

**T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TIG KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040  
ÇELİKLERİNİN Nİ ESASLI B<sub>4</sub>C VE SiC TAKVİYELİ SERAMİK  
TOZLARI İLE KAPLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FADİLE BULUT**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI  
Doç. Dr. İhsan KIRIK**

**BİNGÖL-2022**



T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TIG KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040 ÇELİKLERİNİN Nİ  
ESASLI B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ SERAMİK TOZLARI İLE KAPLANMASI**

Doç. Dr. İhsan KIRIK danışmanlığında, Fadile BULUT tarafından hazırlanan bu çalışma 12/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Musa KILIÇ *İmza* :  
Üye : Doç. Dr. İhsan KIRIK *İmza* :  
Üye : Dr. Öğrt. Üyesi. Ünal DEĞİRMENCİ *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ..... tarih ve ...../ .....  
nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Zafer ŞİAR**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde ve çalışma süresi boyunca yardımlarını, bilgi ve tecrübelerini aktaran, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli yardımları bana sağlayan danışman hocam Doç. Dr. İhsan KIRIK'a teşekkür ederim.

Aşınma testlerinin yapılmasında emeği geçen Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Doç.Dr. Serkan BATI hocama teşekkür ederim.

İş sürecim esnasında deneyleri yapmam için vermiş olduğu izin ve tez yazımım boyunca sağlamış olduğu toleranstan dolayı Şanlıurfa Flo Ziyilan Mağazacılık ve Pazarlama A.Ş Fabrikası Üretim Müdürüm Selahattin KALI' ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez yoldaşım, arkadaşım tez yazımım boyunca ve deneyleri yapmam sürecimde yanımda olan her zaman bana destek veren Yüksek Makine Mühendisi Meral YILDIRIM BELTİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresi boyunca her zaman yanımda olan başta annem olmak üzere değerli aileme deneylerin yapılmasını nı dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez sürecimde her zaman beni destekleyip motive eden maddi ve manevi yardımlarını benden hiç esirgemeyen canım eşim Mutlu AKGÜN'e sonsuz teşekkür ediyorum.

**Fadile BULUT**

**Bingöl 2022**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	
ÖZET.....	
ABSTRACT.....	
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çelik Malzemeler.....	3
1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	3
1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	4
1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	5
1.2. Alaşım Elementlerin Çeliğe Katkıları.....	6
1.2.1. Karbon.....	7
1.2.2. Krom.....	7
1.2.3. Nikel.....	7
1.2.4. Alüminyum.....	8
1.2.5. Silisyum.....	8
1.2.6. Molibden.....	8
1.2.7. Kobalt.....	8
1.2.8. Fosfor.....	9
1.2.9. Kükürt.....	9
1.2.10. Oksijen.....	9
1.2.11. Mangan.....	9
1.3. Sürtünme ve Aşınma.....	9
1.4. Seramik Malzemeler.....	11
1.4.1. Oksit Seramikler.....	13
1.4.2. Oksit Olmayan Seramikler (Karbürler).....	14
1.4.2.1. Silisyum Karbür (SiC).....	14

1.4.2.2. Bor Karbür ( $B_4C$ ).....	15
1.4.2.3. Krom Karbür ( $Cr_3C_2$ ).....	16
1.5. Kaplama Yöntemleri.....	17
1.5.1. Kaplama Tanımı ve İşlemi.....	17
1.5.2. Ergimiş veya Yan Ergimiş Fazdan Kaplama.....	17
1.5.2.1. Isıl Püskürtme (Termal Sprey).....	17
1.5.2.2. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme.....	18
1.5.3. Ergitme Yöntemleri.....	19
1.5.3.1. Tungsten Inert Gas (TIG) Kaynağı.....	20
1.5.3.2. Plazma Ark Kaynağı.....	22
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Tezin Amacı.....	31
3.1. Kaplama Tozlarının SEM ve EDS Analizleri.....	31
3.1. Deneysel Çalışma ve Numuneler.....	35
3.1. Kaplama Sonrası Uygulanan Testler.....	49
3.4.1. Sertlik.....	49
3.4.2. Aşınma Testi.....	50
3.4.3. Optik Mikroskopik İncelemeler.....	54
3.4.4. SEM ve EDS Analizi.....	54
3.4.5. XRD Analizi.....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	57
4.1.1. Optik Analizleri.....	57
4.1.1.1. S1 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	57
4.1.1.2. S2 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	58
4.1.1.3. S3 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	59
4.1.1.4. S4 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	61
4.1.1.5. S5 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	62
4.1.1.6. B1 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	63
4.1.1.7. B2 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	64
4.1.1.8. B3 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	65
4.1.1.9. B4 Nolu Numunenin Optik İncelemesi.....	66

4.1.2. Mikroyapı Numunelerine ait SEM İncelemeleri.....	67
4.1.2.1. S1 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	67
4.1.2.2. S2 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	68
4.1.2.3. S3 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	69
4.1.2.4. S4Nolu Numunenin SEM Analizi.....	70
4.1.2.5. S5 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	70
4.1.2.6. B1 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	71
4.1.2.7. B2 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	72
4.1.2.8. B3 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	73
4.1.2.9. B4 Nolu Numunenin SEM Analizi.....	74
4.1.3. Mikroyapı Numunelerinin EDS Analizleri.....	75
....	
4.1.3.1. S1 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	75
4.1.3.2. S2 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	76
4.1.3.3. S3 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	77
4.1.3.4. S4 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	79
4.1.3.5. S5 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	80
4.1.3.6. B1 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	81
4.1.3.7. B2 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	82
4.1.3.8. B3 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	83
4.1.3.9. B4 Nolu Numunenin EDS Analizi.....	84
4.2. Aşınma Numunelerinin SEM ve EDS Analizi.....	85
4.2.1. Kaplama Sonrası Aşınma Numunelerinin SEM Analizi.....	86
4.2.1.1. Aşınma Sonrası S1 Numunesinin SEM Analizi.....	86
4.2.1.2. Aşınma Sonrası S2 Numunesinin SEM Analizi.....	86
4.2.1.3. Aşınma Sonrası S3 Numunesinin SEM Analizi.....	87
4.2.1.4. Aşınma Sonrası S4 Numunesinin SEM Analizi.....	87
4.2.1.5. Aşınma Sonrası S5 Numunesinin SEM Analizi.....	88
4.2.1.6. Aşınma Sonrası B1 Numunesinin SEM Analizi.....	88
4.2.1.7. Aşınma Sonrası B2 Numunesinin SEM Analizi.....	89
4.2.1.8. Aşınma Sonrası B3 Numunesinin SEM Analizi.....	89
4.2.1.9. Aşınma Sonrası B4 Numunesinin SEM Analizi.....	90
4.2.2. Kaplama Sonrası Aşınma Numunelerinin EDS Analizleri.....	90

4.2.2.1. Aşınma Sonrası S1 Numunesinin EDS Analizi.....	90
4.2.2.2. Aşınma Sonrası S2 Numunesinin EDS Analizi.....	91
4.2.2.3. Aşınma Sonrası S3 Numunesinin EDS Analizi.....	92
4.2.2.4. Aşınma Sonrası S4 Numunesinin EDS Analizi.....	92
4.2.2.5. Aşınma Sonrası S5 Numunesinin EDS Analizi.....	93
4.2.2.6. Aşınma Sonrası B1 Numunesinin EDS Analizi.....	94
4.2.2.7. Aşınma Sonrası B2 Numunesinin EDS Analizi.....	94
4.2.2.8. Aşınma Sonrası B3 Numunesinin EDS Analizi.....	95
4.2.2.9. Aşınma Sonrası B4 Numunesinin EDS Analizi.....	96
4.3. Aşınma Testi Analizleri.....	96
4.4. Mikro Sertlik Analizleri.....	100
4.5. XRD Grafiği Analizi.....	103
4.5.1. S Kodlu Numunelerin XRD Grafiği.....	104
4.5.2. B Kodlu Numunelerin XRD Grafiği.....	104
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	105
5.1. Sonuçlar.....	105
5.2. Öneriler.....	106
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	114

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Cr	: Krom
EDS	: Enerji dağılımı spektrometresi
YMK	: Yüzey merkezli kübik
CrC	: Krom karbür
DIN	: DEUTSCHES Institut Für Normung
$\gamma$	: Gama
HV	: Vickers sertlik
SiC	: Silisyum karbür
Mpa	: Mega paskal
Gpa	: Giga paskal
$\alpha$	: Alfa
AISI	: American Iron and Steel Institute
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alümina
Al	: Alüminyum
AC	: Alternatif akım
B <sub>4</sub> C	: Bor karbür
B	: Bor
Ti	: Titanyum
C	: Karbon
XRD	: X-ışınları difraksiyon analizi
mm	: Milimetre
T/M	: Toz metalurjisi
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum oksit
TiC	: Titanyum karbür
TIG	: Tungsten Inert Gas
PTA	: Plasma Transferred Arc
HVOF	: High Velocity Oxygen Fuel
WC	: Tungsten karbür



Ni	: Nikel
Si	: Silisyum
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
DC	: Doğru akım
HMK	: Hacim merkezli kübik
$\mu\text{m}$	: mikro metre
Ar	: Argon
He	: Helyum
SAE	: Society of Automotive Engineers
$\text{Fe}_3\text{C}$	: Sementit

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Isıl püskürtmenin işlem sırası (Howes, 1994)	18
.....		
Şekil 1.2.	Yatay toz enjeksiyonlu plazma püskürtme yöntemi (Salman vd., 2006)..	19
Şekil 1.3.	TIG kaynağının şematik resmi (Buytoz, 2004)	21
.....		
Şekil 1.4.	Plazma arkının şematik görünüşü.....	22
Şekil 3.1.	NiCrBAI tozunun SEM görüntüsü.....	32
Şekil 3.2.	NiCrBAI -SiC tozunun SEM görüntüsü.....	32
Şekil 3.3.	NiCrBAI -B4C tozunun SEM görüntüsü.....	32
Şekil 3.4.	NiCrBAI tozlarının EDS analizi.....	33
Şekil 3.5.	NiCrBAI -SiC tozlarının EDS analizi.....	33
Şekil 3.6.	NiCrBAI -B4C tozlarının EDS analizi.....	34
Şekil 3.7.	Farklı oranlardaki toz karışımların resmi.....	36
Şekil 3.8.	Torna tezgahında karışımı sağlanan numune tozları.....	37
Şekil 3.9.	Freze tezgahında çelik numuneye kanal açılma işlemi.....	37
Şekil 3.10.	Kanalı açılan çelik numuneler.....	38
Şekil 3.11.	Tozların ölçümü yapılan hassas terazi.....	38
Şekil 3.12.	S nolu numune tozlarının kanala yerleştirilmesi.....	40
Şekil 3.13.	B nolu numune tozlarının kanala yerleştirilmesi.....	41
Şekil 3.14.	Malzemeye konulan tozların kurutma fırınında kurutulması.....	42
Şekil 3.15.	TIG kaynak cihazı.....	43
Şekil 3.16.	TIG kaplama işlemi.....	43

Şekil 3.17.	S nolu numunelerin TIG kaplama görüntüsü.....	44
Şekil 3.18.	B nolu numunelerin TIG kaplama görüntüsü.....	45
Şekil 3.19.	Avuç taşlama cihazı.....	46
Şekil 3.20.	Zımparalama ve parlatma cihazı.....	47
Şekil 3.21.	Kaplanan bölgenin zımpara görüntüsü.....	47
Şekil 3.22.	Zımpara yapılmadan önce numune yüzeyi.....	47
Şekil 3.23.	Zımpara yapıldıktan sonra kaplama yüzeyi.....	48
Şekil 3.24.	Zımpara yapılan alanın görüntüsü.....	48
Şekil 3.25.	Vickers sertlik ölçme cihazı.....	49
Şekil 3.26.	Aşınma cihazı.....	50
Şekil 3.27.	Aşınma cihazında kullanılan taş.....	51
Şekil 3.28.	S1 aşınma numunesi (NiCrBA1).....	51
Şekil 3.29.	S2 aşınma numunesi (NiCrBA1-%1SiC).....	51
Şekil 3.30.	S3 aşınma numunesi (NiCrBA1-%3SiC).....	52
Şekil 3.31.	S4 aşınma numunesi (NiCrBA1-%5SiC).....	52
Şekil 3.32.	S5 aşınma numunesi (NiCrBA1-%7SiC).....	52
Şekil 3.33.	B1 aşınma numunesi (NiCrBA1-%1B4C).....	53
Şekil 3.34.	B2 aşınma numunesi (NiCrBA1-%3B4C).....	53
Şekil 3.35.	B3 aşınma numunesi (NiCrBA1-%5B4C).....	53
Şekil 3.36.	B4 aşınma numunesi (NiCrBA1-%7B4C).....	54
Şekil 3.37.	Optik mikroskop cihazı.....	54
Şekil 3.38.	SEM cihazı.....	55
Şekil 3.39.	Kaplanan numunelerin SEM cihazına yerleştirilmesi.....	55
Şekil 3.40.	XRD cihazı.....	56
Şekil 4.1.	NiCrBA1 toz karışımı içeren S1 numunesine ait optik görüntüsü.....	58
Şekil 4.2.	NiCrBA1 %1SiC toz karışımı içeren S2 numunesinin optik görüntüsü...	59
Şekil 4.3.	NiCrBA1 %3SiC toz karışımı içeren S3 numunesinin optik görüntüsü...	60
Şekil 4.4.	NiCrBA1 %5SiC toz karışımı içeren S4 numunesinin optik görüntüsü...	62
Şekil 4.5.	NiCrBA1 %7SiC toz karışımı içeren S5 numunesinin optik görüntüsü...	63
Şekil 4.6.	NiCrBA1%1B4C toz karışımı içeren B1 numunesinin optik görüntüsü..	64

Şekil 4.7.	NiCrBAI %3B4C toz karışımı içeren B2 numunesinin optik görüntüsü.	65
Şekil 4.8.	NiCrBAI %5B4C toz karışımı içeren B3 numunesinin optik görüntüsü.	66
Şekil 4.9.	NiCrBAI %7B4C toz karışımı içeren B4 numunesinin optik görüntüsü	67
Şekil 4.10.	NiCrBAI toz karışımı içeren S1 numunesinin SEM görüntüsü.....	68
Şekil 4.11.	NiCrBAI %1SiC toz karışımı içeren S2 numunesinin SEM görüntüsü...	69
Şekil 4.12.	NiCrBAI %3SiC toz karışımı içeren S3 numunesinin SEM görüntüsü...	70
Şekil 4.13.	NiCrBAI %5SiC toz karışımı içeren S4 numunesinin SEM görüntüsü...	71
Şekil 4.14.	NiCrBAI %7SiC toz karışımı içeren S5 numunesinin SEM görüntüsü...	72
Şekil 4.15.	NiCrBAI %1B4C toz karışımı içeren B1 numunesinin SEM görüntüsü.	73
Şekil 4.16.	NiCrBAI %3B4C toz karışımı içeren B2 numunesinin SEM görüntüsü.	74
Şekil 4.17.	NiCrBAI %5B4C toz karışımı içeren B3 numunesinin SEM görüntüsü.	75
Şekil 4.18.	NiCrBAI %7B4C toz karışımı içeren B4 numunesinin SEM görüntüsü.	76
Şekil 4.19.	S1 nolu numunenin EDS analizi.....	77
Şekil 4.20.	S2 nolu numunenin EDS analizi.....	78
Şekil 4.21.	S3nolu numunenin EDS analizi.....	79
Şekil 4.22.	S4 nolu numunenin EDS analizi.....	80
Şekil 4.23.	S5 nolu numunenin EDS analizi.....	81
Şekil 4.24.	B1 nolu numunenin EDS analizi.....	83
Şekil 4.25.	B2 nolu numunenin EDS analizi.....	84
Şekil 4.26.	B3 nolu numunenin EDS analizi.....	85
Şekil 4.27.	B4 nolu numunenin EDS analizi.....	86
Şekil 4.28.	NiCrBAI toz ilavesi içeren S1 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü..	87
Şekil 4.29.	NiCrBAI-%1SiC toz ilavesi içeren S2 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	87
Şekil 4.30.	NiCrBAI-%3SiC toz ilavesi içeren S3 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	88
Şekil 4.31.	NiCrBAI-%5SiC toz ilavesi içeren S4 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	88
Şekil 4.32.	NiCrBAI-%7SiC toz ilavesi içeren S5 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	89
Şekil 4.33.	NiCrBAI-%1B4C toz ilavesi içeren B1numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	89

Şekil 4.34. NiCrBA1-%3B4C toz ilavesi içeren B2 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	90
Şekil 4.35. NiCrBA1-%5B4C toz ilavesi içeren B3 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	90
Şekil 4.36. NiCrBA1-%7B4C toz ilavesi içeren B4 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü.....	91
Şekil 4.37. Aşınma sonrası S1 numunesinin EDS analizi.....	91
Şekil 4.38. Aşınma sonrası S2 numunesinin EDS analizi.....	92
Şekil 4.39. Aşınma sonrası S3 numunesinin EDS analizi.....	93
Şekil 4.40. Aşınma sonrası S4 numunesinin EDS analizi.....	93
Şekil 4.41. Aşınma sonrası S5 numunesinin EDS analizi.....	94
Şekil 4.42. Aşınma sonrası B1 numunesinin EDS analizi.....	95
Şekil 4.43. Aşınma sonrası B2 numunesinin EDS analizi.....	95
Şekil 4.44. Aşınma sonrası B3 numunesinin EDS analizi.....	96
Şekil 4.45. Aşınma sonrası B4 numunesinin EDS analizi.....	97
Şekil 4.46. S kodlu numunelerin aşınma-mesafe grafiği.....	98
Şekil 4.47. S kodlu numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe grafiği.....	98
Şekil 4.48. B kodlu numunelerin aşınma-mesafe grafiği.....	99
Şekil 4.49. B kodlu numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe grafiği.....	100
Şekil 4.50. Mikro sertlik analiz grafiği.....	101
Şekil 4.51. Aşınma numuneleri üzerinden alınan Vickers sertlik ölçüm noktaları...	102
Şekil 4.52. Altlık malzemedan kaplama yüzeyine doğru S1, S2, S3, S4 ve S5 numunelerinden alınan mikrosertlik değeri.....	102
Şekil 4.53. Altlık malzemedan kaplama yüzeyine doğru S1, B1, B2, B3 ve B4 numunelerinden alınan mikrosertlik değeri.....	103
Şekil 4.54. Numuneler üzerinde alınan mikrosertlik ölçüm noktaları.....	103
Şekil 4.55. S kodlu numunelerin XRD grafiği.....	105
Şekil 4.56. B kodlu numunelerin XRD grafiği.....	105

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Düşük karbonlu çeliklerin kimyasal bileşenleri (Güngör, 2001).....	4
Tablo 1.2.	AISI 1040 orta karbonlu çeliğın mekaniksel özellikleri (Altakan, 2011) .....	5
Tablo 1.3.	Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimleri (Güngör, 2001).....	5
Tablo 1.4.	Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimleri (Güngör, 2001).....	6
Tablo 1.5.	Seramik malzemeler ve kaplamaların kullanım nedenleri (Çevik, 1990)	13
Tablo 1.6.	Aşınmaya dayanıklı oksit seramik kaplamaların aşınma özellikleri (Chagnon and Fauchais, 1984).....	14
Tablo 1.7.	SiC bileşiminin fiziksel ve mekanik özellikleri (Özel, 2009).....	15
Tablo 1.8.	B4C bileşiminin fiziksel ve mekanik özellikleri (Özel, 2009).....	16
Tablo 3.1.	NiCrBAI tozlarının EDS analiz sonuçları.....	33
Tablo 3.2.	NiCrBAI -SiC tozlarının EDS analiz sonuçları.....	34
Tablo 3.3.	NiCrBAI -B4C tozlarının EDS analiz sonuçları.....	34
Tablo 3.4.	AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşenleri (%).....	35
Tablo 3.5.	NiCrBAI 25 gr ağırlıkça tozunun oranları (gr).....	35

Tablo 3.6.	Kaplama için oluşturulan toz karışım oranları.....	35
Tablo 3.7.	Hacimsel olarak doldurulan tozların ağırlık ölçümleri.....	39
Tablo 3.8.	TIG kaynak parametreleri.....	42
Tablo 4.1.	S1 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	77
Tablo 4.2.	S2 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	78
Tablo 4.3.	S3 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	79
Tablo 4.4.	S4 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	81
Tablo 4.5.	S5 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	82
Tablo 4.6.	B1 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	83
Tablo 4.7.	B2 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	84
Tablo 4.8.	B3 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	85
Tablo 4.9.	B4 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	86
Tablo 4.10.	Aşınma sonrası S1 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	92
Tablo 4.11.	Aşınma sonrası S2 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	92
Tablo 4.12.	Aşınma sonrası S3 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	93
Tablo 4.13.	Aşınma sonrası S4 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	94
Tablo 4.14.	Aşınma sonrası S5 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	94
Tablo 4.15.	Aşınma sonrası B1 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	95
Tablo 4.16.	Aşınma sonrası B2 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	96
Tablo 4.17.	Aşınma sonrası B3 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	96
Tablo 4.18.	Aşınma sonrası B4 numunesinin EDS analiz sonuçları.....	97

# **TIG KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040 ÇELİKLERİNİN Nİ ESASLI B<sub>4</sub>C VE SiC TAKVİYELİ SERAMİK TOZLARI İLE KAPLANMASI**

## **ÖZET**

Bu çalışmada Tungsten Inert Gaz (TIG) kaplama tekniği ile AISI 1040 çeliğın Ni esaslı B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli seramik tozlarla kaplanması incelenmiştir. AISI 1040 çeliğının TIG kaplama yöntemi ile kaplanarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece AISI 1040 çeliğının aşınma, sürtünme gibi etkenlere karşı servis ömrü uzatılarak ve bakım maliyetleri azaltılması hedeflenmiştir.

Ticari olarak temin edilen AISI 1040 çeliğın üzerine Ni esaslı B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli seramik tozlarla kaplaması yapılmıştır. Seramik tozlarla kaplanan numuneler başarılı bir şekilde üretimleri yapılmıştır.

Oluşturulan kaplama tabakasında B<sub>4</sub>C ve SiC takviye tozu oranının ve üretim parametrelerinin mikro-yapı ve mekanik özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Kaplanan malzeme ile kaplanma tabakası arasındaki geçişler ve mikro yapısal değişimler Optik mikroskop (OM), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi (EDS) ve X-ışını difraktometre (XRD) işlemleri kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için ise mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve aşınma testleri yapılarak deney parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.



**Anahtar Kelimeler:** Toz metalürjisi, TIG kaynak, kaplama, mikro-yapı, aşınma.

## **COATING OF AISI 1040 STEELS WITH NI BASED B<sub>4</sub>C AND SiC REINFORCED CERAMIC POWDERS USING TIG WELDING METHOD**

### **ABSTRACT**

In this study, the coating of AISI 1040 steel with Ni-based B<sub>4</sub>C and SiC reinforced ceramic powders with Tungsten Inert Gas (TIG) coating technique was investigated. It is aimed to improve the surface properties of AISI 1040 steel by coating with TIG coating method. Thus, it is aimed to extend the service life of AISI 1040 steel against factors such as abrasion and friction and to reduce maintenance costs.

Commercially available AISI 1040 steel was coated with Ni-based B<sub>4</sub>C and SiC reinforced ceramic powders. Samples coated with ceramic powders were successfully produced.

The effects of B<sub>4</sub>C and SiC reinforcing powder ratio and production parameters on the microstructure and mechanical properties of the formed coating layer were investigated. Transitions and microstructural changes between the coated material and the coating layer were investigated using Optical microscope (OM), Scanning electron microscope (SEM), Energy Dissipative X-Ray Spectroscopy (EDS) and X-ray diffractometer (XRD) processes. In order to determine the mechanical properties, microhardness measurements were made and the effects of the test parameters on the results were determined by carrying out wear tests.

**Keywords:** Powder metallurgy, TIG welding, coating, microstructure, wear.

## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda ve günümüzde teknolojik ilerlemenin paralelinde malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek amacıyla yüzey mühendisliğine gereksinim her geçen gün daha da artış sağlamaktadır. Teknik olarak malzemelerin kullanım ve uygulama alanlarına bağlı olarak ortaya çıkan istenmeyen biçimlerde sürtünme, aşınma korozyon gibi etkenler söz konusudur. Dolayısıyla bu etkenlerin önüne geçebilmek ve en az seviyeye indirmek için kaplama (yüzey modifikasyonu) yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeyde kaplamadan dolayı oluşan tabakalar; malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirip ve geliştirirken aynı zamanda yüzeyin birçok ortam koşullarına göre daha dirençli olmasını sağlar.

Malzeme yüzeyinin aşınmaya, sürtünmeye karşı dirençli ve sert olması istenirken aynı zamanda altlık malzeme tabakasının da sünek ve iyi mukavemet özelliklerinin sağlaması koşullarında yüzey kaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulur (Buytoz, 2006).

Malzemenin bulunduğu ortam ve süreç içerisindeki ortam ile yüzey arasındaki etkileşimden kaynaklı malzeme yüzeyinde bozulmalar, hasarlar gibi problemler meydana gelmektedir. Malzemenin her yönden daha iyi özellikler sergilemesi için yüzey kaplama alanları son zamanlarda ve gelişmiş ülkelerde çok büyük önem kazanmış olup çok yaygın kullanım alanlarına da sahiptir. En fazla kullanım alanı olarak demir ve demir ile üretimi olan malzemeler kullanılmıştır.

Kaplama işlemi esasen malzeme yüzeyinde element ya da bileşik biriktirmesi sonucu olarak yüzeyde bir tabaka aslında bir koruma sağlayarak yapılmasıdır. Yüzey dönüşüm işlemleri farklı olarak; malzeme yüzeyinin mikro yapısında ve kimyasal yapısında değişiklik yapılması esasına dayanır (Bindal, 1991; Şen, 1997).

Yüzey yöntemleri, malzemenin özelliklerini daha üstün hale getirmek için tercih edilir. Malzemedeki sürtünme, aşınma, sertlik, korozyon, yorulma gibi mekanik ve tribolojik özelliklerini de iyileştirmek ve geliştirmeyi amaçladığı gibi üretimde maliyeti en aza indirmeyi hedefler. Endüstride malzemenin en çok korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı

olması istendiği gibi sanayi alanında işlemlerin yüksek çoğunluğunun amacına hizmet edilmesi istenir. Dünyanın birçok alanında korozyon ve aşınma maddi yönden kayıplara sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla son zamanlarda geniş bir yelpazede en fazla araştırılan ve çalışılan konular arasında yer almaktadır. Bunun sonucunda malzemenin ortam koşullarına bağlı etkileşimlerinden dolayı bozulma ve hasar gibi etkenlerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Bu yüzden malzeme yüzeylerin karbür, borür, nitrür ve oksit gibi seramik malzemelerle kaplanması daha çok tercih sebebidir (Bindal, 1991; Hocking vd., 1989).

Malzemelerde oluşan aşınma, korozyon gibi mekanik ve tribolojik özelliklerinin daha üstün olması için bu son zamanlarda seramik takviyeli metal matrisli kompozitler ile kaplamaların uygulanması ve geliştirilmesi pek çok incelemelere ve endüstri alanında ilgi odağı olmuştur. Metal matrisli kaplama uygulamak için lazer kaplama, tungsten inert gaz, plazma sprej ve yüzey sertleştirme gibi birçok işlem uygulanmaktadır (Wang et al., 2016).

Belirtilen bu işlemler arasında en kolay şekilde ve daha ucuz olmasından dolayı TIG (Tungsten Inert Gas) yöntemidir. Aynı zamanda TIG kaplama yöntemi diğer yöntemlere göre (elektron ışın kaynağı, plazma, lazer vb.) daha fazla nüfuziyette sahip bir ergime alanı sağlaması, atmosferik çevre şartlarında uygulanmasının daha çok pratik olmasıyla tercih edilmektedir. Ayrıca başka üretim yöntemlerine göre de kaplamanın kimyasal bileşimini, kalınlığını ve özelliklerini kontrol altında tutma ve muhafaza etmeyi amaçlar (Pala et al., 2017).

TIG kaplama yöntemi malzeme yüzeyine ilavesi edilen toz bileşimlerinin ergitilerek altlık malzeme ile kaplama tabakasının birbiriyle başarılı bir şekilde bağlanması ve yüzey özelliklerinin hem iyileştirilmesi hem de geliştirilmesi için seramik kaplamalar arasında önemli yöntemlerden biri olarak görülmektedir (Chen et al., 2009).

Bu çalışma literatür ışığında nikel esaslı silisyum karbür ve bor karbür takviyeli tozlar ile orta karbonlu çeliklerin kaplanması yapılacaktır. Tez çalışmasında TIG kaplama yöntemi ile silisyum karbür-bor karbür tozlarının kaplanması ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda kaplanan malzemelerin analiz testleri yapıp farklı kaplama yöntemi ile kaplanan malzemeler hakkında bilgiler edinilecektir.

## 1.1. Çelik Malzemeler

Çelik malzemeler esas olarak demir ve karbon alaşımından oluşmaktadır. Çelik malzeme genellikle demir elementinin %0,2 ile %2,1 oranlarında miktar olarak değişiklik gösteren karbon elementinin bileşimlerinden oluşan alaşımdır. Farklı çelik gruplarında karbon oranları çelik oluşumu için etkileyici bir özelliktir. Demirin alaşım maddesi olarak karbon elementi olsa da diğer alaşımlayıcı elementler olarak; Al, Si, Ni, Cr, B, Mo, Mn, V gibi farklı elementler de kullanılabilir. Çelik malzeme içerisinde miktar olarak değişkenlik gösteren ve buldukları yapı itibarıyla alaşımlayıcı elementler, çeliğin özelliklerini değiştirerek süneklik, sertlik, aşınma, sürtünme gibi etkenleri kontrol altına alır. Artan karbon miktarına bağlı olarak çeliklerde sertlik, akma, çekme dayanımı gibi özelliklerin artması olurken süneklik ve darbe dayanım özelliklerinde azalma yaşanmaktadır. Birçok sınıflandırmaya ayrılan çelikler, karbon miktarlarına göre ayrıldığında düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir (Güngör, 2001).

### 1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Bu grupta yer alan çelikler %0,25 oranında karbon miktarı bulduran çeliklerdir. Mekanik özellikleri düşüktür. Yumuşak çelikler olarak da isimlendirilirler. Bu düşük karbonlu çelikler dünya kapsamında çelik üretiminin önemli ve büyük bir bölümünü oluştururlar. Temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller ayrıca yassı mamul imalatında, inşaat endüstrisinde kullanım alanına sahiptirler. Düşük karbonlu çeliklerin yapısında az oranda karbon elementi olduğu için ısıtım işlemi yapılamamaktadır. Dolayısıyla sertleştirme işlemi uygulamamaktadır. Fakat sementasyon, nitritasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanarak yüzeyleri sertleşebilmektedir. Tablo 1.1'de verilen düşük karbonlu çeliklerin kimyasal olarak bileşimleri verilmektedir (Güngör, 2001).

Tablo 1.1. Düşük karbonlu çeliklerin kimyasal bileşenleri (Güngör, 2001)

Element	% Ağırlıkça
C	0,00-0,20
Si	0,10-0,20
Mn	0,30-0,60
S	Max. 0,05

### 1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Bu grupta bulunan çelikler %0,25-%0,55 aralığında karbon içermektedir. Orta karbonlu çeliklerin yapısında bulunan karbon oranından dolayı orta derecede mekanik özellik sergilemektedirler. Bu çeliklerin en önemli özelliği ısıtılma işlemi uygun olmalarıdır. Dolayısıyla çeliklerin yapı ve özellikleri ısıtılma işlemi sayesinde kolayca sertleştirilebilmektedir. Bunun sonucu olarak kullanım alanları oldukça geniştir. Ayrıca makine-üretim sanayisinde oldukça tercih edilen çeliklerdir. Şekil alabilme özellikleri ve işlenebilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere kıyasla daha azdır. Bunun yanı sıra kaynak edilebilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere oranla daha düşüktür. Kaynak işlemi esnasında açığa çıkan ısı değişiklikleri sebebiyle çeliğin yapısında değişim ve bozulmalara neden olmaktadır. Dolayısıyla malzeme yüzeyinde hatalar oluşabilmektedir. Bunun neticesinde orta karbonlu çeliklerin özellikle alaşım elementi ilavesiyle kaynak işlemlerinde daha dikkat edilmesi gerekir. %40 oranında karbon bulunan AISI 1040 çeliği düşük karbonlu çeliklere kıyasla daha yüksek karbon içerir ve orta karbonlu çelik sınıfında yer alır. Bu çelikler ısıtılma işlemi ile sertleştirilebilir ve işlenebilme kabiliyetleri iyidir. Orta karbonlu çelikler yüksek dayanıma sahiptirler. Mil yapımında civata, somun, şaft ve dişli çark gibi alanlarda kullanılmaktadır (Güngör, 2001).

AISI 1040 çeliği bütün kaynak yöntemleriyle kaynaklanabilir (Altakan, 2011). AISI 1040 Orta karbonlu çeliğinin oda sıcaklığındaki mekaniksel özellikleri Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. AISI 1040 orta karbonlu çeliğin mekaniksel özellikleri (Altakan, 2011)

<b>Poisson Oranı</b>	0,27-0,30
<b>Elastik Modülü</b>	190-210 GPa
<b>Akma Dayanımı</b>	353 MPa
<b>Çekme Dayanımı</b>	518 MPa
<b>Uzama (%)</b>	30,2

Tablo 1.3’de verilen orta karbonlu çeliklerin kimyasal olarak bileşimleri verilmektedir.

Tablo 1.3. Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimleri (Güngör, 2001)

<b>Element</b>	<b>% Ağırlıkça</b>
C	0,20-0,50
Si	0,15-0,23
Mn	0,60-0,90
S	Max. 0,05
P	Max. 0,04

### 1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Bu grupta olan çelikler %0,55 ile %0,90 arasında karbon içerirler. Yüksek karbonlu çelikler yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahiptirler. Ancak sünekliği az olan çeliklerdir. Isıl işlem ile sertleştirilebilme özellikleri sayesinde yüksek sertlik kazanırlar. Bunun neticesinde aşınma direncine dayanıklılık ve kesici özellik kazanırlar. İşlenebilme ve şekil alabilme kabiliyetleri, düşük ve orta karbonlu çeliklere nispeten daha düşüktür. Ayrıca kaynak kabiliyetleri de düşüktür özel yöntemlerle kaynak edilebilir. Kullanım alanları takım çeliği üretiminde kullanırlar (Güngör, 2001). Yüksek karbonlu çeliklerin bileşim aralıkları Tablo 1.4’de verilmektedir.

Tablo 1.4. Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimleri (Güngör, 2001)

Element	% Ağırlıkça
C	0,55-0,90
Si	0,15-0,30
Mn	0,70-1,00
S	Max. 0,05
P	Max. 0,04

## 1.2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Katkıları

Çelik malzemesinin üretimi esnasında katılan ya da yeni özellikleri açığa çıkartmak için sonradan ilave edilen karbon, alüminyum, nikel, bor, krom, silisyum, mangan vb. elementlere alaşım elementi denilmektedir. Çeliklere alaşım elementinin ilave edilmesinin nedenlerini genel olarak sıralarsak;

- Yüzey özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek
- Çekme, vurma, basma, kopma gibi dayanımlarını arttırmak
- Isıl genleşmeyi sağlamak ve ısıya karşı direncini arttırmak
- Aşınmaya ve sürtünmeye karşı direncini arttırmak
- Korozyona karşı dayanımını arttırmak
- Sertliğini ve mukavemetini arttırmak
- Manyetik özelliklerini değiştirmek
- Oksitlenme gibi olumsuz etkenleri azaltmak
- Kristal kafes yapısını değiştirmek
- Kimyasal maddelere karşı direncini arttırmak
- Elektrik dayanımını arttırmak
- Talaş kaldırabilme kabiliyetini, sıcak-soğuk biçimlendirebilme, kaynak edilebilme gibi imalat yöntemlerini kolaylaştırabilmek ve bu işlemleri uygun biçimde yapabilmektir (Güngör, 2001).

### 1.2.1. Karbon



Çeliğin oluşmasını sağlayan demir elementinden sonra gelen karbon, çeliğin temel alaşım elementidir. İlâveten çeliğin sertliğini ve mukavemetini arttıran en önemli elementtir. % C oranı arttıkça çeliğin iç yapısındaki perlit yapı artacağından çeliğin akma ve çekme mukavemetleri artar. Karbon elementi çeliğin ergime noktasını düşürmektedir ve oksitlenmeyi azaltıcı yönde etki gösterir. Ayrıca korozyon ve aşınma direncini sağlar, ısı dayanımı ve elektrik dayanımını olumlu özellikte artırır. Fakat karbon elementi olumsuz biçimde çelik malzemesinin kaynak edilebilme kabiliyeti, talaş kaldırabilme, elastikiyet özelliği, sıcak soğuk biçimlendirme, gibi kabiliyetlerini azaltır.

### **1.2.2. Krom**

En önemli alaşım elementlerinden olan krom, çeliğin korozyon direncini, aşınma direncini, oksitlenme direncini ve sertleşebilme özelliklerini arttırmayı sağlar. Ek olarak çekme ve akma sınırı dayanımını yükseltir. Paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom karbür oluşturucu bir elementtir. Ayrıca krom, çelik malzemesini sertleştirme ve tokluğu düşürme yönünden etki eder.

### **1.2.3. Nikel**

Nikel, genellikle krom elementi ile birlikte kullanılır. Çelik malzemesinin doku dönüşüm hızını düşürerek çekirdeğin krom kadar olmasa da sertleşebilirliği de artırır. Ayrıca korozyon, paslanma, kimyasal maddeler, yüksek ısı ve darbelere karşı direncini ve elastikiyet özelliğinin artmasını sağlar (Altakan, 2011). Ferrite katı çözelti sertleşmesi oluşturarak çeliğin dayanımını artırır. Nikel genelde çeliğin tokluğunu artırma sebebiyetiyle kullanılır.

### **1.2.4. Alüminyum**

Çelik malzeme içinde en güçlü oksit giderici ve pullanmayı engeller. Fakat %0,5 miktarından daha fazla çeliğe alüminyum ilave edilirse, karbon ayrılarak grafit şekline dönüşür ve kaba taneli bir yapı meydana gelir. Çeliğin üretiminde tane küçültücü olarak kullanılır.

#### **1.2.5. Silisyum**

Silisyum alaşım elementi çeliğin çekme ve akma dayanımını artırır, kimyasal maddelere karşı dayanımını artırır, sertleşebilme sıcaklığını azaltır ve martenzit yapının açığa çıkarması için sertleşmenin çekirdeğe kadar olmasını sağlar. Bunun yanı sıra çeliğin manyetik özelliklerini sağlar. Fakat silisyum çelik malzemenin yüzeyini kabalaştırır ve darbe dayanımını azaltır. Aşırı miktarda silisyum ilavesi sonucunda da çeliğin talaş kaldırabilme, kaynak edebilme kabiliyetlerini azaltır (Güngör, 2001).

#### **1.2.6. Molibden**

Molibden bir karbür oluşturuç olması sebebiyle aşınma direncini arttırmak için yüksek oranlarda takım çeliklerinde kullanılır. Çeliğin çekme dayanımını ve akma sınırını, gevrekliğini kaynak edebilme kabiliyetini azaltmasına rağmen darbe dayanımını artırır. Aynı zamanda ısı işlemleri esnasında çelik malzemenin düzenli bir biçimde doku oluşmasına olanak sağlar. Yalnız molibden, çeliğin dövme gibi soğuk olarak biçimlendirebilme kabiliyetlerini azaltır.

#### **1.2.7. Kobalt**

Kobalt alaşım elementi çeliğin sertliğini, uygulanan yüklere ve ısıya karşı dayanımını artırarak yapı içinde ince taneli yapı meydana gelmesini sağlar. Ayrıca kobalt manyetik özelliklere sahiptir. Bunun sonucu olarak da mıknatıs yapımında yoğun olarak kullanılmaktadır.

#### **1.2.8. Fosfor**

Çeliğin üretim evreleri esnasında içerisine katılan fosfor elementi, korozyon direncini ve çekme dayanımını olumlu yönde etkilemesine rağmen istenmeyen bir alaşım elementidir. Fosfor, çeliğin kırılma özelliğini artırıcı yönde etkisi vardır. Talaş kaldırabilme, kaynak edilebilme, elektrik direnci gibi özellikleri azaltmaktadır.

### **1.2.9. Kükürt**

Çelik malzeme içerisinde istenilmeyen bir alaşım elementidir. Bunun nedeni olarak; çeliğe yüksek derecede kırılma kazandırır ve düşük sıcaklıklarda bile çelik yüzeyinde çatlaklı yapıların oluşmasına sebep olur. Kükürt oranı arttıkça enine süneklik ve çentikli darbe tokluğu değerleri düşmektedir.

### **1.2.10. Oksijen**

Çelik için çok fazla zararı olmasına rağmen çeliğin üretimi aşamasında içerisine girişi engellenmemektedir. Demir elementi ile birleşiminden dolayı demir oksit meydana gelir ve bunun sonucunda korozyon oluşmasına neden olur, bu da olumsuz yönde çelik malzemenin yaşlanma ve kırılma özelliklerini artırır.

### **1.2.11. Mangan**

Mangan, çeliğin dayanımını artırır. Çelik malzemenin dövülebilirliğini ve sertleşme özelliğini olumlu yönde etkiler. Isıl genleşmeyi azaltır. Ayrıca mangan elementi çelik içerisinde kükürt ile birleşiminden kaynaklı haddeleme esnasında düzenli bir lifli yapı oluşmasını sağlar. Bunun sonucu olarak; çeliğin lif yönünden yüksek süneklik ve çekme dayanımına sahip olurlar (Güngör, 2001).

## **1.3. Sürtünme ve Aşınma**

Sürtünme olayı cisimlerin ya da nesnelerin birbirlerine bağlı bir şekilde diğer cismin hareket etmesinden kaynaklı meydana gelen kinetik enerji kayıpları olarak tanımlanır. Temas halinde olan iki nesnenin veya cismin yüzey bölgelerinde oluşan kuvvetler neden olmaktadır. Dolayısıyla bu kuvvetlerin; uyguladıkları yüklerin aksine temas halinde olan

cismin özellikleri ile etki eden bölgeleri olarak bulunur. Aslında uygulamada temas eden bölgenin malzemenin görünmekte olan bölgesinden çok fazla küçüktür.

Hayatın birçok farklı alanlarında sürtünme kuvveti öne çıkmaktadır. Sürtünme kuvveti; herhangi bir nesnenin veya cismin uyguladığı hareketine zıt yönde açığa çıkan etkiye sürtünme kuvveti denilmektedir. Temas halinde olan iki farklı cismin pürüzlülüğünden kaynaklı kuvvet olduğu söylenebilir. Cismin temas ettiği her iki alan arasındaki pürüzlü durum sürtünme kuvvetini doğrudan etkiler. Ayrıca malzemenin pürüzlülüğü ne kadar fazla ise sürtünme kuvveti de o kadar artmaktadır.

Sürtünme kuvvetinin sürtünme halinde olan iki cismin görünen alanlarının pürüzlülüğünden meydana gelmektedir. Meydana gelen bu kuvvetler önemli ölçüde sürtünen alanlarda atom veya moleküllerin birbirlerine yakın temas halinde olmasından ve bundan ötürü birbirlerinin moleküller arası kuvvetleri etkilemelerinden kaynaklıdır. Sürtünme kuvvetinin birçok olumsuz yönleri vardır bunlar; sürtünme halinde olan malzemelerin yıpranmasına ve hasar oluşmasına sebep olur, Cisimlerin kullanım ömrünü azaltır, Sürtünen yüzeyin daha fazla aşınmasına neden olur. Sürtünme kuvveti, yüzey alanlarında gerçekleşen ve yüzeye dik olarak uygulanan kuvvet ile orantılıdır (Orhan, 2003).

Aşınma; fiziksel veya kimyasal etkilerden dolayı temas halinde olan malzemelerden parça kopması olarak adlandırılmaktadır. DIN (Alman Standart Enstitüsü) 50320 ve ASTM G4093 ölçülerine göre ise; kullanılan malzeme yüzeylerinde mekanik etkenlerin sonucunda diğer malzemelerle temas etmesinden dolayı malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların ayrılması ile meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozukluklarını aşınma olarak belirtir (Korkut, 1997).

Teknik açıdan aşınmanın tanımı; malzemelerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle birlikte malzeme yapısında mikro tanelerin yüzeyden koparak ayrılması neticesinde arzu edilmeyecek şekilde malzeme yüzeyinde oluşan değişiklik olarak nitelendirilir (Gediktaş, 1970).

Aşınma malzemelerde teknik olarak sorun oluşturduğu gibi ekonomi bakımından da etkilere sebep olur. Günümüzde yapılan çalışmalar incelendiğinde aşınmanın sonucunda

oluşan malzeme yüzeyindeki hasarlar milli gelirin yaklaşık olarak %6-7 bölümlük kısmını oluşturmaktadır (Özay, 2004). Yapılan birçok çeşitli tanıma göre, malzeme yüzeyinde ve yapısında açığa çıkan bozulma ve oluşan hasarlar aşınma olarak nitelendirilmesi için aşağıda verilen özelliklere sahip olması gerekir (Solmaz, 2002).

- Mekanik bir etkiye sahip olması,
- Sürtünmenin gerçekleşmesi (izafi hareket),
- Yavaş, ama sürekli olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik oluşturması,
- İstenilmediği halde meydana gelişi

Bu belirtilen etkenlerin haricinde herhangi bir sorundan dolayı malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesinde aşınma için başka hasarlarla birlikte kaynaklı olduğu çıkarımı yapılabilir. Fakat bu belirtilen özelliklerden hiçbiri ortaya çıkmadığında malzeme yüzeyindeki değişikliğin aşınma olarak nitelendirilmesi söz konusu değildir.

#### **1.4. Seramik Malzemeler**

Seramik malzemeler, genelde metal ve metal olmayan elementlerin iyonik ve kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu inorganik olan kimyasal bileşiklerdir. Seramikler genel itibari ile ele alındığında geleneksel ve mühendislik seramik olmak üzere iki grup olarak incelenmektedir. Temelde üretim yöntemleri açısından ve mikro yapı bakımından mühendislik seramikleri, geleneksel seramiklerden farklılıkları vardır. Dolayısıyla doğal hammaddeden üretilen seramik malzemeler, sentezleme yöntemi ile yapay olarak üretilen mühendislik seramiklerden ayrılırlar.

Mühendislik seramikleri pudra kadar çok küçük taneli ve ince tozlardan üretimi olmaktadır. Ayrıca günümüz şartlarında üretimi olan seramik tozlar mikron seviyesinde ve yoğunca bir yapıda üretimi gerçekleşmektedir. Sonuç itibari ile ince seramikli tozların mekanik bakımından özellikleri geleneksel seramik tozlara göre üstünlük ve avantaj sağlamaktadır. Mühendislik seramiklerin uygulama ve kullanım alanlarının çok geniş yelpazesi vardır. Ancak geleneksel seramikler yüksek sıcaklıklara dayanımı iyi olmasına

rağmen fazla yüksek sıcaklıklarda ve uygulanan kuvvet altında kullanım alanları o kadar geniş değildir (Erdoğan, 1998).

Mühendislik seramikler; oksit seramikler ve oksit olmayan seramikler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Oksit seramikler mikro yapılarından dolayı oksitlenme dayanımı kimyasal ve ısıl kararlılık gibi pek çok özellikleri sergilemektedir. Oksit seramikler  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $BeO$  gibi seramikler örnek verilebilir. Oksit olmayan seramiklere de örnek olarak;  $Si_3N_4$ ,  $TiN$ ,  $AlN$ ,  $ZrN$  (nitrürler),  $SiC$ ,  $B_4C$ ,  $TiC$ ,  $ZrC$  (karbürler),  $CaB_6$ ,  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$  (borürler),  $ZnS$ ,  $MoS_2$ ,  $CdS$  (sülfürler),  $TaSi_2$ ,  $WSi_2$ ,  $Mo_2Si$  (silisitler) vb. seramiklerdir (Erdoğan, 1998; Li et al., 2006).

Seramik malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlar; yapı, mekanik, nükleer, uzay araçları, elektronik, aşındırıcı seramikler gibi pek çok alanda kullanım sunmaktadır. Aşağıda verilen seramik malzemelerin sanayi endüstrisinde başlıca uygulama ve kullanım esasları verilmektedir;

- Yüksek sıcaklıklara dirençli olması,
- Düşük ısı ve elektrik iletimi,
- Hafiftirler ve çok sert olmaları,
- Metallere oranla ucuzdurlar,
- Seramik malzemelerin hammadde bakımından oldukça mevcut olmaları,
- Yüksek kimyasal kararlılığa sahip olmaları,
- Düşük sürtünme katsayısına sahip olması,
- Yüksek basma kuvvetinin olması,
- Aşınmaya karşı dirençli
- Yüksek derecede oksitlenmeye karşı dayanıklı,
- Yüksek maliyetli metallere gereksinim duymaması

Seramik malzemelerin avantajlı özelliklerinin yanı sıra en büyük eksikliği malzemenin gevrek yapıda bulunmasıdır (Akçıl, 1990).

KULLANIM NEDENLERİ	SERAMİK MALZEMELER
Aşınmayı minimum seviyeye indirmek	$Al_2O_3$ , $B_4C$ , $Cr_3C_2$ , $CrB_2$ , $CrSi_2$ , $SiC$ , $TiN$ , $TiC$ , $MoSi_2$ , $WC$ , $TiB_2$ , $Mo_2C$
Sürtünmenin azaltılması	$BaF_2/Ca_2$ , $MoSi_2$ , $BN$
Korozyonun azaltılması	$SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $Si_3N_4$ , $Cr_2O_3$
Isıl koruma	$ZrO_2$ , $MgAl_2O_4$ , $Ca_2Si_4$ , $MgO$ ,
Elektriksel iletkenlik	$In_2O_3/SnO_2$
Yarı iletkenlik	$Si$ , $As$ , $Ga$
Sensör kullanımı	$SiO_2$ , $ZrO_2$ , $SnO_2$
Elektriksel izolasyon	$SiO_2$
Optik iletme ve yansıtma	$BaF_2/ZnS$ , $CeO_2$ , $CuO/Cu_2O$ , $CdS$

#### 1.4.1. Oksit Seramikler

Mühendislik seramiklerin diğer bir bölümünü kapsayan oksit seramikler alümina ( $Al_2O_3$ ), zirkonya ( $ZrO_2$ ), titanyum oksit ( $TiO_2$ ), magnezyum oksit ( $MgO$ ) gibi seramiklerdir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılması mümkündür ve metal veya metaloit elementlerinin oksijenle yaptıkları bileşiklerdir. İyonik bağla birbirine bağlı olan oksit seramikler, saydamlık, ısı ve elektrik iletimine direnç, dia manyetizma ve kimyasal kararlılık gibi genel özelliklere sahiptir. Aynı zamanda yüksek sertlik, düşük termal genleşme, yüksek elastiklik modülü, gevreklik, refrakterlik ve korozyona karşı dirençlilik sağlarlar. Ek olarak oksit seramikler, sanayide sert aşındırıcı olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

Tablo 1.6. Aşınmaya dayanıklı oksit seramik kaplamaların aşınma özellikleri (Chagnon and Fauchais, 1984)

KAPLAMA MALZEMESİ	ÖZELLİKLERİ
$Al_2O_3$	Çok iyi derecede elektrik direnci, düşük sıcaklıklarda aşınmaya karşı dayanımlı sert ve yoğun olan kaplamalar
$TiO_2$	Yüksek sıcaklık ve aşınmaya karşı dirençli
$Al_2O_3- TiO_2$	Korozif, kavitasyon, abrasiv, erozif ve oksidasyon gibi etkenlere karşı dayanıklı
$Cr_2O_3$	Abrasiv, korozyon, oksidasyon aşınma türlerine dirençli, düzgün şekilli yüzeye sahip sert olan kaplamalar
$MgZrO_3$	Yüksek sıcaklıklardaki abrasiv aşınmaya, termal şoklara ve ergitilmiş metal erozyonuna karşı yüksek dirençli

## 1.4.2. Oksit Olmayan Seramikler (Karbürler)

### 1.4.2.1. Silisyum Karbür (SiC)

Suni bir malzeme olan ve güçlü kovalent bağ yapısına ait SiC (silisyum karbür) 1891 yılında Acheson tarafından tesadüfi olarak sentezleme işlemi gerçekleştirmiştir. Korozyona karşı yüksek direnç sağlamaktadır. Ayrıca  $Al_2O_3$  seramik malzemesinden ısıya daha dayanıklı ve daha serttir. Bundan dolayı genellikle en etkili aşındırıcılardan biri ve hem de refrakter malzeme olarak kullanımı vardır. SiC malzemesi çok sert ve aynı zamanda aşındırıcı bir malzeme olduğu için yüksek sürünme mukavemetine sahiptir. Erozyon ve kimyasal etkileşimlere karşı çok iyi derecede bir direnç sergiler. Ek olarak; mükemmel derecede termal şok dayanımına sahiptir. Demir-çelik imalatında metalürjik bakımından katkı elemanı olarak kullanıma sahiptir.

Silisyum karbürün kullanım yerleri;

-Genelde çubuk ve tüp biçimindeki malzemeler ve elektrikli fırınlarda refrakter malzemesi olarak kullanımı vardır.

-Alaşım malzemesi, deoksidasyon ve aşındırıcı olarak,

-Kaymalı yatak imalatında,



-Dökme demirin ergimesi esnasında SiC katkısıyla karbürizasyon ve silikanizasyon işlemlerine yardımcı olur. Ayrıca çekirdeklenme görevini yaparak dökme demirin özelliğini artırıcı yönde etki yaparak (Toplan, 2008).

Tablo 1.7. SiC bileşiğinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Özel, 2009)

Elastiklik Modülü	235-290 (GPa)
Sertlik	2900-3100
Poisson Oranı	0,14
Tokluk	4,6
Isı iletim katsayısı	3,6-4,9
Yoğunluk	3,2 (gr/cm <sup>3</sup> )
Ergime derecesi	3103 (K)

#### 1.4.2.2. Bor Karbür (B<sub>4</sub>C)

Bor karbür, yüksek elastiklik modülü, yüksek sertlik, yüksek ergime sıcaklığı, mükemmel termal kararlılık, çok iyi derecede kimyasal kararlılık, çok iyi korozyon direnci, düşük yoğunluk gibi mekaniksel ve kimyasal özelliklere sahip seramik bir malzemedir. Bu bakımdan bor karbür seramik malzemesi mühendisliğin pek çok geniş yelpazesinde tercih edilmektedir (Toplan, 2008).

Elmas ve kübik bor nitrür malzemesinden sonra gelen en sert üçüncü malzeme olarak bor karbür bu özelliği nedeniyle seramik ve metallerin parlatılmasında ve düzeltilmesinde aşındırıcı toz olarak kullanılır. Yapılan birçok literatür araştırmasında belirtilen sertlik aralığı 2000-7800 HV arasında değişiklik göstermiştir. Bunun yanı sıra bor karbür tozu için kabul edilen Vickers sertliği 3200 HV sertlik ölçüsüdür (Karabaş, 2006).

Yüksek sertlikten kaynaklı bor karbür yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Ayrıca üstün mekanik özelliklere sahiptir. Önemli olarak mukavemet-yoğunluk oranı incelendiğinde B<sub>4</sub>C istenilen bir malzemedir. Saf halde bulunan bor karbür kristal taneleri metalik gri ve parlak renkte bulunur. Mikro yapı içerisindeki kristal yapılar atomların kuvvetli kovalent bağlarla birbirlerine bağlı olmasından dolayı yüksek mukavemetin bir belirtisidir.

Bor karbüre ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler, Tablo 1.8’de gösterilmektedir (Sarıkaya, 2003; Mori, 2008).

Tablo 1.8. B<sub>4</sub>C bileşiminin fiziksel ve mekanik özellikleri (Özel, 2009)

Elastiklik Modülü	306-460 (GPa)
Sertlik	3200 (HV)
Poisson Oranı	0,14-0,22
Tokluk	2,9-3,7
Isı iletim katsayısı	2 (W/mK)
Yoğunluk	2,5-2,52 (gr/cm <sup>3</sup> )

Bor karbürün kullanım alanları;

- Savunma sanayisinde zırh malzemesi olarak,
- Aşınmaya dirençli makine parçalarının imalatında,
- Yüksek sertlikten dolayı metalürji alanında aşındırıcı toz olarak,
- Hafif olmasından kaynaklı askeri araç parça üretiminde,
- Bor karbür genellikle en yaygın kullanım yeri olarak nükleer enerji santralleridir. Öyle ki radyasyonun etkilerinden korunmak ve yakıt yükleme araçları olarak kullanılmasıdır (Sarıkaya, 2003).

#### 1.4.2.3. Krom Karbür (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)

Krom karbür, ortorombik kristal yapısından dolayı gri renge yakın bir görünümü vardır. Refrakter ve sert bir seramik malzemedir. Genelde sinterleme işlemi yapılır. Yapı içerisinde iki farklı formda bulunur. Bunlar; Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> şeklindedir. Krom karbür yaygın olarak aşınma ve korozyona karşı dayanıklı, malzeme yüzeyin sert olması ve ısı püskürtme malzemesi olarak tercih edilir. Oksitlenme olmadığı sırada ve yüksek sıcaklıklarda krom karbür (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) korozyon direnci artış sağlamaktadır. Contalar, mil yatakları ve vana gibi kullanım alanlarında vanadyum karbür bileşiği ile kullandıkları zaman ve diğer sinterlenmiş karbürlerle beraber kaplama işlemleri yapılmaktadır (Özel, 2009).

## **1.5. Kaplama Yöntemleri**

### **1.5.1. Kaplama Tanımı ve İşlemi**

Yüzey kaplama işlemi malzemelerin yüzeylerinde değişiklik yaparak malzemenin yapısında, görünümünde, iyileştirilmesinde ve geliştirilmesinde gibi birçok avantaj sağlar. Malzemenin kaplanması için sol-jel, buhar biriktirme, elektrolitik metotlar ve birçok ergitme işlemleri ile malzeme yüzeyinde kaplama yapılmasıdır. Malzeme yüzeyi kaplandıktan sonra tribolojik olaylara karşı daha dayanıklı olması için örneğin; aşınma direnci, korozyon direnci, sürtünme, sertlik vb. etkenler için daha dirençli ve iyi bir tabaka elde etmektir. Kaplama yapılmasının amacı malzeme özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmektir. Kaplama işlemleri diğer yüzey sertleştirme işlemlerinin malzemenin özelliklerini iyileştirmede ve geliştirmede tam olarak yeterli olmadıkları için daha gelişmiş yöntemler araştırılmıştır. Birçok farklı kaplama işlemleri ile oluşturulan yüzeyler aşınma dayanımına daha dayanıklı ve bunun yanı sıra başka mühendislik özellikleri için de iyileştirme ve geliştirme sağlamaktadır (Ulutan, 2007).

Bu yöntemler aşağıda sınıflandırılmıştır;

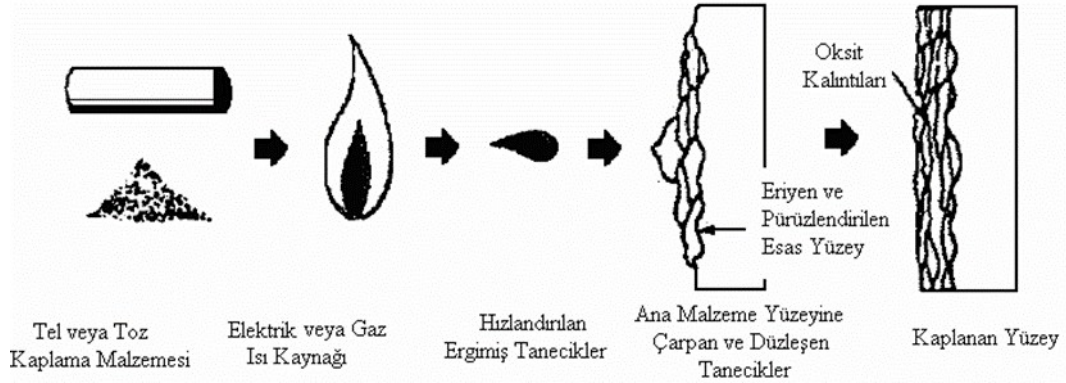
- 1-Buhar Fazı Yöntemleri,
- 2-Sol-Jel Yöntemi,
- 3-Kaplama ve Anotlama Yöntemleri (Elektrolitik Kaplama),
- 4-Ergitme Yöntemleri'dir.

### **1.5.2. Ergimiş veya Yan Ergimiş Fazdan Kaplama**

#### **1.5.2.1. Isıl Püskürtme (Termal Sprey)**

Kaplama malzemesi olarak toz, çubuk veya tel şeklinde olabilmektedir. Isıl püskürtme yönteminde kullanılan tabanca, kaplama malzemesini eritmek amacıyla ihtiyaç duyulan sıcaklığı yanıcı gazlarla, elektrik arkı ya da plazma arkı ile oluşturulur (Hutchings, 1992). Yüzeyi kaplanacak olan malzemenin ergiyen kaplama yüzeyinde malzemenin soğuk olan bölümüne püskürtme işlemi yapılır. Malzeme yüzeyine çarpan partikül taneleri düzleşir

ve ana metale ısı geçişi ile soğuyarak katılaşma işlemi gerçekleştirip ve birbirleriyle temas halinde olup kaplama yüzeyinde tabaka oluştururlar (Howes, 1994).



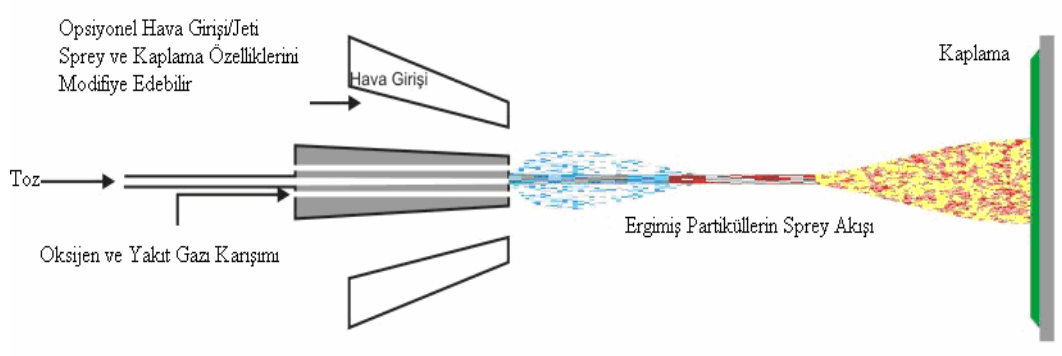
Şekil 1.1. Isıl püskürtmenin işlem sırası (Howes, 1994)

### 1.5.2.2. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme

Oksi-yakıt püskürtme işleminin yüksek hıza sahip olmasından kaynaklı yüksek gaz hızı oluşturmak için, 0,75 MPa gibi üst basınçlarda, hidrojen ya da propan gibi yanıcı gazların patlatılması sonucu partiküllerin iş malzemesine doğru bir şekilde yüksek hız seviyelerinde gönderilmesi esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla partiküllerin kinetik enerjileriyle plazmanın ısı enerjisinin yer değişimi sonucunda kuvvetli bir şekilde bağlayıcı ve yoğunluğu iyi olan kaplamaların üretimi sağlanmaktadır. Isıya dayanıklı metallere; molibden gibi ve yüksek ergime noktalı seramik malzemeler HVOF metoduyla püskürtme işlemi gerçekleştirilmektedir (Howes, 1994; Bach et al., 2000).

HVOF yöntemiyle kaplamanın olumlu ve olumsuz yanları:

- Partikül zerreciklerinin yanma alanındaki yüksek türbülans etkisiyle birlikte ve partikül sıcaklığı uygun bir seviyede olmaktadır.
- Partiküllerin yüksek hızları sebebiyle uçuş sırasında soğuma zamanı daha kısa hale gelir.
- Tabanca kısmından ayrılan partiküller ve jet, nemli havayla karışımı başka yöntemlere kıyasla daha azdır.



Şekil 1.2. Yatay toz enjeksiyonlu plazma püskürtme yöntemi (Salman vd., 2006)

### 1.5.3. Ergitme Yöntemleri

Kaynak işlemi, aynı ya da benzer türden en az iki malzemenin ısı, basınç veya farklı olarak hem ısı hem de basınç kullanılarak katkı bir malzemenin ilave edilip ya da edilmeden uygulanan birleştirme yöntemidir. Bölgesel olarak bir döküm işlemi olarak da tarif edilebilir. Günümüze kadar pek çok farklı kaynak türleri uygulanıp geliştirilmiştir (Buytoz, 2004). Yüzey dayanımı bakımından kullanım alanlarına bağlı olarak; tel veya toz püskürtme işlemi yaparak, krom kaplama, ince ve sert kaplama, PVD, CVD gibi yöntemlerle kaplama yapmak mümkün olmayabilir. Dolayısıyla ilave metal elektrot aracılığıyla kullanımları gerçekleştirilebilir. Yüzey nüfuziyetini arttırmak için lazer ışını, elektrik ark, tozaltı, gazaltı ve elektron ışını kaynak yöntemleri kullanılmaktadır (Elsawy, 2001; Lathabai et al., 2001; Tusek ve Suban, 2003).

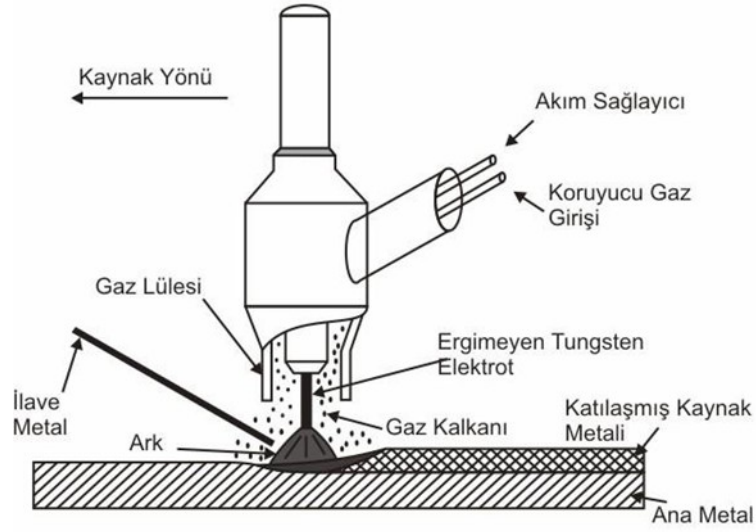
Ergitme işlemleri uygulanarak kaplaması yapılan malzeme ile esas malzemenin mikro yapı bakımından ve mekanik özellikleri açısından daha üstün özellikler sağlayarak kaplama tabakası oluşturmaktadır. Aşınma, korozyon gibi etkenlere karşı kaplama yüzeyinin özellikleri iyileştirilerek geliştirilmesi sağlamak amaçlanmıştır (Wu and Chen, 1999; Korkut vd., 2002). Bu ergitme yöntemleri ile kaplama yapılmasıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu tekniklerin; yüzey kaplama yöntemlerinde verimli ve etkili olduğu anlaşılmıştır.

### 1.5.3.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

Tungsten Inert Gaz (TIG), ergimeyen bir tungsten elektrotla malzeme ile arkın gerekli olan ısı enerjisiyle üretmesi koruyucu gaz olarak da helyum ya da argon gazı kullanılarak yapılan işleme dayanır. Bu yöntemde tungsten elektrot ile herhangi bir şekilde metal aktarımı olmamasından dolayı ark yalnızca ana malzemeyi eritmek için uygulanır. Kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazın görevi ise ark bölgesi ve kaynak dikişinin havayla olan temasını fiziksel ve kimyasal bileşik oluşturmaktan dışarı aktararak dikişi  $N_2$  ve  $O_2$  gazlarının etkenlerinden korumak, kaynak metalinin soğuma hızı gibi ayarlamalarında katkı sağlamak ve ayrıca istenilen ark karakteristiğini ve damla geçişini sağlamaktır. Dikiş nüfuziyeti, dikiş genişliği, dikiş yüksekliği kullanılan malzeme ve tercih edilen koruyucu gaz türüne göre değişiklik göstermektedir. TIG kaynağında argon, helyum gazlarının yanında karışımları da kullanılmaktadır. Bu iki gaz da tek atomlu molekül olup asal gazdırlar. Bu yüzden başka elementlerle birleşimi olmaz. He gazı havadan daha hafifken, Ar gazı havadan daha ağırdır. Bundan dolayı He gazı uçucu özellikte olup düşük koruma kabiliyetine sahiptir, Ar gazı havadan daha ağır olduğu için ergiyik metali koruması daha iyidir. Çoğunlukla AC (alternatif akım) alüminyum alaşımları, DC (doğru akım) demir alaşımları için kullanılmaktadır. TIG yöntem manuel ya da otomatik şekilde kaplaması yapılmaktadır.

TIG ile kaplama yöntemi, uygun bileşime sahip alaşım toz ya da karışımların malzeme yüzeyinde ergitilmesi işlemine dayanmaktadır. Ergime iş parçası yüzeyinde hızlı bir şekilde katılaşarak modifikasyonu yapılan kaplama malzemesi ile esas malzeme ile metalürjik olarak birbirlerine bağlanırlar (Korkut vd., 2002; Buytoz vd., 2005).

Katılaşma fazı hızlı bir şekilde olduğundan dolayı ince tanecikli mikroyapılar sert karbür fazlarını yapılarında bulundururlar ve oluşan yeni yapılar ile malzeme yüzeyindeki özelliklerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amaçlanır. TIG kaplama ile aşınan yüzeyler yeniden oluşturulup ve pek çok farklı katkılarla malzeme yüzeylerin daha dayanımlı hale gelmesi mümkün olur.



Şekil 1.3. TIG kaynağının şematik resmi (Buytoz, 2004)

TIG Kaplamanın avantajları;

- En önemli özelliği; ısı girdisinin eriyen ark kaynak miktarının birbirinden bağımsız oluşu ve bundan dolayı çok ince iş parçalarına kolay kullanım sağlamakta
- Düşük maliyetli oluşu,
- Pratik bir şekilde uygulanabilirliği,
- Atmosferik koşullarda kolay bir şekilde yapılması
- Küçük alanlara ve delikli yapılarda uygulanması mümkün,
- Üstün kaliteye sahip kaplamalar elde edilir,

TIG Kaplamanın dezavantajları;

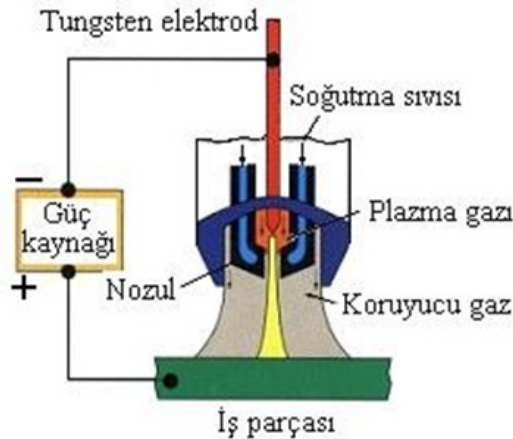
- Yöntemin yavaş ilerlemesi ve geniş yüzeylerin kaplanmasında yeterli olmaması durumunda kullanımı sınırlıdır,
- Koruyucu gazlarla uygulandığından dolayı ve kullanılan aparatların pahalı oluşu kısıtlı bir çalışma alanına ihtiyaç duyması aynı zamanda yöntemin hassasiyeti kullanım alanlarının dezavantajlarındandır.

### 1.5.3.2. Plazma Ark Kaynağı

İyonlaşmış gaz anlamına gelen plazma yüksek ısıyla birlikte yüklü gaz olarak tarif edilebilir. Plazma elektriksel yönden nötr biçimdedir. Başka bir tarifile plazma; gazı ark bölümünden geçirerek elde edilen iyonlaşmış ışıklı gaz olarak ifade edilmektedir. Plazma ark işlemi TIG kaplamada olduğu gibi malzeme yüzeyinde ve ergimeyen tungsten elektrot parçasıyla ısı ve ark geçişi aktarımıyla metallerin birleşmesi için uygulanan koruyucu gaz vasıtasıyla ark kaynak yöntemiyle bilinmektedir.

Yüksek yönlenme şiddeti uygulamak için ark, bakır alaşımli nozul içinde yerleştirilmektedir. PTA yöntemi plazmanın gaz haldeki maddelerin bir bölümünün iyonlaşarak oluşturulmaktadır. Bu yöntem ilave kaynak metali kullanımı veya kullanılmaksızın uygulama alanlarına sahiptir (Harris, 1993).

Plazma ark kaynak yönteminde kullanılan plazma, arkı oluşturmak için kullanılır. Ayrıca koruyucu gaz da kaynak havuzu esnasında katılaşma hali ve soğuma hali boyunca ortamın kötü etkenlerinden muhafaza etmek için gerekmektedir. Uygulanan gaz önemli bir biçimde kaynak hızını, kaynak kalitesini, kaynak şeklini ve akım aralığını ölçmektedir (Buytoz, 2004).



Şekil 1.4. Plazma arkının şematik görünüşü



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzey kaplama yöntemi son zamanlarda önemi artmaktadır. Malzemelerin istenmeyen etkilere karşı bakımı, tamiri yanında malzemenin uzun ömürlü olmasını ve dayanımını üretim proseslerinde uygulanmaktadır. Yüzey sertleştirme yöntemlerinin geliştirilmesiyle ilgili pek çok çalışma süregelmiştir. Aynı zamanda malzemenin korozyona, aşınmaya, erozyona, abrazyona karşı dayanım sağlaması için birçok farklı kaynak işlemleri ve yüzey kaplama yöntemleri yapılmaktadır. TIG kaynak yöntemi ile kaplama yapılmasındaki en önemli avantajı; düşük maliyetli, pratik bir şekilde uygulanabilirliği, atmosferik ortam şartlarında gerçekleştirilebilmesi ve oluşan kaplama tabakasının yüzeyinin iyi düzeyde olmasıyla arzu edilen bir yöntemdir. Yapılan literatür çalışmalarında, TIG kaynak yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen ve diğer ergitme yöntemleri ile yapılan kaplama çalışmalarının bir bölümü incelenip özet olarak sunulmuştur.

Son zamanlarda ve ileri teknoloji gelişmeler bakımından altlık olarak kullanılan malzeme yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla birçok yöntem uygulanmaktadır. Bundan dolayı malzeme yüzeyine kaplama yapabilmek için kullanılan yöntemler ve bu çalışmalarda dikkat edilen hususlar literatür taramaları eşliğinde genel olarak aşağıda verilmiştir. Literatür araştırmalarından bazılarını bu şekilde sıralamak mümkündür;

Kırık vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada çalışmalarında TIG kaynak işlemiyle WC takviyeli farklı miktarlardaki Co-Cr esaslı tozlarını kullanarak St52 çelik malzeme yüzeyine kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Farklı toz yedirme oranlarına sahip ve karışımın etkilerinden dolayı kaplama tabakasından altlık malzemesine doğru farklı yapılar göstermiştir. Ek olarak çok farklı bölgeler oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaplama tabakasında herhangi bir hasara ve çatlığa rastlanılmamıştır. Sadece kaplama yüzeyinde mikro boşluklar tespit edilmiştir. Bu boşlukların oluşması ise farklı yoğunluktaki ve ısı karaktere sahip tozların katılması sırasında oluşturdukları konsantrasyon farkından

dolayı meydana gelmektedir. Ayrıca kaplama yüzeyinde WC tozlarının düzensiz bir şekilde yayıldığı ve ötektik yapılar ve dentritik fazların olduğu gözlemlenmiştir.

Buytoz vd. (2009), AISI 4140 altlık malzeme yüzeyi gaz tungsten ark (GTA) yöntemi kullanarak SiC ve C tozları ile kaplama işlemi yapılmıştır. SEM görüntüleri incelemesinde Kaplama katmanında belli bölgelerde dentritik yapıların yanında yerleşen ve tamamen çözünmeyen az miktarda olsa da metal karbür içeriğine sahip Fe-Cr-Si içeren ince grafit tanelerin varlığı tespit edilmiştir. Toz yedirme oranı ile enerji girdi parametresinin artırıldığı zaman kaplama yüzeyinden esas malzemeye doğru Si ile C elementlerinin düşük toz yedirme ve düşük enerji girdisi numunelere karşın daha fazla dağılım sergilediği ve yayıldığı ara yüzey bölgesinde yapısal değişikliklere yol açtığı göze çarpmaktadır. Kaplanan malzemelerde üretim parametrelerinin değiştirilmesiyle ve farklı toz yedirme miktarlarıyla mikroyapılarında farklı biçim ve oranlarda faz ve karbürlere rastlanıldığını dile getirmişlerdir. XRD sonuçlarında da  $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ,  $Fe_2C$ ,  $Fe_3C$ ,  $Fe_7C_3$ , karbürleriyle birlikte ferrit, dentritik, perlit ve martenzit yapılarıdır.

Buytoz vd. (2005) yaptıkları çalışmada AISI 4340 çelik malzeme yüzeyine tungsten asal gaz (TIG) yöntemi kullanarak WC tozuyla yüzey modifikasyon işlemi amaçlamışlardır. Farklı toz yedirme ve enerji girdisine sahip WC toz karışımı malzemelerinde farklı fazlar oluşmuştur. Bu fazlar; üretim hızının düşük olmasıyla birlikte yüksek enerji girdisinin etkisiyle düzenli bir biçimde yayılan  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$ ,  $Fe_3W_3C$ ,  $W_2C$  ve karbürleriyle beraber  $\gamma$ -FeCrNiW fazlarıdır. Kaplama yapılan yüzeyde mikro yapıda görülen karbürülü yapıların görüldüğü ve dentritik yapıların bazı noktalarda yoğun bir şekilde olduğu tespit edilmiştir. Karbürülü bölgelerde ötektik üstü fazların hâkim olduğu ve W elementince zengin fazlar oluşturduğunu dile getirmişlerdir.

Buytoz vd. (2005), AISI 4340 çelik malzeme yüzeyine gaz tungsten ark metoduyla Fe-Cr-C tozlarıyla kaplama işlemiyle birlikte mikroyapı ve mikrosertlik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan incelemede; işleme parametrelerine bağlı olarak ötektik altı ve ötektik üstü yapıların varlığının mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik malzemede farklı konsantrasyon özelliğine sahip karbürülü yapıların tespiti yapıldığı ve mikroyapı içerisinde ara yüzey bölgesinde yoğun olarak bulduklarını dile getirmişlerdir. Ötektik fazlarda  $M_7C_3$  karbürülü yapıların olduğu ve alaşım elementleri olarak C ve Cr konsantrasyonundan etkilendiklerini belirtmişlerdir.

Kaplama bölgesinin dört farklı esas bölgeden meydana geldiğini dile getirmişlerdir. Bu bölgeleri kaplama bölgesi, geçiş bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge (ITAB) ve esas malzeme olarak adlandırmışlardır. Mikroyapı açısından kaplamaları incelediklerinde herhangi makro ve mikro boyutunda çatlak ve gözenekli yapıya rastlamamışlardır. Fe-Cr-C tozuyla AISI 4340 çelik malzemeye başarılı bir şekilde kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Ni bazlı WC tozu takviyeli lazer indüksiyon hibrit hızlı kaplama yöntemi ile A3 yumuşak çelik yüzeyine kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. NiBCrSi-WC takviyeli tozun mikro yapı içerisinde kaplama bölgesinde dentritik, ötektik, hücresel kristal ötektik fazları meydana gelmiştir. Lazer kaplama tekniğinden dolayı ısı etkisinden maruz kalınan WC parçacıklarının çözünmesi nedeniyle çökelen karbürler yapı içerisinde oluşmuşlardır. Bu karbürler; bloklu yapıda, çubuk benzeri biçiminde ve beyaz parçacık şeklinde görülmektedir. Düşük lazer tarama hızı için, bloklu karbürler, yani  $W_2C$  ve  $Fe_3W_3C$  ve çubuk benzeri karbürler, yani  $(W, Cr, Ni)_{23}C_6$ , kompozit kaplamada çökeler. Artan lazer tarama hızı ile WC partiküllerinin çözünmesi azalır, sadece bloklu karbürler çökeler ve  $W_2C+W_6C_{2.54}$  olarak tanımlanır. LIHRC tarafından Ni esaslı WC kompozit kaplamaların mikro sertliği, artan lazer tarama hızı ile artmaktadır (Zhou et al., 2008).

Buytoz (2006), Tungsten inert gaz ark işlemi (TIG) parametrelerinin silisyum karbür kaplamaların mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırmıştır. Kaplamalar, bir SAE 1020 çelik alt tabaka üzerinde TIG işlemiyle geliştirilmiştir. İşleme parametrelerine (örneğin, ısı girdisi, toz içeriği ve işlem hızı) bağlı olarak, işlem sırasında tamamen çözünen silisyum karbür partikülleri ve farklı mikro yapılar üretilmiştir. Daha düşük toz içeriklerinde mikro yapılar dendritlerden oluşmuştur. Ancak yüksek toz içeriklerinde mikro yapılar  $M_7C_3$  birincil karbürler,  $Fe_3Si$ , SiC fazları ve grafit karbon çökeltileri meydana gelmiştir.

Buytoz ve Ulutan (2006), SiC takviyeli MMC yüzeyinin AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde TIG kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyon işlemini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada; çelik yüzeyine farklı toz yedirme oranlarına sahip SiC takviye tozları ile kaplama işlemi yapılmıştır. Düşük toz içeriklerinde mikro yapılar dendritlerden oluşmuştur. Bununla birlikte, yüksek toz içeriklerinde  $M_7C_3$  birincil karbürler açığa çıkmıştır. Dentritik yapının sertliği 550 HV ve 750 HV aralığındadır. Ancak ötektik üstü

yapıların sertliği 890 HV ile 1210 HV aralığındadır. SiC tozlarının yapı içerisinde çözündüğünü ve yapıda herhangi bir çatlak ve hasar tespit etmemişlerdir. Kaplama bölgesi altlık tabaka, geçiş bölgesi ve kaplama yüzeyinden oluşmuştur.

Özel vd. (2008) bu çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çelik yüzeyine NiTi toz karışımı plazma transferli ark (PTA) prosesi ile kaplama işlemi yapılmıştır. Farklı plazma arkı 80-90-100 amper akım yoğunluğuyla işlem yapılmıştır. Kaplama kalınlığı akım yoğunluğu ile artmıştır. Akım arttırıldığında kaplama tabakasının NiTi bileşik oranı azalmıştır. Akım yoğunluğu nedeniyle artan ısı girdisi ile sertlik azalmıştır. NiTi fazı, kaplama tabakasındaki ana fazdır. Kaplama tabakasında  $Cr_2Fe_7Ni$ ,  $Fe_7Cr_2Ni$  ve  $Ni_3Ti$  gibi ikincil fazlar oluşmuştur. Kaplama mikro yapılarının tamamen dendritik ve interdendritik olarak kaplanması gösterilmiştir. Kaplama sırasında dört farklı bölge meydana gelmiştir: kaplama tabakası, ara yüz bölgesi, ısıdan etkilenen bölge (HAZ) ve substrat olarak adlandırılmıştır. Hem kaplama tabakasında hem de ara yüzde hiçbir çatlak veya gözeneğe rastlanılmamıştır.

Plazma püskürtme yöntemi ile modifikasyon işlemi gerçekleştirilen NiCrBSi/WC-Ni tozlarının kaplamaların mikro yapıları, element dağılımı, faz kompozisyonu, gözeneklik ve mikrosertlikleri dahil olmak üzere özellikleri analiz edilmiştir. Püskürtülen parçacıklar tamamen düzleştirilip ve lamine edilmiştir. Beyaz WC-Ni partikülleri, NiCrBSi/WC-Ni kompozit kaplamada homojen olarak dağılmıştır ve  $W_2C/WC$  fazları diğer fazlar tarafından iyi bir şekilde ıslatılabilmektedir. Ancak soğuma esnasında eriyen partiküllerin düzensiz büzülmesi nedeniyle büzülme delikleri oluşmuştur. Enine katmanlar arası çatlaklar, kaplama yüzeyinden 200  $\mu m$ 'lik bir aralık içinde dağılmıştır. Deney sonuçları, NiCrBSi/WC-Ni kompozit kaplamanın tipik bir katmanlı yapı sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, eşit olarak dağılmış  $W_2C/WC$  fazlar, diğer fazlar tarafından iyice ıslatılmıştır. WC ve  $W_2C$  fazlarına ek olarak, NiCrBSi/WC-Ni kompozit kaplama esas olarak  $\gamma-Ni$ ,  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $FeNi_3$ ,  $Ni_3Si$ , CrB ve NiC'den oluşmuştur (Zhang et al., 2015).

Bu çalışmada NiCrBSi-TiN kompozit kaplamalar, NiCrBSi ve Ti tozlarının plazma püskürtmesi ve ardından indüksiyonla yeniden ergitme ile elde edilmiştir. Püskürtülmüş NiCrBSi-TiN (ASN) ve indüksiyonla yeniden eritilmiş NiCrBSi-TiN (RMN) kompozit kaplamaların aşınma direnci ve erozyon direnci, sırasıyla bir halka üzerinde blok tribo

test cihazı ve katı parçacık erozyon konfigürasyonu kullanılarak test edilmiştir. Temel bulgular, indüksiyonla yeniden eritmenin, gözenekler ve mikro çatlaklar gibi kusurları ortadan kaldırarak ve lameller arası yapışmayı geliştirerek NiCrBSi-TiN kompozit kaplamaların mikro yapısını değiştirdiğini göstermektedir. Yeniden eritilmiş kaplama ile metalurjik bağlarla bağlanan metal substrat arasında yaklaşık 12 µm kalınlığında bir geçiş tabakası oluşturulmuştur. RMN kaplamalar, ASN kaplamalara kıyasla daha iyi erozyon ve aşınma direnci sergilemiş ve daha kararlı bir sürtünme davranışı sergilemiştir. Püskürtme işleminde oluşan fazlar  $\gamma$ -Ni, FeNi<sub>3</sub>, Cr<sub>1.12</sub>Ni<sub>2.88</sub> ve TiN İndüksiyonla ergitilmiş kaplamadaki fazlar Fe<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>, TiN olmuştur (Chen et al., 2018).

Bu çalışmada, ağırlıkça %10, 20, 30 ve %40 TiC içeren Stellite 6/TiC partikül kompoziti, tungsten inert gaz (TIG) işlemi kullanılarak karbon çeliği altlık üzerine kaplanmıştır. Kaplama katmanlarının mikroyapısı, faz diyagramı, mikrosertliği ve aşınma direnci farklı incelemeler kullanılarak incelenmiştir. Bulgulara göre, Stellite 6/TiC kaplamanın mikro yapısı ötektik yapı, Co katı çözeltili matrisi ve birincil TiC parçacıklarından oluşmaktadır. X-ışını kırınım (XRD) analizi, kobaltın iki allotropik yapısının (Co-FCC ve Co- HCP), bir kısmı Co ve Ti'nin intermetalikliğinin ve kaplamada bazı karbür türlerinin varlığını ortaya çıkardı; bunlar, kaplamanın aşınma direncini artıran güçlü ara yüzey bağının nedenidir. Karbon çeliği alt tabaka ile karşılaştırıldığında, Stellite 6 ve Stellite 6/TiC parçacıklı kompozit kaplama, sırasıyla sertliği ve aşınma direncini 2–3,5 kat ve 2–12 kat artırdı. Daha fazla TiC içeriği ile sertlik ve aşınma direncinde daha fazla iyileşme elde edildi (Shahroozi et al., 2018).

Bu çalışma, 4Cr5MoSiV1 (AISI H13) çeliğinin TIG (tungsten inert gaz) yeniden eritme işlemi yoluyla yüzey modifikasyonunu amaçlamaktadır. TIG yeniden eritme işlemi, Argon koruması altında 250 A kaynak akımı ve 120 mm/dk kaynak hızı (3.0 mm elektrot çapı) gibi ana parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 4Cr5MoSiV1 çeliğinin yüzeyinde TIG yeniden eritildikten sonra, vücut merkezli kübikten (BCC) yüzey merkezli kübik (FCC) faz geçişi meydana gelmiştir ve tane sınırları boyunca büyük miktarda Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> çökeltisi oluşarak, bu da ötektik yapılarla sonuçlanmıştır. Sonuç olarak, TIG yeniden eritme tabakasının modifiye edilmiş yüzeyi, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> ile tane sınırları ile ilgili olarak orijinal çeliğe göre daha iyi korozyon direncine sahiptir. Ayrıca, TIG yeniden eritme tabakasının mikrosertliği büyük ölçüde arttırılmıştır, bu da daha düşük sürtünme katsayısına ve daha

iyi aşınma direncine yol açmıştır. Çalışmada, faz geçişi, çökeltme ve tane sınırının değişmesi de dahil olmak üzere, yenilikçi uygulamalarını geliştirebilen TIG yeniden eritilmiş 4Cr5MoSiV1 çeliğin performansını büyük ölçüde iyileştirmiştir (Zhu et al., 2021).

Bu çalışmada S235JR yumuşak çelik yüzeyine NiCrBSi ve NiCrBSi-WC ilaveli karışımı tozları kullanarak Alev püskürtme yöntemi ile yüzey modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir numune grubu NiCrBSi toz alaşımı ile ve diğer bir numune grubu NiCrBSi-WC tozu ile kaplanmıştır. NiCrBSi kaplama yüzeyinde püskürtme işlemi esnasında tozların yapı içerisinde büyük çoğunluğunun yayıldığını ve çözündüklerini belirtmişlerdir. Ni katı çözelti matrisi içinde dağılan küçük parçacıklar, biriktirme sırasında oluşan borürler ve karbürler oluşmuştur. Ni, Ni<sub>3</sub>B, CrB ve Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> fazları meydana gelmiştir. NiCrBSi-WC kaplama Ni katı çözelti matrisi (koyu gri) ve takviye olarak bilinen ikinci bir faz olan WC (açık gri) partiküllerinden oluşmaktadır. WC parçacıkları Ni katı çözelti matrisinde homojen olarak iyi bir biçimde dağılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinde; yumuşak çelik 279HV, NiCrBSi 823HV NiCrBSi-WC ise 1187HV ölçülmüştür (Rachidi et al., 2019).

Sahoo ve Masanta (2017), AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine TiC-Ni ilaveli toz karışımıyla TIG metoduyla yüzey modifikasyon işlemini amaçlamışlardır. Ni tozunun dahil edilmesiyle birlikte TiC partikülleri ve çelik matris arasında geliştirilmiş bağ ile sert ve aşınmaya dirençli bir kompozit kaplama elde edilmiştir. Kaplamada TiC ve bir miktar Ni ve Ti intermetalikliğinin varlığını ortaya çıkarmıştır; bunlar, üstün arayüzey bağından oluştuğunu dolayısıyla kaplamanın daha yüksek aşınma direncinden kaynaklıdır. EDS analizi, Ni'nin kaplama yüzeyinin her yerine eşit olarak dağıldığını ortaya çıkardı. Bu, TiC partikülleri içinde Ni elementin kısmi seyreltilmesinin veya çelik matris ile karışan Ti-Ni intermetalik oluşumunun sonucuna bağlanabilir. Ayrıca, Ni'nin daha yüksek yoğunluğu nedeniyle, bir miktar erimiş nikelin yüksek sıcaklıkta çelik substratta çökmesi veya yayılması mümkündür. Deneysel sonuçlar, TiC-Ni kaplamanın, saf TiC kaplamaya göre nispeten daha yüksek sertlik değeri sergileyen nispeten daha düşük ısı girdisinde (düşük akım) üretmenin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, nikel tozunun ilavesi sert ve aşınmaya dayanıklı TiC-Ni kompozit kaplama başarısı, TIG kaplama işlemi ile AISI 304 paslanmaz çelik alt tabaka üzerine tamamen kaplanmıştır.

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine TIG kaplama tekniği ile Fe-TiB<sub>2</sub> tozu ile kaplaması gerçekleştirilmiştir. TiB<sub>2</sub> takviyeli Fe bazlı metal matris kaplama, TIG kaplama işlemi ile başarıyla üretilmiştir. Kaplama morfolojisi, kaplama ve altlık arasında iyi bir metalurjik bağın geliştiğini göstermiştir. Genel olarak, kaplama özellikleri iyi yönde etki göstermiştir, mikrosertlik alt tabakaya kıyasla 2,66 kat arttı ve düzgün dağılmış (TiB<sub>2</sub>) ve çatlaksız bir kaplama geliştirdi. Modifiye edilmiş enine kesitinde üç farklı bölge tespit edilmiştir; kaplama bölgesi, arayüz bölgesi ve ısıdan etkilenen bölge olarak isimlendirilmiştir. SEM görüntülerinde; alt tabakaya doğru daha yüksek sıcaklık gradyanı nedeniyle arayüz bölgesinde yönlü katılaşmanın meydana geldiğini gösterir; Arayüze yakın mikro yapı daha büyük olasılıkla dendritik veya hüreseldir. Genel olarak kaplama altlık malzeme ile başarılı bir şekilde bağlanmıştır. Kaplamada çatlak ve hasarlı yapıya rastlanılmamıştır. Fakat gözenekli yapı görülmüştür. Bunun sebebi olarak; Reaksiyon sonucu oluşan gaz nedeniyle gözenek oluşumu beklenmiştir (Kumar et al., 2021).

Bu çalışmada, plazma transfer ark işleme (PTA) parametrelerinin bor ve ekabor III mikroyapı üzerindeki etkileri kaplamaları deneysel olarak incelenmiştir. Kaplamalar AISI 316 paslanmaz çelik alt tabaka kullanılarak üretilmiştir. Mikro yapı üzerindeki kaplama etkisini belirlemek için dört farklı akım (160, 165, 170 ve 175A) kullanılmıştır. Mikroyapı çalışmalarında altlık ile kaplama tabakası arasındaki seyreltmenin başarılı olduğu görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde özellikle kaplama tabakasında ve arayüzey bölgesinde yoğun dendritik kolların oluştuğu belirlenmiştir. Oluşan dendritik kollar, kaplama tabakasına dik olarak gelişmiştir. Bulgular; kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ve ısı girdisine farklı kaplamalara bağlı olarak farklı dendritik yapılar belirlenmiştir (Kılıç vd., 2020).

Bu çalışmada; Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtı (HVOF) tekniği ile SAE 1030 çelik yüzeyine NiCrBSi-SiC toz karışımı ilavesi ile yüzey modifikasyon işlemi yapılmıştır. Tozdaki NiCrBSi ve SiC bileşenlerinin karışma derecesinin, kaplamaların faz bileşimi, mikro yapısı ve sertliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Aynı normal yük, hız ve aşınma mesafesinde hem kaplanmamış hem de kaplanmış alt tabakalar üzerinde aşınma testleri yapılmıştır. Kaplanmış alt tabakaların, kaplanmamış alt tabakaya kıyasla

çok iyi bir tribolojik performans sergiledikleri belirlenmiştir. Kaplama mikroyapılarının analizi,  $Ni_4B_3$ ,  $BNi_2$ ,  $BNi_3$ , SiC ve  $Cr_7C_3$  fazlarının düşük yoğunluklu piklerinin varlığını ortaya çıkardı. Ayrıca,  $Cr_3Ni_2Si$ ,  $Cr_{13}Ni_5Si_2$  ve  $CrB_2$ 'ye ait olarak indekslenen çok zayıf pikler tanımlanmıştır. Tüm HVOF kaplamanın sürtünme katsayıları ve aşınma oranı uygulanan numuneler SAE 1030 çeliğinden daha düşüktü. SiC tozu miktarındaki artış, numunelerin sürtünme katsayısını ve aşınma oranını olumlu yönde etkilemiştir (Buytoz vd., 2013).

AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine Fe-Cr-C ve  $B_4C$  toz alaşımının Plazma Ark Tekniği (PTA) ile kaplaması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada; dört farklı akım şiddeti ile kaplama gerçekleştirilmiştir. Kaplama esnasında, ısı girdisini artırarak paslanmaz çelik alt tabakada önemli bir erime elde edilmiştir. Dolayısıyla ergime bölgesinin derinliğinin genel olarak akım değeri arttığında arttığı belirtilmiştir. SEM görüntülerinde Gri altıgen ve şerit benzeri fazlar nispeten Cr, Fe, C ve B açısından zengindir. Genel olarak mikro yapıda dentritik yapı ve ötektik yapılara rastlanılmıştır. Kaplamanın mikroyapısal özelliği, homojen olmayan bir şekilde dağılmış büyük miktarda birincil  $M(=Cr,Fe)_{23}(C,B)_6$  ve  $M(=Cr,Fe)_7(C,B)_3$  karbürleridir.  $\gamma$ -Fe,Ni ötektik matrisi.  $M(=Cr,Fe)_{23}(C,B)_6$  ve  $M(=Cr,Fe)_7(C,B)_3$  karbürleri, bir kaplamadan diğerine farklı morfolojiler, boyutlar ve hacim oranları sunmuştur (Buytoz vd., 2013).



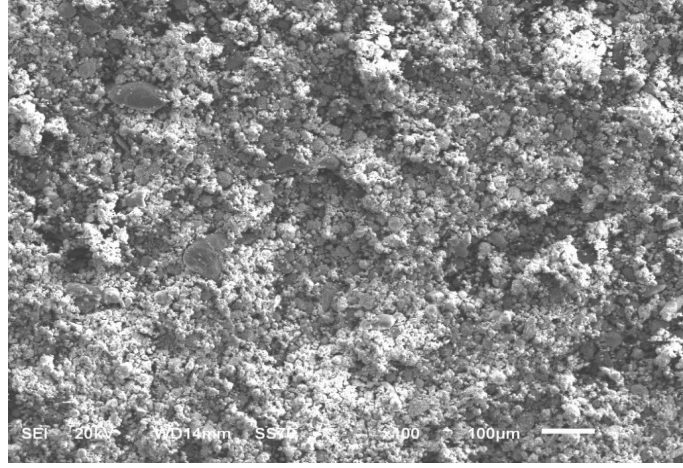
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Tezin Amacı

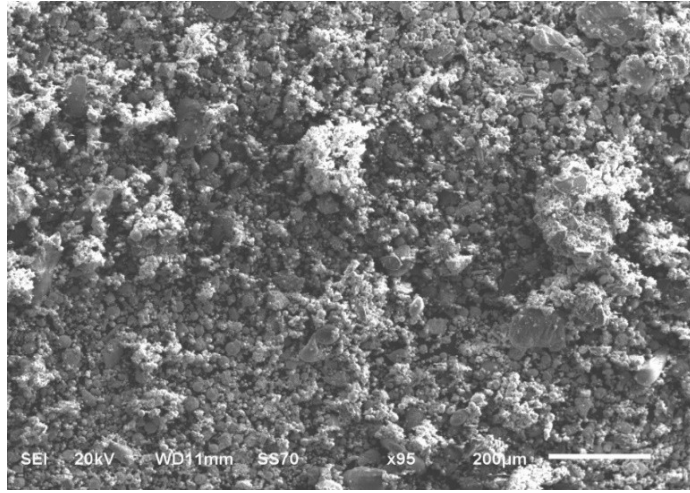
Bu çalışmada AISI 1040 Orta Karbonlu Çelik yüzeyi TIG Kaynak yöntemi ile kaplanmıştır. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kaplama için öncelikle NiCrBAI tozu (ortalama partikül boyutu 40-180  $\mu\text{m}$ ) kullanılmıştır. Deneysel çalışmada iki grup kaplama yapılmıştır. İlk grup olarak NiCrBAI tozuna B<sub>4</sub>C (Bor karbür), ikinci grup kaplamada ise SiC (Silisyum karbür) bileşenlerinin yüzdelik olarak farklı oranlarda kaplaması yapılmıştır. Oluşturulan kaplama yüzeyinde Ni esaslı B<sub>4</sub>C ve SiC seramik takviyeli tozlarının oranının ve üretim değişkenlerinin mikro-yapı ve mekanik özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Kaplanan malzeme ile kaplanma tabakası arasındaki geçişler ve mikro yapısal değişimler Optik mikroskop (OM), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi (EDS) ve X-ışını difraktometre (XRD) işlemleri kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için ise mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve aşınma testleri yapılarak deney parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.

#### 3.2. Kaplama Tozlarının SEM ve EDS Analizleri

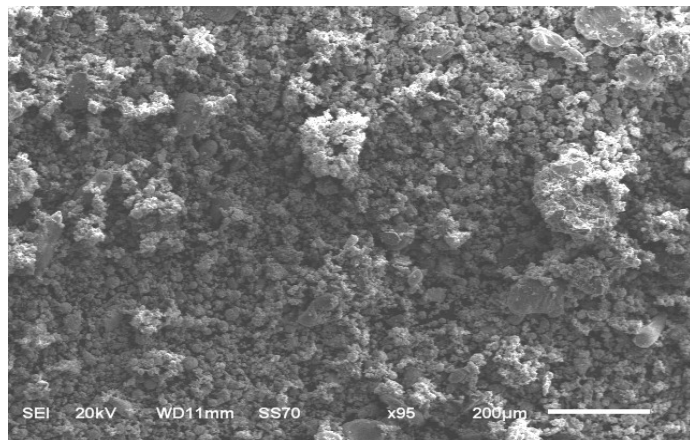
TIG kaplama tekniği kullanılarak kompozit kaplama işlemini gerçekleştirmek için NiCrBAI (ortalama tane boyutu 40-180  $\mu\text{m}$ ), SiC (ortalama tane boyutu ~50-55  $\mu\text{m}$ ) ve B<sub>4</sub>C (ortalama tane boyutu ~45-50  $\mu\text{m}$ ) tozları kaplama işlemi için kullanıldı. Tozlar daha önce belirlenen oranlarda gösterildiği gibi 4 saat sürede seramik bilye ve 85 rpm devirde karıştırıldı. Kaplanan toz karışımlarının SEM ve EDS analizleri Şekil 3.1'de NiCrBAI, Şekil 3.2'de NiCrBAI+SiC, Şekil 3.3'te NiCrBAI+B<sub>4</sub>C sırasıyla verilmiştir.



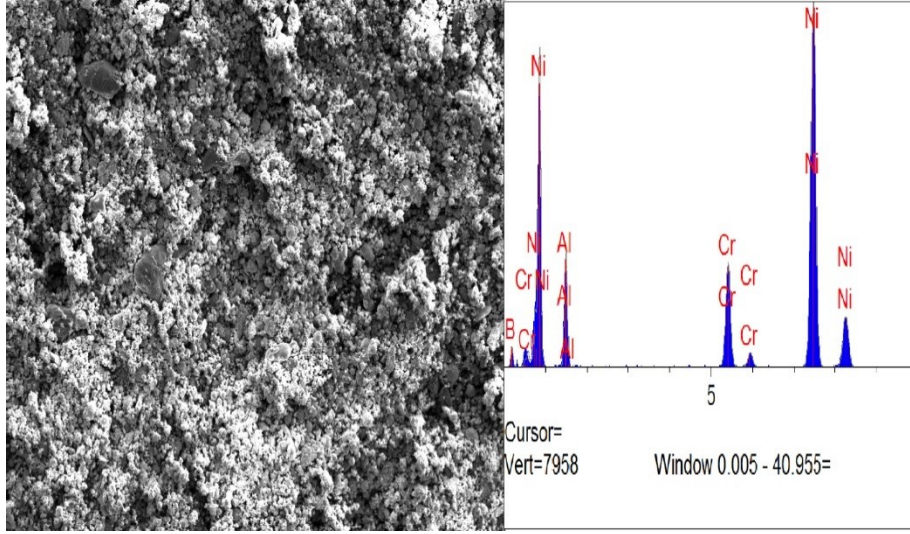
Şekil 3.1. NiCrBAI tozunun SEM görüntüsü



Şekil 3.2. NiCrBAI -SiC tozunun SEM görüntüsü



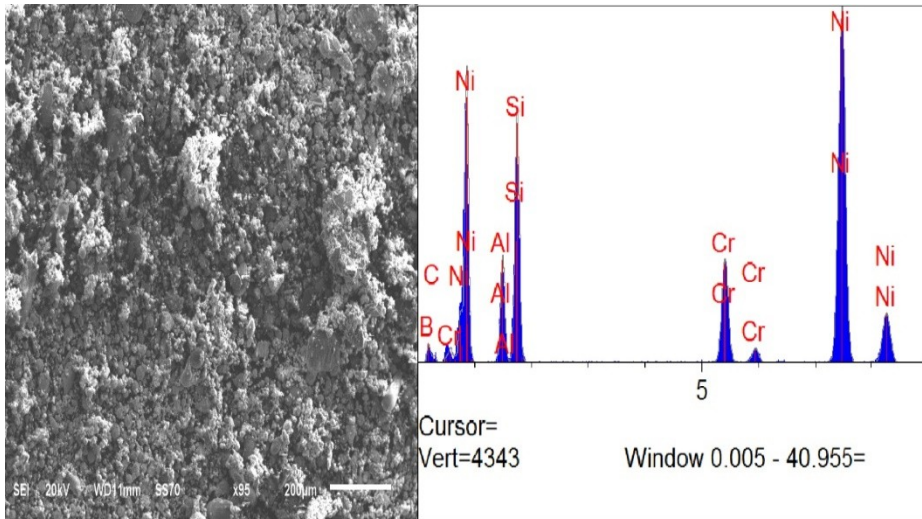
Şekil 3.3. NiCrBAI -B<sub>4</sub>C tozunun SEM görüntüsü



Şekil 3.4. NiCrBAI tozlarının EDS analizi

Tablo 3.1. NiCrBAI tozlarının EDS analiz sonuçları

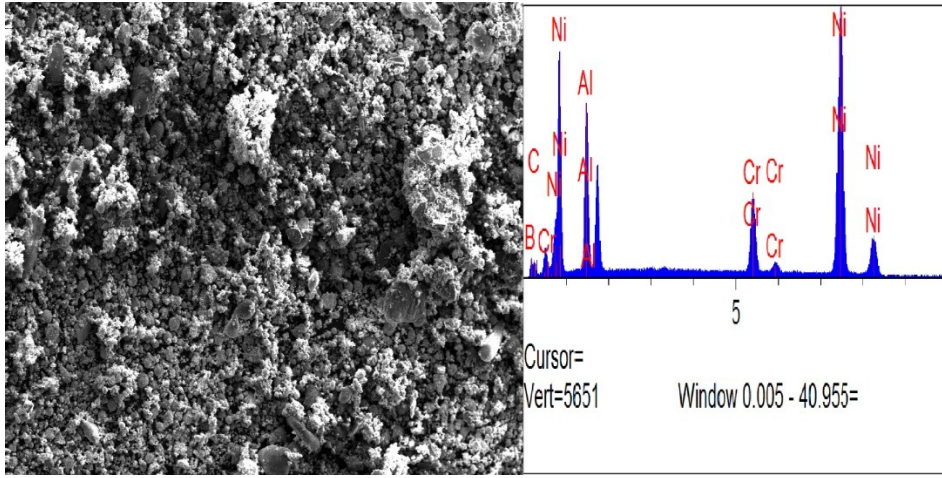
Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	54,02	2,141	0,000	wt.%	
Al	Ka	373,83	5,393	10,736	wt.%	
Cr	Ka	535,46	6,462	9,713	wt.%	
Ni	Ka	2,146,85	12,175	79,552	wt.%	
				100,000	wt.%	Total



Şekil 3.5. NiCrBAI -SiC tozlarının EDS analizi

Tablo 3. 2. NiCrBAI -SiC tozlarının EDS analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	28,65	1,650	0,000	wt.%	
C	Ka	12,92	1,621	3,988	wt.%	
Al	Ka	198,44	3,986	7,418	wt.%	
Si	Ka	491,89	5,953	15,408	wt.%	
Cr	Ka	297,40	4,850	8,424	wt.%	
Ni	Ka	1,168,35	8,996	64,762	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

Şekil 3.6. NiCrBAI -B<sub>4</sub>C tozlarının EDS analiziTablo 3. 3. NiCrBAI -B<sub>4</sub>C tozlarının EDS analiz sonuçları

Elt .	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	7,07	1,157	0,000	wt.%	
C	Ka	28,59	2,262	4,364	wt.%	
Al	Ka	1.174,47	9,192	19,634	wt.%	
Si	Ka	644,28	7,003	10,172	wt.%	
Cr	Ka	627,94	6,953	8,661	wt.%	
Ni	Ka	2.158,80	12,230	57,168	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

### 3.3. Deneysel Çalışma ve Numuneler

Deneysel çalışmada kullanılan AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 3.4'te verilmiştir. Dokuz tane çelik silindir çubuk kullanılmıştır. Hepsinin boyutu 18 mm çapında ve 100,55 mm uzunluğundadır.

Tablo 3. 4. AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşenleri (%)

C (%)	Mn (%)	Fe (%)	Si (%)	S (%)	P (%)
0,427	1,01	97,82	0,252	0,0205	0,0257

Ana toz bileşeni olarak kullanılan NiCrBAI tozundan yaklaşık olarak 25 gr'lık tozlar ölçülmüştür. 25 gr'lık ağırlığında olacak şekilde dokuz ayrı numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin hepsi için geçerli olan Nikel tozu için 21,5 gr, Alüminyum tozu için 1 gr, Bor tozu için 0,5 gr, Krom tozu için ise 2 gr toz eklenip hassas terazide ölçülmüştür. Dokuz tane ayrı ayrı olan NiCrBAI toz karışım kaplarına B<sub>4</sub>C ve SiC tozları %1-%3-%5-%7'lik farklı oranlarda eklenmiştir ve hassas terazide ölçümü yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.5'te de tozların oranları belirtilmiştir.

Tablo 3. 5. NiCrBAI 25 gr ağırlıkça tozunun oranları (gr)

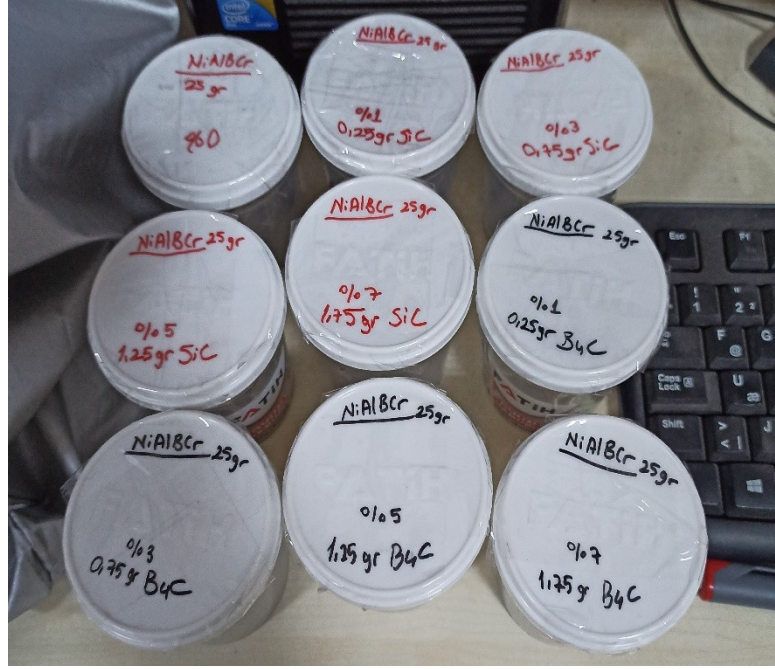
Ni (gr)	Cr (gr)	B (gr)	Al (gr)
21,5	2	0,5	1

Tablo 3. 6. Kaplama için oluşturulan toz karışım oranları

Numuneler	Karışım ağırlıkları
S1 (NiCrBAI)	25 gr
S2 (NiCrBAI) %1 SiC	25+0,25=25,25 gr
S3 (NiCrBAI) %3 SiC	25+0,75=25,75 gr
S4 (NiCrBAI) %5 SiC	25+1,25=26,25 gr
S5 (NiCrBAI) %7 SiC	25+1,75=26,75 gr
B1 (NiCrBAI) %1 B <sub>4</sub> C	25+0,25=25,25 gr
B2 (NiCrBAI) %3 B <sub>4</sub> C	25+0,75=25,75 gr

Tablo 3. 6. (Devam): Kaplama için oluşturulan toz karışım oranları

B3 (NiCrBAI) %5 B <sub>4</sub> C	25+1,25=26,25 gr
B4 (NiCrBAI) %7B <sub>4</sub> C	25+1,75=26,75 gr



Şekil 3.7. Farklı oranlardaki toz karışımların resmi

Numunelere konulan tozların karışımı iyi bir şekilde sağlanabilmesi için her bir kap içerisine bir bilye yerleştirilip konulmuştur. Bingöl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Laboratuvar Merkezinde karışım yapabilmek için aparat yardımıyla kap numuneleri aparata yerleştirilmiştir. Universal torna tezgahında 85 devirde ve 4 saat boyunca karışımı sağlanmıştır. Tozların böylelikle birbirleri içerisindeki nüfuziyeti artırılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.8'de torna tezgahında karışımı sağlanan numuneler gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Torna tezgahında karışımı sağlanan numune tozları

AISI 1040 Çelik silindir malzemeler 18 mm çapında ve 100,55 mm uzunluğundadır. Silindir şeklindeki malzemenin öncelikle universal freze tezgahında 3,75 mm alt ve üst yüzeyinden kabası alınıp parçalara kanal açılabilmesi için düzleştirilmiştir. Karışımı sağlanan tozları yerleştirmek için silindir şeklinde çelik malzemeye 1 mm derinliğinde, 96 mm uzunluğunda universal freze tezgahında kanal açılmıştır. Parçanın yüzey genişliği 15,5 mm ve kalınlığı ise 10,5 mm boyutundadır. Yüzey işlemleri yapıldıktan sonra kir, metal atıkları ve yağdan arındırılması için aseton banyosunda temizlenerek kurutulması sağlanmıştır. Elazığ Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Elyas Makina atölyesinde frezeleme işlemi ile malzeme yüzeylerine kanal açılmıştır.



Şekil 3.9. Freze tezgahında çelik numuneye kanal açılma işlemi



Şekil 3.10. Kanalı açılan çelik numuneler

Çelik malzemelere kanal açıldıktan sonra malzemelerin yüzeyi saf alkol ile temizlenmiştir. Açılan kanallara yüzeyi hacimsel olarak doldurulan tozların hassas terazide ölçümü yapılmıştır. (Hassas terazinin modeli: HR-250A2 marka: AND ve seri no: 6A7700529) Kanalın boyutuna hacimsel olarak ne kadar tozun yerleştirilmesi gerektiğinin ölçümü yapılmıştır. Tablo 3.7’de gösterilmektedir. Kanala konulan tozların yüzeyi fazla tozlardan temizlenmiş olup yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde bir kaşık çubuk yardımıyla düzleştirilmiştir. Etil alkol (etanol) şırınga yardımıyla hacimsel olarak tozla doldurulan kanalın yüzeyine enjekte edilmiştir. Bu sebeple ki tozların birbirine daha kuvvetli bir şekilde yapışması sağlanmıştır. Numuneler kurutma fırınına konulup 200 °C ve 1 saatte kurutulması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemde fırınlamanın yapılmasının sebebi TIG kaynak yapıldığı zaman argon gazı torcun başındaki üfleç ile tozun uçmasına engel olmaktır.








Şekil 3.11. Tozların ölçümü yapılan hassas terazi



Tablo 3. 7. Hacimsel olarak doldurulan tozların ağırlık ölçümleri

Numuneler	AISI 1040 çelik malzemenin yüzeyine açılan kanalın hacimsel olarak doldurulan tozların hassas terazide ölçümü (ağ.)
S1 (NiCrBAI)	3,1265gr toz
S2 (NiCrBAI) %1 SiC	4,2594gr toz
S3 (NiCrBAI) %3 SiC	3,4867gr toz
S4 (NiCrBAI) %5 SiC	3,4804gr toz
S5 (NiCrBAI) %7 SiC	3,6180gr toz
B1 (NiCrBAI) %1 B <sub>4</sub> C	4,1262gr toz
B2 (NiCrBAI) %3 B <sub>4</sub> C	3,4776gr toz
B3 (NiCrBAI) %5 B <sub>4</sub> C	3,8004gr toz
B4 (NiCrBAI) %7 B <sub>4</sub> C	3,2964gr toz

NiAlBCr-SiC	
	S1 (NiAlBCr)
	S2 (NiAlBCr) %1 SiC
	S3 (NiAlBCr) %3 SiC
	S4 (NiAlBCr) %5 SiC
	S5 (NiAlBCr) %7 SiC

Şekil 3.12. S nolu numune tozlarının kanala yerleştirilmesi

NiAlBCr-B <sub>4</sub> C	
	B1 (NiAlBCr)
	B2 (NiAlBCr) %1 B <sub>4</sub> C
	B3 (NiAlBCr) %3 B <sub>4</sub> C
	B4 (NiAlBCr) %5 B <sub>4</sub> C
	B5 (NiAlBCr) %7 B <sub>4</sub> C

Şekil 3.13. B nolu numune tozlarının kanala yerleştirilmesi

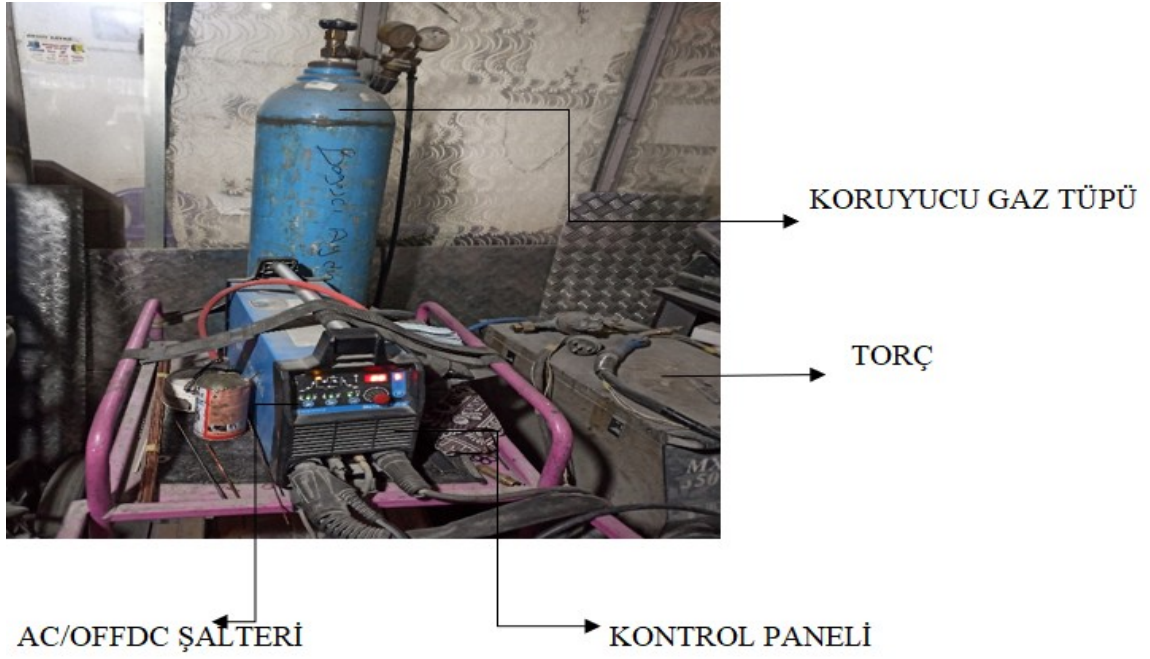


Şekil 3.14. Malzemeye konulan tozların kurutma fırınında kurutulması

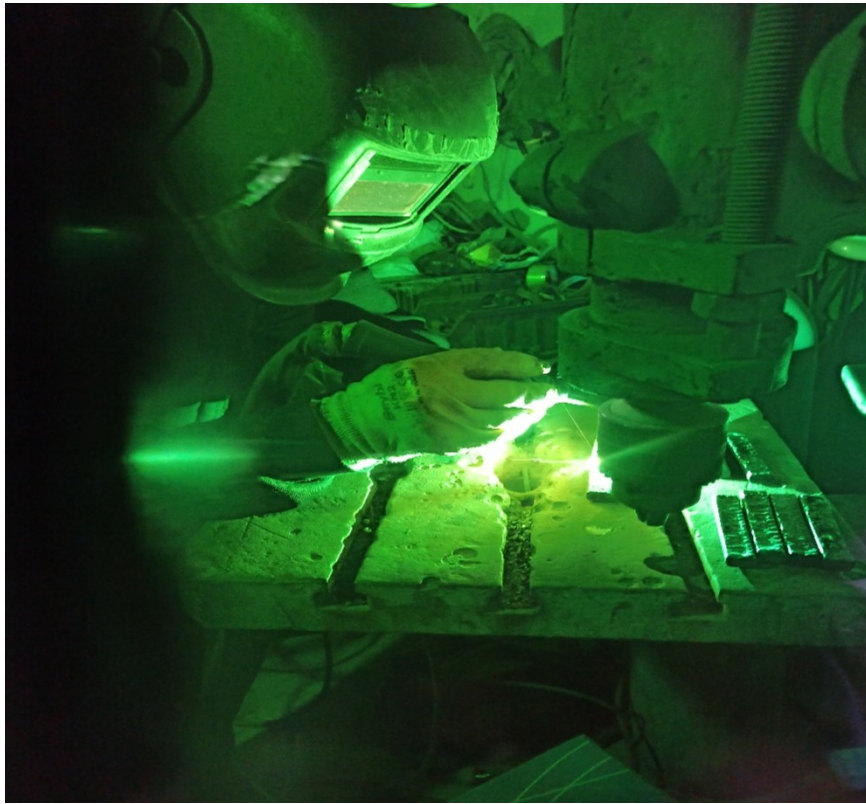
Numuneler fırında kurutulduktan sonra kaplaması yapılması için TIG kaynak yöntemi ile argon gazı kullanılarak çelik malzeme yüzeyinin kaplaması yapılmıştır. TIG kaynağı ile yapılan kaplamalar için gerekli kaynak parametreleri Tablo 3.8’de gösterilmektedir. Bu parametreler kullanılarak tüm malzemeler TIG kaynak yöntemi ile yüzeyleri kaplanmıştır. Şekil 3.15’te TIG kaynak makinesi kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.16’da AISI 1040 çelik malzeme yüzeyine TIG kaynak yapılışı gösterilmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de malzemeye yapılan TIG kaynak yöntemiyle kaplama yapıldıktan sonraki resimleri gösterilmektedir. Bingöl Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Aksoy Kaynak atölyesinde TIG kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.8. TIG kaynak parametreleri

Koruyucu gaz cinsi	Argon
Koruyucu gaz debisi (atm)	6
Akım türü	DC
Torçun ölçüsü (morf)	2.4
İlk Amper	80
Kalkış saniyesi	1sn
Bitiş Amper	80
1.Amperden 2.Ampere geçiş	4sn








Şekil 3.15. TIG kaynak cihazı



Şekil 3.16. TIG kaplama işlemi

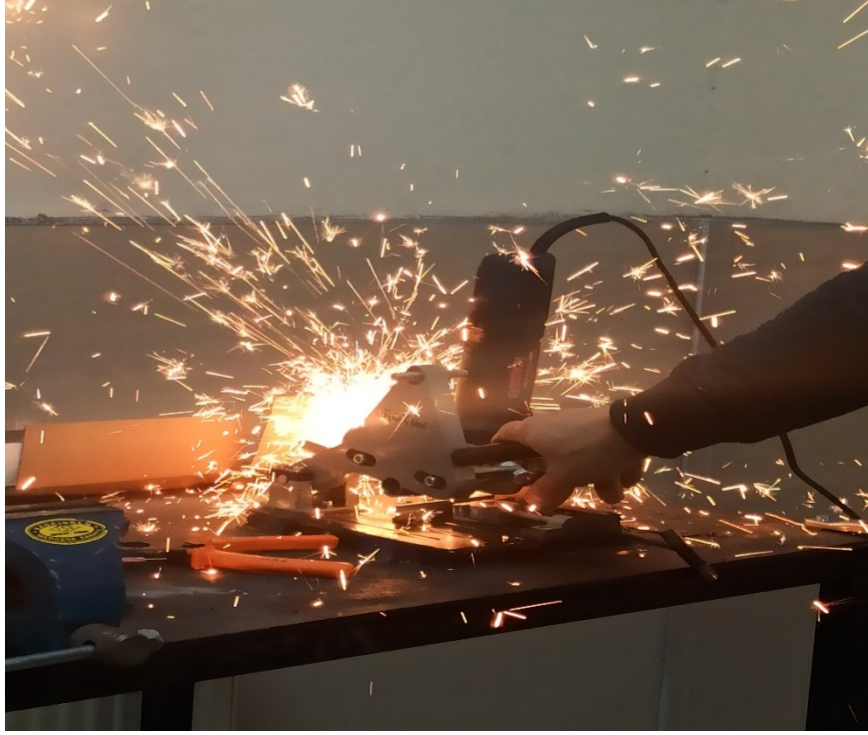
Numune No	Kaplama Tozu
S1 	NiAlBCr
S2 	NiAlBCr %1 SiC
S3 	NiAlBCr %3 SiC
S4 	NiAlBCr %5 SiC
S5 	NiAlBSiCr %7 SiC

Şekil 3.17. S nolu numunelerin TIG kaplama görüntüsü

Numune No	Kaplama Tozu
B1	NiAlBCr
	NiAlBCr
B2	NiAlBCr
	%1 B <sub>4</sub> C
B3	NiAlBCr
	%3 B <sub>4</sub> C
B4	NiAlBCr
	%5 B <sub>4</sub> C
B5	NiAlBCr
	%7 B <sub>4</sub> C

Şekil 3.18. B nolu numunelerin TIG kaplama görüntüsü

TIG kaynak yöntemi ile kaplanan AISI 1040 Orta Karbonlu çelik malzemeler Bingöl Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Laboratuvarında avuç taşlama cihazı ile kesme işlemi yapılmıştır. Avuç taşlama cihazı Şekil 3.19’da gösterilmektedir.



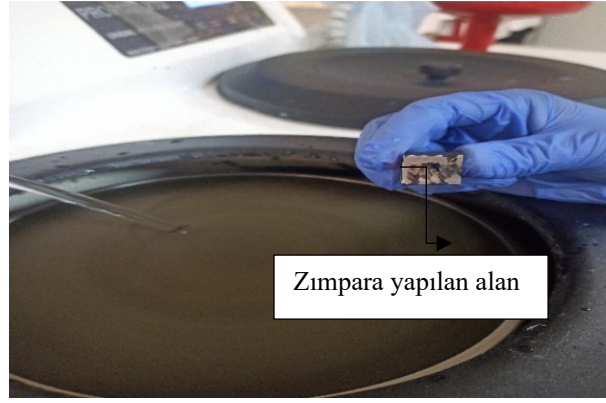
Şekil 3.19. Avuç taşlama cihazı

Avuç taşlama cihazı ile tüm numuneler 6 parçaya bölüdükten sonra tüm numunelerin hepsinden 3 tane eşit parça aşınma testi için ayrılmıştır. Zımpara ve parlatma cihazı kullanılarak 400 devir/dakika olacak şekilde zımparalama işlemi yapılmıştır. TIG kaynak ile kaplaması yapılan numune yüzeyinin ilk önce P60 zımpara ile daha sonra P220 zımpara ile en son olarak da P400 zımpara ile zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.21’de zımparalama işlemi gösterilmektedir.





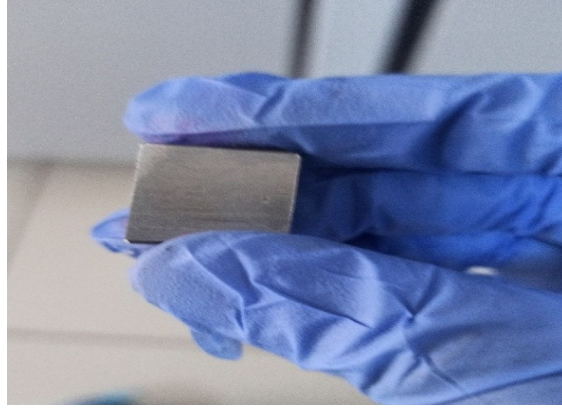
Şekil 3.20. Zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 3.21. Kaplanan bölgenin zımpara görüntüsü

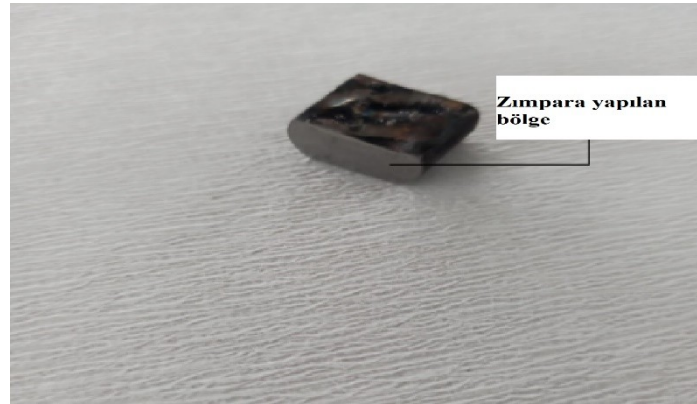


Şekil 3.22. Zımpara yapılmadan önce numune yüzeyi



Şekil 3.23. Zımpara yapıldıktan sonra kaplama yüzeyi

Mikroyapı testi için ayrılan numuneler 60-220-400-600-800-1000-1200 zımparalarıyla zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemi gerçekleşen yüzey numunenin yan yüzey bölgesidir. Yani kaplama olan yüzey ile çelik malzeme yüzeyi arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapı ve optik görüntülerini elde etmek için geçiş bölgesi zımparalanmıştır. Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Zımpara yapılan alanın görüntüsü

Mikroyapı testleri için zımparalanan numuneler parlatma cihazına konulan kadife çuha disk üzerine yerleştirilir. Üzerine saf alkol dökülerek nital püskürtülmüştür. Tüm numunelerin parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi yapıldıktan sonra dağlama işlemi ile tüm numunelere hidrolik asit sürülerek dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi yapıldıktan sonra numuneler saf alkol ile temizlenerek arındırılmıştır.

### 3.4. Kaplama Sonrası Uygulanan Testler

TIG kaynak yöntemiyle kaplama yapılan numunelere; sertlik ölçümleri, aşınma testleri, mikro yapının incelenmesi için Optik, SEM, EDS ve XRD deneyleri yapılmıştır.

#### 3.4.1. Sertlik

Sertlik deneyleri için Bingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında AOB marka mikrosertlik cihazında kaplanan numunelerin sertlik ölçümü alınmıştır. TIG kaplama yöntemi ile kaplanan numuneler Vickers sertlik ölçme yöntemi ile deneyleri yapılmıştır. Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136 elmas kare piramit uç kullanıldı. Ölçüm 20 gram yük altında 10 saniye süre zarfında yapılmıştır. Her numuneye bizzat aşınma makro sertliği ölçümü için 5 ölçüm yapıldı, mikrosertlik için ise ortalama sertlik değerleri alınmıştır. Şekil 3.25'te Vickers sertlik ölçme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Vickers sertlik ölçme cihazı

### 3.4.2. Aşınma Testi

Aşınma testi Batman Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yapılmıştır. Aşınma deneyi için 8 mm çapında alüminyum oksit (AR) H tipi saplı taşlar kullanılmıştır. Deneyler TURKYUS PODWT aşınma cihazında 300 dev/dak hızında 11,5 mm iz çapında sırasıyla 125-250 ve 500 mesafelerde ASTM G99 standartına uygun olacak şekilde yapılmıştır.

$$V, mm^3 = 2 \pi R i \quad (3.1)$$

Burada:

V: aşınma hacmi

R: aşınma izi yarıçapı ve

d: aşınma iz genişliği



Şekil 3.26. Aşınma cihazı



Şekil 3.27. Aşınma cihazında kullanılan taş



Şekil 3.28. S1 Aşınma numunesi (NiCrBAI)



Şekil 3.29. S2 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%1SiC)



Şekil 3.30. S3 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%3SiC)



Şekil 3.31. S4 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%5SiC)



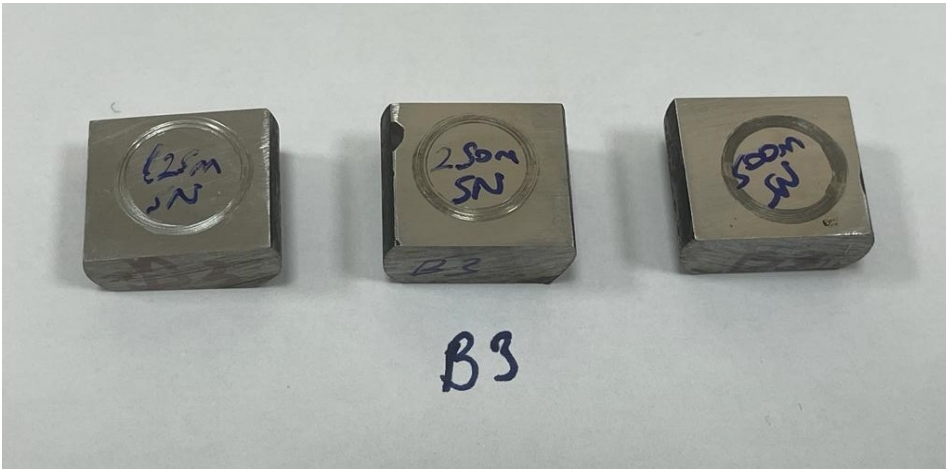
Şekil 3.32. S5 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%7SiC)



Şekil 3.33. B1 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%1B<sub>4</sub>C)



Şekil 3.34. B2 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%3B<sub>4</sub>C)



Şekil 3.35. B3 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%5B<sub>4</sub>C)



Şekil 3.36. B4 Aşınma numunesi (NiCrBAI-%7B4C)

### 3.4.3. Optik Mikroskopik İncelemeler

Metalografik hazırlama işlemleri ve optik mikroskop incelemeler için hazırlanan numuneler; Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan optik mikroskop cihazıyla optik görüntüleri çekilmiştir. Optik mikroskop cihazının resmi Şekil 3.37’de verilmiştir.



Şekil 3.37. Optik mikroskop cihazı

### 3.4.4. SEM ve EDS Analizi

Mikroyapı ve aşınma numuneleri için SEM görüntüleri Bingöl üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yer alan JEOL JSM 6510 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) marka model cihazı aşağıdaki Şekil 3.38’de verilen elektron mikroskobunda tarama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler Şekil 3.39’da verilen aparata yerleştirilip numunelerin kaplama yüzeylerinden, altlık tabakadan ve geçiş bölgelerinden görüntüler



alınmıştır. EDS analizleri de aynı laboratuvarında bulunan EDS cihazıyla numunelerin analizleri incelenmiştir. EDS için hazırlanan numuneler de tek tek incelenip tüm numunelerin birçok EDS görüntüleri alınmıştır. Kaplama EDS görüntüleri tez için yorumlanmıştır.



Şekil 3.38. SEM cihazı



Şekil 3.39. Kaplanan numunelerin SEM cihazına yerleştirilmesi

### 3.4.5. XRD Analizi

Numunelerin XRD görüntüleri RIGAKU ULTIMA IV X-Ray Kırınım Spektrometresi (XRD) marka model cihazı yüksek çözünürlüğe sahip olan taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. TIG kaynak yöntemi ile kaplanan numunelerin XRD analizleri Bingöl Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.40. XRD cihazı

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1. Mikroyapı İncelemeleri

AISI 1040 Orta karbonlu çelik TIG kaplama yöntemiyle kaplandıktan sonra mikroyapı testleri incelemeleri yapılmıştır. Bunlar; Optik, SEM, EDS analizleridir. Yapılan bu analizler modifikasyon işlemi yapılan çelik malzeme hakkında yüzey özellikleri açısından bizlere bilgi verecektir.

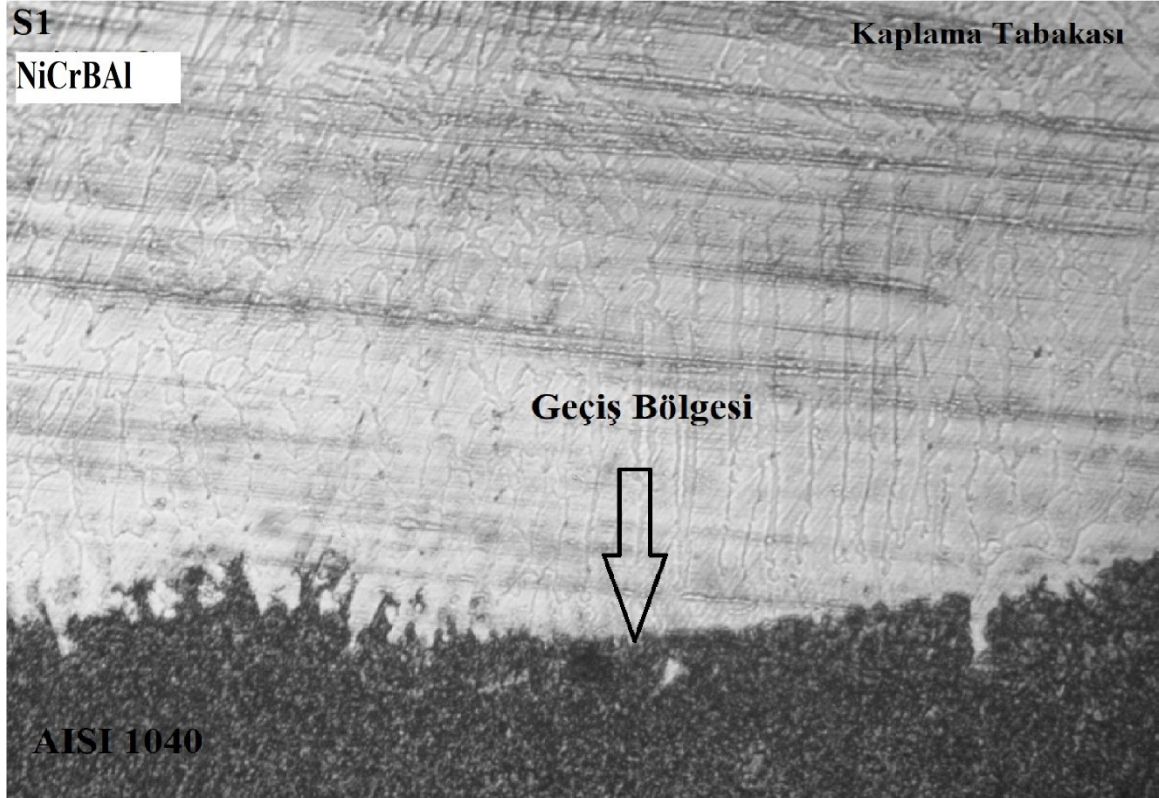
#### 4.1.1. Optik Analizleri

NiCrBAI ve NiCrBAI+XSiC (%1-3-5-7) takviye oranlarına sahip tozlar ile NiCrBAI+XB<sub>4</sub>C (%1-3-5-7) toz karışımlarının çelik malzeme ile modifikasyon sonucunda Optik görüntüleri incelenmiştir.

##### 4.1.1.1. S1 Nolu Numunenin Optik incelemeesi

TIG kaplama yöntemi ile AISI 1040 çelik yüzeyine NiCrBAI tozunun ark ergitme metodu kullanılarak kaplanan S1 nolu numuneye ait optik resim Şekil 4.1’de verilmiştir. Optik resim incelendiğinde AISI 1040 çelik malzeme ile kaplama bölgesi arasında bir geçiş bölgesi olduğu ve katılaşmanın geçiş bölgesine dik doğrultuda uzanan taneler şeklinde olduğu açıktır. Bu geçişin doğrusal olmadığı ve ayrıca AISI 1040 malzemeyi de kapsayarak gerçekleştiği söylenebilir. Katılaşmanın kaplama yüzeyine doğru daha küreselleşmiş tanelerden olduğu görülmektedir. Kaplama bölgesi ile altlık malzeme arasında çatlaklı bir yapıya rastlanılmamıştır. Kaplama tabakasında görüldüğü üzere kaplama tozu olarak kullanılan NiCrBAI tamamen çözünerek altlık ile alaşım oluşturduğu ve tamamen yeni özellikte bir yapı olduğu açıktır. Ayrıca Buytoz vd. (2013)’e göre HVOF kaplama yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyine SiC tozları ile kapladıkları çalışmada tozların tamamen çözüldüğünü ve yüksek toz oranlarında M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerin oluştuğunu dile getirmişlerdir. Bununla beraber Serkan vd. (2008)’e göre üç farklı plazma arkı kullanarak AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine NiTi tozu kullanarak kaplama

işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kaplama bölgesinin dört farklı bölgeden meydana geldiğini dile getirmişlerdir. Bu bölgeleri kaplama bölgesi, geçiş bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge (ITAB) ve esas malzeme olarak isimlendirmişlerdir. Yapılan kaplama işleminde bu çalışmaya benzer bir mikro yapının var olduğu görülmüştür.

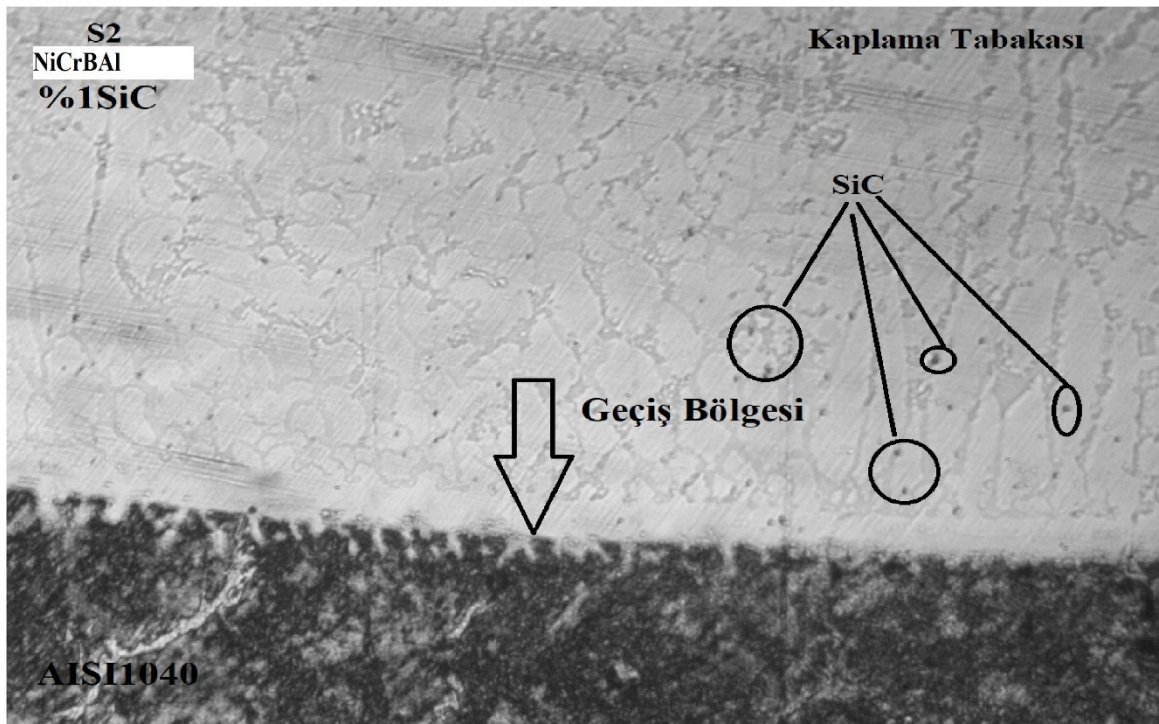


Şekil 4.1. NiCrBAI toz karışımı içeren S1 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.2. S2 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

NiCrBAI tozuna %1SiC tozunun ilave edilmesi ile kaplanan S2 nolu numuneye ait Optik resim Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü üzere altlık malzemedan kaplamaya doğru bakıldığında ara yüzeyde bir geçiş ara bölgesinin belirgin bir şekilde mevcut olduğu görülmüştür. Geçiş bölgesinden kaplama bölgesine gidildiğinde tamamen çözülmeyen SiC taneciklerine rastlanmıştır. SiC taneciklerinin ısı ve ergiyik metalden kaynaklı olarak yapı içerisinde yayıldığı ve küçük tanecikler halinde mikroyapı içerisinde SiC partikülleri düzensiz bir şekilde dağıldığı görülmektedir. TIG yöntemi ile çelik malzemenin kaplama işlemi birbirleri ile uygun bir şekilde benzer bileşime sahip olan kaplama tozlarının altlık tabaka yüzeyinde ergitilerek çözünme işlemine dayanmaktadır.

Hem kaplama tabakasında hem de altlık tabakada ergime olayı aynı anda gerçekleşir. Ergime işlemi esnasında hızlı bir şekilde katılma gerçekleşip modifikasyon yapılan kaplama malzemesiyle ana metali metalürjik olarak birbirine bağlar (Korkut vd., 2002). Dolayısıyla geçiş bölgesi ve kaplama tabakası yüzeyinde NiCrBAI- %1SiC tozlarının kısmen ergimedığı açıkça görülmektedir. Geçiş bölgesinin altlık malzemeye doğru kök şekline benzer bir yapı oluşturduğu ve belirgin olarak bir çizginin olmadığı açıktır. Kaplama bölgesinde dendritik yapının ara bölgeden yukarı kısma doğru genişleyerek büyüdüğü ve uzadığı görülmüştür. Ayrıca geçiş bölgesinde kaplama ile altlık arasında farklı bir özelliğe sahip ara bölgenin olduğu tespit edilmiştir. Kılıç vd. (2020) paslanmaz çelik yüzeyine PTA yöntemi ile boron ve ekobor tozlarını kaplanması başlıklı çalışmalarında kaplama bölgesinin dentritik yapıda olduğu ve kullanılan tozların tamamen çözüldüğünü dile getirmişlerdir.

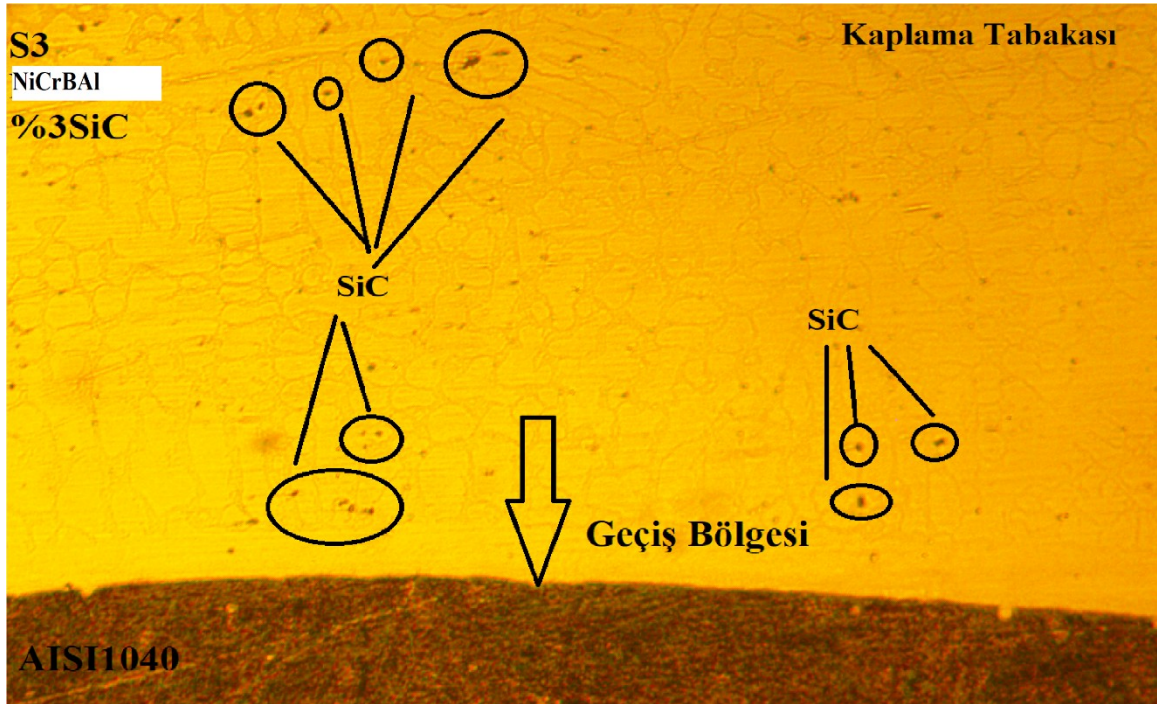


Şekil 4.2. NiCrBAI %1SiC toz karışımı içeren S2 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.3. S3 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

NiCrBAI %3SiC bulunan numuneye ait optik görüntüsü Şekil 4.3'te gösterilmiştir. TIG kaynak yöntemi ile kaplanan AISI 1040 çelik malzemesi ile kaplama arasındaki geçiş

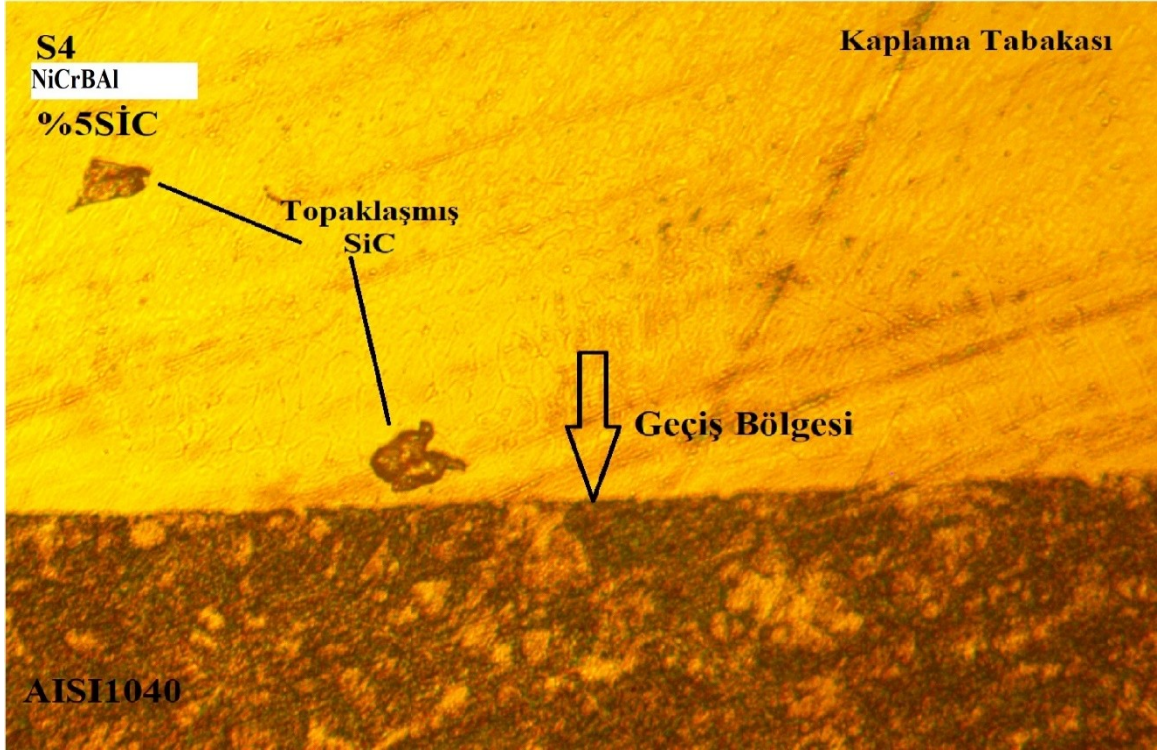
incelendiğinde altlık malzeme, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası olmak üzere üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Altlık malzeme ile kaplama malzeme arasında düzenli olarak ilerleyen bir geçiş bölgesi olduğu söylenebilir. %1SiC içeren S2 numunesinde de olduğu gibi S3 numunesinde de ergimeyen SiC tanecikleri göze çarpmaktadır. TIG kaplama işlemiyle yapılan kaplamalarda uygun akım ve ortamda ergiyen tozların mikro yapı ile uyumlu bir katılaşma sergilediği söylenebilir. Hızlı bir şekilde katılaşma neticesinde kaplama sınırından yukarı doğru dentritik katılaşığı ve küçük taneli mikro yapıların yapı içerisinde oluştuğu gözlemlenmiştir. Mridha et al. (2001) TIG yüzey eritme ile üretilen intermetalik kaplama çalışmasında düşük enerjili akımda (50A) erime genellikle kaplanan bölge alanında toplandığı ve eriyik havuz içerisinde ince bir tabaka olduğunu dile getirmişlerdir. Kaplama yüzeyinde gözenekler ve boşluklara rastlanılmıştır. Bunun sonucu olarak; toz karışımının TIG kaplama esnasında tamamen ergimemesinden kaynaklanmaktadır. Ergime tam olarak gerçekleşmediğinden kaplama yüzeyinde toz zerrecikleri görülmüştür.



Şekil 4.3. NiCrBAI %3SiC toz karışımı içeren S3 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.4. S4 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

NiCrBA1 tozuna %5SiC ilave edilmesi ile kaplaması yapılan S4 numuneye ait optik görüntüsü Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Çelik malzemeye TIG kaynak yöntemi ile kaplama yapılırken temas anında toz tanecikleri ısıyı ana malzemeye verip katılışır. Kaplama bölgesinde ergimeyen SiC taneciği görülmektedir. Ergimeyen SiC taneciği kaplama bölgesi yüzeyinde hızlı bir şekilde soğuyarak katılaşmaya yol açmıştır. Dolayısıyla bu katılaşma giderek kaplama tozlarını topaklaşmasına neden olmuştur ve yapıda kendini göstermiştir. Orhan (2008) yaptığı TIG kaplama işlemiyle üretilen demir esaslı kaplama tabakalarının aşınma ve mikroyapı özelliklerinin araştırmasının yaptığı çalışmada %66 Cr'lu FeCrC tozuyla farklı akım parametrelerinde yapılan kaplamaların optik resimlerini genel olarak incelemesi yapıldığında %66 Cr miktarına sahip olan FeCrC karışım tozlarının ergime işlemi, beklenen bir sonuç olarak kaplama işleminde farklı akım değerleri ve akım değerlerinin artmasına bağlı olarak artış sergilediği, akımın değeri düşük seviyede gerçekleştiğinde kaplama, numunelerin kesit alanlarında küçük ve az miktarda belli başlı topaklanmaların olduğunu dile getirmiştir. Bu meydana gelen topaklanmalara sebebiyet veren etken, malzeme yüzeyine TIG kaplama yöntemi yapıldığı esnada kaplama işleminin çalışılan akım değerlerinin ve gerçekleşen üretim hızının çok yeterli olmamasından kaynaklıdır. Yapılan düşük kaynak akımı itibariyle kaplama yapılan noktada ergime işlemi eksiksiz bir biçimde kaplama işlemi yapılamamıştır. Dolayısıyla tam ve kusursuz bir biçimde FeCrC karışım tozlarının çözünmeyerek yapı içerisinde belli bir sayıda mevcut olduğu ve bu durumda homojen olmayan bir topaklaşmanın varlığı göze çarpmaktadır.

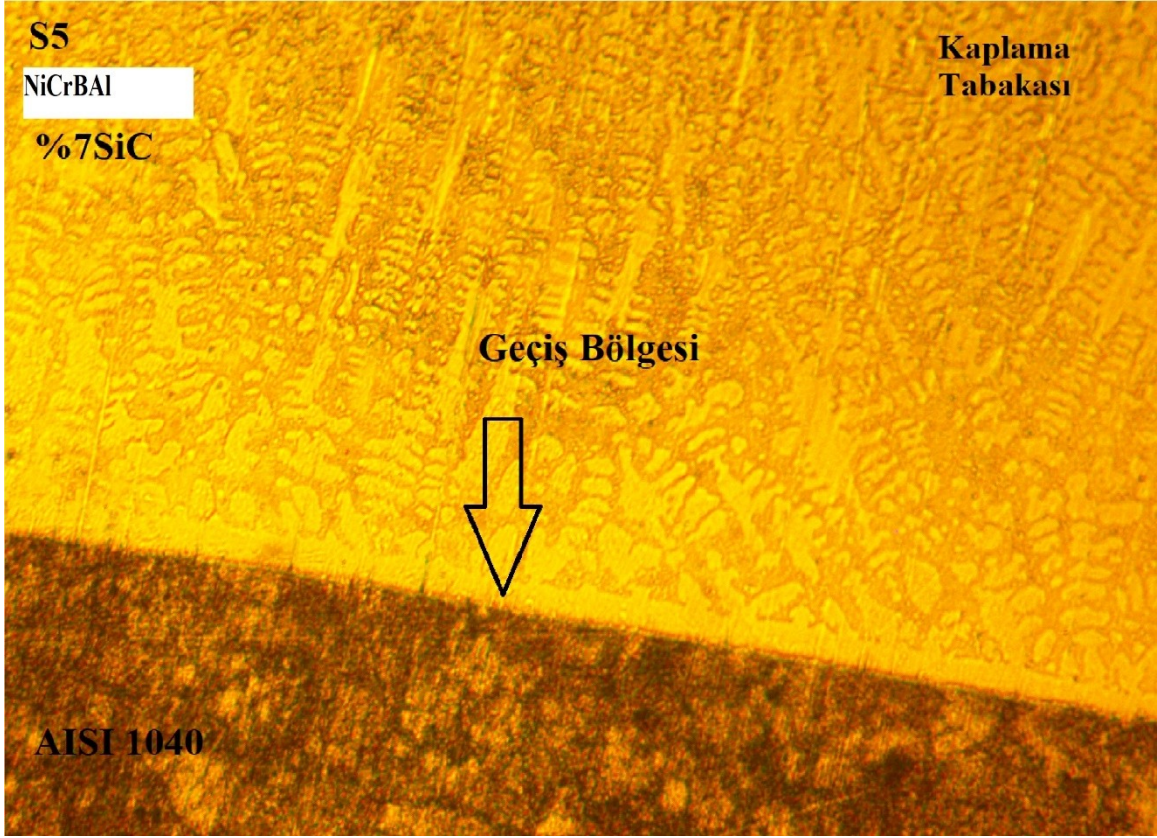


Şekil 4.4. NiCrBAI %5SiC toz karışımı içeren S4 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.5. S5 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

TIG kaplama yöntemi ile NiCrBAI tozuna %7SiC tozu ilave edilerek hazırlanan toz karışımı çelik yüzeyine çözündürülerek üretilen S5 nolu numuneye ait optik görüntüsü Şekil 4.5'te verilmiştir. Optik görüntüden anlaşılacağı üzere kaplama bölgesi ile altlık malzeme arasında oluşan ara yüzey bölgesinde çok belirgin bir şekilde geçiş bölgesinin olduğu söz konusudur. Optik görüntüsünde boşluk, çatlak veya çözünmemiş SiC taneciklerine rastlanmamıştır. Kaplama işleminin istenen mikroyapıya yakın olduğu ve başarılı bir şekilde kaplamanın yapıldığı söylenebilir. Mikro yapı içerisinde görülen dentritik oluşumlar ve martenzit oluşumlar dikkat çekmektedir. Çeliklerin yapısında oluşan martenzit tanecikleri mikro yapısal olarak tabaka veya çita şeklinde iki farklı formda oluşabilirler. Düşük ve Orta Karbonlu çeliklerde çita tipli martenzit oluşum paralel düzende veya çita topluluğu halinde ya da çita biçimli taneler halindedir. Paralel grup şeklindeki tanelerin çoğu aynı kristalografik yöne sahiptir (Jha et al., 2003).



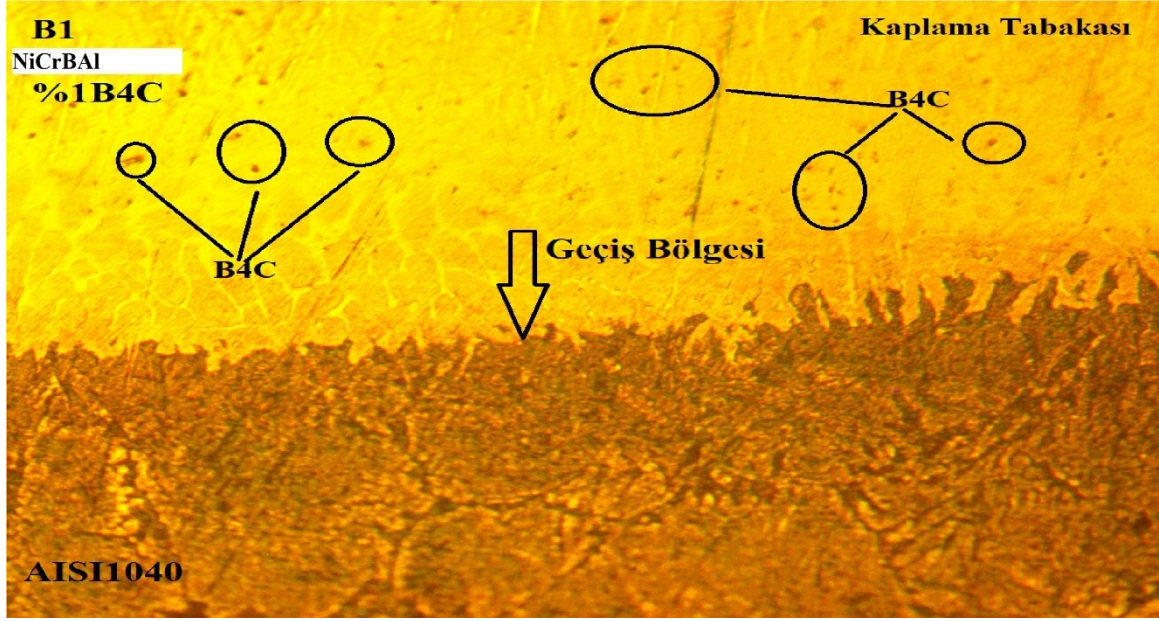


Şekil 4.5. NiCrBAI %7SiC toz karışımı içeren S5 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.6. B1 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

AISI 1040 Orta Karbonlu çelik yüzeyine NiCrBAI %1B<sub>4</sub>C toz karışımının TIG kaplama yöntemi ile kaplanan B1 nolu numuneye ait optik resmi Şekil 4.6'da görülmektedir. Altlık malzeme ile kaplama tabakasının ara yüzey bölgesinde düzensiz bir şekilde ilerleyen geçiş bölgesi söz konusudur. Altlık malzemenin geçiş bölgesine doğru düzensiz bir katılaşmanın olduğu ve arayüzeydeki geçişin düzensiz bir şekilde olduğu görülmüştür. Kaplama bölgesinde TIG kaynak işleminin etkisinden dolayı B<sub>4</sub>C toz taneciklerinin ısın ve ergiyik metalden kaynaklı ara bölgeden yukarı doğru yayıldıkları tespit edilmiştir. Tanecikler mikroyapı içerisinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Lou et al. (2003) yapmış oldukları bir çalışmada ilave toz olarak kullanılan WC tozlarının normal bir şekilde ergidiğini ve ergiyik havuz içerisinde yeniden çözünüp katılaşma sağlayabileceklerini dile getirmişlerdir. Bu katılaşma sonucunda yeni mikro yapıların elde edilmesi mümkün olduğunu belirtmişlerdir. WC tozlarının çok sayıda olması veya üretim hızının yüksek olması sebebiyle mikro yapıda ergimeyen WC ve diğer farklı

karbürler şeklinde çökelebileceklerini ifade etmişlerdir. Bu taneciklerin optik görüntüde görüldüğü gibi düzensiz bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Kaplama ile altlık malzeme başarılı bir şekilde alaşım oluşturmuş ve kaplama bölgesinde çatlak ve gözenekli yapıların olmadığı açıktır.

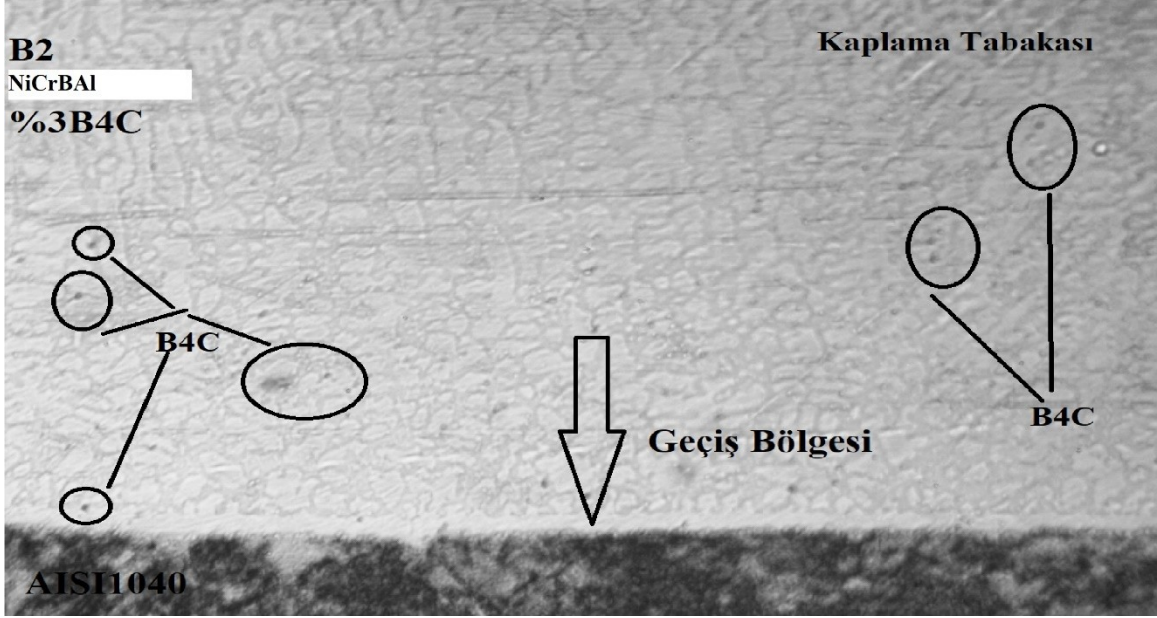


Şekil 4.6. NiCrBAI %1B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B1 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.7. B2 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

TIG kaynak yöntemi ile AISI 1040 çeliğin yüzeyine NiCrBAI %3 B<sub>4</sub>C toz karışımı ile kaplanmış numuneye ait optik görüntüsü Şekil 4.7’de verilmiştir. Optik görüntüde görüldüğü üzere katılaşmanın östenitik bir yapı şeklinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla homojen bir katılaşma olduğu söz konusudur. Yapı içerisine çözünen bor karbürlerinin olduğu gibi yer yer çözünmeyen B<sub>4</sub>C taneciklerinin var olduğu da görülmektedir. Altık malzeme ile kaplama tabaksında açık bir şekilde geçiş bölgesinin olduğu ve altık ile kaplama tozları arasında başarılı bir bağlanmanın var olduğu açıktır. Çalığülü vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada; AISI 1030 Çeliğine GTA kaynak yöntemiyle Ni<sub>3</sub>Al tozu kaplamışlardır. Akım şiddeti olarak 140 A kaynak akımı ile kaplama yapıldığında malzemelerde altlık tabaka ile kaplama tabaka arasında tam bir birleşimin olduğunu belirtmişlerdir. Artırılan kaynak akım şiddet ölçüsünün sonucu olarak kaplama malzemesinin esas malzemeye tamamen kaplandığı ve başarılı bir şekilde bağlandığını

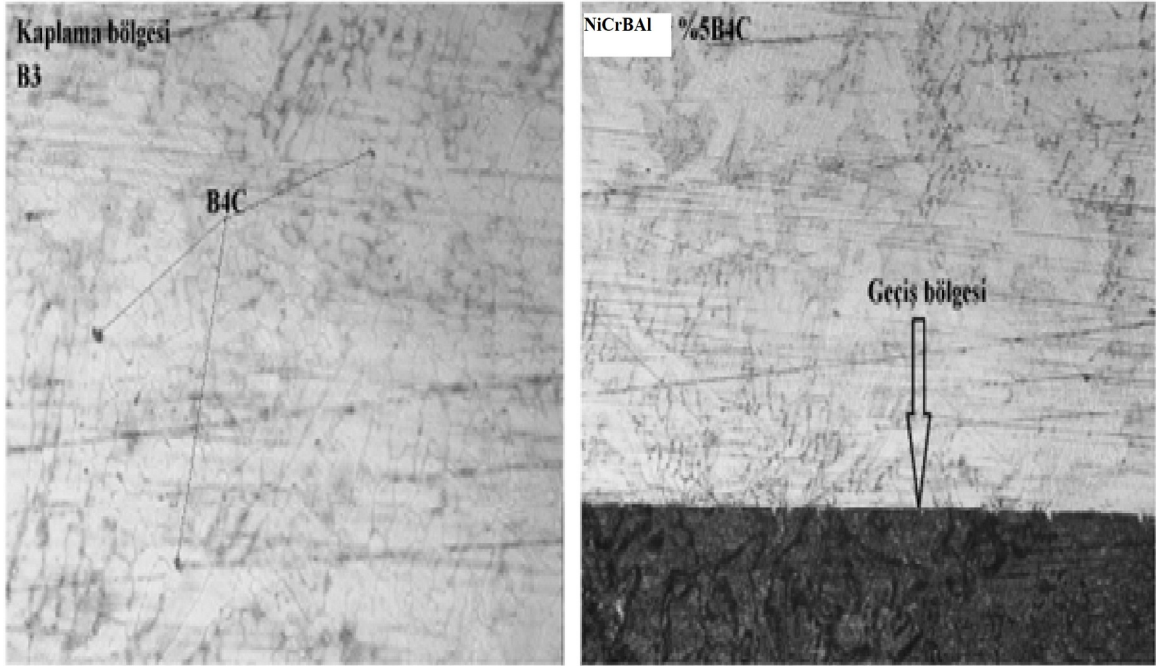
dile getirmişlerdir. Ayrıca modifikasyon işlemi olan yüzeylerde mikro yapıda herhangi bir çatlak veya kalıntılara rastlamamışlardır.



Şekil 4.7. NiCrBAI %3B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B2 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.8. B3 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

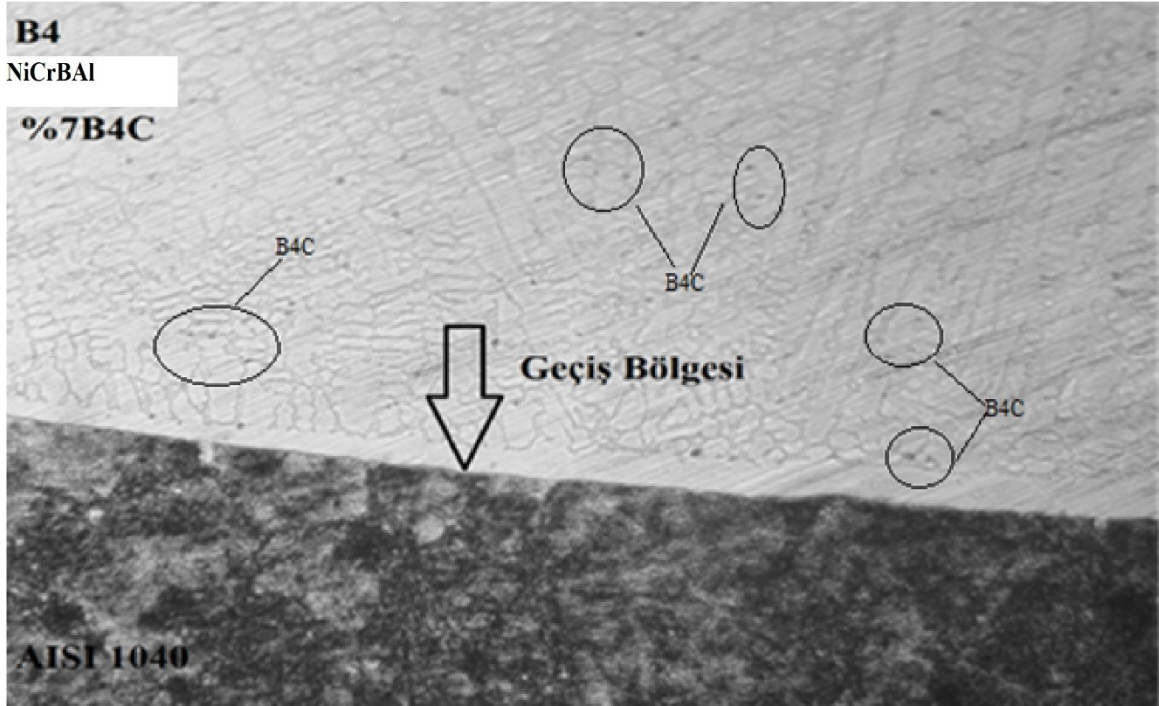
Takviye oranının %5 artırılması ile NiCrBAI %5B<sub>4</sub>C tozuyla kaplı numuneye ait optik resim Şekil 4.8’de verilmiştir. AISI 1040 esas malzeme ile kaplama malzemesi arasında belirgin bir biçimde geçiş bölgesinin olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesinden alınan resimden yapı içerisindeki bor karbür taneciklerinin olduğu EDS sonuçlarından görülmüştür. Kılıçay vd. (2020) yılında yapmış oldukları çalışmada; AISI 316 çeliğinin yüzeyine indüksiyon yöntemi ile NiCrBSi-WC tozlarını kapladıkları çalışmada optik incelemelerinde dendritik bölge, küresel bölge ve altık olarak göstermişlerdir. Ayrıca kaplama ve altık arasında bir difüzyon olduğunu da açıklamışlardır. Geçiş bölgesinden kaplamaya doğru bor karbür tozlarının tam olarak erginmediği tespit edilmiştir. Gözenekli yapı ve tane boşluklarının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.8. NiCrBAI %5B<sub>4</sub>C toz karışımını içeren B3 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.1.9. B4 Nolu Numunenin Optik İncelemesi

Şekil 4.9’da verilen NiCrBAI %7B<sub>4</sub>C tozuyla kaplanan AISI 1040 çeliğine ait optik resim gösterilmektedir. Kaplama bölgesi içinde yer yer bor karbür taneciklerin olduğu görülmektedir. Kaplama esnasında ısının etkisiyle ve ergiyik metalden kaynaklı taneciklerin yapıda düzensiz dağıldığı ve tam olarak erimediği söylenebilir. Geçiş bölgesinden kaplamaya doğru gidildiğinde dendritik yapıların oluştuğu görülmektedir. Bu dendritik yapıları kaplama tabakasının yapısında giderek uzadığı saptanmıştır. Orhan (2008)’in yapmış olduğu çalışmaya göre 135 A’ lik akımla kaplaması yapılan %66 Cr oranlı FeCrC (ferrokrom karbon) tozu, tanelerin dentritik yapıların arasında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Dentritik kolların aksel olarak yönelmiş ve uzunluklarının takribi olarak aynı uzanımlarda olduğunu gözlemlemiştir. Bununla birlikte iç içe geçen dendrit kollarına rastlanmıştır. Aynı zamanda dendritler simetrik bir görüntü oluşturmaktadır. Numunenin kaplama işlemi sırasındaki üretim hızıyla birlikte kaynak akımının uyuşmasından dolayı, yeterli bir şekilde ısınma gerçekleştiğinden ötürü topaklaşma meydana gelmemekte ve yapı bozulmadan oluşabilmektedir. Böylelikle AISI 1040 çelik malzeme yüzeyinin yapısında kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştiği söz konusudur.

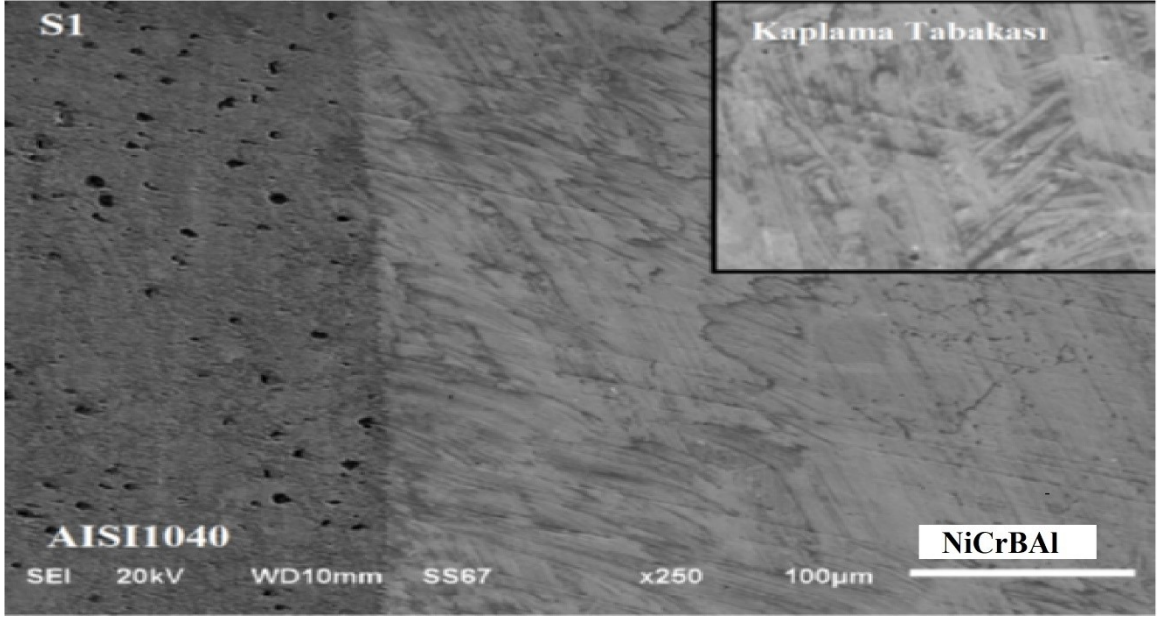


Şekil 4.9. NiCrBAI %7 B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B4 numunesinin optik görüntüsü

#### 4.1.2. Mikroyapı Numunelerine ait SEM İncelemeleri

##### 4.1.2.1. S1 Nolu Numunenin SEM Analizi

Orta karbonlu çelik yüzeyine NiCrBAI tozu ve TIG Kaynak yöntemi kullanılarak kaplanan S1 numunesinin SEM görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir. Altlık malzemede oluşan mikro boşluklar ergime ve katılaşma sonrası kaplamadan dolayı olduğu söylenebilir. Kaplama malzemesinde gözenekli yapının neredeyse hiç olmaması gözle görülebilir derecede önemlidir. Kaplama malzemesinin yüksek büyütmede alınan SEM resminden de açıkça görüldüğü gibi yapı lifli ve birbirine geçmiş iğnemsiz martenzitik olduğu açıktır.

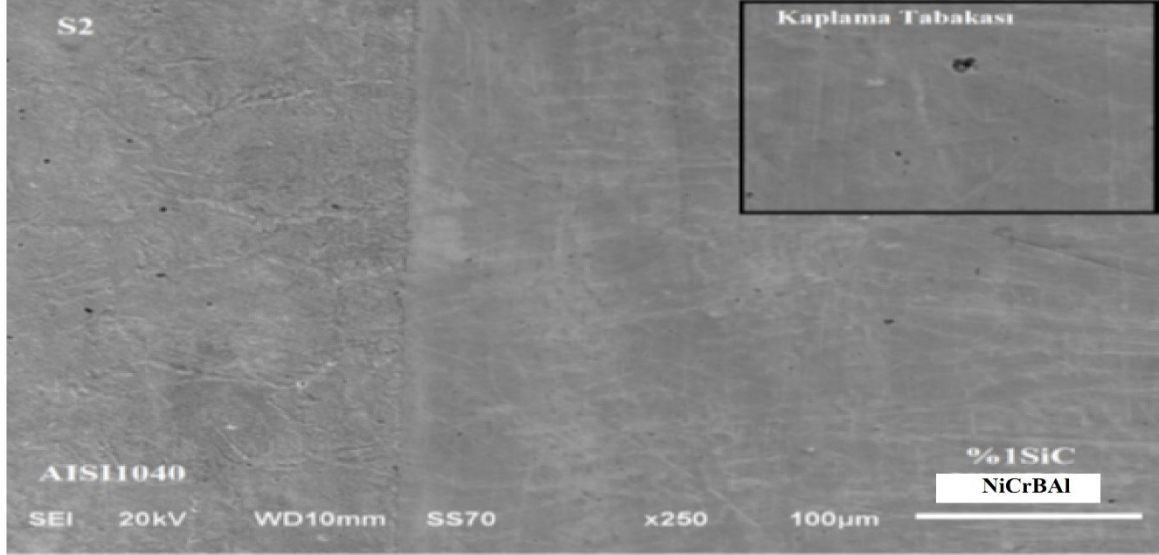


Şekil 4.10. NiCrBAI toz karışımı içeren S1 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.2. S2 Nolu Numunenin SEM Analizi

S2 nolu numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 4.11’de verilmektedir. NiCrBAI-%1SiC toz karışımı içeren S2 numunenin SEM görüntüsünde TIG kaynak işlemi ile kaplanan orta karbonlu çelik malzeme hızlı üretim parametreleriyle altlık malzemede görülen SiC partikülleri hızlı bir biçimde soğuyup katılaşarak küçük tanecikler halinde bulunduğu ve bunların tam olarak çözünmediği görülmektedir. Altlık malzemede küçük oranlarda mikro boşluklu yapının var olduğu görülebilmektedir. Bunun aksine çatlaklı yapıya ve kusurlu bir mikro yapı söz konusu değildir. Kırık vd. (2019)’a göre yapmış oldukları çalışmada St.52 çeliğin TIG kaynak yöntemiyle WC takviyeli farklı tozlarda kaplamasını yapmışlardır. Bu çalışmada alaşım oluşturma derinliği ve karakteristik yapılarının kaplama tozlarının oranlarına ve cinslerine bağlı olarak değiştiğini öngörmüşlerdir. İncelemiş oldukları SEM görüntülerinde ise numune yüzeylerinde ne kadar fazla mikro boşluklar olsa dahi herhangi bir çatlama söz konusu olmadığı çıkarımını yapmışlardır. AISI1040 Orta karbonlu çelik yüzeyinde geçiş bölgesinden altlık malzemeye doğru köklü yapıların olduğu söz konusudur. Yüzeyde görülen SiC partiküllerin çok sayıda var olduğu açıktır. SiC partiküllerinin kaplama malzeme içerisinde kısmen de olsa alınan EDS analizlerinden de yola çıkarak çözündüğü söylenebilir. Kaplama tabakası içerisindeki

çözünmeyen SiC taneciği görülmektedir. Erimeyen SiC taneciği kaplama içinde hızlı katılaşmaya neden olacak bir şekilde soğuyarak katılaşma oluşturmuştur.

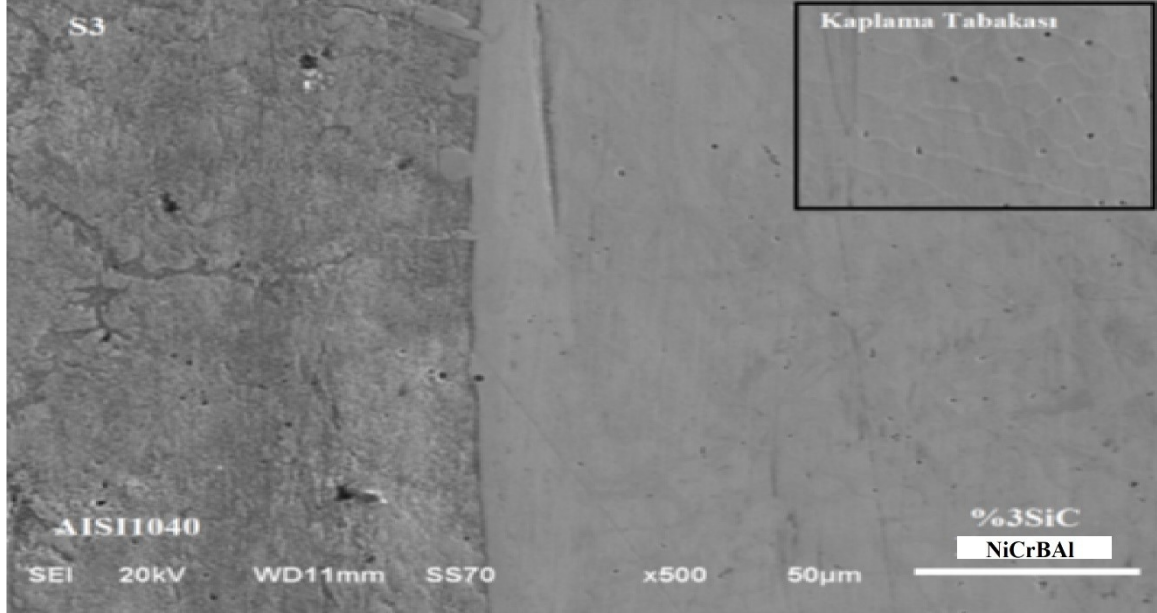


Şekil 4.11. NiCrBAI %1SiC toz karışımı içeren S2 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.3. S3 Nolu Numunenin SEM Analizi

Şekil 4.12’de verilen NiCrBAI %3SiC tozunun AISI1040 çelik malzemesine TIG kaynak işlemiyle yapılan kaplamanın SEM görüntüsü verilmektedir. Literatür çalışmalarında kaplama esnasında üç temel bölgenin oluştuğu söylenebilir. Kaplama tabakası, altlık ve geçiş bölgesi şeklindedir. NiCrBAI %3SiC partiküllerinin altlık malzeme mikro yapı içerisinde alaşım oluşturduğu söz konusudur. Altlık malzeme yüzeyinde mikro boşluklu yapıya rastlanıldığı ama çatlaklı yapı olmaması önemlidir. Özel et al. (2008)’e göre Plazma transferli ark yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyine NiTi tozlarının mikro yapılarını incelemiştir. Bu çalışmada kaplama sırasında dört farklı bölge meydana geldiğini bunların; kaplama tabakası, arayüz bölgesi, ısıdan etkilenen bölge (HAZ) ve altlık şeklinde olduğunu açıklamışlardır. Hem kaplama tabakasında hem de arayüzde hiçbir çatlak veya gözenek görülmediğini belirtmişlerdir. Daha önce yapılan bir çalışmada, TIG işlemi ile üretilen NiTi kaplama tabakasında küçük gözeneklerin tespit edildiği ve zayıf bağların kaplama tabakasında gözenek oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir. Şekil 4.12’de verilen kaplama tabakası mikro yapı içerisindeki SiC toz

partiküllerinin östenitik yapı içinde tane sınırlarında olduğu ve düzensiz bir şekilde dağıldığı açıktır. Yapının bal peteğini andıran bir görünüme sahip olduğu görülmüştür.

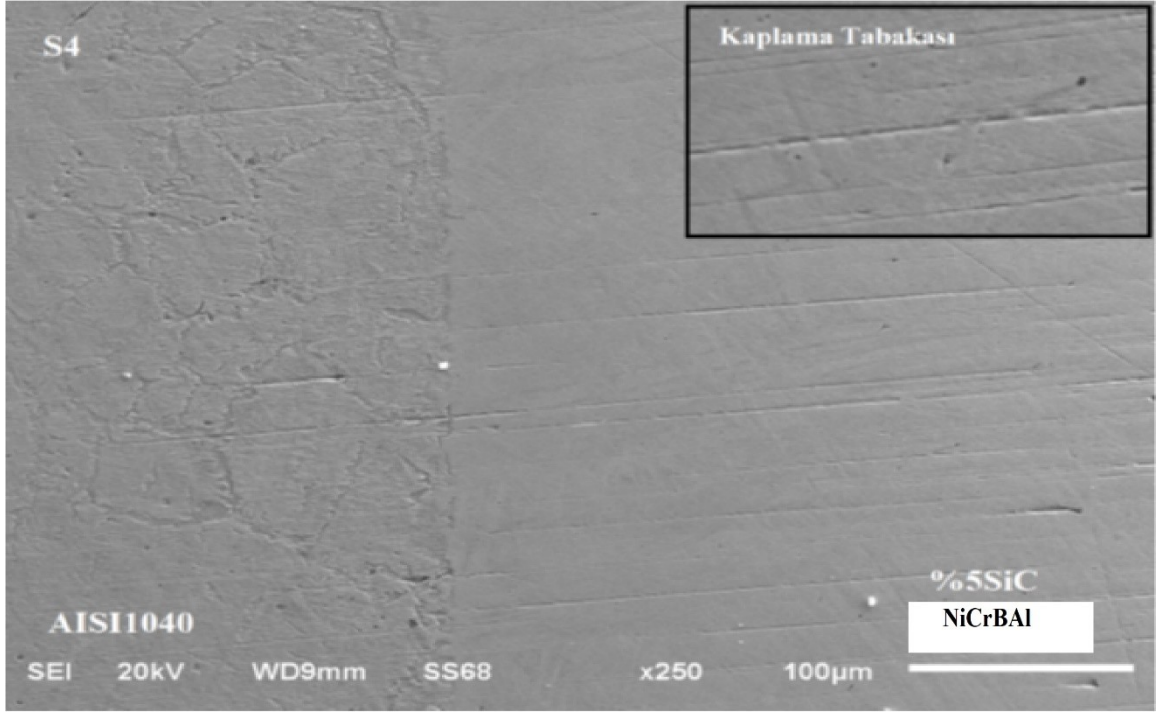


Şekil 4.12. NiCrBAI %3SiC toz karışımı içeren S3 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.4. S4 Nolu Numunenin SEM Analizi

TIG Kaynak işlemi ile kaplaması yapılan AISI1040 malzeme yüzeyindeki S4 numuneye ait NiCrBAI %5SiC tozlarının karışımının SEM görüntüsünün incelemesi yapılmaktadır. Kaplama tabakasında diğer numunelere oranla çok fazla mikro boşluğun olmadığı ve çatlaklı yapıya rastlanılmaması önemlidir. Kaplama yüzeyinde çok az sayıda SiC partiküllerinin olduğu ve yüzeyde herhangi belirgin bir yapının olmadığı söylenebilir. Ana malzemede oluşan dentritik yapı önemli ölçüde göze çarpmaktadır. Altlık bölge içerisinde görülen toz partiküllerinin olduğu ve kaplama malzemesi ile etkili bir şekilde alaşım oluşturduğu varsayılmaktadır. Altlık malzemede herhangi bir çatlaklı yapıya rastlanılmamıştır.

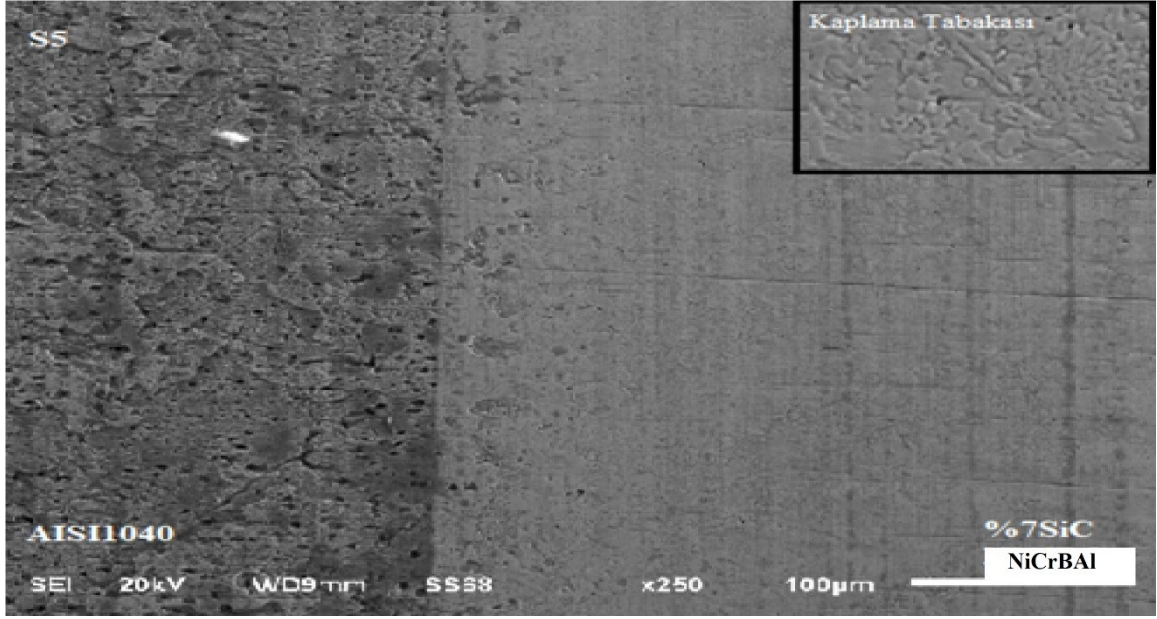




Şekil 4.13. NiCrBAI %5SiC toz karışımı içeren S4 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.5. S5 Nolu Numunenin SEM Analizi

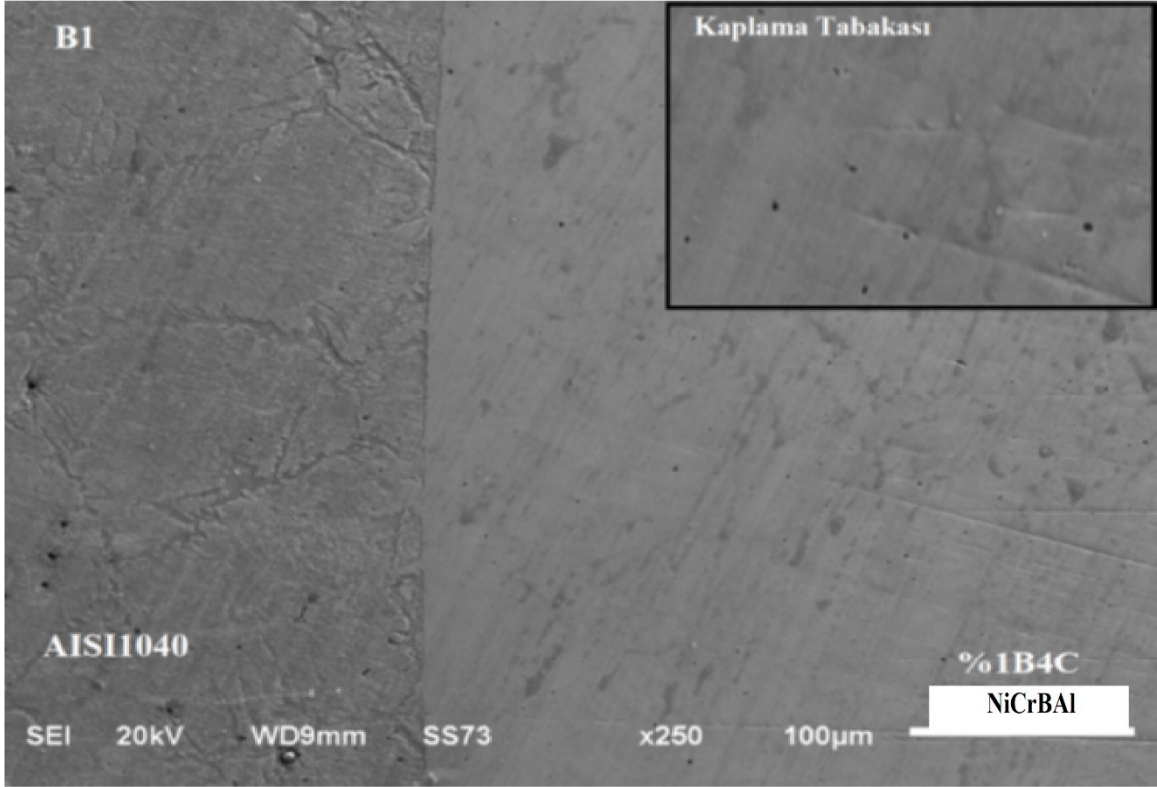
NiCrBAI %7SiC tozuyla karışımı sağlanan ve TIG kaynak işlemiyle AISI1040 Orta karbonlu çeliğin yüzeyinin kaplaması yapılmıştır. S5 numunesine ait mikro yapı SEM görüntüsünün analizi yapılmaktadır. Üç bölgeden oluşan S5 numunesi altlık bölge, kaplama tabakası ve ara yüzeyde oluşan net bir geçiş bölgesine sahiptir. Altlık malzemede içerisinde açık ve koyu gri bölgelerin görüldüğü bunların farklı fazda olduğu düşünülmektedir. Matrisin Ni esaslı dentritik yapı oluşturduğu söz konusudur. Altlık malzeme içerisindeki NiCrBAI %7SiC partiküllerinin çok sayıda varlığı mevcuttur. Geçiş bölgesinde oluşan toz partiküllerinin tam olarak erimediği ve katılma yaptığı dentritik bir yapı sergilediği söz konusudur. Şekil 4.14'te verilen 10µm boyutundaki kaplama tabakası yüzeyindeki dentritik ve ferritik yapının olduğu söz konusudur. Kaplama lamelleri üzerinde oluşan farklı fazlarda herhangi bir çatlaklı yapıya rastlanılmamıştır. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında etkili bir şekilde bağlayıcının etkili olduğu açıktır. Dolayısıyla kaplama parametrelerinin uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4.14. NiCrBAI %7SiC toz karışımı içeren S5 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.6. B1 Nolu Numunenin SEM Analizi

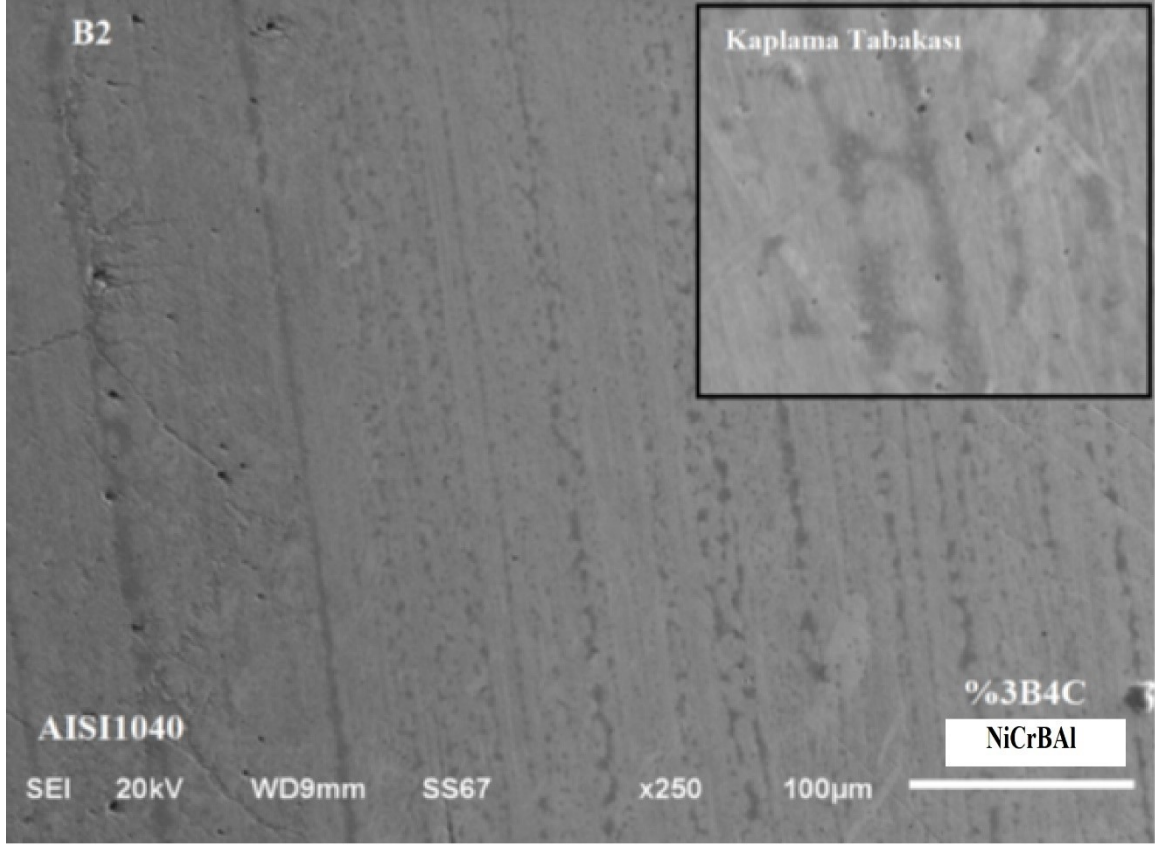
Şekil 4.15’te verilen NiCrBAI %1B<sub>4</sub>C tozları ile kaplanan B1 numunesine ait SEM mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Altlık malzeme, kaplama tabakası ve geçiş bölgesi olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Ara yüzey bölgesinde net geçiş bölgesi söz konusudur. Kaplama parametrelerinin etkin bir biçimde altlık malzemeye bağlanıldığı söylenebilir. Kaplama tabakasında belirgin bir biçimde bor karbür partiküllerine rastlanılmaktadır. Bor karbür taneciklerinin kaplama tabakasına düzensiz bir şekilde yayıldığı görülmektedir.



Şekil 4.15. NiCrBAI %1B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B1 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.7. B2 Nolu Numunenin SEM Analizi

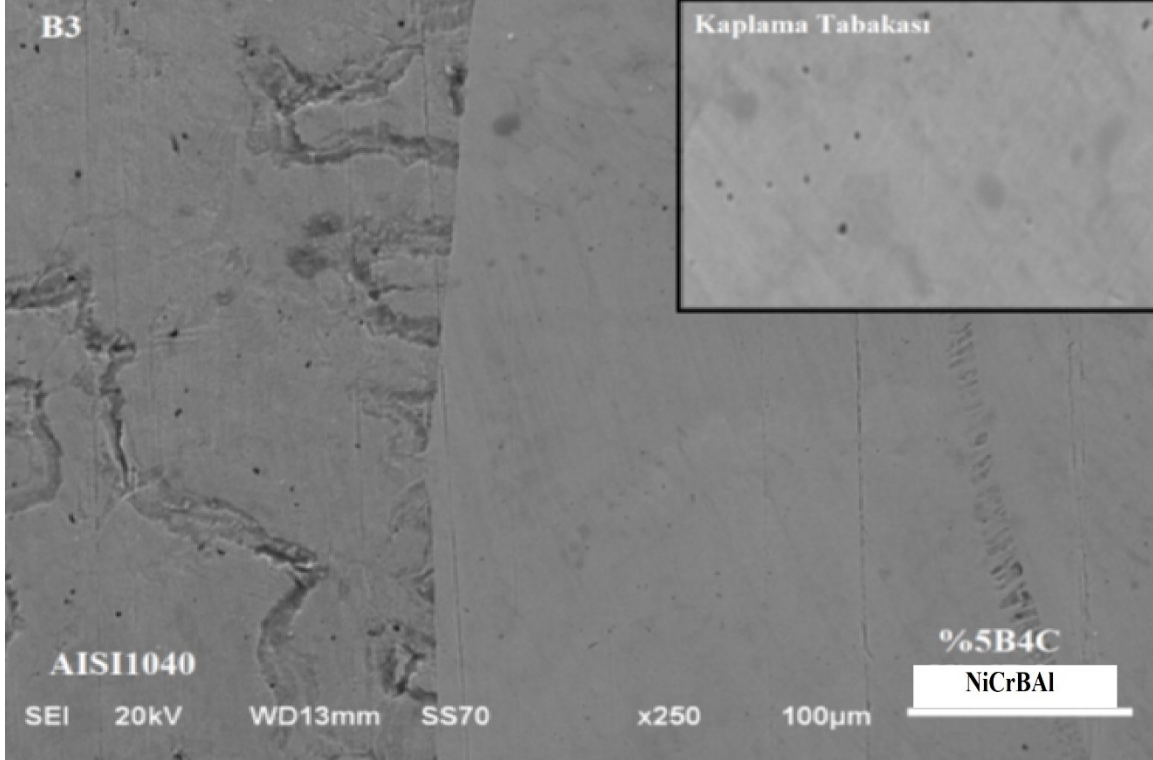
%3 B<sub>4</sub>C içeren B2 numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 4.16’da verilmiştir. İncelenen mikro yapı görüntülerinde ara yüzeyde geçiş bölgesinin fazla belirgin olmadığı görülmektedir. Kaplama bölgesinde mikro boşlukların varlığından söz edilebilir. Bor karbür taneciklerinin kaplama tabakasına kıyasla daha seçik ve görülür olması göze çarpmaktadır. Kaplama tabakasında herhangi bir çukurlu yapıya ve çatlak oluşumuna rastlanılmamıştır. Bor karbürlerin biraz daha düzenli bir şekilde yayıldığı mikro yapı içerisinde anlaşılmaktadır.



Şekil 4.16. NiCrBAI %3B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B2 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.8. B3 Nolu Numunenin SEM Analizi

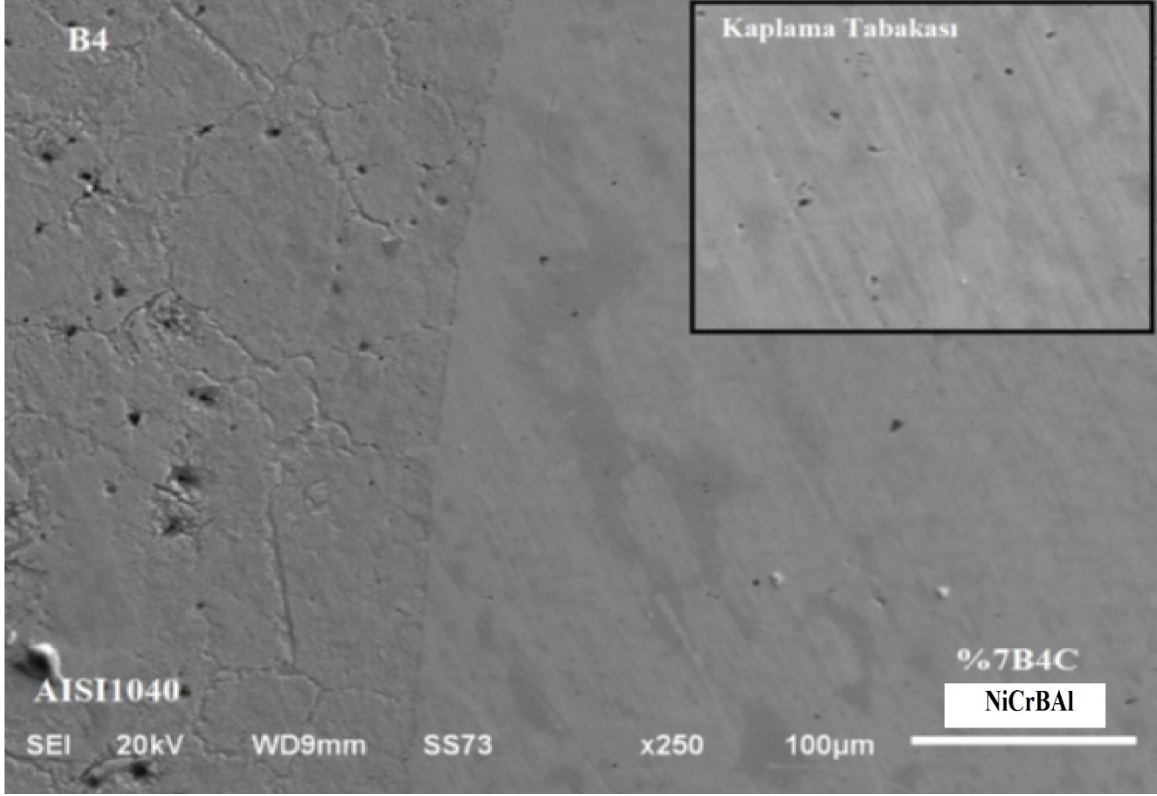
NiCrBAI %5B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B3 numunesine ait SEM mikro yapı görüntüsü Şekil 4.17’de verilmiştir. Altlık malzeme mikro yapı içerisindeki gri açık halkalı yer yer görülen ve pürüzlü bir yapı oluşturduğu görülmektedir. TIG kaplama yöntemi ile kaplama işlemlerinde prosesin biraz hızlı olması ve hızlı katılaşmalardan dolayı bor karbürlerinin sayısının arttığı ve tam olarak ergimedığı açıktır. Zhao et al. (2006)’a göre Plazma transferli ark kaynak işleminde hem yüzey bölgesine hem de kaplanan toz ve karbürlere verilen enerji oldukça yüksektir. Yerel olarak ergitilen alt tabaka malzemesiyle kaplama malzemesinin soğuma ve katılaşma hızı da böylelikle yüksek olur. Yüksek sıcaklıkta karbür ve alaşım elementleri çözünerek ergiyik havuz içerisinde katılaşma sırasında yeni bir faz ve karbürler oluşturarak katılaşır. Toz tanelerinin çözünmesi için yeterli sıcaklık ve zaman bulunamamasından dolayı, taneler ergiyik halde mikro yapı içerisinde çözünmeden yapı içerisinde blok halinde katılaşır. Kaplama ve altlık arasındaki geçiş belirgindir ve herhangi bir sapma söz konusu değildir.



Şekil 4.17. NiCrBAI %5B<sub>4</sub>C toz karışımı içeren B3 numunesinin SEM görüntüsü

#### 4.1.2.9. B4 Nolu Numunenin SEM Analizi

NiCrBAI toz karışımına %7B<sub>4</sub>C takviye tozu ilave edilerek hazırlana ve TIG kaynak işlemiyle kaplanan B4 numunesine ait mikro yapı SEM görüntüsünün analiz resmi Şekil 4.18’de verilmiştir. Bor karbürlerin altlık malzeme içerisindeki nüfuziyeti belirgindir. Kaplama yüzeyinde herhangi bir çatlak ve gözenekli yapı söz konusu değildir. Kaplama tabakasının düzgün ve pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu söylenebilir. TIG kaplama yöntemi ile eritilmiş NiCrBAI +SiC ve B<sub>4</sub>C alaşım kaplamanın bağlanma bölgesini incelemesinde sonuç olarak altlık ile kaplama malzemesi arasında metalürjik olarak bir bağlanmanın olduğu ve Ni esaslı Fe, Al, B, Cr, Si ve C elementlerini içeren katı çözeltilerin varlığının söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bu incelemede orta karbonlu çelik yüzeyine SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli NiCrBAI tozlarının TIG kaynak yöntemi ile kaplamalarının farklı mikro yapısal değişimlere sahip olduğu görülmüştür (Chang et al., 2010).

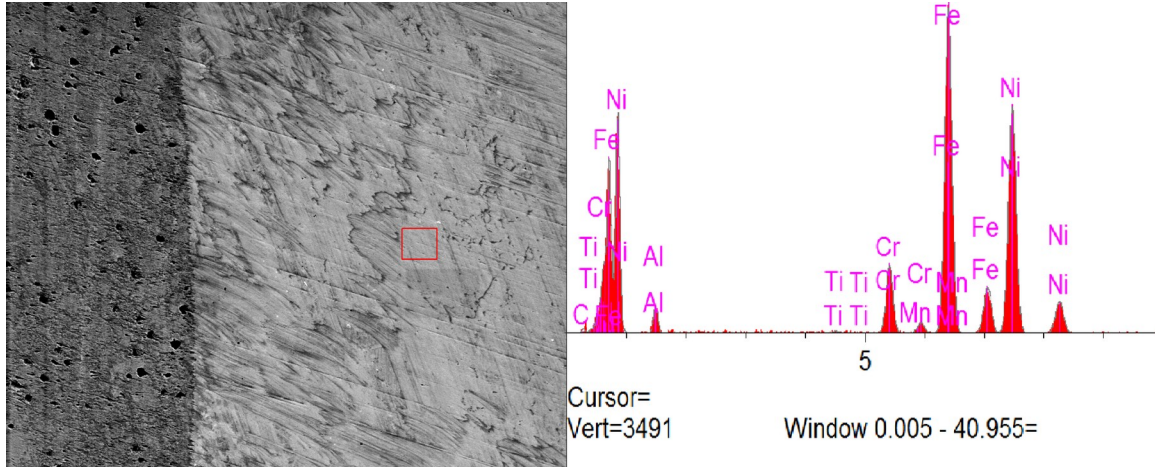


Şekil 4.18. NiCrBAI %7B4C toz karışımı içeren B4 numunesinin SEM görüntüsü

### 4.1.3. Mikroyapı Numunelerinin EDS Analizleri

#### 4.1.3.1. S1 Nolu Numunenin EDS Analizi

NiCrBAI takviye tozuyla kaplaması yapılan S1 numunenin EDS sonuçları Şekil 4.19'da ve Tablo 4.1'de verilmiştir. EDS sonuçları incelendiğinde kaplama bölgesinde Ni, Fe, Mn, Cr, Ti, Al, C, elementlerinin kaplama tabakasında hâkim olduğu görülmektedir. EDS difraktogramında ve analizinde ağırlıkça Fe ve Ni elementlerin zengin olduğu söylenebilir. Böylelikle altlık malzeme ile kaplama malzemenin iyi bir şekilde TIG kaynak yöntemi işlemi ile kaplamanın gerçekleştirdiği açıktır. Ağırlıkça %5,47 oranında bulunan Cr elementi ve C elementlerinin de var olması yapıda intermetalik bileşiklerin varlığını göstermektedir.



Şekil 4.19. S1 nolu numunenin EDS analizi

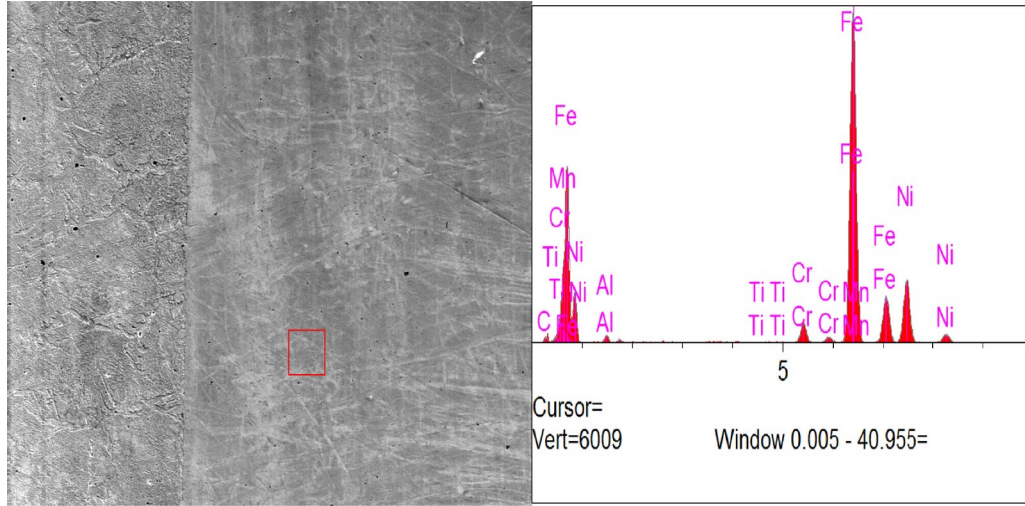
Tablo 4.1. S1 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	11,88	2,628	1,658	wt. %	
Al	Ka	87,72	5,020	2,418	wt. %	
Ti	Ka	9,73	4,148	0,150	wt. %	
Cr	Ka	331,49	7,662	5,477	wt. %	
Mn	Ka	7,52	3,849	0,162	wt. %	
Fe	Ka	1.710,94	15,521	41,865	wt. %	
Ni	Ka	1.276,22	13,472	48,270	wt. %	
				100,000	wt. %	Total

#### 4.1.3.2. S2 Nolu Numunenin EDS Analizi

S2 numuneye ait NiCrBAI tozuna %1SiC ilavesi ile kaplaması yapılan numunenin EDS analizi yapılmıştır. EDS sonuçları Şekil 4.20’de ve Tablo 4.2’de verilmiştir. Doğrudan kaplama katı üzerinden alınan EDS analizinden; yüzeydeki kaplama katının tamamına yakınının ağırlıkça %70 oranında Fe ve %21 oranında Ni elementinin zengince varlığı söz konusudur. Ayrıca S1 numuneye göre Fe elementinin ağırlıkça arttığı söylenebilir. Dolayısıyla Fe için kaplama katında iyi bir alaşımlama sergilediği açıktır. Kaplama katında az bir kısmının da SiC karbürlerinden oluştuğu, analiz sonuçlarından gözükmektedir. Bunun sonucu olarak; alınan analiz ölçümlerine göre az oranda silisyumun kaplama tabakasında matrise geçiş sağladığı, bu az orandaki silisyum geçişine de kaplama esnasında enerji girdisinin SiC oranının bu işlemde azlığı ile açıklanmaktadır. Ayrıca incelenen matris katında yer yer  $M_7C_3$  karbürlerinin de oluştuğu ve bu karbürlerin içerisinde silisyum elementinin dağıldığı tespit edilmiştir (Buytoz vd., 2009). EDS

analizinden anlaşılacağı üzere kaplama tabakasında görülen karbon ve silisyum elementlerinin matrise doğru, az oranda olsa da geçiş sağladığı ve bu bölgenin ara yüzeyindeki altlık ile kaplama yüzeyi arasındaki bağı güçlendirdiği söylenebilir.



Şekil 4.20. S2 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.2. S2 numunesinin EDS analiz sonuçları

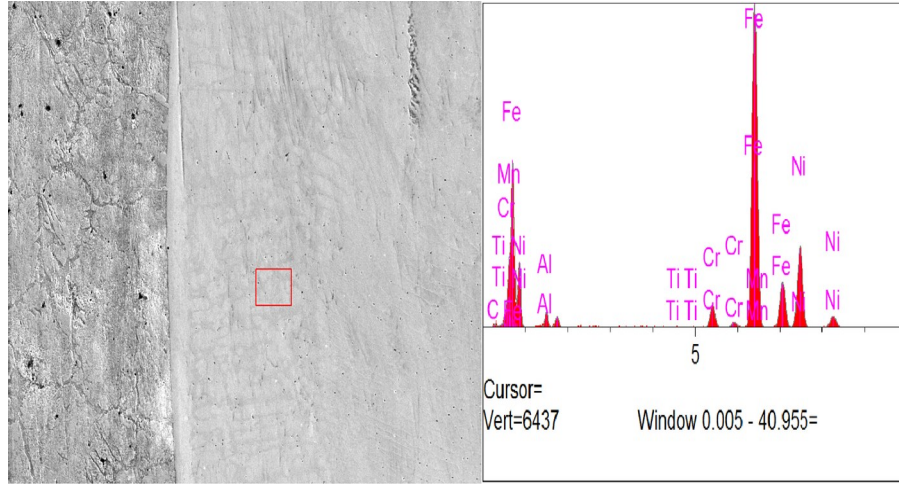
Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	32,34	3,371	3,761	wt.%	
Al	Ka	41,62	4,586	1,003	wt.%	
Si	Ka	20,36	4,407	0,382	wt.%	
Ti	Ka	2,99	4,150	0,039	wt.%	
Cr	Ka	164,85	6,088	2,099	wt.%	
Mn	Ka	30,64	4,180	0,608	wt.%	
Fe	Ka	2.961,24	20,187	70,264	wt.%	
Ni	Ka	605,81	9,569	21,843	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.3. S3 Nolu Numunenin EDS Analizi

%3 SiC takviye edilerek NiCrBAI tozuyla üretilen kaplama tabakasının EDS analizi Şekil 4.21’de ve Tablo 4.3’te verilmiştir. Modifikasyon yapılan üst tabakada optik resimleri ve EDS analizleri incelendiğinde kaplama tabakasında bazı bölgelerde dendritler arasında yerleşen ve henüz çözünmeyen, az oranda metal karbür bulunduran demir, krom ve silisyum içeren grafit tanelerinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Karbürler arası bölgelerde Si elementince zengin ötektik üstü bir yapı hakimken, karbürler C, Si, Fe ve



Cr içeriği yönünden zengin bir şekilde oluşmuştur. S2 numunesine göre de matris/kaplama katında Si oranının ağırlıkça arttığı görülmüştür. Sadece Si elementi artmamakla birlikte Cr elementi de S2 numunesine göre ağırlıkça daha fazla bulunmaktadır. Literatüre bakıldığında; NiCrBSi-SiC SAE 1030 çelik yüzeyine Oksijen Yakıtı (HVOF) kaplama yüzeyine püskürtülmesi durumunda, NiCrBSi ve SiC kaplama tozu karışımı, yüksek sıcaklık nedeniyle ayrışır ve daha sonra yeniden katılaşma yoluyla yeni fazlar oluşturur kaplamanın ana fazının Ni, Cr, C ve Si ile zengin östenit yapı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yapının  $Cr_7C_3$  olma olasılığı oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. (Buytoz et al., 2013). EDS sonuçları  $Cr_xC_y$  karbürlerinin varlığını desteklemektedir.



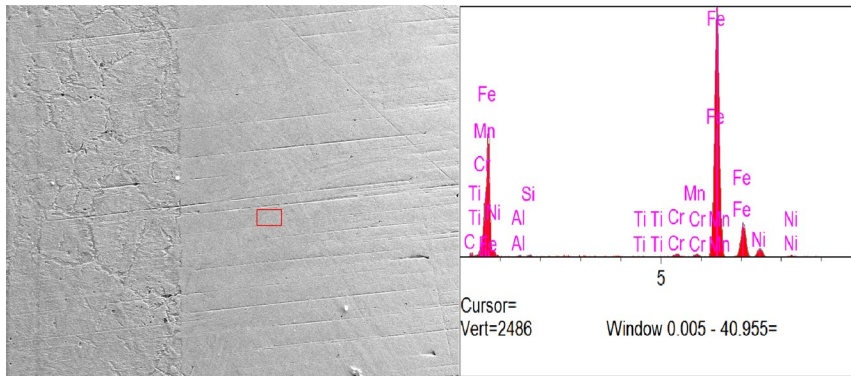
Şekil 4.21. S3 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.3. S3 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	18,91	3,003	1,999	wt.%	
Al	Ka	95,39	5,309	1,986	wt.%	
Si	Ka	72,38	5,235	1,182	wt.%	
Ti	Ka	6,50	4,554	0,075	wt.%	
Cr	Ka	208,76	6,773	2,386	wt.%	
Mn	Ka	26,63	4,498	0,456	wt.%	
Fe	Ka	3.225,66	21,105	65,156	wt.%	
Ni	Ka	870,87	11,400	26,760	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.4. S4 Nolu Numunenin EDS Analizi

%5SiC takviyesi yapılan NiCrBAI toz karışımına S4 numunesine ait EDS analiz incelemesi Şekil 4.23'te ve Tablo 4.4'te verilmiştir. Fe'in kaplama malzemesi ile alaşım oluşturduğu ve kaplama malzemesinde ağırlıkça %89 oranında var olduğu görülmektedir. Ayrıca diğer numunelere göre de Fe ağırlıkça zengin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca S3 numunesine göre de Si elementi ağırlıkça azalmıştır. İncelenen optik resimlerinde; tam olarak çözünmeden kalan belli bir miktar SiC tozlarının mevcut olduğu ve bu durumda homojen olmayan bir topaklaşmanın varlığı tespit edilmiştir. %5 oranında SiC toz partikülleri karışıma ilave edilip kaplaması yapılmasına rağmen topaklaşmadan kaynaklı SiC tozlarının kaplama katında yayılmadığı ve çözülmediği sonucuna varılır. Buytoz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada; AISI 4140 çeliğinin yüzeyi gaz tungsten ark tekniği kullanılarak SiC ve C tozları ile kaplamasını yapmışlardır. 0,55 mm/s üretim hızında 1gr SiC ve 0,2gr C toz yedirme değerinde, 28,6 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen numunesinde kaplama tabakası ve altlık malzeme arasındaki geçiş bölgesinden alınan EDS analizinde ağırlıkça Fe %85,92 ve C %9,42 atomunca zengin olduğu belirlenmiştir. Ara bölgede oluşan yapının bünyesinde demirin bir kısmının sementit ( $Fe_3C$ ) şeklinde bağlı olduğu, sementitin içeriğinde az oranda silisyumu çözüdüğü ve bir kısım demirin ise ferrit olarak bulunduğu sonucuna varılmıştır (Buytoz vd., 2009).



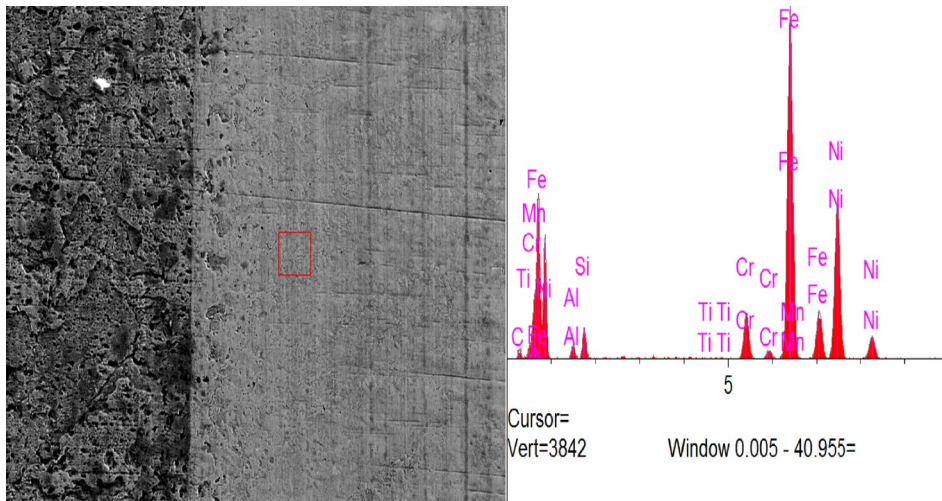
Şekil 4.22. S4 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.4. S4 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	10,65	1,945	3,523	wt.%	
Al	Ka	5,43	2,348	0,383	wt.%	
Si	Ka	8,21	2,564	0,451	wt.%	
Ti	Ka	2,24	2,386	0,082	wt.%	
Cr	Ka	15,66	2,578	0,505	wt.%	
Mn	Ka	14,18	2,524	0,824	wt.%	
Fe	Ka	1.221,80	12,932	89,072	wt.%	
Ni	Ka	46,56	3,016	5,161	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.5. S5 Nolu Numunenin EDS Analizi

%7SiC toz ilave edilerek NiCrBAI tozu ile kaplanan numuneye ait EDS sonuçları Şekil 4.23'te ve Tablo 4.5'te verilmiştir. Yapılan analizde Ni, Fe, Mn, Cr, Ti, Al, C ve Si elementleri tespit edilmiştir. Fe oranının S4 numunesine göre azaldığı söz konusudur. Ayrıca Si oranının diğer numunelere göre arttığı açıkça görülmektedir. Toz takviye oranları değişmesiyle kimyasal bileşimler farklılık göstermiştir. Enerji girdisi, toz yedirme oranı ve üretim hızı gibi modifikasyon şartlarının değişmesiyle kompozit üst tabakanın kimyasal bileşimlerinin değiştiği görülmüştür (Buytoz vd., 2005). Kaplama tabakasında hem optik hem SEM görüntüleri incelendiğinde SiC taneciklerinin büyük oranda EDS analizlerine göre çözündüğü söylemek mümkündür. Dolayısıyla kaplama tabakasında SiC partiküllerinin nüfuziyeti artarak yüzey üzerinde homojen bir dağılım sergilemiştir.



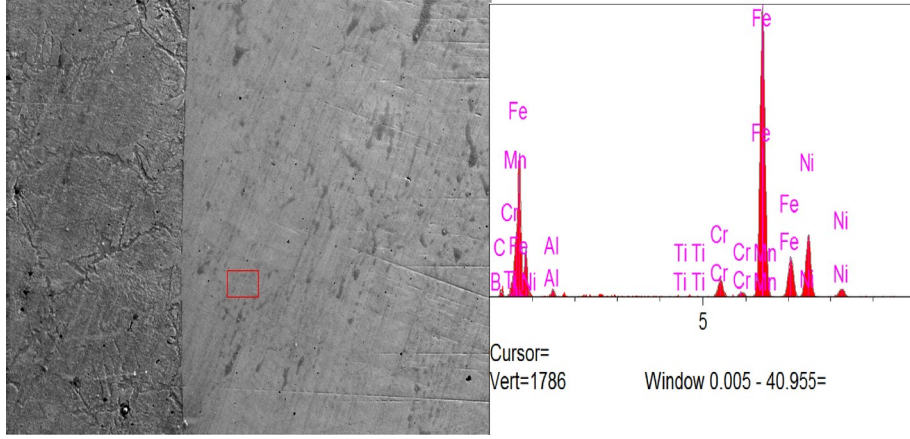
Şekil 4.23. S5 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.5. S5 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	28,22	3,074	4,147	wt.%	
Al	Ka	47,63	4,343	1,344	wt.%	
Si	Ka	108,77	5,345	2,393	wt.%	
Ti	Ka	2,62	3,871	0,043	wt.%	
Cr	Ka	227,26	6,610	3,841	wt.%	
Mn	Ka	15,68	3,766	0,363	wt.%	
Fe	Ka	1.879,42	16,177	50,149	wt.%	
Ni	Ka	925,14	11,509	37,721	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.6. B1 Nolu Numunenin EDS Analizi

%1B<sub>4</sub>C tozu ilave edilerek NiCrBAI tozu ile kaplanan B1 nolu numuneye ait EDS analizi Şekil 4.24'te ve Tablo 4.6'da verilmiştir. EDS görüntüsünde görüldüğü üzere C, Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni elementlerinin kaplama bölgesinde var olduğu görülmektedir. Kaplama malzemesinin ana fazını Ni esaslı Fe den oluştuğu görülmektedir. Ancak Cr ve C elementlerinde 2,18 ve 4,4 gibi değerlerde olması kaplama malzemesinin farklı faz ve bileşiklerden oluştuğunu göstermektedir. Orhan (2008)'e göre %66 Cr'lu FeCrC/Ti/B tozuyla yapılan kaplama numunesi yüzeyinden alınan EDS analizinden gidilerek; tüm yüzeyde yüksek oranda demir, krom, bor ve karbon elementlerinin içerdiği; buna karşın az oranda titanyum ve nikel elementlerinin mevcut olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla kaplama tabakasında az oranda çoğu sert ve gevrek TiC, FeB ve Fe<sub>2</sub>B bileşikleri oluşurken; büyük oranlarda M<sub>x</sub>C<sub>y</sub> metal karbürleri oluşmuştur. Bu karbürlerden özellikle M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> yapıda yüksek oranlarda oluştuğu düşünülen karbürlerdir.



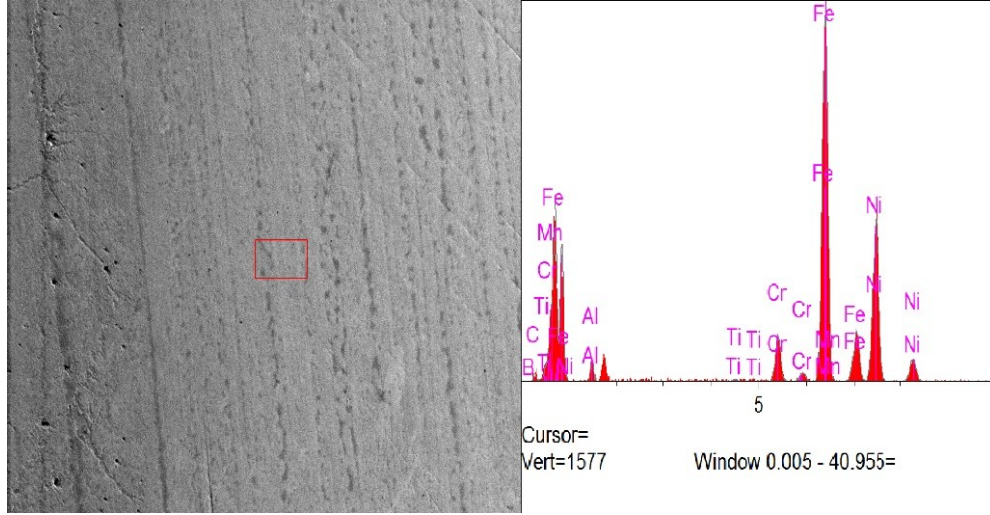
Şekil 4.24. B1 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.6. B1 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	0,00	0,680	0,000	wt.%	
C	Ka	11,80	2,042	4,404	wt.%	
Al	Ka	14,87	2,595	1,158	wt.%	
Ti	Ka	1,60	2,297	0,068	wt.%	
Cr	Ka	51,12	3,413	2,118	wt.%	
Mn	Ka	9,72	2,403	0,621	wt.%	
Fe	Ka	890,13	11,083	67,819	wt.%	
Ni	Ka	205,55	5,560	23,812	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.7. B2 Nolu Numunenin EDS Analizi

B2 numunesinin %3B<sub>4</sub>C tozu ilavesi yapılarak NiCrBAI tozuyla karışımı sağlanıp üretilen kaplama tabakasının EDS analizi Şekil 4.25’de ve Tablo 4.7’de verilmiştir. Demir ve nikel elementleri alaşımlama sergilemiştir. %3 oranında B<sub>4</sub>C içeren kaplama bölgesinde bor karbür tozları mevcuttur. Kaplama bölgesinde hâkim yapının M<sub>2</sub>C, M<sub>3</sub>C, M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> gibi karbür bileşiklerinde olduğu yapılan X-ray analizlerinden okunabilmektedir.



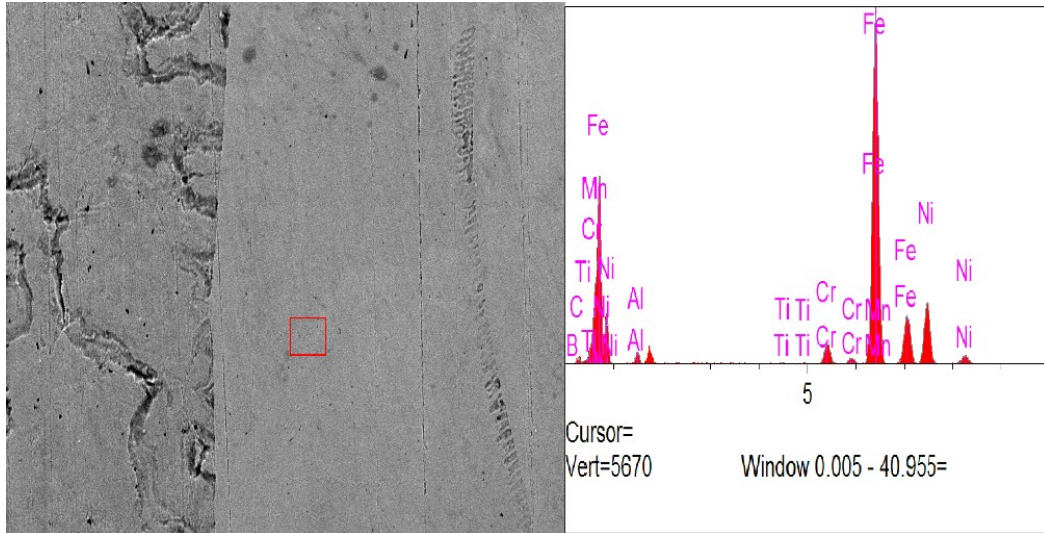
Şekil 4.25. B2 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.7. B2 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	0,00	0,566	0,000	wt.%	
C	Ka	9,50	1,849	3,486	wt.%	
Al	Ka	30,12	2,958	2,220	wt.%	
Ti	Ka	3,34	2,406	0,139	wt.%	
Cr	Ka	89,15	4,121	3,817	wt.%	
Mn	Ka	5,97	2,350	0,355	wt.%	
Fe	Ka	760,27	10,289	52,252	wt.%	
Ni	Ka	358,79	7,192	37,732	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.8. B3 Nolu Numunenin EDS Analizi

%5 B<sub>4</sub>C ilave edilerek NiCrBAI kaplama tozuyla kaplanan B4 nolu numuneye ait EDS analizleri Şekil 4.26'da ve Tablo 4.8'de verilmiştir. Fe ağırlıkça 71,381 gibi yüksek bir değerde olduğu ve ayrıca Ni ise ağırlıkça 20,357 olarak hesaplanmıştır. C ise 3,963 ve Cr 2,006 olarak ölçülmüştür. Kaplama tabakasında Fe yüksek olması demirle diğer elementlerin alaşım oluşturduğunu göstermektedir. Burada Ni esaslı oluşturulan alaşım bünyesinde diğer elementleri de barındırdığı oldukça önemlidir.



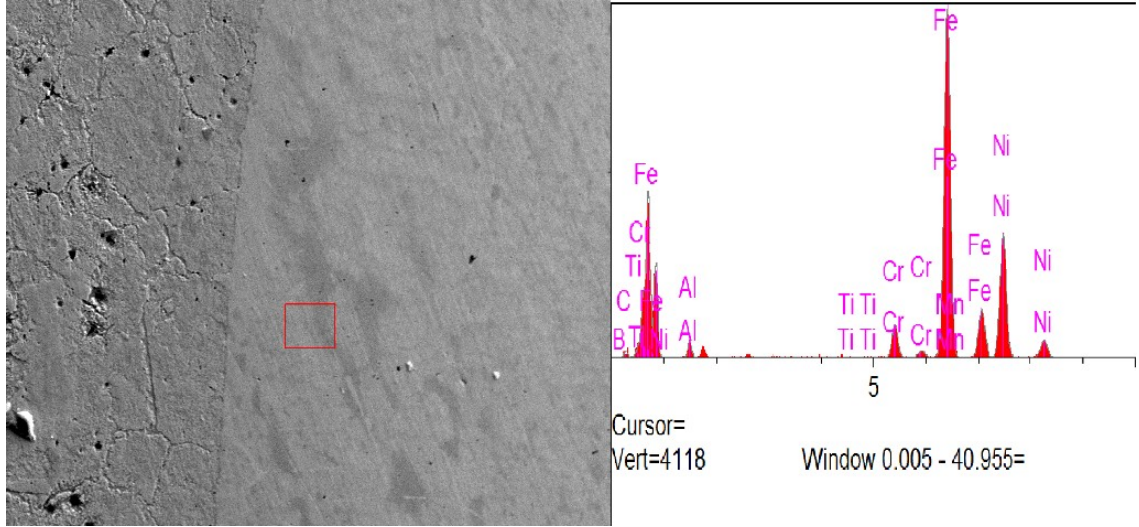
Şekil 4.26. B3 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.8. B3 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	0,00	1,033	0,000	wt.%	
C	Ka	31,88	3,152	3,963	wt.%	
Al	Ka	60,54	4,735	1,562	wt.%	
Ti	Ka	7,64	4,062	0,108	wt.%	
Cr	Ka	147,21	5,799	2,006	wt.%	
Mn	Ka	29,20	4,112	0,624	wt.%	
Fe	Ka	2.790,22	19,621	71,381	wt.%	
Ni	Ka	524,14	8,962	20,357	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.1.3.9. B4 Nolu Numunenin EDS Analizi

B4 numunesinin %7B<sub>4</sub>C eklenerek NiCrBAI tozuyla kaplana B4 nolu numuneye ait EDS sonuçları Şekil 4.27’de ve Tablo 4.9’da verilmiştir. EDS analizlerinde B elementi hesaplanamamıştır. Kaplama tabakasında C, Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni elementleri görülmektedir. Kaplama tabakasının ana fazını Fe ve Ni oluşturmaktadır. Ayrıca Cr ve C elementlerinin yüksekliği de karbürlerin varlığını göstermektedir.



Şekil 4.27. B4 nolu numunenin EDS analizi

Tablo 4.9. B4 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	0,00	0,984	0,000	wt.%	
C	Ka	22,85	2,993	3,374	wt.%	
Al	Ka	59,39	4,486	1,784	wt.%	
Ti	Ka	4,29	3,816	0,072	wt.%	
Cr	Ka	179,77	6,071	3,028	wt.%	
Mn	Ka	20,42	3,780	0,496	wt.%	
Fe	Ka	2.040,67	16,796	57,880	wt.%	
Ni	Ka	770,18	10,581	33,365	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2. Aşınma Numunelerinin SEM ve EDS Analizi

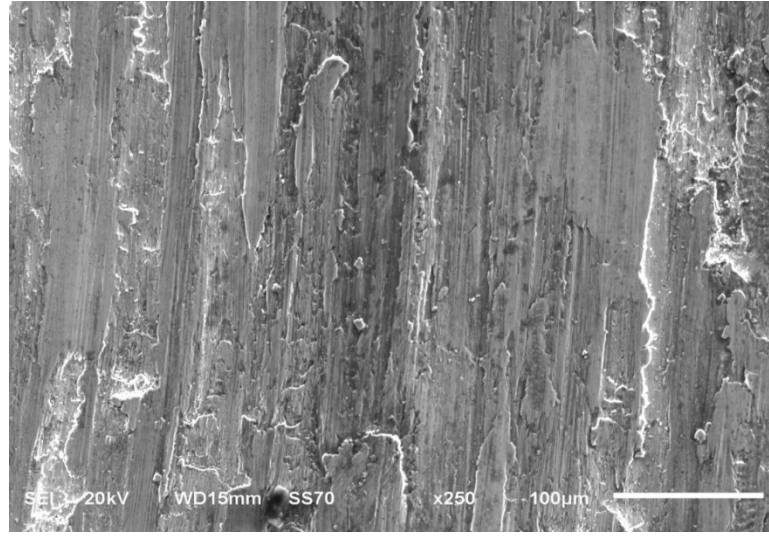
Aşınma morfolojisinin daha fazla araştırılması için, aşınma testinden sonra numunelerin yüzeyinden alınan SEM analizi ve EDS haritalaması yapılmıştır. SEM ve EDS analizleri aşağıda sırasıyla verilmiştir. SiC içermeyen numunenin aşınma yüzeyindeki aşınma izleri daha derin ve belirgindir. Bu numunede aşınma sonuçlarından kaynaklanan ağırlık kaybı daha yüksek olduğundan, NiCrBAI tozuna SiC ilavesi aşınma direnci kazanmak için ideal bir takviye olmuştur. Görselde SiC taneleri aşınma sırasında oluşan sıcaklık ve kırılma etkisiyle yerlerinden kırılmış ve bilyenin geçtiği yataklara ardışık sıralar doğrultusunda gömülmüştür. Farklı aşınma oranları ve sürtünme katsayısı sonuçları elde edilmesinin nedeni, çelik bilye ile kompozitler arasında aşınma sırasında oluşan ısı nedeniyle oluşan



karbür ve oksit tabakalarıdır. Bu katmanlar yağlama etkisi yaparak aşınmadan kaynaklanan kayıpları önler (Zhang et al., 1999; Huda et al., 1995).

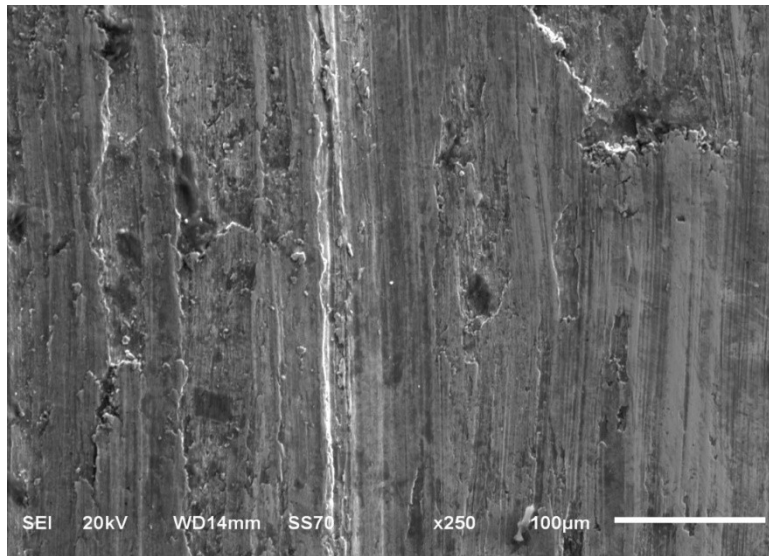
#### 4.2.1. Kaplama Sonrası Aşınma Numunelerinin SEM Analizi

##### 4.2.1.1. Aşınma Sonrası S1 Numunesinin SEM Analizi



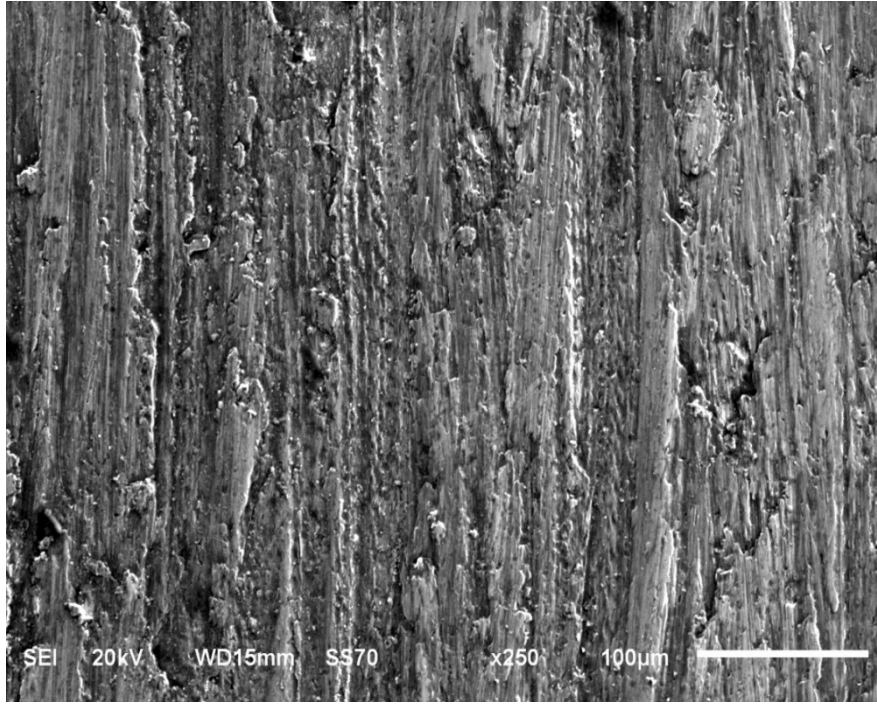
Şekil 4.28. NiCrBAI toz ilavesi içeren S1 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

##### 4.2.1.2. Aşınma Sonrası S2 Numunesinin SEM Analizi



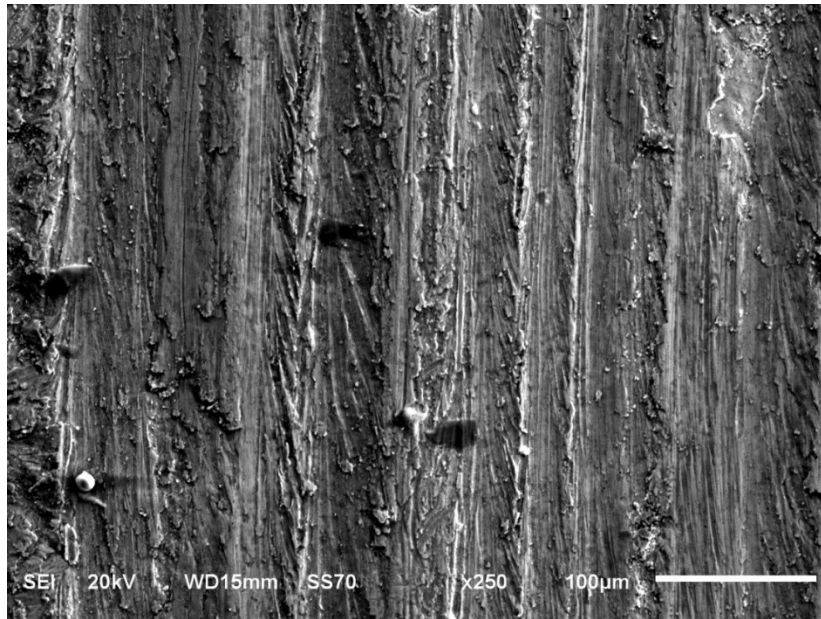
Şekil 4.29. NiCrBAI-%1SiC toz ilavesi içeren S2 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.3. Aşınma Sonrası S3 Numunesinin SEM Analizi



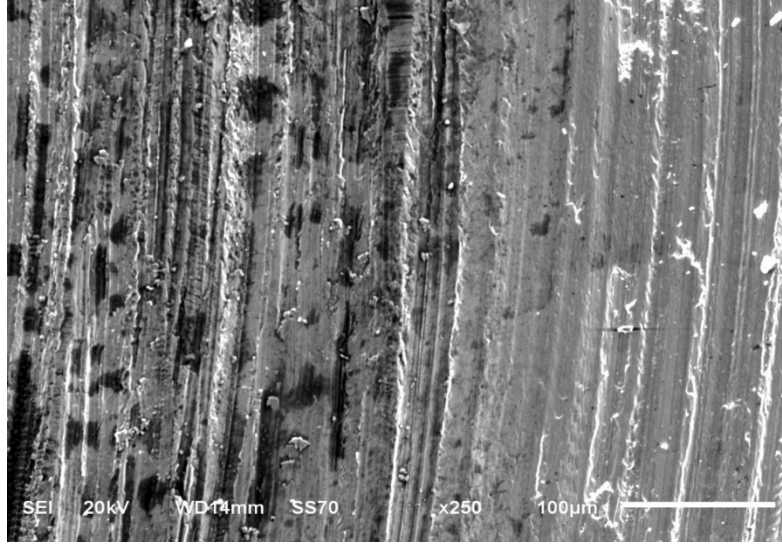
Şekil 4.30. NiCrBAI-%3SiC toz ilavesi içeren S3 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.4. Aşınma Sonrası S4 Numunesinin SEM Analizi



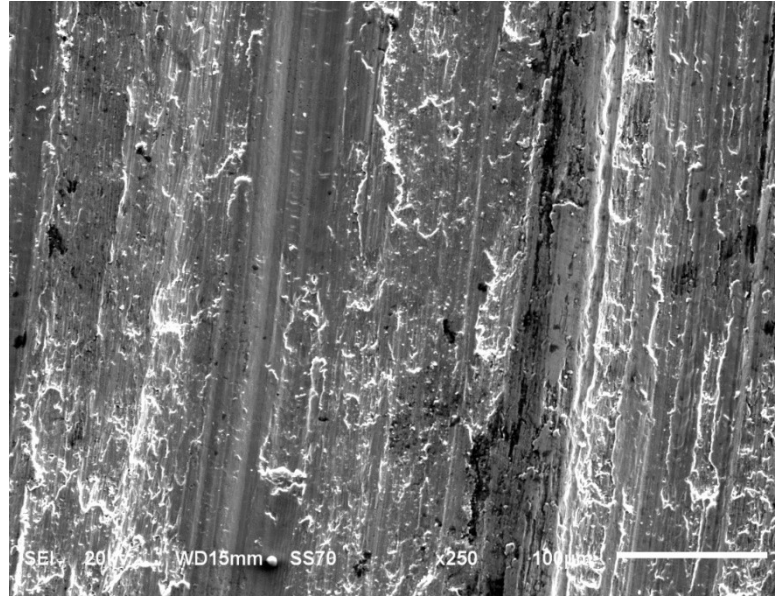
Şekil 4.31. NiCrBAI-%5SiC toz ilavesi içeren S4 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.5. Aşınma Sonrası S5 Numunesinin SEM Analizi



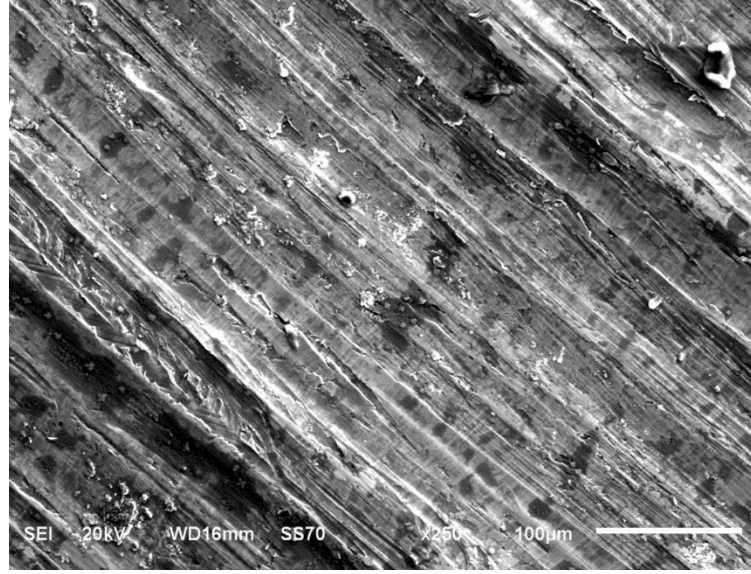
Şekil 4.32. NiCrBAI-%7SiC toz ilavesi içeren S5 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.6. Aşınma Sonrası B1 Numunesinin SEM Analizi



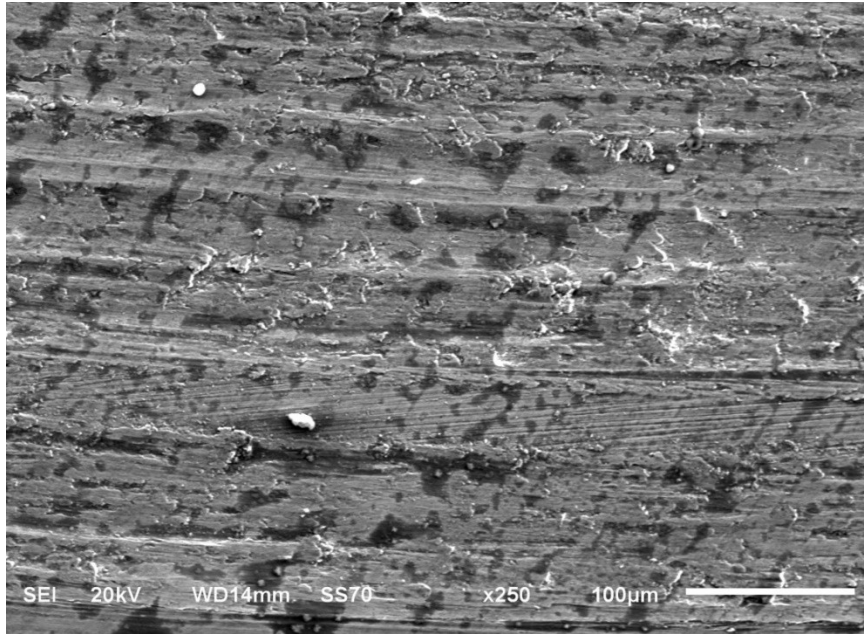
Şekil 4.33. NiCrBAI-%1B<sub>4</sub>C toz ilavesi içeren B1 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.7. Aşınma Sonrası B2 Numunesinin SEM Analizi



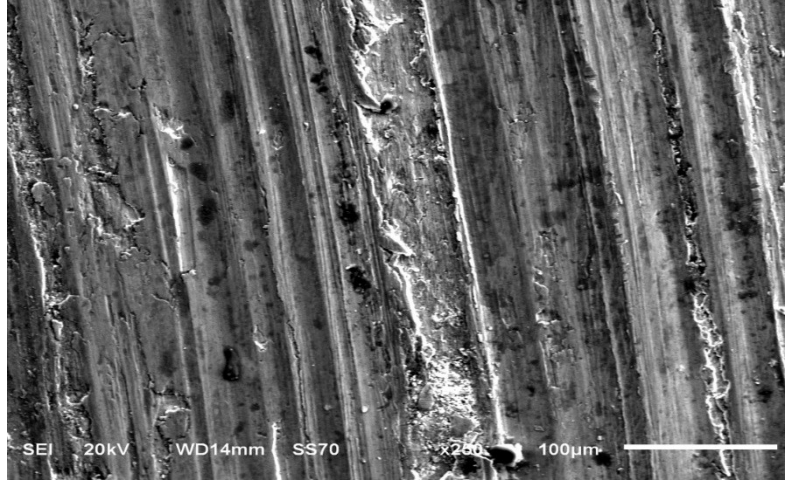
Şekil 4.34. NiCrBAI-%3B<sub>4</sub>C toz ilavesi içeren B2 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.1.8. Aşınma Sonrası B3 Numunesinin SEM Analizi



Şekil 4.35. NiCrBAI-%5B<sub>4</sub>C toz ilavesi içeren B3 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

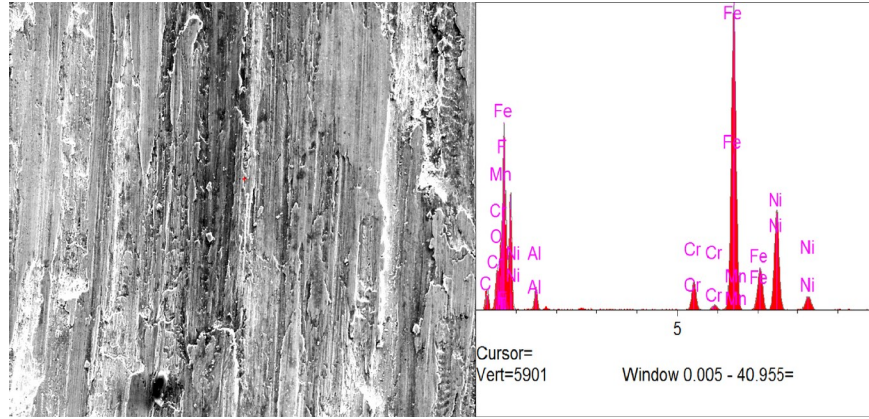
#### 4.2.1.9. Aşınma Sonrası B4 Numunesinin SEM Analizi



Şekil 4.36. NiCrBAI-%7B<sub>4</sub>C toz ilavesi içeren B4 numunesine ait aşınma SEM görüntüsü

#### 4.2.2. Kaplama Sonrası Aşınma Numunelerinin EDS Analizleri

##### 4.2.2.1. Aşınma Sonrası S1 Numunesinin EDS Analizi

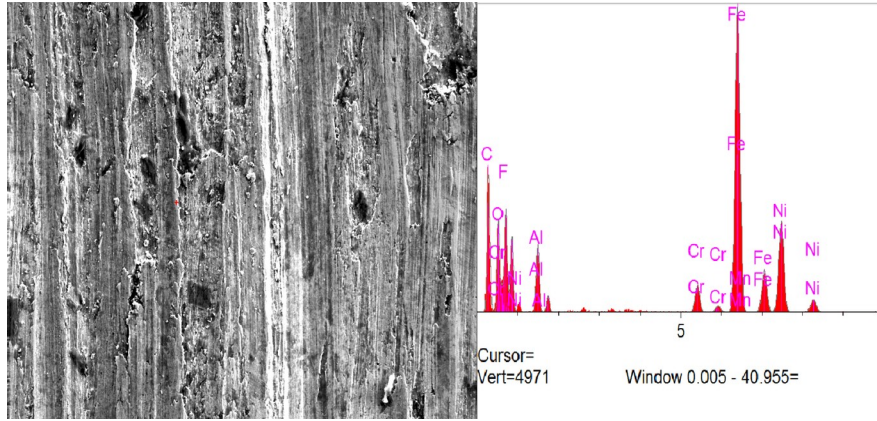


Şekil 4.37. Aşınma sonrası S1 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.10. Aşınma sonrası S1 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	108,71	5,295	8,943	wt.%	
O	Ka	115,26	5,712	3,375	wt.%	
F	Ka	211,64	6,875	4,221	wt.%	
Al	Ka	133,41	6,310	2,281	wt.%	
Cr	Ka	255,59	7,202	2,667	wt.%	
Mn	Ka	18,94	4,358	0,282	wt.%	
Fe	Ka	2.941,74	20,191	51,136	wt.%	
Ni	Ka	1.032,74	12,313	27,094	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.2. Aşınma Sonrası S2 Numunesinin EDS Analizi

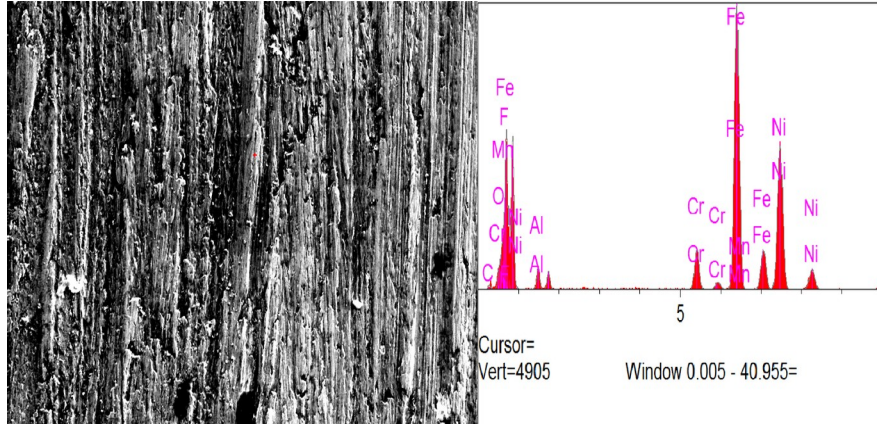


Şekil 4.38. Aşınma sonrası S2 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.11. Aşınma sonrası S2 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	602,16	9,540	30,247	wt.%	
O	Ka	347,94	7,314	10,967	wt.%	
F	Ka	125,05	5,087	2,771	wt.%	
Al	Ka	326,76	7,765	3,560	wt.%	
Si	Ka	85,51	5,600	0,776	wt.%	
Cr	Ka	205,49	6,647	1,772	wt.%	
Mn	Ka	24,89	4,194	0,294	wt.%	
Fe	Ka	2.471,53	18,569	33,757	wt.%	
Ni	Ka	790,28	10,914	15,856	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.3. Aşınma Sonrası S3 Numunesinin EDS Analizi

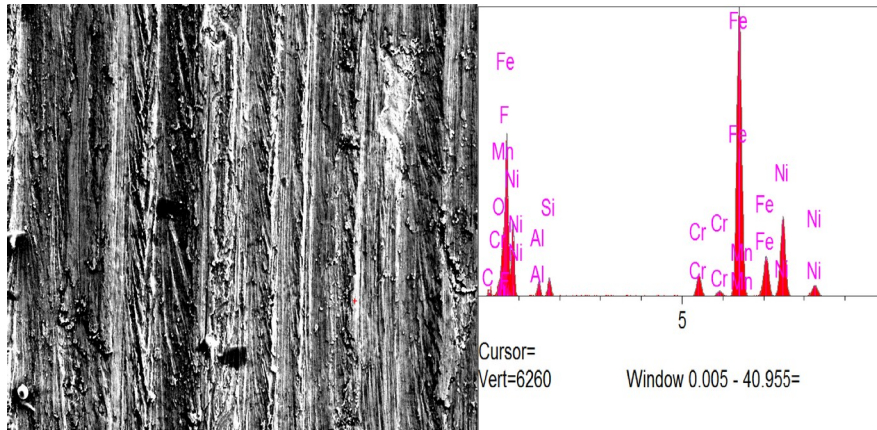


Şekil 4.39. Aşınma sonrası S3 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.12. Aşınma sonrası S3 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Kα	20,99	3,128	2,213	wt.%	
O	Kα	28,53	3,723	0,878	wt.%	
F	Kα	158,86	5,663	3,351	wt.%	
Al	Kα	120,15	5,874	2,433	wt.%	
Si	Kα	98,68	5,771	1,570	wt.%	
Cr	Kα	323,47	7,807	3,993	wt.%	
Mn	Kα	20,78	4,331	0,346	wt.%	
Fe	Kα	2.443,58	18,460	46,629	wt.%	
Ni	Kα	1.323,63	13,803	38,587	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.4. Aşınma Sonrası S4 Numunesinin EDS Analizi

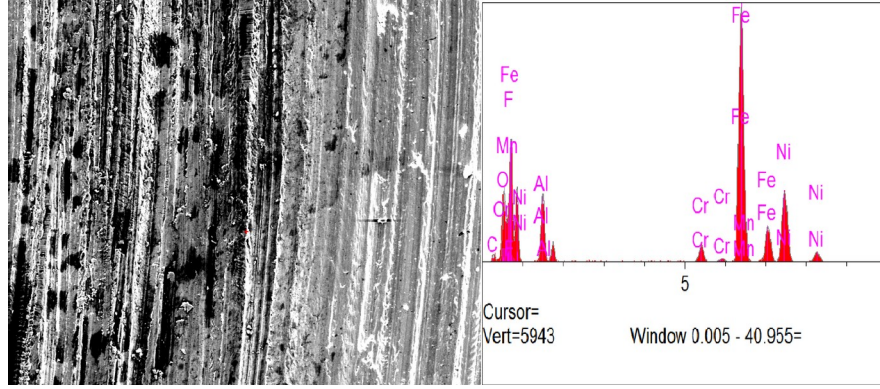


Şekil 4.40. Aşınma sonrası S4 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.13. Aşınma sonrası S4 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	39,35	3,816	3,814	wt.%	
O	Ka	0,22	3,658	0,007	wt.%	
F	Ka	218,94	6,593	4,133	wt.%	
Al	Ka	97,95	5,702	1,855	wt.%	
Si	Ka	125,84	6,138	1,876	wt.%	
Cr	Ka	215,91	6,859	2,374	wt.%	
Mn	Ka	30,88	4,537	0,496	wt.%	
Fe	Ka	3.145,35	20,837	59,204	wt.%	
Ni	Ka	920,87	11,671	26,241	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.5. Aşınma Sonrası S5 Numunesinin EDS Analizi



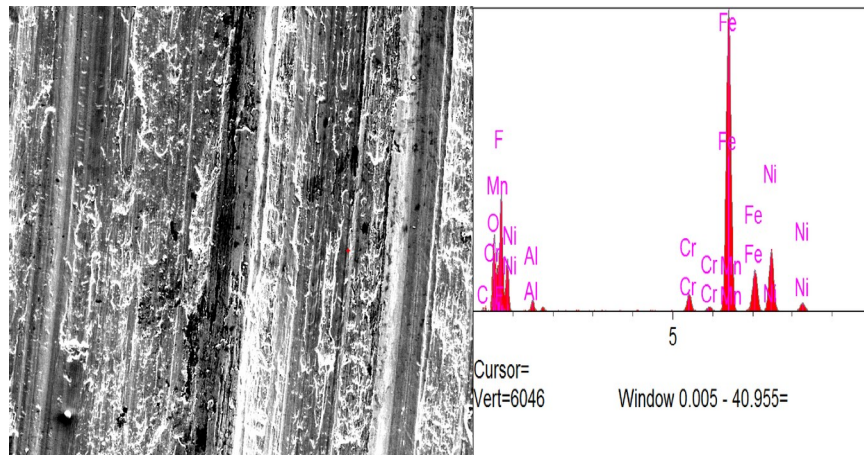
Şekil 4.41. Aşınma sonrası S5 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.14. Aşınma sonrası S5 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	45,40	3,640	4,028	wt.%	
O	Ka	349,56	7,405	9,207	wt.%	
F	Ka	172,01	5,688	3,580	wt.%	
Al	Ka	475,43	9,040	7,444	wt.%	
Si	Ka	146,65	6,239	1,926	wt.%	
Cr	Ka	175,71	6,430	1,828	wt.%	
Mn	Ka	17,77	4,331	0,259	wt.%	
Fe	Ka	2.942,66	20,178	49,814	wt.%	
Ni	Ka	866,64	11,388	21,914	wt.%	
				100,000	wt.%	Total



#### 4.2.2.6. Aşınma Sonrası B1 Numunesinin EDS Analizi

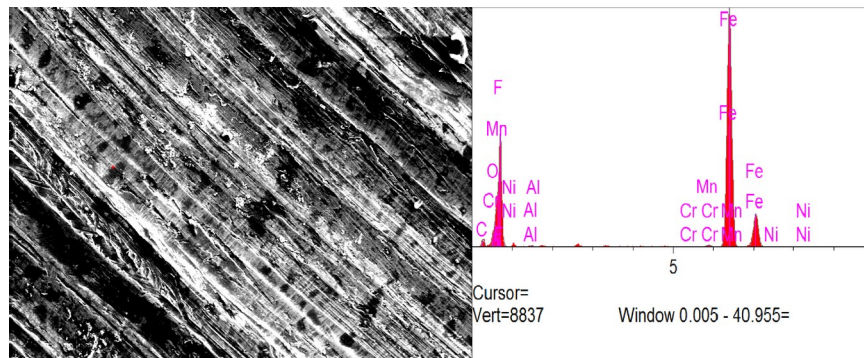


Şekil 4.42. Aşınma sonrası B1 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.15. Aşınma sonrası B1 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	20,29	3,199	1,925	wt.%	
O	Ka	324,37	7,574	9,315	wt.%	
F	Ka	143,59	5,841	3,440	wt.%	
Al	Ka	70,61	4,963	1,401	wt.%	
Cr	Ka	164,59	6,118	1,868	wt.%	
Mn	Ka	29,94	4,249	0,513	wt.%	
Fe	Ka	3.019,22	20,395	61,365	wt.%	
Ni	Ka	644,58	9,896	19,711	wt.%	
				99,538	wt.%	Total

#### 4.2.2.7. Aşınma Sonrası B2 Numunesinin EDS Analizi

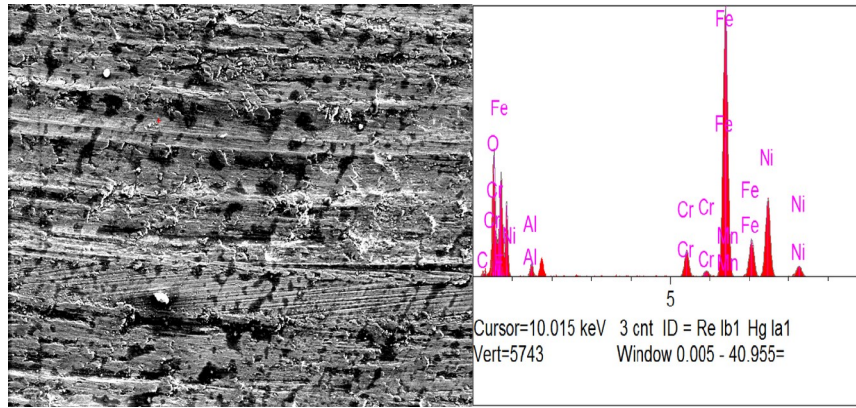


Şekil 4.43. Aşınma sonrası B2 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.16. Aşınma sonrası B2 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	76,85	4,293	6,341	wt.%	
O	Ka	28,23	3,250	0,814	wt.%	
F	Ka	245,78	6,327	4,292	wt.%	
Al	Ka	18,78	4,402	0,343	wt.%	
Cr	Ka	6,06	4,185	0,049	wt.%	
Mn	Ka	39,46	4,645	0,607	wt.%	
Fe	Ka	4.443,43	24,653	87,385	wt.%	
Ni	Ka	5,66	3,246	0,168	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.8. Aşınma Sonrası B3 Numunesinin EDS Analizi

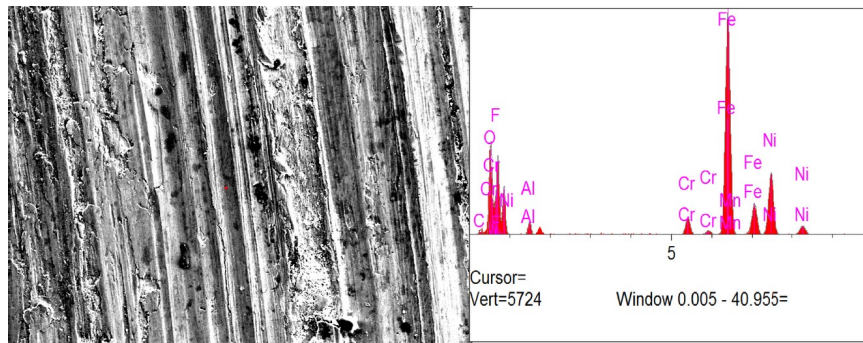


Şekil 4.44. Aşınma sonrası B3 numunesinin EDS analizi

Tablo 4.17. Aşınma sonrası B3 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	34,83	3,185	2,789	wt.%	
O	Ka	616,51	9,442	15,390	wt.%	
F	Ka	121,03	4,939	3,016	wt.%	
Al	Ka	86,66	5,534	1,484	wt.%	
Cr	Ka	257,80	7,202	2,743	wt.%	
Mn	Ka	32,76	4,467	0,496	wt.%	
Fe	Ka	2.863,11	19,932	50,629	wt.%	
Ni	Ka	884,29	11,505	23,453	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

#### 4.2.2.9. Aşınma Sonrası B4 Numunesinin EDS Analizi



Şekil 4.45. Aşınma sonrası B4 numunesinin EDS analizi

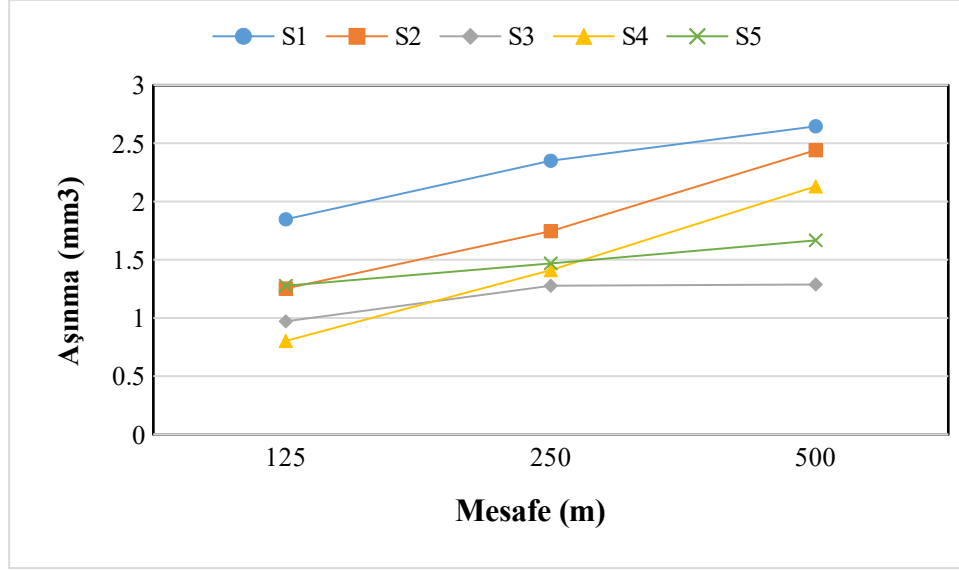
Tablo 4.18. Aşınma sonrası B4 numunesinin EDS analiz sonuçları

Elt	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	34,21	3,159	2,925	wt.%	
O	Ka	528,41	8,761	14,069	wt.%	
F	Ka	109,68	4,679	2,747	wt.%	
Al	Ka	98,37	5,426	1,780	wt.%	
Cr	Ka	197,87	6,580	2,166	wt.%	
Mn	Ka	22,38	4,358	0,355	wt.%	
Fe	Ka	2.818,02	19,769	52,412	wt.%	
Ni	Ka	842,23	11,176	23,546	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

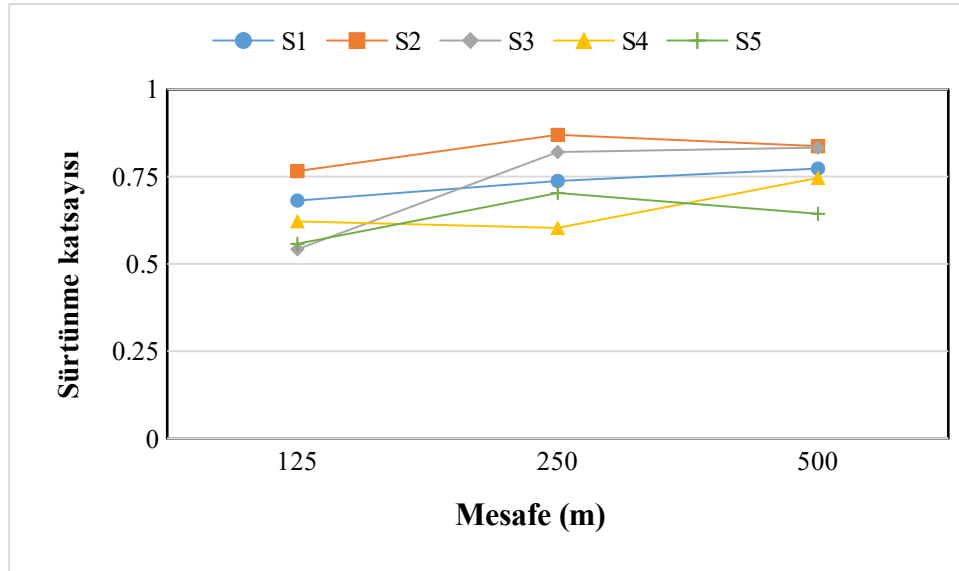
#### 4.3. Aşınma Testi Analizleri

NiCrBAI+SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli TIG kaplama tekniği ile kaplanan numuneler, avuç taşlama cihazıyla kesildikten sonra yüzeyleri sırası ile 60-400 mesh'lik zımpara kağıtları ile parlatılmıştır. Aşınma testleri oda sıcaklığında kuru bir pim-on-disk test cihazında seramik bir bilye (Ø6 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri 5N yük altında 125, 250 ve 500 m mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.46'da aşınma testlerinden elde edilen SiC takviyeli kaplamaların ağırlık kayıplarını göstermektedir. Artan SiC oranı da sertliği artırmış olup bu da ağırlık kaybındaki azalmada etkili olmuştur. SiC partikülleri eklenerek kompozitlerin aşınma direncine katkıda bulunulmuştur. SiC içermeyen numunelerin ağırlık kaybı, SiC'li diğer numunelere göre 2 kat daha fazla olmuştur. Grafik incelendiğinde SiC takviyesinin aşınma değerleri üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. 5N yük altında artan mesafe ile

birlikte artan takviye oranı ile ağırlık kaybı azalmıştır. Yük ve kayma mesafesi ne kadar yüksek olursa, ağırlık kaybı ve aşınma oranları da o kadar yüksek olur (Zhang et al., 1999; Huda et al., 1995).



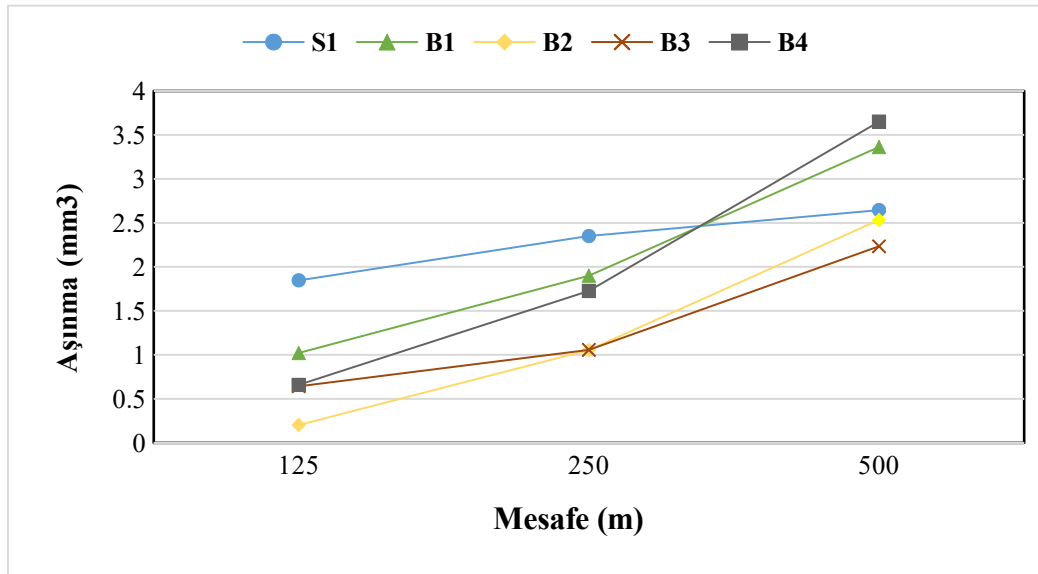
Şekil 4.46. S kodlu numunelerin aşınma-mesafe grafiği



Şekil 4.47. S kodlu numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe grafiği

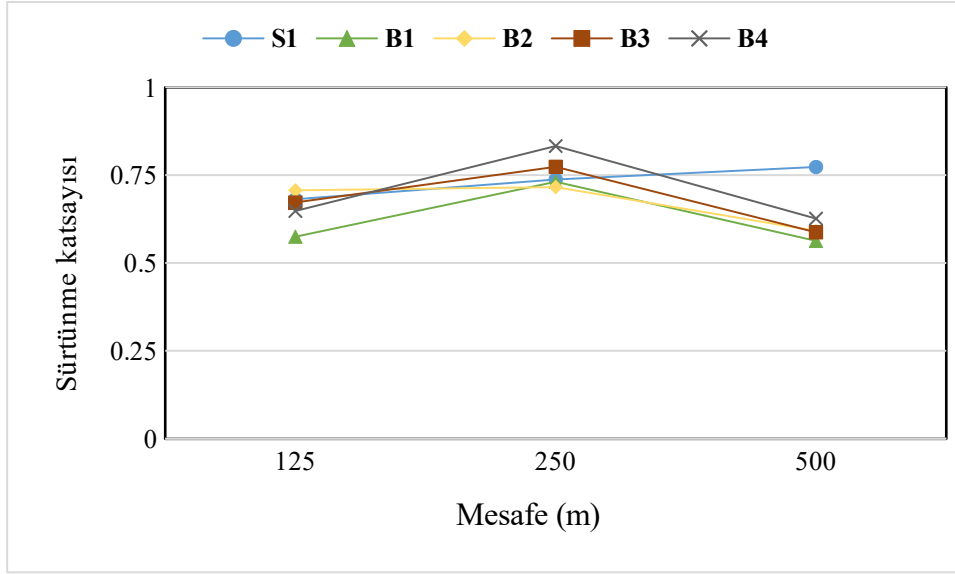
Şekil 4.47'de SiC takviyeli numunelerin mesafeye karşı sürtünme katsayısı oranları SiC oranlarına ve aşınma parametrelerine bağlı olarak aşınma testleri sırasında sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. 5N yük ve farklı mesafelerde ve farklı SiC oranları altında

test edilen kaplama katmanlarının sürtünme katsayılarını göstermektedir. Kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısında 250m mesafede artma görüldüğü ancak 500m mesafede azalmıştır. Bu artış başlangıçta büyük ancak artan mesafelerde SiC oranları arttıkça artmıştır. Aşınma katsayıları incelendiğinde en yüksek sürtünme katsayısı %1 SiC içeren numunede meydana gelmiş ve artan SiC oranı ile sürtünme katsayısı azalmıştır. Aşınma sonrası yapılan EDS ve XRD testleri sonuçları incelenmiştir. Bu sonuçlar itibariyle aşınma sırasında yüzeyde oluşan oksit ve matristen ayrılan karbürlerin yüzeyde yağlayıcı etki yapması nedeniyle sürtünme katsayısının düştüğünü ortaya koymuştur. Sonuç olarak, NiCrBAI tozuna aşınma direncini arttırmak için SiC tozu bir takviye elemanı adayı olabilir. Diğer çalışmalara göre (Tyagi, 2005; Buytoz vd., 2014; Tjong and Lau, 2000); bu davranışın ana nedeninin yüzeyde oluşan ve kohezif aşınma mekanizmasına yol açmayan bir yağlayıcı tabakanın varlığı olabileceğini bildirmiştir.



Şekil 4.48. B kodlu numunelerin aşınma-mesafe grafiği

Şekil 4.48’de verilen S1-B1-B2-B3-B4 numunelerine ait aşınma mesafe grafiği verilmiştir. Yapılan aşınma testinde numunelerin mesafeye karşı aşınma miktarları incelenmiştir. Artan B<sub>4</sub>C oranı ile aşınma miktarları değişiklik göstermiştir. En yüksek aşınma B4 nolu numunede 5N yük altında 500 m mesafede kaydedilmiştir. Artan takviye oranı ile B1, B2 ve B3 nolu numunelerde kademeli bir aşınma direncinde artma varken B4 nolu numunede bu direnç şiddetli düşmüştür.

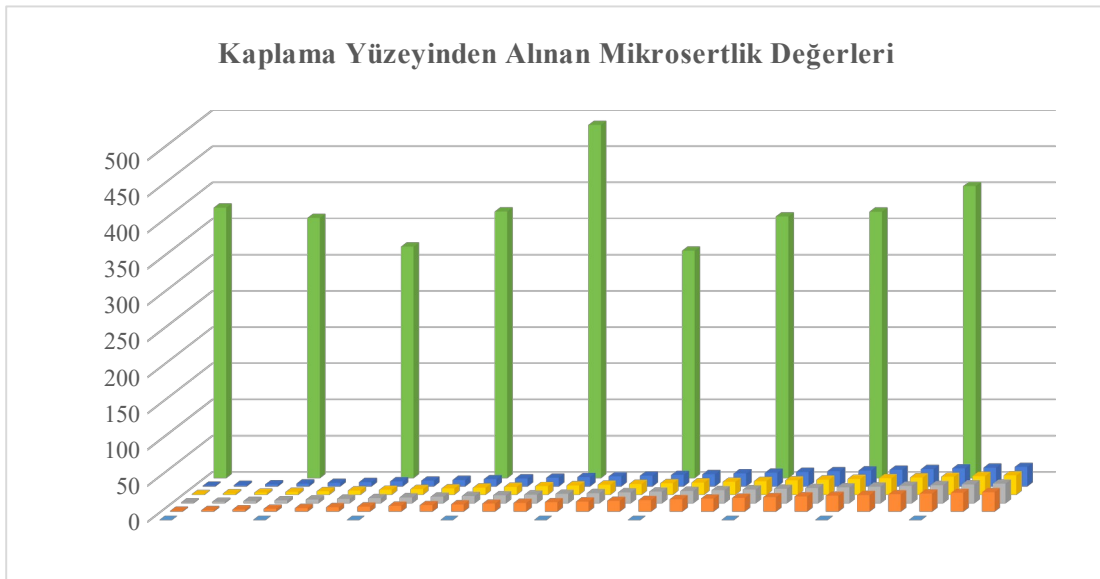


Şekil 4.49. B kodlu numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe grafiği

Şekil 4.49’da S1-B1-B2-B3-B4 numunelerine ait sürtünme katsayısı-mesafe grafiği verilmiştir. Yapılan aşınma testinde numunelerin mesafeye karşı sürtünme katsayısı miktarları incelenmiştir. Grafiği yorumladığımız zaman en düşük sürtünme katsayısı %1 B<sub>4</sub>C içeren B1 kodlu numune olmuştur. Artan mesafe ile sürtünme katsayısında bütün numunelerde düşmeler olmuştur. Herhangi bir takviye elemanı içermeyen numunede katsayıda düzenli bir artış görülürken diğer numunelerde 250 m mesafeden sonra azalmalar olmuştur. Bunun temel nedeni takviye elemanının yağlayıcı etki gösterdiğinden kaynaklanmaktadır.

#### 4.4. Mikro Sertlik Analizleri

Numuneler zımparalandıktan sonra aşağıda Şekil 4.50’de verilen hat üzerinde mikro sertlik cihazında sertlikleri alınmıştır. Bütün numunelerin yüzeyinden farklı bölgelerden sertlik ölçümleri yapılmıştır ve ortalama değerler alınmıştır. S1 numunesinin (NiCrBAI) ortalama kaplama sertliği 373,73HV sertlik değerine sahiptir. NiCrBAI-%1SiC toz kullanılarak kaplanan S2 numunesi ortalama sertliği 359,5 HV değerinde ölçülmüştür. S3 numunesi (NiCrBAI-%3SiC) sertlik değeri 320 HV değerinde çıkmıştır. S4 numunesi (NiCrBAI-%5SiC) toz miktarı olduğu halde sertlik değeri 368,4 ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde SiC takviyesiz olan S1 numunesi diğer S2, S3, S4 kodlu numunelerden yüksek çıkmıştır. NiCrBAI-%7SiC oranı olan S5 numunesi 488,1HV değerinde ölçülüp en yüksek ortalama sertliğini vermiştir. B<sub>4</sub>C takviyeli olan numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında, artan takviye oranıyla sertlik değerleri de artmıştır. Ancak B<sub>4</sub>C takviyeli numuneler NiCrBAI (S1) numunesinin sertliğinin altında kalmışlardır. B1 kodlu numune (NiCrBAI-%1B<sub>4</sub>C) oranına sahip sertlik değeri 314,3HV değerinde ölçülmüştür. NiCrBAI-%3B<sub>4</sub>C oranına sahip B2 numunesi 361,5HV sertlik değerine sahiptir. B3 numunesi (NiCrBAI-%5B<sub>4</sub>C) miktarı olan aşınma mikro sertlik değeri 368,1HV değerinde ölçülmüştür. B4 (NiCrBAI-%7B<sub>4</sub>C) en yüksek takviye oranına sahip numunenin sertlik değeri 403,5HV ortalama aşınma makro değerinde ölçülmüştür.

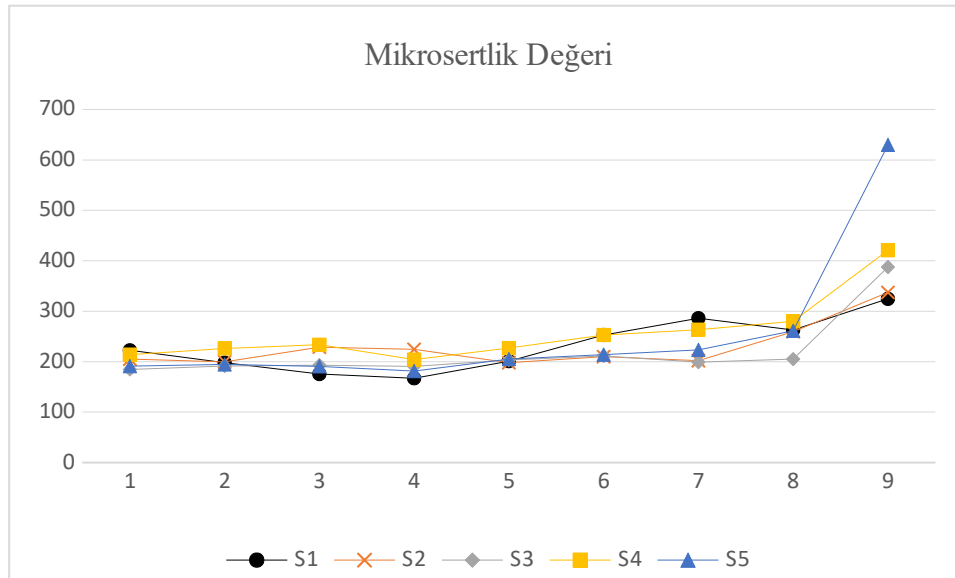


Şekil 4.50. Mikro sertlik analiz grafiği



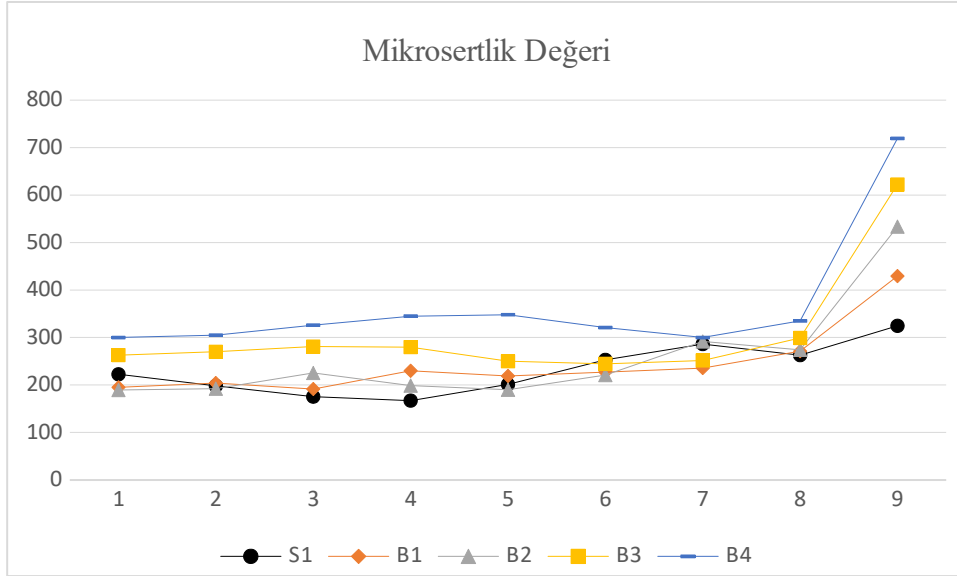
Şekil 4.51. Aşınma numuneleri üzerinden alınan Vickers sertlik ölçüm noktaları

NiCrBA1 kaplama tozuna SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarının belirli oranlarda ilave edilmesi ile TIG kaplama yöntemi kullanılarak kaplanan numunelerin mikrosertlik ölçümleri Şekil 4.52’de ve Şekil 4.53’te sırasıyla verilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri esas malzemeden kaplama yüzeyine doğru alınmıştır. SiC takviyeli S kodlu numunelerin sertlik değerleri 2-2.5 kat kaplama bölgesinde hemen hemen bütün numunelerde artış göstermiştir. Aynı şekilde B<sub>4</sub>C takviyeli B kodlu numunelere bakıldığında kaplama bölgesine girildiğinde sertliğin artan takviye oranına göre arttığı ve en yüksek sertlik değerinin %7 B<sub>4</sub>C oranına sahip numunede kaydedildiği görülmüştür.



Şekil 4.52. Altlık malzemeden kaplama yüzeyine doğru S1, S2, S3, S4 ve S5 numunelerinden alınan mikrosertlik değeri





Şekil 4.53. Altlık malzemedeki kaplama yüzeyine doğru S1, B1, B2, B3 ve B4 numunelerinden alınan mikrosertlik değeri

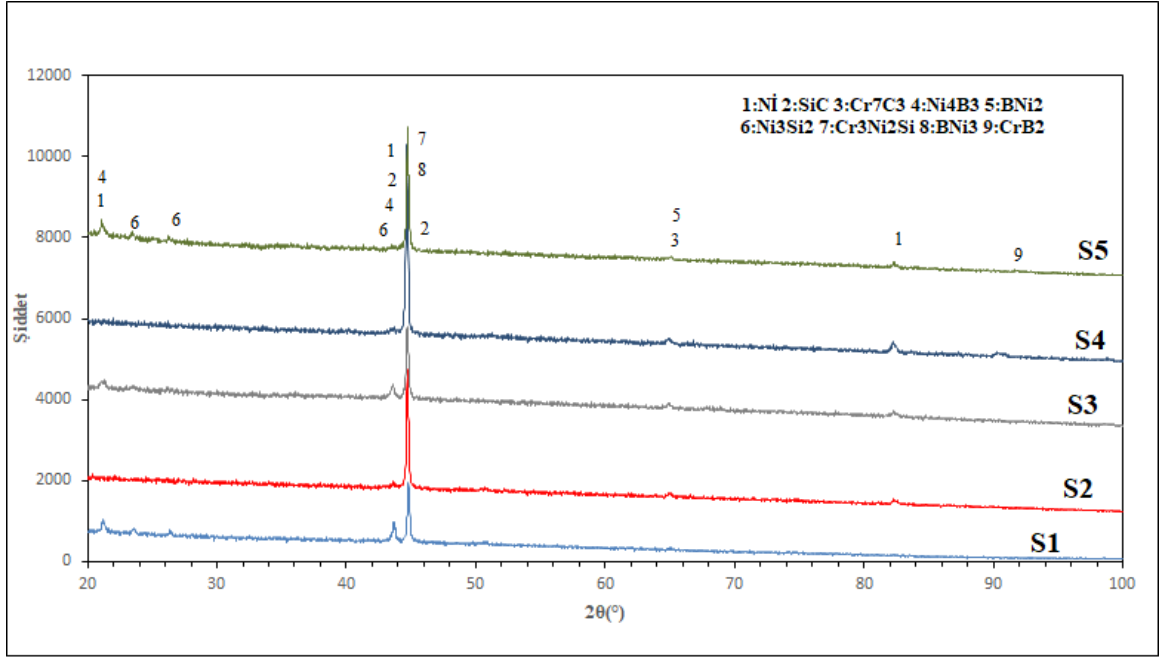


Şekil 4.54. Numuneler üzerinde alınan mikro sertlik ölçüm noktaları

#### 4.5. XRD Grafiği Analizi

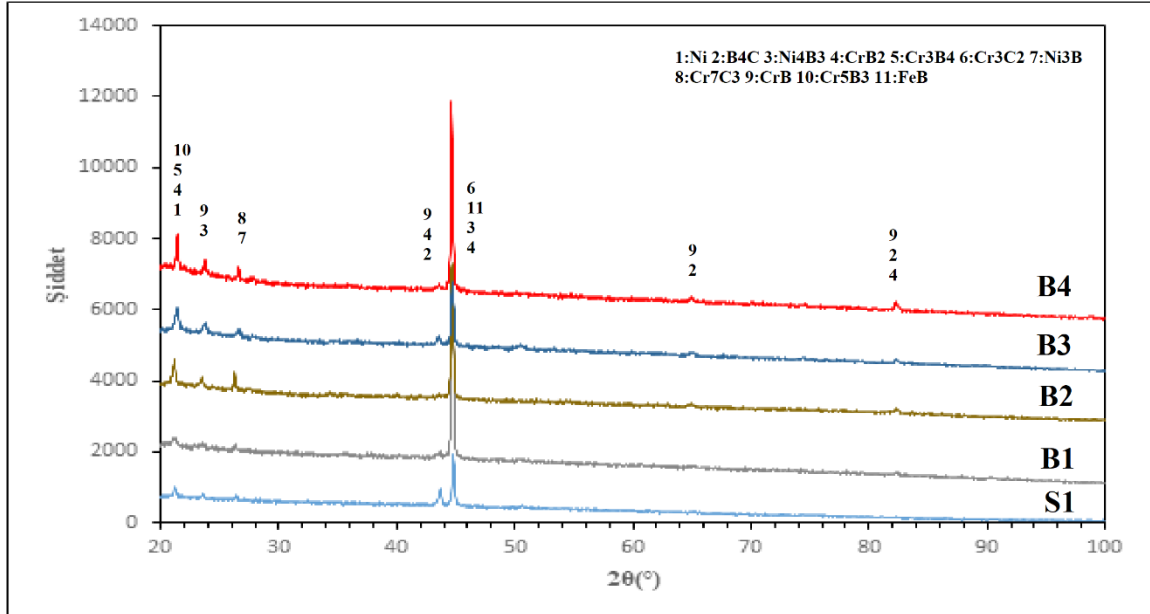
Tungsten Inert Gas (TIG) kaplama yöntemi ile AISI 1040 çelik malzemesine Ni takviyeli NiCrBAI -SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarla modifikasyon işlemi yapılan kaplamalara ait XRD grafikleri aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere verilmiştir. Şekil 4.55'te verilen S kodlu numunelerin NiCrBAI ve NiCrBAI-%1-3-5-7 SiC XRD grafiği incelemesi yapılmıştır. Buytoz vd. (2013)'e göre yapmış oldukları çalışmada SAE 1030 çelik yüzeyine HVOF kaplama yöntemi ile NiCrBSi-SiC tozları ilavesiyle kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. HVOF ile püskürtülen NiCrBSi-SiC kaplamalar için XRD grafikleri sonucunda kaplamaların esas itibariyle ana faz olarak  $\gamma$ - nikel bazlı yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdan oluştuğu açıktır. Bu durum tüm nikel esaslı kaplamalarda ortak olan bir özelliktir (Liu et al. 2010). Kaplamaların XRD grafikleri ayrıca Ni<sub>4</sub>B<sub>3</sub>, BNi<sub>2</sub>, BNi<sub>3</sub>, SiC ve Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> fazlarının çok düşük yoğunluklu piklerinin varlığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca Cr<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>Si, Cr<sub>13</sub>Ni<sub>5</sub>Si<sub>2</sub> ve CrB<sub>2</sub>'ye ait olarak indekslenen çok zayıf pikler tanımlanmıştır. Şekil 4.56'da verilen B kodlu numunelerin NiCrBAI ve NiCrBAI-%1-3-5-7 B<sub>4</sub>C XRD grafiği incelemesi yapılmıştır. Literatür çalışmalarında Buytoz vd. (2013)'e göre yapmış oldukları plazma transferli ark yöntemi kullanarak AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine Fe-Cr-C ve B<sub>4</sub>C ilave tozları ile X- ışını analiz sonuçlarında karbür fazlarının olduğu ve bunların yanı sıra, yüzey tabakasında Fe<sub>3</sub>(C, B) fazının varlığını ortaya koyan birkaç Fe<sub>3</sub>(C,B), Ni<sub>3</sub>B ve Cr<sub>2</sub>(C,B) kırınım pikleri de bulunmuştur. Hem XRD hem de EDS analiz sonuçlarına göre, birincil fazlar (Cr,Fe)<sub>7</sub>(C,B)<sub>3</sub> ve (Cr,Fe)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> karbür olarak tanımlanmış ve ötektik yapıların oluştuğu sonuçlara göre desteklenmiştir. (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve demir bazlı katı çözelti  $\gamma$ - (Fe,Ni) ve son olarak demir bazlı katı çözelti Ni elementi ile bileşik oluşturmuştur.

#### 4.5.1. S kodlu Numunelerin XRD Grafiği



Şekil 4.55. S kodlu numunelerin XRD grafiği

#### 4.5.2. B kodlu Numunelerin XRD Grafiği



Şekil 4.56. B kodlu numunelerin XRD grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Tungsten Inert Gas (TIG) kaplama metoduyla AISI 1040 Orta karbonlu çeliğin kaplaması yapılmıştır. NiCrBAI toz karışımına farklı oranlarda SiC ve B<sub>4</sub>C ilave edilmesiyle yüzey özellikleri değiştirilmiştir. TIG kaplama ergitme yöntemi ile modifikasyon işlemi gerçekleştirilen farklı miktarlarda kullanılan seramik tozları ve kaynak üretim parametreleri tüm kaplamalarda aynı akım ve şiddetle yapılması ile mikro yapı ve mekanik özellikleri açısından etkileri incelenmiştir. Kaplama işlemi sonucu numunelerin SEM, EDX ve X- ışını analizleri yapılarak mikro sertlik değerleri alınmıştır. Yapılan araştırma ve incelemelerle birlikte aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Bütün deney parametrelerinde kaplama tabakasında bir makro ve mikro çatlak meydana gelmemiştir.

Optik, SEM, EDS analiz sonuçları incelendiğinde kaplama ile altlık malzeme başarılı bir şekilde alaşım oluşturup kaplama malzemesinin altlık malzemesine tamamen kaplandığı görülmektedir. Dolayısıyla modifikasyon işlemi başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir.

SEM mikroyapı analizleri incelendiğinde SiC ve B<sub>4</sub>C kaplamalarından, kaplama tabakası üzerindeki altlık malzeme, geçiş bölgesi ve kaplama bölgesi net bir şekilde görülebilmektedir. Bu sayede oluşan fazlar anlaşılabilir. Yapıların gözeneklerin ve tane büyüklükleri görülebilmektedir.

Artan toz miktarıyla birlikte bor, silisyum, krom karbonun kaplanan altlık malzeme tarafına geçtiği tespit edilmiştir. Ayrıca nikel ve demirin de kaplama tabakasına doğru geçiş sağladığı, dendrit kollarının daha belirginleştiği ve geçiş bölgesinin daha belirginleştiği kaplanan alaşımdan kaplama yüzeyine doğru difüzyonun arttığı görülmüştür.

AISI 1040 malzemeye TIG kaynak yöntemi ile kaplama yapılırken temas anında toz tanecikleri ısıyı ana malzemeye verip katılmıştır. Kaplama bölgesinde ergimeyen SiC

taneciği görülmüştür. Ergimeyen SiC taneciği kaplama bölgesi yüzeyinde hızlı bir şekilde soğuyarak katılaşmaya yol açmıştır. Dolayısıyla bu katılaşma giderek kaplama tozlarını topaklaşmasına neden olmuştur ve yapıda kendini göstermiştir.

Aşınma testi analiz sonuçlarında; artan SiC oranı da sertliği artırmış olup bu da ağırlık kaybındaki azalmada etkili olmuştur. SiC partikülleri eklenerek kompozitlerin aşınma direncine katkıda bulunulmuştur. SiC içermeyen numunelerin ağırlık kaybı, SiC'li diğer numunelere göre 2 kat daha fazla olmuştur. Grafik incelendiğinde SiC takviyesinin aşınma değerleri üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Yapılan aşınma testinde numunelerin mesafeye karşı aşınma miktarları incelenmiştir. Artan B<sub>4</sub>C oranı ile aşınma miktarları değişiklik göstermiştir. En yüksek aşınma B4 nolu numunede 5N yük altında 500 m mesafede kaydedilmiştir. Artan takviye oranı ile B1, B2 ve B3 nolu numunelerde kademeli bir aşınma direncinde artma varken B4 nolu numunede bu direnç şiddetli düşmüştür.

TIG kaynak yöntemi ile kaplanan numunelerin, mikrosertlik analizleri incelendiğinde; altlık malzemedan kaplama malzemesine doğru çizgisel bir hat boyunca 0.5 mm aralıklarla yapılan mikrosertlik ölçüm sonuçlarına göre esas malzemedan kaplama katına doğru gidildikçe sertliğin arttığı görülmüştür.

Aşınma numunelerin mikrosertlik analiz sonuçları incelendiğinde kaplama tabakasında; en yüksek mikrosertlik değeri 488,1HV ve en düşük mikrosertlik değeri de 314,3 HV olarak ölçülmüştür.

## 5.2. Öneriler

Farklı kaynak akımları, toz yedirme miktarları ve üretim hızları kullanılarak ileride kaplama katı kalitesini iyileştirici çalışmalar yapılmalıdır.

TIG kaplama metoduyla modifikasyon işlemleri daha farklı toz kombinasyonlarıyla birlikte denenebilir.

Kaplama esnasında karbürleme veya nitrürleme oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

Altakan, C. (2011). AISI 1010 ve 1040 Celiklerine Nikel ve Krom Yayındırılarak Yuzey Ozelliklerin Gelistirilmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi).

Möhwald, K., Laarmann, A., Wenz, T., and Bach, F. W. (Eds.). (2006). *Moderne Beschichtungsverfahren*. John Wiley and Sons.

Buytoz, S. (2006). Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel. *Surface and Coatings Technology*, 200(12-13), 3734–3742.

Buytoz, S., Ulutan, M. (2006). In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying. *Surface and Coating Technology*, 200(12-13), 3698-3704.

Buytoz, S., Dagdelen, F., Islak, S., Kok, M., Kir, D., Ercan, E. (2014). Effect of the TiC content on microstructure and thermal properties of Cu–TiC composites prepared by powder metallurgy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(3), 1277-128.

Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A., ve Caligulu, U. (2013). Microstructural Development of Fe–Cr–C and B<sub>4</sub>C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(8), 2197–2204.

Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M. (2005). TIG Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4340 Çeliğinin Mikroyapısının İncelenmesi. *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XVIII, s.1,2.

Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M. (2009). TIG Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:XXII, s.1,2.

Buytoz, S., Ulutan, M., Islak, S., Kurt, B., Çelik, O. (2013). Microstructural and Wear Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed NiCrBSi–SiC Composite Coating on SAE 1030 Steel. *Arab J Sci Eng*, 1481-1491.

Buytoz, S., Yıldırım, M., Eren, H. (2005). Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten arc synthesized Fe–Cr–C coating on AISI 4340. *Materials Letters*, 59(6), 607-614.

Chagnon, P., Fauchais, P. (1984). Thermal spraying of ceramics. *Ceramics international*, 10(4), 119-131.

Chang, J. H., Chang, C., Chou, J., Hsieh, R., and Lee, J. (2010). Microstructure and bonding behavior on the interface of an induction-melted Ni-based alloy coating and AISI 4140 steel substrate. *Surface and Coatings Technology*, 204(20), 3173-31.

Chen, J. H., Chen, P., Lin, C. M, C., Chang, C. M, C., and Chang, Y. (2009). Characterization of multi-element alloy claddings manufactured by the tungsten inert gas process. *Surface and Coatings Technology*, 203(20-21), 2983-2988.

Chen, J., Dong, Y., Wan, L., Yang, Y., Chu, Z., Zhang, J., Li, D. (2018). Effect of induction remelting on the microstructure and properties of in situ TiN-reinforced NiCrBSi composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 340, 159-166.

Çalığülü, U., Dikbaş, H., Küçükarslan, H. (2016). Investigation of Surface Coating Ni3Al Intermetallic Compound on the AISI 1030 Steel by Using GTA Welding Method. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 159-169.

ElSawy, A. H. (2001). Characterization of the GTAW fusion line phases for superferritic stainless steel weldments . *Journal of materials processing technology*, 118(1-3), 127-131.

Erdoğan, M. (1998). *Seramik Malzemeler ve Üretim Yöntemleri*. Ankara: Gazi Üniversitesi Tek. Eğt. Fak. Metal Böl. Ders Notları.

Gediktaş, M. (1970). Sürtünme ve aşınma. *İ.T.Ü. Dergisi*, 28, s. 27-30.

Güngör, Y. (2001). *Malzeme Bilgisi*. İstanbul: Baskı, Beta Basım Yayım.

Houdková, Š., Pala, Z., Smazalová, E., Vostřák, M., Česánek, Z. (2017). Microstructure and sliding wear properties of HVOF sprayed, laser remelted and laser clad Stellite 6 coatings. *Surface and Coatings Technology*, 318, 129-141.

Howes, C. P. (1994). Thermal spraying: processes, preparation, coatings and applications. *Welding journal*, 73(4), 47-51.

Huda , M., Hashmi, M., and El-Baradie, M. (1995). MMCs: materials, manufacturing and mechanical properties. *Key engineering materials*,, 104, 37-64.

Hutchings, I. (1992). *Tribology: friction and wear of engineering materials*. Edward Arnold (ed.), St.

Jha, A., Prasad, B., Modi, O., Das, S., and Yegneswaran A. H. (2003). Correlating microstructural features and mechanical properties with abrasion resistance of a high strength low alloy steel. *Wear*, 254 (1-2), 120-128.

Karabaş, K. (2006). Bor karbür üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 82.

Kılıç, M., İmak, A., Kırık, İ., Okan, C., Balalan, Z. (2020). Boron and Ekabor III coating of AISI 316 stainless steel by PTA surface alloying. *Journal of Materials and Electronic Devices*, 3(1), 14-19.

Kırık, İ., Balalan, Z., Andan, Y., Yaz, M. (2019). St52 Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemi İle WC Takviyeli Tozla Kaplanması. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 16-20.

Korkut, M. (1997). Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, .

Korkut, M., Yılmaz, O., Buytoz, S. ( 2002). Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 157(1), 5-13.

Kumar, A., Batham, H., Das, A. (2021). Microhardness of Fe-TiB<sub>2</sub> composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique. *Materials Today. Proceedings*, 39,1291-1295.

Li, W. J., Tu, R., & Goto, T. (2006). Preparation of TiC-TiB<sub>2</sub>-SiC ternary eutectic composites by arc-melting and their characterizations. *Materials transactions*, 47(4), 1193-1197.

Liu, S., Zheng, X., Geng, G. (2010). Dry sliding wear behavior and corrosion resistance of NiCrBSi coating deposited by activated combustion-high velocity air fuel spray process. *Materials and design*, 31(2), 913-917.

Lou, D., Hellman, J., Luhulima, D., Liimatainen, J., Lindroos, V. (2003). Interactions between tungsten carbide (WC) particulates and metal matrix in WC-reinforced composites. *Materials Science and Engineering*, Vol.A340, pp.155-162.

Mori, T. (2008). Higher borides. *Handbook on the physics and chemistry of rare earths*. 38, 105-173.

Mridha, S., Ong H, S., Poh L, S., Cheang, P. (2001). Intermetallic coatings produced by TIG surface melting. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), 516-520.



Orhan, A. (2003). Al matrisli parçacık takviyeli kompozitlerin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması/Investigation of weldability of Al-matrix particulate reinforced composites by friction welding.

Orhan, A. (2008). Gaz Tungsten Ark Kaynak Yöntemiyle Üretilen Fe Esaslı Kaplama Tabakalarının Aşınma ve Mikroyapı Karakteristiklerinin Araştırılması. Elazığ.

Özay, Ç. (2004). TM yöntemiyle üretilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması. Elazığ: Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özel, S. (2009). Alüminyum alaşımı ve bronzu yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması/The investigation of coating of oxide and carbide compound on the surface of aluminium alloy and bronze by using plasma.

Özel, S., Kurt, B., Somunkıran, İ., Orhan, N. (2008). Microstructural characteristic of NiTi coating on stainless steel by plasma transferred arc process. Surface and Coatings Technology 202, 3633-3637.

Özel, S., Kurt, B., Somunkıran, İ., Orhan, N. (2008). Microstructural characteristic of NiTi coating on stainless steel by plasma transferred arc process. Surface and Coatings Technology, 202(15), 3633-3637.

Rachidi, R., Kihel, B., Delaunois, F. (2019). Microstructure and mechanical characterization of NiCrBSi alloy and NiCrBSi-WC composite coatings produced by flame spraying. Materials Science and Engineering B, 241, 13-21.

Sahoo, C., Masanta, M. (2017). Microstructure and mechanical properties of TiC-Ni coating on AISI304 steel produced by TIG cladding process. Journal of Materials Processing Technology, 240, 126-137.

Salman, S., Köse, R., Urtekin, L., Findik, F. (2006). An investigation of different ceramic coating thermal properties. Materials and design, 27(7), 585-590.

Sarikaya, Ö. (2003). Al-% 12Si malzemesi üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+B<sub>4</sub>C kaplama. Sakarya: Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Shahroozi, A., Afsari, A., Khakan, B., Khalifeh, A. (2018). Microstructure and mechanical properties investigation of stellite 6 and Stellite 6/TiC coating on ASTM A105 steel produced by TIG welding process. Surface and Coatings Technology, 350, 648-658.

Solmaz, Y. (2002). Ni<sub>3</sub>Al+B metaller arası bileşiminin değişken sıcaklık şartlarında aşınma davranışının incelenmesi. Elazığ. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tjong, S., Lau, K. (2000). Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites. *Materials Letters*, 43(5-6), 274-280.

Toplan, H. Ö. (2008). İleri teknoloji seramik malzemeler. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları.

Tušek, J., Suban, M. (2003). High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition. *Journal of materials processing technology*, 133(1-2), 207-213.

Tyagi, R. (2005). Synthesis and tribological characterization of in situ cast Al-TiC composites. *Wear*, 259(1-6), 569-576.

Ulutan, M. (2007). AISI 4140 Çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması. Eskişehir: Osmangazi Üniv. FBE (Doctoral dissertation), Doktora tezi.

Wang, J. L., Tao, W. (2016). Crack initiation and propagation behavior of WC particles reinforced Fe-based metal matrix composite produced by laser melting deposition. *Optics and Laser Technology*, 82, 170-182.

Wu, X., Chen, G. (1999). Microstructural features of an iron-based laser coating. *Journal of materials science*, 34(14), 3355-3361.

Zhang, X., Ye, L., Mai, Y., Quan, G., Wei, W. (1999). Investigation on diffusion bonding characteristics of SiC particulate reinforced aluminium metal matrix composites (Al/SiCp-MMC). *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 30(12), 1415-1421.

Zhang, Z., Wang, H., Xu, B., Zhang, G. (2015). Characterization of microstructure and rolling contact fatigue performance of NiCrBSi/WC-Ni composite coatings prepared by plasma spraying. *Surface and Coatings Technology*, 261, 60-68.

Zhao, M., Liu, A., Guo, M., Liu, D., Wang, Z., Wang, C. (2006). WC reinforced surface metal matrix composite produced by plasma melt injection. *Surface and Coatings Technology* 201, 1655-1659.

Zhou, S., Huang, Y., Zeng, X., Hu, Q. (2008). Microstructure characteristics of Ni-based WC composite coatings by laser induction hybrid rapid cladding. *Materials Science and Engineering A*, 480 (1-2), 564-572.

Zhu, L., Cui, Y., Cao, J., Tian, R., Cai, Y., Xu, C., Tian, Y. (2021). Effect of TIG remelting on microstructure, corrosion and wear resistance of coating on surface of 4Cr5MoSiV1 (AISI H13) . *Surface and Coatings Technology*, 405, 126547.

