



**PASLANMAZ ÇELİKLER ÜZERİNE HVOF YÖNTEMİ  
İLE WC KAPLAMASININ ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ümit ZEYBEK**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Osman ASİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Ağustos 2017**

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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PASLANMAZ ÇELİKLER ÜZERİNE HVOF YÖNTEMİ İLE WC  
KAPLAMASININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜMİT ZEYBEK**

**AĞUSTOS 2017  
UŞAK**

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PASLANMAZ ÇELİKLER ÜZERİNE HVOF YÖNTEMİ İLE WC  
KAPLAMASININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÜMİT ZEYBEK**

**UŞAK 2017**

Ümit ZEYBEK tarafından hazırlanan PASLANMAZ ÇELİKLER ÜZERİNE HVOF YÖNTEMİ İLE WC KAPLAMASININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Osman ASİ .....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT .....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Osman ASİ .....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ .....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Abdullah YILDIZ .....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Gamze TETİK .....

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Müh. Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih: 18 / 08 / 2017

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ümit ZEYBEK



# PASLANMAZ ÇELİKLER ÜZERİNE HVOF YÖNTEMİ İLE WC KAPLAMASININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ümit ZEYBEK

UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2017

## ÖZET

Kaplamalar aşınma, sürtünme, korozyon, termal bozulma ve buna benzer olayları önlemek için yüzeye uygulanan iyileştirme yöntemleridir. Kaplamalar, çelik ve alaşımlarının korozyon ve aşınma direncini, yorulma dayanımını, fiziksel özelliklerini artırmak için kullanılırlar. Havacılık, otomotiv, tıp, tekstil, enerji santralleri, demir-çelik sanayisi, kâğıt sanayisi, gemicilik sanayisi ve petrol sanayisi gibi birçok alanda kaplama uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tezde altlık malzemesi olarak ostenitik yapıya sahip AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik ve martenzitik yapıya sahip AISI 420 paslanmaz çelik seçilmiştir. Kaplama tozu olarak yüksek aşınma direnci gösteren WC/Co seçilmiştir. Kaplama prosesi olarak, kaplama parametrelerinin özel uygulama alanlarında istenildiği gibi ayarlanabilmesi bu çalışmada HVOF yönteminin tercih edilmesine neden olmuştur. Bu çalışmada AISI 304, AISI 316, AISI 420 olmak üzere üç farklı paslanmaz çelik türü üzerine HVOF (Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt) yöntemi kullanılarak 150µm, 250µm ve 350µm kalınlıklarında WC/Co kaplanmıştır. Numunelerin yarısı NiCr bağlayıcılı yarısı ise bağlayıcısız olarak üretilmiştir. Kaplanan numuneler metalografik mikroyapısal inceleme, Vickers sertlik ölçümü, yapışma testi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri gibi deneylere tabi tutulmuştur.

DeneYler sonucunda sertlik değerleri, mikroyapı görüntüleri ve yapışma testi değerlendirmesi elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre östenitik paslanmaz çelikler olarak kendi aralarında ve östenitik-martenzitik paslanmaz çelikler olarak karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.



**Bilim Kodu** : 625.02.05

**Anahtar Kelimeler** : Kaplama, HVOF, Paslanmaz elik, WC, WC/Co

**Sayfa Adedi** : 87

**Tez Yneticisi** : Prof. Dr. Osman ASİ

**THE INVESTIGATION OF COATING PROPERTIES OF STAINLESS STEEL  
WC COATED BY HVOF**

**(M.Sc. Thesis)**

**Ümit ZEYBEK**

**UŞAK UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**August 2017**

**ABSTRACT**

Coatings are improvement methods applied to the surface of a material in order to eliminate phenomena such as abrasion, friction, corrosion, thermal degradation, etc. Coatings are commonly used to enhance corrosion and abrasion resistance, fatigue strength and physical properties of steel and its alloys. Many industries such as aviation, automotive, medicine, textile, power, iron-steel, paper, shipbuilding and petroleum require coating applications.

This dissertation study focuses on austenitic AISI 304 and AISI 316 stainless-steel and martensitic AISI 420 stainless steel. WC/Co, a material with high abrasion resistance, was selected as coating powder. As HVOF method, as a coating process, allows for coating parameters to be customized for specific applications, it was selected as the coating process of this study. In this study, using the HVOF method, three types of stainless-steel, namely, AISI 304, AISI 316, and AISI 420, were coated with WC/Co at the thicknesses of 150µm, 250µm ve 350µm. Half of the samples were produced using NiCr as binder and the other half were produced without using a binder. Coated samples were then subjected to metallographic microstructure assessment, Vicker's hardness test, adhesion test, and scanning electron microscope (SEM) analysis.



The tests resulted in hardness values, microstructure images, and adhesion test assessments. According to the data obtained, austenitic stainless-steels were compared as austenitic and martensitic stainless-steels and the conclusions are reported.



**Science Code :** 625.02.05

**Key Words :** Coating, HVOF, Stainless Steel, WC, WC/Co

**Page Number:** 87

**Adviser :** Prof. Dr. Osman ASİ

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin ders döneminde ve tez çalışmalarım da bilgi, düşünce ve tecrübesini esirgemedi beni yönlendiren, destekleyen ve çalışmamın sonuca ulaşmasını sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman ASİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın deney bölümünde ihtiyaç duyduğumuz kaplama işlemleri için yardımcı olan Metser Kaplama şirketi Sayın Şentürk YEŞİL' e teşekkür ederim.

Deney çalışmalarım için gerekli olan laboratuvar imkânını sunarak şahsi yardımlarını da esirgemeyen Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü Sayın Doç. Dr. Serkan ISLAK' a, Sayın Arş. Gör. Cihan ÖZORAK' a, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Müdürü Sayın Doç. Dr. Özgür ÖZTÜRK' e, Sayın Uzman Şeydanur KAYA' ya ve Sayın Fatih BULUT' a teşekkürlerimi sunarım. Deney sürecimde manevi desteği ile hep yanımda olan değerli arkadaşım, Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Arş. Gör. Merve KALAYCI' ya teşekkür ederim.

Bugüne kadar hiçbir şeyi esirgemedi yanımda olan ve beni daima destekleyen anneme, ablama ve rahmetli babama en içten minnet duygularımı ve teşekkürü borç bilirim.

Ümit ZEYBEK

(Makine Mühendisi, Öğr. Gör.)

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiv
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3 TERMAL SPREY TEKNİKLERİ .....	11
3.1 Yanma Metotları (Combustion).....	12
3.1.1 Alev Püskürtme (Flame Spray) .....	12
3.1.2 Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme (HVOF) .....	14
3.1.3 Detonasyon Alev Püskürtme (D-Gun) .....	17
3.2 Elektriksel Metotlar .....	18
3.2.1 Ark Sprey.....	18
3.2.2 Plazma Sprey .....	19
3.3 Soğuk Sprey.....	20
3.3.1 Soğuk Gaz Sprey Metodu (CGSM).....	21
3.3.2 Yüksek Hızlı Hava Yakıtlı Sprey (HVAF) .....	22
4 MATERYAL ve METOT .....	23
4.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler .....	23
4.1.1 Altlık Malzemelerinin Kimyası ve Boyutları .....	23

4.1.2	Kaplama Malzemesi .....	24
4.1.3	Bağlayıcı Malzeme .....	28
4.2	Kaplama Cihazı ve Ekipmanlar .....	30
4.3	Kaplama İşlemi Öncesi Altlık Malzemelerinin Hazırlığı .....	32
4.4	Kaplama İşlemi ve Kaplama Parametreleri .....	32
5	KAPLAMA İŞLEMİ SONRASI YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	34
5.1	Metalografik Numune Hazırlama .....	34
5.1.1	Kesme İşlemi .....	34
5.1.2	Bakalite Alma İşlemi .....	34
5.1.3	Zımparalama ve Parlatma İşlemleri .....	35
5.2	Mikrosertlik Ölçümü Deneyi .....	37
5.3	Optik Mikroskop Görüntü İncelemesi .....	38
5.4	Altın Kaplama İşlemi .....	38
5.5	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntü İncelemesi .....	39
5.6	Yapışma Testi .....	40
6	DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR .....	42
6.1	Mikro Sertlik Ölçümleri ve Sonuçları .....	42
6.2	Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları .....	43
6.3	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntü Sonuçları .....	52
6.4	Yapışma Testi Sonuçları .....	71
7	GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME .....	73
	KAYNAKLAR .....	75
	EKLER .....	80
	EK-1. AISI 304 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası .....	81
	EK-2. AISI 316 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası .....	82

	<b>Sayfa</b>
EK-2. AISI 316 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası (Devam) .....	83
EK-3. AISI 420 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası .....	84
EK-4. GTV 80.71.1 WC/Co 88/12 Ürün Sertifikası .....	85
EK-5. GTV 80.20.1 NiCr 80/20 Ürün Sertifikası.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	87



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1 Farklı kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	11
Çizelge 3.2 Termal sprey yöntemlerinin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 3.3 Gaz yakıtlı ve sıvı yakıtlı HVOF yöntemlerinin genel karşılaştırılması.....	16
Çizelge 4.1 AISI 304 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu .....	23
Çizelge 4.2 AISI 304 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri .....	23
Çizelge 4.3 AISI 316 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu .....	24
Çizelge 4.4 AISI 316 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri .....	24
Çizelge 4.5 AISI 420 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu .....	24
Çizelge 4.6 AISI 420 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri .....	24
Çizelge 4.7 WC/Co tozu kimyasal kompozisyonu.....	25
Çizelge 4.8 GTV marka 80.20.1 NiCr 80/20 toza ait kimyasal kompozisyon.....	28
Çizelge 4.9 HVOF yöntemi ile WC/Co 88/12 kaplama parametreleri.....	33
Çizelge 4.10 Numune numaralandırma çizelgesi .....	33
Çizelge 6.1 Numunelere ait mikrosertlik değerleri .....	42

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1 a) Tel Alev Sprey b) Toz Alev Sprey.....	13
Şekil 3.2 Gaz yakıtlı HVOF sprey yöntemi.....	15
Şekil 3.3 Sıvı yakıtlı HVOF sprey yöntemi.....	15
Şekil 3.4 D-Gun yöntemi.....	17
Şekil 3.5 Ark sprey yöntemi.....	18
Şekil 3.6 Plazma sprey yöntemi .....	19
Şekil 3.7 Soğuk sprey yöntemi.....	21
Şekil 4.1 WC/Co toz özellikleri.....	25
Şekil 4.2 WC/Co toz özellikleri.....	25
Şekil 4.3 HVOF sprey sistemi .....	31

## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1 a) Tel Alev Sprey Uygulaması b) Toz Alev Sprey Uygulaması .....	13
Resim 3.2 HVOF yöntemi ile kaplanmış parça örneği.....	16
Resim 3.3 D–Gun işlemi .....	18
Resim 3.4 Soğuk gaz spreyc uygulama resmi.....	22
Resim 4.1 WC/Co kaplama tozu görüntüsü .....	26
Resim 4.2 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (4000X) .....	26
Resim 4.3 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (2000X) .....	27
Resim 4.4 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (1000X) .....	27
Resim 4.5 NiCr 80/20 bağlayıcı tozun görüntüsü .....	28
Resim 4.6 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (4000X).....	29
Resim 4.7 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (1000X).....	29
Resim 4.8 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (500X).....	30
Resim 4.9 HVOF yöntemi ile kaplama işleminin uygulama görüntüsü.....	31
Resim 4.10 Altlık malzemelerinin kumlama işlemi sonrası görüntüsü.....	32
Resim 5.1 Metkon kesme cihazı görüntüsü.....	34
Resim 5.2 Soğuk bakalite alma işlemi görüntüsü.....	35
Resim 5.3 Metkon zımparalama ve parlatma makinesi görüntüsü.....	36
Resim 5.4 Metkon 3µm elmas aşındırıcılı pasta görüntüsü .....	36
Resim 5.5 Numunelerin zımparalama ve parlatma sonrası görünümü.....	36
Resim 5.6 HVM-SHIMADZU Vickers mikro sertlik ölçme cihazı.....	37
Resim 5.7 Optik mikroskop cihazı görüntüsü .....	38
Resim 5.8 CRESSINGTON Altın kaplama cihaz görüntüsü .....	39
Resim 5.9 QUANTA FEG 250 Taramalı elektron mikroskopu görüntüsü.....	40
Resim 5.10 ELCOMETER marka pull-off cihaz görüntüsü .....	41
Resim 5.11 Deney aparatlarının numunelere yapıştırılmış hali .....	41
Resim 6.1 a-b) 1 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	43
Resim 6.2 a-b) 2 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	44
Resim 6.3 a-b) 3 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	44



Resim 6.4 a-b) 4 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	45
Resim 6.5 a-b) 5 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	45
Resim 6.6 a-b) 6 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	46
Resim 6.7 a-b) 7 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	46
Resim 6.8 a-b) 8 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	47
Resim 6.9 a-b) 9 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	47
Resim 6.10 a-b) 10 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	48
Resim 6.11 a-b) 11 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	48
Resim 6.12 a-b) 12 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	49
Resim 6.13 a-b) 13 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	49
Resim 6.14 a-b) 14 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	50
Resim 6.15 a-b) 15 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	50
Resim 6.16 a-b) 16 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	51
Resim 6.17 a-b) 17 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	51
Resim 6.18 a-b) 18 numaralı numune optik mikroskop görüntüleri .....	52
Resim 6.19 a-b-c) 1 numaralı numune SEM görüntüleri .....	53
Resim 6.20 a-b-c) 2 numaralı numune SEM görüntüleri .....	54
Resim 6.21 a-b-c) 3 numaralı numune SEM görüntüleri .....	55
Resim 6.22 a-b-c) 4 numaralı numune SEM görüntüleri .....	56
Resim 6.23 a-b-c) 5 numaralı numune SEM görüntüleri .....	57
Resim 6.24 a-b-c) 6 numaralı numune SEM görüntüleri .....	58
Resim 6.25 a-b-c) 7 numaralı numune SEM görüntüleri .....	59
Resim 6.26 a-b-c) 8 numaralı numune SEM görüntüleri .....	60
Resim 6.27 a-b-c) 9 numaralı numune SEM görüntüleri .....	61
Resim 6.28 a-b-c) 10 numaralı numune SEM görüntüleri .....	62
Resim 6.29 a-b-c) 11 numaralı numune SEM görüntüleri .....	63
Resim 6.30 a-b-c) 12 numaralı numune SEM görüntüleri .....	64
Resim 6.31 a-b-c) 13 numaralı numune SEM görüntüleri .....	65
Resim 6.32 a-b-c) 14 numaralı numune SEM görüntüleri .....	66
Resim 6.33 a-b-c) 15 numaralı numune SEM görüntüleri .....	67
Resim 6.34 a-b-c) 16 numaralı numune SEM görüntüleri .....	68
Resim 6.35 a-b-c) 17 numaralı numune SEM görüntüleri .....	69

Resim 6.36 a-b-c) 18 numaralı numune SEM görüntüleri ..... 70



## SİMGE VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
µm	Mikrometre
Co	Kobalt
Mo	Molibden
m/s	metre/saniye
K	Kelvin
Hz	Hertz
kV	Kilovolt
HV	Vickers Sertlik
mA	Mili amper
MPa	Mega paskal

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
D-GUN	Detonasyon alev püskürtme
HVOF	Yüksek hızlı oksijen yakıt
CGS	Soğuk gaz sprej
ASTM	American Society for Testing and Materials
YMK	Yüzey merkezli kübik
AISI	American Iron and Steel Institute
NiCr	Nikel krom
WC	Volfram karbür
WN	Volfram nitrid
XRD	X ışını kırınım spektrometresi
EDAX	Enerji dispersif X ışını analizi

MCrAlY	M= Co ve/veya Cr, Al, Y
NaCl	Sodyum klorür
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümina
dBA	Desibel
APS	Atmosferik plazma sprej
VPS	Vakum plazma sprej
LPPS	Düşük basınçlı plazma sprej
CGSM	Soğuk gaz sprej metodu
EPMA	Elektron prob mikro analiz
HVAF	Yüksek hızlı hava yakıtlı sprej
Ra	Kaplama yüzey pürüzlülük değeri
TEM	Geçirimli elektron mikroskopisi

# 1 GİRİŞ

Makine parçaları birlikte çalışırken temas yüzeyleri arasında oluşan sürtünme, aşınma, yüksek sıcaklık vb. gibi sebeplerden dolayı yüzey kayıpları meydana gelmektedir. Bunun gibi yüzey olayları parça boyutlarının değişmesine, tolerans dışına çıkmasına ve parçaların birbirleriyle uyumlu çalışmamasına neden olmaktadır. Aşınma ve korozyona karşı dayanıklı tamamen özel malzemelerden bileşenler oluşturulabilir. Ancak bu çok pahalı bir çözüm yöntemidir. Yüzey olaylarına karşı, düşük maliyetli ve seri üretme kabiliyetine sahip olan kaplamalar mühendislik çözümleri olarak ortaya çıkmıştır.

Kaplamalar aşınma, sürtünme, korozyon, termal bozulma ve buna benzer olayları önlemek için yüzeye uygulanan iyileştirme yöntemleridir. Kaplamalar, çelik ve alaşımlarının korozyon ve aşınma direncini, yorulma dayanımını, fiziksel özelliklerini artırmak için kullanılırlar. Ayrıca dekoratif olarak da kullanılmaktadır. Havacılık, otomotiv, tıp, tekstil, enerji santralleri, demir-çelik sanayisi, kâğıt sanayisi, gemicilik sanayisi ve petrol sanayisi gibi birçok alanda kaplama uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Daha dayanıklı yüzey elde edilmesinde kaplama yöntemi olarak birçok teknik bulunmaktadır. Bunlar:

- Elektrolitik Kaplama
- Termokimyasal Difüzyon
- Galvanizleme
- Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)
- Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)
- Sol-Jel Prosesi
- Polimer Kaplama
- Termal Sprey Kaplama (Plazma Sprey, Ark Sprey, D-GUN, HVOF, Soğuk Gaz Sprey (CGS), Toz Alev Püskürtme) 'dır [1].

Paslanmaz çelikler çok iyi olan korozyon dayanımlarının yanında, farklı mekanik özelliklerdeki türlere sahip olma, yüksek ve düşük sıcaklık koşullarında çalışabilme, kolay şekillendirilebilme, hijyenik özellik, uzun ömür ve estetik görünüme sahip olma gibi üstün özelliklere sahiptir. Paslanmaz çelikler içeriğinde en az %11 krom bulundurlar. Yüzeylerinde bulunan yoğun, sünek, çok ince ve saydam olan bir oksit tabakası bu tür çeliklerin yüksek korozyon dayanımına sahip olmasını sağlamıştır. Bu oksit tabakası korozyona neden olan oksijenli ortamlarda oluşur ve meydana gelebilecek herhangi bir dış etkene karşı bozulsa bile kendini yeniden onarabilir.

Paslanmaz çelikler; ferritik, martenzitik, ostenitik, dublex ve çökeltme sertleşmesi uygulanabilen olmak üzere beş gruba ayrılır. Ferritik paslanmaz çelikler; bileşimlerinde %12-18 arası krom içeren düşük karbonlu çeliklerdir. HMK yapıya sahiptir. Ostenit-ferrit dönüşümü olmadığı için ısıtma işlemleri ile içyapıları ve mekanik özellikleri değiştirilemez. Dayanımları ısıtma işlemiyle artırılmaz. Manyetiktir. Genellikle dekoratif amaçlı kullanım alanlarına sahiptir. ASTM 409, 430, 439 vs. çelikler bu gruba girer.

Martenzitik paslanmaz çelikler; karbon miktarı %0,1 den fazla olan çelik grubuna girer. Isıtma işlemi uygulanabilir olup orta seviyede korozyon direnci gösterirler. Hacim merkezli tetragonal kafes yapısına sahiptir. Manyetiktir. Miller, pimler uygulama alanlarıdır. ASTM 410, 420, 440A, 440C vs. çelikler bu gruba girer.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin içeriğinde temel olarak %18 krom ve %8 oranında nikel bulunur. YMK yapıya sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda içyapılarını korudukları için ısıtma işlemi yapılamaz. Manyetik değildirler. Makine, inşaat, kimya sektörlerinde yaygın olarak kullanılırlar. ASTM 201, 301, 304, 309, 310, 316, 321 vs. çelikler bu gruba girer.

Dubleks paslanmaz çelikler, fazla miktarda krom(%18-28) ve orta miktarda nikel(%4,5-8) içerirler. Çoğu %2,5-4 oranında molibden içerir. Deniz gibi tuzlu su ortamlarında ve petrokimya tesislerinde yaygın olarak kullanılır. ASTM 329 çelikler bu gruba girer.

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler ostenitik, yarı ostenitik ya da martenzitik içyapıya sahip olabilirler. İçeriğinde çok az karbon miktarı buldukları için sertleşme sadece martenzitik yapıda olanlarda çökeltme sertleşmesi şeklinde gerçekleşebilir. Genellikle uçak ve uzay sanayisinde kullanılırlar. ASTM 631, 632 çelikler bu gruba girer [2].

Teknolojideki gelişmelerle birlikte kullanılacak olan malzemelerden mukavemet, tokluk, hafiflik, düşük maliyetli olması gibi özelliklere sahip olması beklenir. Bazı ısıtım işlem teknikleri ile mekanik özellikler iyileştirilse bile aşınma, darbe dayanımı, korozyon direnci, kırılma tokluğu ve hafiflik gibi özelliklerin beraber sağlanamadığı görülmüştür.

Bu tezde altlık malzemesi olarak ostenitik yapıya sahip AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik ve martenzitik yapıya sahip AISI 420 paslanmaz çelik seçilmiştir. Ostenitik paslanmaz çelikler ısıtım işleme tabi tutulamazlar ve bu yöntemle sertleştirilme kabiliyetleri yoktur. Korozyona karşı üstün bir direnci olmasına karşın sertlikleri ve aşınma direncilerinin düşük olması, bu çeliklere yapılan yüzey iyileştirme işlemleri araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Martenzitik paslanmaz çelikler içerdiği karbon oranına bağlı olarak ısıtım işlem yöntemiyle sertleştirilebilirler. Ancak tokluk ve süneklik özellikleri azalır. Martenzitik paslanmaz çelikler ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha az korozyon dayanım özelliğine sahiptir. AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelikler kıyaslandığında AISI 316'nın bileşiminde bulunan molibden elementi, bu çeliğin asit ve tuzlu su gibi aşındırıcılara karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır [3].

Kaplama tozu olarak WC/Co seçilmiştir. Tungsten karbür, aşınmaya karşı yüksek direnç gösteren yüksek erime sıcaklığına sahip sert bir malzemedir. Bağlayıcı olarak sıvı kobalt kullanılarak ısıtılan tungsten karbür yüksek mukavemetli, dayanıklı, iyi sertlik, yüksek aşınma direnci ve yüksek oksidasyon direncine sahip malzeme elde edilmesini sağlar. Bu sayede kaplanacak parçaların, kullanım ömrünü, güvenilirliğini ve emniyetini sağlamak ve artırmak mümkün hale gelir [4].

Kaplama prosesi olarak HVOF yöntemi tercih edilmiştir. HVOF yönteminde altlık malzemesinin çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaması, yüksek püskürtme hızına sahip olması, püskürtme torcunun işlem sırasında altlık malzemesine olan mesafesinin ayarlanabilir olması gibi özellikleri sayesinde yüksek bağ mukavemetine sahip, düşük poroziteli, yüksek yoğunluklu kaplamalar elde edilebilir. Ayrıca kaplama parametrelerinin özel uygulama alanlarında istenildiği gibi ayarlanabilmesi bu çalışmada HVOF yönteminin tercih edilmesine neden olmuştur.

Bu çalışmada AISI 304, AISI 316, AISI 420 olmak üzere üç farklı paslanmaz çelik türü üzerine HVOF yöntemi kullanılarak 150µm, 250µm ve 350µm yuvarlatılmış ortalama kalınlık değerlerine sahip yetmiş iki adet numuneye WC/Co kaplanmıştır. Numunelerin yarısı NiCr bağlayıcılı yarısı ise bağlayıcısız olarak üretilmiştir. Kaplanan numuneler

metalografik mikroyapısal inceleme, Vickers sertlik ölçümü, yapışma mukavemeti, SEM analizleri gibi deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda yapışma mukavemeti değerleri, sertlik değerleri ve mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre östenitik paslanmaz çelikler olarak kendi aralarında ve östenitik-martenzitik paslanmaz çelikler olarak karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Ayrıca korozyon dayanımı yüksek olan paslanmaz çeliklerde uygun olmayan ısı transferlerinden dolayı taneler arası korozyon oluşabilmektedir [5]. Bu sebepten dolayı yüzeye yapılan bir kaplama ile bu malzemelerin çalışma ortamlarında oluşabilecek problemlerin giderilmesi araştırılmıştır.

Uçak, kimya-petrokimya, eczacılık ve gıda endüstrisinde çok yaygın olarak paslanmaz çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada amaç; östenitik ve martenzitik paslanmaz çelikler üzerine HVOF yöntemi ile WC kaplamasının paslanmaz çeliklerde yarattığı etkileri incelemektir. Çıkan sonuç ve değerlendirmeler ile paslanmaz çeliğin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerle ışık tutmayı hedeflemektedir. Literatürde bu paslanmaz çeliklerin HVOF yöntemi ile WC kaplamasının kıyaslanması yer almadığından dolayı çalışma sonuçları bilime katkı sağlayacağı düşünülmüştür.



## 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

KAYA, Ö. A. [6] yüksek lisans tezinde altlık malzemesi olarak St3S paslanmaz çelik seçmiştir. Üzerine plazma püskürtme ve HVOF yöntemlerini kullanarak Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> - NiCr (75/25) ve +%80 WC/Co tozları ile dört adet numuneye kaplama işlemi yapmıştır. Kaplanan numunelere sertlik ölçümü, XRD ve EDAX analizleri, taramalı elektron mikroskobu ile inceleme gibi araştırmalar yapmıştır. HVOF yöntemi ile kaplanmış parçaların plazma yöntemi ile kaplanmış parçalara göre daha fazla mikrosertliğe sahip olduğunu, daha yüksek kaplama verimine sahip olduğunu daha az oksit içeriğine sahip olduğunu gözlemlemiştir.

MİNİSKER, M. A. [7] yüksek lisans tezinde 321L paslanmaz çelik üzerine HVOF yöntemi ile MCrAlY kaplama işlemi yapmıştır. Taban malzeme sıcaklığı, taban malzeme yüzey pürüzlülüğü ve tabanca mesafesi parametrelerinin farklı seviyelerdeki etkilerini incelemiştir. Accuraspray ölçümü, sertlik ölçümü, taguchi analizi ve yapışma mukavemeti analizi yapmıştır. Sonuç olarak sertlik değerine etki eden en önemli faktörün sprej mesafesi olduğunu, ikinci faktörün yüzey sıcaklığı olduğunu bulmuştur.

MONTİCELLİ, C. ve arkadaşları [8] çalışmalarında karbon çeliği altlık kullanmışlardır. WC %12Co ve WC %17Co olmak üzere iki ayrı kaplama tozu ile HVOF yöntemi kullanılarak 0,05-0,01 ve 0,2 mm kalınlıkta kaplama yapmışlardır. %3,5 NaCl çözeltisinde incelemiştir. Gözeneklilik ve yüzey pürüzlülüğüne bakmış, SEM ve EPMA analizleri yapmışlardır.

VOORWALD, H. J. C. ve arkadaşları [9] AISI 4340 çeliği üzerine HVOF termal sprej yöntemi ile WC-17Co ve WC-10Co-4Cr tozlarını kaplamışlardır. Bu kaplamaların AISI 4340 çeliğinin üzerindeki yorulma mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Numuneler için eksenel yorulma testi yaparak S-N eğrileri elde etmişlerdir. SEM ile mikro çatlaklar ve yorulma çatlaklarını gözlemlemiştir. Kırılma yüzeyinin analizlerini yapmışlardır. Sert krom elektroliz işlemi yapmışlardır. Sert krom elektroliz ile karşılaştırıldığında tungsten karbür kaplamanın daha yüksek yorulma mukavemetine sahip olduğunu gözlemlemiştir. Termal sprej yapılmadan önce bilye püskürtme işleminin yapılması, AISI 4340 çeliğinin yorulma mukavemetinin daha çok artacağı sonucunu bulmuşlardır.

YANG, Q. ve arkadaşları [10] HVOF yöntemi ile WC-12%Co kaplamalarda karbür tane boyutunun mikroyapı ve sürtünme aşınmasına etkilerini araştırmışlardır. Karbür tane boyutları 0,8, 1,4 ve 2.8 µm olacak şekilde seçmişlerdir. Eşleştirilmiş materyal olarak alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanmışlardır. Mikroyapı, sertlik ve kuru sürtünme aşınma davranışını incelemişlerdir. Kaplamaların çok düşük bir aşınma oranı gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

SOUZA, V. A. D. ve arkadaşları [11] HVOF yöntemi ile WC-Co-Cr Kaplamanın malzeme bozulması, korozyon etkisi, korozyon ve erozyon arasındaki sinerjinin neden olduğu bozulmanın yol açtığı malzeme kaybını ele almışlardır. Referans olarak östenit (UNS S31603) ve süper dubleks (UNS S32760) paslanmaz çelikleri kullanmışlardır. Erozyon-korozyon ortamı oluşturarak elektrokimyasal teknikler kullanmışlar ve SEM ile değerlendirme yapmışlardır. Sonuç olarak korozyon erozyon etkileşiminin kaplamanın bozunumunda önemli bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir.

STEWART, D. A. ve arkadaşları [12] HVOF yöntemi ile WC-Co kaplanmış konvansiyonel ve nanokompozitin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Alümina ve silisyum aşındırıcılar aracılığıyla aşınma testi yapmışlardır. SEM ve XRD analizi yapmışlardır. Sonuç olarak nanokompozitin gözlemlenen tüm koşullar altında klasik kaplamaya göre daha düşük bir aşınma direncine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

NASCIMENTO, M. P. ve arkadaşları [13] Yüksek hız çeliği olan AISI 4340 üzerine elektrolitik sert krom kaplama ve HVOF yöntemi ile WC kaplamanın karşılaştırmasını yapmışlardır. Yorulma, korozyon ve aşınma testlerini uygulamışlardır. Sonuç olarak her iki kaplamanın da AISI 4340 çeliğinin yorulma mukavemetini azalttığını ancak elektrolitik sert krom kaplamada bu azalmanın daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

ISLAK, S. ve arkadaşları [14] SAE 4140 çeliği üzerinde HVOF yöntemi ile WCCo-Mo üretilen kaplamaların mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Kaplama tozuna ilave edilen Mo miktarı yüzde ağırlığını 10, 20, 30 ve 40 olarak değiştirmişlerdir. Kaplama çeşitleri üzerinde SEM ve XRD analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak kaplamaların sertliğinin, Mo miktarının artmasıyla arttığını, kaplamaların sertliğinin altlık malzemesinin sertliğine göre 5-7 kat daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

GAO, J. ve arkadaşları [15] HVOF ve D-Gun yöntemleri ile MCrAlYX kaplamaların mikroyapı, mekanik ve oksidasyon özelliklerini araştırmışlardır. XRD analizi, eğilme testi yapmışlar ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak D-Gun kaplamanın

HVOF yöntemine göre daha düşük gözenekli olduğunu ve daha iyi bükülme mukavemetine sahip olduğunu, her iki kaplamanın da mekanik özelliklerinin aynı olduğunu ortaya koymuşlardır.

KAPTAN, S. [4] yüksek lisans tezinde plazma sprej gazlarının tungsten karbür kaplama özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Altlık malzemesi olarak ticari saflıkta titanyum ve 304 paslanmaz çelik kullanmıştır. Üzerine plazma sprej metodu ile WC kaplamıştır. Kaplama işlemini gerçekleştirirken, plazma sprej parametreleri sabit kalırken hidrojen gaz akışını değiştirmiştir. Daha sonra plazma sprej parametreleri ve hidrojen gaz akışını sabit tutarak argon gaz akışını değiştirmiştir. Elde ettiği numuneler üzerine; voltaj ve yüzey sıcaklığı ölçümü, mikroyapı incelemesi, sertlik deneyi, yüzey pürüzlülük ölçümü, aşınma deneyi, çekme deneyi, faz analizi gibi deneyler uygulamıştır. Sonuçta değişik gaz akışı miktarına göre belirlenen parametrelerin, kaplamanın mekanik özelliklerini nasıl etkilediğini bulmuştur.

TOSUN, G. [16] yaptığı çalışmada seçtiği AISI 1010 çeliğin üzerine Ni ve WC tozlarını karıştırarak TIG yöntemi ile kaplama işlemi yapmıştır. 1 mm ve 2 mm olmak üzere farklı kaplama kalınlıkları elde etmiştir. Kaplama tozlarını %95 Ni ve %5 WC olacak şekilde karıştırarak uygulamıştır. Optik mikroskop, SEM ve EDX analizleri yapmıştır. Kaplama kalınlığının ve uygulanana elektrik akımının numunelerin mikroyapısında oluşturduğu etkiyi araştırmıştır.

SARI, N. Y. ve arkadaşları [17] AISI 1050 altlık malzemesi kullanmışlardır. Üzerine HVOF yöntemi kullanarak WC+CrNiBSi tozu, alev püskürtme yöntemi kullanarak NiCrBSi ve WC+NiCrBSi tozlarını kaplamışlardır. Elde edilen numunelere aşınma testi yapmışlardır. Daha sonra SEM ve EDX analizleri ile incelemelerde bulunmuşlardır.

BUYTOZ, S. ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada 100x20x10 mm boyutundaki AISI 4340 çeliği üzerine %99 saflıkta WC tozu ile değişik üretim hızlarındaki TIG yöntemini kullanarak kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Numunelere mikrosertlik incelemesi, mikroyapı incelemesi, EDX analiz incelemesi yapmışlardır. Üretim hızı, enerji girdisi ve toz yedirme oranı gibi değişen parametrelere göre değişik sonuçlar elde etmişlerdir.

ÖZ, A. [19] doktora tezinde dört adet aşınmış taşıt fren disklerine kaplama işlemleri yapmıştır. Birincisine plazma sprej yöntemi ile NiAl bağlayıcılı 0,7 mm kalınlığında Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> krom oksit tozu kaplamıştır. İkincisini HVOF yöntemi ile NiCr bağlayıcılı 0,5 mm kalınlığında WC/Co tozu ile kaplamıştır. Üçüncüsünü HVOF yöntemi ile NiCr bağlayıcılı

0,6 mm kalınlığında Colmonoy tozu ile kaplamıştır. Dördüncüsünü ergitme ve püskürtme yöntemi ile bağlayıcısız 0,8 mm kalınlığında Colmonoy tozu ile kaplamıştır. Numunelere SEM incelemesi, XRD incelemesi ve EDS incelemesi, mikrosertlik incelemesi ve korozyon testi gerçekleştirmiştir. Sonuçta malzeme karakteristiği ve ömrü gibi bilgiler elde etmesinin yanı sıra, WC tozu ile kaplanmış numunelerin, orijinalinden daha yüksek frenleme performansı gösterebileceği sonucuna ulaşmıştır.

ALAGÖZ, A. [20] yüksek lisans tezinde silisyum ve çelik altlık malzemeleri üzerine Doğru Akım Magnetronlu Saçtırma sistemini kullanarak WC ve WN kaplama işlemini yapmıştır. Numuneler üzerine SEM analizi, EDS analizi, XRD analizi, X-ışını Foto elektron spektroskopisi analizi, mikrosertlik ölçümü, aşınma deneyi gibi incelemelerde bulunmuştur. Azot gazının akış hızı, kaplamalara nasıl etki ettiği araştırılmıştır.

SCRIVANI, A. ve arkadaşları [21] çalışmalarında HVOF, vakum plazma sprej ve eksenel plazma sprej yöntemleri ile termal olarak püskürtülen CoNiCrAlY alaşımının özelliklerini incelemiştir. Mikroyapısal olarak gözeneklilik, oksit yoğunluğu ve ergimemiş partikül oranını incelemiştir. Ayrıca mikrosertlik ölçümü, X-ışını foto elektron spektroskopisi yapmışlardır. Elde ettikleri verilere göre, en iyi kalite ve özelliklere sahip kaplamanın vakum plazma sprej ile yapılan olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

BUYTOZ, S. ve arkadaşları [22] AISI 304 paslanmaz çelik altlık üzerine plazma ark kaynak kaplama yöntemi ile B4C-Ni-WC ve element tozları kaplamışlardır. Kaplama işlemi sonucu numunelere; optik mikroskop incelemesi, SEM incelemesi, XRD incelemesi ve EDS incelemesi ve aşınma testi gerçekleştirmişlerdir. Aşınma direnci ile ilgili sonuçlar elde etmişlerdir.

ORHAN, A. ve arkadaşı [23] AISI 304 paslanmaz çelik üzerine gaz tungsten ark yöntemi kullanarak Fe-Cr-C tozunu değişik parametrelerle kaplamışlardır. Kaplama işlemini sırasıyla 105, 115, 125, 135 ve 145 amper akım kullanarak yapmışlardır. Numunelere optik mikroskop, SEM analizi, EDS analizi ve XRD analizi yapmışlardır. Sonuç olarak karbürlerin en homojen olarak dağıldığı değerin 135 amperlik akımla yapılan kaplama türü olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

YEŞİLDAL, R. ve arkadaşı [24] yaptığı çalışmada altlık malzemesi olarak AISI 1020 ve AISI 304 çelikleri tercih etmişlerdir. Bu çeliklerin üzerine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Co+Cr+Mo ve

Al-Ni ile 300-400 µm kalınlığında plazma püskürtme yöntemi ile kaplama işlemi yapmışlardır. Ara bağlayıcı olarak 50-100 µm kalınlığında Al-Ni kullanmışlardır. Numunelere çekme deneyi, sertlik ölçme deneyi, mikroyapı incelemesi gibi deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucundan paslanmaz çelik üzerine yapılan kaplamanın yapışma mukavemetinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

BUYTOZ, S. ve arkadaşı [25] TIG yöntemini kullanarak FeCrC, WC ve FeCrC/WC alaşımları tozlarını 150x20x10 mm boyutlarındaki AISI 1020 çeliği üzerine kaplamışlardır. Elde edilen numunelere aşınma testi, sertlik testi, XRD analizi ve EDS analizi yapmışlardır. Sonuç olarak kaplama katmanında karbürlerin oluşması ile aşınma direncinde artışın olduğunu ve en iyi aşınma dayanımına FeCrC/WC tozu ile kaplanmış AISI 1020 çeliği olduğunu bulmuşlardır.

ÇELİK, A. A. ve arkadaşları [26] AISI 1020 ve AISI 316 çelikleri üzerine TIG (g az tungsten ark) kaynağı yöntemi ile farklı oranlarda hazırlanmış ferro vanadyum, ferro bor ve demir tozlarını kaplamışlardır. Vanadyum ve bor oranlarını değiştirerek sertlik ve mikroyapı değişimlerini incelemişlerdir. XRD analizi, SEM analizi ve EDS analizi yapmışlardır. Sonuçta AISI 304' ün kaplama tabakası sertliğinin AISI 1020' nin kaplama tabakası sertliğinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

SAEİDİ, S., [27] doktora tezinde HVOF ve vakum plazma sprey yöntemleri ile CoNiCrAlY kaplamaların mikroyapısını, oksidasyon ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, Praxair CO-210-24 ve Sulzer Metco Amdry 9951 tozlarını kullanmıştır. Oluşturduğu numuneleri 850°C ve 1100°C de 250 saat süre ile boyunca oksitlendirmiştir. Daha sonra numunelere SEM analizi, EDS analizi, transmisyon elektron mikroskopisi (TEM) analizi, XRD analizi, mikrosertlik, nano sertlik ve dinamik mekanik analiz (DMA) gibi çeşitli deneyler gerçekleştirmiştir. Mikroyapısal gözeneklilik ve oksit kordelleri gibi özelliklerin, kaplamaların oksidasyon oranını etkilediğini; oksidasyonun başlangıç aşamasının, hem HVOF hem de VPS kaplamalarının oksidasyon davranışında (oksidasyon hızı ve farklı oksitler) önemli bir rol oynayabileceği; tavlama işleminin, kaplamaların mikroyapısını değiştireceği ve mekanik özelliklerini etkileyeceği; tavlama işleminin, termal olarak püskürtülen kaplamaların sertliğini azalttığı, bunun da Young modülünü arttırdığı sonuçlarını elde etmiştir.

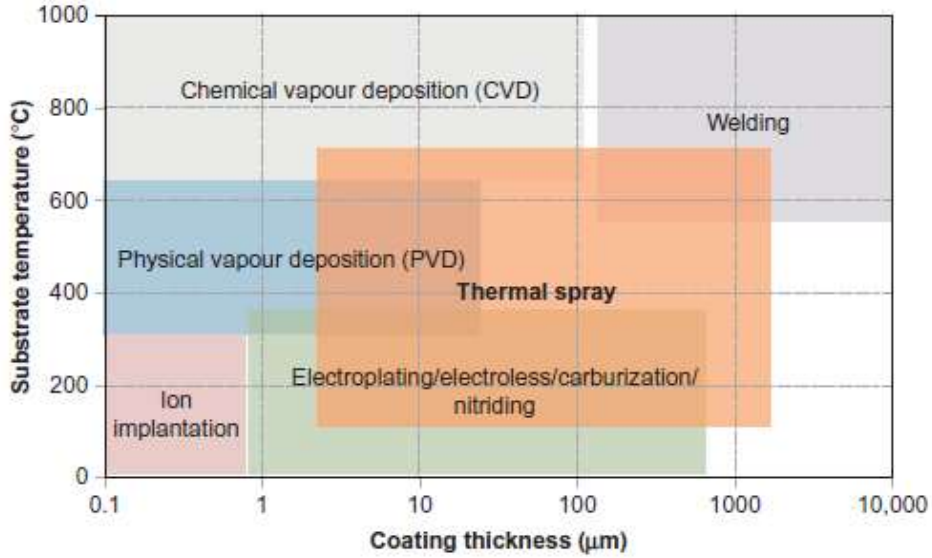
JUN, T-S., ve arkadaşları [28] yaptıkları çalışmada ilk olarak vakum plazma sprej yöntemi kullanarak 5 mm kalınlığındaki çelik altlık üzerine 0,5-0,6 mm kalınlığında Diamalloy 1008 (Sulzer Metco, Fe-17Cr-11Mo-3Ni-3Si-3Cu-4B) ile kaplama yapmışlardır. Kullandıkları vakum plazma sprej torcu içerisinde Diamalloy ve tungsten kütle kontrol edici aparat bulunmaktadır. Bu sayede, altlıktan en üst katmana doğru olan ara katlar; %75 Diamalloy %25 W, %50 Diamalloy %50 W, %75 W %25 Diamalloy oranlarında oluşturulmuştur. İkinci olarak 5 mm kalınlığındaki 316L paslanmaz çelik altlık üzerine vakum plazma sprej yöntemi kullanarak 2 mm kalınlığında W ile katmanlar olmadan kaplamışlardır. Elde ettikleri numunelere mikroyapı incelemesi yaparak, XRD analizi yapmışlardır. Elde ettikleri veriler aracılığıyla kaplamalardaki artık gerilmelerin haritalarını oluşturmuşlardır.



### 3 TERMAL SPREY TEKNİKLERİ

Metal veya metal olmayan kaplama uygulamaları için kullanılan yöntemlerdir. Temel prensip, farklı enerji kaynakları ile ısıtılan ya da kısmen eritilen kaplama malzemelerin farklı gaz türlerinin oluşturduğu basınç sayesinde parça üzerine püskürtülmesidir. Bu sayede parça üzerinde meydana gelen tabaka kaplamayı oluşturur. Önemli avantajları; kaplama işlemi için çok çeşitli malzemelerin kullanılabilir olması, tungsten gibi yüksek erime noktalarına sahip malzemelerin termal deformasyona uğramadan uygulanabilmesi ve yıpranmış ya da aşınmış parçaların boyut ve özelliklerinin değişmeden kaplanabilir olmasıdır [29]. Kaplama türüne karar verilirken; kaplanacak malzeme türü, kaplama kalınlığı ve alt tabaka sıcaklığı gibi özelliklere bakılmalıdır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de bu özelliklerin karşılaştırılması verilmiştir [30].

Çizelge 3.1 Farklı kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması [30]



Çizelge 3.2 Termal sprey yöntemlerinin karşılaştırılması [30]

	Alev Püskürtme	Ark Püskürtme	D-Gun	HVOF	APS	Soğuk Sprey
<b>Tutuşma</b>						
Sıcaklık (°C)	3500	>6000	>4000	2500-3000	10,000-15,000	0-700
Hız (m/s)	80-100	50-100	>2500	500-2000	300-1000	300-1200
Gaz Tipi	Oksijen/Asetilen, Propan, Hidrojen	Hava, Nitrojen, Argon	Oksijen/Asetilen, Propan, Hidrojen, Bütan	Oksijen, Hidrojen, Propan, Kerosen	Argon, Hidrojen, Helyum, Nitrojen	Nitrojen, Hava, Helyum
Güç (kW)	20	5-10	-	150-300	40-200	-
<b>Alev</b>						
Max Alev Sıcaklığı (°C)	2500	>3800	-	3300	>3800	250
Alev Hızı (°C)	50-100	50-150	750-1000	200-1000	50-100	500
<b>Kaplama</b>						
Gözeneklilik (%)	10-15	10-20	<2	<2	5-10	<5
Kalınlık (µm)	100-2500	100-2000	100-400	50-2000	100-1500	250-600

## TERMAL SPREY ÇEŞİTLERİ

Termal sprey teknolojisi temel olarak üç gruba ayrılır.

### 3.1 Yanma Metotları (Combustion)

Bu metot üç gruba ayrılır.

#### 3.1.1 Alev Püskürtme (Flame Spray)

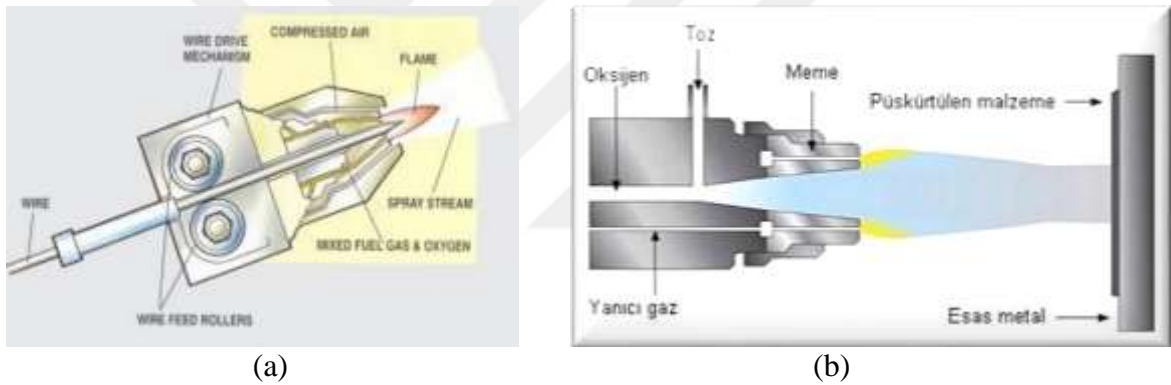
Termal sprey yöntemlerinin arasında en basit ve en düşük maliyetli olanı alev püskürtme yöntemidir. İlk kez İsviçreli mühendis Schoop tarafından bulunmuştur. İlk önceleri düşük erime sıcaklığına sahip kurşun ve kalay gibi metaller için, ilerleyen süreçlerde de sıcaklığa karşı dayanıklı metaller için kullanılmıştır [31]. Kaplama işleminin yapılacağı parçanın özelliklerine göre tel, çubuk ve ya toz alev şeklinde uygulanabilir. Tel alev püskürtmede (Şekil 3.1 a) oksijen ve yanıcı gaz (propan, hidrojen ve ya asetilen) torç ağzında yanma işlemini gerçekleştirirken tel bu sayede erimekte ve eriyen tel gaz basıncı sayesinde kaplanacak parça üzerine püskürtülmektedir. Toz alev püskürtmede ise (Şekil 3.1 b) oksijen ve yanıcı gaz torç ağzında yanma işlemini gerçekleştirirken taşıyıcı gaz tarafından iletilen kaplama tozu bu kısımda eriyik hale gelerek gaz basıncı sayesinde kaplanacak



parça üzerine püskürtülmektedir. Kullanılan yanıcı gaza bağlı olarak alev sıcaklığı 2 700 - 3 100°C arasında değişmektedir [32].

Uygulama esnasında alev hızı 80-100 m/s aralığında olabilir. Tel alev sprej yönteminde tel malzemesi olarak; molibden, bakır, alüminyum, çinko, bronz ve paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Toz sprej yönteminde toz malzemesi olarak; nikel, kobalt, tungsten karbür, alüminyum oksit, zirkonyum oksit gibi metal veya seramik alaşımları kullanılmaktadır [33].

Avantajları; düşük maliyetli olmasıdır. Karmaşık şekilli ve büyük boyutlardaki parçalara elle püskürtme yapılabilir. Genellikle korozyon direncinin artırılması istenen parçalarda ve aşınmış, yıpranmış ve deforme olmuş makine elemanlarının iyileştirilmesinde kullanılır [34].



Şekil 3.1 a) Tel Alev Sprej [35] b) Toz Alev Sprej [32]



Resim 3.1 a) Tel Alev Sprej Uygulaması [36] b) Toz Alev Sprej Uygulaması [36]

### 3.1.2 Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme (HVOF)

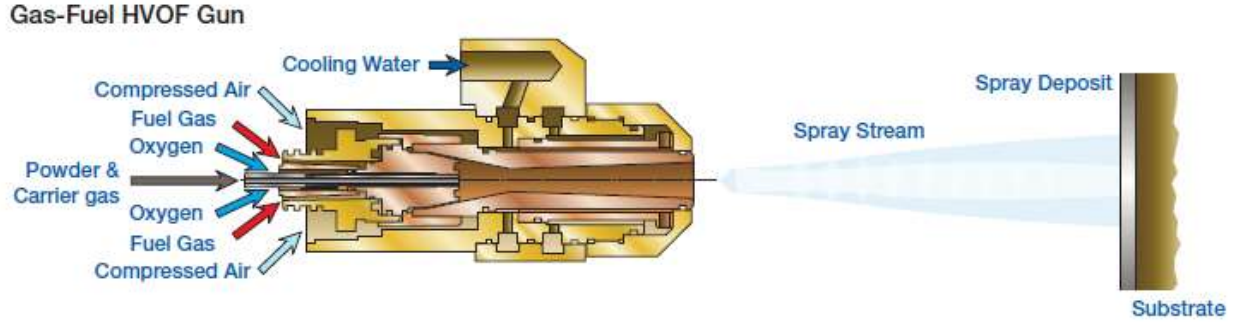
Yüksek hızda oksijen-yakıt püskürtme yöntemi 1970 lerin sonunda 1980 lerin başında alternatif olarak geliştirilmiş bir kaplama türüdür. 2005 yılından bu yana önemli derecede gelişme göstermiş olup günümüzün en önemli kaplama türlerinden biridir. Gaz yakıt ve sıvı yakıt olmak üzere iki çeşittir. Gaz yakıtlı türlerinde propilen, propan, doğal gaz, hidrojen kullanılırken sıvı yakıtlı türlerinde kerosen ve Jet-A (Gazyağı) gibi sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Çalışma prensibi, toz durumda bulunan kaplama malzemesinin, taşıyıcı gaz yardımıyla püskürtme tabancası içerisindeki yanma odasına taşınmasıdır. Yakıt ile oksijen püskürtme tabancası içerisinde karıştıktan sonra dışarıya püskürtülür. Püskürtme tabancası ağzında gerçekleşen yanma işlemi ile yarı ergimiş hale gelen toz malzeme, sahip olduğu yüksek kinetik enerji ile birlikte kaplanacak malzeme üzerine yayılır.

HVOF yöntemi ile yüksek bağ mukavemetine sahip, porozitesi (gözeneklilik) düşük, yoğunluğu yüksek, aşınma ve korozyon direnci yüksek olan kaplamalar elde edilir. Bu sistemde sıcaklık 3000-3500 K'e kadar çıkabilmektedir [7].

Gaz hızı 2000 m/s yi aşarken, partiküllerin hızı 400-800 m/s arasında değişebilir. Bu hızlara sahip olması kaplamanın kalitesini arttırmaktadır. Ayrıca gaz çıkış hızının yüksek olması sebebiyle +133 dBA' ya kadar çıkabilen gürültüye sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı işlem süreci, işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından kapalı kabinlerde yapılmalıdır [37]. Pompa, valf, piston, mil, rulman gibi birçok makine elemanlarının kaplanması için kullanılan bir yöntemdir [38].

Gaz yakıtlı HVOF veya sıvı yakıtlı HVOF yöntemi seçiminde bazı parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar: Kaplanacak olan parçanın geometrik yapısı, yüzey kompozisyonu, uygulanacak kaplamanın malzemesi, istenilen kaplama kalınlığı, istenilen yüzey pürüzlülüğü kalitesi, istenilen kaplama iç gerilmeleri, kaplanacak parça adedi, kaplanacak alanın boyutu gibi özelliklerdir [39].

Aşağıda gaz ve sıvı yakıtlı HVOF sprey yöntemlerinin şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Gaz yakıtlı HVOF sprej yöntemi [39]

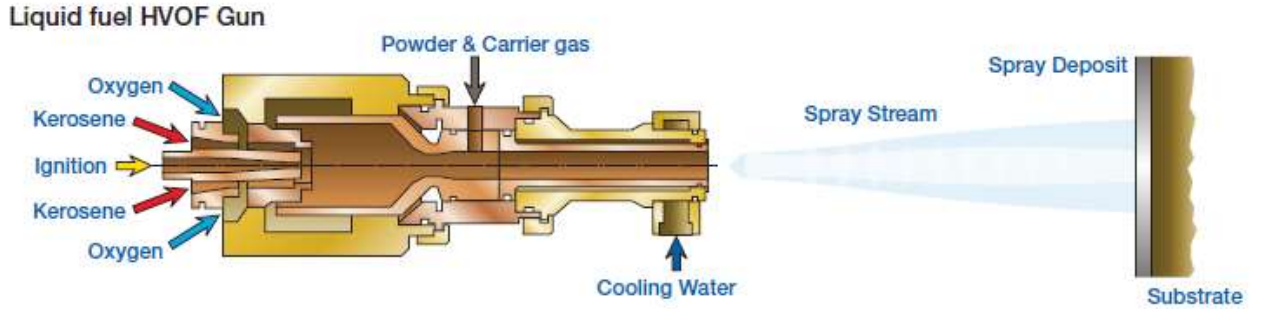
Isı Kaynağı: Gaz Yakıt ve Oksijen

Kaplama Malzemesi: Toz Metal

Alev sıcaklığı: Yaklaşık 2800°C

Parça Hızı: 400-800 m/s

Sprej Performansı: 40-150 g/dk [40]



Şekil 3.3 Sıvı yakıtlı HVOF sprej yöntemi [39]

Isı Kaynağı: Sıvı Yakıt ve Oksijen

Kaplama Malzemesi: Toz Metal

Alev sıcaklığı: Yaklaşık 2800°C

Parça Hızı: 400-800 m/s

Sprej Performansı: 70-200 g/dk [40]

Çizelge 3.3 Gaz yakıtlı ve sıvı yakıtlı HVOF yöntemlerinin genel karşılaştırılması [39]

Karşılaştırma	Gaz yakıtlı HVOF	Sıvı yakıtlı HVOF
Genel Karakteristikler		
Yakıt Çeşitleri	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Jet-A ya da Kerosen
Yanma Basıncı	~ 55 MPa	55 - 0,83 MPa
Gaz Hızı	1800 - 2100 m/s	2000 - 2200 m/s
Tanecik Hızı	450 - 600 m/s	475 - 700 m/s
Toz Yedirme	Eksenel	Radyal
Toz Yedirme Hızı	Yüksek	Düşük
Sprey Oranı	120 g/min üzerinde	200 g/min üzerinde
Tüketim Değerleri		
Yakıt	43800 lt H <sub>2</sub> ya da 5280 lt Propilen 5280 lt Propan	28 lt Kerosen
Oksijen	18420 lt	61400 lt
Su	600 lt	2375 lt

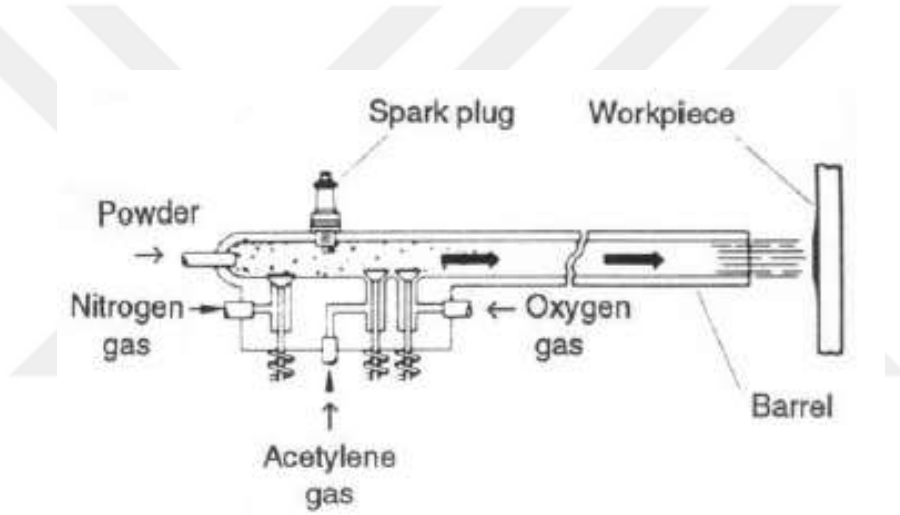


Resim 3.2 HVOF yöntemi ile kaplanmış parça örneği [33]

Bu yöntem için en çok tercih edilen kaplama materyali tungsten karbürdür. Yöntemde yanma sıcaklığının düşük olması nedeniyle yüksek oranlı karbür kaplamalar ortaya çıkartır.

### 3.1.3 Detonasyon Alev Püskürtme (D-Gun)

Detonasyon püskürtme işlemi malzemeye güçlü bağ yapısı, düşük porozite, artık basma gerilmeleri gibi özellikler veren termal sprey yöntemidir. Oksijen ve asetilen içeren karışım, bir namlu boyunca beslenir. Bu karışım bir buji yardımıyla patlatılır. Oluşan patlama işlemi sayesinde toz halde bulunan kaplama malzemesi kısmen eritilir ve azot gazı aracılığıyla kaplanacak parçaya doğru püskürtülür. Patlamalar 3-6 Hz frekans aralığında tekrarlanır. Parçacıklar 800 m/s den daha fazla bir hıza ulaşır. Bu yüksek hız, parçacık deformasyonunu iyileştirirken kaplamanın yapışma kalitesini de arttırdığı görülmüştür [29].



Şekil 3.4 D-Gun yöntemi [29]

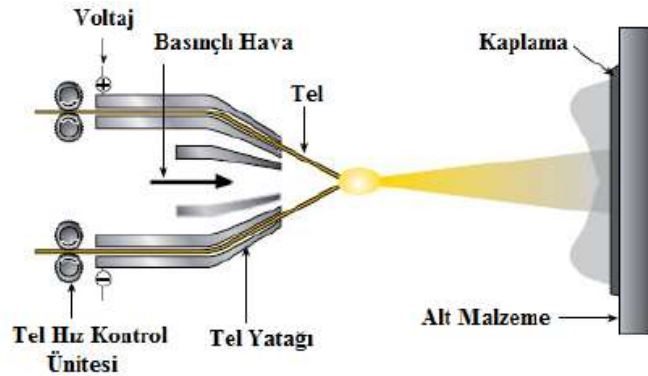


Resim 3.3 D-Gun işlemleri [41]

## 3.2 Elektriksel Metotlar

### 3.2.1 Ark Sprey

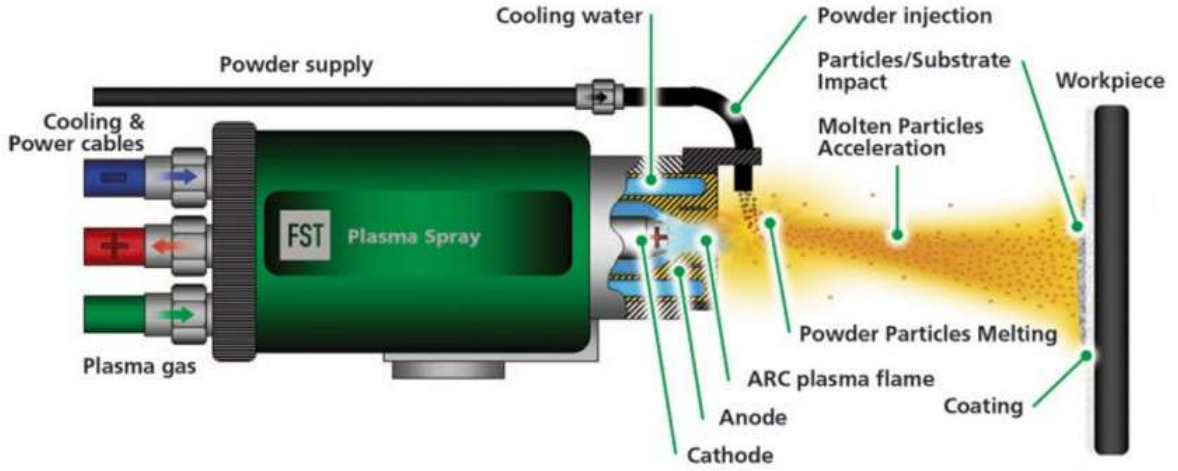
Bu yöntemde iki tel elektrot yüksek akımlı bir doğru akım (DC) güç kaynağına bağlı olarak bulunur. İki tel arasında sürekli bir ark meydana gelir ve ısı açığa çıkarır. Oluşan ısı ark tellerinin uçlarını eritir. Erimiş haldeki tel uçları hızlı ve soğuk basınçlı hava sayesinde kaplama parçası üzerine püskürtülür. Yöntem aşınma ve korozyona dayanım gibi amaçların yanı sıra dekoratif gibi görsel amaçlı olarak da kullanılmaktadır [42].



Şekil 3.5 Ark sprej yöntemi [43]

### 3.2.2 Plazma Sprey

Bir tungsten elektrot (katot (-)) ile bakır nozul (anot (-)) arasında bir ark oluşur. Bu arkta geçen gazlar, kaplama tozlarını kaplanacak altlık parçasının yüzeyine püskürtülmesini sağlar [44]. Bu süreçte genellikle azot, hidrojen (bunlar diatomik), argon, helyum (bunlar monoatomik) gazları kullanılır. Plazma ile çok yüksek derecelerde enerji elde edilebilir. 7 000°C ile 20 000°C arasında sıcaklıklara ulaşılır. Bu sistemler, yüksek sıcaklıktan kaynaklanacak olumsuzluklara karşı su ile soğutulurlar [4]. Plazma sprej kaplamalar yüksek sıcaklıkta çalıştıkları için yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu yöntem, sıcaklığa dayanıklı malzemelerin kaplanmasına imkân tanır [45]. Kaplamanın bağlanma mukavemetini artırmak için kaplama yapmadan önce altlık yüzeyinin pürüzlü hale getirilmesi gerekmektedir. Plazma sprej yöntemi ile uygulanmış kaplamanın yapısı, ince ve tabakalıdır [6, 46].



Şekil 3.6 Plazma sprej yöntemi [47]

Plazma sprej yöntemi üç gruba ayrılır.

### 3.2.2.1 Atmosferik Plazma Sprey (APS)

Atmosfere açık bir şekilde ve düşük hızlarda yapılan bir kaplama türüdür. Plazma sprej işleminin açık havada yapılmasına denir [48]. Bu yöntem ile kaplanacak parçaya gönderilen malzeme erimiş olduğu için yüksek verimli bir kaplama oluşur. Bu yüzden yüksek erime sıcaklığına bağlı seramik parçalardan üretilen kaplamalarda kullanılması daha uygundur [49]. Bu yöntemin uygulandığı kaplamalarda porozite oranı % 1-7 arasındadır. Kaplamaların kalınlığı 300-1500 µm arasındadır. Dezavantajları; yüksek gözeneklilik ve oksidasyon oranlarıdır [27].

### 3.2.2.2 Vakum Plazma Sprey (VPS)

VSP çevre atmosferinden ziyade kontrol edilebilir bir atmosfer içerisinde (vakum odasında) uygulanır. Özellikle havacılık endüstrisinde kullanılır. VSP 'nin ASP 'den avantajı daha az türbülanslı bir ortamda uygulandığı için yüksek partikül hızlarına sahip olmasıdır. Püskürtme işlemi sırasında ortamda oksijen bulunmaması nedeniyle oksitlenme olmaz [50]. Kaplamaların porozitesi %2 den daha düşük seviyelerde olabilir [31].

### 3.2.2.3 Düşük Basıncılı Plazma Sprey (LPPS)

Bu yöntem genellikle oksidasyona karşı hassas olan parçalar için kullanılır. Püskürtme için kullanılan parçacıkların boyutu, yüzeyin pürüzlülük kalitesini belirler. Genellikle pürüzlü yüzeyler elde edilir. Kaplama uygulamasından sonra parlatma vs. gibi işlemlerle yüzeyler düzeltilir [51].

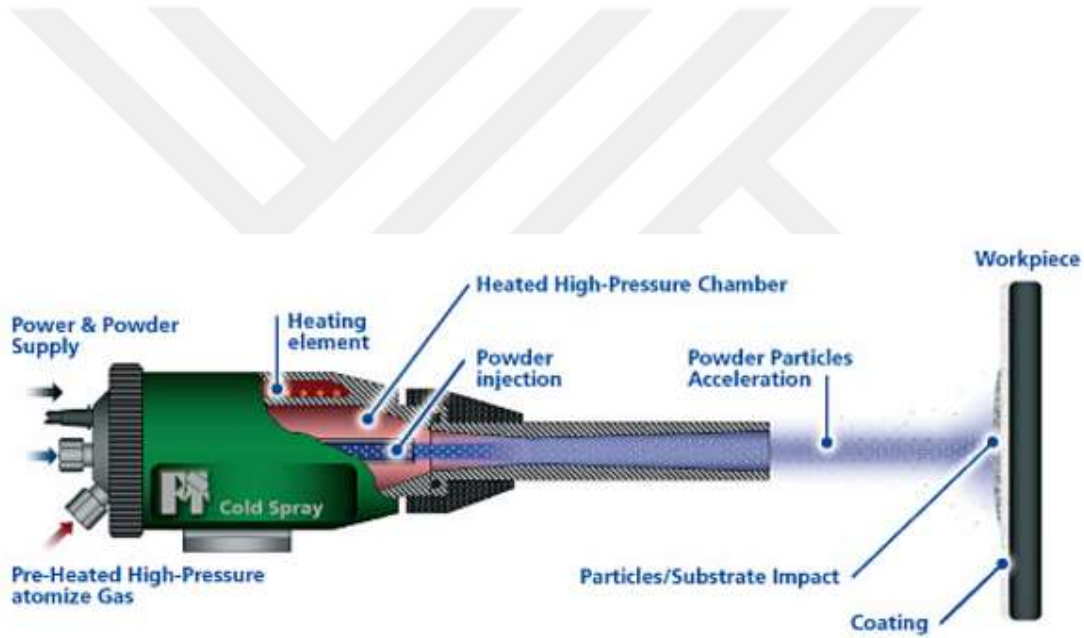
## 3.3 Soğuk Sprey

Temel olarak iki gruba ayrılır.



### 3.3.1 Soğuk Gaz Sprey Metodu (CGSM)

Bu kaplama türünde kaplama malzemesinde ergime olmaksızın partiküllerin çok yüksek hızda ve düşük sıcaklıklarda püskürtülerek daha yoğun bir kaplama elde edilir. Sistemde kullanılan gazların (azot, hava, helyum veya karışımları) önce ısıtılıp basınç altında sıkıştırılmasından sonra nozuldan genişleşerek çıkması sayesinde yüksek hızlar elde edilir. Püskürtülen partiküllerin düşük sıcaklıkta olmasından dolayı bu ismi almıştır. Sistemde kullanılan gaz çeşidi ve toz boyutuna bağlı olarak 300-1 200 m/s arasında püskürtme hızı elde edilir. Ucuz olmasından dolayı genellikle azot gazı kullanılır. Kaplama sürecinde gaz ön sıcaklığı 0-700 °C aralığında ve basınç ise 0,6-3,5 MPa aralığında değişmektedir [52].



Şekil 3.7 Soğuk spre yöntemi [53]

Avantajları: yüksek biriktirme oranları, yüksek kaplama oranı, yüksek yapışma mukavemeti, kalın ve yoğun kaplama elde edilmesi, düşük seviyede oksitlenme-porozite-artık gerilme, ekonomik olmasıdır [54].



Resim 3.4 Soğuk gaz sprej uygulama resmi [55]

### 3.3.2 Yüksek Hızlı Hava Yakıtlı Sprej (HVAF)

Çalışma prensibi olarak HVOF yöntemi ile benzerdir. HVAF; HVOF' tan daha düşük, soğuk sprejden daha yüksek sıcaklıkta çalışan bir yöntemdir. Propan, propilen veya doğalgaz ve basınçlı hava ile işlem gerçekleşir. Bu yöntemde kaplama tozları erime sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve yaklaşık 700 m/s hızla püskürtülür [56]. Yakıt olarak havadaki oksijeni kullandığı için HVOF' tan daha düşük oksidasyona sahiptir. Partikül hızı fazla olduğu için düşük poroziteli çok yoğun kaplamalar elde edilir [57]. Seramik hariç, termal sprej yöntemlerinde kullanılan tüm toz malzemeler HVAF ile uygulanabilir [58].

## 4 MATERYAL ve METOT

Bu bölümde deney için kullanılan altlık malzemesi, kaplama işleminde kullanılan kaplama tozu, HVOF spreyleme işleminde kullanılan cihaz ve ekipmanları ile numune kaplama işlemi ele alınmıştır.

### 4.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

#### 4.1.1 Altlık Malzemelerinin Kimyası ve Boyutları

Altlık malzemesi olarak AISI 304, AISI 316 ve AISI 420 kalite paslanmaz çelikler seçilmiştir. Altlık malzemeleri Anıl Paslanmaz Çelik firmasından temin edilmiştir. Çalışmada numuneler Ø50x10 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Firmadan alınan sertifika bilgilerine göre, Ø50 mm boyutlarında AISI 304, AISI 316 ve AISI 420 kalite paslanmaz çeliklere ait özellikler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.1 AISI 304 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu (Ek-1)

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Mo	Ni	Cu	Co
0,023	0,340	1,330	0,038	0,025	0,093	0,004	18,200	0,310	8,110	0,350	0,150

Çizelge 4.2 AISI 304 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri (EK-1)

Esneklik Modülü (GPa)	193
Çekme Mukavemeti (Mpa)	640
Akma Dayanımı (Mpa)	295
Uzama (%)	50
Sertlik (HB)	190

Çizelge 4.3 AISI 316 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu (EK-2)

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
0,016	0,400	1,470	0,031	0,027	0,058	16,970	2,050	10,000

Çizelge 4.4 AISI 316 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri (EK-2)

Esneklik Modülü (GPa)	210
Çekme Mukavemeti (Mpa)	600
Akma Dayanımı (Mpa)	220
Uzama (%)	40
Sertlik (HB)	215

Çizelge 4.5 AISI 420 Paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu (EK-3)


C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,190	0,380	0,600	0,030	0,013	12,550	0,040	0,450

Çizelge 4.6 AISI 420 Paslanmaz çelik mekanik özellikleri (EK-3)

Esneklik Modülü (GPa)	200
Çekme Mukavemeti (Mpa)	588
Akma Dayanımı (Mpa)	387
Uzama (%)	30
Sertlik (HB)	173

#### 4.1.2 Kaplama Malzemesi

Çalışmada kaplama malzemesi olarak GTV marka 80.71.1 kodlu WC/Co 88/12 tozu kullanılmıştır. Markanın katalog değerlerine göre DIN EN 1274 standartlarında kaplama tozuna ait özellikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de, kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.7' de verilmiştir.

GTV No	Açıklama	Tane Boyutu	Spray Prosesi	Co	C	W	Şekil
80.71.1	WC/Co 88/12	-45 + 15µm	HVOF	12	5,5	Den.	

Şekil 4.1 WC/Co toz özellikleri [59]

Çizelge 4.7 WC/Co tozu kimyasal kompozisyonu (EK-4)

W	Fe	Co	O	Ct	Cf
Balance	0,0215	12,00	0,047	5,28	0,03

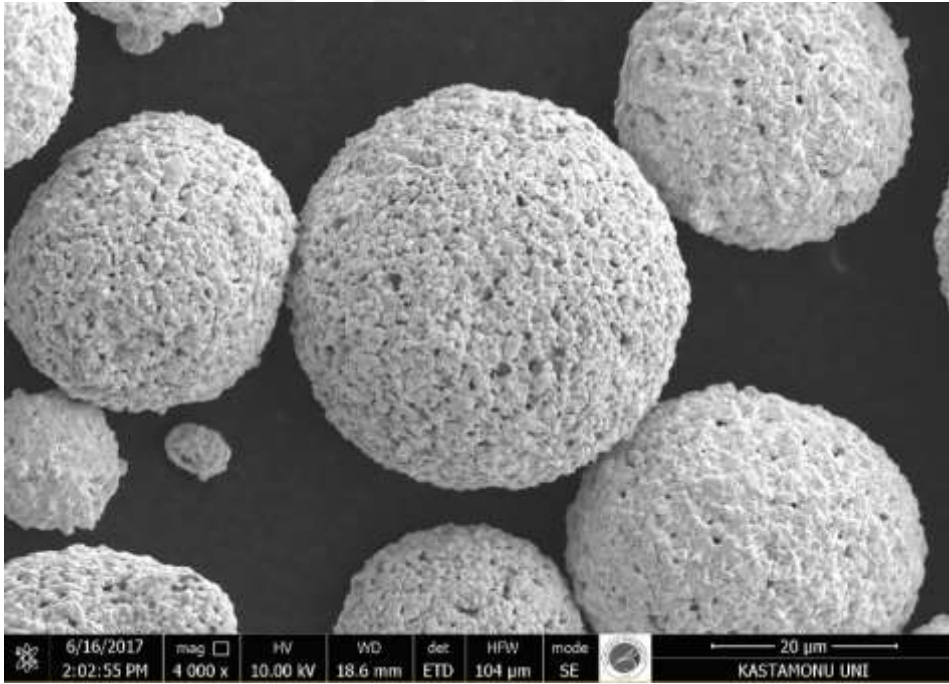
- HVOF WC/Co 88/12, 20 µm < d < 45 µm
- Gözeneklilik: 1%
- Mikrosertlik : > 1200 HV0.3
- Bağ Mukavemeti: > 70 MPa
- Kaplama Kalınlığı (yaklaşık): 200 µm
- Pürüzlülük: Ra=2-5 µm
- İşlem Sıcaklığı: < 500 °C



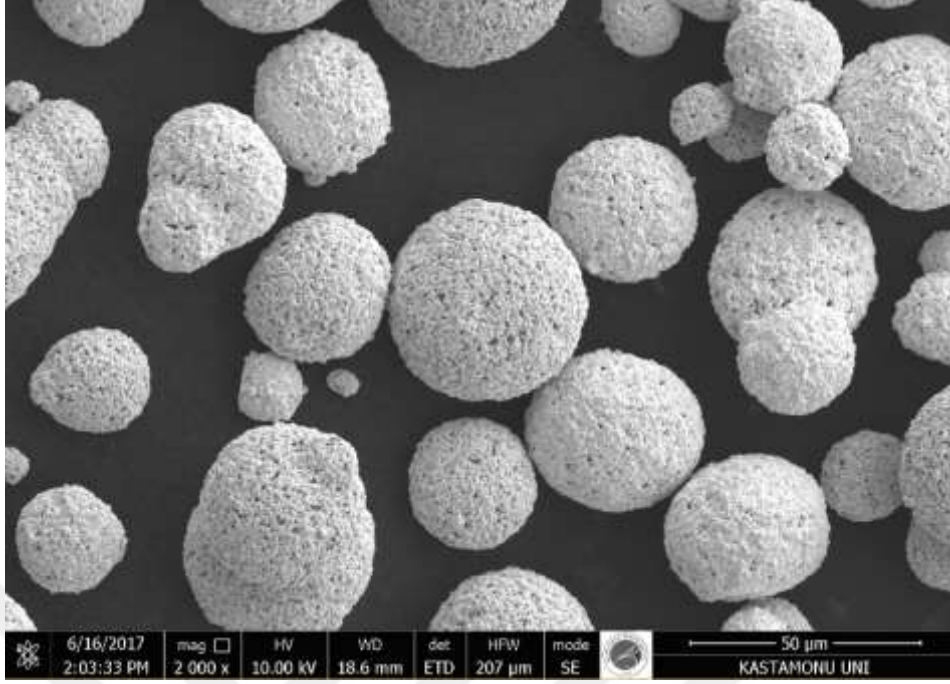
Şekil 4.2 WC/Co toz özellikleri [59]



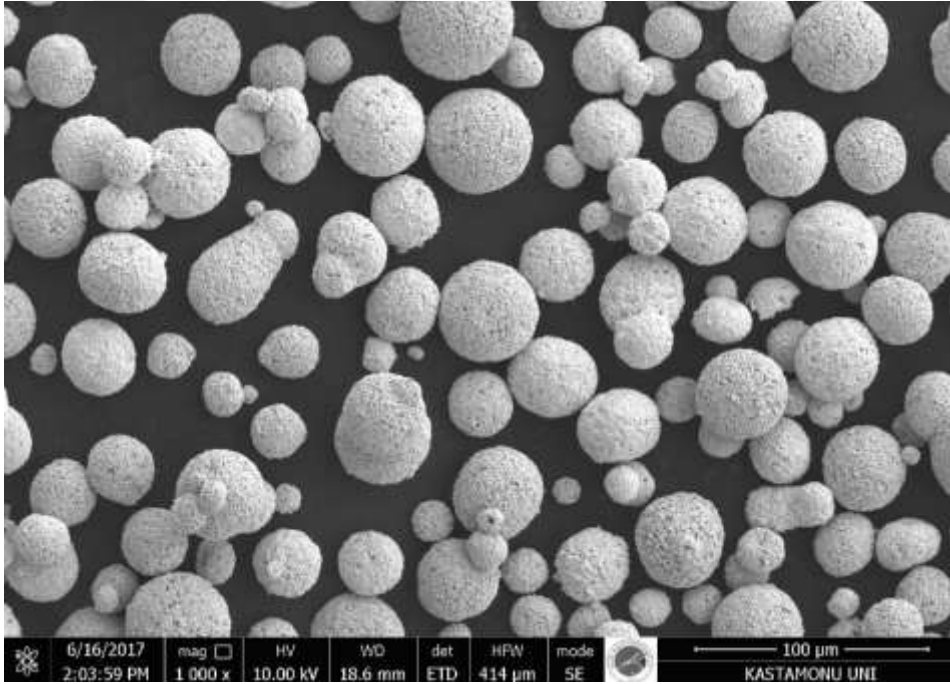
Resim 4.1 WC/Co kaplama tozu görüntüsü



Resim 4.2 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (4000X)



Resim 4.3 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (2000X)



Resim 4.4 WC/Co kaplama tozunun SEM görüntüsü (1000X)



#### 4.1.3 Bağlayıcı Malzeme

Altlık olarak kullanılan paslanmaz çelik ile üzerine kaplama yapılacak olan WC/Co arasındaki termal genleşmeleri önlemek ve kaplamanın altlık malzemesine daha iyi tutunmasını sağlamak amacıyla -53 +20 µm özelliğine sahip GTV marka NiCr 80/20 bağlayıcı kullanılmıştır. Numuneler bağlayıcılı ve bağlayıcısız olmak üzere iki sınıf olarak üretilmiştir. Bağlayıcı malzemesine ait yüzde ağırlıktaki kimyasal analiz tablosu aşağıdaki gibidir.

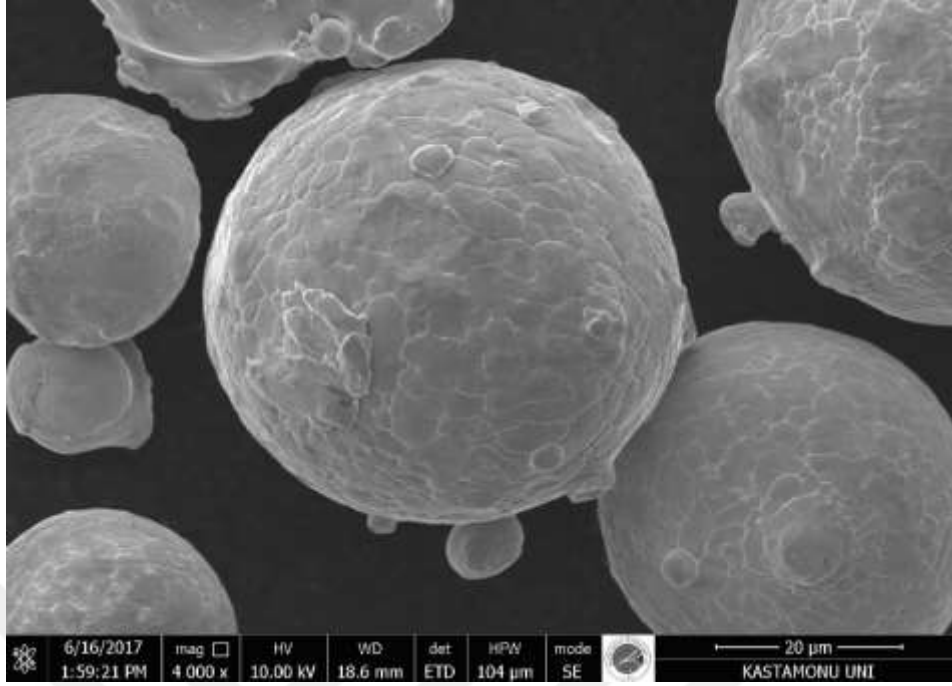
Çizelge 4.8 GTV marka 80.20.1 NiCr 80/20 toza ait kimyasal kompozisyon (EK-5)

Al	B	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Nb	Ni		
<0,01	<0,01	<0,01	0,01	20,19	0,01	0,11	0,12	0,01	Bal.		
O2	P	Pb	S	Si	Sn	Ta	Ti	V	W	Zn	Zr
0,03	0,02	<0,01	<0,01	1,61	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

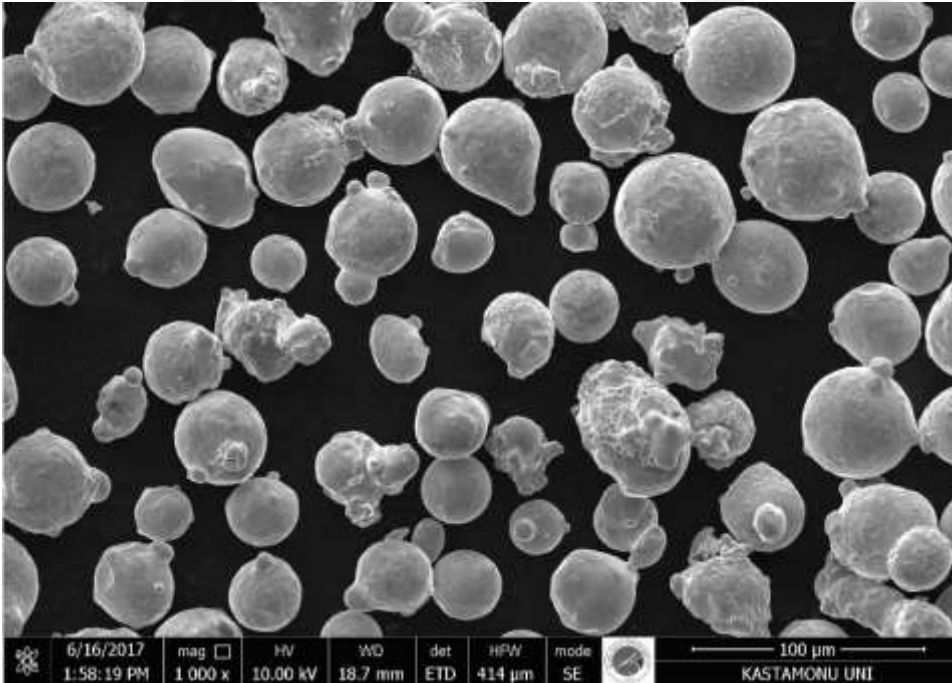


Resim 4.5 NiCr 80/20 bağlayıcı tozun görüntüsü

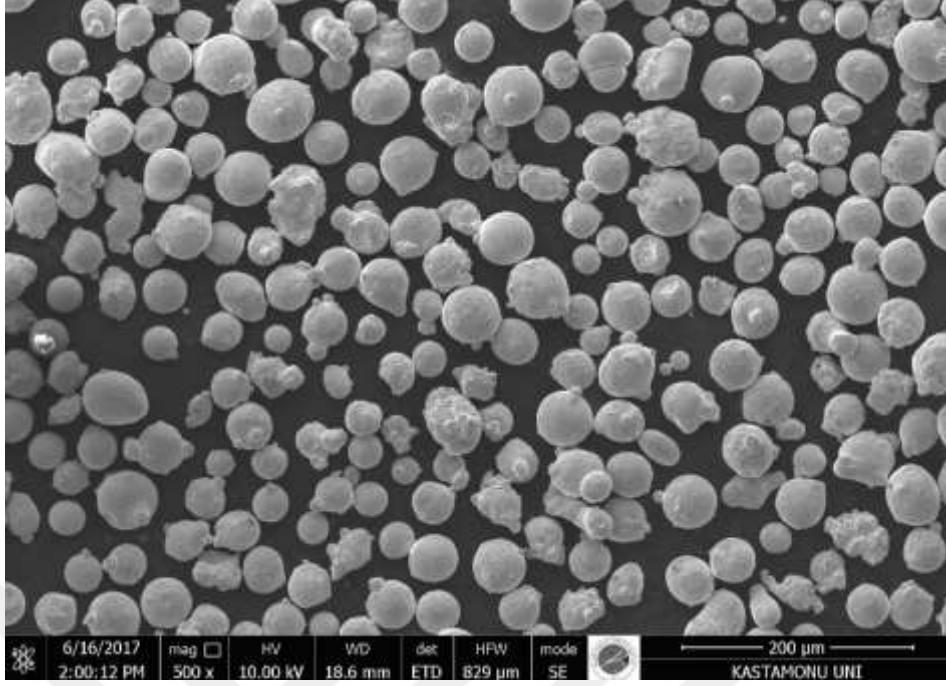




Resim 4.6 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (4000X)



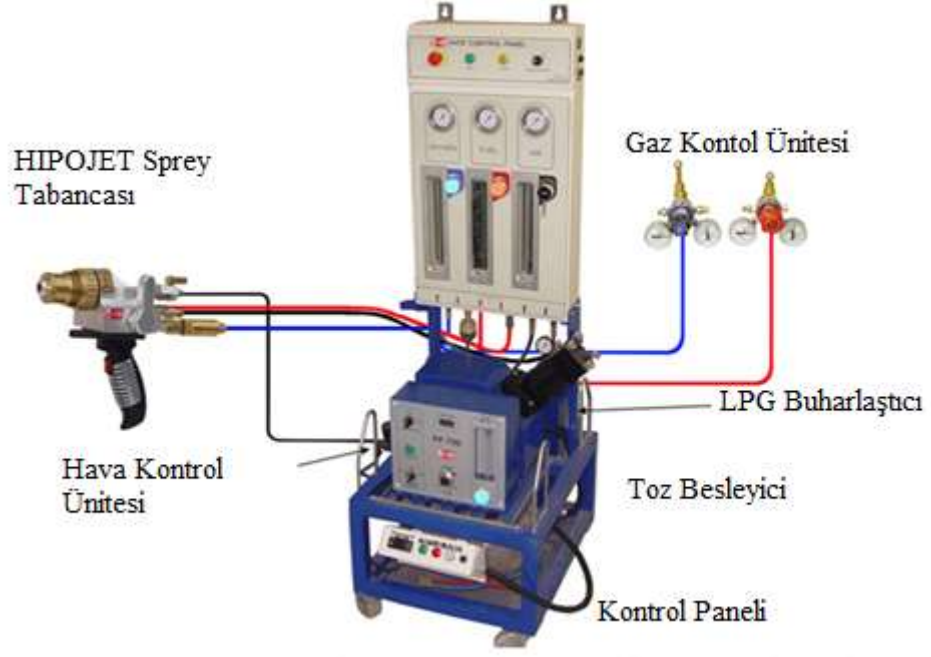
Resim 4.7 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (1000X)



Resim 4.8 NiCr bağlayıcı tozunun SEM görüntüsü (500X)

#### 4.2 Kaplama Cihazı ve Ekipmanlar

Kaplama işlemi Metser Kaplama şirketine yaptırılmıştır. HVOF yöntemine ait kaplama işlemini MEC marka Hipojet 2700 modeldeki kaplama cihazı ile yapılmıştır. HVOF sprej sistemi Şekil 4.3’de görülmektedir. Yöntemin uygulama görüntüsü ise Resim 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.3 HVOF sprej sistemi [60]



Resim 4.9 HVOF yöntemi ile kaplama işleminin uygulama görüntüsü

#### 4.3 Kaplama İşlemi Öncesi Altlık Malzemelerinin Hazırlığı

Kaplama işlemi esnasında kaplama tozlarının altlık malzemesine iyi derecede yapışmasını sağlayabilmek için yüzeyin mükemmel bir şekilde temizlenmesi ve ardından kumlanması gerekmektedir. İlk aşamada tiner kullanılarak altlık malzemelerinin yüzeyleri yağ, kir vs. gibi istenmeyen kalıntılardan temizlenmiştir. Temizlik işleminden sonra yüzeyde oksidasyon olmaması için 70-80 °C arasında ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ardından kaplama tozlarının, altlık malzemesi yüzeyine iyi bir şekilde yapışmasını sağlayabilmek için yüzeyi pürüzlendirmek amacıyla kumlama işlemi yapılmıştır. Kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü  $Ra=5.286 \mu m$  değeri elde edilmiştir. Kumlama yapılmış üç farklı altlık parçasına ait görüntüler Resim 4.10' da görüldüğü gibidir.



Resim 4.10 Altlık malzemelerinin kumlama işlemi sonrası görüntüsü

#### 4.4 Kaplama İşlemi ve Kaplama Parametreleri

Kumlanmış altlık malzemelerinin kaplama yapılacak yüzeyin arka yüzeyine vida açılmıştır. Burada amaç kaplama işlemi esnasında parçanın tutunmasını sağlamaktır. Kaplama yapılacak altlık malzemelerinin bağlayıcı olacak numunelere önce NiCr bağlayıcı tozlar püskürtülmüştür. Kaplama yapılacak altlık malzemelerinin bağlayıcısız olacak numunelere ise seçilen kaplama parametreleri doğrultusunda direkt kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama işlemi Metser Kaplama firmasında yapılmıştır. Resim 4.9' da HVOF yöntemi ile kaplama işleminin uygulama görüntüsü verilmiştir. Çizelge 4.7' de ise kaplama parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 4.9 HVOF yöntemi ile WC/Co 88/12 kaplama parametreleri

WC-Co 88/12 Kaplama Parametreleri	
Tüp Çıkış Basınç Değerleri	
Oksijen Basıncı (bar)	17
Asetilen Basıncı (bar)	10
Hava Basıncı (bar)	6
Toz Debisi (g/dak)	38
Sprey Mesafesi (mm)	250
Akış Miktarı (Debi)	
Oksijen (LPM)	250
Asetilen (LPM)	60
Hava (LPM)	800

Kaplama işlemi sonunda elde edilen numuneler, uygulama kolaylığı olması açısından numaralandırılmıştır. Parça özelliklerine göre numaralandırma Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Numune numaralandırma çizelgesi

Numune Numarası	Altlık Malzemesi	Kaplama Kalınlığı (µm)	Bağlayıcı Tabakası
1	AISI 304	150	Var
2	AISI 304	150	Yok
3	AISI 304	250	Var
4	AISI 304	250	Yok
5	AISI 304	350	Var
6	AISI 304	350	Yok
7	AISI 316	150	Var
8	AISI 316	150	Yok
9	AISI 316	250	Var
10	AISI 316	250	Yok
11	AISI 316	350	Var
12	AISI 316	350	Yok
13	AISI 420	150	Var
14	AISI 420	150	Yok
15	AISI 420	250	Var
16	AISI 420	250	Yok
17	AISI 420	350	Var
18	AISI 420	350	Yok

## 5 KAPLAMA İŞLEMİ SONRASI YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1 Metalografik Numune Hazırlama

#### 5.1.1 Kesme İşlemi

Ø50x10 mm boyutlarındaki dairesel geometriye sahip numunelerin deney cihazlarında uygun bir şekilde kullanılabilmesi için kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemi Kastamonu Üniversitesi Malzeme ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümüne ait laboratuvarında bulunan Metkon marka Metacut-M model kesme cihazı ile yapılmıştır. Kesim esnasında numunelerin sıcaklık artışı ile yapısal değişikliğe uğramaması için su ile soğutma sağlanmıştır. Cihaz görüntüsü Resim 5.1’ de verilmiştir.



Resim 5.1 Metkon kesme cihazı görüntüsü

#### 5.1.2 Bakalite Alma İşlemi

Deney yapılacak numuneler istenilen ölçülere getirildikten sonra Ø30 mm çapında kalıplara yerleştirilmiştir. Epoksi ve reçineden oluşan karışım, kalıba yerleştirilen

numunelerin hemen üzerini geçecek şekilde doldurulmuştur. Yaklaşık 12 saat bekleldikten sonra kalıplardan çıkartılmıştır. Resim 5.2’ de soğuk bakalite alma işlemi görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.2 Soğuk bakalite alma işlemi görüntüsü

### 5.1.3 Zımparalama ve Parlatma İşlemleri

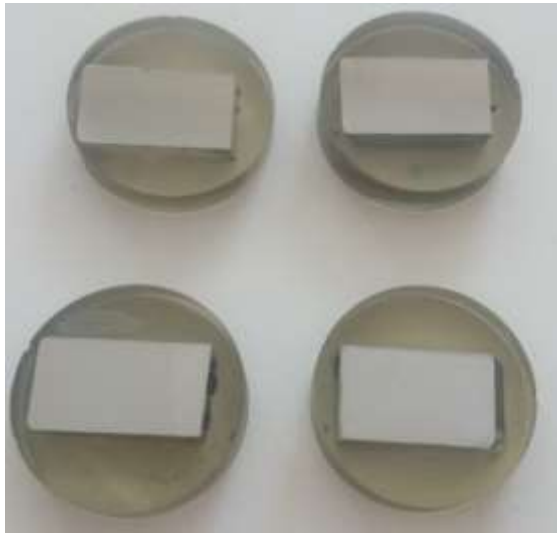
Yapılacak deneyler için gereken yüzey kalitesini oluşturmak amacı ile zımparalama işlemleri yapılmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemi için Resim 5.3’ te gösterilen Metko marka zımparalama ve parlatma makinesi kullanılmıştır. Zımparalama işleminde sırası ile 120-240-400-600-800-1000-1200 (mesh) numaralı diskler kullanılarak yüzey düzgünleştirme yapılmıştır. Her numuneye, farklı numaralı zımpara işlemleri arası alkol banyosu yapılarak ardından kurutma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi ise aynı makinada keçe disk kullanılarak yapılmıştır. Parlatma esnasında Resim 5.4’ te gösterilen Metkon marka, 3 µm boyutunda elmas aşındırıcı kimyasal numune yüzeyine sürülmüştür. Yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri sonrası numunelerin son görüntüleri Resim 5.5’ te gösterilmiştir.



Resim 5.3 Metkon zımparalama ve parlatma makinesi görüntüsü



Resim 5.4 Metkon 3 µm elmas aşındırıcılı pasta görüntüsü



Resim 5.5 Numunelerin zımparalama ve parlatma sonrası görünümü



## 5.2 Mikrosertlik Ölçümü Deneyi

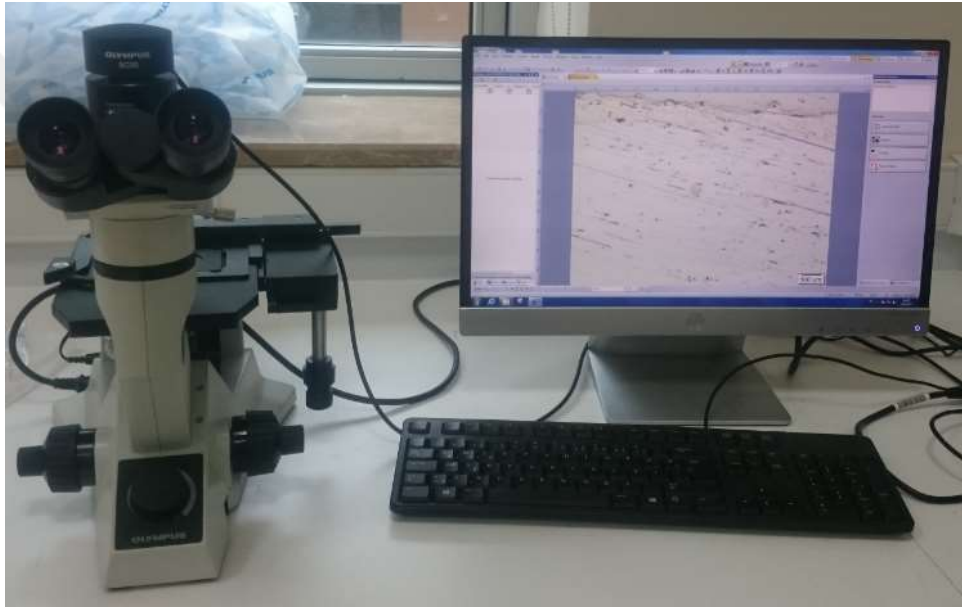
Sertlik değerlerine ulaşmak için Vickers mikrosertlik yöntemi tercih edilmiştir. Bu deney için Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü laboratuvarında bulunan HMV-SHIMADZU marka cihaz kullanılmıştır. Cihazın görüntüsü Resim 5.6' da görülmektedir. Bu deneyde numunenin kaplama yüzeyine dik olan kesitinden ölçümler yapılmıştır. Bağlayıcı katmana sahip olan bir deney numunesi için; çekirdek yüzeyinden, çekirdek-bağlayıcı katmanı sınırından, bağlayıcı-kaplama katmanı sınırından ve kaplama katmanı üzerinden olmak üzere dört adet sertlik ölçümü yapılmıştır. Bağlayıcı katmana sahip olmayan bir deney numunesi için; çekirdek yüzeyinden, çekirdek-kaplama katmanı sınırından ve kaplama katmanı üzerinden olmak üzere üç adet sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümü için her numuneye 10 saniye boyunca 100 g yük uygulanmıştır. 40x optik zoom ile bakılmıştır.



Resim 5.6 HMV-SHIMADZU Vickers mikrosertlik ölçme cihazı

### 5.3 Optik Mikroskop Görüntü İncelemesi

Optik mikroskop görüntü incelemesi için metalografik işlemler sonucunda parça hazır hale gelmiştir. Bu inceleme ile altlık malzeme, altlık malzeme ile bağlayıcı katmanı geçişi, bağlayıcı katmanı, bağlayıcı katmanı ile kaplama katmanı geçişi ve kaplama katmanı görüntüleri araştırılmıştır. Bu deney, Kastamonu Üniversitesi Malzeme ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümüne ait laboratuvarında bulunan OLYMPOS SC30 marka model optik mikroskop ile yapılmıştır. Optik mikroskop Resim 5.7’ de görülmektedir.



Resim 5.7 Optik mikroskop cihazı görüntüsü

### 5.4 Altın Kaplama İşlemi

WC/Co tozları ile kaplama yapılan numunelerin taramalı elektron mikroskopunda görüntü incelemesinde görüntülerin daha iyi düzeyde çıkması ve numunelerin bakalit kısımlarının yalıtkan özellikte olmasından dolayı numunelere altın kaplama işlemi yapılmıştır. İşlem Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan CRESSINGTON marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz resmi Resim 5.8’ de verilmiştir. Numuneler bu cihazda, 30 mA akım altında 15 saniye süre ile altın paladyum ile kaplanmıştır.



Resim 5.8 CRESSINGTON Altın kaplama cihaz görüntüsü

#### 5.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntü İncelemesi

Paslanmaz çelik altlık malzemesi üzerine WC/Co tozu ile kaplanmış olan numunelerin yarısı NiCr bağlayıcılı yarısı bağlayıcısız olarak üretilmiştir. Kaplama yüzeyine dik düzlemde kesilerek elde edilen kesit alan taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Elde edilen görüntülerde altlık malzemesi, bağlayıcı tabakası geçişleri (bağlayıcılı numuneler için) ve kaplama tabakası geçişleri incelenmiştir. Ayrıca kaplamanın yapısı, kaplama ile yüzey arasındaki ilişki ve tabakaların içyapıları incelenmiştir. SEM görüntü incelemesi, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan QUANTA FEG 250 marka taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz resmi Resim 5.9’ da verilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme; yüksek vakumda altında, 10 kV voltajda, spot 6 şartlarında yapılmıştır. SEM ile görüntüleme deneyleri kesit yüzeyinden 125X, 250X, 350X, 1000X, 2000X büyütme ile yapılmış olup uygun olan görüntüler üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.9 QUANTA FEG 250 Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü

## 5.6 Yapışma Testi

Altlık malzeme üzerine yapılan kaplamanın kalitesi, ikisinin arasındaki yapışma kalitesine bağlıdır. Kaplama malzemesi altlık malzemesine iyi yapışmış olmalıdır [46]. Yapışmanın mukavemeti; kaplamanın kalınlığı ve kaplamanın gözenekli yapısı ile ilişkilidir. Genellikle kaplamanın kalınlığı arttıkça yapışma mukavemetinde bir azalma görülmektedir [61]. Yapışma testi, WC/Co tozu ile kaplanmış deney numuneleri üzerine uygulanmıştır. Deney için kullanılan ELCOMETER pull-off cihazı Resim 5.10’ da görülmektedir. Ø50 mm yüzey boyutuna sahip olan deney numuneleri üzerine Resim 5.11’ de görüldüğü gibi çekme aparatları çift komponentli epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Yapıştırıcının kurlenmesi için 12-24 saat süre aralığında beklenilmiştir. Daha sonra pull-off test cihazı ile deney gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.10 ELCOMETER marka pull-off cihaz görüntüsü



Resim 5.11 Deney aparatlarının numunelere yapıştırılmış hali

## 6 DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir.

### 6.1 Mikrosertlik Ölçümleri ve Sonuçları

Deney numunelerinin her birine 10 saniye boyunca 100 g yük uygulanarak ölçüm yapılmıştır. Bağlayıcı katmana sahip olan bir deney numunesi için; çekirdek yüzeyinden, çekirdek-bağlayıcı katmanı sınırından, bağlayıcı-kaplama katmanı sınırından ve kaplama katmanı üzerinden olmak üzere dört adet sertlik ölçümü yapılmıştır. Bağlayıcı katmana sahip olmayan bir deney numunesi için; çekirdek yüzeyinden, çekirdek-kaplama katmanı sınırından ve kaplama katmanı üzerinden olmak üzere üç adet sertlik ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Numunelere ait mikrosertlik değerleri

Numune Numarası	Altlık Malzemesi	Kaplama Kalınlığı (µm)	Bağlayıcı Tabakası	Çekirdek Sertliği (HV)	Çekirdek-Bağlayıcı Sınırı Sertliği (HV)	Bağlayıcı-Kaplama Sınırı Sertliği (HV)	Çekirdek-Kaplama Sınırı Sertliği (HV)	Kaplama Sertliği (HV)
1	AISI 304	150	Var	193	311	440	-	1443
2	AISI 304	150	Yok	210	-	-	452	1300
3	AISI 304	250	Var	302	408	568	-	1406
4	AISI 304	250	Yok	189	-	-	393	1216
5	AISI 304	350	Var	234	349	739	-	1171
6	AISI 304	350	Yok	215	-	-	377	930
7	AISI 316	150	Var	262	422	818	-	1558
8	AISI 316	150	Yok	143	-	-	356	1202
9	AISI 316	250	Var	240	254	205	-	1370
10	AISI 316	250	Yok	229	-	-	432	836
11	AISI 316	350	Var	292	340	515	-	1260
12	AISI 316	350	Yok	207	-	-	399	700
13	AISI 420	150	Var	258	316	447	-	989
14	AISI 420	150	Yok	249	-	-	412	1171
15	AISI 420	250	Var	236	292	455	-	1151
16	AISI 420	250	Yok	188	-	-	589	1310
17	AISI 420	350	Var	245	357	323	-	1170
18	AISI 420	350	Yok	226	-	-	289	1211

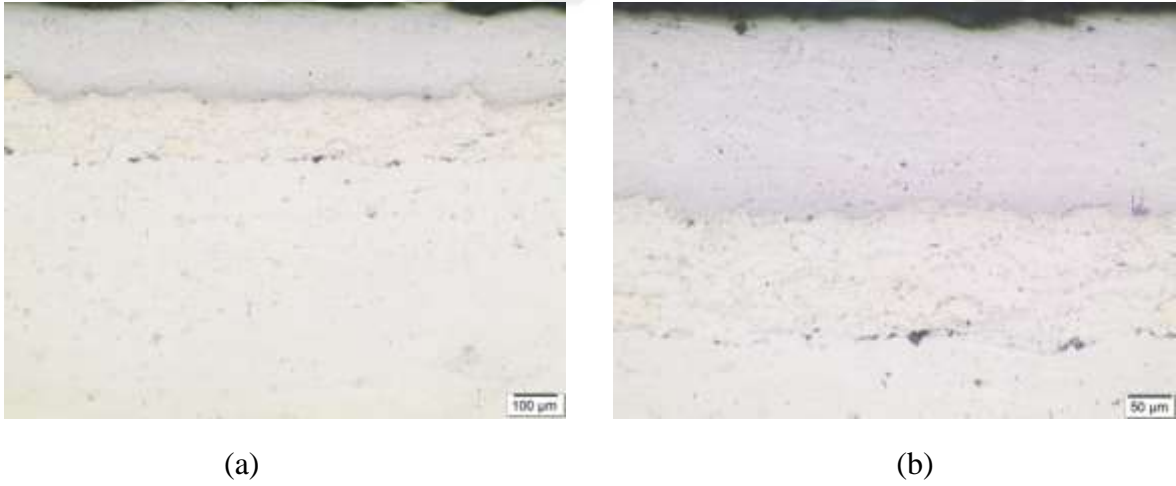
Yapısında WC gibi karbür bulunduran kaplamalar heterojen sertlik dağılımına sahip olabilmektedirler. Sertlik ölçümü yapılırken, sert batıcı uç kaplama malzemesine bastırıldığı zaman karbürlere denk gelmesi sonucu ani sertlik artışı veya düşüşü meydana gelebilmektedir [6].

Aynı altlık malzemeleri kendi aralarında değerlendirildiğinde; AISI 304 ve AISI 316 östenitik yapıya sahip paslanmaz çelikler için, kaplama kalınlığı arttıkça kaplama sertliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı zamanda yine AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz

çelikler için; aynı altlık malzemeleri üzerinde aynı kalınlıkta kaplama katmanına sahip NiCr bağlayıcılı numunelerin, NiCr bağlayıcısız numunelere göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Altlık malzemesi AISI 420 martenzitik yapıya sahip paslanmaz çelik numuneler için ise durumun daha farklı olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu numunelerdeki kaplama kalınlığı arttıkça kaplama sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı kalınlıkta kaplama katmanına sahip NiCr bağlayıcılı numunelerin, NiCr bağlayıcısız numunelere göre daha düşük sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm numuneler için; çekirdek sertliği, çekirdek-bağlayıcı katmanı sınır sertliği, bağlayıcı-kaplama katmanı sınır sertliği ve kaplama katmanı sertliği değerlerinin sırası ile düzgün bir şekilde arttığı ortaya çıkmıştır. Sonuçlar literatür ile uyum sağlamaktadır.

## 6.2 Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları

Optik mikroskop ile alınan görüntülerde altlık malzemesi, bağlayıcı (mevcutsa), kaplama katmanlarına ait mikroyapılar görülmektedir.



Resim 6.1 a) 1 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 150 µm

b) 1 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 150 µm





(a)



(b)

Resim 6.2 a) 2 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm  
b) 2 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm



(a)



(b)

Resim 6.3 a) 3 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 250 µm  
b) 3 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 250 µm



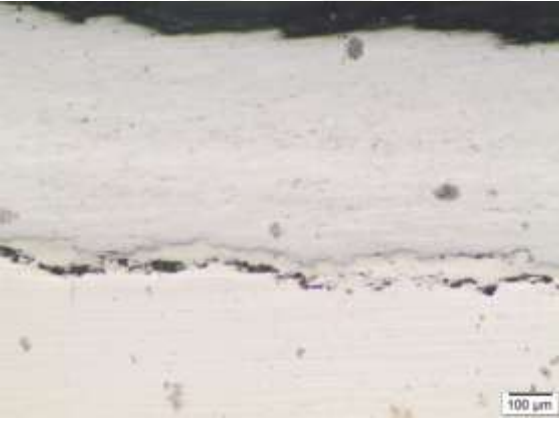


(a)



(b)

Resim 6.4 a) 4 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm  
b) 4 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm



(a)



(b)

Resim 6.5 a) 5 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 350 µm  
b) 5 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcılı, 350 µm



(a)



(b)

Resim 6.6 a) 6 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm  
b) 6 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm



(a)



(b)

Resim 6.7 a) 7 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 316, bağlayıcılı, 150 µm  
b) 7 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 316, bağlayıcılı, 150 µm



(a)



(b)

Resim 6.8 a) 8 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 316, bağlayıcısız, 150 µm  
b) 8 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 316, bağlayıcısız, 150 µm



(a)



(b)

Resim 6.9 a) 9 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 316, bağlayıcılı, 250 µm  
b) 9 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 316, bağlayıcılı, 250 µm



(a)



(b)

Resim 6.10 a) 10 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcısız, 250  $\mu\text{m}$   
b) 10 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcısız, 250  $\mu\text{m}$



(a)



(b)

Resim 6.11 a) 11 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcılı, 350  $\mu\text{m}$   
b) 11 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcılı, 350  $\mu\text{m}$



(a)



(b)

Resim 6.12 a) 12 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcısız, 350  $\mu\text{m}$   
b) 12 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 316, bağlayıcısız, 350  $\mu\text{m}$



(a)



(b)

Resim 6.13 a) 13 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcılı, 150  $\mu\text{m}$   
b) 13 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcılı, 150  $\mu\text{m}$



(a)



(b)

Resim 6.14 a) 14 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcısız, 150  $\mu\text{m}$   
b) 14 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcısız, 150  $\mu\text{m}$



(a)



(b)

Resim 6.15 a) 15 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcılı, 250  $\mu\text{m}$   
b) 15 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcılı, 250  $\mu\text{m}$



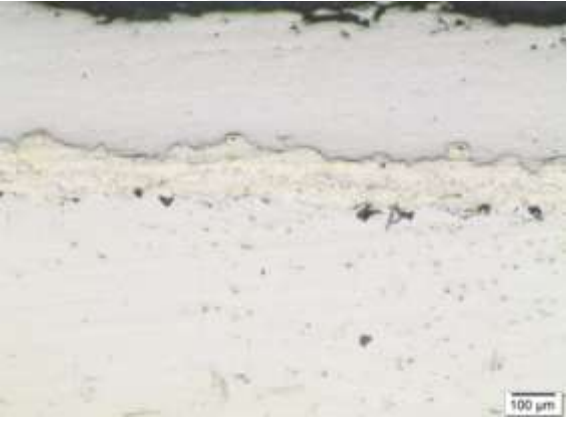


(a)



(b)

Resim 6.16 a) 16 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 420, bağlayıcısız, 250 µm  
b) 16 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 420, bağlayıcısız, 250 µm



(a)



(b)

Resim 6.17 a) 17 numaralı numune görüntüsü 100 µm - AISI 420, bağlayıcılı, 350 µm  
b) 17 numaralı numune görüntüsü 50 µm - AISI 420, bağlayıcılı, 350 µm



(a)



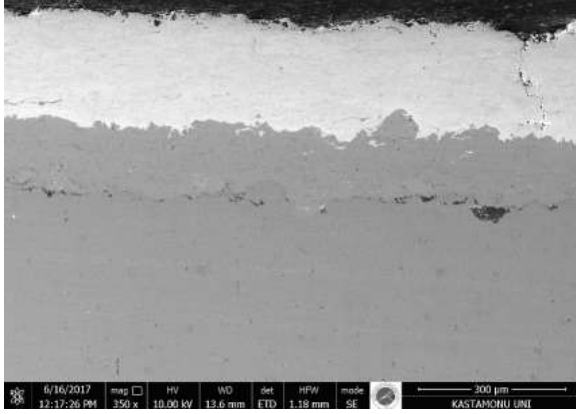
(b)

Resim 6.18 a) 18 numaralı numune görüntüsü 100  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcısız, 350  $\mu\text{m}$   
b) 18 numaralı numune görüntüsü 50  $\mu\text{m}$  - AISI 420, bağlayıcısız, 350  $\mu\text{m}$

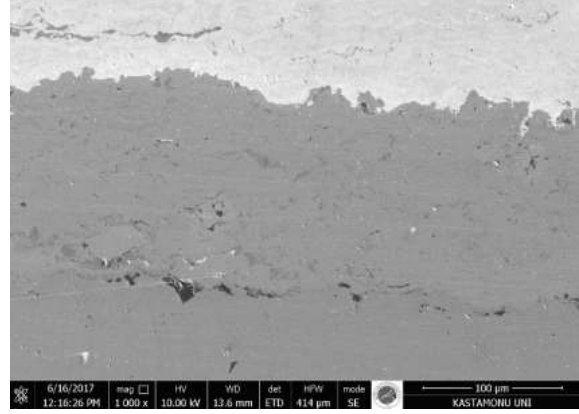
### 6.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntü Sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu, vakum altına alınmış numunelere elektron demeti göndererek iç yapısını incelemek için kullanılan bir cihazdır. İncelemeler sonucu 125X, 250X, 350X, 1000X, 2000X büyütme ile görüntüler elde edilmiştir. Bu bölümde numunelerin sırasıyla 350X, 1000X ve 2000X oranlarında büyütülmüş taramalı elektron mikroskobu görüntüleri yer almaktadır.

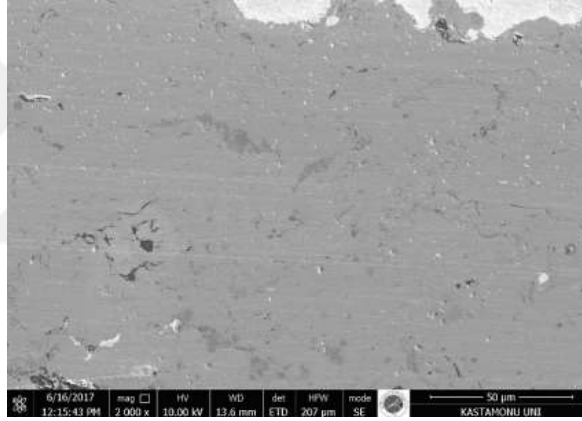




(a)



(b)

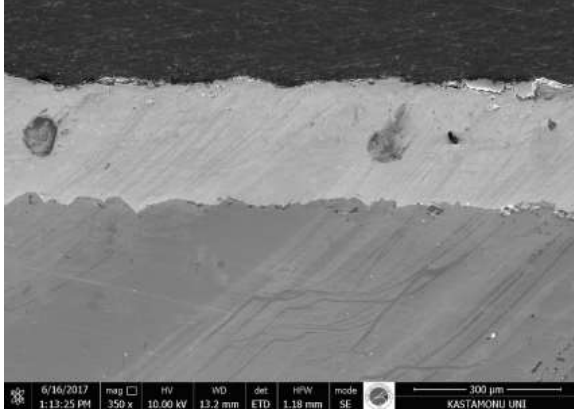


(c)

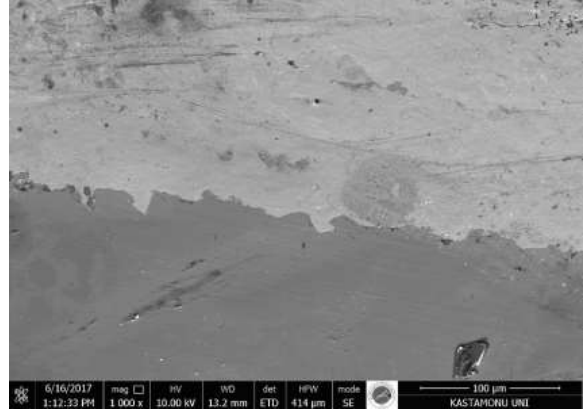
Resim 6.19 a) 1 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcı, 150 µm

b) 1 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcı, 150 µm

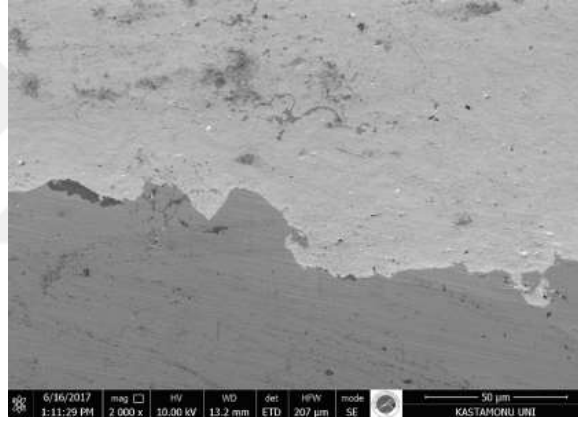
c) 1 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 150 µm



(a)

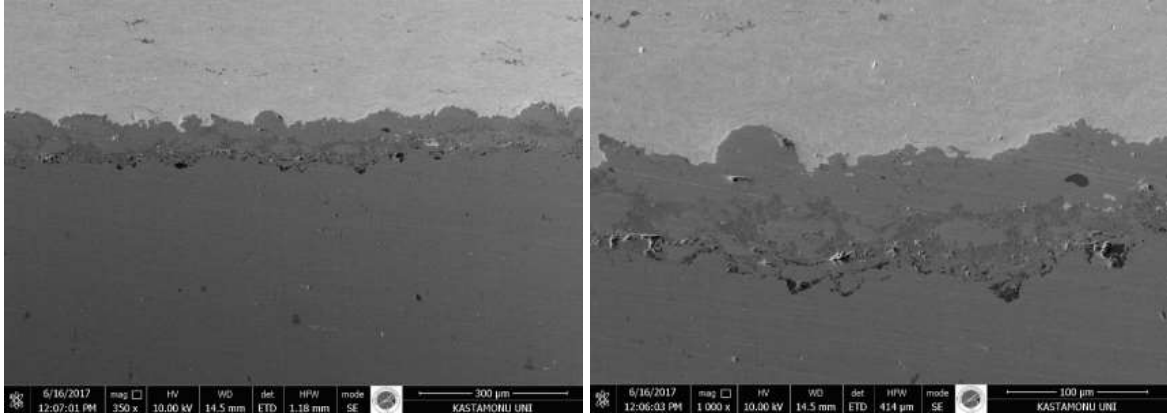


(b)



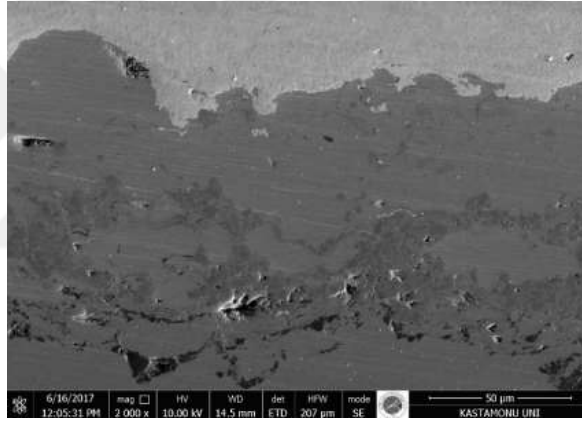
(c)

Resim 6.20 a) 2 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm  
b) 2 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm  
c) 2 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm



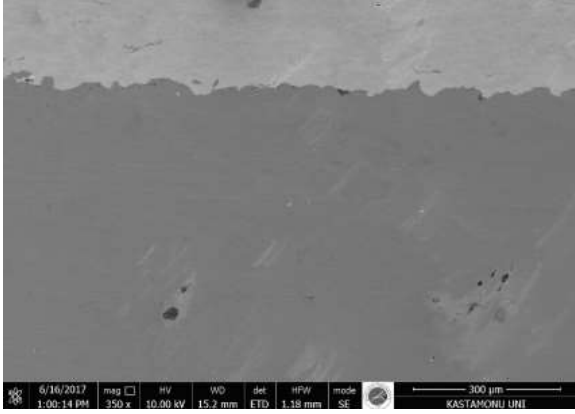
(a)

(b)

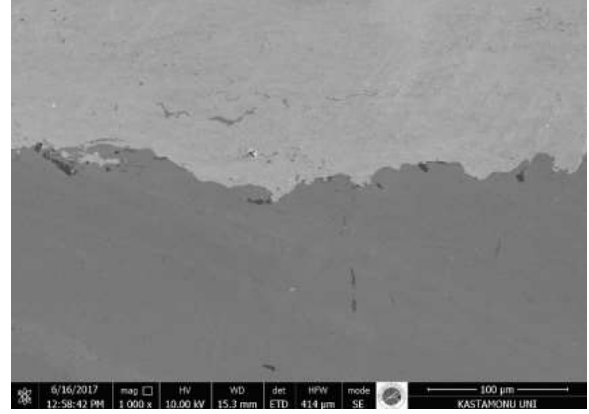


(c)

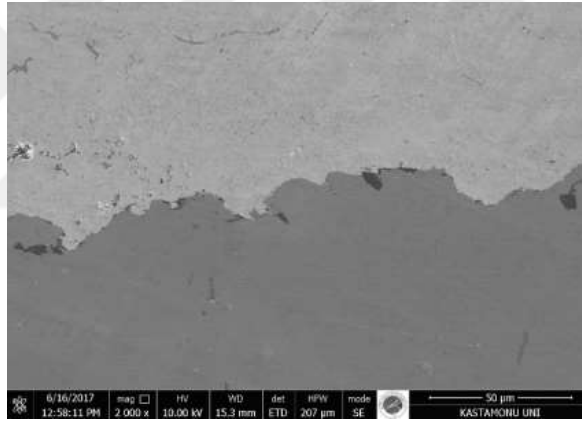
- Resim 6.21 a) 3 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcı, 250 µm  
b) 3 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcı, 250 µm  
c) 3 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 250 µm



(a)

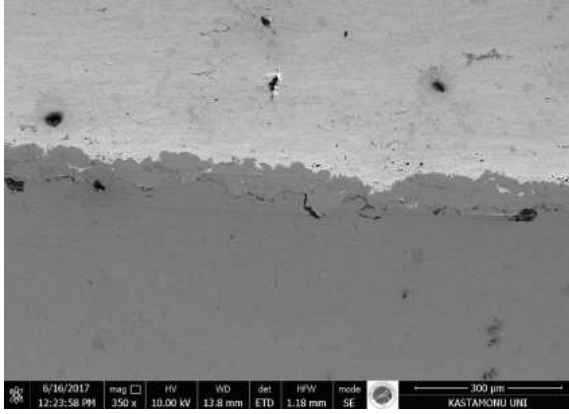


(b)

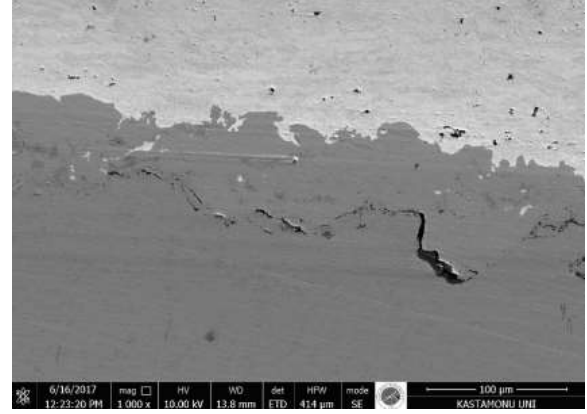


(c)

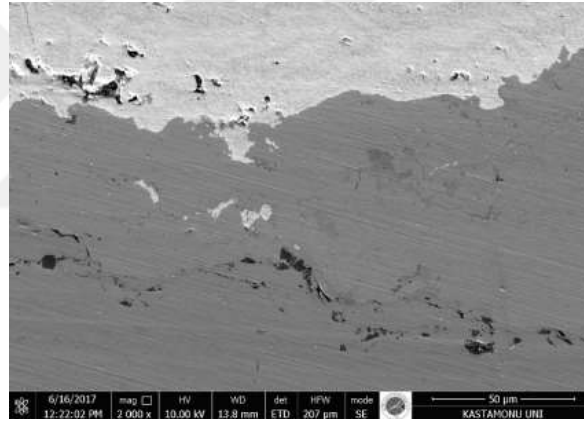
- Resim 6.22 a) 4 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm  
b) 4 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm  
c) 4 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm



(a)

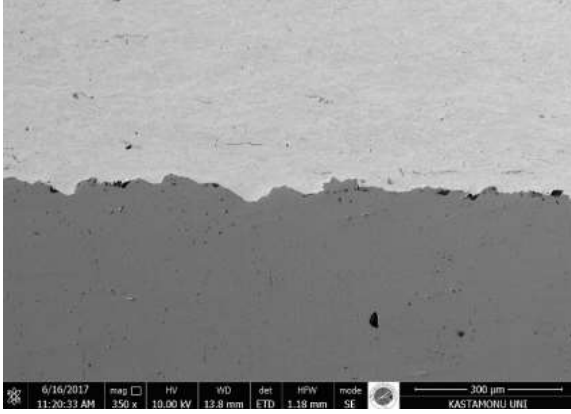


(b)

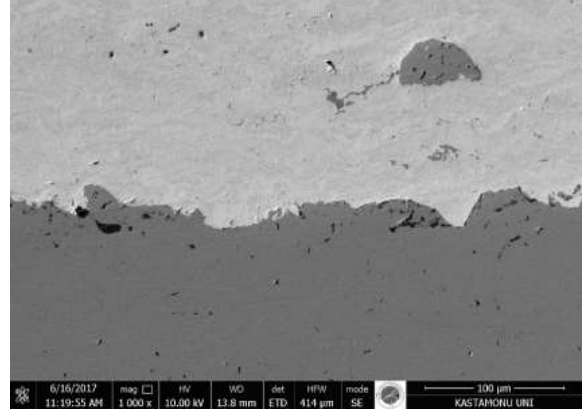


(c)

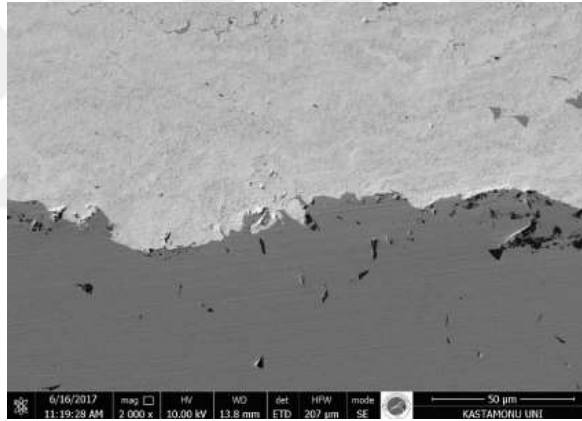
- Resim 6.23 a) 5 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcı, 350 µm  
b) 5 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcı, 350 µm  
c) 5 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 350 µm



(a)

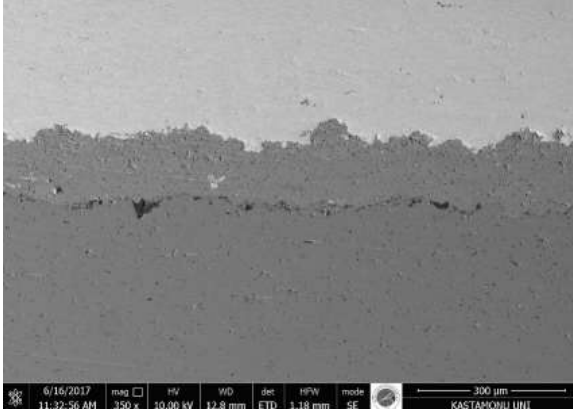


(b)

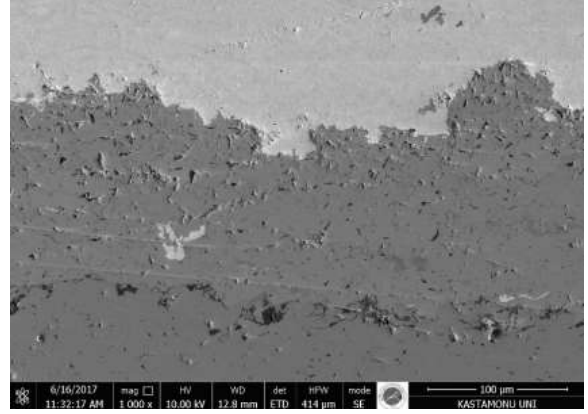


(c)

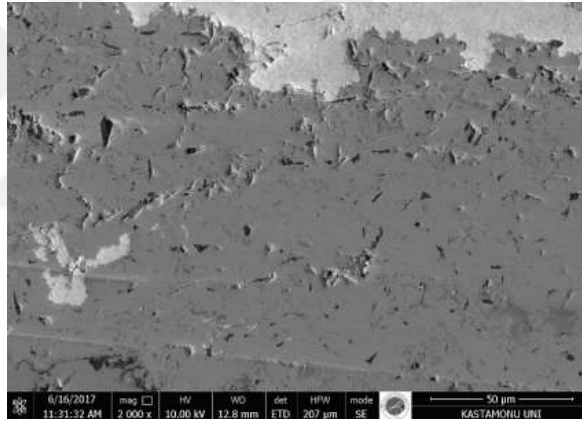
- Resim 6.24 a) 6 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm  
b) 6 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm  
c) 6 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm



(a)

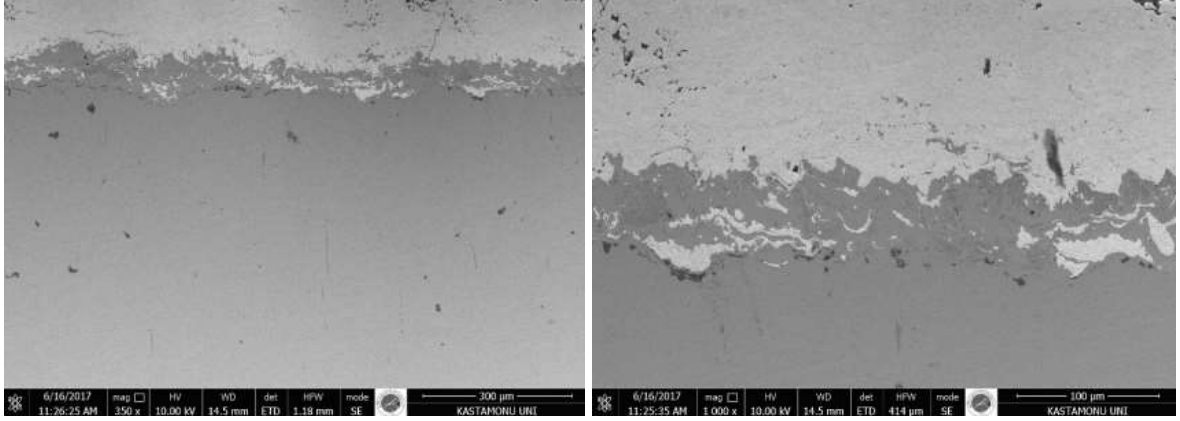


(b)



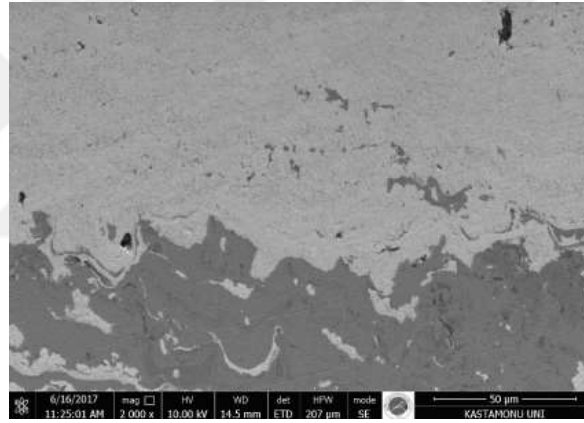
(c)

- Resim 6.25 a) 7 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcı, 150 µm  
b) 7 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcı, 150 µm  
c) 7 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 150 µm



(a)

(b)



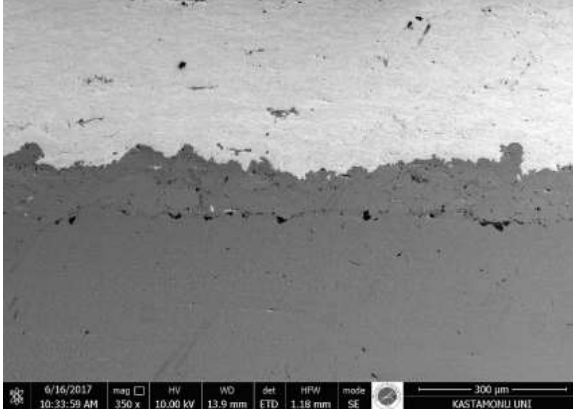
(c)

Resim 6.26 a) 8 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcısız, 150 µm

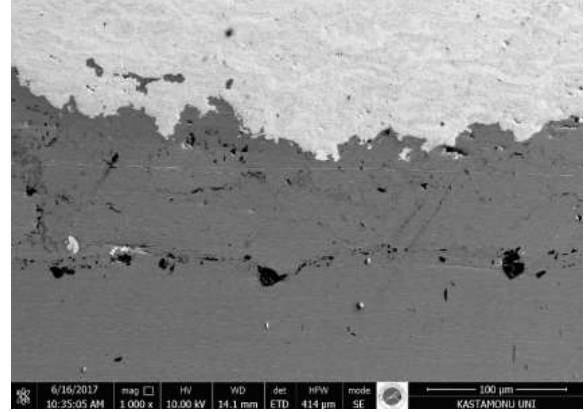
b) 8 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcısız, 150 µm

c) 8 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 150 µm

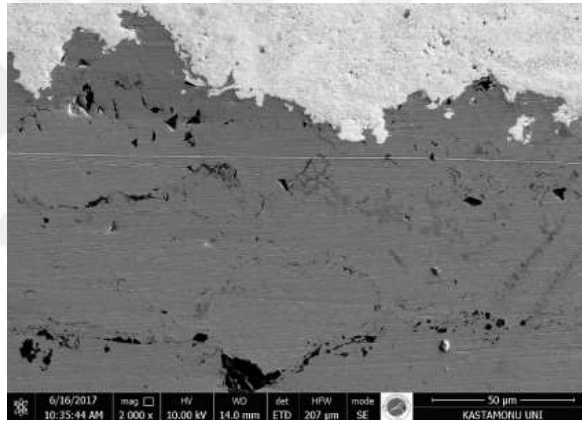




(a)

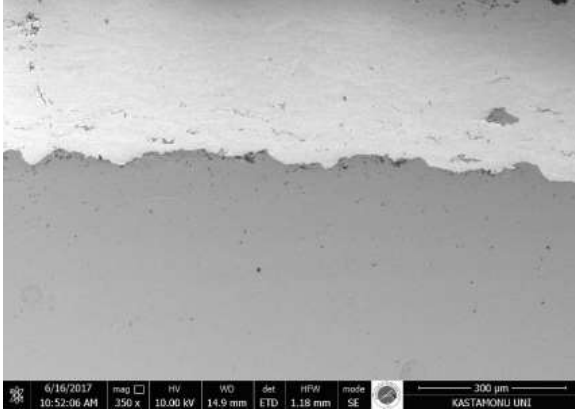


(b)

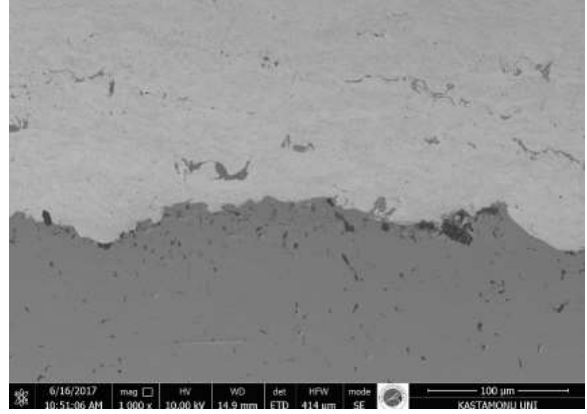


(c)

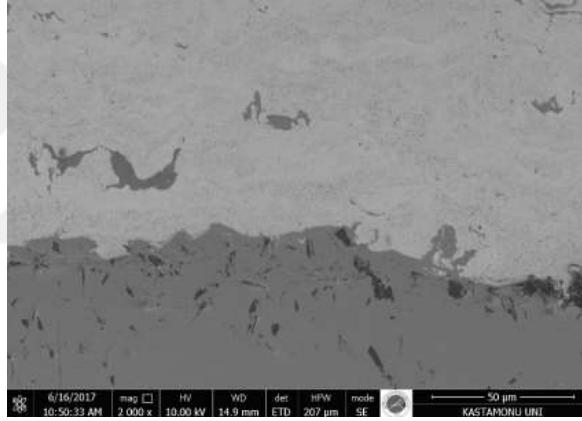
Resim 6.27 a) 9 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcı, 250 µm  
b) 9 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcı, 250 µm  
c) 9 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 250 µm



(a)

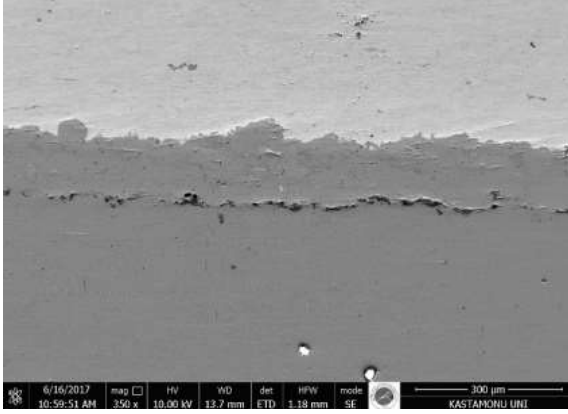


(b)

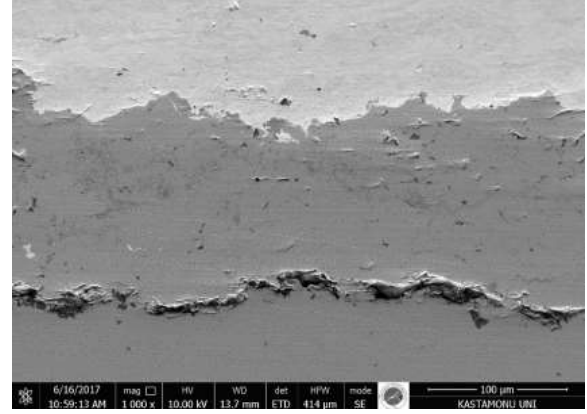


(c)

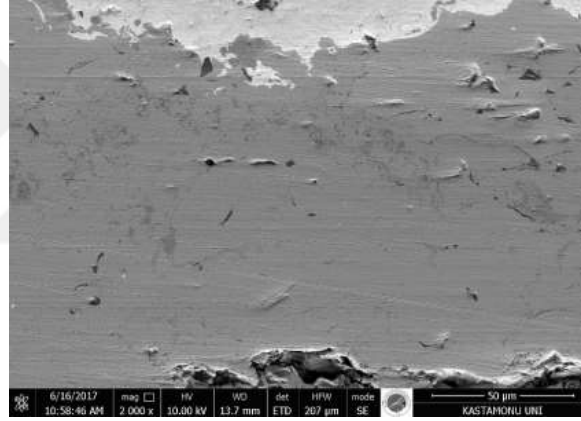
Resim 6.28 a) 10 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcısız, 250 µm  
b) 10 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcısız, 250 µm  
c) 10 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 250 µm



(a)

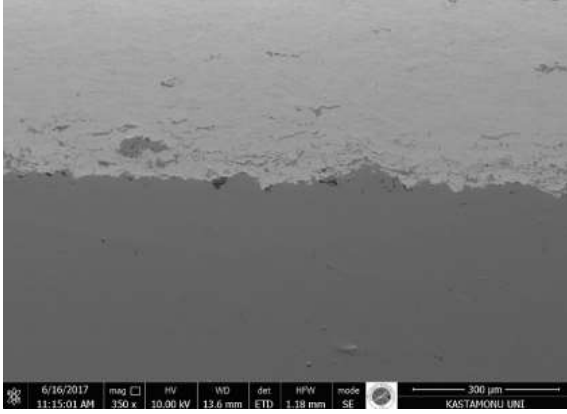


(b)

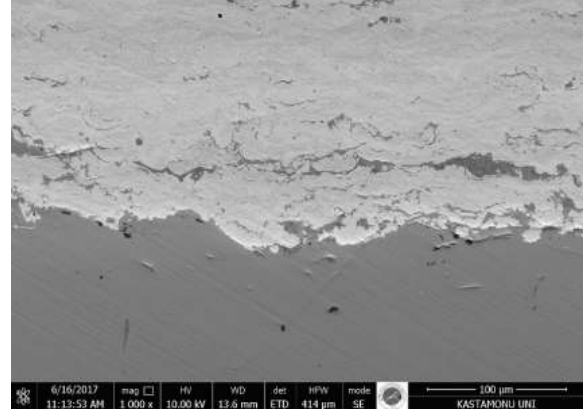


(c)

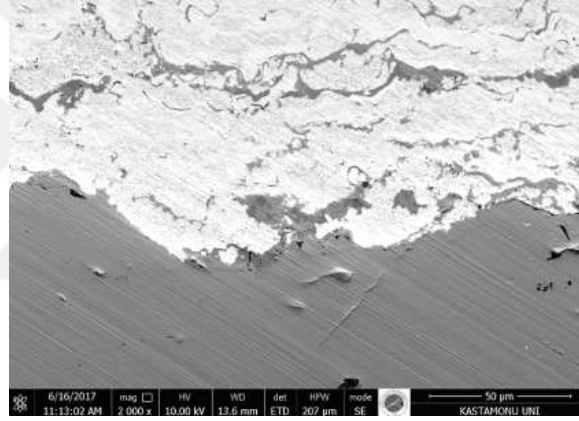
Resim 6.29 a) 11 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcı, 350 µm  
b) 11 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcı, 350 µm  
c) 11 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcı, 350 µm



(a)

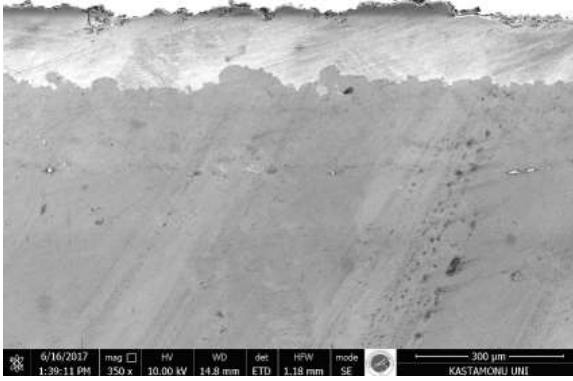


(b)

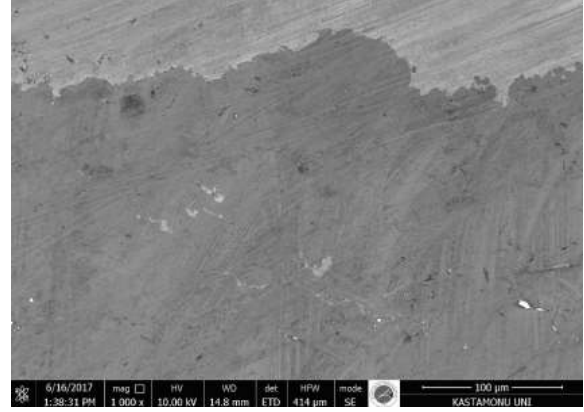


(c)

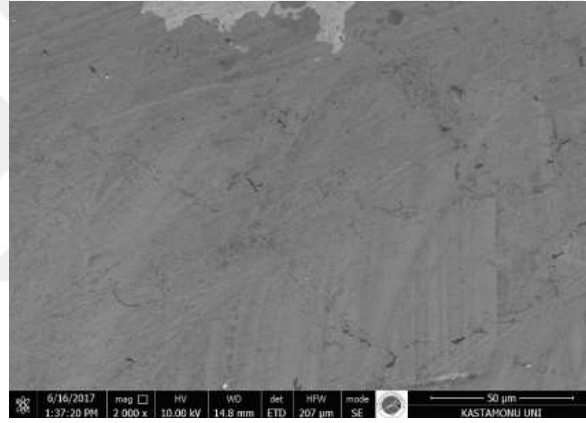
- Resim 6.30 a) 12 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 316, bağlayıcısız, 350 µm  
b) 12 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 316, bağlayıcısız, 350 µm  
c) 12 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 304, bağlayıcısız, 350 µm



(a)

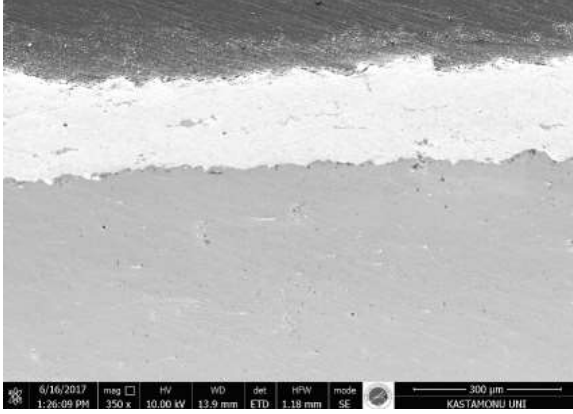


(b)

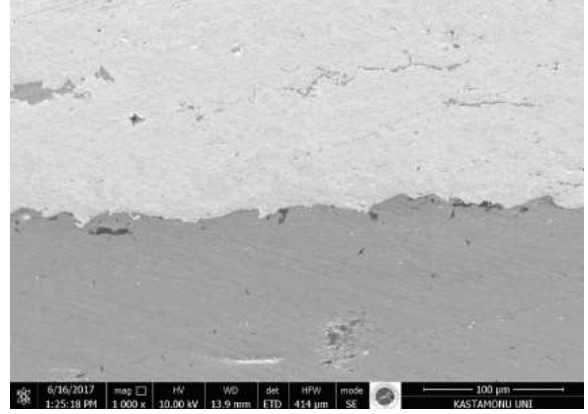


(c)

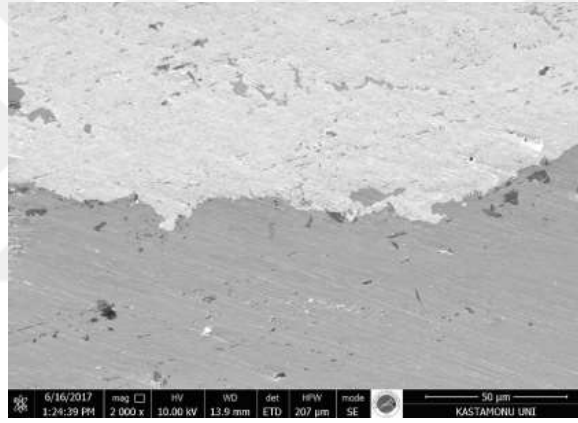
Resim 6.31 a) 13 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcı, 150 µm  
b) 13 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcı, 150 µm  
c) 13 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcı, 150 µm



(a)

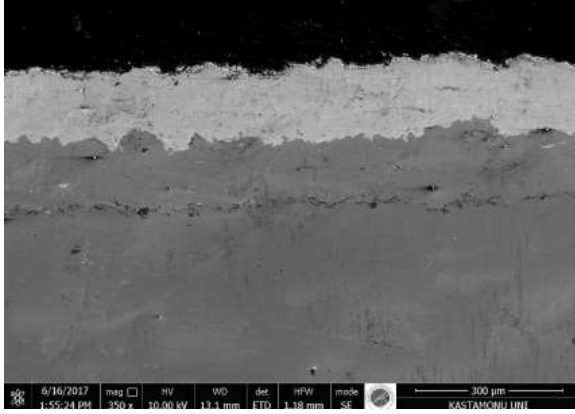


(b)

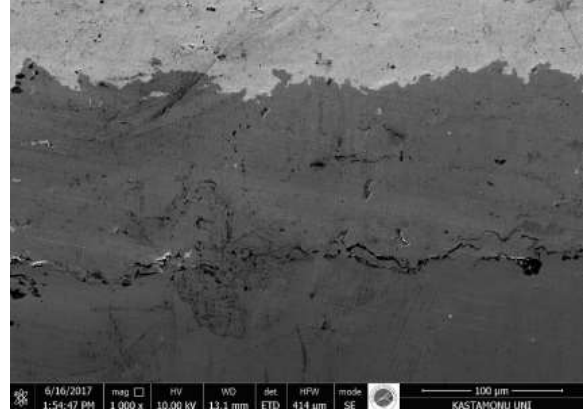


(c)

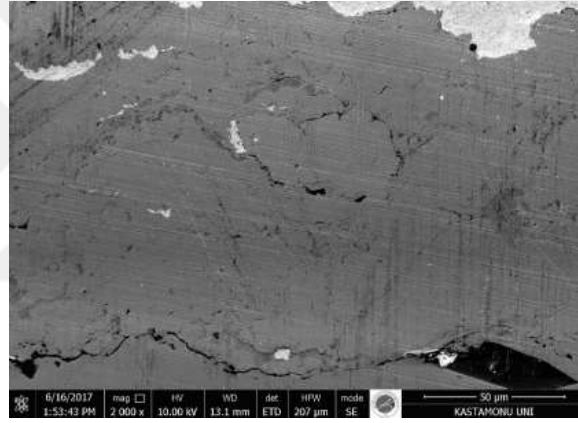
Resim 6.32 a) 14 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcısız, 150 µm  
b) 14 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcısız, 150 µm  
c) 14 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcısız, 150 µm



(a)

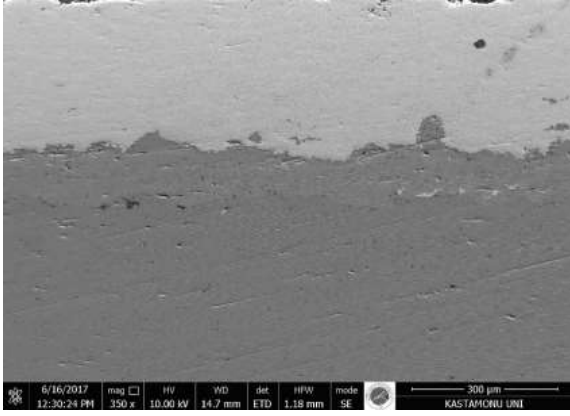


(b)

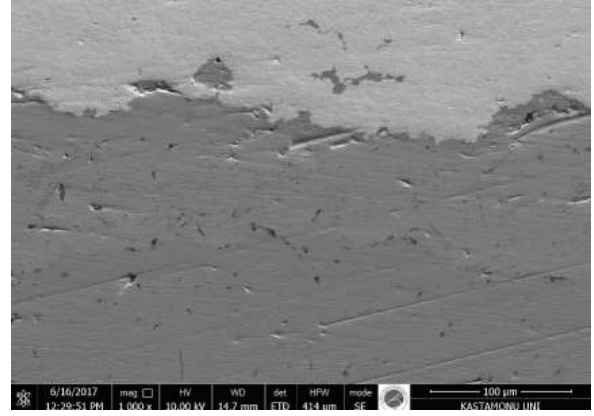


(c)

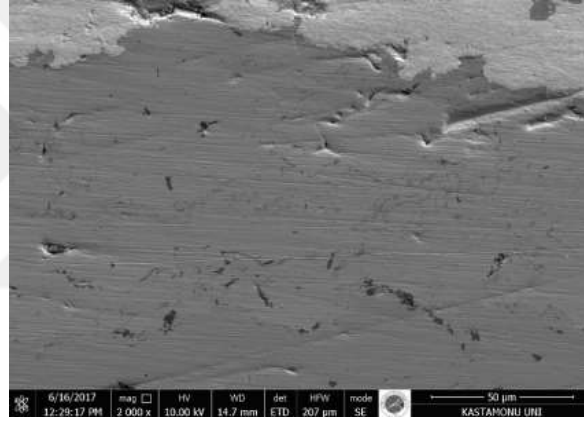
Resim 6.33 a) 15 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcı, 250 µm  
b) 15 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcı, 250 µm  
c) 15 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcı, 250 µm



(a)



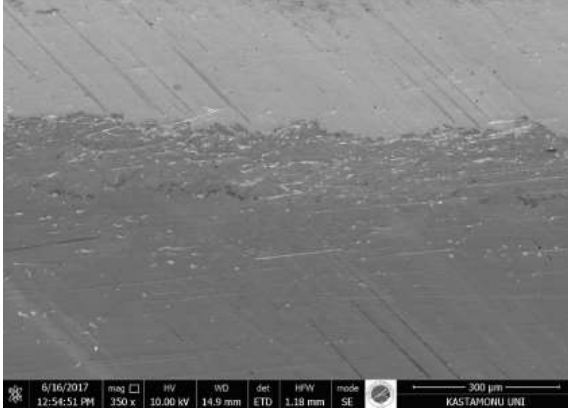
(b)



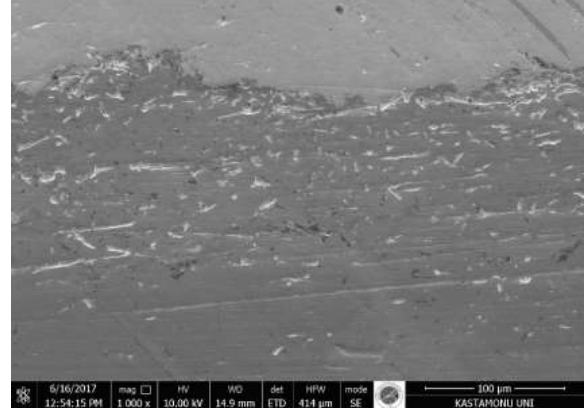
(c)

Resim 6.34 a) 16 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcısız, 250 µm  
b) 16 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcısız, 250 µm  
c) 16 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcısız, 250 µm

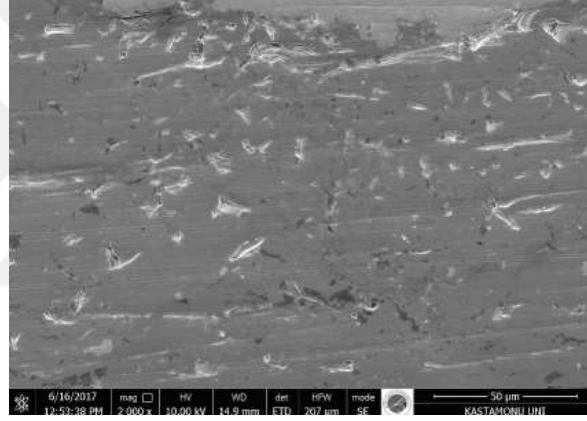




(a)

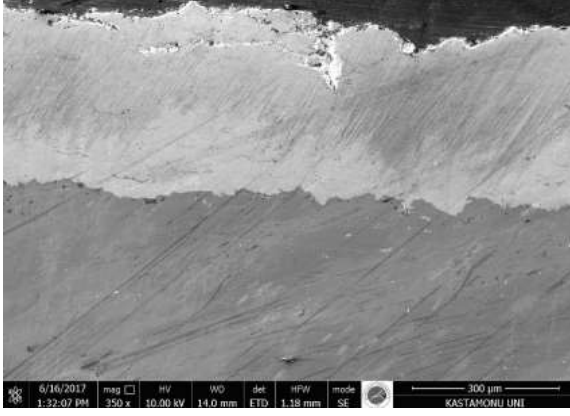


(b)

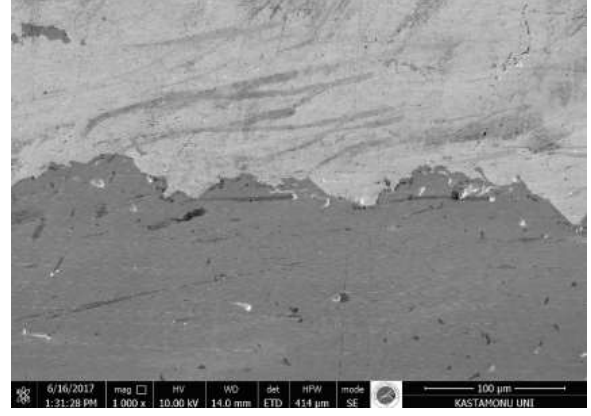


(c)

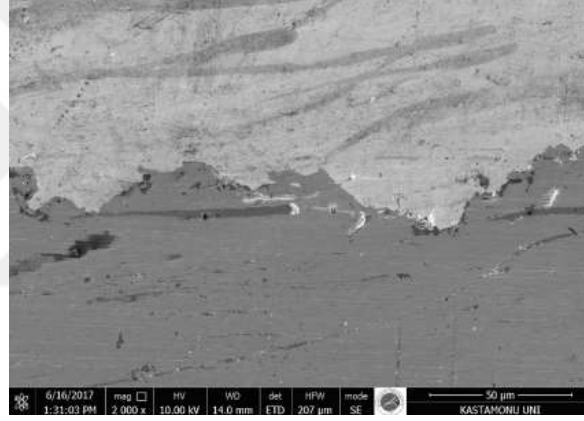
Resim 6.35 a) 17 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcı, 350 µm  
b) 17 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcı, 350 µm  
c) 17 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcı, 350 µm



(a)



(b)



(c)

Resim 6.36 a) 18 numaralı numune görüntüsü 350X - AISI 420, bağlayıcısız, 350 µm  
b) 18 numaralı numune görüntüsü 1000X - AISI 420, bağlayıcısız, 350 µm  
c) 18 numaralı numune görüntüsü 2000X - AISI 420, bağlayıcısız, 350 µm

Yapılan SEM incelemelerinde metalografik incelemelerdeki benzer yapılara rastlanmış, kaplama, bağlayıcı ve ana metalin büyük büyütmelede daha ayrıntılı incelemesi yapılmıştır. Literatürde yer alan görüntülerle uyumlu görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntülere göre; genel olarak kaplama yüzeylerinde çatlaklara rastlanılmamıştır. Bağ kaplama yapısının yoğun olduğu görülmüştür. 5, 6 ve 9 numaralı numunelerin kaplama yapılarında, küçük boyutlarda gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. Gözenekli yapı, dolgunun yetersizliği ve pürüzlendirilmiş kaplama yüzeyine çarpan kısmen erimiş toz partiküllerin ıslatma yeteneğinin az oluşundan kaynaklanmaktadır [61]. 1, 3, 5, 9, 10, 11, 15 numaralı numunelerin altlık malzemesine tutunma yüzeylerinde oldukça oksit tabakalarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bağlayıcı katmana sahip olmayan 8, 10 ve 12 numaralı numunelerin görüntülerinde kaplama tabakasının altlık malzemesi üzerine yayılmasının homojen bir şekilde olmadığı gözlemlenmiştir. Altlık malzemesi olarak oksidasyon direnci yüksek olan paslanmaz çelik kullanıldığı için, kaplama işlemi sırasında meydana gelen fazla ısı girdisi ve gaz akışından dolayı ara yüzeyde oluşan oksitlenmenin az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin yarısı bağlayıcı olarak üretilmiştir. Bağlayıcı tabaka altlık malzemesi ile kaplama tabakası arasındaki uyumsuzluğu azalttığı için tercih edilmektedir.

#### 6.4 Yapışma Testi Sonuçları

Kaplama yapılan yüzeylerden aranılan önemli özelliklerden biriside kaplama katmanının altlık yüzeyine iyi derecede yapışmasıdır. Kaplamanın altlık yüzeyine tutunma derecesi, kaplamanın kalınlığı ve kaplamanın gözeneklilik oranı ile ilişkilidir [62]. Literatürde benzer çalışmalarda kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yapışma dayanımında azalma görülmüştür. Kaplanmış deney numuneleri üzerine çift komponentli epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan çekme aparatları kürlenmesi için 12-24 saat aralığında bekletilmiştir. Deney için hazır hale gelen numunelere Resim 5.10' da görülen ELCOMETER marka test cihazı ile yapışma mukavemeti testi yapılmıştır. Çekme aparatları, cihazda bulunan yuvaya takılmıştır. Cihazın üzerindeki kol, saniyede bir tur döndürülmek koşuluyla saat yönünde çevrilmiştir. Kopma gerçekleştiği anda çevirme işlemi durdurularak, cihaz üzerindeki değer okunmuştur. Deney için kullanılan ELCOMETER marka test cihazı 30 MPa kapasiteye sahiptir. Tüm numunelere uygulanan test sonucunda, kopmaların hepsi yapıştırıcıdan gerçekleşmiş olup cihazdan okunan değer 29 MPa olmuştur. WC gibi sert bir

kaplama tabakasını koparmak için gerekli olan basınç bu değerden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu sonuç literatür ile karşılaştırıldığında literatüre uyumlu olduğu görölmüştür.



## 7 GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada; AISI 304, AISI 316 ve AISI 420 paslanmaz çelikler üzerine HVOF yöntemi kullanılarak bir grup bağlayıcılı ve bir grup bağlayıcısız olmak üzere 150 µm, 250 µm, 350 µm kalınlıklarda WC/Co 88/12 tozu ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Elde edilen numuneler üzerinde, metalografik işlemler sonucu bazı deneyler gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikrosertlikleri ölçülmüştür. Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile kaplama yapıları incelenmiştir. Yapışma testi yapılarak durum değerlendirilmiştir. Yapılan tüm incelemeler sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1) Yapılan bu çalışmada, bağlayıcılı ve bağlayıcısız olarak WC/Co ile kaplanmış östenitik ve martenzitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin karakteristikleri karşılaştırılmıştır.
- 2) Mikrosertlik ölçümleri sonucu Çizelge 6.1 deki sonuçlar elde edilmiştir. Altlık malzemeleri üç ayrı grup olarak değerlendirildiğinde ortalama sertlik değerleri; AISI 304=1244HV, AISI 420= 1167HV, AISI 316=1154HV bulunmuştur.
- 3) Aynı kalınlıkta kaplama yapılan numuneler (bağlayıcılı, bağlayıcısız) karşılaştırıldığında ortalama olarak AISI 304 paslanmaz çelik en yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- 4) Elde edilen verilere göre AISI 304 ve AISI 316 östenitik yapıya sahip paslanmaz çelikler için; aynı gruptaki paslanmaz çeliğin (AISI 304 Bağlayıcılı Grup, AISI 304 Bağlayıcısız Grup, AISI 316 Bağlayıcılı Grup, AISI 316 Bağlayıcısız Grup) kaplama kalınlığı arttıkça kaplama sertliğinin düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.
- 5) AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelikler için; aynı altlık malzemeleri üzerinde aynı kalınlıkta kaplama katmanına sahip NiCr bağlayıcılı numunelerin, NiCr bağlayıcısız numunelere göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu gruplar için, NiCr bağlayıcı katmanın kaplama sertliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
- 6) Altlık malzemesi AISI 420 martenzitik yapıya sahip paslanmaz çelik numuneler için ise kaplama kalınlığı arttıkça kaplama sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

- 7) Altlık malzemesi AISI 420 olan, aynı kalınlıkta kaplama katmanına sahip NiCr bağlayıcılı numunelerin, NiCr bağlayıcısız numunelere göre daha düşük sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.
- 8) Tüm numuneler için; çekirdek sertliği, çekirdek-bağlayıcı katmanı sınır sertliği, bağlayıcı-kaplama katmanı sınır sertliği ve kaplama katmanı sertliği değerlerinin sırası ile düzgün bir şekilde arttığı ortaya çıkmıştır.
- 9) YMK yapıya sahip östenitik paslanmaz çeliklerin kaplanması ile HMK yapıya sahip martenzitik yapıya sahip paslanmaz çeliklerin kaplanması karşılaştırılmıştır.
- 10) Optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiğinde elde edilen görüntülere göre, genel olarak kaplama yüzeylerinde çatlaklara rastlanılmamıştır. Numuneler, iyi bir mekanik yapışma görüntüsü sergilemiştir.
- 11) SEM görüntüleri incelendiğinde 5, 6 ve 9 numaralı numunelerin kaplama yapılarında, küçük boyutlarda gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. 1, 3, 5, 9, 10, 11, 15 numaralı numunelerin altlık malzemesine tutunma yüzeylerinde oldukça oksit tabakalarının olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bağlayıcı katmana sahip olmayan 8, 10 ve 12 numaralı numunelerin görüntülerinde kaplama tabakasının altlık malzemesi üzerine yayılmasının homojen bir şekilde olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumların HVOF sprej hızının artırılması ile giderilebileceği düşünülmektedir.
- 12) Yapışma testi sonuçları tam olarak belirlenemese de numunelerin yapışma mukavemetinin, deney cihazı kapasitesi olan 30 MPa' ın üzerinde olduğu görülmüştür ve bu değer yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir[7].

## KAYNAKLAR

- [1] YEŞİL, Ö., 2012, "Kaplama malzemesi ve kaplama kalınlığının flame sprey yöntemi ile kaplanmış malzemelerin elektrik iletkenliğine etkisi", Yüksek lisans tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, UŞAK, 64-76.
- [2] İnternet: Sarıtaş Paslanmaz Çelik Merkezi, 2017, Kurumsal Katalog, <http://www.saritas.com.tr/>
- [3] İnternet: Ekip Mühendislik, 2017, Paslanmaz Çelik Çeşitleri, <http://www.ekipmuhendislik.com.tr/paslanmaz-celik-cesitleri.html>
- [4] KAPTAN, S., 2012, "Plazma sprey gazlarının tungsten karbür kaplama özellikleri üzerine etkileri", Yüksek lisans tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ESKİŞEHİR.
- [5] PASİNLİ, A., 2004, "Alüminyum kaplanan çelik malzemelerde yüzey özelliklerinin incelenmesi", *Mühendis ve Makina*, 45(536): 42-45.
- [6] KAYA, Ö. A., 2007, "Plazma püskürtme ve HVOF yöntemleri kullanılarak, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC/Co tozlarıyla kaplanan çeliğin yapısı ve yüzey özellikleri", Yüksek lisans tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, GEBZE.
- [7] MİNİSKER, M. A., 2009, "Termal sprey yöntemiyle oluşturulan kaplamaların mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek lisans tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL.
- [8] MONTİCELLİ, C., FRİGNANİ, A., ZUCCHİ, F., 2003, "Investigation on the corrosion process of carbon steel coated by HVOF WC/Co cermets in neutral solution", *Corrosion Science*, 46: 1225-1237.
- [9] VOORWALD, H. J. C., SOUZA, R. C., PİGATİN, W. L., CİOFFİ M.O.H., 2005, "Evaluation of WC-17Co and WC-10Co-4Cr thermal spray coatings by HVOF on the fatigue and corrosion strength of AISI 4340 steel", *Surface & Coating Technology*, 190: 155-164.
- [10] YANG, Q., SENDA, T., OHMORİ A., 2003, "Effect of carbide grain size on microstructure and sliding wear behavior of HVOF-sprayed WC-12% Co coatings", *Wear*, 254: 23-34.
- [11] SOUZA, V. A. D., NEVİLLE, A., 2005, "Corrosion and synergy in a WC Co Cr HVOF thermal spray coating—understanding their role in erosion–corrosion degradation", *Wear*, 259: 171-180.
- [12] STEWART, D. A., SHİPWAY, P. H., MCCARTNEY, D. G., 1999, "Abrasive wear behaviour of conventional and nanocomposite HVOF-sprayed WC-Co coatings", *Wear*, 225-229: 789-798.

- [13] NASCIMENTO, M. P., SOUZA, R. C., MÍGUEL, I. M., PÍGATIN, W. L., VOORWALD, H. J. C., 2001, "Effects of tungsten carbide thermal spray coating by HP\_HVOF and hard chromium electroplating on AISI 4340 high strength steel", *Surface & Coating Technology*, 138: 113-124.
- [14] ISLAK, S., KIR, D., BUYTOZ, S., ÖZORAK, C., AKKAŞ, M., ÇALIGÜLÜ, U., YILDIRIM, M. M., 2015, "Yüksek hızlı oksijen yakıt ile üretilen wcco-mo esaslı kaplamaların mikroyapı karakterizasyonu", *Pamukkale Üniversitesi Muh. Bilim. Derg.*, 21(8): 344-347.
- [15] GAO, J., TANG, Z., WANG, C., GUO, M., CUI, Y., 2015, "Microstructure, mechanical and oxidation characteristics of detonation gun and HVOF sprayed MCrAlYX coatings", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25: 817-823.
- [16] TOSUN, G., 2011, "TIG yöntemi kullanılarak AISI 1010 çeliğinin yüzeyinde oluşturulan Ni/WC kaplamanın metalurjik uyum karakterizasyonunun incelenmesi", *Mühendis ve Makina*, 52(618): 71-77.
- [17] SARI, N. Y., YILMAZ, M., 2005, "Ni-esaslı kaplamaların abrazyon+erozyon aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi" *Mühendis ve Makina*, 46 (541): 14-20.
- [18] BUYTOZ, S., ULUTAN, M., YILDIRIM, M. M., 2005, "TIG yöntemiyle yüzeyi sertleştirilen AISI 4340 çeliğinin mikroyapısının incelenmesi", *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, V18, 93-107.
- [19] ÖZ, A., 2012, "Aşınmış taşıt fren disklerinin kaplama tozları ile kaplanarak yeniden kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması", Doktora tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ISPARTA.
- [20] ALAGÖZ, H., 2012, "Synthesis of high temperature wear resistant WC and WN coatings", Yüksek lisans tezi, *Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ANKARA.
- [21] SCRIVANI, A., BARDI, U., CARRAFIELLO, L., LAVACCHI, A., NICCOLAI, F., RIZZI, G., 2003, "A comparative study of high velocity oxygen fuel, vacuum plasma spray, and axial plasma spray for the deposition of conical bond coat alloy", *Journal of Thermal Spray Technology*, 12(4): 504-507.
- [22] BUYTOZ, S., ULUTAN, M., KURT, B., ISLAK, S., SOMUNKIRAN, İ., 2010, "Plazma transferli ark kaynak yüzey işlemeyle AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine WC-Ni-B4C kompozit kaplamanın mikroyapısal karakteristiği", *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 5(1): 35-47.
- [23] ORHAN, A., BUYTOZ, S., 2007, "Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinde üretilen M7C3 takviyeli kompozit kaplamaların mikroyapısı", *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19(4): 593-599.



- [24] YEŞİLDAL, R., GÜNAY, Y. Z., 2007, "Plazma sprey yöntemi ile kaplama ve sprey karakteristiklerinin incelenmesi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1): 59-76.
- [25] BUYTOZ, S., YILMAZ, O., 2003, "GTA yöntemi kullanılarak FeCrC ve WC kaplanmış sade karbonlu SAE 1020 malzemesinin aşınma davranışının araştırılması", *Mühendis ve Makina*, 44 (519): 36-40.
- [26] ÇELİK, A. A., ŞEN, Ş., ŞEN, U., 2015, "TIG kaynağı ile yüzeyi sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 çeliğinin mikroyapı incelemeleri", *SAÜ Fen Bil. Der.*, 19(3): 237-244.
- [27] SEİDİ, S., 2010, "Microstructure, oxidation & mechanical properties of as-sprayed and annealed HVOF & VPS CoNiCrAlY coatings", *The University of Nottingham, UK*.
- [28] JUN, T-S., ZHANG S. Y., APPLEBY-THOMAS, G., GRANT, P. S., KORSUNSKY A. M., 2009, "A study of residual stresses in vacuum plasma sprayed tungsten coatings", *International Centre for Diffraction Data*, 519-528
- [29] DAVIS, J. R.(ed.), 2004, "Handbook of Thermal Spray Technology", *ASM International: Materials Park, OH*, 1-175.
- [30] ESPALLARGAS, N.(ed.), 2015, "Introduction to thermal spray coatings", *Future Development of Thermal Spray Coatings, Book Aid International, UK*, 1-13.
- [31] PAWLOWSKI, L., 2008, "Thermal Spraying Techniques", *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, John Wiley and Sons Ltd, England*, 67-107.
- [32] İnternet: Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, 2017, Alev Sprey  
<http://www.teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10715/42048/alev-sprey>
- [33] İnternet: Metser Kaplama LTD.ŞTİ, 2017, <http://metserkaplama.com>
- [34] İnternet: Bodycote, 2017, Alev Püskürtme,  
<http://www.bodycote.com/tr-TR/services/surface-technology/flame-spraying.aspx>
- [35] İnternet: Prokap Makine, 2017, Alev Püskürtme,  
<http://www.prokap.com.tr/Default.asp?K=0&K1=21>
- [36] İnternet: Metser Kaplama LTD.ŞTİ, 2017, <http://metserkaplama.com/toz-flame-sprey-uygulamalari/>
- [37] İnternet: Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, 2017, HVOF, <http://www.teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10716/42049/hvof>
- [38] İnternet: Metallisation, 2017, HVOF Engineering Applications,  
<https://metallisation.com/applications/hvof-engineering-applications/>

- [39] İnternet: SULZER, 2017, Technical Articles,  
<http://www.sulzer.com/en/Resources/Technical-Articles>
- [40] İnternet: Oerlikon,2017, <https://www.oerlikon.com>
- [41] İnternet: Sai Surface Coating Technologies, 2017, Detonation Spray Process,  
[http://www.ssct.in/theromal\\_spray.html](http://www.ssct.in/theromal_spray.html)
- [42] Kahraman, N., 2001, "Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ANKARA.
- [43] CLARE, M. J. H., CRAWMER, D. E., 1982, "Thermal Spray Coatings", Metals Handbook, *American Society for Metal*, AMERICA, 361-375
- [44] PANTELIS, D. I., PSYLLAKI, P., ALEXOPOULOS, N., 2000, "Tribological behaviour of plasma-sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings under severe wear conditions", *Wear*, 237: 197-204.
- [45] DİLTEMİZ, S. F., 2010, "Plazma Sprey Termal Bariyer Kaplamaların Isıl ve Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu", Doktora tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ESKİŞEHİR, 14-25.
- [46] TRACTON, A. A. (ed.), 2006, "Metal Coating", Coatings Technology Handbook, *Taylor & Francis Group*, AMERICA, 101,1-101,6.
- [47] İnternet: Flame Spray Technologies, 2017, Plasma Spray,  
[\(https://www.fst.nl/systems/aps-plasma-thermal-spray-coating-system/\)](https://www.fst.nl/systems/aps-plasma-thermal-spray-coating-system/)
- [48] ALTUNCU, E., 2011, "YSZ ve CSZ Esaslı Termal Bariyer Kaplamaların Üretimi, Karakterizasyonu ve Termal Çevrim Performanslarının Karşılaştırılması", Doktora tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, SAKARYA, 26-32.
- [49] HEIMANN, R. B., 1996, "Principles of Thermal Spraying", Plasma Spray Coating, *WILEY-VCH*, New York (USA), 17-25.
- [50] SCOTT, K. T., 1992, "Industrial Processes (Basic technological development of advanced materials processing techniques using vacuum plasma spraying)", *AEA Technology*, Belgium, 1-21.
- [51] BUNSHAH, R. F. (ed.), 2001, "Handbook of Hard Coating", *Noyes Publications*, New York (USA), 92-100.
- [52] ALTUNCU E., ÜSTEL, F., 2010, "Soğuk Sprey (Cold Spray) Teknolojisi ve Uygulama Alanları", *Teknik Yazı, Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, 157:29-40.

- [53] İnternet: CSP-World, 2017, Cold Spray, (<http://csp-world.com/news/20150120/001870/irelands-trinity-college-dublin-research-cold-spray-metal-3d-printing-funded>)
- [54] KARAOĞLANLI, A. C., TÜRK, A., ÜSTEL, F., 2013, "Soğuk Gaz Dinamik Sprey (CGDS) Kaplama Teknolojisi ve Uygulamaları", *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 20-27.
- [55] İnternet: green belting industries, 2017, Cold Spray, <http://www.greenbelting.com/industry-solutions/cold-spray.html>
- [56] ELO, R., 2012, "Evaluation of HVOF sprayed STR Coatings", *UPPSALA UNIVERSITET*, 1-55.
- [57] SADEGHIMERESHT, E., MARKOCSAN, N., NYLÉN, P., 2016, "A Comparative Study of Corrosion Resistance for HVOF-Sprayed Fe- and Co-Based Coating", *MDPI*, Switzerland, 6-16.
- [58] İnternet: HVOF, 2017, <http://www.hvaf.com/index.html>
- [59] İnternet: GTV, 2017, HVOF Applications, [http://www.gtv-mbh.com/\\_old/gtv-mbh-englisch/www.gtv-mbh.de/cms/upload/publikat/Wank/english/HVOF\\_applications.pdf](http://www.gtv-mbh.com/_old/gtv-mbh-englisch/www.gtv-mbh.de/cms/upload/publikat/Wank/english/HVOF_applications.pdf)
- [60] İnternet: METALLIZING EQUIPMENT CO.PVT.LTD., 2017, HVOF SPRAY SYSTEMS, <http://www.mecpl.com/hvofspray.php>
- [61] ISLAK, S., BUYTOZ, S., 2011, "Plazma Püskürtme Yöntemiyle AISI 304 Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Elde Edilen ZrO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- % 13TiO<sub>2</sub> Kompozit Kaplamasının Mikroyapı Özellikleri", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 6-12.
- [62] ÇİFTYÜREK, E., 2009, "%8 YSZ (İtriyum ile stabilize edilmiş ZrO<sub>2</sub>) Termal Bariyer Kaplamaların (TBK) Üretimi ve Proses Parametreleri Optimizasyonu", Yüksek lisans tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL, 76-102.



# EK-1. AISI 304 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası



COGNEACCIAI SPECIAL S.p.a.  
 11100 ACOSTA - VIA PARAVEVA, 16  
 TEL. + 39 0185 3021 - FAX + 39 0185 302299  
 C.F. 05197950967  
 VAT. IT00871320076 - R.E.A. n. AD-50474  
 Company with management systems ISO  
 9001 and certified according to ISO 9001.  
 ISO 14001 e ISO 14001.

INSPECTION CERTIFICATE 3.1 (EN 10204:2004)  
 (A03) DOCUMENT NUMBER 2015032549  
 PAGE 1/2

(A06) CUSTOMER : ANIL PASLANMAZ CELIK SAN. VE TIC. A  
 (A07) CUSTOMER'S ORDER : F-MRIL  
 (A04) MANUFACTURER'S WORKS : AOSTA, VIA PARAVEVA 16 - ITALY  
 (A05) PRODUCER OF THE DOC: QUALITY DEPARTMENT  
 (A08) MANUFACTURER'S WORKS ORDER NO: 25194013 /40 (A04) MARK OF THE MANUFACTURER : COGNE  
 THE CERTIFIED PRODUCTS ARE COMPLYING TO THE PURCHASE ORDER

INTERNAL SPEC. :	STOCKMARKLWZ	TECHNICAL RULE :	AD2000
(B01) PRODUCT :	3640 PEL PEELED	ROUND BARS TOLERANCE :	ISOK11
(B03) SURFACE FINISH :	2B Cold Finished		
(B04) PRODUCT DELIVERY CONDITION:	RS SOLUTION ANNEALED		
(B09) PRODUCT DIMENSIONS (mm):	50,000	(B10) LENGTH (mm)	06000 /06200
(B02) GRADE :	AISI 304/304L EN 1.4301/1.4307	INTERNAL GRADE :	F304L1 IMCO
(B07) IDENTIFICATION HEAT NO:	572534	(B07) IDENTIFICATION LOT NO.:	945910
(B06) MARKING OF THE PRODUCT .:	1.4301	TEST PIECE N. :	591

THE PRODUCT IS CONFORMING TO THE CONTRACT AGREEMENT AND TO THE RULE AD2000-MERKBLATT W0/W2.  
 REFERENCE NORMS: EN10088-3, EN10272, ASTM A276, ASTM A479, ASME SA479(10), ASTM A193 B8 CLASS 1D, AMS 5647H, AMS 5639H, ISO15156-3  
 NACE MR0175, NACE MR0103  
 REFERENCE NORMS FOR CHEMICAL COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES: ASTM A182, ASME SA182(10).  
 REFERENCE NORMS FOR CHEMICAL COMPOSITION ONLY: EN10222-5, ASTM A484, ASTM A403, ASTM A314, AMS-QQ-S-763B  
 ASTM A484 DOES NOT APPLY FOR SIZE AND LENGTH TOLERANCES.

STEELMARKING REF + AOD + CONTINUOUS CASTING  
 HOT ROLLED  
 REDUCTION RATIO 11,8

(C71) CHEM. COMP. - LADLE ANALYSIS ACCORDING ASTM E1019-A751-E1086-E415-A580  
 Control lot No. - Weight :020000587591 - 89,696 KG

ELEMENTS	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Mo	Ni
OBTAINED	0,023	0,34	1,33	0,038	0,025	0,093	0,004	18,20	0,31	8,11
ELEMENTS	Cu	Co								
OBTAINED	0,35	0,15								

HARDNESS TEST IN AS DELIVERED CONDITION  
 Control lot No. - Weight :020000587741 - 18.784 KG  
 SPECIFICATION ENISO6506 HARDNESS TEST HB TESTING METHOD : 10/3000  
 OBTAINED 190

IMPACT TEST IN AS DELIVERY CONDITION  
 Control lot No. - Weight :020000587741 - 18.784 KG  
 SPECIFICATION EN ISO 148-1-KV2 (C02) DIRECTION OF THE TEST PIECE: L  
 (C40) TYPE OF TEST PIECE KV 20  
 (C03) TEST TEMPERATURE °C J

MEASUREMENT UNIT	J	280	287	284	289	284	282	283	280	278	283
OBTAINED		284	286								



COGNEACCIAI SPECIAL S.p.a.  
 11100 ACOSTA - VIA PARAVEVA, 16  
 TEL. + 39 0185 3021 - FAX + 39 0185 302299  
 C.F. 05197950967  
 VAT. IT00871320076 - R.E.A. n. AD-50474  
 Company with management systems ISO  
 9001 and certified according to ISO 9001.  
 ISO 14001 e ISO 14001.

INSPECTION CERTIFICATE 3.1 (EN 10204:2004)  
 (A03) DOCUMENT NUMBER 2015032549  
 PAGE 2/2

TENSILE TEST IN AS DELIVERY CONDITION  
 Control lot No. - Weight :020000587741 - 18.784 KG  
 SPECIFICATION EN-ISO6892-1 (C02) DIRECTION OF THE TEST PIECE: L

MEASUREMENT UNIT	RM	RP02	A5	Z	RF1
	MPA	MPA	%	%	MM
OBTAINED	641	296	55,0	75,5	326
	648	298	52,6	73,5	322
	634	307	54,3	75,7	328
	642	293	53,4	72,9	326

GRAIN SIZE  
 Control lot No. - Weight :020000587741 - 18.784 KG  
 SPECIFICATION ASTM E112 --  
 OBTAINED 5 7

TENSILE TEST  
 Control lot No. - Weight :020000587741 - 18.784 KG  
 SPECIFICATION ASTM A370-EB-3 SPEC (C02) DIRECTION OF THE TEST PIECE: L

MEASUREMENT UNIT	Rm	RP02	IB	ALD2
	MPa	MPa	%	%
OBTAINED	92	43	73,8	57,6
	91	43	74,0	56,7
	91	44	73,4	57,4
	92	44	75,4	54,8

CORROSION TEST ACCORDING TO ASTM A262 Practice E EN ISO 3451-2: SATISFACTORY.  
 ROTARY HEAD EDDY CURRENT AND VISUAL INSPECTION OF SURFACE ACCORDING TO EN 10277-1 Class4: SATISFACTORY.  
 DIMENSIONAL CONTROL ACCORDING TO EN 10278 (SATISFACTORY).  
 ULTRASONIC TEST ACCORDING TO EN 10308 AND API 6A CLASS 3. EQUIVALENT TO SEP 1910 GROUP 3 CLASS C (CLASS B FOR SIZES > 75 MM) AND ASTM A188 FEB 5 (ONLY FOR SIZES > 100 MM): SATISFACTORY.  
 AUTOMIX TEST WITH PORTABLE SPECTROMETER: SATISFACTORY.  
 NO WELDING REPAIR ON THE MATERIAL.  
 THE PRODUCT SATISFIES CE DIRECTIVES: 2011/65 - 2000/53 2002/95(SOHS) 2003/11 - 2005/618 AND PED 97/23/EC.  
 THE MATERIAL IS FREE OF ANY MERCURY, MERCURY COMPOUNDS AND OR RADIUM CONTAMINATION AT TIME OF SHIPMENT AND WAS PRODUCED WITHOUT USING OZONE DEPLETING SUBSTANCES OF CLASS I AND II.  
 MARKING: SYMBOL OF THE MARK: MCMF, MATERIAL N. : CAST N., LOT N., RECEIVING AGENT STAMP  
 DOCUMENT ISSUED IN AGREEMENT WITH BUYER'S LETTER(11.10.20) HAVING OF COUNTERSIGNING (SEE BUYER'S LETTER DATED 17.01.20).  
 QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY I.S.G. ACCORDING TO UNI EN ISO 9001:2008 - ISO/TS 16949:2009 (THE LAST ONE ONLY FOR HOT ROLLED-PEELED-GROUND, STAINLESS STEEL BARS AND ATOMIZED METALLIC POWDERS).  
 ALL THE NORMS MENTIONED ARE APPLIED IN THEIR LATEST REVISION AT THE DATE OF ISSUE OF THIS DOCUMENT.  
 COUNTRY OF ORIGIN: ITALY, THE MATERIAL COMPLIES WITH FAR 68ARS  
 251.225-7009 ALT 1.  
 (202) INSPECTOR'S STAMP LF

(201) DATE 11.06.2015 POLLASTRELLI ANDREA FC (06992 INSPECTOR) - ELECTRONICALLY GENERATED CERTIFICATE



EK-2. AISI 316 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası (Devam)

## Acciaierie Valbruna S.p.A.

**CERTIFICATO DI COLLAUDO  
ABNAHMEPRUEFZEUGNIS  
INSPECTION CERTIFICATE  
CERTIFICAT DE RECEPTION  
EN 10204 (2004) , 3.1**

36100 VICENZA (Italia) - Viale della libertà, 25/21  
Telefono 0444 862111 - Fax 0444 363328  
0444 - 39100 BOLLZANO (Italia) - Via A. Volta, 477  
Telefono 0471 826111 - Fax 0471 044697

Clienti / Destinatari / Purchaser/Client:  
**ANEL PASLANMAZ ÇELİK SAN. VE TİC.A.Ş. DULULU 088**  
EBUBEKİR CAD. No:6  
DES 101 ÇIKVAZI B1/B BLOK  
34000 ÜMRANİYE, İSTANBUL - TÜRKİY - TR  
Problema: **ACCIAIERIE VALBRUNA S.P.A.**  
Nominatari forniture/prodotti:

Anno di Spedizione: 0-VII/5220099  
Lieferungszeitpunkt (Jahr): 0-VII/5220099

Destra/Fr: PDx18/25/15  
Recht: PDx18/25/15

Tipo di Elaborazione: E-AOD  
Produktionsverfahren: E-AOD

Certificato nr: MEST725759/2015/  
Inspektionsnr.:

Certifica online nr: E115004642  
Inspektionsnr. online:

Marca: 8 F43969  
Zusatz des Lieferanten:  
Tabelle:  
Date de l'essai réception:

Funzione del Collaudo:  
Nutzungsbedingungen:  
Inspektionszeitpunkt/Inspektionsnr.:

Stato di finitura: Hot rolled - Annealed Pickled  
Produktions-/Bearbeitungs-  
Zustand:

**Analisi chimica**

Chemical composition (Nominal values) (Mass %)										
Element	Unit	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
C	%	0.015	0.40	1.47	16.97	2.05	10.00	0.031	0.027	0.058
Si	%									
Mn	%									
Cr	%									
Mo	%									
Ni	%									
P	%									
S	%									
N	%									

Intergovernmental comparison test per ASTM A262 pract. E: ok.  
Absence of cracks at 20 x magnification after bend test.  
Korrosion nach EN ISO 3651-2A Sensibilisierung : T1 - OK  
Corrosion test per EN ISO 3651-2A sensitized T1 - OK  
Reduction rate = 22,6 - 1

Sono state soddisfatte tutte le condizioni richieste.  
No process limitations under order - Anlage erfüllt.  
No material for non-compliance assessment with the requirements of customer or the applicable technical specification.

Cartello antimacchia: OK  
Anschmutzgefahr: keine/mehrere/keine  
Staining/bleeding: preferred/OK  
Corrosion resistance: (see 1.2)

Controllo visivo di difettosità: soddisfa le esigenze.  
Beurteilung der Anmutung: ohne Beanstandung.  
Inspektionszeitpunkt/Inspektionsnr. (siehe Tabelle)  
Controllo visuale difettosità: soddisfa

Made and manufactured in Italy      for welding or cold heat      Material free from Mercury contamination

We declare that the finished product is checked for radioactive contamination through Portal System when it leaves the production plant.  
The Quality Management System is Certified acc. Pressure Equipment Directive 97/23/EC Annex I, s. 4.3 by TÜV and LLDIT S.  
Any act of tampering (e.g. modification, alteration, counterfeiting) and/or falsification (and/or any other action which violates the contents of this test certificate shall constitute a violation of applicable civil and criminal laws. Acciaierie Valbruna shall protect its rights and interests before any competent court, authority and jurisdiction.  
Maximal error Valplus (product) controls are manufactured with today techniques to control composition, distribution, size and shape of non-metallic inclusions for improved machinability.  
This supplied product conforms to require this explicitly requested by the purchaser and conforms to requirements specified by certified norms and standards. Should the product be used for more severe, critical and/or in any case different applications than those the material is generally intended for, any different and/or supplementary requirements shall be specifically demanded, at least, upon order of the Product by the Purchaser. Acciaierie Valbruna S.p.A. shall not be responsible for any improper use of the Product.

### EK-3. AISI 420 Paslanmaz Çelik Ürün Sertifikası


ORIGINAL

#### INSPECTION CERTIFICATE

AS PER EN 10204 B.1

CUSTOMER: ANIL PASLANMAZ ÇELİK SAN. VE TİC. A.Ş. - TURKEY.		HE/WH/04C/13 REV 03										
PRODUCT DESCRIPTION	Stainless Steel Bright Bar	TC No. 11094 DATED 11.09.2014										
SUPPLY CONDITION	Annealed, peeled, center less ground and polished	BUYER ORDER NO:										
EXPORT INVOICE NO	EXP/HIL220 DATED 11.09.2014	OUR ORDER NO: EXP/BBH/1086 DT 31.05.2014.										
PRODUCT DETAIL												
GRADE	HEAT NO	SIZE (MM)	TOLERANCE	LENGTH (MTR)	NO OF BNDL.	PCS	WT (KGS)					
AISI 420	H2826	50.00 MM Round	±0.9	6.00-6.15	03	28	2588.00					
BUNDLE NO : H15420,H13487,H03488												
CHEMICAL COMPOSITION (%)												
ELEMENTS	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Cu%	Mo%	N2 (PPM)	Nb%	Ti%
Results	0.230	0.780	0.600	0.020	0.023	17.550	0.450		0.040	225		
MECHANICAL PROPERTIES												
	0.2%YS (N/mm <sup>2</sup> )		UTS (N/mm <sup>2</sup> )		EL%		RA%		Hardness (BHN)			
Results	387.08		588.42		30.00		56.25		173			
Remarks : *We confirm that the material is manufactured and supplied in accordance to the purchase order. *Material is Free From Mercury and Radioactive Contamination. *Material conforms to ASTM A276. *Visual and dimensional inspection ok. *Product identification on bundle: Manufacturers name, Logo, Grade, Heat number, size, Tolerance, net weight, gross wt, length, Bundle no (identification number), Pcs, color code. *Approved accordance to AD 2000-MERKBLATT 100 and certified acc to PED/97/23/EC ANN-1 etc. 4.3 by certification body for pressure equipment of TÜV NORD systems (REG. NO 4045).												
ORDER STATUS-COMplete				INSPECTION AUTHORITY				 MANAGER - QUALITY CONTROL				

WE CERTIFY THAT THE SUPPLIED MATERIAL HAS BEEN TESTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND THE RESULTS CORRELATE WITH THE RESULTS OF THE ORDER.

11/13, Raghuvanshi Mansion, Raghuvanshi Mill Compound, S. B. Marg, Lower Parel (W), Mumbai - 400 013, India.  
 Tel: + 91 22 4340 1414 (30 Lines) • Fax: + 91 22 4340 1400 • E-mail: sales@hindustaninox.com • Web: www.hindustaninox.com  
 Factory: Savrol Kharpada Road, Village - Kumbhivadi, District - Khalapur, Khopoli - 410 202, Maharashtra, India





EK-5. GTV 80.20.1 NiCr 80/20 Ürün Sertifikası

GTV Verschleißschutz GmbH  
 Gewerbegebiet „Vor der Neuwiese“  
 D-57529 Luckenbach

Tel: +49-2662-9576-0  
 Fax: +49-2662-9576-30  
 Email: office@gtv-nibh.de



**WERKSZEUGNIS / TEST CERTIFICATE**  
 EN 10204-3.1

Werkzeugnisnr. Certificate no.	17/1070	
Bezeichnung / Description	80.20.1	HVOF-Pulver, NiCr 80/20 -53 +20 µm
Lot/Batch	P1070	

**Chemische Analyse in Gewichts-%**  
 Chemical analysis in weight %

Al	B	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Nb	Ni
<0,01	<0,01	<0,01	0,01	20,19	0,01	0,11	0,12	<0,01	0,01	Bal.

O2	P	Pb	S	Si	Sn	Ta	Ti	V	W	Zn	Zr
0,03	0,02	<0,01	<0,01	1,61	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

**Korngrößenverteilung**  
 Sieve analysis

Korngröße / (µm) Grain size	63-53	53-45	45-38	38-25	25-20	<20
Verteilung / (%) Distribution	1,9	25,3	30,1	38,7	3,6	0,4

**Fluss:** 16,5 sec/50 g  
 Hall flow

**Schüttdichte:** 4,4 g/cm³  
 Apparent density

Luckenbach, den 27. Mrz. 2017

NETİSER İKİPLERİ MAKİNE  
 ÇEVRE İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.  
 Bulvarı No: Çarşamba, 01. 41140  
 Çarşamba / Konya  
 Telefon: +90 332 222 2222

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ZEYBEK, Ümit

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 17.03.1982 İzmir

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0(554) 207 07 83

e-mail : [uzeybek@kastamonu.edu.tr](mailto:uzeybek@kastamonu.edu.tr)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/ Mak.Müh.	2017
Lisans	Afyon Kocatepe Üniv./ Mak.Müh.	2007
Lise	İzmir Gürçeşme Lisesi	1999

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013--	Kastamonu Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2010-2013	Gürçelik	Makine Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce (2017 YÖKDİL: 60)

### Yayımlar

-

### Hobiler

Kitap okumak, Doğa sporları, Binicilik