

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**HİBRİT KOMPOZİT LAZER KAPLAMALARIN OLUŞTURULMASI
VE İNCELENMESİ**

Tayfun ÇAPAR

**Danışman
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



MANİSA– 2019

**Tayfun
ÇAPAR**

**HİBRİT KOMPOZİT LAZER KAPLAMALARIN OLUŞTURULMASI VE
İNCELENMESİNE KARAKTERİZASYONU**

2019

TEZ ONAYI

Tayfun ÇAPAR tarafından hazırlanan "**HİBRİT KOMPOZİT LAZER KAPLAMALARIN OLUŞTURULMASI VE İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması 22.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Seçil ÇELİK ERBAŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Buket OKUTAN BABA

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Tayfun ÇAPAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Lazer	3
2.1.1.Lazerin Temel Özellikleri.....	4
2.1.2.Lazerin Çalışma Prensibi.....	5
2.2. Lazer Kaynak Çeşitleri	6
2.2.1. Katı Hal Lazerleri	6
2.2.2. Gaz Lazerleri	7
2.2.3. Diyot Lazerleri.....	8
2.2.4. Sıvı Lazerler.....	8
2.3. Lazer Kaynak Yöntemi	9
2.4. Lazerle Kaplama.....	10
2.4.1. Kaplama.....	10
2.4.2. Lazerle Kaplama	10
2.4.3. Lazerle Kaplama Prosesi	14
2.4.3.1. Tel Beslemeli Lazer Dolgu Kaynağı	15
2.4.3.2. Toz Beslemeli Lazer Dolgu Kaynağı	16
2.4.4. Avantajları ve Dezavantajları	18
2.4.5. Uygulamalar	19
2.5. Aşınma.....	20
2.5.1. Adhezyon Aşınma	24
2.5.2. Abrasif Aşınma	26
2.5.3. Yorulma Aşınması	28
2.5.4. Korozyon Aşınma	29
2.6. Literatür Araştırması	30
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	32
3.1. Malzeme	32
3.2. Deneysel Çalışmalar	38
3.2.1. Metalografik İnceleme.....	38
3.2.2. Mikro Sertlik.....	39
3.2.3. Aşınma Testi.....	40
3.2.4. SEM - EDS Analizi	41
4. DENEYSEL BULGULARI VE TARTIŞMA	43
4.1. Makro İncelemeler	43
4.2. Mikro Sertlik Test Sonuçları	45
4.3. Aşınma Test Sonuçları	47
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Nd	Neodimyum
WC	Tungsten Karbür
SiC	Silisyum Karbür
YAG	İtriyum Alüminyum Garnet
Fe	Demir
Ni	Nikel
Al	Alüminyum
°F	Fahrenhayt
CO₂	Karbondioksit
CuSO₄	Bakır (II) sülfat
HCl	Hidroklorik Asit
H₂SO₄	Sülfürik Asit

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Lazer ışın cihazının şematik gösterimi	1
Şekil 2.1. Lazer cihazının genel bileşenleri	3
Şekil 2.2. Lazer kaynağının şematik gösterimi	4
Şekil 2.3. Işınım formları	4
Şekil 2.4. Yakut lazerinin çalışma prensibi.....	6
Şekil 2.5. Yakut lazerinin şematik gösterimi	6
Şekil 2.6. He- Ne lazeri	7
Şekil 2.7. Lazer Kaynak Makinesi	9
Şekil 2.8. Lazer Işın Kaynak Şeması	11
Şekil 2.9. Lazer Kaplama Örnekleri.....	12
Şekil 2.10. Robotik lazer kaplama sistemi	13
Şekil 2.11. Lazer kaplama teknolojisi şematik resmi ve robot kol	14
Şekil 2.12. Tel beslemeli lazer dolgu kaynağı şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.13. Lazerli toz püskürtme teknolojisi şematik resmi	17
Şekil 2.14. Buhar valfi yüksek sıcaklıkta erozif etkilere maruz kalarak önemli oranda aşınmış, sonrasında kobalt esaslı süper alaşım ile lazer kaplama yapılarak tamir edilmiş hali	19
Şekil 2.15. Lazer ile kaplama örnekleri	19
Şekil 2.16. Tribolojik sistemin şematik gösterimi	20
Şekil 2.17. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler	21
Şekil 2.18. Aşınmayı oluşturan anahtar kelimeler ve tanımlanmaları	22
Şekil 2.19. Aşınma tiplerinin gösterimi	22
Şekil 2.20. Adhezif aşınma ; (a) malzeme yüzeylerin birbirine yapışması (b) kayma sonrası yüzeyde oluşan malzeme kaybı	24
Şekil 2.21. Kayma aşınmasının mekanizması gösterimi.....	25
Şekil 2.22. Malzeme yüzeylerinin temas alanları	25
Şekil 2.23. Abrasif aşınma mekanizması	26
Şekil 2.24. İki elemanlı abrasif aşınma örneği.....	27
Şekil 2.25. Abrasif aşınma mekanizmasını oluşturan dört aşınma mekanizması	27
Şekil 2.26. Üç elemanlı abrasyon aşınma örneği	28
Şekil 2.27. Yorulma Aşınması	28
Şekil 2.28. Korozyon Aşınma örnekleri	29
Şekil 3.1. Lazer kaynağı ile kaplama yapılan numunelerin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.2. Kaplama işleminin yapılışının gösterimi	37
Şekil 3.3. Kullanılan zımparalama ve parlatma cihazı.....	38
Şekil 3.4. Kullanılan optik mikroskop ve stereo mikroskop.....	39
Şekil 3.5. Mikro sertlik test cihazı	39
Şekil 3.6. Pim disk aşınma test cihazı	40
Şekil 3.7. Pim disk cihazı şematik gösterimi	41
Şekil 3.8. Profilometre cihazı.....	41
Şekil 3.9. Kullanılan SEM Cihazı	42
Şekil 3.10. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görüntüsü	42
Şekil 4.1. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü	43
Şekil 4.2. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü	43
Şekil 4.3. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü	43

Şekil 4.4. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü.....	44
Şekil 4.5. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü	44
Şekil 4.6. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü.....	44
Şekil 4.7. Kaplamanın kesitten yapılan ölçümlerin gösterimi	45
Şekil 4.8. Kaplama kesitine ait sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.9.10Ni:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü	47
Şekil 4.10. 10Ni:2SiC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü.....	47
Şekil 4.11. 20Ni:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü	48
Şekil 4.12. 20Ni:2SiC:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü	48
Şekil 4.13. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın aşınma izi profilometre ölçüm grafiği örneği.....	49
Şekil 4.14. 10Ni:2SiC takviyeli kaplamanın aşınma izi görseli.....	49
Şekil 4.15. İlk 500 metredeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması	50
Şekil 4.16. 1000 metre sonunda aşınma miktarlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.17. Hazırlanan numunelerin aşınma miktarlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.18. Hacimce nikel oranı arttırılmış hacimce aynı oranda hazırlanan SiC numunelerin aşınma miktarlarının karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.19. Aynı Ni oranında %2 takviyeli WC ve SiC olarak hazırlanan kaplamanın aşınma miktarlarının karşılaştırılması	52
Şekil 4.20. Aynı Ni oranında %2 takviyeli WC ve SiC olarak hazırlanan kaplamanın aşınma miktarlarının karşılaştırılması	53
Şekil 4.21. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü.....	55
Şekil 4.22. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin yönünün SEM görüntüsü	56
Şekil 4.23. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki SEM görüntüsü. 56	
Şekil 4.24. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü.....	57
Şekil 4.25. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin SEM görüntüsü	57
Şekil 4.26. 2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü	58
Şekil 4.27. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü	58
Şekil 4.28. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin SEM görüntüsü	59
Şekil 4.29.20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü	59
Şekil 4.30. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.31. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü	60
Şekil 4.32. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.33. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi.....	62
Şekil 4.34. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	62
Şekil 4.35. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	63
Şekil 4.36. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	63
Şekil 4.37. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	64
Şekil 4.38. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	64
Şekil 4.39. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi	65
Şekil 4.40. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental	

analiz grafiği.....	65
Şekil 4.41. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	66
Şekil 4.42. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	66
Şekil 4.43. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	67
Şekil 4.44. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi.....	68
Şekil 4.45. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	68
Şekil 4.46. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	69
Şekil 4.47. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	69
Şekil 4.48. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	70
Şekil 4.49. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	70
Şekil 4.50. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	71
Şekil 4.51. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 7 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	72
Şekil 4.52. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 8 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	72
Şekil 4.53. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 9 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	73
Şekil 4.54. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 10 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	74
Şekil 4.55. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi	74
Şekil 4.56. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	75
Şekil 4.57. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	75
Şekil 4.58. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	76
Şekil 4.59. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	76
Şekil 4.60. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin elemental analiz grafiği.....	77
Şekil 4.61. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	77
Şekil 4.62. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	78
Şekil 4.63. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın yüzeyinin EDS analizi.....	79
Şekil 4.64. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği	79
Şekil 4.65. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin elemental analiz grafiği.....	80
Şekil 4.66. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği	80

Şekil 4.67. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	81
Şekil 4.68. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	82
Şekil 4.69. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	82
Şekil 4.70. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın yüzeyinin EDS analizi.....	83
Şekil 4.71. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	83
Şekil 4.72. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	84
Şekil 4.73. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	85
Şekil 4.74. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	85
Şekil 4.75. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi.....	86
Şekil 4.76. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	86
Şekil 4.77. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	87
Şekil 4.78. 2SiC takviyeli kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	87
Şekil 4.79. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	88
Şekil 4.80. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği.....	89

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar.....	32
Tablo 3.1. 1040 çeliğinin mekanik özellikleri	32
Tablo 3.2. 1040 çeliğinin kimyasal analizi	32
Tablo 3.3. 1040 çeliğinin ısıl işlem bilgileri	32
Tablo 3.4. Silisyum karbürün kimyasal analizi.....	33
Tablo 3.5. Silisyum karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri	33
Tablo 3.6. Tungsten karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri.....	33
Tablo 3.7. Tungsten karbürün kimyasal analizi	34
Tablo 3.8. Nikelin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	34
Tablo 3.9. Hibrit kompozit lazer kaplama oluşumunda hacimsel olarak kullanılan takviye nano toz miktarları.....	34
Tablo 3.10. Vision LWI IV teknik özellikleri.....	36
Tablo 3.11. Lazer kaynak parametreleri	36
Tablo 3.12. Hazırlanan numunelerin dağlanmasında kullanılan solüsyon	38
Tablo 3.13. Pim disk yönteminde kullanılan parametreler	40
Tablo 3.14. Kullanılan SEM analiz parametreleri	42
Tablo 4.1. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	62
Tablo 4.2. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	63
Tablo 4.3. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	63
Tablo 4.4. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	64
Tablo 4.5. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	65
Tablo 4.6. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	66
Tablo 4.7. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	66
Tablo 4.8. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	67
Tablo 4.9. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	67
Tablo 4.10. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	68
Tablo 4.11. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	69
Tablo 4.12. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	69
Tablo 4.13. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	70
Tablo 4.14. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	71
Tablo 4.15. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	71
Tablo 4.16. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 7 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	72

Tablo 4.17. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 8 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	73
Tablo 4.18. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 9 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	73
Tablo 4.19. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 10 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	74
Tablo 4.20. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	75
Tablo 4.21. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	75
Tablo 4.22. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	76
Tablo 4.23. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	76
Tablo 4.24. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin EDS analizinin sonucu.....	77
Tablo 4.25. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	78
Tablo 4.26. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	78
Tablo 4.27. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	79
Tablo 4.28. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin EDS analizinin sonucu.....	80
Tablo 4.29. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	81
Tablo 4.30. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	81
Tablo 4.31. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	82
Tablo 4.32. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu.....	83
Tablo 4.33. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	84
Tablo 4.34. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	84
Tablo 4.35. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	85
Tablo 4.36. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	86
Tablo 4.37. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	87
Tablo 4.38. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	87
Tablo 4.39. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	88
Tablo 4.40. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	88
Tablo 4.41. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu	89

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesiyle lisansüstü öğretim hayatım sürecinde maddi, manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleriyle yol gösteren, çalışmamın her aşamasında ve bu çalışmanın ortaya çıkmasında en büyük katkısı olan hocam Doç. Dr. Hülya Durmuş'a, yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmaları sırasında yardımını esirgemeyen Sayın hocam Araş. Gör. Dr. Nilay ÇÖMEZ'e, tez çalışmalarımda fikir alışverişı yaptığım, çalışmalarımıda yardımcı olan değerli arkadaşım Metalurji Malzeme Mühendisi Samet Şen'e ve Makine Mühendisi Gökhan EYİCİ'ye, hayatımın her aşamasında yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Tayfun ÇAPAR
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Hibrit Kompozit Lazer Kaplamaların Oluşturulması ve İncelenmesi

Tayfun ÇAPAR

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

Lazer kaynağı, geleneksel kaynak yöntemleri gibi kaynak işlemlerinin yerine kullanılacak bir kaynak yöntemidir. Lazerin, birçok avantajının yanında gelişen teknoloji ile birlikte uyumlu olmasının sonucu imalat işlemlerinde tercih edilebilirliği arttırmıştır. Lazer kaynağı yöntemi kullanarak, imalat işlemi başta olmak üzere, sağlık alanında, uzay, hava ve otomotiv teknolojisinde, kullanılacak aşınmaya dirençli, korozyon dayanımı artırılmış ve yüksek mukavemetli kaplamalar üretilebilmektedir.

Lazer kaynağı, hafif metaller ve kompozit malzemelere uygulanabilir. Lazer kaynağı, iş parçalarında dar ısı tesiri altında kalan bölge oluşumu (ITAB), geleneksel kaynak yöntemlerine göre düşük ısıl çarpılma ve yüksek nüfuziyet imkânı verir.

Bu tez çalışmasının amacı lazer kaynak yöntemiyle yüksek aşınma direncine sahip kaplamalar oluşturarak çeliklerde kaynak bölgesinin sertliği ve mukavemetini arttırmaktır. Bunun için lazer kaynak yöntemiyle Nikel (Ni) tozu içerisine hacimce %2, %10 ve %20 oranlarında Silisyum Karbür (SiC) ve Tungsten Karbür (WC) karıştırılarak altlık üzerinde lazer kaynağı ile nano boyuttaki hibrit kaplama yapılmıştır. Üretilen kaplamaların mikro yapı incelemeleri, aşınma ve sertlik testleri, SEM EDS analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit kompozit, Dolgu kaynağı, Aşınma, Lazer kaynağı, Nd:YAG

2019, 98 sayfa

ABSTRACT

Master Thesis

Formation and Examination of Hybrid Composite Lazer Coatings

Tayfun ÇAPAR

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Materials Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

The laser source is a welding method that can be used instead of welding processes such as conventional welding methods. Besides the many advantages of the laser, the integration with the developing technology has increased the preferability in manufacturing processes. Using the laser welding method, the production process, especially in the field of health, space, air and automotive technology can be used, resistant to corrosion, increased corrosion resistance and high strength coatings will be produced.

Laser welding is used for metal and composite materials. The laser source provides a low thermal impact and high penetration of the workpiece under the area of narrow heat effect (ITAB).

The aim of this thesis is to increase the hardness and strength of the welding zone in steels by forming high wear resistance coatings by laser welding method. For this purpose, 2%, 10% and 20% silicon carbide (SiC) and Tungsten Carbide (WC) were mixed into the Nickel (Ni) powder by laser welding method and hybrid coating in nanoscale was made on the base by laser welding. Microstructure investigations, abrasion and hardness tests and SEM EDS analysis of the produced coatings were performed.

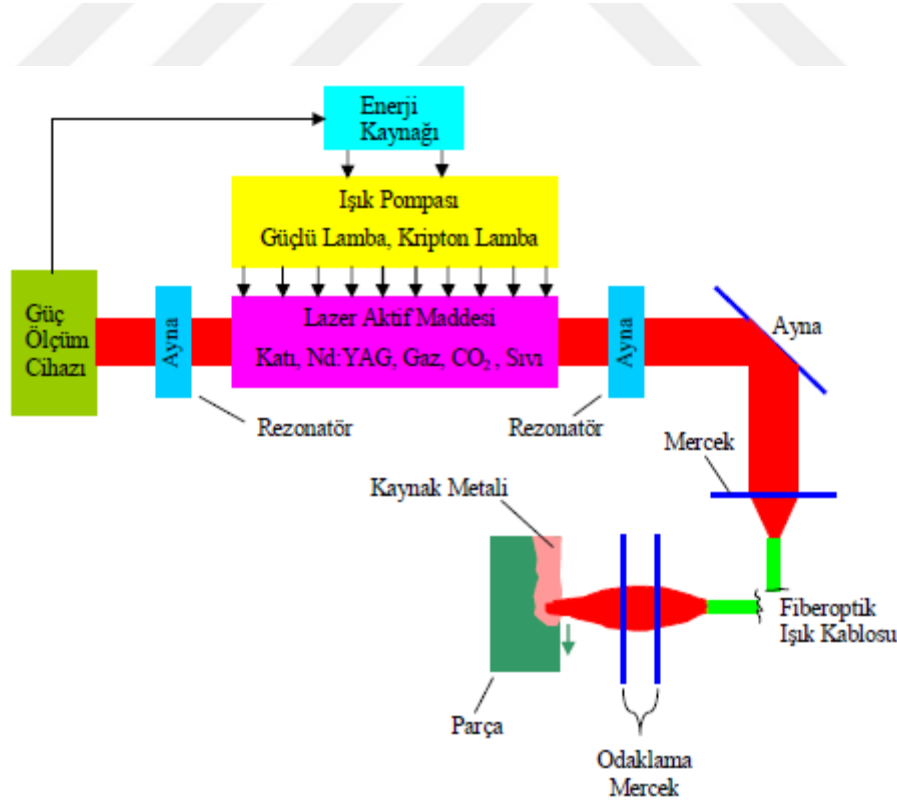
Keywords: Hybrid composite, Cladding, Wearing , Laser welding, Nd:Yag

2019, 98 pages

1. GİRİŞ

Lazer ışın kaynağı, iş parçasının yüzeyine yüksek enerji de çarpan ışın demeti ile malzemelerin birleştirilmesini sağlar. Lazer kaynağı, geleneksel kaynak yöntemlerinin otomasyona uygun olmaması ve hassasiyetinin yetersiz kalması ile birlikte gelişen teknoloji ve yaygınlaşan endüstriyel üretimde hızlı ve seri imalat işlemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

İş parçasına temas olmadan, tek bir noktaya odaklanabilirliği, bilgisayar kontrollü enerji girdisi, farklı malzemelere kaynak yapılmasına imkân vermesi en önemli avantajlarıdır. Lazer kaynağının, robot teknoloji ile uyumlu olması endüstri de yaygın kullanıma sebep olmuştur. Robot teknolojisi ile geleneksel kaynak yöntemlerine göre, kaynak kalitesinin hassasiyeti ve kalitesi artırılmıştır. Aynı zamanda yatırım maliyetini de arttırmıştır. Lazerin endüstriyel önemi her şeyden önce üstün performansta kaynak yapma imkânı vermektedir. Lazer ışını ile istenilen her noktaya müdahale edilerek kaynak yapma imkânı sunmaktadır [1].



Şekil 1.1. Lazer ışın cihazının şematik gösterimi [2].

Lazer kaynağı, diğer kaynak yöntemlerinden farklı olarak iş parçasının şeklini ve yüzey sertliğini bozmadan tamirine imkân vermektedir. Tamir gereken kalıplarda tekrar kalıp maliyetini ortadan kaldırır. Tadilat gereken bölgelere kontrollü bir şekilde bir yüzeye toz ilavesi veya tel besleme ile iş parçasının bölgesel olarak korozyon ve aşınmaya dayanıklı hale getirilmesi için kullanılmaktadır [3].

Avantajları;

- Bilgisayar ile kontrollü ısı girdisi,
- Otomasyon ile entegre edebilme,
- Dar kaynak dikişi,
- Düşük çarpılma,
- Yüksek doğruluk ve kontrol,
- Seri ve hızlı,
- Derin nüfuziyet,
- Kaynak yapılan alanlarda düşük deformasyon,
- İstenilen noktaya odaklanabilme imkânı,
- Yüksek mukavemetli kaynaklar,
- Hassas iş parçalarında çalışma imkânı,
- Temassız kaynak.

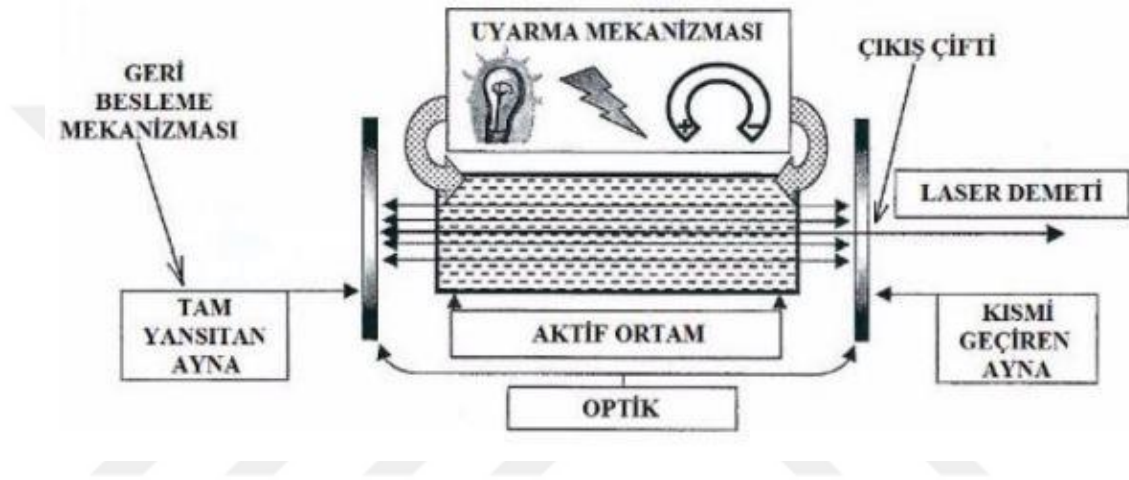
Bu çalışmada, nano boyutlu takviye elemanlarından oluşan hibrit kompozit kaplamaların aşınma ve aşınmayı önlemesi amaçlanmıştır. Tez ile ilgili literatür taraması yapıp, tungsten karbür (WC), silisyum karbür (SiC) ve nikel (Ni) ile yapılan lazer kaplama çalışmaları ve yayınlanan makaleler sunulmuştur. Genel olarak kullanılan takviye elemanları mikron boyutta seçilmiştir. Hazırlanan numunelere uygulanan testlerin sonuçları incelenip, karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, %2, %10 ve %20 takviyeye sahip tungsten karbür (WC), silisyum karbür (SiC) ve nikel (Ni) tozları karışımı sonucu hazırlanan numunelerin lazer ile altlık yüzeyinde kaplama oluşturulmasıyla elde edilen hibrit kompozit kaplamaların aşınma direnci, kaplamanın sertliği ve kaplamanın mikro yapıya etkisini incelemektir. Gelişen lazer teknolojisi ülkemizde başta savunma sanayi olmak üzere farklı alanlarda da kullanımı yaygınlaştırılması ülke ekonomisine ve bu konu da yapılan akademik çalışmalara faydası olacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Lazer

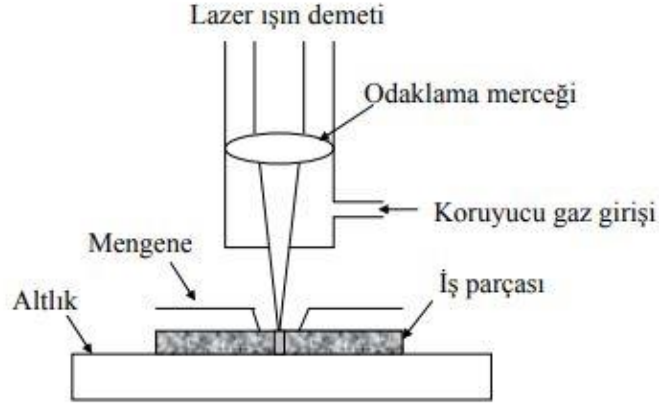
Lazer kelimesi İngilizce “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin alınmasından türetilmiş, atomların uyarılmasıyla, yörünge değiştirerek kararsız hale geçen atomlar, bu uyarılma sırasında yüksek enerjili ışın yayarlar. Ortaya çıkan ışına lazer denir [4].



Şekil 2.1. Lazer cihazının genel bileşenleri [4].

Lazerler, atomların dış etkenler ile uyarılması sonucu kararsız duruma geçmesi, ortaya çıkan bütün fotonların aynı doğrultuda, frekansta hareket etmesiyle elde edilen ışık demetidir. Lazer ışığı, meydana geldiği normal ışıktan farklı olarak birbirine paralel ilerler, aynı doğrultuda ilerlediğinden dağılmaz özelliğinin yanı sıra, lazer ışınına yön verilebilmektedir. Böylece uzun mesafelerde bile kayıp yaşamadan ışın demetini yayma özelliğine sahiptirler [5].

Lazerler, uyarılan atomların kararsız hale geçerken ortaya çıkardığı çok yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. İmalat işlemlerinde ise markalama, dolgu, yüzey işleme, gibi çok geniş bir uygulama alanına sahip olması sağlamıştır [6].

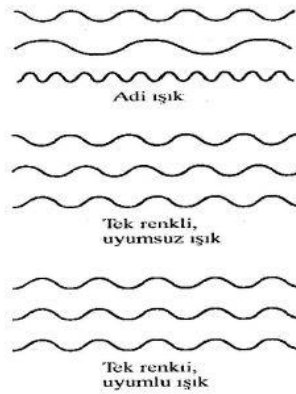


Şekil 2.2. Lazer kaynağının şematik gösterimi [7].

2.1.1. Lazerin Temel Özellikleri

- Lazerden yayılan ışık aynı doğrultuda, tek dalga boyunda ve tek renklidir. Normal ışık ise birçok renk ve dalga boyundan oluşmaktadır.
- Lazer ışın demeti aynı doğrultuda ilerlediği için çok az miktarda sapma yapar.
- Lazer ışını, birbirine paralel ilerleyen ışın demeti sayesinde tek bir noktaya odaklanabilir, normal ışık ise tek bir noktaya değil her yöne dağılım özelliği gösterir. Lazer ışınının tek bir doğrultuda odaklanabilmesi daha hassas işlerin yapılmasını da kolaylaştırır.

Bu üç özellik lazerin ışınını normal ışıktan daha tehlikeli yapmaktadır. Lazer ışını çok küçük bir alanda büyük miktarda enerji depolayabilir.



Şekil 2.3. Işınım formları [8].

2.1.2. Lazerin Çalışma Prensibi

Lazerin temeli uyarılan atomların kararsız duruma geçişi sırasında oluşan ışın demetine dayanır. Atomdaki elektron geçişi sırasında bir foton soğurur ya da salar. Salınım yapan foton, yansiyarak maddeyi oluşturan atomlara çarpar ve yeni fotonların yayılmasına neden olur. Bu şekilde zincirleme devam eden reaksiyon sonucunda ortamda eş fazlı ve monokromatik bir ışık oluşur [9].

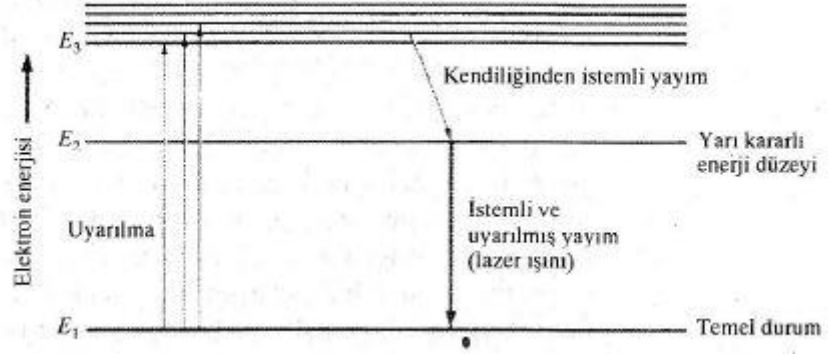
Günümüzde kullanılan lazerler, kristallerden oluşmaktadır. Kristallerin içerisinde nadir toprak elementleri bulunur. Neodimyum çeşitli kristallerde kullanılan nadir toprak elementlerindedir [9].

Bir lazer ışık kaynağı elde etmek için aktif uyarma, uyarma mekanizması, geri besleme mekanizması ve çıkış bağdaştırıcısına ihtiyaç duyulur. Aktif ortamda, atom dışarıdan uyarıldığında son yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye yükselir. Atomun dışarıya verdiği enerji dışarıya foton olarak yayılır. Uyarılan birçok foton, belli bir yönde ilerleyen ışın demetine dönüşür. Geri besleme mekanizması ışığın bir kısmını tekrar aktif ortama gönderir. Çıkış bağdaştırıcısı yansıtıcı iki ayna arasındaki lazerin ışın demeti olarak çıkışını sağlar. Lazer kaynağı, üretim ortamında uyarılma ve pompalama kaynağına göre isimler alır. Lazer kaynağı çeşitleri; CO₂ lazeri, argon, helyum lazeri, kristal kullanıldı ise kullanılan kristalin içerisinde bulunan elementin ismini alır. İtiryum –Alüminyum – Garnet (YAG) gibi [10].

2.2. Lazer Kaynak Çeşitleri

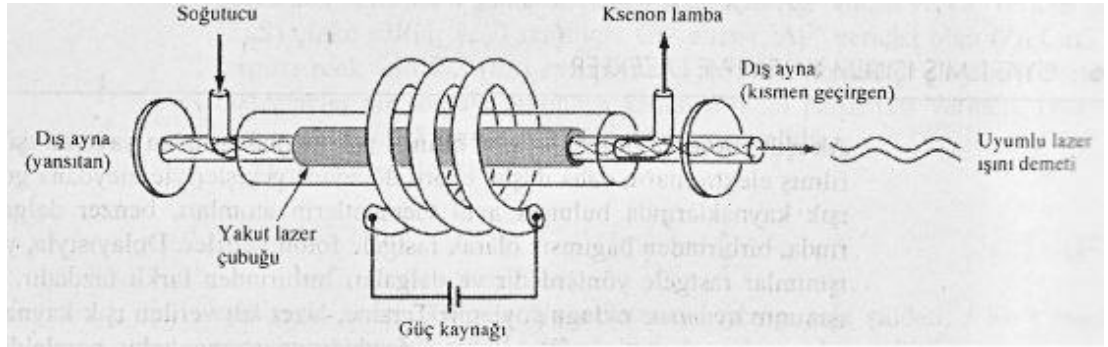
2.2.1. Katı Hal Lazerleri

Lazer üretim ortamında kristal kullanılan lazer çeşididir. Kristalin içerisindeki elementin adına göre sınıflandırılır. Neodymyum, krom, yakut, itriyum, alüminyum gibi elementler kullanılır [5, 11].



Şekil 2.4. Yakut lazerinin çalışma prensibi [8].

Gelişen teknoloji ile birlikte Nd:YAG lazerlerin geliştirilmesi yönünde birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda katı hâl lazerlerinin kullanımı gün geçtikçe artmıştır. Genel itibariyle aktif ortamda bulunan kristalin içinde bulunan neodimyum doplu itriyum alüminyum garnet elementi bulunur. Yansıtıcı aynaların arasına yerleştirilir. Uyarılan neodimyum doplu itriyum alüminyum garnet (Nd:YAG) 1064 nm dalga boyunda lazer ışını üretir [11].



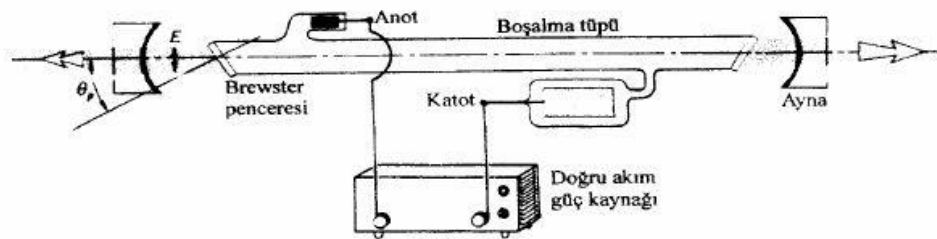
Şekil 2.5. Yakut lazerinin şematik gösterimi [8].

Bu tarz lazerlerde dezavantaj ise, uyarılan kristal içindeki elementin yüzeyleri arasındaki ısı farklılıkları sonucunda kristal yapıda oluşan termal streslerdir.

Bu termal stresler kristal yapının yayabileceği lazer ışını miktarını ve kalitesini etkilemektedir. Yakın dönemde bu soruna çözüm olarak lazer ışınının üretilmesinde kullanılan kristal yapının silindirik bir çubuk formu yerine ince bir disk veya uzun ve ince bir fiber formun da olması için bilimsel araştırmalar yapılmış, çalışmaların neticesinde fiber lazerler ortaya çıkmıştır. Fiber lazerlerde, katı hal lazerlerinde oluşan termal stres oluşmamaktadır. Bu sayede kristal daha verimli olarak kullanılabilir [11].

2.2.2. Gaz Lazerleri

Gaz tipi lazerler de aktif ortamda atomların geçişi bulunan gazların enerji düzeyleri arasında ortaya çıkmaktadır. Gaz lazerleri, içerisinde bulunan elektrotlar sayesinde uyarılarak lazer ışını oluşturulur. Gaz lazerlerinde kullanılan gazlar ise helyum, neon karışımı, karbondioksit ve argondur. Helyum ve Neon lazerleri daha çok bilimsel araştırmalarda, geliştirilen CO₂ lazerler ise tıp, savunma, havacılık, otomobil sanayinde geniş yelpaze bulmuştur. İmalat teknolojilerinde hassasiyetin artması sonucu lazer sistemlerine ihtiyaç giderek artmıştır. CO₂ lazerlerinin diğer lazer çeşitlerine göre enerji yoğunluğu yüksektir. Bunun sebebi ise CO₂ lazerlerin molekül yapıda bulunmasıdır [5]. CO₂ lazerler yüksek güçlere çıkmasından dolayı endüstri de yaygın kullanıma sahiptir.



Şekil 2.6. He- Ne lazeri [8].

Yüksek güçte (>1 kW) CO₂ lazerler, tüp içerisindeki gazın aşırı ısınma problemleri nedeniyle soğutma amacıyla yüksek hızda gaz sirkülasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle bu tip lazerlerde kompleks türbin pompaları ile tüp içerisinde yüksek debili ve hızlı gaz akışı sağlanması gerekmektedir. Bu kompleks sistemler hem lazerin maliyetini yükseltmekte hem de arıza riskini artırmaktadır [5].

2.2.3. Diyot Lazerler

Diyot lazerler, aktif ortamda yarı iletken malzemelerin p-n birleşimi ile meydana gelmesi sonucu oluşur. Kullanılan yarı iletken malzemelere örnek ise galyum arsenik verilebilir. P-N birleşimi üzerinden pozitif gerilim p kısmına, negatif gerilim n kısmına geçtiğinde elektron geçişi ortaya çıkmaktadır. Bu geçiş sırasında elektronlar enerji kaybederken foton yayarlar. Böylece lazer ışını elde edilmiş olur. Diyot lazerler endüstride yüzey sertleştirme, yüzey temizleme gibi işlemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

2.2.4. Sıvı Lazerler

Sıvı lazerde, aktif ortamda organik çözücü içerisinde organik boya kullanılır [13]. İçerisinde bulunan boya molekülleri sayesinde foton üretimi sağlanır. En yaygın olarak kimyasal analizlerde kullanılır. Sıvı lazerler ile çeşitli renk ve dalga boyları elde edilir [14]. Tıp, uzay, mikro elektronik de yaygın olarak kullanım bulmuştur.

2.3. Lazer Kaynak Teknolojisi

Lazer kaynak; lazer ışınlarının kaynak yapılacak malzemeleri birbirine birleştirme işlemi sırasında malzemelerin üzerine yüksek enerjili ışın demetini yönlendirerek yapılan kaynak teknolojisidir. Geleneksel kaynak yöntemlerine göre daha hassasiyetli malzeme birleştirme işlemi yapılmaktadır.

Dünyada son 20 yıldır yaygın bir şekilde kullanılan lazer kaynak teknolojisi, ülkemizde de gelişen teknoloji ve seri imalatın gereksinimi sonucunda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde kullanılan sektörlerin başında kalıpcılık gelmektedir. Deforme olan kalıpların ve tadilat gerektiren kalıplara dolgu yapılarak kalıplarının tekrar kullanılmasında kullanılan lazer kaynak teknolojisi, argon kaynağından farklı olarak çelik malzemelerin ısınma ve soğumaya maruz kalmadığı için çeliğin mikro yapısını bozmadan istenilen bölgeye dolgu yapılarak kullanılan bir yöntemdir.

Lazer kaynağı ile yapılan malzeme birleştirmelerinde, kalıp dolgularında tekrar işleme gerek kalmadan tesviye yapılarak birleştirilen malzeme veya kalıp kullanılmaktadır. Kaynak yapılan malzeme seçimine göre elektrot kullanılır ise birleştirme yapılan bölgenin kaynaklı olup olmadığı belli olmayacaktır. Lazer kaynağı teknolojisi, kalıpcılık sektöründe çok yaygın kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.7. Lazer Kaynak Makinesi [15].

2.4. Lazerle Kaplama İşlemleri

2.4.1. Kaplama

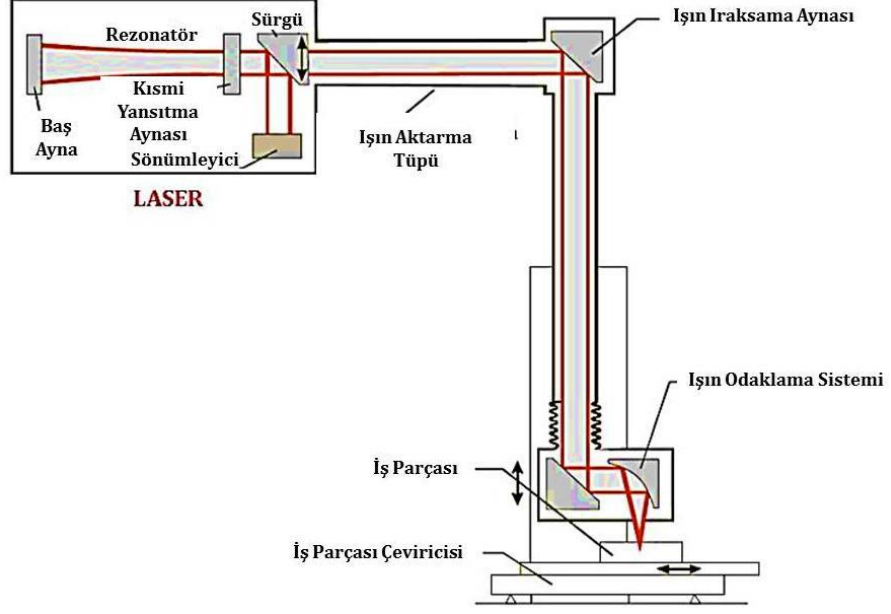
Kaplama farklı metallerin veya malzemelerin birbirlerinin yüzeyine tutturulması işlemidir. Bu yöntemle metal ve alaşımların yüzeyini korozyona ve aşınmaya karşı dayanıklı hale getirmek için ikinci bir metalle kaplama yapılır.

- ❖ Galvaniz Kaplama
- ❖ Plastik Kaplama
- ❖ Emaye Kaplama
- ❖ Metal Olmayan Kaplamalar
- ❖ İnorganik Kaplamalar
- ❖ Nikel Kaplamalar

2.4.2. Lazerle Kaplama

Lazerle kaplama metal olmayan ve metal yüzeylere kaplama işlemi sırasında kullanılabilir. Bu uygulamada lazer bir ısı kaynağı görevi görmektedir. Lazerin yoğunluğu nedeniyle toz veya parçanın temas noktasında sıcaklık kısa bir süreliğine 2500 °F'ın üzerine çıkmaktadır.

Kaynağın, termal püskürtme ve kaplamanın aksine, lazerle kaplama işlenen materyalle minimum düzeyde eriyik oluşturur ve çok güçlü bir bağ kurar. Aynı zamanda lazerle kaplama sayesinde kaplama kalınlığı çok hassas boyutlarda kontrol edilebilir. Materyal yüzeyinde ısıdan dolayı çarpılmalar çok az olur.



Şekil 2.8. Lazer Işın Kaynak Şeması [7].

Lazer kaynak yönteminin geleneksel kaynak yöntemlerine göre en önemli özellikleri:

- Dar alanda çalışma özelliği,
- Toz veya tel besleme kullanılarak uygulanabilirliği,
- Tek bir noktaya odaklanabilirlik,
- Yüksek kaynak hızı,
- Otomasyon ile entegrasyon,
- Metaller ve kompozit malzemeler kaynaklanabilirliği,
- Optik özellikler sayesinde çeşitli renk ve dalga boyları oluşturabilme imkânı.

Lazer kaynağının da dezavantajları mevcuttur. Darbeli lazer ile yapılan kaynak işlemlerinde oluşan kaynak kesintileri malzemenin kırılğan olmasına neden olmaktadır. Avantajlarının daha çok olmasından endüstri ve imalat teknolojilerinde kullanımı yaygınlaşmıştır.

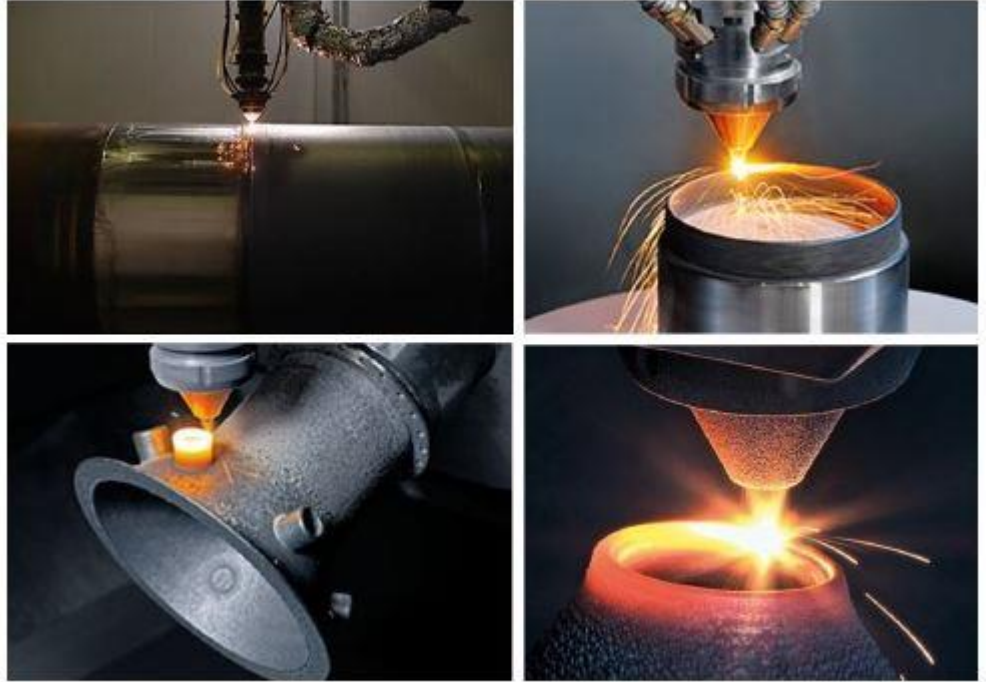
Lazer kaynağının, iki temel prensibi esas olarak gerçekleşmektedir:

- Kaynak nüfuziyeti
- Lazer ışın iletimi

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip lazerler otomotiv imalat sektöründe geniş bir alanda kullanım bulmuştur. Otomotiv sektöründe kullanılan lazerler ile kesme, delme, kanal açma, yüzey sertleştirme, yüzey temizliği gibi işlemler yapılır [7]. Geleneksel kaynak yöntemlerinin yanı sıra robot teknolojisi ile uyum sağlamanın sonucu olarak, seri ve hızlı üretim teknolojisi olan otomotiv, savunma, havacılık alanlarında hızla kullanımı artmaktadır [16].

İş parçalarının yüzey özelliklerinin iyileştirmek adına aşınma direnci, korozyon, yorulma dayanımını arttırmaya yönelik çeşitli işlemler mevcuttur. Bu işlemlerin amacı yüzeyde istenilen özelliklere sahip bir tabakanın oluşturulmasıdır.

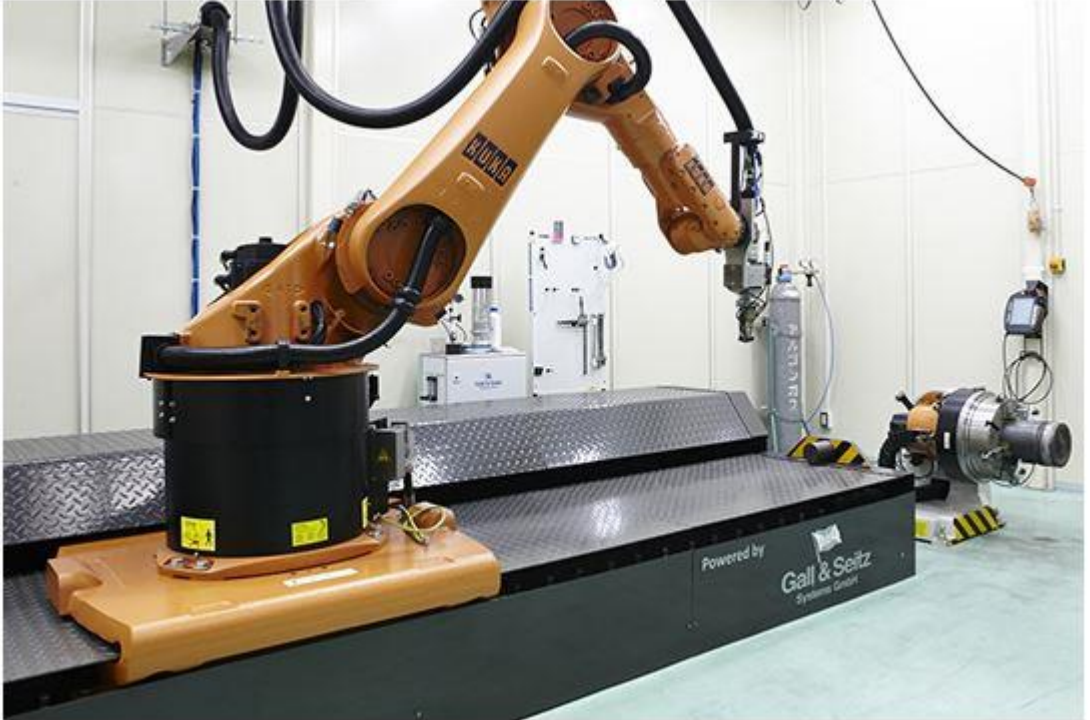
En büyük yaşanan problemler arasında altlık malzeme ile yüzeyde oluşturulan kaplama arasında tutunmama, mikro çatlaklar gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Lazer ile kaplama bu sorunları ortadan kaldırmaktadır. Lazer ışını ile oluşturulan ısı yardımı ile iş parçası üzerinde kaplama yapılması mümkündür.



Şekil 2.9. Lazer Kaplama Örnekleri [17].

Lazer ile kaplama, geleneksel kaplama yöntemleri gibi iş parçası üzerinde toz veya tel beslemeli olarak malzeme biriktirerek oluşmaktadır. Kalıp teknolojisinde kalıpların tamir veya dolgu yapılarak tamir edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

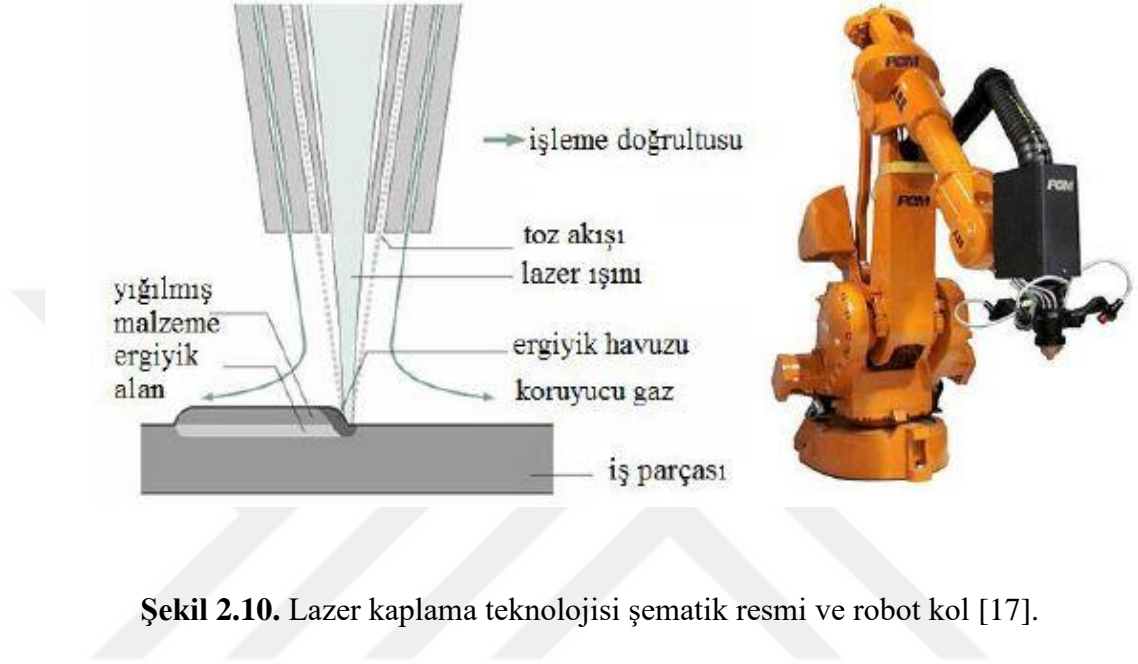
Geleneksel kaplama yöntemlerinde yapılan iş parçasının birleştirilmesinde yüksek ısıya ve birleştirme işlemi sonrasında çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Geleneksel kaynak yöntemlerinin bu özelliğini tamamlayıcı olarak lazer kaynak yöntemi geliştirilmiştir. İhtiyaç duyulan yüksek ısı girdisine oluşturulan lazer ışın demeti ile ulaşılmıştır. Böylece bir ikinci bir işleme gerek duyulmamaktadır. Lazer kaynak yöntemi istenilen hassasiyette iş parçasını birleştirme imkânı verir. En yaygın olarak kullanılan lazer kaynak yöntemi kalıp tamiri işletmelerde kullanılan kalıpların tamir edilmesine imkân verdiği için yeniden kalıp üretimi maliyetinin yarıya indirilmesini sağlamıştır. Böylelikle daha çok kullanım alanına sahip ve sürekli geliştirilmesi yönünde ivme kazanmıştır.



Şekil 2.10. Robotik lazer kaplama sistemi [18].

Lazer kaynağında, lazer ışınları ile yüksek ısı girdisi sağlanabilmektedir. İş

parçasının çalışma alanında oluşturulan ısıya maruz kalan bölgenin soğuması da atmosfer şartlarında hızlıdır. Lazer kaynağı iş parçasını yüksek hızda ısıtma ve soğumasını sağlarken malzemenin mikro yapısında ince taneli ve çeşitli fazlarda elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Lazer kaplama teknolojisi şematik resmi ve robot kol [17].

Lazer kaplamanın avantajları:

- İstenilen bölgede oluşturulması,
- Geniş malzeme yelpazesıyla iş parçasının yüzeyinde lazer ile biriktirme veya dolgu yapılabilir,
- Oluşturulan kaplamanın mikro yapısında boşluk içermemesi,
- İş parçasının yüzeyinde çalışılan alanda ısıdan etkilenen bölgenin dar olması,
- İş parçasını birleştirme işleminden sonra ek işlem gereksiniminin olmaması,
- Otomasyon ile uyumlu olabilmesi,
- Yüksek işlem hızı (3m/dak.).

2.4.3. Lazer Kaplama Prosesi

Lazer ile kaplama, iş parçası üzerinde tel veya toz besleyerek kaplama oluşturulmasına denir. Kaplama yapılırken kaynak işlem hızı, lazerin gücü, toz veya tel besleme oranı gibi önemli parametreleri mevcuttur. Bu parametreler dikkat

edilmez ise istenilen özellikte kaplama gerçekleşmemektedir. İstenilen kaplamanın bileşiminde değişim meydana gelmektedir [19].

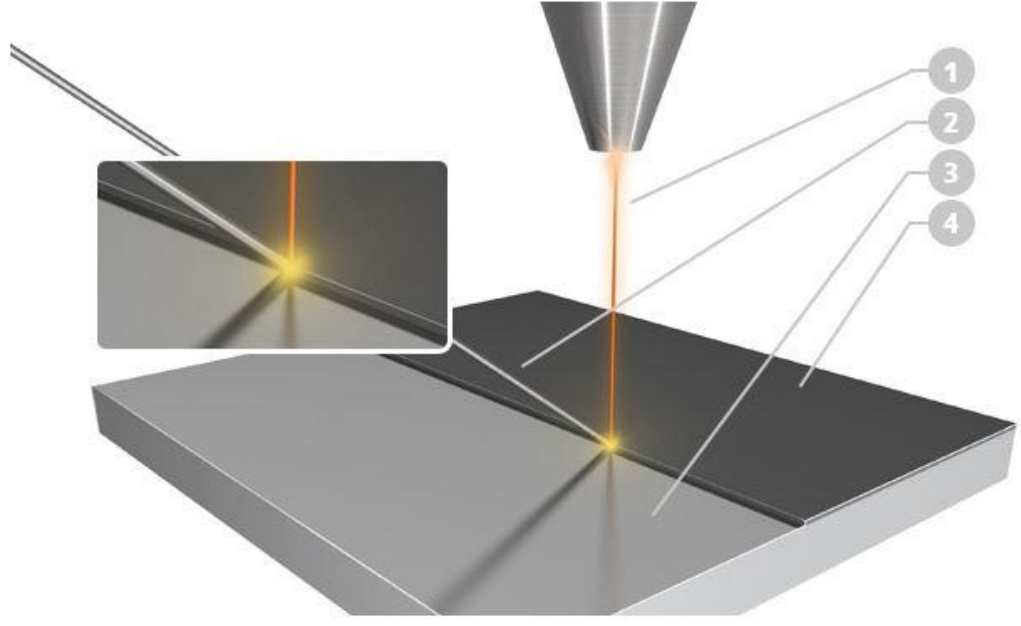
Lazer ile kaplama imalat maliyeti yüksek olan kalıpların tamir veya dolgu yaparak tekrardan kullanılabilir hale getirilmesine imkân vermektedir. Türbin kanatçıkları, içten yanmalı motor parçaları bunlara örnek verilebilir. Geleneksel kaynak yöntemleri ile kontrol edilemeyen ısı girdisi iş parçasının mikro yapısına, çarpılmaya neden olmaktadır. İş parçasında meydana gelen gerilmeler malzemenin içerisinde mikro çatlaklara neden olmakta, oluşan mikro çatlaklar ise mekanik dayanımını azaltmaktadır.

2.4.3.1. Tel Beslemeli Lazer Dolgu Kaynağı

İş parçası yüzeyine el ile beslenen dolgu telini kaynatarak kaplama oluşturulur. Lazer ışını dolgu teli ile birlikte kaplama yapılacak tozu ergiterek yüzeyde biriktirme yapılarak kaplama oluşturulur [20].

Tel ile besleme sayesinde iş parçalarında oluşan hasarlar giderilir. Bu sadece lazer teknolojisi ile mümkündür. Farklı tel çaplarında uygulamalar gerçekleştirilebilir. Lazer ışının kontrollü ısı girdisi, hızlı ısıtma ve soğutma özelliği, iş parçası üzerinde termal gerilmelerin oluşmasına engel olmaktadır.

1: Laser ışını 2: Tel 3: İş parçası 4: Uygulama

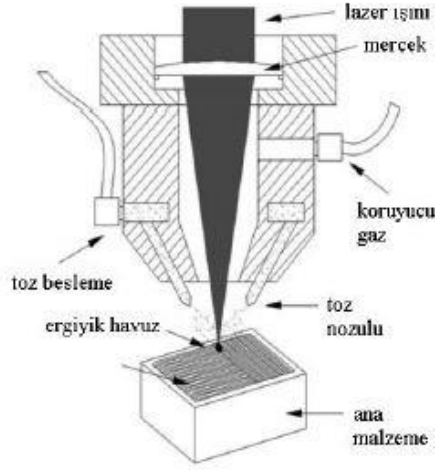


Şekil 2.11. Tel beslemeli lazer dolgu kaynağı şematik gösterimi [20].

2.4.3.2. Toz Beslemeli Lazer Dolgu Kaynağı

Kalıp onarımı, toz beslemeli lazer kaynağı sayesinde kalıp yüzeyinde aşınmaya ve korozyon dayanımı yüksek toz besleme yapılarak oluşturulan kaplamalar ile kalıptan ilk defa çıkmış gibi yenilenmesini sağlar [20].

Toz beslemeli lazer kaplamalarda, metal tozu iş parçasının yüzeyine biriktirilerek kaynaklanır. Kaynak bölgesinde oluşan kaplamanın boşluksuz, ısıdan etkilenmiş dar bir bölgeye sahip olması ve çatlak oluşumu olmaması mukavemetini artırır. İş parçası çarpılmaya uğramadan aynı özelliğini korur.



Şekil 2.12. Lazerli toz püskürtme teknolojisi şematik resmi [21].

Lazer kaplama yapılarak oluşturulan kaplamanın özelliği kullanılacak tozun özelliğine göre değişir. Gruplayacak olursak 3 temel toz grubu vardır. Demir bazlı, nikel bazlı ve kobalt bazlı toz grubu mevcuttur. Üç ana grubun içerisinde sınırsız sayıda kombinasyon uygulayarak elde edilecek toz seçeneği vardır. İstenilen özellikleri sağlamak koşuluyla toz seçimi yapılarak uygulama yapılmalıdır. Seçilen tozun özelliği, iş parçasının çalıştığı ortam, istenilen sertliğe, istenilen aşınma ve korozyon dayanımı artırıcı özellikte olmalıdır [22].

Tekrardan iş parçasının üretilmesinden ise lazer toz kaplama teknolojisi ile daha düşük maliyet ile iş parçası kullanılabilir hale gelir. Aşınan, darbeye maruz kalan bölgeler böylece yenilenir. Birçok proses sonucu elde edilen iş parçaları lazer toz kaplama teknolojisi ile tek bir süreçte tekrar kullanılabilir hale gelir.

2.4.4. Avantaj ve Dezavantajları

Lazer kaynağı, birçok özelliği ile geleneksel kaynak yöntemleriyle kıyaslandığında daha üstündür. Dar kaynak dikiş ve ısıdan etkilenmiş bölge lazer ışınının tek bir noktaya odaklanmasından elde edilmesiyle oluşur. Kaynak yapılan bölgenin mikro yapı değişimi uygulanan bölge ile sınırlandırılmış olur.

Lazer kaynağı geleneksel kaynak yöntemlerine göre kaynak derinliği daha fazla olduğundan dolayı yüksek kaynaklanma hızıyla iş parçası birleştirilir. Lazer kaynağında ışın tek bir noktaya odaklandığı için ısı girdisi düşüktür. Bunun en önemli avantajı ise kaynak bölgesinde deformasyon ve çarpılmalar az veya hiç yoktur [23].

Malzeme yüzeyinde meydana gelen boşlukların, çentiklerin paso ile doldurularak lazer kaynağı ile tamir edilmesi mümkündür. Lazer kaynağı ile pasolu kaynaklar yapmak için kalın parçaların kaynaklanmasına ihtiyaç duyulur [23].

Lazer kaynağının, tek bir noktaya odaklanması ince iş parçalarında kullanmasına imkân verirken, aynı zamanda iş parçalarının da kesilmelerinde kullanılmaktadır [23].

Lazer kaynağının, proses hızının yüksek olmasından dolayı otomasyona entegresinin kolay olması, robot teknolojisi ile entegrasyonu, kaynak dikişinin dar olması, hassas ve kaliteli kaynakların ortaya çıkması, erişilmesi zor olan alanlarda kaynak yapılabilir olması, kaynak derinliğinin fazla olması gibi birçok avantajları mevcuttur [23].

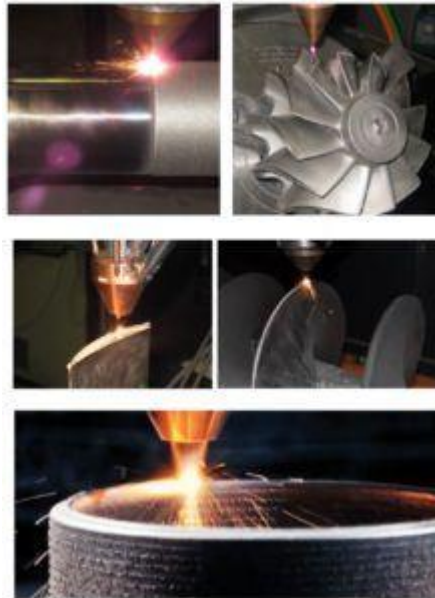
Lazer kaynağının yaygın bir şekilde kullanılmasına en büyük engel yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Kaynak yapılmadan önce iş parçasının yüzeyinin temiz olması önemlidir. İş parçasının yansıtma özelliğinin olması lazer kaynağının uygulamasını zorlaştırmaktadır. Darbeli lazer kullanıldığında kaynak yapılan bölgede mikroskobik kesitlerin oluşumuna, bu da mikro yapının kırılmasına neden olmaktadır. Bu kusur geleneksel kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında ciddi bir problem değildir [23].

2.4.5. Uygulamalar

Lazer kaplama, iş parçasının yüzeyinde kaplamalar oluşturarak aşınma direnci, korozyon dayanımı, malzemenin darbeye dayanımı gibi özelliklerini iyileştirir. Korozyona dirençli borular, motor parçaları, ekstrüzyon parçaları, valf ve silindir parçaları, sondaj vidaları, türbin kanatçıkları gibi malzemeleri lazer kaplama ile tamir ve onarım yapılabilir. Isıdan etkilenen bölge çok dar olduğundan dolayı, istenilen kalınlıkta ve özellikte kaplamalar elde edilebilir.



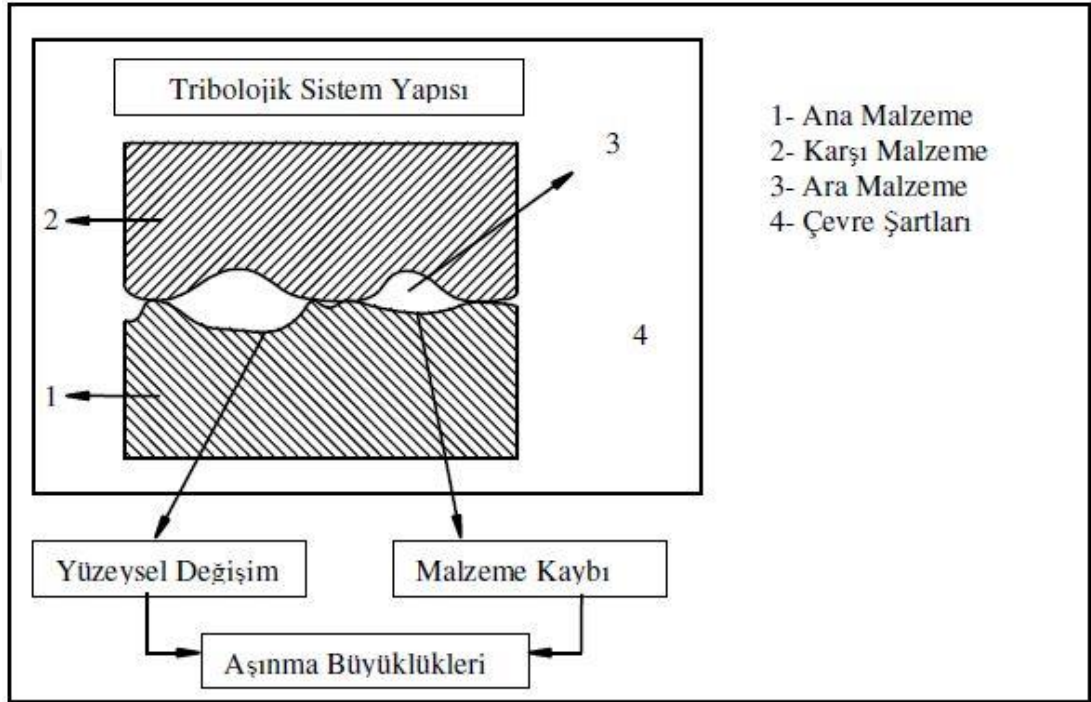
Şekil 2.13. Buhar valfi yüksek sıcaklıkta erozif etkilere maruz kalarak önemli oranda aşınmış, sonrasında kobalt esaslı süper alaşım ile lazer kaplama yapılarak tamir edilmiş hali [19].



Şekil 2.14. Lazer ile kaplama örnekleri [19].

2.5. Aşınma

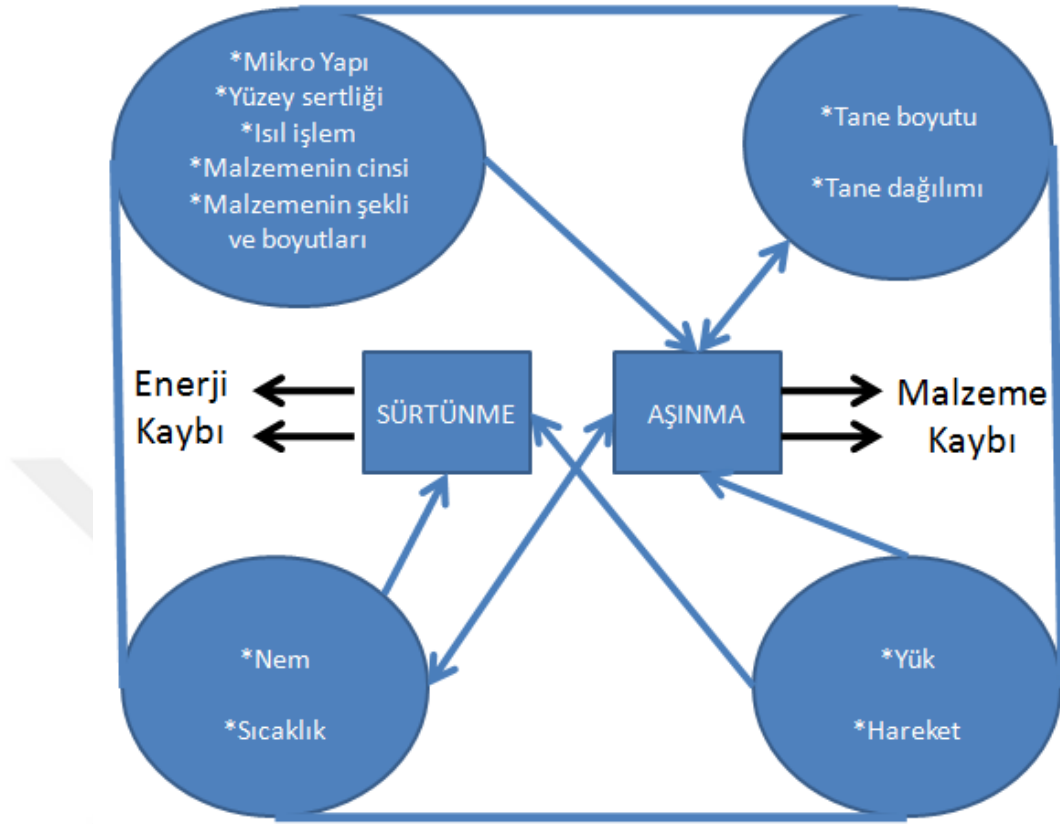
İki malzemenin yüzeylerinin birbirinin üzerinden kaymasıyla, birbiri üzerindeki mekanik etkinin sonucu devamlı bir şekilde azalarak yok olmasıdır. Malzeme yüzeyinin geometrik karakteristikleri, yüzeye etki eden kuvvetler, ortamın sıcaklığı, malzemenin cinsi, malzemenin bulunduğu ortam gibi birçok faktör aşınmayı etkileyen faktörlerdir [24]. Aşınma, yüzeylerin birbirine sürtünmesinden dolayı, malzemenin yüzeyinden başlayıp pul pul dökülmesine verilen isimdir [25].



Şekil 2.156. Tribolojik sistemin şematik gösterimi [26].

Aşınma problemini ortadan kaldırmak için uygun malzeme seçiminde, uygun malzeme tasarım değişiklikleri yapılarak aşınma minimum seviyelere düşebilir ama tamamıyla önlenemez. Aşınmaya maruz kalan parçalar belirli süre sonra malzemenin performansının azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda malzemeye birçok yüzey iyileştirme işlemi yapılmaktadır. Böylece zaman kaybının, iş kaybının, üretim kaybının, malzeme kaybının önüne geçilmeye çalışılmaktadır [26].

Aşınmayı ve sürtünmeyi etkileyen faktörlerin şematik gösterimi Şekil 2.17’de verilmiştir.

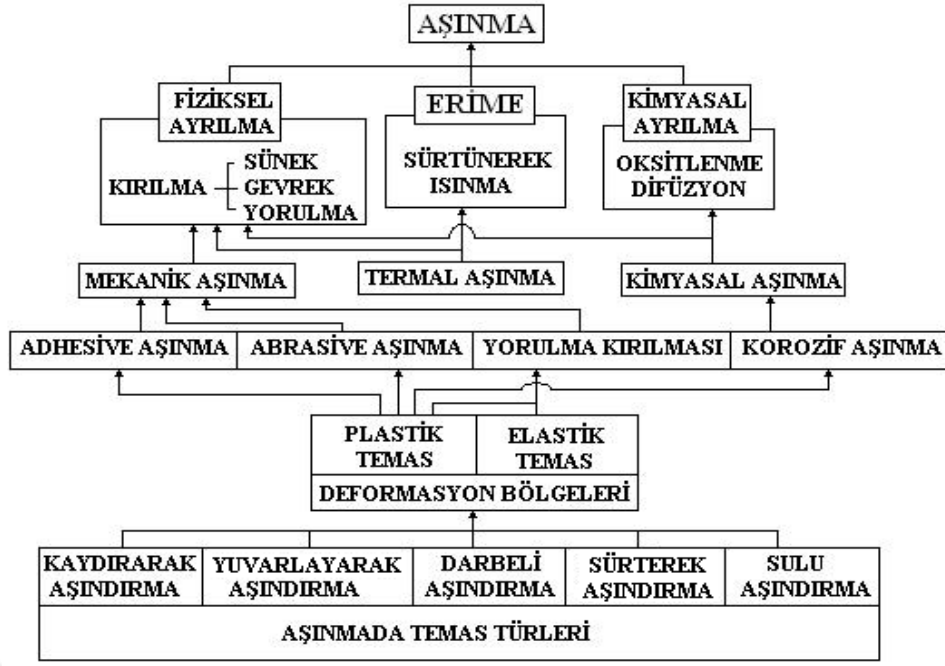


Şekil 2.17 Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler [27].

Literatürde aşınmayı anlatan birçok tanımlama mevcuttur. Aşınan parçaları incelediğimizde aşınmayı tanımlamaya yarayan ve anahtar kelimeler Şekil 2.18’de gösterilmektedir [28].

Aşınma hareketli parçaların birbirine sürtünmesi sonucunda meydana gelen malzeme kaybı olarak tarif edilebilir. Mekanik, çevresel ve malzeme gibi etki eden faktörler iş parçası üzerinde değişikliklere neden olmaktadır [29].

Aşınmayı, sürtünme ve yağlama kavramları ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir. Triboloji bilimi bu kavramları kapsamaktadır. Aşınan malzeme, aşındırıcı malzeme, iki malzeme arasına aşınmayı etkileyecek yabancı malzeme, aşınmaya maruz kalan malzemelere uygulanan yük, malzemelerin bulunduğu ortam gibi faktörler triboloji sistemini oluşturmaktadır.

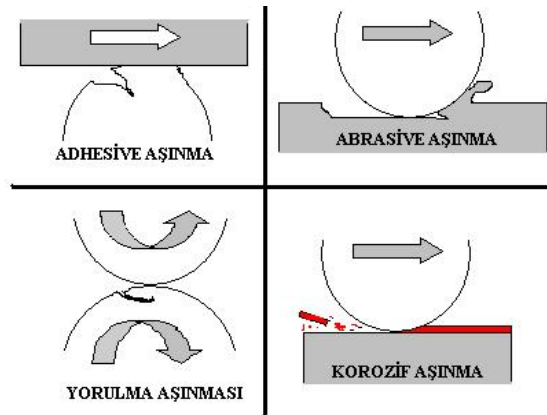


Şekil 2.18. Aşınmayı oluşturan anahtar kelimeler ve tanımlanmaları [30].

Aşınma tipleri arasında en önemli olanları [31] ;

- Adhesiv Aşınma,
- Abrasiv Aşınma,
- Yorulma Aşınması,
- Korozi Aşınma.

Aşınma tipleri, Şekil 2.19’de şematik olarak gösterilmektedir. Aşınma tipleri ayrı ayrı başlıklarda açıklanacaktır [32].



Şekil 2.19. Aşınma tiplerinin gösterimi [31].

Sürtünme ile karşı karşıya kalan malzemeyi yağlayarak aşınmasına engel olmaya çalışılsa bile çalışma ortamında yorulma, oksit oluşumu veya yağın özelliğinin bozulması gibi faktörler malzemenin aşınmasının engellenmesine yetmeyecektir. Birbirine temas eden parçalar bulunduğu çalışma koşullarında maruz kaldıkları sürtünme neticesinde belirli bir süre sonra aşınmaya başlayacaktır [33].

Aşınmanın mantığını anlamak için aşınma ile sürtünme arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Malzeme yüzeyleri birbirine temas ettiğinde yüzeylerin birbiri üzerinden kayması sonucu uygulanan kuvvete kayma kuvveti denir. Kayma kuvveti ise F ile gösterilir, malzeme yüzeylerinin birbirine uyguladığı yük ise W ile gösterilir. Kayma kuvveti ile yüzeylere uygulanan kuvvet arasındaki ilişki şöyle tanımlanabilir [32].

$$F = \mu W \quad (2.1)$$

Formülde gösterilen μ , sürtünme katsayısıdır. Malzemelere uygulanan yüzeylerin birbiri üzerinden kayması için oluşturulan kuvvet ve malzemeye uygulanan yük dik olduğunda sürtünme ortaya çıkar.

$$F = W \quad (2.2)$$

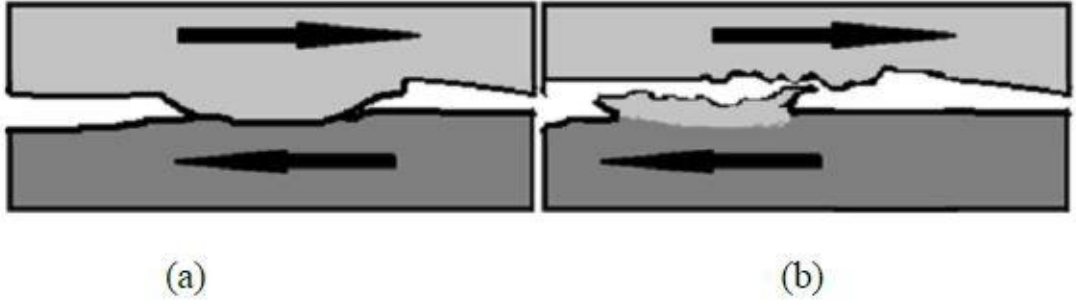
Sürtünme, malzemelerin birbiri üzerinden kayarken oluşturdukları enerjinin dağılımını ifade eder. Da Vinci'nin, çalışmalarında sürtünme ile ilgili yaptığı gözlem ve sonuçlar [32]:

- Malzemenin yüzeylerinin birbiri üzerinde oluşturduğu tanjant değerinin, ana malzemeye uygulanan yük ile ilişkisi, tanjant değerinin artmasıyla değişmektedir.
- Sürtünme kuvveti, malzemenin yüzeylerinin birbiri üzerinden kayması için uygulanan kuvvet ve malzemeye uygulanan yük ile bağlantılıdır.
- Sürtünme kuvveti, malzemeye değdiği noktadan veya yüzeyden bağımsızdır.
- Sürtünme kuvveti, malzemenin yüzeylerine uygulanan kuvvet sonucu ortaya çıkan kayma hızından bağımsızdır.

2.5.1. Adhezyon Aşınması

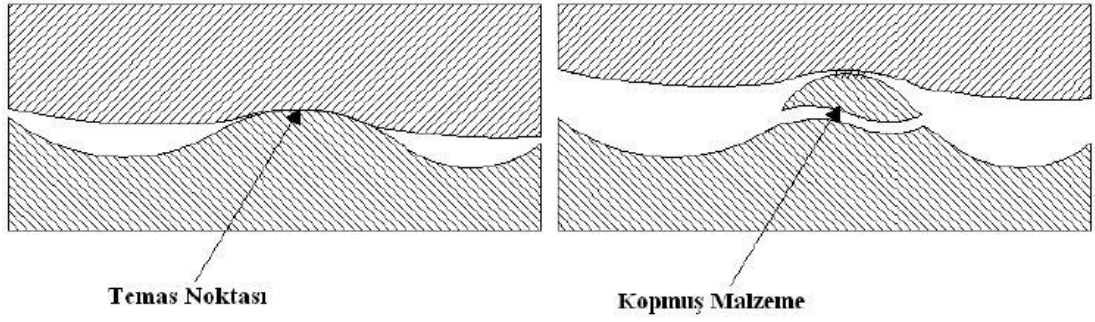
Yapışma aşınması (adezyon aşınması), bir metalin temas halinde olan yüzeylerinin birbirine göre yaptığı bağıl hareket sonucunda, malzeme yüzeyinin birbirine yapışması sonucu ortaya çıkmaktadır. En çok görülen aşınma türüdür.

Adezyon aşınması, metal – metal arasında metal yüzeylerinin birbiri üzerinde kayması sonucu oluşur ve aşınan metal yüzeyleri kopar. Metal yüzeyinin birbirine yaptığı baskı sonucu ortaya çıkan yapışma aşınması, malzeme aynı sertlikte ise iki metalde de aşınma gerçekleşir. Adezyon aşınmasını ortadan kaldırmak için birbirine temas eden yüzeylerin parlak pürüzsüz olması, yüzeye uygulanan kuvvetin azaltılması ve malzemelerin sertliğini arttırmak için çeşitli yüzey işlemleri uygulanabilir [33].

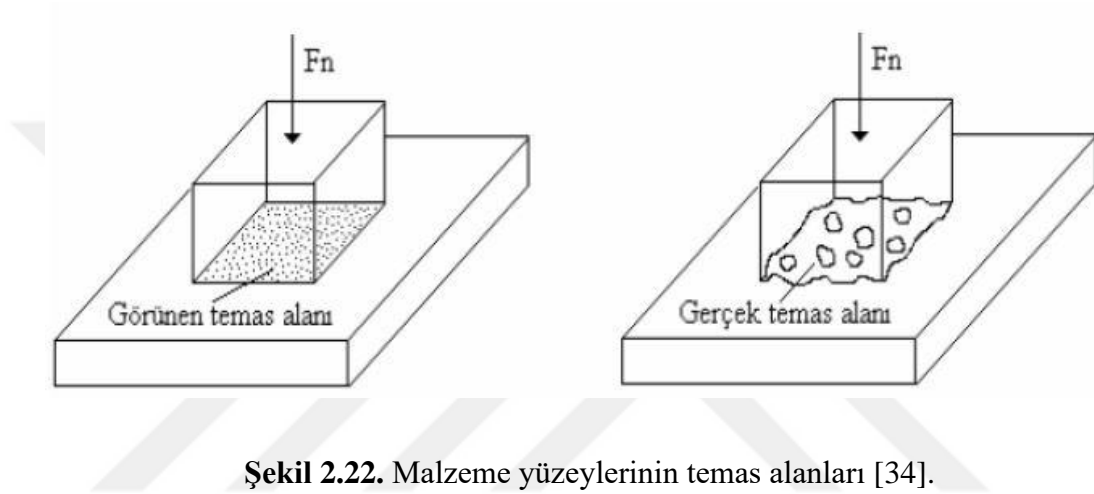


Şekil 2.20. Adhezif aşınma ; (a) malzeme yüzeylerin birbirine yapışması (b) kayma sonrası yüzeyde oluşan malzeme kaybı [34].

Adezyon yapışması, kayma aşınması olarak da tanımlanabilir. Birbirine temas halinde olan yüzeylerin birbiri üzerinden kayması sonucu oluşan bir aşınma türüdür (Şekil 2.21). Aşınma, metal – metal yüzeylerin temas noktalarında oluşur. Malzeme yüzeyinde aşınan parçalar kopar veya yüzeylere yapışarak abrasif (çizilme) aşınmasına neden olur. Bu noktada malzeme yüzeylerindeki fiziksel ve kimyasal özellikleri de önemli bir etkidir. Sadece malzemenin fiziksel, kimyasal özelliklerinin yanında ortam şartları da aşınmayı etkiler. Kaynak gibi birleşim noktalarında kaynak bölgesinin malzeme ile yaptığı bağ veya içinde bulundurduğu porozite aşınmayı etkileyen faktörlerdir [33].



Şekil 2.21. Kayma aşınmasının mekanizması gösterimi [34].



Şekil 2.22. Malzeme yüzeylerinin temas alanları [34].

Şekil 2.22' de gösterildiği gibi malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar hassas imal edilse de mikroskobik pürüzlülüğün ortadan kaldırılması imkânsızdır. Bu yüzden yüzeylerin çıkıntıları birbirini ile temas eder, girintiler ise bu temasın dışında kalır.

Rabinowicz ve Tabor aşınma ve yağlama ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucu ortamda yağlayıcının olmadığı durumlarda aşınmanın arttığını gözlemlemişlerdir. Malzeme yüzeylerine yağlayıcı uygulandığı durumlarda, malzeme kaybının azaldığı, sürtünme katsayısının da düşürüldüğünü gözlemlemişlerdir [34].

Araştırma ve bilimsel çalışmalar sonucunda adhezif aşınmasını önlemek için bazı uygulamaların faydalı olduğu ön görülmüştür. Bunlar:

- Kaymaları önlemek için farklı malzemelerden sürtünme çiftleri kullanılmalıdır. Örneğin; metal – metal, metal – metal dışı ve metal – sıvı bu aşınma mekanizmalarına örnektir.

- Malzemenin yüzeylerinin yağlama ile birbirine temas etmesini sağlamak

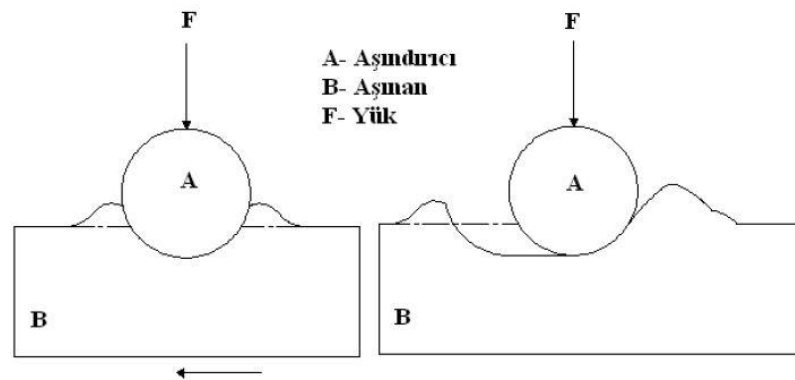
- Roach, Goadzeit ve Hunnicut adhezif aşınmanın metallerde oluşan alaşımlamanın etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

- Malzemenin sertliğinin yüksek olması gerektiği, genelde sert malzemeler düşük sürtünme katsayılarına sahip olduğu için aşınma daha az oranda gerçekleşmektedir [34].

2.5.2.Abrasif Aşınma

Çizilme ya da yırtılma aşınması, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan malzemenin yüzeyi ile etkileşimi sonucu yüzeyinden kopan parçaların yumuşak yüzeyin üzerini çizerek kazıma olayına denir. Sert yüzeyde bulunan pürüzler, yumuşak malzemelerden malzeme kopmasına neden olmaktadır. Bu aşınmaya, iki malzeme arasına giren toz parçacıklarının oluşturduğu çizilme ya da kazıma işlemi örnek verilebilir. Aşınma fark edilmez ise, makine parçaları zamanla kullanılmaz hale gelir.

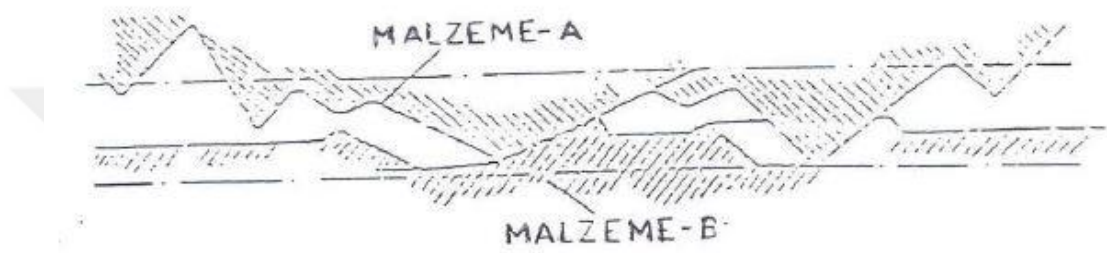
Çizilme veya yırtılma aşınma mekanizmasında malzemenin sertliği, malzemenin karşılığında ki aşındırıcı, malzeme yüzeyindeki pürüzlülük, malzemeye uygulanan yük ve yüzeylerin kayması sonucu ortaya çıkan kayma hızı gibi faktörler aşınmayı oluşturan parametrelerdir. Şekil 2.23’de çizilme veya yırtılma aşınma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Abrasif aşınma mekanizması [34].

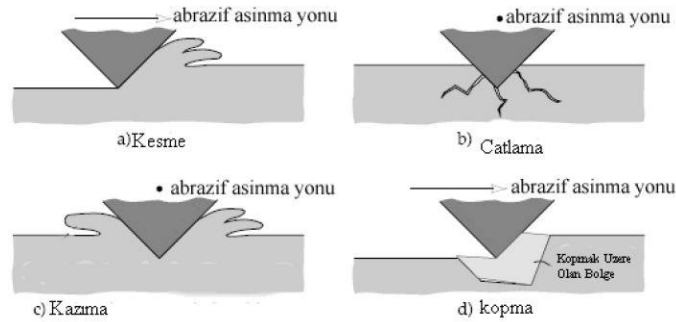
2.5.2.1. İki elemanlı abrazyon

Birbirine temas eden malzeme yüzeylerinin sertlik farkından dolayı aşınma meydana geliyorsa iki elemanlı abrazyon olarak tanımlanır (Şekil 2.24). Abrasif aşınma mekanizmalarını incelersek kesme, çatlama, kazıma ve kopma olarak dört sınıfta toplayabiliriz [35]. Bu sınıflandırmayı oluştururken dikkat edilen hususları malzeme cinsi ve malzemenin yüzey yapısı oluşturur. İki yüzeyli aşınma üç yüzeyli aşınmaya göre malzeme yüzeyinde daha fazla aşınmaya sebep olmaktadır.



Şekil 2.24. İki elemanlı abrasif aşınma örneği [36].

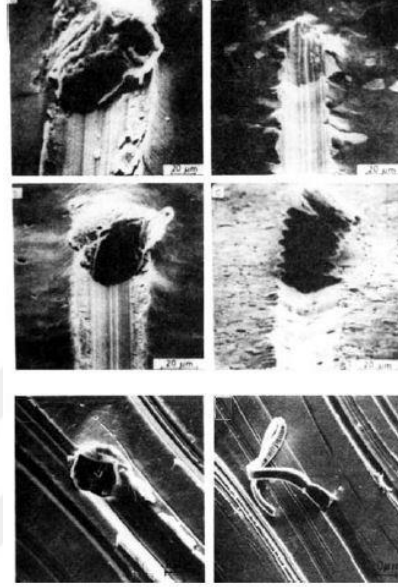
Kesme aşınmasında, sert olan malzeme yüzeyi yumuşak olan malzeme yüzeyinden talaş halinde malzeme kopartarak aşınmaya neden olur. Aşınan yüzey kırılğan ise seramik gibi aşınmalar sonucunda malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur. Aşınmaya maruz kalan malzeme yüzeyi yumuşak ise kesme aşınması gerçekleşmez, malzeme yüzeyi birçok kez deforme olur. Bu aşınma türü kazıma veya sürtme olarak tanımlanır. Şekil 2.25'de d resminde malzeme yüzeyinden tanenin ayrılmasını göstermektedir. Bu tür aşınma mekanizması tane sınırlarının zayıfladığı ve tane boyutunun büyük olduğu seramik yüzeylerde görülmektedir [35].



Şekil 2.25. Abrasif aşınma mekanizmasını oluşturan dört aşınma mekanizması [35].

2.5.2.2. Üç elemanlı abrasyon

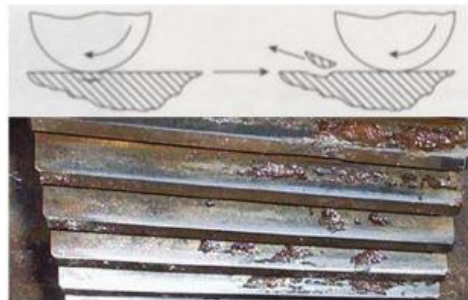
Sürtünen malzeme yüzeylerinin dışında ilave bir aşındırıcı yüzey olarak malzemelere sürtünmesi ve yüzeylerin üzerinde kazıma yapması üç elemanlı abrasyon olarak sınıflandırılır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Üç elemanlı abrasyon aşınma örneği [35].

2.5.3. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, kam, demiryolu rayları, dişli çarklar, sonsuz dişli gibi makine parçalarının titreşim ve yüklenmelere maruz kalmaları sonucu malzeme yüzeylerinde mikro çatlaklıklar oluşmasına neden olur. Bu oluşan çatlaklıklar ilerleyerek malzeme yüzeyinden parçaların kopmasına sebep olur. Bu tür aşınmalara yorulma aşınması denir [37].



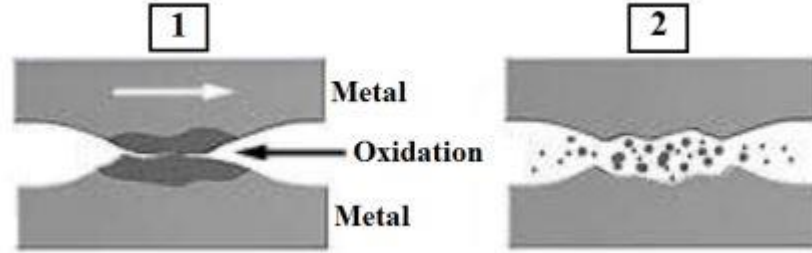
Şekil 2.27. Yorulma Aşınması [37].

Yorulma aşınmasını azaltmak için;

- Malzemelere uygulanan yükün azaltılması gerekmektedir,
- Aşınmaya, korozyona karşı dayanımı yüksek malzemeler tercih edilebilir,
- Yüzeyle etki eden yüklerin homojen dağılması sağlanabilir,
- Malzeme yüzeylerinin pürüzlülüğünü gidermek için parlatma işlemi, yüzey sertleştirme işlemleri yapılır.

2.5.4. Korozyon Aşınma

Korozyon aşınma, malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girmesi sonucu malzeme yüzeyinde oksit tabakasının oluşması olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 2.26). Malzeme yüzeylerinde kaplamalar oluşturmak aşınmayı azaltmaya yardımcı olabilmektedir. Yüzeyle oluşan kaplamalar, filmler kırılabilir ise sürtünme sırasında yüzeylerde oluşan çatlaklar sonraki süreçte malzeme yüzeyinden parçaların kopmasına sebep olur. Korozyon aşınmasına, demirin paslanması, metal yüzeylerin oksitlenmesini örnek verebiliriz [31].



Şekil 2.28. Korozyon Aşınma örnekleri [38].

2.6. Literatür Taraması

Benyounis ve arkadaşları (2005), yaptığı çalışmalarda lazer kaynağın oluşturduğu ısının kaynak dikişi profiline etkisini incelemiştir. Lazer gücünü azaltarak veya kaynak hızını arttırarak lazer ışın kaynağının ısı girdisinin azaldığını gözlemlemiştir. Azalan ısı girdisinin etkisiyle kaynak nüfuziyeti de azalmıştır [39].

Tablo 2.1. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar

Yapılan Testler	Oluşturulan Kompozit	Kullanılan Altık	Lazer Gücü	Toz Besleme	Yayın Sahibi
XRD-EDS- Aşınma Testi- Rockwell Testi- Indentation Hardness	Fe + WC 40-80 mikron WC partikülleri %20, %35, %50	110mm×45mm×7mm A3 mild steel	Laser power 5kW	The powder feeding 20-35g/min.	Shengfeng Zhou,Xiaoyan Zeng, 2010
	Fe + WC 80 mikron %80 Fe + %20 WC	200mmx 60mmx 8mm AISI 1045 steel	Laser power 5kW	The powder feeding 120 g/min.	Shengfeng Zhou,Xiaoqin Dai, Haizhong Zheng, 2011
	Ni60A + WC 45-84 mikron 80%Ni60A + 20 % WC	120 mm×50 mm×8 mm A3 mild steel	Laser power 5kW	The powder feeding 52.24-82.67 g/min.	Shengfeng Zhou,Yongjun Huang, Xiaoyan Zeng, Qianwu Hu, 2007
	WC + Ni + Al 40-150 mikron 69.5%WC + 29.5%Ni +1% Al	H13 tool steel	Laser power 5kW	The powder feeding 4.3 g/min.	S.W. Huang,M. Samandi,M. Brandt,2003
	Fe + WC 80 mikron %80 Fe + %20 WC	120 mm x 50 mm x 7 mm. 304 stainless steel A3 steel QT50-5 ductile iron	Laser power 5kW	The powder feeding 30-100 g/min.	Shengfeng Zhou,Xiaoguang Dai, Xiaoyan Zeng, 2009

Tablo 2.6.1'e göre Shengfeng ve arkadaşları (2007-2009), iki farklı çalışma yapmıştır. İnceledikleri parametrelerden birisi lazer kaynağı esnasında farklı oranlarda toz besleme yapılarak aşınma ve korozyona dayanımını incelemiştir. Diğer incelediği parametre ise farklı oranlarda takviye elemanları kullanarak kompozit kaplamalar oluşturup aşınma ve korozif açıdan incelemelerde bulunmuştur. Çalışmaların sonucu hazırladıkları kompozit kaplamaların aşınma direncinin arttığını gözlemlemiştirler [40].

Yılbaş ve arkadaşları (2009), düşük karbonlu çelikler üzerine çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmalar da lazer ışın kaynağının sıcaklığın düşüşünün yavaş olduğunu gözlemlemiştir. Bunun nedeni, kaynak metalinde lazer enerjisinin absorpsiyonu ve dağılımıdır [41].

Keskin ve arkadaşları (2009), lazer kaynağı ile östenitik paslanmaz çeliklerde yapılan kaynak bölgesinin mikro yapısı ve mekanik özelliğini incelemiştir. Kaynak işleminden sonra katılaşma olayı çok kısa sürede gerçekleştiğinden kaynak bölgesindeki bölgede tane küçülmesi gözlemlenmiştir [42].

Zambon ve arkadaşları (2006), süper östenitik AISI 904L paslanmaz çelik malzemelerin, CO₂ lazer kaynağı ile yapılan kaynak işlemlerinde mikro yapılarını ve yapıdaki gerilmeleri incelemiştir. 6 kW lazer gücünde CO₂ lazer kaynağını kullanarak 3 mm kalınlığa sahip çelik malzemeleri birleştirmiştir. Kaynağı oluşturan bölgenin dendritik yapıda olduğunu gözlemiştir. Elde ettiği diğer bulgu ise kaynak hızı arttıkça sertlik değeri azalmıştır [43].

Chung ve arkadaşları (1999), otomotiv sektöründe sık kullanılan düşük karbonlu galvaniz çeliklerin CO₂ lazer kaynağı ile yapılan işlemlerde koruyucu gaz türlerinin etkisini gözlemiştir. Yaptıkları çalışmada 1,5 mm kalınlığında düşük karbonlu galvaniz çelik kullanmıştır. Kullandığı koruyucu gazlar ise helyum, argon, karbondioksit, azot gazlarıdır. Elde ettiği sonuçlar ise argon koruyucu gazı diğer koruyucu gazlar gibi kaynak nüfuziyeti sağlamamış, eksik nüfuziyete neden olmuştur [44].

Yapılan literatür araştırması sonucu, mikro boyutta takviye elemanları kullanarak çalışmalar mevcut. Bu tez çalışmasının amacı nano boyutta takviye elemanları kullanarak aşınma ve aşınmayı önlemek amacıyla lazer yöntemiyle hibrit kompozit kaplamalar, birden fazla takviyelerin kullanımıyla oluşturulmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu bölümde hibrit kompozit kaplamaların üretiminde kullanılan materyaller hakkında bilgi verilmiş, üretim yöntemi açıklanmış ve kompozit malzemenin karakterizasyonu ve aşınma testleri sırasında izlenen yöntem ve kullanılan cihazlar tanıtılmıştır.

3.1. Malzeme

Çalışmada 1040 çeliği altlık malzeme olarak kullanılmıştır. 1040 çeliği, %0.4 C'lu çeliklerdir. 1040 çeliği dişli yapımı, ray yapımı, çivi yapımı, kaynak teli yapımında kullanılır [45]. Lazer kaynak teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı kalıpcılık sektöründe 1040 çeliğinin tercih edilmesi altlık seçiminde etken faktör olmuştur.

Tablo 3.1. 1040 çeliğinin mekanik özellikleri [45].

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kesme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Brinell Sertliği (HB)	Rockwell C Sertliği (HRc)	Rockwell B Sertliği (HRc)	Vickers Sertliği (HV)
600	361	410	19-210	25	201	13	93	211

Tablo 3.2. 1040 çeliğinin kimyasal analizi [45].

1040 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (%)								
Fe	C	Si	Mn	P(max)	S(max)	Cr	Mo	N
98.6-99	0.40-0.50	0.25-0.35	0.60-0.90	0.04	0.05	-	-	-

Tablo 3.3. 1040 çeliğinin ısıl işlem bilgileri [45].

Sıcak Şekillendirme Sıcaklığı (°C)	Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (°C)	Yumuşak Tavlama Sertlik > HB	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme			Meneviş Sıcaklığı (°C)
				Soğutma Ortamı	Su	Yağ	
				Sıcaklık (°C)	820-850	830-860	
850- 1100	650-700	206	840-870	Sertlik (HRc)	50-58	50-57	540-680

10 mm çapında 5 mm kalınlığında 7 adet altlık malzeme kesme cihazında kesilerek hazır hale getirilmiştir. Kaplama malzemeleri olarak Nikel (Ni) tel ve takviye elemanı olarak Ni toz, Silisyum Karbür (SiC) ve Tungsten Karbür (WC) kullanılmıştır.

Kaplamada kullanılan tozlar Nanografi Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık şirketinden alınmıştır. Kullanılan nano tozlar; Nano-WC(<65nm ve % 99,9 saflıkta) , Nano-Ni(<31nm ve %99.95 saflıkta) ve Nano-SiC(<70nm ve % 99,5 saflıkta) için belirlenen hacimsel oranlarda kütle hesabı yapılmış ve kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. 2 mm kaplama kalınlığı oluşacak şekilde yapılan hesaplamalar Tablo 3.9’ da verilmiştir.

Tablo 3.4. Silisyum karbürün kimyasal analizi [46].

Silisyum Karbürün Kimyasal Kileşimi (%)					
SiC	Si	SiO ₂	Fe	Al	C
98.5	0.3	0.5	0.08	0.01	0.3

Tablo 3.5. Silisyum karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri [46].

Yoğunluk (g/cm ³)	Vickers Sertliği (HV)	Knoop Sertliği (KH)	Elastik Modülü (GPa)	Bükülme Dayanımı (Mpa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu Mpa - m ^{1/2}
2.7-3.09	3000-3400	2670-2815	390-420	420-450	2500-3200	4

Tablo 3.6. Tungsten karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri [46].

Tungsten karbür fiziksel ve mekanik özellikleri					
Yoğunluk (g/cm ³)	Vickers Sertliği (HV)	Knoop Sertliği (KH)	Elastik Modülü (GPa)	Bükülme Dayanımı (Mpa)	Kırılma Tokluğu Mpa - m ^{1/2}
14-14.9	1600	1880-2100	570-610	1800-2400	12

Tablo 3.7. Tungsten karbürün kimyasal analizi [47].

Tungsten Karbürün Kimyasal Bileşimi (%)		
W	C	Fe
95.8	4	0.2

Tablo 3.8. Nikelin fiziksel ve mekanik özellikleri [48].

Nikelin fiziksel ve mekanik özellikleri							
Yoğunluk (g/cm ³)	Partikül Boyu	Kristal Yapısı	Elastik Modülü (GPa)	Sertlik Değeri	Erime Sıcaklığı °C	Bulk Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
8,9	325 mesh	Kübik	(GPa)	800 - 3000	1708 - 1739	162 - 200	345 - 1000

Malzeme yüzeylerinde oluşan kayıplar aşınma olarak tanımlanır. Aşınmayı etkileyen parametreler; malzeme türü, yüzeylerin birbirine sürtünme açısı ve şekli, sürtünmenin gerçekleştiği şartlardır. Sert malzemelerin aşınma direnci yüksek olduğu için tez çalışmasında kullanılan takviye elemanları sertlik değerleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Tablo 3.9. Hibrit kompozit lazer kaplama oluşumunda hacimsel olarak kullanılan takviye nano toz miktarları

Ni	WC	SiC	Kaynak Teli
% 10	% 2	-	Geri Kalan
% 10	-	% 2	
% 20	% 2	-	
% 20	-	% 2	
% 20	% 2	% 2	
-	% 2	-	
-	-	% 2	

Kaplama oluşumunda yapılan hacimsel hesaplamalar;

Takviye elemanlarının yoğunlukları :

Ni: 8,9 g/cm³ SiC: 3,21 g/cm³ WC:15,63 g/cm³

Altlık malzeme seçiminde silindir 1040 çeliği kullanılmıştır.

Silindirin hacmi :

$$v = \pi x r^2 x h$$

r = 5 mm

kaplama yüksekliği : 2 mm

$\pi = 3,14$

$$v = (3,14)x(5 \text{ mm})^2 x (2 \text{ mm})$$

$$v = 157 \text{ mm}^3 = 0,157 \text{ cm}^3$$

Yoğunluk formülünden $d = \frac{m}{v}$ takviye elemanlarının miktarını bulacağız.

Hacimce %2 WC :

$$15,63 = \frac{m_{WC}}{(0,157)x (0,02)}$$

$$m_{WC} = 0,049 \text{ gr}$$

Hacimce %2 SiC :

$$3,21 = \frac{m_{SiC}}{(0,157)x (0,02)}$$

$$m_{SiC} = 0,010 \text{ gr}$$

Hacimce %10 Ni :

$$8,9 = \frac{m_{Ni}}{(0,157)x (0,10)}$$

$$m_{Ni} = 0,139 \text{ gr}$$

Hacimce %20 Ni :

$$8,9 = \frac{m_{Ni}}{(0,157)x (0,20)}$$

$$m_{Ni} = 0,278 \text{ gr}$$

Tozların hazırlanmasının ardından lazerle kaplama işlemi yapılmıştır. Lazerle kaplama işlemi Manisa'da Modern Lazer adlı işletmede Vision LWI IV marka 0,2 kW gücünde Nd: YAG lazer cihazında impax tel kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 3.10. Vision LWI IV teknik özellikleri [49].

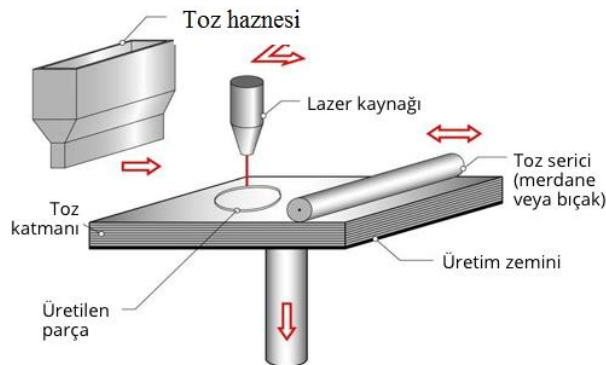
Vision LWI IV Nd:YAG Lazer Kaynağı Makinesinin Teknik Özellikleri									
Işın Kaynağı	Dalga Boyu	Çalışma Modu	Güç Ayarı	Maks. Pik Gücü	Maks. Ortalama Güç	Işın Çapı	Odak Uzaklığı (Standart)	Darbe Uzunluğu	Mikroskop
Nd:YAG	1064 nm	Darbeli lazer sistemi	Voltaj veya PWM (Darbe Genlik Modülasyonu)	10 kW	120 - 200 W	200 µm - 2,5 mm	190 mm (90,120,300 ayarlanabilir)	0,5 - 20 ms	Leica Top 20x

Tablo 3.11. Lazer kaynak parametreleri

Uygulanan Lazer Kaynağı Parametreleri					
Lazer Üretici	Dalga Boyu	Maksimum Tepe Gücü	Maksimum Ortalama Güç	Odak Mesafesi	Işın Çapı
Nd:YAG	1064 nm	10 Kw	150 W	190 mm	200 µm - 2 mm ayarlanabilir

Manuel yapılan lazer kaplama işlemi sırasıyla;

- Altlık malzeme yüzeyinde tozların dağılmaması için 2 mm yüksekliğinde masif tel ile havuz yapılması (Şekil 3.16),
- Önceden hazırlanmış tozların bu havuzun içine serilmesi,
- Masif tel ile üzeri tozla kaplanan altlık malzeme yüzeyine 2 mm kalınlığında masif tel ile karıştırılarak kaplama yapılması işlemlerini kapsamaktadır (Şekil 3.17).



Şekil 3.16. Lazer kaynağı ile kaplama yapılan numunelerin şematik gösterimi [50].



Şekil 3.17. Kaplama işleminin yapıışının gösterimi

3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Metalografik İnceleme

Kaplama işlemi sonrasında numunelerden kaplama ve altlık malzeme doğrultusunda kesit alınmıştır. Mikro yapı incelemeleri ve kalınlık ölçümü için Metkon Forcilop 2V marka zımparalama ve parlatma cihazında zımpara tane numarası 320-400-600-800 ve 1200 olan zımparalar ile sırası ile zımparalanmış, keçe ile Al_2O_3 solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirildikten sonra numunelere dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işleminde kullanılan çözelti Tablo 3.12 'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Kullanılan zımparalama ve parlatma cihazı

Tablo 3.12. Hazırlanan numunelerin dağlanmasında kullanılan solüsyon

Dağlama Çözeltisi (Marble's solüsyonu)	CuSO ₄ (g)	HCl (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	Dağlama zamanı (sn)
CuSO ₄ + HCl + H ₂ SO ₄	8	20	5	65

Nikon marka EclipseLvison model mikroskop ile Clemex yazılımı kullanılarak mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kullanılan optik mikroskop ve stereo mikroskop

3.2.2. Mikro Sertlik

Sertlik testleri FutureTech marka FM 700 model mikro sertlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Vickers mikro sertlik yöntemiyle yapılan mikro sertlik testlerinde konik uçla 300 g yükleme 10 sn. iz oluşumu sağlanarak mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Hem kaplama yüzeyinden sertlikler alınmış hem de numuneler kesilerek kesitten kaplama yüzeyi, geçiş bölgesi, altlık malzeme geçiş sertliğini görmek için bir hat boyunca ölçümler alınmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Mikro sertlik test cihazı

3.2.3. Aşınma Testi

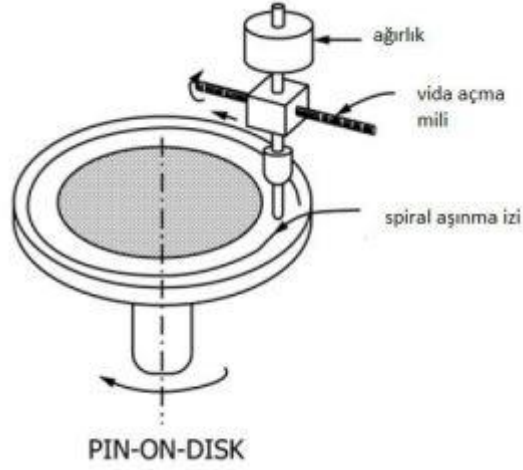
Pim disk aşınma testi ASTM G99-05 standardında, farklı yük ve sabit mesafe ve dönme hızında gerçekleştirilir. Bu çalışmada, Tribometer marka pim disk aşınma cihazı kullanılarak yapılan aşınma testinde, karşı eleman olarak 6 mm çapında alümina bilye kullanılmıştır. (Şekil 3.21 –Şekil 3.22) 10 N yük uygulanmış ve aşınma iz çapı 4 mm olarak belirlenmiştir. Toplam 1000 m mesafede aşındırma işlemi yapılmış, ilk olarak 500m aşınma yolu oluşturulmuş, daha sonra da 500 m aşınma yolu kat edildikten sonra 2 boyutlu profilometre cihazı ile hacimsel aşınma miktarı hesaplanmıştır. Profilometre cihazından elde edilen iz-derinlik grafiklerinden elde edilen değerler iz yoluyla çarpılarak hacimsel kayıplar hesaplanmıştır.

Tablo 3.13. Pim disk yönteminde kullanılan parametreler

Test Parametreleri	Değer
Uygulanan Yük (N)	10 N
Lineer Hız (cm/s)	10.00 cm/s
Ortam	Açık Hava
Kayma Mesafesi (m)	1000 m
Test Bilyesi	Alümina
Test Bilye Çapı (mm)	6 mm
Aşınma İzi Çapı	4 mm



Şekil 3.21. Pim disk aşınma test cihazı



Şekil 3.22. Pim disk cihazı şematik gösterimi [51].

Numune yüzeyinde 500 metre ve 1000 metre’de oluşan aşınma izi profilometre cihazı kullanılarak elde edilen grafiklerle hacimsel kayıplar hesaplanmıştır.



Şekil 3.23. Profilometre cihazı

3.2.4. SEM – EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) içerisinde bulunan ışın tabancasından çıkan elektron demetlerinin incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu etkileşiminden yararlanılarak analiz yapmak için kullanılır. Aşınma testinden sonra numuneler İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi’nde bulunan Carl Zeiss 300VP SEM (Şekil 3.24) cihazında kaplama görüntüleri ikincil ve geri saçılmış elektron

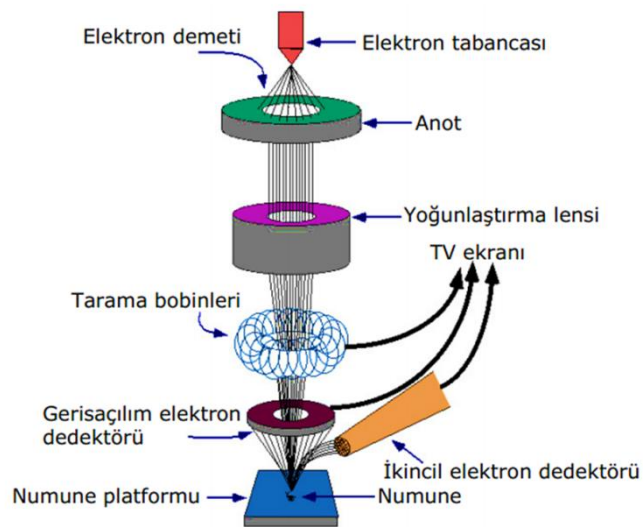
detektörleri ile elde edilmiştir. Aşınma izi, kaplama ve altlık malzemeden elemental analiz yapılmıştır.

Tablo 3.14. Kullanılan SEM analiz parametreleri

Hızlandırma Voltajı	Numune Sayısı	Analiz Süresi	Yapılan Analiz	Görüntü Alınan Dedektörler
15 Kv	7 adet	2 saat	EDS	1) İkincil elektron (SE) dedektörü 2) Geri saçılmış elektron (BSE) dedektörü



Şekil 3.24. Kullanılan SEM Cihazı

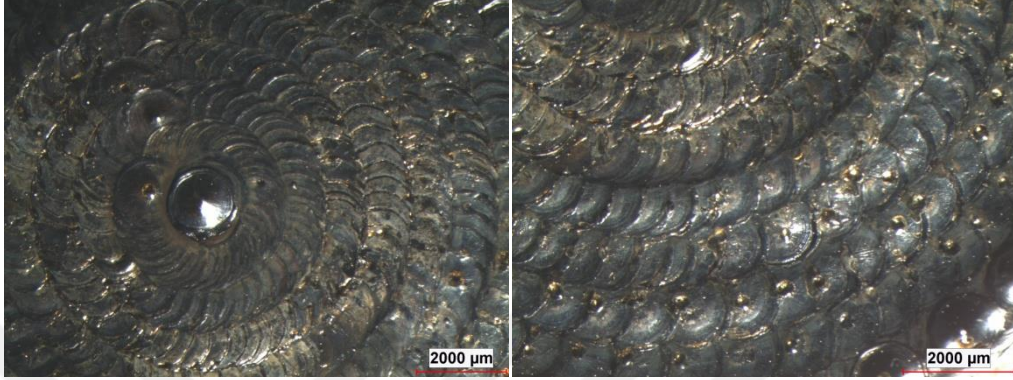


Şekil 3.25. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görüntüsü [52].

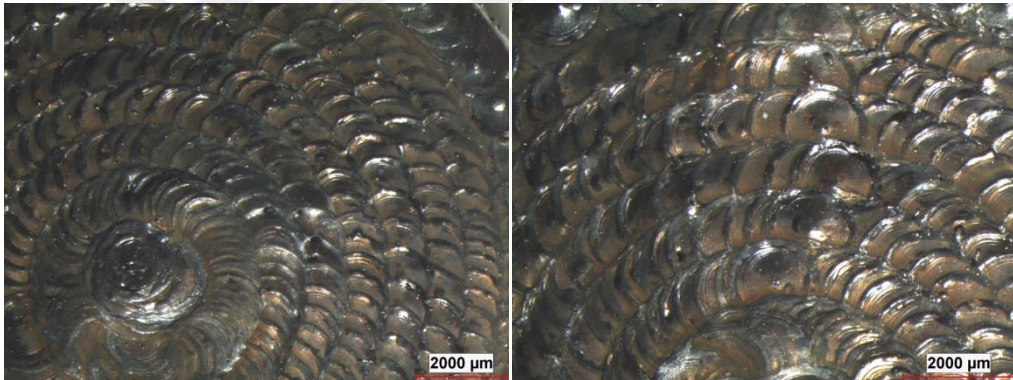
4. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

4.1. Makro İncelemeler

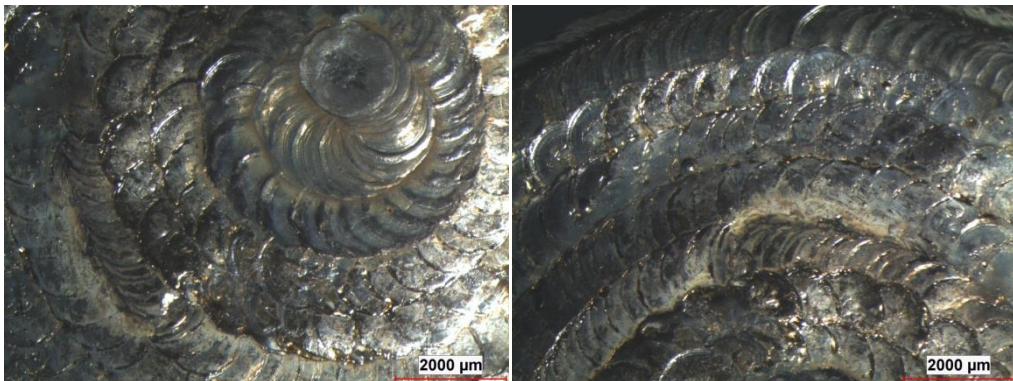
Farklı takviye oranlarında hazırlanan numunelerin kaplama yüzeyleri Şekil 4.1 - 4.6'da gösterilmiştir.



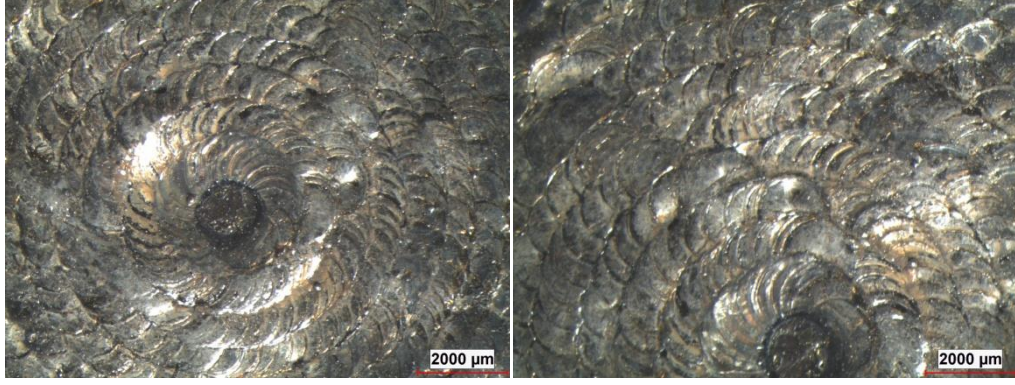
Şekil 4.1. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



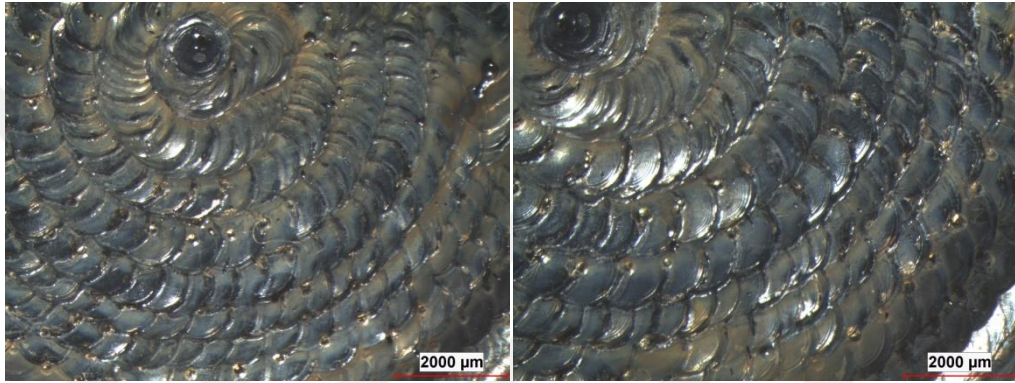
Şekil 4.2. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



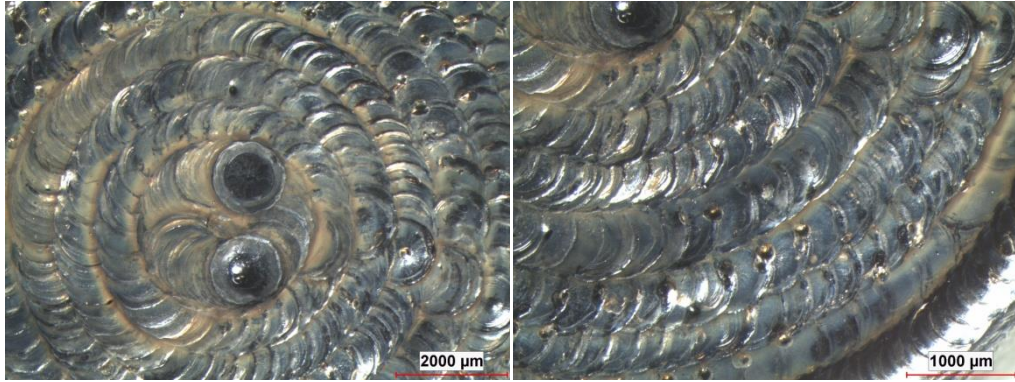
Şekil 4.3. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.4. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.5. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.6. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü

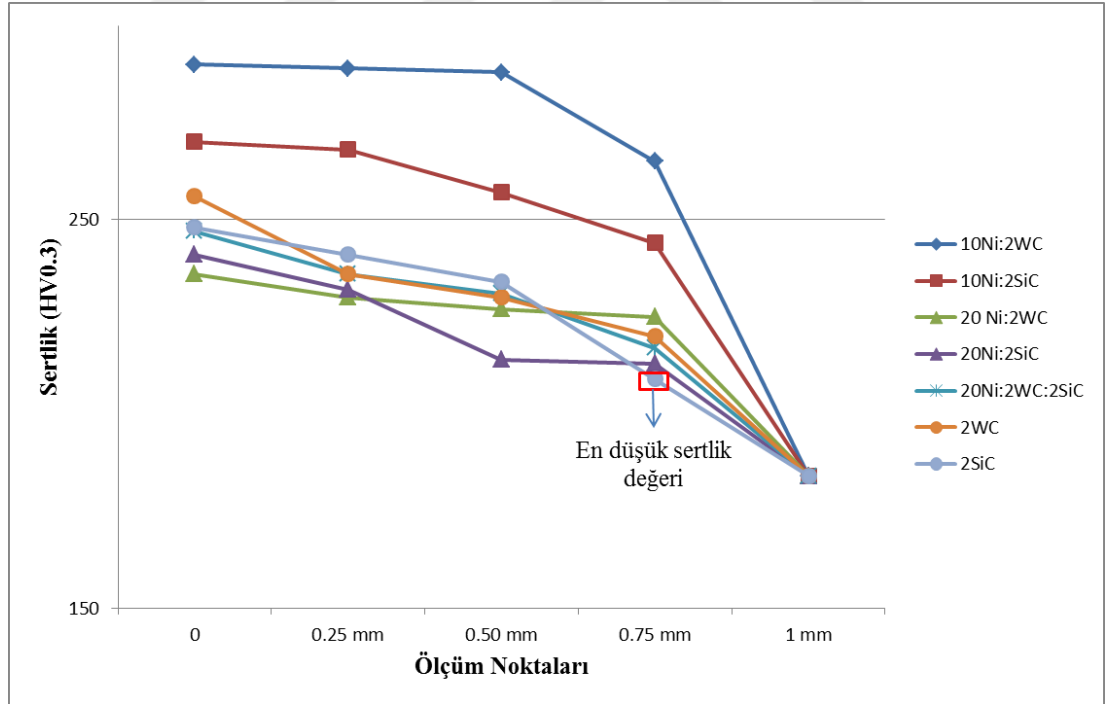
Stereo mikroskop incelemelerinde kaplama yüzeyinde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Kaplama yüzeylerinde çatlak oluşumu görülmemiştir.

4.2. Mikro Sertlik Test Sonuçları

Hazırlanan numunelere mikro sertlik testleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeyinde oluşturulan kaplamanın kesitinden 5 farklı noktada sertlik ölçümleri yapılmıştır. (Şekil 4.7.)



Şekil 4.7. Kaplamanın kesitten yapılan ölçümlerin gösterimi



Şekil 4.8. Kaplama kesitine ait sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Numunelerin kesitinden ölçülen sonuçları incelendiğimizde en yüksek sertlik değerinin 290 HV değerine sahip 10Ni:2WC takviyeli hazırlanan kaplamanın olduğu görülmektedir. En düşük 209 HV değerine sahip %2 SiC takviyeli kaplamanın olduğu gözlemlenmiştir.

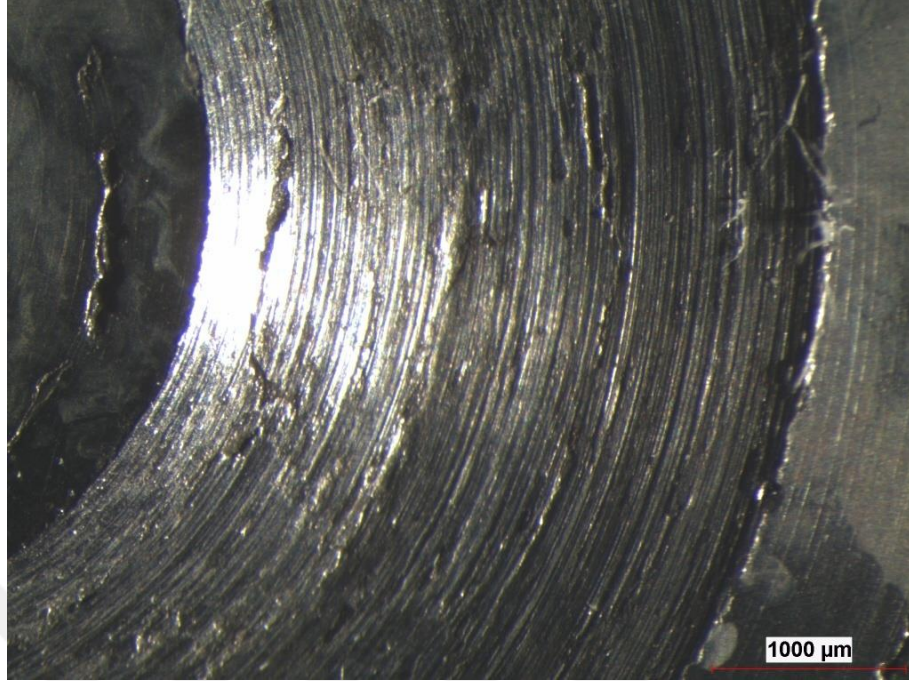
Hazırlanan numunelerde Nikel (Ni) oranı sabit tutularak, %2 oranında hazırlanana Silisyum Karbür (SiC) ve Tungsten Karbür (WC) arasında karşılaştırma yapıldığında kesitten ölçülen sertlik değerlerini incelediğimizde bu durumun aksini görmekteyiz. Numune üzerinde oluşturulan kaplamanın kesitten incelendiğinde WC'ün oluşturduğu kaplamanın sertlik dayanımı SiC'den yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

%2 takviye oranında SiC ve WC olarak hazırlanan numunelerin Nikel (Ni) oranı artırılarak numunelerin kesitinde ki sertliğe etkisi incelenmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde en yüksek sertlik 241 HV değerinde 20Ni:2SiC olarak hazırlanan kaplamada ölçülmüştür. En düşük sertlik ise 194 HV değerinde 20Ni:2SiC olarak hazırlanan kaplamada olduğu gözlemlenmiştir.

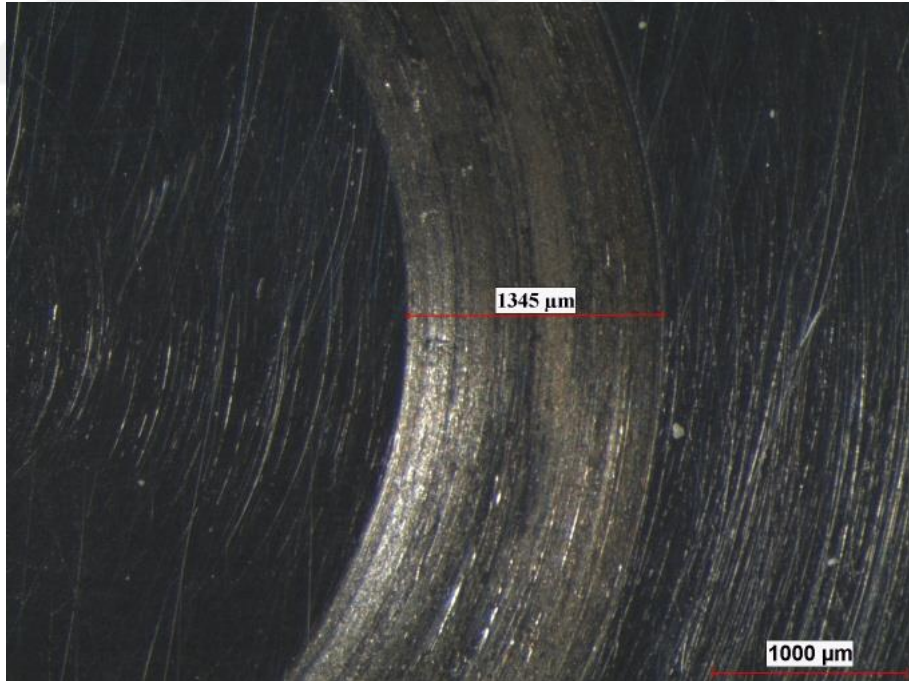
Hazırlanan numunelerde silisyum karbür (SiC) ve tungsten karbür (WC) oranı sabit tutularak, artırılan nikel (Ni) oranının yüzeyde oluşturduğu kaplamanın sertliğe etkisi incelendiğinde silisyum karbürün (SiC) tungsten karbürden (WC) daha yüksek sertlik dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kesitten ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde ise yine silisyum karbürün (SiC) oluşturduğu sertlik dayanımı tungsten karbürden (WC) daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Simone ve arkadaşları (2015), düşük karbonlu çelik altlık üzerine, lazer kaynak yöntemini kullanarak tungsten karbür (WC) tozlarının aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Tungsten karbürün ve hazırlanan tozun içerisindeki karbürlerin çözülmesi sonucu sertliğe etkisi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. İncelemeler sonucunda tungsten karbür (WC) oranının azalması sonucu sertlik değerlerinde düşüşe neden olduğunu gözlemlenmiştir [53].

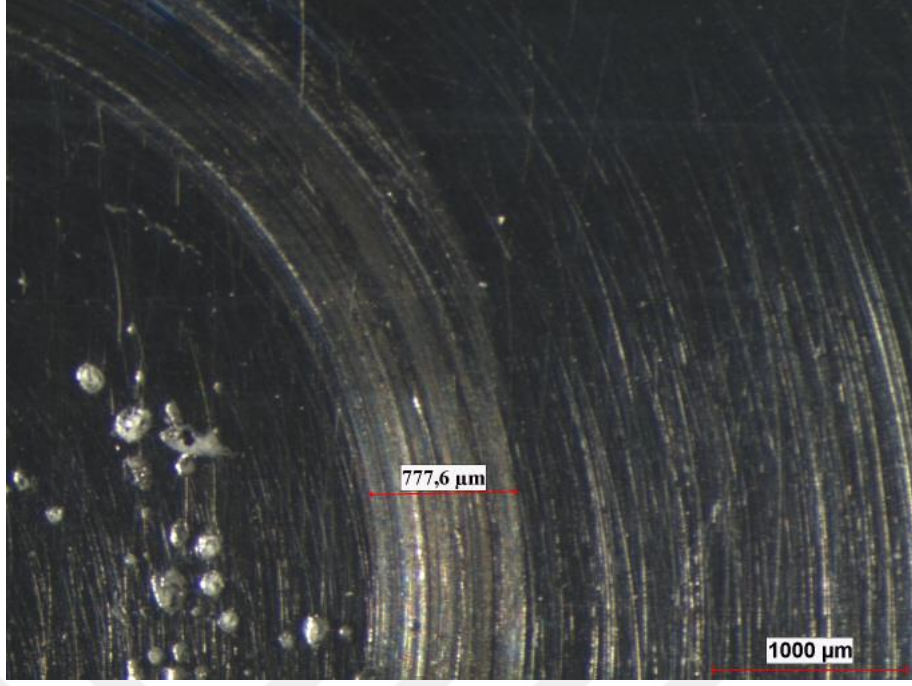
4.3. Aşınma Test Sonuçları



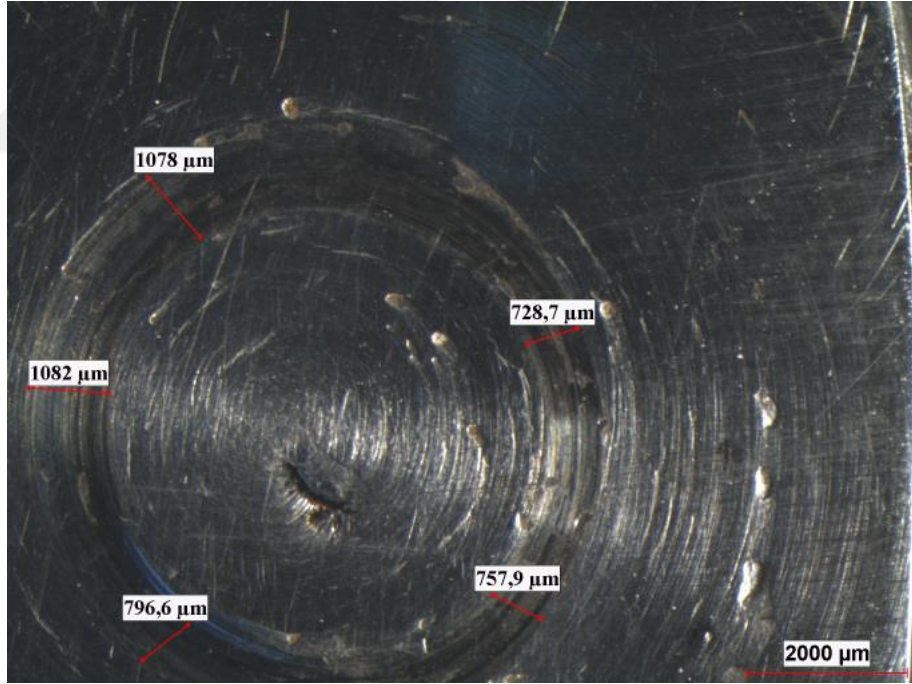
Şekil 4.9.10Ni:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü



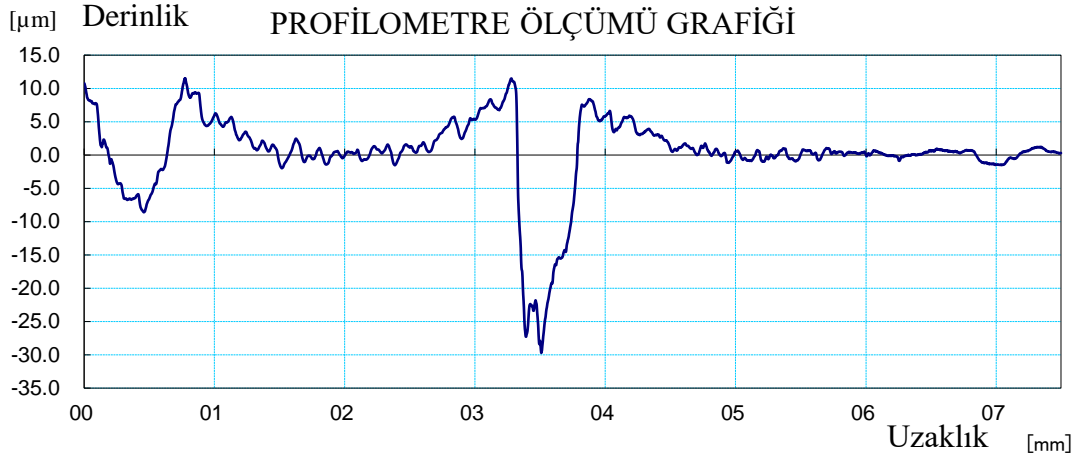
Şekil 4.10. 10Ni:2SiC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü



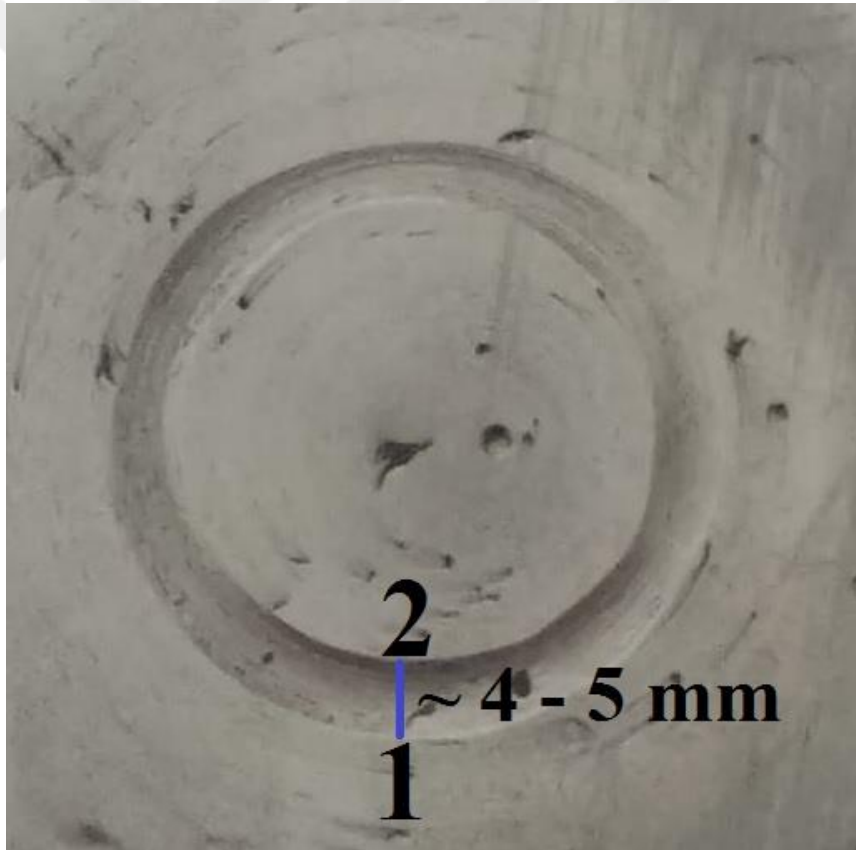
Şekil 4.11. 20Ni:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü



Şekil 4.12. 20Ni:2SiC:2WC takviyeli kaplama yüzeyinin aşınma izi görüntüsü



Şekil 4.13. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın aşınma izi profilometre ölçüm grafiği örneği

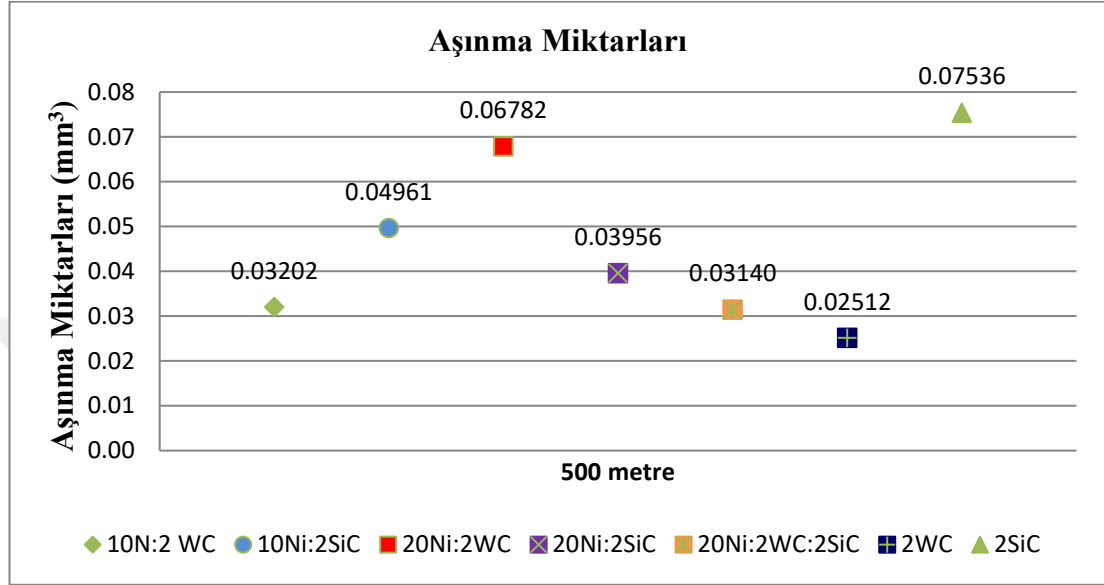


Şekil 4.14. 10Ni:2SiC takviyeli kaplamanın aşınma izi görseli

Şekil 4.14'de 1 noktasından 2 nokta arası profilometre cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapıldığında yatay eksen üzerinde yaklaşık olarak 1 noktasından 3.5 mm uzaklığında yüzey üzerinde bir aşınan nokta olduğu

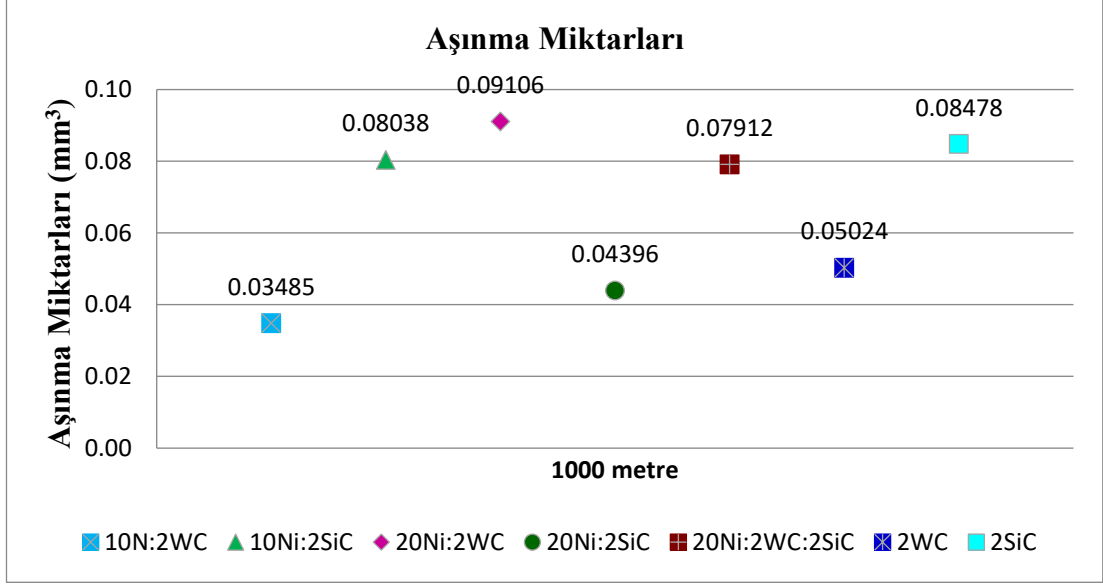
gözlemlenmiştir. Bu noktanın derinliği ise düşey eksen de gözüken 30 µm olduğu tespit edilmiştir.

Aşınma miktarlarının ve aşınma mesafesinin grafikleri Şekil 4.15 - 4.20'de verilmiştir.



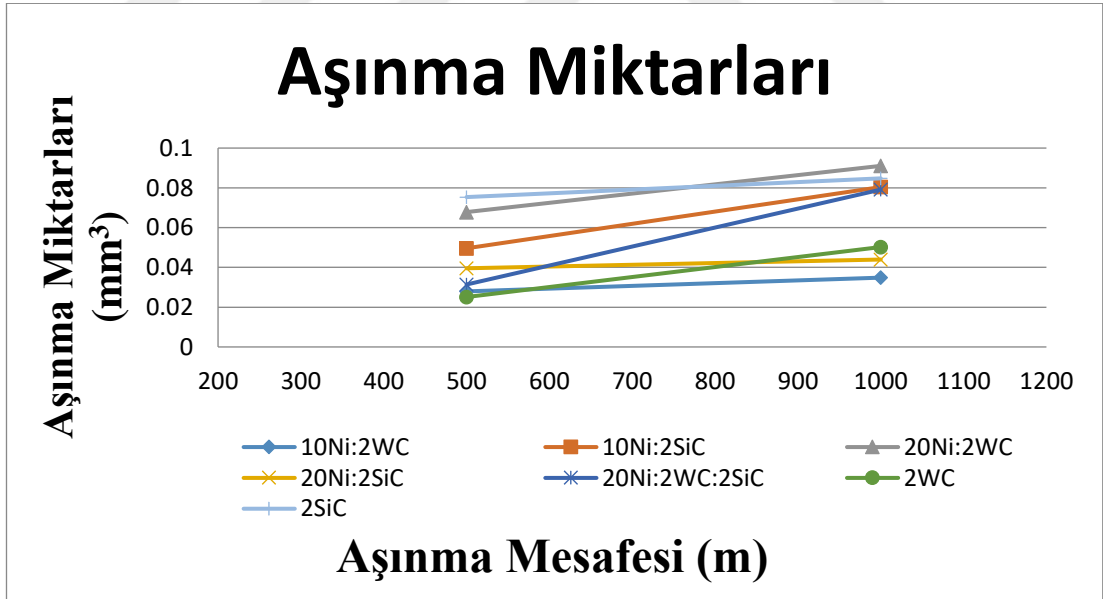
Şekil 4.15. İlk 500 metredeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması

İlk 500 metrede alınan yolun sonucunda numunelerde meydana gelen aşınma miktarları karşılaştırıldığında en fazla aşınma miktarı hacimce 2SiC olarak hazırlanmış numunede 0,07536 mm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. 1000 metre sonunda aşınma miktarlarının karşılaştırılması

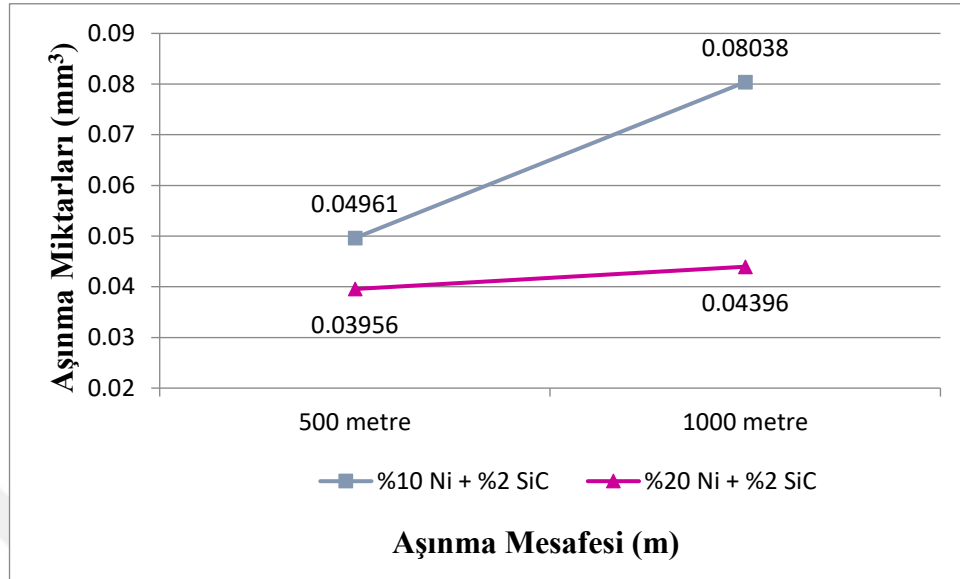
1000 metrede alınan yolun sonucunda numunelerde meydana gelen aşınma miktarları karşılaştırıldığında en fazla aşınma miktarı hacimce 20Ni:2WC olarak hazırlanmış numunede 0,09106 mm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17. Hazırlanan numunelerin aşınma miktarlarının karşılaştırılması

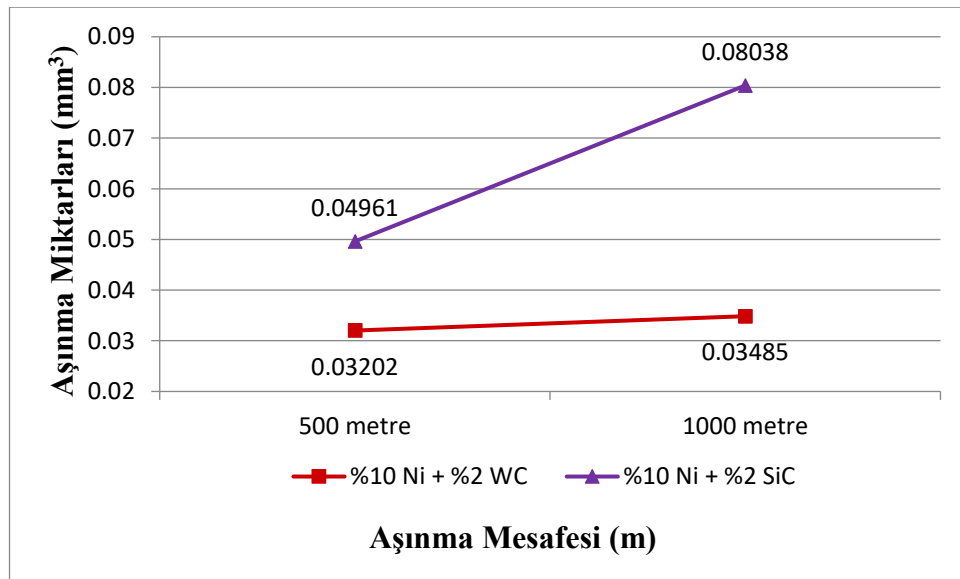
Tüm numunelerde aşınma mesafesi artışıyla, malzeme kaybı artmıştır. Ni ilavesiyle aşınma direnci artmıştır. (Şekil 4.17) Nikel elementinin tane küçültme özelliğine sahip olması, tokluğu ve mukavemeti artırır. Malzemenin oksitlenmesini

engelleyici özelliğe sahiptir. Korozyona ve oksidasyona karşı mükemmel direnç sağlar [54].



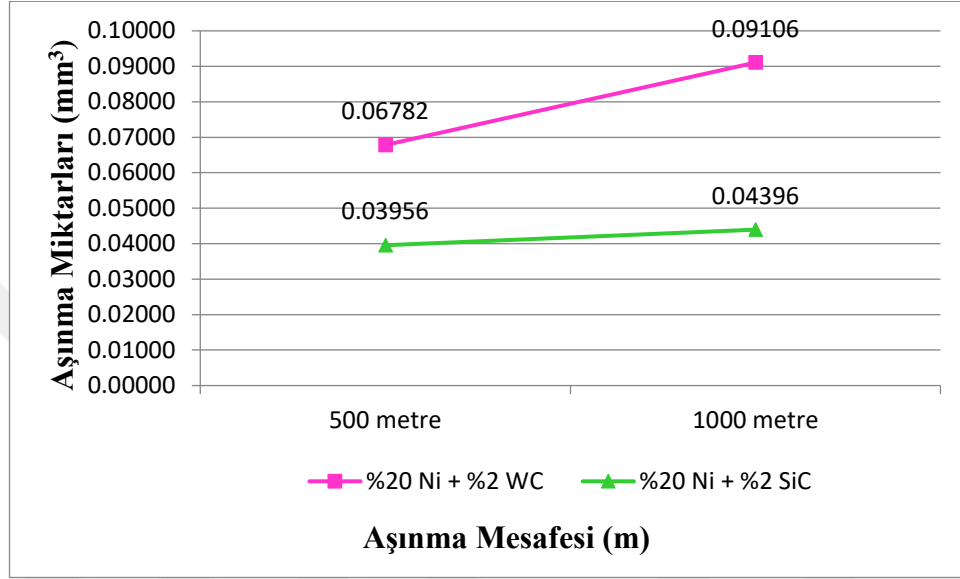
Şekil 4.18. Hacimce nikel oranı artırılmış hacimce aynı oranda hazırlanan SiC numunelerin aşınma miktarlarının karşılaştırılması

2SiC içeren numunelerde Ni oranının artması aşınma miktarını azaltmış, hatta mesafenin artmasında dahi aşınma kaybı çok artmamıştır. Bu durum takviyelerin iyi dağılması ve matris içerisinde tutunması ile açıklanabilir.



Şekil 4.19. Aynı Ni oranında %2 takviyeli WC ve SiC olarak hazırlanan kaplamanın aşınma miktarlarının karşılaştırılması

%10 Ni ve %2 oranında farklı takviye içeren numunelerde en iyi sonuç WC içeren numunede elde edilmiştir. SiC' ün sertliğinin WC' e göre daha yüksek olmasına rağmen SiC partiküllerinin matris tutunamaması ve aşınma sırasında çıkması ile açıklanabilir. SEM görüntülerinden de tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Aynı Ni oranında %2 takviyeli WC ve SiC olarak hazırlanan kaplamanın aşınma miktarlarının karşılaştırılması

SiC içeren numune için artan Nikel oranı aşınma direncinin artmasına neden olmuştur. Sertliği WC e göre daha yüksek olan SiC' ün daha fazla orandaki Ni içerisinde tutunması ile açıklanabilir.

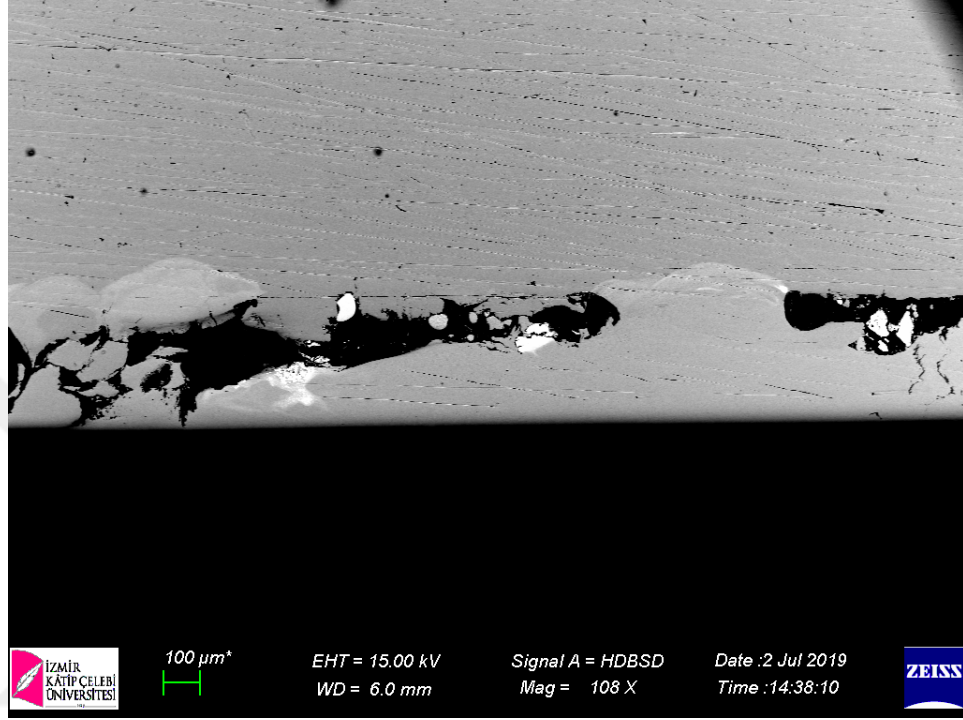
Huang ve arkadaşları (2004), H13 takım çeliği yüzeyine hazırlamış oldukları tungsten karbür (WC) ve nikel (Ni) tozlarını lazer kaynağı yöntemini kullanarak yapmış oldukları kaplamanın aşınma davranışı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Hazırlanan tungsten karbürün (WC) partikül şekli mikro yapı ve aşınmayı etkilediğini gözlemlemişlerdir. Tungsten karbürün küresel ve ezilmiş olarak iki partikül şekli ile hazırlanan numunelerde aşınma dirençleri incelenmiştir. Aşınma direnci düşük olan tungsten karbür ile nikel kompozit kaplamanın, tungsten karbürün parçacık şeklini değiştirerek aşınma direnci artırılabilir [55].

Deng ve arkadaşları (2015), 304 östenitik paslanmaz çelik altlık üzerine nikel bazlı tungsten karbür tozları ile oluşturdukları kaplamanın aşınma direncini incelemiştir. Oluşturulan kompozit kaplamada tungsten karbürün küresel partikül şekli kullanılarak oluşturulan kaplamanın aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir [56].

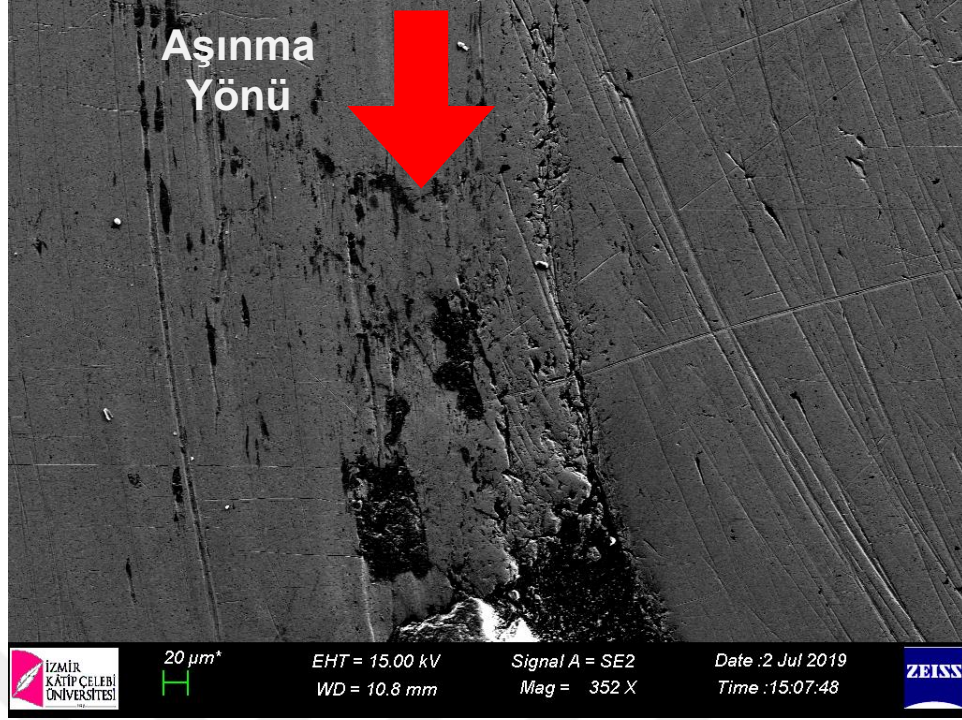
Zhang ve arkadaşları (2004), martenzitik paslanmaz çelik altlık üzerine nikel bazlı tungsten karbür tozlarının aşınma ve korozyon direnci ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Kaplama yapılan tozun içeriğinin nikel oranı artırılarak aşınma direncinin arttığını gözlemlemiştir [57].



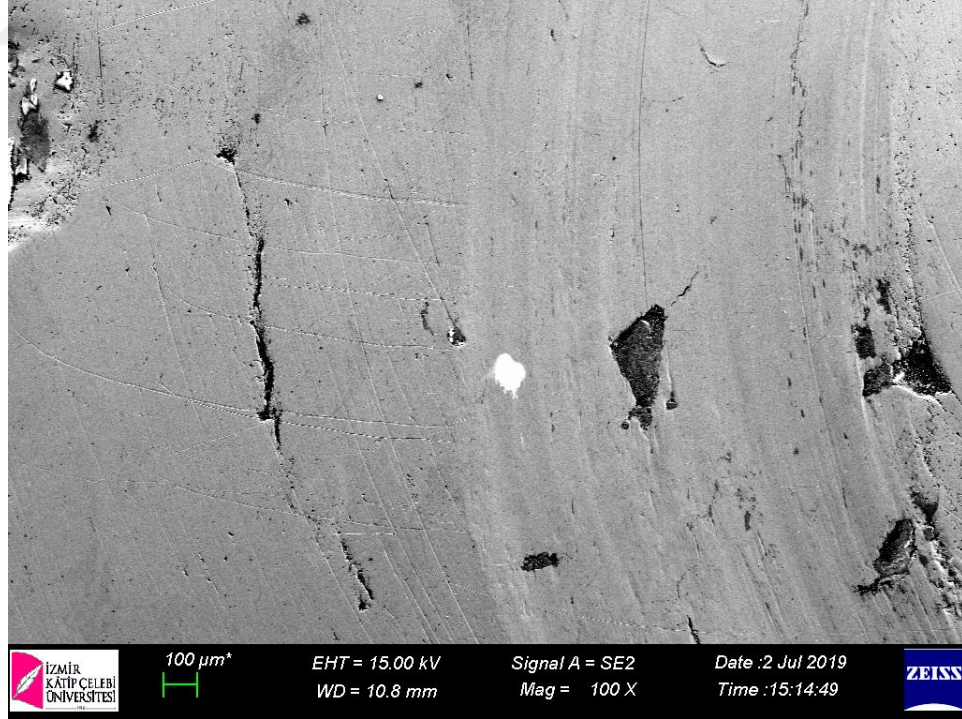
Numunelerin yüzey ve kesitinde kaplama oluşumu, aşınma izi ve aşınma yönünün görüntüsü taramalı elektron mikroskop ile elde edilmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.21 - 4.32'de yer almaktadır.



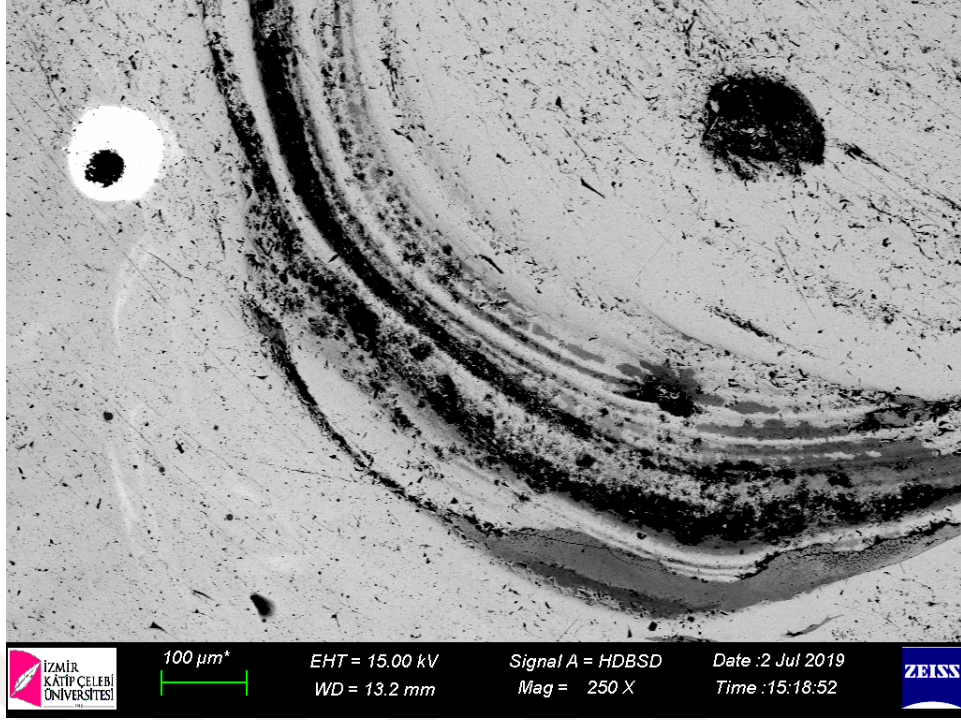
Şekil 4.21. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü



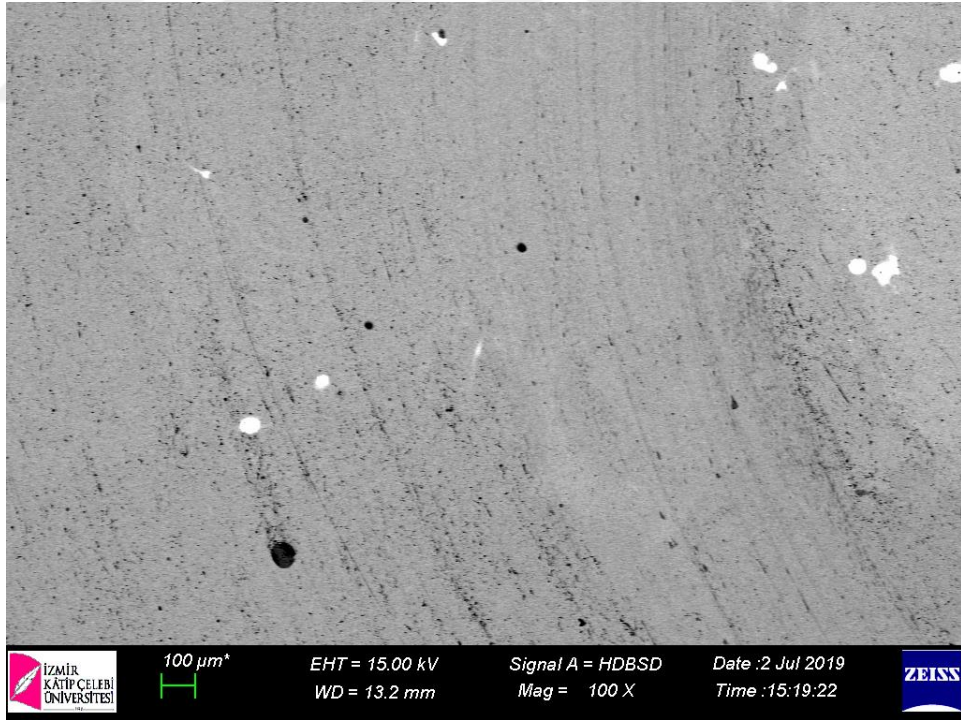
Şekil 4.22. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin yönünün SEM görüntüsü



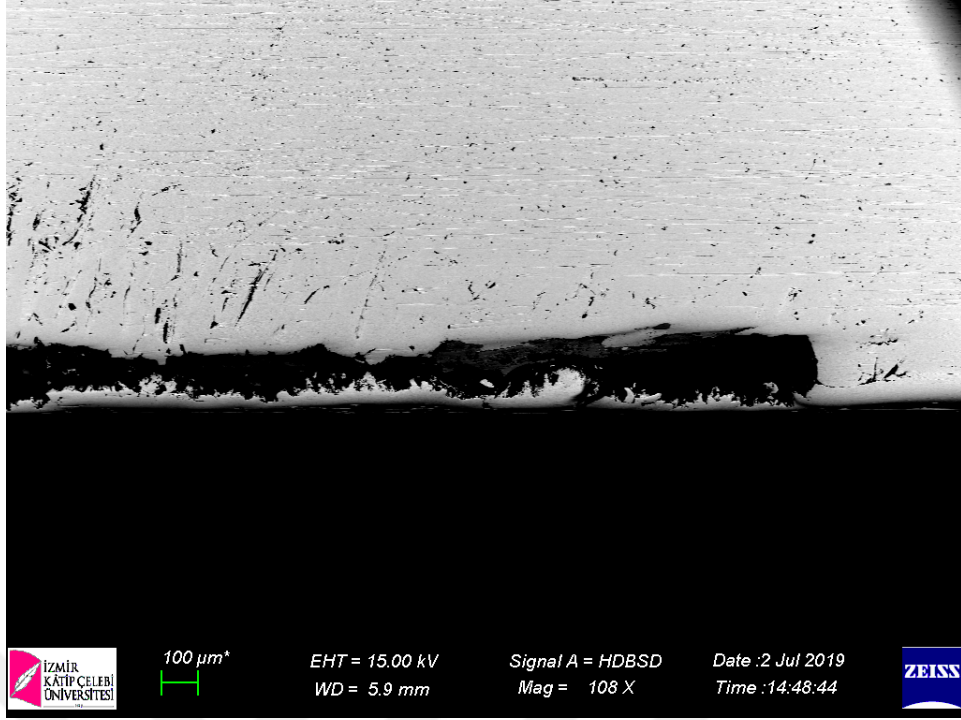
Şekil 4.23. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki SEM görüntüsü



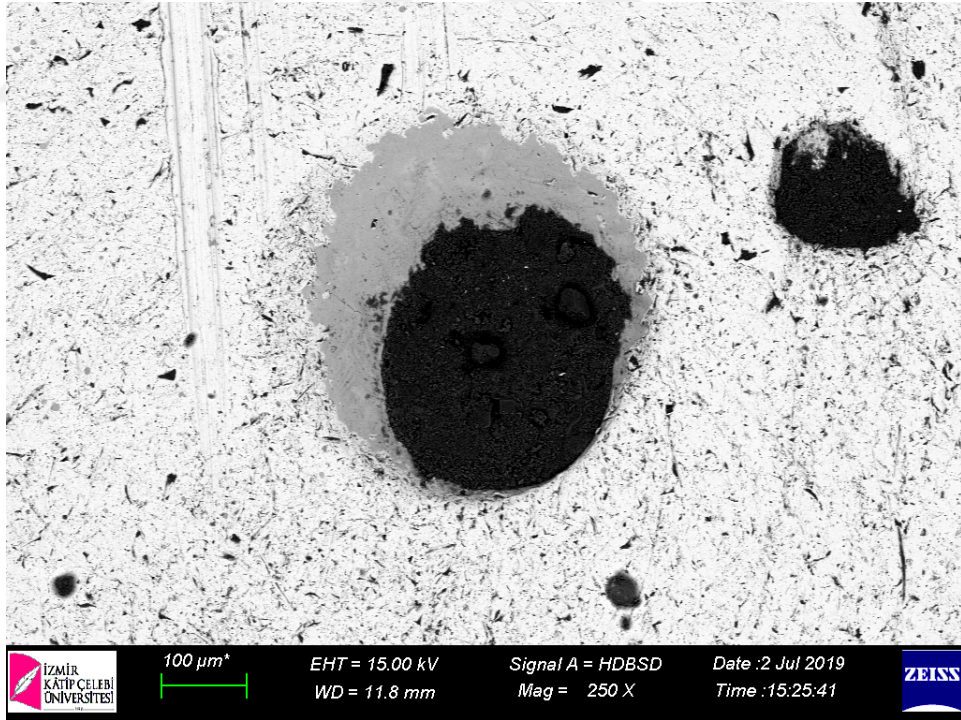
Şekil 4.24. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü



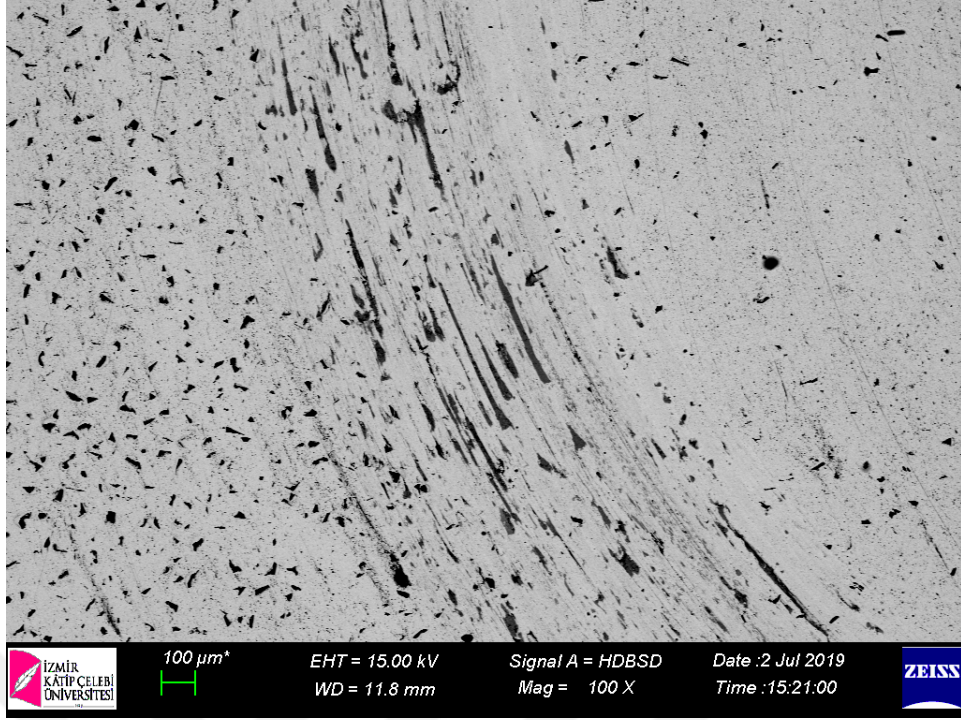
Şekil 4.25. 2WC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin SEM görüntüsü



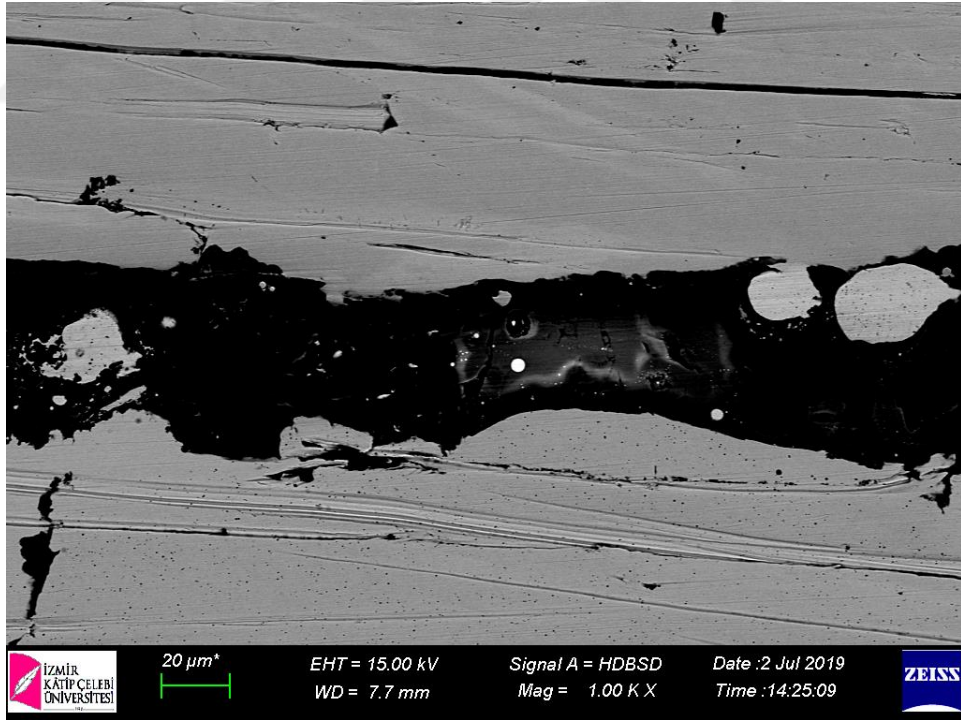
Şekil 4.26. 2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü



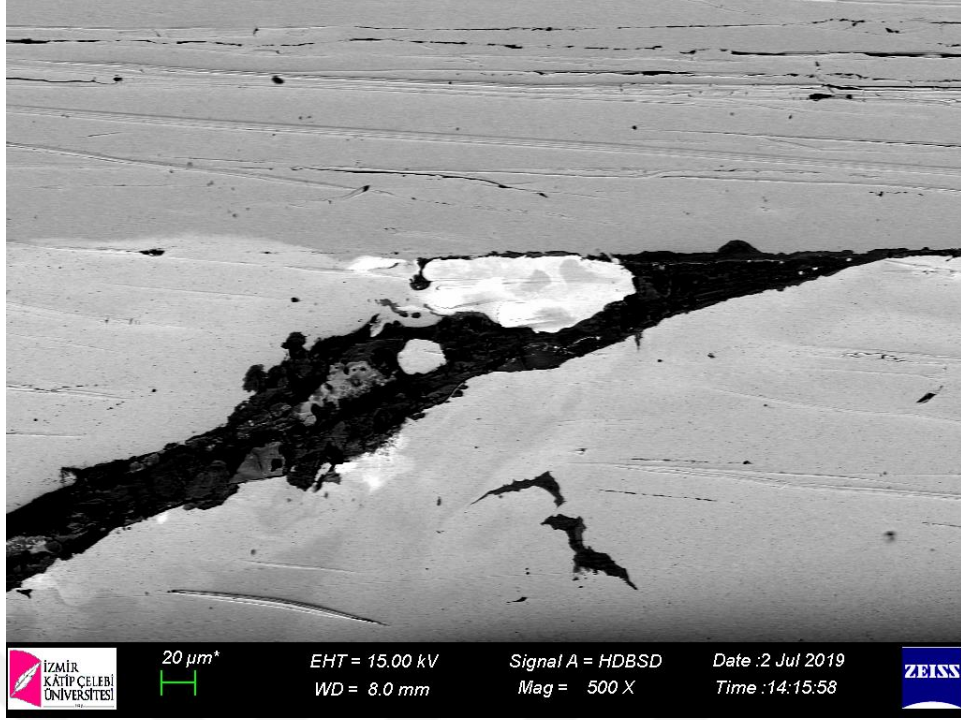
Şekil 4.27. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyinin SEM görüntüsü



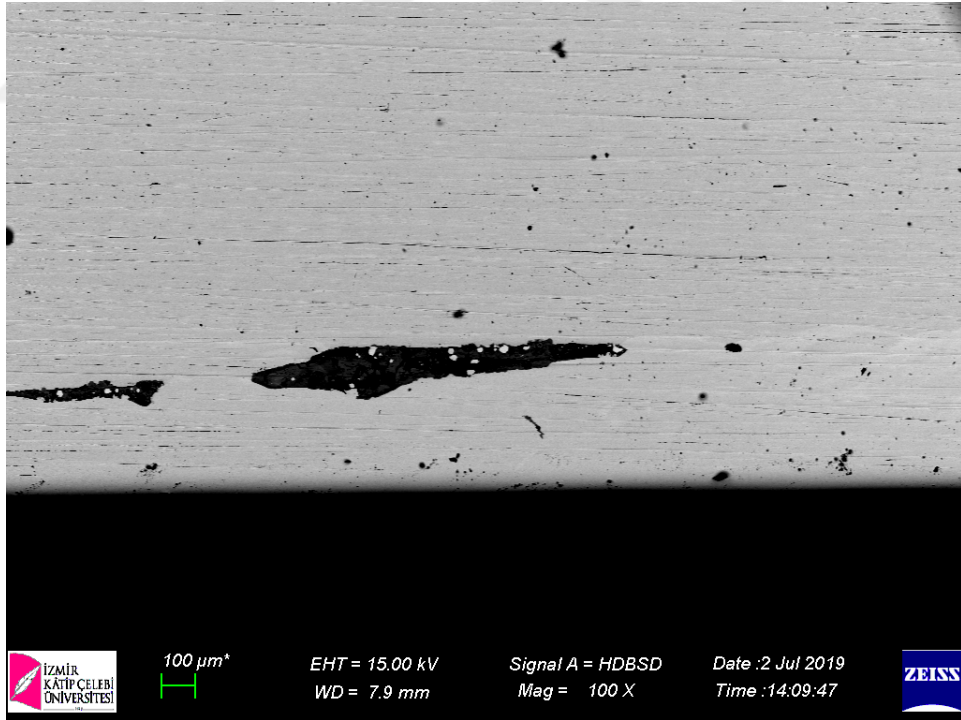
Şekil 4.28. 2SiC takviyeli hibrit kaplama yüzeyindeki aşınma izinin SEM görüntüsü



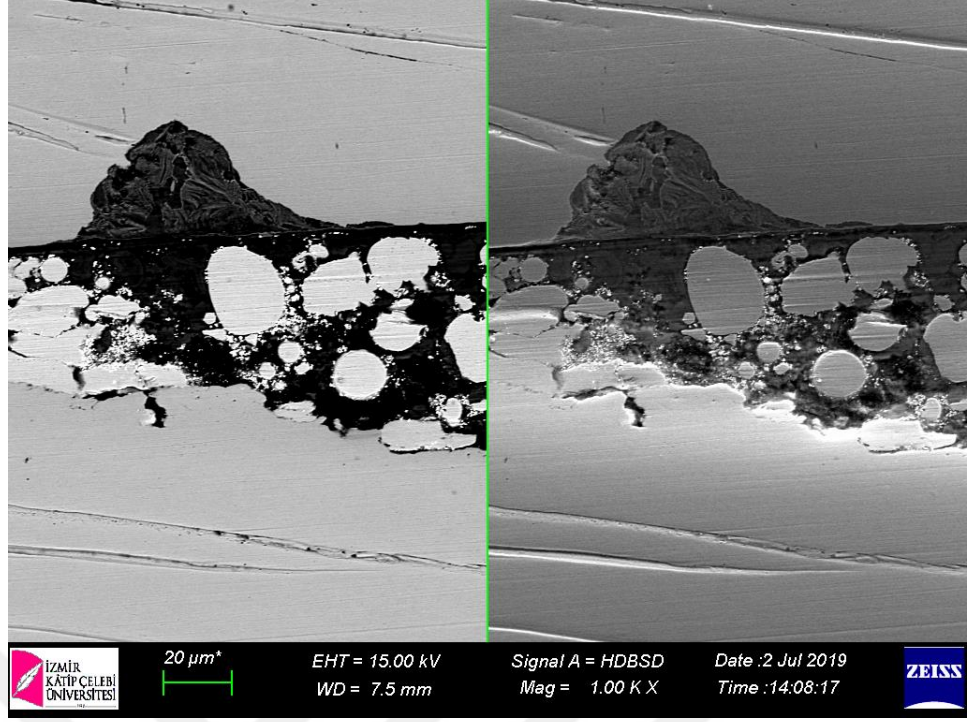
Şekil 4.29. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü



Şekil 4.30. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü

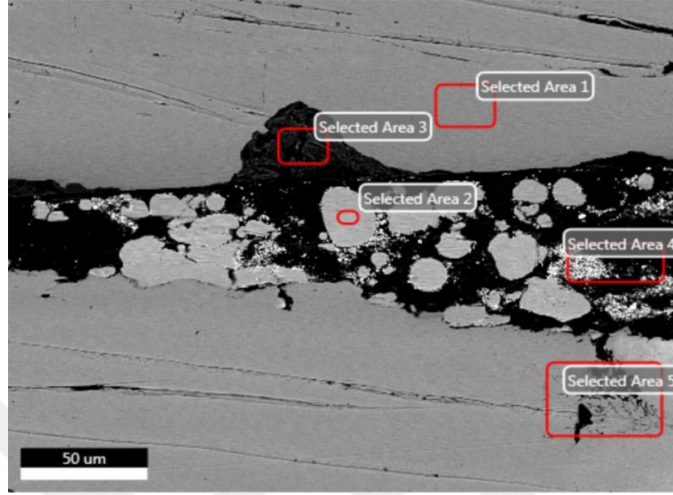


Şekil 4.31. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü

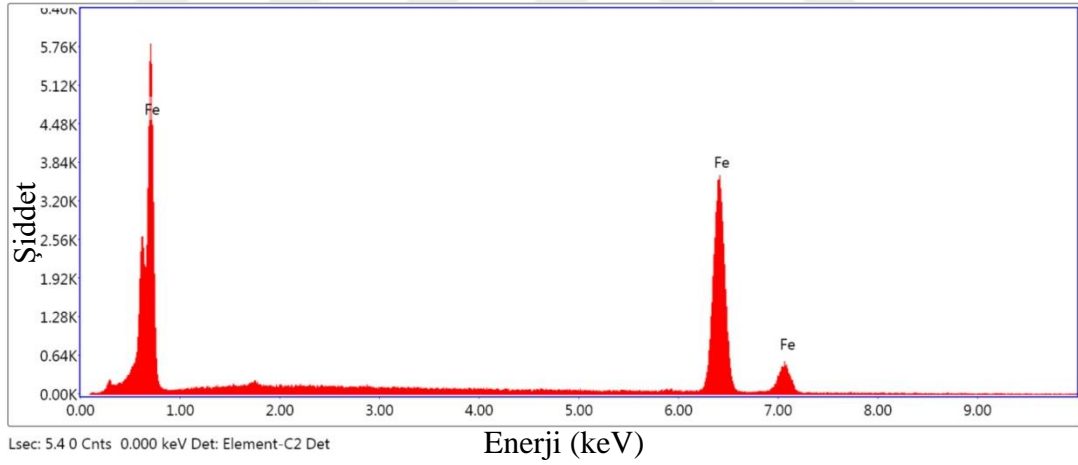


Şekil 4.32. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplama kesitinin SEM görüntüsü

Kaplamaların kimyasal bileşimini oluşturan elementlerin enerjilerinden faydalanarak kütleli ve atomik oranını bulmak amacıyla enerji dağılım spektrometresi (EDS) kullanarak analizler yapılmıştır. EDS analiz sonuçları Şekil 4.33 - 4.75 ' de yer almaktadır.



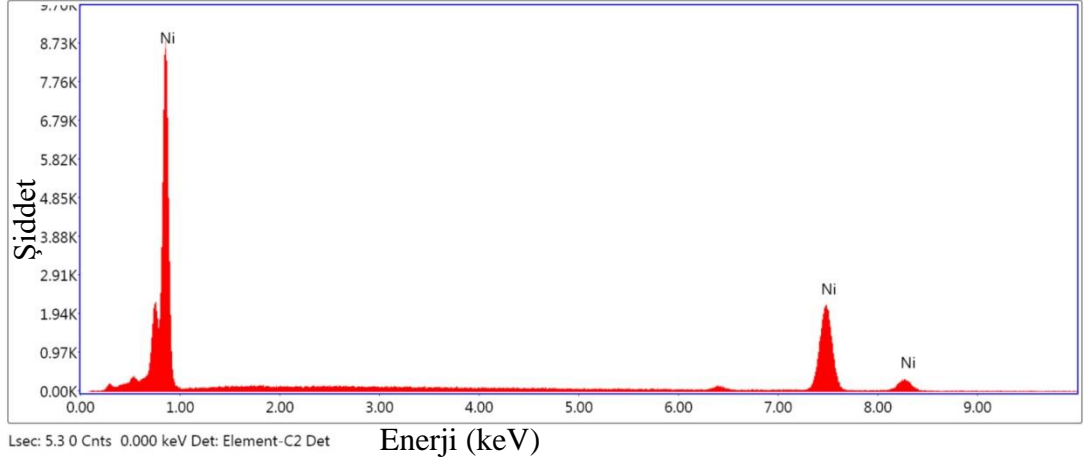
Şekil 4.33. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi



Şekil 4.34. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.1. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

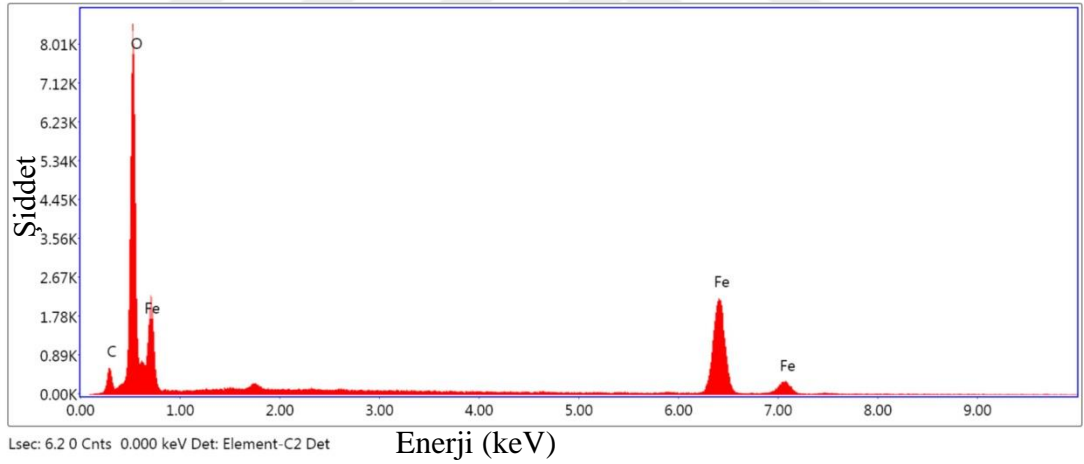
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00



Şekil 4.35. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.2. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

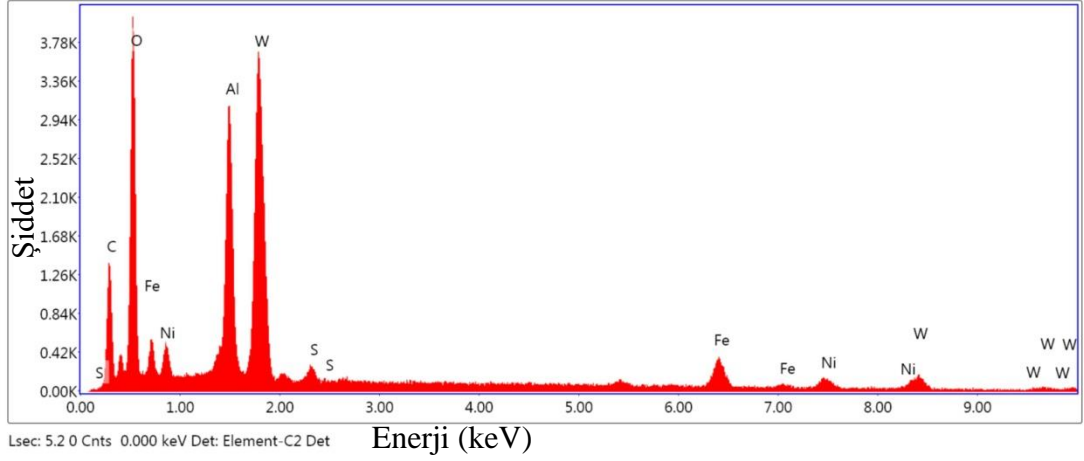
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
Ni	100.00	100.00



Şekil 4.36. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.3. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

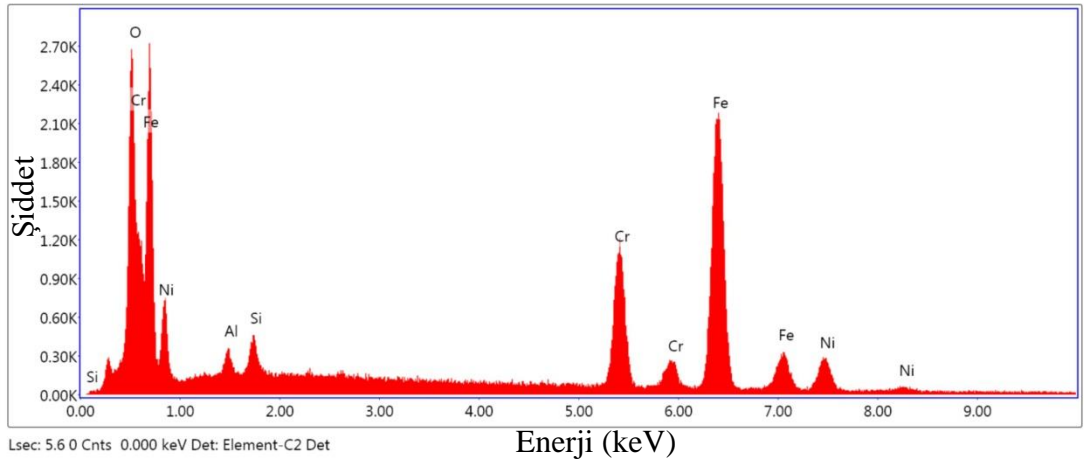
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	3.15	8.33
O	25.77	51.21
Fe	71.08	40.46



Şekil 4.37. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.4. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

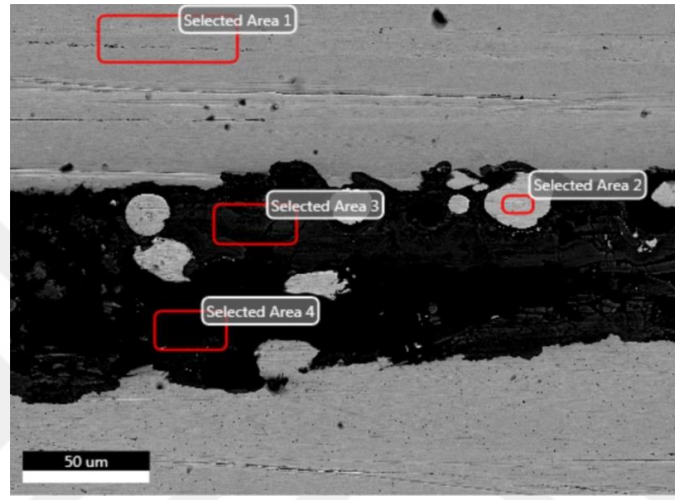
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	12.84	30.87
O	23.03	41.55
Al	12.17	13.02
W	34.15	5.36
S	0.41	0.37
Fe	10.89	5.63
Ni	6.51	3.20



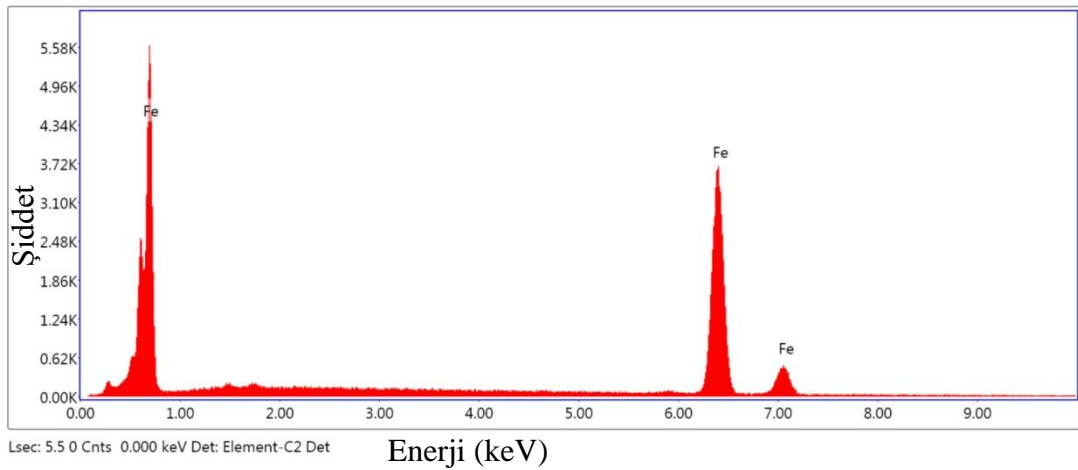
Şekil 4.38. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.5. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	5.89	17.49
Al	0.95	1.68
Si	1.25	2.11
Cr	17.06	15.58
Fe	62.47	53.13
Ni	12.38	10.02



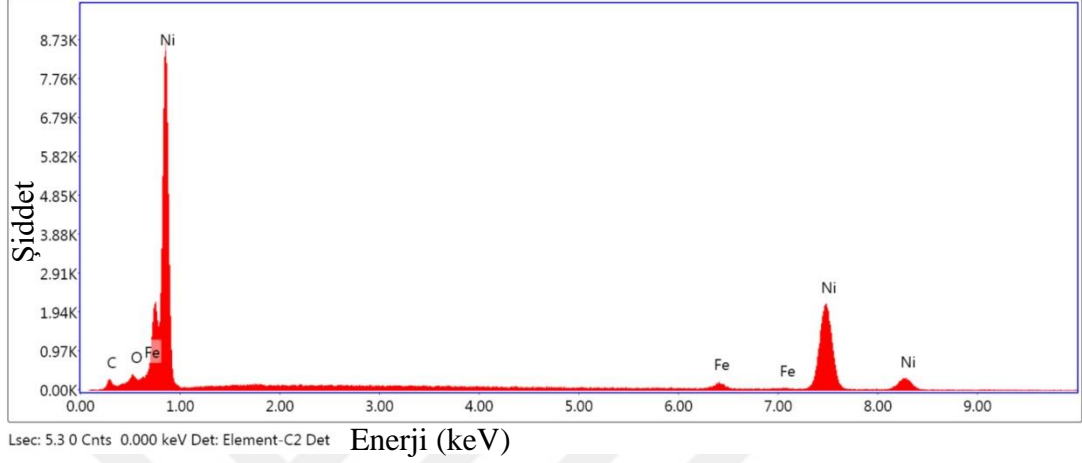
Şekil 4.39. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi



Şekil 4.40. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.6. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

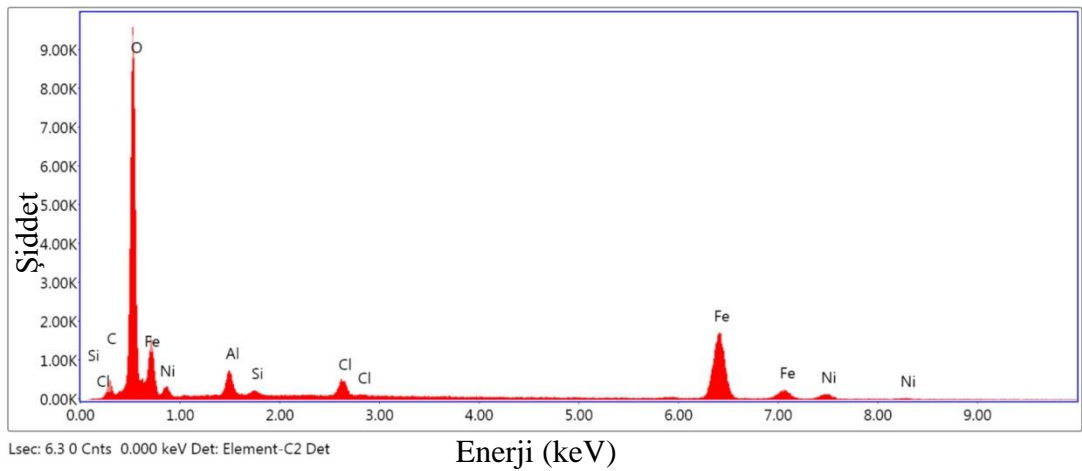
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00



Şekil 4.41. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.7. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

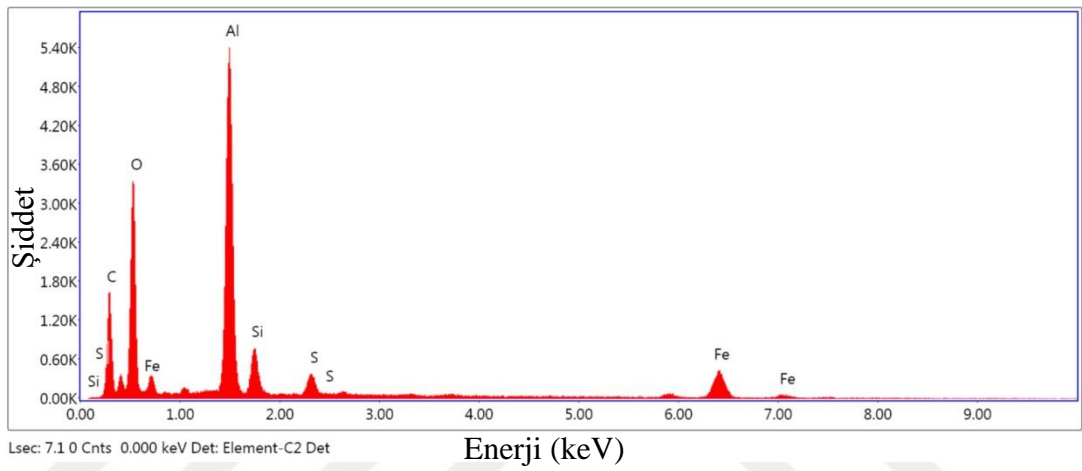
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	0.82	3.74
O	1.24	4.27
Fe	2.84	2.80
Ni	95.11	89.20



Şekil 4.42. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.8. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

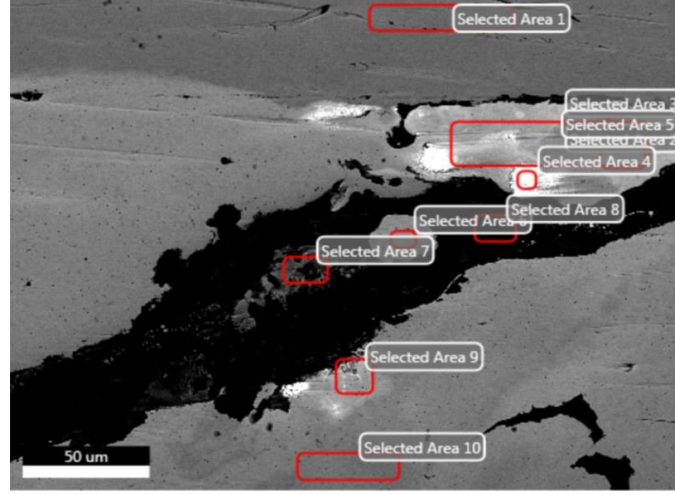
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	2.83	6.84
O	31.04	56.24
Al	3.17	3.40
Si	0.59	0.61
Cl	2.35	1.92
Fe	53.63	27.83
Ni	6.38	3.15



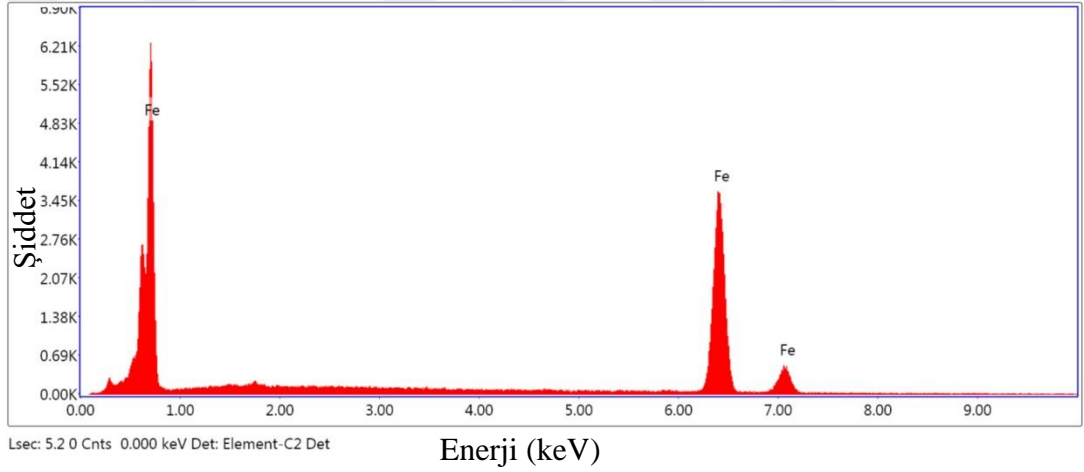
Şekil 4.43. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.9. 10Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	25.20	40.57
O	25.77	31.15
Al	25.35	18.17
Si	4.02	2.77
S	2.10	1.27
Fe	17.57	6.08



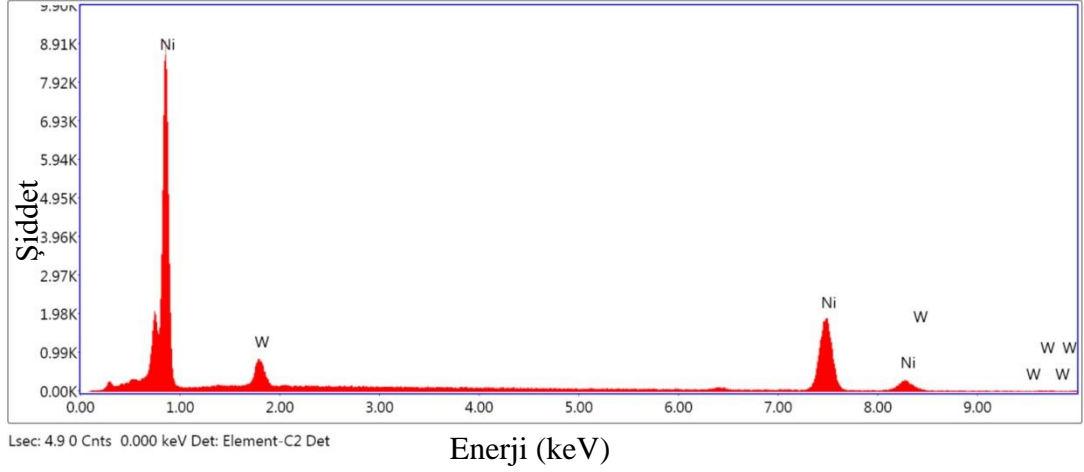
Şekil 4.44. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi



Şekil 4.45. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.10. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

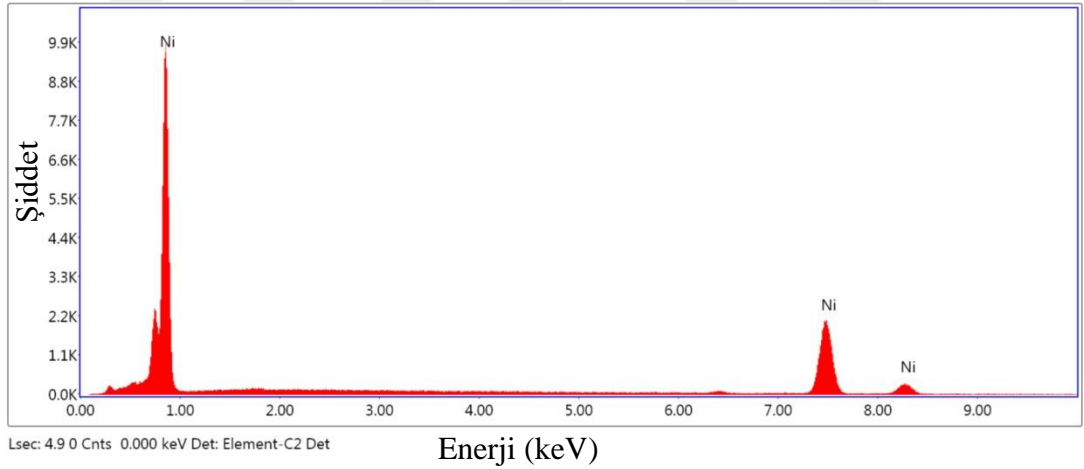
Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00



Şekil 4.46. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.11. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

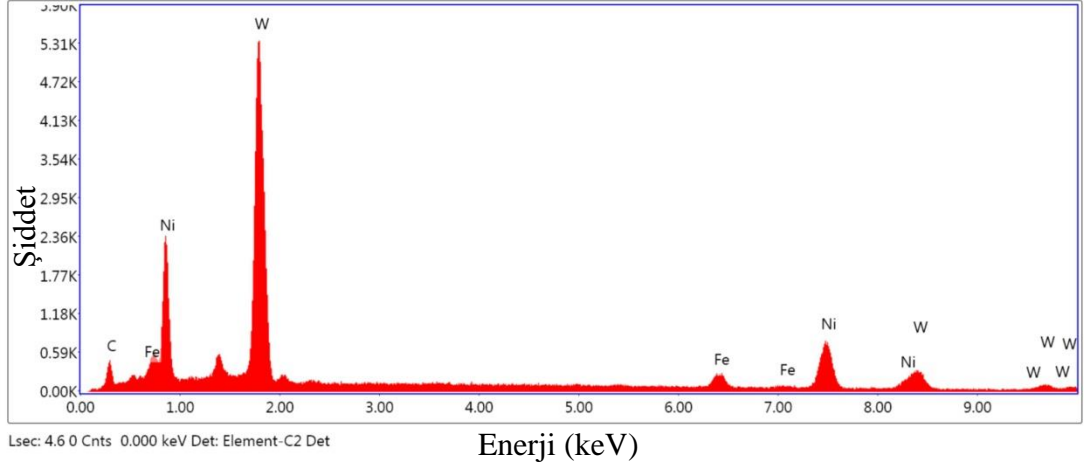
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
W	7.33	2.46
Ni	92.67	97.54



Şekil 4.47. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.12. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

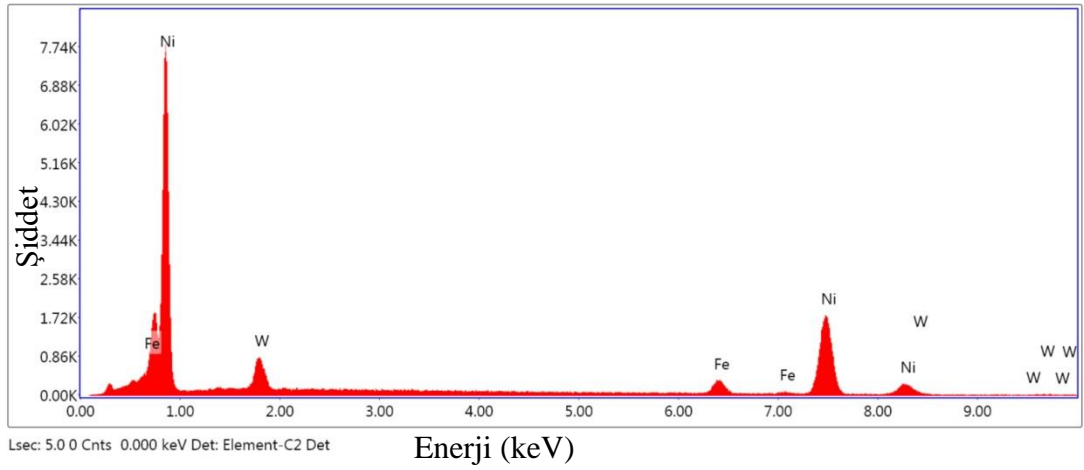
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Ni	100.00	100.00



Şekil 4.48. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.13. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

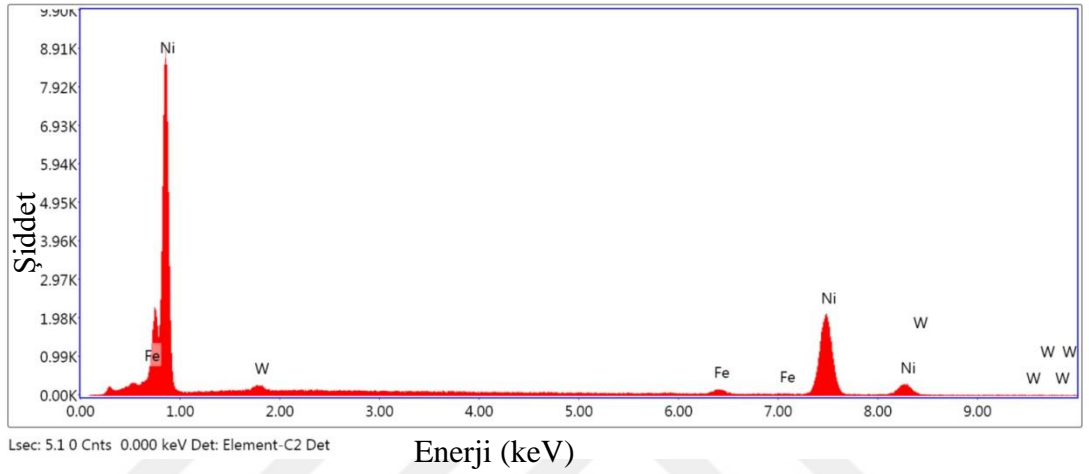
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	2.19	15.05
W	55.32	24.80
Fe	6.91	10.19
Ni	35.58	49.95



Şekil 4.49. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.14. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

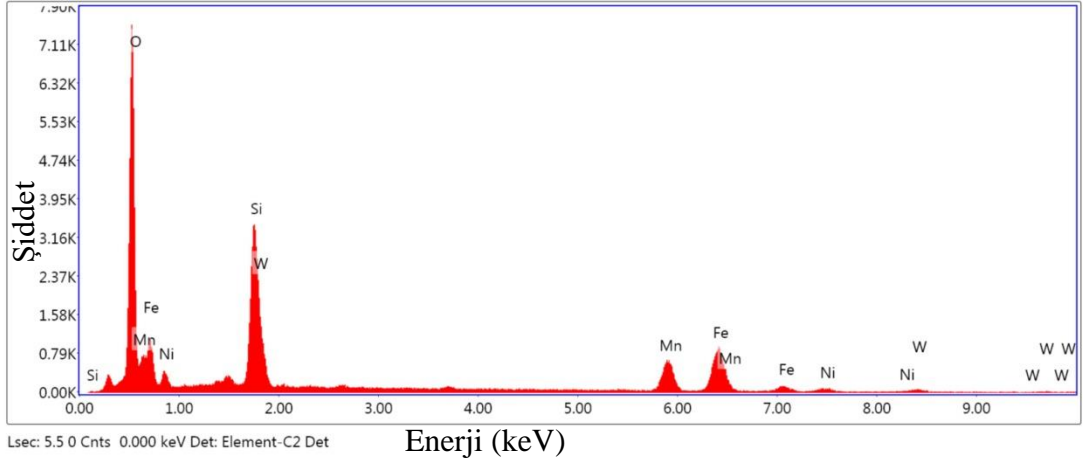
Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
W	7.18	2.40
Fe	7.98	8.78
Ni	84.84	88.82



Şekil 4.50. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.15. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

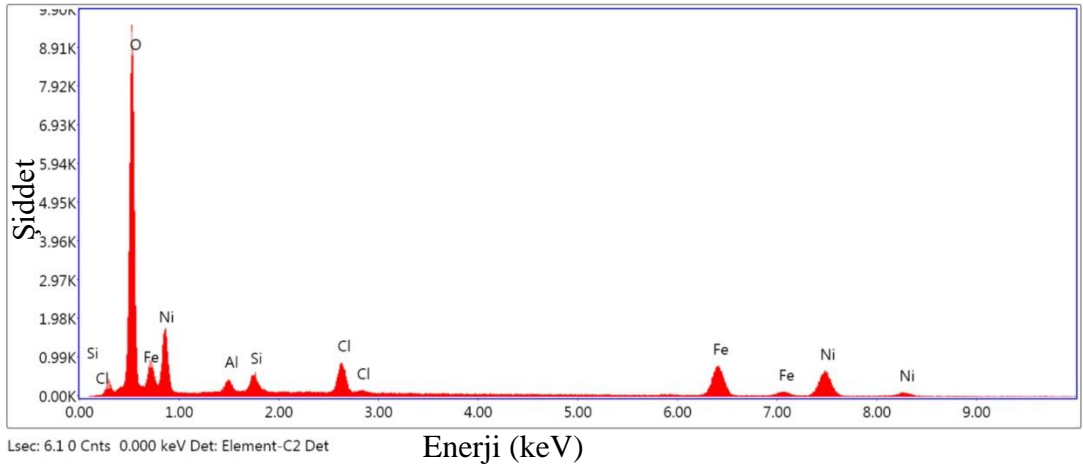
Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
W	1.24	0.40
Fe	2.64	2.79
Ni	96.12	96.81



Şekil 4.51. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 7 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.16. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 7 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

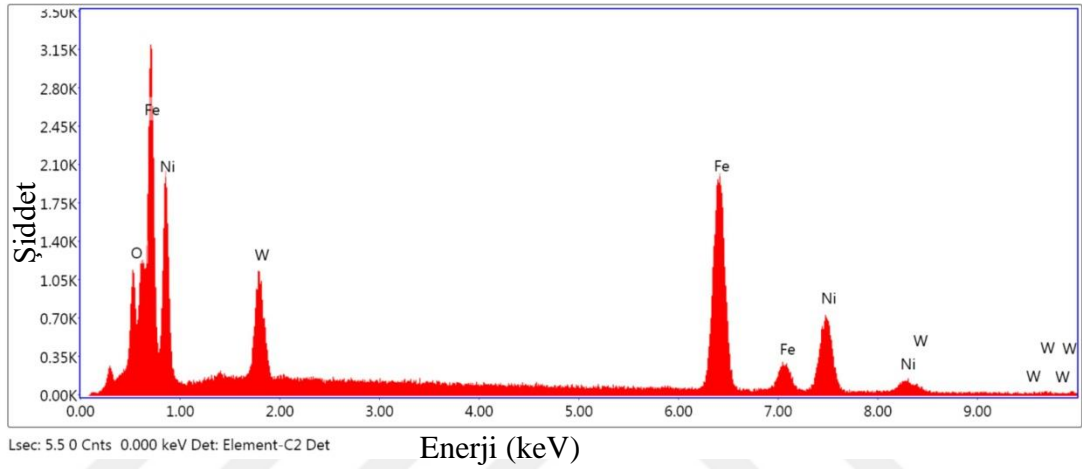
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	27.26	56.33
Si	10.11	11.90
W	12.99	2.34
Mn	16.95	10.20
Fe	28.86	17.08
Ni	3.84	2.16



Şekil 4.52. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 8 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.17. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 8 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

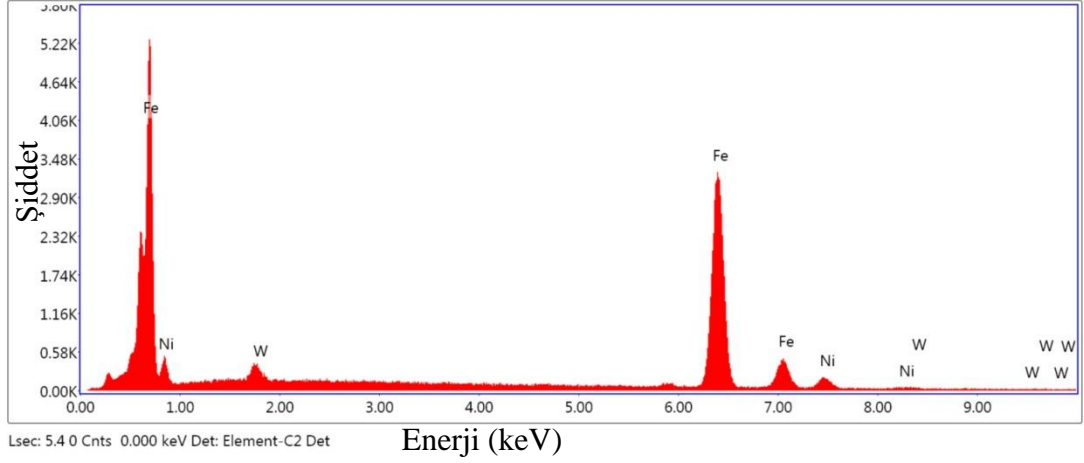
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	33.44	62.01
Al	1.69	1.86
Si	2.25	2.37
Cl	4.52	3.78
Fe	23.66	12.57
Ni	34.44	17.41



Şekil 4.53. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 9 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.18. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 9 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

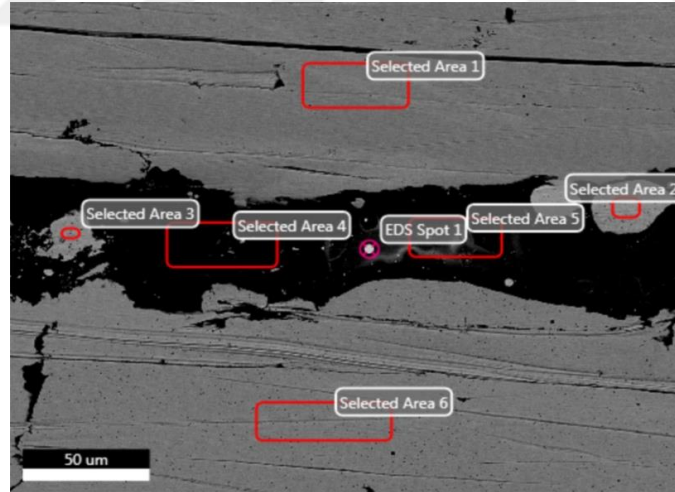
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	3.62	12.42
W	8.08	2.41
Fe	55.23	54.26
Ni	33.07	30.90



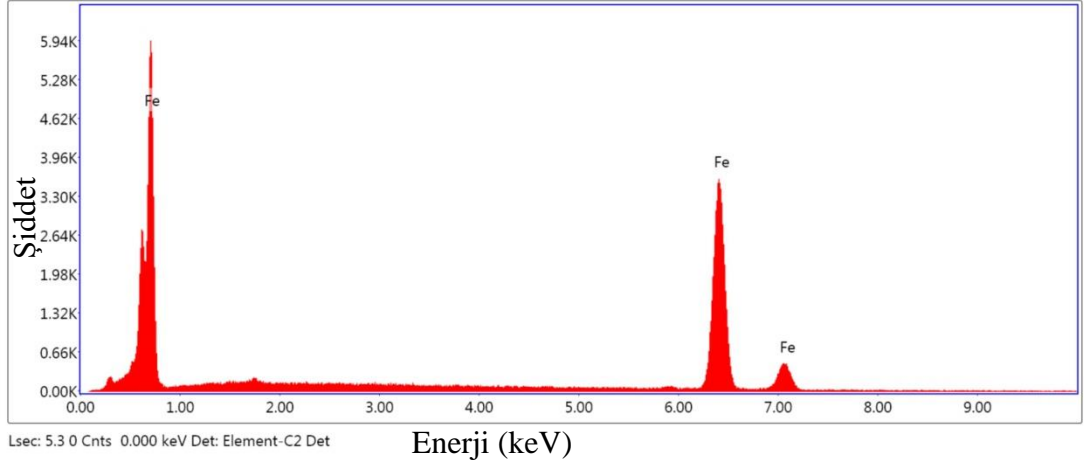
Şekil 4.54. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 10 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.19. 20Ni:2WC takviyeli hibrit kaplamanın 10 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
W	2.00	0.62
Fe	90.10	91.73
Ni	7.90	7.65



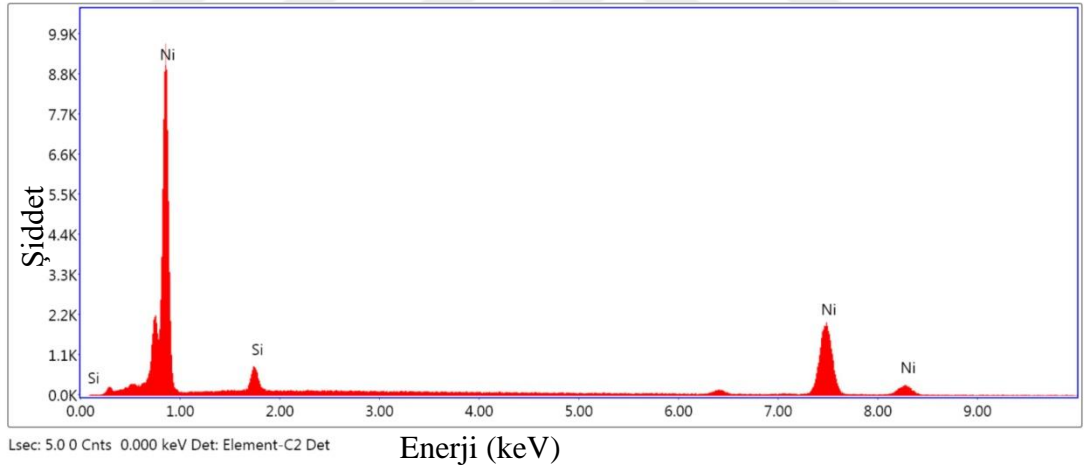
Şekil 4.55. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi



Şekil 4.56. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.20. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

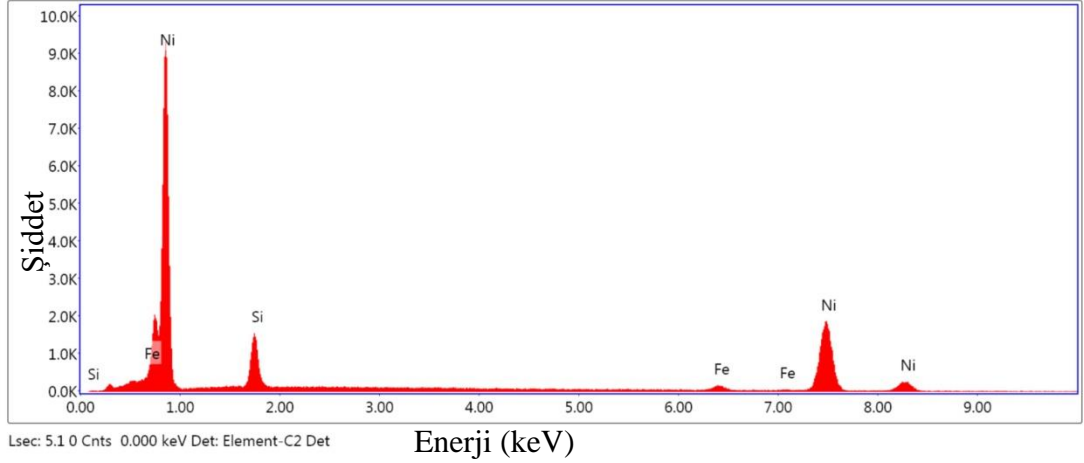
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00



Şekil 4.57. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.21. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

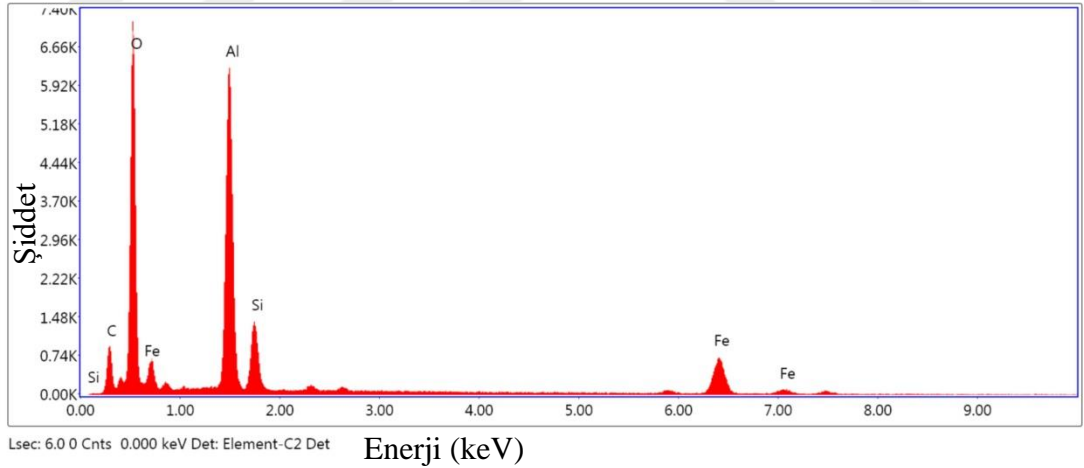
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
Si	3.74	7.51
Ni	96.26	92.49



Şekil 4.58. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.22. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
Si	7.31	14.14
Fe	2.62	2.55
Ni	90.07	83.31

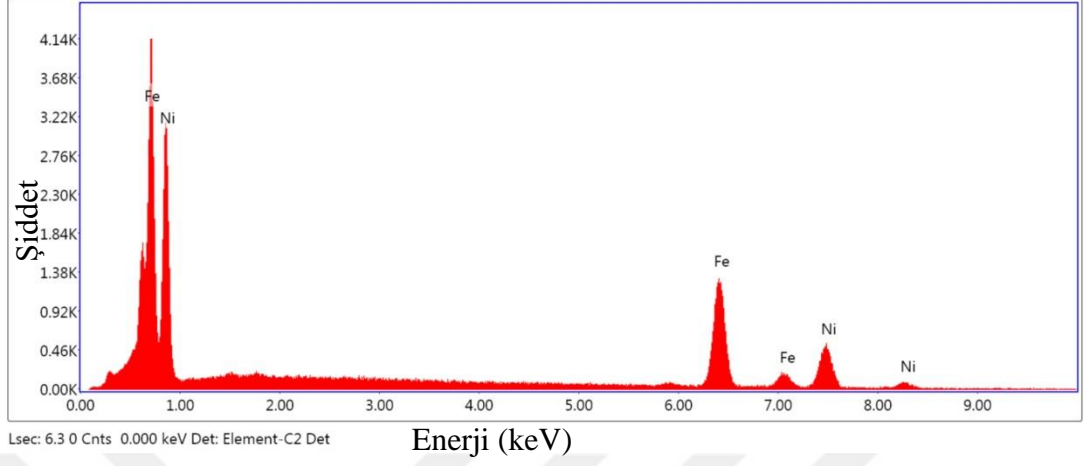


Şekil 4.59. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.23. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	10.45	18.91
O	33.94	46.10

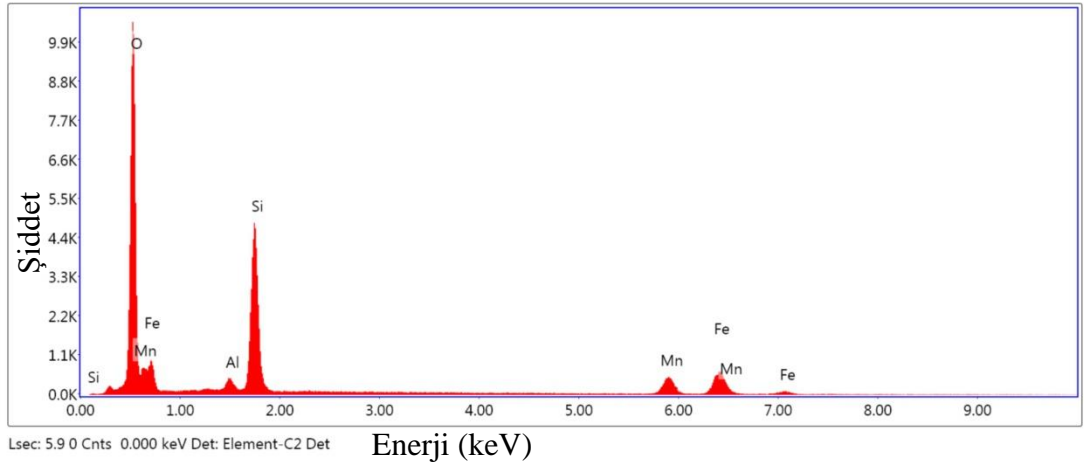
Al	26.03	20.97
Si	6.55	5.07
Fe	23.02	8.96



Şekil 4.60. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin elemental analiz grafiği

Tablo 4.24. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin EDS analizinin sonucu

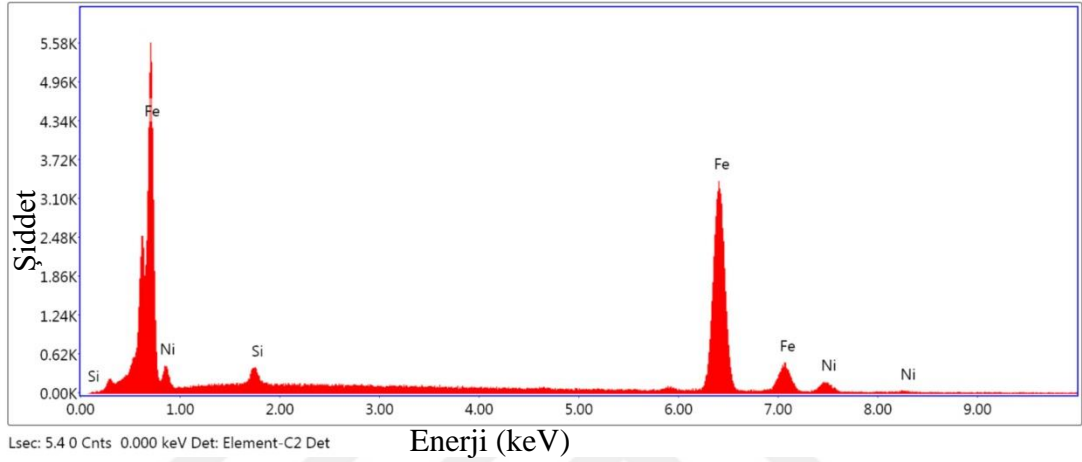
Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	59.19	60.39
Ni	40.81	39.61



Şekil 4.61. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.25. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

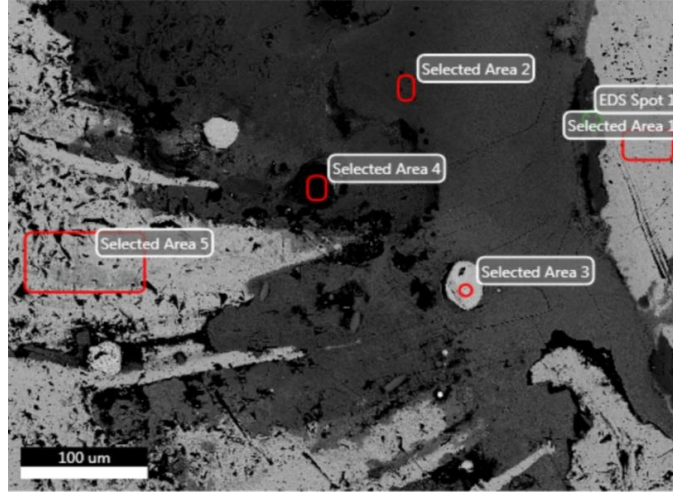
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	40.02	62.75
Al	1.71	1.59
Si	21.13	18.87
Mn	14.36	6.56
Fe	22.78	10.23



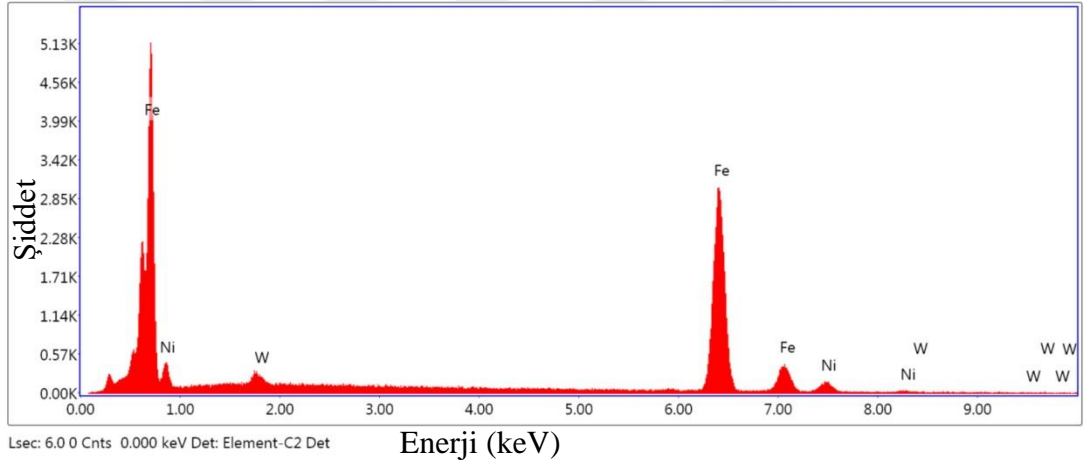
Şekil 4.62. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.26. 20Ni:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 6 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Si	1.30	2.56
Fe	91.29	90.45
Ni	7.41	6.99



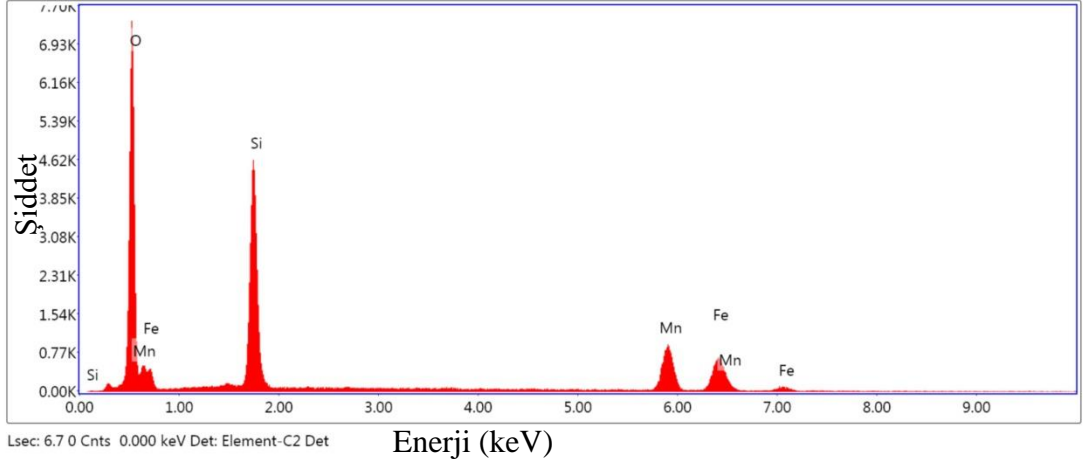
Şekil 4.63. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın yüzeyinin EDS analizi



Şekil 4.64. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.27. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

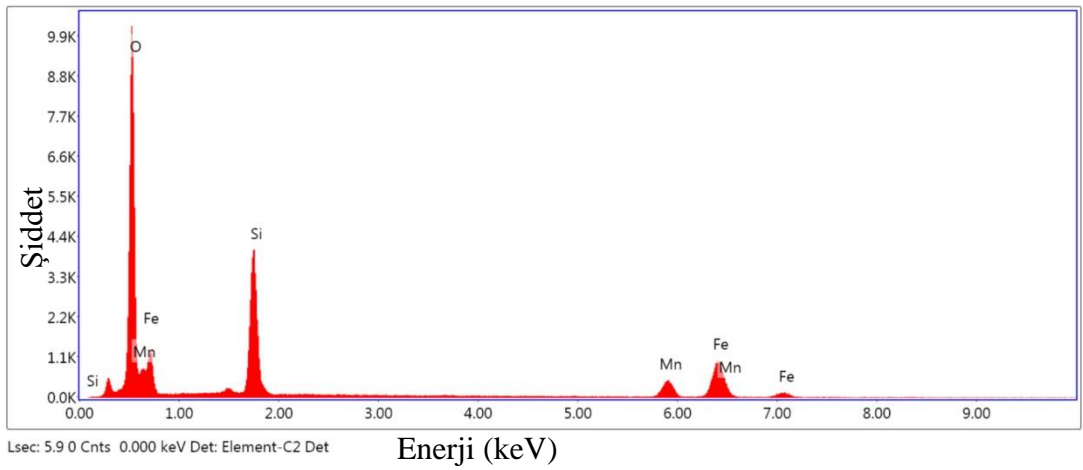
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
W	1.49	0.46
Fe	91.09	92.39
Ni	7.41	7.15



Şekil 4.65. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin elemental analiz grafiği

Tablo 4.28. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın EDS spot bölgesinin EDS analizinin sonucu

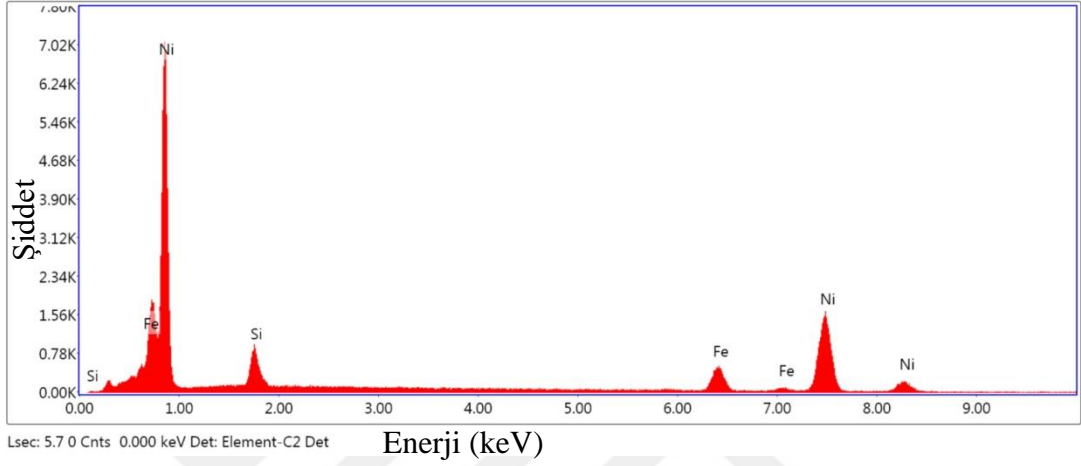
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	27.15	50.28
Si	20.64	21.77
Mn	28.07	15.14
Fe	24.14	12.81



Şekil 4.66. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.29. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

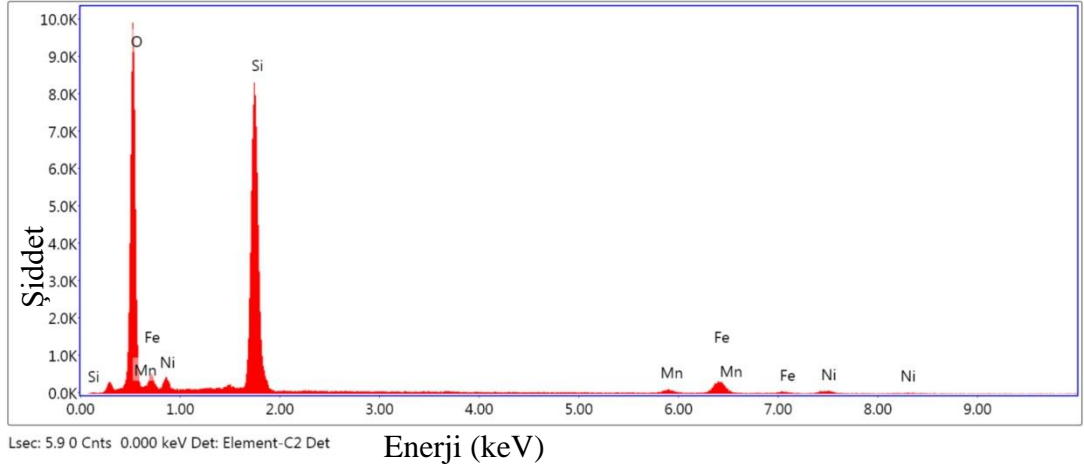
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	34.51	59.17
Si	17.61	17.20
Mn	12.68	6.33
Fe	35.20	17.29



Şekil 4.67. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.30. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

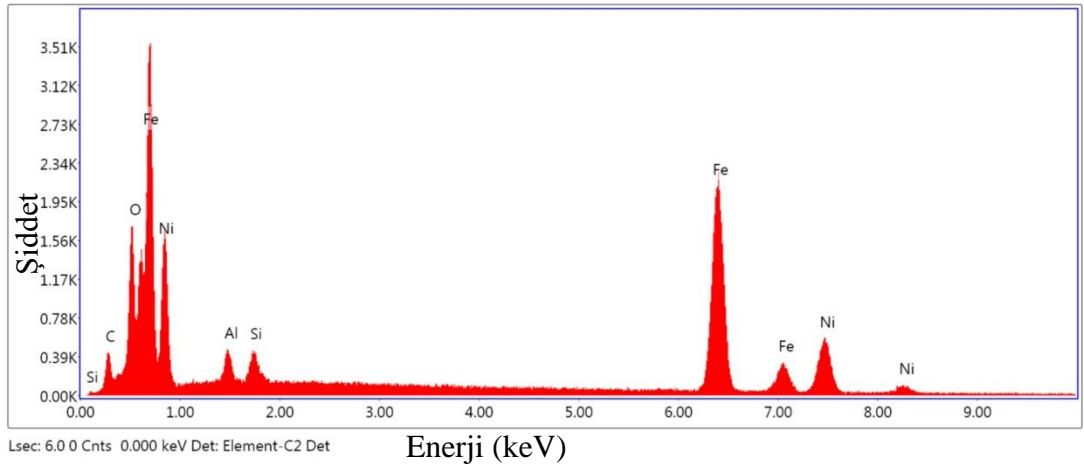
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Si	4.62	9.13
Fe	12.77	12.70
Ni	82.62	78.17



Şekil 4.68. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.31. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

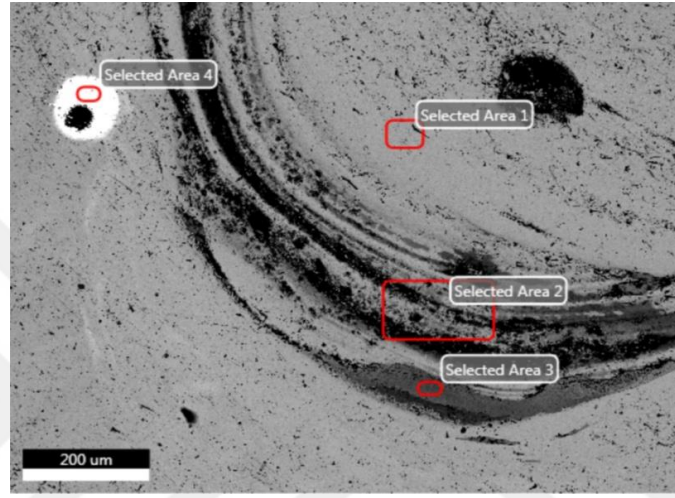
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	43.56	62.23
Si	36.45	29.66
Mn	2.79	1.16
Fe	12.66	5.18
Ni	4.55	1.77



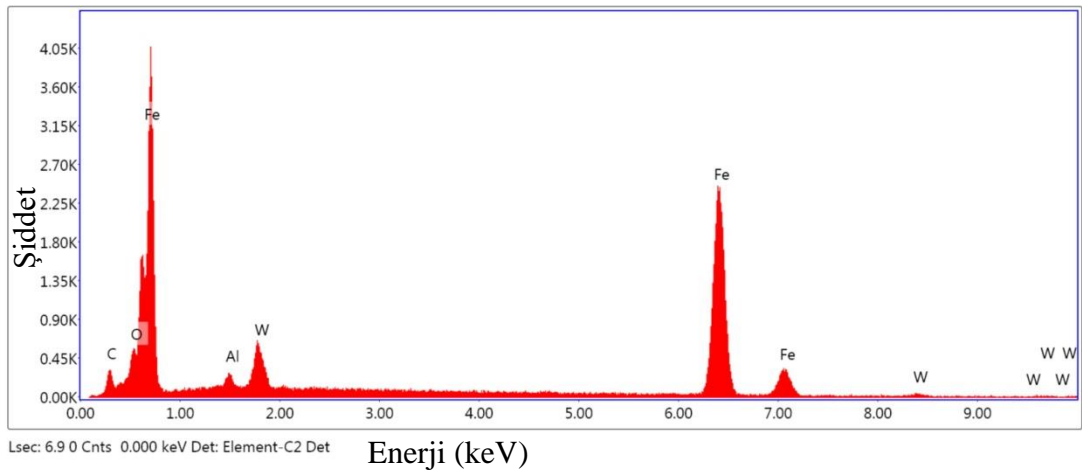
Şekil 4.69. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.32. 20Ni:2WC:2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgesinin EDS analizinin sonucu

Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	1.90	7.21
O	5.42	15.44
Al	1.77	3.00
Si	1.47	2.38
Fe	62.07	50.70
Ni	27.37	21.26



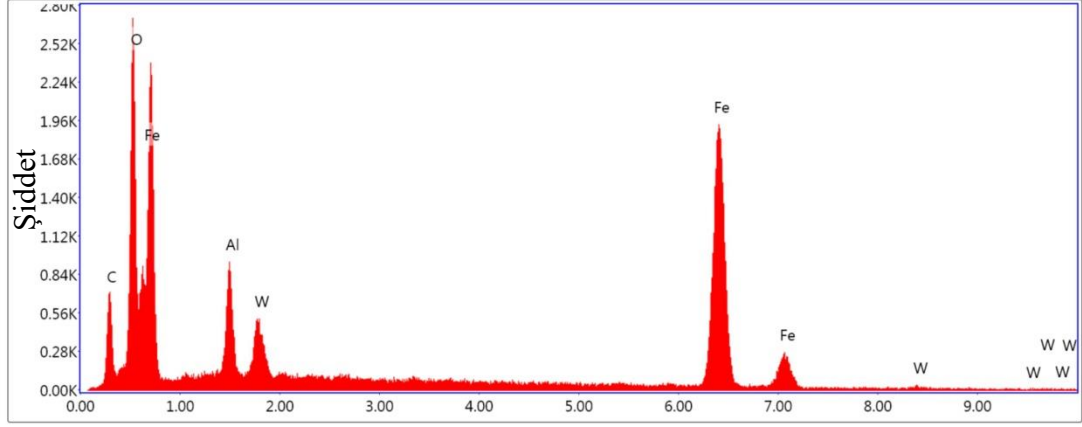
Şekil 4.70. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın yüzeyinin EDS analizi



Şekil 4.71. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgesinin elemental analiz grafiği

Tablo 4.33. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	1.09	4.79
O	1.84	6.08
Al	0.85	1.66
W	5.32	1.53
Fe	90.90	85.95



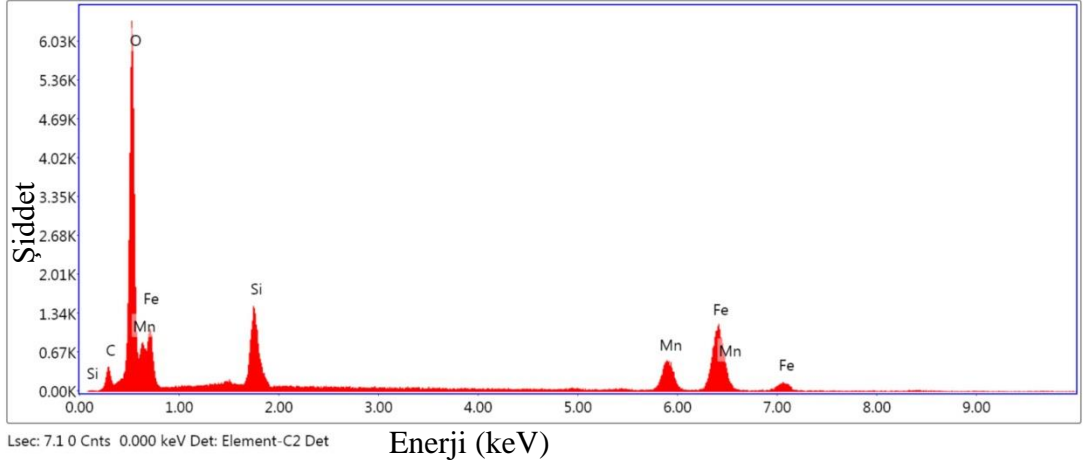
Lsec: 7.2 0 Cnts 0.000 keV Det: Element-C2 Det

Enerji (keV)

Şekil 4.72. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.34. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

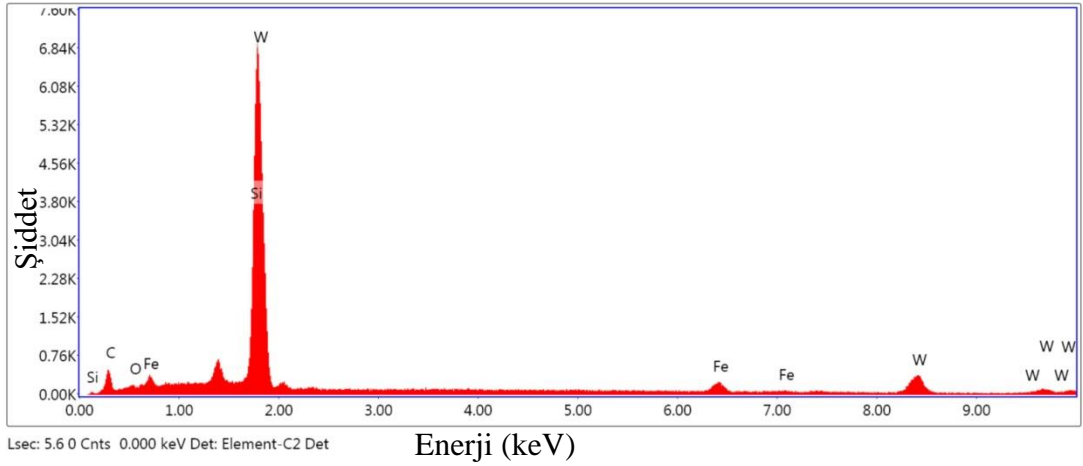
Element	Kütleli Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	5.46	17.12
O	10.62	25.01
Al	4.47	6.25
W	4.27	0.87
Fe	75.19	50.74



Şekil 4.73. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.35. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

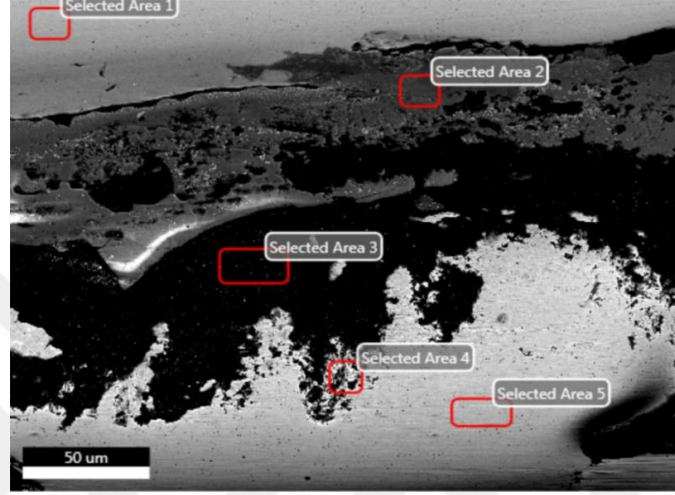
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	2.62	6.81
O	24.65	48.05
Si	7.90	8.78
Mn	17.79	10.10
Fe	47.04	26.27



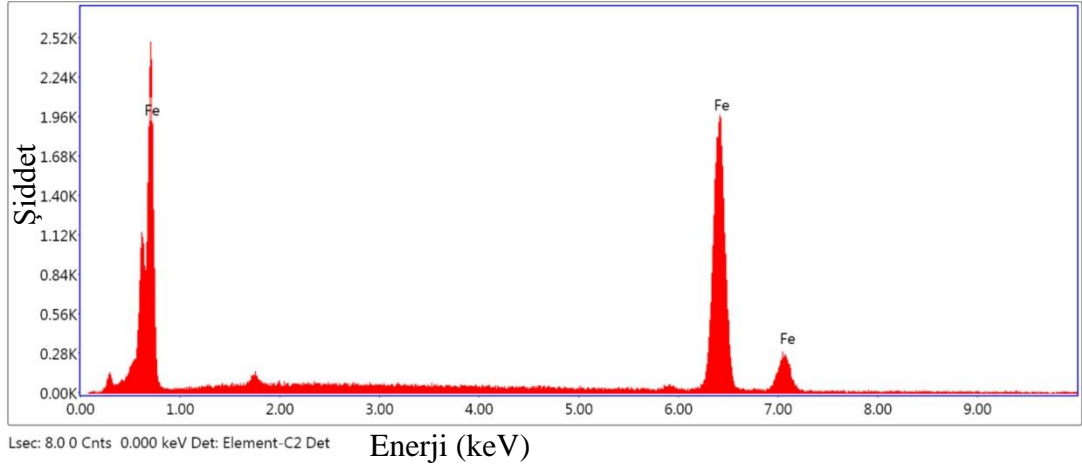
Şekil 4.74. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.36. 2WC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgesinin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	4.08	31.40
O	0.68	3.92
Si	2.62	8.62
W	84.38	42.42
Fe	8.24	13.64



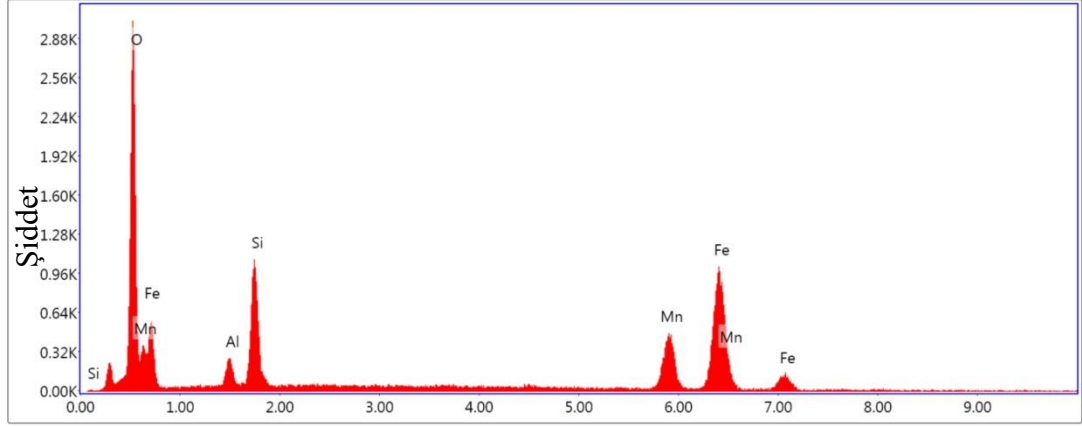
Şekil 4.75. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın kesitinin EDS analizi



Şekil 4.76. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgesinin elemental analiz grafiği

Tablo 4.37. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 1 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00

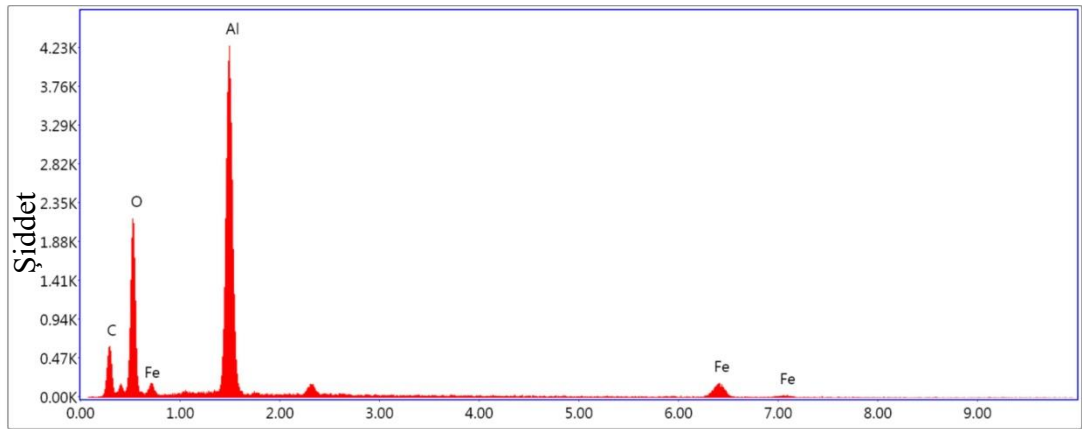


Lsec: 8.2 0 Cnts 0.000 keV Det: Element-C2 Det Enerji (keV)

Şekil 4.77. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.38. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 2 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
O	17.49	39.71
Al	1.84	2.48
Si	7.95	10.28
Mn	19.33	12.79
Fe	53.39	34.74

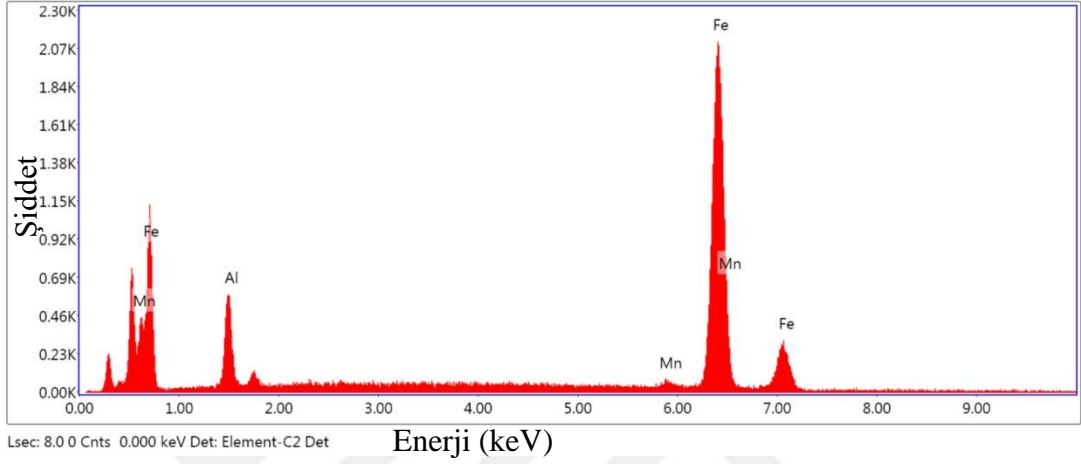


Lsec: 8.5 0 Cnts 0.000 keV Det: Element-C2 Det Enerji (keV)

Şekil 4.78. 2SiC takviyeli kaplamanın 3 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.39. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 3 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

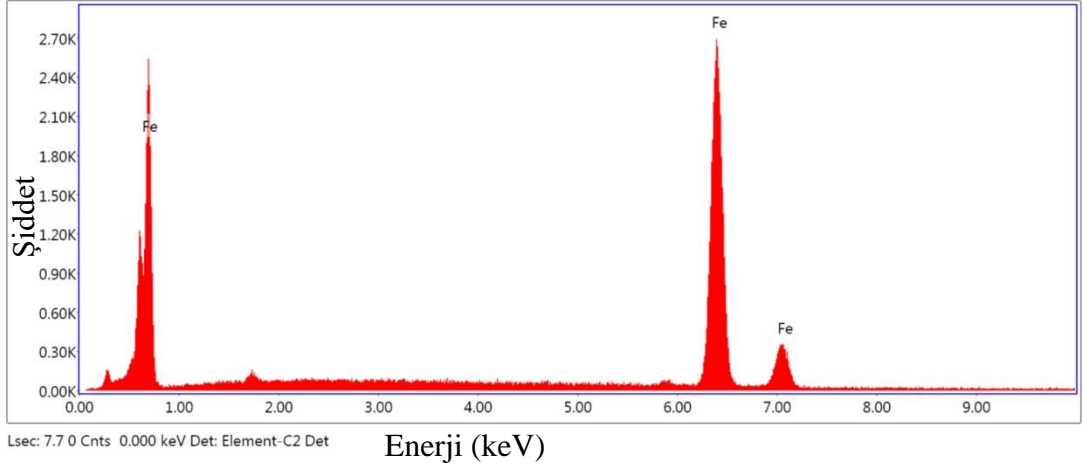
Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
C	19.87	32.33
O	29.42	35.95
Al	37.30	27.02
Fe	13.41	4.69



Şekil 4.79. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.40. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 4 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütle Oran (%)	Atomik Oran (%)
Al	4.70	9.25
Mn	2.01	1.94
Fe	93.30	88.81



Şekil 4.80. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin elemental analiz grafiği

Tablo 4.41. 2SiC takviyeli hibrit kaplamanın 5 numaralı bölgenin EDS analizinin sonucu

Element	Kütlesel Oran (%)	Atomik Oran (%)
Fe	100.00	100.00

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada nano boyutta silisyum karbür (SiC) ve tungsten karbür (WC) tozları ile makro boyutta nikel (Ni) lazer kaynak yöntemlerinden biri olan Nd:YAG lazeri ile birlikte karbon oranı düşük bir altlık malzeme üzerinde kaplama üretilmiştir. Kaplamanın aşınma ve mekanik dayanımı incelenmiştir.

Hazırlanan numunelere uygulanan test sonuçlarını incelediğimizde nano boyutta silisyum karbür (SiC), nikel (Ni) tel ve tungsten karbür (WC) tozları ile lazer kaynağı kullanılarak kaplama elde edilebilirliği sağlanmıştır.

Aşınma mesafesi arttıkça tüm numunelerin aşınma miktarları artmıştır. Mesafeye bağlı olarak en az değişim 10Ni:2WC içeren hibrit kompozit kaplamada elde edilmiştir.

Şekil 4.18'de 2SiC içeren numunelerde Ni oranının artması aşınma miktarını azaltmış, hatta mesafenin artmasında dahi aşınma kaybı çok artmamıştır. Bu durum takviyelerin iyi dağılması ve matris içerisinde tutunması ile açıklanabilir. SiC içeren numune için artan nikel oranı aşınma direncinin artmasına neden olmuştur. Sertliği WC'e göre daha yüksek olan SiC'ün daha fazla orandaki Ni içerisinde tutunması ile açıklanabilir.

Şekil 4.8'de ki sertlik değerleri incelendiğinde kesitten ölçülen sertlik değerlerinde en yüksek 290 HV değerine sahip hacimsel 10Ni:2WC takviyeli olarak hazırlanan kaplama olduğu ve en düşük sertlik değeri ise 209 HV değerine sahip hacimsel 2SiC takviyeli olarak hazırlanan kaplamanın olduğu gözlemlenmiştir.

Samandi ve arkadaşları (2003), farklı takviye oranlarında tungsten karbür (WC) ile nikelin (Ni) aşınma direncine ve sertliğe etkisini gözlemlemiştir. Tungsten karbür (WC) içerisindeki karbon oranının ağırlıkça %3.8'in altında aşınma direnci ve sertliği arttığına sonucuna ulaşmışlardır. Şekil 4.70' de yapılan EDS analizinin sonucunda Tablo 4.36' da verilen analiz sonuçlarını incelediğimizde karbon oranının 3.8'den yüksek olmasından dolayı yüzey ve kesitteki kaplamadan ölçülen sertlik değerinin (353 HV) düşmesine neden olmuştur [58].

Wang ve arkadaşları (1996), oluşturulan hibrit kompozit WC/Ni katmanıyla ilgili üç mekanizma tanımlamıştır. (1) mikro kesme (2) plastik deformasyon ve (3) matris içerisindeki sert faz kalıntılarının kırılması oluşturulan kaplamanın aşınmaya karşı direncini belirlemektedir. Bu mekanizmalardan aşınmaya karşı direnci belirleyen faktörlerden birisi olan kesme (örneğin talaş kaldırma) kaplamada yapılan aşınma testlerinin Şekil 4.22’ de aşınma izinin SEM görüntüsünde gözlemlenmiştir Tungsten karbürün (WC) aşınma direncini artması ve azalmasını kaplama hazırlanmadan tungsten karbür tozunun hazırlanma türüdür. Wang ve arkadaşları yaptığı çalışma sonucunda küresel ve ezilmiş olarak hazırlanan tungsten karbürün aşınmaya karşı farklı direnç gösterdiğini gözlemiştir [59].

Merrick and Miller (1986), tungsten ve karbür atomlarının birbirine yapışmasının aşınma direncini arttığını gözlemiştir [60]. Tungsten ve karbür atomları birbirine ne kadar tutunma sağladı ise oluşan sert faz yapısı aşınmaya karşı olumlu etkileri olduğu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Sert faz yapısı aşınmaya karşı bir direnç göstererek aşınma eylemini meydana getiren kesme, deformasyon ve oyma/parçalanmanın kaplama yüzeyindeki nüfuziyetini azaltmaktadır. 10Ni:2WC takviyeli hibrit kompozit kaplamanın Tablo 4.4’ de verilen EDS analiz sonucunda karbon değerinin yüksek olduğu ve kaplama içerisinde ağırlıkça fazla bulunan oksijen elementinin, tungsten karbür yapısından farklı olarak kaplama içerisinde tungsten oksitli (WO, WO₂, WO₃) yapının yüzeyinden ölçülen sertlik değerinin (196 HV) düşük olmasına neden olduğu söylenebilir.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.11’deki aşınma izi görüntüleri incelendiğinde aynı oranlarda takviye yapılan tungsten karbürün (WC), nikel (Ni) oranı artırıldığında yüzeyde meydana gelen aşınma iz kalınlığının azaldığını gözlemlemekteyiz. Hibrit kompozit kaplamalarda nikel (Ni) ilavesinin mekanik özelliklere olumlu etkileri olmuştur. Tablo 4.5 ile Tablo 4.14’ de yapılan EDS analiz sonuçlarını incelediğimizde hibrit kompozit kaplamanın içerisinde de bunu görmekteyiz. Şekil 4.8’ de sertlik değerlerinde de artış olduğu görülmektedir.

Şekil 4.75 ‘de 2SiC takviyeli kaplamanın EDS analizi incelendiğinde kaplama içerisinde Tablo 4.38 ve 4.41’de içerisinde silisyum karbürü yapının oluşmadığı Tablo 4.38 – 4.41’ de görülmektedir. Hibrit kaplama içerisinde silisyum

karbürlü yapının olmaması yapılan aşınma testleri sonucunda Şekil 4.15 – 4.16’ da verilen 500 m ve 1000 m mesafelik aşınma kaybının fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Wai ve arkadaşları (2014), silisyum karbür parçacıklarının lazer kaplamada kullanılmasının etkileri ile ilgili çalışmalar yapmıştır [61]. Farklı oranlarda silisyum karbür (SiC) takviyeli hibrit kompozit kaplamaların aşınma direnci ve sertlik değerlerini incelemişlerdir. Silisyum karbürün yapı içerisinde ayrışması sonucu kaplamada gözenekliliğe neden olduğunu, oluşan bu gözenek içerisinde oksijen elementi biriktiğinden beklenen 500 HV sertlik değerine ulaşamamışlardır [61]. Şekil 4.75’ de yapılan EDS analizi sonuçlarında hibrit kompozit kaplama içerisinde silisyum karbür yapısının oluşmadığı, silisyum ve karbür elementinin ayrışması sonucu yapı içerisinde artan oksijen miktarı Tablo 4.38’da görülmektedir. Aşınma miktarının fazla olmasının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı takviye oranlarında kullanılan tungsten karbür (WC), silisyum karbür (SiC) ve nikel (Ni) tozları Nd:YAG lazer kaynak yöntemi uygulanarak 1040 çeliği üzerinde hibrit kompozit kaplama elde edilmiştir. Elde edilen kaplama tribolojik ve mekanik özellikler göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

Tüm testlerin sonuçları incelendiğinde Nd:YAG lazer kaynak makinesi ile kompozit kaplama üretiminin başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Aşınma testleri, mikro yapı görüntüleri, SEM EDS analizleri incelendiğinde beklenilenin tribolojik ve mekanik özellikleri karşılamayan numunenin 2SiC takviyeli hibrit kompozit kaplama olduğu görülmüştür.

Silisyum karbür (SiC) ve tungsten karbür (WC) aşınma direnci yüksek bileşikler olmasına rağmen, yapı içerisinde Şekil 4.37 ve 4.38'deki analiz sonuçları göz önünde bulundurulsa, hacimce kullanılan toz miktarlarının artması tribolojik ve mekanik özelliklerin iyileşeceği sonucuna varılmıştır.

En az aşınan numunenin 10Ni:2WC takviyeli hibrit kompozit kaplamanın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.33'deki EDS analizi göz önünde bulundurularak tungsten karbür (WC) oranının arttırılrsa, aşınma kaybının azalacağı sonucuna varılmıştır.

En çok aşınan numunenin 2SiC takviyeli hibrit kompozit kaplamanın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.38'deki EDS analizi sonucunda yapı içerisinde silisyum karbür (SiC) yeterli oranlarda bulunmadığı tespit edilmiştir. Kaplama içerisinde silisyum karbür (SiC) oranı artar ve karbon elementi ile tutunumu sağlanırsa, aşınma kaybının azalacağı görülmüştür.

Şekil 4.19'da nikel (Ni) oranını sabit tutup aynı oranlarda silisyum karbür (SiC) ve tungsten karbürün (WC) sertlik değerini arttırdığı, mekanik özelliklerin iyileşmesine katkı sağladığı görülmüştür.

Şekil 4.20'de nikel (Ni) oranının arttırıldığında aynı oranlarda tutulan WC - SiC takviyeli kaplamaların aşınmaya karşı direncinin, içerisinde bulunan karbon elementine bağlı olduğu SEM EDS analizlerinde tespit edilmiştir. Karbon oranı azaltılırsa aşınma direncinin artacağı ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

<https://www.metalurjimalzeme.net/lazer-kaynak/> 19.11.2018

Özden H, Gürsel K., “Gemi İnşaatı ve Deniz Yapılarında Lazer Işın İmalat Yöntemlerinin Uygulanması”, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, İstanbul, 2004, 240-251.

<https://www.laseral.com.tr/blog/lazer-dolgu-kaynagi-ile-kalip-tamiri> 06.12.2018

Silfvast W., Laser Fundamentals, Cambridge University Press, İngiltere, 2008, 748 pages.

Csele M., Fundamentals of Light Sources and Lasers, Wiley Interscience, ABD, 2004, 324 pages.

Dahotre N., Harimkar B., Laser Fabrication and Machining of Materials, Springer Science, ABD, 2008, 206 pages.

Irving B., Laser Beam Welding Shifts into High Gear, Welding Journal. Vol. 76, No. IK, 1997, pages 35-40.

Sezen T., “Osilatör Sel Sisteminde Optik Kavite Yapıları ve Lazer Kazanç Mekanizmaları”, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2008, 80 s. (Yüksek Lisans Tezi).

Chang W., Principles Of Lasers and Optics, Cambridge University Press, İngiltere, 2005, 260 pages.

Ion J, Laser Processing of Engineering Materials, Elsevier ABD, 2005, 576 pages.

Koechner W., Bass M., Solid State Lasers, Springer Verlag, New York, ABD, 2003, 409 pages.

Chow W., Koch S., Semiconductor Laser Fundamentals, Springer-Verlag, Berlin-Almanya, 1999, 245 pages.

Özcan M., Tarakcıoğlu N., Kahramanlı, Ş. “Sac Malzemelerin Lazer Kaynak Parametreleri”, Selçuk Üniv. Tekn. Bil. Mesl. Yük. Teknik-Online Dergi, Konya, 2004.

Duarte F, “Tuneable Lasers Handbook”, Academic Press, CA-ABD, 1995, 477 pages.

<https://www.xtlaser.com/mould-repair-laser-welding-machine/> 25.06.2019

Kagan V, Bray R., “Advantages and Limitations of Laser Welding Technology for Semi-Crystalline Reinforced Plastic”, Proceedings of the Laser Materials Processing Conference and Laser Microfabrication Conference 2001.

<http://www.turkchem.net/lazer-ile-kladlama.html> 14.03.2019
https://udayton.edu/udri/capabilities/sustainment/robotics_and_lasers.php
25.06.209

<http://www.turkchem.net/lazer-ile-kladlama.html> 14.03.2019

<https://www.laseral.com.tr/uygulamalar/7/lazer-dolgu-kaynagi> 20.01.2019

<http://www.optomec.com> 24.06.2019

<http://uniquetech.com.tr/lazer-dolgu/> 10.04.2019

Uzun R., Keleş Ö., “Lazerle Kaynak İşleminde kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi, 2012, Cilt 27, No 3, 509-512.

Bhushan B, Modern Tribology Handbook, Friction and Wear Measurement Techniques, Crc Press, London., 2001, 1760 pages.

Kennedy D, Hashmi M, “Method of Wear Resistance Test For Metallic Coatings”, University of Washington, 2007, USA, Journal of Materials Processing Technology, 1998, 246 – 253.

Archard J., “Contact and Rubbing of Flat Surfaces”, Journal of Applied Physics., 1953, 24, 981-988.

Çetin M., “Östempelenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışının Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, 1-246.

Gür A., “Aşınma Mekanizmaları”, F.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora Semineri, Elazığ, 2006.

Bayer R., “Mechanical Wear Prediction and Prevention”, Marcel Dekker, New York, 1994, 280 pages.

Yıldız T., Gür A., Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2006, 86-87.

Burwell, J., “Survey of Possible Wear Mechanisms”, Wear, 1957/58, 119–141.

Stachowiak G, Batchelor W, “Friction Induced Vibrations and Self Organization Mechanics and Non Equilibrium Thermodynamics of Sliding Engineering Tribology”, UK, 2013, 1-73.

Neale J, Handbook of Tribology”, 1995, 640 pages, s.(15.1-15.71, 9.1-9.60).

Tylczak J., Oregon, A. “Friction Lubrication and Wear Technology”, ASM Metal Handbook, ASM International, USA, 1992, 18: 640-655.

Gwidon W, Andrew W. ,”Engineering Tribology”, Butterworth-Heinemann, Batchelor, 2001 - 744 pages.

Sarıca B.,” Farklı Kalite Çeliklere Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemlerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü, Fen Bil. Enst, Mayıs,2005.

Kato K, Adachi K, “Wear Mechanism”, Modern Tribology Handbook, 2001.

Varol T., “Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü Aşınma Deneyi” Trabzon, 2016.

Benyounis K., Olabi G., Hashmi, M., “Effect of Laser Welding Parameters on the Heating Put and Weld-bead Profile”, Journal of Materials Processing Technology, 2005, 164:978-985.

Shengfeng Z., Xiaoqin D, Haizhong Z, “Microstructure and Wear Resistance of Fe-based WC coating by Multi-track overlapping Laser induction Hybrid Rapid Cladding”, School of Material Science and Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang, Jiangxi, July, 2011.

Yılbaş B., Arif A., AbdulAleem B.,“Laser Welding Of Low Carbon Steel and Thermal Stress Analysis”, Optics & Laser Technology, 2009,42 (5):760-768.

Keskin M, “Östenitik Paslanmaz Çeliğin Lazer Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilmesinin İncelenmesi”, 5.Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu, Karabük, 2009, 940-942.

Zambon, A., Ferro P., Bonollo, F., “Micro Structural, Compositional and Residual Stress Evaluation Of CO₂ Laser Welded Süper Austenitic AISI 9041 Stainless Steel”, Materials Science and Engineering, 2006,A424:117-127.

Chung B., Rhee S., Lee C, “The Effect Of Shielding Gas Types On CO₂ Laser Tailored Blank Weldability Of Low Carbon Automotive Galvanized Steel”, Materials Science and Engineering, 1999,A272:357-362.

<https://www accuratus.com/silicar.html> 28.07.2019

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e68b647b86104478a32012cbbd5ad3ea&ckck=1> 28.07.2019

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e6eb83327e534850a062dbca3bc758dc> 28.07.2019

<https://www.vision-lasertechnik.de/product/lwi-v-flexx/?lang=en> 30.07.2019

<http://eklemeliimalat.info.tr/2-eklemeli-imalat-teknolojileri/> 09.02.2019

<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4706> 04.05.2019

<http://uyanacaksin.blogspot.com/2017/04/taramal-elektron-mikroskobu-sem-eds.html> 01.08.2019

Simone Z. Sven B., Alberto M. "Study of Carbide Dissolution into the Matrix During Laser Cladding of Carbon Steel Plate with Tungsten Carbides-Stellite Powders; Department of Industrial Engineering, University of Trento, Trento 38122, Italy, January 2015.

Erden M., Taşçı M., "Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikro alaşım Çeliğine Ni İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi", Politeknik Dergisi, 2016, 19(4): 611- 616.

Huang S., Samandi W., Brandt A. , "Abrasive Wear Performance and Microstructure of Laser Clad WC/Ni Layers Wear", 2004, 256, 1095–1105.

Deng D., Zhang L., Niu T, Liu H, "Microstructures and Wear Performance of PTAW Deposited Ni-Based Coatings with Spherical Tungsten Carbide", School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, October 2015.

Zhang D., Zhang X, "Laser Cladding Of Stainles Ssteel With Ni–Cr₃C₂ And Ni–Wc For Improving Erosive–Corrosive Wear Performance" College of Industrial Engineering, Wenzhou University, Wenzhou, China , March 2004.

Samandi M, Brandt M., "Abrasive Wear Performance and Microstructure of Laser Clad WC/Ni Layers", Surface Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, University of Wollongong, Wollongong, NSW 2522, Australia, 2003.

Wang H., Xia W., Jin Y., Wear ,1996, 47–52 pages.

Merrick S., Miller R., "Advances in Thermal Spraying", Pergamon Press, Oxford, 1986, p. 633.

Yip M., Barnes S., Sarhan A., "Effects of Lazer Cladding of Silicon Carbides Particles and Iron Based Powder, University of Warwick, Coventry CV4, 7AL, United Kingdom, 2014

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Tayfun ÇAPAR

Doğum Yeri: Manisa

Doğum Tarihi: 13.04.1993

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dil: İngilizce

E-posta: tayfun.capar93@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise: İsmet İnönü Anadolu Lisesi, 2011

Lisans: Dumlupınar Üniversitesi, 2015

Mesleki Deneyim

Sarten Ambalaj

2017 - halen devam ediyor