %65 WC), %5-8 seyrelme	21
Şekil 4.4. %60 W2C ile harmanlanmış kendinden özlü nikel esaslı sert dolgu alaşımına ait sıcak termal püskürtme ile oluşturulmuş kaplamanın makro yapısı, seyrelme yok, difüzyon bağı	21
Şekil 4.5. Kaynak Dikişi Bindirmesi	22
Şekil 4.6. Kutuplamanın seyrelmeye etkisi	23
Şekil 4.7. Korumalı metal ark kaynağının şematik gösterimi	25
Şekil 4.8. Özlü telle ark kaynağının şematik görünüşü	26
Şekil 4.9. Tozaltı ark kaynağının şematik görünüşü	27
Şekil 4.10. TIG kaynağının şematik görüntüsü	28
Şekil 4.11. Gaz metal ark kaynağının şematik görüntüsü	29
Şekil 4.12. Plazma ark kaynağının şematik görünüşü	30
Şekil 4.13. Plazma transferli ark kaynağı uygulaması	30
Şekil 4.14. Oksi-asetilen yöntemiyle sola sert dolgu kaynağı	31
Şekil 4.15. Genel ısıl püskürtme prosesinin şematik görünüşü	32

Şekil 4.16. Alev püskürtme yönteminin şematik görünüşü	33
Şekil 4.17. HVOF yönteminin şematik görünüşü	33
Şekil 4.18. Tel ark püskürtme yönteminin şematik görünüşü	34
Şekil 4.19. Lazer işleminin şematik görünüşü	35
Şekil 4.20. 20°C'de Fe-C-Cr alaşımlarının farklı fazlarının bölgeleri	44
Şekil 4.21. Sıvı ve katı arasındaki arayüzey biçimleri, (a):yönsüz büyüme, (b):yönlü büyüme ..	46
Şekil 4.22. Fe-%34Cr-%5Nb-%4.5C alaşımındaki yüzey merkezli kübik kafese sahip niyobyum karbürün SEM görüntüsü.....	51
Şekil 4.23. Tungsten karbürlerin SEM görüntüsü	52
Şekil 5.1. Krom karbür içerikli özlü telin kesiti	55
Şekil 5.2. Bor içerikli özlü telin kesiti.....	56
Şekil 5.3. Ferrobor tozunun makro görüntüsü	57
Şekil 5.4. Ferrokrom tozunun makro görüntüsü	57
Şekil 5.5. Ferrobor tozunun toz boyut analizi	58
Şekil 5.6. Ferrokrom tozunun toz boyut analizi	58
Şekil 5.7. Ferrobor tozunun XRD analizi	59
Şekil 5.8. Ferrokrom tozunun XRD analizi	59
Şekil 5.9. Aşınma plakalarının üretiminde kullanılan kaynak donanımı	60
Şekil 5.10. Üretilen aşınma plakalarının şematik gösterimi.....	61
Şekil 5.11. Numuneye sert dolgu kaynağının uygulanışı	61
Şekil 5.12. Üretimi tamamlanan ve soğumakta olan aşınma plakası.....	62
Şekil 5.13. Üretilen aşınma plakaları	62
Şekil 5.14. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	65
Şekil 5.15. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin iç bölgesi	65
Şekil 5.16. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	66
Şekil 5.17. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin karbür morfolojisi	66
Şekil 5.18. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	67
Şekil 5.19. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin iç bölgesi	67
Şekil 5.20. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	68
Şekil 5.21. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin karbür morfolojisi	68
Şekil 5.22. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	69
Şekil 5.23. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin iç bölgesi	69
Şekil 5.24. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	70
Şekil 5.25. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin karbür morfolojisi	70
Şekil 5.26. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	71
Şekil 5.27. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin iç bölgesi	72
Şekil 5.28. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	72
Şekil 5.29. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin karbür morfolojisi	73
Şekil 5.30. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	74
Şekil 5.31. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin iç bölgesi	74

Şekil 5.32. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	75
Şekil 5.33. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin karbür morfolojisi	75
Şekil 5.34. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	76
Şekil 5.35. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin iç bölgesi	77
Şekil 5.36. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	77
Şekil 5.37. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin karbür morfolojisi	78
Şekil 5.38. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	79
Şekil 5.39. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin iç bölgesi	79
Şekil 5.40. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	80
Şekil 5.41. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin karbür morfolojisi	80
Şekil 5.42. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin geçiş bölgesi.....	81
Şekil 5.43. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin iç bölgesi	82
Şekil 5.44. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi	82
Şekil 5.45. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin karbür morfolojisi	83
Şekil 5.46. 2 no'lu numunenin XRD analizi	84
Şekil 5.47. 3 no'lu numunenin XRD analizi	84
Şekil 5.48. 5 no'lu numunenin XRD analizi	85
Şekil 5.49. 6 no'lu numunenin XRD analizi	86
Şekil 5.50. 8 no'lu numunenin XRD analizi	86
Şekil 5.51. Kesiti alınan 2 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü	88
Şekil 5.52. Kesiti alınan 3 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü	89
Şekil 5.53. Kesiti alınan 5 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü	90
Şekil 5.54. Kesiti alınan 6 nolu numunenin yüzeye yakın bölgesinden alınan SEM görüntüsü ..	91
Şekil 5.55. Kesiti alınan 8 nolu numunenin yüzeye yakın bölgesinden alınan SEM görüntüsü ..	92
Şekil 5.56. Kesiti alınan 23 nolu numunenin yüzeye yakın kısmından alınan SEM görüntüsü ...	93
Şekil 5.57. Kesiti alınan 25 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü	94
Şekil 5.58. Kesiti alınan 27 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü	95
Şekil 5.59. Numunelerin yüzeyden ölçülen sertlik değerleri	96
Şekil 5.60. 2 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	97
Şekil 5.61. 3 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	97
Şekil 5.62. 5 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	97
Şekil 5.63. 6 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	98
Şekil 5.64. 8 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	98
Şekil 5.65. 23 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	99
Şekil 5.66. 25 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	99
Şekil 5.67. 27 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik	99
Şekil 5.68. Ağırlıkça %50 masif tel+%50 toz ilavesiyle üretilen numunelerin sertlik değerleri ..	100
Şekil 5.69. Ağırlıkça %30 masif tel+%70 toz ilavesiyle üretilen numunelerin sertlik değerleri ..	100
Şekil 5.70. Aşınma testlerinin yapıldığı kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test cihazı	101
Şekil 5.71. Kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test cihazının şematik görünüşü	101

Şekil 5.72. Numunelerin makro ölçekte fotoğraflanmış aşınma yüzeyleri	102
Şekil 5.73. Ağırlıkça %50 masif tel+%50 toz oranına sahip numunelerin ticari özlü tellerle kaplanan plakalar ve Hardoks 400 referans plakası ile kıyaslanan aşınma değerleri	103
Şekil 5.74. %30 masif tel+%70 toz oranına sahip numunelerin ticari özlü tellerle kaplanan plakalar ve Hardoks 400 referans plakası ile kıyaslanan aşınma değerleri	104
Şekil 5.75. 2 no'lu numunenin aşınma yüzeyi ve yüzeye gömülmüş aşındırıcı parçacıklar.....	105
Şekil 5.76. 2 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde oluşmuş izler ve çukurlar	106
Şekil 5.77. 3 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	107
Şekil 5.78. 3 no'lu numunenin yüzeyinde meydana gelen pullanma ve yüzey topoğrafyası	107
Şekil 5.79. 5 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	108
Şekil 5.80. 5 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde oluşan mikro talaş ve aşınma izi kenarlarına yığılan malzeme	109
Şekil 5.81. 5 no'lu numunenin yüzey topoğrafyası	109
Şekil 5.82. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	110
Şekil 5.83. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası	110
Şekil 5.84. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde meydana gelen pullanmalar.....	111
Şekil 5.85. 8 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	112
Şekil 5.86. 8 no'lu numunenin yüzeyinde oluşmuş derin aşınma izleri	112
Şekil 5.87. 8 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası	113
Şekil 5.88. 8 no'lu numunenin aşınma izlerinde görülen süreksizlik	113
Şekil 5.89. 23 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	114
Şekil 5.90. 23 no'lu numunenin aşınma izlerinde görülen süreksizlik	115
Şekil 5.91. 23 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası	115
Şekil 5.92. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	116
Şekil 5.93. 25 no'lu numunenin yüzeyinde meydana gelen sığ aşınma izleri	116
Şekil 5.94. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyindeki kırılmış karbürler	117
Şekil 5.95. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası	118
Şekil 5.96. 27 no'lu numunenin aşınma yüzeyi	118
Şekil 5.97. 27 no'lu numunenin aşınma yüzeyindeki boşluklar ve pullanma	119
Şekil 5.98. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası	119
Şekil 5.99. Hardox 400'ün aşınma yüzeyi	120
Şekil 5.100. Hardox 400'ün aşınma yüzeyi topoğrafyası	120

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1. Sert dolgu kaynak yöntemlerinin kıyaslanması	24
Çizelge 4.2. Kobaltlı ve kobaltsız ticari östenitik paslanmaz çelik sert dolgu alaşımlarının kompozisyonu.....	40
Çizelge 4.3. Karbür oluşturu elementlerin enerji seviyeleri, nm boyutunda atomik yarıçapları ve karbon atomik yarıçapının (0,077 nm) bu yarıçaplarla oranı	42
Çizelge 4.4. Tungsten karbür kompozitleri için abrazyon verileri	53
Çizelge 5.1. Masif telin kimyasal kompozisyonu	55
Çizelge 5.2. Krom karbür içerikli özlü telin seyrelmemiş kompozisyonu	55
Çizelge 5.3. Bor içerikli özlü telin seyrelmemiş kompozisyonu	56
Çizelge 5.4. Ferrobor tozunun kimyasal kompozisyonu.....	56
Çizelge 5.5. Ferrokrom tozunun kimyasal kompozisyonu	56
Çizelge 5.6. Numunelerin tel-toz içerikleri	60
Çizelge 5.7. Numunelerin Üretim Parametreleri	63
Çizelge 5.8. Kaynak metaline (kaplama) karışan toz miktarı	64
Çizelge 5.9. 2 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	88
Çizelge 5.10. 3 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	89
Çizelge 5.11. 5 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	90
Çizelge 5.12. 6 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	91
Çizelge 5.13. 8 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	92
Çizelge 5.14. 23 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	93
Çizelge 5.15. 25 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	94
Çizelge 5.16. 27 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi	95
Çizelge 5.17. Kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test parametreleri	102
Çizelge 6.1. En iyi aşınma direnci sergileyen 2 ve 25 no'lu numunelerin örnek maliyetleri	121

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen ve değerli bilgilerini her zaman paylaşan danışmanım Sayın Doç.Dr. Salim ŞAHİN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerin üretiminde büyük maddi olanaklar sunan Sayın Mak. Müh. Barbaros YAMAN'a ve tüm YAMAN KAYNAK LTD.ŞTİ. çalışanlarına yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

SEM analizlerim için çalışma imkanı sunan Sakarya Üniversitesi öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Ahmet TÜRK'e, Sayın Prof.Dr. Fatih ÜSTEL'e ve araştırma görevlileri Fatih Erdem BAŞTAN ve A.Nisanur TOPÇU'ya teşekkürü borç bilirim.

XRD çalışmalarımda çok büyük emeği olan Sayın Yrd.Doç.Dr. Osman ÇULHA'ya teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan çok değerli anneme, babama ve çalışma arkadaşlarım Arş.Gör. Demet ÖZAYDIN ve Arş. Gör. İlyas TÜRKMEN'e teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada St 37 çeliğinin yüzeyi metal ark kaynak yöntemi ile farklı kompozisyonlardaki sert dolgu alaşımlarıyla kaplanarak elde edilen aşınma plakalarının aşınma davranışları incelenmiştir. Sert dolgu alaşımları elde edilirken üç farklı kaynak teli kullanılmıştır. Bunlar; ticari olarak kullanılmakta olan Oerlikon marka krom karbür ve bor içerikli özlü teller ve masif teldir. Masif tel kullanılarak üretilen numunelere %10 ferrokrom tozu, %10 ferrobör+ %90 ferrokrom ve % 30 ferrobör+%70 ferrokrom toz karışımları kaynak esnasında ilave edilmiştir. Masif tellerle üretilen numuneler de ağırlıkça %50 masif tel+%50 toz ve ağırlıkça %30 masif tel+%70 toz oranlarına sahip olacak şekilde gruplandırılmıştır.

Üretilen numunelerin mikroyapı incelemeleri, mikro ve makro sertlik ölçümleri, aşınma testleri, SEM (EDX) analizleri, XRD analizleri yapılmıştır. Aşınma testi ASTM G-65 standardına uygun, kuru kum/kauçuk tekerlek aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin aşınma davranışlarının kıyaslanmasında referans plaka olarak Hardox 400 tercih edilmiştir. Aşınma testinde aşındırıcı olarak boyutları 1 mm altında olan deniz kumu (SiO_2) kullanılmıştır. Test 13 kg yük altında 30 dakika süreyle uygulanmıştır.

İncelemeler sonucunda en az aşınma miktarının %30 masif tel+%70 toz oranında, % 30 ferrobör+%70 ferrokrom toz karışımına sahip numunede meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu numunenin aşınma miktarı ile ticari bor içerikli özlü telin aşınma miktarı birbirine çok yakın değerlerde olduğu için, ilave olarak maliyet analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak %30 masif tel+%70 toz oranında, % 30 ferrobör+%70 ferrokrom toz karışımıyla elde edilen numunenin maliyeti ticari bor içerikli özlü tele göre %50 daha düşük çıkmıştır.

ABSTRACT

In this study, wear behaviours of wear plates, produced by metal arc welding using different hardfacing alloys, have been investigated. Hardfacing has been applied on St-37 steel surface. Three different welding wires have been used in this process. These are commercial flux cored wire including boron, commercial flux cored wire including chromium carbide and massive welding wire. 100% ferrochromium powder, 10% (wt.) ferroboreon+ 90 % (wt.) ferrochromium and 30% (wt.) ferroboreon+ 70% (wt.) ferrochromium powder mixtures have been added to massive wire during the welding process. The samples produced with massive wire have classified into: 50% (wt.) massive wire+ 50% (wt.) powder and 30% (wt.) massive wire+ 70% (wt.) powder.

Microstructural investigation, micro and macro hardness tests, wear test, SEM(EDX) analysis, XRD analysis have been carried out. Dry sand/ rubber wheel abrasion wear test has been executed adequate to ASTM G-65. Hardox 400 plate has been chosen as reference for comparing wear behaviours of samples. SiO₂ sand under 1 mm size has been used as abrasive in wear test. Dry sand/ rubber wheel abrasion test has been performed for 30 minutes under 13 kg load.

According to the test results, minimum wear loss has been obtained in sample including 30% (wt.) massive wire+ 70% (wt.) powder with and 30% (wt.) ferroboreon+ 70% (wt.) ferrochromium powder mixture. Wear loss value of this sample has been found so close to the wear loss of commercial flux cored wire including boron, so cost analysis has been also determined. Cost analysis showed that the cost of sample including 30% (wt.) massive wire+ 70% (wt.) powder with and 30% (wt.) ferroboreon+ 70% (wt.) ferrochromium powder mixture is lower 50% than commercial flux cored wire including boron.

1. GİRİŞ

Aşınma, endüstriyel uygulamalarda maddi kayıplara sebep olan bir olgudur. Günümüzde aşınma mekanizmaları ve aşınmanın önlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Aşınmanın en yoğun görüldüğü sektörler madencilik ve mineral endüstrisi, tarım ve kimya endüstrisi, malzeme için yüksek sıcaklık ve ağır çalışma koşulları içeren nükleer santraller olarak örneklendirilebilir. Bu sektörlerde kullanılan mali değeri yüksek bazı makine parçaları, dozer çeneleri ve taş kırıcı silindirler gibi sürekli aşınmaya maruz kalan iş parçalarının çalışma şartları nedeniyle kullanılamayacak hale gelmeleri sonucu parça değişimi kaçınılmaz hale gelmektedir [1]. Bunun anlamı ise malzeme, enerji ve zaman kaybıdır.

Şiddetli aşınma durumlarına maruz kalacak olan yüzeylerde, sertliği, abrazyon direncini, darbe direncini ve korozyon direncini içeren bir takım özelliklere ihtiyaç vardır [2]. Literatür incelemelerinin bir sonucu olarak aşınmaya sebep olan durumlara yönelik yürütülen çalışmalarda, aşınmanın etkilerini zayıflatarak parçanın servis ömrünü uzatmak amacıyla yaygın olarak sert dolgu ile yüzey kaplama uygulandığı görülmüştür. Sert dolgu kaplanarak elde edilen ürünler aşınma plakası olarak adlandırılmaktadır. Aşınma plakaları genellikle demir esaslı bir altlık malzemesi üzerine farklı kaynak yöntemleriyle sert dolgu alaşımlarının kaplanmasıyla meydana gelmektedir.

Uygulamalarda, krom ve karbonun nispeten yüksek yoğunlukta bulunduğu demir esaslı alaşımlar sert dolgu alaşımları olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır [3]. Krom haricinde Nb, Ti, V, W gibi karbür yapıcı elementler de sert dolgu alaşımlarında alternatif olarak ya da istenen özellikleri sağlamaları durumunda kullanılabilirlerdir. Sert dolgu katmanında karbürler oluşturulabileceği gibi yüksek sertlik değerine ve aşınma direncine sahip borürler de bor ilavesiyle sağlanabilmektedir.

2. SÜRTÜNME VE AŞINMA

Sürtünme ve aşınma, iki yüzeyin yük altında kayma ve yuvarlanmaya maruz kalması durumunda meydana gelir. Aşınmanın, malzeme sarfiyatının esas sebebi olduğu yerde, sürtünme ciddi anlamda enerji israfına neden olur. Eşleşen yüzeyler için seçilen uygun malzemeler ve/veya katı/sıvı yağlayıcılar sürtünmeyi kontrol etmek için ve dolayısıyla aşınma oranını düşürmek için kullanılır. Farklı çalışma koşullarında malzeme seçimini iyi yapabilmek için sürtünme ve aşınma kavramları derinlemesine anlaşılmalıdır [4].

2.1. Sürtünme

Sürtünme, temas eden yüzeylerin göreceli hareketine olan dirençtir. Sürtünmenin derecesi μ katsayısıyla ifade edilir. μ , göreceli hareketi başlatmak ya da sürdürmek için gerekli olan kuvvetle iki hacmi birlikte sıkıştıran normal kuvvetin oranı olarak tanımlanmaktadır. İki tip sürtünme meydana gelebilir: kayma ya da yuvarlanma sürtünmesi. Kayan yüzeyler arasındaki sürtünme (kayma sürtünmesi), düz yüzeyler arasındaki yapışmanın, aşındırıcı parçacıklar ve sert çıkıntılarla kazımanın ve çıkıntı deformasyonunun birleşmiş etkileriyle oluşur. Yuvarlanma sürtünmesi ise daha karmaşık bir olgudur çünkü yuvarlanma esnasındaki değişken kaymayı (sıyırma) ve elastik-plastik deformasyon esnasındaki enerji kayıplarını da içeren pek çok etmene bağlıdır. Yuvarlanma sürtünmesi iki türde sınıflandırılabilir. Bunlardan birinde büyük teğetsel kuvvetler iletilir (örneğin, hareket eden otomobilin tekerlekleri). Diğerinde ise küçük teğetsel kuvvetler iletilir ve bu durum sıklıkla serbest yuvarlanmaya atfedilir [4].

2.2. Aşınma

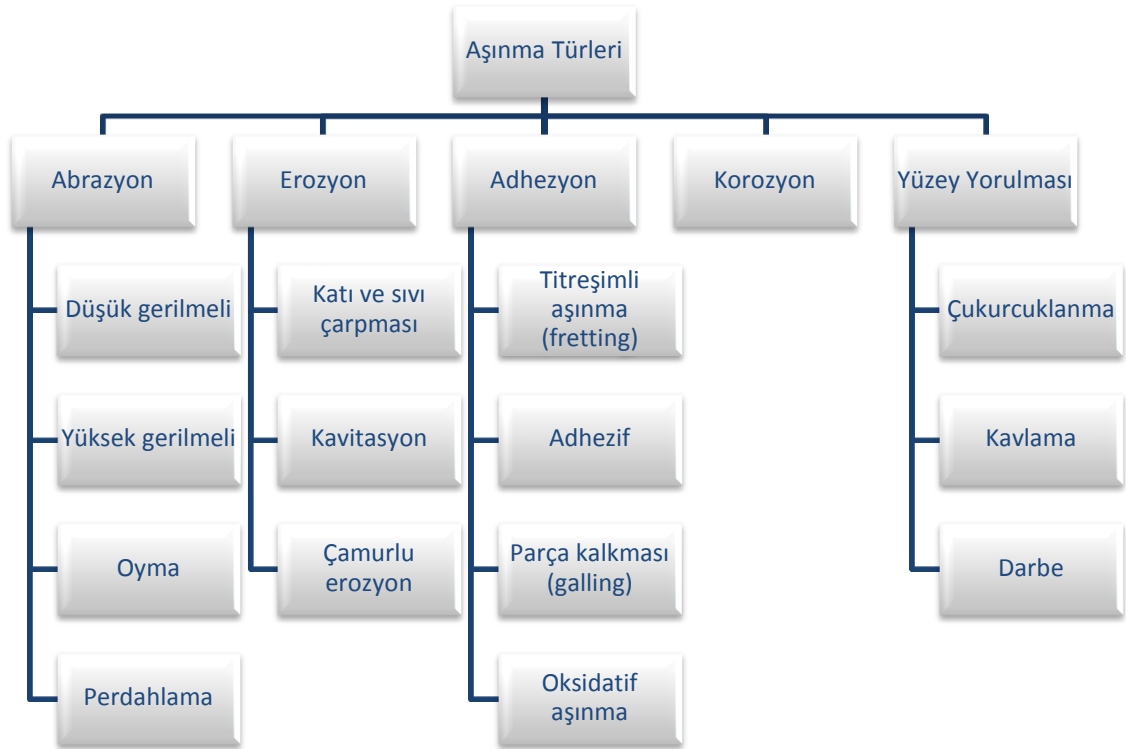
DIN 50320 ve ASTM G40-93 standartlarına göre aşınmanın tanımı: “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde yapılmaktadır [5, 6]. Ayrıca DIN 50320’ ye göre aşınma başka bir deyişle; katı cisim yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır [6].

Aşınmada beş temel parametre vardır. Bu parametreler; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra sıcaklık da altıncı parametre olarak değerlendirilebilir. Aşınan ve aşındıran malzemelerin bir araya gelmesiyle “aşınma çifti” oluşur. Aşınma çifti ile sert parçacıklı sıvı, gaz ve buhar ara malzemelerinin tamamına da “aşınma kombinasyonu” adı verilmektedir. Ayrıca aşınma sonucu meydana gelen parçacıklar da ara malzemelerle birlikte aşınmaya ilave bir etki yaparlar [7].

Aşınma, mühendislikte parça ve montajların değiştirilmesine yol açan, endüstride en sık karşılaşılan üç problemten biridir; diğerleri yorulma ve korozyondur. Aşınma nadiren yıkıcı sonuçlar doğurur, fakat enerji kaybını, yakıt tüketimini ve parça değiştirme oranını arttırarak işletme verimini düşürür [8].

2.2.1. Aşınma Türleri

Aşınma tiplerinin sınıflandırılmasında bir takım fikir ayrılıkları mevcuttur. Bununla birlikte literatürde aşağıda açıklanacak olan sınıflandırmalarda fikir birliğine varılmıştır [8]. Şekil 2.1'de aşınma türleri için genel bir sınıflandırma yapılmıştır [4]. Bu çalışmada sadece bazı aşınma türlerine değinilecektir.



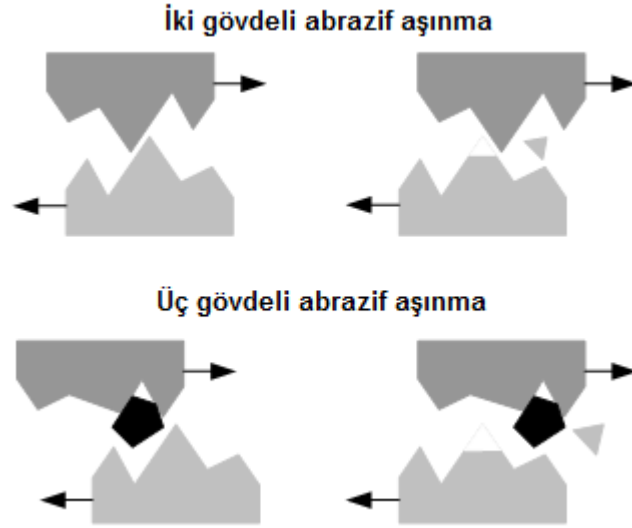
Şekil 2.1. Aşınma türleri ve sınıflandırılması [4].

2.2.2. Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma, sürtünen yüzeylerden nispeten daha sert olanın daha yumuşak olanı aşındırdığı, göreceli hareket halindeki bu iki katı yüzey arasına yerleşmiş ve/ veya yüzeylere gömülmüş sert parçacıklar tarafından ya da diğer yüzey boyunca "v" hızı ile kayan karşı

yüzeyde var olan sert çıkıntılar tarafından malzeme koparıldığı aşınma türüdür [9, 10, 8]. Yüzeyler arasındaki sert parçacıklar sisteme dışarıdan girebileceği gibi adhezif aşınma ürünleri olarak sistemin içinde de meydana gelebilirler [9]. Aşınma esnasında kopan parçacıklar aktif biçimde aşınmaya katılırlar. Abrasif aşınmayı etkileyen temel faktörler sertlik, aşındırıcı, tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı şeklinde sıralanabilir [9]. Sürtünen yüzeylerden daha sert olanındaki çıkıntıların veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert parçacıkların diğer yüzeyi kazınması gövdeli abrazyon olarak adlandırılır [9]. Gövdeli abrazyon, iki gövdeli ve üç gövdeli olarak sınıflandırılabilir [8].

Üç gövdeli abrazyonda sert parçacıklar irtibat halindeki yüzeyler arasında sertbestçe (yuvarlanma ya da kayma) hareket edebilirken iki gövdeli abrazyona iki yüzey arasında hapsolmuş sert çıkıntılar ya da gömülmüş sert parçacıklar yol açar [10]. Şekil 2.2'de iki ve üç gövdeli abrazyonun şematik hali görülmektedir. Ağırlık kaybının üç-gövdeli aşınmada iki-gövdeli aşınmadan daha az olduğu bilinmektedir [8]. Suchánek ve diğerlerine göre de, üç gövdeli abrazyonda malzeme ayrılması büyüklük sırasında iki gövdeli abrazyona göre daha düşüktür, çünkü serbest abrasif parçacıklar, arasında buldukları katı yüzeyleri zaman diliminin %10'u boyunca aşındırırken %90'ını yuvarlanarak harcar [10]. Ayrıca üç gövdeli aşınmada, aşındırma açılarındaki farklılık sebebiyle de aşındırıcıların küçük bir kısmı aşınmaya sebep olur [8]. İki gövdeli abrazyona örnek olarak öğütme, kesme ve talaşlı imalat işlemleri verilebilir. Üç gövdeli abrazyon da abrasif alıştırma ve parlatma şeklinde örneklendirilebilir [7].



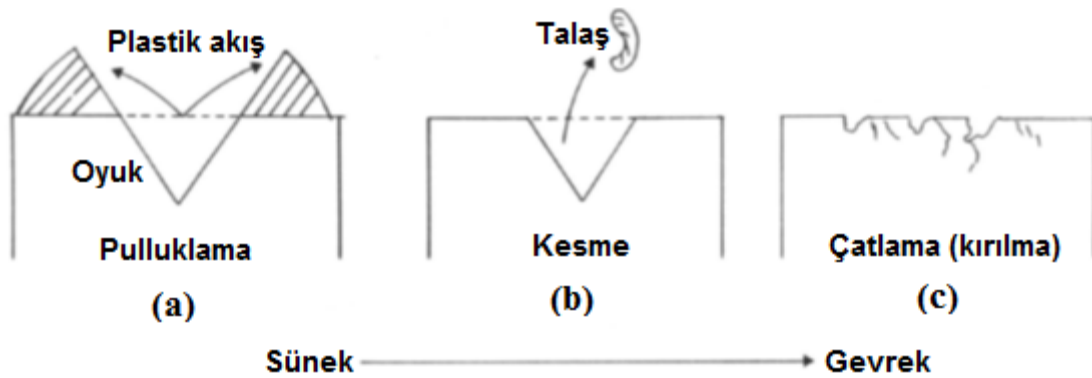
Şekil 2.2. İki gövdeli ve üç gövdeli abrasif aşınma [11]

Abrasif aşınma direnci, artan sertlik, azalan deformasyon sertleşme hızı ve ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller ile arttırılabilir [7].

Abrazif aşınma esnasında malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması mevcuttur: pulluklama, mikro kesme ve yüzey çatlama (Şekil 2.3). Pulluklama, aşınma izi bünyesinde kayda değer bir plastik deformasyonun oluşması sonucu meydana gelir ve aşınma oluşunun her iki tarafına da malzeme yığılmasına sebep olur (Şekil 2.3.a). Bu işlem yüzeyde tamamıyla sünek plastik deformasyon içerdiğinden, aşınmış malzeme yerinden sökülmez, böylece aslında aşındırıcı bir parçacığın bir kere geçişi esnasında hacimsel kayıp olmaz. Malzeme kırılmadan önce sadece sınırlı miktarda deformasyona tolerans gösterebildiğinden birçok aşındırıcı parçacığın hareketi sonucu elbette ki hacimsel kayıp gerçekleşir [8].

Mikro kesmede aşınma olduğundan çıkarılan malzeme, talaş parçacıklarının, kırık parçaların v.b. oluşumuyla sonuçlanan kırılma ile uzaklaştırılır (Şekil 2.3.b) ve aşınma oluklarının hacmine karşılık gelen bariz bir malzeme kaybı vardır. Literatürde mikro-pulluklamanın mikro-kesmeye oranının aşındırıcının çarpma açısına* bağlı olduğu ispatlanmıştır. Mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye geçiş çarpma açısı (α) kritik bir çarpma açısı (α_c) değerine ulaştığında meydana gelir. Çarpma açısı (α), aşındırıcı parçacığın ön yüzü ile aşınmamış yüzey arasındaki açıyı betimler. (Şekil. 2.4). Bu kritik açı değeri aşındırıcı parçacık ön yüzü ve aşınmış malzeme arasındaki sürtünmeye bağlı olduğundan mikro talaş oluşumu için büyük ölçüde değişiklik gösterir [8].

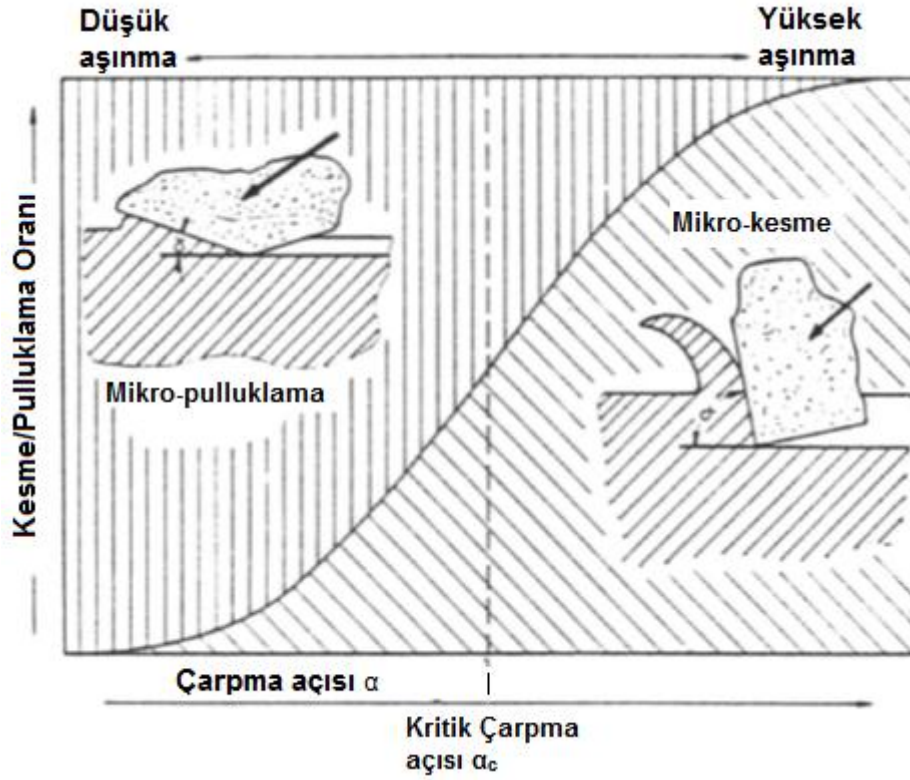
Eğer bölgesel yüzey gerilimi kritik bir değere ulaşırsa, aşınma nispeten gevrek kırılmayla (çatlama) meydana gelir (Şekil 2.3.c). Gevrek malzemelerde kritik gerilim değeri oldukça düşük olabilir ve kavrama tokluktan yoksun bu malzemelerde yaygın aşınma mekanizmasıdır. Bu tür aşınma bazen aşınmaya dirençli alaşımların daha sert fazlarında (örneğin karbürler, metaller arası bileşikler) bölgesel olarak gözlenir [8].



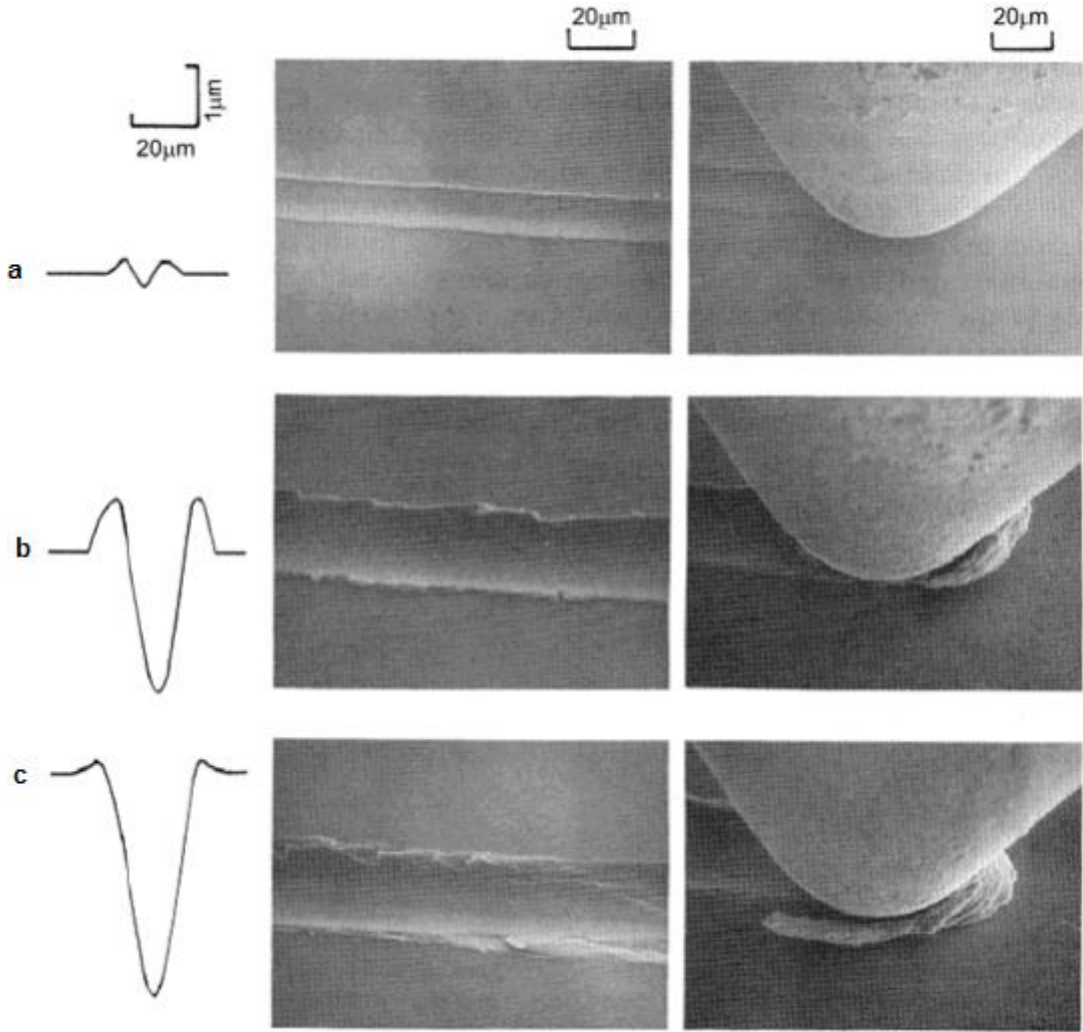
Şekil 2.3. Abrazyonda malzeme kaldırma mekanizmalarının şematik gösterimi [8]

Çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi Şekil. 2.4'te gösterilmektedir. Bu şekil açıkça göstermektedir ki; çarpma açısındaki artış büyük ağırlık kayıplarına sebep olur. Aşınma mekanizması saf mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye aşınmış yüzeyin sertliğinin artmasıyla değişir. Bu durum ayrıca sertlik artarken kritik açının azalması (örneğin çeliklerde)

haliyle de tutarlılık halindedir. Literatürde çeliklere uygulanan tek nokta çizik testi sonuçlarına göre batma derecesi artarken abrazif aşınma mekanizmasının pulluklamadan takozlama tipine ve daha sonra da kesme tipine dönüştüğü görülmüştür [8]. Şekil 2.5'te pulluklama, takozlama ve kesme sonucu oluşan aşınma izleri görülmektedir.

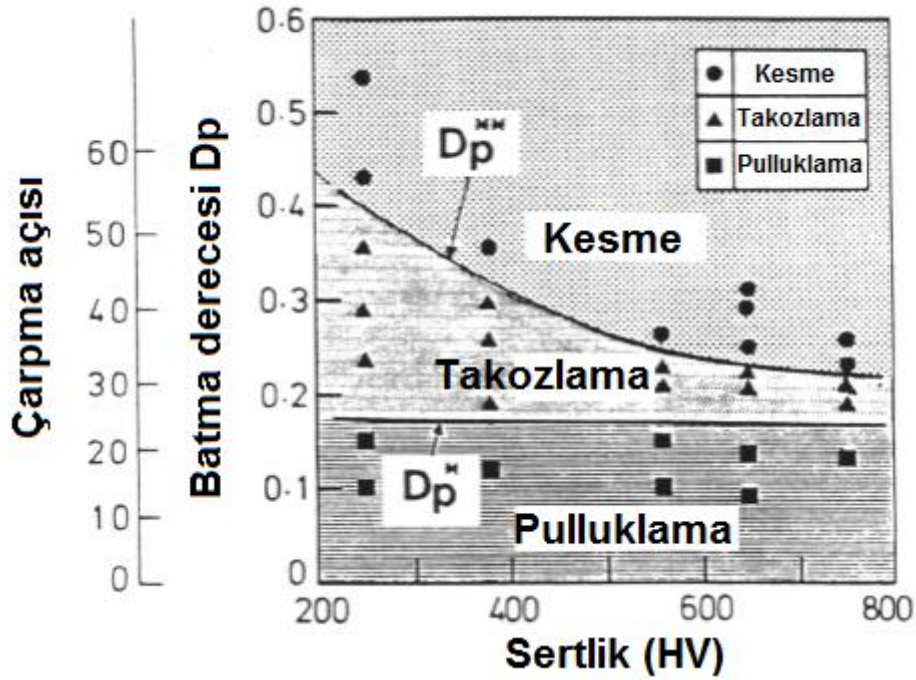


Şekil 2.4. Çarpma açısının kritik çarpma açısına oranının bir fonksiyonu olarak mikro kesmenin mikro pulluklamaya oranı [8]



Şekil 2.5. SEM'de görüntülenmiş aşınma mekanizmaları (a) mikro pulluklama, (b) takozlama, (c) mikro kesme [12]

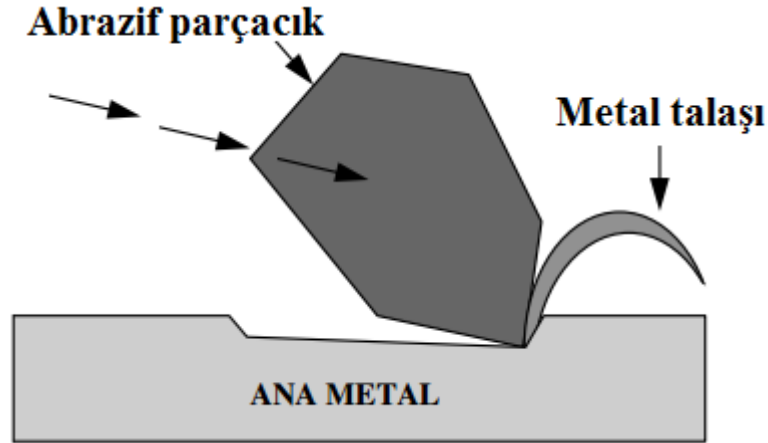
Şekil 2.6 aşınma tipi diyagramını malzemenin sertliği, çarpma açısı ve batma derecesinin bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Bu diyagrama göre D_p^* değeri (pulluklamadan takozlama tipine geçişe karşılık gelir) sertlikten bağımsızdır. Bununla birlikte D_p^{**} değeri (takozlama tipinden kesme tipine geçişe karşılık gelir) artan sertlikle azalır, sertlik artarken kesme olasılığının kama düzeninden daha yüksek olduğunu gösterir [8].



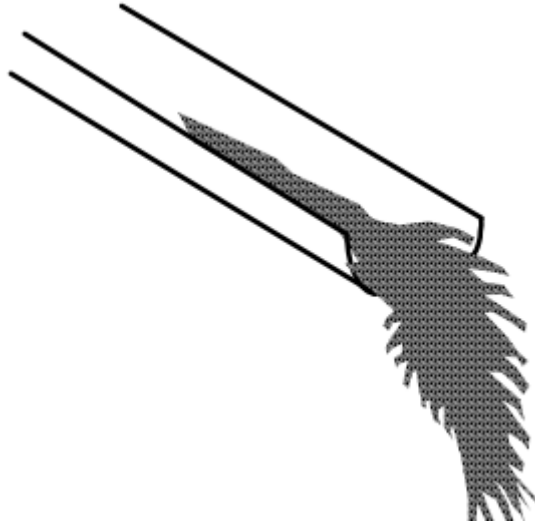
Şekil 2.6. Çeliklerde çarpma açısının, batma derecesinin ve sertliğin fonksiyonu olarak aşınma modları [8]

2.2.2.1. Düşük gerilmeli abrazyon

Düşük gerilmeli abrazyon, kırılma dayanımlarının altında baskılanan, kayan aşındırıcıların kesme hareketinden meydana gelmektedir (Şekil 2.7) [8]. Genellikle kayma gibi sürtünme durumlarında, sürtünen yüzey malzemesinden daha sert aşındırıcı parçacıkların bulunması sebebiyle malzemenin yüzey tabakasından küçük parçacıkların ayrılmasını içerir [13]. Bu tür abrazif aşınmada, aşınma yüzeyleri çizik (sıyrık) içerir ve yüzeyaltı deformasyonu asgari düzeydedir [8]. Aynı zamanda çizik abrazyonu olarak adlandırılır ve tüm tribolojik aşınmaların %80-90'ında başta gelen hasar mekanizmasıdır. Düşük gerilmeli abrazyona maruz kalan yüzeylerde malzemenin sert, keskin parçacıklar tarafından kazınıp uzaklaştırıldığı görülür [13]. Düşük gerilmeli abrazyona karşı karbür içeren sert dolgu alaşımları yaygın olarak tercih edilir. Darbe olmaması nedeniyle kırılgan yapıya sahip olan yüksek karbonlu ve kromlu çelik alaşımları bu tür aşınmalara iyi dayanım gösterirler. Düşük gerilmeli abrazyon ile aşınan parçalara örnek olarak, zirai aletler, cevher ayırma makinaları, elekler, sulu karışım pompa hazneleri, kum kepçeleri, olukları (Şekil 2.8) v.b. verilebilir [14].



Şekil 2.7. Metal malzemeden talaş kaldıran abrazif parçacığın ve metal talaşın şematik görüntüsü[14].



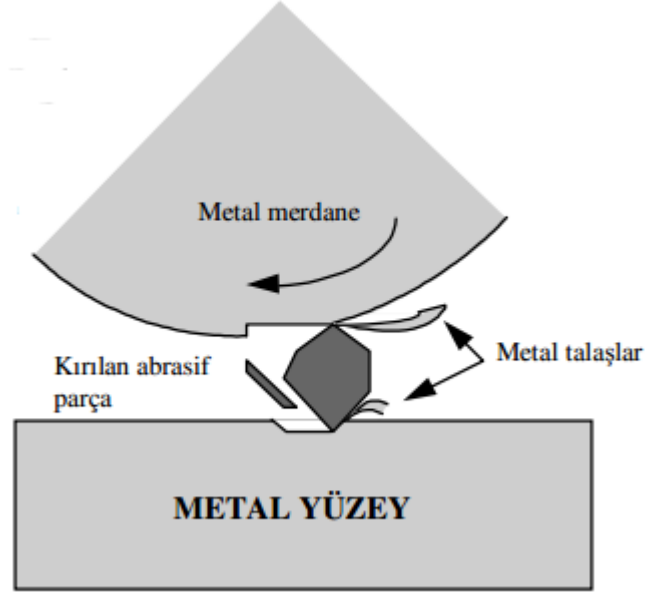
Şekil 2.8. Abrazif malzemenin düşük gerilmeli şekilde kayarak yüzeyi aşındırması [14].

2.2.2.2. Yüksek gerilmeli abrazyon

Yüksek gerilmeli abrazyon, gerilmenin aşındırıcıyı parçalamaya yetecek kadar yüksek olduğu durumlarda gerçekleşir. Bu tip aşınmada, gerilmeler sünek bileşenlerde büyük plastik deformasyonlara neden olacak kadar yüksektir [8].Düşük gerilmeli abrazyona kıyasla daha fazla aşındırır [14].

Metal bir yüzeyle küçük sert aşındırıcı parçalara parçayı kırarak veya öğütecek kadar yüksek bir kuvvet uygulandığında sert aşındırıcı parça iki metal yüzey arasına sıkışarak yüzeyleri Şekil 2.9'da görüldüğü gibi aşındırmaktadır. Yüzeyde çatlamlar görülebilir. Bu aşınma türünde sert dolgu alaşımı olarak manganlı östenitik çelikler, martenzitik ve bazı karburlu alaşımlar (Ti-

karbürler gibi küçük karbürü ana yapılar) kullanılabilir. Yüksek gerilmeli abrazyona maruz kalan parçalara, helezonlar, sıyırıcı bıçakları, öğütücüler, toplu-bilyalı öğütücüler, merdaneli kırıcılar, merdaneler, zincir dişlileri, pervaneli karıştırıcılar v.b. örnek verilebilir [14].



Şekil 2.9. Abrasif parçaların köşeli küçük parçalara bölünerek kırılması ve iki metal yüzeyden küçük talaşlar kaldırması [14].

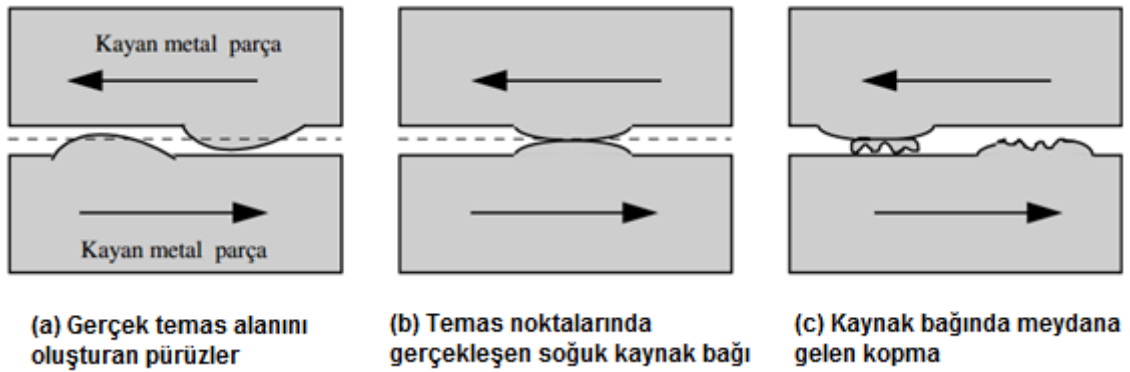
2.2.2.3. Oyma abrazyonu

Oymalı abrazyon, aşınma yüzeylerinde oyuklar ya da derin yivlerin yaratıldığı yüksek gerilme abrazyonunu ifade eder [8]. Yüksek ve düşük gerilmeli abrazyonların darbe ve parça ağırlığı ile birleşmesi sonucu açığa çıkar ve çok yüksek aşınma görülür. Ağır aşındırıcı parça metal yüzey üzerine basınçla etki eder ve yüzeyi oyarak aşındırır. Bu aşınma türünde aşındırıcılar parçayı kesme aletleri gibi aşındırır. Oyma abrazyonunun etkisini azaltmak için belli bir tokluğa sahip karbür içerikli alaşımlar (örneğin manganlı östenitik çelik matriste dağılmış karbürler) tavsiye edilmektedir. Kazıcı kepçeler, ekskavatör kovaları, döner kaya kırıcıları, silindir kırıcılar, çeneli kırıcılar, konik kaya kırıcıları yoğun bir şekilde oyma abrazyonuna maruz kalan makinelerdir [14].

2.2.3. Adhezif Aşınma

Adhezif aşınma genellikle aşındırıcı parçacıklar olmadan iki metalik bileşen arasındaki kayma hareketinden doğan ve kayma aşınması olarak da bilinen aşınma türüdür [8, 9]. Temas durumunda birbirine göre bağıl hareketi olan yağlamasız metal yüzeylerinde gerçekleşir [9, 14].

Metal yüzeyleri çok hassas dahi işlense her zaman için gerçek temas alanı görünür temas alanından küçüktür (Şekil 2.10.a) [7]. Temas halindeki malzemelere yük uygulandığında, gerçek temas alanı görünür temas alanından çok daha küçük olduğu için temas noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir [7]. Akma sınırı aşıldığında ise metal-metal temas noktalarında küçük soğuk kaynak bağları oluşur (Şekil 2.10.b) [7, 9]. Kaynak bağları oluşturan temas noktaları devam eden hareketin etkisiyle parçalandığında kopan parçacıklar aşınma ürünlerini meydana getirir (Şekil 2.10.c) [9]. Kopma (kırılma) genellikle zayıf olan metalde meydana gelir [7]. Temas noktalarında kopmaların devam etmesiyle aşınan kısım kopan parçanın yardımıyla daha da çabuk aşınır [14]. Kopan parçacıklar buldukları yerden serbestçe düşebilir veya yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler [9].



Şekil 2.10. Adhezif aşınmanın oluşumu[14]

Temas noktalarındaki kaynak bağlarının oluşumunda yüzeylerin fiziksel ve kimyasal etkileşimleri büyük ölçüde rol oynamaktadır [9]. Yüzeyler sürtünme halindeyken etki eden yükün fazla olması ve buna ilave olarak yüksek sıcaklık (çalışma koşulları ve temas noktalarında aşırı sıcaklık artışı) kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Kaynak bağı oluşumu malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, o derece kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır [9].

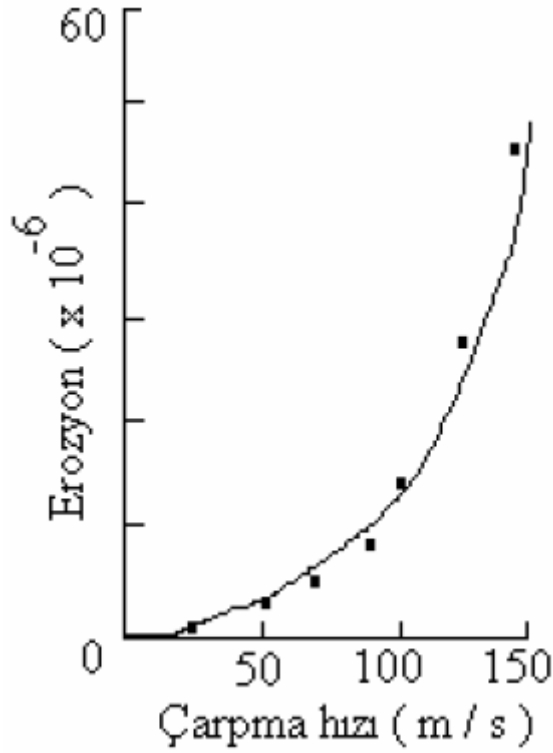
Adhezif aşınma farklı biçimlerde meydana gelebilmektedir. Uygulanan yük yeteri kadar düşük olduğunda, kaymayla birlikte sürtünme ısınmasının bir sonucu olarak oksit filmi meydana gelir. Oluşan bu oksit filmi hareketli yüzeyler arasında metalik bağ oluşumunu önler, neticede düşük aşınma oranı görülür. Bu tür aşınma oksidatif olarak adlandırılır. Eğer uygulanan yük yüksekse, malzeme çiftlerinin yüzeyleri arasında metalik bağ oluşumu meydana gelir. Bunun sonucunda meydana gelen aşınma miktarı oldukça yüksektir. Bu tür aşınma şiddetli ya da metalik aşınma olarak adlandırılır. Parça kalkması (sürtünme yapışması) olarak adlandırılan bir diğer aşınma türü ise şiddetli adhezif aşınmanın özel bir biçimidir [8]. Parça kalkması (sürtünme yapışması), şiddetli bölgesel plastik deformasyon, kırılma ve kayda değer miktarda malzemenin bir temas yüzeyinden diğerine geçmesi şeklinde betimlenebilir. Bu nedenle temas yüzeylerindeki yoğun

plastik deformasyon sürtünme yapışması direnci için önlenmelidir [15]. Adhezif aşınmanın bu türü parça kalkması eğer aşınma kalıntısı açıklıktan (hacimden) daha büyükse ve hareket eden öğenin hapsedilmesi sonucunda meydana gelir. Çoğu kez hareketli parçaların çok az bir kısmı parça kalkmasına ve takiben hasara uğrar. Çoğu yağlayıcının kararlı kalamadığı çok yüksek sıcaklıklarda çalışan otomobil egzoz supabı gibi yağlamanın imkansız olduğu durumlarda, adhezif aşınmayı en aza indirmek için sert dolgu tavsiye edilir [8].

Yumuşak ve sert yüzeyler temas halinde çalıştığında aşınma çok hızlı gerçekleşir. Yumuşak yüzeyler sert yüzeyler ile srtndklerinde daha hızlı aşınacaklarından adhezif aşınma yaşanan parçaların sert dolgu kaynağında yüzeyler arasındaki sertlik değeri farkının çok fazla olmamasına zen gösterilmelidir. Adhezif aşınma, meydana gelen aşınma % 15'ini oluşturur. Bu tip aşınmada darbeye yer olmadığından martenzitik sert dolgu alaşımlarının kullanılması iyi bir çözümdür. Manganlı stenitik ve kobalt alaşımları da alternatif olarak uygulanabilir. Adhezif aşınmaya maruz kalan parçalar genellikle elik hadde merdaneleri, taşıyıcı komponentler, yağlanmamış rulman yüzeyleri, makas ağızları, silindir yatakları ve benzeri parçalardır [14].

2.2.4. Eroziyon Aşınma

Erozyon aşınması, abraziyon aşınmaya pek çok yönden benzemektedir. Eroziyon aşınmanın abraziyon aşınmadan farkı temelde aşınmanın, sert partiküllerin yüzeyi kazıyarak değil yüzeye çarparak meydana gelmesidir. Sert parçacıkların bağlı hareketleri katı yüzeye paralel olursa aşınma , abraziyon erozyon olarak adlandırılır. Eroziyon aşınmaya örnek olarak gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içersindeki katı parçacıklarla aşındırılması verilebilir. Eroziyon aşınmayı etkileyen faktörler, aşındırıcı parçacığın özellikleri (aşındırıcı boyutu, şekli, sertliği), aşınan malzemenin özellikleri (sertliği ve yüzey kalitesi) ve ortamın özellikleri (partikülün çarpma veya yalama hızı, çarpma açısı ve birim zamanda çarpan partikül miktarı) olarak uç ana grup altında incelenebilir. şekil 2.11' de çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi görülmektedir [9].



Şekil 2.11. Aşındırıcı çarpma hızının erozyona etkisi [9].

Erozif aşınma farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir. Sert parçacıklar yüzeye dik doğrultuda hareket ediyor ise aşınma, çarpma erozyonu olarak adlandırılır [9]. Çarpma erozyonu akışkan esaslı hareketli parçacıklar sebebiyle oluşur. Hava ya da sıvı akımı içerisinde hareket eden bir parçacığın bir yüzeye karşılaştığında kinetik enerjisinden temas gerilimi doğar. Çarpma erozyonu çarpma açısıyla değişiklik gösterir. [8]. Kavitasyon ise hava kabarcıklarının türbülans sebebiyle patlamasını kapsar. Bu kabarcıklar malzeme yüzeyinde patlarsa, oluşan şok dalgalarıyla aşınma meydana gelir. Bu tip aşınmaya kavitasyon erozyonu denir [8].

2.3. Aşındırıcı Özelliklerinin Aşınmaya Etkisi

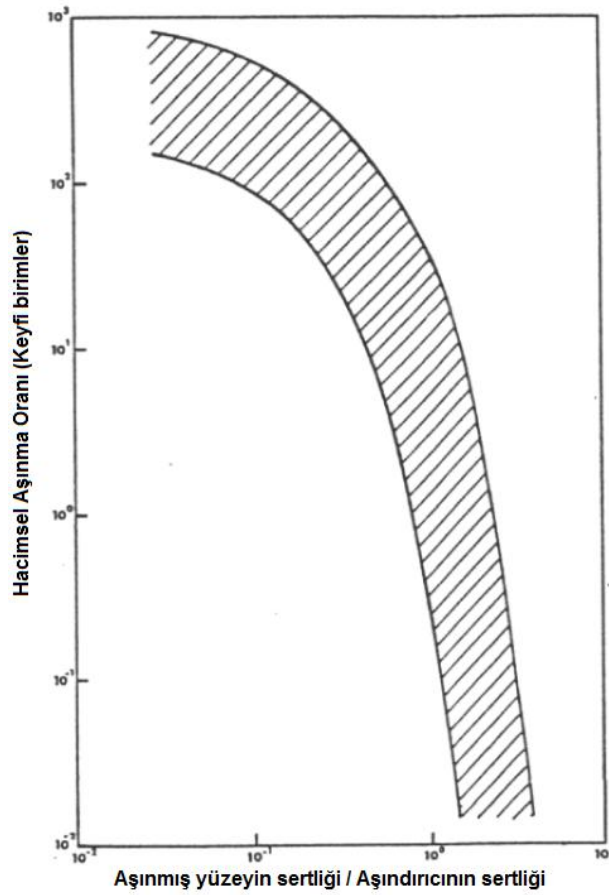
Aşınmanın oranı aşındırıcı boyutuna, sertliğine ve kenarlarının keskinliğine bağlıdır. Ayrıca parçacığın hızı da aşınmaya etki etmektedir [14].

Aşınma oranı, aşındırıcının keskinliğiyle artarken abrazif aşınmaya maruz kalan yüzeyin sertliği arttıkça azalır. Bununla birlikte özellikle aşındırıcı sertliğinin yüzey sertliğinden iki kattan daha fazla olması durumunda hızlanır. Ayrıca aşındırıcı boyutunun azalmasıyla da aşınmada azalma gözlenir. Literatürde 3 µm altındaki aşındırıcı parçacıkların olması durumunda çizikli abrazif aşınmanın, mikro talaş oluşumlarının son bulduğu belirtilmiştir. Aşınma oranı kayma mesafesi ve parçacık veya çıkıntılar üzerindeki yük ile doğrudan orantılıdır [13].

Mikroyapı (karbon içeriği, karbürler, sert fazlar vb.) metallerin aşınma oranlarına etki eder. Sert mikro bileşenlerin varlığı aşınma miktarını düşürür [13].

2.3.1. Aşındırıcı Sertliği

Aşınan malzemenin sertliği aşındırıcının sertliğine yaklaştıkça abrazif aşınma direnci artar. Bu açıklama Şekil 2.12'de metalik malzemeler ve seramikler için gösterilmiştir. Kritik H_m/H_a oranının (H_m :malzeme sertliği, H_a : aşındırıcı sertliği) niceliğini belirtmek için bir takım tavsiyeler bulunmaktadır. Genel sonuç, aşınmayı yumuşak aşındırıcıda meydana getirmek için malzeme sertliğinin aşındırıcıya uygun olması yönündedir (bir aşındırıcının sertliği aşınan yüzeyin sertliğine eşit ya da ondan daha düşük ise yumuşak aşındırıcı olarak adlandırılır) [8].



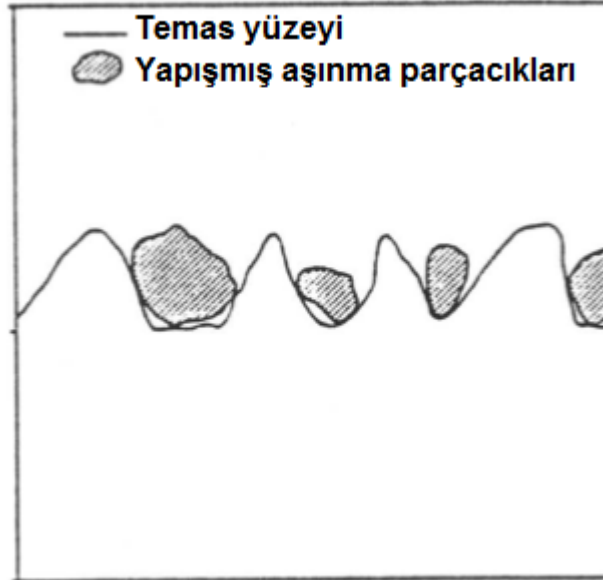
Şekil 2.12. H_m/H_a oranının metalik ve seramik malzemelerin abrazif aşınma direncine etkisi [8]

2.3.2. Aşındırıcı Biçimi

Keskin (köşeli) yapıdaki aşındırıcı parçacıklar yuvarlatılmış parçacıklara kıyasla aşınma esnasında daha fazla ağırlık kaybına sebebiyet verir. Bazı çalışmaların bulgularına göre köşeli kuvars parçacıkları yuvarlatılmış kuvars parçacıklarına kıyasla 2 ila 5.5 kat daha fazla aşınma oranına sahiptir. Ayrıca aşındırıcıların keskin köşeleri yuvarlatılmış aşındırıcılarda gözlenmeyen yoğun karbür çatlamlarına sebep olabilmektedir [8].

2.3.3. Aşındırıcı Boyutu

Çok çeşitli malzemelerde aşınma oranı aşındırıcı parçacık boyutuyla artış göstermiştir. Bu etki metal dışı olanlar için en yüksek seviyededir. Malzeme kaldırma mekanizmalarındaki baskın değişimin bu sonucu ortaya çıkardığı öne sürülür. Bir takım olası açıklamalar, düşük aşınma oranının aşındırıcı boyutundaki düşüşle bağlantılı olduğuna açıklık getirmiştir. Bu açıklamalardan ilki, yükün daha az bir bölümünün ince taneli aşındırıcılarla taşındığını ileri sürmüştür. Bir diğer olasılık ise, serbest aşınma kalıntılarının aşındırıcının malzeme yüzeyiyle temasını önlediği yönündedir. Bu durum Şekil 2.13'te gösterildiği üzere, aşınmış yüzeyin aşınma kalıntıları tarafından tıkanması biçimindedir. İnce taneli aşındırıcılarda tıkanma olasılığı yüksektir ve bu sebepten aşındırıcılar ve aşınmış yüzey arasındaki temasların sayısı kaba taneli aşındırıcılara kıyasla daha azdır [8].



Şekil 2.13. Aşınma kalıntıları tarafından tıkanmış aşınmış yüzeyin şematik gösterimi [8]

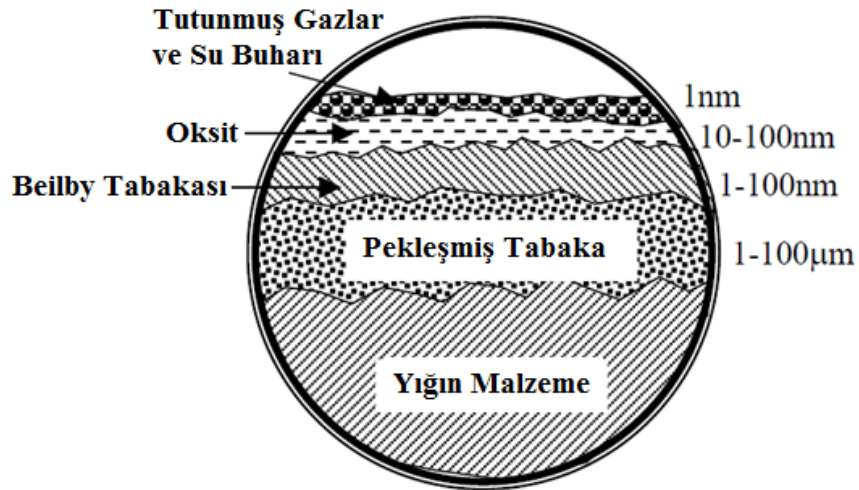
2.3.4. Aşındırıcı Parçalanmasının Etkisi

Aşınma sırasında aşındırıcının kendisinde bozulmalar (parçalanmalar) meydana gelmesi yaygındır. Örneğin 220 aşındırıcı büyüklüğündeki SiC zımpara kağıdı çelik bir yüzey üzerinde geçiş yaparken hızla etkinliğini kaybeder ve yaklaşık 1600 seyirden sonra neredeyse etkisiz hale gelir. Aşındırıcı parçalanmasının aşınma direnci üzerine etkisi ile ilgili deneysel çalışmalar göstermiştir ki; etkinliğin kaybı aşındırıcılara ve ayrıca hedef malzemeye de bağlıdır. Aşındırıcı parçalanması kayda değer bir etkiye sahip olmakla birlikte, mikroyapının abrazif aşınma direncine etkisini anlamayı da zorlaştırmaktadır [8].

3. METAL YÜZEYLERİ VE YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ

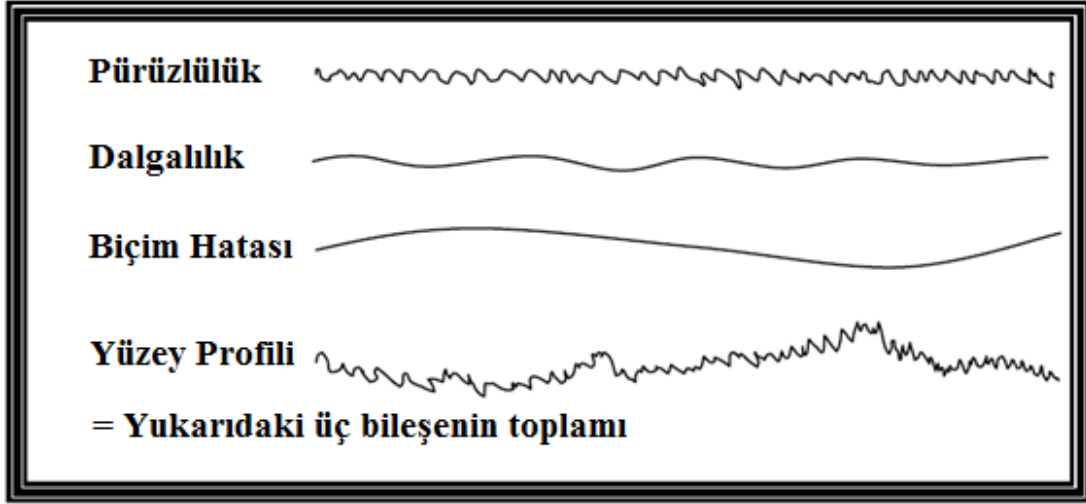
3.1. Yüzey

Bir metal yüzeyi temiz ve parlatılmış görülebilir; oysa ki yüzey, mikro katmanları talaşlı işleme, sıcaklık ve oksit oluşumunu içeren dış faktörler sebebiyle Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir. Malzeme üretimiyle ilgili imal usüllerine bağlı olarak pekleşmiş malzeme bölgesi bu ilave katmanların temelini işgal edecektir. Pekleşmiş bu yüzeyin üzerinde, ergime ve moleküler katmanların talaşlı işlenmesi sırasında yüzey akmasının bir sonucu olan 'Beilby' tabakası olarak adlandırılan amorf ya da mikro kristalli bir yapı vardır. Oksit tabakası dış çevredeki mevcut oksijen ve yüzey oksidasyon mekanizmaları sebebiyle Beilby tabakasının üstünde bulunur. Yüzeğe tutunanların (adsorbatlar) tabakası ise en dış bölgeyi kapsar ve çevreden yoğunlaşabilecek ve fiziksel ya da kimyasal olarak yüzeğe tutunabilecek su buharı ya da hidrokarbonlardan oluşur [4].



Şekil 3.1. Metal bir yüzeyin şematik gösterimi [4].

Yüzey biçimi ya da topolojisi kalıplama, dökme ya da kesme ve aşındırma gibi yüzeyi biçimlendirmek için kullanılan işlemlere bağlıdır. Geometrik doku yüzey profili ile karakterize edilebilir ve yüzey dokusunun üç farklı üç farklı bileşeni sonucunda meydana gelir (Şekil 3.2). Bu bileşenler pürüzlülük, dalgalılık ve biçim hatası olarak adlandırılabilir [4].



Şekil 3.2. Yüzey dokusunun üç bileşeni [4].

3.2. Yüzey Kaplama Teknikleri

Tribolojik bakış açısından, yüzey modifikasyon teknikleri, şiddetli çevresel koşullara maruz kalan yüzeylerde ve eşleşen parçaların geometrisi ya da kinematiğinden dolayı temas eden yüzeyler arasında yağlayıcı filmin oluşturulamadığı uygulamalarda kullanışlıdır [8].

Birçok tribolojik araştırma, malzemelerin servis koşulları altında karşılaştıkları sürtünme ve aşınmanın en aza indirgenmesini hedeflemektedir. Yüzeylerin korunmasında farklı yaklaşımlar mevcuttur. Hareketli yüzeyler arasında etkili yağlama sürtünmeyi ve dolayısıyla aşınmayı önemli ölçüde azaltır. Bir diğer yaklaşım ise parçaların yüzey sertleştirmesidir. Malzemelerin yüzey sertleştirmesinde karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme, borlama ve alüminyum kaplama gibi difüzyon yöntemleri mevcuttur fakat bu işlemler zaman alıcıdır [4].

Uygun aşınma ve sürtünme değerlerine ulaşmak için çeşitli yığın malzemeler (demir esaslı ve demir dışı metaller, alaşımlar, seramikler ve sermetler), alaşımlama, kompozit hale getirme ve kaplamayla modifiye edilebilir. Tüm bu işlemler arasında aşınmaya daha az dirençli malzemenin daha yüksek dirence sahip malzemeyle kaplanması yüzey koruması için ideal bir yöntem sunmaktadır [4].

4. SERT DOLGU

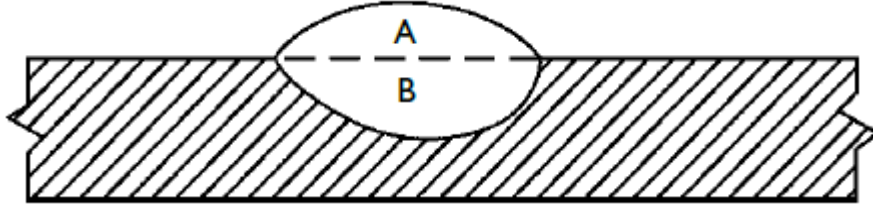
Sert dolgu, alaşımları kaynak yoluyla metalik bir altlık yüzeye homojen olarak biriktirme ve aşınma ile darbe, ısı, korozyon ve bu etmenlerin kombinasyonuna dayanıklı koruyucu bir yüzey oluşturma ve yüzey özelliklerini geliştirme işlemdir [16,17]. Sert dolgu yöntemi esasen sert, aşınmaya dayanıklı malzemenin, altlık malzemesinin süneklik ve tokluğunda kayda değer kayıp olmaksızın sertliği ve aşınma direncini arttırmak amacıyla parça yüzeyinin belirli bölgelerinde farklı tekniklerle uygulanır [18, 19, 20]. Alaşım elementlerinin ilavesi ve hızla katılaşan ince dağılmış sert karbür fazları içeren kristal mikroyapı, sert dolgu alaşımlarında sertlik ve tokluğun eşsiz kombinasyonunu sergileyebilmektedir [21].

Bu işlem temel olarak çeşitli aşınma çevrelerine maruz kalan parçaları korumak ve servis ömürlerini uzatmak için yapılır. Örneğin, silindirler çeliklerin sıcak haddelenmesi esnasında hasara uğraması sebebiyle onarıma ihtiyaç duyduğunda, silindir yüzeyine sert dolgu yapılması, daha düşük maliyet, daha yüksek verimlilik, geliştirilmiş ürün kalitesi ve daha uzun silindir ömrü açısında dikkate değer katkı sağlar [17]. Sert dolgu parçaların çalışma ömürlerini arttırmak için uygulandığından, kaplanan sert dolgu alaşımları sertlik, abrazyon direnci, ısı direnci, korozyon direnci gibi bir takım arzu edilen özellikleri sağlamalıdır. Bu işlem aynı zamanda tüm parçanın arzu edilen özelliklerini geliştirmekten daha ekonomiktir çünkü sert dolgu düşük maliyetli ana metalin kaplanmasını içeren bir uygulamadır [8].

Sert dolgu tabakaları, 750 μm 'den birkaç mm'ye kadar değişen kalın bir alaşım kaplama olarak kaynak kaplama aracılığıyla kaplanabilir [22]. Sert dolgu işlemi sırasında, hem kaplama hem de altlık malzemesi, aralarındaki metalürjik bağı geliştirmek için ergitilmektedir [21]. Bu durum genelde arzu edilmeyen ve sert dolgu kaplamanın bileşiminde değişikliğe yol açan seyrelme faktörünü ortaya çıkarmaktadır.

4.1. Seyrelme

Seyrelme, esasen ergitilen ana metalin erimiş kaynak metaliyle karışmasıyla meydana gelir ve ana metalin ya da kaynak dikişinde önceki kaynak metalinin karışması sebebiyle oluşan kaynak dolgu metalinin kompozisyonundaki değişim olarak tanımlanır [14]. Diğer bir deyişe Şekil 4.1'de gösterildiği gibi sert dolgu kaplamasıyla karışan ana metalin kaynak metali içerisindeki yüzdesidir ve Denklem 4.1'deki [14] gibi kaynak tabakasındaki ana metalin dolgu metalinin tamamına oranı olarak ölçülür. [8, 23,14]. Örnekleme gerekirse; %30'luk bir seyrelme, kaplamanın %30 ana malzeme ve %70 sert dolgu alaşımı içerdii anlamına gelmektedir [8].

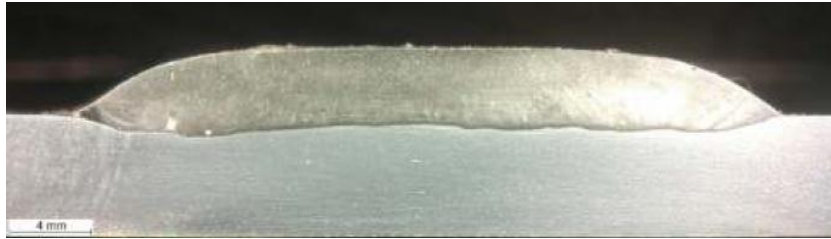


Şekil 4.1. Seyrelmenin şematik gösterimi [14]

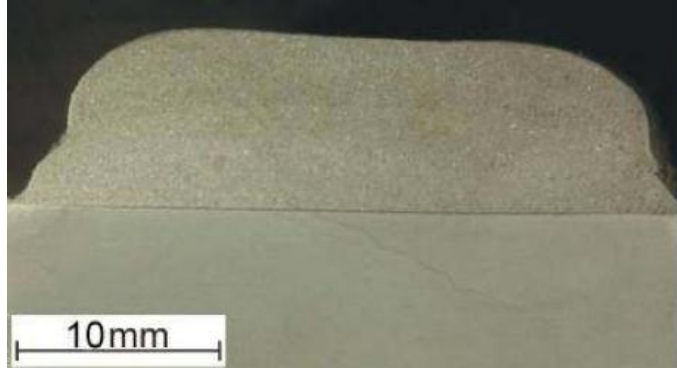
$$\% \text{ Seyrelme} = \frac{B}{A+B} \times 100 \quad (4.1)$$

Seyrelme yüzdesi, kaplamayı ve altlık malzemesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir ve sert dolgu yüzeyin özelliklerinin belirlenmesinde büyük rol oynar [8, 23]. Seyrelmenin başlıca etkisi sert dolgu kaplamasının alaşım içeriğini düşürmek ve böylelikle aşınma ya da korozyon direncini olumsuz olarak etkilemektir [14]. Dolayısıyla aşınma direnci ve diğer arzu edilen özellikler seyrelmeye bağlı olarak seyrelmeyle birlikte düşer [8]. Verilen bir seyrelme yüzdesinin sert dolgu kaplamasının özelliklerine olacak etkisinin niceliği çoğunlukla ana metalin kimyasına bağlıdır [14].

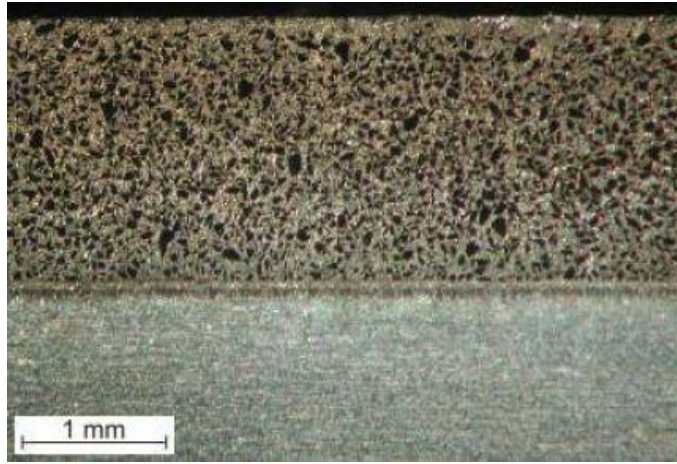
Düşük seyrelme elde etmek için kullanılan kaplama tekniği ark enerjisini, kaplanacak yüzey üzerinde eşit dağılacak şekilde yaymaya olanak sağlamalıdır [23]. Yüksek seyrelme yüzdelinde, daha yüksek ana metal miktarının varlığından ötürü sert dolgu malzemelerin yüzey özellikleri beklenen seviyede gelişmez. Bundan dolayı, düşük seyrelme yüzdesi üreten kaynak işlemi sert dolgu uygulamaları için genellikle tercih edilir [24]. Kaynak işlemleri ve teknikleri seyrelmeyi %20'nin altında tutacak şekilde seçilmelidir [8]. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te farklı kaynak teknikleri ve malzemelerle üretilmiş sert dolgu kaplamalarında meydana gelen seyrelme miktarları görülmektedir.



Şekil 4.2. Yüksek krom alaşımlı dökme demir sert dolgu kaplamasının makro yapısı, %18-20 seyrelme, metalik bağ [25]



Şekil 4.3. Plazma ark kaynağı ile yapılmış sert dolgu kaplamanın makro yapısı (Ni-Cr-Mo-B-Si alaşımlı matris + %65 WC), %5-8 seyrelme [25]



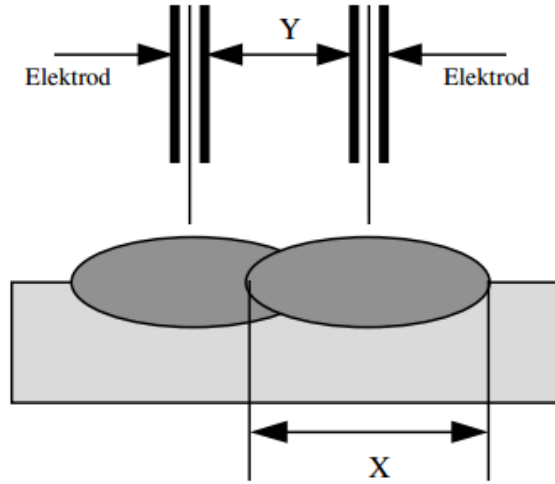
Şekil 4.4. %60 W2C ile harmanlanmış kendinden özlü nikel esaslı sert dolgu alaşımına ait sıcak termal püskürtme ile oluşturulmuş kaplamanın makro yapısı, seyrelme yok, difüzyon bağı [25]

İki metal birleştirilirken bağlantının dayanımı nüfuziyet ya da seyrelme miktarıyla belirlenir. Sert dolgu kaynağında ise kaynak dolgusu ile ana metal arasında sadece yapışma gerekli olduğundan yüksek nüfuziyete ihtiyaç yoktur. Sert dolgu kaplamaların kimyasal kompozisyonu ve özellikleri ana metalden oldukça farklı olduğundan, aşırı seyrelme zarar verici olabilir. Sert dolgu kaplama alaşımları, en az miktarda kaynak pasosuyla istenen aşınma özelliklerini sağlamak için dikkatle formüle edilir [14].

Seyrelmenin derecesi kaynak işleminin ve koşullarının bir fonksiyonudur. Genel olarak, ark kaynağı için daha yüksek akım ve voltajın daha fazla seyrelme oranlarına sebep olduğu ifade edilebilir [14]. Akım ve voltaj haricinde seyrelmeyi etkileyen diğer faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak hızı: Kaynak hızının yavaşlaması seyrelme oranını artırır [14].
- Ön ısıtma sıcaklığı: Daha yüksek ön ısıtma daha yüksek seyrelme verir. Ön ısıtma sıcaklıkları tavsiye edilen aralıklarda tutulmalıdır [14].

- c) Kaynak pozisyonu: Seyrelme oranının azalması için, sırasıyla aşağıdan yukarı yüksek seyrelme, oluk yatay düz, aşağıya yatay kaynak, yukarıya yatay kaynak ise düşük seyrelme sağlar [14].
- d) Kaynak tekniği : Elektrodun salınımı arttıkça seyrelme azalır. Salınım yapılmadığında seyrelme artar. Önceden yapılmış sert dolgu yada birbiri üzerine bindirilen kaynaklar seyrelmeyi azaltır. [14].
- e) Katman (paso) sayısı ve bindirme: Sert dolgu alaşımları seyrelmenin etkisini en aza indirmek için birkaç katman halinde kaplanabilir [8]. Kaplanan katman sayısı arttıkça seyrelme azalır [14]. Seyrelmenin etkisinin azaltmak için en fazla dört paso kaynak yapılması önerilir. Genellikle % 30 - 50 kaynak dikişi bindirmesi kullanılır. İlk pasolarda % 50'ye yakın bindirmenin seyrelmeyi azalttığı görülmüştür. Çok fazla bindirme (% 70 ve daha fazla gibi) dikişin yana yatmasına ve cüruf kalıntısına neden olabilir. Bindirme yüzdesi, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi ikinci kaynak dikişinin birinci kaynak dikişinin üzerine ne kadar bindiğiyle belirlenir (Denklem 4.2 [14]). Kaynak dikişi bindirmesinin en önemli etkisi seyrelmedir. Kaynak dikişi bindirmesi arttıkça ark enerjisinin çoğu ana metal yerine daha önce yapılan kaynak dikişini ergitmek için kullanılır ve seyrelme düşer [14].

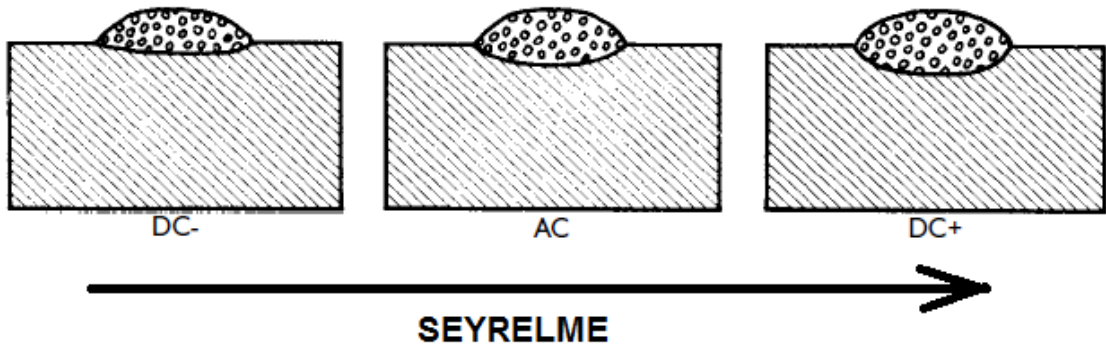


Şekil 4.5. Kaynak Dikişi Bindirmesi [14]

$$\% \text{ Kaynak Dikişi Bindirmesi} = \frac{X-Y}{X} \times 100$$

(4.2)

- f) Serbest tel boyu : Serbest tel boyu arttıkça seyrelme azalır [14].
- g) Kaynak kutupları : Kaynak akımının tipi ve kutuplaması da ayrıca seyrelmeyi etkiler (Şekil 4.6). En çok seyrelmeyle doğru akım pozitif kutuplama kullanıldığında karşılaşılmıştır fakat daha iyi ark özelliği sağladığı da belirtilmiştir. Alternatif akım orta derece bir etkiye sahipken doğru akım negatif kutuplamanın en az seyrelme verdiği gözlenmiştir [14].



Şekil 4.6. Kutuplamanın seyrelmeye etkisi [14].

Yukarıda bahsedilen faktörlere ilave olarak sert dolgu alaşımlarının seçimi seyrelme etkisi göz önüne alınarak yapılmalıdır. Seyrelme nedeniyle kaynak metalinin alaşım miktarı düşer. Bu nedenle son pasoda istenen sert dolgu metalini elde edebilmek için, seyrelme nedeniyle alaşım miktarındaki düşüş kaynak malzemeleri tarafından karşılanmalı veya uygun kaynak malzemeleri ile tampon paso yapılmalıdır. Seyrelme etkisini azaltmak için yapılabilecek diğer bir uygulama da ilk pasoda daha yüksek alaşımlı kaynak malzemelerinin kullanılmasıdır [14].

4.2.Sert Dolgu Yöntemleri

Sert dolgu genel olarak, aşınmaya karşı dirençli malzemenin, parça yüzeyleri üzerine kaynakla veya ısıl püskürmeyle kaplandığı bir uygulama olarak tanımlanır [26].

Elektron demeti, plazma ark ve lazer gibi yüksek yoğunlukta enerji kaynakları malzeme yüzeylerinin aşınma ve korozyon dirençlerini arttırmak için sert dolgu alaşımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [27]. Bununla birlikte herhangi bir açık ark kaynağıyla yapılan sert dolgu işlemi daha az maliyetlidir ve şiddetli aşınmaya eğilimli makine parçalarının kritik kısımlarına uygulanabilir [26]. Çizelge 4.1'de sıklıkla kullanılan sert dolgu yöntemleri kullanım alanları, seyrelme yüzdeleri ve kaplama hızı ölçütlerine göre kıyaslanabilir.

Çizelge 4.1. Sert dolgu kaynak yöntemlerinin kıyaslanması [28]

İşlem	Yaklaşık kaplama kalınlığı, mm	Kaplama hızı, kg/saat	Tek katmanda seyrelme, %	Tipik kullanım alanı
Oksi-asetilen	1.5	≤1	1-5	İnce kesitlerde küçük alanların kaplanmasında
Korumalı metal ark	3	0.2-1	15-30	Kalın kesitlerde birden çok katman
Gaz tungsten ark	1.5	≤2	5-10	Yüksek kalite, düşük seyrelme
Plazma ark	2	≤10	2-10	Yüksek kalite, en düşük seyrelme
Özlü telle ark	2	3-6	15-30	Gaz metal ark kaynağına benzer, esasen yüksek abrazyon direnci için demir esaslı alaşımlarda
Gaz metal ark	2	3-6	10-30	Korumalı metal ark kaynağından daha hızlı, pozisyon kaynağına uygun
Toz altı ark (tel)	3	10-30	15-30	Kalın kesitli parçalarda: özlü telle ark kaynağına göre daha kaliteli kaplama,
Toz altı ark (şerit)	4	10-40	10-25	Geniş alanların korozyona dirençli kaplamalarında
Cüruf altı	4	15-35	5-20	Toz altı ark kaynağına göre daha yüksek kaplama hızlarında yüksek kalitede kaplama, sınırlı alaşım aralığı

4.2.1. Ark Kaynağı

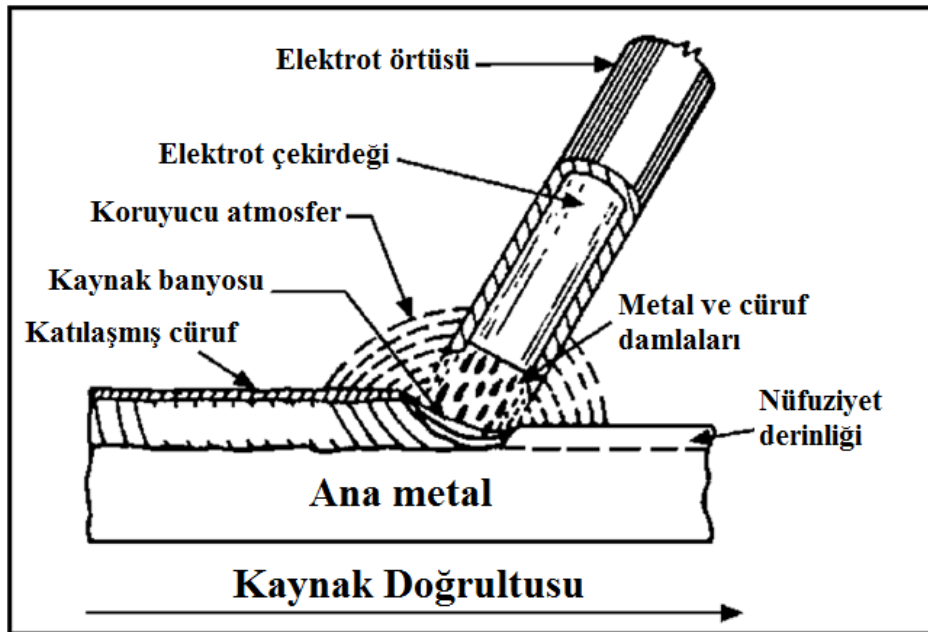
Ark kaynağıyla sert dolgu işlemi, korumalı metal ark, gaz metal ark, gaz tungsten ark, tozaltı ark, plazma ark ve diğer işlemlerle yapılabilir [2].

Bu işlemlerin herhangi biri için kullanılan teknikler, birleştirme için kaynakla aynıdır. Seyrelme faktörü dikkatle değerlendirilmelidir çünkü ilave metalin bileşimi ana metalle farklılık göstermektedir. Özellikle iki metal arasında büyük farklılıklar olması durumunda, dolgu metalinin ana metalle en az miktarda seyrelmesi önemli bir hedeftir. Az seyrelme, kaplanan metalin istenen karakteristiklerini sağladığı anlamına gelmektedir. Yüksek ergime noktasına sahip alaşımlar kullanıldığında, kaynak metalinin seyrelmesi genellikle % 15'in oldukça altında tutulur [2].

Ark kaynağıyla sert dolgu kaplamanın yüksek hızla kaplamayı, işlem esnekliğini ve mekanizasyon kolaylığını içeren pek çok avantajı mevcuttur [2].

4.2.1.1. Korumalı metal ark kaynağı

Korumalı metal ark kaynağı, metallerin birleşmesinin elektrik arkından gelen ısıyla sağlandığı bir tür ark kaynağı işlemidir. Elektrik arkı, örtülü elektrot ucu ile kaplanacak olan ana malzemenin yüzeyi arasında gerçekleşir (Şekil 4.7). Ark doğru akım ya da alternatif akımdan sağlanabilir. Ark ve kaynak banyosu elektrot örtüsünden oluşan cüruf ve örtü malzemelerinin ayrışmasından yayılan gazlarla korunur. Seyrelme kaynak koşullarına bağlı olarak %15 ila %30 arasında olabilir. Bu yöntemle düşük ve yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar gibi geniş yelpazedeki alaşımların kaplaması yapılabilir [8].



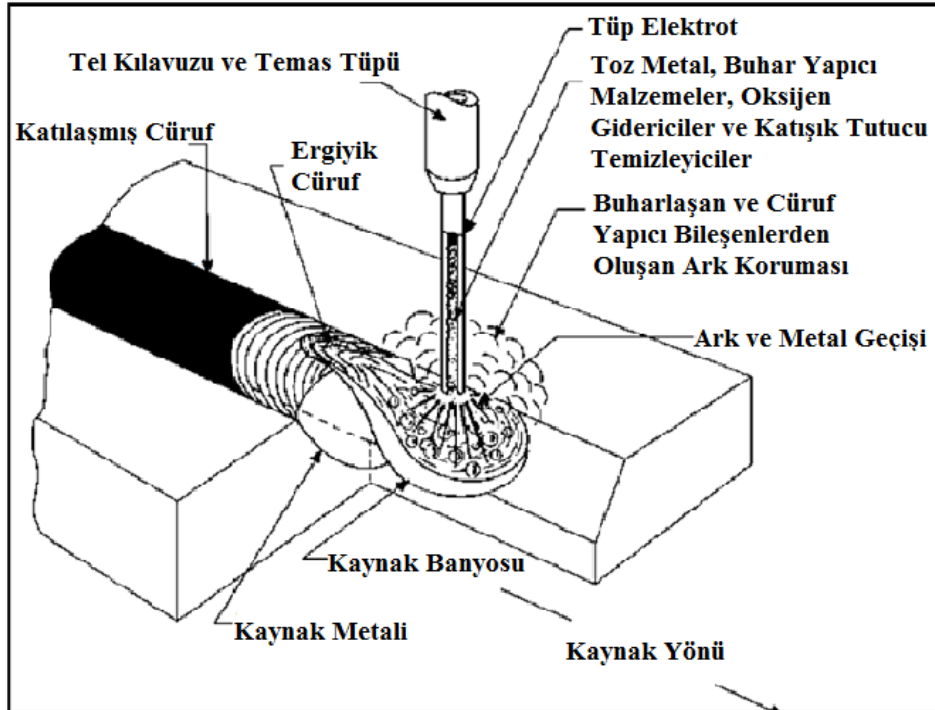
Şekil 4.7. Korumalı metal ark kaynağının şematik gösterimi [14].

4.2.1.2. Özlü telle ark kaynağı

Özlü telle ark kaynağı, MIG kaynağına çok benzer bir yöntemdir. Her iki işlemde de sürekli tel beslemesi ve benzer donanımlar mevcuttur. Bu iki yöntem arasındaki temel fark elektrodun havadan korunma yollarındadır. Özlü telle ark kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi merkezinde öz (flaks) olan içi boş bir tele sahiptir [29]. Özlü telle ark kaynağının şematik gösterimi Şekil 4.8'de mevcuttur.

Özlü tel ile kaynak uygulamalarında kaynak için gerekli olan ısı elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanır. İyonize olmuş gaz ortamını kateden elektrik akımı, arki oluşturur. Kaynak bölgesinin korunması ya dışarıdan transfer edilen koruyucu gazla ya da kaynak esnasında özün kompozisyonu sonucu ortaya çıkan koruyucu gaz atmosferi tarafından gerçekleştirilir [30].

Özlü tel elektrodla ark kaynağı, her şeyden önce bir ark kaynak yöntemidir ve sürekli bir ilave metal elektrod ile kaynak banyosu arasında ark oluşturulması esasına dayanır. Yöntem, ayrıca sevk edilen bir koruyucu gaz örtüsü altında (bazı uygulamalarda gaz kullanılmaz), ve tüp şeklindeki elektrodun içindeki tozdan (öz) oluşan bir örtü korumasıyla birlikte uygulanır [31].

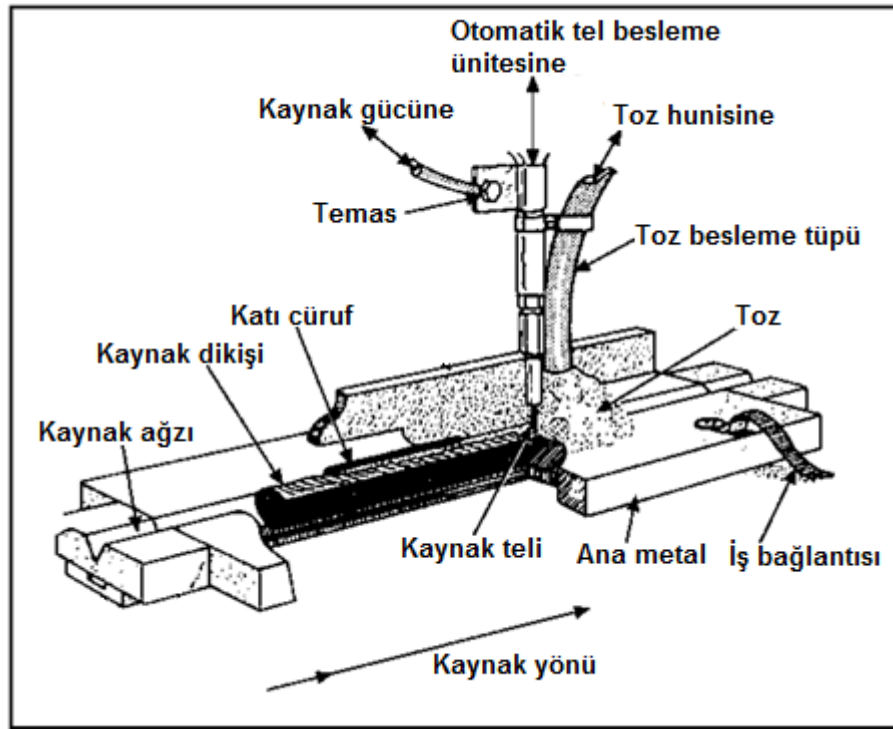


Şekil 4.8. Özlü telle ark kaynağının şematik görünüşü [14].

4.2.1.3. Tozaltı ark kaynağı

Toz altı kaynağında ark, otomatik olarak kaynak bölgesine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığını altında işlevine devam eder (Şekil 4.9). Kaynak arkı toz yığını altında meydana geldiğinden yönleme tozaltı kaynak yöntemi denmektedir. [32]. Elektrot sürekli tel (masif ya da boru biçiminde) ya da masif şerit şeklinde olabilir [33].

Günümüzde, yüksek kaplama hızından ötürü tozaltı ark kaynağı tercih sebebidir. Fakat tozaltı ark kaynağı yüksek ısı gerilmeler sebebiyle oluşabilecek çatlamları önlemek için öntavlama ve bunu takiben temperlemeye ihtiyaç duyar [34].



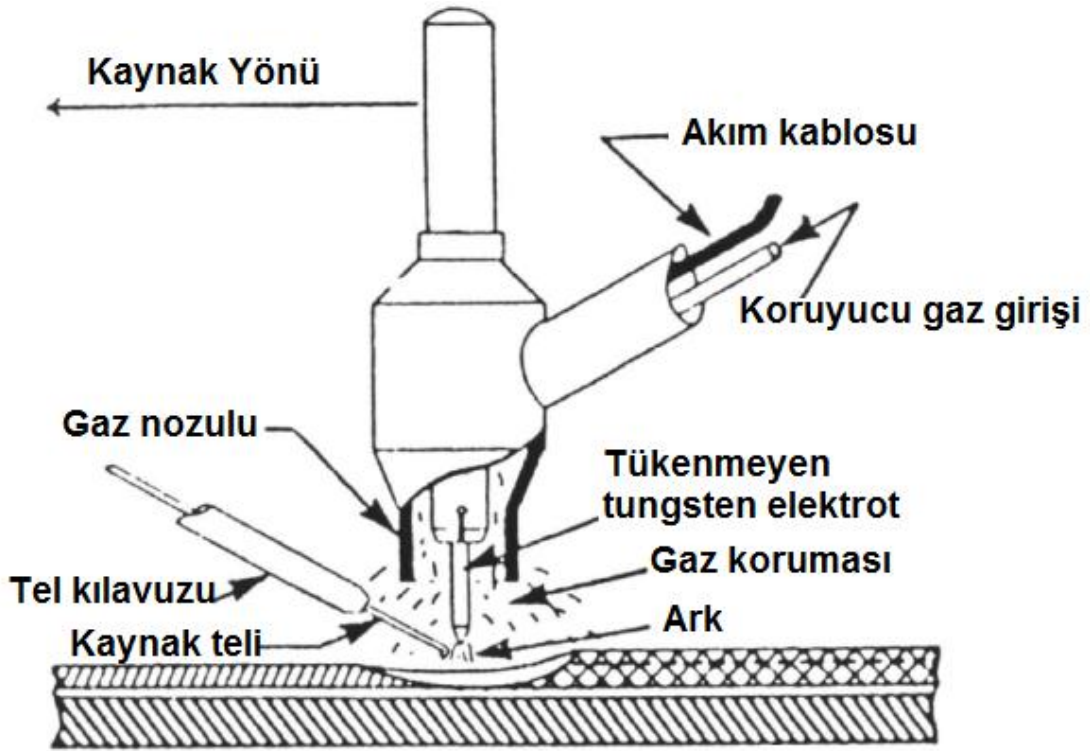
Şekil 4.9. Tozaltı ark kaynağının şematik görünüşü[14].

4.2.1.4. Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı

Tükenmeyen bir elektrotun kullanıldığı tungsten inert gaz kaynağında (TIG), tungsten elektrot ve ana metal arasında bir elektrik arkı oluşur. Ark bölgesi bir tür inert gaz ya da inert gazların karışımıyla korunur (Şekil 4.10) [27, 35, 36]. Tungsten elektrot, arkın faaliyete geçmesi için gerekli elektronların salınımı için yeterli yükseklikteki sıcaklıklara ısıtılır [37, 35]. Elektronlar tungsten elektrottan yayınırlar ve ark boyunca hareket ederken ivmelenirler. İş fonksiyonu olarak adlandırılan kayda değer bir miktardaki enerji, elektrottan yayılacak olan bir elektron için

gereklidir. Elektron iş parçasına girdiğinde, iş fonksiyonuna eşdeğer bir miktardaki enerji dolgu malzemesini ve ana metali eritmek için açığa çıkar [27, 35].

Dolgu metali beslemesi, hamlaç salınımı ve ilerleme hızı kontrol altında tutularak otomatik TIG kaynağıyla yüksek kalitede kaplamalar elde edilebilir. Bu yöntemle yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve alaşımları, bakır ve alaşımları, kobalt ve alaşımları gibi pek çok farklı kaplama malzemeleri başarıyla altlık metale kaynatılabilir. TIG kaynağı temelde yüksek kalitede kaplamaları minimum seyrelme ve düşük derecede çarpılmayla meydana getiren düşük kaplama hızına sahip bir işlemdir [8].



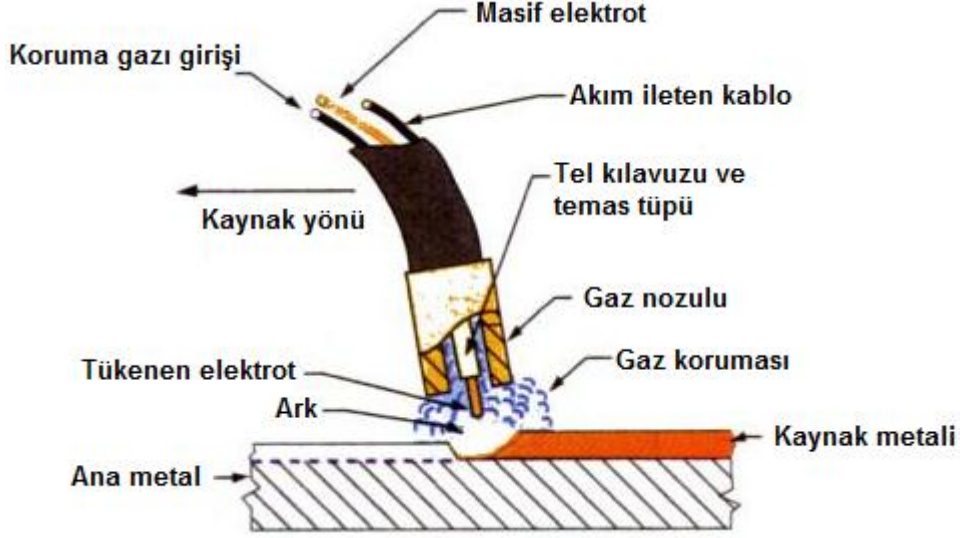
Şekil 4.10. TIG kaynağının şematik görüntüsü [8]

4.2.1.5. Gaz metal ark kaynağı

Gaz metal ark kaynağı, metalleri sürekli bir dolgu elektrodu ile iş parçası arasındaki elektrik arkı ile birleştiren bir eritme kaynak uygulamasıdır. Koruma, dıştan tedarik edilen gaz ya da gaz karışımı tarafından sağlanır (Şekil 4.11) [38].

Gaz metal ark kaynağında, geçiş bölgesi boyunca sertliğin derece derece azalmasıyla tabaka kalınlığında derinlik boyunca mikrosertlik gradyanının elde edilmesinin mekanik özellikler için (borür katmanının altlığa yapışması gibi) bazı durumlarda dikkate değer bir üstünlük olabileceği söylenmektedir. Keskin arayüze sahip kaplamaların, altlık ve kaplama arasında büyük

gerilmeler yaratılması durumunda, çalışma koşulları altında başarısız olabileceği ileri sürülmektedir [38].

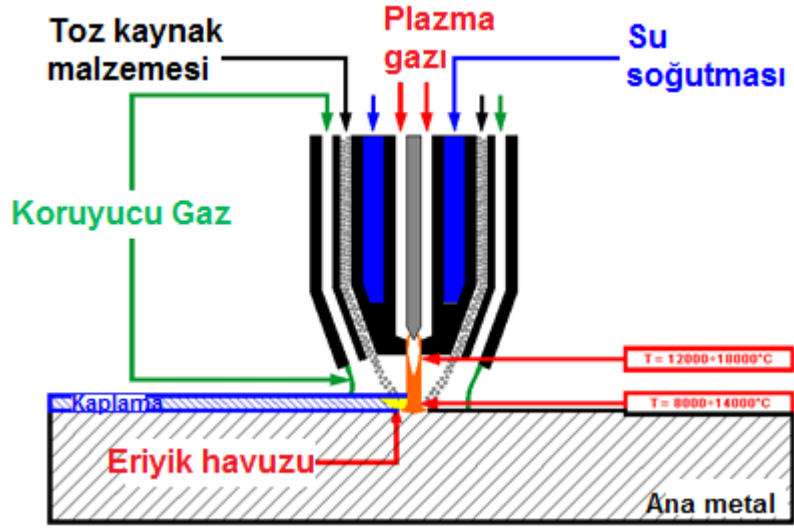


Şekil 4.11. Gaz metal ark kaynağının şematik görüntüsü [39]

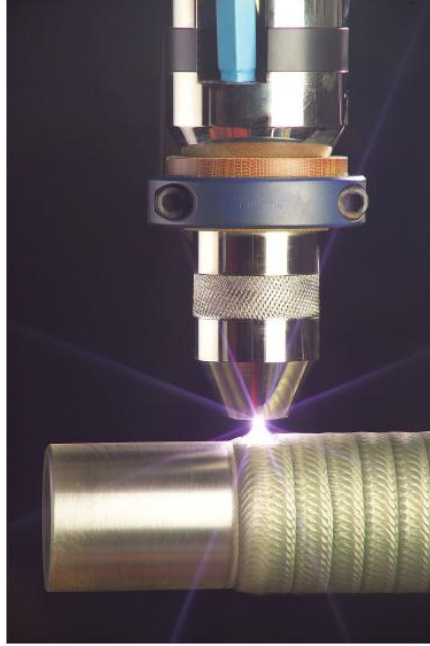
4.2.1.6. Plazma ark kaynağı

Plazma, çok yüksek bir sıcaklığa ısıtılan ve iyonlaştırılan, böylelikle elektriksel olarak iletken hale gelen bir tür gazdır. Plazma ark kaynağı işlemi, oluşan bu plazmayı iş parçası üzerine elektrik arkı aktarmak için kullanır. Kaynatılacak metal ilk olarak arkın güçlü ısısı tarafından ısıtılır ve sonra eriyik halde birleşir. Plazma kaynak hamlacında, uç kısmında küçük bir açıklığa sahip bakır nozul içerisine bir tungsten elektrot yerleştirilmiştir. Kaynatılmak istenen metale aktarılan öncü ark, hamlaç elektrodu ve nozul ucu arasında başlatılır. Plazma gazı ve arkın daralmış bir orifis boyunca zorlanmasıyla, hamlaç nüfuziyette güçlü bir kapasiteye sahip olur ve belirli bir bölgeye yüksek yoğunlukta ısı gönderir. Plazma tabancası ve iş parçası arasında bağlantı kuran ark vasıtasıyla, plazma ark kaynağı sert dolgu işlemi esnasında dolgu metalini eritmede rol oynayan plazma alevini oluşturur. Plazma ark kaynağında kullanılan düşük güçte kaynak hamlacı ve koruma yüzünden, argon gazı daha düşük hızda plazma arkı ve daralan ark bölgesi boyunca gaz ilavesiyle toz haline getirilmiş dolgu metali meydana getirir; karmaşık bir eriyik sert dolgu yüzeyi yaratır. [16]

Plazma ark kaynağının temel donanımı, ark için güç kaynağı, merkezde tükenmeyen tungsten elektrot, plazma gaz besleme ünitesi, koruyucu gaz ünitesi, hamlaç için su soğutmalı sistem ve tüm bunları bir araya getiren düzeneği içerir (Şekil 4.12) [16]. Şekil 4.13'te ise bir mile plazma ark kaynağı ile yapılan sert dolgu uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.12. Plazma ark kaynağının şematik görünüşü [40]



Şekil 4.13. Plazma transferli ark kaynağı uygulaması [41]

4.2.2. Oksi-asetilen Gaz Kaynağı

Sert dolgu operasyonlarında, oksijen yakıtlı kaynak, alttaki yüzey üzerinde, akıcı ergimiş dolgu metaliyle doldurularak kaplama katmanının oluşmasına olanak sağlar. Bu kaplama yöntemi (terleme) sert lehimleme ya da kalaylama olarak adlandırılır [2].

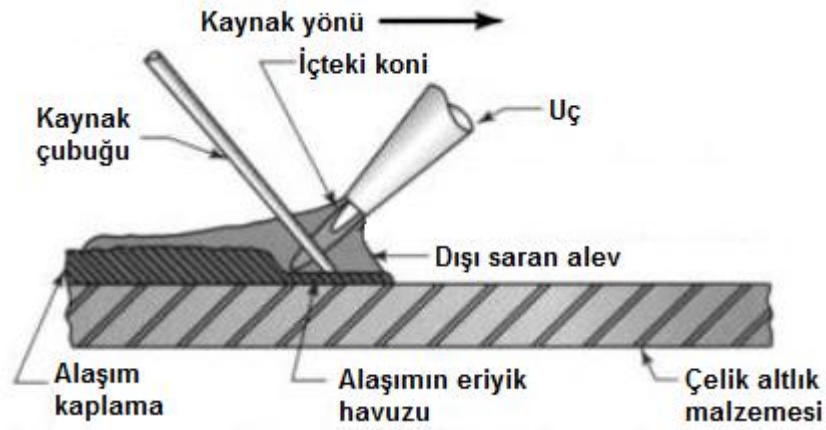
Oksi asetilen aleviyle küçük alanlar ince malzeme tabakası uygulanarak sert dolgu kaplanabilir. Ayrıca, alaşım aşırı ısıtmadan ya da çok kalın tabaka oluşturmadan iş parçasının kenar ve

köşelerine kolayca akabilmektedir. Metalin yerleşimi tam olarak kontrol edilebilmektedir [2]. Buna rağmen bu işlem sert dolgu kaplamalarda ark kaynak yöntemlerine kıyasla çok daha kaplama biriktirme hızı yavaştır [33].

Demir, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar aşırı bir asetilen alevine ihtiyaç duyar. Bakır alaşımları ve bronz ise nötr ya da az miktarda oksitleyici alev gerektirir. Kaplamanın kıvrımları, kabarcıkları ve zayıf yapışması hafif ve sakin karakteristikli alev ile önlenir [2].

Kaplama işlemlerinin tümünde olduğu gibi alaşım uygulamadan önce metal tüm tortu, pas, kir ve diğer yabancı maddelerden temizlenmelidir. Bu kirlilikleri ortadan kaldırmanın en iyi yolu yüzeyi taşlama ya da yüzeyden talaş kaldırmadır. Oksit önleyicilerde temiz bir yüzey sağlamak için kullanılabilir; aynı zamanda işlem sırasında gelişebilecek oksidasyonu gidermede yardımcı olabilir [2].

Torcu ve kaynak telini tutmada geleneksel yöntemler kullanılabilir. Şekil 4.14 sert dolgu kaplamada geriye kaynak yöntemini göstermektedir [2].



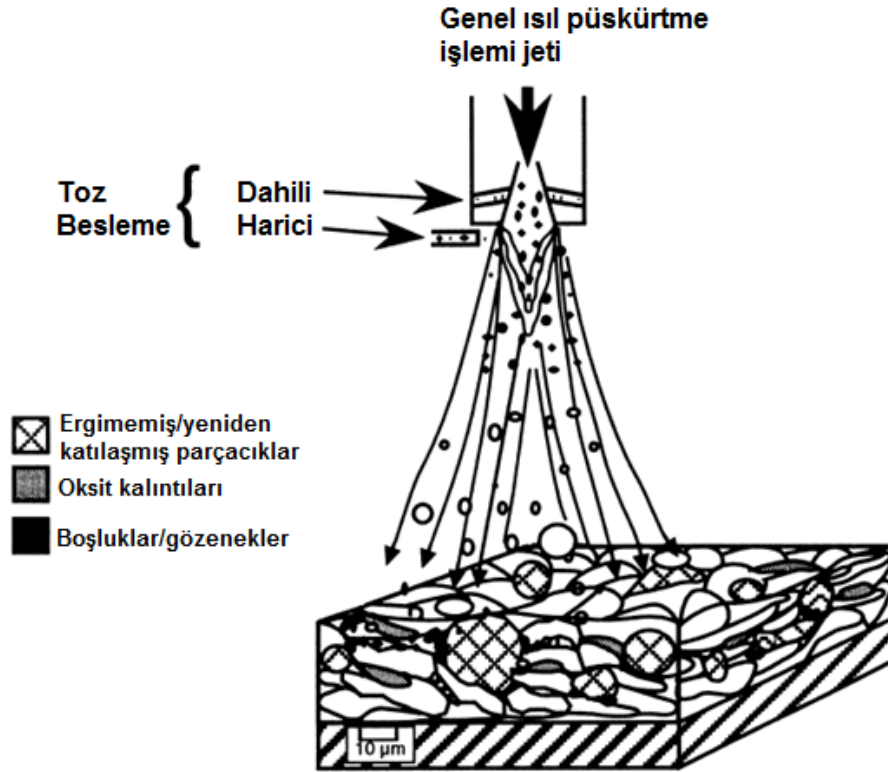
Şekil 4.14. Oksi-asetilen yöntemiyle sola sert dolgu kaynağı [2]

Eğer ana metal dökme demirse çelik gibi terlemeyecektir. Dolayısıyla biraz daha az asetilen kullanılmalıdır. Alaşımlar dökme demirin üzerinde çelikte olduğu gibi kolayca akmayacaktır. Dökme demir kaynak dekapanı (erikten) genellikle gereklidir. Oksi asetilen işlemi küçük parçalarda tercih edilmektedir. Çatlama, uygun ön ısıtma, ard ısıtma ve yavaş soğumayla en aza indirgenir [2].

4.2.3. Isıl Püskürtme Yöntemleri

Çoğu yüzey modifikasyon tekniklerinin arasında, ısı (termal) püskürtme nispeten daha basit uygulanması ve uygulamaların gereksinimleri yönünden kaplama tozunun seçiminde esneklik sağlaması açısından dikkat çekicidir. Bu teknikte termal enerji, altlık malzemelerinin hazırlanmış

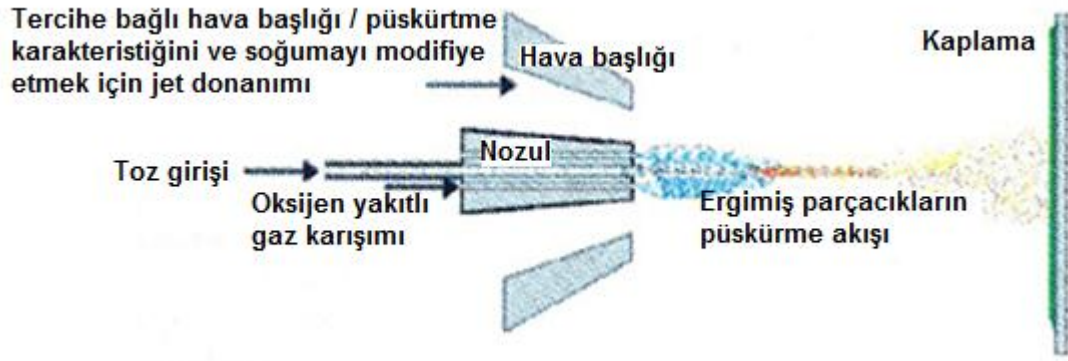
yüzeyleri üzerinde yoğun bir kaplama oluşturmak için, metal ve seramik tozları püskürtmek amacıyla kullanılır. Alüminyum, bronz, çelik, nikel ve alaşımları gibi geniş aralıktaki kaplama malzemeleri ısı püskürtme tekniğiyle %95 etkinlikte kaplanabilmektedir. Uygulamaları ise geniş ve karmaşık olarak biçimlendirilmiş yüzeyler üzerinde korozyon ve aşınmaya dirençli katmanların kaplanmasını içerir. Şekil 4.15'te ısı püskürtmenin şematik anlatımı bulunmaktadır. [42].



Şekil 4.15. Genel ısı püskürtme prosesinin şematik görünüşü [43]

4.2.3.1. Alev püskürtme

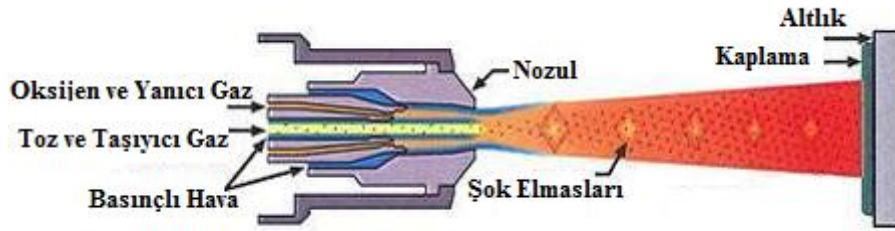
Alevle püskürtme işleminde toz haldeki besleme stoğu oksijen yakıtlı alevin içine emilir, ergitilir ve alev ve hava jetleri tarafından iş parçasına taşınır (Şekil 4.16). Parçacık hızı nispeten düşüktür (<100 m/s) ve kaplamaların yapışma dayanımı genellikle yüksek hızlı işlemlere göre daha düşüktür. Gözeneklilik yüksek olabilir ve bağlanma dayanımı genellikle düşüktür. Püskürtme hızları genelde tümü için 0.5-9 kg/h aralığındadır, fakat düşük ergime noktasında sahip malzemeler önemli ölçüde yüksek hızlarda püskürtülür. Altlık malzemesinin yüzey sıcaklığı alev vurmasından dolayı oldukça yükselebilir [43].



Şekil 4.16. Alev püskürtme yönteminin şematik görünüşü [44]

4.2.3.2. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) termal püskürtme

Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) termal püskürtme işlemi alev püskürtme işleminin bir çeşididir fakat kaplama malzemesi olarak tel ya da çubuk yerine sadece toza gereksinim duyar. Bu teknikte toz malzeme oksijen ve yanma gazının tutuşmasıyla ergitilir ve basınçlı hava kullanılarak yüzeye doğru yüksek hızda itilir (Şekil 4.17). Yanma bölgesinde toz malzeme, sıcaklığa ve malzeme besleme hızına bağlı olarak ergiyik ya da yarı-ergiyik hale geleceği alevin içine girer. HVOF tekniği için alev sıcaklığı 2300-3000 °C arasındadır. Ergimiş ya da yarı-ergimiş parçacıklar daha sonra püskürtme tabancası nozulundan 1350m/s'yi aşan ses üstü hızlarda altlık malzemesine doğru itilir [4].



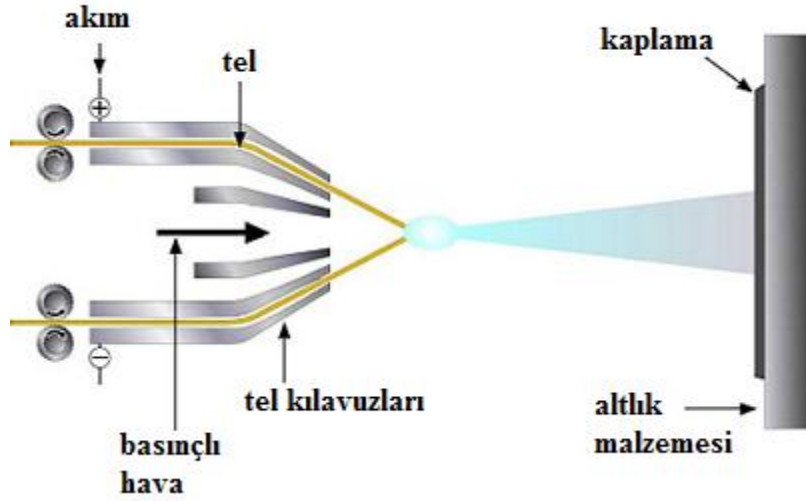
Şekil 4.17. HVOF yönteminin şematik görünüşü [44]

4.2.3.3. Elektrik (tel) ark püskürtme

Ark püskürtme ile üretilen kaplamalar katmanlar arasında yüksek bağlanma mukavemetine ve altlık malzemesine iyi derecede yapışma dayanımına (metalurjik bağlanma) sahiptir. Bunun temel sebebi arkin yüksek sıcaklığı ve sonuç olarak püskürtme işlemi sırasında yüksek hızla

yüzeye çarpan ergimiş ve yarı-ergimiş parçacıkların oluşumudur. Ayrıca sıcak parçacıklar püskürüp birbiriyle yapışarak aralarında iyi bağlanma dayanımı oluşturur [38].

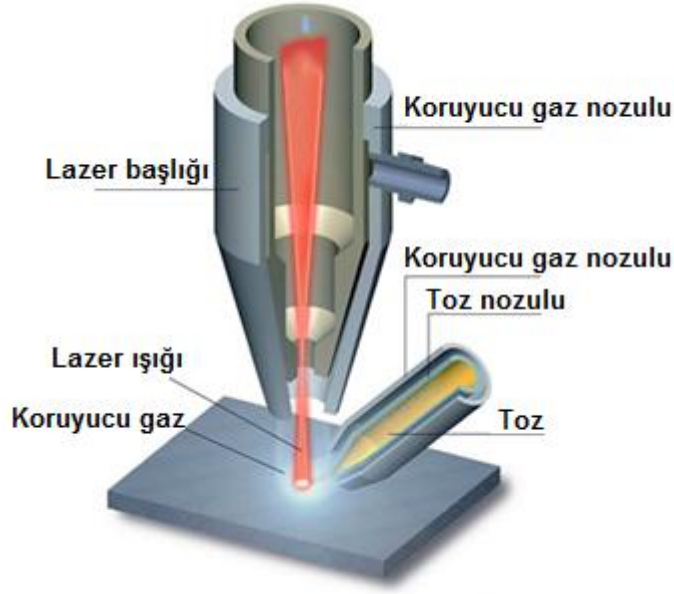
Tel ark püskürtme işleminde, elektriksel olarak zıt yüklü iki tel yüksek hızdaki hava akımı içerisinde bir araya getirilir. Teller elektrik arkı vasıtasıyla ergitilir ve eriyik malzeme basınçlı hava ile atomize edilip altlık malzemesine doğru itilir. Eriyik parçacıklar yüzeye çarpar ve bağlanmış bir kaplama oluşturarak hızla katılaşır (Şekil 4.18) [38].



Şekil 4.18. Tel ark püskürtme yönteminin şematik görünüşü [44]

4.2.4. Lazer

Toz eritmeye lazer kaplama işlemi esasen ısı transfer kontrollü bir işlemdir. Toz haldeki malzeme doğrudan lazer-altlık etkileşim bölgesine gönderilir. Lazer ışını tozu ısıtıp ergitir ve ergiyik toz altlık malzemesini ıslatana ve onunla bağ kurana kadar ana metale ısı geçer. Toz malzemenin Şekil 4.19'da şematik olarak gösterildiği gibi doğrudan lazer-altlık etkileşim bölgesine gönderilmesi üretim esnasında esneklik ve değiştirilebilme imkanı sağlamaktadır. Lazer kaplamada uygulanan başka bir yöntem ise macun hale getirmek için bağlayıcılarla karıştırılmış tozun önceden yüzeye yayılması şeklindedir. Fakat bu yöntemde homojen katman elde etmek güçtür [8].



Şekil 4.19. Lazer işleminin şematik görünüşü [45]

Lazer üretim tekniği, hızla sertleşme sağladığı kadar metal bir yüzeyi bölgesel ısıtabilen ve anında ergitebilen yüksek enerji yoğunluğuna ($10^5 \cdot 10^7 \text{ W.cm}^2$) sahip olmasından dolayı malzeme yüzey işlemleri alanındaki uygulamalarını genişletmiştir. Yüksek enerji yoğunluğu seyrelmeyi düşürebilir, ısı tesiri altındaki bölgeyi daraltabilir, ısıl distorsiyonlarını azaltabilir ve daha iyi mikroyapı sağlayabilir; dolayısıyla kaplama özelliklerini geliştirebilir. Bu gibi karakteristikler, özellikle aşınma ve korozyonun önemli olduğu ortamlarda malzemenin kullanılabilirliğini yaygın hale getirmektedir [34, 46]. Lazerle üretilen kaplamanın yüzeyinde çok az meydana gelen ısıl gerilme, ön ve son ısıtma işlemlerini de gereksiz kılar [34].

Lazer kaplama bir hızlı ısıtma ve katılaşma işlemidir. Kaplama katmanının mikroyapıları farklı işlem parametreleri altında büyük ölçüde değişime uğrar. Uygun aşırı soğutma katılaşma biçimini etkiler. Aşırı soğumanın daha büyük derecesi belirli bir malzeme için hücresel katılaşma biçiminden dendritik katılaşma biçimine dönüşme eğilimini tetikler. Diğer taraftan soğutma hızı katılaşan yapının ölçeğini de yönlendirir; daha fazla soğuma hızı daha iyi yapı ortaya çıkarır [34]. Yüksek katılaşma hızına bağlı olarak iyi bir mikroyapı ve daha düşük seyrelme derecesi elde etmek için sert dolgu işleminin enerji girdisi mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Yüksek enerji girdisi tane irileşmesine, kaplama tabakasının seyrelmesine ve distorsiyona sebebiyet verir. Lazer uygulamasının düşük enerji girdisi bu işlemi diğer alternatif yöntemlere kıyasla daha ekonomik bir hale getirmektedir [8].

Lazer uygulaması özellikle yüksek ergime noktasına sahip kaplama alaşımlarının düşük ergime noktasına sahip iş parçalarına kaplanmasında yüksek uygulama potansiyeline sahiptir [8].

4.3.Sert Dolgu Malzemeleri

Sert dolgu uygulamaları için pek çok farklı türde metal ve alaşımları mevcuttur. Bu malzemelerin çoğu geleneksel manuel ya da otomatik ark veya oksijen yakıtlı kaynak yöntemiyle kaplanabilir [2].

Sert dolgu malzemelerinin uygun seçilmesi çok sayıda karakteristiğe uyum sağlayacaktır. Çelik ya da özel sert dolgu alaşımları yüzeyin abrazyon aşınmaya dirençli olması gereken yerlerde kullanılmalıdır. Kaplamanın korozyon tipi ya da sürtünme tipi aşınmaya dayanıklı olmasının amaçlandığı yerlerde bronz ya da diğer korozyona dirençli alaşımlar kullanılabilir [2].

Çoğu sert dolgu metali demir, nikel, bakır ya da kobalt esaslıdır. İlave edilebilecek diğer elementlerden bazıları, karbon, krom, mangan, nitrojen, silikon, titanyum ve vanadyum olarak sıralanabilir. Alaşım elementlerinin karbür oluşturmaya eğilimleri vardır. Sert dolgu metalleri, oksijen asetilen kaynağı için kaynak teli şeklinde, korumalı metal ark kaynağı için elektrot olarak ya da otomatik kaynak için sert tel olarak sağlanır. Toz metal karışımı, toz hale getirilmiş alaşımlar ve erikten (flaks) bileşenler içeren boru biçimli kaynak telleri çeşitli üreticilerden temin edilebilir [2].

4.3.1. Demir Esaslı Alaşımlar

Demir esaslı sert dolgu alaşımları, kobalt ve nikel esaslı alaşımlara göre daha yaygın kullanılır ve sert dolgu alaşımlarının en fazla kullanım hacmini oluşturur [28]. Esasen sert dolgu alaşımlarının yaklaşık %75'i demir esaslıdır [42]. Uygulamalarda, krom ve karbonun nispeten yüksek yoğunlukta bulunduğu demir esaslı alaşımlar sert dolgu alaşımları olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır [3]. Demir esaslı sert dolgu alaşımları düşük maliyet ve geniş bir yelpazede farklı özellikler sunar [28].

Fe-Cr-C alaşımı, madencilik ve mineral işleme, çimento üretimi, selüloz ve kağıt işleme endüstrilerini kapsayan agresif koşullarda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca abrazyon, korozyon ve oksidasyona karşı üstün direnciyle bilinir. Oldukça düşük üretim maliyetleri ile birlikte üstün abrazyon aşınma direnci bu alaşımları özellikle cevher, kömür, çakıl ve çimento gibi sert malzemeleri işlemede kullanılan öğütme, ezme ve pompalama aparatları gibi uygulamalarda cazip kılmaktadır. Bu alaşımların olağanüstü abrazyon ve erozyon aşınma ve korozyon dirençleri, matris dayanımı da aşınma direncine katkıda bulunmakla birlikte esasen sert karbürlerinin yüksek hacimsel oranlarından ileri gelmektedir [47, 35, 48]. Abrazyon aşınma direnci yalnızca eriyikten çökelen karbürlerin dağılım düzenine, miktarına, biçimine ve türüne bağlı değil, aynı zamanda matris yapının türüne de bağlıdır [48].

Araştırmalar göstermektedir ki, Fe-Cr-C alaşımı malzemelerin mikroyapıları hipoötektik, ötektik ve hiperötektik yapılardan oluşmaktadır [35, 37]. Fe-Cr-C alaşımlarının abrazyon aşınma direnci,

mikroyapı içerisindeki karbürlerin karakteristiklerine fazlaca bağlıdır. Fe-Cr-C alaşımlarında, Cr/C oranı mikroyapı içerisindeki M_3C , M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ gibi karbürlerin tiplerini belirler [49]. M_7C_3 primer karbürleri yüksek karbon yoğunluklarında fazla miktarda oluşur. Bu tip mikroyapılar iyi aşınma direnci özelliklerine sahiptir [35]. Sabet ve diğerleri, çalışmalarında benzer sonuca ulaşarak Fe-Cr-C alaşımının üstün abrazif aşınma direnci, östenitik mikro yapı içerisinde yüksek hacimsel oranda M_7C_3 karbürlerine ulaşıldığında elde edildiğini bildirmişlerdir ve bu gibi mikroyapıların Cr/C=5-8 oranıyla hipoötektik, ötektik ve hiperötektik oluşumlarda gözlenebildiğini ileri sürmüşlerdir [49].

Çok sayıda alaşım içerdiğinden, demir bazlı sert dolgu alaşımları için en iyi sınıflandırmanın, kimyasal kompozisyona göre yapılmasından ziyade farklı aşınma tiplerine uygunluklarına ve genel mikroyapılarına göre yapılmasıdır [28]. Bu açıklamaya göre demir esaslı sert dolgu alaşımları şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a) Perlitik çelikler
- b) Östenitli mangan çelikleri
- c) Martenzitik çelikler
- d) Yüksek krom alaşımlı demirler
- e) Östenitik paslanmaz çelikler [28]

4.3.1.1. Perlitik çelikler

Perlitik çelikler esasen kaynaklanabilirliğe erişmek için kompozisyonda küçük ayarlamalar yapılan düşük alaşımlı çeliklerdir. Bu alaşımlar düşük karbon (<% 0,2) ve düşük miktarda diğer alaşım elementleri (örneğin % 2'ye kadar Cr) içerir. Perlitik çelikler öncelikle karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelikten makine parçalarının onarımında kullanışlıdır. Tipik olarak bu alaşım grubu yüksek darbe direnci ve düşük sertlik (25-37 HRC) değerlerine ve mükemmel kaynaklanabilirliğe sahiptir [28].

4.3.1.2. Östenitli mangan çelikleri

Bu çeliklerde östenitik faz mangan ilavesiyle kararlı hale getirilir [8]. Bu kategorinin ticari olarak mevcut alaşımları temelde düşük kromlu ve yüksek kromlu olarak ayrılabilir [28].

Düşük kromlu alaşımlar genellikle % 4'e kadar Cr, % 12-15 Mn ve bir miktar nikel ya da molibden içerir [28]. Düşük kromlu östenitli mangan çelikleri, sert krom karbürlerin eksikliğinden ötürü daha toktur ve çoğunlukla yüksek darbeye (darbeli kırıcı ya da kepçe ağızlarında) maruz kalan mangan çeliğinden makine parçalarının güçlendirilmesinde kullanılabilir [8, 28].

Normalde yaklaşık % 15 mangana ilave olarak % 12-17 Cr içeren yüksek kromlu östenitik çelikler, mangan çeliklerinin birleştirilmesinde olduğu kadar metal-metal dövme maruz kalan

düşük alaşımlı çelikler, mangan çeliği ve karbon çeliğinden parçaların güçlendirilmesi ve birleştirilmesinde kullanılır [8, 28]. Ayrıca yüksek kromlu çeliklerin kaplanmış haldeki sertliği (~24 HRC), düşük kromlu çeliklerden (~18 HRC) fazladır [28]. Bu alaşımlar kaplanmış halde nispeten yumuşak oldukları halde, yüzey deformasyonu sonucunda hızla pekleşirler [8].

4.3.1.3. Martenzitik çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, iyi aşınma ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı sert dolgu kaynak tekniklerinde popüler bir sert dolgu malzemesidir [50]. Martenzitik çeliklerin, kaynak kaplamasının havada soğuması sonucu martenziti oluşturması amaçlanmıştır. Bunun bir sonucu olarak bu çelikler sıklıkla “kendiliğinden sertleşen” ya da “ havada sertleşen” olarak adlandırılır ve 45-60 HRC aralığındaki sertlik değerleriyle takım çeliklerine benzer. Martenzitik çeliklerin karbon oranı % 0,7'ye kadardır [28]. Karbon bu alaşımlarda mekanik özellikleri etkileyen temel alaşım elementidir. Örneğin, daha düşük karbon içerikli alaşımlar daha yüksek karbonlu çeşitlere göre daha toktur ve daha yüksek çatlak direncine sahiptir [8]. Ayrıca molibden, tungsten, nikel ve krom (% 12'ye kadar) gibi diğer elementler sertleşebilirlik ve dayanımı arttırmak ve martenzit oluşumunu desteklemek için katılır. Mangan ve silisyum ise genellikle kaynaklanabilirliğe yardımcı olmak için ilave edilir [28].

Martenzitik paslanmaz çeliğin aşınma direnci ve kaynak performansını daha da geliştirmek için matriste, karbonitrür sertleşme etkisine sahip, karbonun bir bölümünün azotla yer değiştirmesiyle çeliğin karbon içeriği düşürülür. Niyobyum ve titanyum, karbonitrürün çok daha sert çöktürmelerini meydana getiren en etkili karbonitrür alaşımlama elementleri olarak kullanılır. Bu sert parçacıklar matriste düzenli biçim ve dağılımdadır ve yığın malzemeyi güçlendirebilen, aşınma direncini arttırabilen yüksek sertlik ve ergime noktasına sahiptir [50].

Martenzitik çeliklerin temel sert dolgu kaplama uygulamaları, yağlanmamış metal metale dönen ya da kayan parçaları kapsar [28]; aksların, silindirlerin ve diğer işlenmiş yüzeylerin takviye edilmesinde kullanılır [8]. Martenzitik çeliklerin darbe dayanımları perlitik ya da östenitik alaşımların darbe dayanımlarına göre düşüktür fakat sertlikte ve abrazyon aşınma direncinde bu durumu dengeleyici bir artış mevcuttur [28].

4.3.1.4. Yüksek kromlu demir

Yüksek kromlu demirler, kromun yaklaşık % 6 ila % 35 arasında değişebildiği ve karbonun yaklaşık % 2-6 aralığında olduğu geniş bir yelpazedeki bileşimleri kapsar [28]. Bazı kaynaklara göre krom miktarı %40'a kadar çıkabilmektedir [8]. Mümkün olan diğer alaşımlama katkıları, molibden, mangan ve silisyum içerir. Yüksek kromlu demirlerde aşınma açısından en önemli mikroyapısal özellik katılaşma sırasında bolca oluşan ve krom, demir, eğer varsa molibden

içeren M_7C_3 karbürüdür. Bu karbür parçacıklarının çevresindeki matris, östenitik, perlitik, ferritik, martenzitik ya da bu fazların bazı kombinasyonları şeklinde olabilir [28, 8]. Bazı demir esaslı sert dolgu alaşımları, östenitik fazı kararlı hale getirmek ve soğuma sırasında çatlamaya olan eğilimi azaltmak için %5'e kadar nikel ve %8'e kadar mangan içerir. Düşük alaşımlı sert dolgu demirleri östenitik matris içerisinde %15'e kadar krom ve bir miktar molibden ve nikel içerir. Bu tür alaşımlar daha az hacimsel oranda kırılğan karbürler içerdiklerinden mükemmel düşük gerilmeli abrazyon direnci gösterir. Daha ucuz olan martenzitik demirler ise esasen martenzitik matrisin yüksek sertliği sebebiyle iyi derecede yüksek gerilmeli abrazyon direnci gösterir [8].

Aşındırıcı parçacıklar karbür parçacıklarından daha yumuşak olduğu durumlarda, yüksek kromlu dökme demirler iki gövdeli ve üç gövdeli abrazif aşınma altında düşük karbonlu çeliklerden 20-25 kat daha fazla aşınma direnci sergiler [51].

Yüksek kromlu dökme demirlerin mükemmel abrazyon direnci genellikle, mikroyapıda yüksek hacimsel oranda bulunan M_7C_3 karbürlerine (1300-1800 HV) atfedilmektedir [51]. Ayrıca yüksek krom oranı sayesinde oksit tabakalarının (örneğin Cr_2O_3) oluşumunu desteklenir; böylelikle bu alaşımlar nadiren de olsa oksidasyon direncinin gerekli olduğu (örneğin hadde kılavuzları) durumlarda kullanılır [8].

Yüksek kromlu aşınma alaşımlarının endüstriyel uygulamalarına gelinecek olursa; düşük karbonlu (% 2-3 C) hipötektik malzemeler genellikle orta dereceli abrazyon ve darbe içeren durumlar için seçilirken, daha yüksek karbonlu (% 4-6 C) hiperötektik alaşımlar şiddetli abrazyon ve çok az darbe (ya da hiç darbeye maruz kalmayan durumlarda) içeren uygulamalarda kullanılır. Yüksek kromlu demirler için sertlik değerleri tipik olarak 52-62 HRC aralığındadır [28].

4.3.1.5. Östenitik paslanmaz çelik

Östenitik paslanmaz çelikten sert dolgu alaşımları, kobalt esaslı alaşımlara alternatif malzeme olarak dikkate alınmak üzere geliştirilmiştir. Bu alaşımlar aynı sürtünme yapışması karşıtı karakteristikleri sergiler ve kavitasyon erozyonuna karşı eşit dirence sahiptir. Bunların bazıları genel kullanım için, bazıları ise özel uygulamalar için geliştirilmiştir. Örneğin Çizelge 4.2'deki kobaltsız bileşim, nükleer santral vanalarının sert dolgu kaplamalarında kullanılmıştır. (Kobalt sert dolgu parçacıklarından üretilen Co^{60} radyasyon tehlikesi oluşturmaktadır.) Kobalt içeren östenitik sınıflar, hidroelektirik güç santrallerindeki hidrolik türbinlerin kavitasyon hasarlarının onarımında kullanılmıştır [28].

Çizelge 4.2. Kobaltlı ve kobaltsız ticari östenitik paslanmaz çelik sert dolgu alaşımlarının kompozisyonu [28].

Alaşım	Kompozisyon, %								
	C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	Co	N	Fe
NOREM (a)	0.7-1.3	24-26	5-12	2.5-5	5-9	1.7-2.3	...	0.05-0.24	Kalan
IRECA (b)	0.2	17-19	9-10	2-3	9-10	0.2	Kalan

(a) Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirildi.
(b) Hydro-Québec tarafından geliştirildi.

4.3.2. Demir Dışı Alaşımlar

Demir dışı sert dolgu alaşımları, ya aşınmanın (abrazyon haricinde) özel türlerine karşı yüksek direnç için ya da aşırı korozif veya demir esaslı alaşımların servis sıcaklıklarının üzerindeki ortamlarda (abrazyon dahil) aşınma direnci için kullanılır. Kobalt esaslı alaşımlar ve bronzlar özellikle sürtünme yapışmasına ve bozunma mekanizması (kavitasyon erozyonu gibi) olarak mikro yorulmayı içeren aşınma proseslerine dirençlidir. Kobalt esaslı alaşımlar ayrıca 750 °C'yi geçen sıcaklıklarda deformasyona karşı yüksek dirence sahiptir [28].

Kobalt ve nikel esaslı gibi sert dolgu alaşımları genellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Bu alaşımlar, aşınma direnciyle birlikte yüksek korozyon ya da sıcaklık direncinin tüm kombinasyonunu sunar. Bununla birlikte demir dışı alaşımlar, demir esaslı alaşımlardan daha pahalıdır [3].

4.3.2.1. Kobalt esaslı alaşımlar

Çeşitli kobalt esaslı/karbür tip alaşımlar arasındaki temel farklılık karbon içeriğindedir (dolayısıyla hacimsel karbür oranı, oda sıcaklığındaki sertlik ve abrazyon direncinin seviyesi) [28].

Kromca zengin M_7C_3 bu alaşımlarda çoğunlukta olan karbürdür. Bununla birlikte tungstence zengin M_6C bu alaşımlardaki yüksek tungsten içeriğinin bir göstergesidir. Kromca zengin $M_{23}C_6$ ise düşük karbonlu alaşımlarda yaygındır. Kobalt esaslı/karbür tip alaşımların sertlik değerleri yaklaşık 40-55 HRC aralığındadır. Bu alaşımların abrazyon direnci artan karbon içeriğiyle birlikte artışa geçer [28].

Kobalt esaslı alaşımlar, iyi kaymalı aşınma direnci, yüksek korozyon ve erozyon dirençlerine sahiptir. Bu alaşımlar nükleer enerji santrali vanalarında, türbinlerinde ve pompalarında sert dolgu malzemeleri olarak kullanılmaktadır [52].

Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları, Co-Cr-W-C ve Si+B modifikasyonu ile Co-Cr-W / Mo-Ni / Fe-C olarak iki ana gruba ayrılabilir [53]. Tüm kobalt esaslı ve nikel esaslı alaşımlar, yüksek korozyon ve oksidasyon direncine ve onları metal-metal aşınmasını içeren uygulamalar için özellikle uygun kılan düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. Çoğunlukla 550 °C ve üzeri sıcaklıkları kapsayan uygulamalar için seçilirler. Kobalt esaslı alaşımlar kızıl sıcaklıkta (800 °C) orijinal sertliğini büyük oranda korur [54].

4.3.2.2. Nikel esaslı alaşımlar

Bu alaşımlar genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışma esnasında aşınma direncini geliştirmek için kaplanır [8]. Nikel esaslı/borür tip alaşımlar, demir, krom, bor ve karbon içeriklerine göre bir ilerleme sergiler. Demir içeriği büyük oranda isteğe bağlı olup üretim sırasında demir bileşiklerinin kullanımına izin verir. Nikelle birlikte diğer üç element katılaşmaya göre yapı içerisindeki sert fazın türünü ve ölçüsünü belirler. Bor, primer sert fazı oluşturan elementtir. Borür içeren nikel alaşımlarının sertlik değerleri 51-57 HRC aralığındadır. Mikro yapılarındaki borür ve karbür dağılımı sebebiyle nikel esaslı/borür tip alaşımlar mükemmel abrazyon direnci sergiler. Düşük gerilmeli abrazyon direnci genellikle bor ve karbon içeriğiyle artış gösterir. Bunun sebebi bu malzemelerin sert faz hacimsel oranlarıdır. Kayma durumları (kendi çifti ile) altındaki performansları kobalt esaslı malzemeler kadar iyi olmamakla birlikte, nikel esaslı/borür tip alaşımlar orta derecede sürtünme yapışması direncine sahiptir. Demir dışı malzemelerin nikel esaslı/borür tip alaşımları korozyona karşı en az dirençli olanıdır. Bu durum kromun matristeki eksikliğine dayandırılmıştır [28].

Karbon içerikli Ni -Cr-Mo- W-C alaşımları, daha pahalı olan kobalt esaslı alaşımların yerini almada popüler hale gelmiştir. Karbon, yüzey merkezli kübik matris fazında çökelen M_7C_3 ve/veya M_6C karbür tiplerini oluşturur. Molibden ve tungsten ilaveleri kızıl sertliği ve yüksek sıcaklık dayanımını artırır. Bor içeren Ni esaslı alaşımlar da olağanüstü abrazyon direnci sağlayan çok sert krom borürlerle kullanışlıdır. Laves evreleri (fazı) içeren nikel esaslı alaşımlar (ağırlıkça % Ni-32Mo-15Cr-3Si) metal metale aşınmanın yer aldığı durumlarda başarıyla kullanılmaktadır. Fakat maalesef sert metaller arası çökeltilerin büyük hacimsel oranları sebebiyle zayıf darbe direncine sahiptir [8].

Ni-esaslı sert dolgu alaşımı kaplamaların mikroyapısı genellikle γ -Ni katı çözültü dendritleri ve dendritler arası γ -Ni + Ni borürleri ve -silisitlerinden oluşmuş ötektikleri barındırır. Bununla birlikte literatürde krom borür ve karbürlerin ve diğer fazların da kompozisyona bağlı olarak ötektik içerisinde dağılmış olarak bulunduğu gözlenmiştir [55].

4.3.2.3. Bronz alaşımlar

Silisyumlu ve diğer türlerdeki bronzlar kaynak sarf malzemesi şeklinde mevcuttur. Dişlileri, kamları ve soğuk çekme kalıpları kapsayan parçalar sıklıkla alüminyum bronzları kullanılarak korunur. Bu alaşımların yüksek sıcaklıklarda kullanımı önerilmez çünkü mekanik özellikleri 200 °C'den yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde düşer [28].

Bu alaşımlar düşük abrazyon direncine sahip olmalarına rağmen öncelikli olarak korozyonu, kaviteasyon erozyonunu ve metal metale aşınma direncini arttırmak için kullanılır [8].

4.4. Sert Dolgu Alaşımlarında Mikroyapı ve Aşınma Direnci

4.4.1. Demir Esaslı Alaşımlarda Oluşan Karbür Tiplerinin Morfolojileri ve Özellikleri

Literatürde yapılan çalışmalar, çeliklerde karbür oluşumuna olan eğilimin alaşım elementlerinin elektron dizilimiyle bağlantılı olduğunu göstermiştir. Bu elementlerden 'd' alt katmanı demirdekine göre elektronlarla dolu olanlar özel karbürler oluşturur. 'd' alt katmanındaki elektron sayısı ne kadar küçükse özel karbürleri ve dolayısıyla daha kararlı (stabil) karbürleri oluşturma eğilimi de bir o kadar artar. Çizelge 4.3'te önemli karbür yapıcı elementlerin enerji durumları, atomik çapları ve karbonun atom çapı ve ilgili elementin atom çapı oranı verilmiştir [57].

Çizelge 4.3. Karbür oluşturu elementlerin enerji seviyeleri, nm boyutunda atomik yarıçapları ve karbon atomik yarıçapının (0,077 nm) bu yarıçaplarla oranı [57]

Kabuk- Esas kuantum numarası	N (4)	Ti	V	Cr	Mn	Fe
		$3d^24s^2$	$3d^34s^2$	$3d^54s^1$	$3d^54s^2$	$3d^64s^2$
		0,147/0,524	0,132/0,583	0,125/0,616	0,112/0,688	0,124/0,621
	O (5)	Zr	Nb	Mo		
		$4d^25s^2$	$4d^45s^1$	$4d^55s^1$		
		0,158/0,487	0,143/0,539	0,136/0,566		
	P (6)	Hf	Ta	W		
		$5d^26s^2$	$5d^36s^2$	$5d^46s^2$		
		0,157/0,490	0,143/0,538	0,137/0,562		

Verilen kurala göre; karbür oluşturma düzeni demirden mangan, krom, vanadyum, titanyum yönünde ilerler [57]:

Ti←V ←Cr ←Mn← Fe ,

Molibdenden niyobyuma geçerek zirkonyuma [57]:

Zr ← Nb←Mo ,

Tungstenden tantala geçerek hafniyuma [57]:

Hf ←Ta←W .

'd' alt katmanı demirden daha fazla elektronla dolu alaşım elementleri alaşımlı çeliklerde karbür oluşturmazlar, bu özellikle bakır ve çinko gibi tamamen dolu 'd' alt katmanına sahip elementlerde görülen durumdur [57].

Alaşımlı bir çelikte birçok karbür yapıcı element bulunması durumunda, karbon her zaman daha fazla karbür yapma eğiliminde olan bir elemente bağlanacaktır. Bir örnekle açıklamak gerekirse; Cr ve V ile alaşımlanmış bir çelikte daha fazla V esaslı ve daha az Cr esaslı karbürlerin oluşacağı beklenmelidir [57].

Tüm karbür yapıcı elementlerin atomik yarıçapları 0.1 nm'den büyük iken karbonun atomik yarıçapı 0.077 nm'dir. Karbonun atomik yarıçapı ve karbür yapıcı bir elementin yarıçapının oranı 0,59'dan az olduğunda (Zr, Hf, Ti vb.) aşağıdaki karakteristiklerde metaller arası fazlar oluşur [57]:

- MC ya da M_2C stiyometrik oranına (kimyasal orantılı) sahiptirler (M-metal, C-karbon),
- Metal atomları tarafından oluşturulmuş karışık kafes kadar basit kristal kafese de sahiptirler, genellikle yüzey merkezli kübik (MC tipi karbürler) ya da hegzagonal sıkı paket kristal kafesi (MC ya da M_2C tipi karbürler),
- Karbon atomsuz kristal kafes oluşturabilirler,
- Aşırı yüksek ergime noktalarına sahip (2000- 3500°C) kararlı bileşiklerdir ve östenitte neredeyse çözünmezler,
- Yüksek sertliğe sahip. [57]

Karbonun atomik yarıçapı ve karbür yapıcı bir elementin yarıçapının oranı 0,59'dan fazla olduğunda (örneğin Mn) karbürler kompleks yapıya sahip olur. Bilinen karbürlerin çoğu üç kristalografik sistemde kristalleşirler: kübik, hegzagonal (altıgen) ve rombik (eşkenar dörtgen biçiminde). Bazı elementler iki tür karbür oluşturabilir, oysa mangan ve krom farklı kristal kafesli karbürlerin üç türünü de oluşturabilir [57].

En basit karbürler, MC tipi basit kafesin kübik sistemde kristalleşir. Bu karbürler V, Ti, Nb, Ta ve Hf tarafından oluşturulur. Daha kompleks karbürler MC ya da M_2C tipinin kafesleriyle hegzagonal sistemde kristalleşir. Rombik kafesler ise Cr, Mn, Fe, Co, Ni karbürleri tarafından oluşturulur [57].

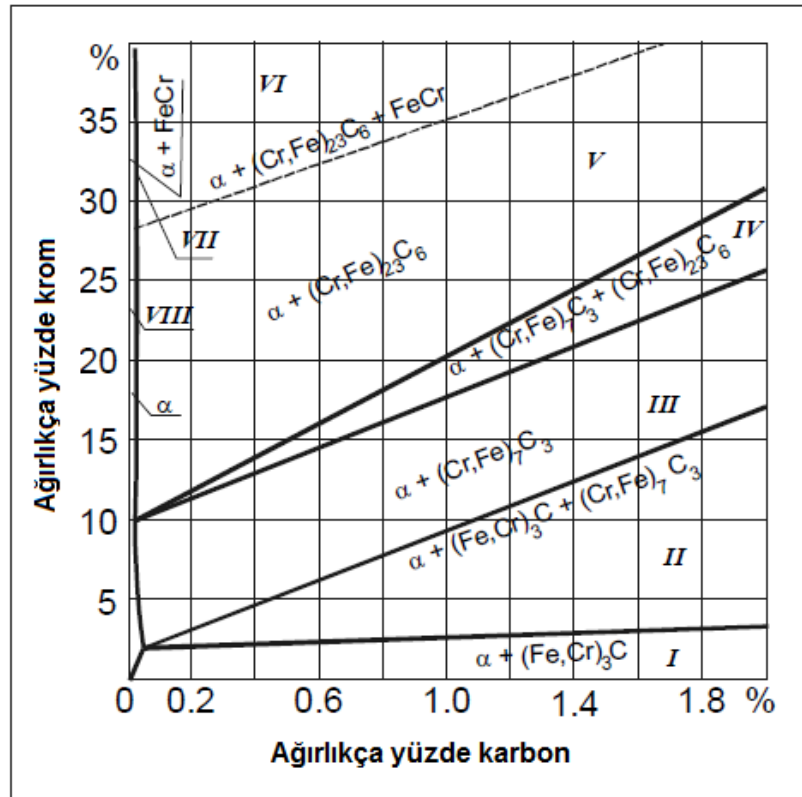
Yüksek sıcaklıklar ve aşınma direnci bakımından şuna değinmek gerekir ki, krom ve mangan karbürleri kübik, hegzagonal (Cr_7C_3 ve Mn_7C_3) ve rombik (Cr_3C_2 ve Mn_3C) sistemlerde

kristalleşirler. Cr_3C_2 karbürü haricindeki tüm diğerleri, birtakım demir atomlarının diğer metallerle yer değiştirebildiği demir alaşımlarında bulunur (alaşımli sementit) [57].

Nispeten yüksek yoğunlukta krom ve karbon içeren demir esaslı alaşımlar uygulamalarda sert dolgu malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Mikroyapı oluşumlarının α -ferrit ve M_7C_3 , $M_{23}C_6$ gibi kompleks karbürlerden meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır [3].

Şekil 4.20'de Cr ve C içeriğine bağlı olarak Fe-C-Cr alaşımlarındaki farklı fazların var olduğu bölgeleri göstermektedir. Krom içeriği düşük olursa özel karbürler oluşmaz çünkü krom I. bölgede verilen karışımı ($\alpha + (Fe,Cr)_3C$) oluşturmak üzere ferrit ve sementitte çözünür. II. bölgede alaşımli $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürü bulunur. Demirle çözünmüş $(Cr,Fe)_7C_3$ krom karbür haricinde III. bölgede alaşımli sementit (ferritin yanı sıra) bulunmaz. Ferrit ve demirde çözünmüş iki karbür türü (ilk karbür $(Cr,Fe)_7C_3$ ve ikinci karbür $(Cr,Fe)_{23}C_6$) IV. bölgede görülebilir. V. bölgede sadece ferrit ve demirle çözünmüş ikinci karbür $(Cr,Fe)_{23}C_6$ bulunur. VI. bölgede ise ferrit ve $(Cr,Fe)_{23}C_6$ demirle çözünmüş ikinci karbürün yanı sıra demir ve kromun metaller arası fazı olan FeCr bulunabilir [57].

VII. bölgede sadece ferrit ve demirin kromla yaptığı metaller arası FeCr fazı bulunur. Son olarak VIII. bölgede sadece ferrit görülebilir. Fe-M-C tipinin diğer sistemleri de Fe-Cr-C benzeridir fakat daha az faz sayısından ötürü daha basittir [57].



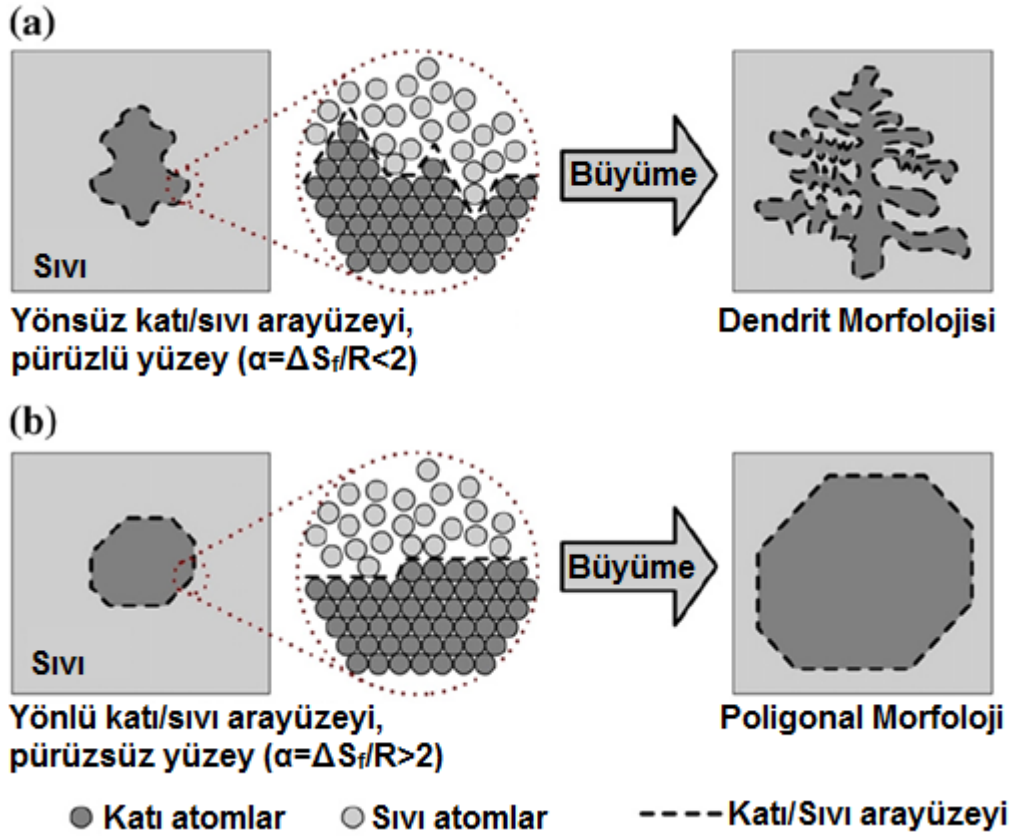
Şekil 4.20. 20°C'de Fe-C-Cr alaşımlarının farklı fazlarının bölgeleri [57]

$(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri, yüksek oranda karbon (% 2-5) ve krom (% 18-30) içeren Fe-Cr-C alaşımlarında oluşmaktadır [27, 37]. Bu mikroyapılar iyi derecede aşınma direnci özellikleri gösterir. Bu tür sert malzemeler, yüksek sertlikte M_7C_3 'e (yaklaşık 1600 HV) sahip yüksek kromlu beyaz dökme demir olarak tasvir edilebilir. Cr_7C_3 , iyi korozyon ve oksidasyon direncine sahip olduğu gibi yüksek sertlik ve mükemmel aşınma direncinin bir kombinasyonu olarak da çok iyi bilinir. Bundan dolayı kompozit kaplamalarda büyük ölçüde takviye fazı olarak kullanılır [27]. Fakat M_7C_3 karbürünün, kendisine göre nispeten daha yumuşak östenitle çevrili olduğu durumlarda, çatlak östenit/ M_7C_3 arayüzeyi boyunca ilerler. Bu problem sert dolgu malzemelerinde çatlak oluşumu için zararlı bir etkiye yol açar [37]. Yine de $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür takviyeli kompozit kaplamalar bir çok koşulda çok iyi aşınma direnci sergiler. Başta, yüksek sertlikte ötektik öncesi $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri kaymalı aşınma sırasında karşı yüzeye etkileşime girdiğinde plastik deformasyonu başarıyla yavaşlatabilir [27].

Mikroyapı içerisinde var olan iri karbürler $M_{23}C_6$ karbürleridir. Bu oluşum, daha yumuşak bir yüzey merkezli kübik Cr-Fe alaşımı matris içerisindeki büyük ve sert karbürlerin oluşturduğu kompozitler olarak tanımlanabilir [37].

Yukarıda bahsedilen bileşen fazların (karbürlerin) morfolojisi çok çeşitli geometrik düzenler sergileyebilir. Fazların morfolojik dönüşümleri doğrudan katı/sıvı arayüzeyinin pürüzlülük parametrelerine, ergime entropilerine, kimyasal kompozisyonlara ve bileşen fazların hacimsel oranlarına bağlıdır [47].

Ergimenin entropisi, bileşen fazların kristalleşme davranışlarının öngörülmesi için uygun bir ölçüttür. İkidenden küçük olan α değerleri ($\alpha = \Delta S_f / R$; ΔS_f : ergime entropisi, R: gaz sabiti), yönsüz kristal büyüme eğilimini belirtirken yüksek α değerleri yönlü kristal büyüme formlarını destekler [47]. Çoğu metal yönsüz ara yüzey olarak öngörülen $\alpha < 2$ değerine sahiptir. Bu nedenle Fe-Cr katı çözümleri (başka bir deyişle α -fazı) yönsüz arayüzeye sahiptir. Yönsüz faz katılması esnasında atomlar kolaylıkla yüzeyde herhangi bir noktaya eklenebilir ve kristal biçimi başlıca ısı ve çözünen (eriyen) madde difüzyon alanlarıyla belirlenir. Yine de arayüzey enerjisi gibi özelliklerde artı kalan önemsiz anizotropi dendrit kollarının belirli kristalografik doğrultular boyunca büyümesine neden olur. Metaller arası bileşikler ya da mineraller, doğası gereği pürüzlü, fazla indeksli düzlemler gibi yüksek α değerli yönlü faz eklenen atomları çabukca kabul eder ve hızla büyür. Sonuç olarak bu düzlemler kaybolur ve daha yavaş büyüyen kristal yüzeyler tarafından (düşük indeksli düzlemler) sınırlandırılan kristal artı kalır. Bundan dolayı poligonal bir yapı oluşturan $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ve $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri kristal arayüzeye sahiptir [35]. Atomik boyuttaki katı/sıvı arayüzeyi nispeten pürüzlü ise katı faz dendritik bir morfoloji şeklini alır (Şekil 4.21.a). Buna karşın atomik boyuttaki katı/sıvı arayüzeyi nispeten pürüzsüzse, katı faz poligonal bir morfoloji benimser (Şekil 4.21.b) [47].



Şekil 4.21. Sıvı ve katı arasındaki arayüzey biçimleri, (a):yönsüz büyüme,(b):yönlü büyüme [47]

4.4.2. Sert Dolgu Alaşımlarında Pekleşme ve Aşınma Özellikleri

Sert dolgu alaşımlarının abrazyif aşınma dayanımları iki metalurjik parametreye bağlıdır [49];

- 1) Sert fazların karakteristiği (türü, miktarı, morfolojisi, dağılımı gibi) [49, 19]
- 2) Matrisin tokluğu ve pekleşme kabiliyeti [49, 19]

Östenit matrise yayılmış karbürlerden oluşan mikroyapıya sahip kaplamalar, abrazyon uygulamalarında geniş ölçüde kullanılmaktadır [19]. Östenitik demir esaslı alaşımlar olması durumunda, aşınma esnasındaki deformasyon gerek yüzey merkezli tetragonal (α') gerekse hegzagonal sıkı paket (ϵ) kristal yapılarındaki martenzite yol açabilir. ϵ -martenzit, Shockley kısmi dislokasyonlarının geçişiyle üretilen hegzagonal sıkı paket malzeme biriminden oluşur. α' -martenzit ise ya önceden var olan ϵ -martenzit dönüşümünden ya da ϵ -martenzitler, mekanik ikizler veya dizilim kusurları gibi kesme bandı kesişimlerinden oluşturulabilir. $\gamma \rightarrow \alpha'$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümünün, demir esaslı bir alaşımda önemli bir aşınmaya dirençli mekanizma olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte gerilme kaynaklı α' martenziti aşınma direncine sadece M_d sıcaklığı altında faydalı olabilmektedir. M_d sıcaklığı, aşınma esnasında $\gamma \rightarrow \alpha'$ gerilme

kaynaklı martenzitik dönüşümü gösteren demir esaslı alaşımlarda pekleşme hızını etkileyerek aşınma direncinin sıcaklık sınırını belirler [15].

Düşük dizilim kusuru enerjisi, dislokasyonların çapraz kaymalarını durdurur, pekleşme hızında artışa yol açar. Böylelikle pürüzlülük temaslarında sürtünme yapışmasına direnci arttıran şiddetli plastik deformasyonu önler. Bununla birlikte dizilim kusuru enerjisi genellikle sıcaklıkla birlikte artış gösterir. Dizilim kusuru enerjisi arttıkça, iki kısmi dislokasyon arasındaki boşluğun mesafesi azalır ve çapraz kayma için gerekli olan kısmi dislokasyonların yeniden yapılanması daha kolay hale gelir. Bu da demek oluyor ki; düşük dizilim kusuru enerjisine sahip alaşımların aşınma direnci sıcaklık artırılarak kayda değer ölçüde azaltılabilir [59].

Demir esaslı sert dolgu alaşımlarının aşınma dirençleri yalnız matrisin dizilim kusuru enerjisini düşürerek değil aynı zamanda çok fazla karbür sağlayarak ve gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümü gerçekleştirerek de artırılabilir. Özellikle gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümün, en fazla gerilme kaynaklı martenzitik dönüşüm olan M_d sıcaklığının altındaki demir esaslı sert dolgu alaşımları için önemli bir aşınmaya dirençli mekanizma olduğu bildirilmiştir [59].

Cr karbürleri tane sınırları boyunca çökme eğilimindedir. Bu durum kimi zaman kaplama dayanımının kötüleşmesiyle sonuçlanabilmektedir [3].

Eğer yüksek krom içerikli (Fr-Cr-C) sert dolgu alaşımları hiperötektik yapıdaysa, başka bir deyişle primer $M_{23}C_6$, Cr-Fe ve $M_{23}C_6$ ötektik yapısıyla çevrelenmişse çatlak oluşumu azalacaktır. Çünkü katmanlı (lamel) ötektik yapı tane sınırları boyunca çatlak yayılmasına direnç gösterecektir [37].

Krom ve tungstenin karbürleri, metal matrisin tokluğunda kötüleşmeye sebep olan tane sınırları boyunca çökmeye eğilimlidir. Dolayısıyla kaplamadaki çatlak oluşumunun önüne geçebilmek için kaynak öncesi ve sonra ısıl işlem, bilya püskürtme gibi karmaşık işlemler uygulanmalıdır [56, 3, 22]. Genelde mükemmel aşınma direnci karbürlerin yüksek hacimsel oranlarından ve matris tokluğundan kaynaklanır. Matrisin tokluğunu geliştirmede kimi kaynaklar güçlü karbür yapıcı elementlerin tanesal karbürleri oluşturmak için karbonla birleştiğini ve kaplamanın tokluğunu geliştirmede faydalı olan, matrisin karbon oranında azalma meydana geldiğini belirtmiştir [3].

4.4.3. Element ve Karbürlerin Mikroyapı ve Abratif Aşınmaya Etkisi

4.4.3.1. Karbon (grafit) ve krom

Literatürde, ergime noktası, katılma hızı ve karbür şeklinin farklı karbon içerikleriyle değiştiği ve karbon miktarı arttıkça karbürlerin iri hale geldiği gözlenmiştir [37]. Chang ve diğerlerinin çalışmasında ise, primer karbürlerin içerik ve boyutunun, ötektik kolonilerin oranının farklı karbon içeriği ile değiştiği bildirilmiştir [27].

Karbon ilavesindeki artış, sertliği arttıran mikroyapısal karbür irileşmesine eğilim gösterir. Bu durum ötektik dışı bir kompozisyon için alaşımın sıvılaştırma eğrisinin ötektik sıcaklıktan çok daha yüksek olmasıyla açıklanabilir. Böylelikle ilgili primer faz çok aşırı soğutulur ve ötektikten daha hızlı büyümeye meyleder [37].

Yüksek C içeriği matristeki Cr içeriğini tüketen primer krom karbür oluşumuna öncülük edecektir. Cr içeriğinin azalması ise sırasıyla matrisin sertleşebilirliğini ve korozyon direncini zayıflatacaktır. Bu zayıflığın üstesinden gelebilmek için Cr içeriği arttırılmalıdır. Yüksek kromlu demirde artan Cr içeriğinin ötektik karbon içeriğini düşürebileceğine dikkat çekilmiştir [58].

C içeriğini değiştirmeksizin Cr içeriğini arttırmak ötektik noktayı sola kaydıracaktır ve daha fazla krom karbür oluşacaktır. Bu yüzden daha fazla krom karbür elde etmek için C içeriğini arttırmaya gerek yoktur ve böylelikle kaplanan kaynak metalinin tokluğundan da ödün verilmeyecektir [58].

Fan ve diğerleri çalışmalarında %5 grafit oranında primer Cr-Fe katı çözümlü matrisi (α) ve ince ötektik yapı ($M_{23}C_6+\alpha$) oluşumunu, grafit oranı %7'ye çıkarıldığında ise $M_{23}C_6+\alpha$ ötektik yapısını gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla grafit tozundaki artışın $(Cr-Fe)_{23}C_6$ karbür oluşumunu desteklediği sonucu çıkarılmıştır. Alışlagelmiş katılaşma sürecinde, Fe-Cr-C alaşım ötektiklerinin her doğrultuda eşit biçimde büyüdüğü ve sonunda eşeksizli dendrit yapısı elde edildiği belirtilmiştir [37]. Bu çalışmadan elde edilen mikroyapı incelemelerinde; hipoötektik yapıda $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ince katmalı (lamel) yapıda olduğu, ötektik yapıda $(Cr,Fe)_{23}C_6$ eşeksizli dendrit halinde bulunduğu ve hiperötektik yapının ise üç fazdan meydana geldiği görülmüştür: α , $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ve eser miktarda $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ile kaplı $(Cr,Fe)_7C_3$. Ayrıca $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürlerinin optik mikroskopla saptanmalarını neredeyse imkansız kılan diğer fazlarla kaplanmış olduğu belirlenmiştir. [37].

Wang ve diğerleri TiC-VC parçacıklarıyla takviye ederek ürettikleri demir esaslı sert dolgu kaplamasında, grafit miktarının % 12'yi geçmesi durumunda TiC-VC karbürlerinin etrafında çatlak direncini kötüleştiren büyük miktarda sementit ya da ledeburit gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu nedenle grafit miktarının %8-10 arasında kontrol edilmesi tavsiye edilmektedir [22].

4.4.3.2. Bor

Aşınma direncini geliştirmede alternatif bir seçenek olarak borür oluşumu çok çeşitli uygulamalarda dikkat çekicidir. Geçiş metalleriyle oluşan borürlerin yüksek sertlikleri ve mükemmel aşınma, sürtünme ve korozyon dirençleri sebebiyle aşırı uç uygulamalar için yüksek potansiyele sahip olduğu bilinmektedir [60].

Bor ve demir, farklı ısıl genleşme katsayılarına sahip iki ana borür fazını (FeB ve Fe_2B) oluşturur. Bunun bir sonucu olarak işlem sıcaklığında başlayan soğuma esnasında, iki faz arasındaki ara yüzeyde çatlak büyümesine yol açan büyük artık gerilmeler ortaya çıkar. Fakat voltaj, akım ve özlü telle altlık yüzeyi arasındaki mesafe gibi bir takım işlem parametrelerinin

kontrolüyle istenmeyen FeB bileşeninin oranını düşürmek ve çatlak riskini azaltmak mümkün hale gelmektedir [38].

Fe₂B fazının genleşme katsayısı demirinkinden düşüktür (Fe₂B için $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ olan değer demir için $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Buna karşın FeB fazı demirden de yüksek genleşme katsayısına sahiptir ($15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Buna göre kaplama içerisindeki Fe₂B varlığı soğuma sonrası bası gerilmesi ortaya çıkarırken, FeB kaplama katmanlarında çatlığa yol açan bölgesel çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Bu çatlaklar esasen taneler arasındadır ve sert kaplamaların tribolojik özelliklerine etki eder [38].

Yoo ve diğerleri, demir esaslı sert dolgu alaşımların aşınma davranışlarına borun etkisini incelemiş ve elde ettiği sonuçlara göre artan bor oranıyla aşınma direncinde düşüş meydana geldiğini bildirmiştir. Aşınma direncindeki düşüş, yüksek bor alaşımlarında düşük bor alaşımlarına kıyasla daha yüksek başlangıç sertliklerine rağmen pekleşmenin meydana gelmemesine bağlanmıştır. Çünkü çalışmalarında borca zengin alaşımlarda $\gamma \rightarrow \alpha'$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümüyle matris pekleşmesine ait bir bulguya rastlamamışlardır. Bunun sebebi borca zengin alaşımlarda aşınma sırasında martenzite dönüşebilecek östenit fazı bulunmamasıdır [60]. Bununla birlikte belirli bir orana kadar demir esaslı östenitik alaşıma bor ilave edilmesiyle östenit tane boyutunda düşüş olması beklenmektedir. Tane boyutundaki bu düşüş daha sonrasında östenitin martenzite dönüşümünü kolaylaştıracaktır [61]. Literatürde bu duruma düşük bor alaşımlarında rastlanmıştır ve düşük bor alaşımlarında $\gamma \rightarrow \alpha'$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümü gözlemlendiği belirtilmiştir [60].

Bor oranı fazla olan alaşımlarda görülen yüksek sertlikteki kırılgan FeB borür fazının çatlak çekirdeklenmesini tetikleyebileceği belirtilmiştir. Esasen FeB fazı aşınma direnci karakteristiği üzerindeki zararlı etkisiyle bilinmektedir. Çünkü genellikle yüksek iç çeki gerilmesiyle bağlıdır ve bu yüzden muhtemelen aşınma sırasında tabaka halinde dökülecektir (kavlama) [60].

4.4.3.3. Mangan

Manganın demir esaslı alaşımlarının dizilim kusuru enerjisini düşürdüğü ve kayma gerilmesi uygulandığında ϵ -martenzit dönüşümünü arttırdığı bilinmektedir [61].

Kim ve diğerleri çalışmasında, mangan içeriğinin artmasıyla dendritik yapının belirsizleştiği fakat karbürlerin türünde ve miktarında değişme olmadığı belirtilmiştir. %5'ten az Mn içeren alaşımların aşınma yüzeylerinde α' -martenzit gözlenmiş; buna karşın ϵ -martenzit %10'dan fazla Mn içeren alaşımların aşınmış yüzeylerinde görülmüştür. Bu bulgular sayesinde düşük mangan oranlarında $\gamma \rightarrow \alpha'$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümün baskın olduğu fakat %10'un üzerinde mangan ilavesinin gerilme kaynaklı ϵ -martenzit oluşumunu desteklediği öne sürülmüştür. $\gamma \rightarrow \epsilon$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümünün daha yüksek M_d sıcaklığı nedeniyle demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıktaki aşınma dirençlerine daha faydalı olacağı

belirtilmiştir. Dolayısıyla $\gamma \rightarrow \epsilon$ gerilme kaynaklı martenzitik dönüşümü arttıran %10 üzerindeki mangan ilavesi, yüksek sıcaklıktaki aşınma direncini geliştirmiştir [15].

4.4.3.4. Molibden

Katı çözelti sertleştirme elementi olarak bilinen ısıya dayanıklı molibden metali ayrıca MC ve M_2C karbürlerini oluşturarak çökelti sertleşmesi ile dayanıma katkıda bulunur. Çökelti dislokasyonların hareketine engel olur ve böylelikle sert dolgu katmanında sertleşme etkisi yaratır. Wang ve diğerleri çalışmaları sonucunda Fe-Mo içeriğinin %5'e ulaşmasıyla sert dolgu katmanının çatlak duyarlılığında artış meydana geldiğini; bu sebepten Fe-Mo miktarının %4 dahilinde tutulması gerektiğini belirtmişlerdir [56].

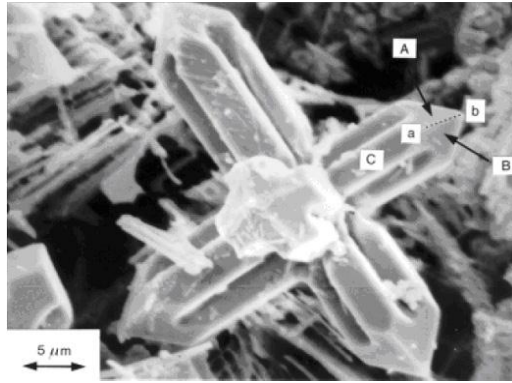
Wang ve diğerleri çalışmalarında Mo etkisini gözlemlemek için Fe-Ti ve Fe-V tozlarına Fe-Mo ilave etmişlerdir. Matris mikro yapısında iğne martenzit oluşumu meydana geldiğini ve iğne martenzitin daha yüksek sertlik ve şekil alabilirliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca iğne martenzit matrise yayılmış karbürlerin, karbür ve matris arasındaki yapışma kaybını önlemede yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir. Böylelikle sert parçacıklar (karbürler) ve nispeten yumuşak matris (iğne martenzit) içeren sert dolgu tabakasının çatlakları azaltmada yardımcı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada, demir esaslı matriste çözünen molibdenin, karbürlerin ve matrisin bağlanmasını geliştirebileceği öne sürülmüştür (Mo, TiC parçacıklarıyla reaksiyona girerek her bir TiC çekirdeğini çevreleyen (Ti, Mo) C_{1-x} durumunu oluşturur. Bu mekanizma, karbür fazının matrisle ıslatılmasını arttırmaya eğilimlidir ve sonuç olarak dayanımı iyileştirir.). Molibden ilavesinin % 5'ten az olduğu sert dolgu tabakalarında kübik ve çubuk şeklinde karbürler gözlenmiştir. Fe-Mo içeriğinin % 6'nın üzerinde olması durumunda bazı ağsı karbürler hücre çeperleri boyunca konumlanmıştır. Bu durumun, sert dolgu tabakasının çatlak duyarlılığını arttırdığı vurgulanmıştır. Wang ve diğerlerinin çalışmasında, molibden içermeyen sert dolgu alaşımıyla üretilen tabakayla kıyaslandığında, molibden ilaveli sert dolgu alaşımının daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Molibden ilaveli sert dolgu alaşımı için, TiC ve VC karbürlerinin yanı sıra çökeltme sertleşmesiyle dayanıma katkıda bulunan Mo_2C karbürleri tespit edilmiştir. Ayrıca hacimsel aşınma kaybının Mo içeriği arttıkça azaldığı, karbürlerin hacimsel oranlarındaki artışın buna bağlı sertlik ve aşınma direncinde artışa sebep olduğu bildirilmiştir [3].

4.4.3.5. Niyobyum

Niyobyumun karbon ve nitrojene ilgisi yüksektir ve karbonla kolaylıkla niyobyum karbürü oluşturur. Yüksek kromlu dökme demirlerde, Nb temel olarak niyobyum karbürleri olarak bulunur. Primer karbür olarak adlandırılan niyobyum karbür (NbC), 1300 °C'de oluşmaya başlar.

NbC oluşumuyla birlikte, östenit oluşum sıcaklığını artıran demir ve kromca zengin bölgeler meydana gelir. Niyobyum karbürü çevreleyen Cr ve C östeniti oluşturmada çekirdekler olarak görev alır. Krom ve karbonun γ -Fe içerisindeki paylaşım oranı 1'den küçük olduğundan, C ve Cr östenit oluşumu sırasında çevredeki alana sürülecektir. Böylelikle NbC ve östenit arasındaki alan karbon ve kromca zengin olacaktır. Kaynak sonrası hızlı soğuma esnasında krom karbürün çekirdek oluşumu için elverişli durumu meydana getiren krom ve karbonun difüzyonu için yeterli zaman yoktur. Çekirdek oluşumu NbC ya da çevre bölge üzerinde gelişir ve daha sonra bu çekirdekten krom karbür meydana gelir. Bu sebepten niyobyum karbür ve krom karbür sıklıkla birlikte topaklanır [58].

Nb elementi genellikle krom karbür parçacıklarıyla birlikte topaklanmış ve bağlanmış durumdadır. Yüksek Nb içeriğinde (örneğin %6) niyobyum karbür, alaşımın katılması başlamadan yüksek sıcaklıkta eriyikte doğrudan çökeler. Bu yolla NbC kübik kristalografik biçimde gelişir [58]. Şekil 4.22'de niyobyum karbürün SEM ile çekilmiş görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.22. Fe-%34Cr-%5Nb-%4.5C alaşımındaki yüzey merkezli kübik kafese sahip niyobyum karbürün SEM görüntüsü [62]

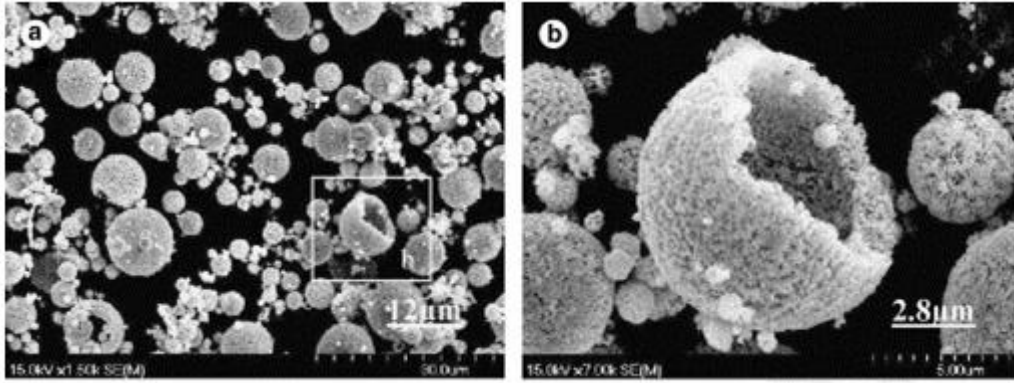
4.4.3.6. Silisyum

Artan silisyum içeriği ergime sıcaklığını düşürebilir, eriyik havuzunun hacmini arttırabilir ve viskoziteyi düşürebilir. Literatürde küçük elementlerin eriyik havuzunun akış biçimini etkileyebileceği belirtilmiştir [46].

Silisyum, demirde ferrit dengeleyicidir; ötektoid dönüşüm sıcaklığını arttırır ve yüksek sıcaklıkta γ -Fe bölgesini düşürür. Bu özellik yüksek sıcaklıktan sertleştirme esnasında γ -Fe hacminin düşmesini meydana getirir [46].

4.4.3.7. Tungsten-tungsten karbür

Diğer kaynak kaplama malzemelerinin aksine tungsten karbür kompozitleri kaynak banyosunun katılaşması esnasında uygun sert fazların oluşumuna dayanmaz. Bunun yerine bu kaplama malzemeleri tungsten karbür parçacıklarının kaynak sarfından (karbürler çelikten tüpün içine eklenmiştir) kaplamaya transferine dayanır. Bu durum tungsten karbür parçacıklarının ergimesini önlemek için kaynak işleminin ısı girdisini sınırlama açısından önemlidir. Eğer tungsten karbür parçacıkları erirse, daha yumuşak demir-tungsten karbürleri oluşturmak için demirle karışarak abrazyon direncini düşürür. Bu sebepten ötürü oksitlenmiş kaplamaları genellikle ark kaynaklı tungsten karbür kaplamalardan daha yüksek abrazyon direnci sergiler [28]. Şekil 4.23'te tungsten karbürlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.23. Tungsten karbürlerin SEM görüntüsü [63]

Tungsten karbür kompozitlerinin bir avantajı kaplamadaki sert parçacık boyutunun kontrol edilebilmesidir. Bu önemlidir çünkü abrazyon direnci mikroyapı özellikleri (karbürler gibi) ve aşındırıcı parçacık arasındaki boyut ilişkisine bağlıdır. Eğer aşındırıcı parçacıklar, mikroyapısal parçacıklara (tane) kıyasla büyükse rodaj (alıştırma) evresinden sonra (yüzeydeki daha yumuşak olan matris malzemesi aşındırılırken) aşındırıcı parçacıklar yüzeye çıkan sert mikroyapıların üzerinden geçer. Buna karşılık aşındırıcı partiküller mikroyapısal parçacıklardan küçükse, mikroyapı parçacıklarının etrafındaki matrisin aşınması için fırsat doğar [28].

Tungsten karbür bileşimleri genellikle çok yüksek abrazyon direncine ve çok düşük darbe dayanımına sahiptir. Belirli bir durumdaki performans [28];

- Karbürlerin hacimsel oranına,
- Aşındırıcı ortam ve karbürler arasındaki boyut ilişkisine,
- Uygulanan kaynak tekniğine bağlıdır.

Önemli etkenler, karbürlerin kaplama içerisindeki dağılımı (çünkü parçacıklar batma eğilimindedir; ergimiş kaynak banyosundaki türbülans avantajlıdır) ve kaynak sırasında çelik

matris içerisindeki karbür çözülmesinin ve çökmesinin miktarıdır. Darbe dayanımı genellikle hacimsel karbür oranını artmasıyla düşer [28].

Tungsten karbür kompozitleri çok çeşitli endüstriyel kayma ve delme abrazyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Çizelge 4.4'te tungsten karbür kompozitlerinin abrazyon verileri verilmiştir. Aşırı derecede saldırgan ortamlar için bazı demir dışı tungsten karbür ürünleri (kobalt ve nikel esaslı) mevcuttur. Ayrıca düşük yoğunluklarından dolayı daha homojen bir kaplama oluşturma avantajına sahip alternatif kompozit malzemeler, faydalanılan diğer karbürler (vanadyum, titanyum, niyobyum gibi) mevcuttur [28].

Çizelge 4.4. Tungsten karbür kompozitleri için abrazyon verileri[28].

Malzeme		Abrazyon, hacimsel kayıp	
Karbür, ağırlıkça %	Meş boyutu	Düşük gerilmeli (a), mm ³	Yüksek gerilmeli (b), mm ³
60	20-30	7.3	28.7
61	100-250	10.6	24.4
(a)Kuru kum/kauçuk tekerlek testi (ASTM G 65: 13,6 kg, 2000 devir); (b) Çamur/çelik tekerlek testi (ASTM B 611: 22,7 kg, 250 devir)			

Buchely ve diğerleri, tungstence zengin kaplama mikroyapısının M₆C tipi (balık kılıcı tipi) karbürler (1600 HV mikrosertlik) içeren ötektik yapıyla çevrelenmiş ötektik öncesi MC karbürlerinden (2500 HV) meydana geldiğini gözlemlemiştir. Aynı çalışmada ayrıca; sertliklerinin ve bir dereceye kadar plastik deformasyon kabiliyetlerinin bir sonucu olarak M₆C tungsten karbürlerinin (balık kılıcı tipi) aşındırıcı parçacıkların kesme etkisini önlemede katkı sağladığı tespit edilmiştir [19].

Tungsten karbürleri, şekilleri ve boyutlarının fonksiyonu olarak aşındırıcı partiküllerden farklı etkilenmektedirler. Buchely ve diğerlerinin çalışmasında M₆C karbürlerinin yüksek miktarda plastik deformasyon gösterdiği, MC karbürlerinin ise aşındırıcı parçacıklar tarafından kırıldığı gözlenmiştir [19].

Tungstence zengin sert dolgu alaşımları tek katmanda dahi çok iyi abrazif aşınma direnci göstermektedir. Bunun sebebi literatürde ötektik matris içerisindeki M₆C karbürleri ve sert, iri MC karbürlerinin eşsiz kombinasyonlarıyla açıklanmaktadır [19].

4.4.3.8. Titanyum karbür - Vanadyum karbür

TiC ve VC karbürleri Fe-Ti, Fe-V ve grafitin metalurjik reaksiyonları ile oluşabilmektedir. Kaplanan metallerin makro sertlikleri 60 HRC üzerindedir. Bununla birlikte matrisin düşük

sertliğinden dolayı, matriste seçici aşınmanın meydana geldiği ve karbürlerin dökülmesine sebep olan karbür/matris arayüzeyinde boşlukların oluştuğu görülmüştür [3].

Titanyum elementinin oksijene ilgisi çok yüksektir. Böylelikle Fe-Ti sadece karbür yapıcı element olarak davranmaz, aynı zamanda kaynak sırasında oksijen giderici olarak davranır ve damlacık reaksiyonu safhasında tüketilir [56].

Wang ve diğerlerinin çalışmasında Fe-Ti ve Fe-V miktarındaki artışla sert dolgu katmanlarının sertliğinde artış meydana geldiği görülmüştür. Sertlikteki artış kaplamadaki TiC ve VC miktarının artmasına ve TiC (3200 HV) ve VC (2800 HV) yüksek sertlik değerlerine bağlanmıştır. Dahası TiC ve VC sınır hareketlerini kontrol altına alabilen ve tane irileşmesinin önleyen ısıl kararlılığa sahiptir. Fakat çalışmada cürufun ergime noktası ve viskozitesinin artışına sebep olan birkaç TiC ve VC parçacığının katılma sırasında cürufta arta kaldığı, dolayısıyla kaplamadaki Fe-Ti ve Fe-V miktarının sırasıyla % 15 ve %12'nin üzerinde olması durumunda cüruf sökülebilirliğinin ve akıcılığının kötüleştiği belirtilmiştir. Fe-Ti ve Fe-V miktarı sırasıyla % 17 ve %14 olduğunda sert dolgu katmanında cüruf kalıntıları tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmada, Fe-Ti miktarının % 12-15 aralığında, Fe-V miktarının ise % 10-12 aralığında tutulması önerilmektedir [56].

4.5. Sert Dolgu Uygulama Alanları

Sert dolgu, çok çeşitli endüstrilerde yeni bileşenlerin üretimi, onarımı ve servis süresinin uzatılmasında uygulama ve teknolojik gelişmelerin önemli bir alanı olan şiddetli aşınma, korozyon ve oksidasyona maruz kalan yüzeylerin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [64].

Öğütme, kırma ve hafriyat ekipmanları gibi şiddetli aşınmaya maruz kalan çoğu ekipman genellikle çok büyük ve karmaşıktır. Aşınmaya maruz kalan parçalar çoğunlukla tamirat için duruş süresine ihtiyaç duyar. Bu sebepten dolayı bu parçaları en düşük maliyetli ve en kolay bulunabilen malzemelerle sert dolgu kaplamaya eğilimi vardır [28].

Sert dolgu uygulamaları taş kırma gibi en şiddetli çalışma koşullarında makine parçasını koruyabildiği gibi bir kaç binde bir inç aşınmanın dahi kabul edilemez olduğu kontrol valfleri gibi metal-metale sürütünmeyi azaltan ve hassasiyet gerektiren işlemleri de içermektedir [8].

Yüksek hacimsel oranda primer karbürlere sahip sert dolgu alaşımlarının tipik uygulaması kepçe makineleridir. Kepçe dişleri düşük alaşımlı çeliklerden ve nadiren Hadfield çeliğinden yapılır. Yeni dişin veya onarılan dişin çalışma ömrü sert dolgu işlemleriyle önemli ölçüde artırılabilir. Neticede sert dolgu alaşımları ağır derecede aşınmaya maruz kılavuz köşelerin bulunduğu uygulamalarda çok iyi abrazyon direnci sağlar [8].

Kobalt ve nikel esaslı alaşımlar kullanılarak sıcak makas bıçakları ve valf yatakları gibi aşırı yüksek sıcaklıklarda ve korozif ortamlarda çalışan makine parçalarının da servis ömrü uzatılabilmektedir [8].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Malzeme ve Yöntem

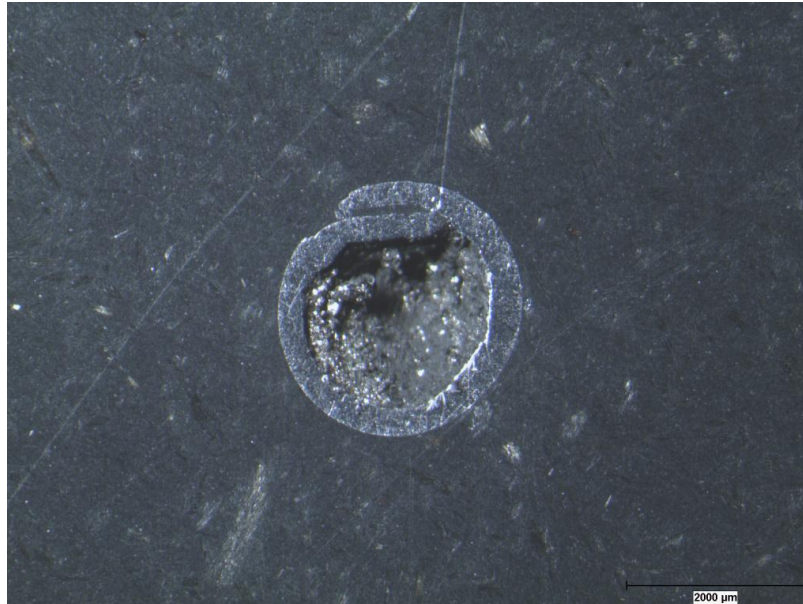
Bu çalışmada 5 mm kalınlığındaki St-37 çeliğinden plakanın üzerine sert dolgu kaplanarak aşınma plakaları üretilmiştir. Aşınma plakaları üretilirken çizelgelerde kimyasal kompozisyonları verilen masif tel (Çizelge 5.1), Oerlikon marka ticari krom karbür içerikli özlü tel (Oerlikon FCO-510) (Çizelge 5.2) ve Oerlikon marka ticari bor içerikli özlü tel (Oerlikon FCO-531) (Çizelge 5.3) kullanılmıştır. Özlü tellerin Nikon SMZ 1000 marka stereo mikroskopta 10x büyütmeyle alınan kesit görüntüleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Masif telin kimyasal kompozisyonu

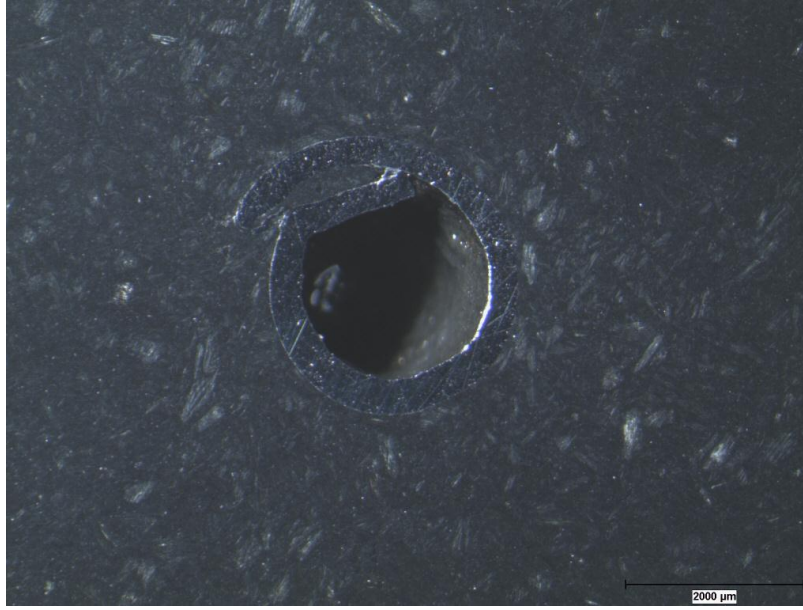
%C	%Si	%Mn	%Fe
0,08	0,8	1,45	Kalan

Çizelge 5.2. Krom karbür içerikli özlü telin seyrelmemiş kompozisyonu

%C	%Cr	%Si	%Mn	%Fe
5,5	28	0,7	0,2	Kalan



Şekil 5.1. Krom karbür içerikli özlü telin kesiti



Şekil 5.2. Bor içerikli özlü telin kesiti

Çizelge 5.3. Bor içerikli özlü telin seyrelmemiş kompozisyonu

%C	%Cr	%B	%Si	%Mn	%Ni	%Fe
3,60	34,30	2,20	0,30	0,13	0,27	Kalan

Aşınma direncine etkilerini tespit etmek amacıyla, yalnız masif tele kimyasal kompozisyonları çizelgelerdeki gibi olan ferrobör (Çizelge 5.4) ve ferrokrom (Çizelge 5.5) tozları farklı oranlarda karıştırılarak kaynak esnasında takviye malzemesi olarak ilave edilmiştir.

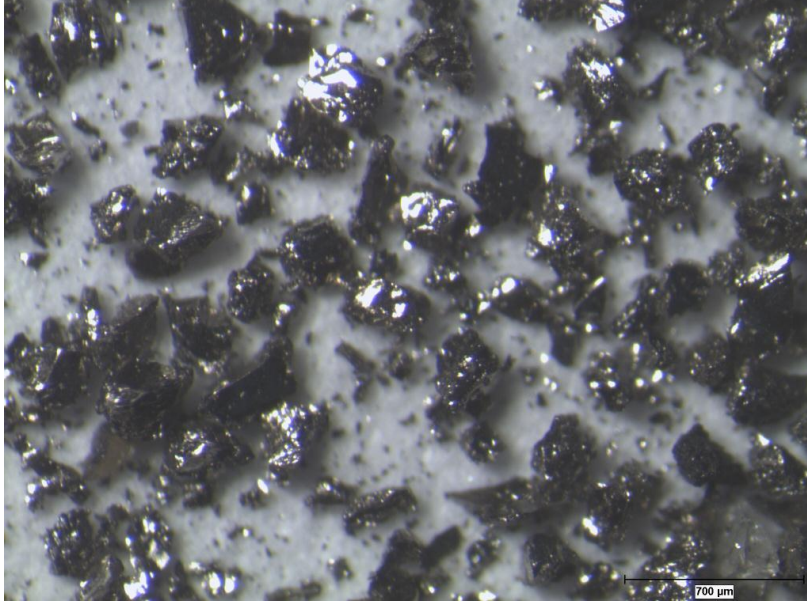
Çizelge 5.4. Ferrobör tozunun kimyasal kompozisyonu

%B	%Fe
17	Kalan

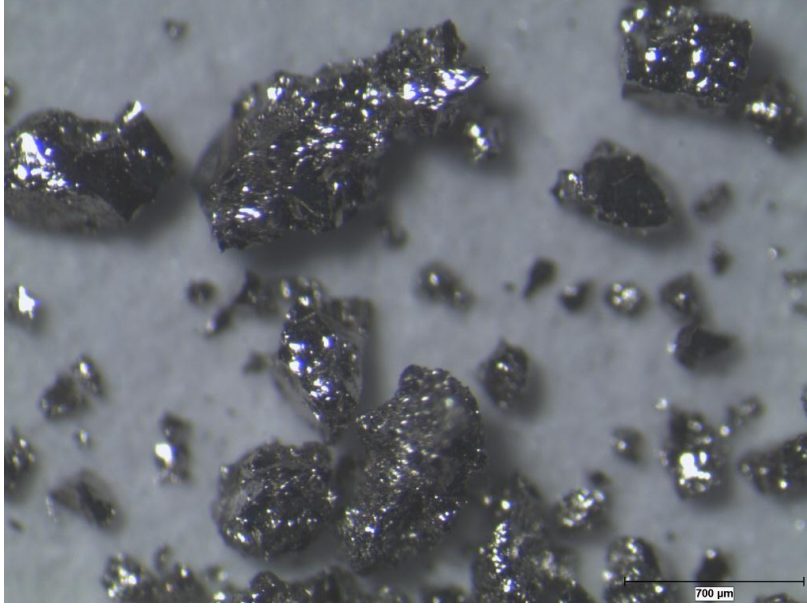
Çizelge 5.5. Ferrokrom tozunun kimyasal kompozisyonu

%C	%Cr	%Si	%Fe
6	55	2	Kalan

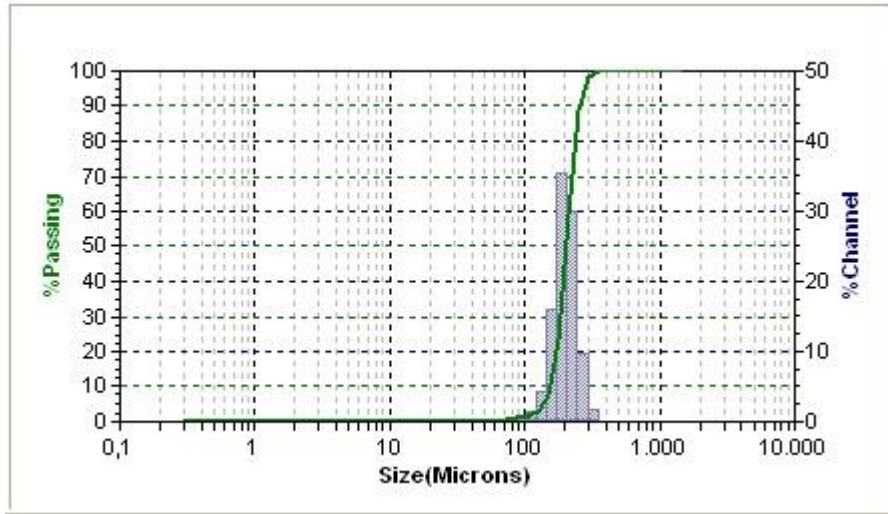
Tozların Nikon SMZ 1000 marka stereo mikroskopla 30x büyütmeyle alınmış görüntüleri Şekil 5.3. ve Şekil 5.4'te görülmektedir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da sırasıyla ferrobör ve ferrokrom tozlarının Microtrac S3500 model cihazda yapılan toz boyut analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5.7'de ferrobör tozunun XRD analizi, Şekil 5.8'de ise ferrokrom tozunun XRD analizi görülmektedir.



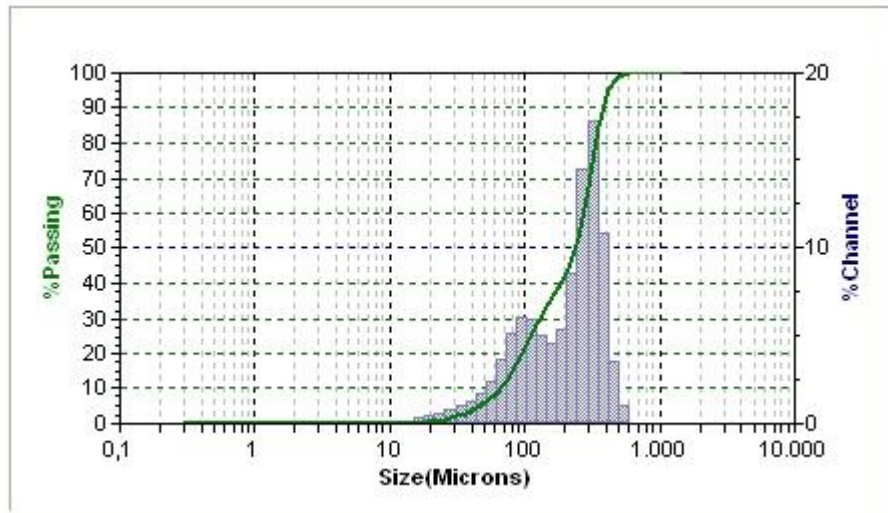
Şekil 5.3. Ferrobor tozunun makro görüntüsü



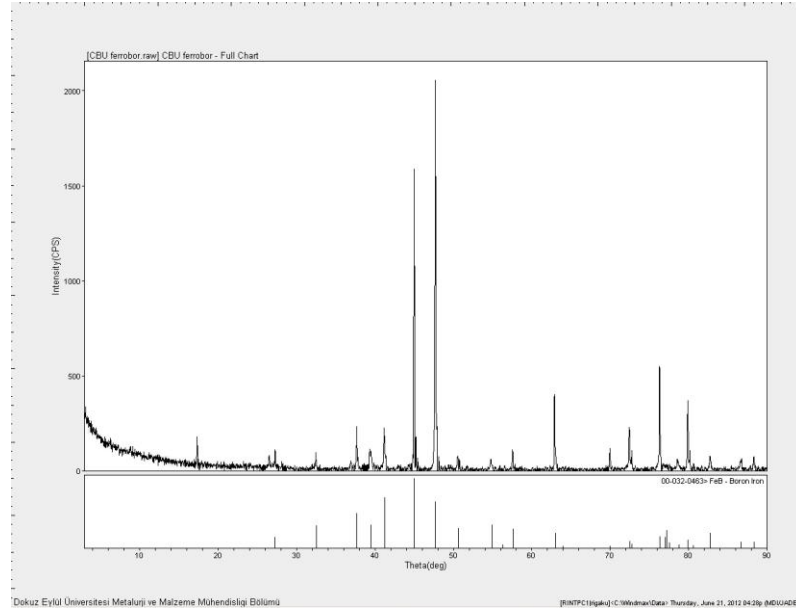
Şekil 5.4. Ferrokrom tozunun makro görüntüsü



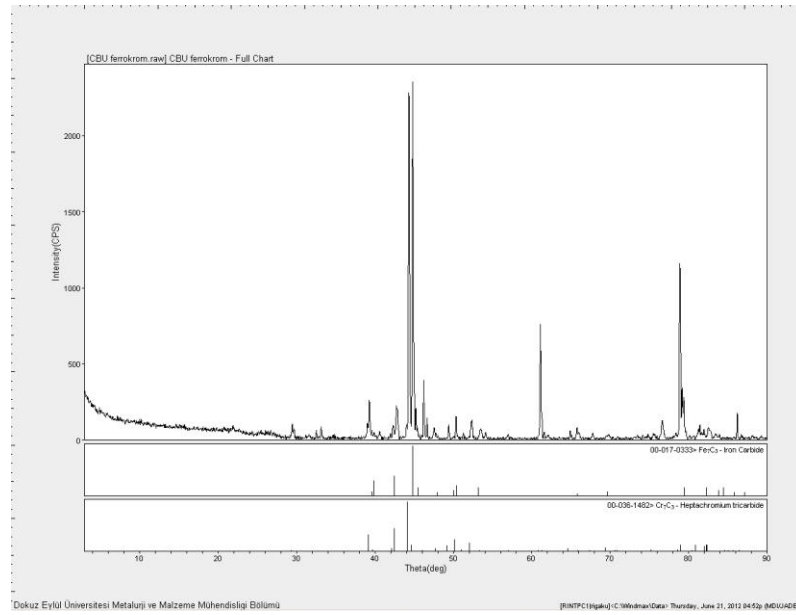
Şekil 5.5. Ferrobör tozunun toz boyut analizi



Şekil 5.6. Ferrokrom tozunun toz boyut analizi



Şekil 5.7. Ferrobor tozunun XRD analizi



Şekil 5.8. Ferrokrom tozunun XRD analizi

Numunelerden bir tanesi yalnız bor içerikli özlü telle, bir tanesi de krom karbür içerikli özlü telle sert dolgu işlemine tabi tutulmuştur. Diğer numuneler, ağırlıkça %50 masif tel+%50 toz karışımı ve ağırlıkça %30 masif tel+%70 toz karışımı içerecek şekilde üretilmiştir. İlave edilen toz ve toz karışımları ise %100 ferrokrom, ağırlıkça %10 ferrobor + %90 ferrokrom, ağırlıkça %30 ferrobor + %70 ferrokrom olacak şekilde hazırlanmıştır. İki farklı tozu içeren karışımlar 1 saat süreyle

homojen biçimde karıştırılmıştır. Böylece 8 farklı aşınma plakası elde edilmiştir. Üretilen numunelerin tel-toz karışımları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Numunelerin tel-toz içerikleri

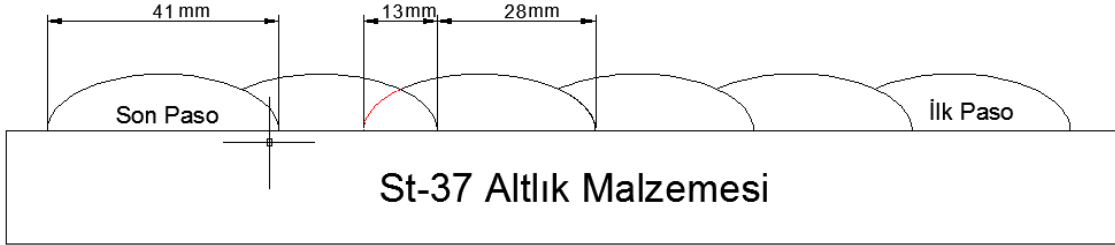
Numune No	Kullanılan Tel Türü	% Tel	% Toz	Ferrobör (%)	Ferrokrom (%)
2	Bor içerikli özlü tel	100	-	-	-
3	Kromkarbür içerikli özlü tel	100	-	-	-
5	Masif	50	50	%0	%100
6	Masif	50	50	%10	%90
8	Masif	50	50	%30	%70
23	Masif	30	70	%10	%90
25	Masif	30	70	%30	%70
27	Masif	30	70	%0	%100

Aşınma plakalarının sert dolgu kaplamasında yöntem olarak metal ark kaynağı kullanılmıştır. Kaynak donanımı Şekil 5.9'da görülmektedir. Kaynak teli bir makaradan sürekli olarak sağlanmaktadır. Toz beslemesi ise kaynak esnasında huniden alınarak kaynak bölgesine sevk edilmektedir.

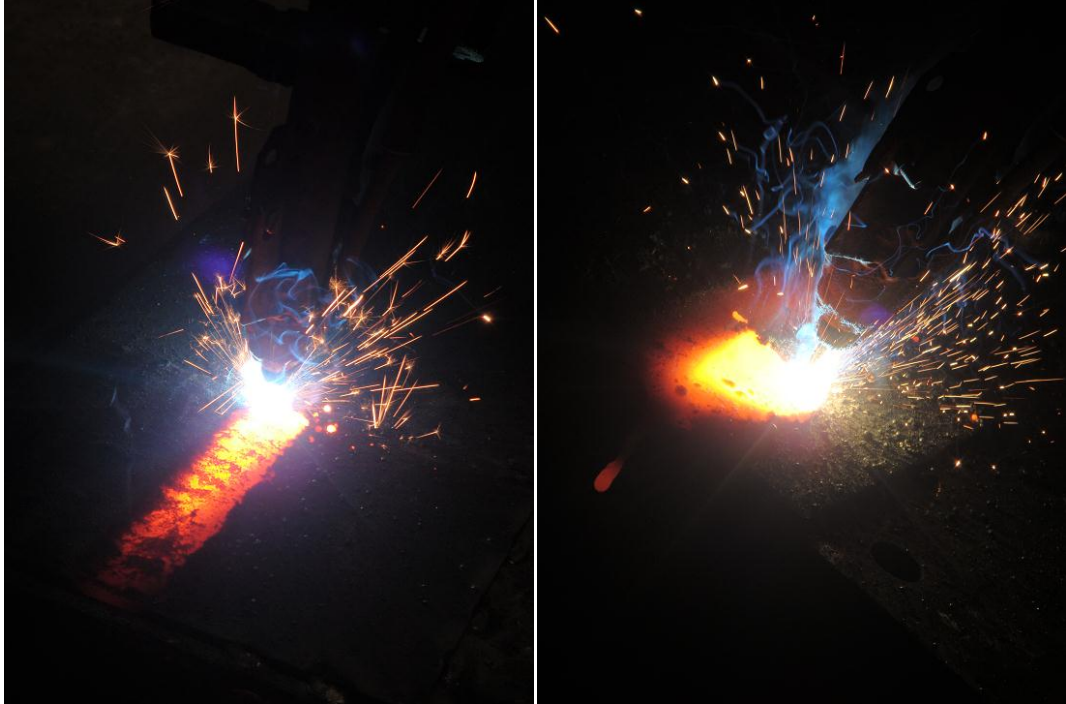


Şekil 5.9. Aşınma plakalarının üretiminde kullanılan kaynak donanımı

Sert dolgu kaplaması Şekil 5.10'da şematik halde gösterildiği gibi St-37 altlık malzemesi üzerine tek pasoda 6 kaynak dikişi halinde uygulanmıştır. Osilasyon genişliği 41 mm'dir, fakat 13 mm önceki kaynak dikişinin üzerine bindirme yapılmıştır (Şekil 5.10). Numunelere sert dolgu kaynağının uygulanışı Şekil 5.11'de görülmektedir.

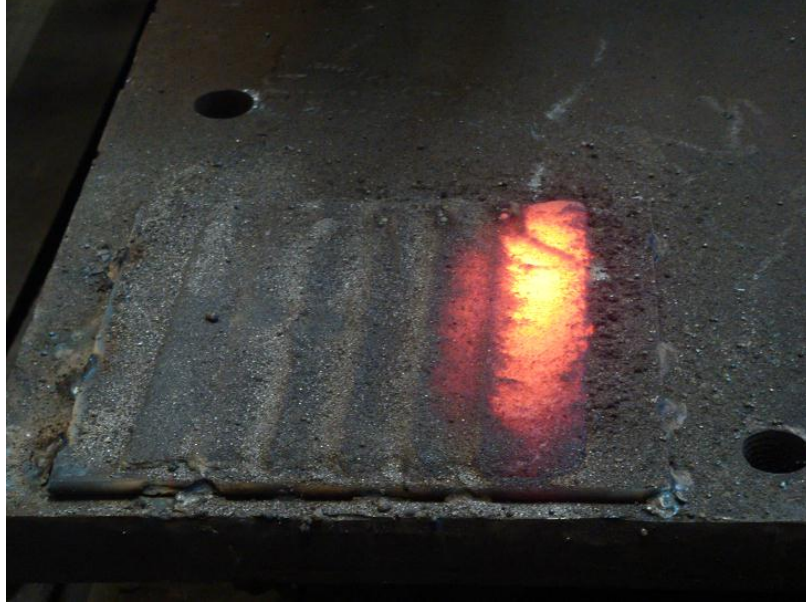


Şekil 5.10. Üretilen aşınma plakalarının şematik gösterimi



Şekil 5.11. Numuneye sert dolgu kaynağının uygulanışı

Üretimi yeni tamamlanan ve havada soğumaya bırakılan aşınma plakası Şekil 5.12'de mevcuttur. Üretilen tüm aşınma plakalarının resimleri ise Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.12. Üretimi tamamlanan ve soğumakta olan aşınma plakası



Şekil 5.13. Üretilen aşınma plakaları

Numunelere ait kaynak parametreleri Çizelge 5.7'de liste halinde verilmiştir. Masif tel gruplarında tel miktarının sabit tutulup toz miktarının değiştirildiği görülmektedir. Voltaj tüm numunelerde aynı değerde tutulmuştur.

Çizelge 5.7. Numunelerin Üretim Parametreleri

Numune No	Tel Miktarı (g/dak)	Toz Debisi (g/dak)	Voltaj (V)	Amper (A)	Tel ilerleme hızı (mm/dak)	Tel çapı (mm)	Serbest tel boyu (mm)
2	157,5	-	27,5	400	220	3,2	35
3	157,5	-	27,5	400	220	3,2	35
5	62	62	27,5	280-300	170	1,6	20-25
6	62	62	27,5	280-300	170	1,6	20-25
8	62	62	27,5	280-300	170	1,6	20-25
23	62	145	27,5	350	170	1,6	20-25
25	62	145	27,5	350	170	1,6	20-25
27	62	145	27,5	350	170	1,6	20-25

Sert dolgu alaşımına ilave edilen tozların ne oranda kaynak metaline karıştığını ve dolayısıyla arzu edilen tel-toz oranının ne denli sağlandığını tespit etmek amacıyla başlangıçta huniye ilave edilen toz miktarı ve altlık malzemesinin ağırlığı ölçülmüştür. İşlem sonrasında huniden artan toz miktarı ve iş parçası üzerine dökülen kaynak metaline karışmamış toz miktarı toplanarak artan toz belirlenmiştir ve kaplamaya karışan toz miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen aşınma plakasının ağırlığı ölçülerek altlık malzemesinin ağırlığı çıkarıldığında kaplama miktarı bulunmuştur. Önceden hesaplanan kaplama içerisindeki toz miktarı toplam kaplama ağırlığına oranlandığında kaynak metaline karışan % toz miktarına ulaşılmıştır. Bu değerler Çizelge 5.8'de görülmektedir ve arzu edilen değerlere çok yakındır. Örneğin masif tellerde %50 ve %70 oranlarında toz ilavesine ulaşıldığı bu çizelgeden açıkça görülmektedir.

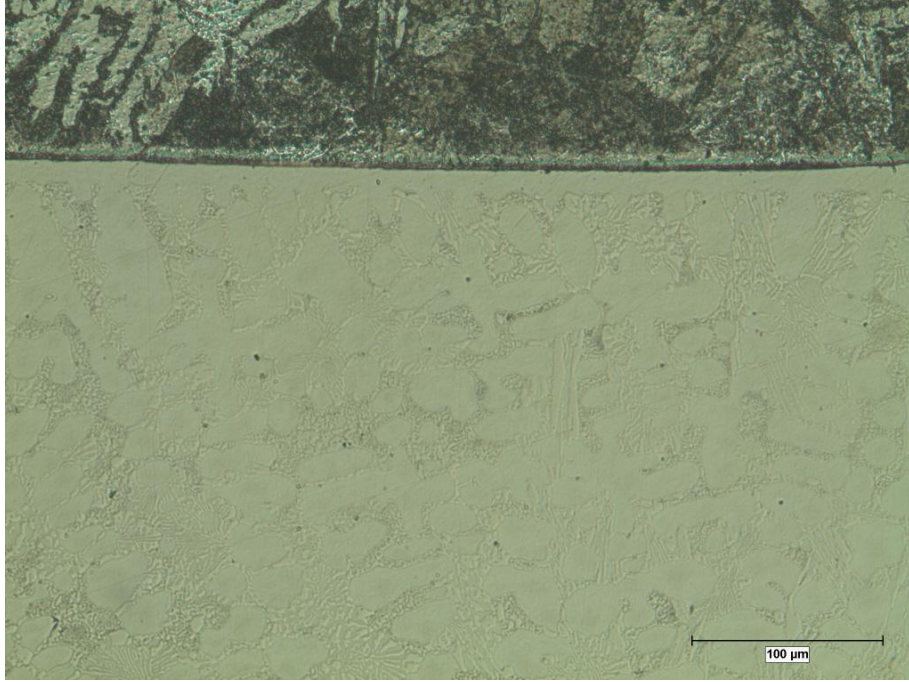
Çizelge 5.8. Kaynak metaline (kaplama) karışan toz miktarı

Numune	İlk durumda hunideki toz (g)	Artan toz (g)	Altlık malzemesi ağırlığı (g)	Aşınma plakası ağırlığı (g)	Kaplanan malzeme ağırlığı (g)	Harcanan toz (g)	Harcanan kaynak teli (g)	Kaynak metaline karışan % toz
2	0	0	2386	3100	714	0	714	0,0
3	0	0	2384	3100	716	0	716	0,0
5	1000	612	2384	3160	776	388	388	50,0
6	1000	624	2369	3160	791	376	415	47,5
8	1000	634	2380	3140	760	366	394	48,2
23	1400	526	2258	3480	1222	874	348	71,5
25	1400	537	2393	3620	1227	863	364	70,3
27	1400	548	2258	3480	1222	852	370	69,7

5.2. Mikroyapı İncelemeleri

Üretilen aşınma plakaları uygun boyutlarda kesilip bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler, zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra %2'lik nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse LV 100 marka optik mikroskopla Clemex yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

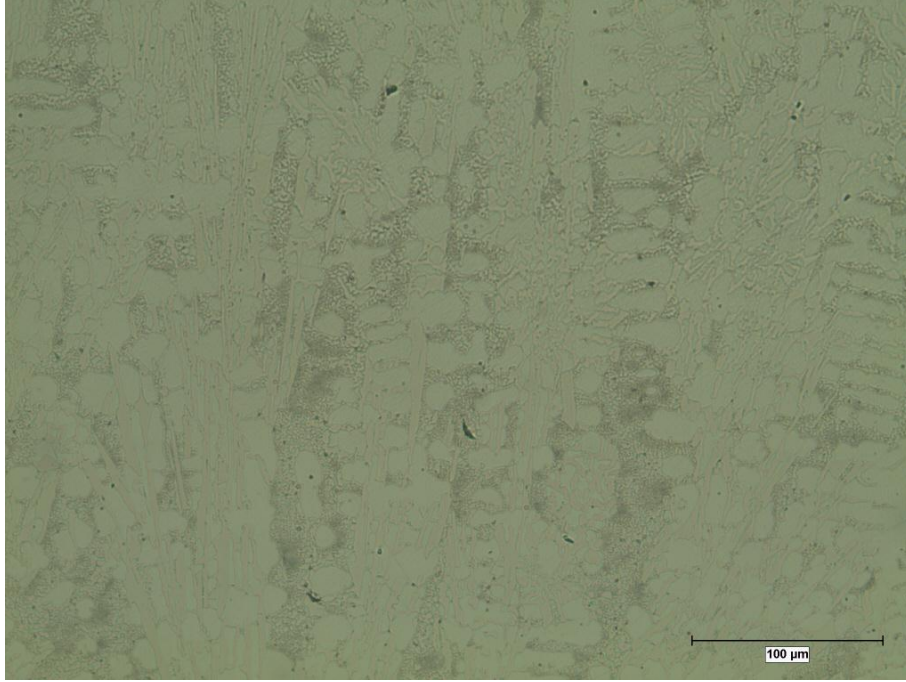
Bor içerikli özlü telle üretilen 2 no'lu numunenin geçiş bölgesi Şekil 5.14'te görülmektedir. Numunenin iç yapısına bakılacak olursa, dendritler arası sert fazlar içerdiği görülmektedir (Şekil 5.15). Sert fazların geçiş bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe yoğunlaştıkları görülmektedir (Şekil 5.16). Ayrıca sert fazların belirgin bir morfolojisi olmadığı Şekil 5.17'de açıkça görülmektedir.



Şekil 5.14. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.15. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin iç bölgesi



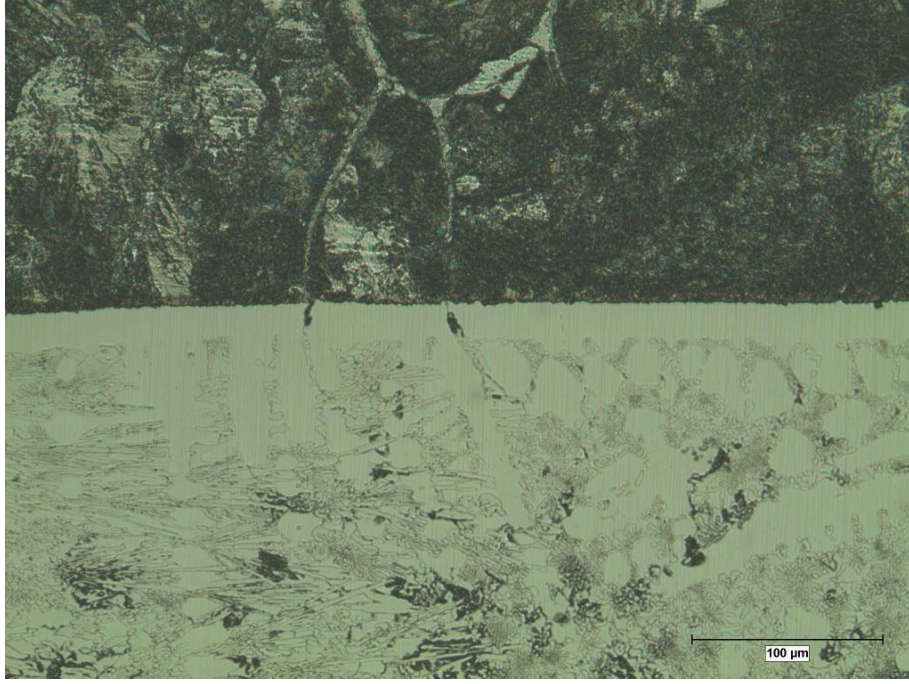
Şekil 5.16. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi



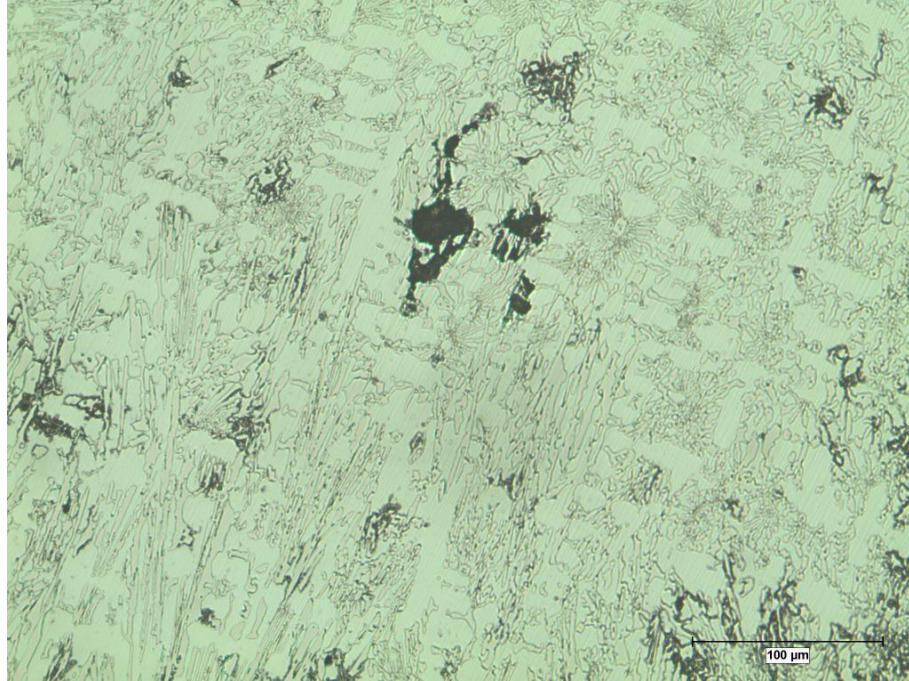
Şekil 5.17. Kesiti alınan 2 no'lu numunenin karbür morfolojisi

Krom karbür içerikli özlü telle üretilen 3 no'lu numunede XRD sonuçlarına göre M_7C_3 tipi karbürlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Geçiş bölgesinde (Şekil 5.18) ve iç bölgede (Şekil 5.19) matris fazına ait dendrit kolları görülürken yüzeye yakın bölgede (Şekil 5.20) dendritik yapının

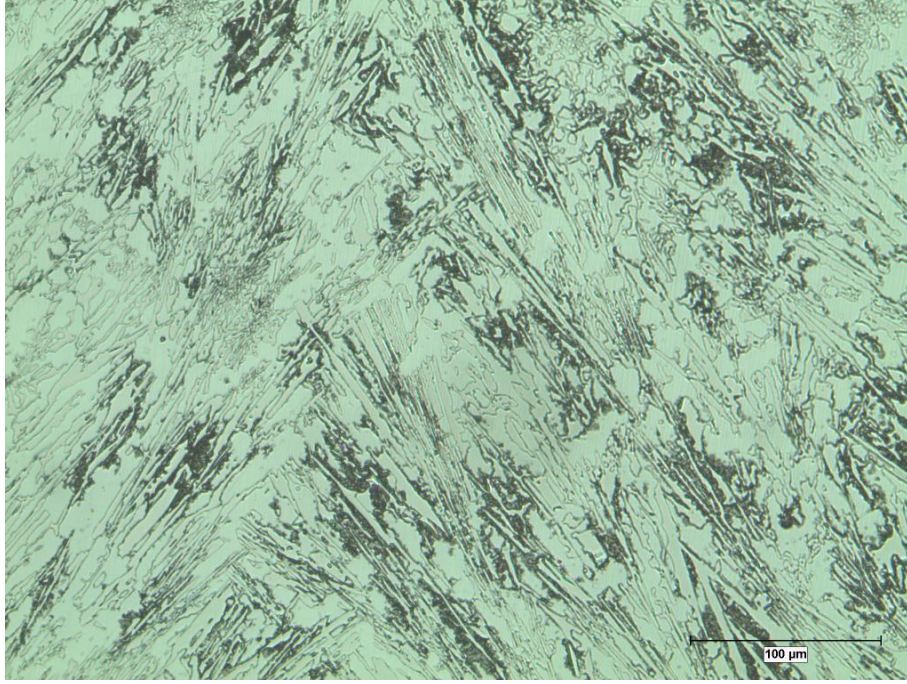
kaybolduğu ve karbürlerin boyutlarında ve matris fazına kıyasla hacimsel oranlarında gözle görölür bir artış olduğu tespit edilmiştir. Numunenin düzensiz bir karbür morfolojisine sahip olduğu Şekil 5.21’de görölmektedir.



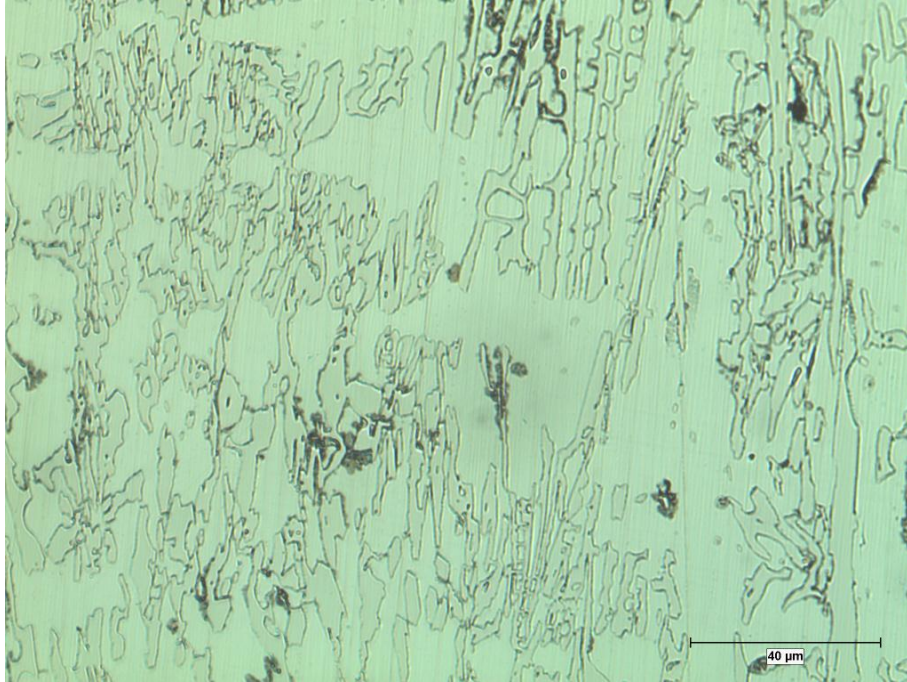
Şekil 5.18. Kesiti alınan 3 no’lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.19. Kesiti alınan 3 no’lu numunenin iç bölgesi



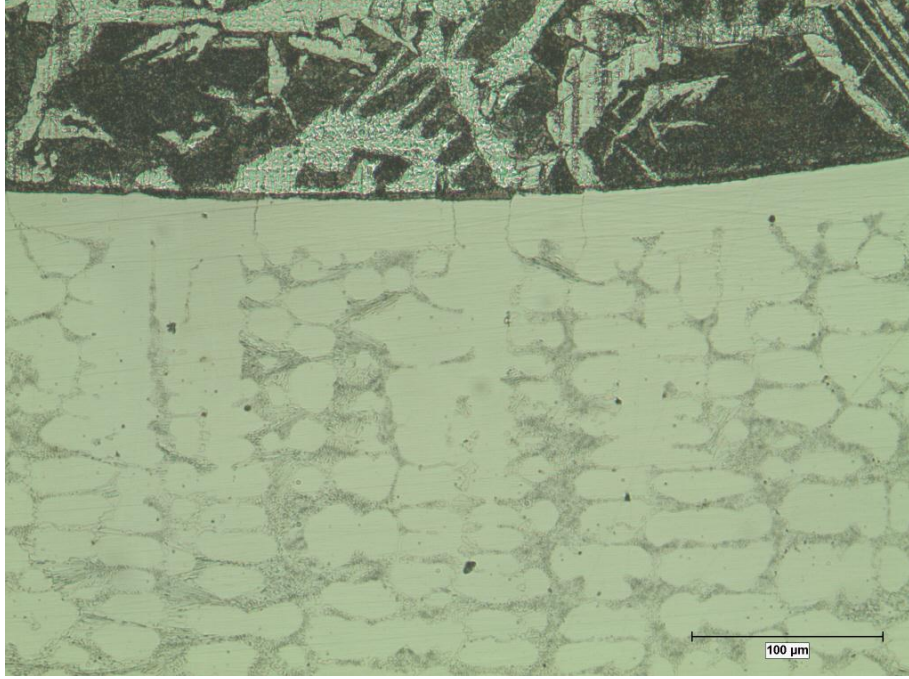
Şekil 5.20. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi



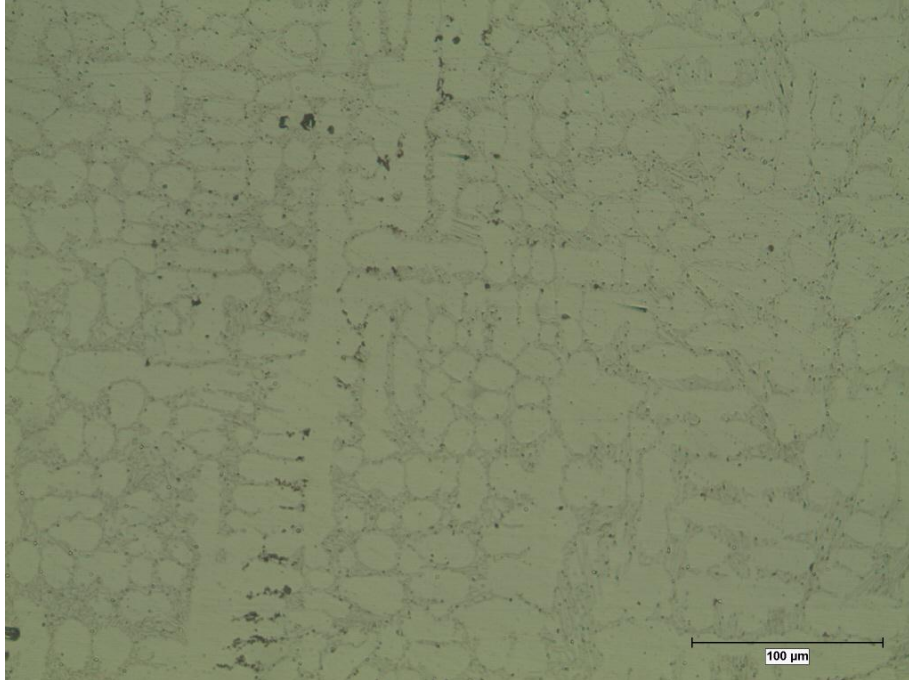
Şekil 5.21. Kesiti alınan 3 no'lu numunenin karbür morfolojisi

%50 masif tel+%50 toz oranında, toz içeriği %100 FeCr olan 5 no'lu numunenin XRD sonuçlarına dayanarak dendritler arası M_7C_3 tipi karbürlere sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.22, Şekil 5.23). Karbür yoğunluğunun geçiş bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe arttığı

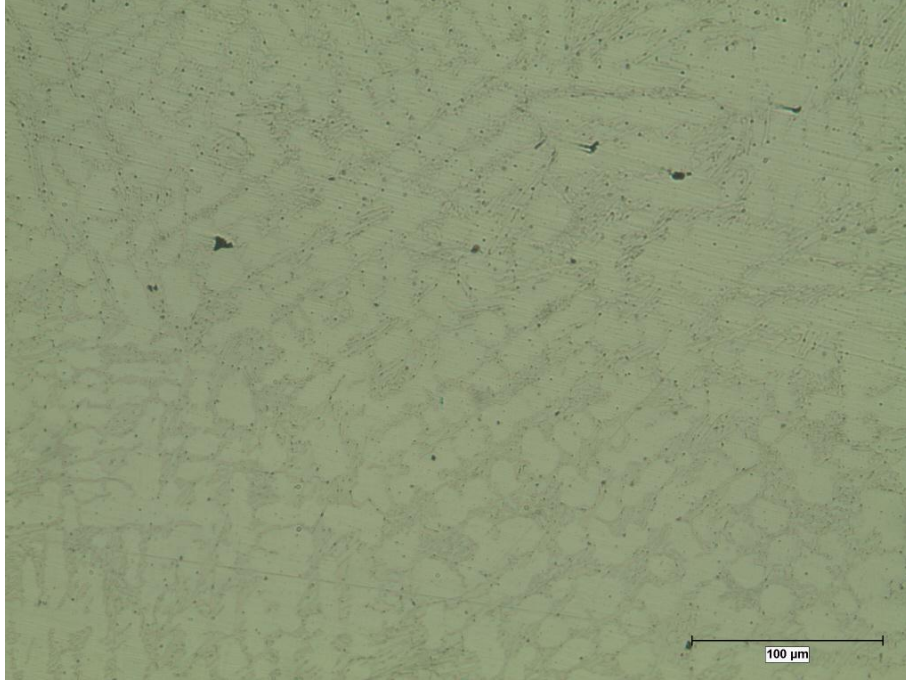
görülmektedir (Şekil 5.24). Yapıda dağılmış karbürlerin ince taneli ve kısmen iğnemi morfolojileri Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



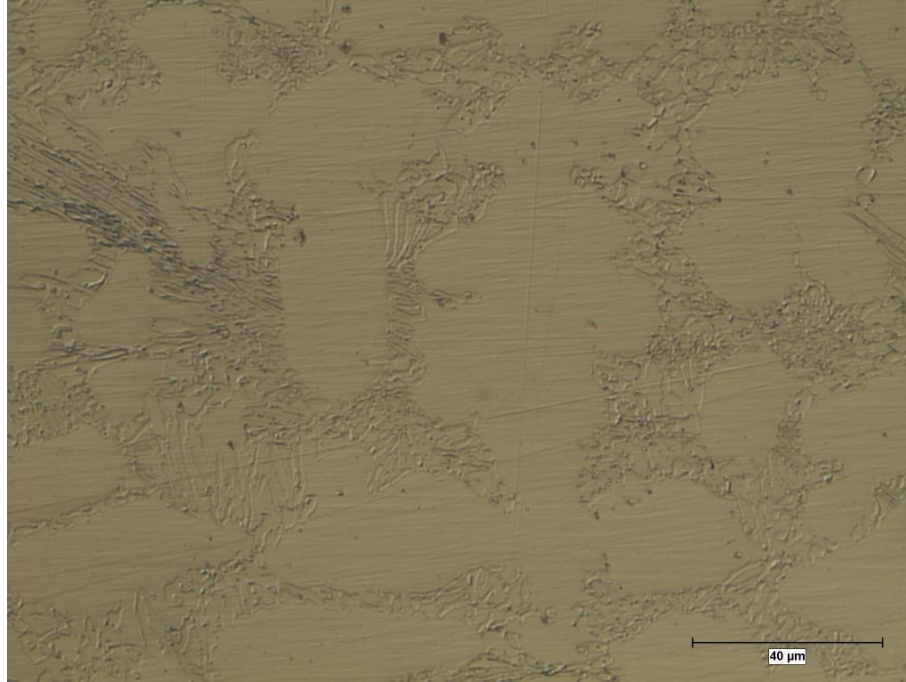
Şekil 5.22. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.23. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin iç bölgesi

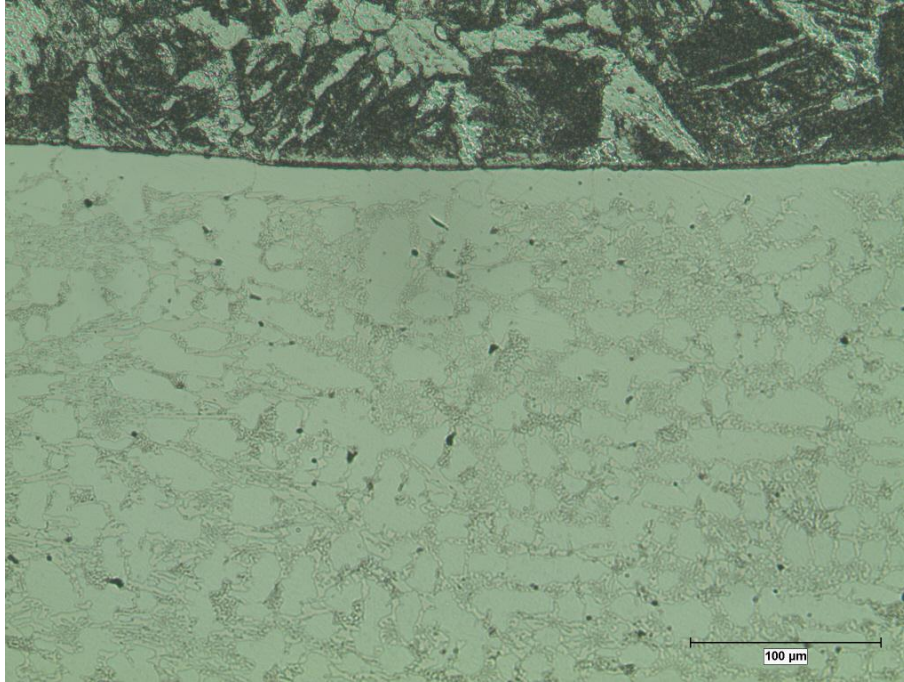


Şekil 5.24. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi

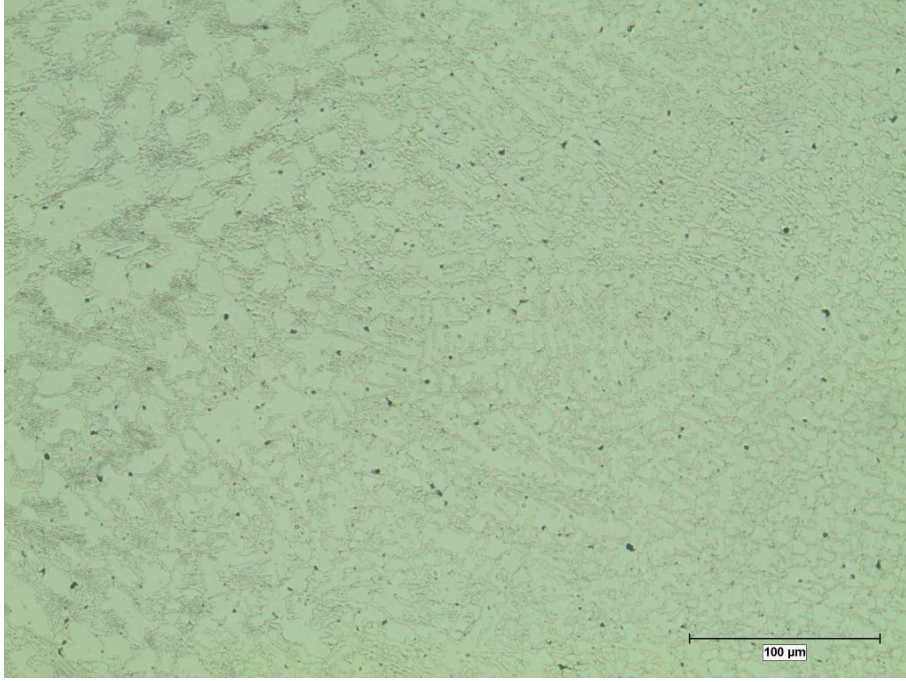


Şekil 5.25. Kesiti alınan 5 no'lu numunenin karbür morfolojisi

%50 masif tel+%50 toz oranına sahip 6 no'lu numunede, tozlar %10 FeB+%90 FeCr oranında olacak şekilde karıştırılmıştır. XRD sonuçlarına göre bu numune Cr_7C_3 ve Fe_7C_3 türünde karbürler içermektedir. Bu karbürler geçiş bölgesinde dendritler arasında yayılmış şekilde görülmektedir (Şekil 5.26). Karbürlerin homojen dağılımı geçiş bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe daha belirgin hale gelmektedir (Şekil 5.27, Şekil 5.28). Ayrıca 5 no'lu numuneye kıyasla geçiş bölgesinde dahi daha yoğun karbür içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi toz karışımına ağırlıkça %10 oranında ilave edilen ferrobör etkisine bağlanmıştır. Karbürlerin belirgin bir morfolojisi olmamakla birlikte yapıda ince, homojen bir dağılım sergiledikleri Şekil 5.29'da görülmektedir.



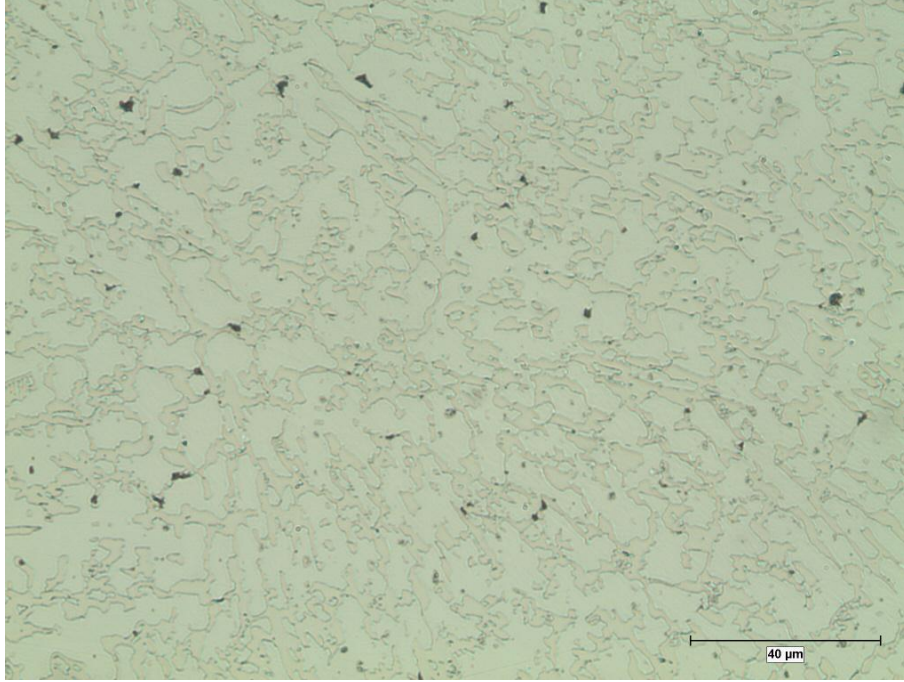
Şekil 5.26. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.27. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin iç bölgesi

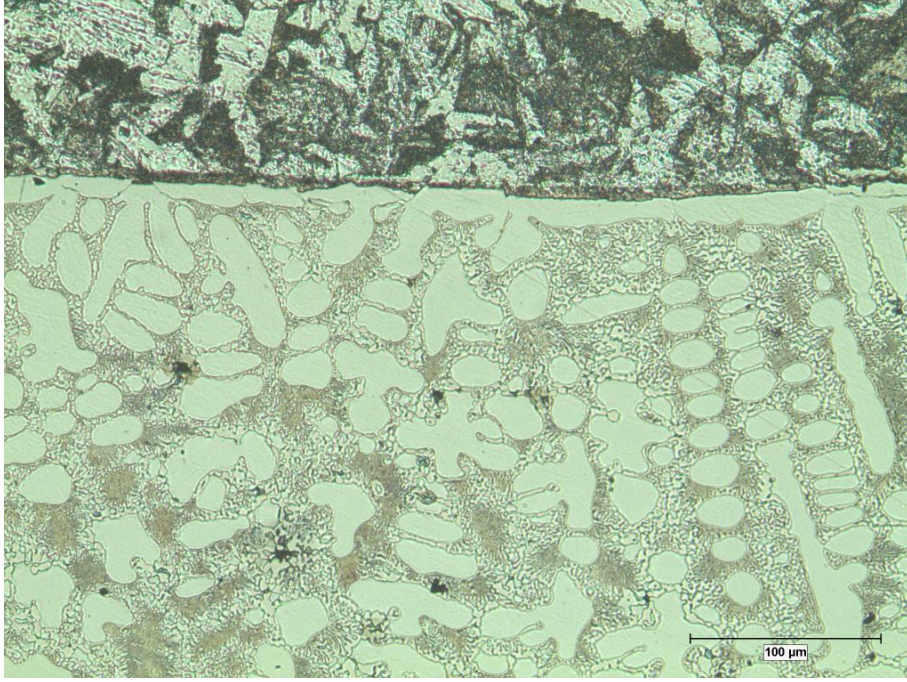


Şekil 5.28. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi



Şekil 5.29. Kesiti alınan 6 no'lu numunenin karbür morfolojisi

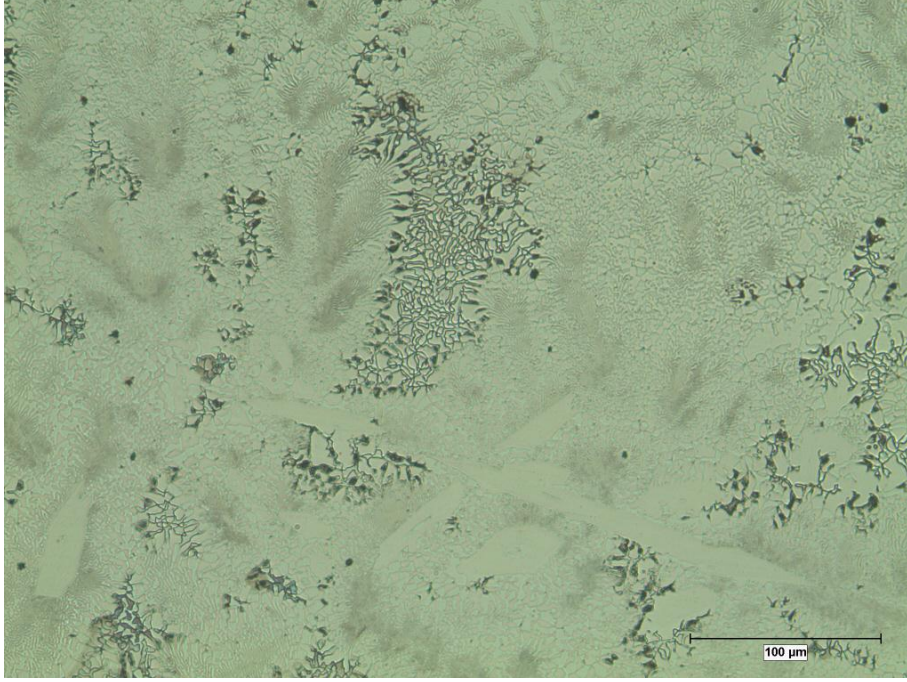
8 no'lu numune %30 FeB+%70 FeCr toz karışımı ilavesiyle elde edilmiş % 50 masif tel + %50 toz karışımı grubuna aittir. Şekil 5.30'da görüleceği gibi 5 ve 6 no'lu numunelerin geçiş bölgelerine kıyasla çok daha yoğun sert faz içeriğine sahip olan 8 no'lu numunede XRD analizi sonucu bir çeşit bor-demir karbürüne rastlanmıştır. Yüze doğru gidildikçe karbür yoğunluğunun arttığı (Şekil 5.31) ve hatta yüze yakın bölgede dendritler arası karbürlerin haricinde literatürde primer karbür olarak nitelendirilen eser miktarda poligonal yapılı karbürlere rastlanmıştır (Şekil 5.32). Genel itibariyle karbür morfolojisinin ağsı yapıda, yer yer taneseli olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.33).



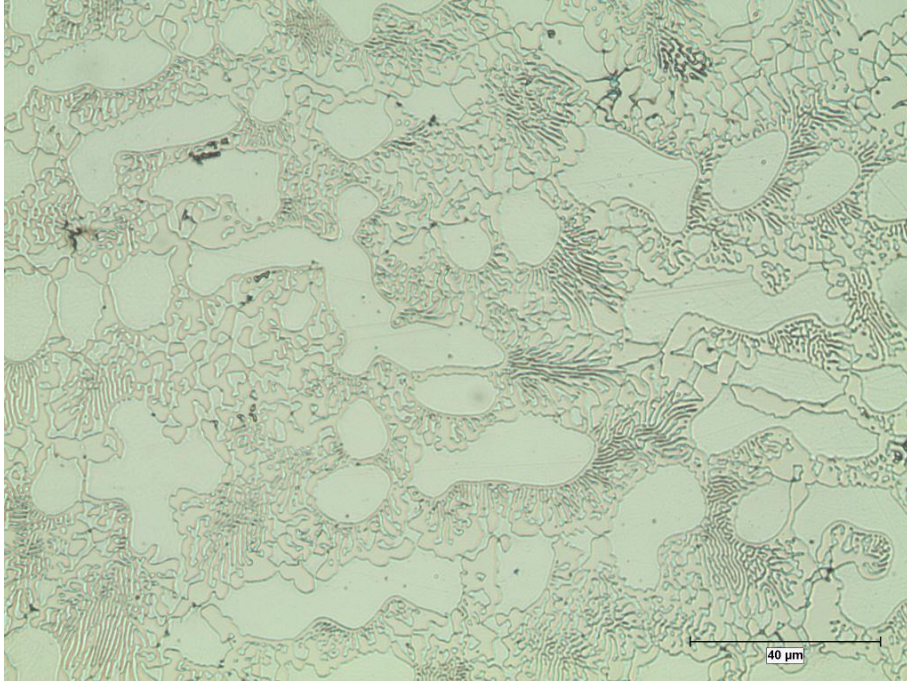
Şekil 5.30. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.31. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin iç bölgesi

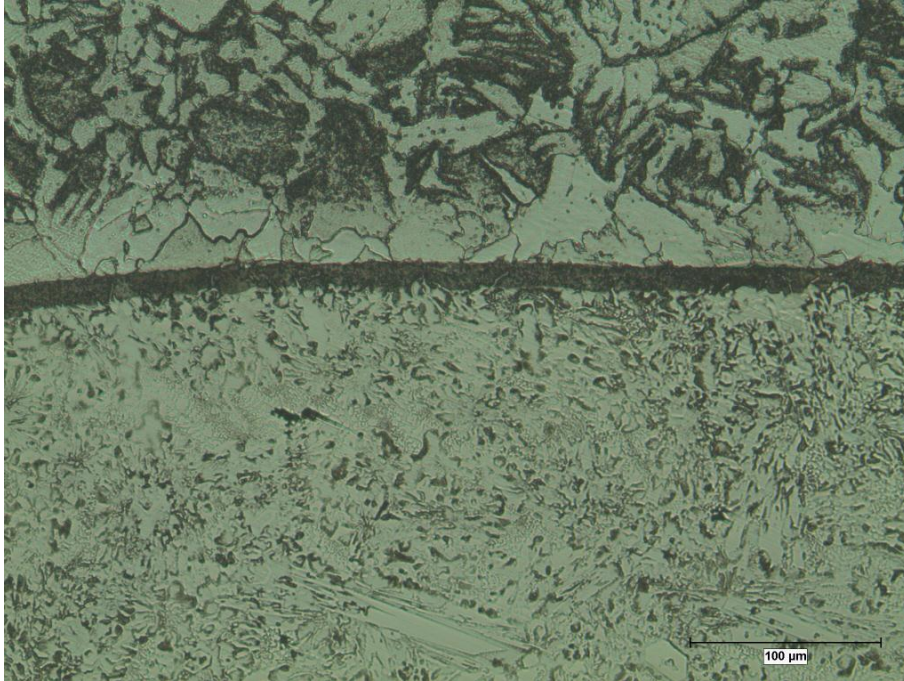


Şekil 5.32. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi

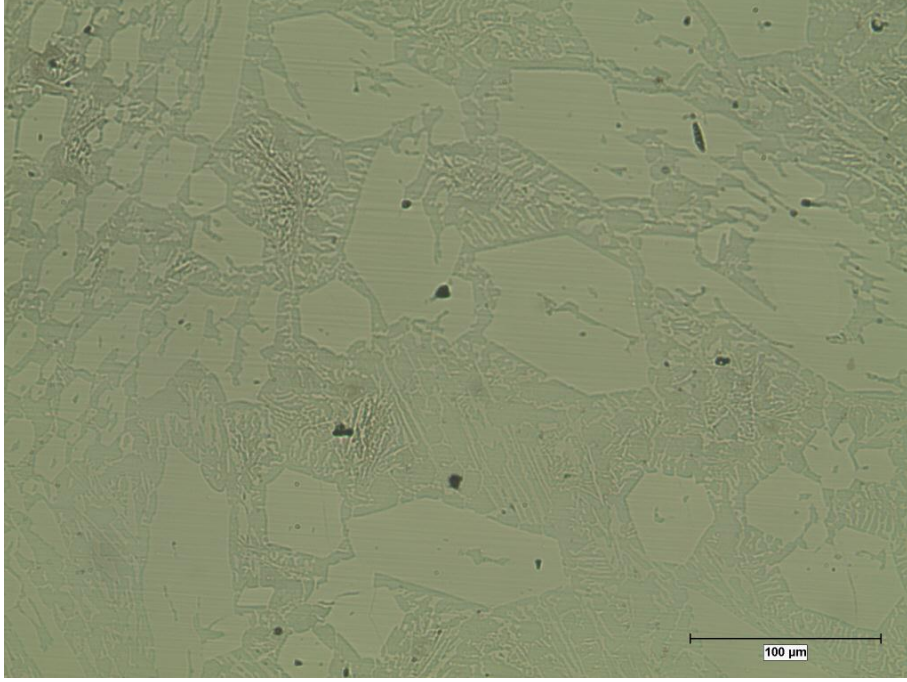


Şekil 5.33. Kesiti alınan 8 no'lu numunenin karbür morfolojisi

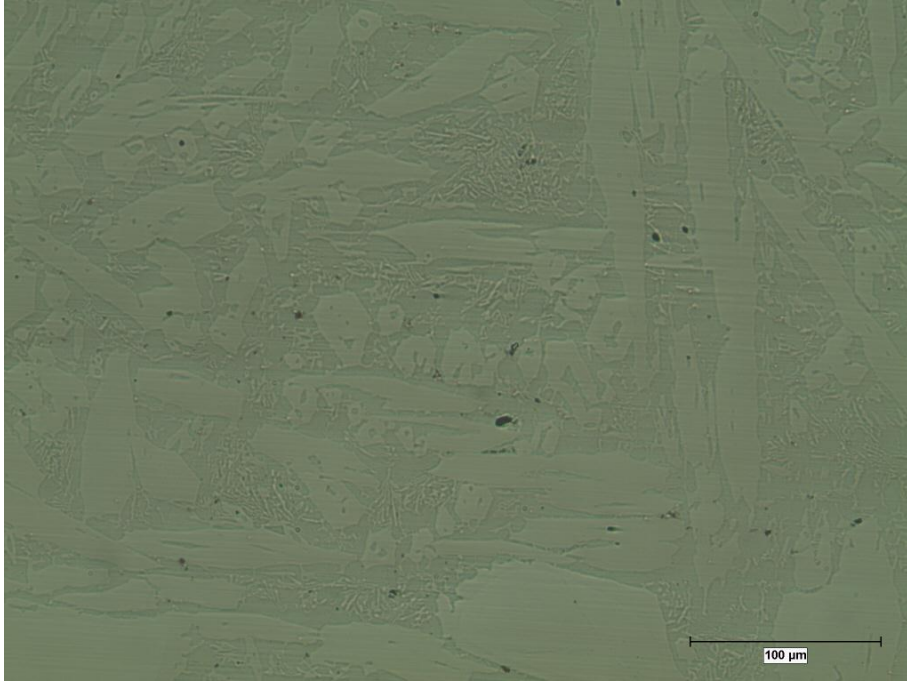
23 no'lu numune %30 masif tel+%70 toz karışımı grubuna ait olup %10 FeB+%90 FeCr toz karışımına sahiptir. Numunenin geçiş bölgesinin, sekonder karbürlerden meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5.34). Bu bölgedeki belirgin bir şekle sahip olmayan karbürler ince taneli ve homojen dağılımlıdır. Geçiş bölgesindeki sekonder karbürlerin olduğu yapı ile yüzey bölgesi arasında kalan alan ise karbür bölgesidir (Şekil 5.35). Kesiti alınan numunenin iç ve yüzeye yakın bölgesine bakılacak olursa poligonal morfolojiye sahip primer karbürlerin oluşmuş olduğu görülür (Şekil 5.36). Bunun yanı sıra primer karbürlerin dışında matrise yayılmış halde bulunan ince, iğnemi yapıda sekonder karbürlerin var olduğu görülmektedir (Şekil 5.37). Aynı toz karışımına sahip % 50 masif tel+ %50 toz kullanılan 6 no'lu numune ile kıyaslandığında %30 masif tel+%70 tel oranına sahip 23 no'lu numunenin karbür morfolojisinde önemli farklılıklar görülmüştür. Bunun sebebi, Cr miktarındaki artışın primer karbür oluşumuna destek olduğu şeklinde açıklanabilir. Bu açıklama literatürle desteklenecek olursa, Wang ve diğerleri çalışmalarında artan Cr içeriğinin ötektik noktayı sola kaydıracağını ve daha fazla krom karbür oluşacağını ileri sürmüştür [58].



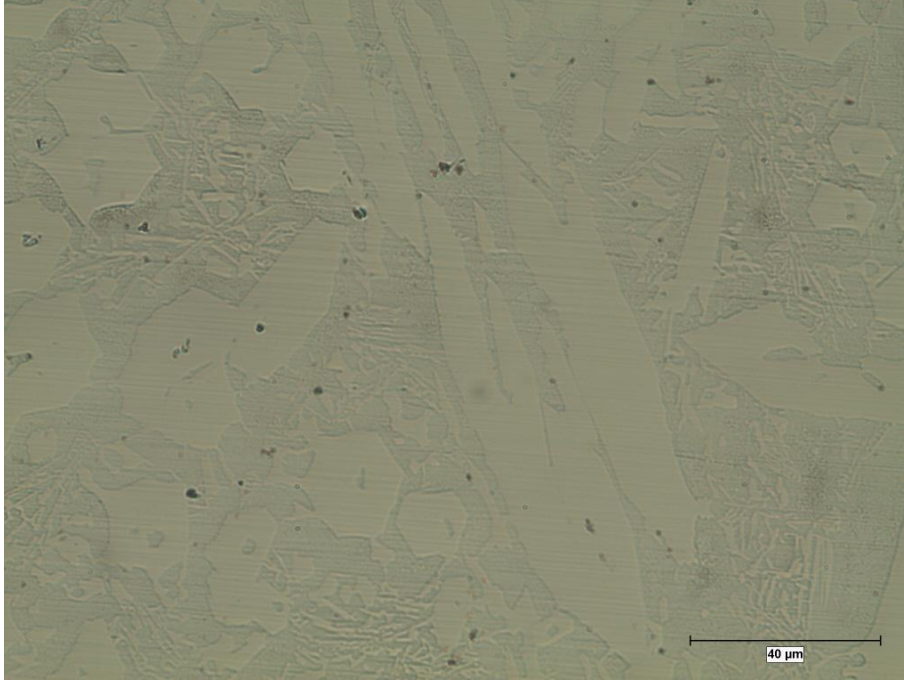
Şekil 5.34. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.35. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin iç bölgesi

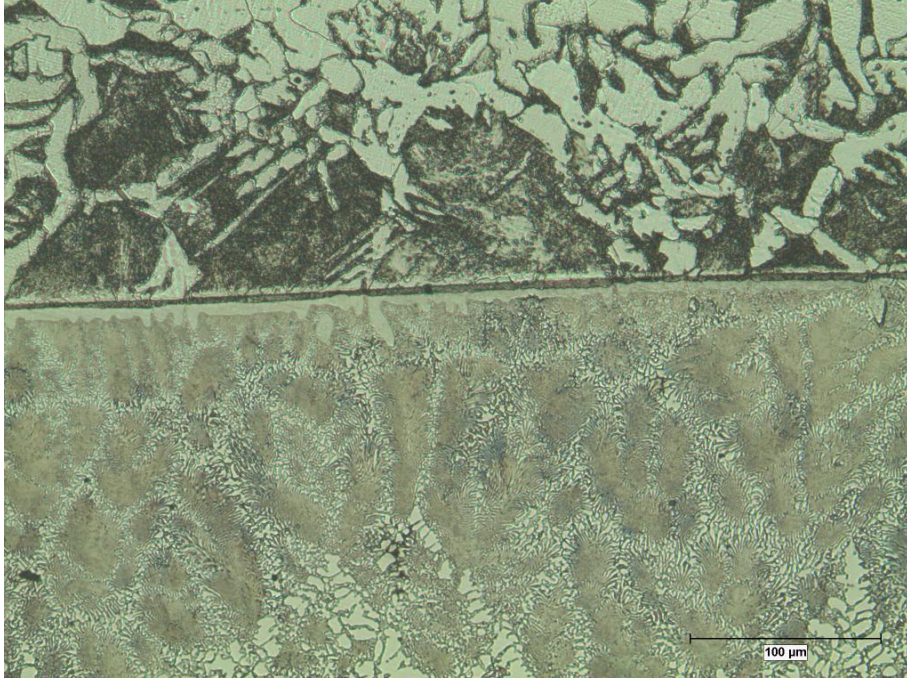


Şekil 5.36. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi

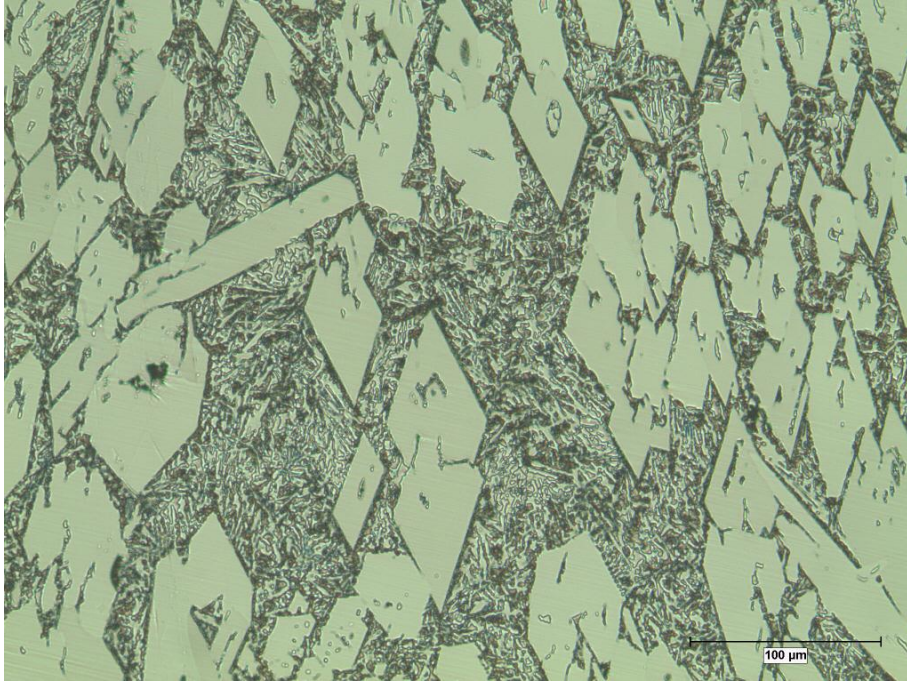


Şekil 5.37. Kesiti alınan 23 no'lu numunenin karbür morfolojisi

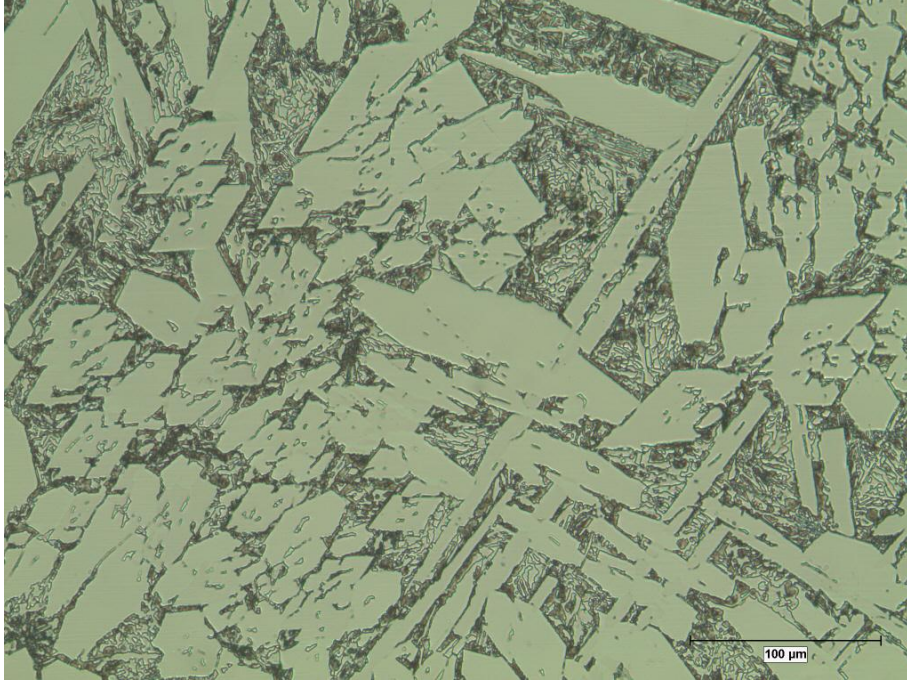
%30 masif tel+%70 toz karışımı grubuna dahil olan 25 no'lu numunenin toz karışımı %30 FeB+%70 FeCr şeklindedir. Numunenin geçiş bölgesinin iç ve yüzeye yakın bölgelerle kıyaslandığında farklı olarak ağısı morfolojide, homojen ve ince dağılmış yapıda sert fazlar olduğu Şekil 5.38'de görülmektedir. Geçiş bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe poligonal biçimdeki primer karbürlerin oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.39, Şekil 5.40). Bu durum aynı toz karışımında %50 masif tel+%50 toz oranıyla üretilen 8 no'lu numunenin XRD analizinden elde edilen sonuçlarla da uyumludur. Çünkü karbür morfolojisi incelenecek olursa poligonal yapılı primer karbürlerin haricinde dörtgen benzeri biçimlerde sert fazlar da yapıda bulunmaktadır (Şekil 5.39). Bu fazlar haricinde kesiti alınmış numunenin iç ve yüzeye yakın bölgelerinde matriste dağılmış sekonder karbürlerin oluştuğu da görülmektedir. Ayrıca yine 8 no'lu numune ile kıyaslanacak olursa karbürlerin hacimsel oranlarında ve boyutlarında artış, karbür morfolojisinde büyük oranda değişiklik olduğu görülmektedir (Şekil 5.41).



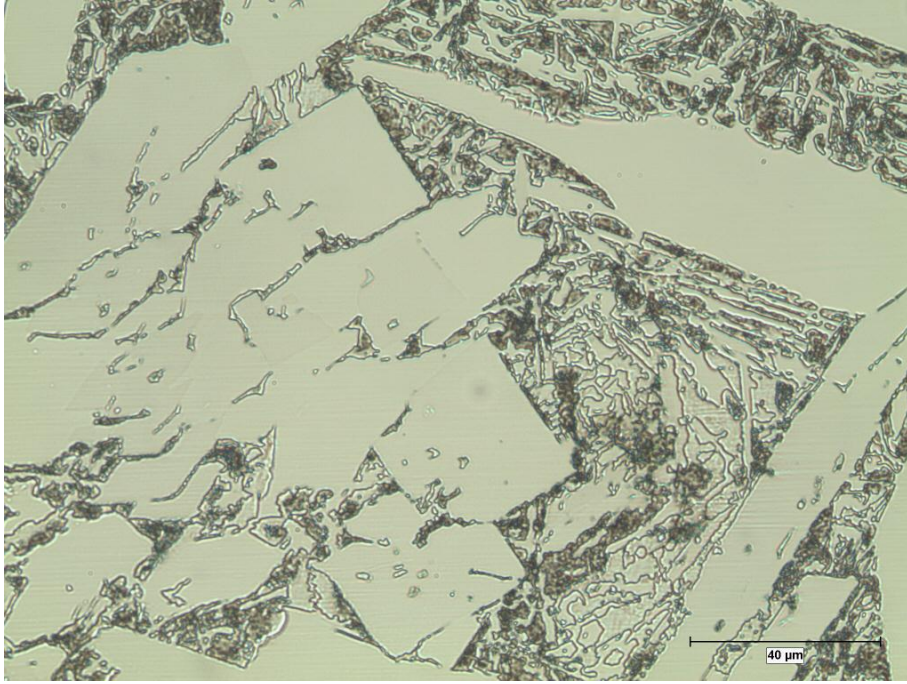
Şekil 5.38. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.39. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin iç bölgesi

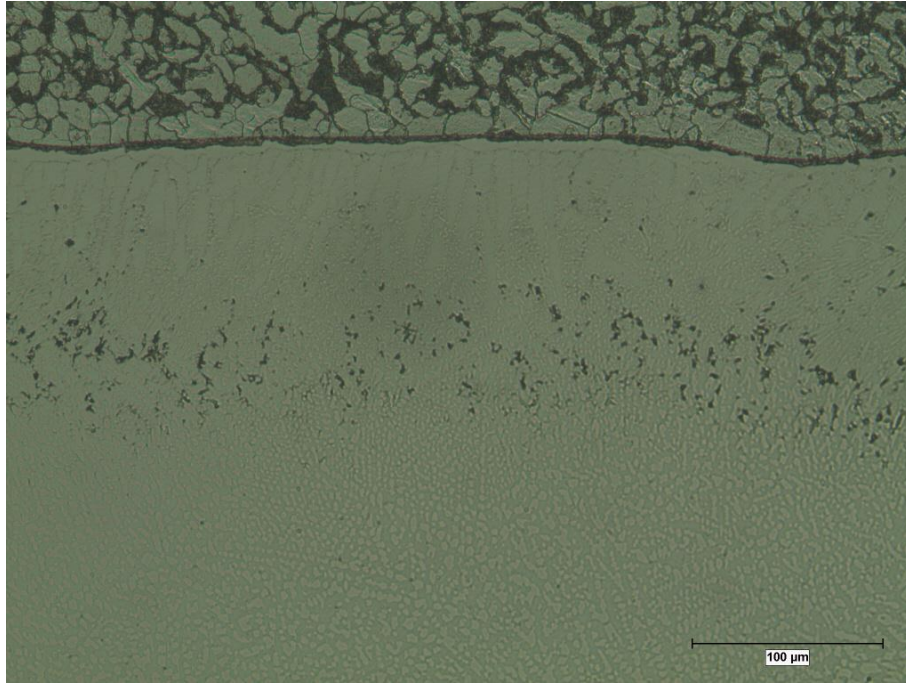


Şekil 5.40. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi

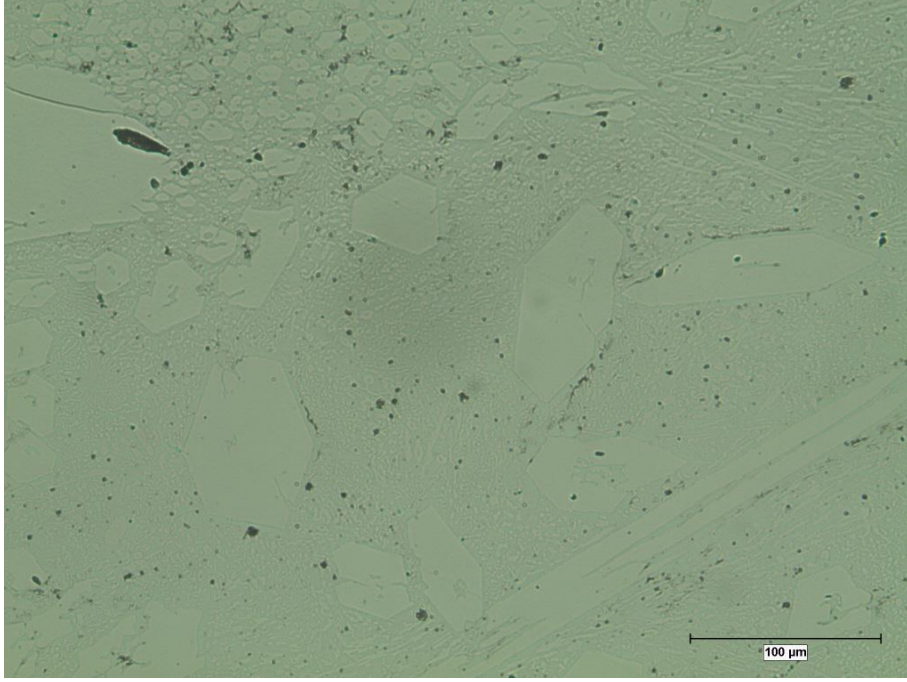


Şekil 5.41. Kesiti alınan 25 no'lu numunenin karbür morfolojisi

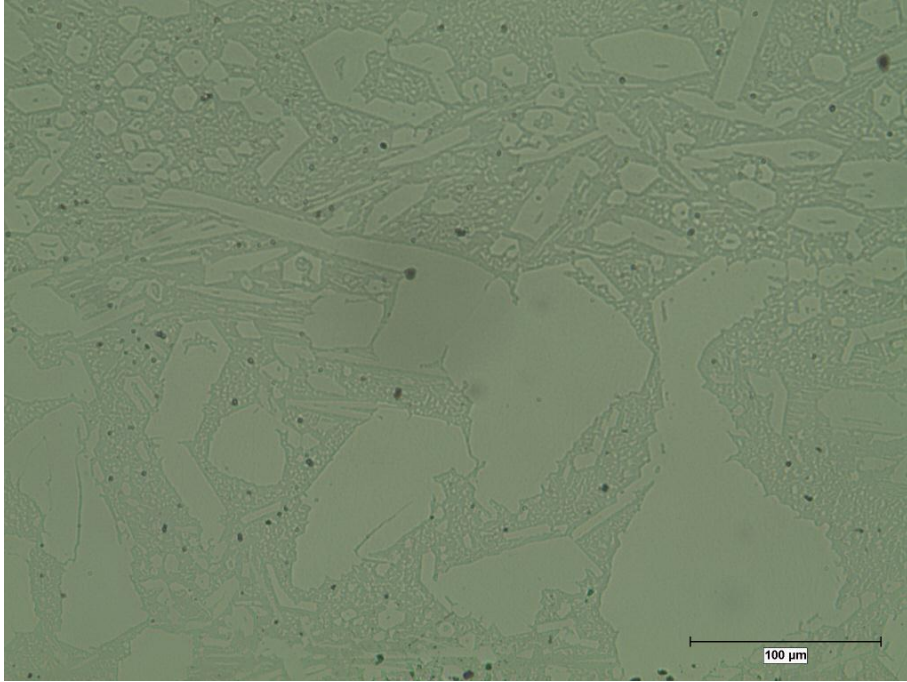
27 no'lu numune %30 masif tel+%70 toz grubuna ait olup ilave edilen toz %100 ferrokromdur. Şekil 5.42'de görüldüğü gibi numunenin geçiş bölgesi ince dağılmış karbürlerden oluşan bir yapı görülmektedir. Aynı toz ilavesine sahip %50 masif tel+%50 toz grubundaki 5 no'lu numunenin geçiş bölgesinde ise matris fazının dendrit kolları ve dendritler arası Cr_7C_3 karbürleri mevcuttur. 5 no'lu numunenin XRD analizinden yola çıkarak karbür morfolojisindeki farklılıklara rağmen 27 no'lu numunenin de M_7C_3 tipi karbürlere sahip olduğu düşünülmektedir. 27 no'lu numunede geçiş bölgesine kıyasla iç (Şekil 5.43) ve yüzeye yakın bölgedeki (Şekil 5.44) karbürlerin çok daha iri olduğu görülebilmektedir. Bu bölgelerde poligonal yapılı primer karbürlerin haricinde matris fazında sekonder karbürler de tespit edilmiştir (Şekil 5.45). 5 no'lu numunede hiç poligonal biçimde primer karbüre rastlanmadığı göz önüne alınacak olursa, %30 masif tel+%70 toz oranıyla artan ferrokrom miktarının primer karbür oluşumunu etkilediği tespit edilmiştir.



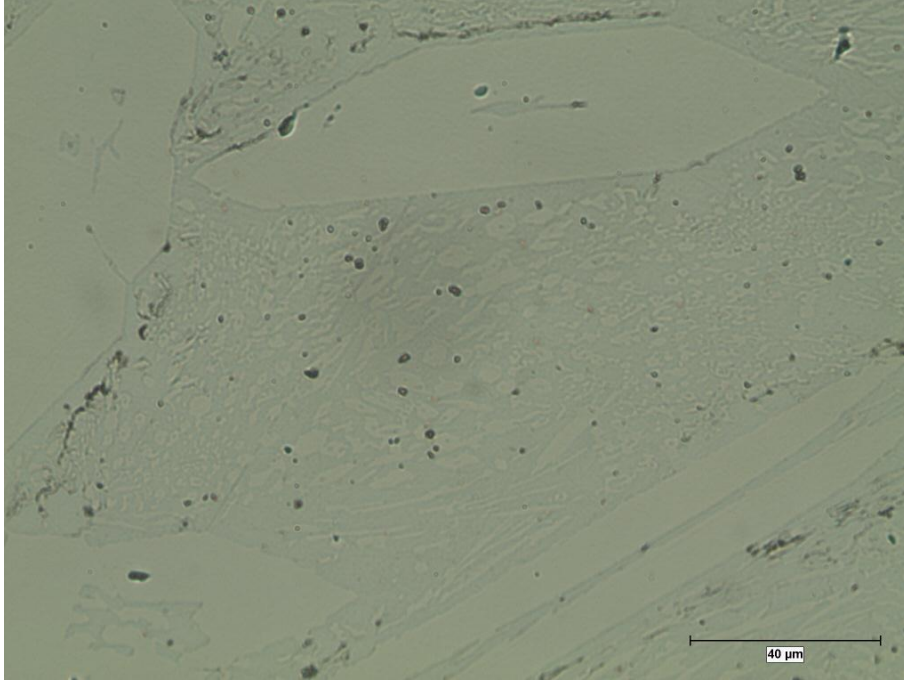
Şekil 5.42. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin geçiş bölgesi



Şekil 5.43. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin iç bölgesi



Şekil 5.44. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin yüzeye yakın bölgesi



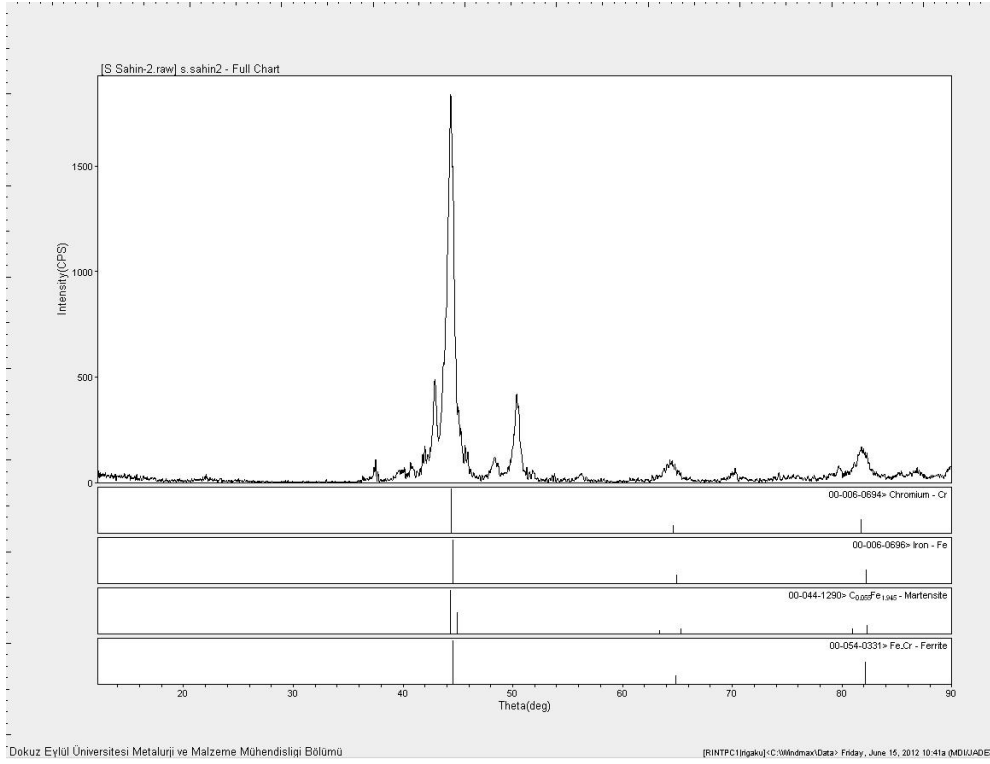
Şekil 5.45. Kesiti alınan 27 no'lu numunenin karbür morfolojisi

5.3. XRD Analizleri

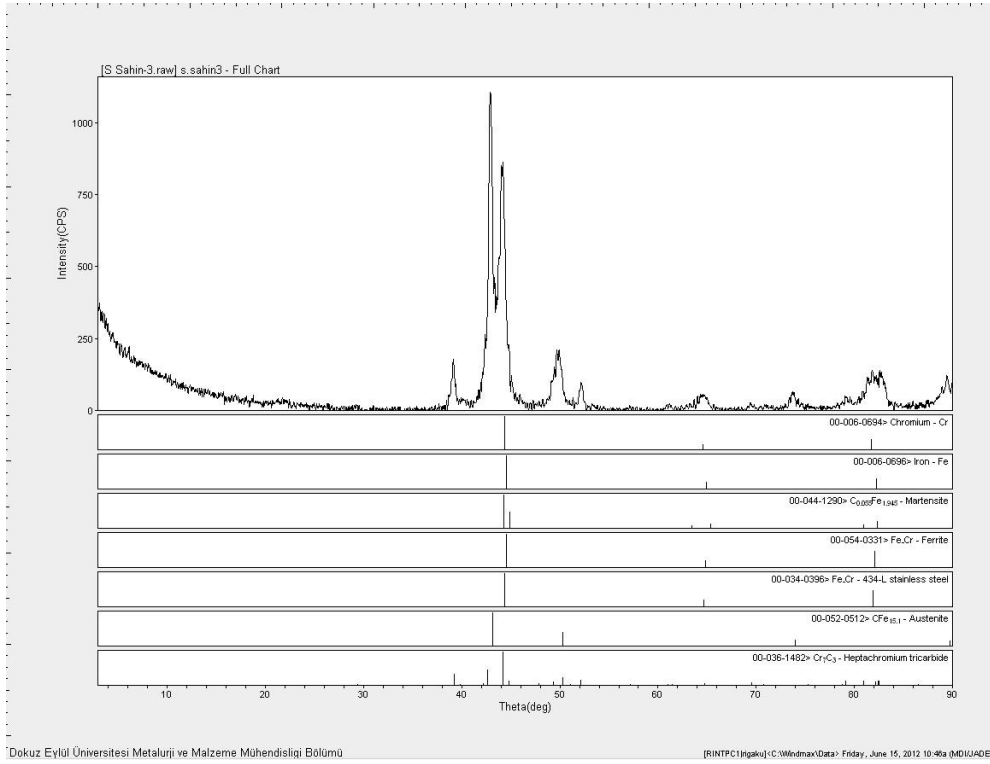
XRD analizleri RIGAKU D-Max 2200 PC markalı X- ışını difraktometre cihazı kullanılarak Cu-K α ışınımıyla elde edilmiştir. Numuneler 4 °/dakika hızla taranmıştır.

Bor içerikli özlü telle kaplanan numunede analiz sonucunda karbür ya da borür bileşikleri tespit edilememiştir (Şekil 5.46). Fakat mikro yapısal analizleri, EDX analizleri dikkate alındığında ve diğer numunelerle kıyaslandığında krom, demir, karbon ve borun bileşiklerini barındırabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte numunenin XRD analizine göre muhtemel matris fazının ferrit, martenzit içerdiği düşünülmektedir.

3 no'lu numunenin XRD analizi incelenecek olursa, yapıda Cr₇C₃ karbürlerinin olduğu görülür. Matris fazının ise ferrit, östenit ve martenzitten oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.47). Ayrıca matristeki yüksek krom oranından kaynaklandığı düşünülen 434-L paslanmaz çeliğe ait piklere rastlanmıştır.



Şekil 5.46. 2 no'lu numunenin XRD analizi

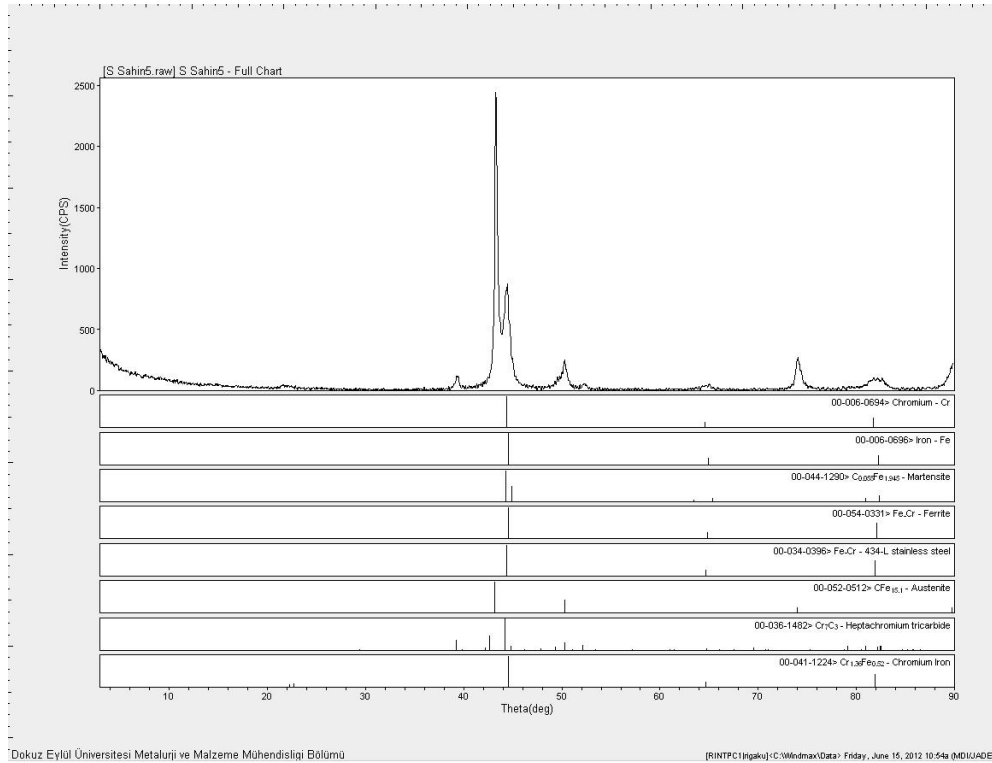


Şekil 5.47. 3 no'lu numunenin XRD analizi

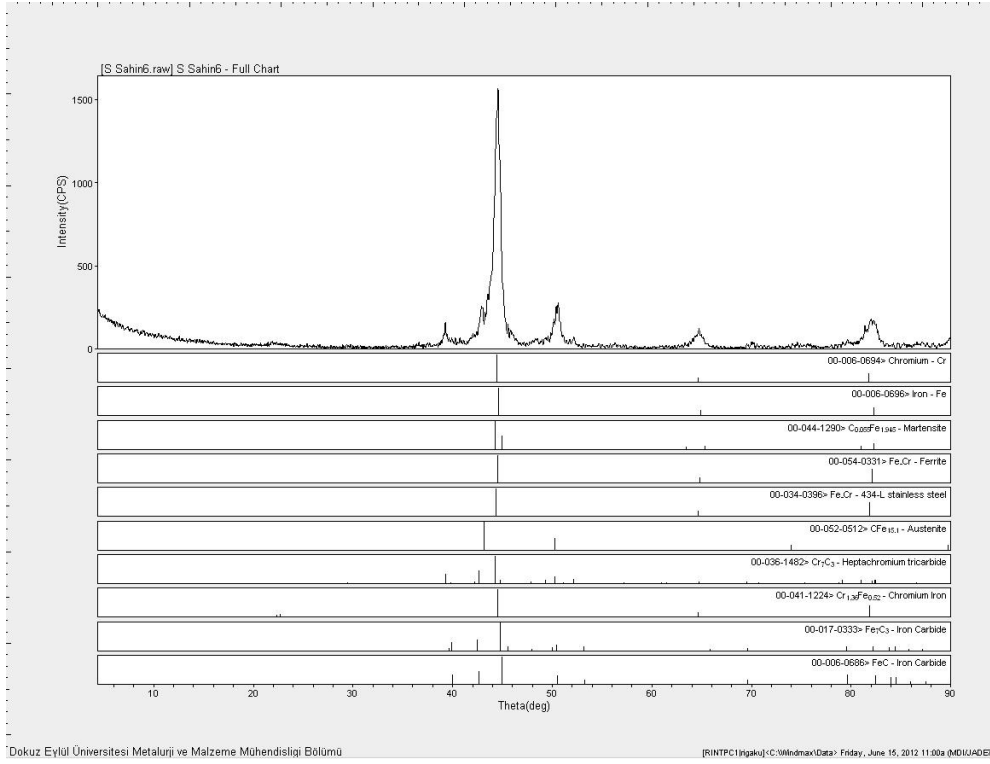
5 no'lu numunenin de 3 no'lu numuneye benzer şekilde Cr_7C_3 karbürü barındırdığı ve matris fazının 434-L paslanmaz çelik içerdiği analiz sonucunda tespit edilmiştir. Matris fazının ayrıca ferrit, östenit ve martenzit içerdiği belirlenmiştir (Şekil 5.48).

6 no'lu numunenin XDR analizi sonucunda Cr_7C_3 karbürleri haricinde farklı türde demir karbürler (Fe_7C_3 , FeC) içerdiği belirlenmiştir (Şekil 5.49). Matris fazı ferrit, östenit ve martenzitten oluşmaktadır ve ayrıca 434-L paslanmaz çeliğe ait pikler vermektedir. %10 FeB+%90 FeCr toz takviyesine sahip (%50 masif tel+%50 toz) numunede beklendiği gibi bor bileşikleri gözlemlenememiştir.

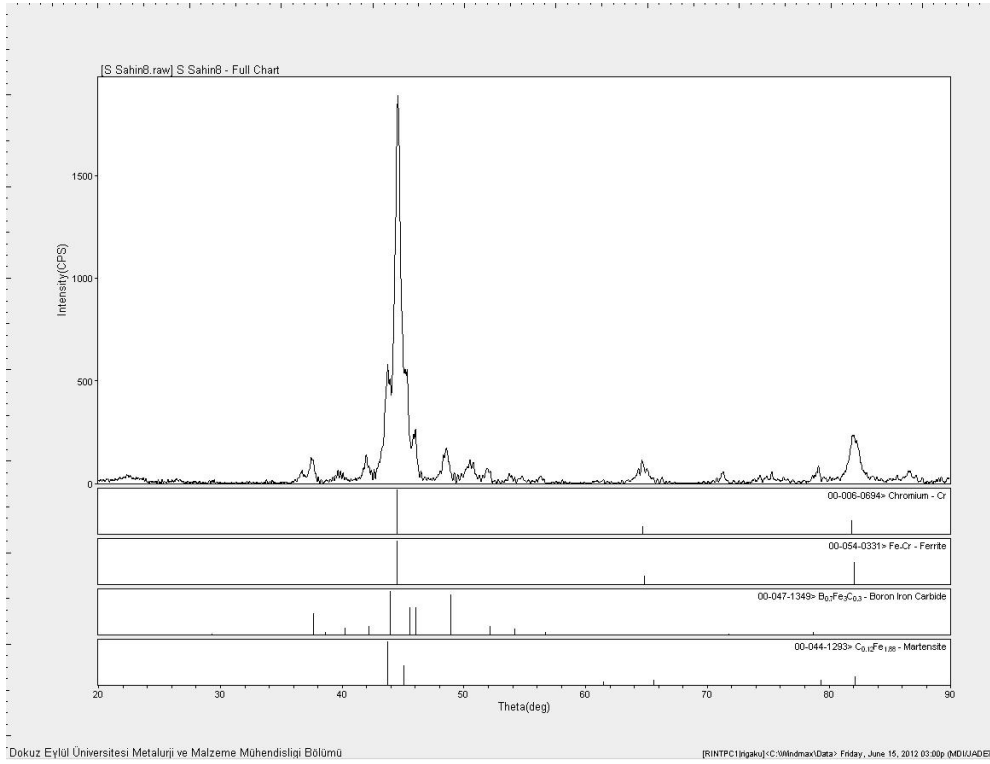
8 no'lu numunede diğerlerinden farklı olarak bor-demir karbür ($\text{B}_{0,7}\text{Fe}_3\text{C}_{0,3}$) bileşiğine rastlanmıştır. Bu durumun artan bor içeriğine bağlı olduğu düşünülmektedir. Matris fazının ferrit ve martenzitten meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 5.50).



Şekil 5.48. 5 no'lu numunenin XRD analizi



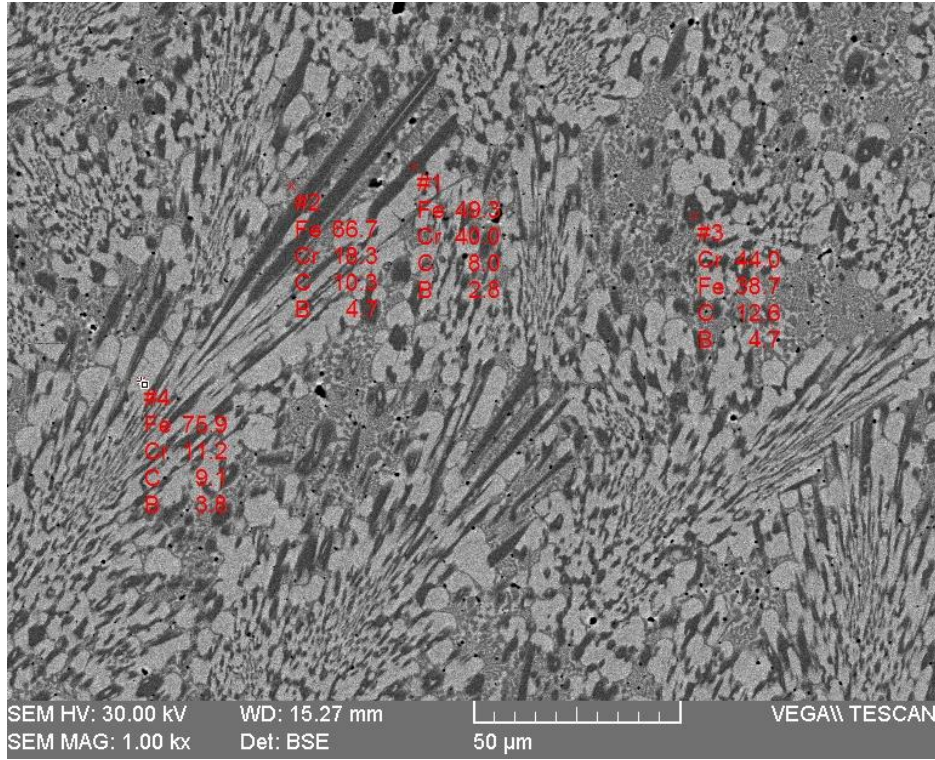
Şekil 5.49. 6 no'lu numunenin XRD analizi



Şekil 5.50. 8 no'lu numunenin XRD analizi

5.4. EDX analizleri

2 no'lu numunenin SEM görüntülerinde optik mikroskop görüntülerinde açıkça gözlenemeyen ve küçük boyutlarda poligonal yapılı sert fazlara rastlanmıştır. XRD analizleri sonucunda herhangi bir karbür fazı tespit edilememesine rağmen, bu fazın EDX analizine göre %40 Cr içerdiği tespit edilmiştir ve muhtemelen karbür bileşikleri olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.51'de görüldüğü gibi 2 no'lu numunede üç farklı yapı göze çarpmaktadır. Birinci faz karbür ya da borür olabileceği düşünülen koyu renkli, krom içeriği yüksek olan fazlardır. Sert faz olduğu düşünülen koyu renkli iki farklı yapıda yapılan analizde #1 olarak işaretlenmiş olanın bor içeriği %2,8 olarak ölçülmüşken #3 olarak işaretlenmiş olan yapıda bor içeriği %4,7 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla yapıda oluşan sert fazların farklı formlardaki karbür ve borürlerden oluştuğu düşünülmektedir. İkinci faz açık renkli olup krom içeriği nispeten çok daha düşük matris fazıdır. Üçüncü faz ise gri renkte morfolojisi belirgin olmayan ve koyu renkli fazlar arasında ağ gibi yayılmış fazlardır (Çizelge 5.9). En yüksek sertlik değerine sahip 2 no'lu numunenin bu özelliğini karbür olduğu düşünülen koyu renkli fazlar ve bu fazların arasındaki ağı, karbon ve bor içeriği nispeten yüksek olan fazlara bağlı olduğu düşünülmektedir.

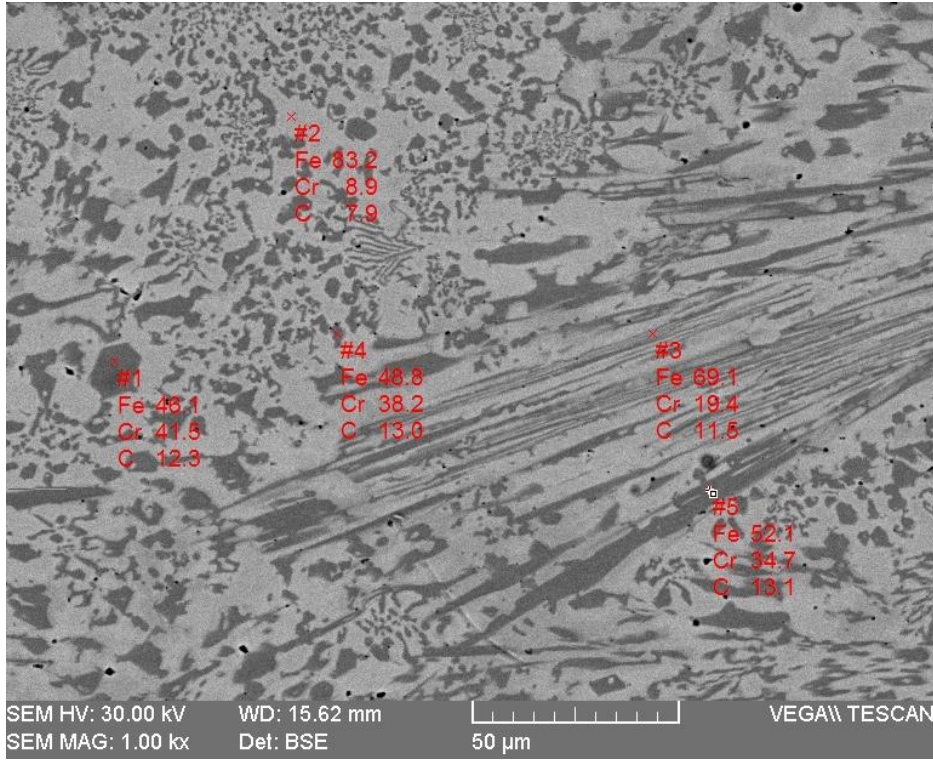


Şekil 5.51. Kesiti alınan 2 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.9. 2 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C	%B
1	49,3	40	8	2,8
2	66,7	18,3	10,3	4,7
3	38,7	44	12,6	4,7
4	75,9	11,2	9,1	3,8

3 no'lu numunenin EDX analizi ile XRD analizinin uyum içerisinde olduğu söylenebilir. XRD analizine göre numune Cr_7C_3 tipi krom karbür içermektedir. Şekil 5.52'ye bakılacak olursa #1 işaretine sahip poligonal yapıli karbür fazının sahip olduğu krom içeriğinin %41,5 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu fazın Cr_7C_3 karbürü olduğu söylenebilir. #4 olarak işaretlenmiş fazın da yine krom içeriğine bakılarak karbür olduğu söylenebilir. Matris fazında % 8,9 olarak belirlenen krom içeriği, XRD sonuçlarında da belirlenen 434-L paslanmaz çeliğinin yapıda kısmen varlığını desteklemektedir (Çizelge 5.10).

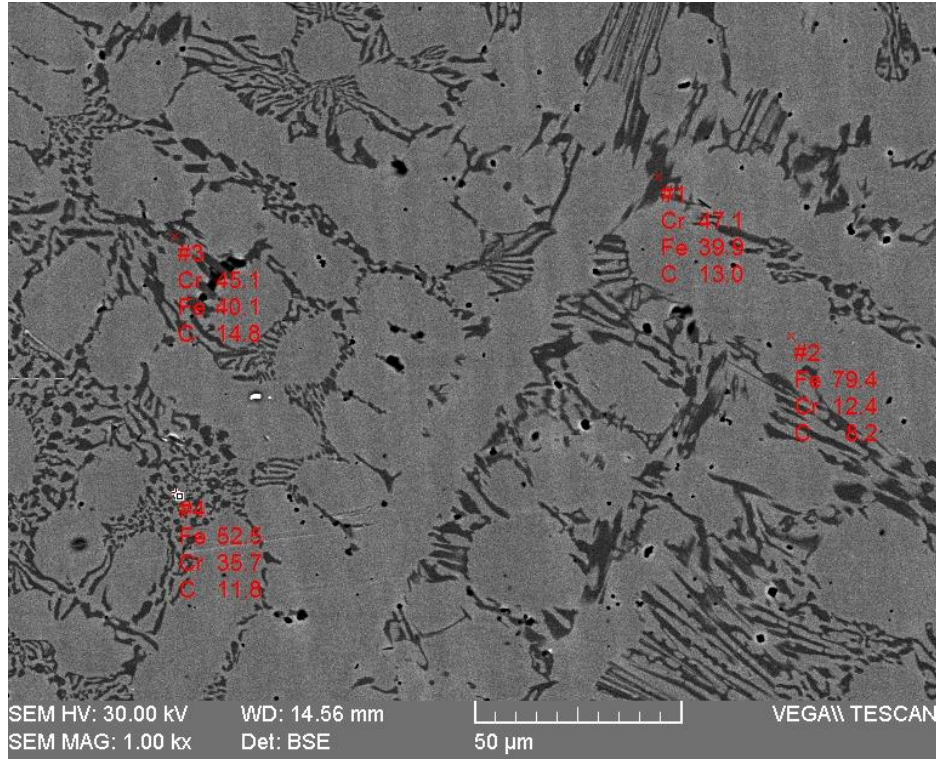


Şekil 5.52. Kesiti alınan 3 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.10. 3 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C
1	46,1	41,5	12,3
2	83,2	8,9	7,9
3	69,1	19,4	11,5
4	48,8	38,2	13
5	52,1	34,7	13,1

XRD sonuçlarına göre 5 no'lu numunenin de benzer şekilde Cr_7C_3 karbürüne sahip yapıda olduğu tespit edilmiş olup, EDX analizlerindeki krom içeriğiyle de örtüşmektedir. Buna göre #1 ve #3 ile işaretlenmiş karbür fazlarındaki krom oranı %45'in üzerindedir (Çizelge 5.11). Bu beklenen bir sonuçtur çünkü numune masif tele %100 ferrokrom ilavesiyle (%50 masif tel+%50 toz) üretilmiştir. #2 ile gösterilen matris fazında ise karbon ve krom miktarı XRD sonuçlarında ortaya çıkan 434-L paslanamaz çelik, ferrit, östenit ve martenzit fazlarının varlığını desteklemektedir (Şekil 5.53).

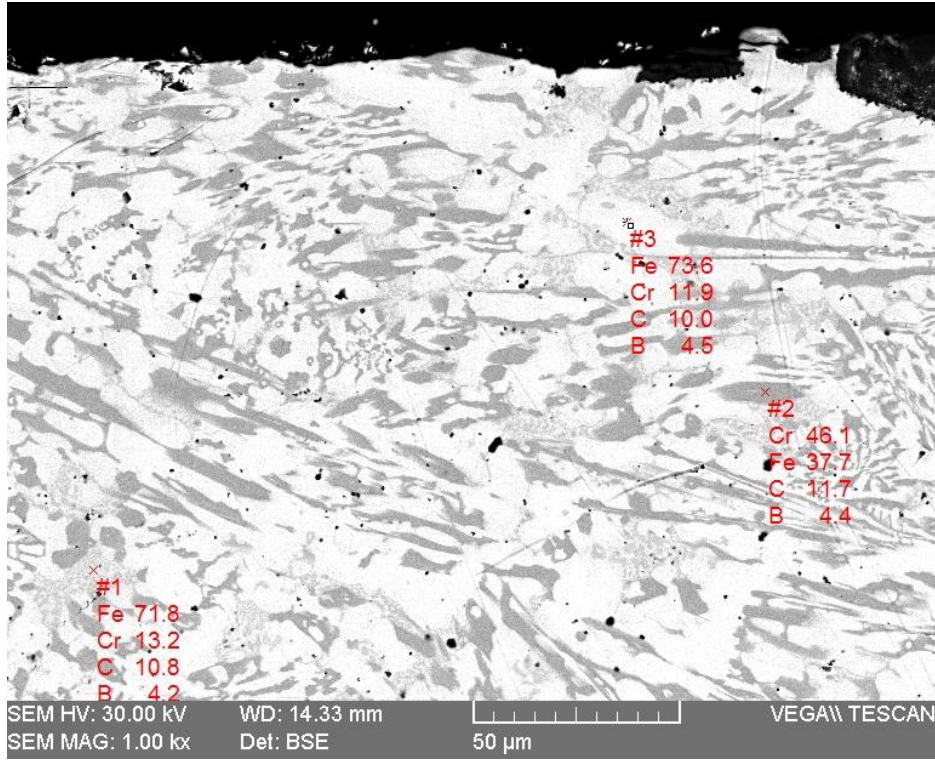


Şekil 5.53. Kesiti alınan 5 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.11. 5 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C
1	39,9	47,1	13
2	79,4	12,4	8,2
3	40,1	45,1	14,8
4	52,5	35,7	11,8

6 no'lu numunenin EDX analizinde krom oranı %45'in üzerinde olan faz tespit edilmiştir. XRD bulguları bu sonucu destekler niteliktedir. Çünkü XRD analizine göre Cr_7C_3 (koyu faz) karbürleri tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra matris içerisinde çok daha ince dağılmış açık gri görünümde sert fazların bulunduğu ve bunların düşük krom içeriğinden dolayı bor bileşikleri olabileceği düşünülmektedir (Şekil 5.54). Karbon ve bor oranının tüm yapıda hemen hemen aynı kaldığı görüldüğü gibi matris fazının krom oranında düşüş gözlenmiştir (Çizelge 5.12).

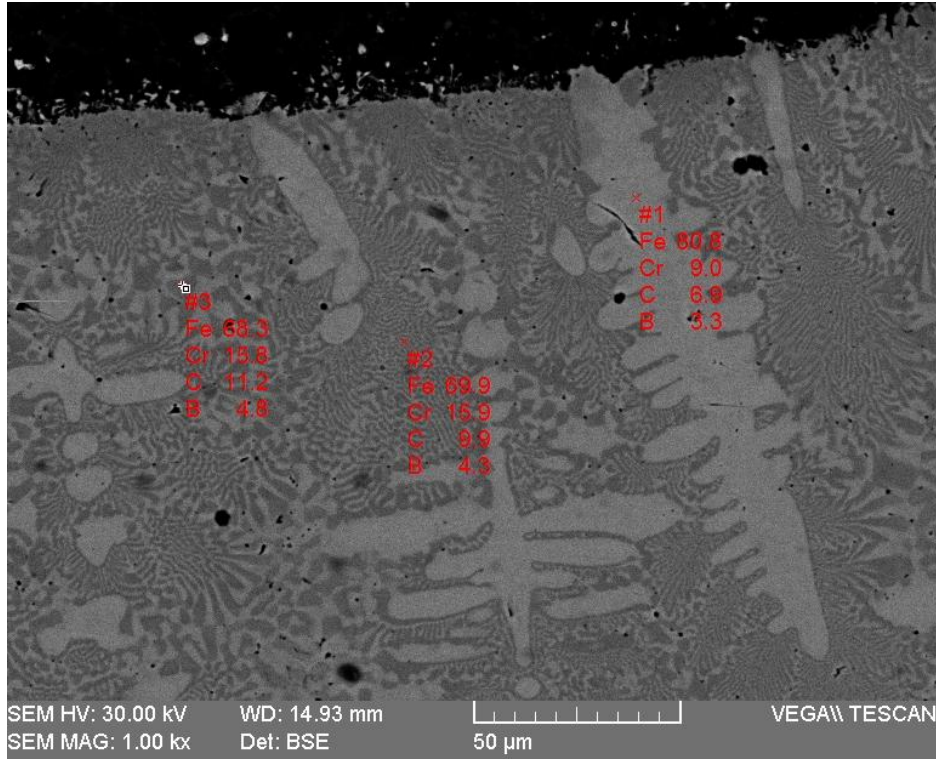


Şekil 5.54. Kesiti alınan 6 nolu numunenin yüzeye yakın bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.12. 6 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C	%B
1	71,8	13,2	10,8	4,2
2	37,7	46,1	11,7	4,4
3	73,6	11,9	10	4,5

8 no'lu numunenin EDX analizlerine bakılacak olursa, yapının poligonal morfolojide fazlar içermediği görülmektedir (Şekil 5.55). SEM görüntüsü üzerinde işaretli fazların Çizelge 5.13'teki krom içeriklerine bakılacak olursa yapıda krom karbür oluşmadığı anlaşılabilir. Bu durum XRD analiziyle de desteklenmiştir. Yapıda krom karbür fazı yerine bor-demir karbüre ($B_{0,7}Fe_3C_{0,3}$) rastlanmıştır. Dendritler arası ağ yapıdaki fazların $B_{0,7}Fe_3C_{0,3}$ olduğu düşünülmektedir. 6 no'lu numune ile kıyaslanacak olursa toz karışımındaki bor oranının %10'dan %30'a çıkmasıyla bor bileşiklerinin oluştuğu gözlenmiştir. Krom, karbon ve bor oranı matriste düşüş sergilemiştir.

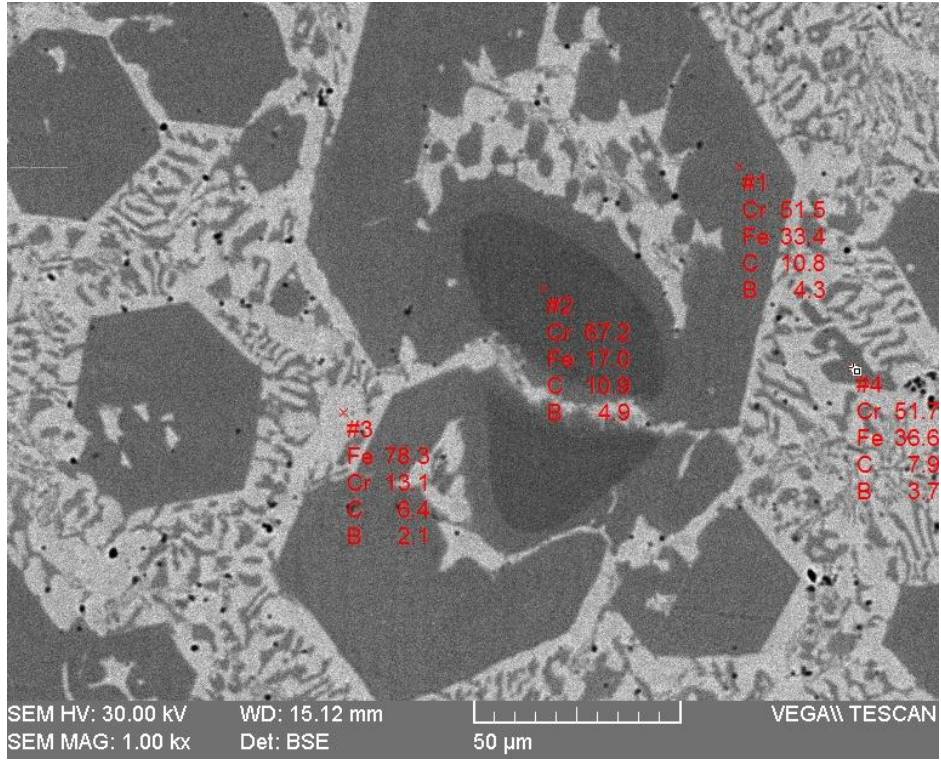


Şekil 5.55. Kesiti alınan 8 nolu numunenin yüzeye yakın bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.13. 8 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C	%B
1	80,8	9	6,9	3,3
2	69,9	15,9	9,9	4,3
3	68,3	15,8	11,2	4,8

23 no'lu numune %10 FeB+%90 FeCr toz karışımına sahiptir (%30 masif tel+%70 toz) ve aynı toz karışımına sahip %50 masif tel+%50 toz oranıyla üretilen 6 no'lu numuneden farklı olarak krom içeriği daha yüksek karbürler içermektedir (Çizelge 5.14). Şekil 5.56'da görüldüğü gibi yapıda farklı krom oranlarına sahip iç içe geçmiş karbürlerin olduğu gözlenmektedir. Bu karbürlerin M_7C_3 tipi karbür fazı olabileceği öngörülmektedir. Fan ve diğerlerinin [37] çalışmasındaki bulgulara dayanarak koyu renkli fazın M_7C_3 tipi karbür, onu çevreleyen daha açık renk tonuna sahip fazın da $M_{23}C_6$ tipi karbür olabileceği düşünülmektedir. Matriste krom ve bor oranının düştüğü görülmektedir.

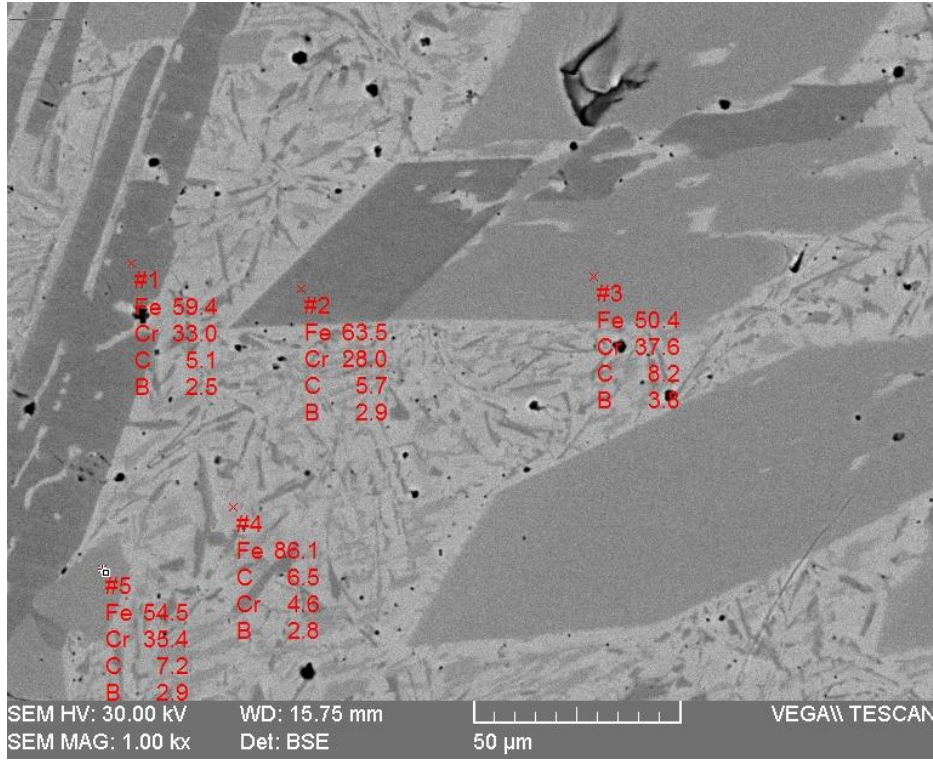


Şekil 5.56. Kesiti alınan 23 nolu numunenin yüzeye yakın kısmından alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.14. 23 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C	% B
1	33,4	51,5	10,8	4,3
2	17	67,2	10,9	4,9
3	78,3	13,1	6,4	2,1
4	36,6	51,7	7,9	3,7

Şekil 5.57’de fazlarının EDX analizi verilen 25 no’lu numunenin, %30 FeB+%70 FeCr toz karışımı takviyesiyle (%30 masif tel+%70 toz) üretildiğinden, aynı toz karışımına sahip 8 no’lu numuneye benzer şekilde bor-demir karbürlerine sahip olabileceği düşünülmektedir. Özellikle matris haricinde #2 işaretiyle gösterilen, Cr oranı nispeten düşük olan fazın bor-demir karbür fazı olabileceği öngörülmektedir (Çizelge 5.15). # 1, #2, #3 ve #5 işaretlerindeki fazların krom, bor içerikleri ve morfolojileri göz önüne alındığında bu yapıların karbür ve borür bileşikleri olduğu düşünülmektedir.

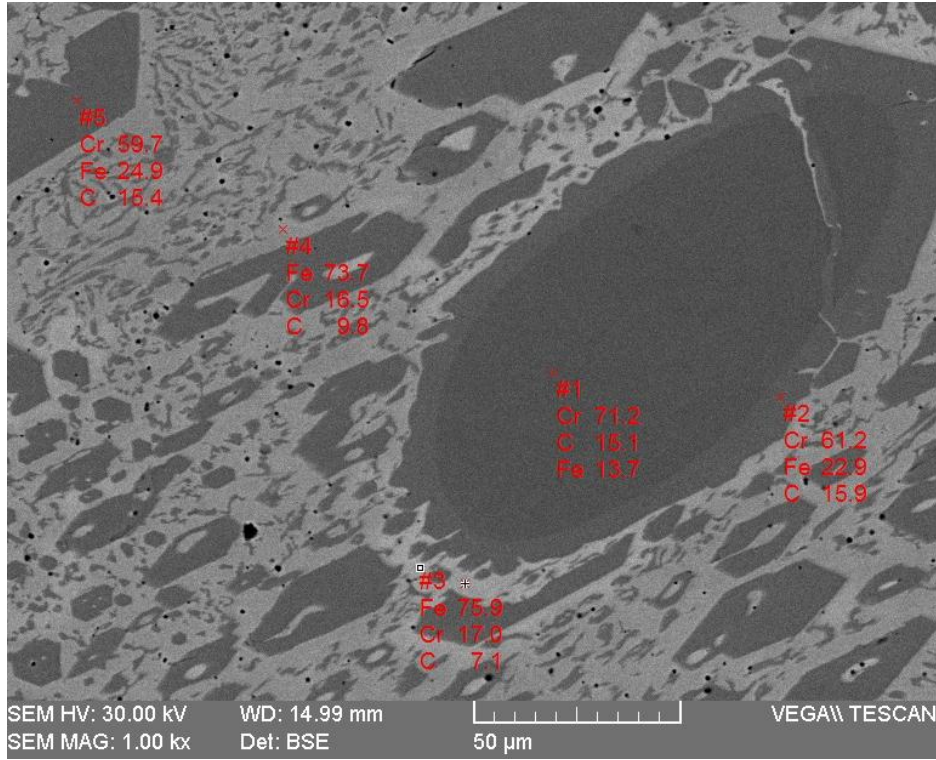


Şekil 5.57. Kesiti alınan 25 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.15. 25 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	%Cr	%C	% B
1	59,4	33	5,1	2,5
2	63,5	28	5,7	2,9
3	50,4	37,6	8,2	3,6
4	86,1	4,6	6,5	2,8
5	54,5	35,4	7,2	2,9

27 no'lu numune içerdiği toz ilavesi bakımından 5 no'lu numune ile aynıdır. Fakat tel-toz oranı %30 masif tel+%70 toz (FeCr) olacak şekildedir. 5 no'lu numune ile kıyaslanırsa, toz ilavesindeki artışın karbürlerin krom oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.58'de görüldüğü gibi, üç farklı faz olduğu görülebilir. Bunlardan biri matrisi oluşturur. Diğerleri ise yüksek krom içeriğine sahip karbürlerdir ve yer yer iç içe geçmiş halde oldukları görülmektedir. 23 no'lu numuneye benzer şekilde, iç içe geçmiş farklı renk tonlarına sahip bu karbürler M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ fazları olabilir. Numunenin Çizelge 5.16'da görülen yüksek krom miktarının M_7C_3 haricinde farklı bir karbür de oluşturabileceği düşünülmektedir. Matris fazındaki krom oranının yapıda paslanmaz çelik formunu oluşturduğu düşünülmektedir.



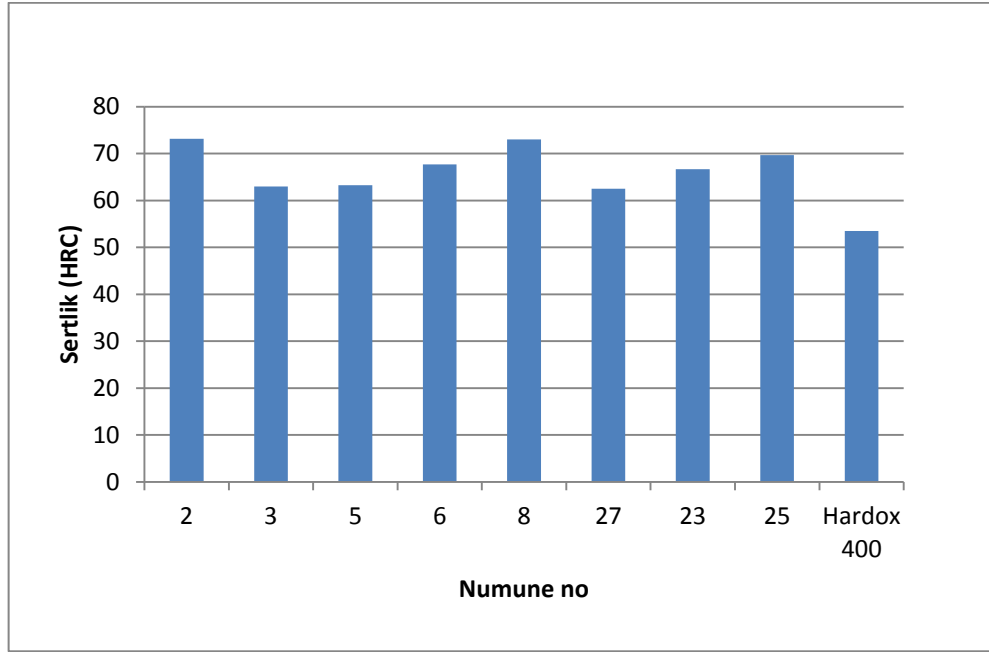
Şekil 5.58. Kesiti alınan 27 nolu numunenin iç bölgesinden alınan SEM görüntüsü

Çizelge 5.16. 27 nolu numunenin SEM görüntüsünden alınan EDX analizi

Analiz bölgesi	% Fe	% Cr	% C
1	13,7	71,2	15,1
2	22,9	61,2	15,9
3	75,9	17	7,1
4	73,7	16,5	9,8
5	24,9	59,7	15,4

5.5. Sertlik Testi

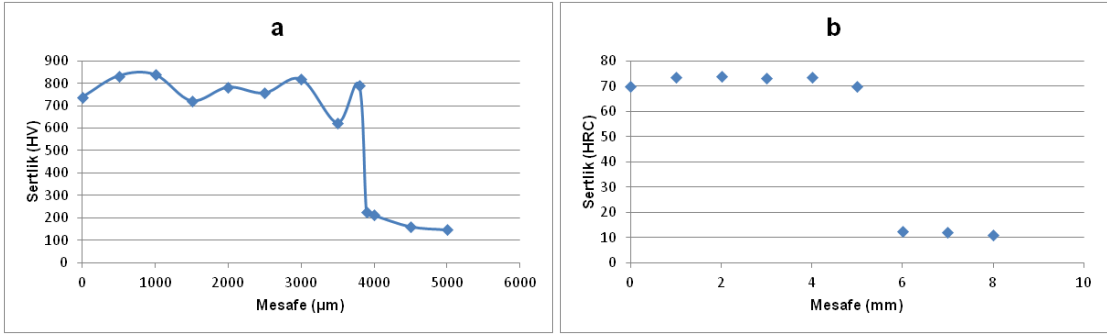
Parlatılmış haldeki numunelerden kesit boyunca mikro sertlik ölçümleri Future-Tech FM-700 marka mikro sertlik ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. Sertlik değerleri 100 g-kuvvet yükün 10 saniye boyunca uygulanmasıyla elde edilmiştir. Makro sertlik ölçümleri ise BMS 200 RB marka cihazda 100 kg-kuvvet yük altında gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri Rockwell-C yöntemiyle hem malzemenin taşlanmış üst yüzeyinden hem de kesit boyunca alınmıştır. Yüzeyden alınan 3 sertlik değerinin ortalaması alınarak Şekil 5.59'daki grafik elde edilmiştir.



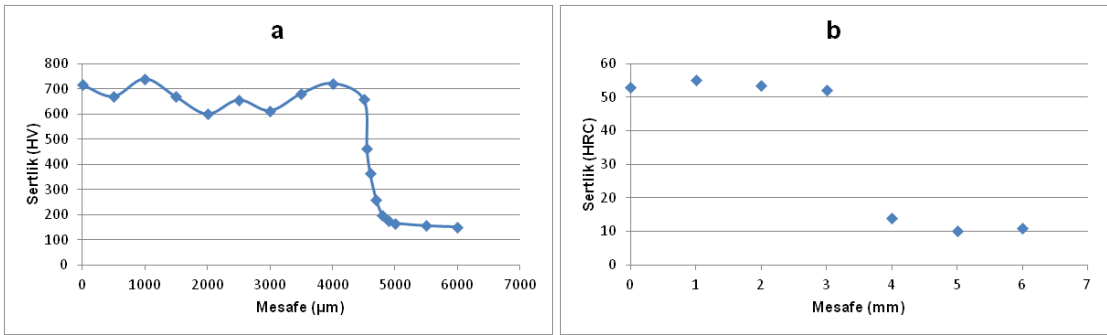
Şekil 5.59. Numunelerin yüzeyden ölçülen sertlik değerleri

Numunelerin çoğunda mikro sertlik dağılımı yüzey boyunca homojen değildir. Bunun sebebi batıcı ucun kimi zaman yapıdaki sert fazlara kimi zaman nispeten daha yumuşak olan matrisle denk gelmesi sebebiyledir. 2 (Şekil 5.60.a) ve 3 (Şekil 5.61.a) no'lu numuneler nispeten daha homojen bir mikrosertlik dağılımı gösterirken, 5 (Şekil 5.62.a) ve 6 (Şekil 5.63.a) no'lu numunelere bakılacak olursa, sert fazların ve matris fazının sertlik değerlerine göre ayrımı yapılabilmekte ve aradaki fark açıkça görülebilmektedir. En homojen sertlik dağılımı 8 no'lu numunede (Şekil 5.64.a) elde edilmiştir. 23 (Şekil 5.65.a), 25 (Şekil 5.66.a) ve 27 (Şekil 5.67.a) no'lu numuneler de benzer şekilde homojen olmayan bir mikro sertlik grafiğine sahiptir.

Tüm numunelerin makro sertlik dağılımlarının kesit boyunca homojen dağılım sergilediği tespit edilmiştir. Buna göre, bor içerikli özlü tel kullanılarak elde edilen 2 no'lu numunenin makro sertliği 70-74 HRC aralığındadır (Şekil 5.60.b). Krom karbür içerikli özlü telle üretilen numunede ise 52-55 HRC aralığında sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.61.b).

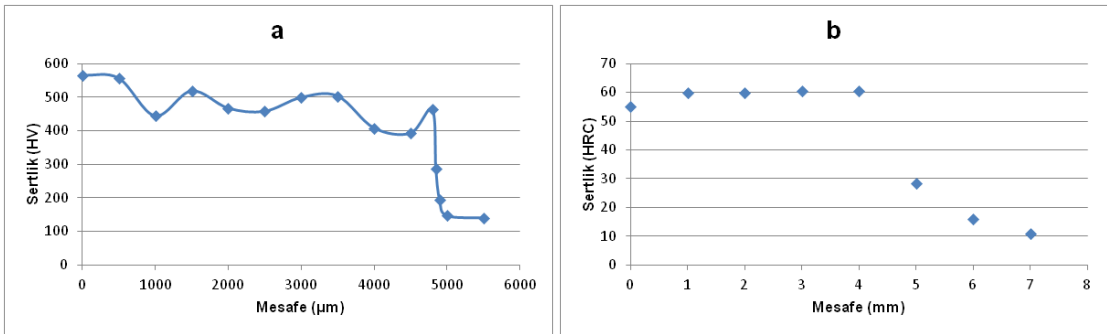


Şekil 5.60. 2 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

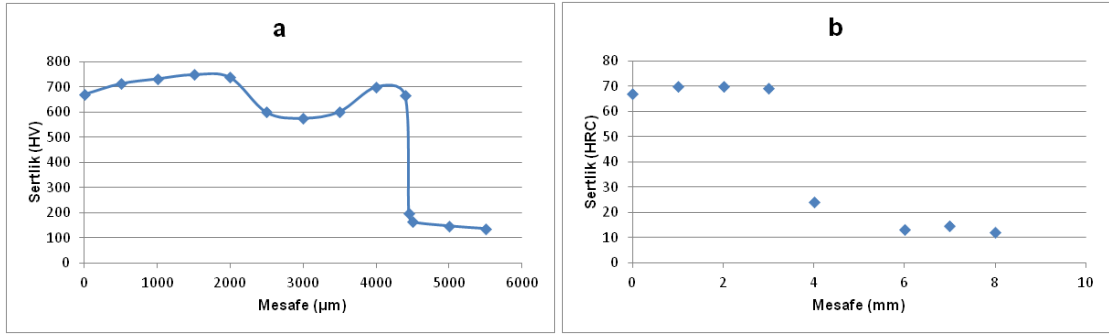


Şekil 5.61. 3 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

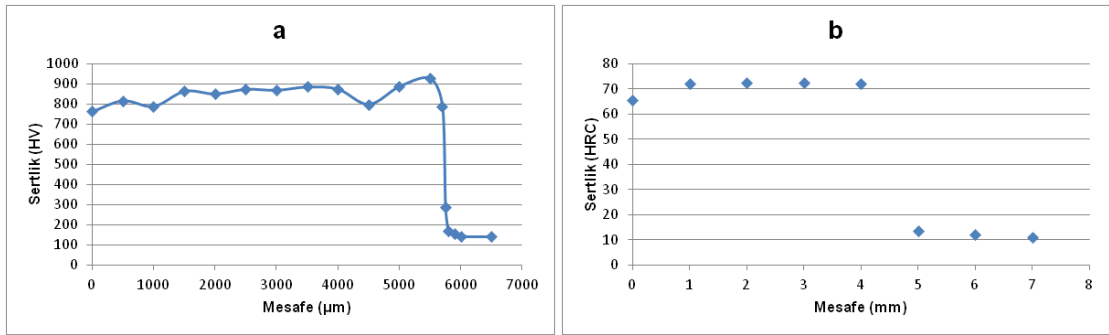
%50 masif tel+%50 toz oranına sahip numune grubu incelenecek olursa, bu gruba ait %100 FeCr toz ilavesine sahip 5 no'lu numunenin sertlik değerleri 55-60,5 HRC aralığında (Şekil 5.62.b), %10FeB+%90 FeCr karışım toz ilavesine sahip 6 no'lu numunenin sertlik değerleri 67-70 HRC aralığında (Şekil 5.63.b) ve son olarak %30FeB+%70 FeCr karışım toz ilavesine sahip 8 no'lu numunenin sertlik değerleri 65,5-72,5 HRC aralığında bulunmuştur (Şekil 5.64.b).



Şekil 5.62. 5 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik



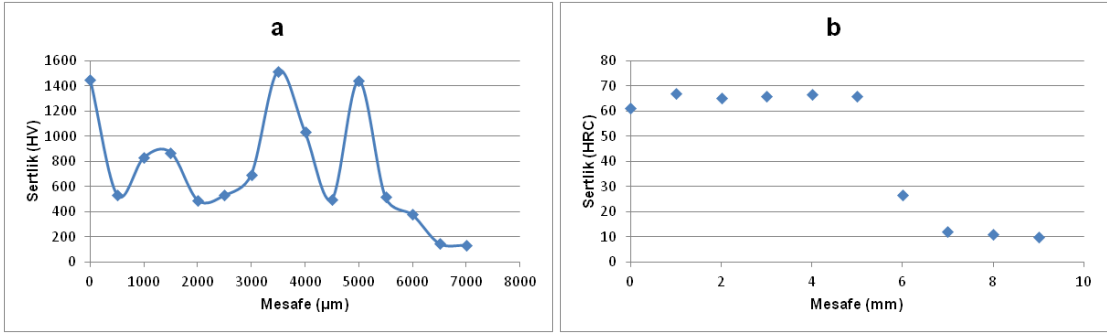
Şekil 5.63. 6 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik



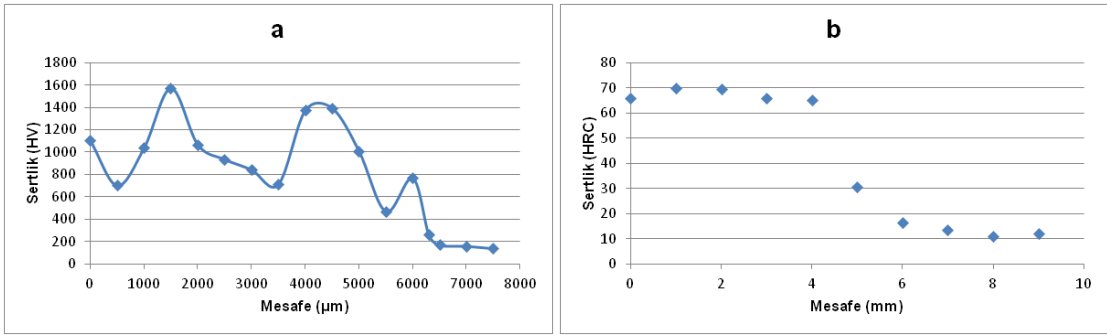
Şekil 5.64. 8 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

Aynı toz karışımlarının %30 masif tel+%70 toz oranında ilave edildiği numune grubunda ise %10 FeB+%90 FeCr toz ilavesine sahip 23 no'lu numune 61-67 HRC (Şekil 5.65.b), %30 FeB+%70 FeCr toz ilavesine sahip 25 no'lu numune 65-70 HRC (Şekil 5.66.b) ve %100 FeCr toz ilavesine sahip 27 no'lu numune 56,5-64 HRC (Şekil 5.67.b) aralıklarındaki sertlik değerlerine sahiptir.

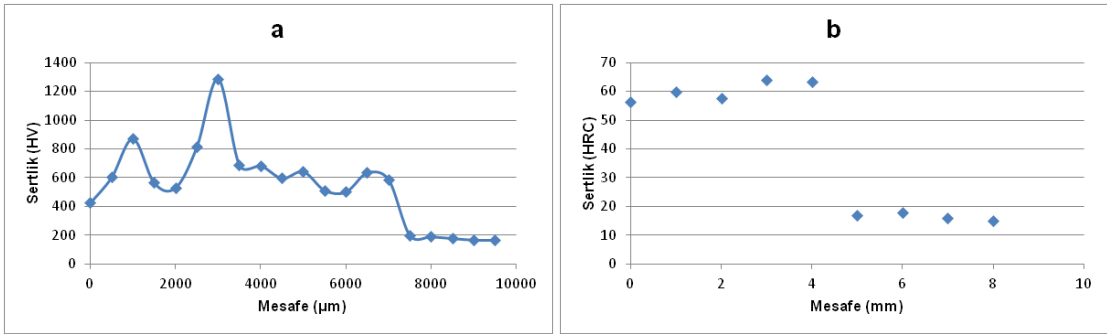
En yüksek ortalama makro sertlik değeri bor içerikli özlü telle yapılan sert dolgu kaplamasında elde edilirken, en düşük ortalama makro sertlik krom karbür içerikli özlü telle yapılan kaplamada elde edilmiştir. Farklı tel-toz oranlarındaki masif tel gruplarında ise en düşük ortalama makro sertlik değeri %100 FeCr toz ilavesine sahip 5 (Şekil 5.62b) ve 27 (Şekil 5.67.b) no'lu numunelerde gözlenirken, en yüksek ortalama makro sertlik değerleri %30 FeB+%70 FeCr toz takviyesine sahip 8 (Şekil 5.64.a) ve 25 no'lu (Şekil 5.66.b) numunelerde gözlenmiştir.



Şekil 5.65. 23 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

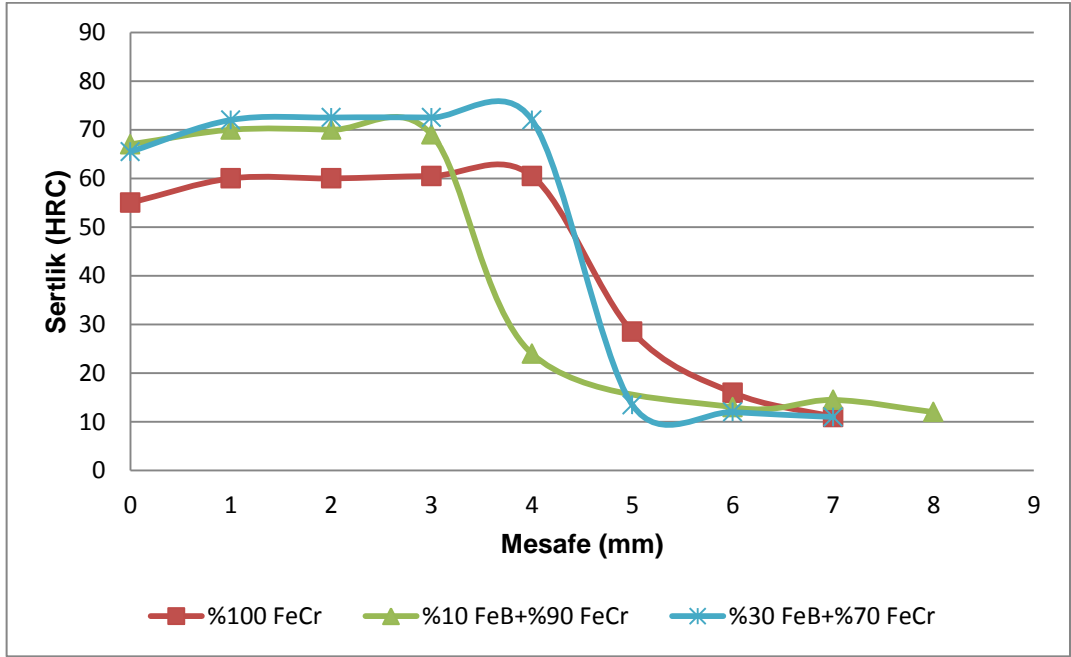


Şekil 5.66. 25 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

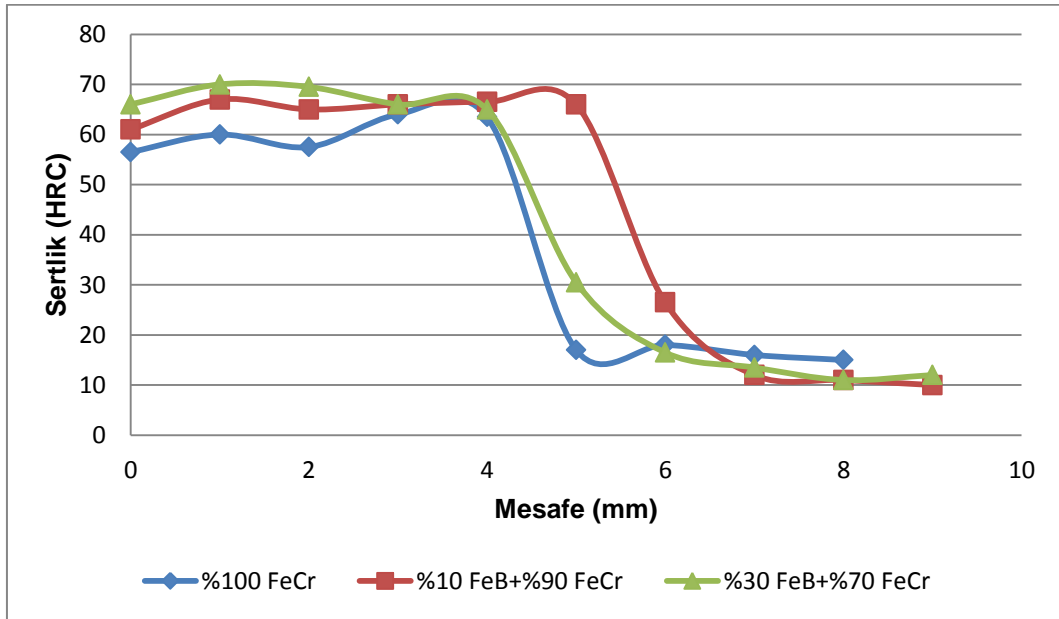


Şekil 5.67. 27 no'lu numunenin sertlik grafikleri, (a): mikro sertlik, (b): makro sertlik

Her iki masif tel grubunda da artan bor içeriğiyle sertlikte artış meydana gelmiştir (Şekil 5.68, Şekil 5.69). Ferrokrom toz ilavesine sahip numunelerle kıyaslanacak olursa genel bir sonuç olarak bor katkısının aşınma plakalarında sertlik artışını sağladığı söylenebilmektedir. Kesit boyunca sertlik dağılımlarına bakılacak olursa sert dolgu alaşımlarıyla kaplanan yüzeylerin sertliğinin ana malzemenin sertliğinden 5 ila 7 kat fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.68. Ağırlıkça %50 masif tel + %50 toz ilavesiyle üretilen numunelerin sertlik değerleri



Şekil 5.69. Ağırlıkça %30 masif tel + %70 toz ilavesiyle üretilen numunelerin sertlik değerleri

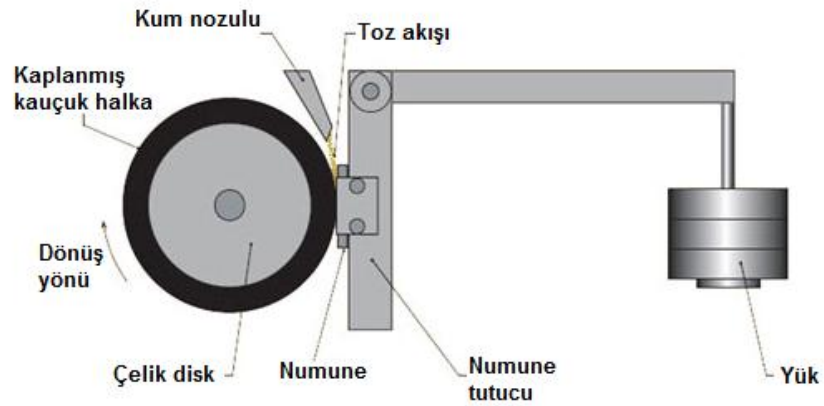
5.6. Aşınma Testi

Numunelerin aşınma testleri ASTM G-65 standardına uygun özelliklerdeki kuru kum/kauçuk tekerlek aşınma cihazı ile yapılmıştır (Şekil 5.70). Şekil 5.71’de görüldüğü gibi kuru kum kauçuk tekerlek ve numune arasından geçerken numune yüzeyini aşındırmaktadır. Aşınma numuneleri

75x25mm boyutlarında kesildikten sonra aşınmanın uygulanacağı yüzeyler taşlanmıştır. Numuneler Çizelge 5.17'de verilen parametreler doğrultusunda aşınmaya tabi tutulmuştur. Aşındırıcı olarak boyutu 1mm altı olan deniz kumu (SiO_2) kullanılmıştır. Test öncesinde ve sonrasında numune ağırlıkları ölçülerek aşınma sebebiyle meydana gelen malzeme kaybı hesaplanmıştır. Aşınma testinde referans malzeme olarak Hardox 400 kullanılmıştır. Ayrıca toz takviyesinin endüstriyel uygulamalara katkı sağlayıp sağlamadığını tespit etmek amacıyla da ticari olarak kullanılan özlü teller ile masif tele ferrokrom ve ferrobtor toz ilavesiyle elde edilen numunelerin aşınma davranışları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.70. Aşınma testlerinin yapıldığı kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test cihazı



Şekil 5.71. Kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test cihazının şematik görünüşü [49]

Çizelge 5.17. Kuru kum/kauçuk tekerlek abrazyon test parametreleri

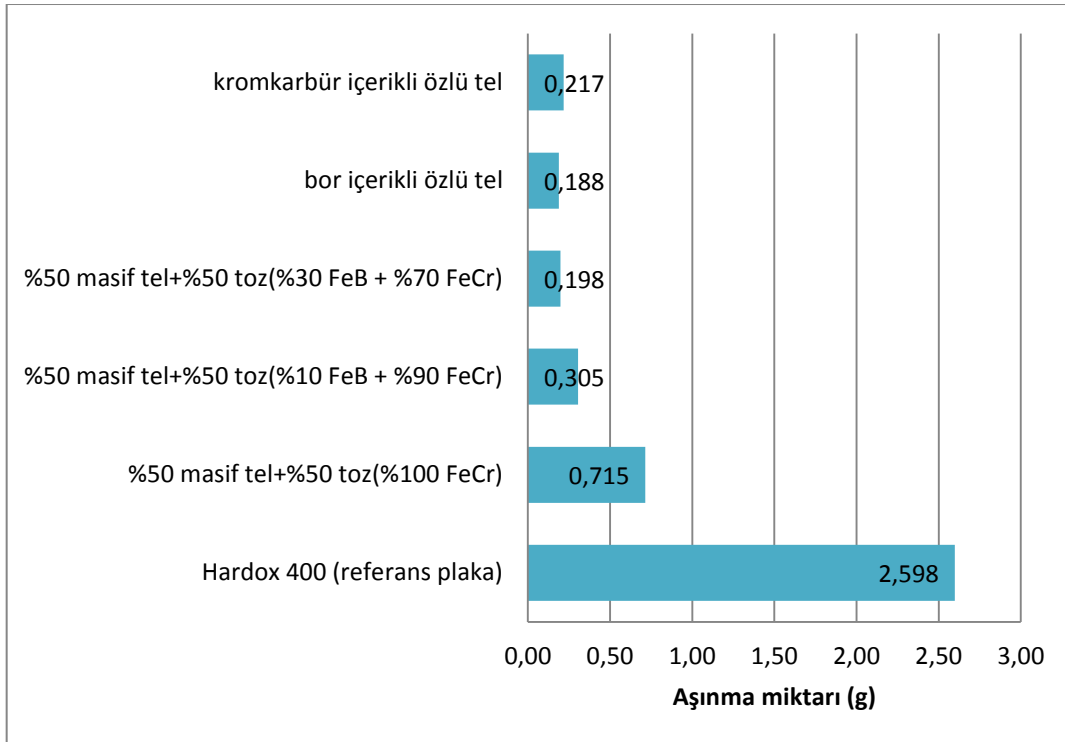
Parametre	Değer
Hız	90 dev/dak
Yük	13 kg
Aşındırıcı debisi	683,455 g/dak.
Tekerlek çapı	225 mm
Test süresi	30 dakika

Aşınma yüzeylerinin fotoğrafları Şekil 5.72’de verilmiştir. Görüldüğü üzere, kimi numunelerde derin aşınma olukları görülürken, kimisinde kaynak esnasında yapıda olduğu düşünülen gözeneklerin ortaya çıktığı görülmüştür. Bazı numunelerde görülen çukurcukların ise dökülen karbürler sebebiyle meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

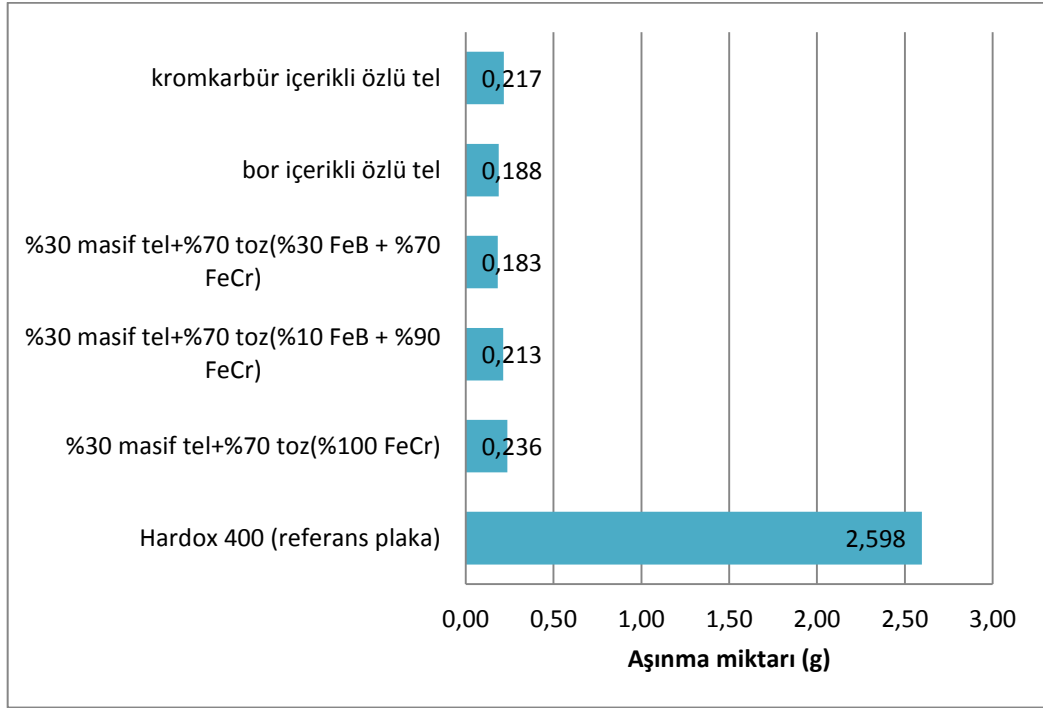
**Şekil 5.72.** Numunelerin makro ölçekte fotoğraflanmış aşınma yüzeyleri

Genel duruma bakıldığında, en büyük aşınma kaybının Hardox 400 referans plakasında meydana geldiği görülmüştür. Aşınma testleri sonucunda hesaplanan aşınma kayıplarına göre en düşük aşınma miktarına %30 masif tel +%70 toz oranında, %30 FeB+%70 FeCr toz karışımına sahip 25 no'lu numunede gözlenmiştir; numunenin aşınma miktarı 0,183 g olarak hesaplanmıştır ve bu değer 0,188 g aşınma sergileyen ticari bor içerikli özlü telle elde edilen numunenin aşınma miktarından daha düşüktür. Krom karbür içerikli özlü tel, bor içerikli özlü tele göre daha düşük aşınma direnci göstermiştir. Masif tel grubunda, en fazla aşınma 0,715 g aşınma miktarıyla %50 masif tel+%50 toz oranında, %100 FeCr toz takviyesine sahip 5 no'lu numunede meydana gelmiştir.

İki masif tel grubunda da farklı oranlarda ferrobör+ferrokrom toz karışımı ilavesinde artan bor oranıyla aşınma miktarında azalma gözlenmiştir (Şekil 5.73, Şekil 5.74). Ayrıca aynı toz karışımları için (örneğin %30 FeB+%70 FeCr), %50 masif tel+%50 toz oranında %30 masif tel+%70 toz oranına kıyasla daha fazla aşınma meydana geldiği gözlenmiştir. Dolayısıyla masif tele ilave edilen toz oranının artması aşınma davranışına olumlu etki etmiştir. Üretilen aşınma plakaları Hardox 400 ile kıyaslandığında, sert dolgu kaplamalarının aşınma miktarını 4 ila 14 kat arasında azalttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.73. Ağırlıkça %50 masif tel+%50 toz oranına sahip numunelerin ticari özlü tellerle kaplanan plakalar ve Hardoks 400 referans plakası ile kıyaslanan aşınma değerleri



Şekil 5.74. %30 masif tel+%70 toz oranına sahip numunelerin ticari özlü tellerle kaplanan plakalar ve Hardoks 400 referans plakası ile kıyaslanan aşınma değerleri

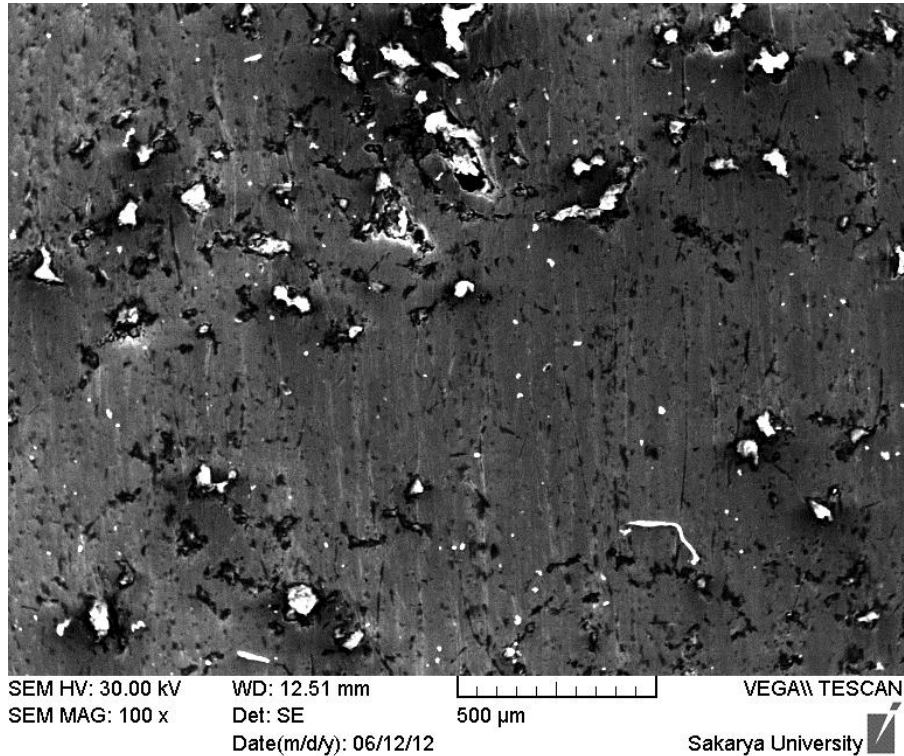
Masif teller kullanılarak farklı tel-toz oranlarında üretilen numune gruplarının her biri kendi içerisinde artan sertlikle aşınma miktarında azalma göstermiştir. Fakat genel duruma bakıldığında aşınma ile sertlik arasında doğrudan bir ilişki bulunmadığı görülmektedir. Dolayısıyla genelleme yapılacak olursa sertliğin aşınmaya olumlu etkisinin olduğu söylenebilir. Fakat sert dolgu kaplamaları gibi nispeten yumuşak matris fazı içerisinde yayılmış sert fazları içeren yapılarda, sertlik dışında matris özellikleri ve sert fazların morfolojisi, dağılımı vb. de aşınmaya etki edebilecek unsurlar olarak göz önüne alınmalıdır.

Aşınma miktarı ile mikroyapı arasında bağlantı olduğu düşünülmektedir. En iyi aşınma direnci gösteren 25 no'lu numunenin bu özelliği yapıda çok yoğun gözlenen karbür ve borür bileşiklerinden ileri geldiği düşünülmektedir (Şekil 5.40). 25 no'lu numuneye yakın bir aşınma direnci sergileyen 2 no'lu numunede sert faz morfolojisi farklılık göstermesine rağmen yüksek aşınma direncine sahip olmasının matris özelliklerinden ve yapıda oluşan sert faz özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 25 no'lu numunede yüksek hacimsel oranda primer karbür gözlenirken 2 no'lu numunede yapıda ince ve homojen dağılmış sert fazlar aşınma direncini arttırmıştır.

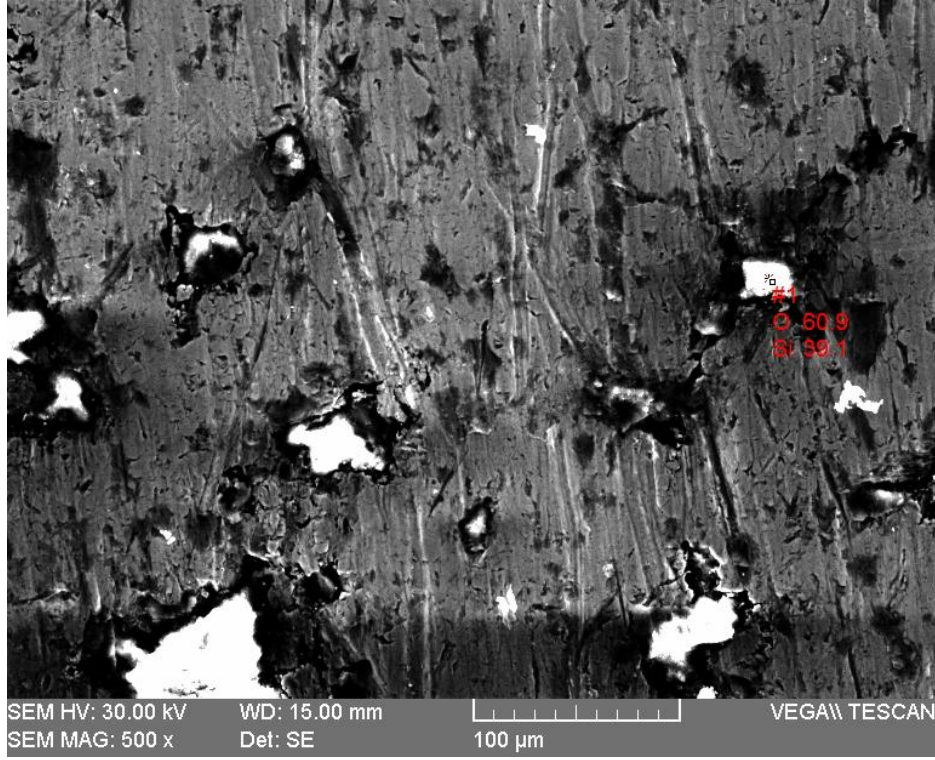
5.7. Aşınma Yüzeyleri

ASTM G-65 standardına uygun abrazyon test cihazında aşınma testleri yapılan numunelerin aşınma yüzeylerinde SEM incelemeleri yapılmıştır.

Farklı büyütmelerde 2 no'lu numunenin aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüleri Şekil 5.75'te ve Şekil 5.76'da görülmektedir. 100x büyütme ile çekilmiş görüntüde nispeten yumuşak matris fazına gömülmüş açık renkte parçacıklar göze çarpmaktadır (Şekil 5.75). Şekil 5.76'da da gösterildiği gibi bu parçacıkların aşındırıcı kum taneleri olduğu EDX analiziyle tespit edilmiştir. Dolayısıyla yüzeye gömülen kum parçacıklarının da sert dolgu kaplamasındaki sert fazlardan bağımsız olarak aşınmaya direnç gösterebileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 5.76'da derin oyuklar haricinde görülen çukurcukların aşınma esnasında gömülen aşındırıcı parçacığın yine başka bir aşındırıcı parçacığının etkisiyle buradan sökülerek meydana gelebileceği ya da yerinden kopmuş sert fazların oluşturduğu boşluklar olabileceği tahmin edilmektedir. Bor içerikli özlü telle elde edilmiş kaplamanın aşınma yüzeyinde yoğun aşınma izleri gözlenmemesine rağmen, malzeme kaybının derin aşınma izleri ve aşınma esnasında dökülmüş olabilecek sert fazlar sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Ayrıca aşınma mekanizmasının mikro-kesme olabileceği düşünülmektedir.

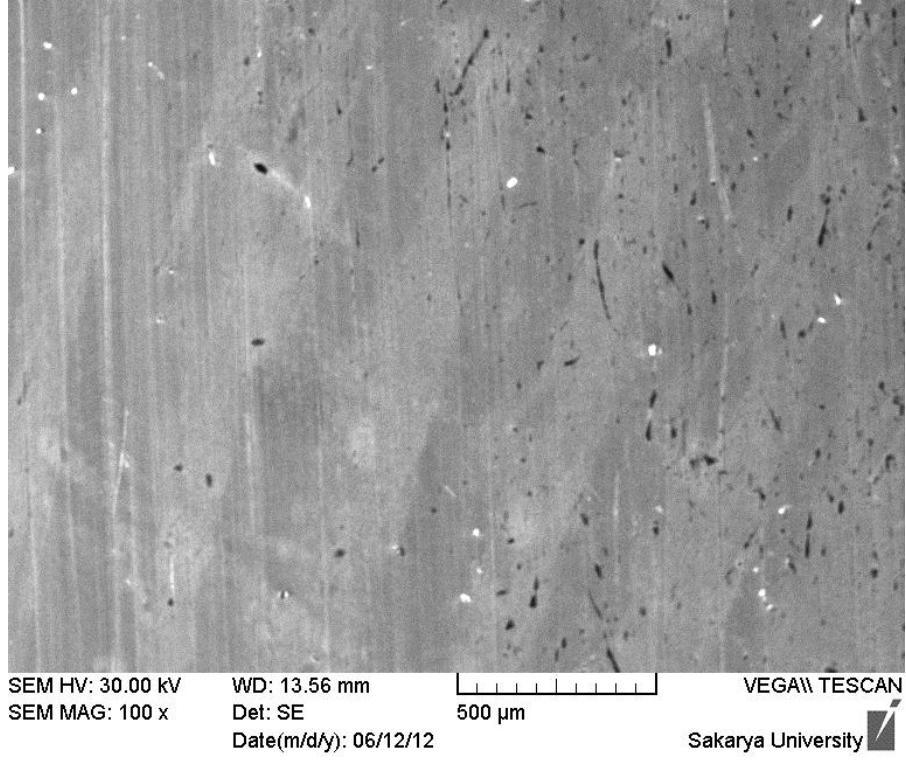


Şekil 5.75. 2 no'lu numunenin aşınma yüzeyi ve yüzeye gömülmüş aşındırıcı parçacıklar

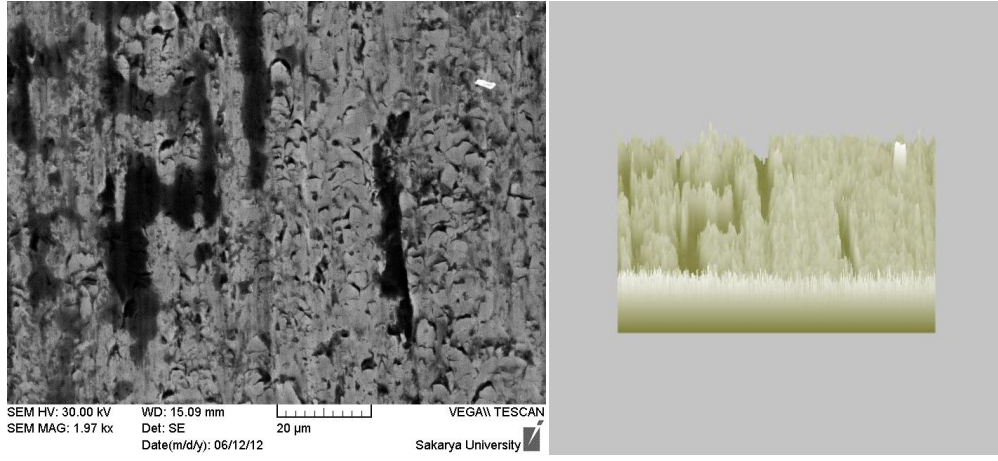


Şekil 5.76. 2 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde oluşmuş izler ve çukurlar

Şekil 5.77'de görüldüğü gibi 3 no'lu numunenin 100x büyütme ile alınmış aşınma yüzeyi SEM görüntüsünde yoğun aşınma izleri ve yer yer koyu renkte derin boşluklar mevcuttur. Aşınma izlerinin bazıları derin olduğu gibi kimisi daha sıdır. Ayrıca izlerin genelinde bir süreksizlik mevcuttur. Bu durumun, numunenin yoğun olarak içerdiği Cr_7C_3 karbürlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Chang ve diğerleri [27] de çalışmalarında, $(Cr, Fe)_7C_3$ karbürlerinin aşındırıcı parçacıkların hasarına direnç gösterdiğini ve aşınma izlerinde süreksizlik ve izlerin derinliğinde azalma meydana getirdiğini bildirmiştir. Şekil 5.78'e bakıldığında aşınma topoğrafyası alınmış aşınma yüzeyinde, koyu renkli bölgelerin daha fazla aşınmış derin oyuklar olduğu ve diğer kısımlarda ise pullanmaların meydana geldiği görülmektedir. Aşınma mekanizmasının, krom karbür içerikli özlü telle üretilmiş olan numunede elde edilen yoğun ve sert Cr_7C_3 karbürlerinde meydana gelen pullanma şeklinde olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla yapıdaki boşlukların da dökülmüş karbürlerden ileri gelebileceği öngörülmektedir.

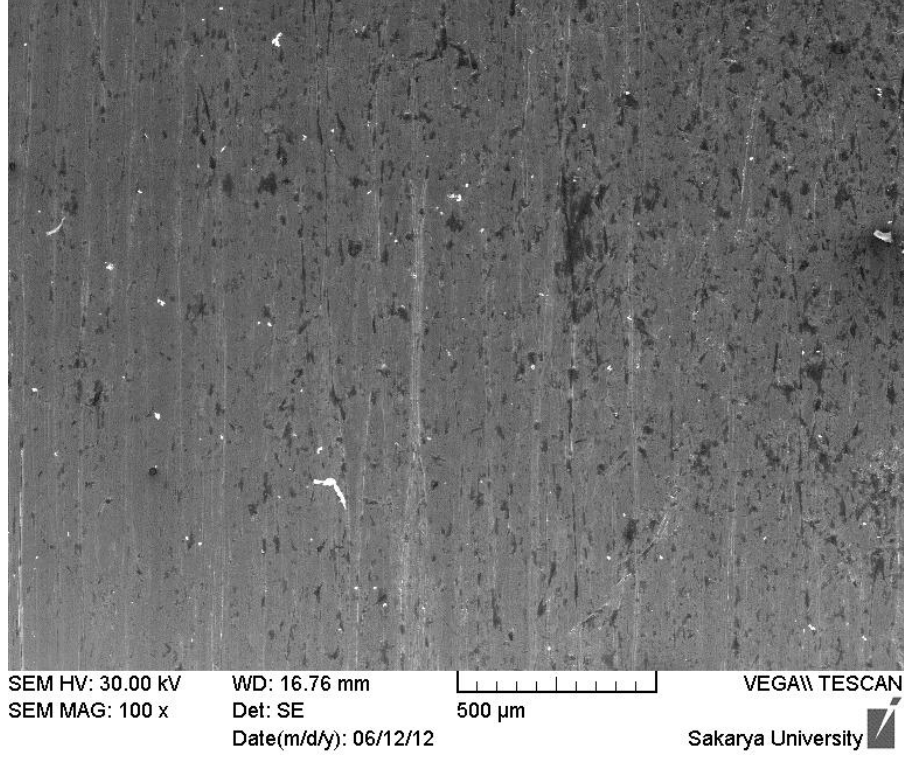


Şekil 5.77. 3 no'lu numunenin aşınma yüzeyi



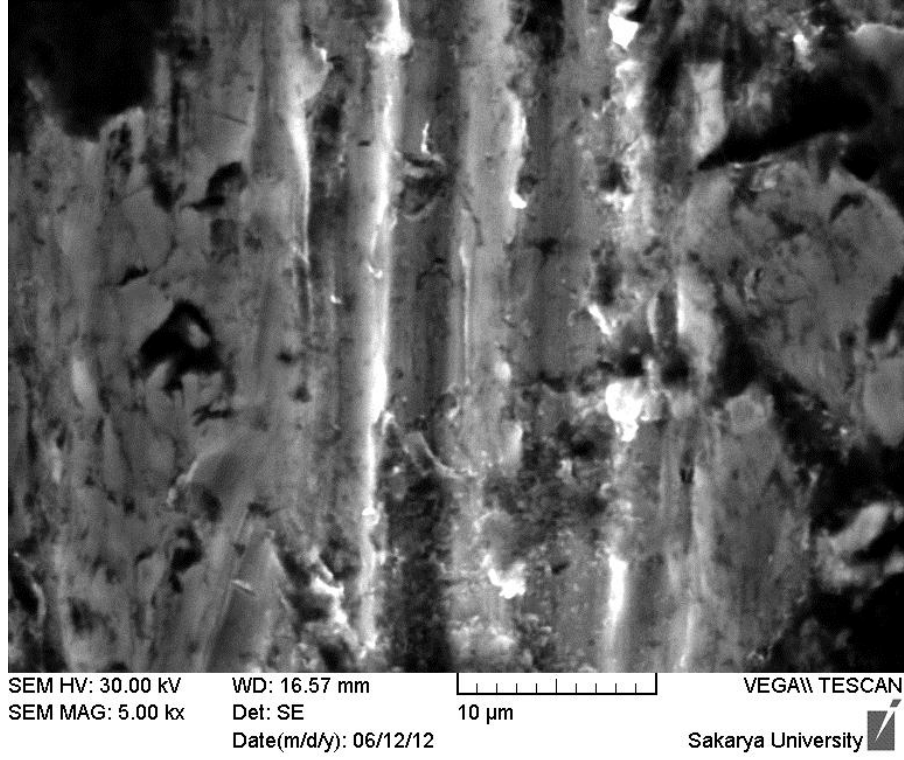
Şekil 5.78. 3 no'lu numunenin yüzeyinde meydana gelen pullanma ve yüzey topoğrafyası

%100 FeCr toz takviyesi içeren (%50 masif tel+%50 toz) 5 no'lu numunede derin aşınma izleri ve çukurlar Şekil 5.79'da görülmektedir. Bu numunenin genel aşınma mekanizmasının mikro-kesme ve mikro-pulluklama olduğu düşünülmektedir. Sabet ve diğerlerinin çalışmasında da [49], derin aşınma izleri mikro-pulluklama aşınma mekanizmasına atfedilmiştir.

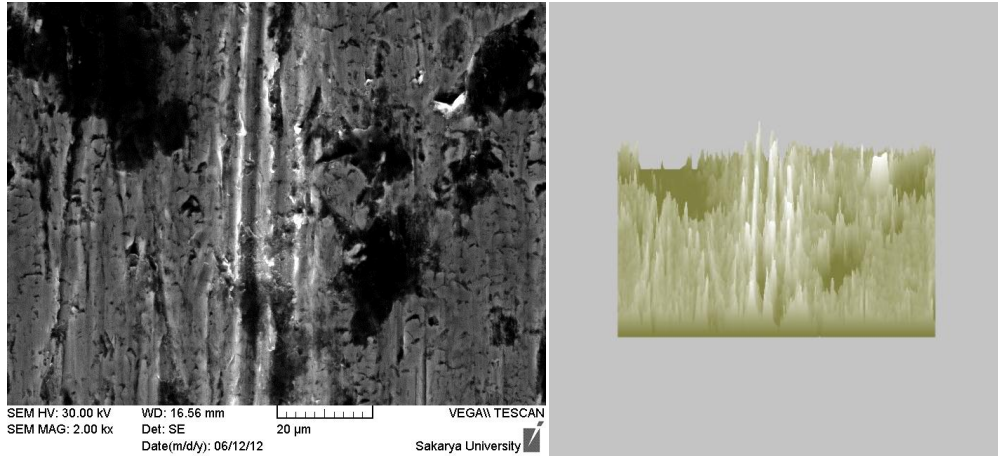


Şekil 5.79. 5 no'lu numunenin aşınma yüzeyi

Şekil 5.80'de görülen aşınma izinde mikro-kesme sonucu oluşmuş talaş ve mikro-pulluklama sonucu aşınma oluşunun her iki tarafına plastik deformasyona uğrayarak yığılmış malzeme görülmektedir. Şekil 5.81'de topoğrafyası verilen aşınma yüzeyinde de pulluklama sonucu iz kenarlarına biriken malzeme yığını görülebildiği gibi, derin çukurlara da rastlanmıştır. Ayrıca yüzeyde kısmi pullanma tespit edilmiştir.

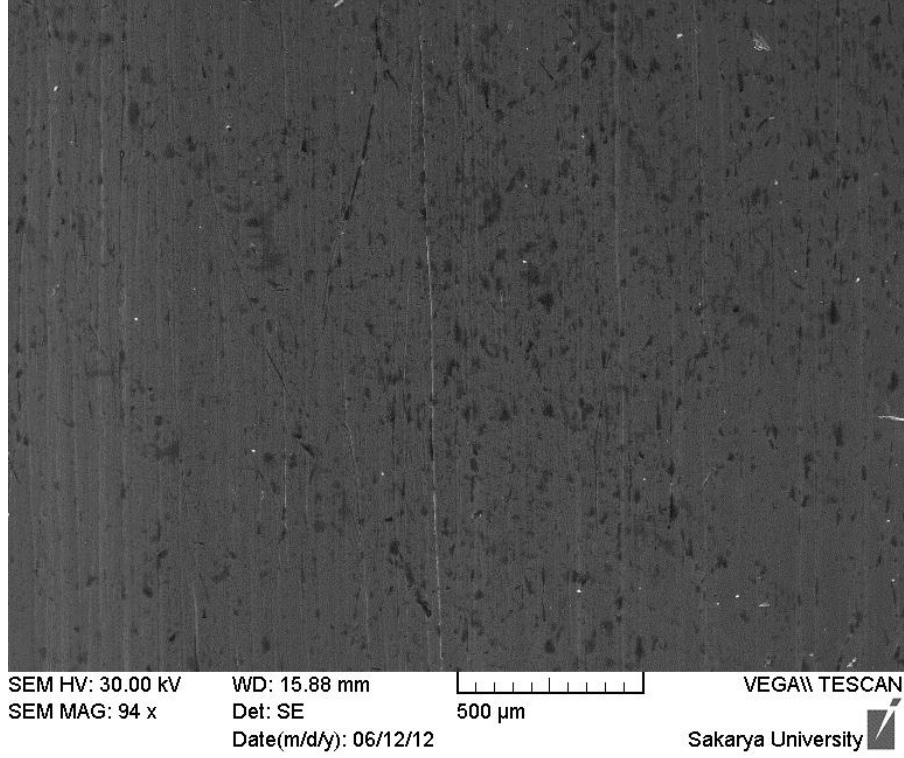


Şekil 5.80. 5 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde oluşan mikro talaş ve aşınma izi kenarlarına yığılan malzeme

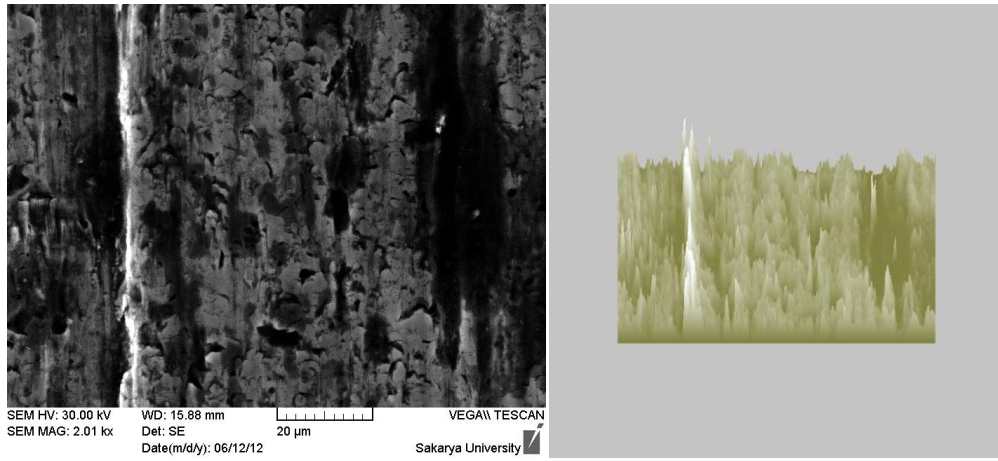


Şekil 5.81. 5 no'lu numunenin yüzey topoğrafyası

6 no'lu numunenin aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsünde yer yer derin ve yer yer sığ, sürekli aşınma izleri görülmektedir (Şekil 5.82). Numunenin aşınma yüzeyinde, Şekil 5.83'teki yüzey topoğrafyasından irili ufaklı çok sayıda boşluk tespit edilmiştir. 6 no'lu numunenin mikro yapı incelemelerine bakılacak olursa yüzeye yakın bölgede (Şekil 5.28) yoğun ve homojen dağılmış ve XRD analizleriyle Cr_7C_3 karbürleri olduğu tespit edilmiş fazlar mevcuttur.



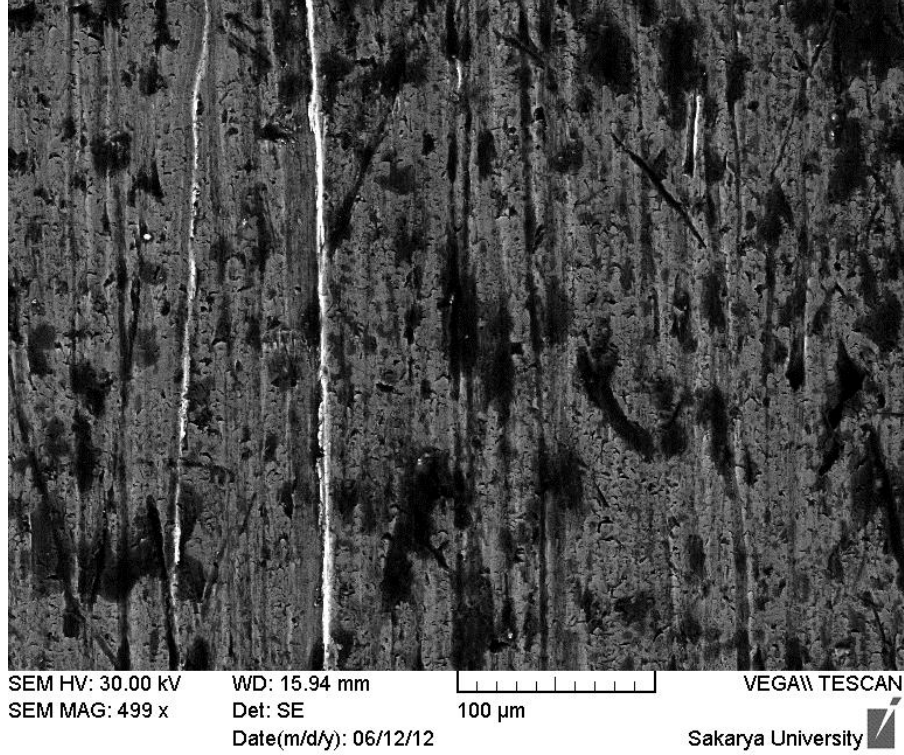
Şekil 5.82. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyi



Şekil 5.83. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası

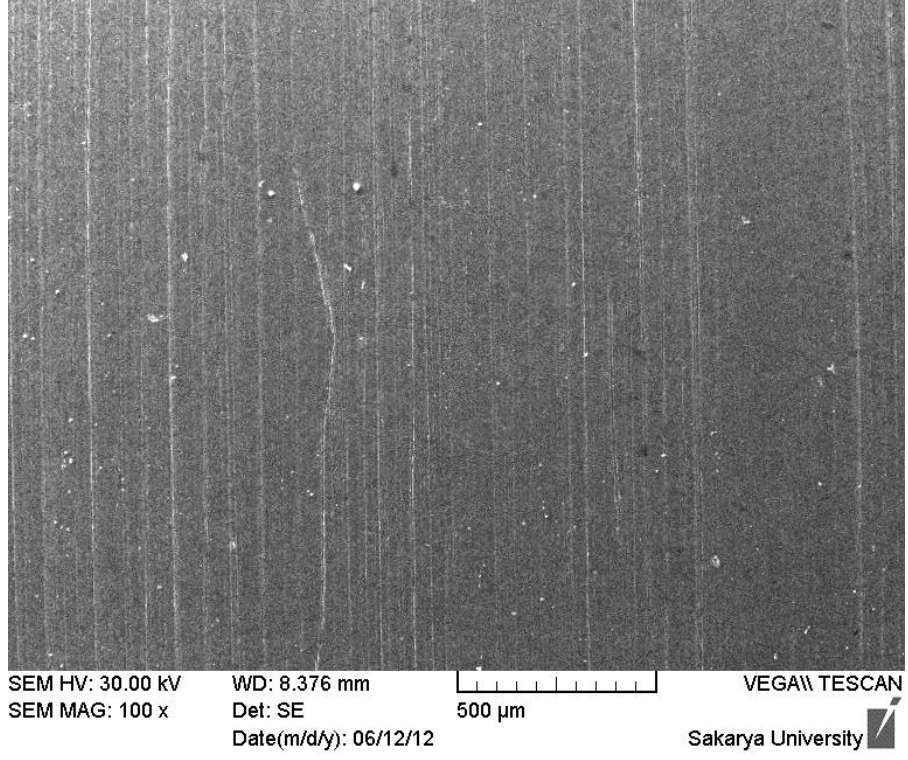
Aşınma sonrası yüzeyde meydana gelen boşlukların Cr_7C_3 karbürlerinin dökülmesiyle meydana gelebileceği düşünülmüştür. Ayrıca XRD analizinde yapıda östenit ve martenzit tespit edildiğinden bu fazların farklı mekanik ve fiziksel özellikleri de karbürlerin dökülmesine sebebiyet verebilmektedir. Sabet ve diğerleri [49], aşınma esnasında karbürlerin dökülmesini şu şekilde açıklamıştır; östenit, martenzit ve Cr_7C_3 karbürleri farklı ısıl genleşme katsayısına ve

plastik uzama oranına sahiptir, bu sebeple aşınma esnasında östenit/martenzit/ Cr_7C_3 ara yüzeyinde gerilmeler meydana gelerek Cr_7C_3 sert fazlarının yüzeyden ayrılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yüzeyde yoğun olarak pullanmaların meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 5.84).

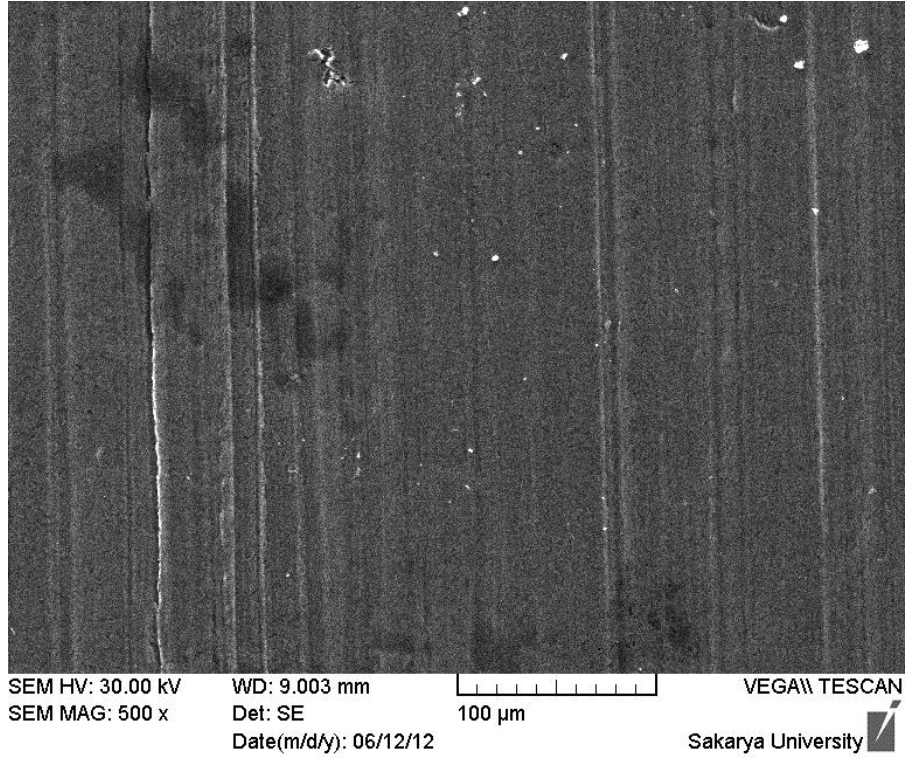


Şekil 5.84. 6 no'lu numunenin aşınma yüzeyinde meydana gelen pullanmalar

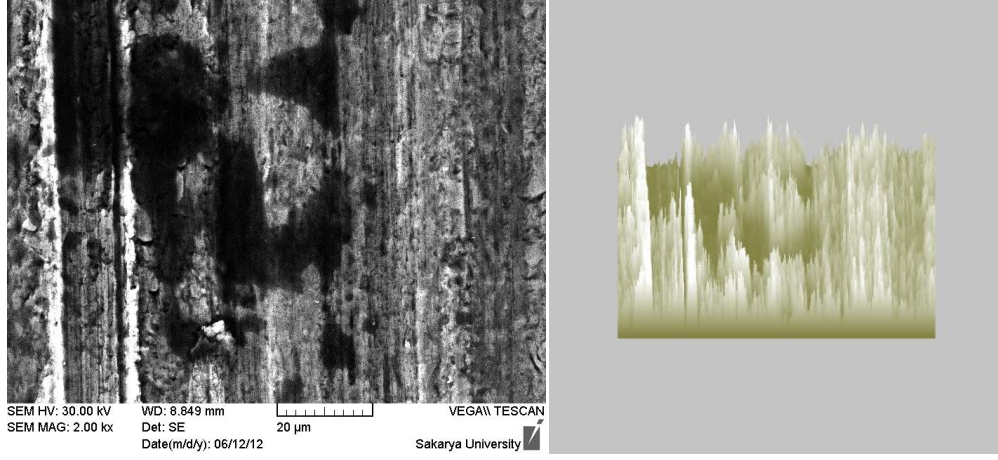
Aşınma testi sonucunda 8 no'lu numunede meydana gelen aşınma yüzeyinin 100x büyütmedeki SEM görüntüsü Şekil 5.85'te verilmiştir. Şekil 5.86'da görüldüğü gibi aşınma yüzeyinde çok az sayıda çukur bölge mevcuttur. Bunun sebebi yapıda çok homojen dağılmış ağsı morfolojideki bor-demir karbürler olabilir. Aşınma yüzeyinin topoğrafyası incelendiğinde (Şekil 5.87), mikro-pulluklamaya ait derin aşınma oyuğu ve kenarlarına yığılmış malzeme görülmektedir. Bu numunede mikro-pulluklamanın yoğun görüldüğü düşünülmektedir. Ayrıca Şekil 5.88'e bakılacak olursa, aşınma izlerinin süreksizleştiği görülmektedir. Bunun sebebi Şekil 5.88'de görülen yapının karbür grubu olduğu düşünülmektedir. Aşınmada süreksizliğe sebep olan bu yapıya dikkatle bakıldığında kimi yerlerinde katmanlar halinde gevrek kırılmalara uğradığı görülmektedir.



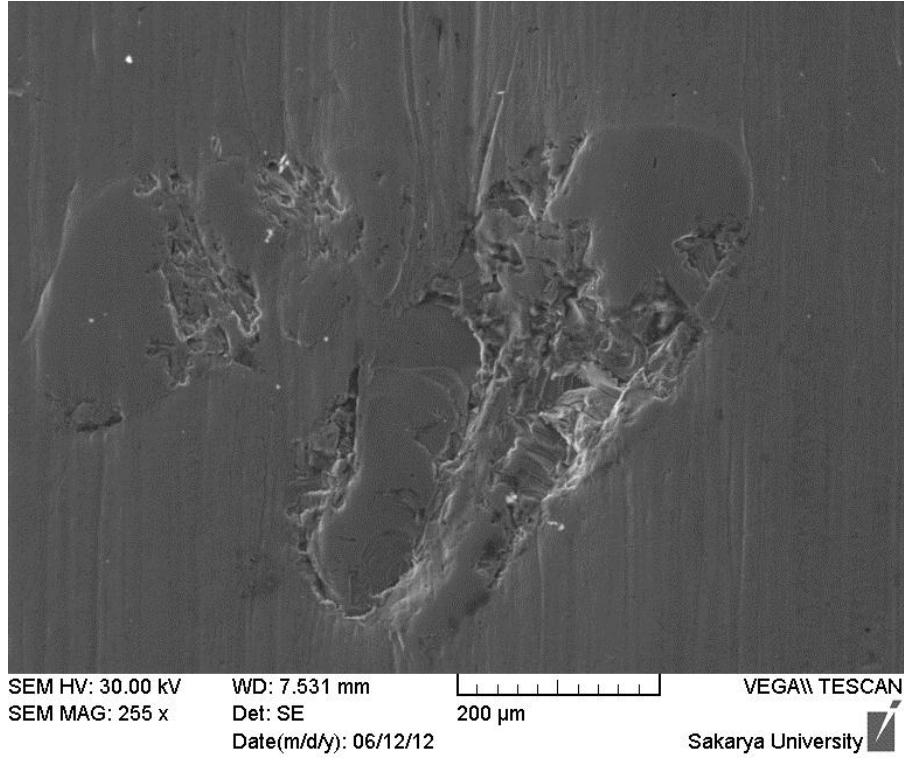
Şekil 5.85. 8 no'lu numunenin aşınma yüzeyi



Şekil 5.86. 8 no'lu numunenin yüzeyinde oluşmuş derin aşınma izleri

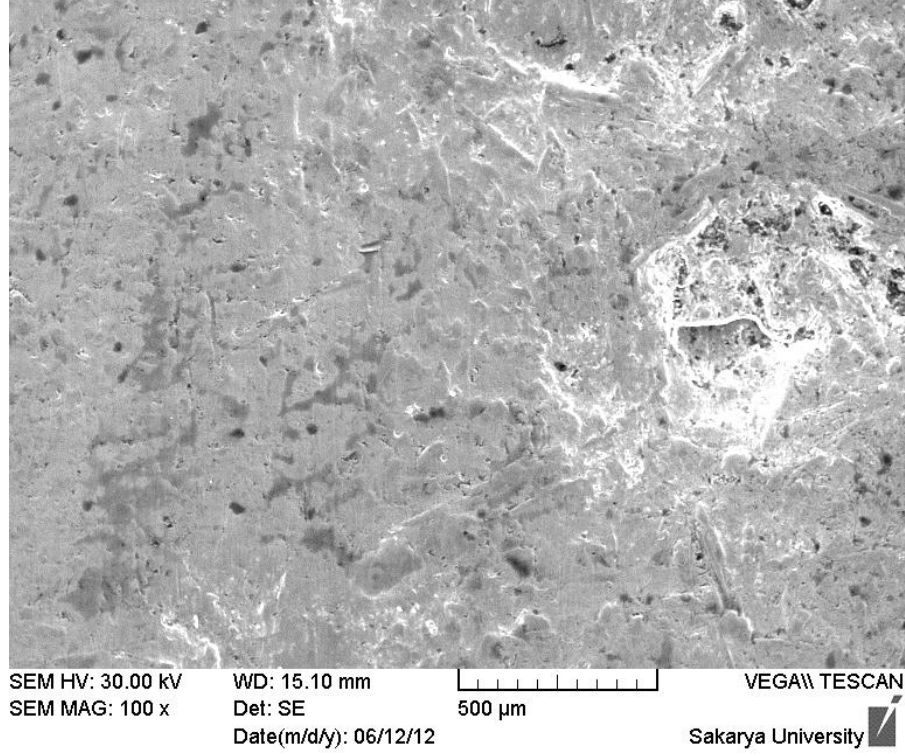


Şekil 5.87. 8 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası



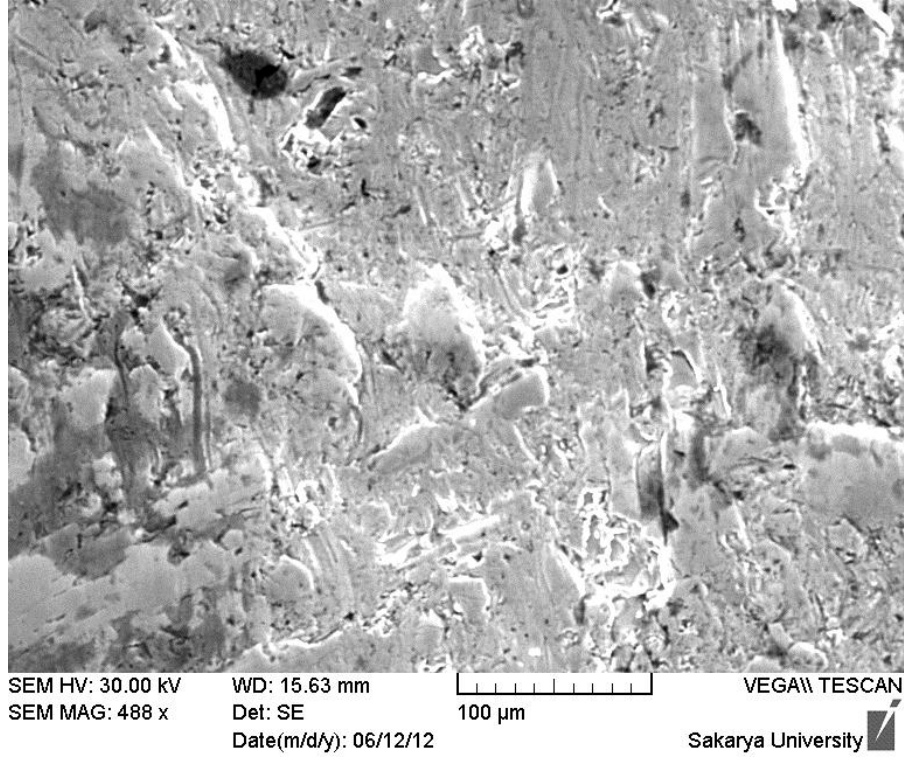
Şekil 5.88. 8 no'lu numunenin aşınma izlerinde görülen süreksizlik

%10 FeB+%90 FeCr toz karışımına sahip 23 no'lu numunenin (ağırlıkça %30 masif tel+%70 toz) aşınma izleri belirgin olarak görülmemektedir (Şekil 5.89).

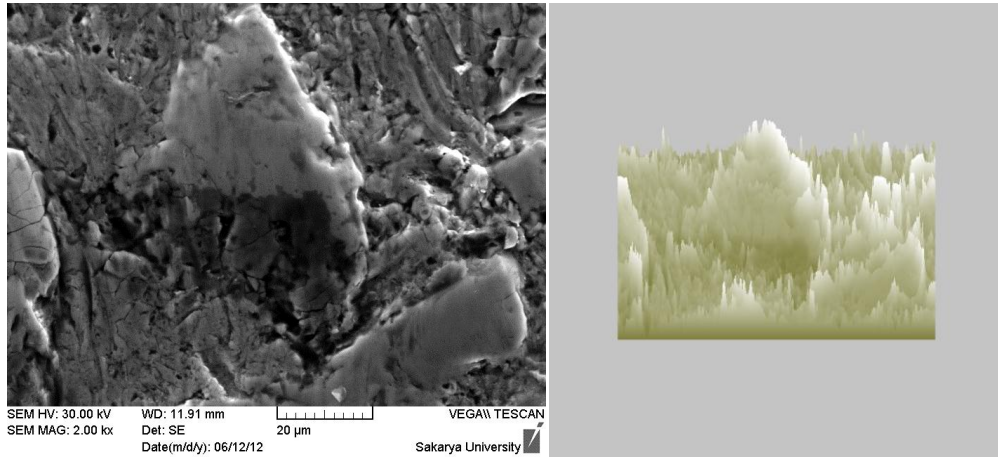


Şekil 5.89. 23 no'lu numunenin aşınma yüzeyi

Şekil 5.90'da ise aşınma izlerinin süreksizliği görülmektedir. Bunun sebebi, aşınmanın nispeten daha yumuşak bir faz olan matriste meydana gelmesi, sert karbür fazının ise aşınmaya direnç göstermesidir. Şekil 5.91'deki topoğrafyadan da anlaşılacağı gibi karbür fazı daha az aşınmaya maruz kaldığından matris fazında bir çıkıntı olarak kalmıştır. Numunenin aşınma mekanizmasının mikro-kesme olabileceği düşünülmektedir. Çünkü aşınma izlerinin kenarlarına malzeme yığılması tespit edilmemiştir.

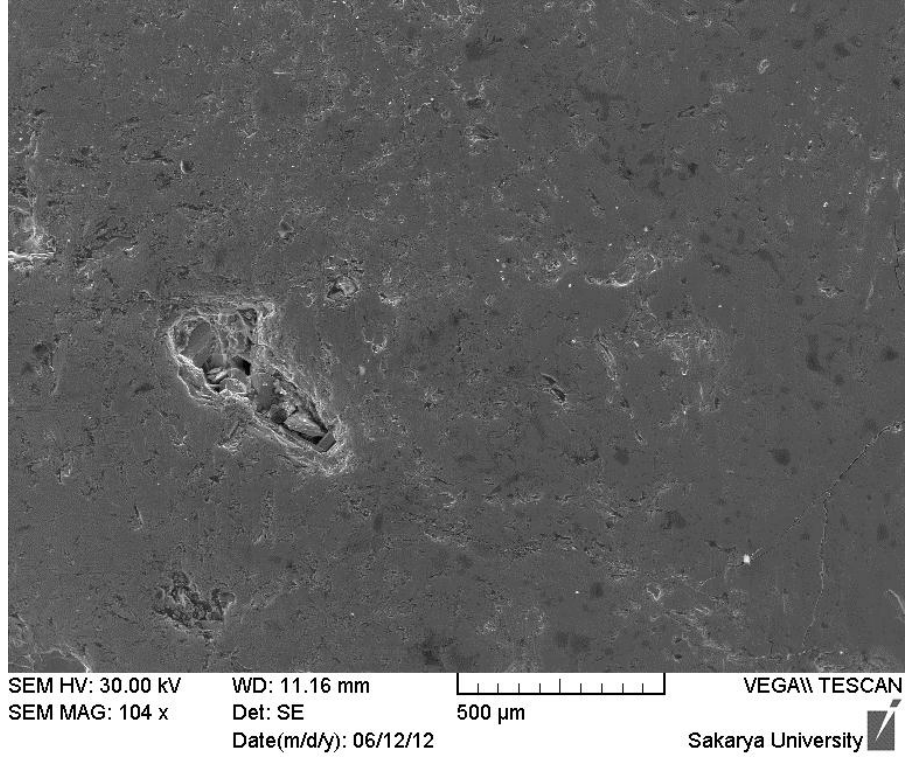


Şekil 5.90. 23 no'lu numunenin aşınma izlerinde görülen süreksizlik

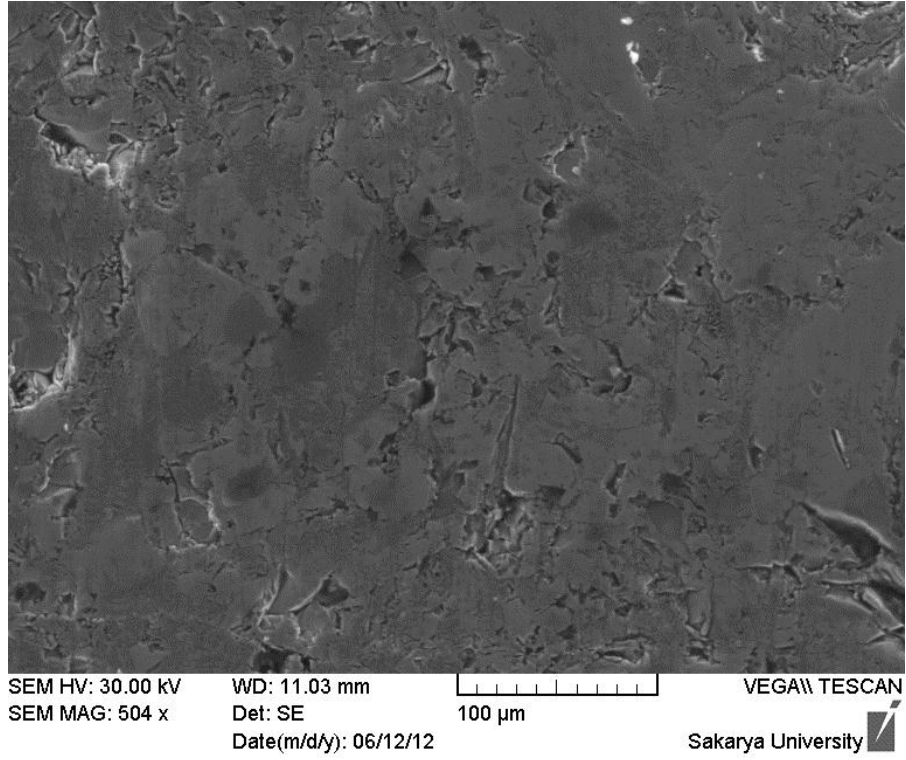


Şekil 5.91. 23 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası

Ağırlıkça %30 masif tel+%70 toz kullanılarak üretilmiş, %30 FeB+%70 FeCr toz karışımına sahip 25 no'lu numunenin Şekil 5.92'deki aşınma yüzey görüntüsünde derin çizikler halinde aşınma izlerine rastlanmamıştır. Bunun yerine ince ve sığ aşınma izleri Şekil 5.93'te görülmektedir. Bunun sebebi numunede, özellikle yüzeye yakın bölgede oluşmuş yüksek hacimsel oranda ve kaba karbürler olabilir.

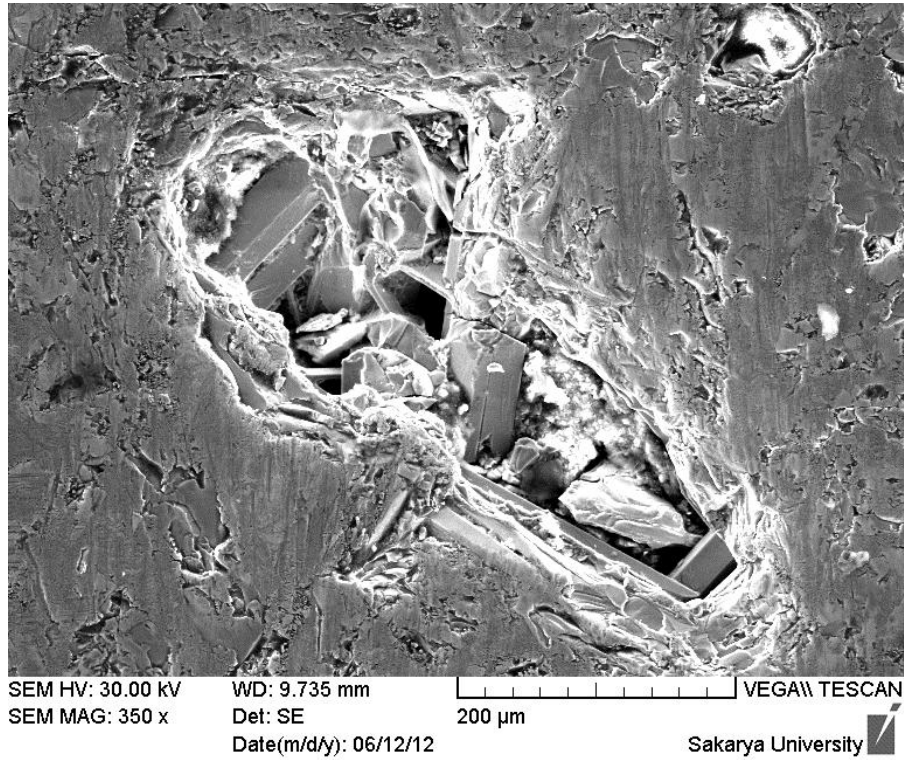


Şekil 5.92. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyi

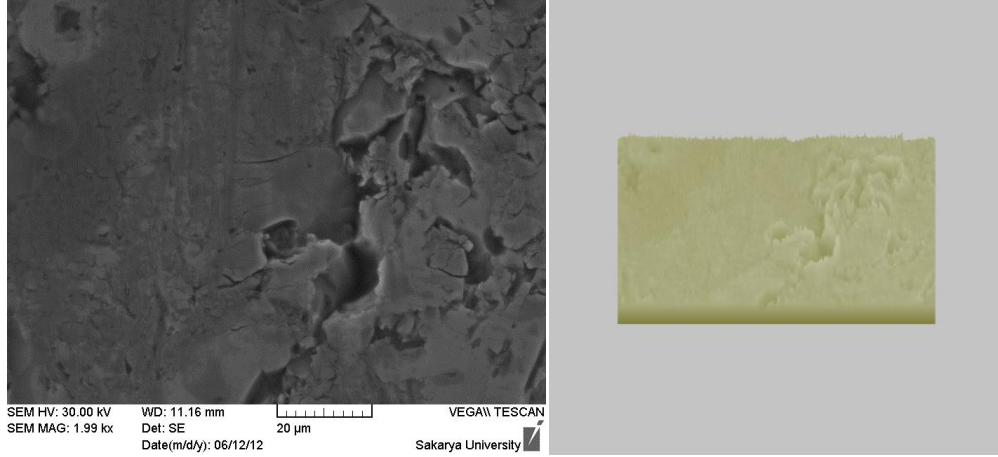


Şekil 5.93. 25 no'lu numunenin yüzeyinde meydana gelen sığ aşınma izleri

Ağırlık kaybının yüzeydeki karbürlerin kırılarak ya da matris/karbür ara yüzeyinde meydana gelebilecek kırılmalar sebebiyle karbürlerin buldukları yerden dökülerek meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.94'e bakılacak olursa, yüzeye açılmış karbürlerde kırılma meydana geldiği görülmektedir. Karbürlerde meydana gelen kırılmalar haricinde yüzeyde çatlaklar ve muhtemelen karbürlerde meydana gelmiş, gevrek kırılmayı işaret eden bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 5.94). Şekil 5.95'te karbürlerde mikro çatlakların meydana geldiği görüldüğü gibi yüzey topografyasında da nispeten çukurda olan kısımdan karbür kopmuş olabileceği ya da daha fazla aşınmış olan matris yapı olabileceği düşünülmektedir.

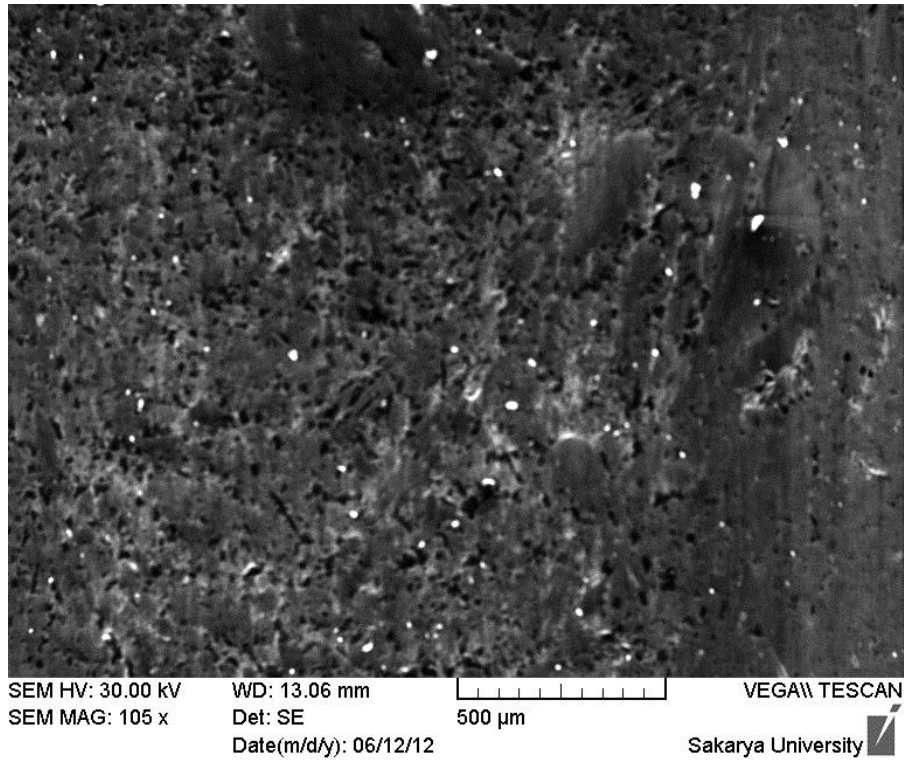


Şekil 5.94. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyindeki kırılmış karbürler



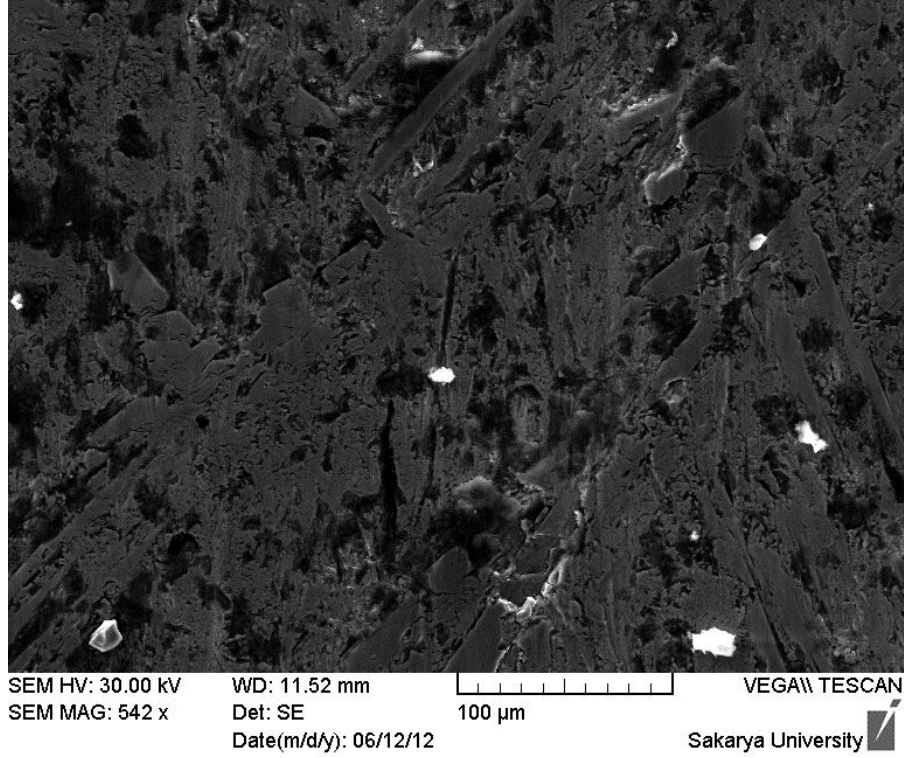
Şekil 5.95. 25 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası

27 no'lu numune %30 masif tel+%70 toz oranında, %100 FeCr toz ilavesine ve kaba primer karbürlere sahiptir. Numunenin aşınma yüzeyinde çok sayıda aşındırıcı parçacığı fark edilmektedir (Şekil 5.96). Bunun sebebi, aşındırıcı parçacıklarının nispeten düşük sertlikteki (Şekil 5.67'deki mikro sertlik grafiğine göre yaklaşık 400-450 HV) matris fazına gömülmüş olabileceğidir.

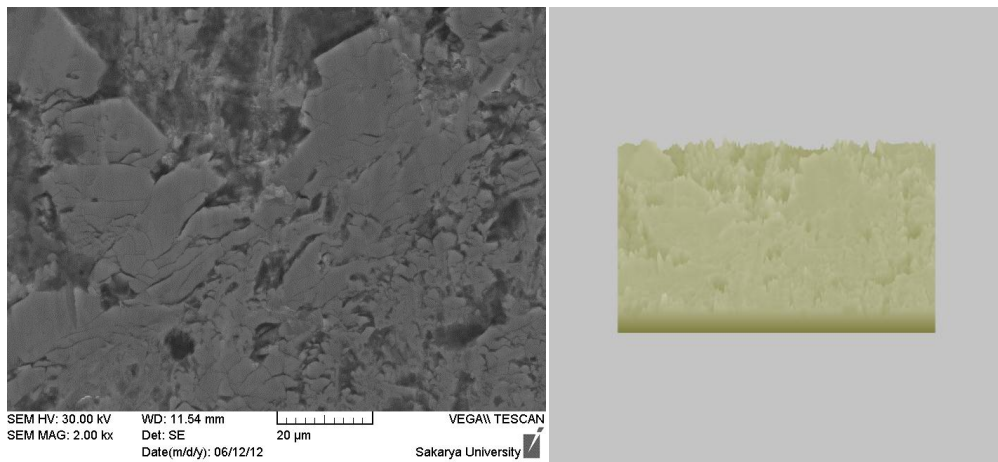


Şekil 5.96. 27 no'lu numunenin aşınma yüzeyi

Şekil 5.97'te ise aşınma yüzeyinde meydana gelmiş boşluklar ve pullanma görülmektedir. Bu boşluklar karbür oldukları düşünülen sert fazların arasındaki matris fazında meydana gelmiştir. Aşınma yüzeyinin topoğrafyasını gösteren Şekil 5.98'da ise matriste meydana gelen aşınma ve nispeten daha yüksekte kalmış karbür fazları görülmektedir. Bunun yanı sıra karbür fazlarında mikro çatlakların meydana geldiği tespit edilmiştir.

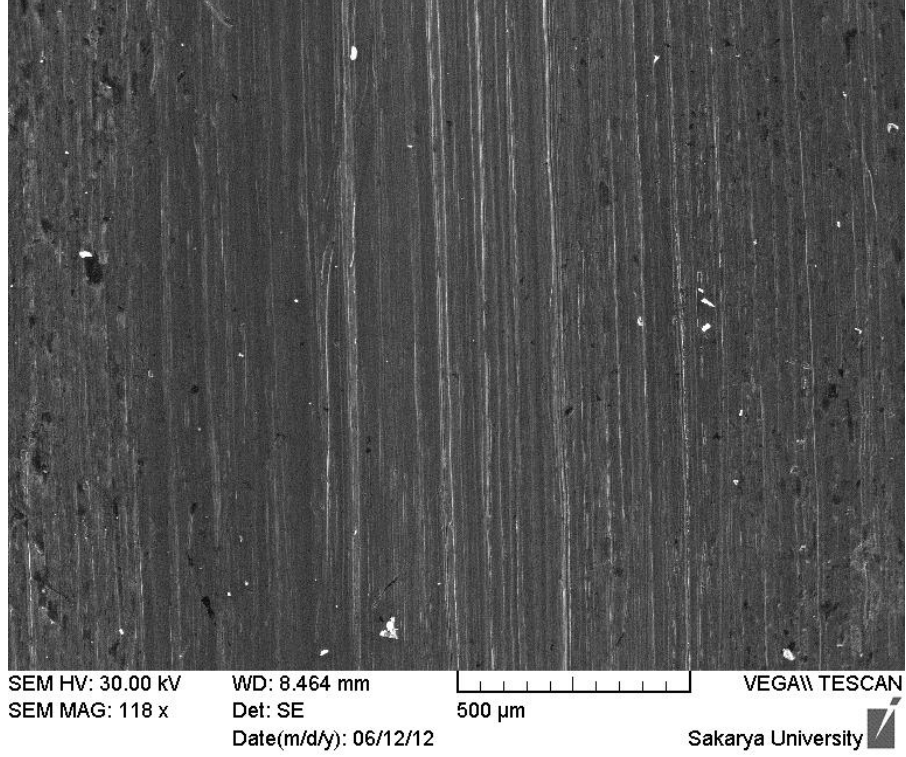


Şekil 5.97. 27 no'lu numunenin aşınma yüzeyindeki boşluklar ve pullanma

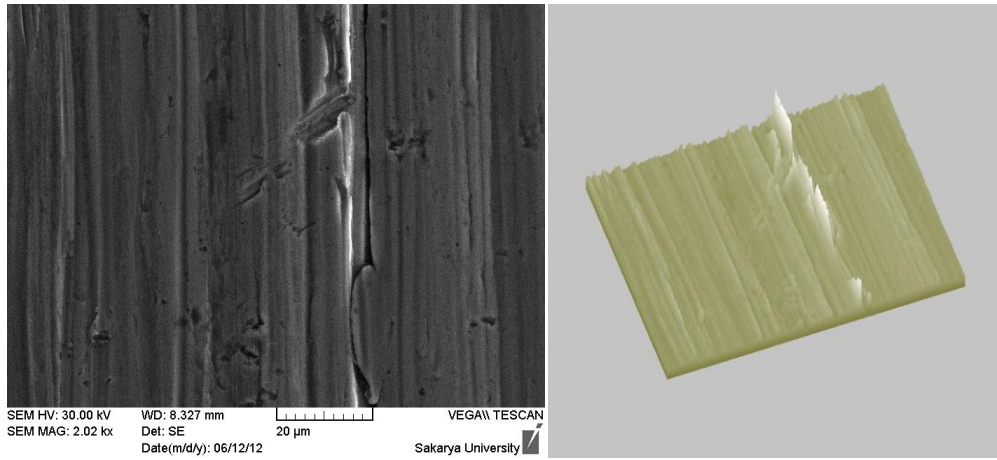


Şekil 5.98. 27 no'lu numunenin aşınma yüzeyi topoğrafyası

Şekil 5.99'da aşınma testlerinde referans olarak kullanılan Hardox 400 plakasının aşınma yüzeyi görülmektedir. Numunede derin ve sürekli aşınma izlerine rastlanmıştır. Şekil 5.100'e göre yüzey topoğrafyasından da görüldüğü gibi aşınma mekanizmasının mikro-kesme ve mikro-pulluklama olabileceği kanaatine varılmıştır.



Şekil 5.99. Hardox 400'ün aşınma yüzeyi



Şekil 5.100. Hardox 400'ün aşınma yüzeyi topoğrafyası

6. MALİYET ANALİZİ

Aşınma testlerinden elde edilen verilere göre en az aşınma miktarının 0,183 g ağırlık kaybı ile %30 masif tel+%70 toz oranında, %30 FeB+%70 FeCr toz takviyesine sahip 25 no'lu numunede meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değer 0,188 g ağırlık kaybına uğramış ticari olarak kullanılmakta olan bor içerikli özlü telin aşınma miktarına çok yakındır. Dolayısıyla kıyaslamada aşınma miktarı tek ölçüt değildir. Bu sebeple en iyi aşınma direnci gösteren bu iki numunenin maliyet analizleri yapılmıştır.

Tellerin fiyatları Yaman Kaynak Mak. Elk. İth.İhr. San. ve Tic. Ltd.Şti.'den alınmıştır. Ferrobor ve ferrokrom tozlarında ise Marmara Metal Mamülleri Tic. A.Ş.'den alınan fiyatlar baz alınmıştır. Buna göre ferrobor 4000 USD/ton, ferrokrom ise 1500 USD/ton'dur. Çizelge 6.1'de tozların fiyatları kilogram cinsinden TL dönüşümü yapılarak kullanılmıştır.

Çizelge 6.1. En iyi aşınma direnci sergileyen 2 ve 25 no'lu numunelerin örnek maliyetleri

Numune no	Ürün	Fiyat (TL/kg)	Miktar (kg)	Toplam (TL)
2	Bor içerikli özlü tel	10	10	100
	Genel Toplam: 100 TL			
25	Masif tel	3	3	9
	Ferrobor	2,69	2,1	5,649
	Ferrokrom	7,17	4,9	35,133
	Genel Toplam: 49,78 TL			

*1 USD=1,7935 TL (20.06.2012)

Fiyat kıyaslaması yapabilmek için örnek olarak toplam ağırlığı 10 kg olan sert dolgu kaplama elde edilmek istendiği varsayılarak ihtiyaç olan malzeme miktarları ve toplam tutarları Çizelge'de hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi masif tele toz ilave edilerek üretilen 25 no'lu numune, ticari olarak kullanılmakta olan bor içerikli özlü telden %50 oranında daha düşük maliyete sahiptir. Dolayısıyla aşınma direnciyle birlikte daha düşük maliyete sahip olması tercih sebebi olabilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 8 farklı sert dolgu alaşımı ile aşınma plakaları üretilmiştir. Üretilen numunelerin ve Hardox 400 referans plakasının aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testi sonuçları, mikro yapı incelemeleri, SEM ve XRD analizleri, sertlik testleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlar özetlenecek olursa;

1. Aşınma plakalarının geçiş bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe, sert fazların yapı içerisindeki hacimsel yoğunluğu artmıştır.
2. Artan bor ilavesi, sert fazların yapıdaki yoğunluğunu arttırmıştır.
3. Toz ilavesinin ağırlıkça %50'den %70'e çıkması sert fazların boyutlarını arttırmıştır.
4. Sert dolgu alaşımlarıyla kaplanan yüzeylerin sertliği, St-37 altlık malzemesinin sertliğinden 5 ila 7 kat fazladır.
5. En yüksek sertlik değeri ticari bor içerikli özlü tel ile kaplanan numunede elde edilmiştir.
6. Aşınma plakalarında en düşük sertlik değerleri %100 ferrokrom toz ilavesi yapılan numunelerde ölçülmüştür.
7. Her iki masif tel grubunda da artan bor içeriğiyle sertlikte artış meydana gelmiştir.
8. Yalnız ferrokrom toz ilavesine sahip numunelerle kıyaslandığında genel bir sonuç olarak bor katkısı aşınma plakalarında sertlik artışını sağlamıştır.
9. Masif tele ilave edilen tozun ağırlıkça %50'den %70'e çıkarılmasıyla sertlikte artış meydana gelmiştir.
10. En yüksek aşınma direnci, %30 masif tel+%70 toz oranında, %30 ferrobör+%70 ferrokrom toz karışımı içeren numunede elde edilmiştir.
11. Aşınma plakalarında en düşük aşınma direnci, %50 masif tel+%50 toz oranında, %100 ferrokrom toz karışımı içeren numunede gözlenmiştir.
12. Ticari olarak kullanılan bor içerikli özlü tel, yine ticari olarak kullanılan krom karbür içerikli özlü telden daha yüksek sertlik değerine ve daha iyi aşınma direncine sahiptir.
13. Üretilen aşınma plakaları Hardox 400 ile kıyaslandığında, sert dolgu kaplamaları aşınma miktarını 4 ila 14 kat arasında düşürmüştür.
14. Her iki masif tel grubunda da bor oranının artmasıyla aşınma direnci artmıştır.
15. En yüksek aşınma direnci sergileyen %30 masif tel+%70 toz oranında, %30 ferrobör+%70 ferrokrom toz karışımı içeren numunenin maliyeti, bu numuneye yakın aşınma direnci gösteren ve ticari olarak kullanılan bor içerikli özlü tele göre %50 daha düşüktür.

8. REFERANSLAR

1. Apay, S., Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, Ankara
2. L.F. Jeffus, Welding principles and applications, Thomson Delmar Learning, 1997
3. Wang, X.H., Han, F., Liu, X.M., Qu, S.Y., Zou, Z.D., Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings, Materials Science and Engineering A, 489: 193–200, 2008
4. Stokes, J., Production of Coated and Free-Standing Engineering Components Using the HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) Process, PhD Thesis (Doktora Tezi), Dublin City University, 2002, Ireland
5. Kiseçik, İ., Sertleştirilmiş ve Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Direncinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, Sivas.
6. Büyükkelleci, Ü., Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, Elazığ
7. Karabaşoğlu, M., Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, Sakarya
8. Atamert, S., Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, PhD Thesis (Doktora Tezi), University of Cambridge, 1988
9. Karaoğlu, Y., Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006, Sakarya
10. Chotěborský, R., Hrabě, P., Müller, M., Savková, J., Jirka, M., Navrátilová, M., Effect of Abrasive Particle Size on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, Research in Agricultural Engineering, 55, 3: 101–113, 2009
11. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear
12. cdn.intechopen.com/pdfs/31706/InTech-Effect_of_abrasive_size_on_wear.pdf
13. Viswanath, B., Vijayarangan, S., A Study Of The Low Stress Sliding Abrasion Wear Behaviour Of Mullite Coatings, International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol. 5, 1: 106-115, 2010
14. http://www.oerlikon.com.tr/files/sert_dolgu_kaynaklari.pdf
15. Kim, J.K., Kim, G.M., Kim, S.J., The effect of Mn on the strain-induced martensitic transformation and high temperature wear resistance of Fe-20Cr-1C-1Si hardfacing alloy, Journal of Nuclear Materials, 289: 263-269, 2001
16. Tu, S.Y., Jean, M.D., Wang, J.T., Wu, C.S., A Robust Design in Hardfacing Using a Plasma Transfer Arc, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27: 889-896, 2006

17. Choo, S.H., Kim, C.K., Euh, K., Lee, S., Jung, J.Y., Ahn, S., Correlation of microstructure with the wear resistance and fracture toughness of hardfacing alloys reinforced with complex carbides, *Metallurgical And Materials Transactions A*, Vol 31A, 3041-3052, 2000
18. Kumar, S., Mondal, D.P., Jha, A.K., Effect of Microstructure and Chemical Composition of Hardfacing Alloy on Abrasive Wear Behavior, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol: 9, 6: 649-655, 2000.
19. Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Le´on, L.M., Toro, A., The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, *Wear*, Vol: 259, 52-61, 2005.
20. Kazemipour, M., Shokrollahi, H., Sharafi, Sh., The Influence of the Matrix Microstructure on Abrasive Wear Resistance of Heat-Treated Fe–32Cr–4.5C wt% Hardfacing Alloy, *Tribology Letters*, 39: 181-192, 2010.
21. Badisch, E., Katsich, C., Winkelmann, H., Franek, F., Roy, M., Wear behaviour of hardfaced Fe-Cr-C alloy and austenitic steel under 2-body and 3-body conditions at elevated temperature, *Tribology International*, Vol: 43, 1234-1244, 2010
22. Wang, X.H., Zou, Z.D., Qu, S.Y., Microstructure of Fe-based alloy hardfacing coating reinforced by TiC-VC particles, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol:13, 4: 51-55, 2006
23. Balasubramanian, V., Varahamoorthy, R., Ramachandran, C.S., Muralidharan, C., Selection of Welding Process for Hardfacing on Carbon Steels Based on Quantitative and Qualitative Factors, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40: 887-897, 2009.
24. Ramachandran, C.S., Balasubramanian, V., Varahamoorthy, R., Comparative Evaluation of the Abrasive Slurry Wear Behavior of Alloy Surfaces Produced by a Plasma Transferred Arc Hardfacing Process, *Metals and Materials International*, Vol: 16, 2: 235-246, 2010.
25. <http://www.bemas.be/file?fle=1925> (Klimpel, A., New Fundamental Insights for Leading Edge Welding Technology, The Silesian University of Technology Welding Department)
26. Kumar, S., Mondal, D.P., Khaira, H.K., Jha, A.K., Improvement in High Stress Abrasive Wear Property of Steel by Hardfacing, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 8(6): 711-715, 1999
27. Chang, C.M., Chen, Y.C., Wu, W., Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy, *Tribology International*, 43: 929-934, 2010
28. J.R.Davis (Yazar, Editör), *Surface hardening of steels: understanding the basics*, ASM International, 2003
29. http://www.gowelding.org/FCAW_Flux_Cored_Arc_Welding.html
30. Saraçoğlu, E., Gençkan, D., Özlü tel kaynak teknolojisi, *Mühendis ve Makine*, 50 (599): 74-77, 2009
31. http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/files/downloads/Kutuphane/library_1.pdf
32. http://www.oerlikon.com.tr/files/toz_alti_kaynak_yontemi_1-2.pdf

33. <http://www.welding-technology-machines.info/hardfacing-of-materials/hardfacing-alloys.htm>
34. Sha, C.K., Tsai, H.L., Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel by using CO₂ laser, Sha, Tsai, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 10 (1): 37-41, 2001
35. Chang, C.M., Lin, C.M., Hsieh, C.C., Chen, J.H., Wu, W., Micro-structural characteristics of Fe-40wt%Cr-xC hardfacing alloys with [1.0-4.0 wt%] carbon content, *Journal of Alloys and Compounds*, 487: 83-89, 2009
36. Buytoz, S., Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, *Surface & Coatings Technology*, 200: 3734- 3742, 2006
37. Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W., Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys, *Surface & Coatings Technology*, 201: 908-912, 2006
38. Amushahi, M.H., Ashrafizadeh, F., Shamanian, M., Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes, *Surface & Coatings Technology*, 204: 2723-2728, 2010
39. T. Bridgum, *How to weld*, MBI Publishing Company, USA, Minneapolis, 2008
40. http://www.commersald.com/en/impianti/processo_pta.html
41. <http://www.stellite.com/Portals/0/Microsoft%20PowerPoint%20-%20Deloro%20Stellite%20Plasma%20Transferred%20Arc%20and%20HVOF.pdf>
42. Jha, A.K., Gachake, A., Prasad, B.K., Dasgupta, R., Singh, M., Yegneswaran, A.H., High Stress Abrasive Wear Behavior of Some Hardfaced Surfaces Produced by Thermal Spraying, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 11(1): 37-45, 2002
43. J.R. Davis, *Handbook of Thermal Spray Technology*, ASM International, 2004
44. <http://www.indiamart.com/associatedplasmatron/spray-coating.html>
45. <http://www.stellite.com/ProductsServices/HardfacingAlloys/WeldingProcesses/LaserWeldDe position/tabid/326/Default.aspx>
46. Sha, C.K., Tsai, H.L., Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel powder with added silicon nitride using a CO₂ laser, *Materials Characterization*, 52: 341- 348, 2004
47. Lin, C.M., Lai, H.H., Kuo, J.C., Wu, W., Effect of carbon content on solidification behaviours and morphological characteristics of the constituent phases in Cr-Fe-C alloys, *Materials Characterization*, 62: 1124 -1133, 2011
48. Azimi, G., M. Shamanian, M., Effects of silicon content on the microstructure and corrosion behavior of Fe–Cr–C hardfacing alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 505: 598–603, 2010
49. Sabet, H., Khierandish, Sh., Mirdamadi, Sh., Goodarzi, M., The microstructure and abrasive wear resistance of Fe-Cr-C hardfacing alloys with the composition of hypoeutectic, eutectic and hyper eutectic at Cr/C=6, *Tribology Letters*, 44: 237-245, 2011
50. Yang, K., Yu, S., Li, Y., Li C., Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy, *Applied Surface Science*, 254 (16): 5023-5027, 2008

51. Sapate, S.G., RamaRao, A.V., Erosive wear behaviour of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles, *Tribology International*, 39 (3): 206-212, 2006
52. Kim, J.H., Hong, H.S., Kim, S.J., Effect of boron addition on the cavitation erosion resistance of Fe-based hardfacing alloy, *Materials Letters*, 61: 1235–1237, 2007
53. Shin, J., Doh, J., Yoon, J., Lee, D., Kim, J., Effect of Molybdenum on the Microstructure and Wear Resistance of Cobalt-base Stellite Hardfacing Alloys, *Surface and Coatings Technology*, 166: 117-126, 2003.
54. Pradeep, G.R.C., Ramesh, A., Durga Prasad, B., A Review Paper on Hardfacing Processes and Materials, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (11): 6507-6510, 2010.
55. Gurumoorthy, K., Kamaraj, M., Prasad Rao, K., Sambasiva Rao, A., Venugopal, S., Microstructural aspects of plasma transferred arc surfaced Ni-based hardfacing alloy, *Materials Science and Engineering A*, 456: 11–19, 2007
56. Wang, X.H., Han, F., Qu, S.Y., Zou, Z.D., Microstructure of the Fe-based hardfacing layers reinforced by TiC-VC-MoC₂ particles, *Surface & Coatings Technology*, 202: 1502–1509, 2008
57. Nedeljković, B., Lazić, V., Aleksandrović, S., Krstić, B., Mutavdžić, M., Milosavljević, D., Đorđević, M., Influence of the carbide type on tribological properties of the hard faced layers, *MJoM*, Vol 16 (2): 77-90, 2010
58. Wang, Q., Li, X., Effects of Nb, V, and W on Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys, *Supplement To The Welding Journal (Sponsored by the American Welding Society and the Welding Research Council)*, 133-139, 2010
59. Lee, K.Y., Lee, S.H., Kim, Y., Hong, H.S., Oh, Y.M., Kim S.J., The effects of additive elements on the sliding wear behaviour of Fe-based hardfacing alloys, *Wear*, 255: 481–488, 2003
60. Yoo, J.W., Lee, S.H., Yoon, C.S., Kim, S.J., The effect of boron on the wear behaviour of iron-based hardfacing alloys for nuclear power plants valves, *Journal of Nuclear Materials*, 352: 90-96, 2006
61. Kim, J.H., Na, K.S., Kim, G.G., Oh, J.Y., Yoon, C.S., Kim, S.J., The effects of Mn and B on the cavitation erosion resistance of austenitic Fe-base hardfacing alloys, *Materials Science and Engineering A*, 477: 204–207, 2008
62. http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/miller_indices/worked_examples.php
63. Li, G., Ma, C., Zheng, Y., Zhang, W., Preparation and electrocatalytic activity of hollow global tungstencarbide with mesoporosity, *Microporous and Mesoporous Materials*, 85 (3): 234–240, 2005
64. Gualco, A., Svoboda, H.G., Surian, E.S., de Vedia, L.A., Effect of Welding Procedure on Wear Behaviour of a Modified Martensitic Tool Steel Hardfacing Deposit, *Materials and Design*, Vol: 31, 4165-4173, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

İsim: Nilay YÜKSEL

Doğum yeri: İzmir

Doğum tarihi: 21.08.1988

Eğitim Bilgileri

İlköğretim: Emlak Bankası İlköğretim Okulu, İzmir

Lise: Bornova Anadolu Lisesi, İzmir (2002-2006)

Lisans: Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü (2006-2010)

Yüksek Lisans: Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

İş Tecrübesi

Egetek Makina Ltd. Şti., Makine mühendisi, 2010-2011

Celal Bayar Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, Araştırma görevlisi, 2011-