

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FE-CO MATRİSLİ KOMPOZİT KAPLAMASINA TA
ELEMENTİ İLAVESİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Ali TUNÇ

Yüksek Lisans Tezi

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Seramik Bilim Dalı

Ekim 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

FE-CO MATRİSLİ KOMPOZİT KAPLAMASINA TA ELEMENTİ İLAVESİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Tez Yazarı

Ali TUNÇ

Danışman

Doç. Dr. Ayhan ORHAN

Ekim 2023

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Fe-Co Matrisli Kompozit Kaplamasına Ta Elementi İlavesinin Yüzey Özelliklerine Etkisi
Yazarı:	Ali TUNÇ
İlk Teslim Tarihi:	13.07.2023
Savunma Tarihi:	13.10.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Ayhan ORHAN Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Soner BUYTOZ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan BALLIKAYA İnönü Üniversitesi Malatya OSB MYO	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Fe-Co Matrisli Kompozit Kaplamasına Ta Elementi İlavesinin Yüzey Özelliklerine Etkisi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

13.10.2023

Ali TUNÇ



ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, vakit ayırıp sorularımı cevaplayarak yol gösteren ve bilimsel bakış açımı genişleten danışman hocam Doç. Dr. Ayhan ORHAN' a fikir ve düşünceleri için teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Alper ANLAROĞLU, Büşra TUNÇ ve Doç. Dr. Soner BUYTOZ hocama teşekkürü borç bilirim.

Ali TUNÇ
ELAZIĞ, 2023



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİKLER.....	2
2.1. Çeliklerin Karbon Miktarına Göre Sınıflandırılması	2
2.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler	2
2.1.2. Orta Karbonlu Çelikler	2
2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler	3
2.2. Çeliklerin Alaşım Elementi Oranına Göre Sınıflandırılması	3
2.2.1. Alaşimsız Çelikler	3
2.2.2. Alaşımlı Çelikler	3
2.2.3. Mikro Alaşımlı Çelikler	3
2.3. Hardox Çelikler	4
2.3.1. Hardox 400 Çeliği	4
2.3.2. Hardox 450 Çeliği	4
2.3.3. Hardox 500 Çeliği	5
2.3.4. Hardox 550 Çeliği	5
2.3.5. Hardox 600 Çeliği	5
2.3.6. Hardox HiTuf Çeliği	5
2.4. Paslanmaz Çelikler	5
2.4.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	5
2.4.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	6
2.4.1.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	7
2.4.1.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler	9
2.4.1.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler	9
2.4.1.5. Çökelme İle Sertleşen Paslanmaz Çelikler	10
2.5. Çeliklerde Kullanılan Çeşitli Kaynak Yöntemleri	11
2.5.1. TIG (Tungsten Asal Gaz) Yöntemi	11
2.5.2. MIG (Metal İnert Gaz) Kaynak Yöntemi	13
2.5.3. SAW (Tozaltı Ark Kaynağı) Yöntemi	14
2.6. Yüzey Kaplama Teknolojisi	15
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	16
4. MATERYAL VE METOT	25
4.1. Çalışmanın Amacı	25
4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	25
4.3. Yüzey Kaplama İşleminin Önce Deney Numunelerinin Hazırlanması	26
4.4. Yüzey Kaplama İşlemi	28

4.5. Metalografik İnceleme İşlemleri.....	29
4.6. Mikrosertlik Ölçümleri	31
4.7. Çentik Darbe Testi.....	32
5. BULGULAR.....	33
5.1. Mekanik Testlerin İncelenmesi.....	33
5.1.1. Charpy Darbe Testi Bulguları	33
5.1.2. Mikrosertlik Bulguları.....	35
5.2. Mikroyapı Sonuçlarının İncelenmesi.....	35
5.2.1. Optik Muayene Bulguları.....	35
5.2.2. SEM Analizi Bulguları.....	41
5.2.3. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi Bulguları	44
6. SONUÇLAR.....	45
ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Fe-Co Matrisli Kompozit Kaplamasına Ta Elementi İlavesinin Yüzey Özelliklerine Etkisi

Ali TUNÇ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri
Ekim 2023, Sayfa: xi + 50

Amaç: Hardox 500 çelik yüzeyine TIG yöntemiyle Fe-Co (demir-kobalt) esaslı Ta (Tantalyum) takviyeli alaşımlı kompozit kaplama tabakası üretimi yapılarak mekanik özelliklerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Yapılan çalışmada 20x1000x10 mm³ boyutlarında Hardox 500 çelik malzeme temin edildi. 6 mm genişlik ve 1,5 mm derinliğinde kanallar açıldı. TIG yöntemi kullanılarak 150 A akımda yüzey kaplama işlemleri yapıldıktan sonra, Optik Mikroskop (OM), Taramalı Elektron Mikroskobu ve X-Işını Kırınımı (XRD) analizleri tamamlandı. Kaplama numunelerinin mekanik özelliklerini incelemek için Charpy Çentik Darbe ve Mikrosertlik testleri yapıldı.

Bulgular: Yüzey kaplama işlemlerinden sonra yapılan analizlerde yüzey morfolojilerinde tane büyümeleri ve kaynak sonrası tipik dentritik oluşumlar tespit edildi. Hardox 500 çeliğinin sertlik değerinin yüzey kaplama işlemleri sonucu düştüğü belirlendi. Charpy çentik testi sonuçlarında ise tüm numunelerin kırıldığı tespit edildi.

Sonuç: Hardox 500 çeliğinin ilave edilen alaşımlarla kaynak edilebilirliğinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca önemli ölçüde değişen mekanik özelliklerin kapsamlı araştırmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hardox 500 Çelik, Yüzey Kaplama, Sertlik, Yüzey Morfolojisi

ABSTRACT

Effect of Addition of Ta Element to Fe-Co Matrix Composite Coating on Surface Properties

Ali TUNÇ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Metallurgical and Materials Engineering Technologies

October 2023, Pages: xi + 50

Objective: The aim of this study was to produce a composite coating layer of Fe-Co (iron-cobalt) based Ta (Tantalum) reinforcement on the surface of Hardox 500 steel using the TIG (Tungsten Inert Gas) method, and to investigate its mechanical properties.

Method: In this study, a Hardox 500 steel material with dimensions of 20x1000x10 mm³ was obtained. Channels with dimensions of 6 mm width and 1.5 mm depth were created. Surface coating processes were carried out using the TIG method with a current of 150 A. After the coating process, Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy, and X-Ray Diffraction (XRD) analyses were conducted. Charpy V-notch Impact and Microhardness tests were performed to examine the mechanical properties of the coated samples.

Results: Analyses conducted after the surface coating processes revealed grain growth and typical dendritic formations in the surface morphology. It was determined that the hardness value of Hardox 500 steel decreased as a result of the coating process. In the Charpy V-notch test results, it was observed that all samples fractured.

Conclusion: It has been determined that the welding of Hardox 500 steel with the added alloys is possible. Furthermore, the significant changes in mechanical properties are believed to guide further comprehensive research.

Keywords: Hardox 500 Steel, Surface Coating, Hardness, Surface Morphology

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı..... 7
Şekil 2.2	Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı 8
Şekil 2.3	Östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı 9
Şekil 2.4	Dubleks paslanmaz çeliklerin mikroyapısı 10
Şekil 2.5	Gaz tungsten ark (TIG) yönteminin uygulanışı ve mikroyapı numunesi üretimi 12
Şekil 2.6.	Metal inert gaz (MIG) kaynağı şematik gösterimi 13
Şekil 2.7.	Tozaltı kaynak yöntemi şematik gösterimi 14
Şekil 4.1.	Yüzey kaplama numuneleri. 26
Şekil 4.2	Kullanılan tozların SEM ve EDS verileri. 27
Şekil 4.3	Yüzey kaplama numuneleri 28
Şekil 4.4	Yüzey kaplama işleminin şematik resmi. 29
Şekil 4.5	Metalografik İncelemede Kullanılan Optik Mikroskop 30
Şekil 4.6	Metalografik İncelemede Kullanılan SEM Analiz Cihazı 30
Şekil 4.7	Mikrosertlik Ölçüm Cihazı 31
Şekil 4.8	Charpy Çentik Testi Numuneleri 32
Şekil 4.9	Charpy Çentik Deney Sonunda Kırılan Numune Örneği..... 32
Şekil 5.1	Charpy V-Notch Test Sonrası Kırılan Yüzeylerin SEM ve EDX Analizleri 34
Şekil 5.2	K0 no' lu Numunenin Optik Muayenesi..... 36
Şekil 5.3	K1 no' lu Numunenin Optik Muayenesi..... 37
Şekil 5.4	K2 no' lu Numunenin Optik Muayenesi..... 38
Şekil 5.5	K3 no' lu Numunenin Optik Muayenesi..... 39
Şekil 5.6	K4 no' lu Numunenin Optik Muayenesi..... 40
Şekil 5.7	K0 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi 41
Şekil 5.8	K1 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi 42
Şekil 5.9	K2 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi 42
Şekil 5.10	K3 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi 43
Şekil 5.11	K3 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi 43
Şekil 5.12	XRD Analizi Grafiği..... 44

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Altlık malzemenin ağırlıkça kimyasal bileşimi (wt%).....	26
Tablo 4.2. Tozların karıştırılma oranları.	28
Tablo 4.3. Yüzey kaplama işleminin parametreleri.	29
Tablo 4.4. Mikrosertlik Ölçüm Şartları.....	31
Tablo 5.1. Charpy V-Notch Darbe Deneyi Sonuçları	33
Tablo 5.2. Vickers Mikrosertlik Sonuçları.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	: Karbon
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
N	: Azot
Ti	: Titanyum
Nb	: Niyobyum
TaC	: Tantalum Karbür
WC	: Tungsten Karbür

Kısaltmalar

OM	: Optik Mikroskop
XRD	: X-Işını Kırınımı
HBW	: Brinell Sertlik Değeri
HV	: Vickers Sertlik Değeri
HAZ	: Isıdan Etkilenen Bölge
FZ	: Füzyon Bölgesi
DSS	: Dupleks Paslanmaz Çelik
TIG	: Tungsten Asal Gaz
MIG	: Metal İnert Gaz
SAW	: Tozaltı Ark Kaynağı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında, malzemelerin doğru seçimi önemlidir. Özellikle, inşaat ve otomotiv endüstrilerinde, çelikler birincil yapı malzemeleridir. Paslanmaz çelikler, diğer çelik türlerine göre daha iyi mekanik özelliklere ve korozyon direncine sahiptir. Bu çelikler, minimum %10,5 krom içeren ve aynı zamanda nikel, molibden, titanyum ve manganez gibi diğer elementleri de içeren bir alaşımdır [1].

Krom, paslanmaz çeliğin oksidasyona karşı direncini artıran ve böylece paslanmasını önleyen varlığıyla çelikten ayrılır. Ayrıca, nitrojenin varlığı da korozyona karşı direnci artırır ve mekanik mukavemeti geliştirir. Bu özellikleri sayesinde, paslanmaz çelik, modern yapı ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hardox çelikler, endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere, aşınma ve korozyon direncinin iyi olması nedeniyle birçok alanda kullanışlıdır. Özellikle diğer çelik türlerine göre daha iyi korozyon direnci sergiler. Bunun yanı sıra, kaynak edilebilme özellikleri de diğer çelik türlerine göre daha iyidir. Bu nedenle paslanmaz çeliklerden ziyade Hardox 500 çeliğinin kullanılması uygun görülmüştür.

Literatür taraması yapıldığında çalışma kapsamında kullanılan TIG yöntemiyle yüzey kaplama uygulamasıyla ilgili bir çok bulgu ve veriye rastlanılmıştır. Lakin kullanılan altlık malzeme ile yapılan yüzey kaplama işlemleri ile ilgili sonuçlar minimum düzeydedir. Literatür araştırması yapıldığında nadir elementlerin kompozit alaşım takviye bazlı olarak farklı kaplama yöntemleri üzerinde durulmasına karşın, TIG (Tungsten Asal Gaz) kaynak kaplama yöntemi üzerinde durulmadığı açıkça görülmektedir. TIG proses parametrelerinin ve kaplama malzemesi sistemlerinin kaplama özellikleri üzerindeki etkisini değerlendiren TIG kaplama çalışmasına önemli araştırmalar yapılmıştır.

Yüzey modifikasyonu ile ilgili son literatürler, TIG prosesi ile yüzey kaplamanın mükemmel tribolojik özellikler gösterdiğini göstermektedir. TIG destekli kaplama yöntemi, farklı metalik materyallerin yüzeylerini kaplamak ve alaşım oluşturmak için sıkça kullanılan bir prosedürdür. Bu işlem, kaplamanın ve temel malzemenin arasında sağlam bir metalurjik bağ oluşturması, kolay uygulanabilir olması ve lazer destekli veya elektron demeti destekli kaplamalara göre daha ekonomik olması sebebiyle geniş çapta tercih edilmektedir.

2. ÇELİKLER

Çelikler demir ve karbon birleşiminden meydana gelen malzemelerdir. Farklı yapıları sahip birçok çelik türü bulunmaktadır. Demir-karbon bileşimi dışında bazı alaşım elementlerini de barındırabilir. Genellikle, çelikler, düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olmak üzere 3 ana kategoride sınıflandırılır ve her bir kategorinin kendi öz alt grupları mevcuttur. Benzer bir şekilde, içerdikleri diğer alaşım elementlerinin miktarına dayalı olarak belirli sınıflandırmalar da mevcuttur.

2.1. Çeliklerin Karbon Miktarına Göre Sınıflandırılması

2.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Düşük karbonlu çelikler, genellikle %0.05 ila %0.30 arasında karbon içeriğine sahiptir. Bu tip çeliklerin düşük karbon oranı, onları yumuşak, dövülebilir ve şekil verilebilir kılar. Ayrıca, kaynak işlemlerine de elverişlidirler. Endüstriyel sektörlerde yaygın olarak tercih edilirler, özellikle yapısal uygulamalarda, otomotiv parçalarında, boru hatlarında ve elektrikli aletlerde sıkça kullanılırlar. Ekonomik olmaları, işlenebilirlikleri ve çeşitli işleme yöntemlerine uygun olmaları, birçok endüstriyel işlem için ideal bir seçenek sunar [1].

2.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler, çoğunlukla %0.30 ila %0.60 arasında karbon içeriğine sahip olan çelik türleridir. Bu karbon seviyesi, çeliklerin mekanik özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynar. Orta karbonlu çelikler, düşük karbonlu çeliklere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir; bu da daha dayanıklı ve yoğun yükler altında çalışan uygulamalarda tercih edilmelerini sağlar. Ancak, işlenebilirlikleri düşük karbonlu çeliklere göre daha zordur, bu nedenle dikkatli işleme prosedürleri gerektirirler. Bu tür çelikler, genellikle yapısal uygulamalarda, makine parçalarının üretiminde ve dişli imalatında yaygın olarak kullanılırlar. Orta karbonlu çeliklerin orta düzeyde mukavemet ve sertlik sunmaları, mekanik yükler altında dayanıklılık sağlamaları açısından önemlidir.

Sonuç olarak, orta karbonlu çelikler, mükemmel dengeye sahip çeliklerdir; yüksek mukavemetleri, dayanıklılıkları ve işlenebilirlikleri ile birçok endüstriyel uygulama için uygundur. Ancak, doğru işleme yöntemlerinin ve ısı işlemlerin kullanılması önemlidir, böylece çelikler en iyi performanslarını sergilerler [1].

2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek karbonlu çelikler, genellikle %0.60 ve üstü karbon içeriğine sahip olan çeliklerdir. Bu yüksek karbon miktarı, çeliklerin sertlik, dayanıklılık ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerini artırır. Ancak, bu yüksek karbon içeriği çelikleri kırılgan hale getirir; bu nedenle dikkatli işleme ve kullanım gerektirir. Yüksek karbonlu çelikler, kesici uygulamalar ve aşınmaya dayanıklı parçaların yapımında sıkça tercih edilir. Yüksek karbonlu çeliklerin işlenmesi, özel dikkat ve uygun ekipman gerektirir. Bu çelikler sertleştirilebilir, ancak aşırı sertleştirme kırılganlığa yol açabilir; bu nedenle doğru sertleştirme ve temperleme işlemleri önemlidir. Yüksek karbonlu çelikler, kesici aletler, bıçaklar, yaylar ve rulmanlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, endüstriyel bıçaklar, matkap uçları ve diğer kesici araçlar için tercih edilen bir malzemedir [1].

2.2. Çeliklerin Alaşım Elementi Oranına Göre Sınıflandırılması

Çeliklerin gruplandırılmasında bir diğer önemli kriter alaşım elementi miktarıdır. Alaşım elementine göre çelikler üç ana gruba ayrılır: alaşımsız, düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı çeliklerdir. Düşük alaşımlı çelik grubunda son dönemde teknolojinin gelişmesiyle mikro alaşımlı çelikler de kategori dahilinde kullanılmaktadır.

2.2.1. Alaşımsız Çelikler

Karbon unsurunun yoğunluğuna bağlı olarak, düşük karbonlu (%0,1 – 0,25 karbon), orta karbonlu (%0,25 – 0,6 karbon), yüksek karbonlu (%0,6 – 0,8 karbon) ve karbon takım çelikleri (%0,8 – 1,1 karbon) olmak üzere dört kategoriye ayrılabiliriz. Çeliklerin tüm özelliklerini barındırdıkları C elementi miktarıyla belirlenir. Karbon miktarının çoğalması, çeliklerin çekme dayanımı, akma gerilmesi ve sertlik değerlerinin yükselmesine olanak tanır. Diğer bir perspektiften, yükselen karbon içeriği darbe dayanımını ve elastikiyet özelliklerini (% uzama ve % kesit daralması) düşürür. Araştırmalar, karbon miktarının artmasının su alma kapasitesini artırırken kaynak kabiliyetini azalttığını ve çeliklerin plastik şekil alma kapasitesini düşürdüğünü göstermiştir [2].

2.2.2. Alaşımlı Çelikler

Alaşım elementlerinin miktarının alaşımsız çeliklere göre daha yüksek olduğu bir çelik türü olarak ifade edebiliriz. Alaşım elementlerinin sayısı ve çeşidine bağlı olarak, çeliklerin mekanik özellikleri, dayanıklılık, mukavemet, sertlik seviyeleri, sertleşebilme yetenekleri, kaynak özellikleri, korozyon direnci, ısıl işleme elverişlilik ve şekil alma yetenekleri gibi bir dizi özellik değişkenlik gösterir. Alaşımlı çeliklerde, yapıda karbon çeliklerine kıyasla daha fazla alaşım

elementi bulunmaktadır. Alaşımlı elikler, az alaşımlı, yüksek alaşımlı ve mikro alaşımlı olmak üzere üç gruba ayrılır [2]. Alaşımlı eliklerde çalışmada kullanılan mikroalaşımlı çeliklere ve bu grupta yer alan Hardox elikleri hakkında bilgi verilecektir.

2.2.3. Mikro Alaşımlı elikler

Mikro alaşımlı çelikler, son dönemdeki teknolojik gelişmelerin bir ürünü olarak ortaya ıkmyş olup yüksek dayanıma sahip olmalarına rağmen düşük alaşımlı çeliklerdir. Genel olarak, yassı mamul imalatında kullanılan ve düşük miktarda alaşım elementi içeren çeliklerdir [3]. Mikro alaşımlı çelikler grubunda yüksek aşınma direncine sahip Hardox elikler bulunmaktadır.

2.3. Hardox elikler

Hardox elikleri kaynaklanabilme yetkinliğinin iyi olması, aşınma direncinin yüksek olmasından kaynaklı, aşınmanın fazla olduğu alanlarda kullanılan parçaların ömrünü uzatmıştır. Yüksek mukavemet, sertlik ve tokluğa sahip olan çelikler büyük önem arz etmektedir. Yüksek sertliğe ve tokluğa sahip olan bu elik grubu çatlak oluşumuna gösterdiği dirençten dolayı kolayca şekillendirilme ve bükülme özelliği taşırlar. Son yıllarda özellikle yer altı maden ocakları ve imento üretimi yapılan sanayi uygulamalarında, aşındırıcı özelliklerinin iyi olmasından dolayı kullanılmaktadır.

Hardox 400, Hardox 450, Hardox 500, Hardox 550, Hardox 600 ve Hardox HiTuf olmak üzere çeşitli mekanik özelliklere sahip Hardox alt elik grupları, kullanım alanlarına göre üretilmektedir [4].

2.3.1. Hardox 400 eliği

Bu elik, 400 HB sertlik seviyesine sahip olup, yüksek aşınma direnci göstermeyen yapıların üretiminde kullanılabilir. Yüksek tokluk değeri, kolay bükülme ve kaynaklanabilme özellikleri sayesinde, orta düzeyde aşınmaya maruz kalan yapılar için uygundur [5].

2.3.2. Hardox 450 eliği

Hardox 450 mikro alaşımlı elik, 450 HBW sertlik seviyesine sahip olan ve çeşitli amaçlar için kullanılan bir dış yapı elik sınıfına aittir. Bu elik sınıfının karakteristik özelliği, işleme kolaylığı, dayanıklılık ve yüksek sertliğe sahip olmasıdır [5].

2.3.3. Hardox 500 Çeliği

Hardox 500 çeliği 500 HV sertliğe sahip bir çeliktir. Yüksek aşınma dayanımı, kaynaklanabilirlik ve bükülmeye karşı dayanımı yüksek çelik çeşididir [5].

2.3.4. Hardox 550 Çeliği

Nominal olarak 550 HBW sertlik seviyesine ve Hardox500'e yakın bir tokluğa sahiptir. Daha üstün aşınma direnci sunar, fakat çatlak bütünlüğünden ödün vermez. Hardox550, daha düşük sertlikteki çelik sınıflarının veya mangan çeliklerin yerini aldığı anda, aşınma ömründe gelişme sağlar. Genellikle kırıcılar, şutlar ve diğer işleme ekipmanları için astar plakaları veya geri dönüşümde kullanılan çekiçler gibi tipik uygulamaları içerir [5].

2.3.5. Hardox 600 Çeliği

HARDOX 600 aşınma plakası, saf ve son derece sağlam bir dış yapı malzemesidir; aşırı yüksek dayanıklılığa sahiptir [5].

2.3.6. Hardox HiTuf Çeliği

-40°C'de 40 J garantili çarpma dayanımı sunan, aşınmaya karşı dayanıklı bir çelik plakadır. Hardox HiTuf çeliği, 350 HBW nominal sertlik seviyesiyle, sıra dışı tokluk ve yapısal özellikler gerektiren kalın plaka uygulamaları için mükemmel bir tercihtir. Genellikle büyük maden kovaları, kürekler, yıkım ekipmanları ve ripperler için kalın kesme kenarları, ayrıca aşınma çubukları ve mahfazaların altında yatan yapıyı koruyan uygulamalarda yapısal aşınma parçası olarak kullanılır. Ayrıca, çoğu durumda döküm veya döküm parçalarının yerine geçebilir [5].

2.4. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin tercih edilme nedeni, mükemmel korozyon dirençleri ile ilgilidir. Bu özellik, yüksek oranda krom içermelerinden kaynaklanmaktadır. Demirin (Fe) sadece yaklaşık % 5 oranında krom katkısı, korozyona karşı bir miktar direnç sağlayabilirken, paslanmaz çelik üretmek için en az % 12 krom içermesi gerekmektedir. Krom (Cr), klasik teorilere göre, demir yüzeyini pasif hale getiren bir oksit filmi oluşturarak alt katmanlarını korozyondan korur. Bu koruyucu oksit filmi oluşturmak için paslanmaz çelik yüzeyinin oksitleyici maddelerle temas etmesi gerekmektedir.

Metalurjik keşifler açısından, 20. yüzyılın ilk yılları oldukça verimliydi. Bu dönemde, demir-karbon etkileşimi sistemli bir şekilde incelendi ve elde edilen sonuçlar sektördeki prensiplere göre uygulanmaya başlandı. General Electric Company, filament üretimi için 1911 yılında % 14-16

krom alaşımı kullanırken, Harry Brearley aynı yıllarda % 12.8 krom içeren yüksek korozyon direncine sahip ürünler üreten Fe-Cr alaşımları geliştirdi. Brearley, yaptığı bir deney sonucunda krom miktarı %12'nin üzerine çıktığında korozyona dirençli malzemelerin elde edildiğini keşfetti. Harry Brearley, literatürde paslanmaz çeliği geliştiren kişi olarak bilinir ve bazı paslanmaz çeliklerin gelişimine katkıda bulunmuştur. 1912 yılında Eduard Maurer ve Benno Strauss, östenitik alaşımların asitlere karşı direncini keşfettiler. Maurer'in çalışması, krom-karbür şeklinde gerçekleşti ve sünek bir yapıdan daha etkili olduğu tespit edildi. 1920'lerden itibaren, östenitik paslanmaz çeliklerin üretimi yöntemleri geliştirildi ve paslanmaz çeliğe olan talebin artmasıyla kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlandı. II. Dünya Savaşı'nın etkisiyle 1950'lerde, alaşım elementi olarak Nikel (Ni) tedarikinde zorluklar yaşanınca, AISI 200 serisi paslanmaz çelikler geliştirildi. Benzer şekilde, farklı gereksinimler nedeniyle düşük Karbon (C) ve Azot (N) içerikli dubleks ferritik ve süper östenitik paslanmaz çelikler de üretildi [6].

2.4.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çelikler, üstün korozyon direnci gösteren ve bileşimlerinde %12'den daha yüksek oranda krom bulunduran çelik türleridir. Geleneksel teoriye göre, krom yüzeyde ince bir oksit tabakası oluşturarak çeliği korozyondan korur. Diğer elementler ise paslanmaz çeliğin tipik özelliklerini geliştirmek için ilave edilirler. Bu elementler arasında nikel, molibden, bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum bulunur. Paslanmaz çelikler, kristal yapıya ve sertleşme mekanizmalarına göre çeşitlilik gösterirler. Bunlar;

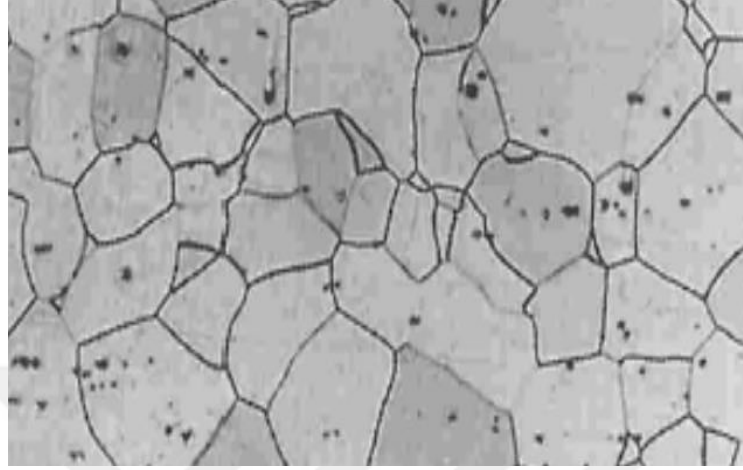
1. Ferritik paslanmaz çelikler,
2. Martenzitik paslanmaz çelikler,
3. Östenitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
5. Çökelme ile sertleşen paslanmaz çelikler

olmak üzere 5 gruba ayrılırlar.

2.4.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha düşük maliyetli olması, iyi oksidasyon ve korozyon direnci, yüksek termal iletkenlik ve düşük doğrusal genleşme katsayısı gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak, ferritik paslanmaz çeliklerin bazı dezavantajları vardır. Örneğin, östenitik paslanmaz çelikler kadar şekillendirilebilir değiller ve yüzey kalitesi bozulabilir. Ayrıca, ferritik paslanmaz çelikler, kaynak sonrası taneler arası korozyon, yüksek sıcaklıkta kırılgenlik ve kaynak kusurları gibi problemlere neden olabilirler, çünkü yüksek miktarda

C ve N içerirler. Bu kusurlar ayrıca, kaynak sonrası oluşan ısıdan etkilenen bölgenin (HAZ) ve füzyon bölgesinin (FZ) kaba taneleri gibi bazı kaynak kusurlarına da yol açabilirler. Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [7].

Ferritik paslanmaz çeliklerde mikro alaşımlama ve yüksek saflaştırma uygulanarak, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi özellikler elde edilebilir. Bunun yanı sıra; ultra saf ferritik paslanmaz çelikler de geliştirilmiştir ve gelişmiş mekanik ve korozyon direnci özelliklerine sahiptirler. Ancak, C ve N içeriği azaldıkça, etkili çekirdeklenme parçacıkları da azalacaktır ve bu da tane büyümesine yol açacaktır. Bu çelik grubu yüksek sıcaklıkta ara faz dönüşümü yaşamadığı için, tane büyümesi daha belirgin olabilir.

Ferritik paslanmaz çeliklere stabilize edici elementlerin eklenmesi de yaygın bir uygulamadır. Titanyum (Ti) ve Niyobyum (Nb) gibi elementlerin C ve N için afinitesi, Cr’ den daha güçlüdür ve karbür ve nitrür oluşumuna yol açabilirler. Nb ve Ti’nin karbonitritleri, eş eksenli kristal tane bölgesinin oranını artırarak ve katılaşma yapısının tane boyutunu azaltacak önemli etkenlere sahiptir.

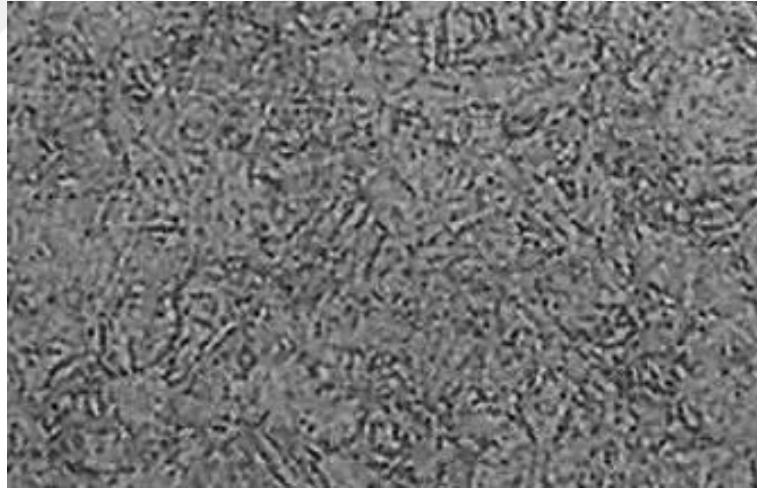
Ferritik paslanmaz çeliklerin düşük doğrusal genleşme katsayısı ve yüksek ısı iletkenlik özellikleri, mühendislik uygulamalarında kullanımlarını kolaylaştırmaktadır. Bu çeliklerin kaynak sonrası ek yerleri sıcak ve soğuk çatlaklara karşı hassas olmamaları da avantajları arasında yer almaktadır. Ancak, östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla kaynaklanabilirlikleri daha düşüktür. HAZ ve FZ’deki tane büyümesi, bağlantıların plastisitesinin ve tokluğunun azalmasına yol açabilir. Gaz kaynağı, blendajlı metal ark kaynağı, gaz-tungsten ark kaynağı, gaz metal ark kaynağı, tungsten gibi farklı kaynak yöntemleri kullanılarak yapılan bağlantıların performansı arasında önemli farklar bulunmaktadır. Lazer kaynağı, diğer kaynak işlemlerine kıyasla birçok avantaj sağlar. Yüksek enerji yoğunluğu ile çalışan lazer, anahtar delik etkisiyle çalışarak ana

metale aktarılan ısı miktarını azaltır. Bu sayede dar bir kaynak bağlantısı oluşur ve gerilme ve deformasyon da minimum seviyede kalır [8].

2.4.1.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler (MSS), üstün mekanik özellikleri ve yeterli korozyon direnci seviyeleri nedeniyle birçok endüstriyel alanda tercih edilen malzemeler arasında yer alır. Bu çelikler, basınçlı döküm kalıpları, mikser bıçakları, buhar jeneratörleri, cerrahi aletler, açık deniz platformları ve basınçlı kapların üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Martenzitik Paslanmaz Çelikler, tipik olarak %12-17 Cr, %0-4 Ni ve %0,1-1,0 C (süpermartensitik kaliteler için %0,015'ten az C) ağırlıkça içerir. Çukurlaşmanın önlenmesi açısından, korozyon direnci ve işlenebilirlik gibi belirli özelliklerin geliştirilmesi için molibden (Mo), vanadyum (V), niyobyum (Nb), alüminyum (Al) ve bakır (Cu) gibi alaşım elementleri eklenir. Mo, çukurcuk korozyon direncini ve Cu işlenebilirliğini artırır. Daha yüksek azotlu kaliteler, daha yüksek mukavemete, tokluğa ve oyuk korozyon direncine sahip oldukları için daha popüler hale gelmektedir. Martenzitik sınıfın sertliği genellikle karbon içeriği ile belirlenirken, sertleşebilirlik diğer alaşım elementleri tarafından sağlanır.



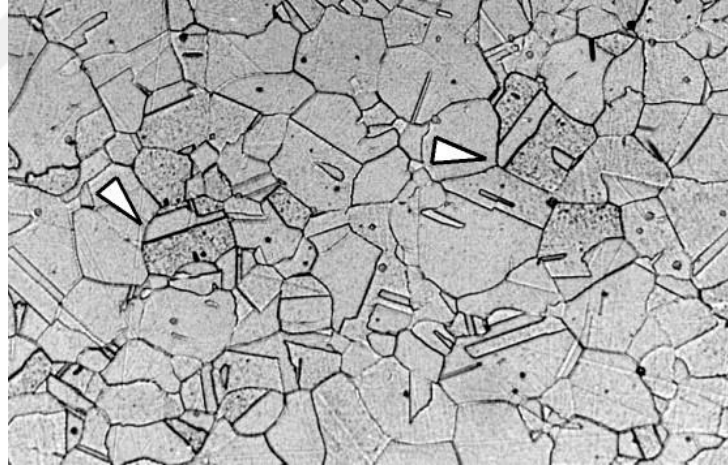
Şekil 2.2 Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [9].

Martenzitik paslanmaz çelikler, yüksek mekanik performans gerektiren birçok endüstriyel uygulamada kullanılan popüler malzemelerdir. Bu uygulamalar arasında sıcak işleme kalıpları ve aletleri, pompa çarkları, pervaneler, valf yuvaları, endüstriyel bıçaklar, burçlar, bilyalı rulmanlar ve yataklar yer almaktadır. Bu çeliklerin özellikleri ısı işlemlerinden güçlü bir şekilde etkilenir. Söndürülmüş mikro yapıdaki karbür miktarı, malzemenin sertliği, korozyon direnci ve aşınmaya karşı direnci üzerinde önemli bir rol oynar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı Şekil 2.2'de verilmiştir.

Yeni martenzitik paslanmaz çelikler, özel uygulamalar için özellikle tasarlanmıştır. Bu malzemeler, yüzey işlemleri kullanarak yüksek mekanik özellikler ve artırılmış korozyon direnci sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu amaçla, hem çökelmeyle sertleşen martenzitik paslanmaz çelikler hem de ağırlıkça %12 krom içeren martenzitik paslanmaz çelikler üretilmiştir [9].

2.4.1.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda dayanıklılık ve oksidasyon direnci gibi özellikleri nedeniyle nükleer enerji, petrokimya tesisleri ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahiptir [9]. Bu çelikler, paslanmaz çelik kategorisinde sıkça kullanılan bir malzeme türüdür ve mekanik özellikleri ve korozyon direnci açısından olağanüstü bir performans sergilerler [10]. Östenitik paslanmaz çeliklerin genel mikroyapısı Şekil 2.3’de verilmiştir. Ayrıca, benzer özelliklere sahip diğer çelik türleriyle karşılaştırıldığında maliyet, kullanılabilirlik ve işlenebilirlik açısından üstünlük sağlarlar. Korozyona dirençli olmalarına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklerin düşük sertlik ve zayıf aşınma direnci nedeniyle endüstriyel uygulamaları sınırlıdır [11]. Ancak, yüzey mühendisliği işlemleri ile sertlik ve aşınma direnci sorunu ortadan kaldırılabilir.

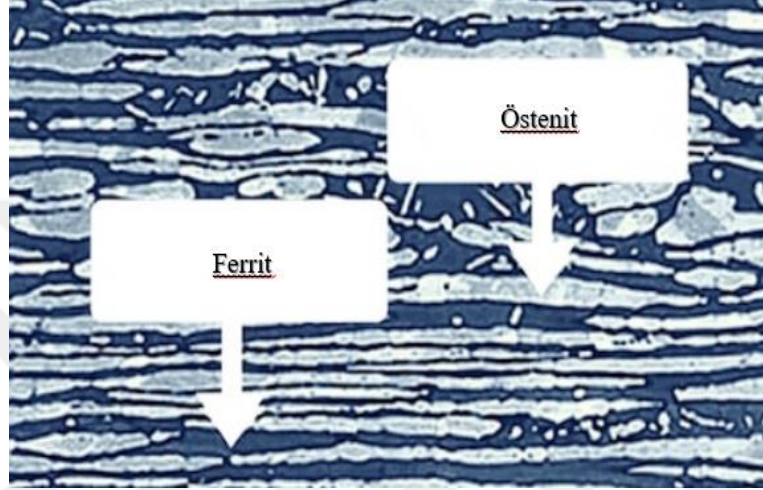


Şekil 2.3 Östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [12].

2.4.1.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler, östenit ve ferrit fazlarının eşit miktarda bulunduğu paslanmaz çeliklerdir. Dupleks paslanmaz çeliklerin mikroyapısı özetle Şekil 2.4’de verilmiştir. Bu malzemelerin yüksek korozyon direnci, güçlü ve tokluk özellikleri ile birlikte iyi kaynaklanabilirlikleri, önemli tasarruf sağlayacak ağırlık ve sermaye yatırımı yapabilirler. Dupleks paslanmaz çelikler, α -ferrit ve γ -Östenit fazlarının doğal avantajları ve dupleks yapıların mükemmel mekanik özelliklerinin birleşimiyle tanımlanır. Ancak, DSS'nin servis sıcaklığı aralığı

sınırlıdır (-40 °C ila 300 °C). Ferrit stabilizatörleri, Cr, Si, Mo, σ -fazının oluşmasına neden olabilir, sertliği ve tokluğu artırabilir ve uzamaya yol açabilir. Ara faz, heterojen çekirdeklenme için yüksek bir sınır enerjisine sahiptir ve σ -fazı δ/γ ara-faz sınırlarında kolayca çökeler. Dupleks paslanmaz çelikler, azotsuz alaşımlı östenitik çelik kalitelerinin iki katı akma mukavemetine sahiptir. Tavlanmış durumda sünekliğini ve tokluğunu korurken, nihai çekme mukavemeti yüksektir ve uzama %25'ten fazladır [13].



Şekil 2.4 Dupleks paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [14].

Dupleks paslanmaz çelik, C ve N gibi katı çözültü elementleri ile Cr, Mo ve Ni gibi ikameli katı çözültü elementleri içerir. Bu çelik türü, deniz ortamları, petrol rafinerileri, kağıt hamuru ve kağıt üretimi, kimyasal işleme ve deniz suyu kullanımı gibi uygulama alanlarında sıklıkla kullanılır. Dupleks paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklık duyarlılığı nedeniyle sigma faz oluşumuna yatkındır ve bu özellik 600 ila 900 °C arasındaki sıcaklıklarda yoğun maruziyete neden olur.

Dupleks paslanmaz çelikler, yüksek çekme mukavemeti, daha yüksek tokluk ve korozyona karşı mükemmel direnç gibi arzu edilen özellikler sunarlar. Ancak, işlenebilirlikleri, düşük ısı iletkenliği, kenar yıgılmış (BUE) oluşumu, metalik olmayan ilaveler ve yüksek iş sertleştirme oranı nedeniyle zayıftır.

Bu çelik türü, molibden veya krom içeriği ve daha düşük kükürt içeriği nedeniyle iyi bir korozyon direncine sahiptir. Daha düşük kükürt içeriği, yüksek çalışma sıcaklıklarında işlenebilirliği iyileştirirken, krom içeriğinin artırılması östenit fazındaki azalmaya neden olur ve ferrit yapısını destekler. Molibden içeriğinin artması sertleşebilirliği artırırken intermetalik fazlar oluşturur.

Dubleks paslanmaz çelik, daha az miktarda nikel içeriği ve eşit miktarda ferrit ve östenit fazları nedeniyle popüler paslanmaz çelik kalitelerinden daha ucuzdur. Bu malzeme, özellikle maliyet faktörü göz önünde bulundurulduğunda tercih edilen bir seçenek olabilir [14].

2.4.1.5. Çökelme İle Sertleşen Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik teknolojisi, çeşitli endüstriyel sektörlerde aşınma ve çevresel saldırılara karşı yüksek direnç sağlamak için önemli bir role sahiptir. Çökelme ile sertleştirilmiş paslanmaz çelikler, yüksek mukavemet ve tokluk özellikleri ile birlikte korozyon direncini koruyarak geliştirilmiştir. Özellikle 17-4 PH paslanmaz çeliği, yüksek mukavemeti ve mükemmel korozyon direnci sayesinde 1 paslanmaz çeliklerin "flagship" çeliği olarak kabul edilir. Ancak, bu tür çeliklerin düşük sertlikleri ve zayıf tribolojik özellikleri nedeniyle, türbin kanatları, aletler, yataklar ve ortopedik cerrahi gibi bazı uygulamalarda yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve hem korozyona hem de aşınmaya karşı iyi direnç (yani korozyon-aşınma) gibi zorlu tasarım gereksinimlerini karşılamakta zorlanmaktadır. Bu nedenle, daha özel uygulamalarda, yeni malzemeler ve işleme teknikleri kullanılarak daha yüksek performanslı paslanmaz çelikler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Endüstriyel sektörlerde kullanılan bazı 17-4 PH martenzitik paslanmaz çelik bileşenler, aşınma veya korozyon-aşınma kaynaklı hasarlar nedeniyle başarısız olabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerin bozunması, işleme koşullarında ciddi bir endişe kaynağıdır ve tribokorozyon sistemlerinin etkisi altında bileşenlerin yüzey ve alt yapılarının değiştirilmesi gerekebilir. Ancak, bu değişiklikler yapılırken bileşenlerin korozyon önleyici özellikleri korunmalıdır. Yani, paslanmaz çelik bileşenlerin yapısını ve bileşimini değiştirmek, yapışkan aşınma problemini çözmek için gereklidir, ancak yüzeyin korozyon önleyici özelliklerini korumak da büyük önem taşımaktadır [15].

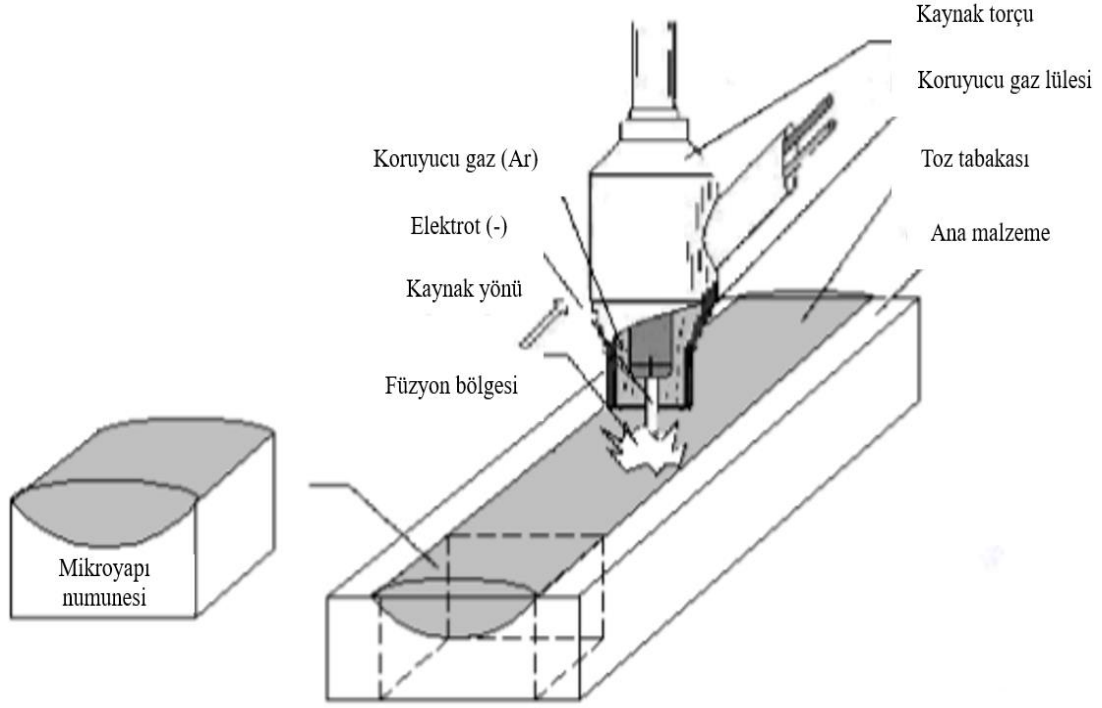
2.5. Çeliklerde Kullanılan Çeşitli Kaynak Yöntemleri

Çelikler, farklı kaynak kabiliyetlerine sahip olabilir. Kaynak işlemi sırasında, kaynak yırtılmalarının önüne geçmek için ek malzeme kullanımı gerekebilir. Çeliklere özel yöntemler haricinde, diğer çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri de kullanılabilir. Kaynak yöntemi, metalin türü, kalınlığı ve kullanım amacı gibi faktörlere göre belirlenir.

2.5.1. TIG (Tungsten Asal Gaz) Yöntemi

TIG kaynağı genellikle paslanmaz ve karbon çelik birleştirmelerinde kullanılır. Yoğun ark, sıçramaları engeller ve dar ısı etkisi bölgesi sayesinde ısının iş parçasına hassas bir şekilde aktarılmasını sağlar. Bu kaynak yöntemi, ince plakalar ve farklı metaller arasındaki birleştirmeler için idealdir. Kaynak sırasında ergime havuzunu korumak için inert gaz kullanılır. Argon, helyum

veya karışık argon-helyum gazları gibi kimyasal bileşim etkisi ihmal edilebilir gazlar yaygın olarak kullanılır [16].



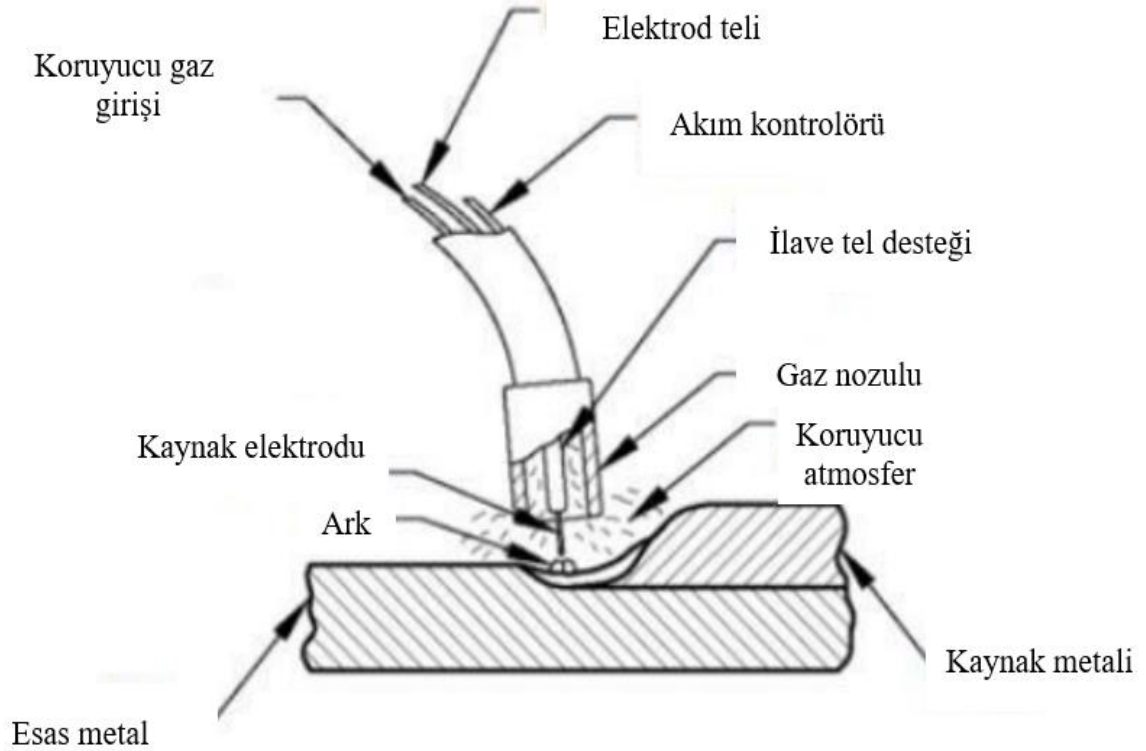
Şekil 2.5 Gaz tungsten ark (TIG) yönteminin uygulaması ve mikroyapı numunesi üretimi [16].

Ark kaynağının bir türü olan tozaltı ark kaynağı, akı arkını tamamen gizleyerek parlama, ısıldama, duman ve gazların doğrudan maruz kalmalarını engeller; böylece kaynak işlemi sırasında kaynak arkı veya sıvı kaynak havuzunu görmek imkânsız hale gelir. Bu kaynak işlemi çevreye dosttur ve kalınlığı 3 mm ila 100 mm arasında değişen plakaların kaynağına olanak sağlar. Bu yöntem, basınçlı kapların imalatında, gemi inşasında, boru kaynaklarında ve yapısal uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Daha kalın levhaların kaynağı için gerekli olan üst ve alt takviyeler, açısız bozulmayı azaltmak ve iyi bir kaynak kalitesi elde etmek amacıyla kullanılması gereken önemli bir yöntemdir. Sonuç olarak, endüstri standardı uygulamalar arasında kalın levhaların birleştirilmesi için çok sayıda pasolu kaynak kullanımı yer almaktadır. Bu yöntemde, kaynak parametreleri tel çapı, ek telin açısı, kaynak hızı, kutuplama, ark gerilimi ve akımdan oluşmaktadır. Kaynak aşamasının şematik gösterimi Şekil 2.5’ de verilmiştir.

S.Buytoz ve arkadaşları TIG yöntemiyle 100x20x10 mm boyutlarındaki AISI 4140 çeliğine farklı toz yedirme değerlerinde SiC/C alaşım tozlarını yüzeye geçirmiştir. Kaynak işlemi sonrası sonrası numunelerin sertlik değerleri 800-1400 HV arasında değişkenlik göstermiştir [17].

2.5.2. MIG (Metal İnerit Gaz) Kaynak Yöntemi

20. yüzyıl ortalarından bu yana, metal inert gaz (MIG) kaynağı geniş çapta araştırılmış, test edilmiş ve kullanılmıştır. MIG kaynağının, elektrot teli aracılığıyla üç farklı metal transfer moduna sahip olan sprej, küresel ve kısa devre transferi gibi avantajları vardır. Her transfer modunun kendine özgü özellikleri ve uygulamaları bulunmaktadır. Metal transfer modu, üst akım, alt akım, gerilim, ark aralığı, polarite, kaynak hızı, koruyucu gaz, elektrot tel malzemesi ve besleme hızı gibi proses parametreleri tarafından etkilenir. MIG kaynağı, kaynakçıların düşük erime noktalı alaşımları birleştirmek için tercih ettiği kontrollü ısı girişi sağlar. Ancak, kararlı ve kontrol edilebilir bir metal transferi elde etme zorlukları, MIG kaynağının uygulanmasını sınırlar. Yüksek kaynak akımı, kararlı püskürtme modunu sağlar, ancak ısı girdisini kontrol etmek için kaynak hızının dikkatlice ayarlanması gereklidir. Son yıllarda, araştırmacılar MIG kaynağı işleminin avantajlarından yararlanan ve doğal sınırlamalarını ortadan kaldıran bir dizi Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW) tekniği geliştirmişlerdir [18]. MIG kaynağının uygulanmasını kısıtlayan kontrol edilebilir metal transferindeki zorluklar bulunmaktadır. Şematik gösterimi Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



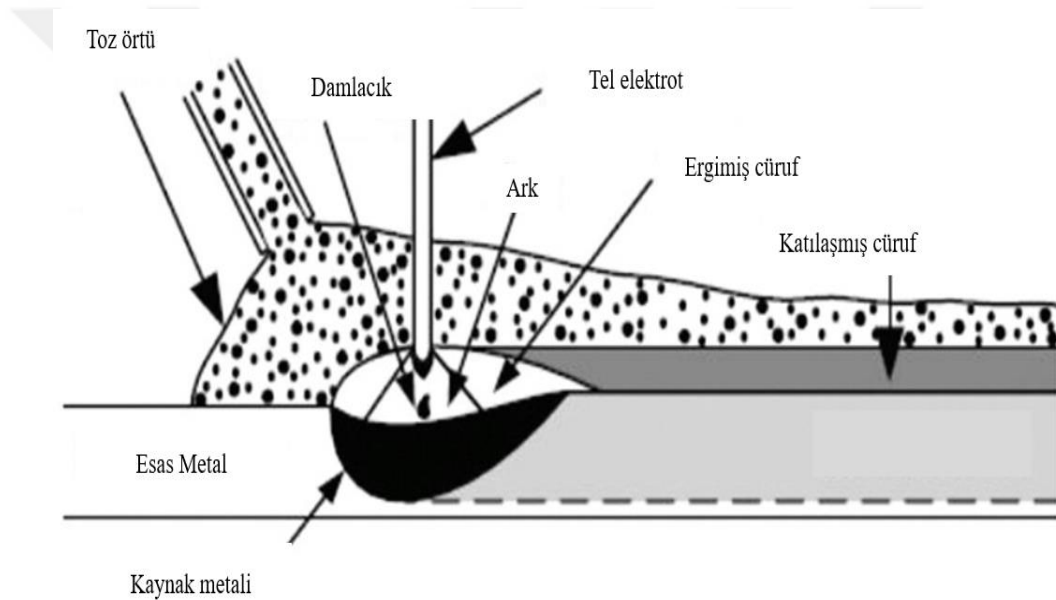
Şekil 2.6 Metal inert gaz (MIG) kaynağı şematik gösterimi [19].

Demir içeren ve demir içermeyen malzemelerde MIG kaynağı kullanılır. MIG kaynak prosedürü, güç kaynağıyla sarf malzemesi elektrotu arasında elektrik arkı üretir. MIG kaynağında,

argon, karbondioksit ve helyum gibi çeşitli koruyucu gazlar kullanılır ve malzeme bileşimine bağlı olarak farklı oranlarda karışımlar elde edilir. MIG kaynak prosedürünün etkinliği, kaynak voltajı, kaynak akımı, gaz akış hızı, kaynak hızı, nozzle mesafesi, elektrot açısı, koruyucu gaz türleri gibi kaynak parametrelerinin sayısına bağlıdır [20].

2.5.3. SAW (Tozaltı Ark Kaynağı) Yöntemi

Tozaltı ark kaynağı (SAW), ana iş parçası ile sürekli beslenen elektrot arasındaki arkın kullanıldığı bir ark kaynağı işlemidir. Ark, kaynak bölgesi etrafında toz akıyla çevrili olarak korunur ve toz akısına daldırılan ark nedeniyle bu kaynak işlemi tozaltı ark olarak adlandırılır [21]. Şematik gösterimi Şekil 2.7’ de verilmiştir.



Şekil 2.7 Tozaltı kaynak yöntemi şematik gösterimi [22].

Tozaltı ark kaynağı, ark kaynağının bir türüdür. Bu yöntemde, arkı tamamen toz örtür ve parlama, kıvılcım, duman gibi unsurların doğrudan görülmesini engeller. Bu nedenle, tozaltı ark kaynağı işleminde kaynak arkı veya sıvı kaynak havuzu görülemez. Bu kaynak yöntemi çevre dostudur. 3 mm'den 100 mm'ye kadar değişen plaka kalınlıklarının kaynağı mümkündür. Bu yöntem, basınçlı kapların imalatında, gemi inşaatında, boru kaynaklarında ve yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Açısal deformasyonu azaltmak ve iyi bir kaynak kalitesi elde etmek için, levhaların kalın kısımları için üst ve alt destekler gibi zorlayıcı önlemler gereklidir. Bu durumda, kalın levhaların çok katmanlı kaynakla birleştirilmesi yaygın bir endüstri uygulamasıdır [23]. Bu yöntemde, kaynak parametreleri arasında tel çapı, ek telin açısı, kaynak hızı, polarite, ark gerilimi ve ark akımı bulunmaktadır.

2.6. Yüzey Kaplama Teknolojisi

Yüzey mühendisliği, aşınma problemine çözüm üretmek için son yıllarda endüstriyel alanlarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özellikleri yanında sürtünme, aşınma, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmek için fiziksel, kimyasal veya ergitme yoluyla birçok kaplama teknikleri vardır. Fiziksel ve kimyasal yolla yapılan kaplama teknikleri, işlem zorluğu, ekipman maliyeti bakımından oldukça külfetlidir. Yüzey kaplama uygulamaları malzemelerin yüzey özellikleri, performansları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, yüzey modifikasyonu otomotiv mühendisliği, biyomedikal, yarı iletken üretimi, tekstil gibi birçok alanda ilgi çekmektedir [24]. Malzemelerin düşük yüzey sertliği ve aşınmaya karşı düşük direnci nedeniyle, aşındırıcı ve sürtünmeli ortamlarda çalışan mühendislik bileşenlerinin üretiminde yüzey kaplama uygulamaları kullanılmaktadır [25]. Bu amaçlarla bir çok yüzey kaplama teknolojisi geliştirilerek uygulanmaktadır. Uygulanan yüzey kaplama teknolojilerine Tungsten Asal Gaz (TIG) yöntemi örnek olarak verilebilir.

TIG(Tungsten Asal Gaz) yöntemi, lazer arkı, plazma arkı ve elektron ışını kaynağı, yüzey kaplama, alaşımlama için geniş bir yelpazede uygulanmıştır [26]. TIG diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında; daha derin bir ergime noktası, düşük maliyet ve atmosferik ortamlarda kullanımı çok daha kolay olması ile karakterizedir. Ayrıca TIG kaplama işlemi, kaplamanın kalınlığını, kimyasal bileşimini ve özelliklerini kontrol etmek için diğer işlemlere göre daha kolaydır. Kaplanacak malzemenin yüzeyine önceden yerleştirilmiş metal tozların ergimesi, TIG kaynak torcundaki tungsten elektrodu ile malzeme arasında oluşan arkta kaynaklanmaktadır. Bu, ergiyen ve hızla katılacak kaplama tabakası ile alt tabaka arasında metalurjik bir bağ oluşumuna izin verir [27].

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Literatür taraması yapıldığında çalışma kapsamında kullanılan TIG yöntemiyle yüzey kaplama uygulamasıyla ilgili bir çok bulgu ve veriye rastlanılmıştır. Lakin kullanılan altlık malzeme ile yapılan yüzey kaplama işlemleri ile ilgili sonuçlar minimum düzeydedir. Literatür araştırması yapıldığında nadir elementlerin kompozit alaşım takviye bazlı olarak farklı kaplama yöntemleri üzerinde durulmasına karşın, TIG (Tungsten Asal Gaz) kaynak kaplama yöntemi üzerinde durulmadığı açıkça görülmektedir. TIG proses parametrelerinin ve kaplama malzemesi sistemlerinin kaplama özellikleri üzerindeki etkisini değerlendiren TIG kaplama çalışmasına önemli araştırmalar yapılmıştır. Yüzey modifikasyonu ile ilgili son literatürler,

TIG prosesi ile yüzey kaplamanın mükemmel tribolojik özellikler gösterdiğini göstermektedir. TIG destekli kaplama yöntemi, farklı metalik materyallerin yüzeylerini kaplamak ve alaşım oluşturmak için sıkça kullanılan bir prosedürdür. Bu işlem, kaplamanın ve temel malzemenin arasında sağlam bir metalurjik bağ oluşturması, kolay uygulanabilir olması ve lazer destekli veya elektron demeti destekli kaplamalara göre daha ekonomik olması sebebiyle geniş çapta tercih edilir [28].

Kumar vd., (2021) çalışmalarında, TIG kaplama yöntemi kullanarak AISI 1020 çeliği üzerinde başarılı bir TiB_2 - Fe kaplama üretilmiştir ve tribolojik olarak çelik geliştirilmiştir [29].

Ulutan vd., (2009) çalışmalarında, AISI 4140 çeliğinin TIG kaplama yöntemiyle mikroyapı ve mekanik özellikler açısından değişimlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda Mikroyapı ile aşınma arasındaki ilişki kaplama ve yüzey sertleştirme yöntemlerinde incelenmeye değer bulunmuştur. Yüzeye kaplanan toz ve kaplama yöntemiyle sertlikte artış görülmüştür [30].

Gür vd., (2019) yaptıkları çalışmalarında, Hardox 400 çeliğine uyguladıkları yüzey kaplama uygulamasıyla mekanik özellik olan sertlik değerinde artış meydana gelmiştir [31].

Tantal , niyobyum gibi, Metal karbür (MC) tipi karbür oluşumunu destekleyen güçlü bir karbür oluşturunucudur. Yüksek aşınma ve korozyon direnci etkisi gibi özellikleri sayesinde günümüz şartlarında kullanıma uygun takviye elemanıdır. Bugüne kadar bildirilen karbür takviye partikülleri esas olarak tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), niyobyum karbür (NbC), vanadyum karbür (VC), NbC ve tantalyum karbür (TaC) üzerine çalışmalar çok daha az yayınlanmıştır [32].

Kumar vd ., (2021) TIG kaplama yöntemiyle çalışmalarında, TIG kaplama işlemi ile üretilen Fe- TiB_2 kaplaması, AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu kaplama, kaplama ve alt tabaka arasında güçlü bir metalurjik bağ oluşmuş ve yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, TiB_2 konsantrasyonunun kaplama performansına etkisi belirlenmiş ve %30 TiB_2 içeren kaplamalarda arayüz boşluklarının olduğu gözlemlenmiştir. Bu

sonuçlar, bu tür kaplamaların endüstriyel uygulamalar için potansiyel sağlayabileceğini göstermektedir [33].

Guo-Lu vd., (2018) yaptıkları çalışmada, NiCrBSi plazma püskürtme kaplaması, ardından TIG işlemi ile yeniden ergitilmiştir. Kaplamanın arayüzünün her iki tarafındaki elastik modül ve sertlik farkının TIG tekniğiyle yeniden ergitme işlemiyle önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, arayüzdeki bağlantı gücünün artırılmasına olumlu bir etki yapmıştır. TIG işlemi ile yeniden eritilen NiCrBSi kaplamanın yapısal ve mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler sağladığını göstermektedir [34].

Buytoz vd., (2005) bu çalışmada, TIG yöntemi kullanarak WC ile yüzey modifikasyonunun sonuçlarını incelemiş ve önemli bulgular elde etmiştir. WC modifikasyonunun TIG işlemiyle yüzeydeki katılaşmaya etkilerini detaylı bir şekilde incelemiş ve işlem parametrelerinin sonuçlara olan etkilerini değerlendirmiştir. Bu bulgular doğrultusunda yazarlar, endüstriyel kaplama uygulamalarında kaplama kalitesini artırmak için önemli bir rehber sağlayacağını, ayrıca, WC tozlarının tane boyutunun katılaşma özellikleri üzerindeki etkileri de gelecekteki çalışmalar için dikkate alınacağını düşünmektedirler [35].

Alirezai vd., (2022) çalışmalarında, L-CuP6 ve L-CuSn6 tellerinin TIG kaynağı kullanılarak saf Al altlık üzerine başarılı bir şekilde kaplama katmanları üretildi. Farklı dolgu tellerinin kullanımının kaplama katmanının mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Yazarlar tarafından elde edilen veriler doğrultusunda, endüstriyel kaplama uygulamalarında kullanılan malzemelerin seçiminde ve işleme parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir rehber olacağı düşünülmektedir [36].

Sekhar vd., (2020) bu çalışmada, AISI 1020 yumuşak çelik altlığa TIG kaplama yöntemi ile TiC kompozit kaplamanın başarıyla uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Öncelikle, kompozit kaplamanın üst bölgesindeki mikro-sertlik değerlerinin alt bölgeye kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yüksek sertlik değerinin, kaplamanın yüzey bölgesinin dayanıklılığını artıracığı düşünülmüştür. Ayrıca, yapılan aşınma testlerinde, TiC kaplı yumuşak çelik numunelerin proses sonrası aşınma değerlerinin arttığını gözlemlenmiştir. Proseste kullanılan akım değerinin artmasıyla TiC partiküllerinin çelik alt tabakasına daha iyi bağlandığı görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışma, TIG kaplama yöntemi ile TiC kompozit kaplamanın sertlik ve aşınma direncini artırma potansiyelini olacağı tespit edilmiştir [37].

Saroj vd., (2017) yaptıkları çalışmada, TIG kaplama işlemi kullanılarak AISI 304 çelik üzerine TiC-inconel825 metal matrisli kompozit kaplamanın başarıyla uygulanabileceğini göstermişlerdir. TiC içeriğinin artmasıyla birlikte ortalama mikro-sertlik değerlerinin ciddi bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, aşınma test sonuçları, TiC içeriğinin artmasıyla birlikte kompozit kaplamanın aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Bu, kaplamanın uygulama alanlarında daha uzun ömürlü ve dayanıklı olabileceğini düşünmektedirler. Son olarak, TiC-

Inconel 825 kaplamanın sertleştirilmiş çelik karşısındaki sürtünme katsayısının düşmesi, kaplamadaki TiC içeriğinin artmasıyla birlikte gözlemlenmiştir. Bu, kaplamanın tribolojik özelliklerinin TiC içeriği ile iyileştiğini göstermektedir [38].

Waghmare vd., (2018) bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımının TIG kaplama yöntemi ile NiXTiY (NiTi, NiTi₂) ve reaksiyona girmemiş Ti ile TiAl₃ gibi arametallik benzeri bileşenler içeren bir kompozit kaplama ile kaplanabileceğini göstermiştir. Yapılan deneyler kapsamında, kaplamadaki NiTi₂ fazları ile birlikte NiTi ve diğer arametallik bileşenlerin oluşması sonucunda kaplama tabakasının sertliğinin (680 ± 60 HV0.05) alt tabaka malzemedeki (320 HV0.05) belirgin şekilde yükseldiğini göstermiştir [39].

An vd., (2017) yaptıkları çalışmada, TIG kaplama yöntemi kullanılarak Ti-6Al-4V altlık malzemesi üzerine yüksek kaliteli TiB/Ti-6Al-4V kompozit kaplamanın başarıyla üretilbildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısı girişi arttıkça birincil TiB içeriği azaldı ve kaplamanın mikroyapıları daha homojen hale geldiği tespit edilip, kaplamanın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyerek sertlik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Ancak, akımın artmasıyla birlikte sertlikte bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun, artan seyrelme etkisi ve birincil TiB' nin boyutunun küçülmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir [40].

Celik vd., (2011) yaptıkları çalışmada elde edilen verilere göre, AISI 8620 çeliğinin yüzeyinin SiC/C tozları ve TIG yöntemi ile modifiye edilmesinin, malzemenin aşınma özelliklerini önemli ölçüde artırabileceği sonucuna varılmıştır. Bu, geniş bir endüstriyel kullanım alanına sahip olan AISI 8620 çeliğinin ekonomik açıdan önemli kazançlar sağlayabileceğini göstermektedir. Deneyler sonucunda, karbür fazlarıyla zenginleştirilmiş, makro ve mikro kusurlardan arındırılmış bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Bu yapı, malzemenin yüzey özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca, kuru sürtünme koşullarında, hemen hemen tüm numunelerde oksit oluşumu gözlemlenmiş ve bu durum sürtünme katsayısının daha da düşmesine sebep olmuştur. Deneysel çalışmalar, özellikle düşük C tozu ilavelerinde, TIG ve SiC/C tozları ile yüzey modifikasyonunun sertlik ve aşınma davranışı üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Bu, malzemenin dayanıklılığının artırılmasında etkili bir yöntem olarak düşünülmektedir. Sonuç olarak, AISI 8620 çeliğinin yüzeyinin SiC/C tozları ve TIG yöntemi ile modifiye edilmesi, endüstriyel uygulamalarda etkin bir çözüm olacağı öngörülmüştür [41].

Sahoo vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik üzerine TiC-Ni-CaF₂ kompozit kaplamaların başarılı bir şekilde üretildiği bulunmuştur. Bu kaplamalar, TIG kaplama işlemi kullanılarak oluşturulmuştur. CaF₂ nin sisteme eklenmesiyle, CaF₂' nin kendiliğinden akma etkisi sayesinde TIG kaplama sürecinde eriyik havuzdaki etkili ısı girişi artmış ve bu da TiC gibi sert fazın seyrelmesini artırmıştır. Deney sonuçlarına göre, TiC-Ni-CaF₂ kompozit kaplamanın morfolojisinin işleme akımı ve öncüldeki CaF₂ yüzdesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu faktörler ayrıca kaplamanın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yapılan

taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi ve mikro-sertlik testleri, düşük oranda CaF_2 kullanılan kaplamanın yüksek yoğunlukta TiC takviyesini koruduğunu ve daha yüksek bir sertlik değerine sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, kaplamanın yüksek sertliği sayesinde kaplanmış pim örneği için yükseklik kaybı açısından düşük kaymalı aşındırıcı aşınma sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, üretilen TiC-Ni- CaF_2 kaplamalarının hemen hemen tümünün sertlik değerlerinin makul derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir (800 HV0.05'in üzerinde). Ancak, TIG kaplama süreci sırasında CaF_2 yüzdesinin artmasıyla sertlik değerlerinin kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, benzer bir CaF_2 yüzdesinin kullanılması durumunda, kaplamanın sertlik değerinin uygulanan akımın artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, görece yumuşak çelik alt tabakanın seyrelemesinden kaynaklandığı yazarlar tarafından düşünülmektedir. Deney sonuçları ayrıca, öncülde daha düşük bir CaF_2 yüzdesi kullanılmasıyla, TiC-Ni- CaF_2 kaplamanın sertleştirilmiş çelik diske karşı sabit sürtünme katsayısı (COF) değerinin yaklaşık olarak 0.7 aralığında olduğunu saptanmıştır. Öncüldeki CaF_2 yüzdesinin artmasıyla ise kaplamanın sabit COF değerinin 0.4'e düştüğü gözlemlenmiştir. Bu, kaplamanın sürtünme özelliklerinin CaF_2 yüzdesine bağlı olarak değişebileceğini düşünmektedirler [42].

Sahoo vd., (2016) Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, AISI 304 çeliğine GTA kaplama prosesi kullanılarak TiC veya TiC-çelik kompozit kaplamanın başarıyla uygulanabileceğini göstermiştir. Uygulanan akım ve tarama hızı, TiC' nin çelik alt tabakaya düşük seyrrelme ile yoğun bir tabaka olarak çökmesine veya TiC parçacıklı çelik matris kompozit tabaka oluşturmaya bağlı olarak değişiklik göstermiştir. GTA kaplanmış TiC kaplamanın aşındırıcı aşınma testi sonuçları, asıl AISI 304 çelik alt tabakaya göre aşınma direncinde beş ila elli katlık bir artış olduğunu göstermiştir. Yüksek TiC konsantrasyonu ve dolayısıyla yüksek sertlik sayesinde, düşük akım ve yüksek tarama hızı kombinasyonunda kaplamanın aşındırıcı aşınması oldukça düşük bulunmuştur. Bunun aksine, yüksek ısı girişi ile yapılan kaplamalar (yüksek akım ve düşük tarama hızı kombinasyonu), SiC aşındırıcı tarafından çelik matrisinin daha yüksek bir hızda uzaklaştırılması sonucu aşındırıcı aşınmada aşırı artışa neden olmuştur [43].

Arjmand vd., (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ti/Si/Al üçlü sistemdeki yüzey kompoziti başarıyla hazırlandı. Bu çalışma, kompozit kaplamaların mikro-sertliğini artırmayı, korozyon direncini iyileştirmeyi ve hazırlanan kaplamalardaki artık gerilmeleri belirlemeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, TIG işlemi kullanılarak Ti levha tabanında $\text{Al/Ti}_5\text{Si}_3\text{-Al}_3\text{Ti}$ yüzey kompozit kaplamanın etkili bir şekilde üretilbildiğini göstermiştir. Dolgu malzemesi enjeksiyon hızının artırılması, seyrrelme oranının düşürülmesi ve geçiş sayısının artırılmasıyla Ti_5Si_3 , Al_3Ti ve daha az miktarda TiSi_2 ve $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ gibi ara metal bileşiklerinin oluşumunu kolaylaştırmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, TIG işlemi kullanılarak $\text{Al/Ti}_5\text{Si}_3\text{-Al}_3\text{Ti}$ yüzey kompozit kaplamanın başarıyla üretilebileceğini ve bu kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörlerin önemli bir analizini sağlayacağı yazarlar tarafından düşünülmektedir [44].

Kumar vd., (2017) tarafından yapılan deneyler sonucunda, AISI 4340 çeliği üzerinde gerçekleştirilen tungsten inert gaz (TIG) işlemiyle yüzey modifikasyonunun başarılı olduğu görülmüştür. Bu çalışma, yüzey sertliğini ve eğilme dayanımını artırmak amacıyla yapılmış olup istenen faz dönüşümünün elde edilmesine yöneliktir. Elde edilen sonuçlar, TIG ark kaynağı kullanılarak yapılan yüzey modifikasyonunun AISI 4340 çeliğinin sertliğini ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Tek ve çoklu geçişli ark kaynaklarıyla gerçekleştirilen modifikasyonlar, sırasıyla baz metalin yüzey sertliğini 720 ± 25 HV ve 445 ± 25 HV' a çıkarabilmiştir. Sonuç olarak, yapılan deneyler AISI 4340 çeliği üzerinde gerçekleştirilen TIG işlemiyle yapılan yüzey modifikasyonunun olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, endüstriyel uygulamalar için potansiyel yüzey modifikasyonu geliştirmeleri için önemli bir temel oluşturacağı yazarlar tarafından düşünülmektedir [45].

Ghadami vd., (2015) çalışmada, AISI 8620 çeliğinin yüzeyi, SiC/C tozları ile modifiye edilmiş ve bu işlem TIG yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, karbon karbür fazları ile birlikte, makro- veya mikro-kusurların olmadığı oldukça uygun ve kusursuz bir yapı elde edildiği belirlenmiştir. Yüzeyde karbon karbür fazlarının varlığına ek olarak, neredeyse tüm numunelerde kuru sürtünme koşullarında oksit oluşumu meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu oluşumun belirgin miktarda olduğu numunelerde sürtünme katsayısının daha da azaldığı saptanmıştır. Tüm deneme koşulları için değilse de, düşük karbon tozu ilavesi ile TIG ve SiC/C tozları kullanarak yapılan yüzey modifikasyonu sonucunda elde edilen kompozit yapı, aşınma özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceği öne sürülebilir. Özellikle toz miktarının ve enerji girişinin homojen bir şekilde dağıldığı numunelerde aşınma direnci ve yüksek sertlik açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir [46].

Zhu vd., (2021) yazarlar tarafından yapılan bu çalışma, 4Cr5MoSiV1 çeliğinin yüzeyini TIG eritme işlemi ile modifiye etmenin, malzemenin mikroyapısı, korozyon direnci, sürtünme ve aşınma direnci, sertlik ve darbe tokluğu gibi orijinal performanslarını etkilediğini göstermiştir. TIG eritme işlemi, tane sınırları boyunca Cr₃C₂ çökeltilerinin oluşmasına ve ötektik yapıların meydana gelmesine yol açmıştır. Ayrıca birçok BCC fazı FCC fazlarına dönüşmüştür. Tane sınırlarının koruması altında, TIG eritme tabakası, orijinal 4Cr5MoSiV1 çeliğe göre daha iyi korozyon direncine sahiptir. Ancak daha yüksek sertliğe sahip olsa da darbe tokluğu açısından daha düşüktür. Sonuç olarak, bu çalışma, TIG eritme işleminin yüzey modifikasyonunda etkili bir yöntem olduğunu ve bu modifikasyonun malzeme performansını belirgin şekilde artırabileceğini göstermektedir [47].

Tavoosi vd., (2017) yazarlar tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, alüminyumun TIG kaplama işlemi sırasında titanyum yüzeyinde in-situ olarak Al/Al₃Ti kompozit kaplamanın oluşturulması araştırılmıştır. Sonuçlar, TIG kaplama işlemi sırasında titanyum yüzeyinde yaklaşık

265-295 HV sertlik değerine sahip bir Al/Al₃Ti kompozit kaplamanın başarıyla oluşabileceğini göstermiştir. Kaplama işlemi sonrası elde edilen mikroyapı, Al₃Ti ve Ti-boğunluğundaki fazların bir kombinasyonundan oluşmuş ve bu fazlar Al-boğunluğundaki bir matris içinde dağılmıştır. Ayrıca, kaplama/alt tabaka arayüzeyinde sürekli bir Al₃Ti arametalik bileşiği tabakası oluşmuştur. Al₃Ti fazının kalınlığı, tavlama süresinin artmasıyla artmış ve 20 saatlik bir tavlama sonrasında 2 µm değerine ulaşmıştır. Al/Al₃Ti kompozit kaplamanın sertliği ve korozyon direnci ayrıca tavlama süresinin artmasıyla artmıştır.

Bu sonuçlar, alüminyumun TIG kaplama işlemi kullanılarak titanyum yüzeyinde Al/Al₃Ti kompozit kaplamanın başarıyla oluşturulabileceğini ve bu kaplamanın sertlik ve korozyon direncini artırdığını göstermektedir [48].

Dehta vd., (2022) bu çalışma kapsamında, yazarlar tarafından Ti-6Al-4V alaşım levhasına TiC-Co kaplama tabakası başarıyla uygulanmıştır. Kaplama tabakalarının neredeyse eşit kalınlıkta olduğu gözlemlenmiş; ancak TiC ve Co' nun belirli yoğunlukları, termal iletkenlikleri ve erime noktalarındaki farklılıklar, kaplamadaki bileşenlerin homojen olmayan bir dağılımına neden olmuştur. Ayrıca, Stand Off Distance (SOD) olarak adlandırılan parametrenin, arkın şeklini ve ark-malzeme etkileşim alanını etkilediği görülmüştür. SOD' un 4 mm ile 6 mm artırılmasıyla kaplama izi derinliğinin neredeyse sürekli olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Kısmen erimiş veya yeniden katılaşmış TiC fazının varlığı ve bileşiklerin oluşumu, kaplama tabakasının sertlik değerini 1200 HV'e kadar artırmış ve kaplama tabakasının sertleştirilmiş çelik ve alümina aşındırıcı diske karşı aşınmaya karşı direncini artırmıştır. Ancak, farklı fazların eşit olmayan dağılımının, mikro-sertlik ve aşınma davranışında makul bir değişikliğe yol açtığı gözlemlenmiştir.

Kaplama tabakasının sertleştirilmiş çelik karşısında aşınma değeri, Ti-6Al-4V tabanından 15 kat daha düşük bulunmuş; ayrıca aşınma değerinin, alümina aşındırıcı diske karşı test edildiğinde neredeyse üç kat daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. TIG ark taraması sırasında SOD arttıkça, kaplama tabakasının hem kayar hem de aşındırıcı aşınma değerlerinin neredeyse sürekli olarak azaldığı tespit edilmiştir [49].

Lailatul vd., (2017) Deney sonuçları, SiC' nin TIG kaynağı ile DSS üzerindeki modifikasyonun dendritik mikroyapının oluşmasına yol açtığını göstermektedir. Bu, önceden yerleştirilmiş SiC' nin tamamen eritilmesi ve ardından modifiye edilmiş tabakanın yeniden katılaşmasıyla gerçekleşir. Elde edilen dendritik mikroyapı, modifiye tabakanın sertliğini alt taban malzemeye göre yaklaşık 2 ile 3 kat artırmıştır. Tüm eritme koşulları altında, modifiye edilmiş tabakanın sertliğindeki artış, dendritik mikroyapıyla ilişkilendirilmiştir [50].

Bu çalışmada, 4Cr5MoSiV1 çeliğinin yüzeyini değiştirmek amacıyla TIG eritme işlemi uygulanmış ve orijinal malzemenin performansları üzerinde etkileri incelenmiştir. TIG eritme işlemi, önceden yerleştirilmiş SiC' nin tamamen erimesi sonucunda dendrit mikroyapısının oluşmasına neden olmuştur. Bu mikroyapı, sertleşmiş yüzeyin oluşmasına ve sertliğin taban

malzemeye göre ~2 ila 3 kat artmasına yol açmıştır. SEM görüntüleri, kaplamanın yüzeyindeki malzemenin aşındığını gösteren izlerin oluştuğunu göstermektedir. Aşınma izlerinin derinliği ve genişliği, kaplamanın malzeme kaybını gösterir.

Sonuç olarak, bu çalışma, SiC'nin TIG işlemi kullanılarak DSS yüzeyinde eritilmesinin dendritik bir mikroyapı oluşturduğunu ve sertliği artırdığını göstermektedir. Bu sonuçlar, kaplama tekniklerinin malzeme mühendisliği alanında geliştirilmesi için önemli bir adım olabileceği düşünülmektedir [51].

Kumar vd., (2021) çalışmalarında, TIG kaplama tekniği kullanarak 304-çelik alt tabakasına aşınmaya dayanıklı bir Co-SiC kompozit kaplama başarıyla ürettir. Yapılan karşılaştırmalı analizler, farklı ısı girişlerinin kaplamanın mikroyapısal özellikleri, aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve mikro yapı değişiklikleri üzerindeki etkilerini ortaya koydu. Sonuçlar, belirli bir ısı girişinin, WC tanelerinin minimum çözülmesiyle üstün bir kaplamayı üretecek şekilde yeterli olduğunu gösterdi. Daha yüksek ısı girişi, WC tanelerinin çözülmesini artırarak daha büyük ve dendritik bir WC yapısına yol açtı. Kompozit kaplamaların sürtünme katsayıları düştü ve aşınma dirençleri arttı. Bu çalışma, TIG işleme parametrelerinin Co-SiC kompozit kaplamaların performansını büyük ölçüde kontrol edebileceğini gösterdi. Bu sonuçlar, TIG kaplama kullanılarak kompozit kaplamaların işlem-yapı-performans ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmanın gerekliliğini ortaya koydu [27].

Cheng vd., (2003) yaptıkları çalışmada, TIG kaplama yöntemi ile elde edilen kaplamaların çeşitli önemli özellikler kazandığını göstermektedir. Kaplama katmanının yeterli bir şekilde bağlanabilmesi için uygun bir ısı girişi sağlanmalıdır. Pürüzlülük ve ikinci faz partiküllerinin kaplamada bulunması, korozyon saldırısının başlangıç noktaları olarak belirlenmiştir. AR-316/NiTi-TIG çiftinde galvanik etki minimum düzeydedir. Kaviteasyon aşınma testleri ve korozyon testlerinin sonuçlarına dayanarak, NiTi kaplamanın AISI 316 kaviteasyon erozyonuna karşı yerel olarak koruma sağlamak için etkili bir yol olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, kaplama işleminin önemli potansiyeller içerdiğini göstermektedir, ancak gelecekte daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [52].

Mridha (2005) tarafından yapılan çalışmada yazar, yaptığı deneyler sonucunda CP-Ti'nin TIG torch eritme işleminde, saf nitrojen ortamında altın renginde izler oluşturulduğunu gözlemledi. Bu izler, hem radyal hem de radyal yöne dik dalgalanmalarla belirginleşti. Soğuma sırasında fazla azot gazının salınmasıyla, izlerin her iki yanında gözenekli kenarlar oluştu. Bu gözenekli kenarlar çatlamadan başlamasından sorumlu oldu. Bu deneylerin sonuçları, TIG işleminin CP-Ti yüzeyini başarıyla modifiye ettiğini ve sertlik ile eriyik derinliğinde belirgin artışlar sağladığını gösteriyor. Bu bulgular, gelecekte CP-Ti'nin lokal koruması için TIG kaplama yönteminin kapsamlı bir şekilde anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir [53].

Meng vd., (2019) bu çalışmada, 35CrMnSi esaslı yüzey kompozit kaplamaların Ti, BN ve Ni60A toz karışımları kullanılarak argon ark kaplama yöntemi ile başarılı bir şekilde hazırlandığı gözlemlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, farklı (Ti + BN) içeriklerinin kaplamaların mikroyapısını ve mikrosertliğini belirgin bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Kaplama içindeki takviye fazları, TiN tanecikleri ve TiB₂ çubukları şeklinde belirginleşmiş ve (Ti + BN) içeriği arttıkça bu fazların sayısında bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, takviye partiküllerinin incelendiği ve yüksek soğutma hızlarıyla oluştuğu belirlenmiştir [54].

Sahoo vd., (2017) bu çalışma kapsamında, AISI 304 paslanmaz çelik üzerine TIG kaplama süreciyle yüksek sertlikte ve aşınmaya dayanıklı bir TiC-Ni kompozit kaplama başarıyla oluşturulmuştur. Bu kaplama sayesinde alt tabaka ile kaplama arasında güçlü bir bağlantı sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, TiC-Ni kaplamanın düşük akım kullanarak üretilebileceğini ve saf TiC kaplamadan daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu, kaplamadaki TiC takviyesinin çelik-Ni matrisi ile daha iyi bir şekilde birleşmesi sayesinde. Ayrıca, Ni'nin eklenmesiyle ön yerleştirilmiş TiC-Ni tabakanın eritilmesi için gerekli olan toplam ısı miktarı azalmıştır. Bu çalışma, AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinin korunmasında etkili bir yöntem sunmaktadır. Kaplama, aşınmaya karşı yüksek bir dirence sahiptir ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

Sonuç olarak, TiC-Ni kaplamanın TIG kaplama süreciyle başarılı bir şekilde oluşturulduğu ve AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyini etkili bir şekilde koruduğu söylenebilir [55].

Cheng vd., (2003) bu çalışmada, AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine NiTi kaplamaların TIG süreci ile başarıyla uygulanabileceğini gösteriyor. Yazar, bu kaplamaların kaviteasyon erozyonuna karşı lokal bir koruma sağlama potansiyeline sahip olduğunu belirtiyor. Kaplama kalınlığının, mikrosertliğin ve bileşenlerin dağılımının değerlendirilmesi, yazarın deneylerinin başarılı olduğunu gösteriyor. Yazar, kaplamanın oluşturduğu güçlü arayüzey bağlantısının, pratik uygulamalar için uygun olduğuna işaret ediyor. Bununla birlikte, kaplamanın yüzey bölgesinin seyreltilme oranının %14 olduğu ve mikrosertliğin AISI 316'ya göre oldukça yüksek olduğu belirtiliyor. Bu, kaplamanın dayanıklılığını artırarak kaviteasyon erozyonuna karşı etkili bir koruma sağladığını gösteriyor. Yazar, kaplamaların yapısının incelenmesi sonucunda, gözeneklerin mevcut olduğunu belirtiyor. Bu, kaplamanın yapısal bütünlüğü üzerinde potansiyel bir etkiye sahip olabilir. Ancak, yine de kaplama sürecinin başarılı olduğu sonucuna varılıyor.

Sonuç olarak, yazarın yaptığı deneyler ve değerlendirmeler, AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine NiTi kaplamanın kaviteasyon erozyonuna karşı etkili bir koruma sağlayabileceğini gösteriyor. Bu sonuçlar, malzeme mühendisliği alanında yapılan çalışmalara önemli bir katkı sağlayabilir [56].

Reddy vd., (2022) çalışmalarında, nükleer füzyon reaktör parçalarının inşasında kullanılan paslanmaz çelik boruların kaynağına odaklanmıştır. TIG kaynağı ile oluşturulan boru

birleşimlerinin mekanik özellikleri incelenmiş, ayrıca farklı kaynak parametrelerinin etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, fiber takviyeli kompozit tabakaların uygulanmasıyla elde edilen TIG kaynaklı birleşimlerin, karşılaştırma yapılan örneklere göre üstün olduğunu göstermektedir. Bu alışma, nükleer reaktör parçalarının dayanıklılığını artırmak amacıyla kaynak tekniklerinin geliştirilmesine önemli bir katkı sağlamaktadır [57].



4. MATERYAL VE METOT

Tezin bu bölümünde çalışma kapsamında kullanılan materyaller ve uygulanan deneysel yöntemlere ait bilgiler bulunmaktadır.

4.1. Çalışmanın Amacı

Tungsten Asal Gaz (TIG) yöntemi metallerin birbiri ile ya da farklı metallerle birleştirilmesinde önemli bir yere sahip olan ergitmeli kaynak yöntemidir. Özellikle çelik endüstrisinde kullanıldığı bilinmektedir. Yapılan çalışmada; TIG yönteminin birleştirme amacından ziyade yüzey kaplama işlemindeki etkisi araştırılmaktadır. Bu deneysel çalışmada referans malzemesi olarak Fe-Co kaplandı daha sonra Ta elementinin etkisini gözlemlemek için ağırlıkça farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20) Ta elementi ana matris içerisine eklendi. Üretim parametresi için çelik altlığın ergime sıcaklığından ziyade kompozit alaşımın (Fe-Co matris) ergime sıcaklığı esas alındı. Üretilen katmanın alt tabakaya bağlanma özellikleri ve mikroyapısal ve sertlik değişimlerinin kaydedilmesi ve katmanın aşınma performansı değerlendirilmesi amaçlandı. Kaplama katmanının mikroyapı ve faz analizi için SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve XRD (X-ışın kırınımı) incelemesi sonucu, oluşabilecek faz veya bileşiklerin analizleri incelendi.

4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Çalışma kapsamında 20x1000x10 mm³ boyutlarında Hardox 500 çelik malzeme Metaloks A.Ş. firmasından temin edildi. 20x100x10 mm³ ölçülerinde kaplama işlemi yapılacak deney numuneleri hazırlandı. 6 mm genişlik ve 1,5 mm derinliğinde kanallar açıldı (Şekil 4.1). Çalışmada kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi ağırlıkça (wt%) Tablo 4.1' de verildi.



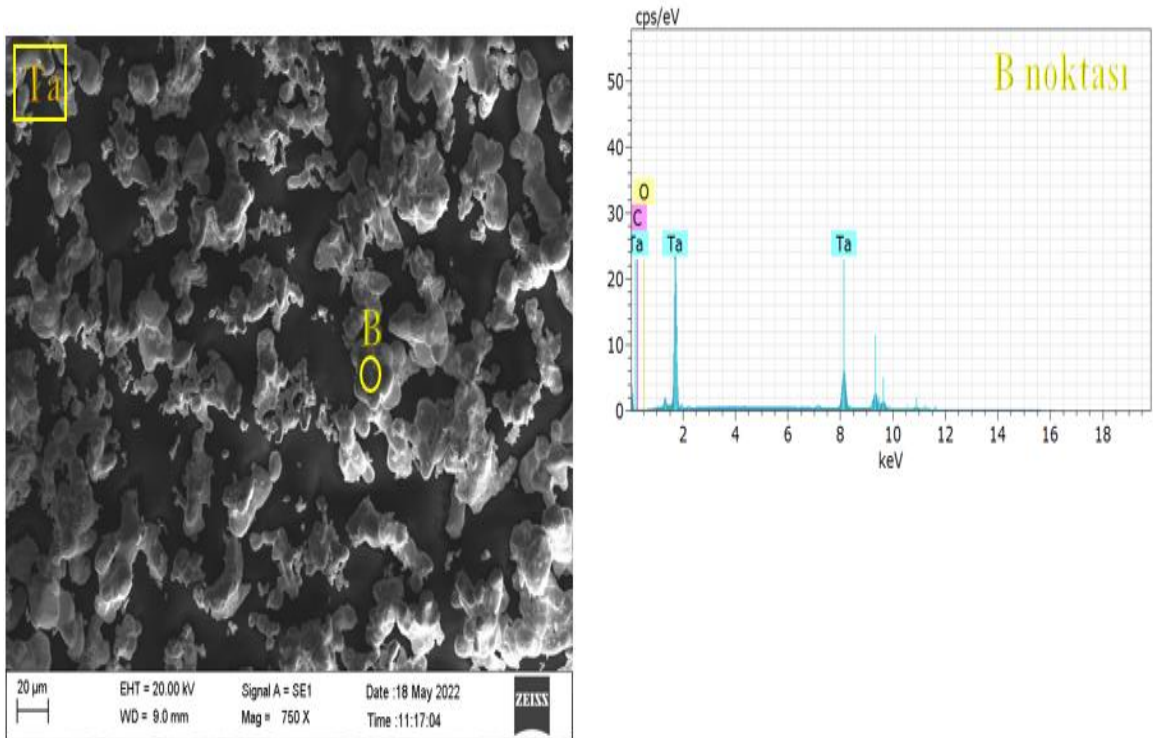
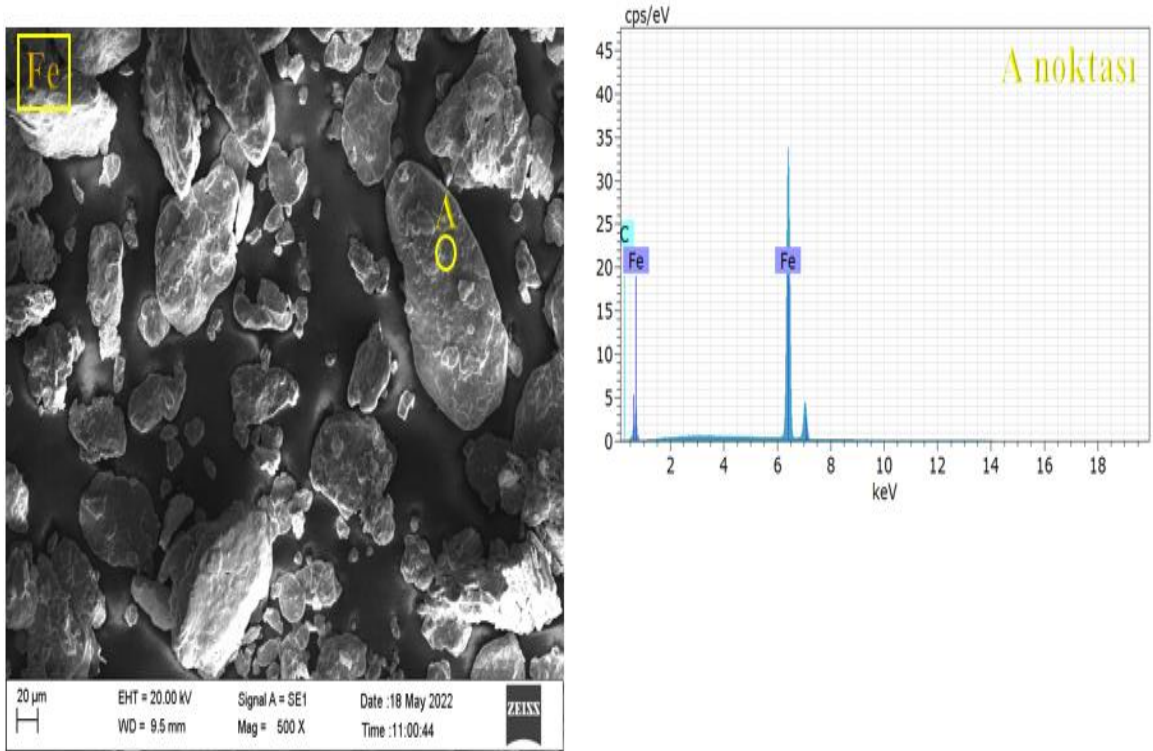
Şekil 4.1 Yüzey kaplama numuneleri.

Tablo 4.1. Altlık malzemenin ağırlıkça kimyasal bileşimi (wt%).

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
Hardox 500	0.3	1.6	0.7	1.5	0.15	0.6	0.02	0.001	Kalan

4.3. Yüzey Kaplama İşleminin Önce Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yüzey kaplama işleminden önce deney numuneleri oksitlenmeyi engellemek ve kirlerden arındırmak için Etil Alkol (C_2H_5OH) ile temizlendi. Kaplama prosesinde kullanılmak üzere Alfa Aesar firmasından temin edilen tozların SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılım Spektrometrisi) Şekil 4.2' de verildi. Yüzey kaplama işleminde kullanılacak tozların (Fe, Co, Ta) ağırlıkça (wt%) oranları Tablo 4.2' de belirtildi.



Şekil 4.2 Kullanılan tozların SEM ve EDS verileri.

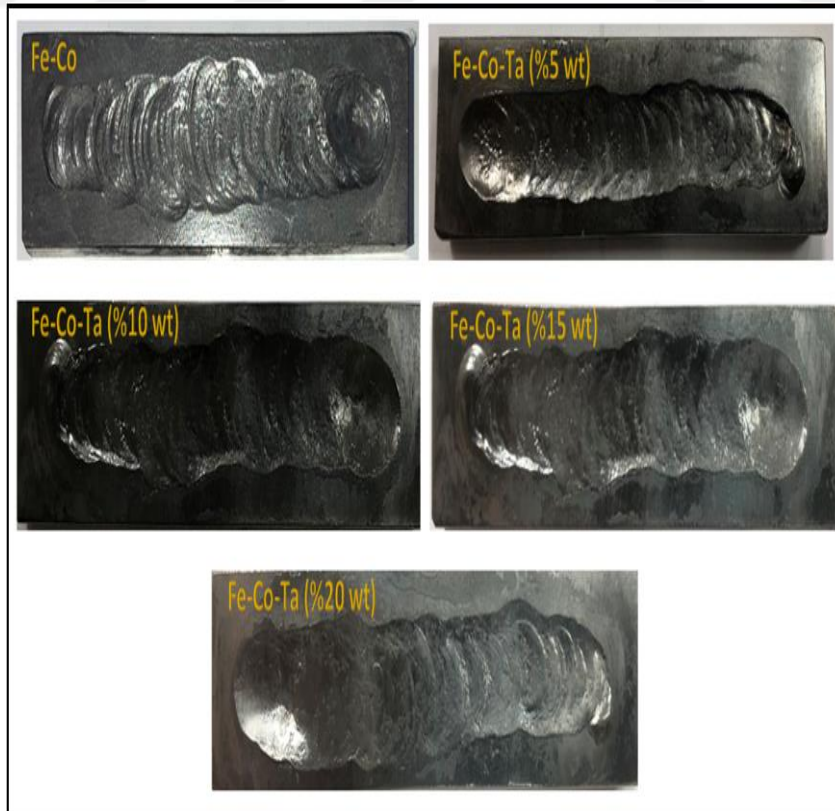
Tablo 4.2 Tozların karıştırılma oranları.

Numune	Alaşım	Fe (g)	Co (g)	Ta (g)
K1	Fe-Co	3,165	0,835	-
K2	Fe-Co-Ta (%5 wt)	3,8		0,2
K3	Fe-Co-Ta (%10 wt)	3,6		0,4
K4	Fe-Co-Ta (%15 wt)	3,4		0,6
K5	Fe-Co-Ta (%20 wt)	3,2		0,8

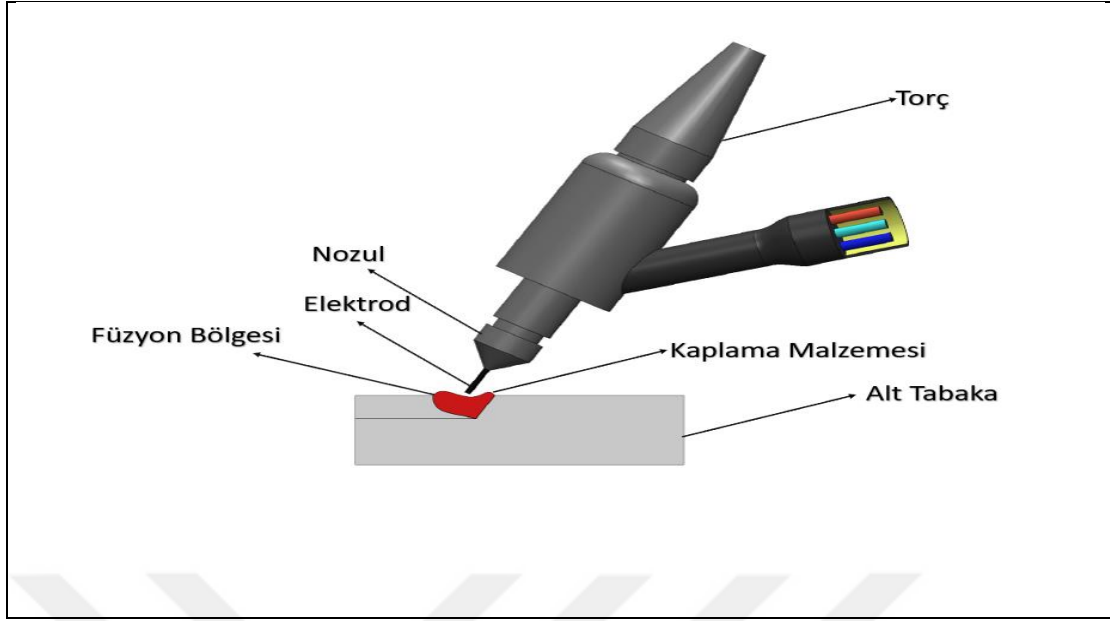
Tozlar mekanik karıştırma işleminde 25 dakika karıştırıldı. Karıştırılan tozlar kanala ilave edildi. Kaplama prosesin de koruyucu Asal gaz olarak kullanılan Ar (Argon) gazının akış hızından kaynaklı ilave tozların uzaklaşmaması için 50°C' lik ortamda 30 dakika kurumaya bırakıldı. Deney numuneleri hazırlandıktan sonra kaplama prosesine geçildi.

4.4. Yüzey Kaplama İşlemi

Yüzey kaplama işlemi TIG kaynak makinesi kullanılarak argon koruyu gaz atmosferinde belirlenen kaynak parametrelerin de yapıldı. Yüzey kaplama işlemi sırasında kaynak faktörleri ve parametreler kayıt altına alınmıştır. Yüzeyi kaplanan numuneler Şekil 4.3' de gösterildi. Kaplama işleminin şematik resmi Şekil 4.4' de ve parametreler Tablo 4.3' de verildi.



Şekil 4.3 Yüzey kaplama numuneleri



Şekil 4.4 Yüzey kaplama işleminin şematik resmi.

Tablo 4.3 Yüzey kaplama işleminin parametreleri.

Fe-Co (K1) ve Fe-Co-La (K2,K3,K4,K5) Yüzey Kaplama Numuneleri İçin Kaynak Parametreleri			
Numuneler	Amper (A)	Üretim Hızı (mm/sn)	Isı Girdisi (J/mm)
K1	150	0,97	1.113,40
K2	150	1,11	778,37
K3	150	1,04	796,15
K4	150	1,02	917,64
K5	150	1,04	830,76
Isı girdisi $Q = \eta \cdot U \cdot I / s$, U: volt, I: akım, s: üretim hızı, η : katsayı (TIG prosesi için $\eta=0.48$) [42].			

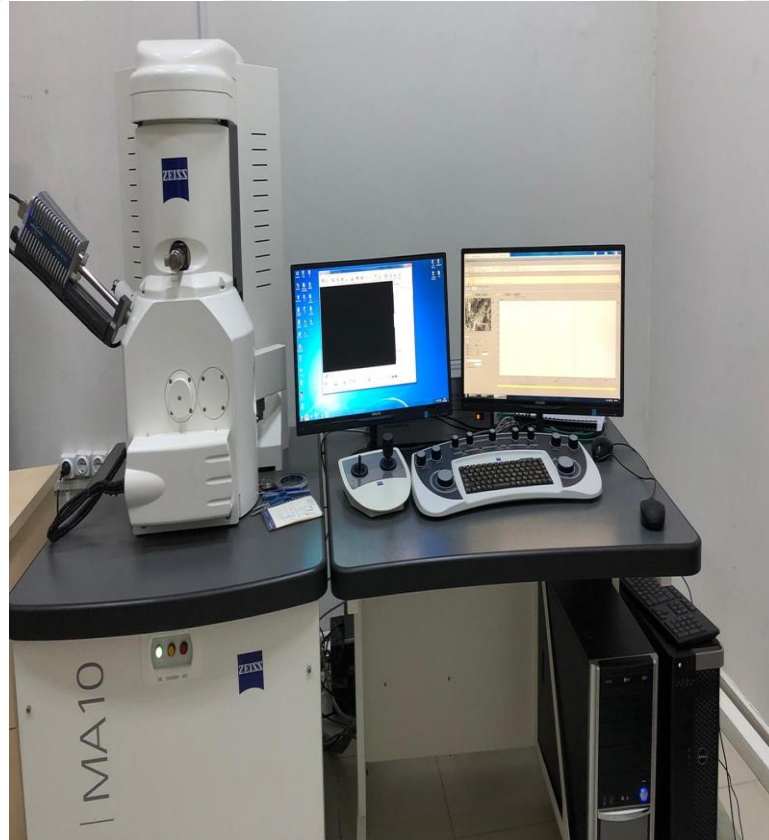
4.5. Metalografik İnceleme İşlemleri

Yüzeyi kaplama numuneleri enine kesit alınarak kesildi. Enine kesitler sıcak bakalite alınarak kaba ve nihai parlatma işlemlerine hazır hale getirildi. Deney numunelerinin kaba parlatma işlemleri yapıldı. Nihai parlatma işlemi “Metkon” marka 3 μm elmas pasta ve çuha ile yapıldı. Parlatılan numuneler %3 Nital çözelti içerisinde 15 sn dağlandı. Optik mikroskopta (Nikon ECLIPSE MA200) farklı büyütmelerde kaplama yüzeyi, geçiş bölgesi ve altlık malzeme yüzeyi incelenerek morfolojisi fotoğraflandırıldı (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Metalografik İncelemede Kullanılan Optik Mikroskop

Deney numunelerinin morfolojik karakterizasyonu ZEISS M10 marka cihazla SEM ve EDS analizleriyle yapıldı (Şekil 4.6). Kaplama işlemleri sırasında meydana gelen dönüşümleri ve morfolojik değişimleri tespiti için XRD (X- Işınları Difraksiyonu) incelemeleri yapıldı.



Şekil 4.6 Metalografik İncelemede Kullanılan SEM Analiz Cihazı

4.6. Mikrosertlik Ölçümleri

Yüzeyi kaplanan numunelerin ITAB (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge), geçiş bölgesi ve altılık malzemede meydana sertlik değişimleri Vickers tekniğiyle DuraScan EMCOTEST cihazıyla incelendi (Şekil 4.7). Ölçümler ($HV_{0.1}$) yük altında, 12 sn bekleme süresi (dwell time) ile tamamlandı (Tablo 4.4).



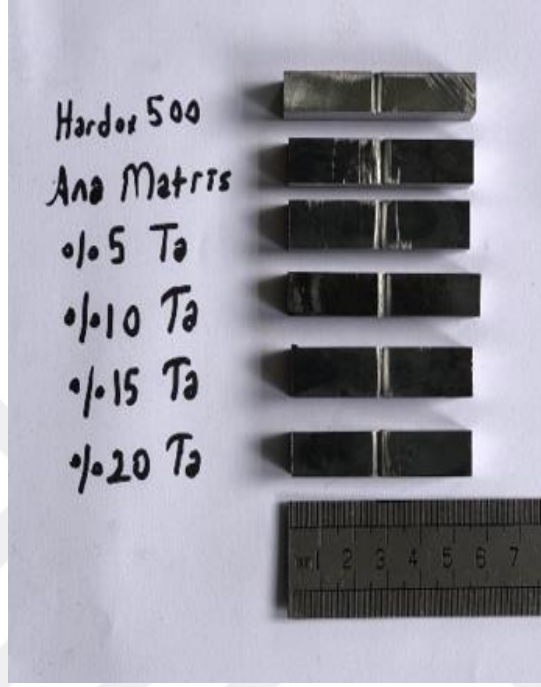
Şekil 4.7 Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

Tablo 4.4 Mikrosertlik Ölçüm Şartları

Numune	Alaşım Miktarı	Bekleme Süresi (sn)	Uygulanan Yük (HV)
K1	Fe-Co	12	$HV_{0.1}$
K2	Fe-Co-Ta (%5 wt)	12	$HV_{0.1}$
K3	Fe-Co-Ta (%10 wt)	12	$HV_{0.1}$
K4	Fe-Co-Ta (%15 wt)	12	$HV_{0.1}$
K5	Fe-Co-Ta (%20 wt)	12	$HV_{0.1}$

4.7. Çentik Darbe Testi

Kaplama numunelerine INSTRON WOLPERT PW30 markalı cihaz ile Charpy Çentik testi yapılmıştır. Numuneler test standartlarına uygun hale getirilerek (Şekil 4.8) işlem tamamlanmıştır. Deney sonrası örnek numune Şekil 4.9’ da belirtilmiştir.



Şekil 4.8 Charpy Çentik Testi Numuneleri



Şekil 4.9 Charpy Çentik Deney Sonunda Kırılan Numune Örneği

5. BULGULAR

Tungsten Asal Gaz kaplama yöntemi ile Hardox 500 altlık malzemeyle birlikte Fe, Co ve Ta ilave toz karışımlarıyla uygulanan prosesler verimli bir şekilde gerçekleştirildi. Mikroyapısal ve mekanik olarak gerçekleştirilen test sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

5.1. Mekanik Testlerin İncelenmesi

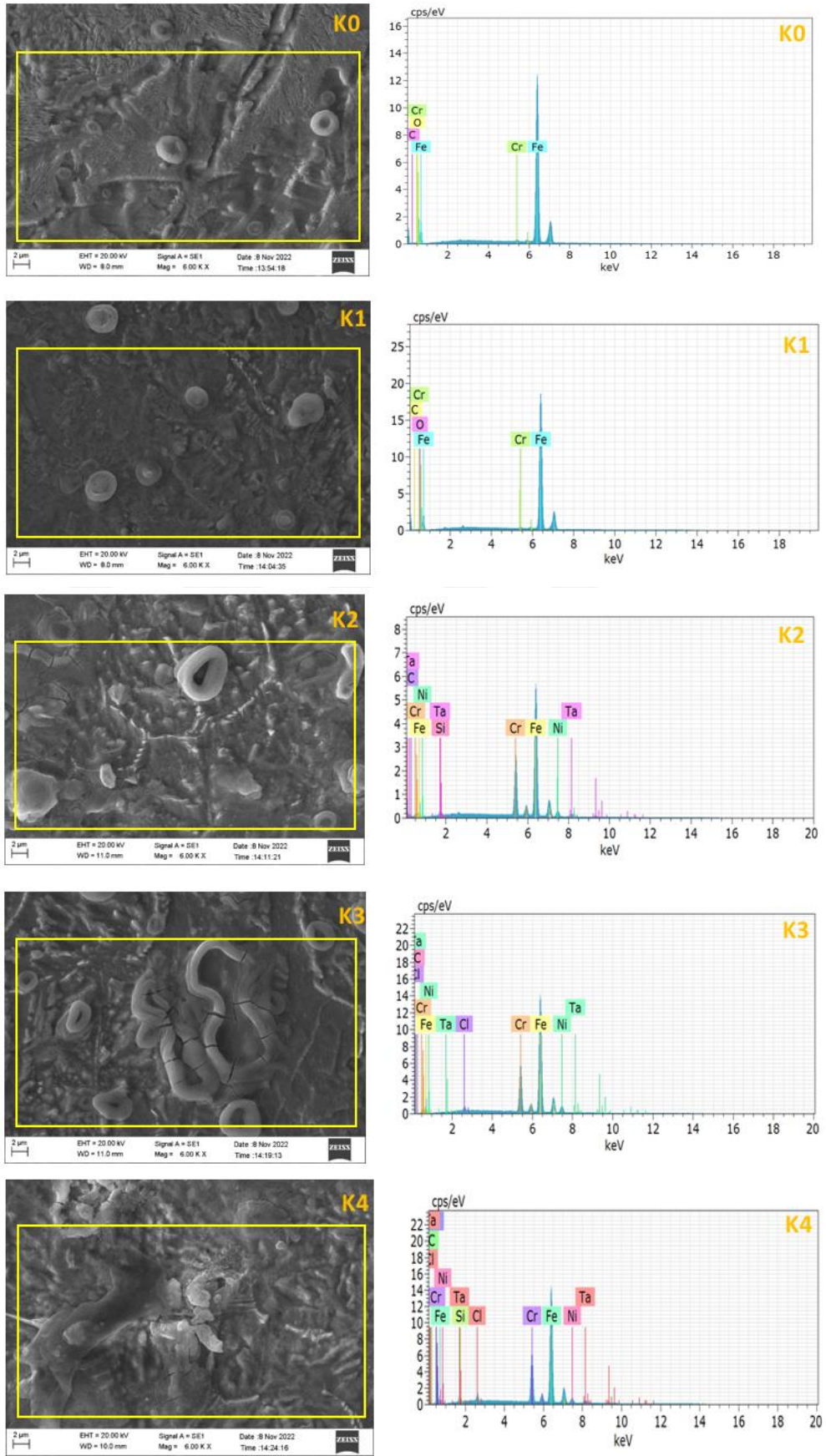
Yüzey kaplama işlemi tamamlanan deney numunelerine uygulanan mekanik testlere ait veriler incelenmiştir.

5.1.1. Charpy Darbe Testi Bulguları

Yüzeyi kaplanan numunelerin oda sıcaklığında yapılan test sonucu Charpy V-Notch enerjisi (CVN) sonuçları Çizelge 5.1. ' de belirtilmiştir. Demir ve Kobalt ihtiva eden ana matris darbe tokluğu izod 150 Joule (J) standartında 65 J olarak tespit edilmiştir. Kaplama takviye elementlerin oranının artması sonucu darbe tokluğu değerinin düştüğü belirlenmiştir. Bu değerler sünek yapıdan ziyade gevrek bir yapıya dönüşümün olduğunu göstermektedir. Şekil 5.1 kopan numunelerin SEM mikroyapısal yüzey görüntülerini göstermektedir. SEM analizi incelendiğinde yapıda kırılma meydana gelen mikroyapısal bölgeler görülmektedir. Kaplama bölgelerinin Charpy darbe testi sonuçları, numunelerin tamamının koptuğunu göstermektedir. Kopan numunelere ait veriler Tablo 5.1' de ifade edilmiştir.

Tablo 5.1 Charpy V-Notch Darbe Deneyi Sonuçları

Numune	150 Joule (Izod)	Sonuç
K0	65 J	Kırıldı
K1	58 J	Kırıldı
K2	42 J	Kırıldı
K3	31 J	Kırıldı
K4	26 J	Kırıldı



Şekil 5.1 Charpy V-Notch Test Sonrası Kırılan Yüzeylerin SEM ve EDX Analizleri

5.1.2. Mikrosertlik Bulguları

Numunelerde enine kesit alınarak, ana metal, kaplama ve Isı tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere 3 farklı bölgeden 5 ölçüm yapıp, ortalama mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. Yapı içerisinde alaşım elementlerinin miktarları arttıkça Vickers mikrosertlik ölçümleri artış göstermiştir. Charpy V-Notch darbe testi sonuçları doğrultusunda Vickers mikrosertlik sonuçları baz alınırsa yapının mekanik olarak sertleştiği ve kırılgan, gevrek yapıya dönüşüm görülmektedir. Ölçümler sonucunda en yüksek değer K4 (Fe-Co-Ta (%20 wt)) no'lu numunede 385 HV olarak tespit edilmiştir. Ölçümlere ait sonuçların ortalama değerleri Tablo 5.2' de belirtilmiştir.

Tablo 5.2 Vickers Mikrosertlik Sonuçları

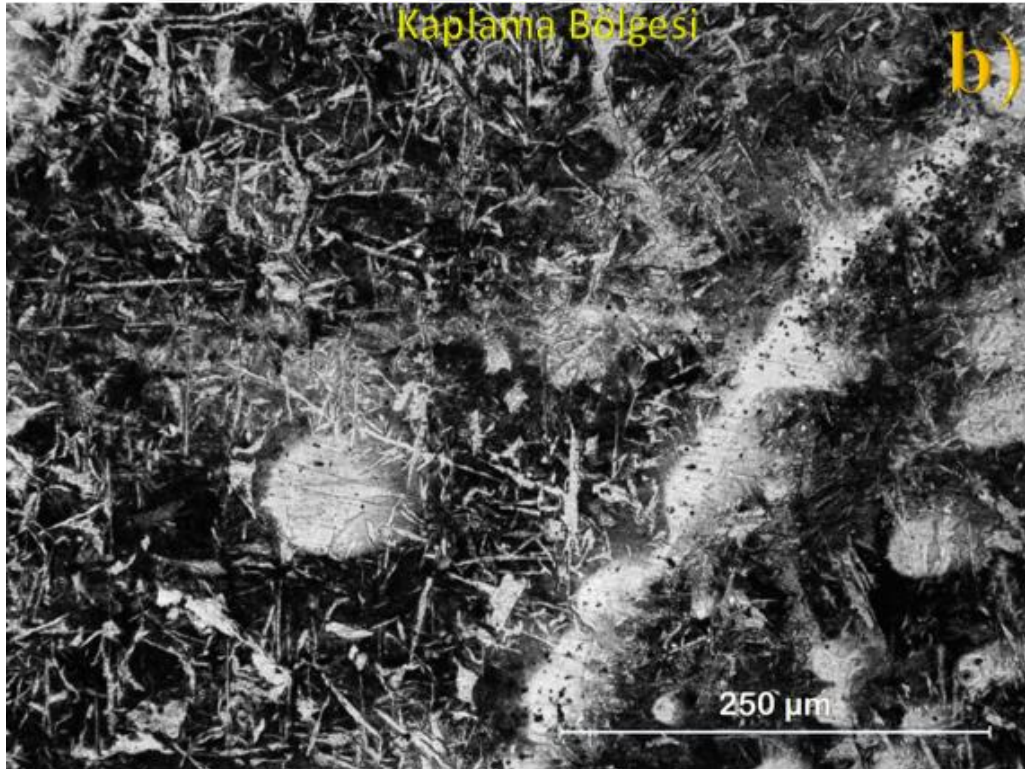
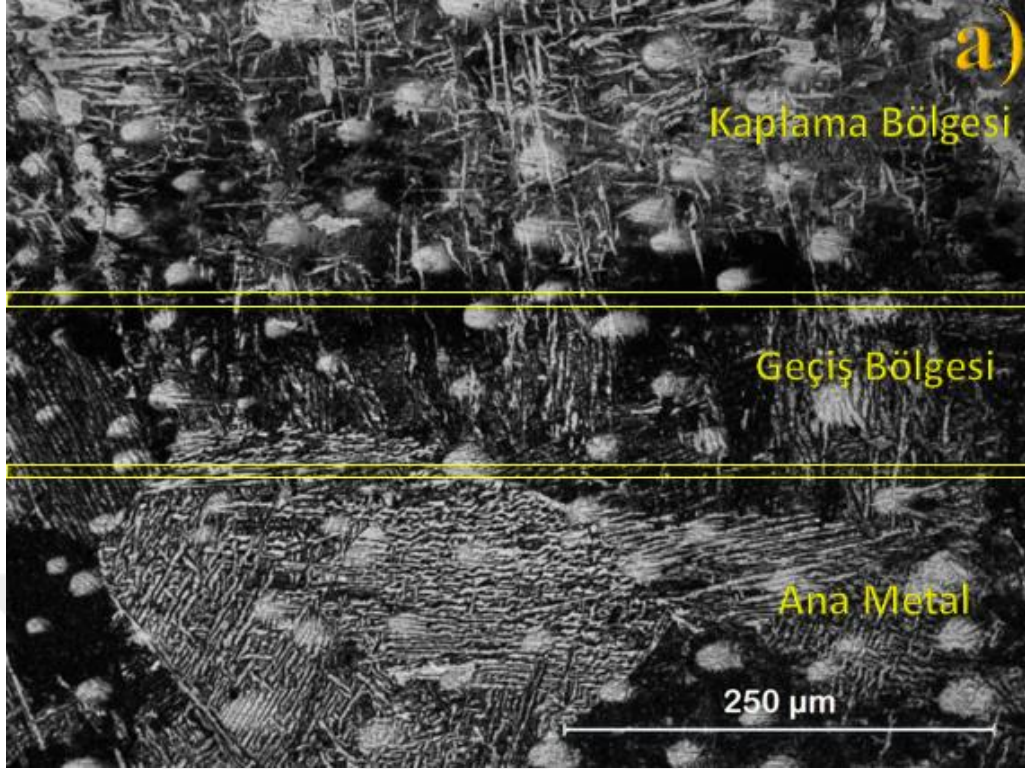
Numune	Alaşım	Ölçüm Metodu (HV)	Ana Metal (HV)	ITAB Bölgesi (HV)	Kaplama Bölgesi (HV)
K0	Fe-Co	$HV_{0.1}$	271	232	241
K1	Fe-Co-Ta (%5 wt)	$HV_{0.1}$	265	256	307
K2	Fe-Co-Ta (%10 wt)	$HV_{0.1}$	248	283	342
K3	Fe-Co-Ta (%15 wt)	$HV_{0.1}$	245	286	348
K4	Fe-Co-Ta (%20 wt)	$HV_{0.1}$	234	291	365

5.2. Mikroyapı Sonuçlarının İncelenmesi

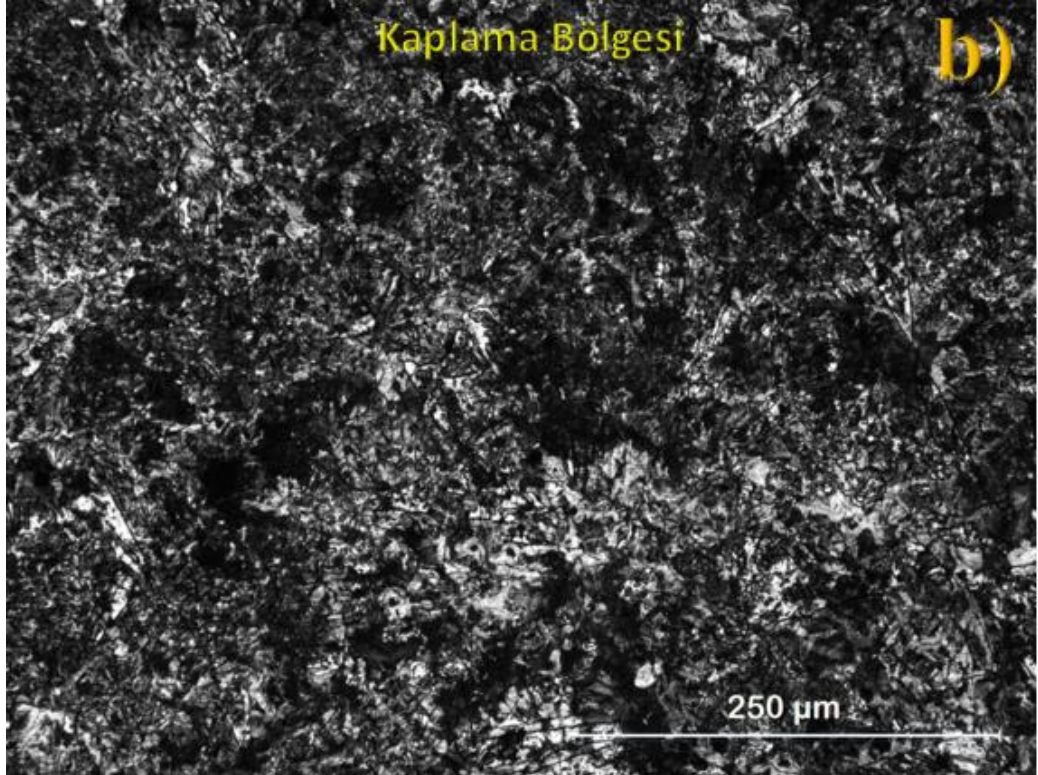
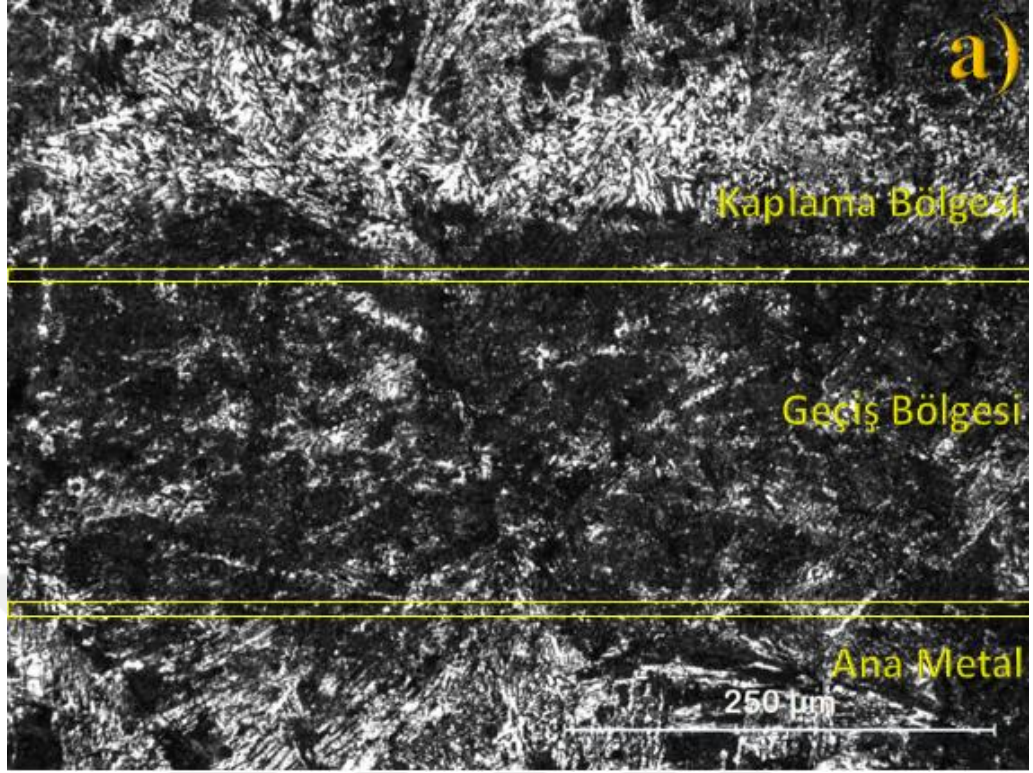
Hardox 500 çeliğine TIG kaplama yöntemi uygulandıktan sonra mikroyapı testleri yapılmıştır. Yapılan testler ile ilgili bu bölümde yüzey morfolojisi hakkında bilgi verilecektir.

5.2.1. Optik Muayene Bulguları

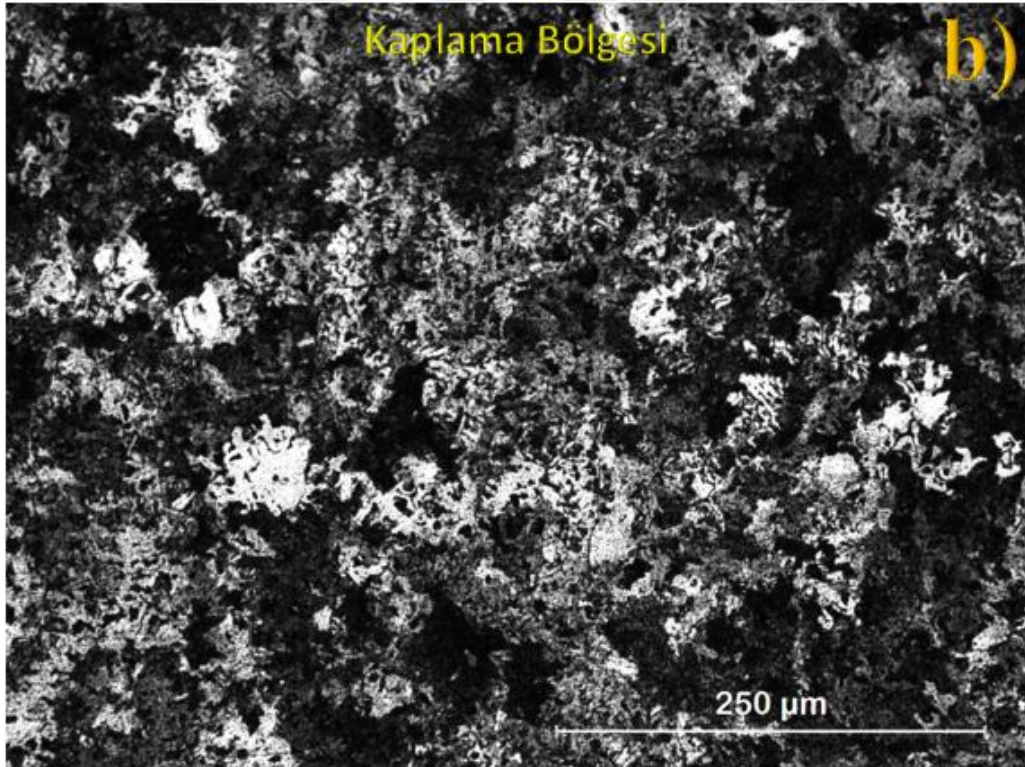
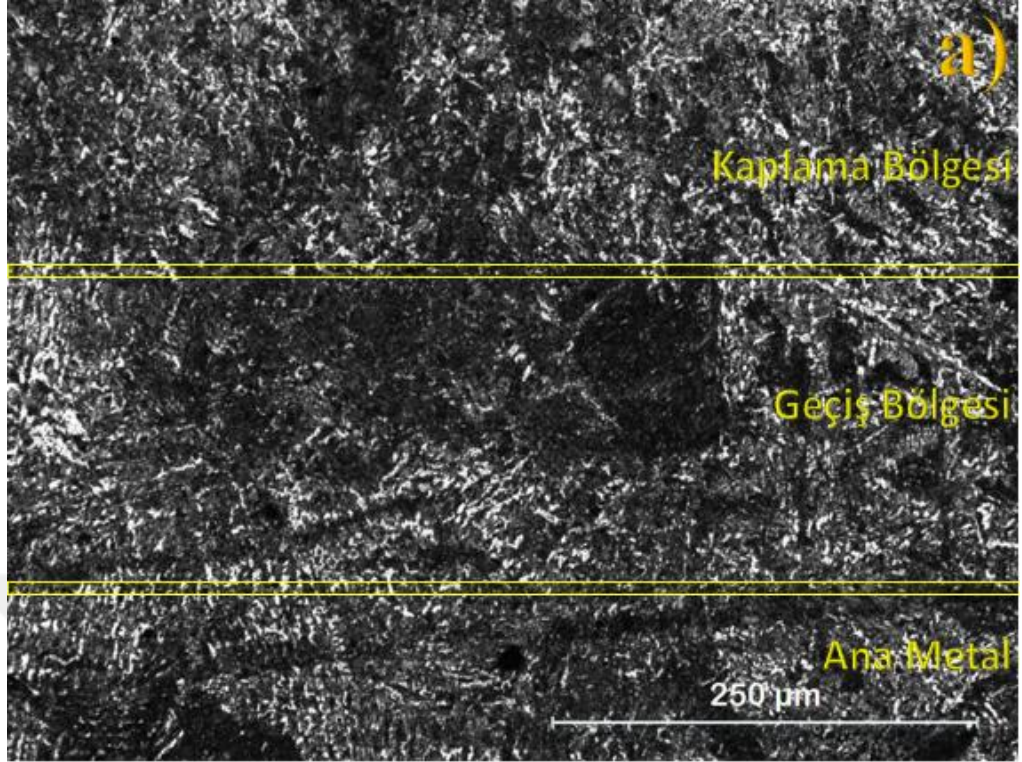
Mikroyapıların optik incelemeleri sırasıyla 50X, 100X, 200X, 500X ve 1000X olmak üzere 5 farklı lens kullanılarak irdelenmiştir. Mikroyapılara ait görüntüler 200X büyütmede net görüldüğünden görüntüler 200X olarak kullanılmıştır. Mikroyapılara ait görüntüler Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 üzerinde gösterilmiştir.



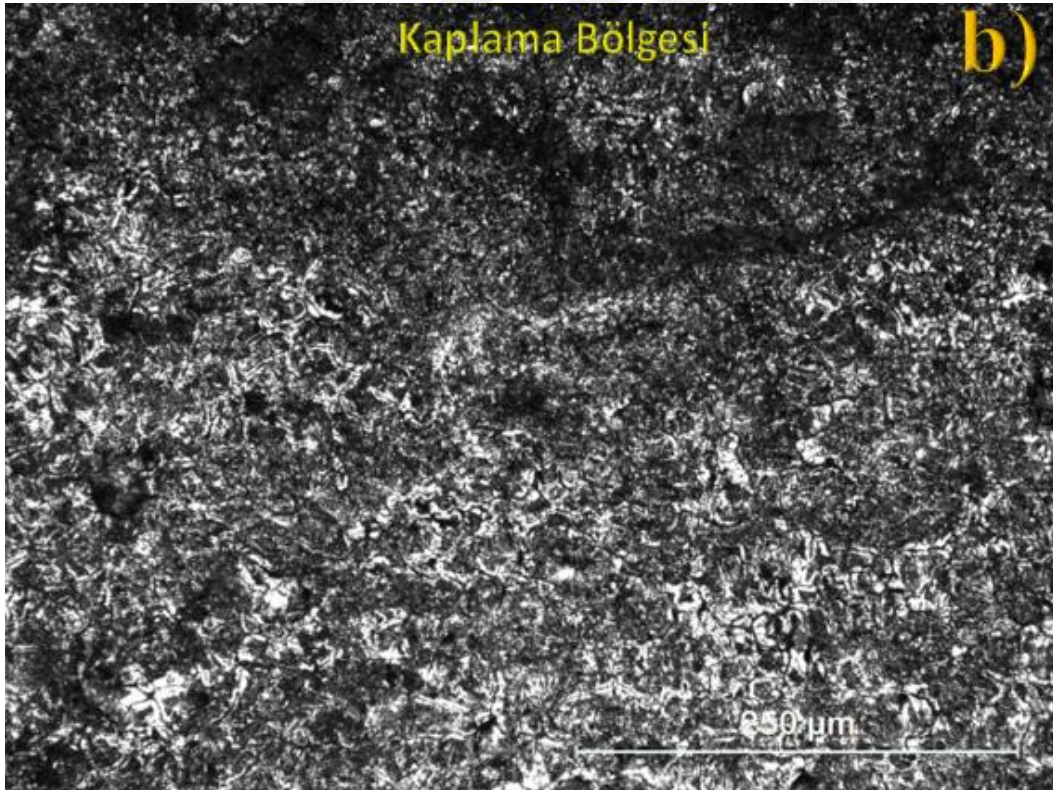
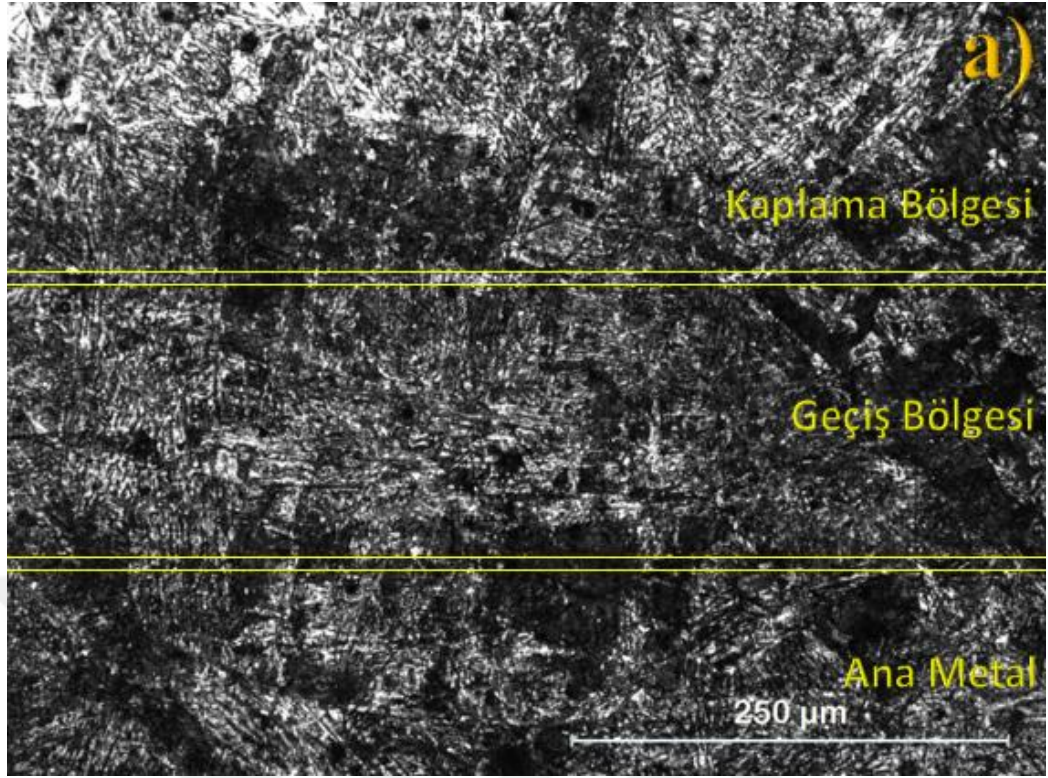
Şekil 5.2 K0 no' lu Numunenin Optik Muayenesi (a) Genel Mikroyapı, b) Kaplama Bölgesinin Mikroyapısı)



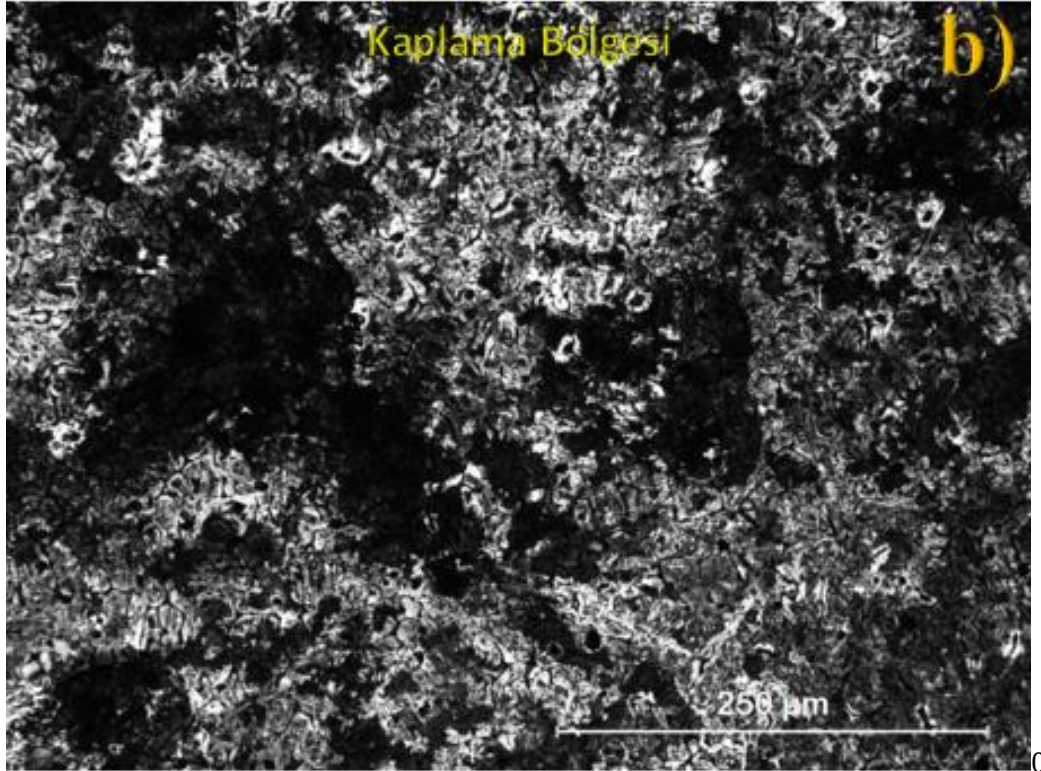
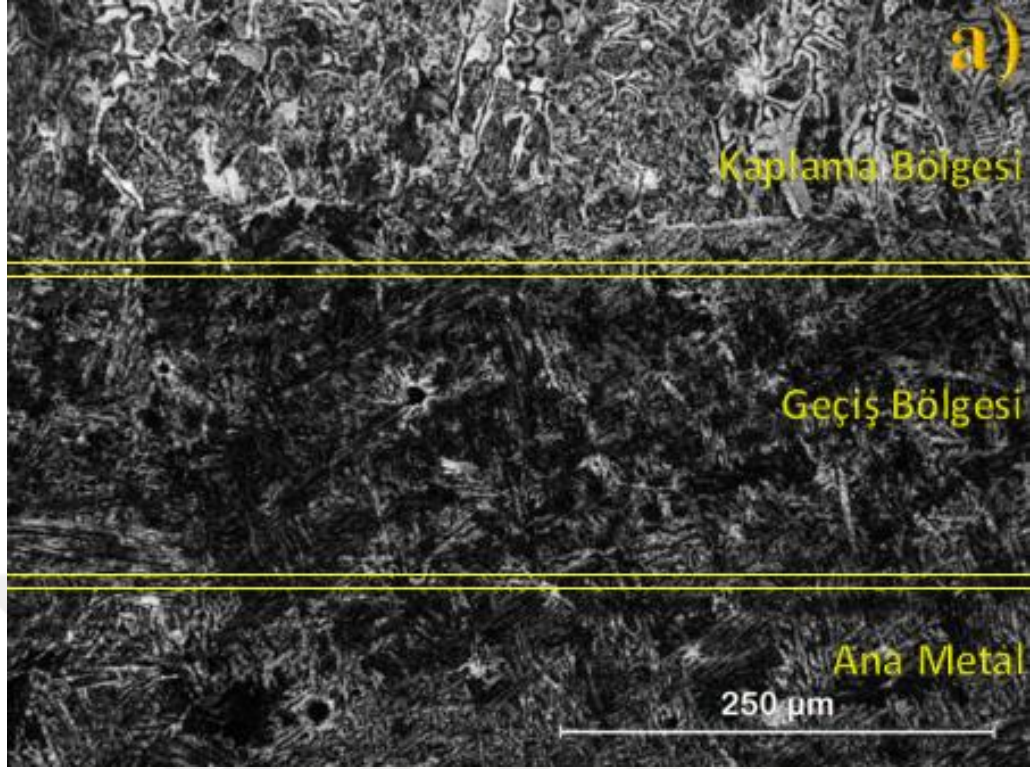
Şekil 5.3 K1 no' lu Numunenin Optik Muayenesi (a) Genel Mikroyapı, b) Kaplama Bölgesinin Mikroyapısı)



Şekil 5.4 K2 no' lu Numunenin Optik Muayenesi (a) Genel Mikroyapı, b) Kaplama Bölgesinin Mikroyapısı)



Şekil 5.5 K3 no' lu Numunenin Optik Muayenesi (a) Genel Mikroyapı, b) Kaplama Bölgesinin Mikroyapısı)



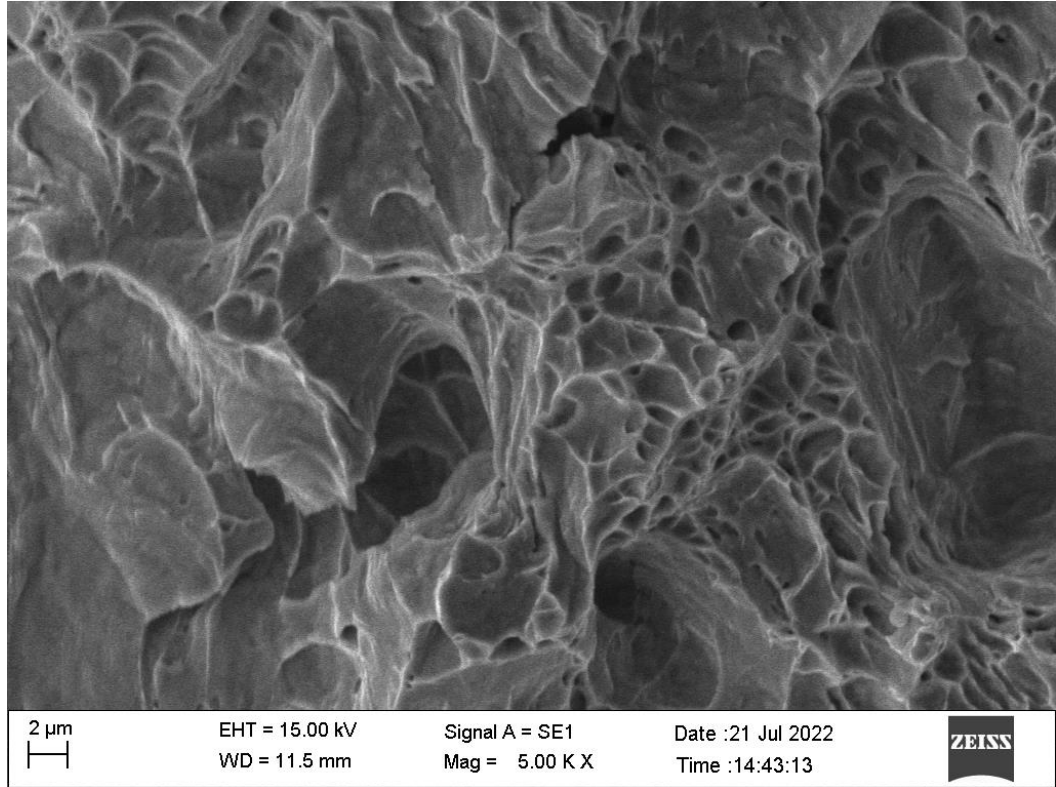
Şekil 5.6 K4 no' lu Numunenin Optik Muayenesi (a) Genel Mikroyapı, b) Kaplama Bölgesinin Mikroyapısı)

Optik görüntüleme işlemi ana metal, geçiş bölgesi ve kaplama yüzeyi olmak üzere üç kısımda irdelendi. Muayene sonucunda K0, K1, K2, K3 ve K4 no' lu kaplama numunelerinin geçiş bölgeleri, kaplama prosesi sonrasında soğuma aşamasında farklı yönlerde çekirdeklenmeye başladığı görülmektedir. Kaplama bölgesinin mikro yapısı Ta elementinin karbür oluşturuca özelliği baz alındığın da Fe ve Co ana matrisle heterojen çekirdeklenme hareketiyle ötektik yapı oluşumu gözlemlenmektedir [58].

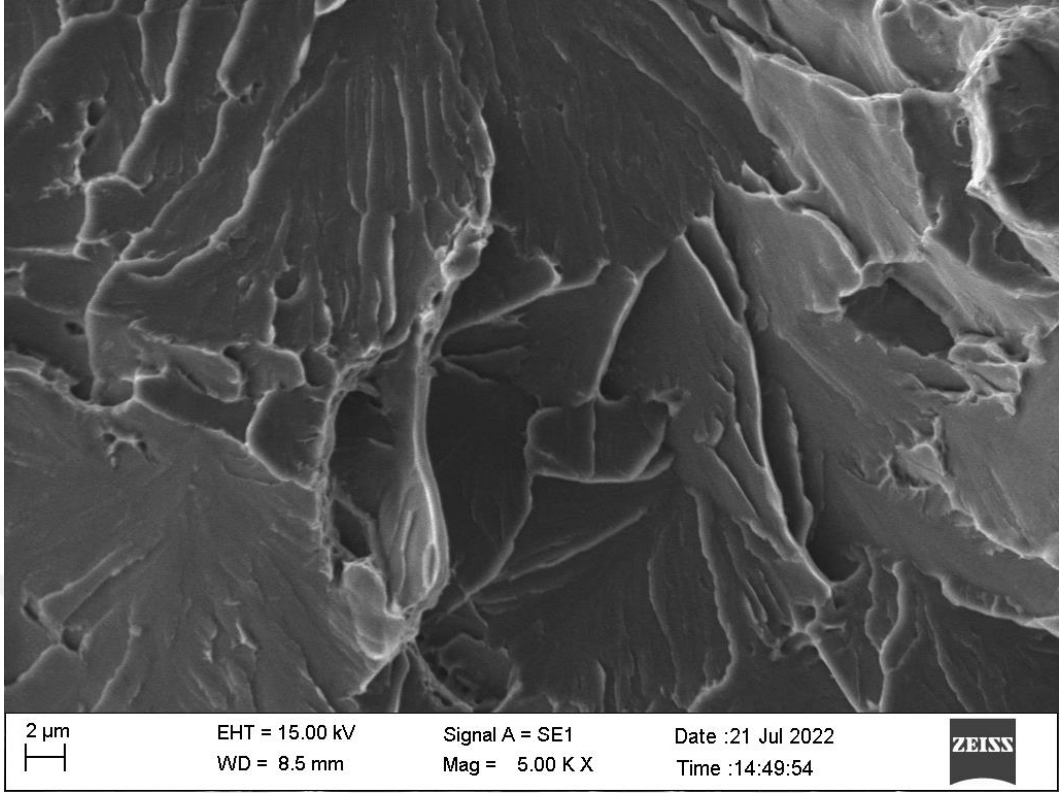
İğnensi olarak yapıda görülen fazlar kaynak işlemi sonrası tipik dentritik oluşumdan ibarettir.

5.2.2. SEM Analizi Bulguları

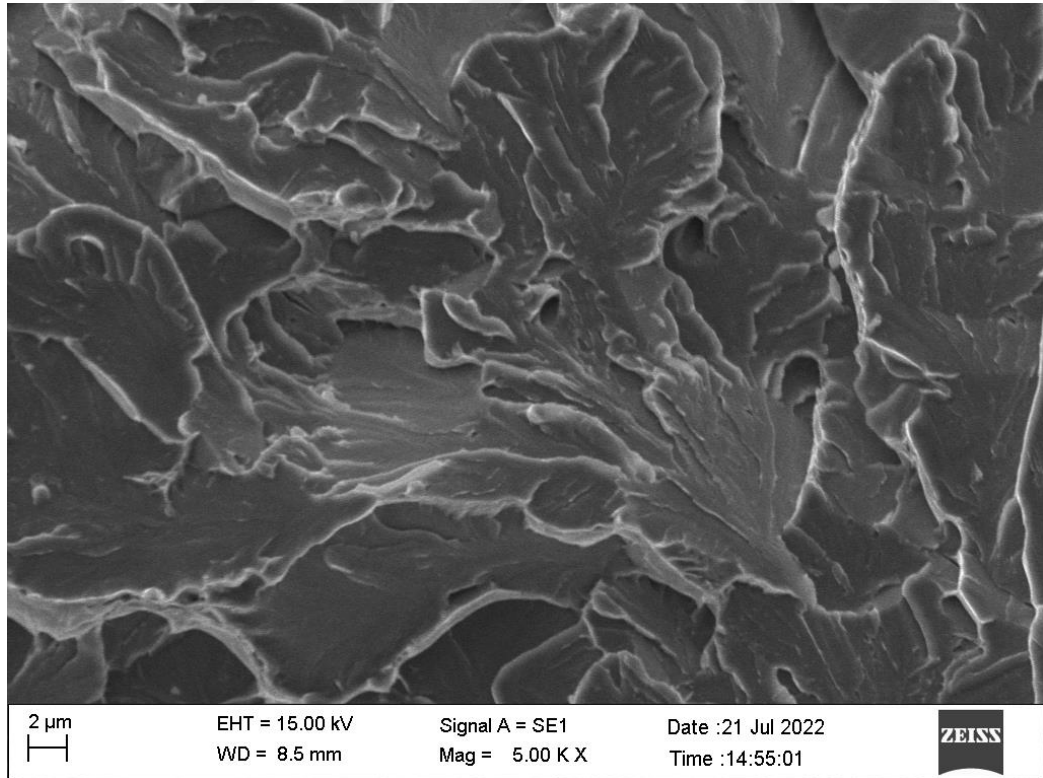
Optik görüntüleri alınan kaplama bölgelerinin 5000X büyütmede SEM analizi yapılarak mikroyapı incelemeleri tamamlanmıştır. Görüntüler Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, ve Şekil 5.11' de gösterilmiştir. Mikroyapıda kaynak enerjisinden kaynaklı yetersiz nüfuziyetsizlikten ötürü kaplama bölgesinde genel olarak kaynak boşlukları (gözenek oluşumu) görülmektedir. SEM görüntüleri optik muayeneyi destekler nitelikte olup, yapı içerisinde ötektik oluşumlar görülmektedir, Yapı homojen olmamakla birlikte ana metale göre tane boyutunun arttığı görülmektedir.



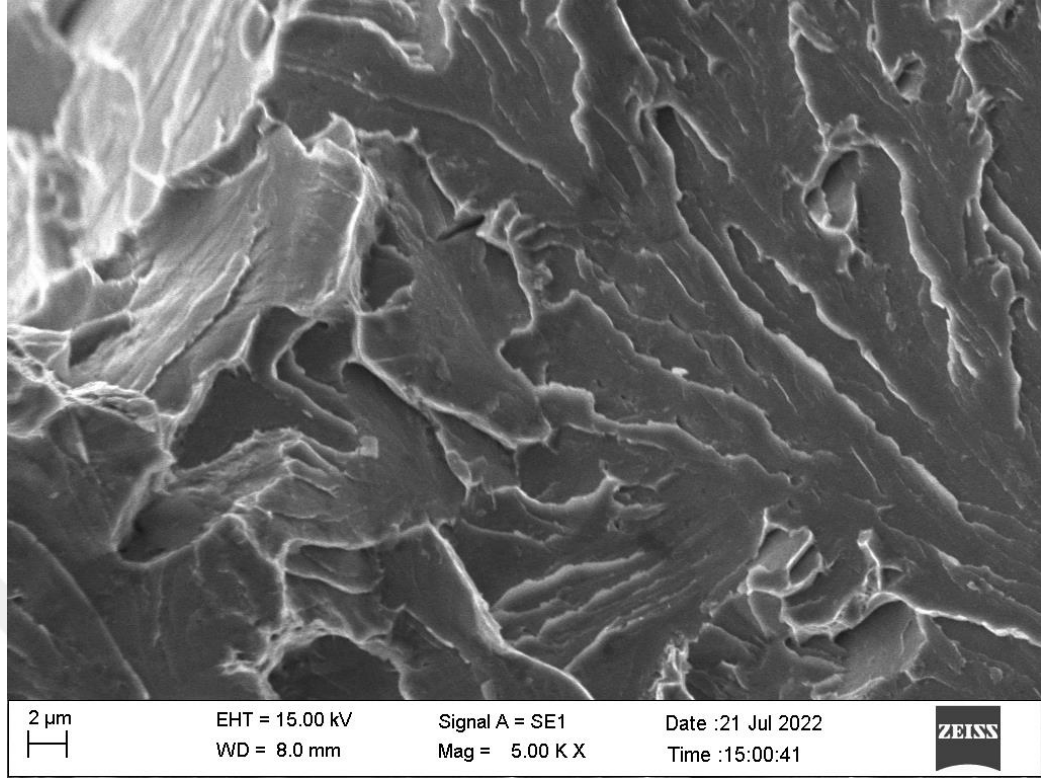
Şekil 5.7 K0 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi



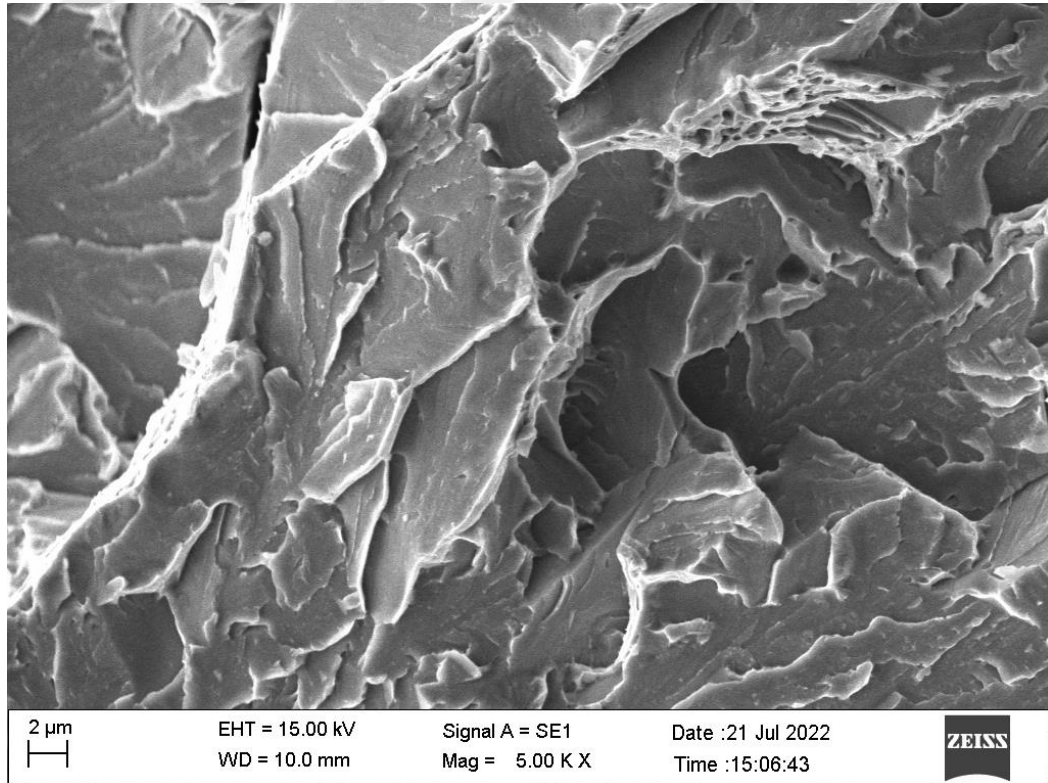
Şekil 5.8 K1 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi



Şekil 5.9 K2 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi



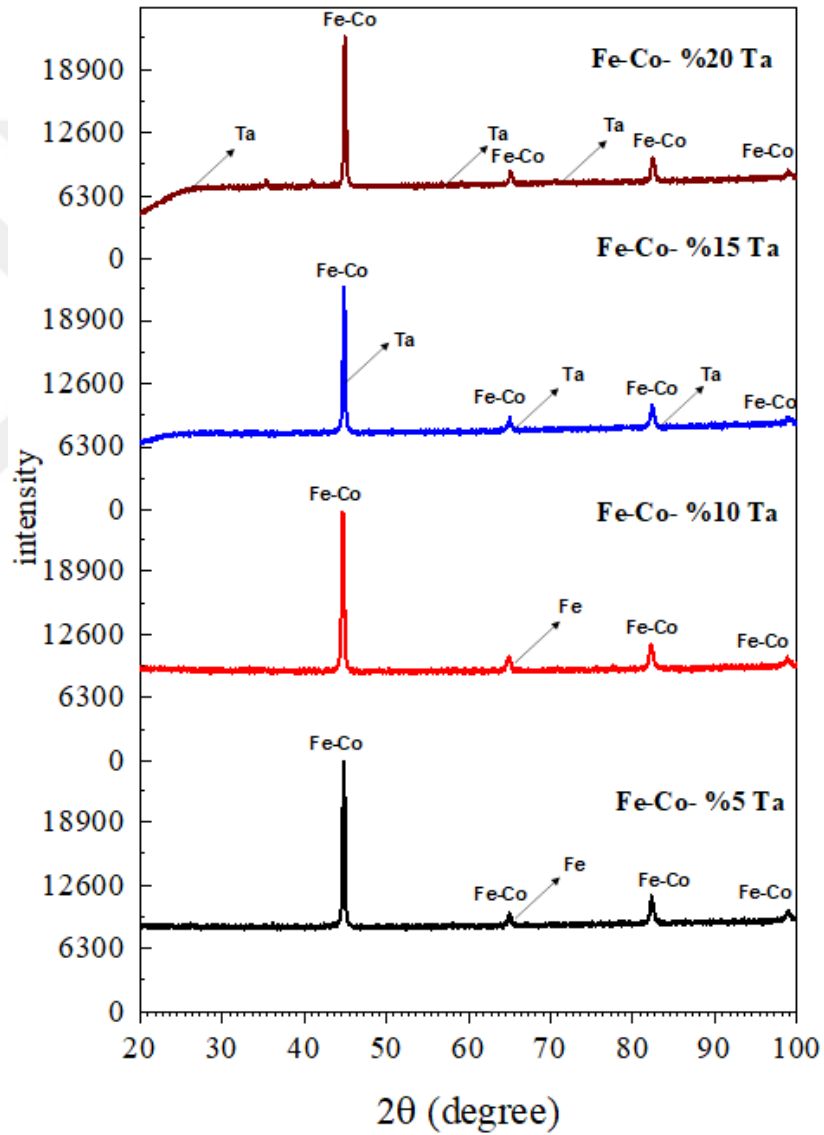
Şekil 5.10 K3 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi



Şekil 5.11 K3 no' lu Numunenin Kaplama Bölgesi SEM Analizi

5.2.3. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi Bulguları

Kaplama işlemleri sonucunda yüzey morfolojisinde meydana gelen faz ve bileşik değişimlerini belirlemek için numuneler x-ışını kırınımı testine tabii tutulmuştur ve Şekil 5.12’ de gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde kaplama yüzeyinde yapılan XRD analizi sonuçlarında Fe, Fe₇₁Co₂₉ ve Ta bileşik ve metaller tespit edilmiştir. Meydana gelen bileşik ve fazların mekanik yapıyı doğrudan etkilediği, Charpy testi göz önüne alındığında yapının sert ve kırılğan yapıya dönüşümünde rol aldığı düşünülmektedir. XRD grafiği Şekil 5.12’ de belirtilmiştir.



Şekil 5.12 XRD Analizi Grafiği

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Tungsten Asal Gaz (TIG) yüzey kaplama metoduyla Hardox 500 çeliğin kaplama işlemi yapılmıştır. Fe-Co ana matris ve Fe-Co-Ta tozlarının belirli oranlarda ilave edilmesiyle farklı yüzey modifikasyon özelliklerinde değişimler meydana gelmiştir. Farklı oranlarda kullanılan tozlar ve kaplamada kullanılan kaynak üretim parametreleri esas alınarak mikro yapı ve mekanik özellikler açısından etkiler incelenmiştir. Yüzey kaplama işlemleri sonunda numunelerin, SEM, EDS, XRD ve mikrosertlik değerleri verilendirilmiştir. Elde edilen verilerle birlikte aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

SEM, EDS ve optik mikroskop analizlerine göre genele yayılmamakla birlikte noktasal kaynak boşluk hataları nüfuziyetsizlikten kaynaklı gözlemlenmiştir. Ancak alaşımlanan tozların, altlık malzeme ile başarılı bir şekilde kaplandığı görülmektedir. Optik görüntü incelemelerinde Ana metal, geçiş bölgesi ve kaplama bölgesi, mikroyapıdaki faz değişimleriyle belirgin bir şekilde görülmektedir.

Fe-Co ana matrisine belirli oranlarda eklenen Ta tozunun oranı arttıkça tane boyutunun büyüdüğü ve kaynak işleminde tipik oluşan dentritik yapının çoğaldığı optik muayene ve SEM analizleri sonucunda görülmektedir.

Mekanik olarak yapıyı test etmek amacıyla yapılan mikrosertlik ve Charpy çentik darbe testi sonucunda kaplanan numunelerin, altlık malzemeye nispeten sertlik ve dayanımında azalma tespit edilmiştir. Yapının kaplama işlemi sonunda sert ve kırılgan yapıya dönüşümü sebep olarak gösterilebilir. 364 HV sertlik değeriyle en yüksek mikrosertlik değeri K4 no'lu numunede kaplama bölgesinde tespit edilmiştir. En düşük mikrosertlik değeri K0 no'lu numunede 232 HV olarak belirlenmiştir.

ÖNERİLER

Yüzey kaplama üretim parametreleri değiştirilerek kaplama kalitesini arttıracak şekilde çalışmalar yapılabilir.

Kullanılan ana matris ve takviye tozu değiştirilerek, farklı yüzey morfolojisi ve mekanik özellikler elde edilebilir.

Yapılan testlere ek olarak aşınma, eğilme ve burkulma gibi testlere tabii tutularak mekanik özellikler incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Anonim, 2019. <https://www.etnacelik.com.tr/karbonlu-celikler/> (Erişim Tarihi: 25.08.2023)
- [2] 24. şavaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Makine Mühendisliği, KTÜ, Derya Kitabevi, Trabzon, 132-168, (1999).
- [3] ÖZTÜRK S., 2023. Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin Sıcak Haddeme Sonrası İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Eksilmez N., 2021. Hardox500 Çeliğinin Lazerle Kesilmesinde Kesme Geometrisinin ve İşleme Parametrelerinin Kesim Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [5] <https://www.ssab.com/tr-tr/markalar-ve-urunler/hardox/urun-programi>
- [6] Ahn, B.R., & Kim, N.J. (1998). Analysis and prevention of cracking phenomena during bending of cold-rolled 430 stainless steel. *Journal of Materials Science Letters*, 17(7), 573-576. doi: 10.1023/a:1006577721705
- [7] Anonim, 2019. Ferritik Paslanmaz Çelikler (<https://www.kayacimetal.net/paslanmaz-celik-teknik-bilgiler/#1513947037067-b642e6e5-8a04>) (Erişim Tarihi: 05.06.2021)
- [8] Fu, H., Min, J., Zhao, H., Xu, Y., Hu, P., Peng, J., & Dong, H. (2019). Improved mechanical properties of aluminum modified ultra-pure 429 ferritic stainless steels after welding. *Materials Science and Engineering A*, 749, 210–217.
- [9] Anonim, 2020. Martenzitik Paslanmaz Çelikler (<https://www.nscelik.com/kopyas%C4%B1-otomat-%C3%A7elikleri>) (Erişim Tarihi: 05.06.2021)
- [10] Kulkarni, Dheerendra K. Dwivedi, M. Vasudevan (2019), Effect of oxide fluxes on activated TIG welding of AISI 316L austenitic stainless steel, In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 18, pp. 4695–4702)
- [11] Z. Huang, Z. X. Guo, L. Liu, Y. Y. Guo, J. Chen, Z. Zhang, J.L. Li, Y. Li, Y. W. Zhou, Y. S. Liang (2021), Structure and corrosion behavior of ultra-thick nitrided layer produced by plasma nitriding of austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, 405, 126689.
- [12] Anonim, 2021. Östenitik Paslanmaz Çelik (https://tr.wikipedia.org/wiki/316L_Paslanmaz_%C3%87elik) (Erişim Tarihi: 05.06.2021)
- [13] Anonim, 2021. Dupleks Paslanmaz Çelik (<https://www.unifiedalloys.com/blog/what-is-duplex-stainless/>) (Erişim Tarihi: 05.06.2021)
- [14] Gowthaman, P. S., Jeyakumar, S., & Saravanan, B. A. (2019). Machinability and tool wear mechanism of Duplex stainless steel - a review. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1423–1429.
- [15] Esfandiari, M., & Dong, H. (2007). The corrosion and corrosion-wear behaviour of plasma nitrided 17-4PH precipitation hardening stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 202(3), 466–478.
- [16] Mohammad Soltani, H., & Tayebi, M. (2018). Comparative study of AISI 304L to AISI 316L stainless steels joints by TIG and Nd:YAG laser welding. *Journal of Alloys and Compounds*, 767, 112–121.
- [17] Ulutan, M., Yildirim, M. M., & Buytoz, S. (2009). TigYöntemiyleYüzeyiSertleştirilen Aisi 41ÇeliğininMikroyapıİncelemesi. *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, 12(11).
- [18] Doshi, S., Jani, D. B., Gohil, A. V., & Patel, C. M. (2020). Progress in the arc plasma temperature measurement and its finite element analysis in pulsed MIG welding process. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2745–2750.
- [19] Altuntaş, M. 2015. AISI 304L Paslanmaz Çeliğin MIG ve TIG Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- [20] Madavi, K. R., Jogi, B. F., & Lohar, G. S. (2021). Investigational study and microstructural comparison of MIG welding process for with and without activated flux. *Materials Today: Proceedings*.
- [21] Kumar, R., Dikshit, I., & Verma, A. (2020). Experimental investigations and statistical modelling of dilution rate and area of penetration in submerged arc welding of SS316-L. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3997–4003.
- [22] Choudhary, A., Kumar, M., & Unune, D. R. (2019). Experimental investigation and optimization of weld bead characteristics during submerged arc welding of AISI 1023 steel. *Defence Technology*, 15(1), 72–82.
- [23] Sridhar, P. V. S. S., Biswas, P., & Mahanta, P. (2019). Influence of welding current on bead profile and mechanical properties of double sided submerged arc welding of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 19, 831–836.
- [24] Chang, C. L., Hsu, M. T., Lin, H. K., Chuang, K., & Huang, J. (2023). Effects of metal film coatings on surface properties of laser-textured stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 461, 129446.
- [25] Kumar Das, A. (2022). Recent developments in TIG torch assisted coating on austenitic stainless steel: A critical review. *Materials Today: Proceedings*, 57, 1846–1851.
- [26] G.Tosun, S.Buytoz, Microstructural Properties of Fe–Cr–C/NbC Composite Coating Produced on Medium Carbon Steel Surface by TIG Coating Process, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2231-2241
- [27] Fan, C., Chen, M. C., Chang, C. M., & Wu, W. (2006). Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology*, 201(3–4), 908–912.
- [28] Kumar, A., & Das, A. K. (2021). Evolution of microstructure and mechanical properties of Co–SiC tungsten inert gas cladded coating on 304 stainless steel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(3), 591–604.
- [29] Kumar, S., & Das, A. K. (2022). Wear resistance and hardness properties of TiB₂– Fe coating developed on AISI 1020 steel by tungsten inert gas (TIG) cladding. *Ceramics International*, 48(20), 30052–30065.
- [30] M. Ulutan , M. Yıldırım ve S. Buytoz , "TIG Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, sayı. 1, ss. 93-107, Haz. 2009
- [31] K. Gür , M. H. Cengiz ve S. Taşkaya , "Mikroalaşımli Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve İncelenmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı. 3, ss. 969-979, Eyl. 2019
- [32] Sadeghi, F., Najafi, H., & Abbasi, A. (2017). The effect of Ta substitution for Nb on the microstructure and wear resistance of an Fe–Cr–C hardfacing alloy. *Surface and Coatings Technology*, 324, 85–91.
- [33] Kumar, A., Batham, H., & Das, A. K. (2021). Microhardness of Fe–TiB₂ composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1291–1295.
- [34] Guo-lu, L., Ya-long, L., Tian-shun, D., Bin-Guo, F., Hai-dou, W., Xiao-dong, Z., & Xiu-kai, Z. (2018). Microstructure and interface characteristics of NiCrBSi thick coating remelted by TIG process. *Vacuum*, 156, 440–448.
- [35] Buytoz, S., Ulutan, M., & Yildirim, M. M. (2005). Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings. *Applied Surface Science*, 252(5), 1313–1323.
- [36] Alirezai, M. A., Raiszadeh, R., & Khayati, G. (2022). TIG-cladding of Al–Cu and Al–Cu–Sn alloys on pure Al substrate. *Materials Today Communications*, 33, 104624.
- [37] Sekhar, B. R., Nayak, R. K., Rout, S. R., & Masanta, M. (2020). Wear characteristic of TiC coated AISI 1020 mild steel fabricated by TIG cladding method. *Materials Today: Proceedings*, 26, 3288–3291.

- [38] Saroj, S., Sahoo, C. K., Tijo, D., Kumar, K., & Masanta, M. (2017). Sliding abrasive wear characteristic of TIG clad TiC reinforced Inconel825 composite coating. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 69, 119–130.
- [39] Waghmare, D. T., Kumar Padhee, C., Prasad, R., & Masanta, M. (2018). NiTi coating on Ti-6Al-4V alloy by TIG cladding process for improvement of wear resistance: Microstructure evolution and mechanical performances. *Journal of Materials Processing Technology*, 262, 551–561.
- [40] An, Q., Huang, L., Jiang, S., Li, X., Gao, Y., Liu, Y., & Geng, L. (2017). Microstructure evolution and mechanical properties of TIG clad TiB reinforced composite coating on Ti-6Al-4V alloy. *Vacuum*, 145, 312–319.
- [41] Çelik, O. N., Ulutan, M., Gaşan, H., Er, Ü., & Buytoz, S. (2011). Effects of graphite content on the microstructure and wear properties of an AISI 8620 steel surface modified by tungsten inert gas (TIG). *Surface and Coatings Technology*, 206(6), 1423–1429.
- [42] Sahoo, C. K., & Masanta, M. (2017). Microstructure and tribological behaviour of TiC-Ni-CaF₂ composite coating produced by TIG cladding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 243, 229–245.
- [43] Sahoo, C. K., Soni, L., & Masanta, M. (2016). Evaluation of microstructure and mechanical properties of TiC/TiC-steel composite coating produced by gas tungsten arc (GTA) coating process. *Surface and Coatings Technology*, 307, 17–27.
- [44] Arjmand, S., Khayati, G. R., & Akbari, G. H. (2019). Al/Ti₅Si₃-Al₃Ti composite prepared via in-situ surface coating of Ti using tungsten inert gas welding. *Journal of Alloys and Compounds*, 808, 151739.
- [45] Kumar, S., Ghosh, P. K., & Kumar, R. (2017). Surface modification of AISI 4340 steel by multi-pass TIG arcing process. *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 394–406.
- [46] Ghadami, F., Heydarzadeh Sohi, M., & Ghadami, S. (2015). Effect of TIG surface melting on structure and wear properties of air plasma-sprayed WC-Co coatings. *Surface and Coatings Technology*, 261, 108–113.
- [47] Zhu, L., Cui, Y., Cao, J., Tian, R., Cai, Y., Xu, C., Han, J., & 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.
- [48] Tavoosi, M., & Arjmand, S. (2017). In situ formation of Al/Al₃Ti composite coating on pure Ti surface by TIG surfacing process. *Surfaces and Interfaces*, 8, 1–7.
- [49] Debta, M. K., & Masanta, M. (2022). Effect of stand-off-distance on the performance of TIG clad TiC-Co coating deposited on Ti-6Al-4V alloy. *Surface and Coatings Technology*, 434, 128210.
- [50] Lailatul, P. H., & Maleque, M. A. (2017). Surface Modification of Duplex Stainless Steel with SiC Preplacement Using TIG Torch Cladding. *Procedia Engineering*, 184, 737–742.
- [51] Singh, J., Thakur, L., & Angra, S. (2020). Abrasive wear behavior of WC-10Co-4Cr cladding deposited by TIG welding process. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 88, 105198.
- [52] Cheng, F. T., Lo, K. H., & Man, H. C. (2003). NiTi cladding on stainless steel by TIG surfacing process Part II. Corrosion behavior. *Surface and Coatings Technology*, 172(2–3), 316–321.
- [53] Mridha, S. (2005). Titanium nitride layer formation by TIG surface melting in a reactive environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 168(3), 471–477.
- [54] Meng, J., Shi, X., Zhang, S., Wang, M., Xue, F., Liu, B., Cui, W., & Bian, L. (2019). Friction and wear properties of TiN-TiB₂-Ni based composite coatings by argon arc cladding technology. *Surface and Coatings Technology*, 374, 437–447.
- [55] Sahoo, C. K., & 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.
- [56] Cheng, F. T., Lo, K. H., & Man, H. C. (2003). NiTi cladding on stainless steel by TIG surfacing process: Part I. Cavitation erosion behavior. *Surface and Coatings Technology*, 172(2–3), 308–315.
- [57] Indra Reddy, M., Madhavarao, S., Rama BhadriRaju, C., Anil Kumar, M., & Ravi Varma, P. (2022). The effect of carbon fiber powder reinforced composite coating on mechanical properties of TIG welded black steel pipes. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3516–3521.

- [58] Chang, C. L., Hsu, M. T., Lin, H. K., Chuang, K., & Huang, J. (2023). Effects of metal film coatings on surface properties of laser-textured stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 461, 129446



ÖZGEÇMİŞ

Ali TUNÇ

[illegible]

Age Group	Should Take Action (%)	Should Not Take Action (%)
18-29	95	5
30-49	95	5
50-69	95	5
70+	95	5

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

Service	Percentage
Online banking	95%
Mobile banking	85%
ATM services	75%
Branch services	65%
Other services	55%