

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FeCr MATRİSLİ TA İLAVELİ KOMPOZİT KAPLAMANIN  
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Alper ANLAROĞLU**

Yüksek Lisans Tezi

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Seramik Bilim Dalı

OCAK 2024

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

**FECr MATRİSLİ TA İLAVELİ KOMPOZİT KAPLAMANIN  
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tez Yazarı  
**Alper ANLAROĞLU**

Danışman  
Doç. Dr. Soner BUYTOZ

OCAK 2024  
ELAZIĞ

**T.C.**  
**FIRATÜNİVERSİTESİ**  
**FENBİLİMLERİENSTİTÜSÜ**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

---

Başlığı: FeCr Matrisli Ta İlaveli Kompozit Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Yazarı: Alper ANLAROĞLU

İlk Teslim Tarihi: 12.12.2023

Savunma Tarihi: 16.01.2024

---

**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. Soner BUYTOZ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ali Kaya GÜR Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan BALLIKAYA İnönü Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	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 “FeCr Matrisli Ta İvelili Kompozit Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atf 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.

16.01.2024

**Alper ANLAROĞLU**



# ÖNSÖZ

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

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından TEKF.21.35 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

**Alper ANLAROĞLU**  
ELAZIĞ, 2024

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAPLAMA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Kaplama Yöntemleri.....	3
2.1.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD) .....	4
2.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD) .....	4
2.1.3. Sol Jel Prosesi .....	5
2.1.4. Termal Sprey Kaplama Metodu .....	5
2.2. Kaynak Kaplaması ve Kaynak Yöntemleri .....	14
2.2.1. Tozaltı Kaynağı.....	15
2.2.2. Elektrocüruf Kaynağı .....	16
2.2.3. Lazer Kaynağı .....	18
2.2.4. Elektron Işın Kaynağı.....	19
2.2.5. Plazma Kaynağı.....	20
2.2.6. Örtülü Elektrot Kaynağı.....	22
2.2.7. Gazaltı Kaynağı.....	23
2.2.8. Özlü Elektrot Kaynağı.....	25
2.2.9. Gaz Tungsten (TIG) Ark Kaynağı.....	29
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>37</b>
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>42</b>
4.1. Deneyin Amacı.....	42
4.2. Malzeme ve Yöntem.....	42
4.3. Mikroyapı İncelemeleri .....	45
4.4. Mikrosertlik Ölçümleri .....	46
4.5. Kaplamaların SEM-EDS ve X-RAY Analizleri .....	46
4.6. Charpy Çentik Darbe Testi .....	47
<b>5. TARTIŞMA VE BULGULAR.....</b>	<b>48</b>
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİ .....</b>	<b>54</b>
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

### FeCr Matrisli Ta İlaveli Kompozit Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Alper ANLAROĞLU

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri  
Ocak 2024, Sayfa: xi +57

Hem metal ve alaşımların yüzey sertliğini hem de yorulma mukavemetini, aşınma direncini ve korozyon direncini artırmak için birçok teknik kullanılmaktadır. Fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, lazer ışını kaplama ve tungsten inert gaz (TIG) yüzey kaplama gibi prosedürler, bu metotlara örnek olarak gösterilebilir. Tungsten inert gaz (TIG) yüzey kaplama yöntemi, bu teknikler arasında önemli bir araştırma alanı olmuştur. TIG yöntemi, diğer gelişmiş tekniklere kıyasla daha ekonomik olması, düşük yatırım maliyeti, düşük bakım maliyeti ve kullanımının kolaylığı gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı tercih edilmektedir. Tantal (Ta), yüksek ergime noktası, üstün korozyon direnci ve yüksek mukavemet özellikleri ile karakterize edilerek birçok endüstriyel uygulamada kullanılan bir kimyasal elementtir. Tantal kaplamaları, AISI 304 çeliğin yüzey özelliklerini artırabilir. Ancak, Ta elementinin doğrudan çelik yüzeyine kaplanması genellikle mümkün olmadığı için, genellikle Fe-Cr gibi matrislere katılarak alaşım oluşturulmaktadır. Bu bağlamda, AISI 304 çelik üzerine Fe-Cr-Ta alaşımı TIG yöntemiyle uygulanır. Demir-krom (Fe-Cr) içeren alaşımlar, düşük maliyetle birlikte yüksek mukavemet ve mükemmel korozyon direnci özelliklerine sahiptir. Bu çalışmada, AISI 304 çelik yüzeyi, farklı oranlarda (%0, 5, 10, 15, 20) tantal (Ta) tozları ilave edilerek Fe-Cr matrisi içinde TIG yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Üretim parametreleri belirlenirken, altlık malzemenin ergime sıcaklığı yerine, temel olarak Fe-Cr matrisinin ergime sıcaklığı esas alındı. Kaplama işlemi sonrasında mikroyapı ve faz analizi için optik mikroskop, SEM (Scanning Electron Microscope), EDX (energy dispersion spectroscopy) ve XRD (X-ray diffraction) cihazları kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümü ve Charpy çentik darbe deneyi gerçekleştirilerek takviye oranına bağlı mekanik özellikler değerlendirildi. Analiz sonuçlarına göre, mikroyapıda dendritik yapıların varlığı tespit edildi. Sertlik ve darbe deneylerinde elde edilen sonuçlar, takviye miktarına bağlı olarak farklılık gösterdi.

**Anahtar Kelimeler:** Nadir element, TIG yöntemi, Kompozit malzeme

# ABSTRACT

---

## The Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of a FeCr Matrix Composite Coating with Added Ta

Alper ANLAROĞLU

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Metallurgical and Materials Engineering Technologies

January 2024, Pages: xi + 57

---

Many techniques are used both to increase the surface hardness of metals and to improve fatigue strength, wear resistance and corrosion resistance. Procedures such as physical vapor deposition, chemical vapor deposition, laser beam coating and tungsten inert gas (TIG) surface coating are examples of these methods. Tungsten inert gas (TIG) surface coating method has been an important research area among these techniques. The TIG method is preferred because it is more economical compared to other advanced techniques, has low investment cost, low maintenance cost and ease of use. Tantalum (Ta) is a chemical element used in many industrial applications, characterized by its high melting point, superior corrosion resistance and high strength properties. Tantalum coatings can improve the surface properties of AISI 304 steel. However, since it is usually not possible to coat Ta directly on the steel surface, the alloy is usually formed by adding it to matrices such as Fe-Cr. In this context, Fe-Cr-Ta alloy is applied on AISI 304 steel by TIG method. Iron-chromium (Fe-Cr) containing alloys have high strength and excellent corrosion resistance properties along with low cost. In this study, the surface of AISI 304 steel was coated using the TIG method in Fe-Cr matrix by adding tantalum (Ta) powders at different ratios (0, 5, 10, 15, 20 %). When determining the manufacturing parameters, the melting temperature of the Fe-Cr matrix was taken as a basis instead of the melting temperature of the base material. Optical microscope, SEM (Scanning Electron Microscope), EDX (energy dispersion spectroscopy) and XRD (X-ray diffraction) were used for microstructure and phase analysis after the coating process. Microhardness measurement and Charpy notch impact test were performed to evaluate the mechanical properties depending on the reinforcement ratio. According to the analysis results, the presence of dendritic structures in the microstructure was determined. The results obtained in hardness and impact tests differed depending on the amount of reinforcement.

**Keywords:** Rare element, TIG (Tungsten Inert Gas) welding method, Composite material

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Kaplama teknolojilerinin yıllara ve uygulama alanlarına göre tarihsel gelişimi..... 3
Şekil 2.2.	Gözenekli yüzey üzerine yapılmış CVD işlemi ..... 4
Şekil 2.3.	a) PVD Şematik gösterimi, b) Saçılma kaynaklı PVD uygulama şekli ..... 5
Şekil 2.4.	Termal sprej metodu ile yapılmış kaplama ..... 6
Şekil 2.5.	Termal sprej yöntemlerinin sınıflandırılması..... 6
Şekil 2.6.	Termal sprej yöntemlerinin enerji kaynaklarına göre sınıflandırılması ..... 7
Şekil 2.7.	Termal sprej yöntemi proses şeması ..... 7
Şekil 2.8.	Termal Sprej Yöntemi Prosesine etki eden faktörler ..... 8
Şekil 2.9.	Plazma sprej kaplama uygulamaları..... 9
Şekil 2.10.	a) Plazma sprej tabancası, b) Üçlü plazma sprej tabancası ..... 9
Şekil 2.11.	Ark Sprej uygulaması ..... 10
Şekil 2.12.	Detonasyon alev püskürtme tabancası ..... 10
Şekil 2.13.	HVOF tabancası..... 11
Şekil 2.14.	Soğuk gaz sprej şeması ..... 11
Şekil 2.15.	Toz alev püskürtme yöntemi şematik gösterimi ..... 12
Şekil 2.16.	Alev sprej yönteminde kullanılan yalıtkan parçacıkların ısıl davranışları ..... 14
Şekil 2.17.	Toz altı bant kaplama kaynağı ..... 15
Şekil 2.18.	Elektrocüruf kaynağıyla kaplama yöntemi ..... 17
Şekil 2.19.	Lazer kaynağı prensibi..... 18
Şekil 2.20.	Elektron ışın kaynağı sistemi ..... 19
Şekil 2.21.	Plazma kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemi ..... 20
Şekil 2.22.	Taşınan ark ve taşınmayan ark..... 21
Şekil 2.23.	Örtülü elektrot kaynağı yöntemi ..... 22
Şekil 2.24.	Kısa ark oluşumu gösterimi ..... 23
Şekil 2.25.	(a) Uzun ark ve (b) sprej ark geçişi gösterimi ..... 24
Şekil 2.26.	Kendinden korumalı özlü elektrot ark kaynağı ..... 26
Şekil 2.27.	Özlü elektrotla ark kaynağı..... 26
Şekil 2.28.	TIG kaynağı işleminin şematik gösterimi ..... 30
Şekil 2.29.	TIG kaynak metodunda malzeme et kalınlığı baz alınarak kullanılan akım miktarları ..... 30
Şekil 2.30.	Parça kalınlığına ve gaz nozülüne bağlı olarak argon tüketiminin tüketim oranları ..... 32
Şekil 2.31.	Önerilen elektrot şekli ve aynı akımda elektrot ucunun dikiş formuna etkisi ..... 33

<b>Şekil 2.32.</b>	a) Elle ark kaynağı ve TIG kaynağı için, b) MIG/MAG kaynakları için kaynak akım üretici karakteristik diyagramı .....	34
<b>Şekil 4.1.</b>	Kaplamada kullanılan tozların morfolojileri ve EDS spektrumları; (a) Fe tozu, (b) Cr tozu ve (c) Ta tozu .....	43
<b>Şekil 4.2.</b>	TIG kaynak yöntemiyle kaplama yapılan Fe-Cr-Ta kaplamasının makro görüntüsü .....	45
<b>Şekil 4.3.</b>	Nikon Eclipse MA200 marka optik metal mikroskop .....	45
<b>Şekil 4.4.</b>	EMCOTEST DuraScan marka sertlik ölçüm cihazı .....	46
<b>Şekil 4.5.</b>	Instron – Wolpert PW 30 marka charpy çentik deney test cihazı .....	47
<b>Şekil 5.1.</b>	Numunelerin optik mikroskop görüntüleri .....	49
<b>Şekil 5.2.</b>	Fe-Cr-Ta ile alaşımlandırılan (N3 numunesi) katmanın SEM mikroyapısı .....	50
<b>Şekil 5.3.</b>	XRD analiz grafiği .....	51
<b>Şekil 5.4.</b>	Mikrosertlik ve Charpy çentik testi verileri .....	52
<b>Şekil 5.5.</b>	Numunelerin SEM görüntüleri .....	53

## TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1.</b> Termal sprey metoduna ve kaplama malzemesine göre kaplama yapışma mukavemeti (MPa).....	13
<b>Tablo 2.2.</b> TS EN 439 baz alınarak koruyucu gazların nitelikleri.....	31
<b>Tablo 2.3.</b> TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi .....	35
<b>Tablo 4.1.</b> AISI 304 çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	44
<b>Tablo 4.2.</b> Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri .....	44
<b>Tablo 4.3.</b> TIG yöntemiyle kaplama için deney koşullarının detayları .....	44
<b>Tablo 4.4.</b> TIG kaynak parametreleri.....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

---

CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
Nd: YAG	: 1064 nm dalga boyuna sahip katı hal lazer sistemidir
TiC	: Titanyum Karbür
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
XRD	: X-Işınları Difraktometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

### Kısaltmalar

---

TIG	: Tungsten İner Gaz
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
D-GUN	: Detonasyon Alev Püskürtme
CGS	: Soğuk Gaz Spreyleme Metodu
MIG	: Metal İner Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
AISI	: Amerika Demir Çelik Enstitüsü

# 1. GİRİŞ

Yüzey mühendisliği, bir malzemenin yüzey özelliklerini, alt katman tabakasından bağımsız olarak geliştirmeyi amaçlayan bir süreçtir. Bu geliştirmeler, görüntüsel, dokunmatik, optik, korozyona karşı direnç veya tribolojik özellikler gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Yüzey mühendisliğinin tribolojik uygulamalarındaki yaygın iki hedefi, bir malzemenin hasar veya aşınma direncini artırmak ve sürtünme davranışını değiştirmektir. Bazı durumlarda, her iki hedefi aynı anda elde etmek mümkündür. Parçanın yüzey mühendisliği genellikle üç ana kategoriye ayrılabilir.

- Birinci kategori, malzeme bileşimini değiştirmeksizin yüzeyde modifikasyon sağlayan yöntemleri içermektedir. Bu işlemler, mevcut yüzeyi bir şekilde değiştirmek için kimyasal dönüşüm sertleşmesi ve yüzey çözünmesi gibi yöntemleri içermektedir, ancak malzeme bileşiminde herhangi bir değişiklik yapmamaktadır.
- İkinci kategoride, yüzey modifikasyonu, yüzey bileşiminde bir değişiklik aracılığıyla elde edilir. Bu, katı bir çözelti oluşturularak, kafes yapısının bozulmasıyla mevcut kristal yapısını değiştirerek veya dönüşüm davranışında değişikliklere neden olarak gerçekleştirilebilir (örneğin karbürleme). Buna ek olarak, malzemenin kimyasal reaksiyona sokularak yüzey modifikasyonu, farklı yeni fazların oluşumuyla da mümkündür. Belirli durumlarda, yüzey mühendisliği uygulanan tabaka, bu yeni fazlardan oluşan çökeltileri içeren bir matris içinde (örneğin, çeliğin nitrürlenmesi sonucu ortaya çıkan alüminyum veya vanadyum nitrürleri gibi) ayrı bir katman meydana getirir. Ancak, bu reaksiyon tabakası genellikle tipik bir kaplama değil, malzemenin kendisinden türemiştir. Substrat ile reaksiyon tabakası arasındaki sınır, genellikle bir kaplamanın ve substratın sınırlarından daha belirsizdir ve bağlanma mukavemeti genellikle daha yüksektir. Örneğin, anodizasyon (alüminyum alaşım üzerinde alümina tabakasının oluşturulduğu) ve borürleme (demir, titanyum veya kobalt bazlı alaşımlar üzerinde borür tabakalarının oluşturulabileceği) gibi işlemler, bu tür uygulamalara örnek teşkil eder.
- Üçüncü kategoride, malzeme yüzeyine farklı bir bileşenin uygulanmasıyla (kaplama işlemleriyle) gerçekleştirilen işlemler bulunmaktadır. Renk uygulama, sert yüzey dolgu kaynakları, elektrokaplama ve kimyasal buhar biriktirme gibi yöntemler, bu sınıfa dahil edilen işlemlere örnek teşkil eder [1].

Sert yüzey kaplama kaynağı, metal bir parçada çeşitli kaynak işlemleri kullanılarak özel bir alaşımlı malzemenin biriktirilmesi yoluyla, daha istenilen aşınma özellikleri ve boyutlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu sertleştirilmiş yüzey, ekonomik bir ana metal ile birleştirilmiş, pahalı özel kaplamaların servis ömrünü uzatacağı kritik kullanım ortamlarında bir kompozit malzeme olarak düşünülebilir [1].

Bu sert yüzey oluşturma işlemi, lehimleme, metalizasyon veya ergitme kaynağı teknikleri kullanılarak tek veya çok katmanlı olarak uygulanabilir. Eğer bir malzemenin tamiri veya eksik kısımlarının tamamlanması amaçlanıyorsa, tamir edilecek ana malzemenin özelliklerine benzer bir dolgu malzemesi belirlenir. Eğer esas malzemeye farklı özellikler kazandırılması gerekiyorsa, çeşitli özelliklere sahip malzemelerle kaynak işlemi gerçekleştirilir. Genel olarak asıl malzemeye eklenmek istenen özellikler şunlardır:

- Yüzey sertliği
- Aşınma karşı koyabilme özelliği
- Korozyona direnç gösterme özelliği
- Yüksek derecede sıcaklıkta oksidasyona karşı direnç
- Darbeye karşı direnç [1].

Günümüzde bir metal parçasının sert yüzey kaplamasında kullanılacak bir dizi farklı yüzey kaplama alaşımı bulunmaktadır. Bu alaşımların bazıları yüksek sertlik değerleri sunarken, diğerleri ise parçacık takviyeli yapıları ile aşınma özelliklerini arttırmayı hedefler. Bu takviye elemanları metal matris içinde dağılmış durumdadır. Özellikle bazı alaşımlar kendi başlarına yüksek sertlik değerlerine sahipken, diğerleri tümüyle dağılmış, aşınmaya karşı dirençli parçacıklar içerir [1].

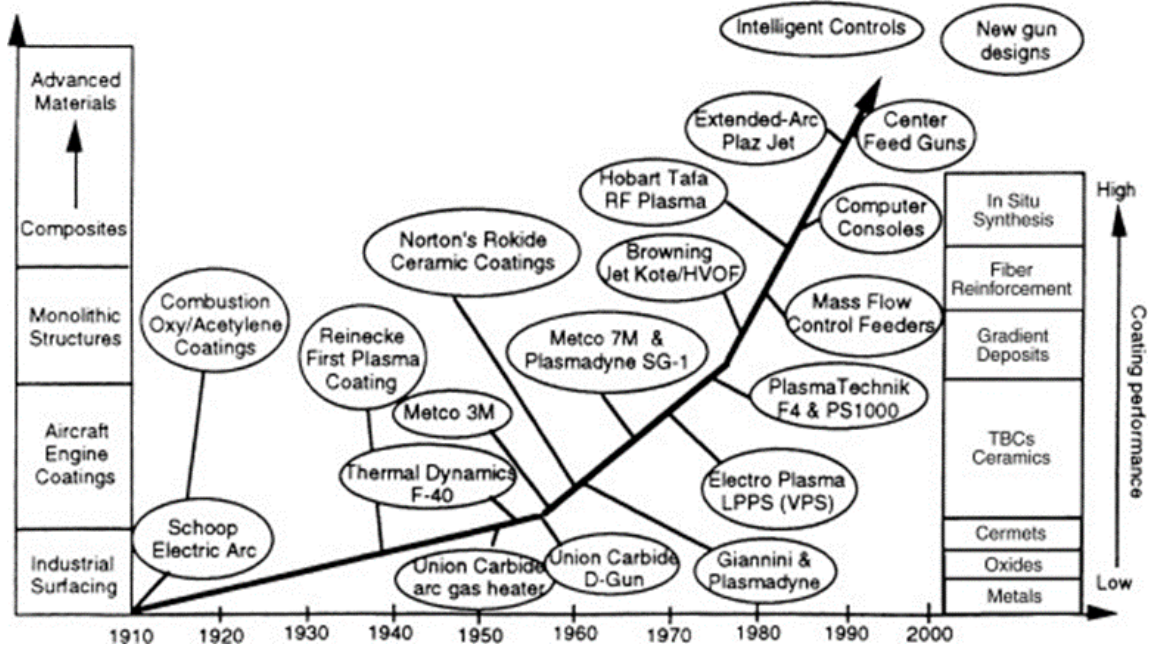
Malzemelerin yüzeylerini aşınma, korozyon ve diğer yüzey olaylarına karşı korumak amacıyla gerçekleştirilen bir mühendislik çözümü olan kaplama işlemi, yaygın bir uygulamadır. Farklı alanlarda çeşitli kaplama malzemeleri ve yöntemleri kullanılmaktadır. Bu kaplama yöntemleri arasındaki temel farklılıklar, elde edilen kaplama kalınlığı ve kaplanan malzemede meydana gelen sıcaklık değişimlerine dayanmaktadır. Bu özellikler, kaplama malzemesi ve kaplanacak malzemenin özellikleri göz önüne alınarak kaplama yöntemini seçerken belirleyici faktörlerdir [2].

TIG (Tungsten Asal Gaz) yöntemi, lazer arkı, plazma arkı ve elektron ışını kaynağı gibi bir dizi uygulamada geniş bir yelpazede kullanılmıştır [3]. TIG kaplama işlemi, kaplamanın kalınlığı, kimyasal bileşimi ve özelliklerinin kontrolü açısından diğer yöntemlere kıyasla daha avantajlıdır. Bu işlem, metal yüzeyindeki seramiklerin yüksek ergime sıcaklığına sahip olması sayesinde gerçekleştirilir ve bu yöntemle yüzey katmanı oluşturulur. Kaplanacak malzemenin yüzeyine önceden yerleştirilmiş metal tozlarının ergimesi, TIG kaynak torcundaki tungsten elektrodu ile malzeme arasında meydana gelen ark sayesinde [4].

TIG kaynak yönteminin sert yüzey dolgu kaynaklarında kullanılması, uygulamasının kolaylığı ve ekonomik oluşuyla avantaj sunmaktadır. Aynı zamanda, TIG kaynak işlemi kullanılarak kaynak hatalarının önlenmesi mümkündür. Sert dolgu kaynağıyla oluşturulan mikro yapıların korozyon ve aşınma direnci, diğer yüzey değişkenliklerine kıyasla daha üstün sonuçlar verebilir [5].

## 2. KAPLAMA

Kaplama, yüzeylerin sürtünme, aşınma, darbe, korozyon, elektrik özellikleri ve ısıl dirence karşı performanslarını artırmak, görüntüyü değiştirmek ve malzeme ömrünü uzatmak amacıyla gerçekleştirilen bir mühendislik çözümdür. İkinci Dünya Savaşı'nın sonrasında, kaplama teknolojisi hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir [6]. Şekil 2.1'de, kaplama teknolojisinin tarihsel gelişimi, zaman içindeki evrimi ve kullanım alanlarındaki değişiklikleri açıklayan bir grafik gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kaplama teknolojilerinin yıllara ve uygulama alanlarına göre tarihsel gelişimi [6]

Etkili bir kaplama genellikle güçlü bir yapışma, elverişli parçacık malzemesi, planlanan mekanik ve fiziksel özellikleri içermeli ve düşük gözeneklilik göstermelidir. Ayrıca, etkili bir kaplama yöntemi, kaplanacak malzemenin fiziksel özelliklerine (örneğin sıcaklık, ısıl genleşme katsayısı ve geometri gibi) uyumlu olmalıdır [6].

### 2.1. Kaplama Yöntemleri

Kaplama yöntemleri, kaplama sürecine, kullanılan enerji kaynağına, kaplama malzemesinin şekline ve püskürtme yöntemine bağlı olarak adlandırılmış çeşitli yöntemleri içermektedir.

### 2.1.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

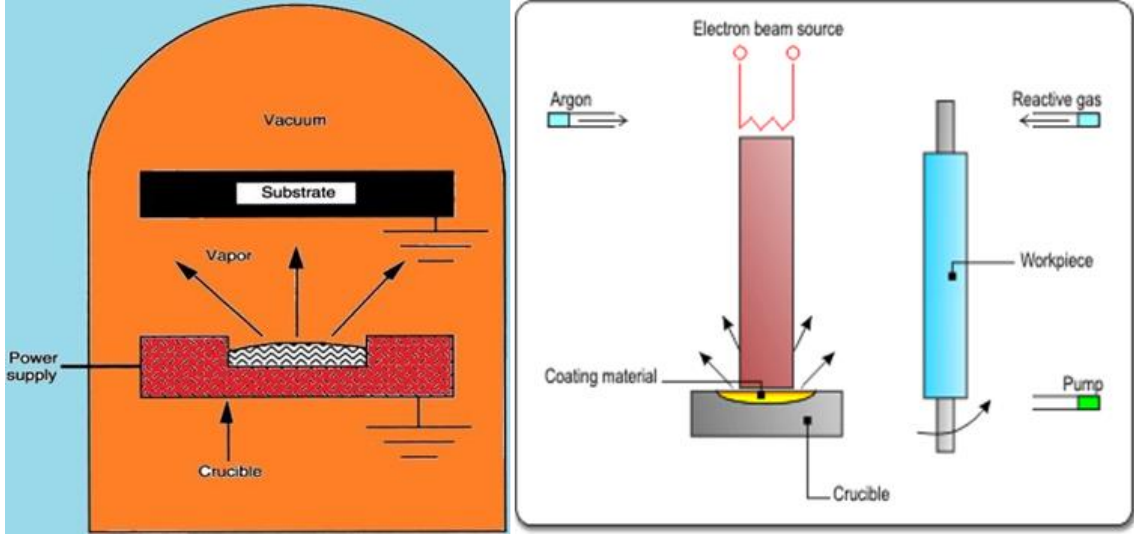
Kimyasal buhar biriktirme, gaz veya buhar fazında kaplama işlemlerinin genel adıdır. Bu proses, 1000 °C sıcaklık gerektiren bir yöntemdir. Bir vakum çemberinde yüzeye etkileşime giren gaz kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, elmas ve elmas benzeri karbon kaplamaların üretilmesinde kullanılır. En önemli dezavantajı yüksek sıcaklık gereksinimidir [6]. Şekil 2.2'de, gözenekli bir yüzeye uygulanan CVD işlemine ait bir görüntü verilmiştir.



Şekil 2.2. Gözenekli yüzey üzerine yapılmış CVD işlemi [6]

### 2.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Katı halde olan bir kaplama malzemesi, elektrik akımı kullanılarak 350°C ile 450°C'lik sıcaklıklara kadar ısıtılarak iyonlaştırılır ve bu iyonlaştırılmış malzeme başka bir yüzey üzerine biriktirilerek kaplama oluşturulan bir yöntemdir. Şekil 2.3'te, fiziksel buhar biriktirme yöntemi çeşitlerine ait metodolojik çeşitlilikler görülebilir [6].



Şekil 2.3. a) PVD Şematik gösterimi, [6] b) Saçılma kaynaklı PVD uygulama şekli [7]

Altlık malzemenin düşük sıcaklığı, mikro yapısında herhangi bir değişiklik olmamasına neden olurken, yüksek sıcaklık farklılıkları kaplamanın yapışma mukavemetini azaltabilir. Bu durum, aşınma dirençlerinin düşük olmasına yol açabilir [6].

### 2.1.3. Sol Jel Prosesi

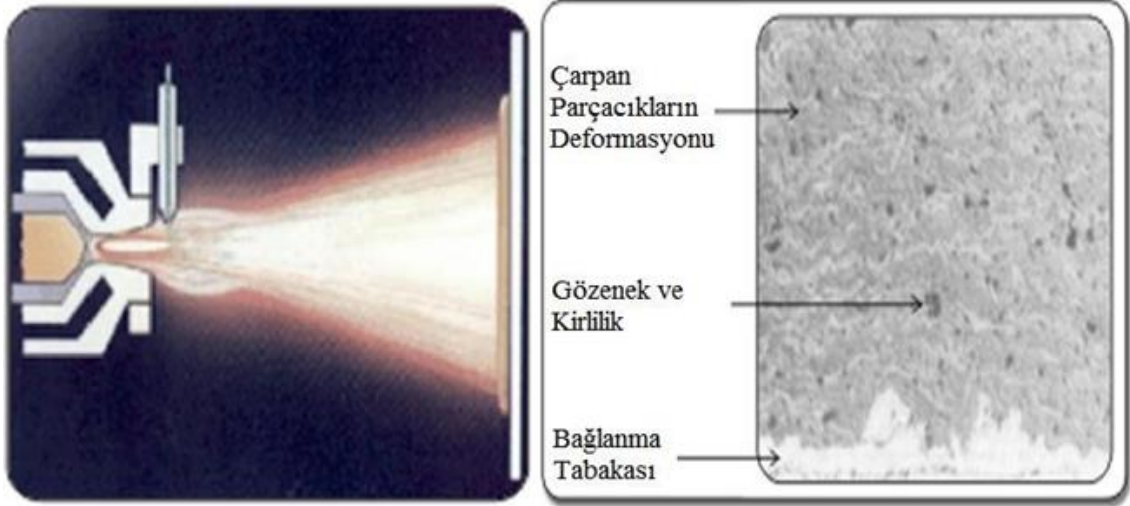
Bir sıvı içindeki katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) oluşumu ve ardından devamlı bir sıvı faz içindeki üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşumu, kimya mühendislerinin seramik tozları ve özellikle oksitler üretiminde kullandığı bir yöntemi içerir [8].

### 2.1.4. Termal Sprey Kaplama Metodu

Kaplama malzemesi, bir enerji kaynağı kullanılarak eritilmiş, yarı-erimiş veya katı hâlde malzeme yüzeyine belli bir hızla püskürtülmesiyle gerçekleştirilen bir kaplama ailesi, kaplanacak malzemenin yüzeyine ısı enerjisi verilerek yapılır. Kaplama işlemi sırasında, erimiş veya buharlaşan kaplama malzemesine maruz kalan altlık malzemesi, ısı etkisiyle zarar görebilir. Kaplama malzemesinin faz durumu, yararlanılan enerji kaynağı ve kaplamanın yapıldığı ortama bağlı olarak çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Şekil 2.4'te termal sprej metoduyla yapılmış bir kaplama örneği gösterilmektedir.

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar, iki ana prensibe dayanmaktadır:

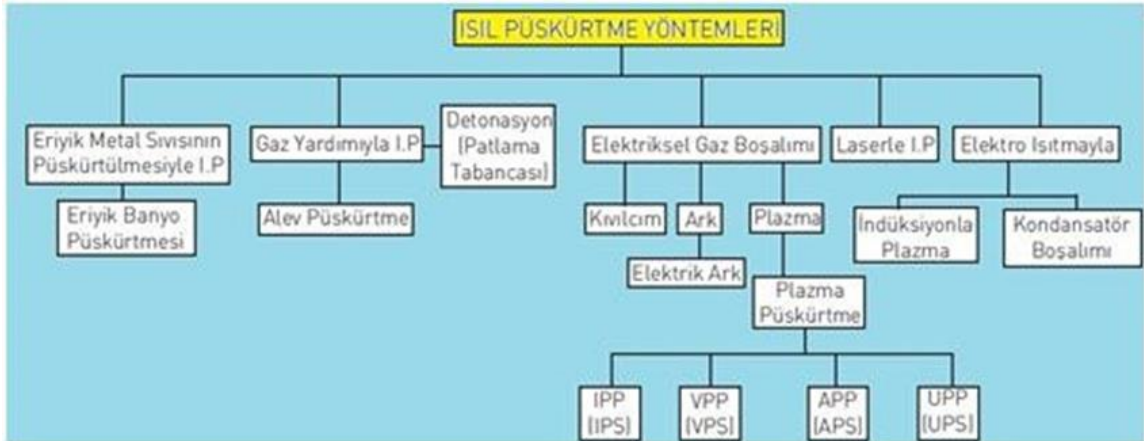
1. Kaplama malzemesindeki altlık malzeme yüzeyine difüzyon yoluyla nüfuz etmesi sonucunda,
2. Kaplama malzemesinin eritilmiş, katı veya yarı-erimiş halde, buhar olarak çarptırılarak soğutulmasıyla yüzey pürüzlülüğü sayesinde mekanik olarak yüzeye yapışması [7]



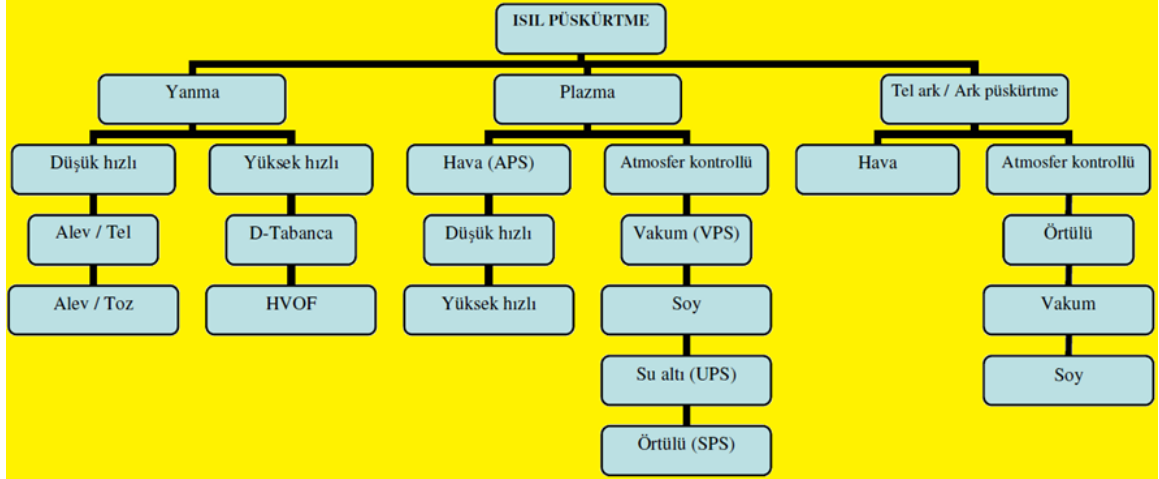
Şekil 2.4. Termal sprey metodu ile yapılmış kaplama [9]

Termal sprey kaplamalar, aşağıdaki hedeflere yönelik olarak işlevsel yüzey kaplamaları olarak uygulanmaktadır:

- Aşınmaya dayanıklılık
- Isı yalıtımı/bariyerleri
- Korozyon direnci
- Elektriksel olarak yalıtkan veya iletken yüzeyler
- Yağlama
- Dolgu malzemesi

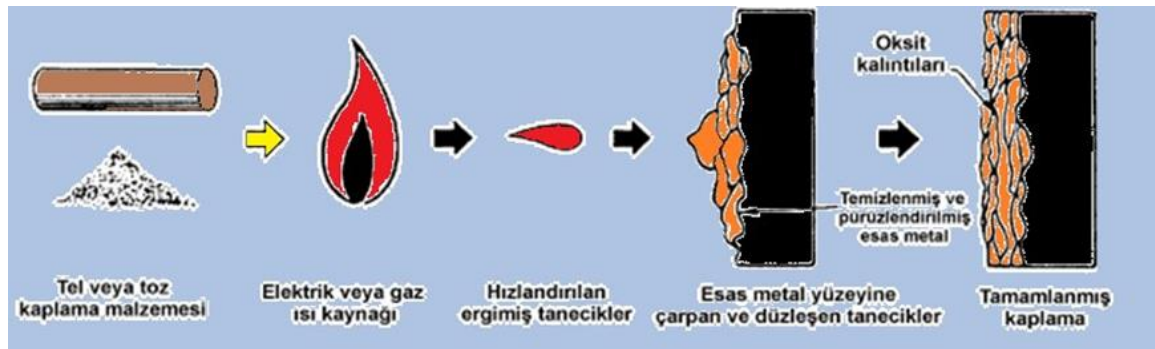


Şekil 2.5. Termal sprey yöntemlerinin sınıflandırılması [10]



Şekil 2.6. Termal sprej yöntemlerinin enerji kaynaklarına göre sınıflandırılması [11]

Şekil 2.5'te termal sprej yöntemlerinin sınıflandırılması ve Şekil 2.6.'da ısı enerjisi kaynaklarına göre sınıflandırılması görsel olarak sunulmuştur. Termal püskürtme yöntemi, metalik veya metalik olmayan kaplama pratiklerinde kullanılan malzemenin (toz, tel, çubuk) ergitilmiş, yarı ergitilmiş, katı veya gaz fazındaki parçacıkların, proses gazları ve atomize jetlerle önceden hazırlanmış bir yüzeye doğru hızlandırılması ve yönlendirilmesi prensibine dayanır. Parçacıkların yüzeye teması ve ısının kaybedilmesi nedeniyle sertleşmesi, ara yüzeyde mekanik bir birleşmeye sebep olur. Parçacıkların biriktirilmesi için üst üste çarptırılmasıyla lamelar bir kaplama yapısı meydana gelir. Bu ince yapılmış parçacıkların çok ani bir biçimde soğuyarak sertleşmesi, kaplama oluşturması şeklinde açıklanabilir [12]. Şekil 2.7'de termal sprej yöntemi proses şeması görülmektedir.



Şekil 2.7. Termal sprej yöntemi proses şeması [11]



Şekil 2.8. Termal Sprej Yöntemi Prosesine etki eden faktörler [13]

Şekil 2.8'de, termal sprej yöntemi uygulamalarında etkili olan faktörlere odaklanılmıştır.

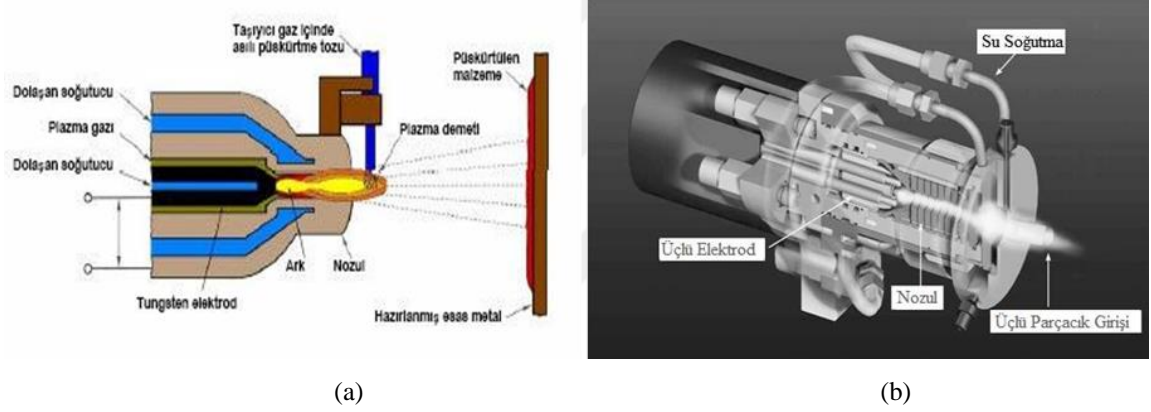
Termal sprej kaplamaların yaygın olarak kullanılan yöntemleri arasında alev sprej, elektrik ark sprej, plazma spreji, soğuk sprej ve yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) spreji bulunmaktadır. Bu kaplamalar, malzemenin aşınma, korozyon, iletkenlik veya oksitlenme özelliklerini geliştirmek, malzemeye fonksiyonel özellikler kazandırmak gibi amaçlar için uygulanabilir [14].

### Plazma Sprej Kaplama

Plazma, iyonize olmuş ve yüksek sıcaklığa sahip bir gaz akımını temsil eder. Su ile soğutulan bir uç, bir meme şeklindeki daralan bir nozul, bir zarf olarak kullanılan bir anot ve odak noktasında korunmuş bir katottan oluşan bir yapı içerir. Bu üfleyici gaz (azot içeren argon, helyum, hidrojen), anot ve katot arasındaki ark etkisiyle ısınır ve iyonize olarak memeden bir plazma akışı şeklinde çıkar. Bu akışın çıkış hızı 5000 ila 6000 m/sn arasında değişirken, sıcaklığı 15000 ila 25000°C arasında değişebilir. Toz formundaki püskürtme malzemesi, plazma jetinde eritilir ve ardından parçaya püskürtülür [15]. Şekil 2.9'da çeşitli plazma sprej yöntemlerine ait kaplama uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Plazma sprej kaplama uygulamaları [16]



(a)

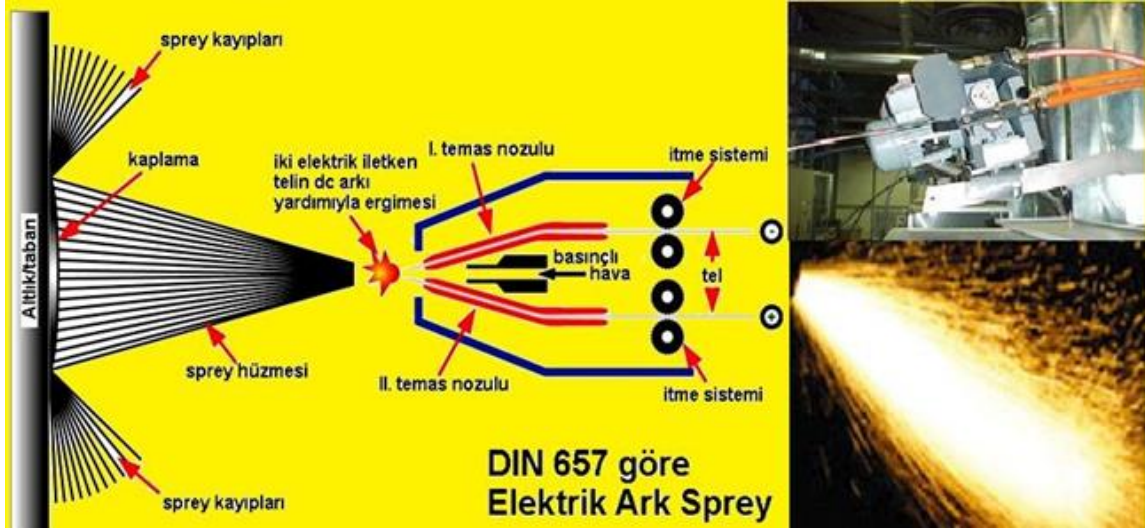
(b)

Şekil 2.10. a) Plazma sprej tabancası [11], b) Üçlü plazma sprej tabancası [6]

Şekil 2.10'da çeşitli türde plazma sprej tabancaları görülmektedir.

### Ark Sprej Kaplama

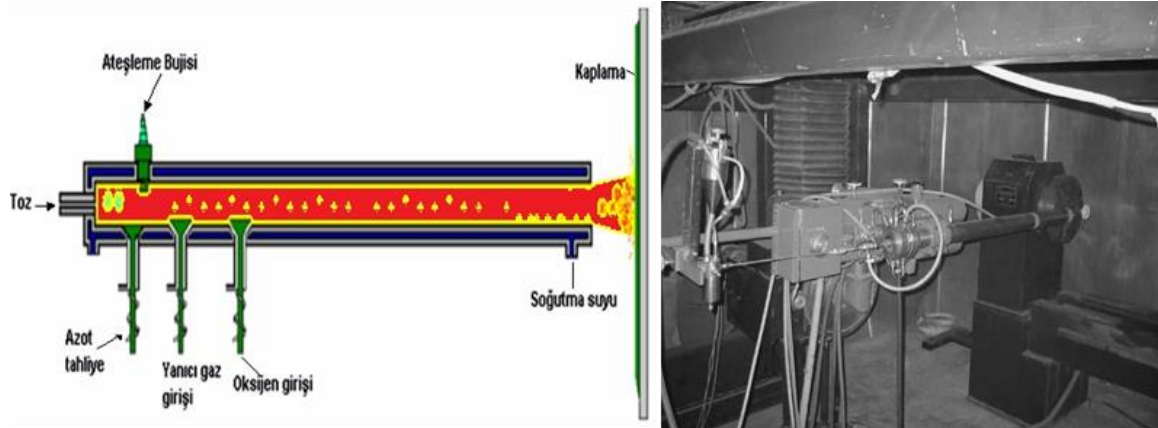
Ekonomik bir kaplama seçeneği sunan termal sprej yöntemi, tabancanın ucunda birleştirilen iki telin anot ve katot olarak istifade edilmesi ve elektrik akımıyla ertirilip, basınçlı hava ile kaplama yüzeyine püskürtülmesi prensibine dayanır. Bu metot kullanıldığında, ısı kaynağı elektrik enerjisiyle sağlanır; bu, oksijen-yakıt yerine bir alternatiftir, alev sprejden farklılık gösterir [17]. Şekil 2.11'de ark sprej uygulamasının şeması görülmektedir.



Şekil 2.11. Ark Sprey uygulaması [17]

### Detonasyon Alev Püskürtme (D-GUN)

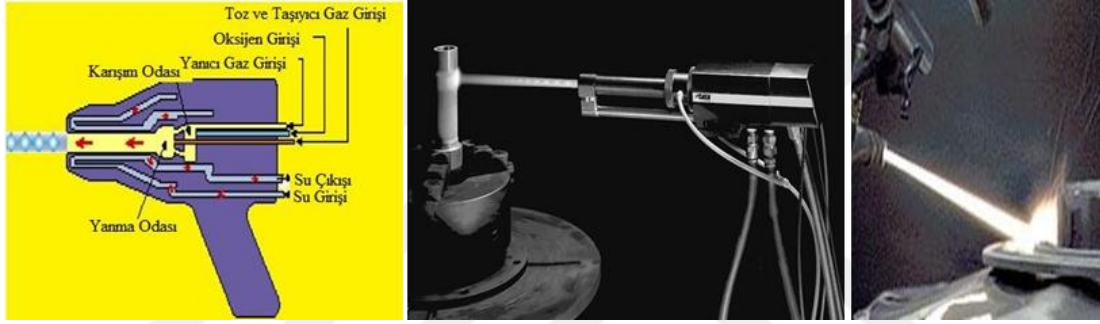
Detonasyon Alev Püskürtme yöntemi, kendine özgü bir tabanca ile gerçekleştirilir. Tabancanın işleyiş mantığı, dolma tüfeklerin çalışma prensibine benzetilebilir ve kaplama işlemi, saçmaların çarpmasına benzer bir şekilde gerçekleşir. Tabanca içerisinde bulunan gazlar, sırasıyla oksijen, asetilen ve azot gazlarıdır. Kaplama malzemesi, toz halinde gazlar içinde dağılmış durumdadır. Oksi-asetilen karışımı buji ile ateşlenerek yanar; bu yanma sonucunda kaplama malzemesi, ısı enerjisi tarafından eritilir ve 600 m/sn hızına ulaşır. Ateşleme sonrasında 4000 °C sıcaklığa ulaşılır. Eriyip parçalanmış olan tanecikler, altlık parçasının yüzeyine çarptıktan sonra soğuyarak kaplamayı meydana getirir [18]. Şekil 2.12’de detonasyon alev püskürtme tabancası gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Detonasyon alev püskürtme tabancası [11,18]

## Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF)

Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme (HVOF) prosesi, alev püskürtme yöntemine benzer bir prensibe sahiptir. Propan, propilen veya hidrojen gibi yanıcı gazlar, HVOF tabancasının içerisinde yüksek basınç altında yanar; bu durum, Şekil 2.13'te gösterildiği gibi alev püskürtme metoduna kıyasla daha etkili bir işlemi ifade eder. Yanma işlemi gerçekleştikten sonra, basınçlı gazın sıcaklıkla birlikte yükselmesi söz konusudur. Sıcak gaz, nozul yardımıyla hızlandırılır ve kaplama tozları bu gazın içine bırakılarak 550-800 m/s'lik aşırı derecede yüksek hızlarda kaplama işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemle kaplama parçacıklarının yüksek hızda olması, çok daha ince kalınlıklarda kaplama yapma imkanı sağlar [11]. Atmosferik plazma sprej ile 0,0254 - 0,0750 mm kalınlıkta, HVOF ile ise 0,00635 – 0,012 mm kalınlıkta kaplama işlemi yapılabilmektedir [19].



Şekil 2.13. HVOF tabancası [11,18, 19]

## Soğuk Gaz Spreyleme Metodu (CGS)

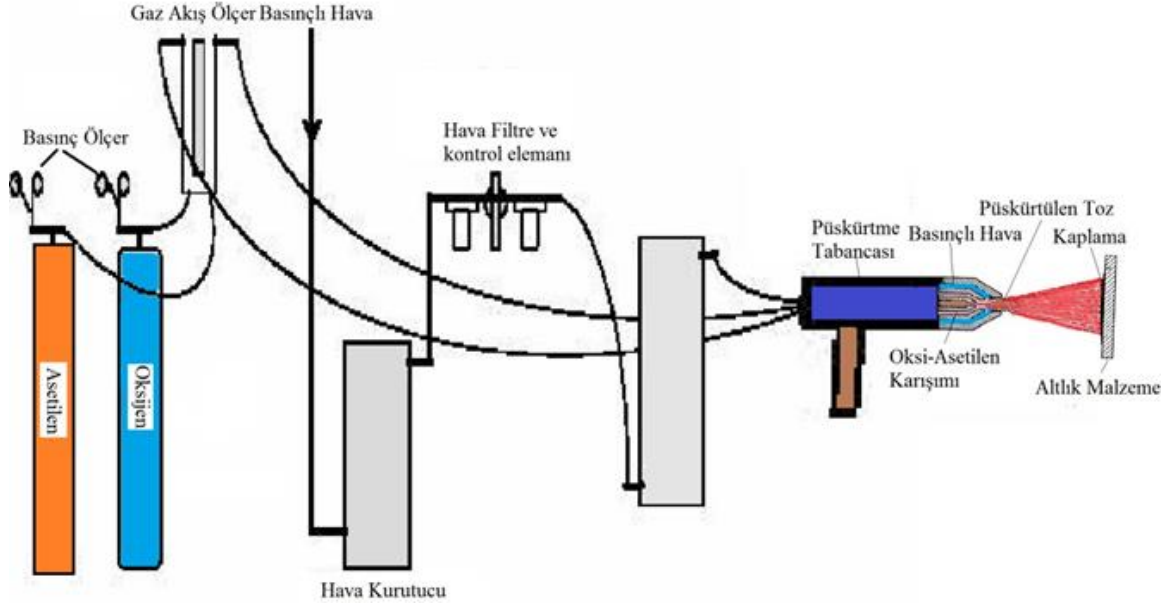
Parçacıklara yüksek hız kazandırılarak, kinetik enerji ve momentum kullanılarak gerçekleştirilen bir kaplama yöntemidir. Süpersonik hızlara ulaştırılmak üzere ısıtılmış helyum veya azot gazı (3.5 MPa basınç ve 600°C) bir nozul kullanılarak yönlendirilir. Nozul boğazına ilave edilen partiküller, ergime sıcaklığı altında kazandıkları momentumla yüzeye çarparak kaplama yüzeyini oluştururlar [18]. Şekil 2.14'te soğuk gaz sprej yönteminin şeması görülmektedir.



Şekil 2.14. Soğuk gaz sprej şeması [18]

## Toz alev Püskürtme Metodu

Alev püskürtme yöntemi, ısıl püskürtme işlemlerinin en basit ve ekonomik olanıdır. Bu yöntemin iki tipi bulunmaktadır, tel ve toz alev püskürtme. Bu yöntemde, asetilen veya propan gibi gazlar yanıcı gaz olarak kullanılırken, oksijen yakıcı gaz olarak kullanılır. Şekil 2.15'te toz alev püskürtme yöntemi ekipmanları gözlemlenmektedir. Basınçlı hava kullanımı, yanma işleminin gerçekleşmesini sağlar ve partiküllerin hızlanmasına katkıda bulunur [11,20].



Şekil 2.15. Toz alev püskürtme yöntemi şematik gösterimi [11,20].

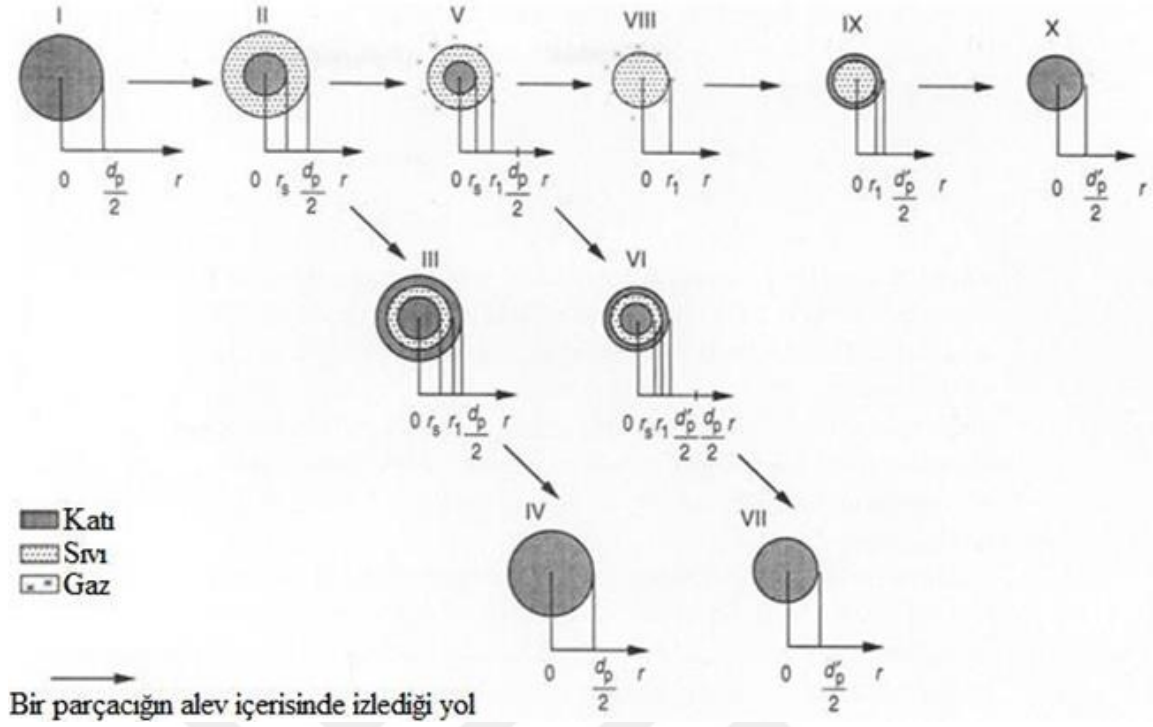
Oksi-asetilen alevi, 3300 °C sıcaklığa ulaşarak toz partikülleri eritmektedir. Sıkıştırılmış hava, altlık malzeme yüzeyine seramik toz malzemesini 200 m/sn hızla püskürtme işlemini gerçekleştirir. Toz alev püskürtme yöntemi, plazma ve HVOF gibi yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklık ve hızlara sahiptir, bu da yüksek porozite ve daha düşük yapışma mukavemetine yol açar. Düşük ergime noktalı oksit seramikleri, toz alev püskürtme yöntemi için daha uygun olabilir [20]. Tablo 2.1, kaplama yöntemi ve kaplama malzemesine bağlı olarak yapışma mukavemetinin değişimini göstermektedir [21].

**Tablo 2.1.** Termal sprej metoduna ve kaplama malzemesine göre kaplama yapışma mukavemeti (MPa) [21]

Sprej Malzemeleri	Yapılan İşlem				
	Tel Alev Sprej	Toz Alev Sprej	Ark Sprej	Plazma Sprej	Yüksek Hızlı Oksi-yakıt
Demir türevi tozlar	14	28	41	>34	62
Demir olmayan tozlar	21	21	>41	>34	70
Kendiliğinden ergiyen alaşımlar		>69			62
Seramikler		14-34		>21	
Sermetler		34-48		55-69	>83

Toz alev kaplama, basınçlı hava kullanmayan bir tabanca sistemi ile gerçekleştirilir. Bu sistem, oksi-asetilen kaynak torcuna benzeyen ve ucuna kısılabılır, belli kütsel debide toz akışı sağlayan bir tabanca içerir. Kaplama tozuna, istenilen özelliklere uyacak şekilde katkı malzemeleri eklenerek özel kaplamalar oluşturmak mümkündür. 900 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda, eklenen bor ve silisyum ile dekaplan etkisine sahip bor silikatlar oluşur [20]. Püskürtülen tabaka ve yüzeydeki oksitler çözünür, bu da yüzeydeki poroziteyi azaltır ve altlık ile kaplama arasında sağlam bir bağlantı kurar.

Tabancadan çıkan kaplama malzemesi tozları, şekil 2.16'da gösterildiği gibi sıvı-katı, sıvı-gaz, katı-sıvı-katı kısmi faz dönüşümlerini sergiler. Bu dönüşümler, alev sıcaklığı, toz tanesi büyüklüğü ve toz malzemesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Toz alev kaplaması özelliklerini elde etmek için parametrelerin doğru bir şekilde ayarlanması gereklidir. Ayrıca kaplama tozları, gereken tanecik büyüklüğüne ve kurutma işlemine tabi tutulmuş olmalıdır.



Şekil 2.16. Alev sprej yönteminde kullanılan yalıtkan parçacıkların ısıl davranışları [18]

Alev sprej yöntemi, tamirat, aşınma ve korozyona karşı koruma, ısıl yalıtım, medikal implant kaplaması, dekoratif kaplama ve X ışını kalkanı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [21].

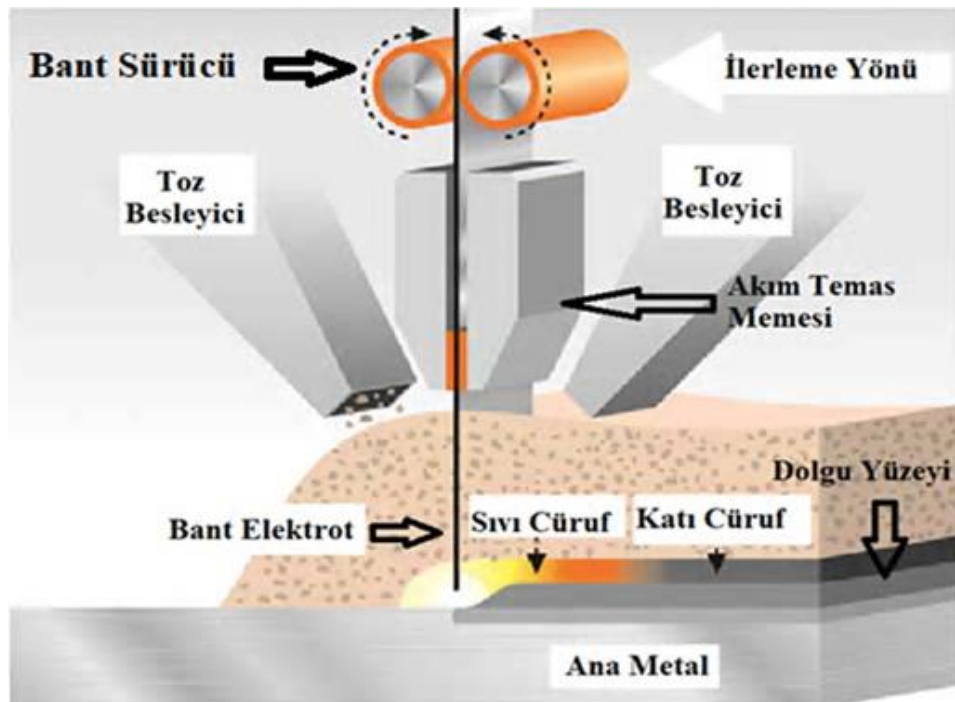
## 2.2. Kaynak Kaplaması ve Kaynak Yöntemleri

Kaynak kaplaması, yüksek niteliklere sahip kaynak malzemelerinin alt tabakaya entegre edildiği bir işlemdir. Bu işlem, özellikle malzemenin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ark, üfleç ve diğer prosesler, genellikle yaygın olarak kullanılan kaynak kaplama teknikleridir.

Kaynak kaplaması, özellikle düşük karbon içeren çelik gibi alt katman malzemeleri için oldukça uygun bir seçenektir. Bu prosedür genellikle nikel alaşımları ve demir/krom alaşımları gibi yaygın kaynak malzemelerinde, özellikle aşınma direnci ve mekanik özellikleri arttırmayı gerektiren durumlarda kullanılır. Mangan alaşımları, kobalt temelli alaşımlar ve takım çelikleri gibi malzemeler de kaynak kaplaması için kullanılabilir [22].

### 2.2.1. Tozaltı Kaynağı

Tozaltı bant kaplama yöntemi, tozaltı kaynak işleminden farklı olarak tasarlanmış bir tabanca ile gerçekleştirilir. Bu yöntemde, bant tipi elektrot kullanılır, ki bu da tel yerine geçer. Sistem, bant kaplamaya hazır hale getirilebilmek için sadece kaynak kafası ve bant elektrot sarımının değiştirilmesini gerektirir. Kaynak kafasının hareketi, manuel veya otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Elektrot ve ana malzeme arasında oluşan ark, toz karışımını kullanarak kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korur. Toz besleme sistemi, değişken hızlı tahrik motoru, motor kontrolörü ve tahrik silindirlerinden oluşur; bu sistem, toz karışımını ark üzerine homojen bir şekilde dağıtarak etkili bir kaplama işlemi gerçekleştirir. Tozaltı bant kaplama sürecinde, elektrot ve toz bileşiminin uyumlu olması, işlemin başarılı bir şekilde tamamlanması için önemlidir. Tozun görevi, kaynak havuzunu sadece atmosferden korumakla kalmaz, aynı zamanda kaynak banyosunu istenilen özelliklere sahip yapmak için alaşımlamaktır [23]. Dolgu metalinin, ark içine sabit bir oranda beslenmesi sağlanır. Bu süreç sırasında, toz karışımı eriyerek kaynak havuzunun yüzeyinde bir cüruf tabakası meydana getirir ve altındaki ark enerjisi ile bant elektrot ve ana malzeme eş zamanlı olarak eritilerek kaplama işlemi uygulanır. Şekil 2.17'de, tozaltı kaynağı ile sert dolgu kaynağının işlem prensibini gösteren bir diyagram bulunmaktadır. Soğutma etkisi, cürufun sağladığı ısı tutma etkisiyle bir miktar yavaşlar. Eğer büyük kaynaklarda soğutma hızı aşırı yüksekse, kaynak külçesinin merkezinde bazı yabancı maddelerin ve cürufun sıkışması muhtemeldir. Eğer hızlı soğuma sorun oluşturuyorsa, soğutma hızını yavaşlatmak için ön ısıtma ve son ısıtma uygulanabilir [24,25].



Şekil 2.17. Toz altı bant kaplama kaynağı [26].

Tel kaynak yöntemiyle karşılaştırıldığında, bant kaplama kaynak yönteminin temel avantajları şunlardır [25]:

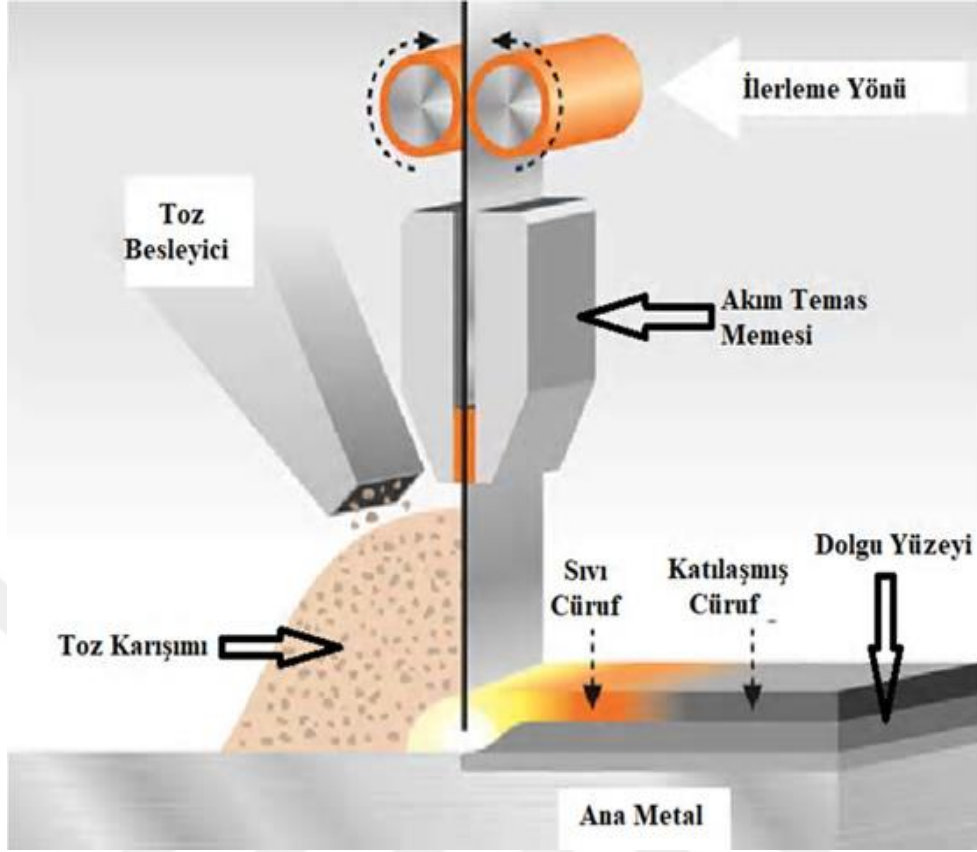
- Yüksek penetrasyon kabiliyeti,
- Düzgün yüzey kalitesi,
- Yüksek kaynak kalitesi,
- Hızlı metal birleşimi,
- Artan metal birleşimi oranıyla azaltılmış kaynak adımı ve maliyet,
- Hızlı uygulanabilmesi nedeniyle düşük ısı girişi, dar ısı etkisi bölgesi (IEB) ve dolayısıyla düşük sıcak çatlamaya hassasiyet,
- Tel ile bant arasında geçiş için düşük yatırım gereksinimi,
- Arkın toz altında yanması nedeniyle ışın ve zararlı gaz emisyonu olmaması.

Bu metodun olumsuz yönleri de şu şekildedir:

- Sadece belirli kaynak pozisyonlarında uygulanabilir.
- Kaynak parametrelerinin hassas bir şekilde ayarlanmış olması gereklidir.

### **2.2.2. Elektrocüruf Kaynağı**

Elektrocüruf kaynağı, ark kaynağı içermeyen bir proses yöntemidir; bu yöntemde erimiş tozun altında bir ark meydana gelmez. Elektrocüruf kaynağından elde edilen tozlar, özel özelliklere sahip cüruf oluşturur; bu cüruf, erimiş halde yeterince iletken olacak şekilde tasarlanmıştır ve arkın yerini alabilir, elektrik devresini kesmeden. Bu nedenle, elektrocüruf bant kaplama prosesinde, elektrik akımı doğrudan yüksek florit içeren aglomere toza iletilir. Elektrik arkı, işlemin başlayabilmesi için kullanılırken, kaynak için ısı, erimiş akının elektrik direncinin bir sonucu olarak üretilir. Bu sayede, yüzey oluşumu sağlanır. Ark enerjisi, yeterli tozu erittikten sonra iletken bir cüruf havuzu oluşturmak için tel ucu ile plaka arasındaki mesafeyi artırarak veya güç kaynağından voltajı azaltarak söndürülür. Kaplama işleminin stabil olması, cüruf kalınlığına ve dolayısıyla kaynak banyosunun kalınlığına bağlıdır. Şekil 2.18'de, elektro-cüruf kaynak kaplama yönteminde bant elektrot kullanımı prensibi gösterilmektedir [24,25].



Şekil 2.18. Elektrocüruf kaynağıyla kaplama yöntemi [26].

Elektro-cüruf bant kaplamanın artıları şunlardır [24,25]:

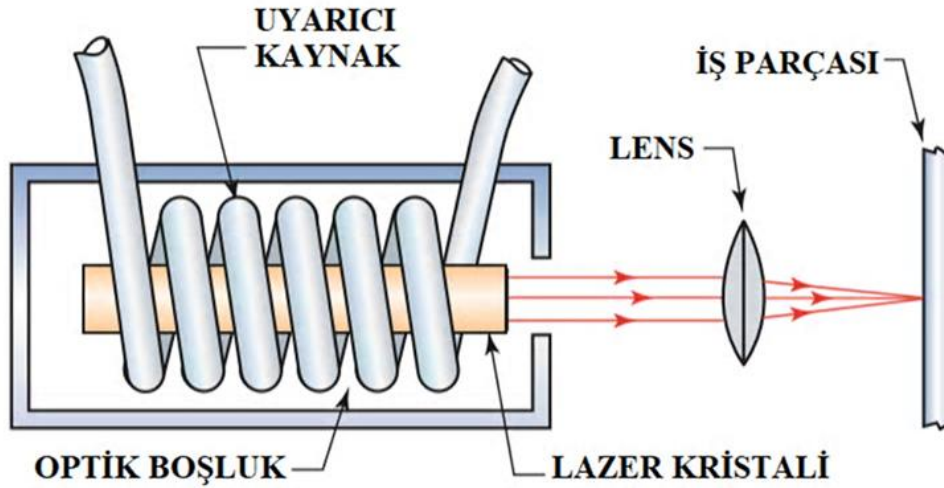
- Sabit penetrasyon
- Yüksek kaynak hızı
- Minimum çarpılma
- Kaynak metali, metalürjik cürufle yüksek düzeyde saflaştırılmıştır.
- Düşük nüfuziyet düzeyi ve daha az paso sayısı gereksinimi
- Homojen alaşım elementi dağılımı
- Düzgün yüzey oluşumu
- Düşük sıcak çatlak hassasiyeti
- Yüksek metal biriktirme oranı
- Yüksek tekrarlanabilirlik

Elektro-cüruf işleminin dezavantajları şunlardır:

- Kütleli, maliyetli kaynak ekipmanı ve yönlendirme sistemleri gerektirir.
- Uzun kurulum süreleri gerektirir.
- Belirgin kolonik mikroyapılara ve düşük tokluğa sahip kaynaklar üretir.

### 2.2.3. Lazer Kaynağı

Lazer kaynağında, yüksek yoğunluktaki ışık demeti küçük bir alana odaklanarak ısınma ve ergime noktasına ulaşılır. Lazer ışınları, alçak ısı girdi miktarına rağmen (0.1 Joule ila 10 Joule arasında),  $\text{cm}^2$  başına 10.000 Watt'tan fazla yüksek güç yoğunluğu üretebilir (bu, elektron ışını kaynak tekniğine kıyasla oldukça yüksektir). Kaynak işlemine ısı sağlamak amacıyla, iş parçası ile kaynak ekipmanı arasında fiziksel temas gerekli değildir; bu, ışınların kullanılmasının bir avantajıdır. Kaynak işlemi, şeffaf malzemelerle gerçekleştirilebilir. Işının herhangi bir alana yönlendirilebilme kolaylığı, lazer kaynağını oldukça elastik hale getirir. Örneğin, karmaşık formların imalatında, istenilen şekli dijital kontrol altında hareket ettirilebilen odaklanmış lazer ışını ile kaynaklamak mümkündür. Yüksek termal iletkenliğe sahip malzemeler, örneğin, bakır, lazer kaynağı ile kolayca işlenebilir. Aşırı yoğun lazer ısı, metali lokal olarak eritecek ve derin penetrasyon sağlayacak şekilde, anahtar deliği tekniğiyle kaynak yapmayı mümkün kılacak şekilde metali en derinlere kadar eritir. Şekil 2.19'da lazer kaynağı uygulama prensibi gösterilmiştir.



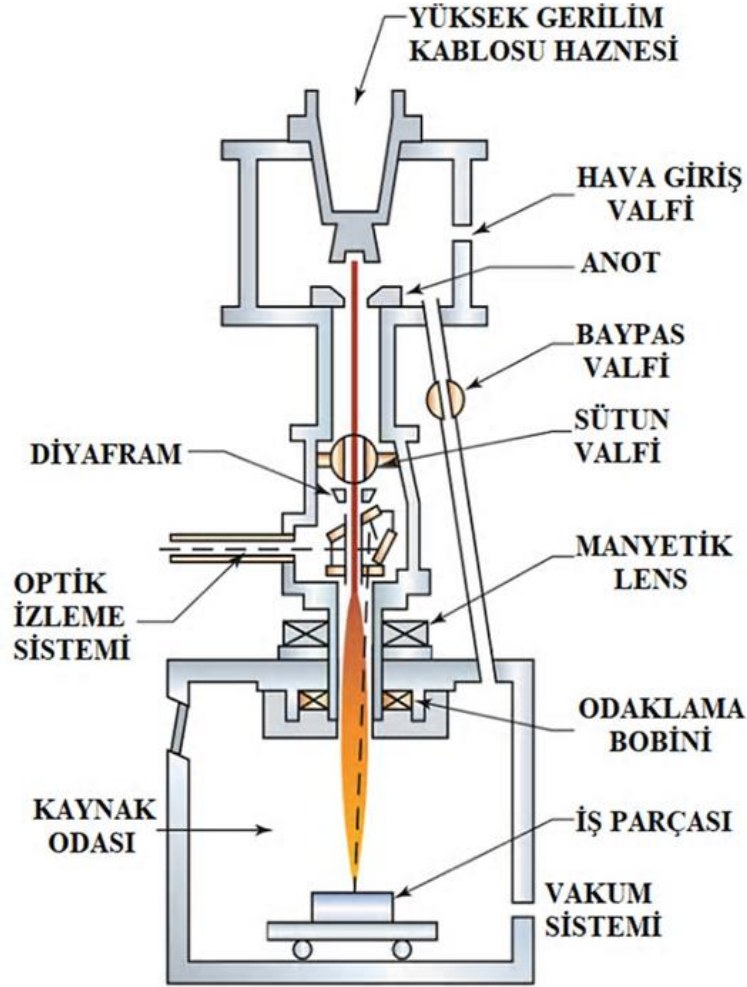
Şekil 2.19. Lazer kaynağı prensibi [25].

Lazerle yüzey sertleştirme, günümüzde hemen hemen tüm metal malzemelerde uygulanabilen ve yüzey sertleştirme işlemleri arasında sıkça tercih edilenlerden biridir. Lazer ışını, bir malzemenin belirli bir bölgesini sertleştirmek için çok dar bir alana odaklanır. Bu yüksek yoğunluktaki lazer radyasyonu, çelik yüzeyini östenitik bölgeye ısıtma sürecinde rol oynar. Yüksek hızlı sıcaklık değişimleri, kısa bir zaman diliminde aniden artan sıcaklık gradyanlarıyla birlikte hızlı soğuma sağlar. Bu sayede östenit fazından martenzit dönüşümü çok kısa bir sürede gerçekleşir. Yüzey sertleştirme işlemlerinde çeşitli lazer türleri tercih edilebilir. Bu türler şunlardır:

- $\text{CO}_2$
- Nd: YAĞ
- Diyet lazerleridir [27].

#### 2.2.4. Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışın kaynağı sistemi, tipik olarak içerisinde bir filaman, bir katot, bir anot ve bir odaklama bobini barındıran bir yapıya sahiptir. Bu bileşenler, çalışma odasının üzerine monte edilmiş şekilde Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Elektron ışın kaynağı sisteminde, ısıtılmış filamandan yayılan elektronlar negatif bir yük taşırlar ve katot tarafından dağılırlar. Daha sonra, bu elektronlar anot tarafından çekilir. Anot, elektronların geçiş yaptığı bir açıklığa sahiptir.



Şekil 2.20. Elektron ışın kaynağı sistemi [25].

Elektronlar daha sonra üretilen manyetik bir alandan geçer, bu alan bir elektromanyetik odaklama bobini tarafından oluşturulur. Makine, bir optik görüntüleme sistemi ile donatılmıştır, bu sistem sayesinde kaynak operatörü ışın kapalıyken kaynak alanını gözlemleyebilir. Akımı odaklama bobinine değiştirmek mümkündür, bu sayede operatör ışını keskin bir odaktan çapı 1/4 inç (6 mm) bir ışına odaklayabilir [25].

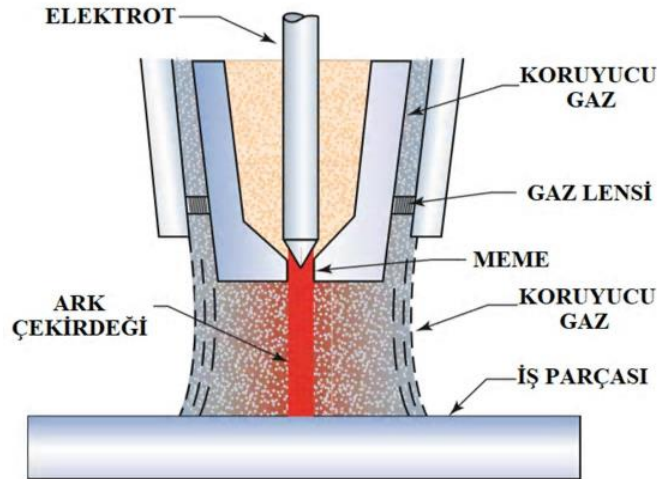
Elektron ışın kaynağı teknolojisi, sert dolgu kaplamaların uygulandığı ve mevcut yüzey tabakalarının değiştirildiği bir teknoloji olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, yüzeye püskürtülen

toz dolgu malzemelerin daha sonra ergitilmesi yöntemiyle uygulanmaktadır. Ayrıca, elektron ışınlarının hızlı bir şekilde yüzeye çarpmasıyla oluşan ısı kullanılarak yüzey işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Elektron ışın teknolojisi, karmaşık çalışma rejimlerinin kullanılmasıyla, makinelerde ve mekanizmalarda sert dolgu yüzeylerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır [28].

### 2.2.5. Plazma Kaynağı

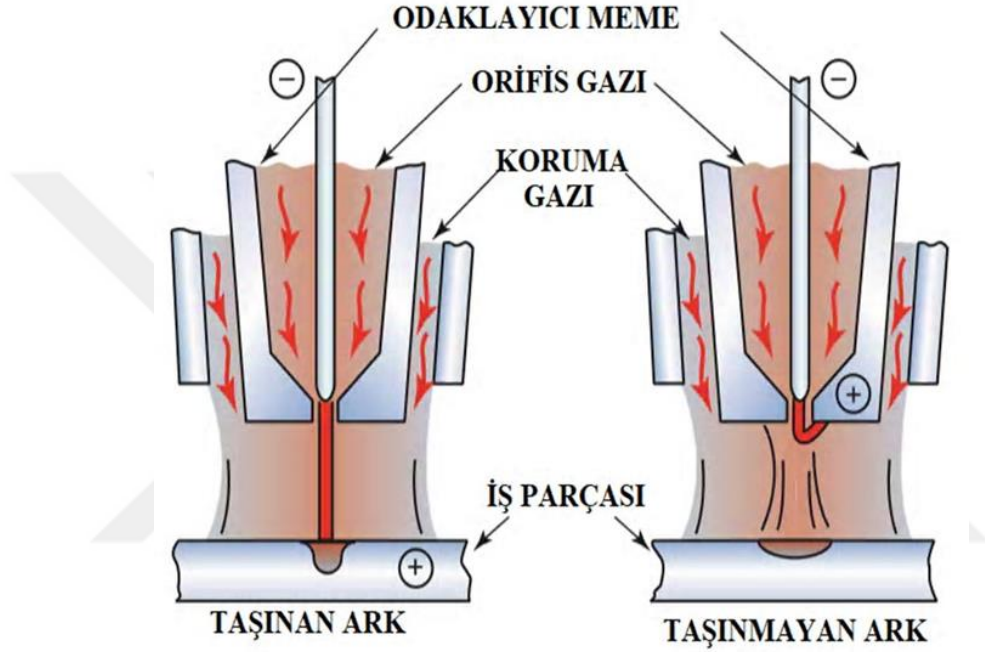
Moleküllerin, atomların ve elektronların bir araya gelerek oluşturduğu yüksek sıcaklıktaki gaz, plazma olarak adlandırılır. Bu gaz, elektriksel olarak nötr bir karaktere sahiptir. Plazmanın iki önemli avantajı, daha yüksek sıcaklık sağlaması ve diğer nesnelere etkili bir ısı transferi gerçekleştirmesidir. Plazma ark kaynağı kullanılarak, gaz elektromanyetik olarak sınırlanarak bir memeden geçen plazma jeti oluşturulmaktadır. Plazma kaynağında, iki farklı ark düzeni mevcuttur. İlk aşamada, ergimeyen tungsten elektrot ile su veya hava ile soğutulan bakır memenin arasında taşıyıcı olmayan bir ark meydana getirilir. Taşıyıcı olmayan arkin görevi, taşıyıcı arkin başlatılmasına yardımcı olmaktır. Taşıyıcı ark başlatıldığında, taşıyıcı olmayan ark otomatik olarak söner. Bakır meme, taşıyıcı arki odaklayarak güç yoğunluğunu artırır. Bakır meme pozitif kutuplandığında, tungsten elektrot negatif kutuplanır. Taşıyıcı ark, ergimeyen tungsten ve iş parçası arasında oluşur ve plazma gazı, bakır memeden iş parçasına püskürtülür. Bu sistem, birleştirme ve plazma ile kesme işlemlerinde kullanılabilir [23,25].

Plazma birleştirme kaynağında, plazma gazının yanı sıra, kaynak banyosunu çevresel etkilere karşı korumak için argon adlı ikinci bir gaz akımı kullanılmaktadır. Plazma kaynağı cihazlarının birçoğunda, plazma demetini odaklamak ve meme dışında sıkıştırmak amacıyla üçüncü bir gaz akımı kullanılmaktadır. Odaklama gazı olarak, argon-helyum, argon-hidrojen veya argon-azot gaz karışımları tercih edilmektedir [23]. Şekil 2.21’de Plazma kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemi detaylıca gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Plazma kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemi [25].

Plazma doldurma kaynağındaki uygulamada, her iki ark bir arada kullanılır. Bu metodolojide, dikey özelliklere sahip iki ayrı akım üretici, elektrot ile memenin arasında ve elektrot ile iş parçasının arasında bağlantılı bir şekilde kullanılır. İki ark da kaynak işlemi sırasında yanar. Genellikle, toz halindeki doldurma malzemesi bir gaz akımı aracılığıyla kaynak bölgesine taşınır, plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı ark ile ana malzemeye kaynak yapılır. Ayrıca, kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korumak için üçüncü bir gaz akımı kullanılır. Şekil 2.22’de taşınan ark ile taşınmayan ark yöntemi arasındaki kaynak farklılıkları gösterilmektedir.



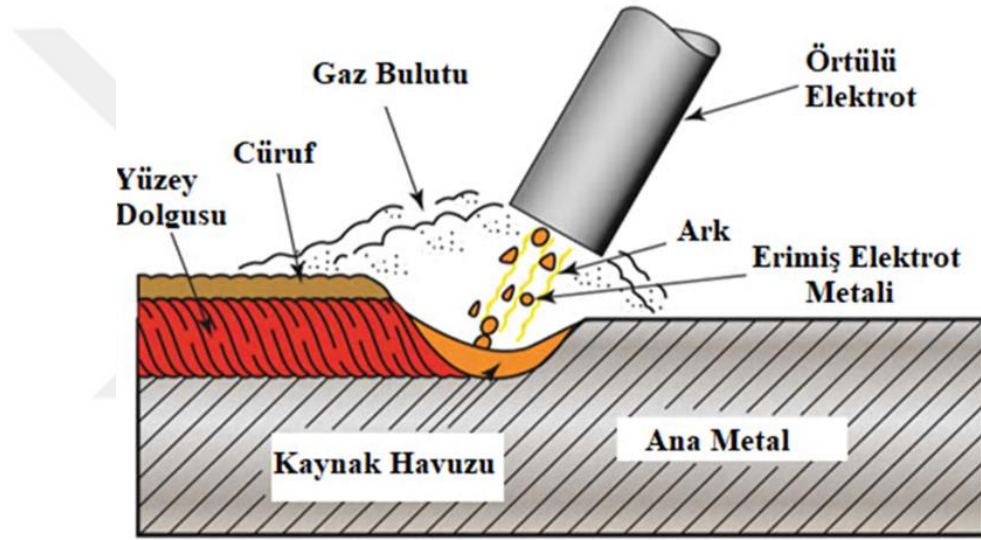
Şekil 2.22. Taşınan ark ve taşınmayan ark [25].

Bu metot genellikle iş parçasının otomatik sistemlerle hareket ettiği durumlarda kullanılır. Plazma kaynağı yönteminde kullanılan dolgu malzemeleri, Ni, Co ve östenit tabanlı metal tozları gibi türlerde sınıflandırılır. Sert yüzey dolgu malzemeleri genellikle bor içerir ve bor bileşiği, ergime noktasını ve yüzey gerilimini düşürerek etki eder. Kaynak işlemi sırasında oluşan bor karbür (B<sub>4</sub>C), sertliği artırmakla birlikte dolgu tabakasını kırılğanlaştırabilir. Bu sebeple, çatlakları engellemek amacıyla bor içeren dolgu malzemelerinde ön ısıtma uygulanması önerilmektedir.

Plazma kaynağı, diğer kaynak yöntemlerine kıyasla daha düşük bir ana malzeme erime oranına ve daha sığ bir nüfuziyet derinliğine sahip olan bir tekniktir, bu da odaklanmış ark enerjisi ve kararlı ark özellikleri sayesinde [24].

### 2.2.6. Örtülü Elektrot Kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağı, metal elektrotun örtü ile kaplanarak elektrik akımını taşıdığı bir kaynak işlemidir. Şekil 2.23’de örtülü elektrot kaynağı yönteminde, ark iş parçası ile örtülü elektrot arasında yanar. Ark ısısı, örtülü elektrotun erimesine neden olarak ana metal ile birleşerek kaynak işlemini gerçekleştirir. Bu süreç sırasında, elektrot üzerinde bulunan kaplama yanar ve buharlaşır; ardından ortaya çıkan gaz, ark bölgesini korur. Kaplamanın diğer rolleri arasında arkın kararlılığını sağlama, kaynak metalini alaşımlandırma ve cüruf oluşturarak kaynak havuzunu koruma bulunmaktadır. Farklı elektrot tipleri, çeşitli cüruf kaplamaları üretebilir, bazı elektrotlar diğerlerinden daha yoğun cüruf kaplamalarına sahiptir [25,28].



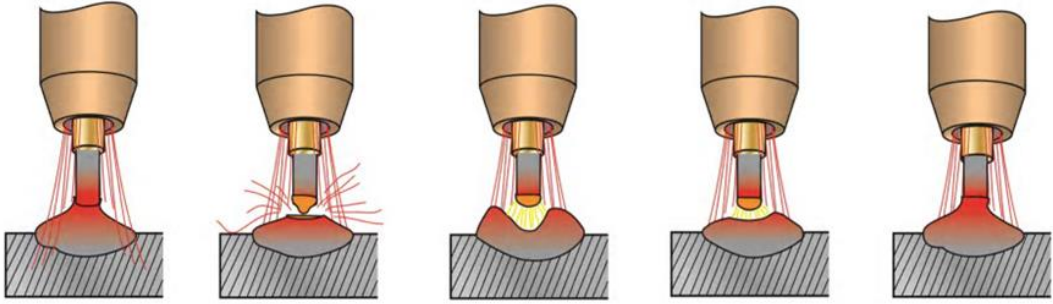
Şekil 2.23. Örtülü elektrot kaynağı yöntemi [25].

Bu süreç, dökme demir, alüminyum, paslanmaz çelik ve nikel gibi neredeyse tüm metalleri veya alaşımları birleştirmek amacıyla kullanılabilen çok yönlü bir metottur. Kaplama elektrotu ile yapılan dolgu kaynağı, ekonomik maliyeti, işlem esnekliği, taşınabilirliği ve geniş kullanım alanı sayesinde en yaygın tercih edilen kaynak yöntemlerinden biridir. Hem makine hem de elektrot maliyetleri düşüktür [25,28]. Yine de bu sistemin birçok olumsuz tarafları bulunmaktadır. Elektrotların tamamının kullanılamaması, sistemin verimliliğini düşürebilir; ayrıca, yığılma oranları MIG/MAG kaynağına kıyasla daha düşük olabilir. Diğer bir sınırlayıcı faktörse, aşınma direncinin büyük önem taşıdığı durumlarda, 2-3 pasoyla kaynak yapılmasının önerilmesidir [24].

Örtülü elektrot ark kaynağı metodu genellikle elektrot pozitif kutuplanarak ve doğru akım kullanılarak uygulanır. Ancak, bazı özel uygulamalarda alternatif akımla çalışma mümkündür. Sert dolgu elektrotları çeşitli çaplarda (3,2-8 mm’ye kadar) kullanılabilir ve elektrot çapı arttıkça kaynak akım miktarını arttırmak gereklidir [29].

### 2.2.7. Gazaltı Kaynağı

MIG/MAG kaynak işlemi, temelde benzer prensipleri içerir; ancak kullanılan gaz türü, kaynak süreçlerini birbirinden ayırır. MIG kaynağında, inert gaz koruması altında oluşan kaynak havuzuyla MAG kaynağında kullanılan aktif gazlarla sağlanan koruma arasında fark vardır. MAG kaynak işlemi, MAGm ve MAGc olarak adlandırılan gaz türüne bağlı olarak iki gruba ayrılır. MAGm kaynağında karışım gazları tercih edilirken, MAGc kaynağında CO<sub>2</sub> gazı kullanılır. Bu yöntemlerde eriyen elektrot, bir torçtan geçirilen akım ile malzeme üzerine taşınır ve akımın etkisiyle eriyerek kaynak havuzuna katılır. Kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kullanılan gaz türü ayarlanarak ark karakteristiği (uzun ark, kısa ark, spreyci ark) düzenlenebilir. Bu ark karakteristikleri, kaynak dolgununun akışkanlığını ve nüfuziyeti üzerinde etkilidir. Bir diğer sabit değer, kaynak makinesine girilen tel sürme hızıdır ve bu, kaynak akımı değişimine bağlı olarak ark uzunluğunun sabit kalmasını sağlar. Şekil 2.24’de kısa ark oluşumunu gösterilmektedir.



Şekil 2.24. Kısa ark oluşumu gösterimi [25].



MIG kaynağı işlemi sırasında koruyucu gaz atmosferi, argon, helyum veya bu gazların karışımı tarafından oluşturulur. MIG kaynağında hafif metaller için kullanılan argon gazının yüksek saflığına özen gösterilmelidir. MIG kaynağında ise çeliklerin argon gazına az miktarlarda oksijen ve karbondioksit gazları eklenmektedir. Oksijenin asal gaza eklenmesi, arkın kararlılığını artırır ve erimiş damlaların yüzeyde daha iyi tutunmalarını sağlar. Bu durum aynı zamanda porozite oluşumunu önler.

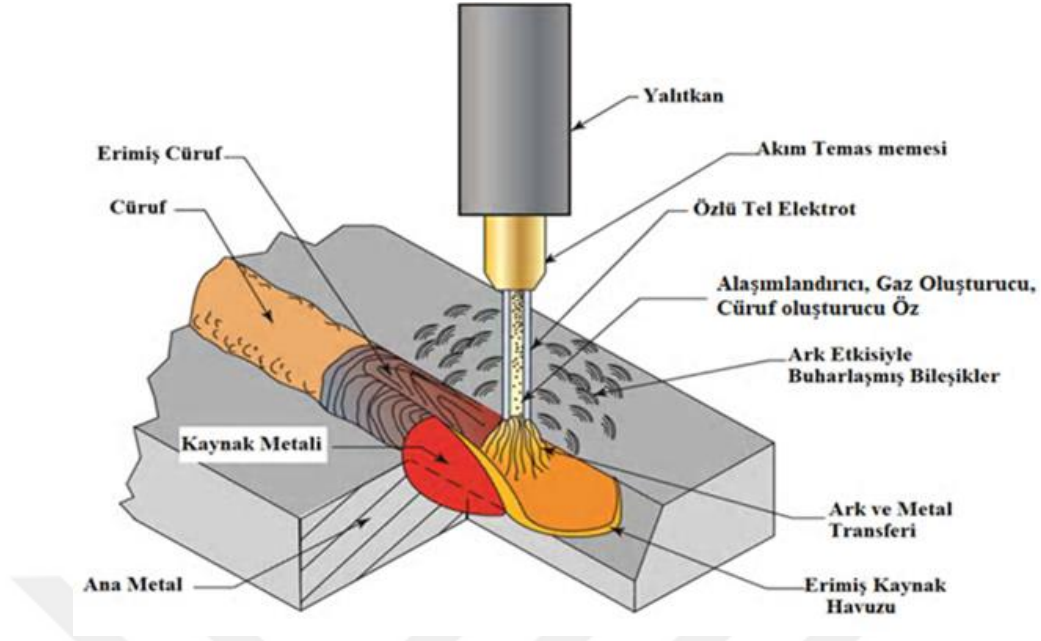
MAG kaynağı genellikle çeliklerin kaynağında kullanılır. Alüminyum gibi metallerde kullanılmamasının temel nedeni, bu metallerin kaynağını güçleştiren alüminal tabakasının parça parça olması gerekliliğidir. MAG kaynak metodu, kaynak yüzeyi üzerinde oksit tabakası bulunan metallerin kaynağında sıkça tercih edilmez, çünkü CO<sub>2</sub> kaynak işlemi süresince alüminyum tabaka üzerinde yeniden oksitlenmeye yol açabilir. Kullanılacak gazların saflığına ve kuruluşuna özen gösterilmelidir; aksi takdirde kaynaktaki gözenek ve gevreklik oluşabilir. CO<sub>2</sub> gazı, kaynak işleminin ortaya çıkardığı ısıyla karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ek olarak, CO<sub>2</sub>, ergimiş demir ile birleşerek demiroksit bileşiğini oluşturur. Demiroksit, manganez ve silisyum gibi elementlerle kaynaşarak belirtilen elementlerin azalmasına neden olur. Element kayıplarını önlemek için kaynak işleminde kullanışlı olan dolgu malzemesinin miktarca daha fazla element oranına sahip olması istenir.

Çeliklerin aynı malzeme ile doldurulmasında veya yüksek karbon içeren dolgu malzemeleriyle dolgu kaynağı uygulamasında, MAGc kaynak yöntemi tercih edilir ve bu durumda sadece CO<sub>2</sub> aktif gazı tercih edilir.

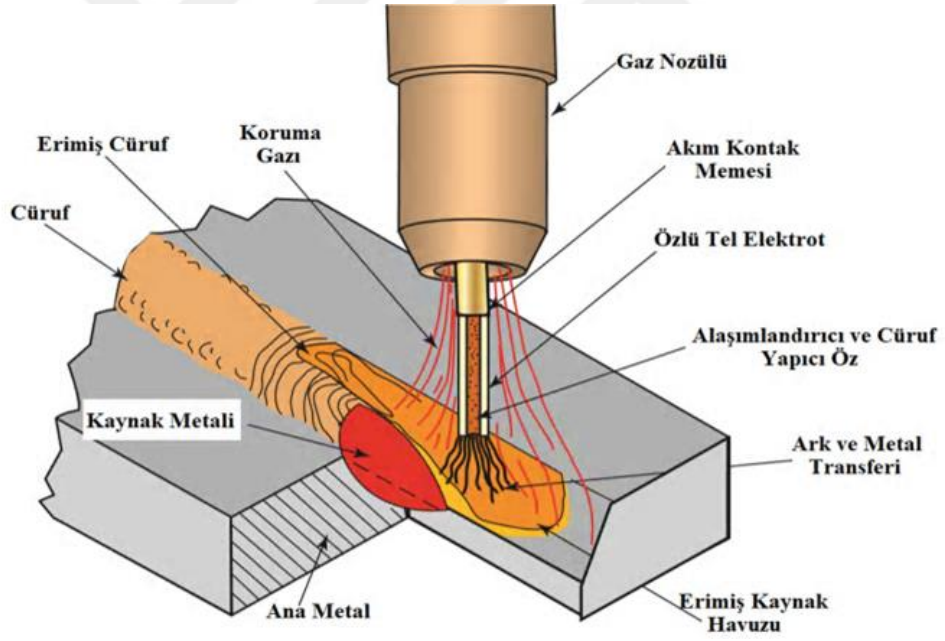
Yüksek alaşımlı dolgu malzemeleri kullanılarak sert yüzey oluşturulurken (yüksek Cr içeren), özlü elektrotlar tercih edilir. Bu öz, yalnızca kaynak dolgusunu alaşımlamakla kalmaz, aynı zamanda arkın stabilitesini de sağlar [24].

### **2.2.8. Özlü Elektrot Kaynağı**

Özlü elektrot kullanılarak gerçekleştirilen ark kaynağı, sürekli beslenen özlü tel elektrot ve iş parçası arasındaki ark kaynak işlemi sağlayan bir yöntemdir. Elektrot içeriğine bağlı olarak, atmosferden koruma elektrotun içindeki özün gaz oluşturucu özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Eğer öz gaz oluşturucu içeriğe sahipse, koruma gazı torçtan beslenmez; aksi takdirde, kaynak havuzunu atmosferin etkilerinden korumak amacıyla koruma gazı torç içinden iletilir. Özlü elektrot kullanılarak yapılan ark kaynağı, gaz metal ark kaynağı prensipleriyle benzer bir çalışma prensibine sahiptir. İki yöntemde de kullanılan akım üreteçleri sabit voltaj karakteristiğine sahiptir. Sabit voltaj güç kaynaklarında, kaynak akımı (amper) elektrodun eriyen kaynak havuzuna besleme hızına bağlı olarak değişir, voltajda ise çok küçük değişiklikler meydana gelir. Gaz metal ark kaynağında olduğu gibi, daha fazla elektrot besleme hızları daha aşırı akımlar üretirken, daha düşük besleme hızları diğer koşullar sabit kaldığında daha düşük akımlara yol açar [25,30].



Şekil 2.26. Kendinden korumalı özlü elektrot ark kaynağı [25].



Şekil 2.27. Özlü elektrotla ark kaynağı [25].

Şekil 2.26’da kendinden korumalı özlü elektrot ark kaynağı ve Şekil 2.27’de özlü elektrot ark kaynağı arasındaki erimiş kaynak metalinin farklılıklar görülmektedir. Erimiş kaynak metalinin atmosfer etkileri nedeniyle kirlenmesi, erimiş metalin katılaşma sürecinde meydana gelir. Ana atmosferik kirlilik kaynakları genellikle havadaki temel elementler olan oksijen ve azottan türemiştir. Özlü elektrotlara gaz oluşturan katkı maddelerinin eklenmesi, bu atmosfer etkilerini düşürmeye veya ortadan kaldırmaya destek verir.

Kaynak malzemesinin içerdiği öz bileşenler, kaynağın mukavemetini ve fiziksel/korozyon direncini artırıcı etkiler sunar. Öze oksit gidericiler, gaz oluşturunucular, cüruf oluşturunucular, alaşım elementleri gibi katkıları eklemek, kaynak özelliklerini iyileştirebilir. Mukavemet, sertlik, korozyon direnci ve sürünme direncini artırmak amacıyla özel karbon, krom ve vanadyum gibi elementler eklenir. Alüminyum, silikon ve titanyum, kaynaktaki oksitleri ve/veya nitrürleri ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir. Potasyum, sodyum ve zirkonyum eklenmesi durumunda öz, daha fazla cüruf oluşturur. Oksidasyon önleyici katkı maddeleri, gaz üreten maddeler ve cüruf oluşturan maddeler, erimiş kaynak havuzunu korumak veya ana metalden kaynaklı kusurları gidermek için kullanılabilir. Oksidasyon gidericiler, yüzey oksitlerini tekrar saf metale dönüştürme yeteneği ile birlikte, çok küçük miktarlarda kullanılabilir. Gaz oluşturan ek katkıları, kaynak sırasında hızla genişleyerek çevre havasını erimiş kaynak havuzundan uzaklaştırır. Atmosferdeki oksijen, erimiş kaynak metaline temas ettiğinde, hızla oksitlenme riski taşır. Cüruf kaplaması, sıcak metalin atmosfer etkilerinden korunmasına katkıda bulunur, kaynak şeklinin oluşumunu destekler ve soğuma hızını düzenleyerek kaynağın fiziksel özelliklerini artırır [25].

Ark kaynağı, özlü elektrot kullanımıyla bir dizi avantaj sunar [25,30]:

- Yüksek Dolgu Hızı ve Oranı: Büyük miktarda kaynak metalini biriktirme kapasitesi yüksektir. Özlü ark kaynağı, 12 kg/s'ten daha fazla kaynak metalini biriktirme oranına olanak tanır. Bu, örtülü elektrotla yapılan kaynağın hemen hemen iki katına eşittir.
- Minimum Elektrot Atıkları: Özlü elektrotla ark kaynağı, dolgu metalini etkili bir şekilde kullanır. Özlü ark kaynağı elektrodunun ağırlığının %75 ila %90'ı metal içerir, geri kalan kısım ise özdür. Diğer yandan, örtülü elektrotlar maksimum %75 dolgu metaline sahipken, bazıları daha az dolgu metaline sahiptir. Ayrıca, her kaplamalı elektrodun ucu kullanılmayan bir uzunluk bırakmalıdır. Bu kullanılmayan alanın uzunluğu yaklaşık olarak 51 mm olacaktır ve bu durum, kaplamalı elektrodun kaybının %11 veya daha fazlasına neden olacaktır. Özlü ark kaynağında elektrot kaybı olmadığı için, bu yöntem oldukça verimlidir.
- Dar Kaynak Ağızı Açısı: Çalışma sırasında çok küçük bir kaynak ağızı açısı kullanılabilir veya ince parçalarda hiç kaynak ağızı açısı gerekmez. Daha küçük bir kaynak oluşturan azaltılmış kaynak ağızı açısı, dolgu metalinden tasarruf sağlayabilir ve aynı zamanda kullanılan zaman ve kaynak gücünden tasarruf sağlar.
- Minimum Ön Temizleme: Oksit giderici ve diğer ek katkı maddelerinin kullanılması, hafif yüzey oksitleri ve küçük yüzey düzensizliklere sahip malzemelerde yüksek kaliteli kaynakların yapılmasına olanak tanır.
- Bu durum, gaz metal ark kaynağının uygulanmasından önce gerekli olan ön temizleme işlemlerinin büyük bir kısmını ortadan kaldırır. Genel olarak, "kesilmiş" durumdaki

plakalarda mükemmel kaynaklar yapmak mümkündür ve bu durumda temizlik gerekmez.

- Her Pozisyonda Kaynak: Özel akıların yanı sıra küçük elektrot çapları, mükemmel kaynaklara tüm pozisyonlarda izin verir. Bu yöntem, kullanımı oldukça basittir ve uygun doğrultuda ayarlandığında, diğer tüm pozisyonlarda yapılan ark kaynağı işlemlerinden çok daha kullanıcı dostudur.
- Esneklik: Mekanizasyona kolayca uygun bir metottur. Güç ayarlarındaki farklılıklar, aynı elektrot boyutunu ayarlayarak ince saclardan daha kalın plakalara kadar kaynak yapılmasına imkan tanıyabilir. Çok sayıda pasodan oluşan kaynaklar, farklı kalınlıktaki metallerin birleştirilmesine olanak sağlar. Bu avantaj, tek bir elektrot boyutu kullanılarak elde edilebilir.
- Yüksek Kalite: Öz katkısı, prosese kazanlar, basınçlı kaplar ve yapısal çeliklerde kaynak yapma sürecinde yüksek güvenilirlik temin eder.
- Mükemmel Kontrol: Ergitilmiş kaynak havuzu, gaz metal ark kaynağına kıyasla özlü elektrotla kaynak işleminde daha kolay kontrol edilebilir. Bu yöntemdeki yüzey görünümü, operatörün daha az beceriye sahip olmasına rağmen yüksek kalitededir.
- Az Deformasyon: Özlü elektrot kullanılarak yapılan kaynak işleminde deformasyon daha az olur. Dikiş altı küçük çatlaklar daha az fark edilebilir biçime getirilir.

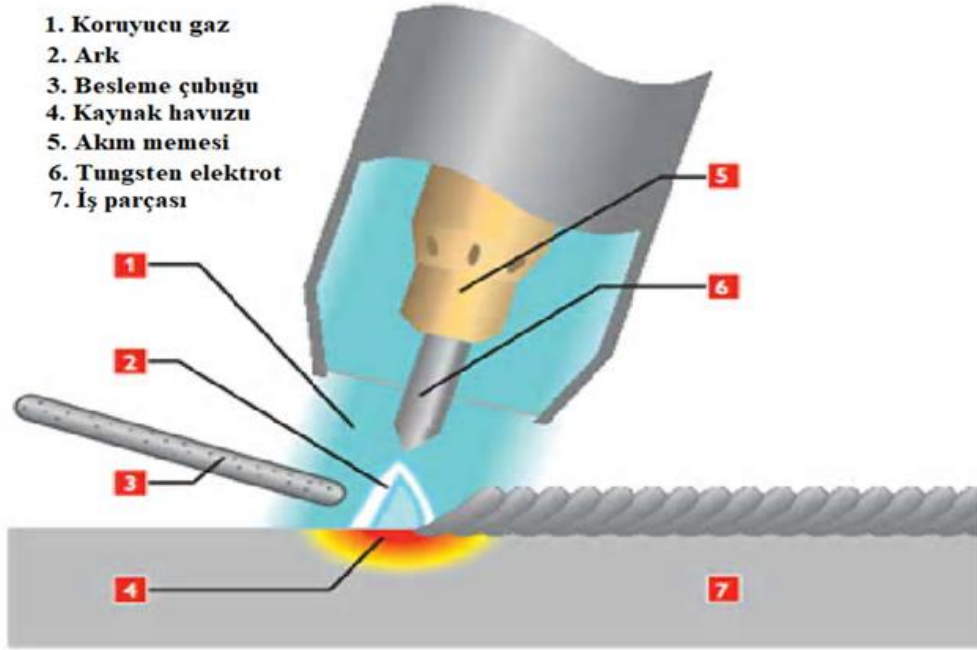
Dolgu kaynaklarında koruyucu atmosfer oluşturmadan gerçekleştirilen kaynak işlemine "açık ark" metodu denir. Açık ark tekniğinde, özellikle azot ve karbon gibi havadan gelen bileşikler kaynak havuzuna etki eder. Bu durum, karbon karbür oluşumunu teşvik ederken, azot nitrür oluşumuna yol açabilir. Dolgu kaynaklarında nitrür veya karbonitrür oluşumu, kaynak dolgusunun aşınma mukavemetinin kazanılmasında önemlidir. Bu nedenle, dolgu kaynağı yapılırken gaz korumasının, kaynak metaline girebilecek azotu engelleyerek büyük bir avantaj sağlamayabileceği düşünülebilir. Örneğin, bazı özlü elektrotlarda titanyum içeren dolgu kaynakları kullanıldığında, açık ark tekniğiyle yapılan işleminde titanyum karbür (TiC) oluşumu gözlenebilir. Titanyum karbür, yüksek derecede sertlik verileri elde ettiren bir karbür türüdür ve sertlik açısından ikinci sıradadır, bu sayede sertlik artışı sağlanabilir [31].

### 2.2.9. Gaz Tungsten (TIG) Ark Kaynağı

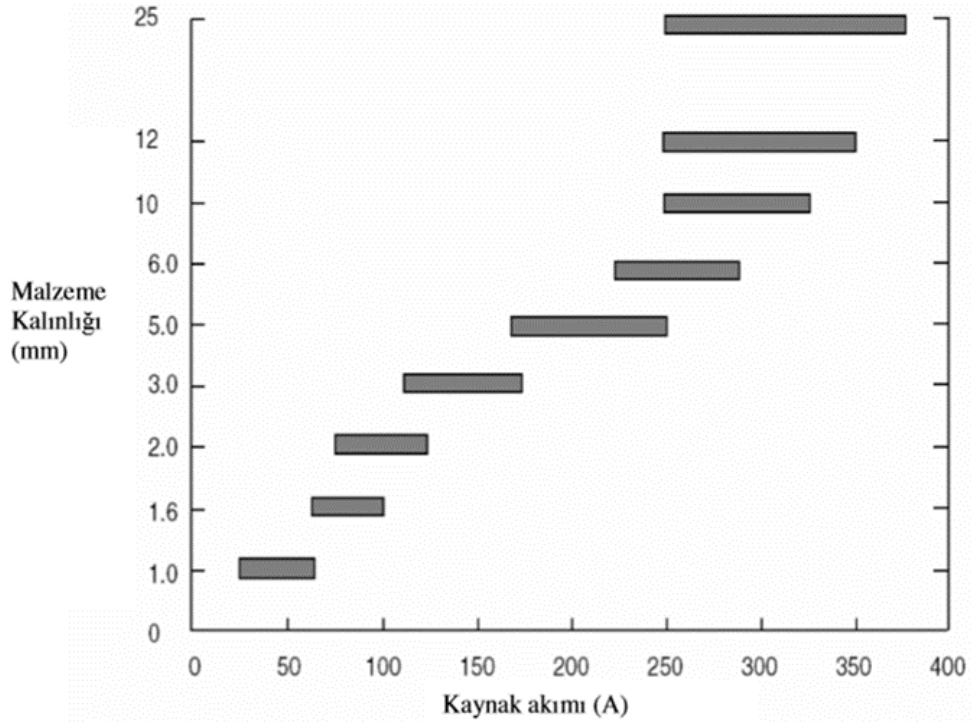
TIG kaynağı, tüketilmeyen bir tungsten elektrodu kullanarak gerçekleştirilen bir ark kaynağı işlemidir. Kaynak bölgesi, atmosferden korunmak için genel olarak argon veya helyum gibi bir asal gaz kullanılarak korunur ve çoğunlukla bir dolgu metal eklenerek tamamlanır. Güç, kaynak makinesinden torç aracılığıyla tungsten elektroda iletilir. Daha sonra, sabit bir akım kaynak gücü kullanılarak tungsten elektrot ile iş parçası arasında yüksek iyonize gaz ve metal buharlarının bir sütunu aracılığıyla bir elektrik arkı oluşturulur ve bu şekilde kaynak süreci tamamlanır. Tungsten elektrot ve kaynak havuzu çevresi, etrafındaki havanın etkilerinden bir asal gazla korunur. Elektrik arkı, malzemenin iki farklı bölmesini ergetmek ve kaynaştırmak amacıyla kullanılabilir. 20.000°C'ye kadar sıcaklıklar üretebilir. İhtiyaç halinde, kaynak işlemi ilave dolgu malzemesi kullanılmadan da gerçekleştirilebilir. Genellikle, tungsten elektrotlar 0,5 mm ila 6,4 mm çapında ve 150-200 mm uzunluğunda üretilir. Elektrodun akım taşıma kapasitesi, elektrodun kutuplanma şekli ile ilişkilidir. TIG arkını muhafaza etmek amacıyla kullanılan güç kaynağı, ark uzunluğundaki birkaç milimetrelik değişikliklere rağmen sürekli bir akım değerini sürdürebilir. Bu tip güç kaynaklarına, düşey akım karakteristiklerine sahip güç kaynakları adı verilir. Bu nedenle, manuel kaynak sırasında meydana gelen doğal ark uzunluğu değişimlerinin kaynak akımı üzerinde çok az etkisi vardır [32].

TIG kaynağı işlemi, Şekil 2.28'deki gibi ark kolonu, kaynak çubuğu, kaynak havuzu, kullanılmayan tungsten elektrot ve elektrodu korumak için inert gaz kalkını kullanarak gerçekleştirilen bir ark kaynağı sürecidir. Kaynak arkı, sadece ısı kaynağı olarak görev yapar ve kaynak operatörü, bir kaynak dolgu çubuğu ekleyip eklememe fikrini düzenlemektedir. Kaynak havuzu kolaylıkla kontrol edilebilir ve ark, düşük kaynak akımlarında bile istikrarlı bir durumda kalır [33].

TIG kaynağı yöntemi, farklı özelliklere sahip yüzey modifikasyon işlemlerinin alt tabakaya uygulanmasına imkan tanır. Oluşturulan yüzey dolgusunun özellikleri, içerdiği bileşenlerin ve bu bileşenlerin oranlarının belirlenmesine bağlıdır. Yüzey dolgusu ve ana malzeme arasında eş zamanlı olarak gerçekleşen ergime olayı, ardından hızlı bir soğuma ve katılma sürecini beraberinde getirir. Hızlı katılma sonucunda, ince taneli mikroyapılarda bulunan sert karbür fazları oluşur ve bu yapılar, yüzeyde istenen sertliğe, aşınma direncine ve bunlar gibi benzeri özelliklere sahip olmaya olanak sağlar. TIG kaynağının üstün niteliği ve etkili asal gaz koruması sayesinde, TIG kaynağı ile beraberinde yüzey modifikasyonu metodu özellikle aşınma uygulamalarında ve sertlik gerektiren durumlarda mikroyapı özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılır [34,35].



Şekil 2.28. TIG kaynağı işleminin şematik gösterimi [36].



Şekil 2.29. TIG kaynak metodunda malzeme et kalınlığı baz alınarak kullanılan akım miktarları [33].

- Kaynak gerilim seviyesi: Şekil 2.29'daki gibi TIG kaynağı sırasında kullanılan kaynak gerilim değeri çoğunlukla kaynak makinesi tarafından düzenlenir veya sabitlenir. Bu gerilim değeri, ark genişliğini etkiler ve arkın daha kolay bir şekilde sürdürülmesine yardımcı olur.

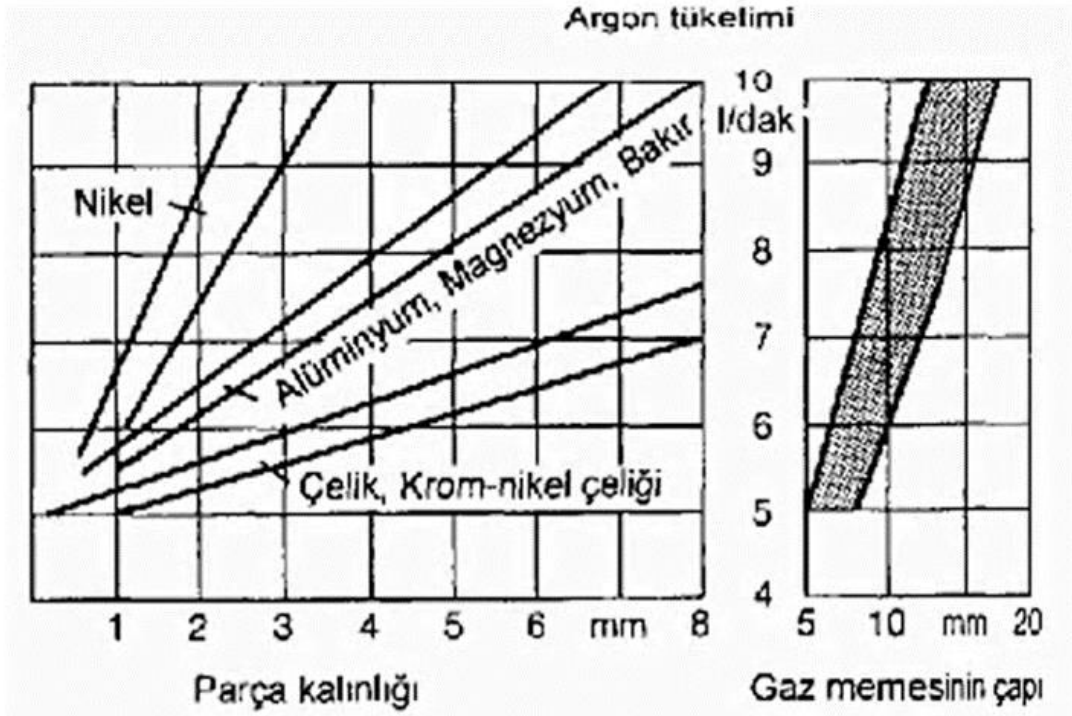
- Koruyucu gaz türü ve akış hızı: Koruyucu gazlar, kaynak işleminde iyonize bir ark oluşturarak ve kaynak havuzunu dış atmosferin olumsuz etkilerinden koruyarak temel bir rol oynar. Genellikle uygulamalarda saf argon gazı tercih edilse de zaman zaman çeşitli gaz karışımları da kullanılabilir. Bu karışım gazları arasında, Helyum, karbondioksit veya oksijen gibi aktif gazların kombinasyonları da tercih edilebilir. Bu sayede plazma haline gelen gazların termofiziksel vasıflarında değişikliklere gidilerek kaynak sürecinin ark biçimlendirmesi, ısı transferi ve gaz koruma alanı gibi özelliklerinde gelişmeler elde edilebilir [36].

Argon, helyuma kıyasla daha düşük bir iyonizasyon enerjisine sahip olması nedeniyle kolayca plazma oluşturabilir. Ark, bu özellik sayesinde stabil ve sakin bir şekilde yanar. Bununla beraber, kaliteli bir elektrik iletkenliğini elinde bulundurmaktadır. Ancak ısı iletkenliği düşüktür. Kaynak banyosunun yüzey gerilimi yüksek olup, sıçrama eğilimindedir ve tipik olarak argon parmağı şeklinde nüfuziyet sağlar. Düşük ark gerilimi, ısı girdisini azaltır. Argon, helyuma göre 10 kat daha ağır bir gazdır (Ar: 1,7840 kg/Nm<sup>3</sup>, He: 0,1785 kg/Nm<sup>3</sup>). Ayrıca, argonun havadan daha ağır olması, kaynak yerini daha etkili bir şekilde korur ve helyuma kıyasla daha düşük bir sarfiyata yol açar [30]. Tablo 2.2’de TS EN 439 baz alınarak belirlenen koruyucu gazların niteliği belirtilmektedir.

**Tablo 2.2.** TS EN 439 baz alınarak koruyucu gazların nitelikleri.

Gaz	Safılık (%)	Çiğlenme Sıcaklığı (°C)	Havaya Göre İzafi Yoğunluğu (Hava=1)	Reaksiyon Davranışı	1,013 Bar’daErime Sıcaklığı (°C)
Argon	99,99	-50	1,37	Asal gaz	-185,9
Helyum	99,99	-50	0,14	Asal gaz	-268,9
Hidrojen	99,5	-50	0,06	Redükleyici	-252,9
CO <sub>2</sub>	99,7	-35	1,44	Oksitleyici	-78,5

TIG kaynağı işlemi sırasında, koruyucu gazın tüketim miktarı ve bu baz alınarak belirlenmesi gereken gaz debi miktarı, malzemenin kalınlığı, kaynak yapılacak malzeme, tungsten elektrot çapı ve dolgu teli boyutuna bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu etkenler, ısının etkilediği alanın boyutlarının, kaynak sahasının genişliğinin ve kaynak hızının değişmesine neden olabilir. Ayrıca, kaynak işleminde kullanılan koruyucu gaz miktarı, torcun ucundaki gaz memesi çapıyla da ilişkilidir. Şekil 2.30’da parça kalınlığına ve gaz memesi çapına bağımlılık göstererek harcanan argon miktarını ve ilişkisini gösterilmektedir [30].



Şekil 2.30. Parça kalınlığına ve gaz nozulüne bağlı olarak argon tüketiminin tüketim oranları [30].

TIG kaynak işlemi süresince kullanılacak gaz tipi, yapılacak kaynağın malzemesi, kaynak maliyeti, sıcaklık, ark kararlılığı, kaynak hızı, sıçrama, elektrot ömrü gibi faktörlerle sıkı bir ilişkilidir. Seçilen gaz tipi kaynak darbe derinliğini, korozyon direncini, gözenekliliği, kaynak yüzey kalitesini ve mukavemetini etkileyebilir.

**Kaynak hızı:** Kaynak hızı, birim uzunluğa uygulanan ısı girdisini belirlediğinden ve ısıdan etkilenen bölgenin mukavemet değerleri buna bağlı olduğundan önemli bir faktördür. Eğer kaynak hızı gereğinden fazla artırılırsa, bu durumda kaynak penetrasyon etkisi azalabilir. Aşırı yüksek kaynak hızı, yanma çentiklerinin oluşma olasılığını artırabilir. Gözenek oluşma olasılığı hem çok yüksek kaynak hızlarında hem de çok düşük kaynak hızlarında artar [32].

Kaynak hızının artırılması, birleşme hatalarına neden olabilir, ancak azaltılması dikişin genişlemesine ve arzu edilmeyen aşırı ısı girişine neden olabilir. TIG kaynağında en sık kullanılan kaynak hızları genellikle 10 ile 40 cm/dk arasında bulunmaktadır [30].

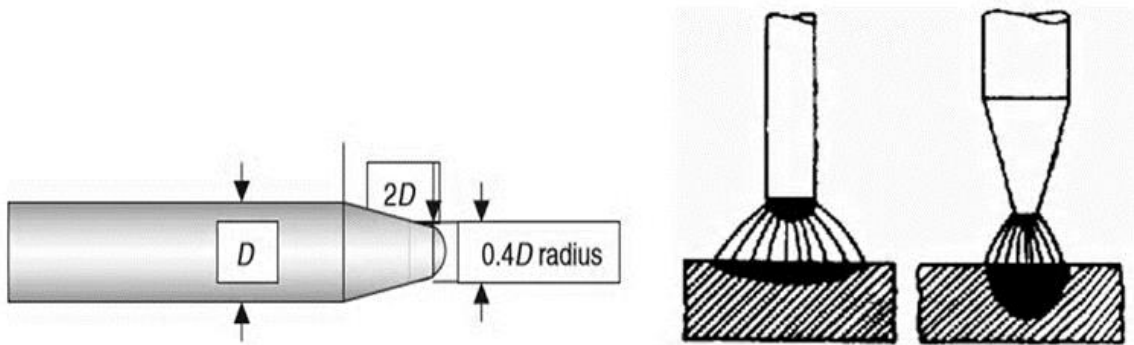
**Kaynak Öncesi Yüzey Hazırlığı:** Özlü kaynak teli üretildikten sonra, taban malzemesi kaynak için hazırlanmalıdır. Bu konudaki başlıca mecburiyet, iş bileşeninin temiz olması ve pas veya kirden uzaklaştırılmış olmasıdır. Kir, yağ, pas gibi unsurları gidermek amacıyla tel fırçalama ve/veya çözücü kullanılarak su ile yıkama işlemi gerekebilir [31]. Gazlı sert dolgu kullanılacaksa, temizlik derecesi çok daha fazla ön plana çıkmaktadır ve bu sebeple her işlemde iş parçasının temizliğine özen gösterilmelidir.

Genellikle düz bir işleme yüzeyine ihtiyaç duyulur ve bu, yuvarlatılmış veya yorulmuş yüzeylere, yüksek çıkıntılara veya diğer önemli yüzey düzensizliklerine sahip metalin düzleştirilmesini gerektirebilir. Bu tür düzensizliklerin giderilmesi amacıyla taşlama işlemi uygulanabilir [37].

**Ön ısıtma:** Yüzey sertleştirme işlemi sırasında, bazı durumlarda ön ısıtmanın gerekli olabileceği düşünülmektedir. Bu ön ısıtma, büzölmeleri önlemek ve iç gerilim oluşumunu azaltarak çatlama ve çarpılma riskini azaltmak veya engellemek amacıyla kullanılabilir. Ayrıca, malzeme yüzeyindeki nemin azaltılmasıyla porozitenin azaltılması mümkündür. Uygun ön ısıtma uygulamasıyla tutunma oranı artırılabilir.

Ana malzemenin kimyasını bilmek, doğru bir ön ısıtma sıcaklığı seçmede önemli bir faktördür. Ana alaşım maddesi, ön ısıtma sıcaklığına etki eden esas belirleyicidir. Tipik olarak, alaşım içeriği yükseldikçe, ön ısıtma sıcaklığı da artar. Kaynak esnasında, uygulanan sıcaklık, önceden belirlenmiş olan ön ısıtma sıcaklığı ile uyumlu olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ön ısıtma sıcaklığı olarak kullanılacak spesifik sıcaklıkların seçiminde bir diğer önemli faktör ana metalin kalınlığıdır. Ana metalin kalınlığı arttıkça daha yüksek bir ön ısıtma sıcaklığı gerekebilir, çünkü malzemenin kalınlığının artması soğuma alanının genişlemesine neden olabilir. Ön ısıtma sırasında, tüm bileşenlerin belirlenen ön ısıtma derecesine ulaştırılması amacıyla ısıtma önemlidir. Genellikle, önceden ısıtılmış tüm bileşenler yavaşça soğutulmalıdır [38].

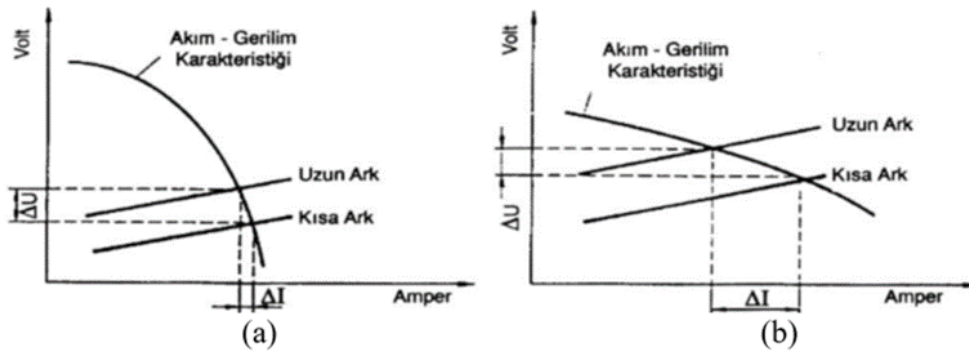
**Elektrot türü ve özellikleri:** Alüminyum malzemesinin alternatif akımda kaynaklanmasında, elektrot çapı ve içeriği seçilirken özen gösterilmelidir. Yanlış elektrot çapı, yüksek akım yüklemelerinde elektrodun eriyerek kaynak havuzuna girmesine neden olabilir. Uygun elektrot çapının seçilmesi durumunda ise elektrodun ucu eriyerek yarı küresel bir şekil alarak arkı durağan ve sabit konuma getirilir. Ark sapması görülmemesi amacıyla alüminyum kaynak işlemlerinde elektrot ucu sivri olmaktan ziyade, daha memnun edici ark tutarlılığı temin eden geniş çapta olan uçlu bir elektrot olmalıdır. Elektrodun ucu, Şekil 2.31'de gösterildiği gibi yuvarlak bir şekil oluşturmak için hafifçe konik olmalıdır.



Şekil 2.31. Önerilen elektrot şekli ve aynı akımda elektrot ucunun dikiş formuna etkisi [23,33].

Alüminyum kaynak işleminde, saf tungsten elektrotlar ile beraber zirkonyum eklenmiş elektrotlar önerilmektedir. Zirkonyum takviyeli elektrotlar, ekleme olamamış olanlara kıyasla daha fazla akım taşıma kabiliyetine ve daha uzun dayanıklılık ömrüne sahip olmalarıyla avantajlıdır. Toryum katkılı elektrotlar, genellikle düşük ark stabilitesi gösterdikleri için alternatif akım uygulamalarında tercih edilmez. Fakat günümüz şartlarında, toryum ihtiva edilmiş elektrotların kullanımı esnasında meydana çıkan radyasyon tehlikesini azalttığı düşünülen sezyum, seryum veya lantan gibi uzun süre dayanıklılık gösteren toprak elementleri sağlamaştırılmış elektrotların kullanımında bir artış gözlemlenmektedir [31,33].

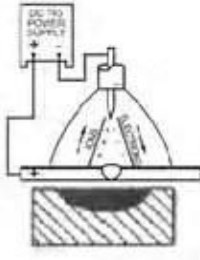
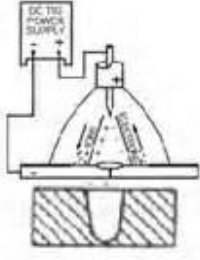
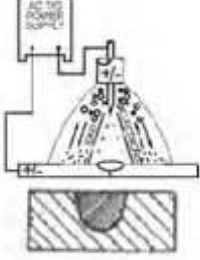



**Akım Türü:** Kaynak akımı üreteçlerinin V-I (volt-amper) kendine özgü özellikleri, manuel ark kaynağı ve TIG kaynağı işlemlerinde kullanılan akım üreteçlerinde dikey karakteristik gösterirken, MIG/MAG kaynağında ise yatay karakteristik sergileyen akım üreteçleri kullanılır. Şekil 2.32'deki bu akım üreteçlerinin grafikleri gösterilmektedir [39,40]. Alüminyum kaynağı baz alındığında, sadece doğru akım elektrot pozitif (DCEP) kutuplanarak yapılmaz ayrıca alternatif (AC) akım işlemlerinde de kullanılabilir. Fakat çoğu zaman alüminyum, magnezyum ve bu ikisinin alaşımları, stabil oksit filmi sebebiyle alternatif akımdan yararlanılarak kaynaklanır. Alternatif akımla icra edilen kaynağın artışı, verilen akım miktarını ters istikamete çevrilmesiyle küçük yüzey düzensizliklerini ve oksitleri temizlemesidir. Oksitler, değişken polarite arkına bağlı yüksek ısı konsantrasyonuna ve yüksek gaz enerjisine sahip iyonlar tarafından ayrıştırılır. Elektrot pozitif polarize olduğunda erimiş kaynak havuzundan çıkan elektronlar oksit katmanını parçalar. Halbuki, elektron çıkış enerjisinin düşük olması nedeniyle, bu elektronların alt kısmındaki metal cinsinden değil, var olan oksit tabakasından elde edildiği iddia edilmektedir. Elektrotun pozitif kutuplanması aynı zamanda TIG kaynağı için elektrodun eriyerek kaynak metali içine karışabileceği anlamına gelir. Bu durumu önlemek için alüminyum kaynaklarında alternatif akım tercih edilir. Yüzeydeki oksit filminin temizlenmesi kaynak kalitesini artırır. Tungsten elektrotun ucu yarım küre olduğunda ark enerjisini en iyi şekilde iletir ve en iyi kaynak performansını gösterir [30].



Şekil 2.32. a) Elle ark kaynağı ve TIG kaynağı için, b) MIG/MAG kaynakları için kaynak akım üreteci karakteristik diyagramı [40].

Alüminyum kaynağı için, derin penetrasyon ve dar kaynak bölgesi sağlamak üzere elektrodun negatif (DCEN) kutba bağlandığı doğru akım kullanılabilir. Bu yöntem, özellikle daha yüksek kalınlıktaki parçalar için uygundur. Ancak, DCEN kutuplamanın yüzey oksit temizleme özelliği yoktur. Dolayısıyla, kaynak öncesi kir ve oksit temizliğine daha fazla önem verilmesi gerekmektedir. Eğer helyum gazı kullanılırsa, bu, argon gazı kullanımına kıyasla daha derin penetrasyona neden olabilir [41]. Tablo 2.3’de TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi belirtilmektedir.

**Tablo 2.3.** TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi [43]

Akım Türü ve Kutuplama	Doğru Akım, Elektrot Negatif	Doğru Akım, Elektrot Pozitif	Alternatif Akım
Elektronların ve İyonların Akış Yönü			
Dikişin Nüfuziyet Biçimi			
Oksit Temizleme Etkisi	Yok	Var Kuvvetli	Var Orta
Nüfuziyet	Derin ve dar	Az ve geniş	Orta derinlik
Elektrot Akım	Fevkalade	Kötü	İyi
Kapasitesi	3,2 mm çap 400 A	6,4 mm çap 120 A	3,2 mm çap 225 A
Isı Dağılımı	%70 iş parçası %30 Elektrot ucuna	%30 iş parçası %70 Elektrot ucuna	%50 iş parçası %50 Elektrot ucuna

TIG kaynağı yöntemi, neredeyse tüm metallerin ve alaşımların kaynak ile birleştirilmesini mümkün kılar. TIG kaynağı çelik alaşımları, alüminyum, titanyum, zirkonyum alaşımları ve nikel gibi metallerin kaynağında kullanılır. Ancak kurşun ve çinkonun düşük erime sıcaklığı nedeniyle kaynaklanabilirliği zordur [42].

TIG kaynağının çeşitli endüstrilerde geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Bu alanlar şunlardır [43]:

- Alüminyum konstrüksiyonların birleştirilmesinde (kaynaklanmasında) (mutfak ekipmanları, boru tesisatları, tank imalatı, taşıt üretimi, deniz ürünleri iş kolu, gemi ve yat imalatı vb.).
- Paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde (kaynaklanmasında) (gıda endüstrisi, kimyasal tesisler, boru tesisatları, tıbbi cihaz üretimi, ısı değiştiriciler, tanklar, gaz ve buhar türbinleri, havacılık endüstrisi vb.).
- Magnezyum parçaların birleştirilmesinde.

- Oksijeni uzaklaştırılmış bakır ve bakır bileşenlerinin birleştirilmesinde (elektrik amaçlı parça imalatı, kimya endüstrisi vb.).
- Sert dolgu yüzey kaynakları (valf oturma yüzeyleri vb.).
- DKP çelik levhaların birleştirilmesinde (uzay ve havacılık endüstrisi, ince sac konstrüksiyonları vb.).
- Spesifik işçiliklerin birleştirilmesinde (kaynaklanmasında) (kaplamalı çinko), sacların birleştirilmesi, nükleer santral inşası vb.

TIG kaynak işleminin birçok kaynak metoduna kıyasla birkaç avantajı bulunmaktadır [43]:

- Pratik olarak tüm metal alaşımlarına gerçekleştirilebilir.
- İnert gaz korumasının kullanılması nedeniyle kaynak dikişindeki oksidasyon riski minimum düzeydedir ve bu durum, kaynak metalinde alaşım elemanlarının kaybını önler. Bu sayede kaynak dikişi kalitesi üst seviyede olur.
- Yüksek kalitedeki kaynak dikişi nedeniyle genellikle sonradan işleme ihtiyaç duyulmaz; eğer ek işleme gerekiyorsa, üstün kaynak dikişi kalitesi sayesinde maliyetler daha düşüktür.
- Isıdan etkilenen alan diğer yöntemlere göre daha küçüktür, bu da iç gerilmeleri ve çarpılmaları azaltır.
- Herhangi bir imkan ve şekilde kaynak işlemini yapabilmek mümkündür.
- Bu kaynak metoduyla değişik tür metallerin birbirleriyle kaynaklanması mümkündür.

TIG kaynağı, bazı dezavantajları da bünyesinde bulundurur:

- Diğer gaz altı kaynak metodlarına kıyasla daha yavaş bir işlemdir.
- Daha dikkatli ve hassas bir işçilik gerektirdiği göz önüne alındığında daha yetenekli kaynak operatörlerine ihtiyaç duyulur.
- Kaynak işleminin daha yavaş olması nedeniyle yapıcı büyük iş bölmelerinin kaynaklanma işleminde ekonomik olarak doğru bir tercih değildir.
- Rüzgarlı ortamlarda soygaz korumasını sağlamak mümkün olmadığı için bu tür hava akışının bulunduğu yerlerde kullanılmaya uygun bir yöntem değildir [44].

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda yüzey kaplama yönteminin önemi artmaktadır. Malzemelerin istenmeyen etkilere karşı bakımı ve tamiriyle birlikte, malzemenin uzun ömürlü olmasını ve dayanıklılığını üretim proseslerinde korumasına odaklanılmaktadır. Yüzey sertleştirme yöntemleri üzerine birçok çalışma yürütülmüştür. Aynı zamanda, malzemenin korozyona, aşınmaya, erozyona, abrazyona karşı dayanıklılığını artırmak için çeşitli kaynak işlemleri ve yüzey kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. TIG kaynak yöntemi ile kaplama yapmanın en önemli avantajlarından biri; düşük maliyetli, pratik bir şekilde uygulanabilir, atmosferik ortam şartlarında gerçekleştirilebilir olması ve oluşan kaplama tabakasının yüzeyinin yüksek kalitede olmasıdır. Yapılan literatür çalışmalarında, TIG kaynak yöntemiyle gerçekleştirilen kaplama çalışmaları ile diğer ergitme yöntemleri kullanılarak yapılan kaplama çalışmalarının bir kısmı incelenip özet olarak sunulmuştur.

Son dönemde, ileri teknoloji gelişmeleri bağlamında, altlık malzemesi olarak kullanılan malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu nedenle, malzeme yüzeyine kaplama yapmak için kullanılan yöntemler ve bu çalışmalarda öne çıkan konular, literatür taramaları eşliğinde genel olarak aşağıda sıralanmıştır. Literatür araştırmalarından bazılarını şu şekilde listeleyebiliriz:

Buytoz ve ekibinin (2005) [45] yürüttükleri araştırmada, AISI 4340 çelik malzemenin yüzeyine tungsten inert gaz (TIG) yöntemini kullanarak WC tozuyla yüzey modifikasyon işlemi gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Farklı toz enjeksiyonu ve enerji girdisine sahip WC tozu karışımlı malzemelerde çeşitli fazlar oluşmuştur. Bu fazlar; üretim hızının düşük olmasıyla birlikte yüksek enerji girdisinin etkisiyle düzenli bir biçimde yayılan  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$ ,  $Fe_3W_3C$ ,  $W_2C$  ve karbürleriyle beraber  $\gamma$ -FeCrNiW fazlarıdır. Kaplama yapılan yüzeyde mikro yapıda görülen karbürü yapıların bulunduğu ve dentritik yapıların bazı noktalarda yoğun bir şekilde olduğu tespit edilmiştir. Karbürü bölgelerde ötektik üstü fazların hâkim olduğu ve W elementince zengin fazlar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Buytoz ve ekibinin (2005) [46] çalışmasında, AISI 4340 çelik malzemenin yüzeyine gaz tungsten ark metoduyla Fe-Cr-C tozlarıyla kaplama işlemi uygulayarak mikroyapı ve mikrosertlik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmada, işleme parametrelerinin ötektik altı ve ötektik üstü yapıların varlığını etkilediğini belirtmişlerdir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik malzemesinde farklı konsantrasyon özelliğine sahip karbürü yapıların tespit edildiğini ve mikroyapı içerisinde ara yüzey bölgesinde yoğun olarak bulduklarını ifade etmişlerdir. Ötektik fazlarda  $M_7C_3$  karbürü yapıların olduğunu ve C ile Cr konsantrasyonlarının bu yapıları etkilediğini açıklamışlardır. Kaplama bölgesinin dört farklı temelden oluştuğunu belirterek, bu bölgeleri kaplama bölgesi, geçiş bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge (ITAB) ve esas malzeme olarak

adlandırmışlardır. Mikroyapı açısından kaplamaları incelediklerinde çatlak ve gözenekli yapıya dair herhangi bir makro veya mikro boyutlu bulgu olmadığını rapor etmişlerdir. Fe-Cr-C tozuyla AISI 4340 çelik malzemeye başarılı bir şekilde kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Buytoz (2006) [47], silisyum karbür kaplamaların mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki etkileri deneysel olarak inceleyerek Tungsten Inert Gaz Ark (TIG) işlemi parametrelerini araştırmıştır. Bu kaplamalar, TIG işlemi kullanılarak SAE 1020 çelik alt tabaka üzerine uygulanmıştır. İşleme parametrelerine (örneğin, ısı girdisi, toz içeriği ve işlem hızı) bağlı olarak, işlem sırasında tamamen çözünen silisyum karbür partikülleri ve çeşitli mikro yapılar elde edilmiştir. Düşük toz içeriklerinde mikro yapılar genellikle dendritlerden oluşmuştur. Ancak yüksek toz içeriklerinde,  $M_7C_3$  birincil karbürler,  $Fe_3Si$ ,  $SiC$  fazları ve grafit karbon çökeltileri içeren farklı mikro yapılar oluşmuştur.

Buytoz ve Ulutan (2006) [48], AISI 304 paslanmaz çelik üzerine uygulanan TIG kaynak yöntemi ile  $SiC$  takviyeli Metal Matrix Composite (MMC) yüzey modifikasyonunu incelemiştir. Çalışmada, farklı oranlarda  $SiC$  takviye tozları kullanılarak çelik yüzeyine kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Düşük toz içeriğine sahip kaplamalarda mikro yapılar genellikle dendritlerden oluşmuştur. Ancak yüksek toz içeriklerinde  $M_7C_3$  birincil karbürler belirgin hale gelmiştir. Dendritik yapının sertliği 550 HV ile 750 HV arasında değişmektedir. Öte yandan, ötektik üstü yapıların sertliği 890 HV ile 1210 HV arasında değişmektedir.  $SiC$  tozlarının yapı içinde çözündüğü ve herhangi bir çatlak veya hasar tespit edilmediği belirlenmiştir. Kaplama bölgesi, altlık tabakası, geçiş bölgesi ve kaplama yüzeyinden oluşmaktadır.

Buytoz ve ekibi (2009) [49], AISI 4140 altlık malzemesinin yüzeyine, gaz tungsten ark (GTA) yöntemini kullanarak  $SiC$  ve  $C$  tozları ile kaplama işlemi gerçekleştirmiştir. SEM görüntüleme analizi sırasında, kaplama katmanında dendritik yapıların yanı sıra, Fe-Cr-Si içeren ince grafit taneleri içeren ve tamamen çözünmeyen az miktarda metal karbür içeriğine sahip bölgelerin varlığı tespit edilmiştir. Toz yedirme oranı ve enerji girdisi parametreleri arttıkça, kaplama yüzeyinden esas malzemeye doğru Si ve C elementlerinin daha düşük toz yedirme ve enerji girdisi olan numunelere kıyasla daha fazla dağılım gösterdiği ve ara yüzey bölgesinde yapısal değişikliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Kaplanan malzemelerde üretim parametrelerinin ve toz yedirme miktarlarının değiştirilmesiyle farklı mikroyapıların ve farklı biçim ve oranlarda fazların ve karbürlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca XRD sonuçları,  $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ,  $Fe_2C$ ,  $Fe_3C$ ,  $Fe_7C_3$  karbürleriyle birlikte ferrit, dendritik, perlit ve martenzit yapılarını içermektedir.

Chen ve Pan (2011) [50], ticari olarak sıcak haddelenmiş Ti-6Al-4V alaşımlarının 3,2 mm kalınlığındaki numunelerini, ısı girdisini azaltan ve yüksek nüfuziyet sağlayan dinamik kontrollü plazma ark kaynak yöntemini, TIG'i ve geleneksel plazma ark kaynak yöntemlerini birleştirerek incelemişlerdir. Yürütülen kıyaslama sonuçlarına göre, dinamik kontrol edilen plazma ark kaynağının, TIG ve geleneksel plazma ark kaynağı metotlarına kıyasla daha düşük ısı girişi ve

küçük kaynak havuzu hacmi sağlamak adına etkili bir strateji olduğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda, dinamik kontrol edilen plazma ark kaynağı yönteminin tane boyutunu azaltma ve ergime bölgesinde sert martenzit fazlarının oluşumunu engelleme avantajlarına sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında, dinamik kontrollü plazma ark kaynak yönteminin, titanyum alaşımlarının kaynağında istenen kırılma yüzeylerinde süneklik ve sertlik değerlerini artırdığını ek olarak bildirmişlerdir.

Sahoo ve Masanta (2017) [51], TIG yöntemiyle AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine TiC-Ni ilaveli toz karışımı kullanarak yüzey modifikasyon işlemi gerçekleştirmiştir. Ni tozunun eklenmesiyle birlikte, TiC partikülleri ve çelik matris arasında güçlü bir bağ ile karakterize edilen sert ve aşınmaya dirençli bir kompozit kaplama elde edilmiştir. Kaplamada TiC ve bir miktar Ni ve Ti intermetalığının varlığı, üstün arayüzey bağından kaynaklandığı için kaplamanın daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir. EDS analizi, Ni'nin kaplama yüzeyine eşit olarak dağıldığını ortaya koymuştur. Bu durum, TiC partiküllerindeki Ni elementinin kısmi seyreltilmesinden veya çelik matrisle karışan Ti-Ni intermetalik oluşumundan kaynaklanabilir. Ayrıca, Ni'nin daha yüksek yoğunluğu nedeniyle, erimiş nikelin bir miktarının yüksek sıcaklıkta çelik substratta çökmesi veya yayılması mümkündür. Deneysel sonuçlar, TiC-Ni kaplamanın, saf TiC kaplamaya göre nispeten daha yüksek sertlik değeri sergileyerek düşük akımda (düşük ısı girdisinde) üretilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, nikel tozunun ilavesinin, AISI 304 paslanmaz çelik alt tabaka üzerine TIG kaplama işlemi ile tamamen kaplanmış sert ve aşınmaya dayanıklı TiC-Ni kompozit kaplama başarısını artırdığını ortaya koymaktadır.

Gope ve ekibi (2018) [52], 12 l/dk argon gaz koruması altında modifiye edilmiş üç farklı kaynak akımı ve üç farklı kaynak ilerleme hızı kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirdikleri 2.5 mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V alaşımı numuneleri üzerinde çekme ve sertlik testleri gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, numunelerin mikroyapısal özelliklerini, özellikle kaynak ergime bölgesi ve ITAB bölgelerini incelemişlerdir. Çekme testi sonuçlarına göre, düşük akım ve yüksek kaynak hızına sahip numunenin çekme dayanımının altında kırıldığını ve numunelerin çoğunlukla ana metal bölgelerinde kırıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, metalin uzamasının öncelikle ısı girdisinden etkilendiğini ve yüksek ısı girdisinin sertliği ve kırılma direnci artırarak düşük sünekliğe neden olduğunu rapor etmişlerdir. Sertlik ve mikroyapı çalışmalarının sonuçlarına göre, kaynak metalinden ana malzemeye doğru bir azalma olduğunu ve mikroyapının ana metalde ergime bölgesi ve ITAB'dan daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Shahroozi ve ekibi (2018) [53] tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 TiC içeren bir Stellite 6/TiC partikül kompoziti, tungsten inert gaz (TIG) işlemi kullanılarak karbon çeliği altlık üzerine uygulanmıştır. Kaplama katmanlarının mikroyapısı, faz diyagramı, mikrosertliği ve aşınma direnci farklı incelemeler kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgulara göre, Stellite 6/TiC kaplamanın mikroyapısı ötektik bir yapı, Co katı çözültüsü matrisi ve

birincil TiC parçacıklarından oluşmaktadır. X-ışını kırınımı (XRD) analizi, kobaltın iki allotropik yapısının (Co-FCC ve Co-HCP), kısmi bir Co ve Ti'nin intermetalikliğinin ve kaplamada bazı karbür türlerinin varlığını ortaya koymuştur; bunlar, kaplamanın aşınma direncini artıran güçlü ara yüzey bağının nedenidir. Karbon çeliği alt tabaka ile karşılaştırıldığında, Stellite 6 ve Stellite 6/TiC partikül kompozit kaplama, sırasıyla sertliği ve aşınma direncini 2–3,5 kat ve 2–12 kat artırmıştır. Daha yüksek TiC içeriği ile sertlik ve aşınma direncinde daha fazla iyileşme elde edilmiştir.

Kırık ve ekibi (2019) [54] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, TIG kaynak işlemi kullanılarak WC takviyeli farklı miktarlarda Co-Cr esaslı tozlar St52 çelik malzeme yüzeyine kaplama işlemi için kullanılmıştır. Farklı toz yedirme oranları ve karışımın etkileri nedeniyle kaplama tabakası altlık malzemesine doğru farklı yapılar sergilemiştir. Ayrıca, çok farklı bölgelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir. Kaplama tabakasında herhangi bir hasar veya çatlak tespit edilmemiştir. Sadece kaplama yüzeyinde mikro boşluklar gözlemlenmiştir. Bu boşlukların oluşumu, farklı yoğunluktaki ve ısıl karakterlere sahip tozların katılmasında meydana gelen konsantrasyon farklarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kaplama yüzeyinde WC tozlarının düzensiz bir şekilde dağıldığı ve ötektik yapılar ile dentritik fazların bulunduğu gözlemlenmiştir.

Kumar ve ekibinin (2021) [55] yürüttüğü bir çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine TIG kaplama tekniği kullanılarak Fe-TiB<sub>2</sub> tozu ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. TIG kaplama süreci ile üretilen TiB<sub>2</sub> takviyeli Fe bazlı metal matris kaplama, genel olarak iyi bir metalurjik bağ geliştirdiği görülen kaplama morfolojisine sahiptir. Kaplama özellikleri olumlu yönde etkilenmiş, mikrosertlik alt tabakaya göre 2,66 kat artmış ve düzgün dağılmış (TiB<sub>2</sub>) ve çatlaksız bir kaplama elde edilmiştir. Modifiye edilmiş enine kesitte üç farklı bölge belirlenmiş; bunlar kaplama bölgesi, arayüz bölgesi ve ısıdan etkilenen bölge olarak adlandırılmıştır. SEM görüntülerinde, arayüz bölgesinde yönlü katılmanın alt tabakaya doğru daha yüksek sıcaklık gradyanından kaynaklandığını gösterir; arayüze yakın mikro yapı daha büyük olasılıkla dendritik veya hücreli bir yapıya sahiptir. Genel olarak, kaplama başarılı bir şekilde altlık malzeme ile entegre olmuştur. Kaplamada çatlaklı veya hasarlı bir yapıya rastlanmamıştır; ancak gözenekli bir yapı gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak, reaksiyon sonucunda oluşan gazın gözenek oluşumuna yol açması beklenmiştir.

Zhu ve ekibinin (2021) [56] çalışması, 4Cr5MoSiV1 (AISI H13) çeliğinin yüzey modifikasyonunu hedefleyen TIG (tungsten inert gaz) yeniden eritme işlemini içermektedir. TIG yeniden eritme işlemi, argon koruması altında gerçekleştirilmiş olup 250 A kaynak akımı ve 120 mm/dk kaynak hızı gibi temel parametreler kullanılmıştır (3.0 mm elektrot çapı). 4Cr5MoSiV1 çeliğinin yüzeyi TIG yeniden eritildikten sonra, vücut merkezli kübikten (BCC) yüzey merkezli kübik (FCC) faz geçişi gözlemlenmiş ve tane sınırları boyunca büyük miktarda Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> çökeltisi oluşarak ötektik yapılar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, TIG yeniden eritme tabakasının modifiye edilmiş yüzeyinin, özellikle tane sınırları boyunca oluşan Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> çökeltisi sayesinde, orijinal çeliğe

göre daha iyi korozyon direncine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, TIG yeniden eritme tabakasının mikrosertliği önemli ölçüde artırılmış, bu durum da daha düşük sürtünme katsayısına ve daha iyi aşınma direncine neden olmuştur. Bu çalışma, TIG yeniden eritilmiş  $4Cr_5MoSiV_1$  çeliğin performansını büyük ölçüde iyileştirebilen, özellikle faz geçişi, çökeltme ve tane sınırındaki değişiklikler gibi yenilikçi uygulamalara odaklanmıştır.



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

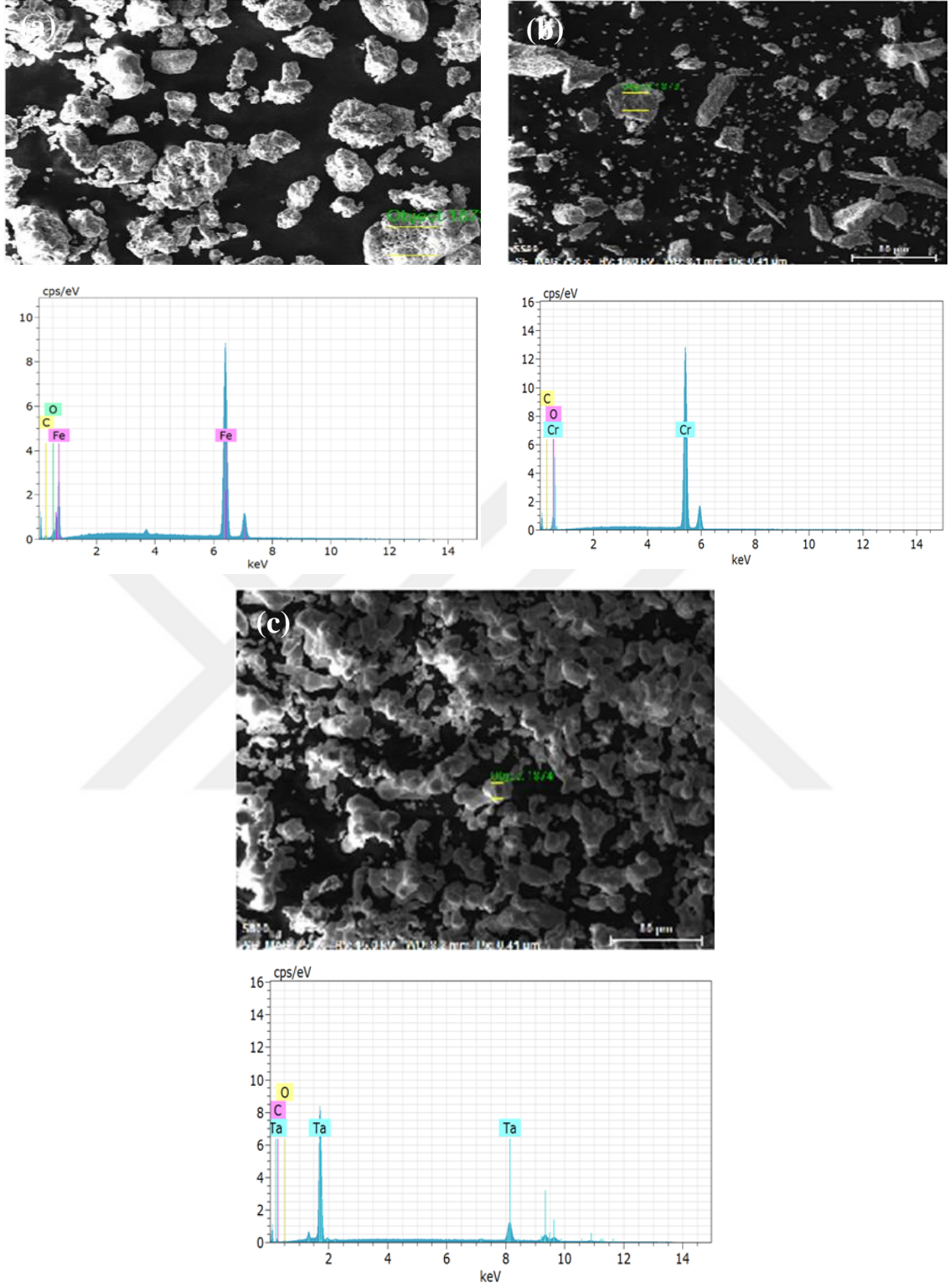
### 4.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine Fe-Cr-Ta tozu kullanılarak geleneksel ergitme kaynak tekniklerinden Tungsten Asal Gaz (TIG) yöntemiyle yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasındaki potansiyel faz ve karbür oluşumlarının malzemenin yüzeyine etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik alt tabakası üzerine Fe-Cr'a, ağırlıkça farklı oranlarda belirlenen nadir element olan Tantalyum (Ta) eklenerek, mekanik özelliklerin, özellikle sertlik ve darbe direncinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma üç aşamada yürütülmüştür. Bu aşamalar şunlardır:

1. AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinde kanal açılması,
2. Fe-Cr-Ta (%ağırlık) tozları kullanılarak TIG yöntemiyle AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinin kaplanması ve Ta elementinin kaplamaya olan etkisinin gözlenmesi,
3. Kaplanan numunelerin mikroyapılarının ve mekanik özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi.

### 4.2. Malzeme ve Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılan Fe, Cr ve Ta, %99,9 saflıkta bulunmakta olup tane boyutları 45 µm (-325 mesh) olarak belirlenmiştir. Tozların SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları Şekil 4.1'de sunulmuştur. %75 Fe - %25 Cr ağırlık oranına sahip tozlar, homojen bir karışım elde etmek amacıyla 25 dakika boyunca karıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de, tozların özellikleri ise Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kaplamada kullanılan tozların morfolojileri ve EDS spektrumları; (a) Fe tozu, (b) Cr tozu ve (c) Ta tozu

**Tablo 4.1.** AISI 304 çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu

AISI 304	C	Mn	Si	Ni	Cr	Fe
	0,037	1,5	0,48	8,56	18,45	70,552

**Tablo 4.2.** Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri

Malzeme özellikleri	Demir tozu	Krom tozu	Tantalyum tozu
Saflık derecesi (%)	99,9	99,9	99,9
Toz Boyutu (mesh)	325	325	325
Erime sıcaklığı (°C)	1536	1875	2996
Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	7,87	7,19	16,6
Atom kütlesi (gr/mol)	55,845	51,9961	180,94788
Kaynama sıcaklığı (°C)	3000	2475	5425

TIG yöntemiyle gerçekleştirilen yüzey kaplama işlemleri için, boyutları 100x20x10 mm olan AISI 304 paslanmaz çelik kullanıldı. Tozların yüzeyden uzaklaşmasını engellemek için, 1,5 mm derinliğinde ve 6 mm genişliğinde bir kanal açıldı. Yüzey işlemi sonrasında, yağ ve metal atıklardan arındırılmak üzere aseton kullanılarak temizlendi ve kurutuldu. Tablo 4.3'te belirtilen ağırlık oranlarına sahip olan tantalyum (Ta) tozu, Fe-Cr tozlarına eklenmiştir. Ark sırasında argon koruyucu gaz debisi nedeniyle, toz ve toz karışımlarının numune yüzeyinden uzaklaşmaması için küçük miktarda bağlayıcı kullanılarak yüzeyde tutulmuş ve 50°C ortam sıcaklığında 30 dakika boyunca kurutulmuştur. Kaplama işlemi TIG yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup, ark, 2.54 mm çapında %2 toryumlu tungsten elektrod ile 12 lt/dk debili argon gaz atmosferi altında üretilerek, malzeme yüzeyinde kaplama tabakası oluşturulmuştur.

**Tablo 4.3.** TIG yöntemiyle kaplama için deney koşullarının detayları

NUMUNE	AKIM	TOZ İÇERİĞİ (% Ta)	ÜRETİM HIZI (mm/s)	ISI GİRDİSİ (J/mm)
N1	110	0	0,786	930
N2		5	0,739	899
N3		10	0,718	824
N4		15	0,658	800
N5		20	0,636	752

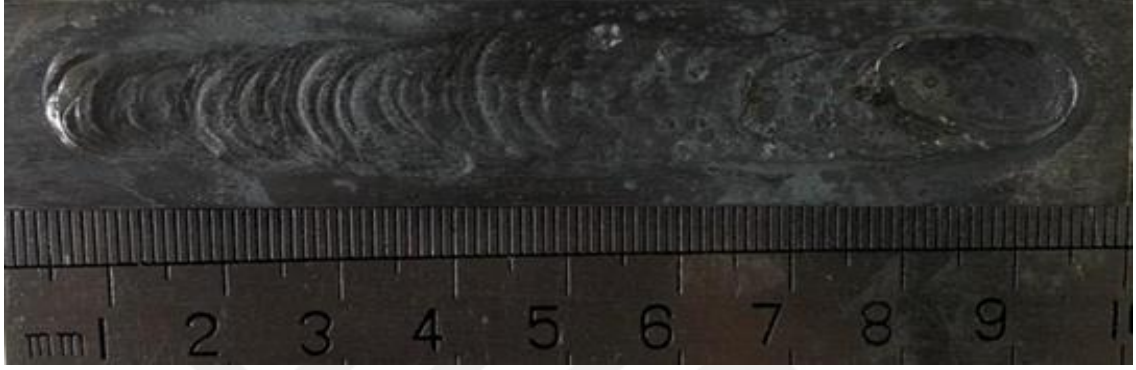
\*Isı girdisi  $Q = \eta \cdot U \cdot I / s$ , U: volt, I: akım, s: üretim hızı,  $\eta$ : katsayı (TIG prosesi için  $\eta=0.48$ )

TIG yöntemiyle gerçekleştirilen kaplamalar için gereken kaynak parametreleri Tablo 4.4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.4.** TIG kaynak parametreleri

Koruyucu Gaz Cinsi	Koruyucu Gaz Debisi (lt/dk)	Kaynak Gerilimi (Volt)	Kaynak Akımı (Amper)	Akım Türü	Tungsten Elektrod Cinsi	Tungsten Elektrot Çapı (mm)
Argon	12	11,2	110	DC	% 2 Toryumlu	2,54

TIG kaynak yöntemiyle oluşturulan kaplamanın makro görüntüsü tab 4.2'te sunulmuştur.



**Şekil 4.2.** TIG kaynak yöntemiyle kaplama yapılan Fe-Cr-Ta kaplamanın makro görüntüsü

### 4.3. Mikroyapı İncelemeleri

Numuneler, metalografik incelemeler için hazırlandı. Yüzeyleri sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı su zımparası kullanılarak parlatıldı. Daha sonra 1- 3 µm boyutundaki elmas pastası ile ince parlatma işlemine tabi tutuldu. Parlatılan numuneler, 15 gr FeCl<sub>3</sub>, 30 ml HCl ve 100 ml H<sub>2</sub>O solüsyonu ile kimyasal olarak dağlandı. Mikroyapı incelemeleri için NIKON MA/200 marka optik metal mikroskop kullanıldı. Şekil 4.3'te optik metal mikroskop görüntüsü bulunmaktadır.



**Şekil 4.3.** Nikon Eclipse MA200 marka optik metal mikroskop

#### 4.4. Mikrosertlik Ölçümleri

Numunelerin mikrosertlik ölçümleri, EMCOTEST DuraScan adlı mikrosertlik ölçme cihazında gerçekleştirildi. Şekil 4.4'te, sertlik ölçüm cihazı görülmektedir. Yüzey kaplama numunelerinin mikrosertlik ölçümleri HV 0.1 yük altında 12 saniye bekletme süresinde (dwell time) ana matris, ITAB ve kaplama bölgesinden toplam 5 adet ölçüm alınarak tamamlandı.



Şekil 4.4. EMCOTEST DuraScan marka sertlik ölçüm cihazı

#### 4.5. Kaplamaların SEM-EDS ve X-RAY Analizleri

Üretilen kaplamaların mikroyapı karakterizasyonu için örneklerin kesit parçaları üzerinde SEM ve enerji dispersif X-ışınları (EDS) analizleri yapıldı. Kaplama tabakalarındaki bileşikleri incelemek amacıyla X ışını kırınımı (XRD) tekniği kullanıldı, bu da toz karışım oranlarına bağlı olarak meydana gelen değişiklikleri ortaya koymak için uygulandı.

#### 4.6. Charpy Çentik Darbe Testi

Numunelerin çentik darbe testi ölçümleri, Şekil 4.5’de belirtilen Instron–Wolpert PW 30 marka Charpy çentik deney test cihazında gerçekleştirildi. Darbe testi, AISI 304 ana malzeme ve kaplama oranına göre değişen 55x10x10 mm boyutlarında 5 adet numuneye uygulandı. Darbe testi işlemi sırasında çentik açılan numune, mesnet yuvasına yerleştirildi. Çekiç maksimum konuma kadar çıkarıldı ve serbest bırakıldı. Düşüş esnasında çekiçin numuneye uyguladığı yük sonucunda numuneye ait sönümlenme enerjisi cihaz kadrajında ölçüldü.

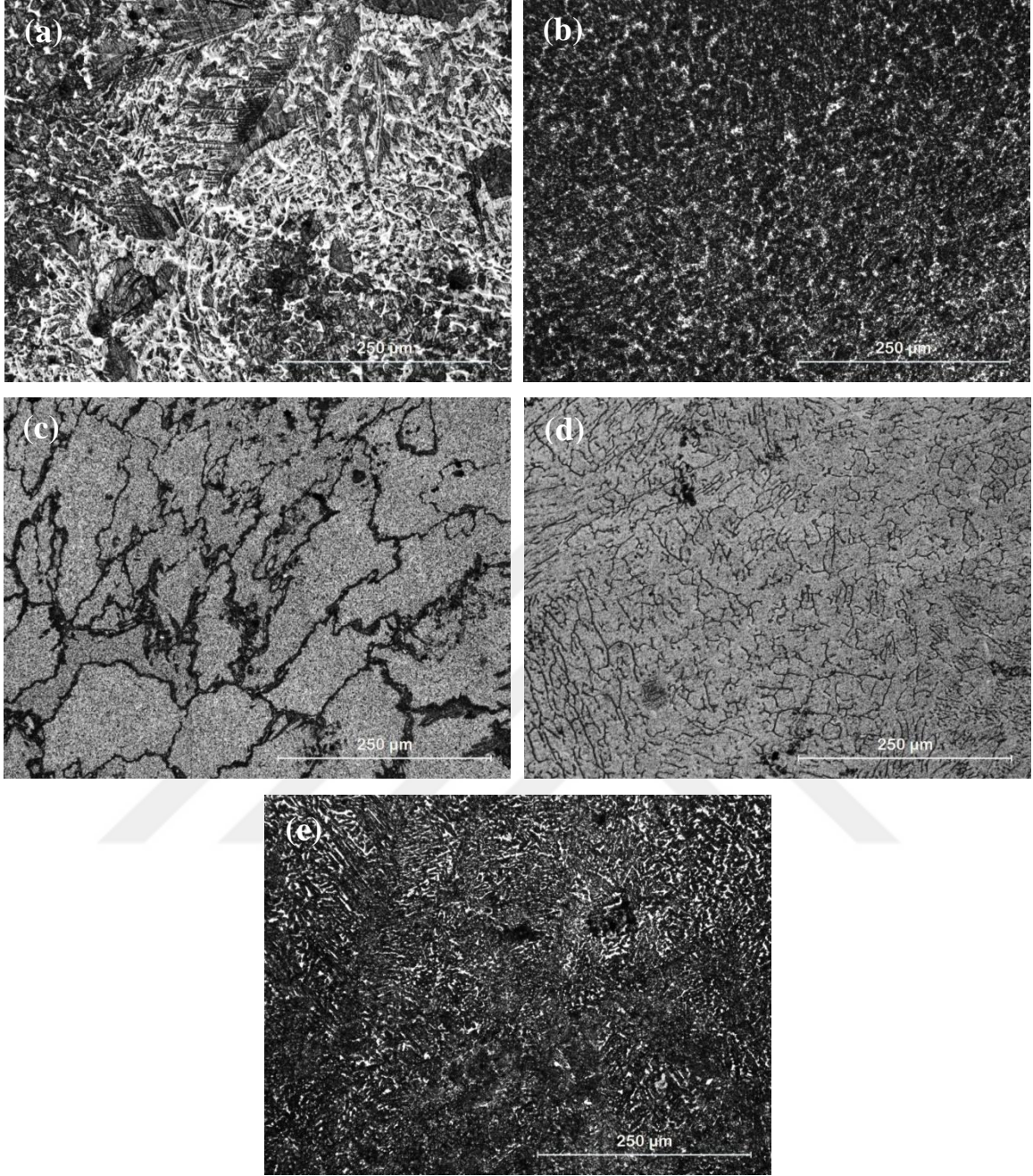


Şekil 4.5. Instron – Wolpert PW 30 marka charpy çentik deney test cihazı

## 5. TARTIŞMA VE BULGULAR

Şekil 5.1'de N0, N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin 200 kat büyütmeyle elde edilen optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. Şekil 5.2'de ise aynı numunelerin 3000 kat büyütmeyle elde edilen SEM görüntüleri bulunmaktadır. Şekil 5.1'deki optik görüntülerden, Fe-Cr-Ta ile kaplanan numunelerin mikroyapılarının, kullanılan % ağırlık Ta miktarına bağlı olarak oldukça değişken bir şekilde katılaştığını göstermektedir. Ta eklenmeden elde edilen Fe-Cr kaplamasının mikroyapısında (Şekil 5.1a) ise ince dendritik yapı belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Tian ve ekibi, AISI304 SS çelik yüzeyinde gerçekleştirdikleri lazer kaplama ile ürettikleri Fe-Si-Mn-Cr kaplamasında düzensel dendritler ve eş eksende kristallerin oluştuğunu ortaya koymuştur [57].

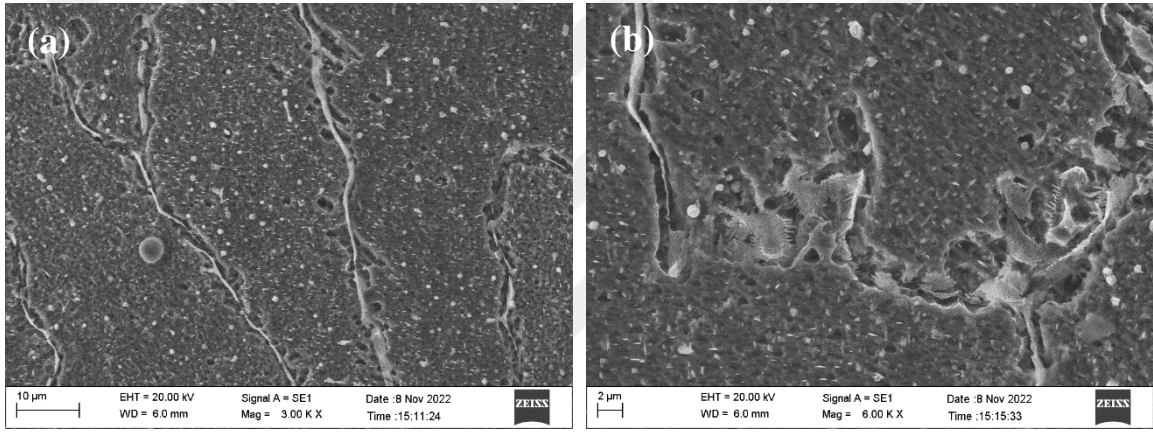
Fe-Cr kaplama tozuna ilave edilen Ta elementinin, kaplama sonrası mikroyapı üzerindeki etkisi Şekil 5.1b – Şekil 5.1e'de oldukça belirgindir. Ta içermeyen kaplamaların dendritik mikroyapısı, Ta içeren kaplamaların mikroyapısındaki dendritik oluşumu bozarak yerini iri ve ince taneli mikroyapıya bırakmıştır. Mikroyapı görüntülerine göre, Fe-Cr-Ta alaşımının belirli bölgelerinde yansıma, pürüzlük veya Ta elementine bağlı olarak tane boyutu dağılımında düzensizlikler gözlemlenmektedir. Numune yüzeylerinin bazı bölgelerinde boşluklar oluşmasının nedeni olarak, Ta elementinin yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle kaplama işlemi sırasında matris içinde homojen bir şekilde dağılamaması düşünülmektedir [58]. Ayrıca, Fe-Cr denge fazı diyagramı üzerinde yapılan incelemede, yüksek sıcaklıklarda kararlı hale gelen  $\sigma$  fazının geniş bir karışabilirlik boşluğuna sahip olduğu gözlemlenmektedir [59]. Matris tanesinin yüksek sıcaklıkta yeniden kristalleşmesi ve büyümesi, alaşımlardaki ikincil faz çökeltileriyle sıkı bir ilişki içerisindedir [60]. Şekil 5.1'den de anlaşıldığı gibi, Ta miktarının belirli bir yüzdesel ağırlık oranını aştığında mikroyapı önemli ölçüde etkilenir ve kaba tane boyutlarına doğru mikroyapısal değişimler meydana gelir.



Şekil 5.1. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri

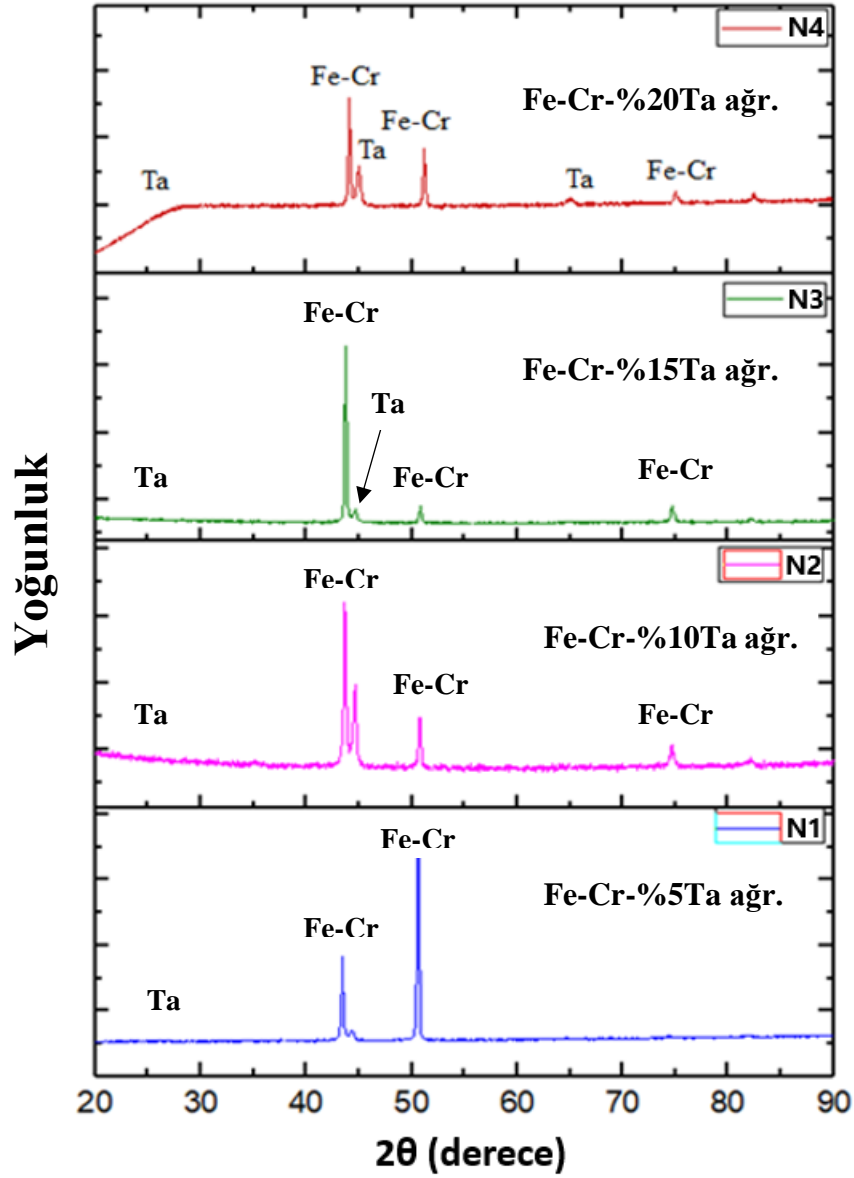
Şekil 5.2'de Fe-Cr-Ta kaplama katmanının N3 numunesine ait SEM mikroyapıları gösterilmektedir. Şekil 5.2a'da, düşük büyütmedeki SEM mikroyapısında, tane içinde parlak görünümlü ve homojen dağılımlı Ta içerikli karbür çökeltileri açıkça görülmektedir. Tane sınırlarında ise Şekil 5.2a ve Şekil 5.2b'de belirtildiği gibi,  $M_{23}C_6$  çökeltilerinin oluşumu mümkündür. Nb/Ti-Ta gibi güçlü karbür oluşturu elementler, yüzey alaşımlama veya kaplama için kullanılan toz karışımında veya altlık malzemeden alınan C ile bileşik oluşturarak MC tipi karbürlerin kolayca oluşmasına olanak tanır. NbC ve TiC karbürleri parçacık boyutu bakımından

nispeten büyükken, yapı içerisindeki TaC açıkça küçük veya rafine edilebilir. Ancak, C elementi karbür oluşturmak için yeterli düzeyde bulunmadığında, TEM ile tespit edilebilecek MC karbürleri veya çökeltiler oluşmadan mikroyapıda taneleri düzenlemede etkin bir rol oynarlar [60].  $M_{23}C_6$  karbürüne dönüşmeyen yapılar  $\sigma$  fazına dönüştüğünde mikroyapısal stabiliteyi ciddi şekilde bozduğu bilinmektedir. Mikroyapısal kararlılık için 973K' de 408 saat gibi uzun bir süre yaşlandırılmayla çok daha az  $M_{23}C_6$  ve  $\sigma$  fazlarının ortaya çıkması nedeniyle daha yüksek bir mikroyapısal stabilite sağlandığı Lu ve arkadaşları tarafından vurgulanmıştır [61]. Ayrıca, mikroyapıda bulunabilecek TaC karbür ve çökeltilerin varlığı, yarımada tarzı bir yapının oluşmasına neden olarak tane büyüme yönünü engeller veya değiştirir. Neticesinde, tane sınırlarında deniz kabuğuna benzer bir mikro yapı ile sonuçlanabilmektedir [62]. Sonuç olarak, Şekil 5.2b' de tane sınırlarında mevcut olan yapı nettir.



**Şekil 5.2.** Fe-Cr-Ta ile alaşımlandırılan (N3 numunesi) katmanın SEM mikroyapısı

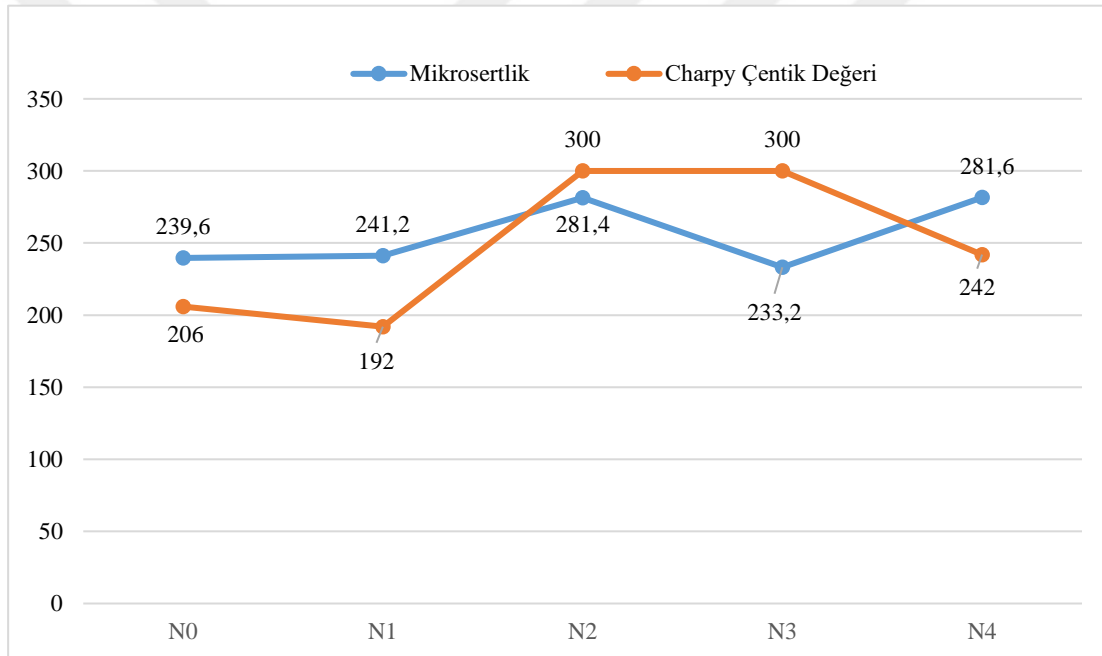
Şekil 5.3, elde edilen alaşımların kristal yapılarını belirleme amacıyla yapılan XRD analizi sonuçlarını içermektedir. XRD grafiği, numunelerde Fe-Cr ve Ta elementlerine ait pikleri göstermektedir. Fe-Cr matris fazı pik şiddeti, takviye miktarına bağlı olarak kısmen azalırken, Ta elementi piklerinin şiddeti artan takviye oranıyla birlikte artmaktadır.



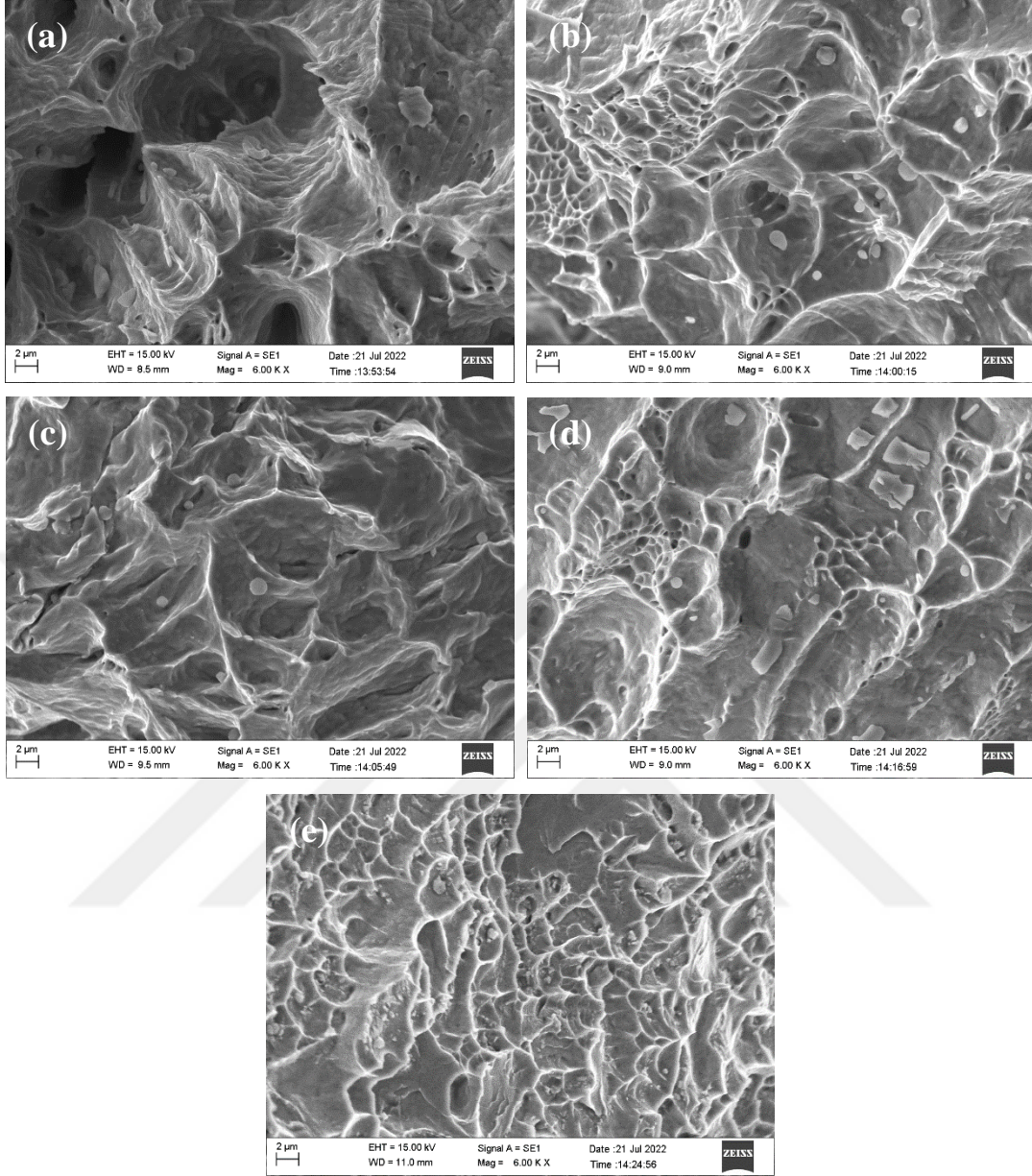
Şekil 5.3. XRD analiz grafiği

Şekil 5.4'te, AISI304 çelik yüzeyinin alaşımli hale getirilmesi sonucu elde edilen mikrosertlik değerleri ve Charpy çentik darbe test sonuçları bulunmaktadır. Şekil 5.5'te ise Charpy deneyi sonrasında oluşan kırık yüzeylerin SEM morfolojileri gözlemlenmektedir. Mikrosertlik grafiği ve Charpy çentik testi sonuçları incelendiğinde, takviye oranının %10'a yükselmesiyle sertlik değerinde bir artış gözlemlenirken, %15 Ta ilaveli numunede sertlik değerinde bir düşüş görülmüştür. Ancak en yüksek sertlik değeri %20 Ta ilavesiyle elde edilmiştir. Genel olarak, Ta ilavesinin numunenin sertlik değerini artırdığı gözlemlenmektedir. Sertlik değeri artan numunelerde numunenin kırılma hale gelerek kolayca kırılması beklenirken, elde edilen veriler, çentik deneyi değerleri ile sertlik değerleri arasında uyumsuzluk olduğunu göstermektedir. Majumdar ve ekibi, malzeme yüzey özelliklerini modifiye etmeye yönelik yüzey alaşımlamasını

incelemiştir. AISI 304 çelik yüzey sertliğini 220 HV'den 350 HV'ye çıkarma başarısını elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Ürettikleri katman sertlik değerlerinin malzemenin mekanik özelliklerini artırmada etkili bir faktör olduğu, üretim hızına bağlı olarak vurgulanmıştır [63]. Kaplama katmanındaki sertliğin artışı, malzeme içinde bulunan sert fazların oranından etkilenmektedir. Bu sert fazların hacim oranlarının artması sertliği artırırken, azalması ise sertliğin düşmesine sebep olur [64]. Ayrıca, sertlik değerinin artışı, içerisinde zengin ikincil faz partikülleri bulunan Ta elementine bağlıdır. Bu durum, sertlik değerinin en yüksek (281.4 HV) N2 numunesinde gözlendiği Şekil 5.4'ten anlaşılmaktadır. Ancak, % ağırlık olarak Ta miktarının artırılmasıyla elde edilen katman mikrosertliği N3 numunesinde 233.2 HV değeri gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek miktarda ikincil çökeltilerin matris içerisinde çözündüğü gerçeğinden kaynaklanmaktadır [65].



Şekil 5.4. Mikrosertlik ve Charpy çentik testi verileri



Şekil 5.5. Numunelerin SEM görüntüleri

Şekil 5.5, Charpy testi sonrası Fe-Cr-Ta kaplamalarının kırık yüzey SEM mikroyapılarını sergilemektedir. Yapılan incelemede, Şekil 5.5a'da görüldüğü gibi Fe-Cr kaplamasının tipik bir sünek kırılma özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 5.5b – Şekil 5.5e'de belirtildiği üzere Fe-Cr-Ta kaplamalarında ise, kaplama katmanındaki tantal elementi miktarının artmasıyla birlikte, sünek-gevrek geçiş tipinde kırılma gözlemlenmiştir. Ayrıca, oval ve bölgesel olarak kırık yüzeylerde mikron boyutlu dikdörtgen kesitli faz ve çökeltiiler açıkça görülmektedir. Ta ve potansiyel TaC matris fazdan koparmak oldukça zordur, bu nedenle çatlak ilerlemesi, yapıdaki sert karbür ve fazların etrafından ilerleyerek gevrek kırılma özelliklerine yakın bir durum sergiler [66].

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİ

Fe-Cr-Ta yüzey alaşımlama ve kaplama işlemi, gaz tungsten ark (GTA veya TIG) yöntemiyle başarıyla gerçekleştirilmiştir. TIG yöntemi kullanılarak, AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinde demir, krom ve tantal elementleri farklı enerji girdileri ve % ağırlık oranlarıyla ergitilerek yeniden kristalleşmeyi sağlamıştır.

AISI304 paslanmaz çelik yüzeyine Fe-Cr ana matris tozunun kaplanması sırasında, incelmış sütunsal dentritik mikroyapılı katılaşma oluştuğu belirlenmiştir. Farklı ağırlık oranlarındaki tantal ilavesi, Fe-Cr matris tozuna, mikroyapıda ince taneli bir oluşum sağlamıştır, bu da üretim hızına bağlıdır. Bu durum, Ta elementinin etkili bir karbür oluşturuşu olduğunu ve diğer elementlerle oluşturulan karbür veya çökeltilerin AISI304 paslanmaz çelikte oluşabilen  $M_{23}C_6$  ve  $\sigma$  fazlarının ortaya çıkmasına izin vermeden sünek bir kaplama elde edilebileceği sonucuna varmamıza neden olmuştur.

Mikrosertlik ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek sertlik %20 Ta ilaveli numunede tespit edilmiştir. Ancak, Charpy darbe testi sonuçlarına göre, en kırılğan numune %5 Ta takviyeli numune olarak belirlenmiştir.

EDS verilerine göre, %5 Ta ilaveli numunedeki analizlerde Ta elementi tespit edilememiştir. En yüksek Ta miktarının %20 takviyeli numunede olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, Ta'nın yüksek ergime sıcaklığına sahip olması nedeniyle matris malzemesine etkili bir şekilde nüfuz edememesinden kaynaklanmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, Fe-Cr matrisli kaplama tabakalarının paslanmaz çelik yüzeyindeki performansını artırmak amacıyla optimal %ağırlık oranlarına sahip Ta ilavesinden sonra farklı karbon oranlarının uygulanması düşünülmektedir. Bu yaklaşım, katmandaki TaC hacim oranını artırarak elde edilecek mikroyapı değişikliklerinin mekanik özelliklere olan etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, üretilen Fe-Cr-Ta kompozit tabakanın korozyon davranışının belirlenmesi, gelecekteki araştırmalar için ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Çetin M. A., 2020. Alüminyum Kılıflı Al/B<sub>4</sub>C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi Ve Tıg Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- [2] Bölükbaşı, G., 2019. Östenitik Paslanmaz Çelik Yüzeylerinin Hv<sub>0.05</sub> Yöntemi İle Karbür Kaplanması Ve Karakterizasyon, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [3] Tosun G., Buytoz S., Microstructural Properties Of Fe–Cr–C/Nbc Composite Coating Produced On Medium Carbon Steel Surface By Tıg Coating Process, Arabian Journal For Science And Engineering, 2231-2241
- [4] Fan, C., Chen, M. C., Chang, C. M., & Wu, W. (2006). Microstructure Change Caused By (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> Carbides İn High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys. Surface And Coatings Technology, 201(3–4), 908–912.
- [5] Ulutan, M., Yıldırım, M., Buytoz, S., 2009. Tıg Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen Aıslı 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: XXII, Sayı:1.
- [6] Asm International, “Hand Book Of Thermal Spray Technology”, 2004, Davis, J. R., Davis & Associates, Asm International, Usa, 3-272.
- [7] Üstel, F., 1995, “Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, İtü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-45.
- [8] İnternet: Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2006, Kaplama Teknikleri Ders Notları, [Http://Www.Kimmuh.Com/Evcin/Coating/Coating9.Pdf](http://www.kimmuh.com/Evcin/Coating/Coating9.Pdf)
- [9] İnternet: Dynamic Ceramic, 2012, Coatings, [Http://Www.Dynacer.Com/Index.Htm](http://www.dynacer.com/Index.Htm)
- [10] Tarafılı, M., 2006, “Islı Püskürtme Yöntemleri”, Yüzey İşlem Ve Kumlama Dergisi, 38-41.
- [11] Ceylan, İ., 2006, “Toz Püskürtme Yöntemi İle Boru İç Yüzey Kaplamanın İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-62.
- [12] Güleç, A., 2006, “Termal Püskürtme Tekniğı İle Yüksek Performanslı Zn/Al (85/15) Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 29-37.
- [13] Akçin, Y., 2011, “Kompozit Malzemelerin Kaplanabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 4,15.
- [14] Eseroğlu C., 2019, Akımsız Ni-B Kaplamalarda Kaplama Parametrelerinin Korozyon Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 5-6
- [15] Cerit, A. M., 1996, “Metal Püskürtme, Makina Mühendisliğı El Kitabı Üretim Ve Tasarım, Cilt 2, Tmmob, Ankara, 208-211.
- [16] İnternet: Arama Sayfası, 2012, Sonuç Sayfası, [Www.Wikipedia.Org](http://www.wikipedia.org)
- [17] İnternet: Dere Metalurji Ve Mühendislik Hizmetleri, 2012, Ark Sprey, [Http://Www.Deremetalurji.Com/Bro%20C5%9f%20C3%20Bcr.Ppt](http://www.deremetalurji.com/Bro%20C5%9f%20C3%20Bcr.Ppt)
- [18] Pawlowski, L., 2008, “The Science And Engineering Of Thermal Spray Coatings 2nd Ed.”, John Wiley & Sons, England, 1-230.
- [19] İnternet: Surface Engineering Forum, 2012, Thermal Spray Process, [Http://Www.Gordonengland.Co.Uk/Sef/](http://www.gordonengland.co.uk/Sef/)
- [20] Çöğür, T., 2007, “Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 3-38.
- [21] Bach, F.W., Möhwalde, K., Laarmann, A., Wenz, T., “Modern Surface Technology”, 2006, Wiley-Vch Verlag Gmbh & Co. Kga, Weinheim, Germany, 135- 143.

- [22] Eseroğlu C.,2019, Akımsız Ni-B Kaplamalarda Kaplama Parametrelerinin Korozyon Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep,5-6
- [23] Anık, S., 1991. Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 250s.
- [24] Ozan S., 2010. Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı Ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [25] Jeffus, L., 2012. Welding\_ Principles And Applications, Seventh Edition, 962p.
- [26] [Http://Phoenixweld.Com/Product/Cladding-Nozzle-Sk60/](http://Phoenixweld.Com/Product/Cladding-Nozzle-Sk60/) (Son Erişim Tarihi: Haziran 2020)
- [27] Babu, P. D., Balasubramanian, K. R., 2011. Laser Surface Hardening: A Review. Int. J. Surface Science And Engineering, Vol. 5, Nos. 2/3.
- [28] Anık, S., Tülbentçi K. Ve Kaluç E., 1991. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 296s.
- [29] Asm Handbook,1993. Welding, Brazing And Soldering, Vol.6, 10th Edition, Asm International, 2859p.
- [30] Anık, S., Vural, M., 1991. Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 308s.
- [31] Oğuz B., 1990. Demir Dışı Metallerin Kaynağı, İstanbul, 868s.
- [32] Bhavsar, A. N., Vikram, A. P., 2016. Influence Of Process Parameters Of Tıg Welding Process On Mechanical Properties Of Ss304l Welded Joint, International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet), Volume: 03, Issue: 05.
- [33] Mathers, G., 2002, "The Welding Of Aluminium And İts Alloys", P.97-115.
- [34] Korkut, M. H., Et, Al., 2002. Effect Of Aging On The Microstructure And Toughness Of The İnterface Zone Of A Gas Tungsten Arc (Gta) Synthesized Fe–Cr–Si– Mo–C Coated Low Carbon Steel. Surface And Coatings Technology, 157, P.5–13.
- [35] Turhan, H., Çolak, N. Y., 2018. Tıg Yöntemi İle Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+Femo Tabakasının Mikroyapı Ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Beü Fen Bilimleri Dergisi, Cilt (Sayı), S.22-31.
- [36] Bitharas, I., Campbell, S. W., Galloway, A. M., Mcpherson, N. A., Moore, A. J., 2016. Visualisation Of Alternating Shielding Gas Flow İn Gtaw. Materials & Design, 91, 424–431.
- [37] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011. Metal Teknolojisi, Tıg Kaynağı, 521mmı242, Ankara.
- [38] Cavcar, M. M., 1998. Sert Dolgu Rehberi, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 31s.
- [39] Askaynak, 2007. Kaynak Teknolojisi Kitabı, 272s.
- [40] Şık, A., 2002. Otomobil Saclarının Mıg/Mag Kaynağında Gaz Karışımlarının Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [41] Singh, R., 2016. Welding Nonferrous Metals And Alloys. Applied Welding Engineering, P.263–275.
- [42] Uzunonut, Y., 2012. Tıg Kaynağı Uygulanmış Inconel 718 Malzemenin Darbe Dayanımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [43] Komaç, E., 2014. Teknik Eğitim El Kitabı, 57s.
- [44] Asadi, P., Kazemi-Choobi, K., Elhami, A., 2012. Welding Of Magnesium Alloys. New Features On Magnesium Alloys.
- [45] Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M. (2005). Tıg Yöntemiyle Yüzeyi Serteştirilen A1sı 4340 Çeliğinin Mikroyapısının İncelenmesi. Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim. Fak.Dergisi, C.XVII, S.1,2.
- [46] Buytoz, S., Yıldırım, M., Eren, H. (2005). Microstructural And Microhardness Characteristics Of Gas Tungsten Arc Synthesized Fe–Cr–C Coating On A1sı 4340. Materials Letters, 59(6), 607-614.
- [47] Buytoz, S. (2006). Microstructural Properties Of Sic Based Hardfacing On Low Alloy Steel. Surface And Coatings Technology, 200(12-13), 3734–3742.

- [48] Buytoz, S., Ulutan, M. (2006). In Situ Synthesis Of Sic Reinforced Mmc Surface On A1s1 304 Stainless Steel By T1g Surface Alloying. *Surface And Coating Technology*, 200(12-13), 3698-3704.
- [49] Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M. (2009). T1g Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen A1s1 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: XXII, S.1,2.
- [50] Chen, J. C., Pan, C. X. (2011), "Welding Of Ti-6al-4v Alloy Using Dynamically Controlled Plasma Arc Welding Process," *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 21(7) 1506-1512.
- [51] Sahoo, C., Masanta, M. (2017). Microstructure And Mechanical Properties Of Tic-Ni Coating On A1s1304 Steel Produced By T1g Cladding Process. *Journal Of Materials Processing Technology*, 240, 126-137.
- [52] Gope, D. K., Kumar U., Chattopadhyaya S., Mandal S. (2018), "Experimental Investigation Of Pug Cutter Embedded T1g Welding Of Ti-6al-4v Titanium Alloy", *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 32 (6) 2715-2721.
- [53] Shahroozi, A., Afsari, A., Khakan, B., Khalifeh, A. (2018). Microstructure And Mechanical Properties Investigation Of Stellite 6 And Stellite 6/Tic Coating On Astm A105 Steel Produced By T1g Welding Process. *Surface And Coatings Technology*, 350, 648-658.
- [54] Kırık, İ., Balalan, Z., Andan, Y., Yaz, M. (2019). St52 Çeliğinin T1g Kaynak Yöntemi İle Wc Takviyeli Tozla Kaplanması. *International Journal Of Innovative Engineering Applications*, 16-20.
- [55] Kumar, A., Batham, H., Das, A. (2021). Microhardness Of Fe-Tib2 Composite Coating On A1s1 304 Stainless Steel By T1g Coating Technique. *Materials Today. Proceedings*, 39,1291-1295.
- [56] Zhu, L., Cui, Y., Cao, J., Tian, R., Cai, Y., Xu, C., Tian, Y. (2021). Effect Of T1g Remelting On Microstructure, Corrosion And Wear Resistance Of Coating On Surface Of 4cr5mosiv1 (A1s1 H13). *Surface And Coatings Technology*, 405, 126547.
- [57] J. Tian, P. Xu, J. Chen, Q. Liu, Microstructure And Phase Transformation Behaviour Of A Fe/Mn/Si/Cr/Ni Alloy Coating By Laser Cladding, *Opti. Lase. Eng.*, 122 (2019), Pp. 97-104
- [58] Yu, T., Chen, J., Wen, Y., & Deng, Q. (2021). High Temperature Phase Stability And Wear Behavior Of Laser Clad Ta Reinforced Nicrbsi Coating. *Applied Surface Science*, 547, 149171.
- [59] Jacob, A., Povoden-Karadeniz, E., & Kozeschnik, E. (2018). Revised Thermodynamic Description Of The Fe-Cr System Based On An Improved Sublattice Model Of The  $\Sigma$  Phase. *Calphad: Computer Coupling Of Phase Diagrams And Thermochemistry*, 60, 16–28.
- [60] D.H. Wena, Q. Wang, B.B. Jiang, C. Zhang, X.N. Li, G.Q. Chen, R. Tang, R.Q. Zhang, C. Dong, P.K. Liaw, Developing Fuel Cladding Fe-25cr-22ni Stainless Steels With High Microstructural Stabilities Via Mo/Nb/Ti/Ta/W Alloying, *Materials Science & Engineering A* 719 (2018) 27
- [61] Yang Lu, Qing Wang, Donghui Wen, Chuang Dong, Ruiqian Zhang, Peter K. Liaw, Microstructural Stability Of Ta Minor-Alloying Hr3c Stainless Steel At 973 K, *Materials Chemistry And Physics*, Volume 239, 1 January 2020, 122306
- [62] G. Q. Jiang, Z. Zhou, K. Meng, Regulation Mechanism Of In-Situ Synthesized (Nb,Ta)C/Ni Composite Cladding Coatings By Laser Shock Peening: Microstructure Evolution And Electrochemical Corrosion Behavior, *Ceramics International* 9 September 2022
- [63] J.D. Majumdar, B.R. Chandra, I. Manna, Laser Composite Surfacing Of A1s1 304 Stainless Steel With Titanium Boride For Improved Wear Resistance, *Trib. Inter.*, 40 (1) (2007), Pp. 146-152
- [64] Ravi Kumar, Anil Kumar Das, A Comprehensive Review Of A1s1 304 Steel Based On Different Thick Coating Process, *In Press*, 2023
- [65] M. Wasim Anjum A, Donghui Wen A, Qing Wang A, Ruiqian Zhang B, Chuang Dong A, Peter K. Liaw, Influence Of Ta/Zr Minor-Alloying On The High-Temperature Microstructural Stability Of Cladding Fe-Cr-Al Ferritic Stainless Steels, *Journal Of Nuclear Materials*, Volume 522, 15 August 2019, Pages 19-31
- [66] Haiqiang Bailisheng Zhongjunzhe Wei, Microstructure And Impact Properties Of Ta-Tac Core-Shell Rod-Reinforced Iron-Based Composite Fabricated By In Situ Solid-Phase Diffusion, *Journal Of Alloys And Compounds* 5 November 2018

# ÖZGEÇMİŞ

Alper ANLAROĞLU

[Redacted]

---

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

[Redacted]

---

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

[Redacted]

---

[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]

[Redacted]

---

- [Redacted]

[Redacted]

---

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]