

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

**İNDÜKSİYON YÖNTEMİ KULLANILARAK NiTi/SiC TOZU İLE
KAPLANAN AISI 1020 ÇELİĞİN MİKROYAPI VE MEKANİK
DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral YILDIRIM BELTİR

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Aydın TURGUT**

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

BİNGÖL-2022



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İNDÜKSİYON ISITMA YÖNTEMİ KULLANILARAK NİTİ/SİC TOZU İLE
KAPLANAN AISI 1020 ÇELİĞİN MİKROYAPI VE MEKANİK
DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Aydın TURGUT danışmanlığında, Meral YILDIRIM BELTİR tarafından hazırlanan bu çalışma 28/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.Aydın TURGUT

İmza :

Üye : Dr.Öğrt.Üy.Ünal DEĞİRMENCİ

İmza :

Üye : Dr.Öğrt.Üy.Edip ÇETKİN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

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

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları sürecinde gerekli destek ve katkılarından dolayı birinci danışman hocam Prof. Dr. Aydın TURGUT’a ve ikinci danışman hocam Doç. Dr. İhsan KIRIK’a teşekkür ederim.

Sayısal analiz kısmında hiçbir emeğini esirgemeyen, yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümündeki değerli hocam Arş. Gör. Anıl İMAK’a ve Bingöl Üniversitesi Meslek Yüksekokulu hocalarından Öğr. Gör. Serhat ŞAP’a teşekkür ederim.

Tez yazımı ve deneyleri yapma sürecinde beraber yol aldığımız canım arkadaşım Yüksek Makine Mühendisi Fadile BULUT’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Makine Mühendisi Mutlu AKGÜN’e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresi boyunca her zaman yanımda olan sevgili eşim BARIŞ BELTİR’e maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Meral YILDIRIM BELTİR

Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çelik Malzemeler.....	1
1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	2
1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	2
1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	3
1.2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi.....	3
1.2.1. Karbon.....	4
1.2.2. Silisyum.....	4
1.2.3. Nikel.....	5
1.2.4. Titanyum.....	5
1.3. Çeliklere Uygulanan Yüzey İşlemler.....	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	8
3. METERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Amaç.....	13
3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	13
3.2.1. AISI 1020 Çeliği.....	13
3.2.2. Ni/Ti-SiC Tozları.....	14
3.3. Deneysel Çalışmalar.....	14
3.3.1. Tozları Hassas Terazide Ölçme.....	14
3.3.2. Tozları Karıştırma.....	15
3.3.3. Kaplama Numunelerinin Hazırlanması.....	16

3.3.4. Kurutma.....	17
3.3.5. Deneyde Kullanılan İndüksiyon Kaynak Makinesi.....	17
3.3.5.1. İndüksiyon Isıtma.....	18
3.3.5.2. İndüksiyon Kaynak Makinesi.....	18
3.4. Kaplama Sonrası Uygulanan Testler.....	19
3.4.1. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması.....	19
3.4.2. Sertlik.....	20
3.4.3. Aşınma.....	20
3.4.4. Optik Görüntülerin İncelenmesi.....	21
3.4.5. SEM ve EDS Analizi.....	22
3.4.6. XRD Analizi.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
4.1. Mikroyapı İncelemeri.....	24
4.1.1. Optik Analizleri.....	24
4.1.1.1. S1 Numunesinin Optik İncelemeri.....	24
4.1.1.2. S2 Numunesinin Optik İncelemeri.....	25
4.1.1.3. %8 SiC ile Kaplanan S3 Numunesinin Optik Analizi.....	26
4.1.1.4. %12 SiC ile Kaplanan S4 Numunesinin Optik Analizi....	27
4.1.1.5. %16 SiC ile Kaplanan S5 Numunesinin Optik Analizi....	28
4.2. SEM Analizleri.....	29
4.2.1. S1 Numunesinin SEM Analizi.....	29
4.2.2. %4 SiC ile Kaplanan S2 Numunesinin SEM Analizi.....	30
4.2.3. %8 SiC ile Kaplanan S3 Numunesinin SEM Analizi.....	31
4.2.4. %12 SiC ile Kaplanan S4 Numunesinin SEM Analizi.....	32
4.2.5. %16 SiC ile Kaplanan S5 Numunesinin SEM Analizi.....	33
4.3. EDS Analizleri.....	34
4.3.1. S1 Numunesinin EDS Analizi.....	34
4.3.2. S2 Numunesinin EDS Analizi.....	37
4.3.3. S3 Numunesinin EDS Analizi.....	38
4.3.4. S4 Numunesinin EDS Analizi.....	40
4.3.5. S5 Numunesinin EDS Analizi.....	42
4.4. Aşınma.....	44
4.4.1. S1, S2, S3 Numunelerinin Aşınma Sonrası Kütle Kayıpları.....	47

4.5. Sertlik Analizleri.....	48
4.6. XRD Analizleri.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
5.1. Sonuçlar.....	51
5.2. Öneriler.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDS	: Enerji dağılım spektroskopisi
OM	: Optik mikroskop
XRD	: X ışını difraktometresi
Ar	: Argon gazı
HCl	: Hidro klorikasit
W	: Wolfram
Co	: Kobalt
B	: Bor
Cr	: Krom
Mo	: Molibden
St	: Çelik
Hf	: Hafnium
Zr	: Zirkonyum
Cu	: Bakır
Al	: Aliminyum
Au	: Altın
Pd	: Paladyum
Pt	: Platin
Fe	: Demir
C	: Karbon
Si	: Silisyum
Ni	: Nikel
Ti	: Titanyum

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Hassas terazi.....	15
Şekil 3.2.	Torna tezgahı.....	16
Şekil 3.3.	Freze tezgahı.....	16
Şekil 3.4.	Numunelerin fırınlanması.....	17
Şekil 3.5.	Deneyde kullanılan İndüksiyon kaynak makinesi.....	18
Şekil 3.6.	Zımparalama ve parlatma cihazı.....	19
Şekil 3.7.	Sertlik ölçme cihazı.....	20
Şekil 3.8.	Pin-on disk aşınma cihazı.....	21
Şekil 3.9.	Optik cihazı.....	22
Şekil 3.10.	SEM cihazı.....	22
Şekil 3.11.	XRD cihazı.....	23
Şekil 4.1.	NiTi kaplı S1 numunesinin optik görüntüsü.....	25
Şekil 4.2.	NiTi kaplı %4 SiC takviyeli S2 numunesinin optik görüntüsü.....	26
Şekil 4.3.	NiTi kaplı %8 SiC takviyeli S3 numunesinin optik görüntüsü.....	27
Şekil 4.4.	NiTi kaplı %12 SiC takviyeli S4 numunesinin optik görüntüsü.....	28
Şekil 4.5.	NiTi kaplı %16 SiC takviyeli S5 numunesinin optik görüntüsü.....	29
Şekil 4.6.	NiTi kaplı S1 numunesinin SEM görüntüsü.....	30
Şekil 4.7.	NiTi kaplı %4 SiC takviyeli S2 numunesinin SEM görüntüsü.....	31
Şekil 4.8.	NiTi kaplı %8 SiC takviyeli S3 numunesinin SEM görüntüsü.....	32
Şekil 4.9.	NiTi kaplı %12 SiC takviyeli S4 numunesinin SEM görüntüsü.....	33
Şekil 4.10.	NiTi kaplı %16 SiC takviyeli S5 numunesinin SEM görüntüsü.....	34
Şekil 4.11.	S1 numunesinin noktasal EDS görüntüsü.....	35
Şekil 4.12.	S1 numunesinin elementsel EDS analizi.....	36
Şekil 4.13.	S1 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü.....	37
Şekil 4.14.	S2 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü.....	38
Şekil 4.15.	S3 numunesinin noktasal EDS görüntüsü.....	39
Şekil 4.16.	S3 numunesinin elementsel EDS analizi.....	40
Şekil 4.17.	S4 numunesinin noktasal EDS görüntüsü.....	41

Şekil 4.18.	S4 numunesinin elementsel EDS analizi.....	41
Şekil 4.19.	S5 numunesinin noktasal EDS görüntüsü.....	42
Şekil 4.20.	S5 numunesinin elementsel EDS analizi.....	43
Şekil 4.21.	S5 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü.....	44
Şekil 4.22.	S1 numunesinin aşınma grafiği.....	45
Şekil 4.23.	S2 numunesinin aşınma grafiği.....	46
Şekil 4.24.	S3 numunesinin aşınma grafiği.....	47
Şekil 4.25.	S1, S2, S3 numunelerinin aşınma sonrası kütle kayıpları.....	48
Şekil 4.26.	NiTi matrisli %4, %8, %12, %16 SiC takviye elemanı içeren numunelerin sertlik değerleri.....	48
Şekil 4.27.	S1, S2, S3 nolu numunelerin XRD görüntüleri.....	50

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1.	Yüzey sertleştirme işlemleri.....	6
Tablo 3.2.	NiTi ve SiC tozlarının fiziksel özellikleri.....	14
Tablo 3.3.	NiTi ve SiC toz karışım oranları.....	15
Tablo 4.1.	S1 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi.....	36
Tablo 4.2.	S2 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi.....	38
Tablo 4.3.	S3 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi.....	40
Tablo 4.4.	S4 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi.....	42
Tablo 4.5.	S5 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi.....	43

İNDÜKSİYON YÖNTEMİ KULLANILARAK NİTİ/SİC TOZU İLE KAPLANAN AISI 1020 ÇELİĞİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Düşük karbonlu çeliklerin yaygın kullanımları ve kullanıldıkları ortamda kullanım ömürlerinin uzatılması büyük önem arz etmektedir. Bu çeliklerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmış ve çok sayıda çalışma devam etmektedir. Bu çalışmada AISI 1020 çelik yüzeyine Ni/Ti ve Ni/Ti-SiC tozları ile indüksiyon ateşleme sistemi kullanılarak kendi kendine yanma sentezi yöntemi ile kaplanarak yüzey özellikleri açısından aşınma direnci iyi, düşük maliyetli ve kaplanmaları daha kolay üretim yöntemleri geliştirilmiştir. AISI 1020 çeliği düşük karbonlu çeliklerin yüzeyi indüksiyon ısıtma yöntemi ile farklı kompozit tozlarla alaşımlandırılmıştır. Alaşımlandırılan yüzeylerin aşınma ve mikro yapı özellikleri araştırılmıştır. Düşük karbonlu çeliklerin yüzeyleri 25 gr NiTi oranı ile oranları değişen SiC alaşımının tozları katılarak alaşımlandırılmıştır. Yüzey alaşımlama işleminden sonra, alaşımlı yüzeyin mikro yapısını incelemek için, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları (XRD) noktasal analiz (EDS), optik mikroskop gibi teknoloji araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Abrasif aşınma testleri pin-on-disk aparatı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Alaşımlandırılmış yüzey üzerinden mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İndüksiyon, kaplama, aşınma, NiTi, NiTi-SiC.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 1020 STEEL COATED WITH NiTi/SiC POWDER USING THE INDUCTION METHOD

ABSTRACT

Widespread use of low carbon steels and prolonging their useful life in the environment in which they are used are of great importance. Many studies have been carried out to improve the surface properties of these steels and many studies are ongoing. In this study, production methods with good wear resistance, low cost and easier coating have been developed in terms of surface properties by coating AISI 1020 steel surface with Ni/Ti and Ni/Ti –SiC powders by self-combustion synthesis method using induction ignition system. The surface of low carbon steels of AISI 1020 steel is made with different composite powders by induction heating method. The wear and microstructure properties of the described surfaces were investigated. The surfaces of the low carbon steels are made sense by adding the powders of the SiC alloy, the proportions of which vary with the 25 gr NiTi ratio. After the surface alloying process, technology research methods such as scanning electron microscope (SEM), X-rays (XRD) point analysis (EDS), optical microscope were used to examine the microstructure of the alloy surface. Abrasive wear tests were performed on pin-on-disc, adhesive wear tests were performed on block-on-disc apparatus. Microhardness values were measured on the alloyed surface. The obtained results were discussed by comparing with the literature.

Keywords: Induction, plating, wear, NiTi, NiTi-SiC.

1. GİRİŞ

Çağımızın son gelişmeleri malzemelerden beklenen enerji, mukavemet ve maliyetin ön planda tutulduğu günümüz şartlarında endüstriyel taleplerin her aşamasında bu hedeflere yönelik çalışmaların olduğu açıktır. Bu bağlamda ülkelerin savunma, havacılık, otomotiv ve daha farklı sektörlerde hafif, mukavemetli, maliyeti düşük ve kullanılabilir malzemelerin geliştirilmesi üzerine çok ciddi Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yaygın kullanım alanı olan AISI 1020 çeliğinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde sayısız çalışmaya konu olduğu görülmüştür. Ayrıca altlık malzeme üzerine istenilen özelliklerin oluşturulması amacı ile kaplama yöntemleri kullanılarak altlık malzemelerinin özellikleri geliştirilebilmektedir. AISI 1020 çeliğinin üzerine koruyucu bir kaplama tabakası oluşturacaktır. Yapılan kaplama işleminde AISI 1020 çeliğinin altlık malzeme ile üzerine indüksiyon yöntemi kullanılarak Ni/Ti matrisli ve SiC takviyeli kompozit kaplama tabakası oluşturulacaktır. Kaplanan numunelerin altlık malzeme ile kaplama tabakası arasındaki arayüzey uyumu mikro yapıları, Optik mikroskop (OM), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), noktasal analiz (EDS), X-ışını difraktometre (XRD) işlemleri kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özellikleri mikro sertlik ölçümleri ve abresiv aşınma deneyleri yapılarak deney parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri incelenerek optimum parametre seviyeleri belirlenecektir.

1.1. Çelik Malzemeler

Çelik, %0,2-%2,1 oranlarında değişen karbon miktarı ve demir atomu bileşimi ile meydana gelen alaşım türüdür. Karbon atomu genelde demirin alaşımlayıcısı olsa dahi demir atomunu alaşımlamada, volfram, vanadyum, krom ve magnezyum benzeri farklı elementlerin kullanıldığı bilinmektedir. Karbon ve diğer elementlerin görevi daha çok demir elementindeki kristal kafeslerin birbirlerine kayarak geçişini engelleyerek sertleşme rolünü üstlendikleri bilinmektedir. Çelik içerisinde değişen alaşımlayıcı elementlerin, mevcut olan formlar (çökelti evresi, çözünen elementler) oluşmuş olan çelikte gerilme noktası süneklik ve sertlik benzeri özellikleri kontrol eder. Karbon oranı fazla olan çelikler demirden daha sert ve güçlü özellikler barındırmasına rağmen daha

kırılındırlar. Çelikler içerdikleri karbon oranlarına göre düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak üzere üç kısma ayırabiliriz (Kocabaş, 2012).

1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

%0,25 oranına kadar karbon atomu içeren çelikler düşük karbon çeliklere dâhil edilebilirler. Mekanik özellikler açısından değerlendirdiğimizde yumuşak çelikler olarak da tanımlayabiliriz. Dünya çelik üretiminin en büyük oranını düşük karbonlu çelikler kapsar. Özellikle, inşaat sektörü ve yassı mamuller ile temel yapılarda daha çok kullanılan profiller ve çelik çubuk düşük karbonlu çelikler sınıfında yer alırlar. Düşük karbonlu çelikler, düşük karbon içerdikleri için, ısıtım işlemi ile kütleli olarak yeterli bir şekilde sertleştirme işlemi yapılamaz. Ancak bir takım yüzey sertleştirme işlemleri olan nitrüleme, sementasyon vb. gibi yöntemlerle düşük karbonlu çeliklerin yüzeyleri sertleştirilebilirler (Güngör, 2001).

1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler %0,25-0,55 oranları arasında karbon barındıran çeliklerdir. Karbon oranına göre orta halde mekanik özelliklere sahiptirler. Orta Karbonlu çeliklerin en iyi özellikleri, ısıtım işlemi yapılarak sertleştirme işleminin yapılabilmesidir. Bu anlamda orta karbonlu çeliklerin kullanım alanları özellik arz edildiği bilinmektedir. Özel olarak makina imalat sanayinin kullandığı çeliklerdir. Orta Karbonlu çeliklerin şekil alabilme kabiliyetleri, işlenebilme özellikleri düşük karbonlu çeliklere göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Orta karbonlu çeliklerin kaynak edilebilme özellikleri az karbonlu çeliklere göre düşüktür. Kaynak sırasında oluşabilecek kontrol edilmeyen etkilerin çelikteki yapının değişiminde kontrolsüz olmasına neden olur. Bu durumun sonucunda numunelerde birtakım kusurlara neden olur. Bundan ötürü orta karbonlu çeliklerden özellikle alaşım elementi olanların kaynak işlemini itina ile yapmak gerekmektedir (Güngör, 2001).

1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek karbonlu çelikler %0,60'dan daha fazla karbon içeren çeliklerdir. Normalde sünekliği ve mukavemeti az olan çeliklerdir. Bir takım ısıtıl işlemlerin uygulanması ile yüksek sertlik kazanırlar. Bu açıdan bakıldığında kesici özelliğe sahip olmakla beraber aşınmaya dayanıklıdır. Orta karbonlu çeliklere göre şekil alabilme kabiliyetleri ve işlenme özellikleri daha düşüktür. Yüksek karbonlu çeliklerin kaynak kabiliyetleri de düşük olmakla beraber birtakım teknikler kullanılarak kaynak yapılır. Buradaki çelikler en fazla takım üretiminde kullanılır. Yüksek karbonlu çeliklerin yapısında olan C oranı demir-karbon denge diyagramına göre %2 seviyesine çıkabileceğini gösterse de asıl değerin %1,2-1,4 ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bilhassa bu gruptaki çeliklerin düşük ve orta karbonlulara oranla iyi bir şekilde su alabildiği ve elde edilen martenzitik yapının sertliğinin daha fazla olduğu bilinmektedir (Güngör, 2001).

1.2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi

Çelik alaşımına iyi özelliklerin kazandırılması için yapısına sonrasında ilave edilen; molibden, fosfor, silisyum, karbon, kükürt, mangan oksijen, bakır, krom, nikel, volfram, vanadyum, kobalt ve alüminyum gibi elementlere alaşım elementleri denir.

Çeliklere alaşım elementlerinin ilave edilmesinin nedenleri bulardır:

- Vurma, basma, kopma Çekme, vb. mukavemetlerini yükseltmek
- Sertleştirme işlemini sağlayabilmek ya da kolaylaştırabilmek
- Elektrik mukavemetini arttırabilmek
- Isıya karşı mukavemeti yükseltmek
- Kristal kafes dokusunda değişiklik yapmak
- Manyetik özelliklerinde değişiklik yapmak
- Oksitlenme durumunu düşürmek
- Korozyon ve aşınma direncini yükseltmek
- Kimyasal maddelerin etkilerine karşı mukavemeti yükseltmek
- Kaynak yapma, sıcak soğuk biçimlendirme, talaş kaldırma benzeri imalat işlemini kolaylaştırabilmek (Güngör, 2001).

Çeliğin yapısında ve özelliklerinde değişikliğe neden olan karbon, silisyum, nikel ve titanyum alaşım elementleri ve yaptıkları etkiler aşağıda verilmiştir.

1.2.1. Karbon

Karbon atomu çeliğin oluşmasını sağlayan demir atomundan sonra en önemli temel elementtir. Öte yandan çeliğin dayanımının ve sertliğinin artmasını sağlar. Karbon, çelik alaşımının ergime noktasını düşürmekle beraber, paslanmayı azaltır, aşınma mukavemetini arttırır, ısı dayanımını ve elektrik mukavemetini yükseltir (Altakan, 2011). Karbon temel alaşım elementi olması nedeniyle, üretimdeki konumunu alır. Çeliklerde işlenebilirliğin önemli olduğu durumlarda karbon oranı az tutulmalıdır. Mukavemet oranlarının fazla olmasının istendiği hallerde ise karbon miktarı fazla tutulmalıdır. Fakat karbonun, çelik alaşımının kaynak edilebilme, eğme, talaş kaldırabilme, elastikiyet, derin çekme ile dövme gibi soğuk ya da sıcak biçimlendirme eğilimlerini düşürür (Altakan, 2011).

1.2.2. Silisyum

Silisyum elementi çeliğin çekme dayanımını ve akma sınırını yükseltir. Sertleşmenin gerçekleşeceği sıcaklığı azaltıp, martenzit yapının oluşmasını sağlayarak sertleşme halinin çekirdeğe dek oluşmasını sağlamaktadır. Silisyum elementi kimyasalların etkisine karşı direnci artırdığı bilinmektedir. Öte yandan silisyum, çeliğin alaşımına manyetik birtakım özellikleri kazandırmaktadır (Altakan, 2011).

Silisyumun oksijen giderici olarak kullanılması çelik içinde yer almasını sağlar. Çelik bileşimindeki silisyum miktarının azalması ile tufal yapma oranını artırır. Silisyum ekonomik bir alaşım elementi olmakla beraber daha çok yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılmaktadır. Ancak silisyum elementi çeliğin yapısını kaba hale getirerek darbe dayanımını azaltır. Çeliğin yapısındaki fazla oranlardaki silisyum elementi çeliğin talaş kaldırılabilme, dövülerek biçimlendirilebilme ve kaynak edilebilme kabiliyetlerini azalttığı söylenebilmektedir.

1.2.3. Nikel

Nikel, östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde nikel oranı % 7-20 arasındadır. Nikel, östenit kararlaştırıcı bir element olması nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilirlik özelliği kazandırdığı görülmektedir. Nikel katkılı çelikler birçok mekanik parça yapımında kullanılırlar. Öte yandan yüksek ısı dayanımlarının ve ısıl genleşme dayanımlarının da yüksekliği nedeniyle elektrik direnç tellerini üretmede kullanılır (Altakan, 2011).

1.2.4. Titanyum

Titanyum elementi Vanadyuma benzer taneleri küçültme etkisi vardır. Fakat bu tesir vanadyum elementinden fazladır. Mikro alaşımlı çeliklerde, mikro alaşım elementi olarak kullanılmaktadırlar. Öte yandan paslanmaz çeliklerin yapısına katılan krom karbürün kötü tesirini giderebilmek adına karbür oluşturuç alaşım gibi kullanıldığı görülmektedir (Altakan, 2011).

1.3. Çeliklere Uygulanan Yüzey İşlemler

Gelişen modern teknoloji ile beraber metal yüzeylerinin maruz kaldığı aşınma, dış ortamlardan korunması, yorulma ve sürtünme gibi durumları ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek amacıyla, farklı yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda triboloji ile ilgilenen bilim insanları aşınma ve sürtünmeye karşı yüzey işlemleri ile ilgili tatbikatlarını arttırmışlardır. Bu durum da yüzey mühendisliği adında bir bilim dalının gelişmesine yol açmış bulunmakla beraber farklı yüzey işlemlerinin de oluşmasına katkı sağlamıştır. Günümüzde kullanılmakta olan yüzey modifikasyon teknikleri aşınma direnci, yüzey sertliği, korozyon direnci ve yorulma dayanımını arttırmak amacıyla kullanılmaktadırlar (Denktaş, 2009).

Malzemenin süneklik, sertlik ve yorulma benzeri mekanik özellikleriyle, korozyon özellikleri ve aşınma direnci gibi özellikleri yüzey işlemleri uygulanarak iyileştirilebilmektedir. Yüzey sertleştirme işlemleri malzeme yüzeyinin mekanik

özelliklerini iyileştirmenin en kolay ve ekonomik yoludur. Malzemenin yüzey sertliğini arttırmak için yapılan sertleştirme işlemleri uzun yıllardır uygulanmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemlerinden en yaygın kullanılan yöntemlerden bazıları; borlama, sementasyon, nitrürlemedir. Fakat son yıllarda sanayileşmiş ülkelerin iyon nitrürleme (glow discharge) metodunu yaygın olarak kullandığını söyleyebiliriz (Çolak, 2010). Yüzey sertleştirme işlemleri, ana malzemedeki sertliği değiştirmezken parçaların yüzeyden içeriye doğru sertleştirilmesini sağlayarak, malzemenin aşınma direncini artırır. Dişli çarklarda ve kam milinde olduğu gibi çarpmaya ve sert yüzeye karşı mukavemetin istendiği durumlarda yararlıdır. Bu gibi makina elemanlarında aşınmaya karşı yüzeyin çok sert olması istenirken, aynı anda çalışma sırasında makine elemanının çarpmaya karşı mukavemetli olması istenir. Malzeme çekirdeğinin tok ve yumuşak olması, malzemenin bütün olarak yüksek darbe mukavemeti özelliğini göstermesini sağlar. Yüzey sertleştirme sırasında meydana gelen bası gerilmesi artışı ile malzemede yorulma mukavemetinin artması sağlanır. Yüzey sertleştirme işlemlerinde iki farklı yöntem vardır:

1- Yeni bir tabaka ekiyle ya da inşasını içeren yöntemler.

2-Parça büyüklüğünde herhangi bir farklılık olmadan ya da tabaka ilavesi olmadan malzemelerin yüzeyinde ve yüzey altında modifikasyon içeren metotlar.

Tablo 1.1. Yüzey sertleştirme işlemleri

Yüzey Sertleştirme			
Tabaka İlaveli		Tabaka İlavessiz	
Yüzeyde sert tabaka oluşturma	Kaplamalar	Difüzyon yöntemleri	Seçimli sert yöntemleri
a) Birleştirme şeklinde (Kaynaklı üst tabakalar)	a) İyon karışımı	a) Karbürleme	a) Alevle
b) Termal Püskürtme	b) Kimyasal buhar (CVD)	b) Nitrürleme	b) İndüksiyonla
c) Sert Krom Kaplama	c) İnce filmler (Fiziksel buhar PVD), İyon kaplama, sıçratma	c) Karbonitrürleme	c) Lazerle
d) Elektroliz Nikel kaplama		d) Nitrokarbürleme	d) İyon aşılama
		e) Borlama	
		f) TRD	
		g) Kromlama	

Yüzey sertleştirmenin diğer bir avantajıda, daha ekonomik olan düşük ve orta karbonlu çeliklerde dış yüzeylerin sertleştirilmesi sırasında meydana gelen distorsiyon ve çatlama problemlerin azaltmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemlerinden tabaka ilavesi ile oluşan ilk gruba, kaynaklı üst tabakalar, kaplamalar veya ince filmler girmektedir. Bu metotlar, genellikle malzemenin bütün yüzeyinin sertleştirilmesi istendiği durumlarda daha düşük maliyetle ürün kalitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Kaplamalar, filmler ve üst tabakaların yorulma performansı, ilave edilen tabaka ile ana malzeme arasında yapışma mukavemetine bağlı olabilmektedir. Bununla beraber üst tabakalar ya da kaplamalar bazı uygulamalar için oldukça etkili olabilmektedirler. Söz gelimi, Al_2O_3 ve TiN kaplamalar yalnızca sert olduklarından dolayı değil aynı vakitte takımlarda bazı aşınma ve talaşlara karşı kimyasal olarak ilgiyi de azaltacaktır. Üst kısımlar, büyük alanların seçimli yüzey sertleştirilmesi gerektiğinde uygun bir işlem olabilmektedir (Karakan, 2004).

Yüzey sertleştirme metotlarından yüzeyde tabaka oluşturmada modifikasyon içeren ikinci grubu seçimli sertleştirme ve difüzyon yöntemleri izlemektedir. Difüzyon yöntemleri, bor, karbon ve azot gibi sertleştirici elementlerin kullanması ile yüzeylerin kimyasal kompozisyonunun değiştirilmesini sağlar. Bir iş parçasının yüzeyden içeriye doğru etkili bir biçimde sertliğini arttırmak istiyorsak difüzyon teknikleri tercih edilmelidir. Buna karşılık seçimli sertleştirme yöntemleri bir iş parçasının lokal olarak yalnızca istenen bölümlerin sertleştirilmesine olanak sağladığı bilinmektedir. Yüzey bileşimini değiştirerek yapılması gereken yüzey işlemleri sırasıyla TRD, karbonitrüleme, borlama, karbürleme, nitrokarbürleme, kromlama, nitrüleme ve lazerle alaşımlamadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaynak araştırması yapılmış ve konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Bu çalışmada NiTi alaşımına ilave edilecek olan Fe atomunun katkısını araştırmak amacıyla mol oranları $Ni_{50}Ti_{50}$, $Ni_{45}Ti_{51,8}Fe_{3,2}$ ve $Ni_{49}Ti_{49}Fe_2$ şeklinde olan ingot alaşımları ark ergitme yöntemi kullanılmış olup, üç defa ergitilmiş ve sinterleme işlemi sonrasında da su verilmiştir. Elde edilen numunelerden XRD analiz sonuçlarına göre $Ni_{49}Ti_{49}Fe_2$ alaşımında Ti_2Ni ile B_2 (NiTi), $Ni_{50}Ti_{50}$ alaşımında B_2 (NiTi) ve $B_{19'}$ (NiTi) $Ni_{45}Ti_{51,8}Fe_{3,2}$ alaşımında ise B_2 (NiTi), Ti_2Ni ve $B_{19'}$ (NiTi) fazlarını saptamışlardır (Zhang et al., 2017).

Bu çalışmada reaksiyon sinterleme yöntemi ile gözenekli NiTi alaşımını ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda sinterleme işlemleri yapılmış olup, bunun sonucunda alaşımda Ti_2Ni , $TiNi$ ve $TiNi_3$ gibi üç çeşitli fazın oluştuğu ayrıca Ni ve Ti çökeltilerinin meydana geldiğini tespit etmişler. Sinterleme sıcaklığının 950 °C olduğu ve sinterleme süresinin 3 saat olduğu numunede sinterleme zamanının üç saati aşmasıyla ikincil NiTi fazının meydana geldiği ve bunun neticesinde gerilim artışına neden olacağının tespiti yapılmıştır (Artyukhova et al., 2015).

Bu çalışmada NiTi alaşımına ilave edilen üçüncü bir alaşım elementinin katkısını araştırıldı. NiTi'ye ilave edilen Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cu, Zr ve Hf elementlerine katkısı ile elementlerin NiTi bölgelerinde ne şekilde barındığını MCAS, BANN ile BFS gibi bilgisayar programları ile tespiti yapılmıştır. Bu tespitin sonucunda Ti'ce yoğun NiTiFe alaşımında demir atomunun Nikel kısmına yerleşmiş olduğunu görmüşler. Diğer yandan Ni'ce yoğun NiTiFe alaşımlarında Fe atomunun yönelimine dair kesin bir bilgi elde edememişler (Bozzolo et al., 2005).

Bu çalışmada AISI 1020 ve AISI 316 çeliklerinin yüzeylerine TIG kaynağı yöntemi ile sert kaplama yapılmıştır. Değişen toz oranlarına bağlı olarak mikro yapı ve sertlikteki değişimleri incelemişlerdir (Çelik vd., 2014).

St52 çelik yüzeyine bor oranının zengin olduğu Ark sprey ve gaz metal ark kaynağı (MIG) prosesleri ile yüksek demir borür ve az miktarda ötektik fazları içeren oldukça sert bir kaplama elde ettikleri gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda mikroyapı ve kaplama açısından önemli gelişmelere yol açtığı görülmüştür (Amushahi et al., 2010).

SAE 1020 çelik üzerine SMAW yöntemi ile farklı bor oranları oluşturularak sert kaplama yapılmış olup, mikro yapı ve sertlikteki değişimleri incelemiştir (Eroğlu, 2019).

Metal alaşımlı altlık malzemesinin yüzey özelliklerinin artırılması amacı ile yapılan literatür çalışmalarında kaplama olarak plazma transfer ark kaplama (Yüksek, 2008), lazer kaplama (Buytoz vd., 2005), reaktif magnetron püskürtme (Bendeş, 2010) ve elektrospark işlemleri uygulandığı belirlenmiştir (Çakır, 2014).

Bu çalışmada nadir olarak vakumlu sıcak preslemeli sinterleme yöntemi ile altlık plakaların yüzeyinin kaplandığı belirlenmiştir. Yüzey iyileştirme yöntemlerine bakıldığında genellikle kaplama tekniklerinde kaplama malzemeleri plazma hali, çözelti halinde, erimiş veya yarı erimiş halde oluşmaktadır. Fakat sıcak preslemeli sinterleme yolu ile kaplama tabakası oluşturmaları çok nadir görülmektedir. Bu yöntemde ısı enerji girdisi azaltılmaktadır. Sıcak preslemeli sinterleme yöntemi ile altlık malzeme yüzeyinde yapılan kaplamalar oluşturulacak kompozit kaplama tabakasının matris malzemesinin sinterleme sıcaklığına ulaşması için gereken ısı enerji girdisi yeterli gelecektir. Sıcak preslemeli sinterleme yöntemi ile yapılan kaplama işlemlerinde ham tozların aynı yerde ve aynı zamanda kaplama ve sinterleme yapılmasını sağlayan nadir çalışmalardandır. Bunun yanısıra tozlara mekanik alaşımlama tekniği ile basit, hızlı ve tekrarlanan bir katı hal uygulanmaktadır (Nas vd., 2013).

Buhar türbini yüzeyine “Inconel 625” ticari isimli ve krom-nikel içerikli dolgu malzemesi elektrik ark ve lazer kaynak yöntemiyle kaplamışlardır. Yüksek sıcaklıkta çalışan bu türbinlerin yüksek sıcaklık altındaki sertlik, aşınma ve korozyon dirençlerinin değişimini inceleyerek, lazer ile kaplanmış numunelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan EDS analizi ile kaplama ve altlık malzeme içindeki kompozisyon değişiminin incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır (Feng et al., 2016).

Lazer kaplama metodu kullanarak NiCrBSi tozunu 42CrMo çeliğine farklı lazer çıkış güçleriyle kaplamışlardır. 45-105 mikron boyutundaki tozlar 1500-3500W lazer çıkış gücü aralığında kaplanmıştır. 1500 ve 2000W lazer çıkış gücüyle kaplanmış numunelerin sertlik değerlerinin ve aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir (Ming et al., 2017).

Bu çalışmada AISI 8620 çeliğini farklı türdeki ticari kaplama tozları kullanılarak plazma püskürtme yöntemiyle kaplam yapılmıştır. Kullandıkları dört farklı tozun temel bileşenleri Ni, Co, W ve Cr dur. Yapılan sertlik testlerinde en yüksek sertlik değerin W temel bileşenli 72F-NS ticari isimli toz ile yapılan kaplamada olduğu sonucunu bulmuşlardır (Kaya vd., 2017).

Bu çalışmada W takviye edilmiş Ni kaplamaları mikro yapı ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada W tozlarının kaplama bölgesinin alt bölgelerinde toplandığını gözlemlemişler. Bunun nedeni olarak W tozlarının yüksek yoğunlukta olmasını öne sürmüşlerdir. Ancak yine de kaplama yüzeyinden alınan sertlik değerleri, altlık malzemenin sertlik değerlerinden yaklaşık 5 kat daha yüksek çıkmıştır (Shu et al., 2017).

Yapılan çalışmada elde edecekleri kaplamayı atmosfer dışında yani uzay görevlerinde kullanabilirliğini araştırmak için kaplamalara termal iletkenlik ve toplam yansıma testlerini uygulamışlardır. Yapılan testler sonucunda +200°C'den -150°C soğutulduğu durumda termal iletkenlik katsayısının 0,2-1,2 W/m°C aralığında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bununla beraber kaplamanın alüminyum matris içindeki Al₂O₃ oranını artıkça kaplamanın güneş ışığını absorbe edebilme özelliğinin geliştiğini görmüşlerdir (Heimann et al., 2014).

AA7005 alaşımına %10 Al₂O₃ takviyesi ile sürtünme kaynağı etkisinin mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mekanik test olarak kullanılan çekme testinde, %80'e varan verimliliğin olduğunu saptamışlardır (Ceschini et al., 2007).

Q235 altlık malzeme üzerine mekanik alaşımlama ve vakumlu sıcak preslemeli sinterleme yöntemi ile CoCrFeNi ve CoCrFeNiCu yüksek entropi alaşımlı kaplamalarının

mikro yapı, mikro sertlik, aşınma, korozyon dirençlerini ve manyetik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan her iki kaplama tabakasının altlık malzemesi ile iyi bir metalürjik bağ oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yapılan aşınma ve korozyon deneylerinde altlık malzemeye nazaran daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir (Tian et al., 2019).

Toz Ni/Ti alaşımlarının imalatı ilgili yapılan bu çalışmada; 1:1 atomik oranındaki NiTi tozları yirmi dört saat karıştırıcı ile karıştırılarak 200 MPa basınçla sıkıştırılmıştır. Sonrasında Ar gazı kullanılarak 980 °C’de iki, dört ile altı saat boyunca sinterleme işlemi yapılmıştır. Sinterlemenin sonrasında XRD analiz yapılmış ve sonuçlarına göre $TiNi_3$, Ti_2Ni , Ni ve $TiNi$ gibi fazlarına rastlanılmıştır. Sinterleme süresi arttıkça numunelerdeki bükülme dayanımı ve basma dayanımındaki artış göze çarparken ortalama gözenek çapında düşüşe sebep olduğu gözlemlenmiştir (Zhu et al. 2004).

AA-7075 alüminyum alaşımları mekanik ve fiziksel özellikleri iyi olmasına rağmen aşınma, korozyon ve balistik özellikleri açısından zayıf kalmaktadır (Burgucu, 2011).

Günümüz şartlarında ülkelerin özellikle üretim ve imalat sektöründe ekonomik gelişmelerini sağlayan en önemli unsurların başında; kaliteli, mukavemetli, ucuz ve üretimi kolay olan kullanışlı malzemeleri kendi imkânları ile üretmesi gelmektedir. Üretilen malzemeler kullanıldığı alanlarda verimli işlev görmeleri için üretim sonrası işlemlere de tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu işlemlerden bir tanesi de yüzey özelliklerinin iyileştirmesidir.

Çelikler, yüzyıllardır bazı üstün özelliklerinden ötürü en sık kullanılan malzemelerdendir. Çelik malzemeler, kimyasal bileşim ile içyapılarının değişmesiyle farklı türlerde bulunurlar. Çelik malzemeye farklı oranlarda alaşım elementleri ekleyerek kullanım yerlerine göre farklı özelliklerde çelik elde edilebilir. Çeliklerin bu üstün yanlarının yansısı bazı sınırlamaları vardır. Bu sınırlamalar genellikle yüzey bölgesinden meydana gelen sıkıntılardan kaynaklanmaktadır. Çeliğin bazı türlerinin korozyon direncinin düşük olması çeliğin ömrünü kısaltmaktadır. Çeliğin korozyona uğraması ile birlikte mukavemetinin azalması ve tribolojik yönden de özellik kaybının olduğu görülmektedir. Çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dirençsiz olması ile beraber yüzeylerindeki bu iyi olmayan özelliklerin geliştirilmesi için yüzey işlemlerine tabi tutulurlar. Yüzey işlemleri

yapılırken malzeme yüzeyinde yeni oluşturulacak olan bir tabaka olabileceği gibi çelik malzemenin yüzey kısmının kimyasal bileşiminin değiştirilmesi ile de yapılabilir. Çelik malzemeye alaşım elementlerini içerisine katabileceğimiz gibi üretim sonrasında da çelik malzemenin yüzeyine alaşımlama ve biriktirme şeklinde de yapılabilir. Yapılan bu işlemler farklı özelliklerin bir arada bulundurulmasını ve maliyet açısından kazanım sağlamaktadır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Amaç

Bu çalışmada, mekanik etkileşimler neticesinde meydana gelen aşınma ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda malzemede oluşan korozyon türü hasarlara karşı dayanıklılığı az olan AISI 1020 çelik yüzeylerine, indüksiyon ısıtma yöntemi kullanılarak Nikel/Titanyum matrisli Silisyum karbür takviyeli kompozit tabaka ile kaplama işlemi yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Nikel-Titanyum alaşımları (NiTi), belirli özellikleri, yani şekil hafıza etkisi, süper elastikiyet, yüksek sönümlenme kapasitesi, düşük sertlik ve yüksek yorulma mukavemeti sayesinde işlevsel ve yapısal bir malzeme olması sebebi ile kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. İndüksiyon ateşleme yöntemi kullanılarak kaplama işlemleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında yapılmıştır. Ateşleme işlemi 850 °C sıcaklığında ve 5 dk bekleme süre içerisinde, Ar gazı atmosfer ortamında ve 15 dk soğutma sonrasında indüksiyon ocağında çıkarılarak kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada altlık malzeme olarak AISI 1020 çeliği, matris malzemesi olarak kullanılan Ni/Ti tozu ve takviye elemanı olarak SiC tozu kullanılarak, İndüksiyon ısıtma yöntemiyle kaplama yapılmıştır.

3.2.1. AISI 1020 Çeliği

Kaplamada kullanılan AISI 1020 çeliğini çubuklar halinde ticari olarak temin edilmiştir. Özgüven Demir Çelik firmasından 18 mm çapında 3m uzunluğundaki çubuklar halinde temin edilmiştir.

Tablo 3.1. AISI 1020 çeliğin mekanik özellikleri

MALZEME	S	Ni	Cu	P	Mn	C	Mo	Si	B	Al	Cr
AISI 1020	0,006	0,078	0,1	0,007	0,441	0,207	0,019	0,102	-	0,017	0,095

3.2.2. Ni/Ti-SiC Tozları

Deneysel çalışmalarda 30-55 µm tane boyutuna sahip matris malzeme olarak Ni/Ti toz karışımı kullanılmış olup deneylerimizde kullanılan Ni/Ti tozunun fiziksel özelliğini gösteren Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Deneylerimizde 30-55µm tane boyutu olan takviye elemanı SiC tozunu kullandık.

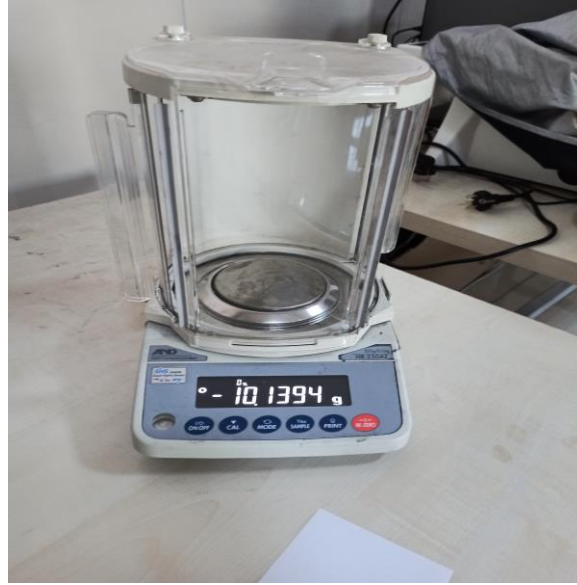
Tablo 3.2. NiTi ve SiC tozlarının fiziksel özellikleri

Metal	Safılık derecesi	Toz boyutu	Erime sıcaklığı	Özel ağırlık	Atom kütlesi	Kaynama sıcaklığı
Nikel	99,5	-325	1453	8908	58,71	2832
Titanyum	99,5	-325	1680	4507	47,9	3260
Silisyum karbür	97,5	-	2730	40,10	-	-

3.3. Deneysel Çalışmalar

3.3.1. Tozları Hassas Terazide Ölçme

Kaplama için kullanılacak tozlar Şekil 3.1’de gösterilen Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan HR-250A2 model hassas terazide tartılmıştır.



Şekil 3.1. Hassas terazi

3.3.2. Tozları Karıştırma

NiTi ve SiC tozları Tablo 3.3’de belirlenen ağırlık oranlarında hazırlanmıştır.

Tablo 3.3. NiTi ve SiC toz karışım oranları

AISI 1020	Ni/Ti	SiC
Numune no	Ağırlıkça (gr)	Ağırlıkça (gr)
S1	25	0
S2	25	%4
S3	25	%8
S4	25	%12
S5	25	%16

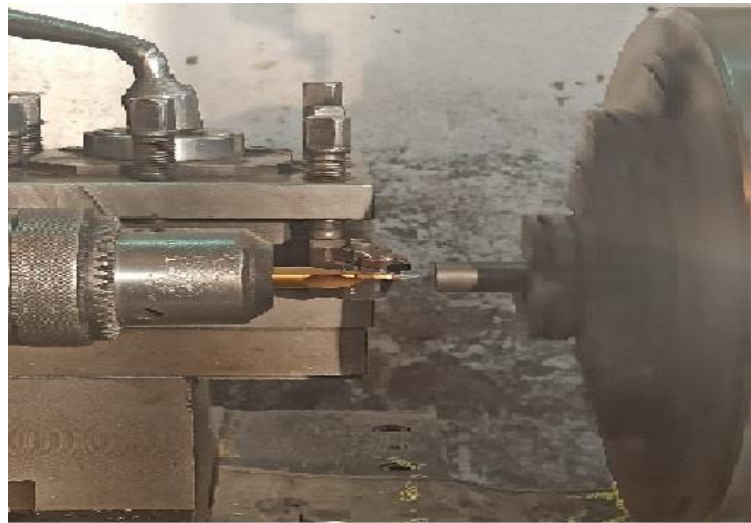
Karışımların hazırlanmasında Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında Şekil 3.2’de gösterildiği gibi Torna tezgâhına bağlamak suretiyle numunelerin karıştırırken Tablo 3.3’de gösterilen takviye oranları göz önünde bulundurularak; 5 mm çapına sahip cam bilye kullanılarak 10/1 (bilye /toz) ağırlık oranının uygulanmasıyla, 300 dev/dk hız ile 3 saat süre ile karıştırılmıştır.



Şekil 3.2. Torna tezgahı

3.3.3. Kaplama Numunelerinin Hazırlanması

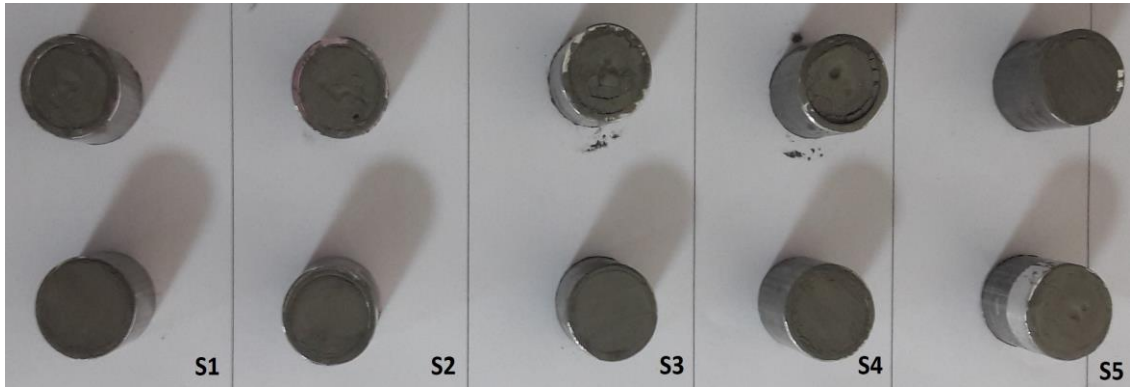
Piyasadan temin edilen AISI 1020 çeliği Elazığ Sanayi Sitesi içerisinde bulunan Elyas Makinada Şekil 3.3’de gösterilen freze tezgahında 16 mm çapındaki freze çakısı ile 16 mm çapında 4 mm derinliğinde delik açılmıştır.



Şekil 3.3. Freze tezgahı

3.3.4. Kurutma

Şekil 3.4’de gösterilen 2 cm uzunluğunda, 16mm çapında ve 4mm derinliğindeki numunelerimize Ni/Ti ve SiC tozları konulmuştur. Fırınlama işlemi Bingöl Üniversitesi Meslek Yüksekokul Laboratuvarında bulunan ETÜV marka fırında yapılmıştır. Toz karışımının kurutma işlemi 150 °C’de 2 saat sürede yapılmıştır.



Şekil 3.4. Numunelerin fırınlanması

3.3.5. Deneyde Kullanılan İndüksiyon Kaynak Makinesi

İndüksiyon ısıtma ile kaplama yapmak için Elazığ Fırat Üniversitesinde bulunan İndüksiyon kaynak makinesi kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Deneyde kullanılan İndüksiyon kaynak makinesi

3.3.5.1. İndüksiyon Isıtma

İndüksiyon ısıtma sistemlerinin çalışma prensibine baktığımızda metal malzeme güçlü bir elektro-manyetik alan içine konulur ve malzeme üzerinde meydana gelen elektrik akımı metal malzemedeki iç direnç sebebiyle ısıнын açığa çıkarmasına neden olur. İndüksiyon ısıtmanın kullanıldığı alanlara bakacak olursak; tavlama, kaynak, lehimleme ve sertleştirme gibi benzer alanlarda kullanılır.

3.3.5.2. İndüksiyon Kaynak Makinesi

İndüksiyon Kaynak makinesinin donanımından bahsedecek olursak; gücün ve frekansın derecelendiği indüksiyon jeneratörü, kaynak yapılacak malzemeye uygun olan su soğutmalı indüksiyon bobini ve kaynak sisteminin daha verimli ve daha uzun ömürlü çalışmasını sağlayacak olan kapalı devre su soğutma makinasından(chiller) meydana gelmektedir. Bununla beraber kaynak sistemi yapılacak işlemin türüne göre, malzemeyi tutmaya yarayan fikstür, döner tabla, otomasyon sisteminden oluşmaktadır. Gerek

görüldüğünde oksidasyonu önlem amaçlı kullanılan koruyucu gaz ortamı indüksiyon kaynağı işleminde kullanılan birtakım etmenlerden bahsedebiliriz.

3.4. Kaplama Sonrası Uygulanan Testler

İndüksiyon Isıtma yöntemiyle kaplama yapılan numunelere; sertlik, aşınma, mikro yapının incelenmesi için Optik, SEM, EDS ve XRD deneyleri yapılmıştır.

3.4.1. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması

İndüksiyon ısıtma yöntemi kullanılarak NiTi/SiC tozları ile kaplanan numunelerin, zımparalanma ve parlatılma işlemleri için, Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında mevcut olan Şekil 3.6'da gösterilen ATM Saphir 520 model otomatik parlatma ve zımparalama aygıtı kullanılmış olup, numuneler sırayla 80, 240, 400, 600, 800, 1000 ile 1200 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Sonrasında parlatma çuhaları ve 3 µm boyutunda alümina aşındırıcı solüsyon ile parlatılmıştır. %98 saf su, %2 hidroklorik asit karışımı hazırlanarak kimyasal dağlayıcı kullanılarak dağlama yapılmıştır.



Şekil 3.6. Zımparalama ve parlatma cihazı

3.4.2. Sertlik

Kaplanan numunelerin sertlik değerlerini ölçmek üzere Bingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında Şekil 3.7’de gösterilen AOB marka mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. İndüksiyon ısıtma yöntemi kullanarak üretilen numunelerin sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçme kullanılmış olup, ölçümü yapılan numunelerimiz eksene paralel şekilde kesilerek sertlik ölçümü yapılmıştır. Deneyimizde baskı maddesinin tepe açısı 136° elmas kare piramit uç kullanılmıştır. Deney 30 gram yükü 10 sn süresince yapılmıştır. Numunelerimizin her birine beş ölçüm yapılmak suretiyle alınan ölçümlerim ortalamaları alındı.

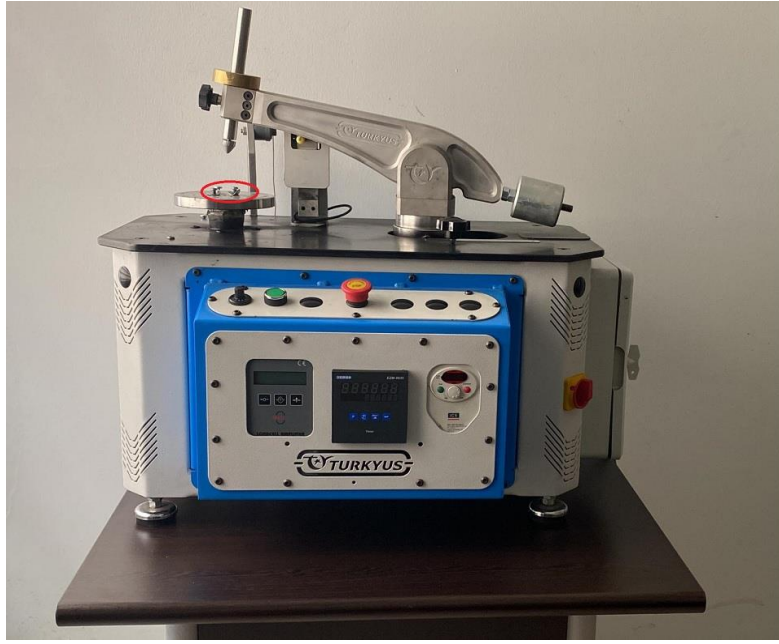


Şekil 3.7. Sertlik ölçme cihazı

3.4.3. Aşınma

İndüksiyon ısıtma metoduyla elde edilen kaplamaların aşınma deneyleri Adıyaman Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. 18×20 mm boyutlarındaki numuneler kaplama alanından kesilmiştir. Daha sonra kesilen numunelerin her iki yüzeyi paralel

olacak şekilde freze makinesinde işlendiler. Aşınma testinden önce numunelerin yüzeyi sırasıyla P100, P240, P400, P600, P800, P1000, P1200 zımpara kâğıdı ile parlatılmıştır. Daha sonra numuneler Şekil 3.8’de gösterilen Turkeyus PODTW & RWT pin-on-disk cihazında 6 mm iz çapı 5N, 10N ve 15N yükte ve 300 rpm dönüş hızında 300 m aşınma testine tabi tutulmuştur. Cihaz, aşınma işlemi sırasında elde edilen tüm verileri bilgisayar ekranında görüntülemek için bir bilgisayar yazılımına sahiptir.



Şekil 3.8. Pin-on disk aşınma cihazı

3.4.4. Optik Görüntülerin İncelenmesi

Metalografik hazırlama ve optik mikroskopik incelemeler için hazırlanan numuneler; Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan optik mikroskop yardımıyla optik resimleri alınmıştır. Kullanılan optik mikroskopun resmi Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Optik cihazı

3.4.5. SEM ve EDS Analizi

Numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 3.10’da gösterilen Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan JEOL JSM 6510 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) cihazından yapılmıştır.



Şekil 3.10. SEM cihazı

3.4.6. XRD Analizi

Numunelerin XRD görüntüleri Şekil 3.11’de gösterilen Bingöl Üniversitesi Merkez Laboratuvarında mevcut olan rikagu ultima X-ray kırınım spektrometresi cihazından alınmıştır.



Şekil 3.11. XRD cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

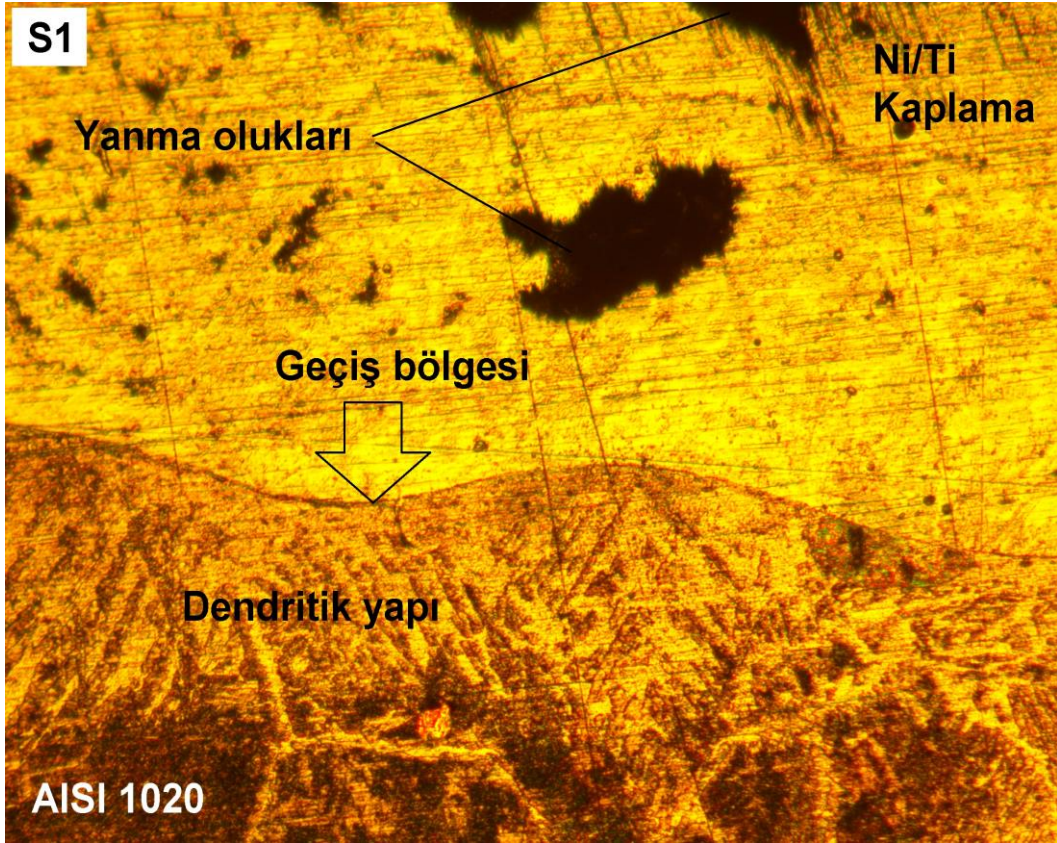
4.1. Mikroyapı İncelemeleri

AISI 1020 Düşük karbonlu çelik İndüksiyon kaplama metodu ile kaplandıktan sonra mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Bunlar OM, SEM, EDS, XRD testleridir.

4.1.1. Optik Analizleri

4.1.1.1. S1 Numunesinin Optik İncelemeleri

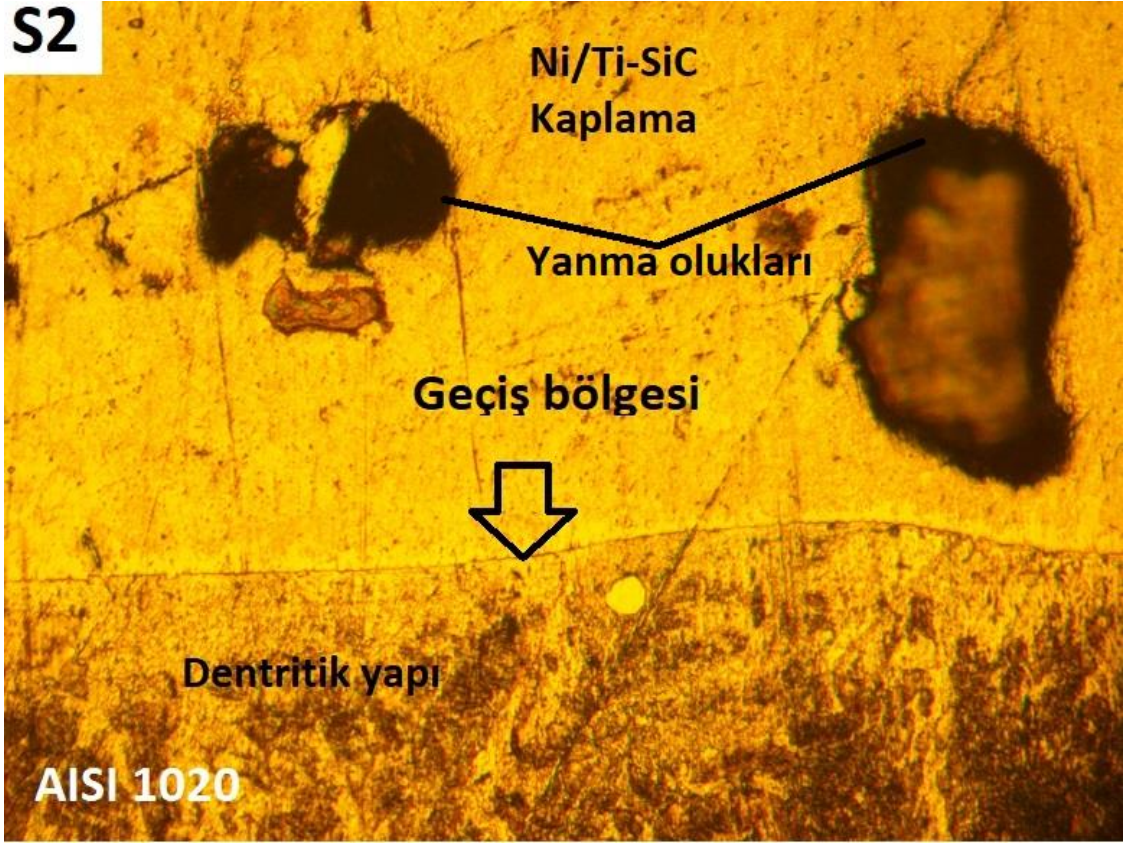
İndüksiyon ısıtma yöntemi ile AISI 1020 çeliğin yüzeyine NiTi şekil hafızalı toz karışımının kendi kendine sentezleme ile kaplanmış numuneye ait optik resim Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilde net bir şekilde görüldüğü üzere kaplama ve altlık ile net bir geçişin olduğu, ısıdan etkilenen bölgede dentritik yapıların olduğu görülmektedir. Ayrıca kaplama bölgesinin optik incelemelerinde SiC ilave edilmeden elde edilen kaplama numunesinde yanma oluklarının olduğu açıktır. Kaplama ile altlık malzeme arasında iyi bir bağlanmanın olduğu ve geçiş bölgesinde çatlak ve kaplanamayan bölgelerin olmadığı görülmüştür. Bu resimde AISI 1020 çeliğin üzerine NiTi tozlarının indüksiyon yöntemi ile başarılı bir şekilde kaplanabildiği görülmüştür.



Şekil 4.1. NiTi kaplı S1 numunesinin optik görüntüsü

4.1.1.2. S2 Numunesinin Optik İncelemeleri

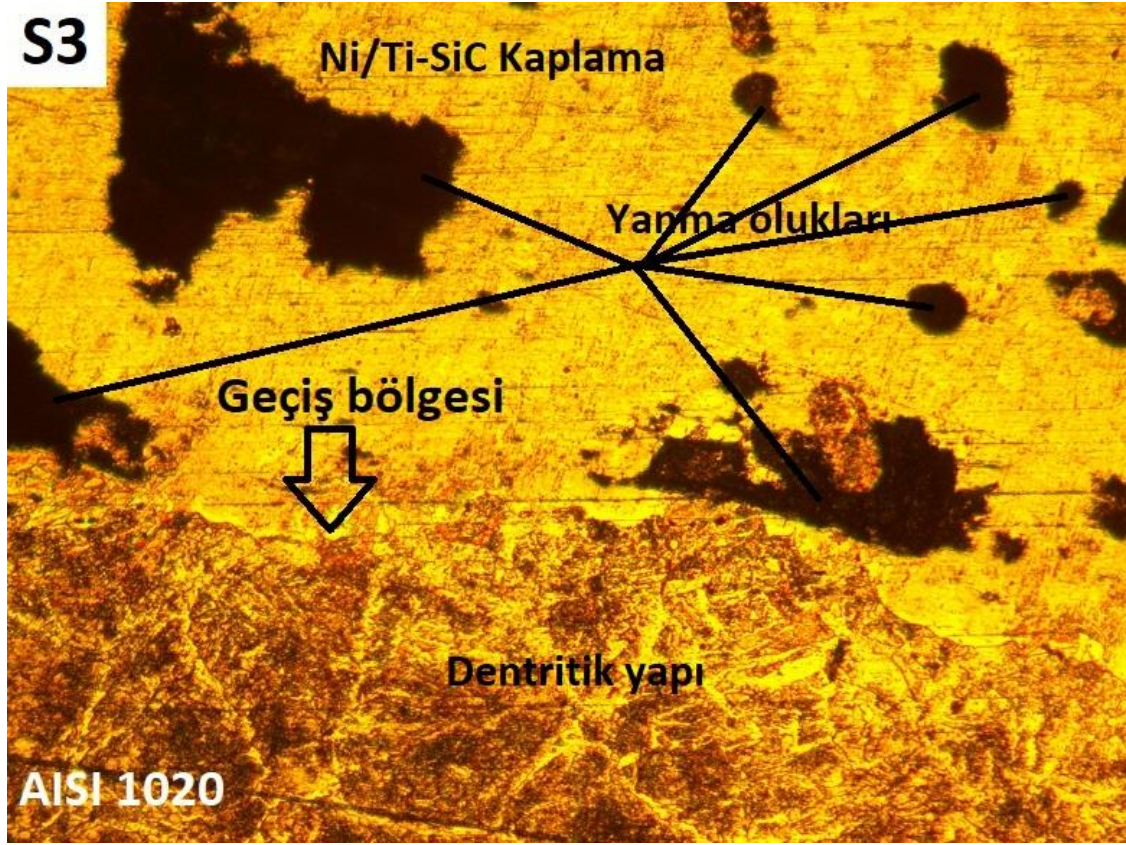
%4 SiC ilave edilerek kaplanan S2 Nolu Numunenin Optik İncelemeleri İndüksiyon ısıtma yöntemi ile AISI 1020 çeliğin yüzeyine NiTi şekil hafızalı toz karışımı ile %4 SiC ilave edilerek kendi kendine sentezleme ile kaplanan numuneye ait optik resmi Şekil 4.2’de verilmiştir. İndüksiyon ısıtma neticesinde yanma oluklarının oluştuğu, bu yanma oluklarının büyüklüklerinin SiC ilave edilmeyen S1 numunemize göre daha büyüdüğü görülmüştür. Yanma oluklarının içerisinde SiC tanelerinin olduğu görülmüştür. Kaplama ve altlık malzeme arasında net bir geçiş olduğu, geçiş bölgesinin sınırları içerisinde çatlak veya kaplanamayan alanın olmadığı bu durumu altlık malzeme ve kaplama arasında çok iyi bir bağlanmanın yaşandığını göstermektedir. Şekil 4.2’de gösterilen S2 numunemizin NiTi matrisli %4 SiC takviye tozları ile başarılı bir kaplama yapılabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.2. NiTi kaplı %4 SiC takviyeli S2 numunesinin optik görüntüsü

4.1.1.3. %8 SiC ile Kaplanan S3 Numunesinin Optik Analizi

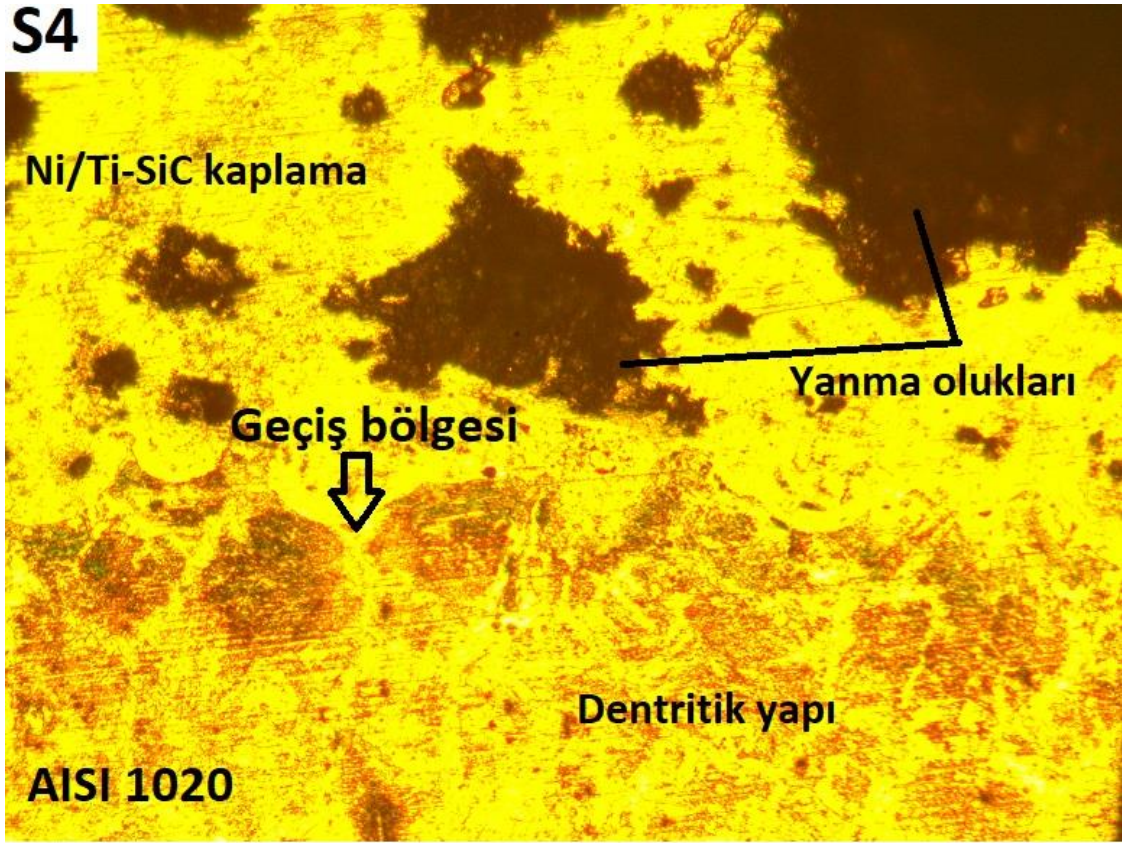
İndüksiyon ısıtma yöntemi ile AISI 1020 çeliğin yüzeyine NiTi şekil hafızalı toz karışımı ile SiC toz karışımının kendi kendine sentezleme ile kaplanmış numuneye ait optik resmi Şekil 4.3’de verilmiştir. AISI 1020 ile kaplama malzemesi arasında net bir geçiş bölgesinin olmadığı, geçiş bölgesi sınırlarına yakın kısımlarında kaplanamayan bölgelerin varlığından söz edebiliriz. Kaplama alanına baktığımızda %8 SiC takviye tozumuzun artması ile çok sayıda yanma oluklarına oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Yanma oluklarının içerisine sıkışan SiC tanelerine rastlanılmıştır. AISI 1020 malzememizin geçiş bölgesine yakın kısımlarının ısıdan kaynaklı dendritik yapıların olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. NiTi kaplı %8 SiC takviyeli S3 numunesinin optik görüntüsü

4.1.1.4. %12 SiC ile Kaplanan S4 Numunesinin Optik Analizi

SiC takviye oranının %12'ye çıkarılması ile Ni/Ti-SiC(%12) kaplanan numuneye ait resim Şekil 4.4'de verilmiştir. AISI 1020 ve kaplama arasındaki geçiş bölgesinin net olarak gözlenmediği, geçiş bölgesine yakın kısımlarda, ısıdan etkilenen bölgede dendritik yapıların azalıp östenit yapıya doğru bir gidişatın olduğu görülmektedir. NiTi matrisli SiC takviyeli toz karışımı ile oluşan kaplama bölgesinin optik incelemelerinde artan SiC takviye oranına bağlı olarak yanma oluklarının sayıca arttığı ve boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir.

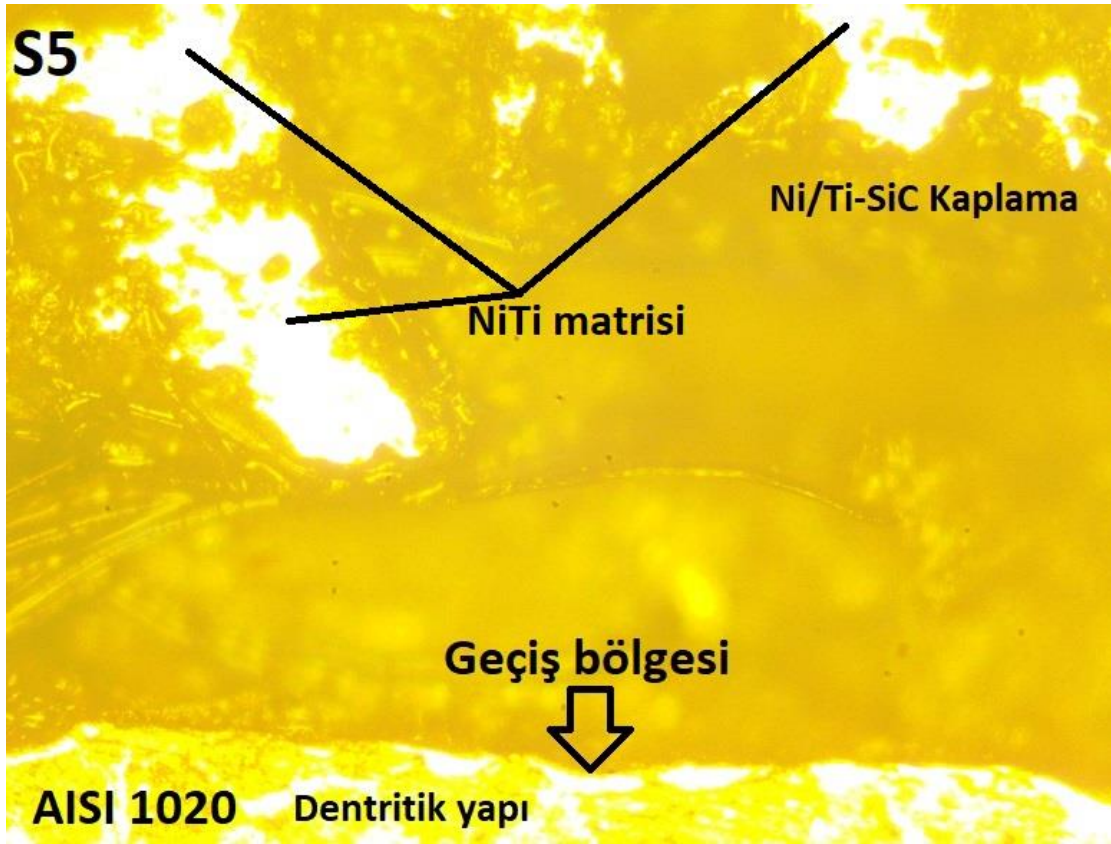


Şekil 4.4. NiTi kaplı %12 SiC takviyeli S4 numunesinin optik görüntüsü

4.1.1.5. %16 SiC ile Kaplanan S5 Numunesinin Optik Analizi

İndüksiyon ısıtma yöntemi ile AISI 1020 çeliğin yüzeyine NiTi şekil hafızalı toz karışımı ile %16 SiC toz karışımının ilave edilmesiyle kaplanmış numuneye ait optik resim Şekil 4.5’de verilmiştir. Kaplama bölgesinde kaplanamayan bölgenin çok fazla olduğu, kaplanamayan bölgelerde tamamen yanma olduğu, yanma oluklarının içinde ayrılmış karbon fazlarının olduğu görülmüştür. Reaksiyon sırasında numuneler tutuşturulduktan sonra ekzotermik reaksiyon gerçekleşerek NiTi alaşımı oluşur ve ısı açığa çıkar. Böylece meydana gelen ateş dalgası ısınmış olan bölgede ateşleme yönüne dik olacak şekilde su dalgası şeklinde ilerler. Reaksiyon esnasında yapı içerisinde hapsolmuş gazların dışarı çıkması ve sıvı fazın meydana gelmesi ile farklı büyüklükteki gözenekler oluşur. Dalga şeklinde ilerleyen reaksiyon sonucunda yanma olukları kanallar halinde oluşur (Kaya, 2008).

SiC takviye oranının artması kaplamayı olumsuz yönde etkilemiş ve kaplama kalitesini düşürmüştür. Bütün numunelere ait optik resimler kendi aralarında değerlendirildiğinde kaplama malzemesinin SiC takviye oranının %8-%12 arasında olan numunelerde kaplama ve altlık arasındaki geçişin iyi olduğu açıktır. Ancak SiC takviye oranı Ni/Ti matrisli kaplama üzerinden önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Takviye oranı %16'nın üzerinde olan numunelerde kaplamanın yüzeyde olan bağlanması üzerine olumsuz sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.



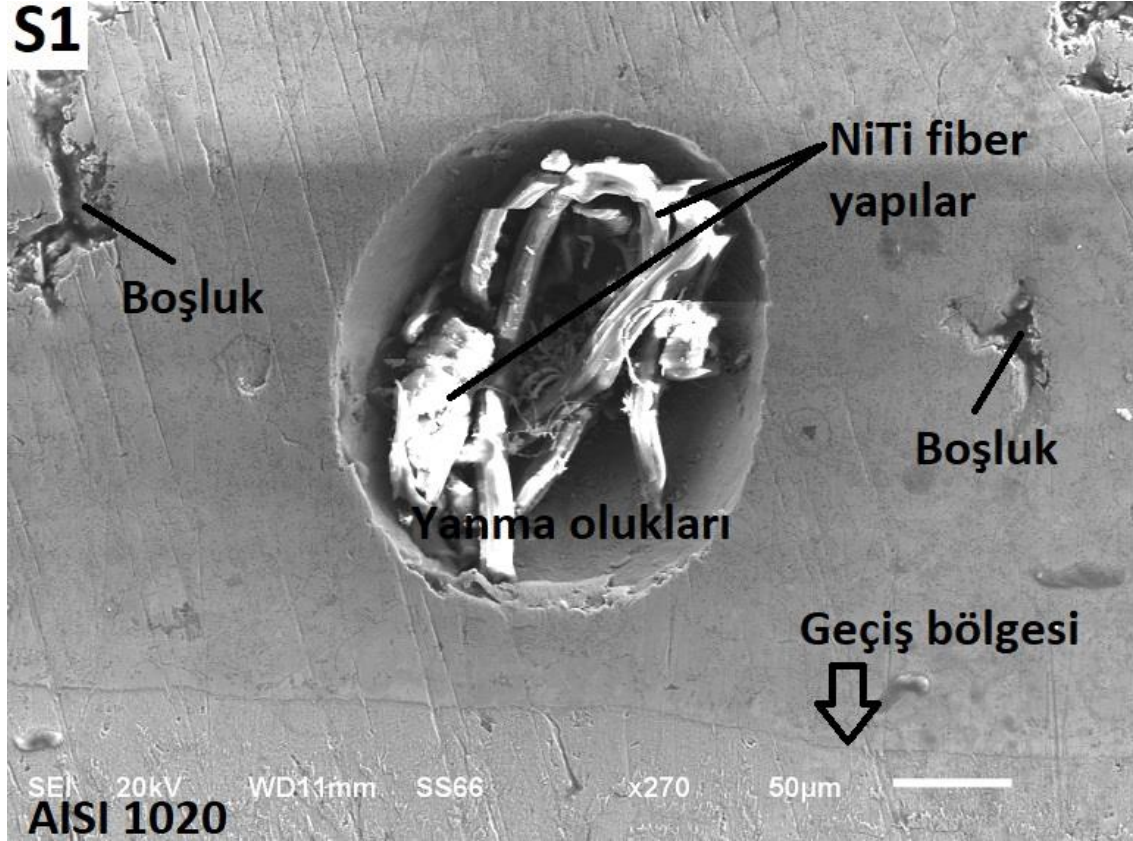
Şekil 4.5. NiTi kaplı %16 SiC takviyeli S5 numunesinin optik görüntüsü

4.2. SEM Analizleri

4.2.1. S1 Numunesinin SEM Analizi

NiTi matrisli kendi kendini sentezleme yöntemi ile elde edilen kaplama malzemesinin SEM görüntüleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. S1 nolu numunemizde boşluklara rastlanılmıştır. Kaplama bölgesinde boşluklara neden olarak, tozlar arasında hapsolmuş

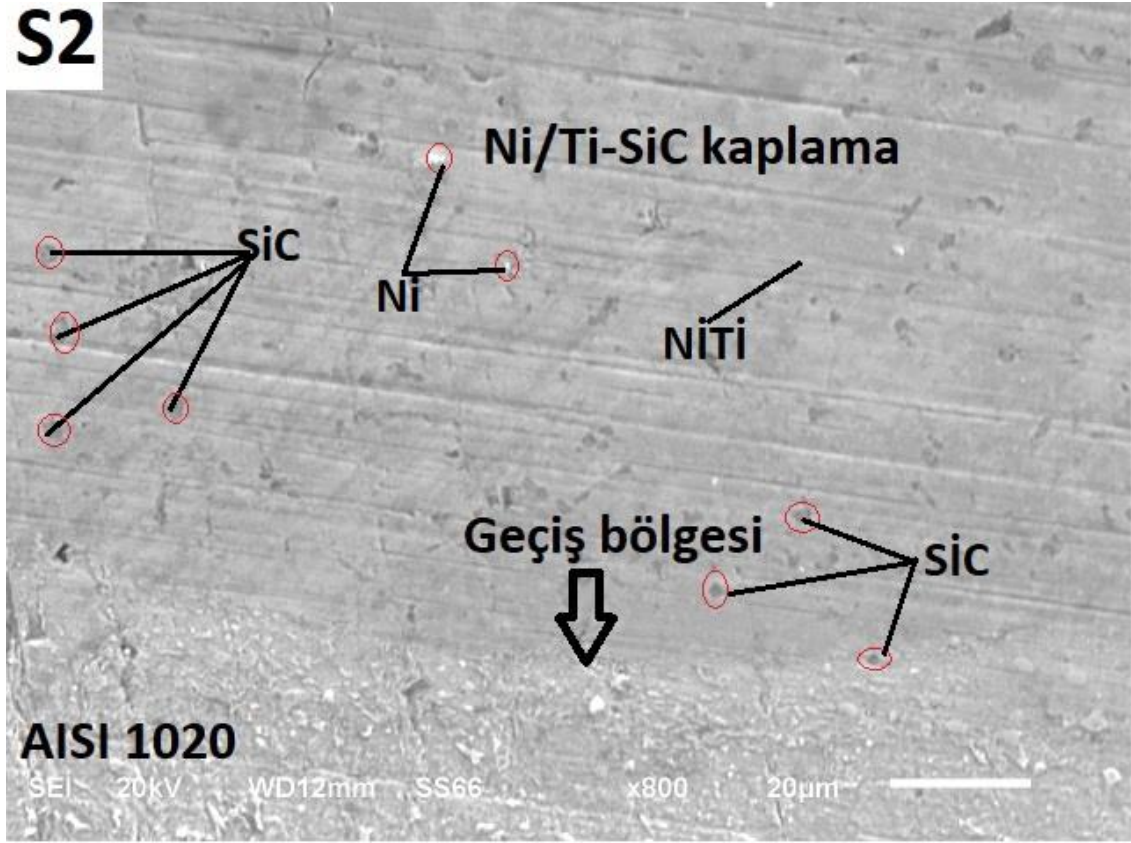
olan gazlar, tozların sağlıklı bir şekilde sıkışmaması ve reaksiyonun iyi ilerleyememesi dışında hacimsel değişikliklerde boşluklara sebep olarak gösterilmektedir (Yılmaz, 2014). Numunede yanma oluklarına rastlanılmıştır. Bu yanma oluklarının içerisinde NiTi fiber yapıları görmekteyiz.



Şekil 4.6. NiTi kaplı S1 numunesinin SEM görüntüsü

4.2.2. %4 SiC ile Kaplanan S2 Numunesinin SEM Analizi

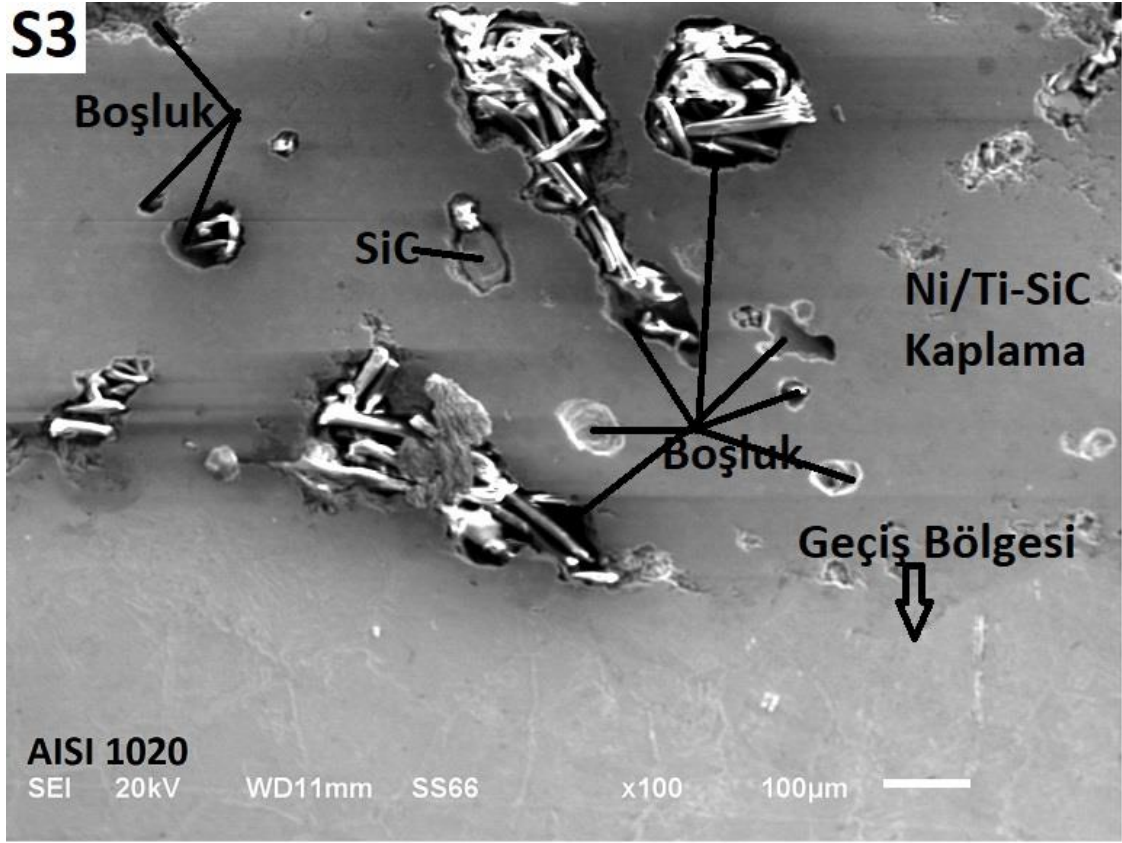
AISI 1020 çeliğinin NiTi matrisli %4 SiC takviyeli toz karışımının ilavesi ile kendi kendini sentezleme ile elde edilen kaplama malzemesinin SEM fotoğrafları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Elde edilen S2 numunesinde NiTi matrisli kaplama tabakasında SiC tozlarının matris fazı içerisinde düzgün bir dağılım göstererek kaplama tabakası içinde görülmektedir. S2 numunesinde yanma oluk sayısı ve gözeneklerin neredeyse hiç olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca SiC tozlarının bazı bölgelerde ise tercihen kümелendiği görülmektedir. Kaplama ile altlık arasında ki bağlanmanın istenilen düzeyde olduğu açıktır.



Şekil 4.7. NiTi kaplı %4 SiC takviyeli S2 numunesinin SEM görüntüsü

4.2.3. %8 SiC ile Kaplanan S3 Numunesinin SEM Analizi

SiC takviye oranının %8 olarak üretilen NiTi-SiC toz karışımının altlık malzeme üzerine indüksiyon yöntemi ile kaplanan numuneye ait SEM fotoğrafları Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Kaplama bölgesinde mikro boşluklara rastlanılmıştır. Yapılan bir çalışmada 950 °C ile 1050 °C’de bağlanmış numunelerde mikro boşlukların bulunduğu ve bağlanmanın sağlıklı olmadığı, ancak 1100-1200°C gibi daha yüksek sıcaklıklarda daha sağlıklı bağlanmaların meydana geldiği ve mikro çatlakların önemli oranda azaldığı gözlenmiştir (Özen, 2014). S3 numunesinde SiC taneleri gözlenmektedir.

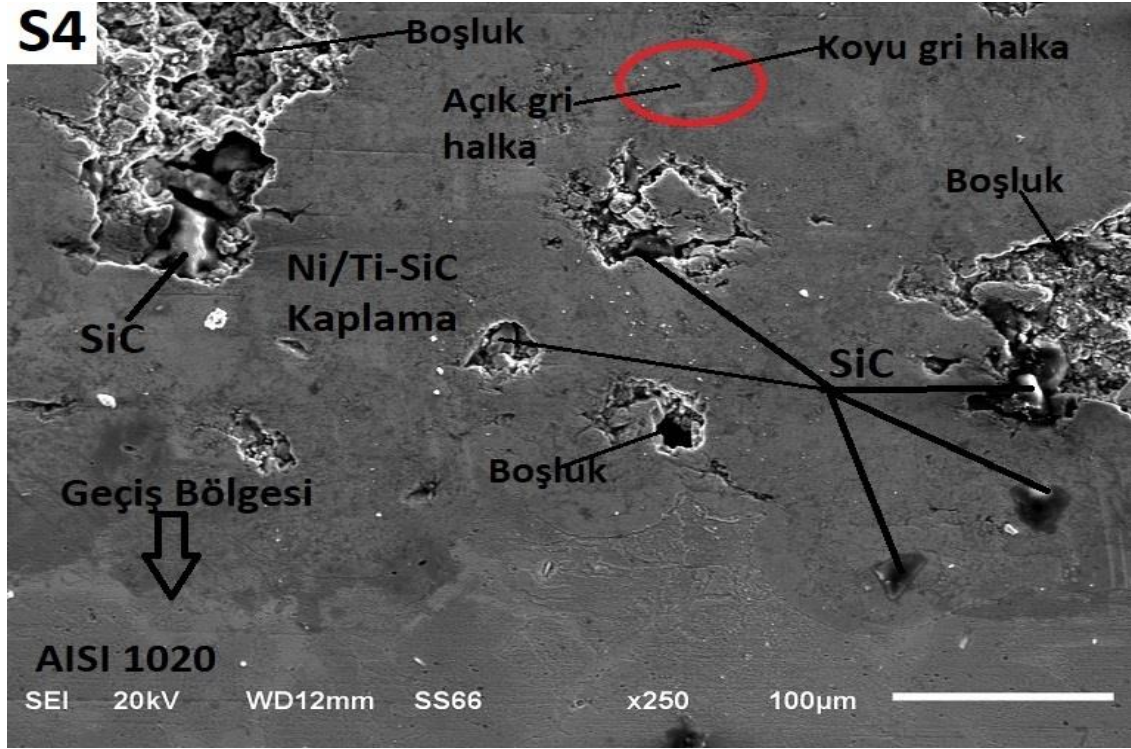


Şekil 4.8. NiTi kaplı %8 SiC takviyeli S3 numunesinin SEM görüntüsü

4.2.4. %12 SiC ile Kaplanan S4 Numunesinin SEM Analizi

AISI 1020 çeliğinin kendi kendini sentezleme ile elde edilen NiTi matrisli %12 SiC takviyeli toz karışımının ilavesi ile elde edilen kaplama malzemesinin SEM fotoğrafları Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Kaplamanın mikro yapısında iki bölgeden meydana gelmektedir. Bunlardan biri esas matris diğeri ise matris içlerine dağılmış SiC tanelerinden meydana gelmektedir. Ayrıca yanma oluklarının biraz daha daraldığı ve birleşme çizgisinin dalgalı bir görünüm aldığı görülmüştür. Verdian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada esas matris bölgesinin karakterizasyonu için her bölge üzerinde altı EDS nokta ölçümü yapmışlar. Sonuçlar, parlak matrisin 50Ni–50Ti’ye yakın kimyasal bileşime sahip bir bölge olduğunu ve koyu şeritlerin yüksek oksijen içeren bölgelerden meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Kaplamaların parlak matrisinin NiTi ve Ni_4Ti_3 içerdiği ve koyu şeritlerin $NiTiO_3$ içerdiği görülmektedir. Bu arada, Ni_4Ti_3 çökeltileri SEM ile tespit edilemeyecek kadar küçüktür (Verdian et al., 2010). S4 numunesi S3

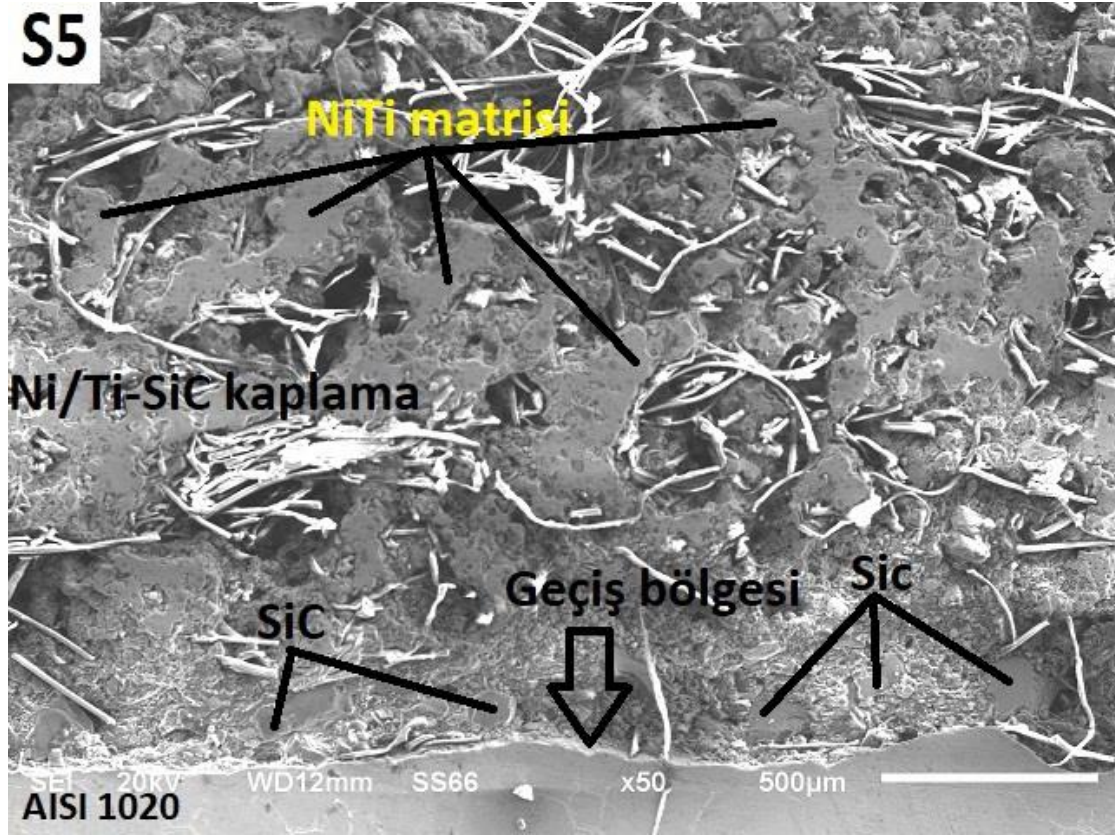
numunesine göre altlık yüzeyine daha dalgalı bir şekilde kaplandığı ve boşluk sayısının daha düşük olduğu görülmüştür. Kaplama yüzeyinde SiC tanelerine rastlanmaktadır.



Şekil 4.9. NiTi kaplı %12 SiC takviyeli S4 numunesinin SEM görüntüsü

4.2.5. %16 SiC İle Kaplanan S5 Numunesinin SEM Analizi

NiTi matrisli %16 SiC takviyeli toz karışımının ilavesi ile elde edilen kaplama malzemesinin SEM fotoğrafları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. S5 numunesinde artan SiC oranına bağlı olarak takviye fazı matris fazını geçmiştir. Kaplama malzemesinin altlık yüzeyine birleşme eğilimi artan SiC takviye oranı ile azalmıştır. Ayrıca matris miktarındaki azalma ile kaplama malzemesini kalitesinin de azaldığı ve mikro yapı içerisine geliş güzel dağılmış fiber fazların sayısında da bir artmanın olduğu görülmektedir. Artan SiC oranı ile NiTi matrisli kaplamanın istenen bazı özellikleri belli bir oranda tutulduğu müddetçe iyi sonuçlar elde edileceği açıktır.



Şekil 4.10. NiTi kaplı %16 SiC takviyeli S5 numunesinin SEM görüntüsü

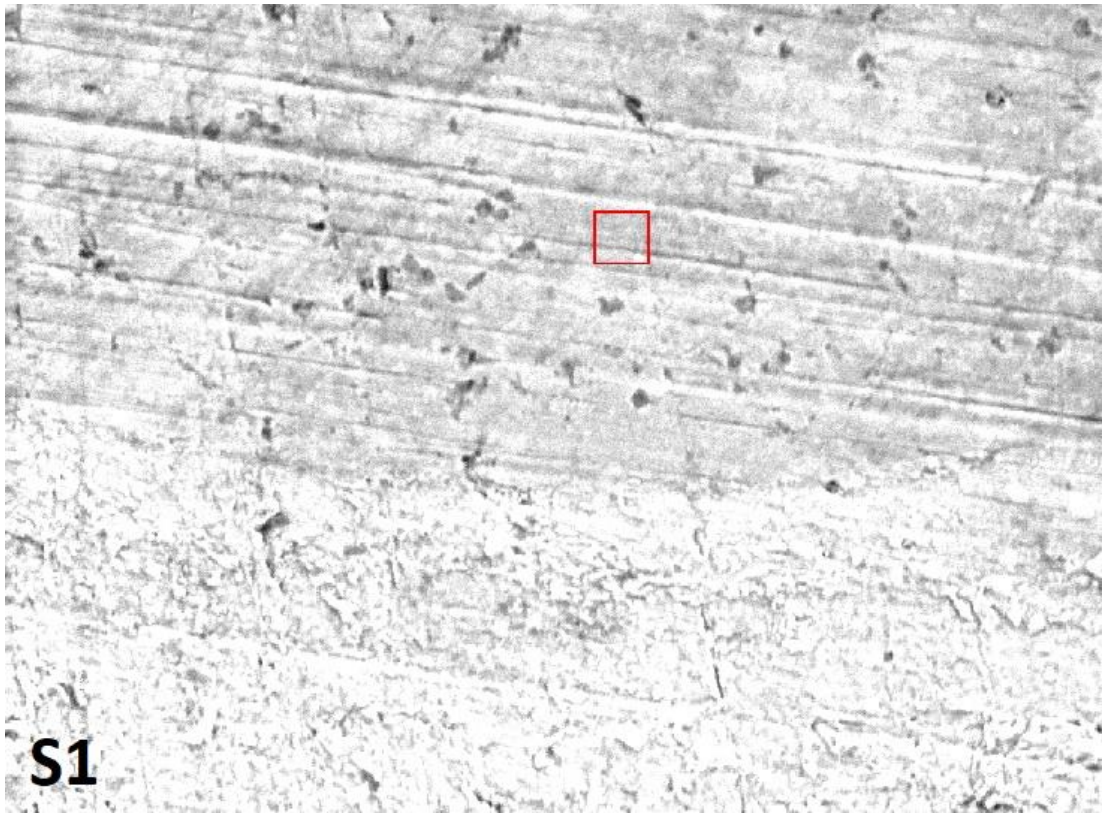
4.3. EDS Analizleri

SHS tekniği kullanılarak kaplanan numunelerden alınan SEM görüntüleri üzerinden daha önce belirlenmiş farklı bölgelerden EDS analizleri alınmış ve bu sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Kaplama bölgesi ile altlık arasındaki geçiş ve oluşan yapıların özelliklerinin belirlemek için kaplama bölgesinde farklı noktalardan EDS analizleri yapılmıştır.

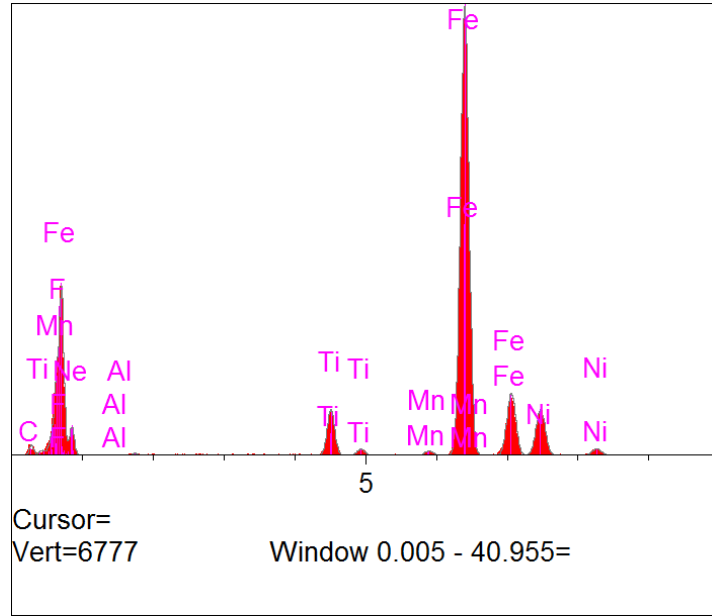
4.3.1. S1 Numunesinin EDS Analizi

Tablo 4.1'i incelediğimizde Mn, Ni, Ti, C, Al, Si, Fe, elementlerinin kaplama tabakasında mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara baktığımızda malzemedeki difüzyon işleminin gayet başarılı gerçekleştiğini görmekteyiz. Şekil 4.11'de yapılan bölgesel analizde ağırlıkça demir ve nikel atomunca zengin olduğu görülmektedir. EDS sonucunda demirin kaplama malzemesine doğru difüze olduğu ve farklı özelliklere ait bölgesel

yapıların oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Bu yapılar EDS analizi ve XRD sonuçlarından intermetalik bileşiklerin ve gevrek yapılar olduğu açıktır. Ayrıca Şekil 4.13’de kaplama bölgesi ile altlık arasındaki elementel konsantrasyonunu görmek adına 90 mikron mesafede çizgisel olarak EDS analizi yapılmıştır. Analizlerden Fe atomunun altlık malzemedan kaplamanın yüzeyine doğru konsantrasyonunu arttırdığı ancak Ti ve Ni atomlarının ise altlığa doğru elementer konsantrasyonlarının düştüğü görülmektedir. Altlık malzemesinin geçiş bölgesini hemen yanındaki bölgede kaplama malzemesi olarak kullanılan Ni ve Ti elementlerinin tespit edilmesi tozların difüzyonuna işaretir.



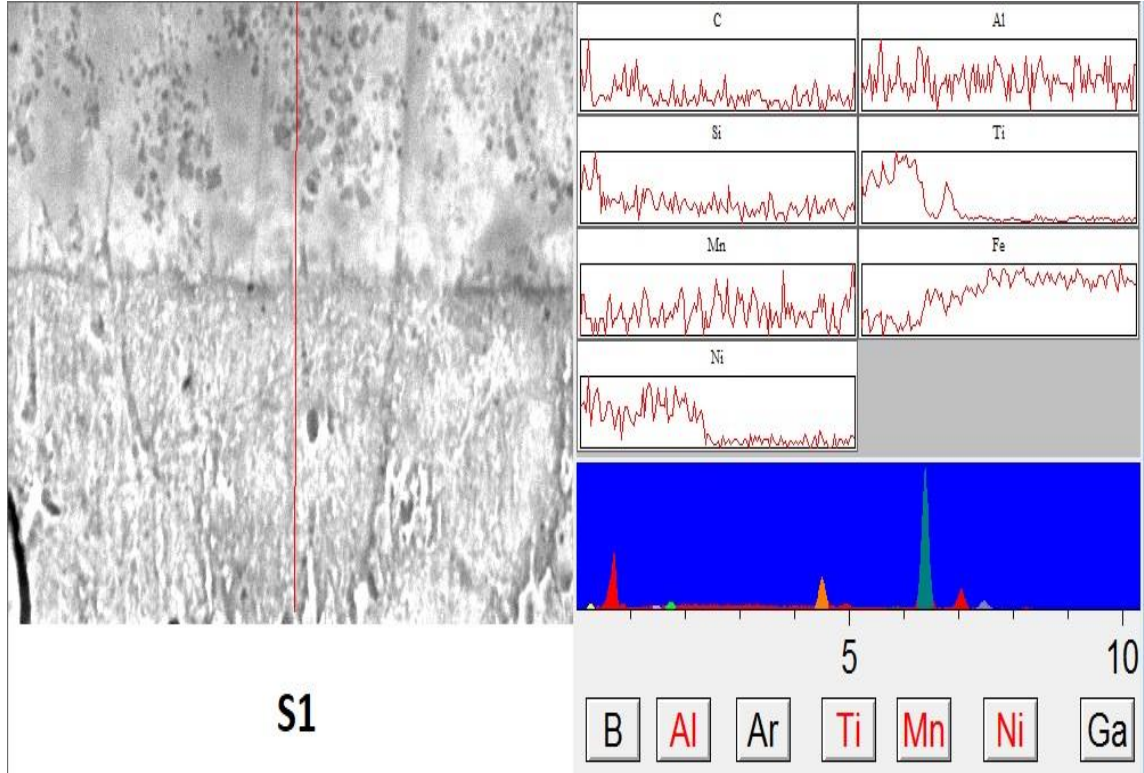
Şekil 4.11. S1 numunesinin noktasal EDS görüntüsü



Şekil 4.12. S1 numunesinin elementsel EDS analizi

Tablo 4.1. S1 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi

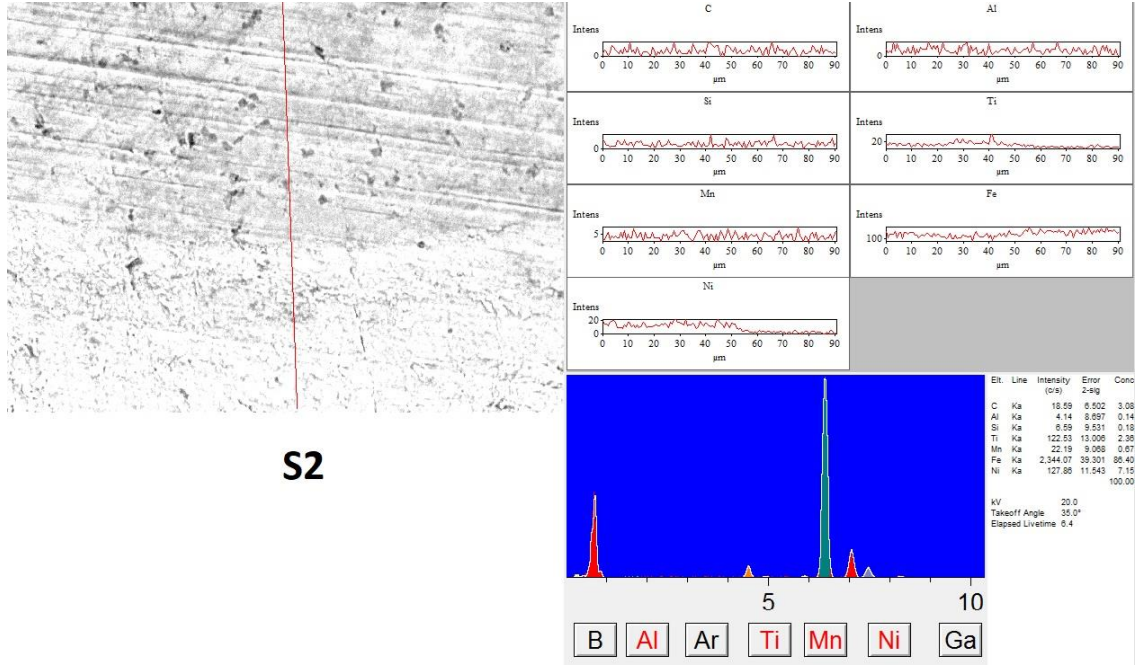
Element	Kütle%
C	4,089
Al	0,037
Si	0,161
Ti	3,630
Mn	0,598
Fe	79,32
Ni	12,165



Şekil 4.13. S1 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü

4.3.2. S2 Numunesinin EDS Analizi

Ağırlıkça %4 katkılı SiC numunesinin Şekil 4.14’de EDS görüntüleri incelendiğinde; Mn, Ni, Ti, C, Al, Si, Fe, elementlerinin kaplama tabakasında mevcut olduğu görülmektedir. Yapılan çizgisel analizde Fe atomunun S1 numunesine göre kaplama tabakasındaki konsantrasyonunu arttırdığı, Ni ve Ti atomunun ise altlık malzemeye doğru konsantrasyonun daha da azaldığı görülmüştür. C atomu oranının %2 SiC ilavesi azaldığı görülmüştür.



S2

Şekil 4.14. S2 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü

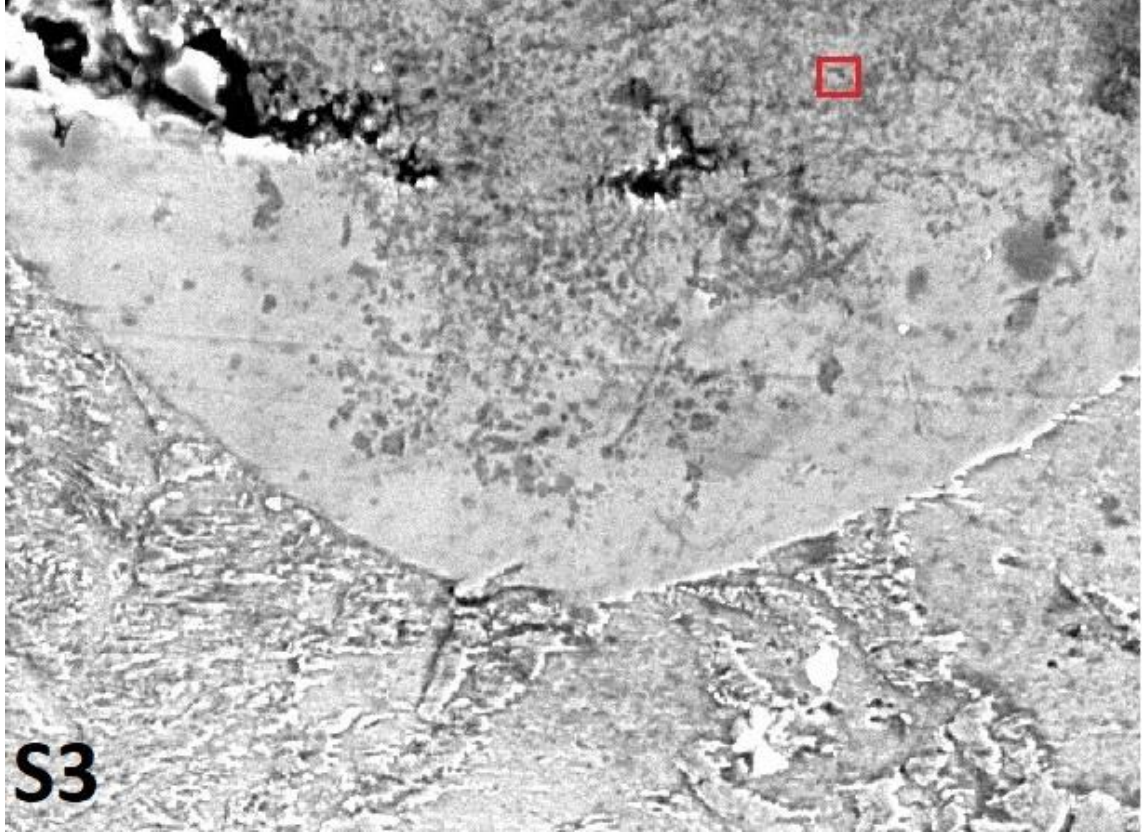
Tablo 4.2. S2 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi

Element	Kütle (%)
C	3,08
Al	0,14
Si	0,18
Ti	2,36
Mn	0,67
Fe	86,40
Ni	7,15

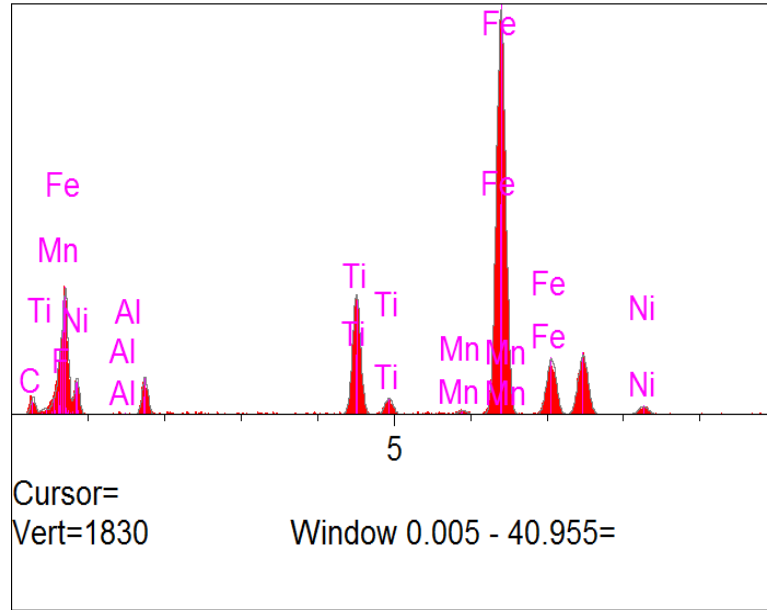
4.3.3. S3 Numunesinin EDS Analizi

Ni/Ti matrisli %8 katkılı SiC takviyeli numunenin Tablo 4.16’da S3 numunesine ait elementsel analizi incelendiğinde; C, Mn, Ni, Ti, C, Al, Si, Fe, elementlerinin kaplama tabakasında var olduğunu görmekteyiz. Bu sonuçlara baktığımızda malzemede difüzyon işleminin gayet başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.15’de gösterilen noktasal analizde S3 numunesinin S2 numunesine göre Fe atomunu altlık malzemeden kaplamanın yüzeyine doğru konsantrasyonunu azalttığı, Ni ve Ti atomunun arttığı görülmüştür. SiC oranı artıkça kaplama yüzeyinde bazı değişimler olduğu görülmektedir. Buna göre koyu gri açık gri ve siyah bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Yapılmış olan bir

Çalışmada açık gri fazlarda Nikelin yoğun olduğu koyu gri fazlarda ise titanyumun yoğun olduğunun tespiti yapılmıştır (Altınışıık, 2019).



Şekil 4.15. S3 numunesinin noktasal EDS görüntüsü



Şekil 4.16. S3 numunesinin elementsel EDS analizi

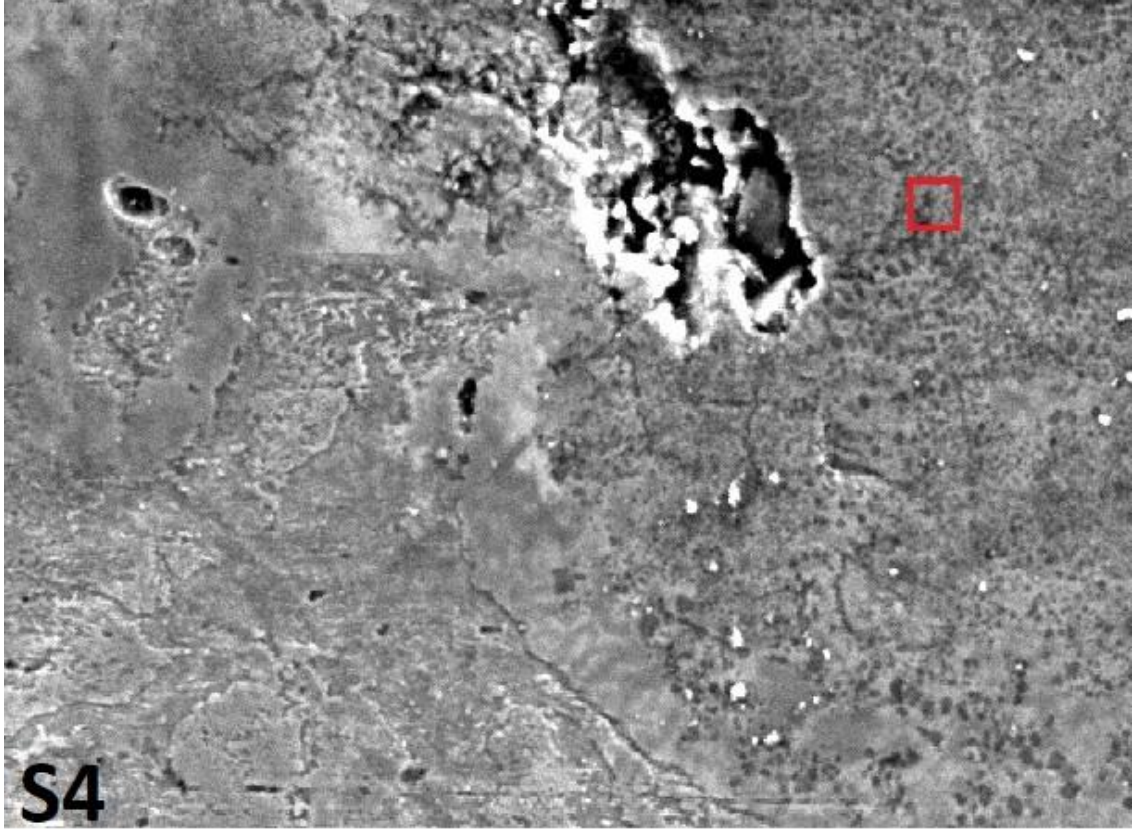
Tablo 4.3. S3 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi

Elt.	Kütle (%)
C	6,611
Al	0,083
Si	2,639
Ti	9,409
Mn	0,597
Fe	66,221
Ni	14,440

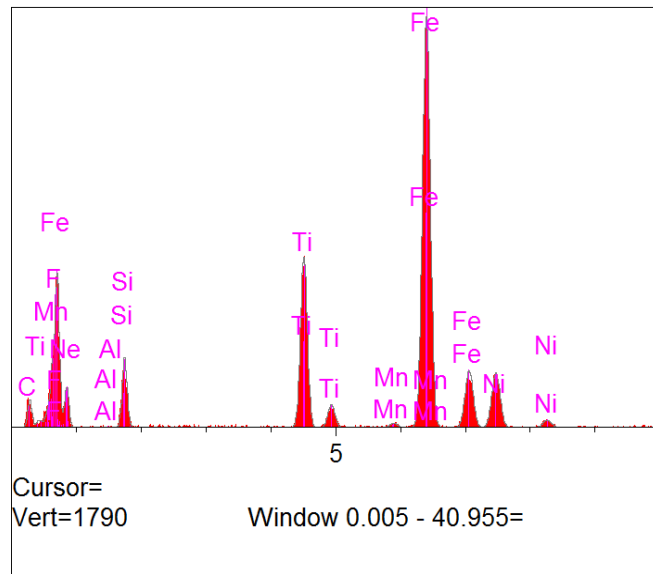
4.3.4. S4 Numunesinin EDS Analizi

%12 SiC katkılı numunenin Tablo 4.4'deki kütlece yoğunluk analizi incelendiğinde; C, Mn, Ni, Ti, C, Al, Si, Fe, elementlerinin kaplama tabakasında mevcut olduğu görülmektedir. Şekil 4.18'de gösterilen elementsel analizde SiC oranının artmasıyla Fe atom oranının daha da azaldığı, Ti atom oranının arttığı görülmüştür. S3 numunesinde görülen açık gri, koyu gri halkaların dahada arttığı görülmektedir. Şekil 4.17'de açık ve koyu gri halkaların dışında beyaz halkalarında varlığından söz edebiliriz. Mokgalaka ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada; NiTi'nin Ti-6Al-4V alaşımı üzerine lazer kaplaması için, gri gölgeli çiçek benzeri yapıların NiTi₂ olarak tanımlandığı ve beyaz gölgeli Ni açısından zengin fazlar, NiTi veya Ni₃Ti olarak tanımlandı (Mokgalaka et al. 2014). Lagoudas ve Vandygriff'in yaptıkları analizde, NiTi sisteminde reaksiyona

girmemiş Ti, NiTi ve NiTi₂ fazları sırasıyla siyah, beyaz ve gri renkli yapı olarak ortaya çıktığının tespitini yapmışlardır (Lagoudas and Vandygriff, 2002).



Şekil 4.17. S4 numunesinin noktasal EDS görüntüsü



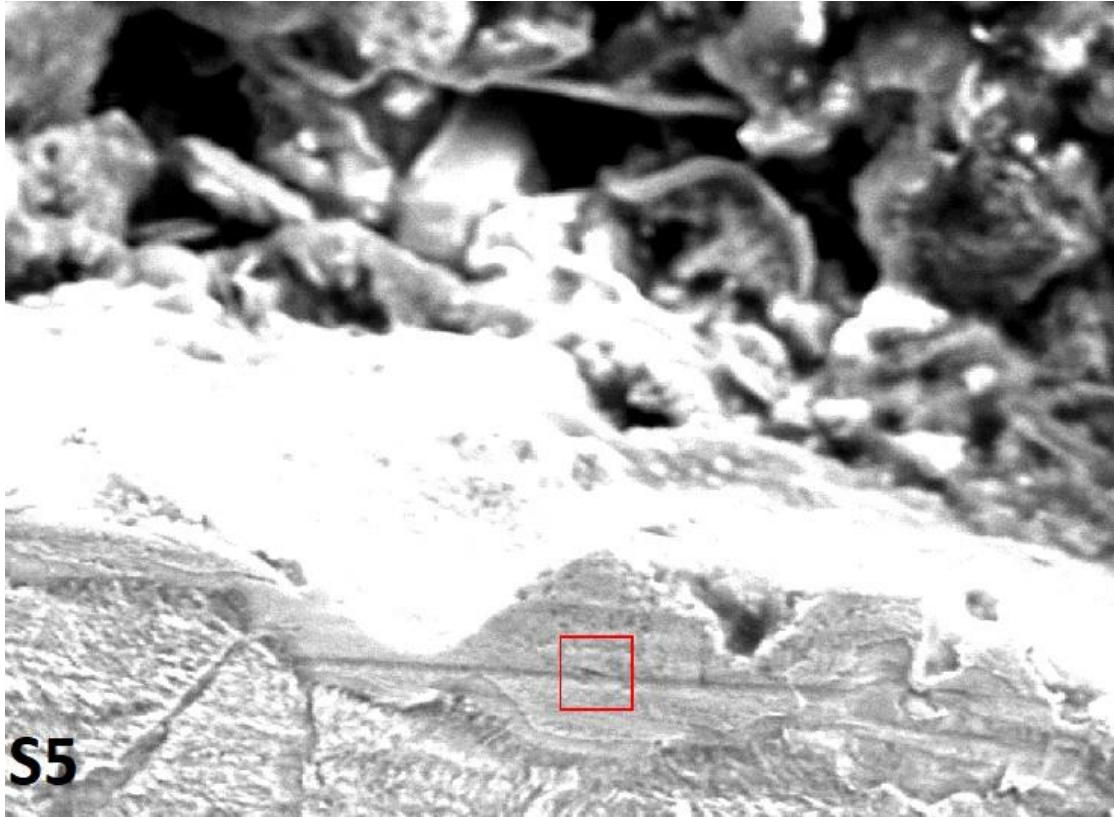
Şekil 4.18. S4 numunesinin elementsel EDS analizi

Tablo 4.4. S4 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi

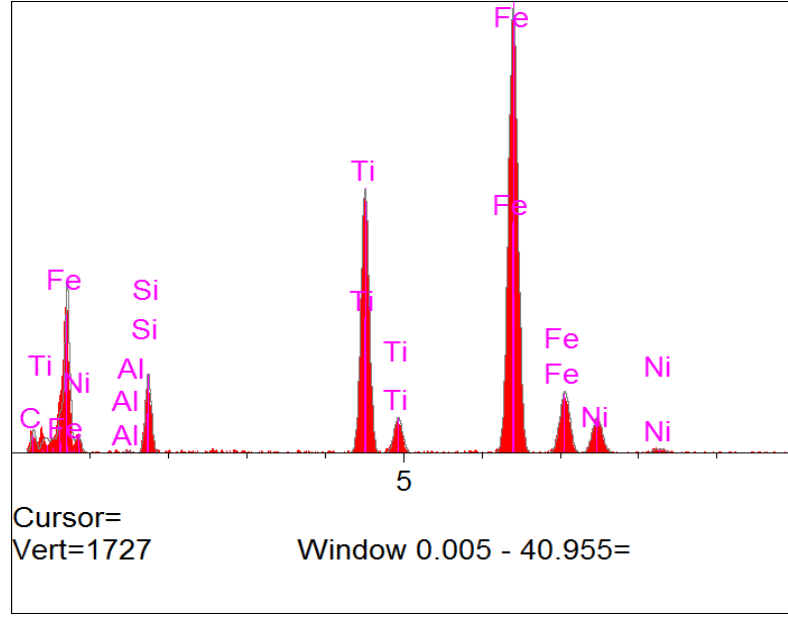
Elt.	Şekil a(%)
C	9,306
Al	0,072
Si	4,190
Ti	12,088
Mn	0,555
Fe	61,998
Ni	11,791

4.3.5. S5 Numunesinin EDS Analizi

NiTi matrisli %16 SiC takviyeli S5 numunesine ait EDS görüntüleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Kaplama bölgesinde açık gri ve koyu gri halkaların daha da büyüdüğü görülmektedir. Karbon atom miktarının artış gösterdiği ve Ni ve Ti atomunun azaldığı görülmüştür. %16 SiC artışı ile S5 numunemizde Fe atomunun altlık malzemeden kaplama alanına doğru konsantrasyonunu epey arttırdığı görülmüştür.



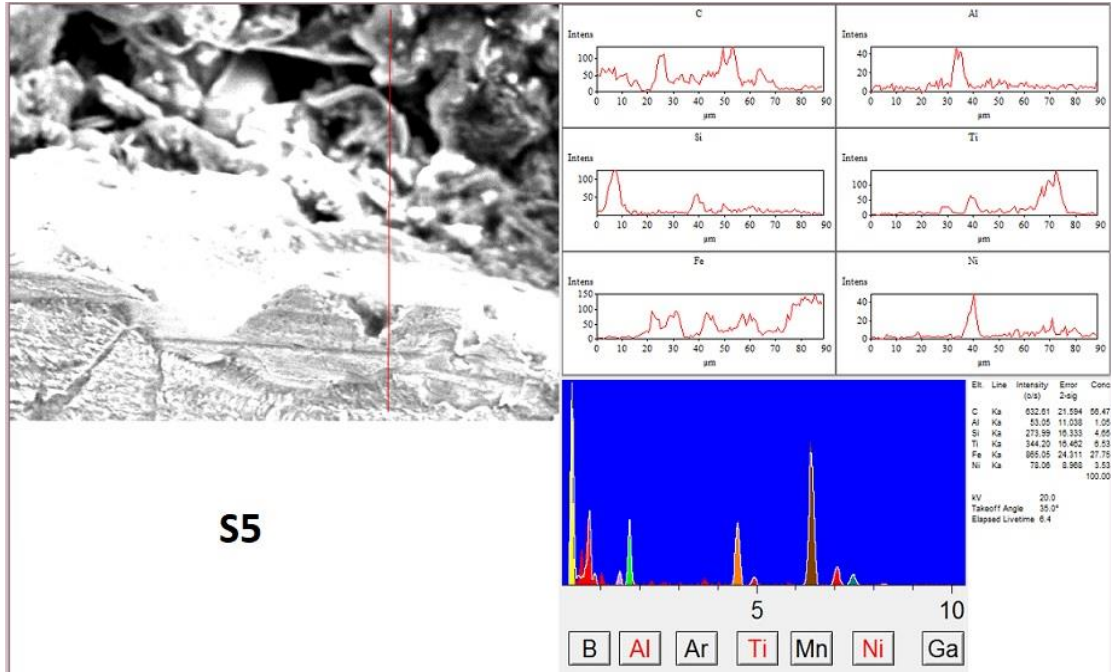
Şekil 4.19. S5 numunesini noktasal EDS görüntüsü



Şekil 4.20. S5 numunesinin elementsel EDS analizi

Tablo 4.5. S5 numunesine ait kütlece yoğunluk analizi

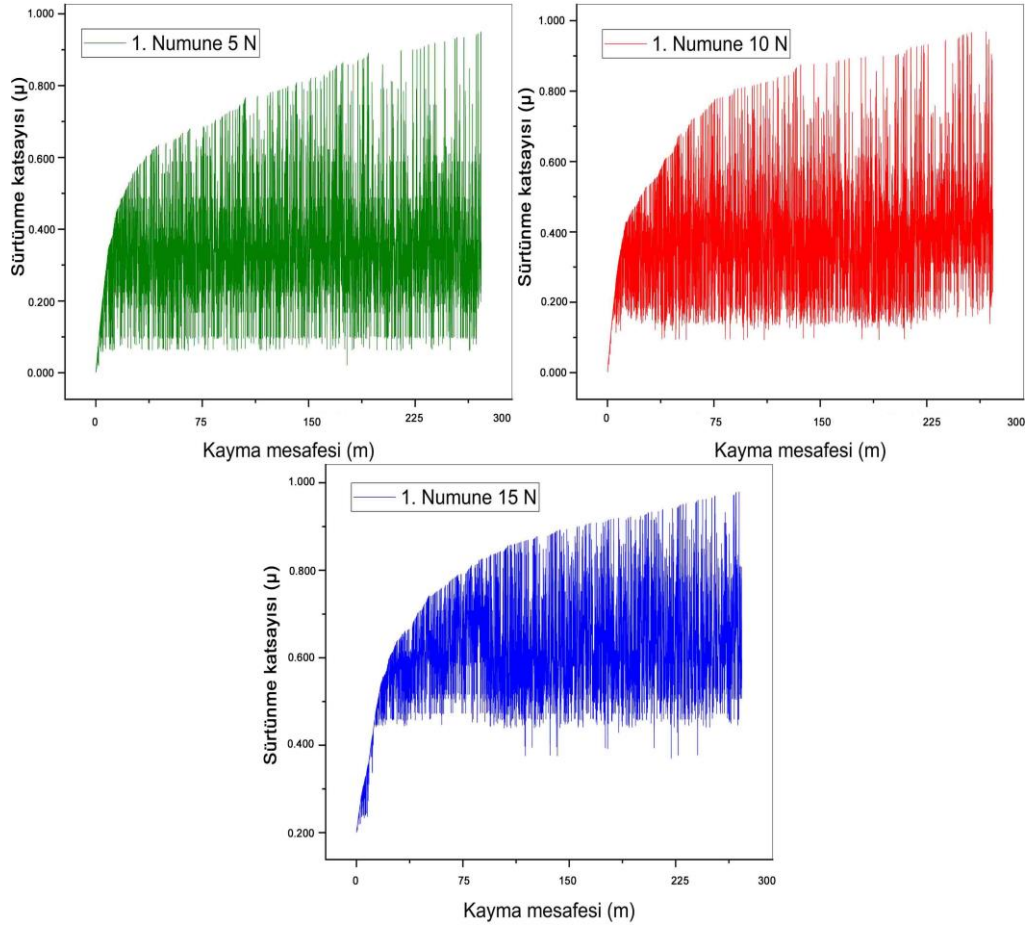
Elt.	Şekil a(%)
C	18,033
Al	0,037
Si	0,322
Ti	0,088
Fe	81,187
Ni	0,333



Şekil 4.21. S5 numunesinin çizgisel EDS görüntüsü

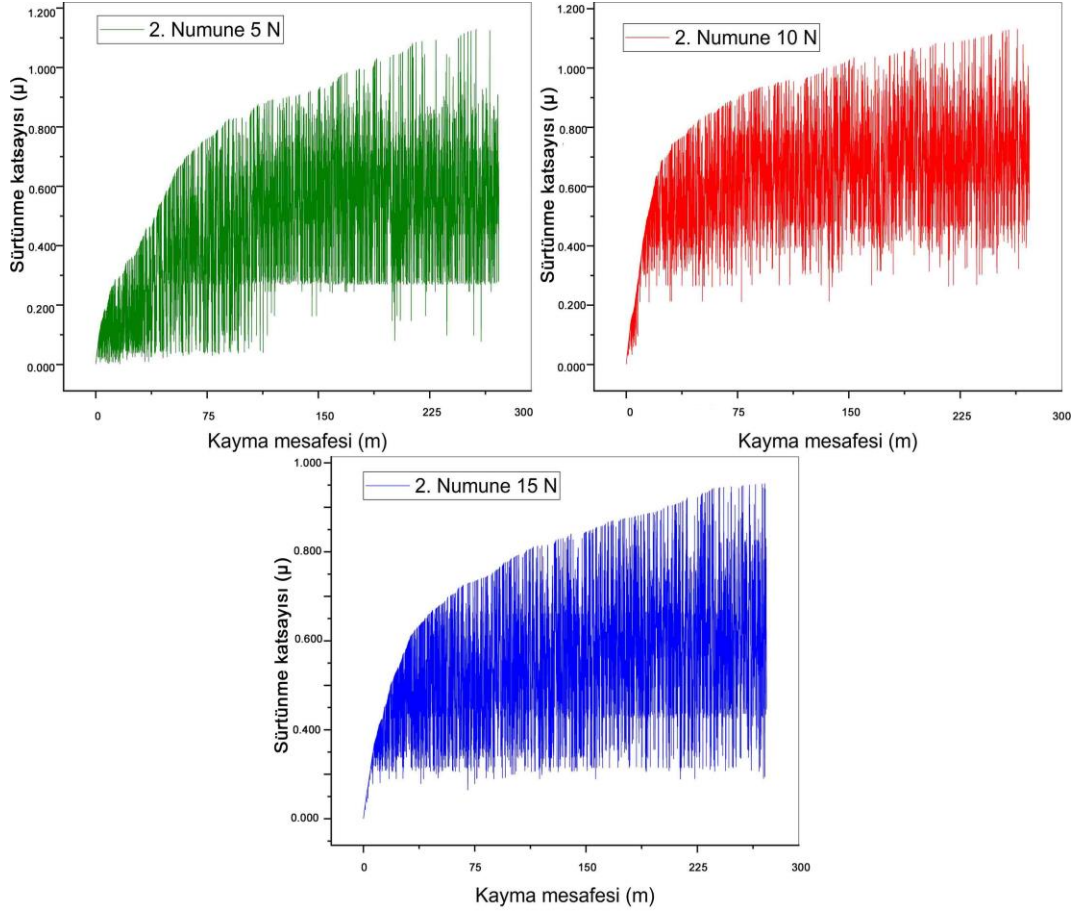
4.4. Aşınma

Ni/Ti matrisli SiC takviyeli kompozit kaplamaların sürtünme davranışlarını incelemek için 300 m kayma mesafesinde üç farklı yük uygulanarak sürtünme katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.22’de NiTi matris alaşımı olan 1 nolu numuneye 5N, 10N ve 15N gibi farklı yükler uygulanması ile elde edilen sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.22 incelendiğinde numune sürtünme katsayısı artışı ile kayma mesafesinin düzenli bir şekilde artış göstermiştir.



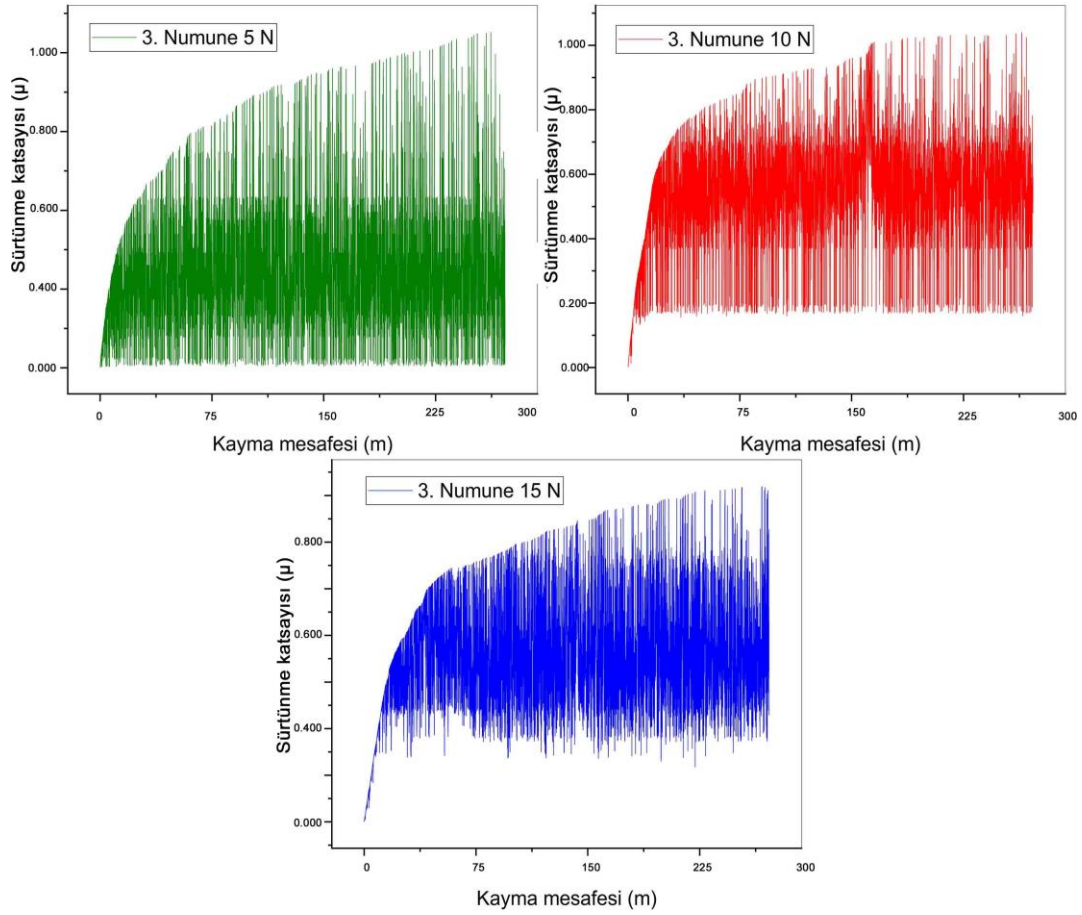
Şekil 4.22. S1 numunesinin aşınma grafiği

Ni/Ti matrisli %4 SİC takviyeli 2 nolu numunenin 5N, 10N ve 15N yük uygulanarak elde edilen sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı değişimi Şekil 4.23'de görülmektedir. 2 nolu numuneyi incelediğimizde takviye oranlı bu numunenin 1 nolu numuneye oranla sürtünme katsayısının daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri tüm kayma mesafesi noktalarında, takviyesiz matris alaşımından düşük çıkmıştır. Genel olarak tüm numunelerin sürtünme katsayısı değerleri kayma mesafesinin artması ile artmıştır (Soy, 2009).



Şekil 4.23. S2 numunesinin aşınma grafiği

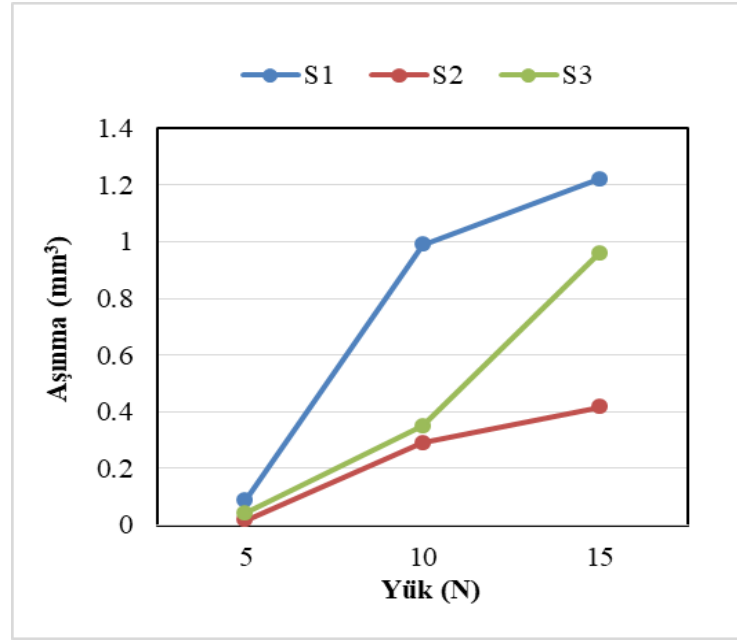
Ni/Ti matrisli %4 SİC takviyeli 3 nolu numunenin 5N, 10N ve 15N yük uygulanarak elde edilen aşınma verilerinde sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı değişimi Şekil 4.24’de görülmektedir. 3 nolu numuneye baktığımızda kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısının da arttığı görülmektedir.



Şekil 4.24. S3 numunesinin aşınma grafiği

4.4.1. S1, S2, S3 Numunelerinin Aşınma Sonrası Kütle Kayıpları

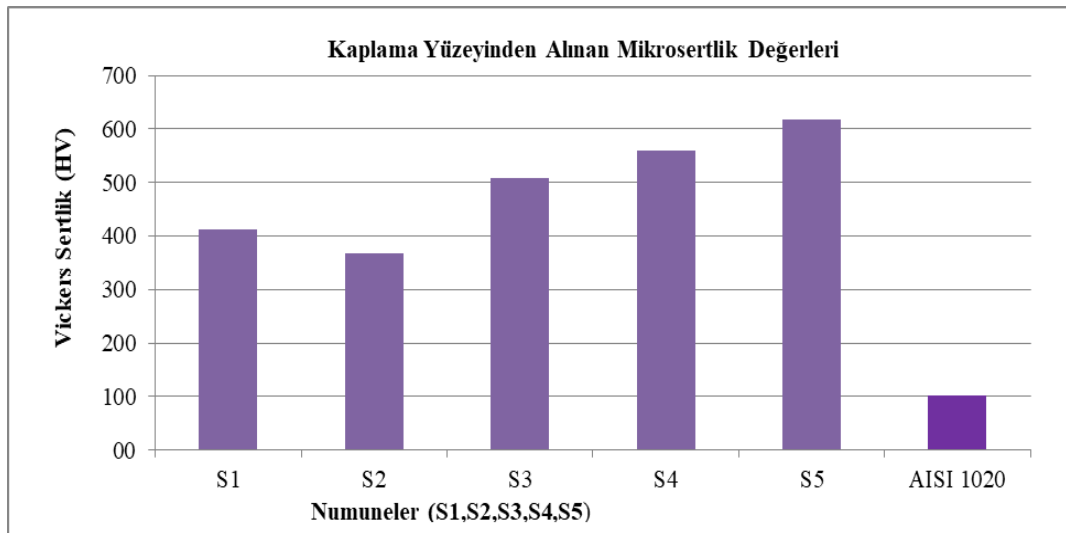
Şekil 4.25’de gösterilen S1, S2 ve S3 numunelerine 5N, 10N ve 15N yük uygulanarak numunelerde görülen kütle kayıpları incelenmiştir. Buna göre 25 gr NiTi matrisi bulunduran numunemizde kütle kaybının en fazla olduğu görülmektedir. %4 SiC içeren S2 numunesinde en düşük aşınma hacmine sahip olduğu görülmüştür. Buradan aşınma performansının S2’de olduğu görülmüştür. %8 SiC takviye elemanı içeren S3 numunesinde takviye elemanı ters etki yapmış olup, sürtünme kayıplarını arttırmıştır. Dolayısıyla takviye elemanının bu aralıkta tutulması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.25. S1, S2, S3 numunelerinin aşınma sonrası kütle kayıpları

4.5. Sertlik Analizleri

Metalografik incelemeleri tamamlanan numunelerin sertlik cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik cihazından alınan sonuçlar Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. NiTi matrisli, %4, %8, %12, %16 SiC takviye elemanı içeren numunelerin sertlik değerleri

Şekil 4.26 incelendiğinde; sertlik değeri 102,68 HV olan AISI 1020 çeliğe NiTi matrisin ilavesi ile elde edilen S1 numunenin sertlik değeri 412,7 HV değerine yükseldiği görülmüştür. Matris tozunda bulunan Ni ve Ti elementlerinin yapıda bulunmasından kaynaklanmıştır. S1 numunesindeki NiTi oranın sertliği önemli derecede arttırdığı gözlemlenmiştir.

Kılıç 2015 yılında yapmış olduğu bir çalışmada NiTi kaplama tabakasının sertliğini 558 HV olarak belirlemiştir (Kılıç, 2015).

NiTi matrisli %4 SiC takviyeli toz karışımının sonucunda sertlik değeri 367,7 HV S2 numunesinde; sertlikte düşüş olduğu gözlenmiştir.

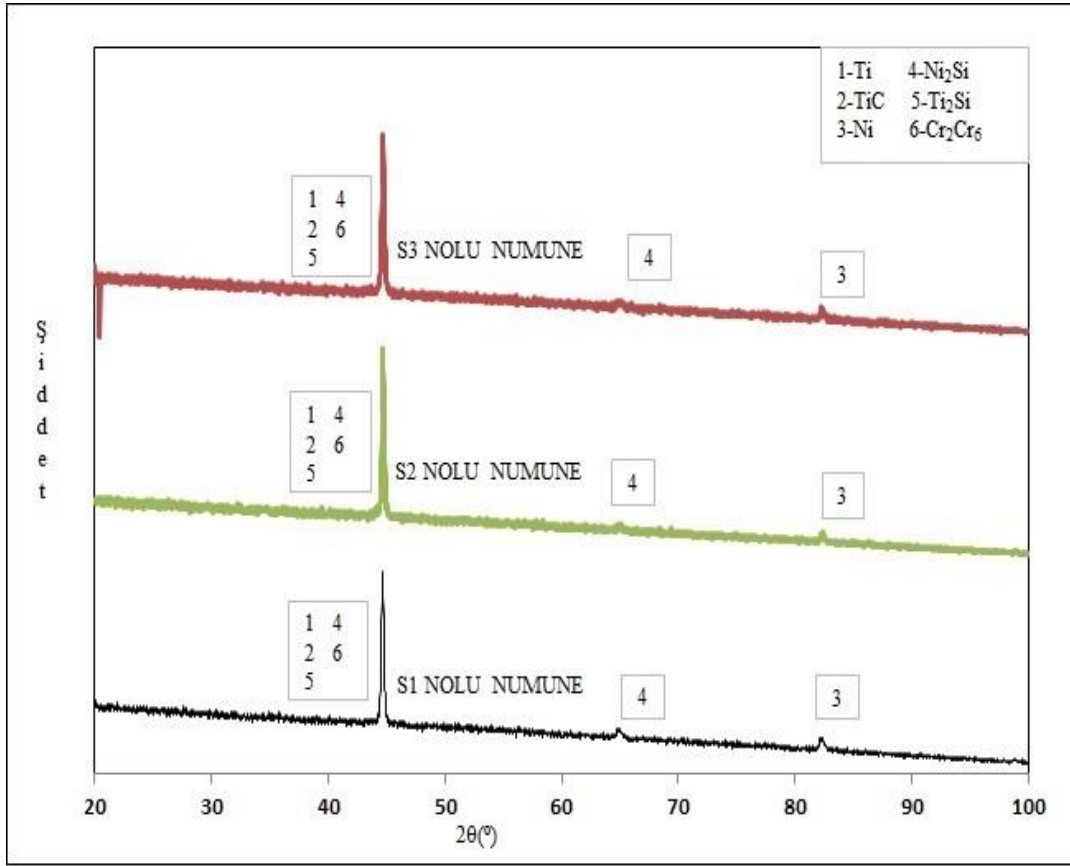
NiTi matrisli %8 SiC takviyeli toz karışımının sonucunda sertlik değeri 508,5 HV S3 numunesinde; sertlik artışının olduğu, artan SiC toz oranının sertlik değerini ciddi oranda artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sonucun iki sebebi olabilir: birincisi C elementinin sertlik değerinin alaşımı oluşturan diğer elementlerden aşırı yüksek olması, ikincisi ise; Si ve C elementinin oranı artıkça titanyum elementinin oranının ve nikel miktarının artmasından kaynaklanabilir.

NiTi matrisli %12 SiC takviyeli toz karışımının sonucunda sertlik değeri 559,3 HV olan S4 numunesinde; artan SiC oranına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı görülmüştür.

NiTi matrisli %16 SiC takviyeli toz karışımının sonucunda sertlik değeri 617,8 HV S5 numunesinde; Burada değişen takviye oranları içerisinde en yüksek sertlik artışının S5 numunesinde olduğu saptanmış olup, bunun nedeni olarak giderek artan SiC değerinin sertlikteki artışın önemli sebebi olduğu görülmüştür. Gürbüz yapmış olduğu çalışmasında; artan SiC takviye oranına bağlı olarak sertliğin artmasına neden olarak dislokasyonlar teorisi ile açıklamaktadır. Dislokasyonlar teorisine göre, matris içerisindeki takviye elemanın nano boyutlu olması ve oranın artması nedeniyle kompozit yapı içerisindeki dislokasyon yoğunluğunda artış olduğunu göstermektedir. Dislokasyon yoğunluğunun artışı kompozitin sertliğini artırmaktadır (Gürbüz ve Tuğba, 2019).

4.6. XRD Analizleri

İndüksiyon ergitme yöntemiyle üretilen Ni/Ti matrisli ve SiC takviyeli kaplamalara ait XRD spektrumları Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Yapılan XRD analiz sonucunda; kaplamada Ni, Ti elementlerine ve TiC, Ni₂Si, Ti₂Ni, Cr₂₃C₆ bileşiklerine rastlanılmıştır. Yapılan bir çalışmada; Ni/Ti tozları ile kaplanmış AISI 1020 çeliğinde TiC, Ni₃Ti, NiTi₂ ve kübik hacim merkezli (Ni)+C+TiC karbürleri oluşmuştur (Ay ve Orhan, 2008).



Şekil 4.27. S1, S2, S3 nolu numunelerin XRD görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 1020 düşük karbonlu çeliğin İndüksiyon kaplama metoduyla kaplama işlemi yapılmıştır. 25 gr NiTi matrisi ve değişen SiC toz oranları ile yüzey özellikleri değiştirilmiştir. İndüksiyon kaplama işlemi sonucunda numunelerin Optik, SEM, EDS ve XRD analizleri yapılarak sonrasında aşınma ve mikro sertlik değerleri alınmıştır. Yapılan araştırma ve incelemelerle birlikte aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

S1, S2, S3, S4 ve S5 numunelerinin Optik, SEM, EDS analiz sonuçları incelendiğinde; S1, S2, S3, S4 numunelerinde kaplama ve altlık malzeme arasında başarılı bir bağlanmanın gerçekleştiği görülmekte olup, %16 takviye oranına sahip S5 numunesinde kaplama ile altlık arasında bağlanmanın başarısız olduğu görülmüştür. Buradan başarılı bir bağlanmanın gerçekleşmesi için SiC takviye oranının %4-%12 arasında tutulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aşınma testi analiz sonuçlarında; S1, S2 ve S3 numunelerinin aşınma sonrası kütle kayıplarına bakıldığında en fazla kütle kaybının S3 numunesinde olduğu görülmektedir. Buradan takviye oranının en fazla olduğu S3 numunesinde kütle kaybının olması takviye elemanın ters etki yarattığı ve sürtünme kayıplarını arttırdığı görülmüştür. Takviye elemanın bu aralıkta tutulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İndüksiyon kaplama yöntemi ile kaplanan numunelerin mikro sertlik analizleri incelendiğinde; artan SiC takviye oranına bağlı olarak sertlikte ciddi artışlara neden olduğu görülmekte olup, %4 SiC takviye oranına sahip S2 numunesinde ise sertlikte düşüş olduğu görülmektedir.

Numunelerin mikro sertlik analiz sonuçları incelendiğinde kaplama tabakasında; en düşük mikro sertlik değeri 367,7 HV ve en yüksek mikro sertlik değeri de 617,8 HV olarak ölçülmüştür.

5.2. Öneriler

%4 SiC takviye elemanına sahip S2 numunesinin sertlik oranının düşmesi nedeniyle %4-%6 aralığındaki SiC takviye oranının neden sertliği düşürdüğü ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

İndüksiyon kaplama metoduyla modifikasyon işlemleri daha farklı toz kombinasyonlarıyla birlikte yapılabilir.

KAYNAKLAR

Altakan, C. (2011). AISI 1010 ve AISI 1040 elikleri yüzeylerine nikel ve krom yayındırılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi.

Altınışık, G. (2019). Toz Metalurjisi Yöntemleri Kullanılarak retilmiř Fe Katkılı NİTİ şekil Hafızalı Alaşımının Karakterizasyonu. Ankara. s. 47-53.

Amushahi, M. H., Ashrafizadeh, F., and Shamanian, M. (2010). Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes. Surface and Coatings Technology, 204(16-17), 2723-2728.

Artyukhova, N. V., Yasenchuk, Y. F., Ji-Soon, K., and Gunther, V. . (2015). Reaction Sintering of Porous Shape-Memory Titanium-Nickelide-Based Alloys. Russian Physics Journal, 57(10), 1313-1320.

Ay, M., ve Orhan, A. (2008). Ni/Ti Tozlarının GTA Yntemiyle AISI 1020 elięi Yzeyindeki Kaplamaların Mikroyapı zellikleri. Doęu Anadolu Blgesi Araştırmaları, s. 2-7.

Bendeş, O. (2010). Reaktif Dc Magnetron Sıçratma Tekniği ile elde edilen Kaplamaların Motor Paralarını Aşınma Performansına Etkisi. (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü). Kayseri.

Bozzolo, G., Noebe, R., and Mosca, H. (2005). Site preference of ternary alloying additions to NiTi: Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cu, Zr and Hf. Journal of Alloys and Compounds, 389(1-2).

Burgucu, S., 2011. 7075 Alüminyum Alaşımlarının retimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. s. 28-39.

Buytoz, S., Yıldırım, M. M., ve Eren, H. (2006). TIG metodu kullanılarak yapılan Fe-Cr-C kaplamalarının karakterizasyonu. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 267-270.

Ceschini, L., Boromei, I., Minak, G., and Morri, A. (2007). Effect of Friction Stir Welding on Microstructure, Tensile and Fatigue Properties of the AA7005/10 vol.% Al₂O₃ Composite. Composites Science and Technolog. 67 (3-4), 605-615.

akır, A. (2014). Eletro Spark ile Biriktirme ve Mikro Ark oksidasyon Yöntemleri Kullanılarak elik Yüzeyin Alüminyum ile Modifikasyonu. İstanbul. s. 1-4.

Çelik, A., Şen, Ş., ve Şen, U. (2015). Fe-VB Esaslı Alaşımın Yüzeyi Sertleştirilmiş AISI 1020 Çeliğinin Özellikleri. *Sakarya University Journal of Science*, 19(3), 237-244.

Çolak, E. (2010). İyon Nitrülenmiş AISI 5140 Çeliğinin Korozyon Davranışının İncelenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum).

Denktaş, Ö. (2009). Plazma Nitrokarbürülen AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Korozyon Davranışı Üzerine Post-Oksidasyon İşleminin Etkisinin Araştırılması (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum).

Feng, J., Liu, J., Wang, H., Sun, Q., and Wang, J. (2016). Effect of position on the microstructure and mechanical properties of the additive layer produced using Inconel 625 gas tungsten arc welding. *Material science and engineering*, s. 395-405.

Güngör, Y., (2001). *Malzeme Bilgisi*. İstanbul: Beta Basım A.Ş.

Gürbüz, M., ve Mutuk, T. (2019). Karbon Esaslı Malzeme Takviyeli Titanyum Kompozitler ve Grafen Üzerine Yeni Eğilimler. *Mühendis ve Makina*, 60(695), 101-118.

Heimann, R., Shagalov, M., Kleiman, J., and Litovsky, E. (2014). Measurement of the thermal conductivity of cold gas dynamically sprayed alumina reinforced aluminum coatings between -150°C and $+200^{\circ}\text{C}$. New test method and experimental results. *Surface and Coating Technology*, s. 242.

Karakan, M. (2004). Plazma nitrokarbürülen AISI 4140 ve 1020 çeliklerinin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılması (Doctoral dissertation, Doktora Tezi).

Kaya, M. (2008). Toz metalurjisi ile üretilen NiTi şekil hatırlamalı alaşımların metalurjik ve mekanik karakteristiklerinin incelenmesi/The investigation of the metallurgical and mechanical characteristics of NiTi shape memory alloys produced with powder metallurgy.

Kaya, Y., Aktürkoğlu, F., ve Kahraman, N. (2017). AISI 8620 çelik malzemelerin plazma püskürtme yöntemiyle kaplanması ve kaplamaların. *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Dergisi*, s. 1117-1121.

Kılıç, M. (2015). Kendi İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi ile Fonksiyonel Derecelendirilmiş İntermetalik Malzemelerin Üretimi ve Mikroyapılarının İncelenmesi. *Yaşam Bilimleri Dergisi*, s. 94-95.

Kocabaş, M. (2012). Elektrolitik sert krom kaplanmış 1010 ve 1040 çelik yüzeylerin nitrülenmesi ve nitrokarbürülenmesi. *İstanbul*. s. 32-35.

Lagoudas, C., and Vandygriff, L. (2002). Machining and Characterization of NiTi Porous SMA by High Pressure Sintering. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, s. 5-8.

Ming, W., Guang, F., Uzun, L., Ping, L., Zhong, W., and Qing, S. (2017). Effect of strength on microstructure and properties of laser coating NiCrBSi composite coating. *International Journal of Surface Engineering and Coatings*, s. 328-336.

Mokgalaka, M. N., Pityana, S. L., Idowu, P. A., and Mathebula, T. (2014). NiTi Intermetallic Surface Coatings by Laser Metal Deposition to Improve the Wear Properties of Ti-6Al-4V Surfaces. *Advances in materials science and engineering*, s. 2-5.

Nas, E., Gökkaya, H., ve Sür, G., (2013). Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), s. 56-65.

Özen, A. M. (2014). CoCrMo alaşımının yüzeyine SHS yöntemiyle gözenekli NiTi kaplanabilirliğinin araştırılması/Investigation of porous NiTi coatibility on the surface of Co-Cr-Mo alloy via SHS method.

Shu, D., Li, Z., Zhang, K., Yao, C., Li, D., and Dai, Z. (2017). Ni-based coating reinforced with high volume fraction WC synthesized in situ, by laser coating. *Materials Letters*, s. 178-181.

Soy, U. (2009). SiC/B4C takviyeli metal matriks kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. s. 228-234, Sakarya.

Tian, Y., Lu, C., Shen, Y., and Feng, X. (2019). Microstructure and corrosion properties of CrMnFeCoNi high entropy alloy coating on Q235 substrate by mechanical alloying method. *Surfaces and Interfaces*, s. 135-140.

Verdian, M. M., Reaissi, K., and Salehi, M. (2010). Electrochemical impedance spectroscopy of HVOF-sprayed NiTi intermetallic. *Journal of Alloys and Compounds*, 507(1), 42-46.

Yılmaz, B. (2014). Östenik paslanmaz çeliğin kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlenmesi yöntemiyle Ni-Al-Cr metallerarası bileşiğin kaplanması.

Yüksek, E. (2008). Ark sprej teknolojisi ile şekilli parça üretimi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

Zhang, Y. Q., Jiang, S. Y., Zhu, X. M., Zhao, Y. N., Liang, Y. L., and Dong, S. U. N. (2017). Influence of Fe addition on phase transformation behavior of NiTi shape memory alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(7), s. 1580-1587.

Zhu, S., Yang, X. J., Hu, F., Deng, S. H., and Cui, Z. D. (2004). Processing of porous TiNi shape memory alloy from elemental powders by Ar-sintering. *Materials Letters*, 58(19), 2369-2373.