



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DETONASYON TABANCASI (D-GUN) VE SÜPER SONİK
PLAZMA SPREY (SAPS) KAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE
ÜRETİLEN MCrAlY İÇERİĞİNE SAHİP KAPLAMALARIN
MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

MEHMET KILIÇ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ABDULLAH CAHİT KARAOĞLANLI

BARTIN-2019



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DETONASYON TABANCASI (D-GUN) VE SÜPER SONİK PLAZMA
SPREY (SAPS) KAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN MCrAlY
İÇERİĞİNE SAHİP KAPLAMALARIN MİKROYAPISAL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Mehmet KILIÇ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	:	Doç. Dr. A. Cahit KARAOĞLANLI	-	Bartın Üniversitesi
Üye	:	Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK	-	Bartın Üniversitesi
Üye	:	Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI	-	Karabük Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mehmet KILIÇ tarafından hazırlanan “DETONASYON TABANCASI(D-GUN) VE SÜPER SONİK PLAZMA SPREY(SAPS) KAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN MCrAlY İÇERİĞİNE SAHİP KAPLAMALARIN MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 10.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI ve Dr. Öğr. Üyesi Derviş ÖZKAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “DETONASYON TABANCASI (D-GUN) VE SÜPER SONİK PLAZMA SPREY (SAPS) KAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN MCrAlY İÇERİĞİNE SAHİP KAPLAMALARIN MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

06.08.2019

Mehmet KILIÇ

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenerek yardımlarını esirgemeyen çalışma alanı hakkındaki bilgi ve becerisini esirgemeyen değerli Hocam Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI başta olmak üzere, araştırma çalışmaları esnasında desteğini ve tecrübelerini esirgemeyen değerli Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Derviş ÖZKAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Yüksek Lisans çalışmamın her aşamasında beni yalnız bırakmayan, sabırla bekleyen ve her türlü anlayışı esirgemeyen değerli aileme sonsuz sevgi, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Mehmet KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DETONASYON TABANCASI (D-GUN) VE SÜREP SONİK PLAZMA SPREY (SAPS) KAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLEN MCrAlY İÇERİĞİNE SAHİP KAPLAMALARIN MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet KILIÇ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derviş ÖZKAN

Bartın-2019, sayfa: 87

Termal sprej kaplamalar, endüstriyel birçok uygulamada aşınma, korozyon ve oksidasyon gibi hasar oluşumlarını önlemek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, termal sprej kaplama yöntemlerinden detonasyon tabancası (D-Gun) ve süpersonik plazma sprej (SAPS) kaplama prosesleri kullanılarak Inconel 718 nikel bazlı süper alaşım altlık malzeme üzerine üretilen MCrAlY içeriğine sahip kaplamaların yüksek sıcaklık aşınma davranışı araştırılmıştır. Farklı yöntemler ile üretilen kaplamaların yüksek sıcaklık aşınma davranışlarını anlamak için farklı sıcaklık ve farklı yüklerde aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. MCrAlY kaplamaların yüksek sıcaklık aşınma testleri öncesi ve sonrasında mikroyapısal özellikleri, mekanik özellikleri ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Kaplanmış ve aşınmış yüzeylerin taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), sertlik ve 3D topografyası karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Kaplamaların yüksek sıcaklık aşınma direncinin, kaplama üretim tekniğine, kaplamanın mikroyapısal özelliklerine ve testler sonucunda oluşan aşınma mekanizmasına bağlı olarak değişim gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Termal Sprej Kaplama; Detonasyon Tabancası (D-Gun); Süpersonik Plazma Sprej (SAPS); Yüksek Sıcaklık Aşınması; MCrAlY.

Bilim Kodu: 604.02.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MCrAlY COATINGS PRODUCED BY DETONATION GUN (D- GUN) AND SUPER SONIC PLASMA SPRAY (SAPS) COATING TECHNIQUES

Mehmet KILIÇ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI

Second Advisor: Assist. Prof. Derviş ÖZKAN

Bartın-2019, pp: 87

Thermal spray coatings have been widely utilized in various industrial applications against surface damages such as wear corrosion and oxidation. In this study, the high temperature wear behavior of MCrAlY coatings, deposited with detonation gun (D-Gun) and supersonic plasma spray (SAPS) thermal spraying techniques on Inconel 718 nickel based substrates, was investigated. To understand the high temperature wear behavior of the fabricated coatings, the wear tests were performed under varying temperatures and normal loads. The microstructural, mechanical and surface properties of the produced MCrAlY coatings were examined before and after the wear tests. Scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), microhardness and 3D topography of the produced and worn samples were comparatively evaluated. The high temperature wear resistance of the coatings was found to highly depend on the deposition technique used, microstructural characteristics of the coatings as well as the wear mechanism that arises following the wear tests.

Keywords: Thermal Spray Coating; Detonation Gun (D-Gun); Supersonic Plasma Spray (SAPS); High Temperature Wear; MCrAlY.

Science Code: 604.02.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Terma Sprey Kaplamalara Genel Bakış	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Termal Sprey Kaplamalar	4
2.1.1 Termal Sprey Kaplama Prosedürleri.....	5
2.1.2 Termal Sprey Kaplamaların Uygulama Alanları	8
2.2 Termal Sprey Kaplama Yöntemleri.....	14
2.2.1 Plazma Sprey (PS) Kaplamalar	15
2.2.1.1 Atmosferik Plazma Sprey (APS) Kaplama Yöntemi.....	18
2.2.1.2 Vakum Plazma Sprey (VPS) Kaplama Yöntemi	20
2.2.1.3 Süpersonik Plazma Sprey (SAPS) Kaplama Yöntemi.....	21
2.2.2 Yüksek Hız Oksi-Asetilen Yakıt (HVOF) Kaplama Yöntemi.....	23
2.2.3 Detonasyon Tabancası (D-Gun) Kaplama Yöntemi	24
2.3 Termal Sprey Kaplamaların Aşınma Dayanımı Amaçlı Olarak Kullanılması	26
2.3.1 MCrAlY İçerikli Metalik Bağ Kaplamaları	27
2.3.1.1 MCrAlY Kaplamaların Aşınma Davranışları	29

BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT	32
3.1 Amaç	32
3.2 Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu.....	32
3.2.1 Toz Malzemelerin Mikroyapısal İncelenmesi.....	32
3.2.2 Altlık malzemelerin Kimyasal Kompozisyonu	33
3.2.2.1 Inconel 718 Altlık Malzeme	33
3.3 Kaplama Öncesi Numunelerin Hazırlanması	35
3.4 Taramalı Elektron Mikroskopu(SEM) Analizleri.....	36
3.5 MCrAlY Metalik Bağ Kaplamanın Üretilmesi.....	36
3.6 Kuru Kayma Aşınma Testinin Uygulanması.....	38
 BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	 41
4.1 MCrAlY Kaplamaların Mikroyapısal İncelenmesi.....	41
4.1.1 Aşınma Testleri Öncesi D-Gun ve SAPS Kaplamaların Mikroyapıları.....	41
4.1.2 Aşınma Testleri Sonrasında D-Gun ve SAPS Kaplamaların Mikroyapılarının İncelenmesi	43
4.1.2.1 Oda Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikroyapıları	43
4.1.2.2 250°C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikroyapıları	49
4.1.2.3 500°C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikroyapıları	52
4.1.2.4 Oda Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPS Kaplamaların Mikroyapıları.....	60
4.1.2.5 250°C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPSKaplamaların Mikroyapıları.....	64
4.1.2.6 500°C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPS Kaplamaların Mikroyapıları.....	70
 BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	 79
5.1 Genel Sonuçlar.....	79

5.2 Öneriler	81
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1 : Deneysel çalışmalarda izlenen yöntem ve çalışma planı.	3
2.1 : Termal spreycaplama prosesinin uygulanışı	5
2.2 : Kumlama işleminin gerçekleştirildiği ekipmanın gösterimi	7
2.3 : Termal spreycaplamaların sınıflandırılması.....	15
2.4 : Plazma spreycaplama yöntemleri.....	16
2.5 : Plazma spreycaplama prosesinin şematik gösterimi	17
2.6 : Plazma tabancası kesiti	18
2.7 : Plazma spreycaplama ile kaplanmış bir malzemenin şematik gösterimi	19
2.8 : VPS işleminin şematik gösterimi	21
2.9 : SAPS kaplama sistemi tasarımı	22
2.10: HVOF yöntemine ait görüntü.....	23
2.11: D-Gun spreycaplama yönteminin gösterimi	25
2.12: Üst kaplama tipleri	27
2.13: Alüminyum taban malzeme ve TGO içine yayılımı	29
2.14: NiCoCrAlY bağ kaplamaların oda sıcaklığında yapılan aşınma testi sonrası hasar oluşumu	30
2.15: NiCoCrAlY bağ kaplamaların yüksek sıcaklıklarda yapılan aşınma testi sonrası hasar oluşumu	31
3.1 : MCrAlY kaplama tozlarının SEM mikroskopundaki görünimleri	33
3.2 : D-Gun spreycaplama sistemi gösterimi	37
3.3 : SAPS kaplama yöntemiyle MCrAlY metalik bağ kaplama	38
3.4 : D-Gun kaplama yöntemiyle MCrAlY metalik bağ kaplama	38
3.5 : Yüksek sıcaklık Pin-On-Disk aşınma cihazı	39
3.6 : D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü	40
3.7 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ(DEVAMI)

Şekil No	Sayfa No
4.1 : D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin aşınma testi öncesi miroyapısal görünümü	42
4.2 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin aşınma testi öncesi miroyapısal görünümü	42
4.3 : 2N yük altında ve oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 250x büyütmedeki SEM görüntüsü.....	43
4.4 : 2N yük altında ve oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.....	44
4.5 : 2N yük altında ve oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri	45
4.6 : 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 100x, 250x ve 750x büyütmedeki SEM görüntüsü.....	46
4.7 : 5N yük altında ve oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.....	47
4.8 : 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	48
4.9 : 2N yük altında 250°C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 100x büyütmedeki SEM görüntüsü.....	40
4.10 : 2N yük altında 250°C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	50
4.11 : Ana bileşimi oluşturan elementlerin spektrum dağılımlarının gösterimi.....	51
4.12 : 5N yük altında 250°C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	52
4.13 : 2N yük altında 500°C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	53
4.14 : 2N yük altında ve 500°C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	54
4.15 : D-Gun kaplama yöntemi ile üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların 2N yük altında aşınma testi sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizi	55

ŞEKİLLER DİZİNİ(DEVAMI)

Şekil No	Sayfa No
4.16 : 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	56
4.17 : D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların 5N yük altında aşınma testi sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizi	57
4.18 : D-gun kaplama yöntemiye üretilen 2N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda, 250°C ve 500°C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.....	58
4.19 : D-gun kaplama yöntemiye üretilen 5N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda, 250°C ve 500°C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.....	59
4.20 : D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 2N ve 5N yüklerde 4m/s’de 10 dk sonunda meydana gelen sürtünme katsayılarının incelenmesi.	60
4.21 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.....	61
4.22 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	62
4.23 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	64
4.24 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250°C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	65
4.25 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250°C’sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	66
4.26 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250°C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	68
4.27 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250°C’sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	69
4.28 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500°C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	71
4.29 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500°C’sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ(DEVAMI)

Şekil No	Sayfa No
4.30 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500°C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü	73
4.31 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500°C'sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.....	74
4.32 : SAPS kaplama yöntemiye üretilen, 2N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda, 250°C ve 500°C) aşınma testine tabi tutulan kaplamaların zamana bağlı mikroyapısal değişimi	76
4.33 : SAPS kaplama yöntemiye üretilen 5N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda, 250°C ve 500°C) aşınma testine tabi tutulan kaplamaların zamana bağlı mikroyapısal değişimi	76
4.34 : SAPS kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 2N ve 5N yüklerde 4m/s'de 10 dk sonunda meydana gelen sürtünme katsayılarının incelenmesi.....	77

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Bazı metallere ait malzeme özellikleri	9
3.1: Inconel-718 altlık malzemesinin kimyasal özellikleri	34
3.2: Ni esaslı süper alaşım Inconel-718 malzemesinin fiziksel özellikleri	35
3.3: D-Gun ve SAPS teknikleri ile üretilen, MCrAlY içerikli metalik bağ kaplamaların sertlik, yüzey pürüzlülüğü, gözeneklilik ve oksit içeriği parametreleri.	36
3.4: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen MCrAlY içerikli metalik bağ kaplama proses prosedürleri.	37
3.5: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen MCrAlY içerikli metalik bağ kaplama proses prosedürleri	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: amper
Al	: alüminyum
cm	: santimetre
Co	: kobalt
Cr	: krom
GPa	: ciga paskal
kN	: kilo newton
kW	: kilo watt
m	: metre
mm	: milimetre
m/s	: metre/Saniye
MPa	: mega Paskal
N	: newton
Ni	: nikel
O	: oksijen
slpm	: standart litre/dakika
V	: volt
Y	: irityum
W/K	: watt/kelvin
µm	: mikrometre
°C	: celcius

KISALTMALAR

APS	: Atmosferik Plazma Sprey
CGDS	: Soğuk Gaz Dinamik Sprey
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
D-GUN	: Detonasyon Tabancası
EB- PVD	: Elektron Işını-Fiziksel Buhar Biriktirme
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme
LPPS	: Düşük Basıncılı Plazma Sprey
PS	: Plazma Sprey
SAPS	: Süpersonik Plazma Sprey
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
VPS	: Vakum Plazma Sprey
TBC	: Termal Bariyer Kaplama
TGO	: Termal Olarak Büyüyen Oksit Tabaka
YSZ	: Yttria ile Stabilize edilmiş Zirkonya

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Termal Sprey Kaplamalara Genel Bakış

Günümüzde havacılık ve uzay endüstrisinde yüksek sıcaklıklarda çalışan gaz türbin parçaları, yanma motorları gibi sistemlere ait parçaların sıcaklık ve aşınmaya bağlı ciddi hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların önlenmesi için yüzey kaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır (Davis, 2004). Yüzey kaplama teknikleri kullanımının geniş bir sınıflandırması bulunmakta ve bu sınıflandırma içerisinde yüzey kaplama tekniklerinden olan termal sprej kaplamaların kullanımı teknolojiadaki gelişmeler ile paralel olarak artmaktadır (Rickbery, 1991).

Termal sprej kaplamaların en büyük avantajı eriyebilen ve istenilen formdaki tüm metal malzemelerin kaplanmasında kullanılabilen bir yöntem olmasıdır. Termal sprej kaplamalarda genellikle altlık malzemeye önemli ölçüde ısıtma olmaksızın kaplama işlemi uygulanabilmektedir. Maliyeti düşük olan malzemelere kaplama işlemleri uygulanarak sertliği ve aşınma dayanımı sağlanabilmektedir (Davis 2004).

İşlenen malzeme yüzeyinden mekanik etkenler sonucunda küçük parçacıkların koparak ayrılması neticesinde istenmeyen biçimde oluşan hasarlara “aşınma” denilmektedir (Terkeşli, 2017). Malzeme yüzeyinde oluşan aşınmalardaki hasarları en aza indirmek ve kullanılan alandaki performansı artırmak için süper alaşımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı kaplama yöntemleri kullanılarak malzeme yüzeylerindeki dayanımı arttırmak mümkündür. Fakat soğutma sistemlerinin desteğine rağmen bu malzeme gruplarının da ömürlerinde beklenen performansa erişilememektedir. Kaplama yöntemlerinde hasarlara neden olan oksidasyon, korozyon ve termal şok gibi olumsuz koşullar altında yetersiz olduğu tespit edilmekte ve yeni metalik bağ kaplama teknikleri araştırılmaktadır (Davis, 2004).

Metalik bağ kaplama üretiminde yaygın olarak termal sprej kaplama ve plazma sprej (PS) kaplama yöntemleri kullanılırken, üst kaplama proseslerinde PS kaplama ve elektron ışını ile fiziksel buhar biriktirme (EB-PVD) yöntemi tercih edilmektedir (Rätzer-Scheibe ve Schulz, 2007).

PS kaplama yöntemi ile birçok malzemenin kaplanması mümkün olduğundan, en yaygın kullanılan kaplama yöntemlerinde ilk sırayı almaktadır ve birçok termal sprej kaplama yöntemine göre daha uygun maliyetli olmaktadır (Zhang vd., 2008).

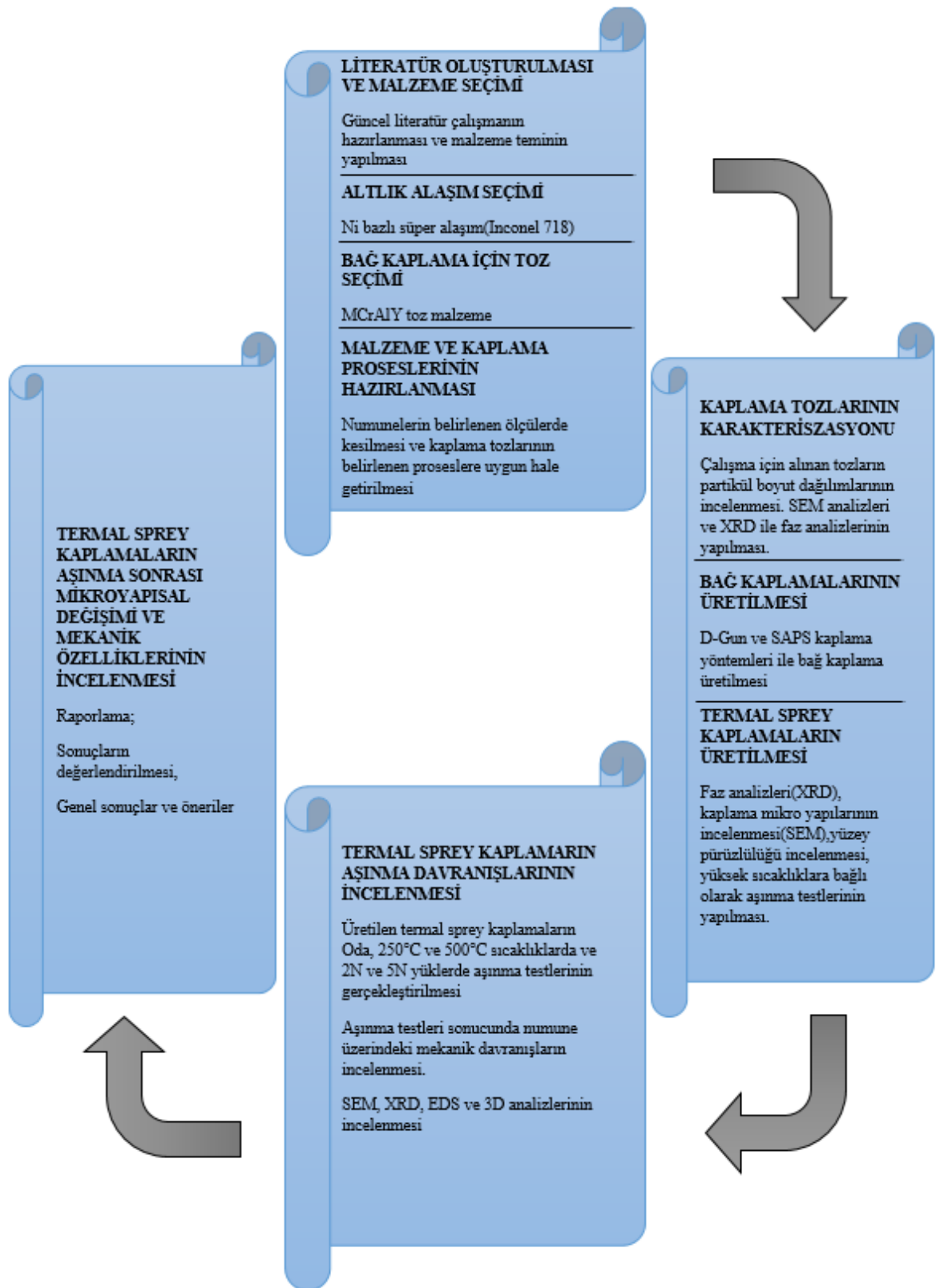
Detaylı yapılan çalışmalarda kullanılan bağ kaplamalar PS, Vakum Plazma Sprej (VPS) veya Düşük Basıncılı Plazma Sprej (LPPS), Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) ve Soğuk Gaz Dinamik Sprej (CGDS) metotları ile üretilmiş olup, üst kaplamalar ise APS ve EB-PVD metotları ile kaplanmaktadır. Malzeme olarak da MCrAlY (M= Ni, Co veya her ikisi) içerikli metalik bağ kaplama malzemesi tercih edilmekte ve üst kaplama malzemesi olarak stabilize edilmiş ZrO₂ (YSZ) en çok tercih edilen malzemelerden oluşmaktadır (Karaoğlu, Dikici ve Küçük, 2013; Mori vd., 2013).

Tüm termal sprej kaplama metotlarında kaplama özellikleri ve performansı kaplama malzemesi ve kaplama parametrelerine bağlı olduğundan dolayı araştırmalar günümüzde de devam etmektedir. Bununla birlikte optimum kaplama özellikleri, kritik kaplama parametreleri, alternatif kaplama prosesleri ve farklı üretim sınıfları araştırmalarının sürekli güncellenmesi ve geliştirilmesi de tüm hızıyla güncelliğini korumaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Inconel 718 Nikel bazlı süper alaşım altlık malzeme üzerine Detonasyon Tabancası (D-Gun) ve Süpersonik Plazma Sprej (SAPS) termal sprej kaplama yöntemleri kullanarak üretilmiş olan MCrAlY tipi kaplamaların mikro-yapısal mekanik özellikleri ve aşınma davranışları araştırılmıştır. Oda sıcaklığı, 250°C ve 500°C sıcaklıklarda 2N ve 5N yüklerde yapılan aşınma testleri ve numunelerde oluşan hasarlar ve test sonuçlarında numunedeki mekanik özellikleri üzerindeki değişimler incelenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken aşınma sürecini anlamak için detaylı X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikro sertlik ve aşınan iz analizinin 3D topografyası, aşınan kaplamaların enerji dağılım spektroskopisi (EDS) ile birlikte yapılmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışmasında, izlenen yöntem, yapılan testler ve prosesler sırasıyla Şekil 1.1' de gösterilmektedir.

İlgili çalışmanın alt yapısı özellikle havacılık endüstrisinde kullanılan motor bileşenlerinin yüksek sıcaklık davranışlarının belirlenmesidir.



Şekil 1.1: Deneysel çalışmalarda izlenen yöntem ve çalışma planı.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

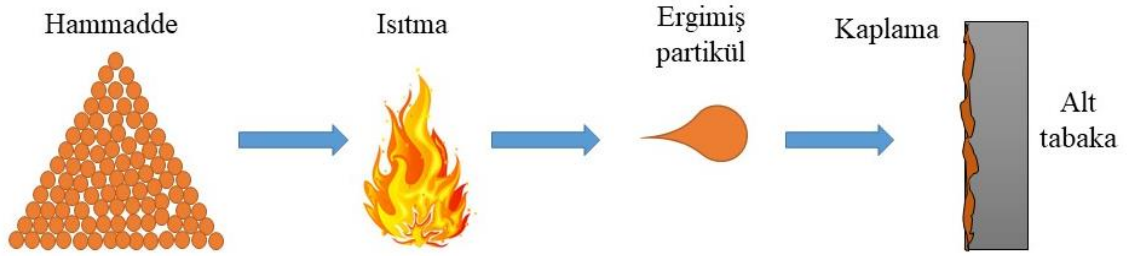
2.1. Termal Sprey Kaplamalar

Termal sprej kaplama, toz veya tel halindeki kaplama malzemesinin elektrik arkı, alev veya plazma ile ergitilerek, bir püskürtme gazı yardımıyla ergimiş ya da yarı ergimiş partikülleri altlık malzemeye yapışmasını sağlayan bir kaplama yöntemidir. Kaplama yapılarak aşınmaya maruz kalmış parçaların tekrar eski ölçülerine getirilmesi, genel korozyondan korunması ve aşınma dayanımının artırılması gibi birçok faydalı uygulama aynı anda yapılabilir (Dorfman, 2012).

Termal sprej ilk olarak ‘‘alev sprej yöntemi’’ olarak tanıtıldı. 1900’lü yıllarda ilk olarak Almanya’da daha sonra ise Fransa, Avrupa’nın geri kalanı ve Amerika’da patentli olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1911’de İsviçre’nin M.U. Schoop adlı üniversitede temelleri atılmıştır. 1962’de R. M. Gage, O. H. Nestor ve D. M. Yenni plazma spreji keşfedip, patentini almışlardır. 1958’de ise G. H. Smith, J. E. Pelton ve R. C. Eschenbach HVOF yüksek hızlı oksijen yakıtlı kaplama yöntemini bulup, patentini almışlardır (Tucker, 2004).

Termal sprej yönteminin diğer kaplama yöntemlerine göre birçok avantajı vardır. Bunların en başında arzu edilen tip metal formundaki malzemelere kaplama yapılmasıdır. İkinci büyük avantajı, termal sprej işlemlerinin çoğunda altlığı önemli ölçüde ısıtma olmaksızın kaplama yapılabilir. Çünkü yüksek ergime sıcaklığı olan malzemeler termal çarpılmalar ve parça özelliklerinde değişiklikler olmaksızın tam ısıtma işlemi görmüş parçalara son işlem olarak uygulanabilmektedir. Diğer bir avantajı ise, birçok durumda, parçaların boyutlarında ve özelliklerinde değişiklikler olmaksızın zarar görmüş kaplamalar soyularak tekrar kaplanabilmektedir. Altlık malzeme ile kaplama arasında kimyasal bir reaksiyon olmamasından dolayı, altlığın kimyasal özelliklerinde bozulma görülmemektedir. Bunun yanı sıra, bir büyük dezavantajı ise kaplanmış parçaların doğal görüntüsünün düzgün olmamasıdır. Küçük parçaların kaplamasından boyut sınırlaması olması ve tabancada derin çukurların oluşması dezavantajındandır (Davis, 2004).

Makine elemanlarının en büyük sorunu kullanım yerlerine göre yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından malzeme üzerine oluşan aşınmalardır. Bu aşınmalar zamanla yerini ciddi hasarlara bırakarak, malzeme de kırılmalara sebep olmaktadır. Termal sprej kaplamalar korozyon, abrazyon, erozyon, kazıma gibi aşınma olaylarını engellemek için, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek için, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya elektrik yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Ayrıca yenileme ve onarma, son hale yakın üretim ve yenilenebilir kaplama gibi amaçlar ile de kullanılmaktadır (Dorfman, 2012). Şekil 2.1’de termal sprej kaplama prosesinin uygulanış aşamaları verilmiştir. Son aşamadaki kaplama yapılan malzemeden de anlaşıldığı üzere malzeme orijinal özellikleriyle kalmayıp kaplama etkisi nedeniyle kalınlık miktarına göre birikim yapmaktadır.



Şekil 2.1:Termal sprej kaplama prosesinin uygulanışı (Karaman, 2009).

2.1.1.Termal Sprej Kaplamalar Prosedürleri

Termal sprej kaplama işlemi çok hızlı bir şekilde ilerleyen yüzey mühendisliği alanlarındandır. Termal sprej kaplama proseslerinde, kaplama öncesinde ve kaplama esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar ve kaplama aşamaları incelenmiştir. Kaplama, tabanca içerisinde biriktirilen malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve yüksek hızlarda altlık malzemeye gönderilmesiyle oluşmaktadır. Aynı zamanda istenilen kalınlıklarda kaplama yapılması mümkündür (Davis 2004). Termal sprej kaplama prosedürleri;

- Yüzey kaplama,
- Yüzey temizleme,
- Kumlama,
- Maskeleme,
- Kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin seçimi
- Kaplamanın yapılmasından oluşmaktadır (Davis 2004).

Yüzey kaplama, metal veya ametal malzemelere yeni bir yüzey tabakası elde etmek ve malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini artırmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Yüzey kaplama prosesi, termal spreycaplamaların temel mekanizmasıdır. Malzeme yüzeylerinde aşınmalardan, korozyondan ve oksidasyondan dolayı meydana gelen hasarların giderilmesi amacıyla erimiş partiküllerin altlık malzeme üzerine püskürtülmesi ile negatif (hasarlı) bölgelerin onarımı, yüzeyin aşınma, korozyon ve oksidasyon direncinin artırılmasını sağlamaktadır (Davis 2004).

Teknolojik uygulamaların gelişimine bağlı olarak metal ve ametal malzemelerin yüzey performanslarını artırmak için yüzey kaplama yöntemleri gün be gün gelişimini arttırmaktadır. Yüzey kaplama öncesinde yüzey hazırlama işlemi yapılmaktadır. Yüzey hazırlama ise kaplama ile altlık malzemenin yapışma mukavemetini artırmak için altlık malzemeye uygulanır. Altlık malzeme yüzeyinde bulunan istenmeyen maddelerin yüzeyden arındırılması için yüzey temizleme işlemi uygulanmaktadır (Davis 2004).

Yüzey temizleme, kaplama öncesi altlık malzeme üzerinde yer alan kir, pas, yağ, vb. gibi istenmeyen maddelerden arındırmak için yapılan işlemdir. Hızlı sökücü olarak kullanılan sıvı ve gazların potansiyel çözücüler olarak kullanılmasıdır. En önemli özelliği çözücü madde içinde çözünen bir madde olmasıdır. Düşük basınçlı suyla, yüksek sıcaklığındaki buharla veya hidrokarbon içeren kimyasallarla yapılır. Bununla birlikte kaplama tabakasının altlık yüzeyine mekanik bağlanmayı artırmak için kumlama yapılır (Uyanık, 2012).

Kumlama işlemi, plazma püskürtme yöntemi ile kaplama yapmadan önce kaplama tozunun malzemeye iyi bir birleşme yapabilmesi için kumlama işlemi uygulanır. Yüzey temizleme işleminin ardından kumlama yapılır. Kumlama işleminde SiC kumlama ortamı hazırlanmıştır. Kumlama işlemi, belirli açı aralıklarında (70-75°), belirli bir basınç ve belirli bir mesafe (65-80 mm) aralıklarında yapılır. Kumlama işleminden sonra yüzeyde kalan partiküllerin temizleme işlemi basınçlı hava ile yapılmaktadır. Altlık malzemenin yüzeyi atmosferik korozyona karşı çok daha hassastır. Bundan dolayı kaplamanın çok fazla bekletilmeden (max 4 saat) kaplama işleminin yapılması gerekmektedir. Şekil 2.2’de temsili bir kumlama ekipmanı gösterilmiştir (Meşekiran, 2015).



Şekil 2.2: Kumlama işleminin gerçekleştirildiği ekipmanın gösterimi (Meşekıran, 2015).

Maskelme işlemi, kaplamak istediğimiz malzeme üzerinde kaplama yapılmasını istemediğimiz bölgelerine erimiş partiküllerin yapışmasını önlemek için malzemenin mekanik özelliklerine zarar vermeyen macun sürülerek kapatılması işlemidir. Aynı zamanda maskelme bantları da kullanılır. Kaplanacak alanları maskelemek için birden çok metot vardır. Bunlar, metal takım ile maskelme, ısıya dayanıklı bant ile maskelme, maskelme sıvıları kullanma ve mantar ile maskelmedir (Evcin, 2006).

Kaplama yöntemini belirlerken, ilk olarak altlık malzemenin bulunduğu ortam, taşınabilirliği durumu ve nasıl bir aşınmaya maruz kaldığı tespit edilir. Kullanım amacına uygun, çevresel etkilere yaklaşımı, yüksek dayanımlı, hafif malzemelerle beraber korozyona dayanıklı ve özelliklede yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı dirençli olan malzeme tercih edilmelidir. Bu durumları tespit ettikten sonra gerekli olan malzeme seçimi ve kaplama yöntemi belirlenir. Kaplama yöntemini belirlerken malzemenin mekanik özelliklerine göre ekipman seçilmesi gerekmektedir. Dayanımı iyi malzemelere uygun bir kaplama yöntemi ve ısıtma işlemleri özellikle korozyona ve aşınmaya dayanımlı parçaların üretimi gerçekleştirilebilir. Uçak ve uzay endüstrisindeki önemli parçaların üzerinde yapılan alüminyum kaplamanın yüksek sıcaklık korozyonuna karşı daha yüksek dayanım sağladığı çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bunun gibi diğer malzemelerinde (metal, ametal, vb.) yapılan çalışmalar sonucu mekanik özellikleri belirlenmiştir (Karaoğlu, 2012).

Son olarak kaplamanın yapılması, toz veya tel halindeki kaplama malzemesinin elektrik arkı, alev veya plazma ile ergitilerek, bir püskürtme gazı yardımıyla ergimiş partikülleri altlık

malzemeye yapışma olayıdır. Ergimiş partiküller altlık yüzeyine çarptıklarında kinetik enerjilerini kaybedip deforme olurlar ve ısı enerjilerini altlık malzemeye transfer ederler. Kaplamaya yapılacak malzemenin durumuna uygun kaplama yöntemi seçilir (Dorfman, 2012).

2.1.2. Termal Sprey Kaplamaların Uygulama Alanları

Günümüzde malzeme üretimi ve üretilen malzemelerin aşınma, korozyon ve oksidasyon sorunları ile ilgili sorunlarla karşılaşırız. Bu durum karşısında çok farklı püskürtme yöntemleri geliştirilmiş ve değişik kaplama malzemesi kombinasyonları ile altlık malzemelerin özellikleri artırılmıştır. Bu püskürtme yöntemleri şunlardır:

- Isıl ve Elektriksel İletkenlik
- Elektriksel Yalıtım
- Biyo-Uyumluluk
- Şekilli Parça Üretimi
- Restorasyon ve Tamirat
- Korozyondan Koruma
- Isıl Yalıtım ve Isıl Şok Özelliği
- Aşınma Direnci ve Aşınma Mukavemetini Artırma İşlemleri (Sarıkaya, 2007).

Püskürtme yöntemlerinde ısı ve elektriksel iletkenlikte malzemeye aktarılan enerji miktarı arttıkça, akım azalmakta ve malzemedeki elektriksel iletkenlik direnci de buna bağlı olarak artmaktadır. Kinetik enerjinin bir ölçüsü olan sıcaklığın artmasıyla atomların titreşim genliği de artacaktır. Artan sıcaklık ısıya dönüşen enerji miktarı elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olacaktır. Sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik de artacaktır. Bakır kaplama proseslerinde en uygun kaplama yöntemi vakum plazma ve soğuk püskürtmedir. Vakum plazmada, kaplama ortamın havaya karşı izole edilmesiyle bakırın kaplama esnasında oksitlenmesini önler. Gümüşten sonra ısı ve elektrik iletkenliği en yüksek olan malzeme saf bakırdır. Tablo 2.1’de bazı metallere ait malzeme özellikleri verilmiştir (Sarıkaya, 2007).

Tablo 2.1: Bazı metallere ait malzeme özellikleri (Sarıkaya, 2007).

Malzeme	Isıl İletkenlik (W/m°K)	Elektrik İletkenliği (m/Ω mm)	Erime Sıcaklığı (°C)
Gümüş	429	62	960
Bakır	393	56	1083
Altın	317	45	1063
Alüminyum	220	36	659
Çelik	50	9.3	1510
Nikel	88	11	1453
Titanyum	17	1.8	1660
Alümina	35	-	2050

Püskürtme yöntemlerinde plazma gazı olarak argon ile birlikte hidrojen kullanılmaktadır. Hidrojen, bakırın ergimesi esnasında çözünür ve oluşan bakır oksitlerle birleşerek su buharı oluşturur ($\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$). Elektriksellik, statik elektrik çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır. Maddenin temel özelliği olan iletkenlik durumu, elektrik akımının iletilebilmesi veya iletilmemesidir. İletkenlik malzemenin içerisinde taşınan yüklerin sayısına bağlı olarak değişmektedir (Hummel, 2000).

Elektronik güç maddelerinde izolasyon tabakası olarak düşük elektrik iletkenliğinden dolayı alümina kullanılır. Yüksek erime sıcaklığından dolayı sadece plazma sprej yöntemiyle eritilebilir. Düşük ısıl genleşmeye sahip olmasından dolayı kaplama-altlık uyumu ve bağ mukavemetini artırmak için Ni bileşimine ihtiyaç duyulur (Sarıkaya, 2007).

Püskürtme yöntemlerinde bir diğer durum ise, alt tabaka ile kaplama arasındaki biyouyumluluktur. Biyouyumluluk günümüzde yapay kemik uygulamaları sebebiyle krom, kobalt, titanyum polimerik ve seramik alaşımlı implantlara oldukça fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle titanyum (Ti), organik bir malzeme olup diğer metallere göre daha inert ve daha hafif olması sebebiyle implant malzemesi olarak kullanımı avantaj sağlamaktadır (Munoz ve Mischler, 2011).

Titanyumun tercih edilmesinin sebebi yorulma dayanımı, kırılma tokluğu, düşük yoğunluk ve mükemmel korozyon direnci gibi birçok özelliğe sahip olmasıdır (Ivasyshyn ve Aleksandrov,

2008). Titanyum alaşımları, belirli bir akma dayanımı ve yoğunluk arasındaki etkileşime göre hafif metal alaşımlar ve Ni alaşımlar gibi malzeme türleri ile karşılaştırıldığında yüksek dayanıma sahiptirler. Ti implantların yüzeyine termal sprej yöntemleriyle uygulanan hidroksiapatit kaplama, titanyumun kemik içinde biyo uyumluluğunu artırmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle implant üretimleri için en uygun termal sprej yöntemi plazma kaplamadır (Chunxiang vd., 2011).

Termal sprej kaplama yöntemlerinde şekilli parça üretimi, PS, HVOF, CGDS ve ark sprej kaplama yöntemleri ile gerçekleştirilir. Ark sprej kaplama yöntemi ile yapılan şekilli parça üretiminde kullanılan sprej tabancası içerisine teller makarası vasıtasıyla beslenir ve istenen parametreler girilerek kaplamalar yapılır. Genellikle silindirik malzemelerin üretilmesinde çok uygun bir yöntemdir. Yöntemin amacı, dış şekli üretilecek parçanın iç şeklini oluşturarak, parçanın kaplanması sağlayan bir kalıba ihtiyaç duyulması ve işlem sonrasında kalıbın kaplanan kısmından çıkarılmasıdır. Kalıp olarak seçilecek malzeme, erime sıcaklığı çok düşük olan grafit vb. malzemeden seçilmelidir. Ayrıca, ısıl genleşme katsayısı kaplama malzemesinde çok farklı olmamalıdır (Yüksek, 2008).

Termal sprej kaplamalarda restorasyon ve tamirat, üretim esnasında malzemelerde oluşan imalat kaynaklı hasarlar veya daha sonradan malzemelerde oluşan küçük döküm hatalarının püskürtme yoluyla kapatılması işlemidir. Hasarlar birden fazla boşluklardan oluşuyorsa öncelikle bu boşluklar birleştirilir daha sonra püskürtme yöntemiyle doldurma işlemi yapılır (Sarıkaya, 2007). Termal sprej kaplamalarda korozyon ise, malzeme yüzeyinde meydana gelen ve malzemede istenmeyen durum değişikliğidir. Termal sprej kaplamalara, korozyondan koruma hususunda en çok gemicilik endüstrisinde ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü deniz suyunda, yüksek klor iyonları, yüksek nem oranı, havada ve suda bulunan mevcut oksijen içerir (Elçiçek vd., 2011).

Korozyondan koruma işlemleri anodik kaplamalar, katodik kaplamalar ve nötr kaplamalar ile sağlanır. Anodik kaplama yapılarak metaller pasif halde tutulurlar. Bu duruma korozyon akımının en düşük hal adı verilir. Anodik kaplamada, sistemde bir arıza meydana gelirse, korunan metal kısa sürede korozyona uğrayabileceğinden akım kontrolünün çok iyi yapılması gerekir. Anodik kaplama sadece pasifleşme özelliği olan Ni, Cr, Fe gibi metallere ve metal alaşımlarına uygulanabilir. Metali korozyon akımının en düşük halinde tutabilmek için çok küçük bir akım yoğunluğu yeterli olur. Fakat anodik kaplama sistemi yüksek donanım

maliyetine sahiptir (Gülensoy, 2006). Katodik kaplama ise, elektrokimyasallık teorisine dayanan bir korozyondan koruma işlemidir. Elektron alış verişinin olduğu ortamlarda düşük elektronegatifliği olan elementleri korozyondan korumak için yüksek elektronegatifliği olan elementlere dışarıdan elektron verilerek denge sağlanması durumu olarak da bilinir. Kaplama malzemesinde korozyon, altlık malzemeye göre çok daha uzun sürede gerçekleşir. Kaplama tabakası, altlık ile korozyon ortam arasında tam bir bariyer oluşturulmadıysa altlık malzemesi elektron kaybederek çözülmeye başlar. Yaygın olarak kullanım alanları, gemicilik endüstrisinde gemilerin taban yüzeylerinde ve iskele ayaklarında, petrol depolama tanklarında, yer altında bulunan iletişim ve güç kablolarında, su ve gaz dağıtım hatlarında ve birçok korozyona maruz kalan yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bıyık, 2013). Korozyondan korumanın bir diğer yöntemi ise nötr kaplamadır. Bu kaplama, seramik kaplama malzemesinin altlık malzemeye yapışma dayanımı artırmak için tercih edilmektedir. Ni bazlı malzemelerin altlık malzeme üzerine püskürtülmesiyle gerçekleştirilir (Sarıkaya, 2007).

Diğer bir püskürtme yöntemi ise, ısı yalıtım ve ısı şok özelliğidir. Bu yöntem ise, kaplamalarda taban malzemenin maruz kaldığı sıcaklığı düşürmek ve böylece parçanın daha yüksek sıcaklıklarda daha verimli olarak çalışmasını sağlamaktır. Sistemde ısı yalıtımı olarak seramik malzemeler kullanılır. Seramiğin ısı iletkenliği ne kadar düşükse üzerinden geçen ısı da o kadar az olur. Isı yalıtımı gerçekleştiren alt tabaka bağlama tabakasının üzerine kaplanan seramik tabakadır. Kaplamaların amacı ısı geçişini azaltmak olduğundan bu katman için seçilecek malzemenin düşük ısı iletkenliğe sahip olması aranır (Minisker, 2009).

Seramik katmanın oluşturulması sırasında bu iki katmanın arasında bir oksit tabakası oluşur. Isı yalıtım özelliği gösteren kaplamaların yapılması, öncelikle altlık malzeme üzerine oksidasyona dirençli, yoğun ve oksitsiz bir tampon tabaka (MCrAlY) ve bu tabakanın üzerine 125 ile 1000 µm kalınlığında ısı yalıtım ve ısı şok özelliği olan seramik esaslı başka bir tabaka atılarak yapılır (Minisker, 2009).

Termal sprej kaplamalarda aşınma direncinin, kaplamaların sertlikleriyle sınırlı olduğu bilinmektedir. Elde edilen en yüksek aşınma direnci sertlikle doğrusal olarak artmaktadır. Aşınma miktarı ise malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır. Malzeme yüzeylerine bakıldığında sorunsuz görünen malzeme yapısına SEM ile bakıldığında aslında malzeme yüzeyinde kılcal aşınmaların başladığı görülür. Aşınmış yüzeylerin termal sprej yöntemleriyle kaplanması

yüzeyin aşınma direncini artırır. Termal spreyci kaplama işlemi sırasında oluşan boşluklar, sürtünmeden kaynaklanan kayıpları azaltır. Ayrıca, düşük aşınma direncine sahip taban malzemeler üzerine termal spreyci yöntemleri kullanılarak çeşitli malzemeler kaplanabilir (Qiao vd., 2000).

Aşınma mukavemetini artırmak, malzemenin kimyasal içerikleri ve temas yüzeylerinin sertliği aşınmayı etkileyen önemli parametrelerin başında gelmektedir. Malzemelerde aşınmayı azaltmak için malzemenin korozyona karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Malzeme yüzeyinin pürüzlü olması aşınmayı hızlandırır. Malzemede pürüzlülük istenmeyen bir durum olduğu için aşınma olayını azaltmak için bazı önlemlerin alınması gerekir. Aşınmaya etki eden faktörlerden bazıları aşağıda verilmiştir (Sarıkaya, 2007; Özmen vd., 1991);

- Malzeme Seçimi
- Pürüzlülük
- Sertlik
- Tane Boyutu
- Malzeme Boyutu
- Yüzey İşlemleri
- Sıcaklık
- Çevre
- Nem
- Yağlama

Aşınmaya etki eden faktörlerin en başında malzeme seçimi gelmektedir. Malzeme seçiminde, aşınma dayanımı artırmak için birbiriyle temas halinde çalışacak olan parçaların malzemelerinin farklı seçilmesi gerekmektedir. Malzemelerin aynı olması birbirleriyle kaynak yapma durumu yüksek olduğundan aşınmayı olumsuz etkilemektedir. Farklı malzemelerde ise, kaynak yapma durumu düşük olduğundan adhezyon aşınmasını olumlu yönde etkileyecektir (Sarıkaya, 2007).

Aşınmaya etki eden faktörlerden pürüzlülük, aşınma miktarının artması, genellikle yüzey pürüzlülüğü arttıkça yükün taşıdığı gerçek alanın azalmasıyla meydana gelmektedir. Genellikle pürüzlü yüzeyler daha hızlı aşınma katsayısına sahipken, pürüzsüz yüzeyler daha yüksek

sürtünme katsayılarına sahiptir. Aşınma oranının azalması, sürtünme hareketinin yönünün pürüzlülük yönüne dik olması durumlarında görülmektedir. Termal sprey kaplamalarda kullanılan malzemenin sertliği de önemlidir (De Garmo vd, 2011).

Malzemenin sertliği, aşınma direncinin artırılmasıyla doğru orantılıdır. Sertleştirilmemiş malzemenin yüzeyinde deformasyon sertleşmesine bağlı mikro bölgeler oluşur. Bu bölgelerde esneklik söz konusu olmayıp, kopma meydana gelir. Aşınma dayanımını artırmak için, ısıl işlemle yüzey sertleştirme yapılarak dayanımı artırılır (Keskin, 2012).

Aşınmaya etki eden bir diğer faktör ise, tane boyutudur. Tane boyutu tane sınırı yüzeyinin miktarı, metallerin dayanımı üzerinde çok etkili olduğundan, metallerde tane boyutu önemlidir. Aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden birisi de malzemenin kristal yapısıdır. Sayısal çalışmalarda tane boyutu küçük olan malzemelerin aşınma direncinin düşük olduğu görülürken, kalın tane boyutuna sahip malzemelerin aşınma dirençleri daha iyi olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda tane sınırı kayması olduğundan dolayı, tane sınırları metallerde zayıf bölgeleri oluşturur (Wang vd, 2000). Tane boyutu gibi malzeme boyutunun da aşınma üzerindeki etkisi önemlidir.

Malzeme boyutu, geometrik şekline göre değişmektedir. Aşınma durumu ve plastik deformasyon durumu ele alındığında ideal daireye yakın olan malzemelerin daha az aşındığı ve mevcut şeklini koruduğu tespit edilmiştir (Sarıkaya, 2007).

Aşınma direncini en çok etkileyen durum malzemelerin yüzey yapısıdır. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra sürtünme, aşınma, oksidasyon ve korozyon özellikleri de geliştirilmektedir. Sürtünerek çalışan makina elemanlarında belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır (Sarica, 2005).

Sıcaklığın aşınma üzerindeki etkisi ise, malzemelerin sürtünen yüzeylerinde meydana gelen sıcaklığın artmasıyla yüzey sertliğinde de azalma meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak, sıcaklığın belli bir dereceye kadar artmasında aşınma söz konusunun olmadığı, belirli bir dereceden sonra aşınmanın arttığı söylenebilir.

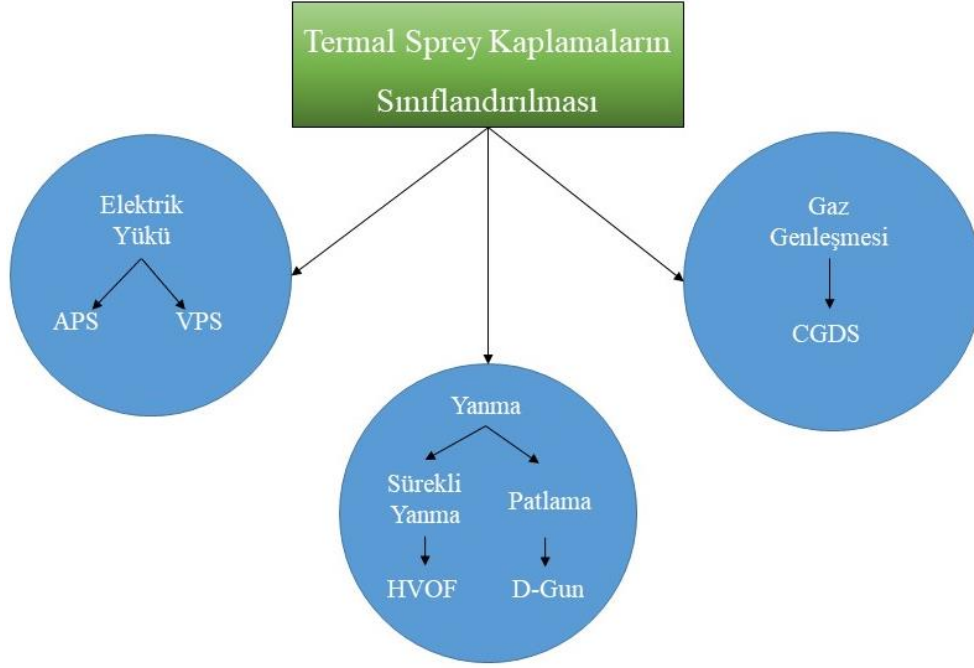
Aşınmanın etkili olduğu yerlerde genellikle seramik malzemeler tercih edilir. Çünkü seramik malzemelerin, yüksek sıcaklıktaki mukavemet ve sertlikleri, korozyona karşı dirençleri ve yorulma dirençleri yüksektir. Seramik yüzeyler üzerinde bulunan adsorbanların aşınmadaki etkisi çok önemlidir (Baş, vd., 2003; Keskin, 2012).

Aşınmaya etki eden faktörlerden bir tanesi de çevre şartlarıdır. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasının sebebi atmosferde bulunan oksijendir. Oksit oranını düşürmek için soy gaz kullanılır. Bu oksit tabakaların kopmasıyla metaller arası temas oluşur ve malzeme aşınmaya uğrar. Bu aşınma türüne ise “adhezyon aşınma” denir. Atmosferdeki bağıl nem oranı da aşınmayı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bağıl nem oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalmaktadır ve buna bağlı olarak aşınma miktarı düşmektedir (Keskin, 2012).

Malzemelerin aşınmasında karşı alınabilecek en etkili, en ekonomik ve en kolay yöntem yağlamadır. Yağlamanın görevi sürtünen yüzeyler arasındaki etkileşimi sağlamaktır. Kullanılan yağlarda dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar, kayma mukavemetinin düşük olması, oksit tabakası oluşturmaması, mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıklardan etkilenmemesi ve bunun gibi birçok hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Sarıkaya,2007).

2.2.Termal Sprey Kaplama Yöntemleri

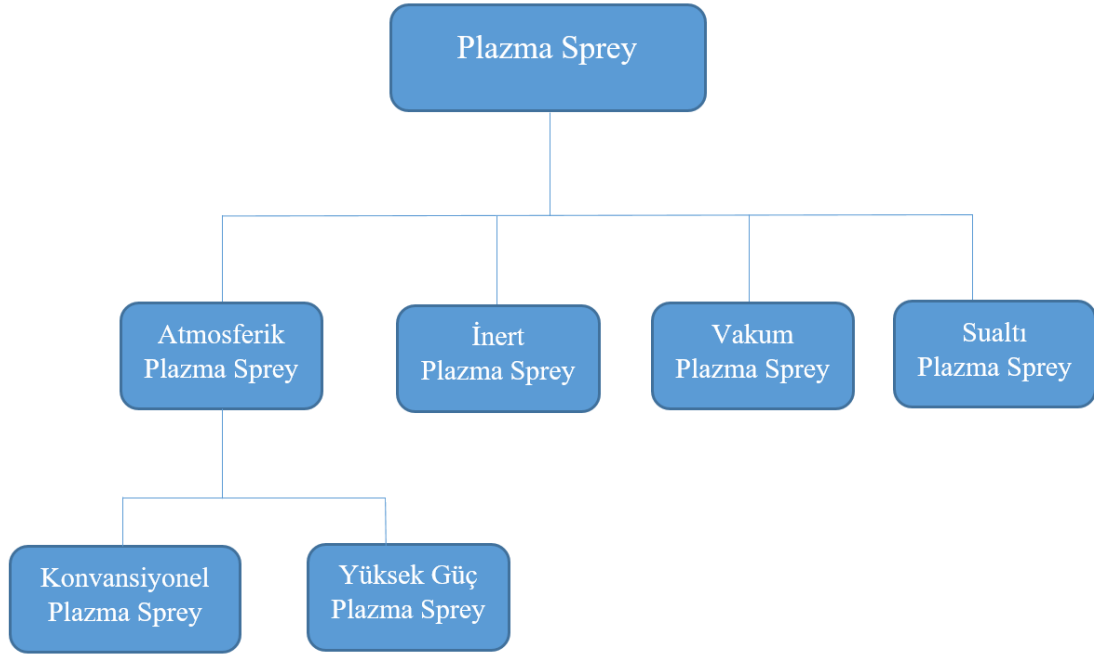
Şekil 2.3’de termal sprej kaplamaların sınıflandırılması verilmektedir. Bu sınıflandırmalar TBC’lerde kullanılan yöntemlere göre yapıldığından ayrıntıya inilmemiştir.



Şekil 2.3:Termal sprej kaplamaların sınıflandırılması (Karaoğlu, 2012).

2.2.1. Plazma Sprej Kaplamalar (PS)

Plazma sprej kaplama yöntemleri, metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve ısıya dayanıklı hale getirilmesinde yaygın olarak kullanılan termal sprej kaplama yöntemidir. PS kaplamalar ile birçok malzeme grubunu kolaylıkla kaplamak mümkündür. Bu yöntemle gerçekleştirilen seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptirler. Bu nedenle, aşınma ve erozyon dirençli uygulamalarda bu yöntem kullanılmaktadır. Kaplama prosesleri içinde en geniş skalaya sahip kaplama yöntemi PS kaplamalardır. Oluşturulan plazma ile çok yüksek sıcaklıklara erişildiğinden bilinen tüm malzemeler rahatlıkla uygun şartlarda ertilebilmektedir (Mostaghimi ve Chandra, 2007). Şekil 2.4’de plazma sprej kaplama yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılan iki tip sprej kaplama yöntemi vardır. Bunlardan birincisi APS, ikincisi ise LPPS ya da VPS olarak adlandırılan yöntemlerdir.



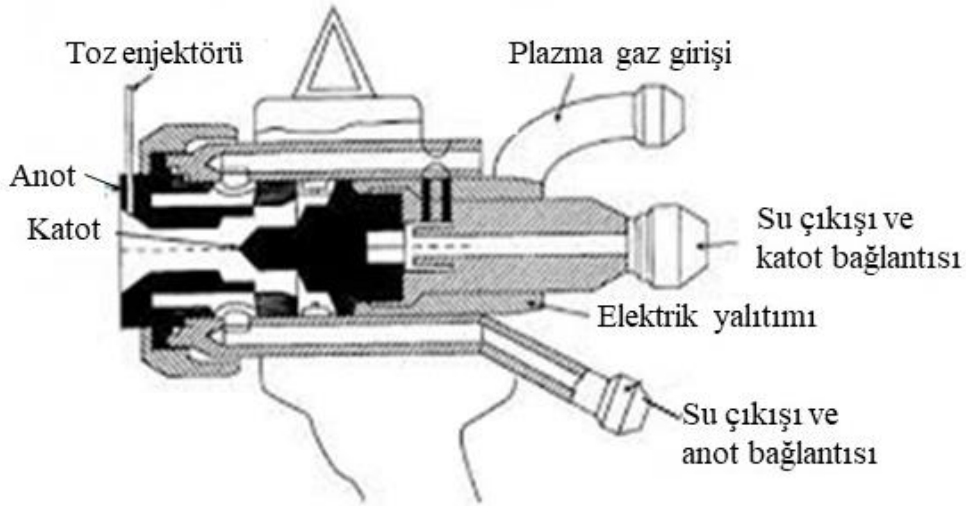
Şekil 2.4: Plazma Sprey Kaplama Yöntemleri (Evcin, 2006).

Şekil 2.5’de plazma sprej kaplama yönteminin şematik hali gösterilmiştir. Kaplama kalitesi plazma sprej sistemindeki pek çok değişkene bağlıdır. Bu değişkenlerden bahsedecek olursak;

- Kaplanacak yüzeydeki soğuma,
- Plazma tabancası ile kaplama yüzeyi arasındaki mesafe,
- Kaplama yüzey üzerindeki iç gerilmeler,
- Püskürtülen tozların ergime durumları ve yüzeye çarpan parçacıkların hızı,
- Karşılıklı ısılatma ve akışkanlık davranışları şeklindedir (Aydınlı, 2008).

Plazma püskürtmenin avantajları şunlardır:

- Korozyon koruması,
- Aşınma direnci,
- Boşluk kontrolü – aşındırıcılar ve aşınacak malzemeler,
- Isı ve oksidasyon direnci,
- Sıcaklık yönetimi,
- Elektrik direnci ve iletkenlik (Kaya vd., 2017).



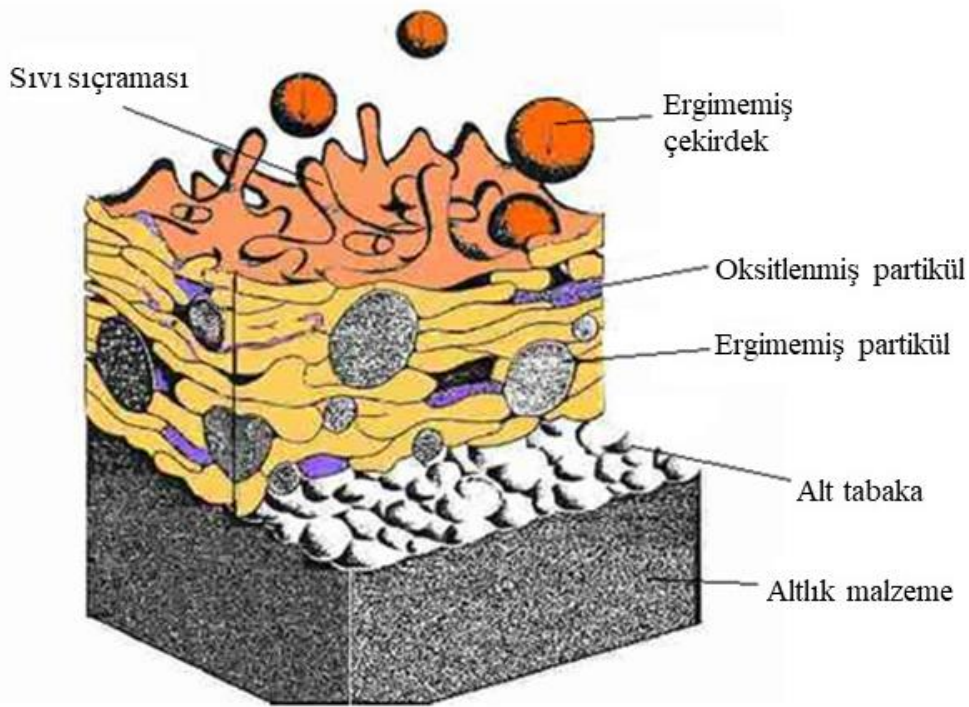
Şekil 2.6: Plazma tabancası kesiti (Karaoğlu ve Türk, 2013).

2.2.1.1. Atmosferik Plazma Sprey Kaplama Yöntemi (APS)

Plazma kaplama yönteminin atmosfere açık ortamda yapılması durumu, atmosferik plazma sprej (APS) olarak adlandırılır. Bu yöntemde kaplama işlemi atmosfere açık bir şekilde yapılır. Sprej partikülleri üfleçten çıkıp kaplanacak malzemeye ulaşana kadar çevre ile reaksiyona girer. Bu yöntem ile toz haldeki kaplama malzemesi plazma jeti ile ertilir ve diğer plazma yöntemlerine göre en ekonomik kaplama yöntemidir. Laboratuvarlarda yapılan plazma çalışmaları, düşük basınç altında gerçekleştirilir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla oda sıcaklığında gaz durumunda bulunan hidrojen, helyum, azot ve argon gazları kullanılmaktadır. Üretimde en çok argon gazı kullanılmaktadır. Kaplama boyunca elektrotlar arası argon gazı akmaktadır (Altuncu, 2011). Ark akımının bu seviyesiyle, yüksek ertime noktalı malzemelerin ertilmesi de çok yüksek hızlarda mümkün olmaktadır. Bu yüzden hızlandırma amacıyla ikincil gaz olarak Hidrojen kullanılmaktadır. Hidrojen ilavesi ile daha yüksek entalpi ve daha yüksek plazma sıcaklığına ulaşılır. Ayrışan hidrojen atomlarının tekrar bir araya gelip molekül olması, artan entalpi sayesinde sağlanmış olmaktadır.

Hidrojenin tekrar birleşmesi ($2H^+ + e = 2H = H_2$), argonun tekrar birleşmesi sonucu ($Ar^+ + e = A$) açığa çıkan enerjinin 5 katıdır. Akan iyonize olmuş gazlar, elektronların birleşmesiyle elektriksel olarak nötr olan sıcak bir bulutta plazmayı üretmektedir. Plazmanın özelliklerinden bir tanesi de sıcaklığın merkezden plazma jetinin dış çevresine hızlı bir şekilde düşmesidir. Herhangi bir korumaya gerek duyulmamaktadır ve plazma jeti besleme stokunda toz formda olan kaplama malzemesini ertirir (Bose, 2007).

Bakır katot çubuk (-) ile tabanca eksenini boyunca yerleştirilmiş toryumlu tungsten ve su soğutmalı bakır anot (+) arasında direk akım ile elektrik arkı oluşturulur. Toryumlu tungsten kullanımı katodun aşınmasını zorlaştırmaktadır. 3 ile 15 cm arasında bir uzunluğa sahip olan plazma elektrot şekline, güç girişine, gaz basıncı dağılımına bağlı olarak değişir. Plazma içindeki gazın hızı birkaç yüz ile 1000 m/s arasında değişmektedir (Bose, 2007). Plazma tabancasına 40 kW güç uygulandığında nozulun hemen dışında 15000 K' den daha yüksek sıcaklığa çıkmaktadır. Taşıyıcı gaz atmosferinde ince kaplama tozlarının plazma jetine enjekte edilerek ısıtılıp, hızlandırılması sonucu “kaplama” oluşur. Sonrasında ise yüksek hızlı ergimiş partiküller çok hızlı şekilde katılaşarak camsı fazda altlık yüzeye birikmektedir. Bu yassı tabakalı partiküller altlık üzerinde üst üste birikmesiyle kaplama meydana gelmektedir. Kaplama yapısı birbirine bağlanmış yaklaşık %30 porozite içeren lamellerden meydana gelmektedir. Plazma jetinde sıcaklık oranı yaklaşık olarak 15000 K ve daha üstündeki değerlere ulaştığından, birçok malzeme (metal, seramik, sermet) grubunu kaplama olarak biriktirmek mümkündür (Karaoğlu ve Türk, 2013). Şekil 2.7’de plazma sprey yöntemi ile kaplanan bir altlık malzemenin temsili resmi verilmiştir.

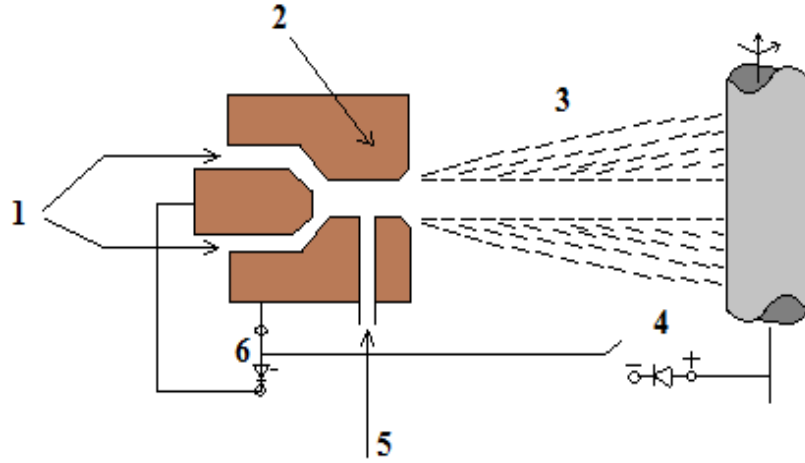


Şekil 2.7: Plazma sprey ile kaplanmış bir malzemenin şematik gösterimi (Sarhan vd., 2017).

APS yöntemi ile üretilen kaplamaların yüksek oranlarda oksit ve porozite içeren bir kaplama yapısına sahip olduğu bilinir ve ayrıca endüstride yaygın olarak uygulanmaktadır. Özellikle havacılık sektöründe yüksek talepten dolayı prosesin gelişimi hızla devam etmektedir (Fauchais, 2004).

2.2.1.2. Vakum Plazma Sprey Kaplama Yöntemi (VPS)

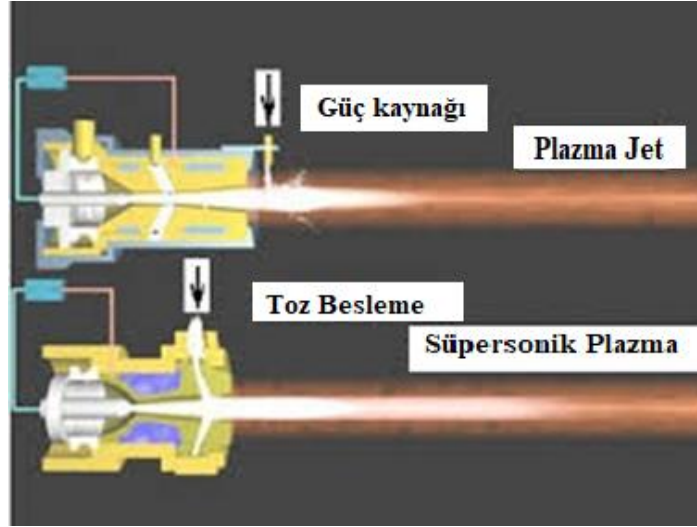
Vakum plazma sprej kaplama, vakum altında veya düşük basınçlı gaz ortamında gerçekleştirilir. Bu proses düşük basınçlı plazma sprej (LPPS) kaplama olarak da bilinir (Altuncu, 2011; Özgürlük, 2016). Bu proses düşük basınçlı özel odalarda gerçekleştirilmektedir. VPS yönteminde, ortamda oksijen bulunmadığından dolayı oksit içeriği yok denecek kadar olmayan kaplamaların üretilmesi sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak vakum altında yapılan kaplamalarda, spreye direnç gösterecek bir gaz bulunmadığından kaplama yapısında çok düşük gözenek oranlarına ulaşılabilir. Bazı kaplama yöntemlerine göre pahalı olması sebebiyle sistemsel olarak dezavantaja sahiptir (Karaoğlu, 2012). VPS yöntemi genellikle malzemelerin sıcak korozyona karşı daha dayanıklı olması için tercih edilir. Diğer kaplama yöntemlerinden farklı olarak vakum altında yapılan bu yöntemde, kaplama esnasında vakum durumunu meydana getirmek ve bu durumda sabit tutmak çok güç bir durumdur ve buda VPS kaplama yönteminin en büyük sorunlarından birisidir. Vakum sabit şartlarda tutulursa, sızdırmazlık sağlanmış olur ki buda VPS kaplama prosesinin sonuçlarının iyi seviyede olduğunun göstergesidir (Davis, 2004). Partikül boyut aralığı 5-20 μm 'de değişirken sprej mesafesi 300-400 mm arasında değişim sağlar. Elektronun sıcaklık değeri ise 10000 K ile 15000 K arasında değişmektedir. VPS kaplama üretimi, 80 kW üzerindeki güçlerde yapılmaktadır (Pawloski, 2008). VPS kaplama yöntemi, 50 μm den düşük kaplama kalınlıkları elde edilmesi sonucu ekonomik ve teknik olarak PVD-CVD gibi birçok metotların yerine tercih edildiği görülmüştür. VPS kaplama yöntemi özellikle gaz türbinlerinde sıcak korozyona direnç sağlamak amacıyla aktif olarak kullanılmaktadır (Davis, 2004). Şekil 2.8'de VPS yönteminin şematik gösterimi verilmiştir (Pawloski, 2008).



Şekil 2.8: VPS işleminin şematik gösterimi; 1) çalışma gazları girişi, 2) anot, 3) vakum çemberi, 4) ark üretici, 5) toz giriş kısmı, 6) plazma üretici (Pawloski, 2008).

2.2.1.3. Süpersonik Plazma Sprey Kaplama Yöntemi (SAPS)

SAPS, metalik veya seramik malzemelerin hazırlanmış bir alt tabaka üzerinde erimiş veya yarı erimiş halde bırakıldığı yüksek verimli bir kaplama yöntemidir. APS'nin aksine, SAPS'daki plazma jetinin ve parçacıkların hızı, meme çıkışından 100 mm'lik normal püskürtme mesafesinde sırasıyla 500 m/s ve 2400 m/s'de değişiklik gösterir. Kısa süre içerisinde, parçacık hızlı bir şekilde ısıtılır ve hızlandırılır, kısmen veya tamamen eritilmiş damlacıklar bir spreyi oluşturur. Bu işlem, hazır malzemenin üzerinde katı madde çarpması, yayılması ve katılaştırılmasını kolaylaştırır (Zhu vd., 2005). Şekil 2.9'da gösterildiği gibi SAPS kaplamalarda katı parçacıklar plazmaya enjekte edilir ve nozul iç kısmının aşağısına yerleştirilmiş olan bir enjektör içinden püskürtülür (Zhu ve Xu, 2007).



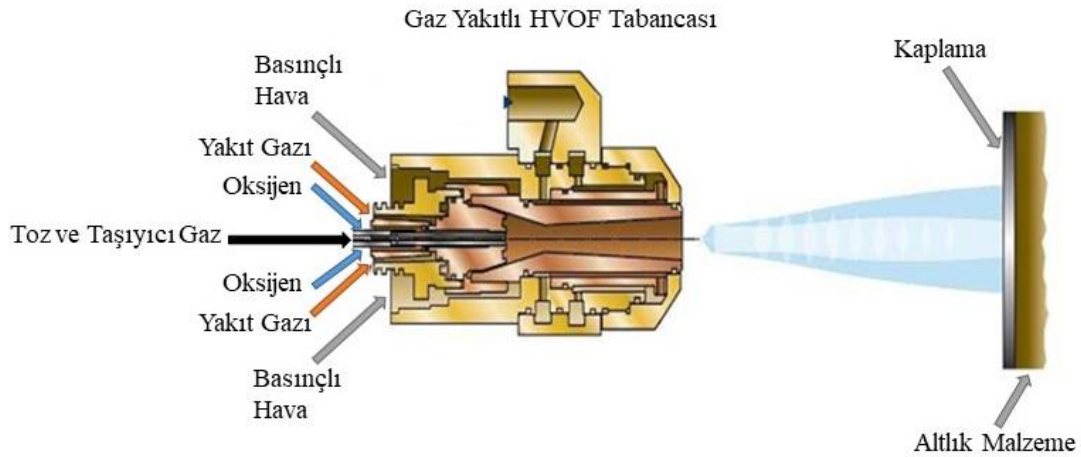
Şekil 2.9: SAPS kaplama sistemi tasarımı (Zhu ve Xu, 2007).

Tabancanın yapısı, soğutma suyu kanallarını mükemmel bir şekilde kaplama yapmak için özel olarak tasarlanmıştır. Termal sıkıştırma etkisi ve güçlü girdap stabilizasyon etkisi ile gaz kanalları stabilize daraltılmış süpersonik plazma jeti üretilebilir. Çalışma gazları vorteks halkası yoluyla enjekte edilir, böylece yayı sıkıştırılır ve tabancanın ömrünü uzatırlar. İçinde toz parçacıklarını yeterince ısıtmak ve hızlandırmak için iç toz beslemesi enjekte edilir (Zhu ve Xu, 2007). Parçacıklar, plazma jet çekirdeğine nüfuz ettiğinde, öncelikle ısıtılır ve hızlandırılır. Sonra, plazma tüylerinde, yavaşlarlar ve yavaş yavaş soğurlar. Yüksek Plazma jetindeki gradyanlar nedeniyle, farklı yörüngeleri takip eden partiküllerin farklı ivmeleri ve ısıtma geçmişi olacaktır. Parçacıklar ve plazma jeti, kaplamayı belirleyen kritik faktördür. Alt tabaka üzerinde partiküle bağlı olan özellikler sıcaklık, hız ve erime durumudur. Uçuş partikülünün hızı doğrudan çalışma gazının akış hızı tarafından belirlenir ve uçuş sırasında olan partikülün yüzey sıcaklığı yardımıyla etkilenir (Fang vd., 2007). Plazma ve partikül arasında enerji birleşmesi ve momentum transferi sırasında birikme verimliliği, gözeneklilik ve mikroyapı uyarıları önemli etkidir. Parçacık özelliklerinin kontrolü için en uygun işlem parametreleri önemlidir. Toz kontrolünde enjeksiyon ayrıca kaplama özellikleri üzerinde önemli rol oynar. Nasıl yapıldığını araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Toz bileşimi, partikül boyut dağılımı, enjektör boyutu ve malzemenin şekli kaplama özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Parçacık morfolojisi, toz üretim teknikleri ile ilgili olarak pnömatik beslemede önemli rol oynar. Özellikle yüksek sıcaklıklarda hem enjeksiyon yöntemi hem de parçacıkların homojenliği, kaplama için anahtar parametrelerdir.

Parçacıkların, akış ve sıcaklık alanlarını araştırmak için ve uçuş davranışını analiz etmek için sayısal yöntem kullanılır (Guessasma vd., 2005).

2.2.2. Yüksek Hızlı-Oksi Alev Kaplama Yöntemi (HVOF)

En önemli termal spreyci kaplama yöntemlerinden bir tanesi de HVOF'dur. Çok yüksek püskürtme hızı elde edebilmek için Union Carbide tarafından icat edilen 1958-1980 yılları arasında geliştirilmiş bir yöntemdir. Yanıcı gaz olarak kullanılan propan, propilen, asetilen kerosen ve hidrojen içermektedir (Davis, 2004). Bu bileşenler Şekil 2.10'da temsili olarak gösterilen HVOF tabancası içerisindeki bir odada alev ile püskürtme işleminde kullanılandan çok yüksek basınçlarda patlatılır.



Şekil 2.10: HVOF yönteminin şematik görüntüsü (Özbek ve Kayral, 2017).

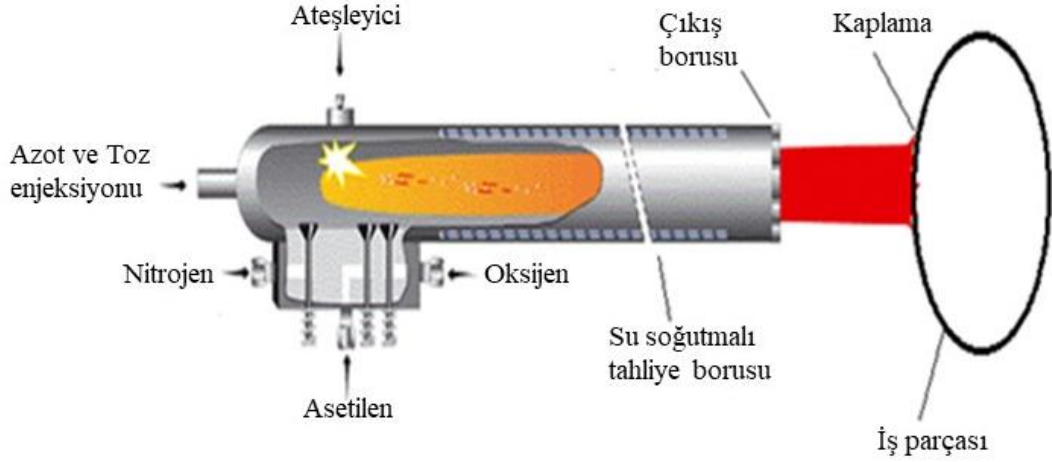
Bu yöntemde yanıcı ve yakıcı gazın birleşimi HVOF tabancası içerisinde gerçekleşmektedir. Tabanca içerisinde genişleyen gaz jetinin nozul yardımı süpersonik hızlara ulaşır ve çıkış hızı 1825 m/s'dir (Davis, 2004). Bu da kaplama tabakasını meydana getirecek tozun jete eklenmesi ile ses üstü (550–800m/sn) bir hızda kaplama işlemi gerçekleştirilir. Ergime sıcaklığının 3000 K'ni geçmeyen malzemeler bu yöntemde kaplama malzemesi olarak kullanılır (Zağlı, 2010). HVOF ile elde edilen kaplamalar yüksek spreyci partikül hızlarının elde edilmesi sebebiyle çok az porozite içermekte ve yüksek yoğunluğa sahip olmaktadır. Bu yöntemdeki porozite yüzdeleri %1'in altına inebilmektedir (Lıma ve Marple, 2007). Yapışma mukavemeti ise 83 MPa'nın üzerine çıkabilmektedir. HVOF çok iyi yapışma

sağlar ve kaplama kalitesi yüksektir. Bütün metaller ve metalik alaşımlar bu yöntem kullanılarak kaplanabilir (Davis, 2004; Karaoğlanlı, 2012).

2.2.3. Detonasyon Tabancalı (D-Gun) Sprey Kaplama Yöntemi

D-Gun olarak isimlendirilen detonasyon tabancalı sprej kaplama yöntemi, patlamalı alev püskürtme olarak da bilinir. Patlama alev püskürtme, aralıklı bir püskürtme işlemidir. Püskürtme işlemi özel tasarlanmış tabanca ile yapılır. Tabanca içerisine asetilen, oksijen ve sprej tozu karışımı, yanma odasına gönderilir ve bir kıvılcım kullanılarak patlatılır. Boruda üretilen şok dalgası püskürtme parçacıklarını hızlandırır. Bunlar daha sonra alevin önünde ısıtılır ve hazırlanan iş parçası yüzeyine odaklı bir jetle yüksek hızda sürülür. Bu sprej kaplamaların çok yüksek kalite standardı, genellikle bu proseste yer alan yüksek maliyetleri haklı çıkarmaktadır (Kahraman, 2000).

D-Gun kaplama yöntemiyle, kinetik enerjiye sahip kontrollü bir patlama oluşur ve elektriksel olarak ateşlenir. Bu yüksek kinetik enerji, parçacıkların kaplanan yüzeye çarpmaları sırasında kısmen ısıya dönüşür ve böylece parça yüzeyi ile çarpan damlacıklar arasında kaynaklama olayı gerçekleşir. D-Gun kaplama yöntemi ile yüzey sertliği 50-60 HRC'den daha yüksek sertliğe sahip tüm malzemeler kaplanabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı metalik olmayan altlık malzemeler kaplanamazlar. Çünkü gaz akışının yüksek olması sebebiyle, yüksek erozyona neden olmaktadır (Özel, 2013). Gücünü elektrikten alan asetilen-oksijen gaz saniyede 4 ile 8 defa patlatılır. Bu işlem yapılmadan önce sistemde bulunan azot sistemin dışarısına atılır. Her patlamadan sonra, yanma odası ve boru azot ile temizlenir (Davis, 2004). Şekil 2.11'de D-Gun sprej kaplama yöntemi şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.11: D-Gun sprej kaplama yönteminin gösterimi.

Yanma odası içindeki gaz karışımı basit bir buji yardımıyla ateşlemeyi gerçekleştirir ve gaz karışımının yanması sonucu yüksek basınç şok dalgaları oluşturur. Oranına bağlı olarak yanma gazları, sıcak gaz akımının sıcaklığını 4000 °C' ye kadar çıkabilir ve şok dalgasının hızı 3500 m/sn'ye ulaşabilir. Patlamada üretilen sıcak gazlar tabanca ucundan yüksek bir hızla aşağıya doğru hareket eder ve işlem sırasında parçacıkları bir plastikleştirme aşaması getirir ve partiküllerin hızı 1200 m/sn'dir. Sıcak toz parçacıklarının yüksek kinetik enerjisi, alt tabaka ile çok yoğun ve kuvvetli bir kaplama oluşmasına neden olur. Kaplama kalınlığı atış başına iş parçası üzerinde geliştirilen yanma gazları, toz parçacık oranına bağlıdır. İstenilen kaplama kalınlığına ve kaplama malzemesinin tipine bağlı olarak patlama püskürtme çevrimi saniyede 1-10 atış oranında tekrarlanabilir. Oda sonunda geri kalan tüm sıcak toz parçacıklarını odadan çıkarmak için tekrar azotla temizlenir. Azot ile temizlenme yapılmadığı takdir de patlayıcı karışımı düzensiz bir şekilde patlatabilir ve kontrolsüz bir süreç oluşur. İstenilen kaplama kalınlığı birikene kadar belirli bir frekansta tekrarlanır (Singh, vd., 2012). Detonasyon püskürtmede sadece, tane büyüklükleri tam olarak bilinen (tane büyüklüğü 5 ila 60 μm) tozlar kullanılır (Kahraman, 2009).

D-Gun sprej kaplama yöntemini diğer kaplama yöntemlerinde ayıran önemli özellikleri şunlardır:

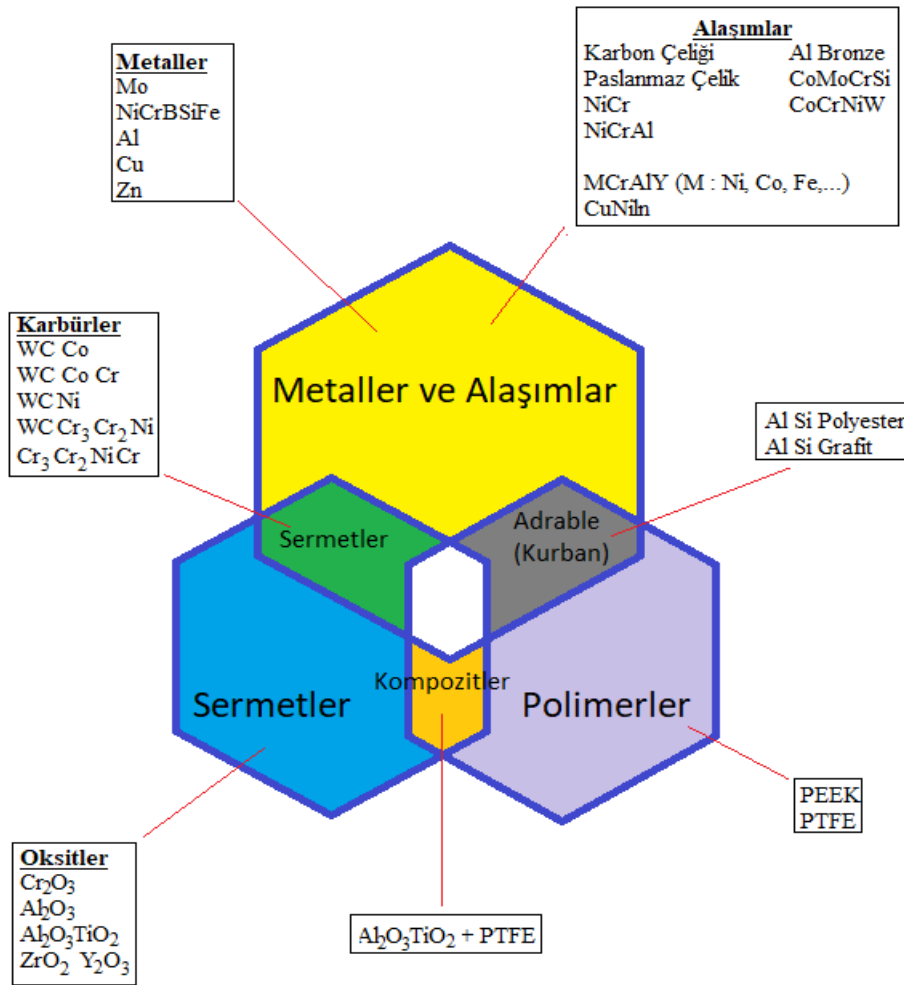
- Yaklaşık 1-1,5 m boyunda ivmeleme borusuna sahiptir.
- Gücünü elektrikten alan oksijen-asetilen gazı saniyede 4 ile 8 defa patlatılır (Davis, 2004;Meşekıran,2015).

- Kaplamalar çok sert, temiz ve yoğundur.
- Kaplamalar düşük sıkıştırma gerilmelerine sahiptir.
- Kaplamalar çok yüksek yapışma dayanımına sahiptir.
- Kaplamalar çok az oksit içeriğine sahiptir.
- Kaplama özellikleri birçok kaplama yöntemine göre çok üstün yapıya sahiptir (Dorfman, 2012).

Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor parçacıklarının korunmasında ve malzeme ömrünü arttırılmasında, tekstil makine parçaları, kâğıt ve plastik sanayiinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda bu yöntem uygulanmaktadır (Yeşildal ve Günay, 2007; Dorfman 2012; Meşekıran, 2015).

2.3. Termal Sprey Kaplamaların Aşınma Dayanımı Amaçlı Olarak Kullanılması

Günümüzde termal sprey kaplamalara özellikle malzemelerin korozyon, oksidasyon ve aşınma gibi hasar oluşumlarını engellemek amacıyla ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan makine elemanlarının en büyük sorunu malzeme üzerine oluşan aşınmalardır. Malzeme üzerinde oluşan bu aşınmalar gün geçtikçe ciddi hasarlara sebep olur ki buda malzeme de kırılmalara sebep olmaktadır. Termal sprey kaplamalar için, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek için, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya elektrik yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Yenileme ve onarma, son hale yakın üretim, yenilenebilir kaplama ve dekoratif amaçlarla da kullanılabilir (Dorfman, 2012). Aşınma dayanımı artırmak için birçok üst kaplama tipleri mevcuttur. Şekil 2.12’de kullanılan kaplama malzemelerinin genel gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.12: Termal spreyci uygulamalarında kullanım bulan ara yüzey ve üst yüzey kaplama malzemeleri (Özel, 2013).

2.3.1. MCrAlY İçerikli Metalik Bağ Kaplamaları

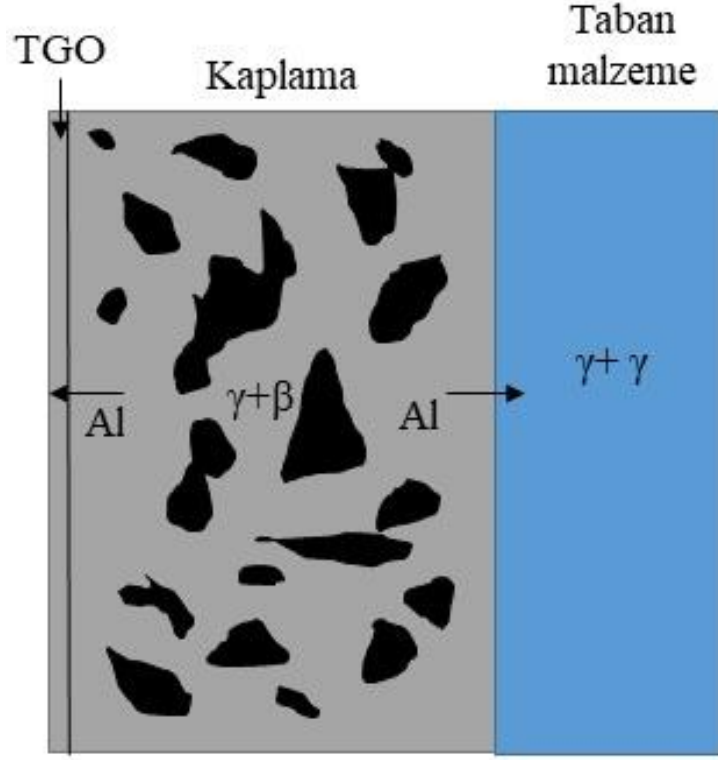
Gaz türbin üreticileri yüksek çalışma sıcaklıklarında verimliliği artırmak için detaylı araştırmalar ve yatırımlar yapmaktadırlar. Yüksek sıcaklıklarda oksidasyona dirençli MCrAlY (M = Ni, Co) kaplamaları, metalik alt tabakaları oksidasyondan korumak ve geliştirmek için kullanılır. Baz alaşımın bileşiminde veya küçük değişiklikler yapılması bile MCrAlY kaplama, faz dengelerini ve interdifüzyon özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. MCrAlY de bulunan M harfi kobalt (Co) veya nikel (Ni) ya da bunların bir kombinasyonunu içerir. Demir (Fe) genellikle kaplanacak altlık malzeme olarak kullanılmaktadır. Kobalt alt tabanlı MCrAlY malzemelerinin korozyon direnci çok yüksektir. Kaplamayı, özellikle sıcaklık korozyonuna karşı dirençli tutan malzeme içindeki

krom (Cr)'dur (Sivakumar, 1989; Minisker, 2009). Nikel bazlı alaşımlar, sert ortamlarda, özellikle türbin motorlarının sıcak bölümlerinde, ısı yorulma, çatlama gibi problemleri önlemek amacıyla kullanılır. Gaz giriş sıcaklığını arttırarak türbin, oksidasyon ve aşınma olaylarını arttırır. Bu nedenle, kullanılan bileşenlerin ömrünü uzatmak ve mekanik özelliklerini korumak için çeşitli kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Performansı arttırmak için yüksek sıcaklıklara dayanıklı, kaplama yapısına uygun kaplamaların kullanılması gerekmektedir. Kaplamalarda oksitlenme direnci alüminyum ile arttırılır. MCrAlY da bulunan alüminyum oranı kütlece %10-12 civarında iken %1 oranında itriyum (Y) içerir (Sivakumar, 1989; Minisker, 2009).

Alüminyumun oksijenle temas halinde olması Al_2O_3 oluşumunun başlamasına sebep olacaktır. Yüksek sıcaklıklara bağlı olarak ara yüzeyde Al oksitlenmeye başlayacaktır. Alüminyumun azalmasıyla, oksijenin miktarında artış meydana gelecektir. Bu da termal büyüyen oksit tabakasında kalınlaşmanın meydana gelmesine sebep olacaktır (Bose, 2007; Meşekıran, 2015).

Termal büyüyen oksit tabakası (TGO), metalik bağ kaplama ile üst kaplama arasında bulunan ince bir kesiti ifade etmektedir. TGO yapısının tercih edilmesi, içerisinde $\alpha-Al_2O_3$ bulundurması ve MCrAlY içerikli metalik bağ kaplamaların içerisinde bulunan elementlerden oksijene en fazla ilgisi olan elementin Al olmasıdır (Young, 2008). Ağırlıkça %8 ila %15 arasındaki bir Al içeriği olan, termal olarak kararlı, yapışkan ve sürekli oksit tabakası ($\alpha-Al_2O_3$), yüksek sıcaklıklarda yavaş büyümeye izin verir ve oksit tabakasının alt altlık malzemeye yapışması, biriktirme işleminden önce alaşımdaki Y dağılımından etkilenmektedir (Marginean ve Utu, 2012).

MCrAlY kaplamalar genellikle iki fazlı bir yapı gösterir, $\beta+\gamma$. γ fazı kaplamanın sünekliğini arttırarak termal yorulma direncini yükseltir. $\beta-NiAl$ fazı içerisindeki alüminyum yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla birlikte taban malzemeye ve TGO içerisine doğru difüze olur. Şekil 2.13'de altlık malzeme, metalik bağ kaplama ve üst yüzeyden oksijenin ara yüzeye penetre olması ve Al'un difüzyonu ile birlikte oluşan TGO tabakası gösterilmektedir. MCrAlY kaplamaların termal püskürtme sırasında oksijen almaya eğilimli olması nedeniyle, genellikle düşük basınçta inert gaz koşullarında üretilmektedir. Atmosferik koşullarda plazma püskürtme oksijen alımını sınırlandırmanın ve elde etmenin mümkün olması durumunda düşük maliyetli bir alternatiftir (Richard, 1996).

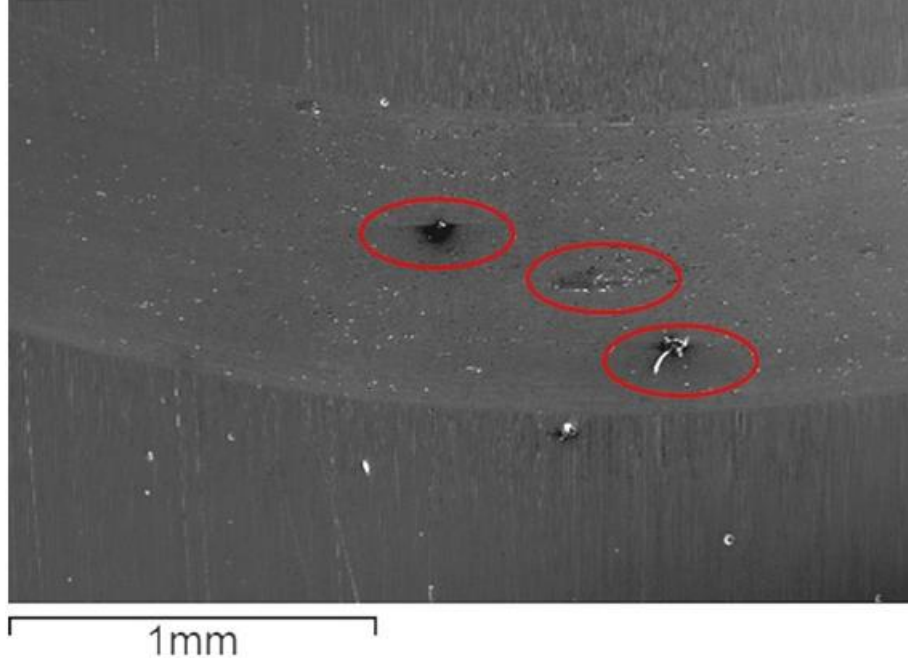


Şekil 2.13: Altlık malzeme, metalik bağ kaplama ve Al'un difüzyonu sonucu oluşan TGO yapısı etkileşimi (Richard, 1996; Minisker, 2009).

2.3.1.1. MCrAlY Kaplamaların Aşınma Davranışları

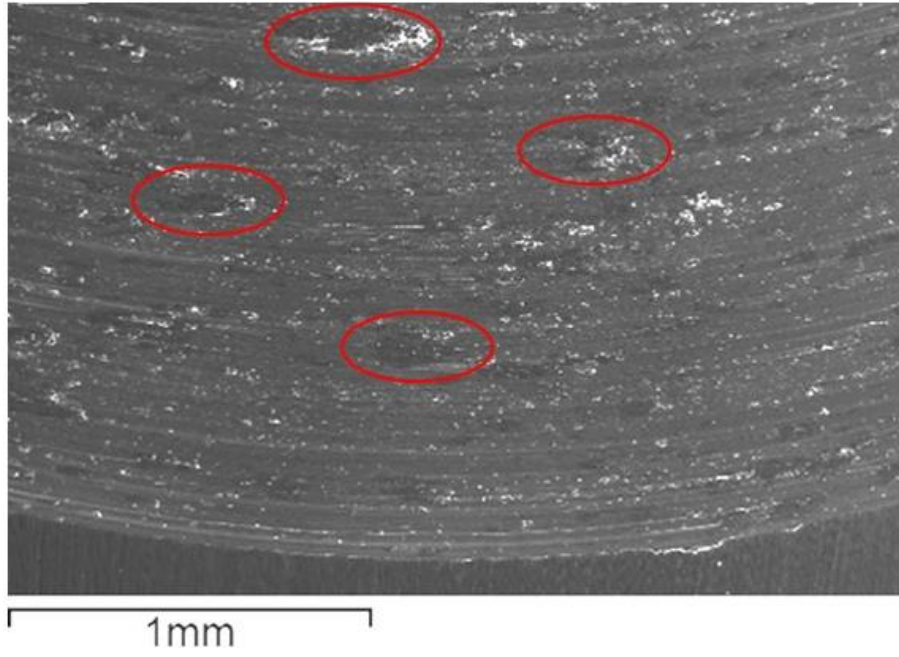
Yüksek sıcaklıklarda birçok metalin, alt tabaka ve atmosfer arasındaki çeşitli etkileşimleri sonucunda malzeme üzerinde sürtünmenin de etkisi ile aşınmalar meydana gelmektedir. MCrAlY kaplama, yüksek sıcaklıklarda aşınma ve oksidasyon direnci artıran en önemli koruyucu metalik bağ kaplamadır. Aşınma oranı ve sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklıklarda temas eden kaplanmış bileşenlerin performansındaki önemli parametredir (Wang vd., 2012). MCrAlY kaplamaların aşınma davranışı, pek çok araştırmacı MCrAlY kaplamalarda potansiyel takviye malzemesi ve yüksek sıcaklık sürtünme aşınması, iyi olan diğer oksit taneciklerin katılmasıyla da elde edilir. HVOF yöntemi kullanarak yapılan kaplamalarda, Al_2O_3 - B_4C içeren NiCoCrAlY kaplamalar, oda sıcaklığından 800 °C'ye kadar iyi aşınma direnci gösterir (Tao vd., 2016). NiCoCrAlY nikel bazlı ve CoNiCrAlY kobalt bazlı süper alaşımlar, TBC'lerde alt tabaka ile seramik üst tabaka arasında bağ katları olarak kullanılmaktadır. Co bazlı süper alaşımlar, Ni bazlı alaşımlardan daha düşük alüminyum içeriği olan Cr elementine sahiptir. Bu da temas yüzeyinin sürtünme davranışının direncini artırır. NiCoCrAlY ve CoNiCrAlY, katı çözünmenin sertleşmesi şartıyla az miktarda Y

ilavesi ve büyük miktarda Cr içerir. Şekil 2.14’de NiCoCrAlY kaplamaların oda sıcaklığında yapılan aşınma testi sonrası oluşan hasarlar verilmektedir.



Şekil 2.14: NiCoCrAlY bağ kaplamaların oda sıcaklığında yapılan aşınma testi sonrası mikro-yapısal değişim (Pereira vd., 2015).

Şekil 2.15’de, yüksek sıcaklıklarda yapılan aşınma testi sonrası oluşan hasarlar verilmektedir. Sıcaklığın artmasıyla malzeme yüzeylerinde oluşan plastik deformasyonlarda artış tespit edilmiştir (Pereira vd., 2015). Yüksek sıcaklıklarda numunelerin hacim kayıplarının azalmasını ve aşınma sonucunda malzemelerin yüzeyden koparak ayrılması, artan sıcaklık değeri ile birlikte malzemenin plastik deformasyonunun artmasıdır. Sıcaklığın artması ile birlikte kaplama tabakasını oluşturan elementlerin oksitlenme oranının artacağından dolayı, MCrAlY metalik bağ kaplamaların mekanik özelliklerinin artması, aşınma direncini de arttıracaktır.



Şekil 2.15: NiCoCrAlY bağ kaplamaların yüksek sıcaklıklarda yapılan aşınma testi sonrası mikro-yapısal değişim (Pereira vd., 2015).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1.Amaç

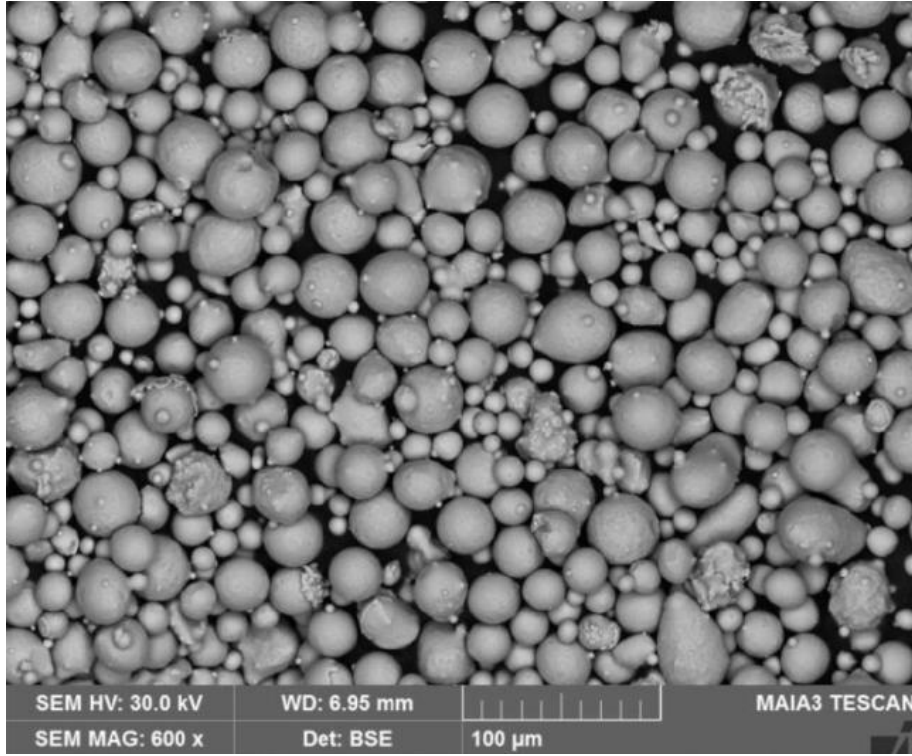
Bu çalışma, Inconel-718 Ni bazlı süper alaşım altlık malzeme kullanılarak, MCrAlY metalik bağ kaplamaların mikro-yapısal mekanik özellikleri ve aşınma davranışları araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu altlık malzeme üzerine ise MCrAlY tozları kullanılarak, D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri ile metalik bağ kaplama üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplama tabakasının yaklaşık kalınlığı 100 µm büyüklüğündedir. Üretilen kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, mikro-yapısal ve porozite analizleri yapılarak ayrıntılı karakterizasyonları araştırılmıştır. Kaplamaların üretimleri sonrasında ayrıntılı olarak yüksek sıcaklık aşınma davranışları, farklı sıcaklık ve farklı yüklerde yapılarak aşınma davranışları incelenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara gerek yöntem gerekse yüksek sıcaklık aşınma davranışları yönüyle sağlanan katkı ve farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu

Deneyisel çalışmada metalik bağ kaplama tabakası MCrAlY tozlarından oluşmaktadır. MCrAlY tozlarının büyüklüğü 5-37 µm aralığında değişmektedir. Kaplama üretiminde altlık malzeme olarak, Ni içerikli süper alaşım olan, özellikle uzay araçlarında bileşen olarak yaygın şekilde tercih edilen Inconel-718 altlık malzeme kullanılmıştır.

3.2.1 Toz Malzemelerin Mikro Yapısal İncelenmesi

Kullanılan MCrAlY metalik bağ kaplamalarının mikro-yapısal karakterizasyon işlemlerinde büyütme yapılarak aşınma fotoğraflarının görüntülenmesi için MAIA3 model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 3.1’de MCrAlY içerikli metalik bağ kaplamaların mikro-yapısal görüntüsü verilmiştir ve tozların küresel formda, sık aralıklı olduğu gözlemlenmiştir. SEM incelemelerimizin sonunda, kullanılan MCrAlY içerikli metalik bağ kaplama tozlarının küresel formda olduğu görülmüştür.



Şekil 3.1: MCrAlY Kaplama tozlarının SEM mikroskopundaki görünümleri.

3.2.2 Altlık Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu

3.2.2.1. Inconel 718 Altlık Malzeme

Yapmış olduğumuz çalışmada, altlık malzeme olarak kullanmış olduğumuz Inconel 718, yüksek sıcaklık şartlarında korozyon ve oksidasyon durumlarında yüksek dayanıma sahip olması özelliğiyle bilinir. Günümüzde özellikle gaz türbin motor parçaları gibi yüksek sıcaklık ortamlarında çalışan pek çok malzeme için geniş kullanım alanlarına sahiptir (Kuo vd., 2009). Inconel-718 altlık malzemesi, 1100 °C'ye kadar sürünme mukavemetine sahiptir. Inconel-718 altlık malzemene ait kimyasal ve fiziksel özellikleri değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir (Karaoğlu vd., 2014).

Tablo 3.1: Inconel-718 altlık malzemesinin kimyasal özellikleri (Karaoğlu vd., 2014).

Altlık Malzemenin (Inconel 718) % Kimyasal Kompozisyonu							
Ni: 53.55	Cr: 18.0	Nb: 5.31	Mo: 3.03	Ti: 0.96	Al: 0.56	Co: 0.27	Si: 0.09
Cu: 0.06	Mn: 0.06	C: 0.03	Ta: 0.01	P: 0.007	B: 0.004	S: 0.001	Fe: Kalan

Tablo 3.1’den de anlaşılacağı üzere Inconel-718 malzemesinin korozyon dayanımının olması, içerisinde fazlaca Ni ve Cr bulundurmasıdır. Bu altlık malzeme aşınma ve özelliklede yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması sebebiyle genellikle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jet motorlarının %50’sini Inconel-718 malzemesi kapsar. Deneysel çalışmamız ise, aşınma dayanımları üzerine olduğundan altlık malzemesi olarak Inconel-718 tercih edilmiştir.

Tablo 3.1’de de yer aldığı gibi Inconel-718 malzemesinin kimyasal bileşenlerinin özelliklerinden bazıları aşağıdaki gibidir.

- Ni, genelde bir alarım elementi olarak kullanılmasının yanı sıra yüksek mukavemetli, yüksek korozyon direncine sahiptirler. Saf halde dayanıklı olup soğuk ve sıcak işlem görürler.
- Cr, genellikle çeliğin sertleştirilmesinde kullanılır. Sertliği artırması ve aşınma direncini arttırmada tercih edilir.
- Co, özellikle dayanım ve oksitlenmeye karşı direnç sağlar. Yüksek sıcaklıklarda sert karbürler oluşturur.
- Nb, güçlü paslanmaz çeliklerin yapımında ve bazı paslanmaz çelik türlerinin kaynak çubuklarında ve demir dışı alaşımlarda da kullanılır.
- Ti, hafiflik, sağlamlık ve ısıya dayanıklılığın önem taşıdığı endüstrilerde kullanılır. Titanyum, çelik kadar dayanıklı, ancak ondan %45 daha hafiftir.
- Mo, ısıya ve aşınmaya karşı dirençli olan belli nikel esaslı alaşımların yapımında kullanılır. Çeliklerin sertliğini artırır, korozyon ve sürünme direncini iyileştirir (Uzunonat, 2017).

Genel olarak birçok kaynak türü için Inconel 718 uygundur. Kaynak yapılması esnasında elektrot kullanılması gerekmektedir. Elektrotun olmadığı durumlarda ikincil bir alternatif olarak alaşım elementleri olan Ni, Cr vb. gibi elementlerin kullanılması daha uygun olur ve işlem yüzeylerinin temiz olması durumlarında, ön ısıtma yapılmasına gerek yoktur.

Tablo 3.2: Ni esaslı süper alaşım Inconel-718 malzemesinin fiziksel özellikleri (Çay ve Ozan, 2005).

Fiziksel özellikler	Değerler
Yoğunluk gr/cm ³	8,5
Erime Noktası °F	1260 – 1336 °C
Isıl İletkenlik w/m.k	11,4
Ortalama Isısal Genleşme Sabiti $\mu\text{in./in.} \cdot ^\circ\text{F}$ - $\mu\text{m/m} \cdot \text{K}$	7,2-13,0
Elektriksel Direnç	1250 n · m
Öz ısı J/kg · K - Btu/lb · °F	435-0,104
Curie Sıcaklığı	-112 °C (-170 °F)

3.3.Kaplama Öncesi Numunelerin Hazırlanması

Kaplanacak numuneler 25,4 mm çapında ve 5 mm kalınlığında otomatik kesme cihazında hazırlanmıştır. Kesme işleminden sonra numunelerin kaplanacak yüzeylerine yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmıştır. D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri ile üretilen MCrAlY içerikli metalik bağ kaplamaların sertlik, yüzey pürüzlülüğü, gözeneklilik ve oksit içeriği parametreleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir. D-Gun kaplama yöntemi kullanılarak üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların, SAPS kaplama yöntemiyle üretilen metalik bağ kaplamalarına göre daha çok sert olduğu görülmüştür. D-Gun kaplama yönteminin, SAPS kaplama yönteminden farklı olarak, parçacıkların katı veya yarı katı halde olmalarıdır. Bundan dolayı bu kaplamaları oluşturan parçacıklar deformasyon esnasında sertleşmekte ve yoğun bir kaplama yapısı oluşturmaktadırlar.

Tablo 3.3: D-Gun ve SAPS teknikleri ile üretilen MCrAlY kaplamaların sertlik, yüzey pürüzlülüğü, gözeneklilik ve oksit içeriği parametreleri.

D-Gun ve SAPS				
Kaplama Teknikleri	Sertlik (Hv)	Ra (μm)	Porozite (%)	Oksit (%)
D-Gun	550 ± 50	4.50	1,2±1.0	29±3.0
SAPS	380 ± 30	6.90	1.5±1.0	9±2.0

3.4.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Aşınma testleri sonucunda oluşan aşınma mekanizmalarını belirlemek ve numunelerin kaplama kalınlıklarını incelemek için TESCAN marka SEM mikroskobundan faydalanılmıştır. Mikro yapı aşınma deneyleri sonucunda meydana gelen aşınma kayıplarını tespit edebilmek için 3D profil metre ekipmanı kullanılmıştır.

3.5. MCrAlY Metalik Bağ Kaplamaların Üretilmesi

Kaplama işlemine başlamadan önce numunelere yüzey hazırlama işlemi yapılır. Yüzey hazırlama, kaplama ile altlık malzemenin yapışma mukavemetini artırmak için altlık malzemeye uygulanan işlemdir. Altlık malzeme yüzeyinde oluşan toz, yağ, pas, boya vs. gibi maddelerden arındırılması için yüzey temizleme yapılır. Kaplama tabakasının altlık yüzeyine mekanik bağlanmayı artırmak için kumlama yapılır. Kumlama işleminde, yüzey ile mesafesi yaklaşık 10 cm olacak şekilde 75 °'lik açı ve 2,5 bar basınç altında yapılır.

SAPS ve D-Gun kaplama yöntemleriyle MCrAlY metalik bağ kaplama üretiminde farklı parametrelerden yararlanılmıştır. D-Gun spreycaplama sistemi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. MCrAlY içerikli metalik bağlamaların üretimleri yaklaşık 100 μm kalınlığındadır. SAPS ve D-Gun kaplama yöntemlerinde püskürtme tabancasının sıcaklığı 3000 °C'nin üstündedir.



Şekil 3.2: D-Gun Sprey Kaplama Sistemi gösterimi (Karaoğlu, 2016).

D-Gun kaplama yöntemi ve SAPS kaplama yöntemleri ile MCrAlY bağ kaplama üretiminde kullanılan kaplama parametreleri Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.4: D-Gun kaplama yöntemiyle yapılan MCrAlY bağ kaplama üretiminde kullanılan kaplama parametreleri.

D-Gun Kaplama Yöntemiyle Üretilen MCrAlY Bağ Kaplama Proses Parametreleri				
Yanma Gazı	Hava Akış Hızı	Atış Sayısı	Püskürtme Süresi	Püskürtme Mesafesi
C ₃ H ₈ (7.5 slpm) O ₂ (25slpm) Air (5slpm)	6.7-15 slpm	100	14 saniye	110-150 mm

Tablo 3.5: SAPS kaplama yöntemiyle yapılan MCrAlY bağ kaplama üretiminde kullanılan kaplama parametreleri.

SAPS Kaplama Yöntemiyle MCrAlY Bağ Kaplama Proses Parametreleri			
Hava Akış Hızı	Akım	Voltaj	Püskürtme Mesafesi
715 slpm	270 A	380 V	200 mm

Şekil 3.3’de SAPS yöntemiyle, Şekil 3.4’de ise D-Gun yöntemiyle MCrAlY tozlarından üretmiş olduğumuz metalik bağ kaplama ile üretilen numuneler gösterilmiştir. 1-2-3’ nolu numuneler SAPS kaplama yöntemiyle kaplanan numuneleri ifade ederken, 4-5-6’ nolu numuneler ise D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen numuneleri ifade etmektedir. Yapmış olduğumuz deneysel çalışmada her bir numune için farklı yüklerde (2N ve 5N) ve farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testleri uygulanmıştır. Numunelerin mikro-yapıları incelenerek sonuçları analiz edilmiştir.



Şekil 3.3: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen MCrAlY metalik bağ kaplama.



Şekil 3.4: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen MCrAlY metalik bağ kaplama.

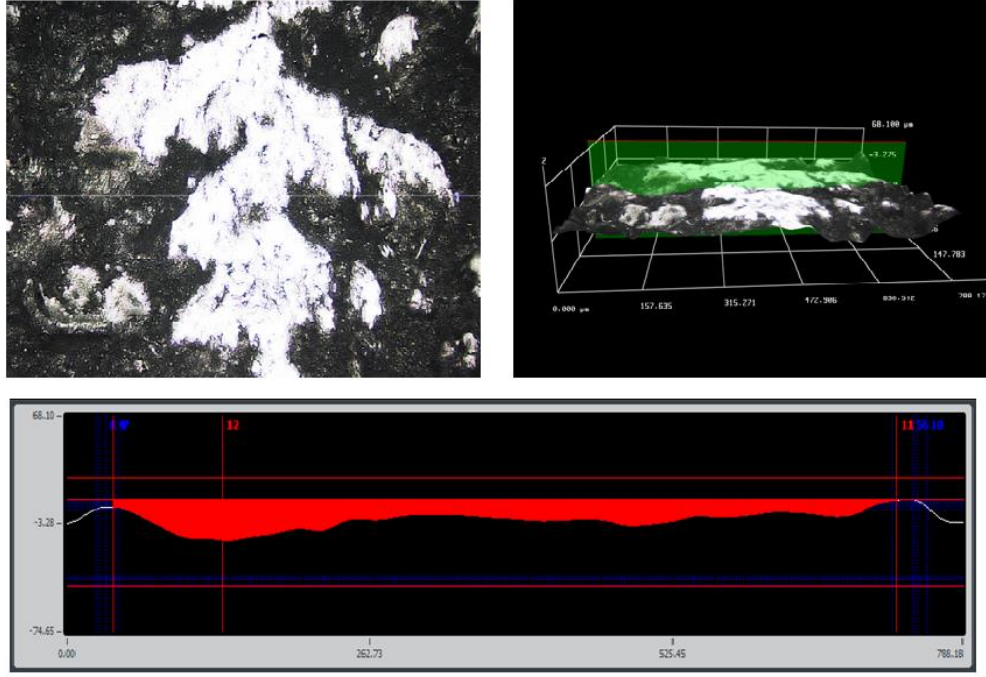
3.6.Kuru Kayma Aşınma Testinin Uygulanması

Kuru-kayma aşınma testleri oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C sıcaklıklarında 6 mm çapında karbür bilye kullanılarak Şekil 3.5’de gösterilen Pin-on-disk aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan sert karbür bilye sertlikleri 19 GPa’dır. Hazırlanmış olan 25,4 mm çapında, 5 mm kalınlığındaki daire kesitli numuneler deney cihazının döner tablasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Aşınma testleri 4 m/s hızda, 2N ve 5N’luk yükler uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

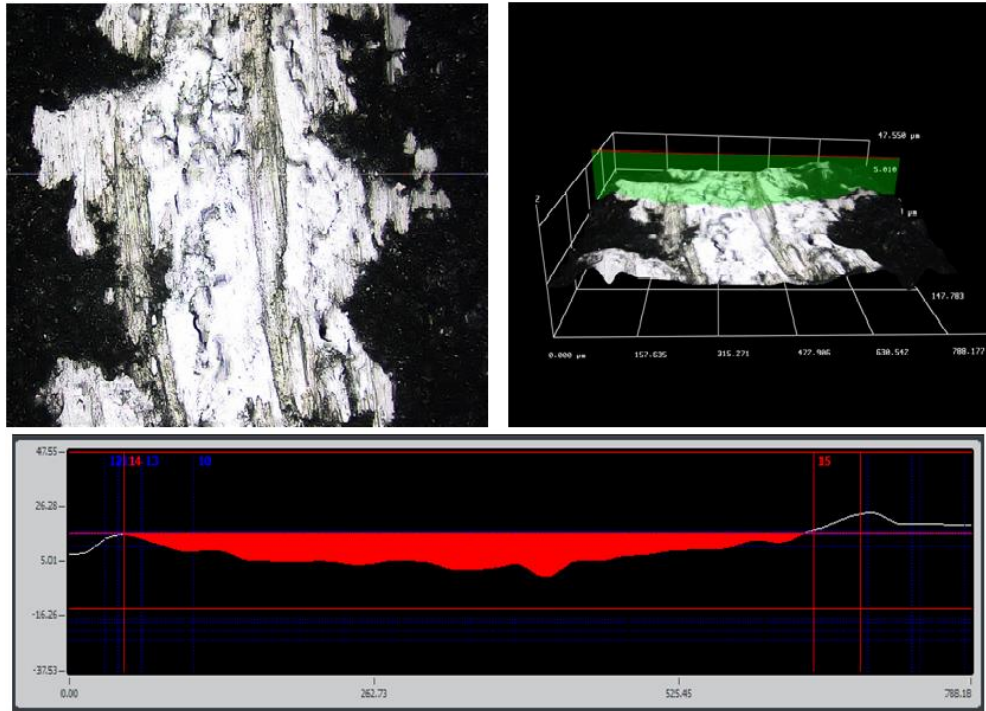


Şekil 3.5: Yüksek Sıcaklık Pin-On-Disk Aşınma Cihazı.

Aşındırma testlerini tamamlandıktan sonra numunelerin hacim kayıplarını belirlemek için aşınma izinin olduğu kesit görünüş 3D profil metre ile kesit yüzeyinin görüntüleri alınmıştır. Şekil 3.6'da D-Gun kaplama yöntemiyle ve Şekil 3.7'de SAPS kaplama yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü verilmiştir. SAPS kaplama yöntemiyle yapılan aşınma testi sonrasında yüzeye temas eden aşınma durumu belirgin bir şekilde görülürken, aynı yük ve sıcaklıkta D-Gun kaplama yönteminde ise yüzeyde meydana gelen aşınmanın daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, kaplama yöntemleri arasındaki farkları da görmek mümkündür. Bu nedenle, D-Gun kaplama yöntemi özellikle oksidasyon direnci için önemli olan kaplamaların yoğun ve gözeneksiz yapılarında kaplama ile alt tabaka arasındaki bağ kuvvetini sağlamlaştırmaktadır (Singh vd., 2012).



Şekil 3.6: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü.



Şekil 3.7: SAPS kaplama yöntemiyle üretilmiş numunelerin 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

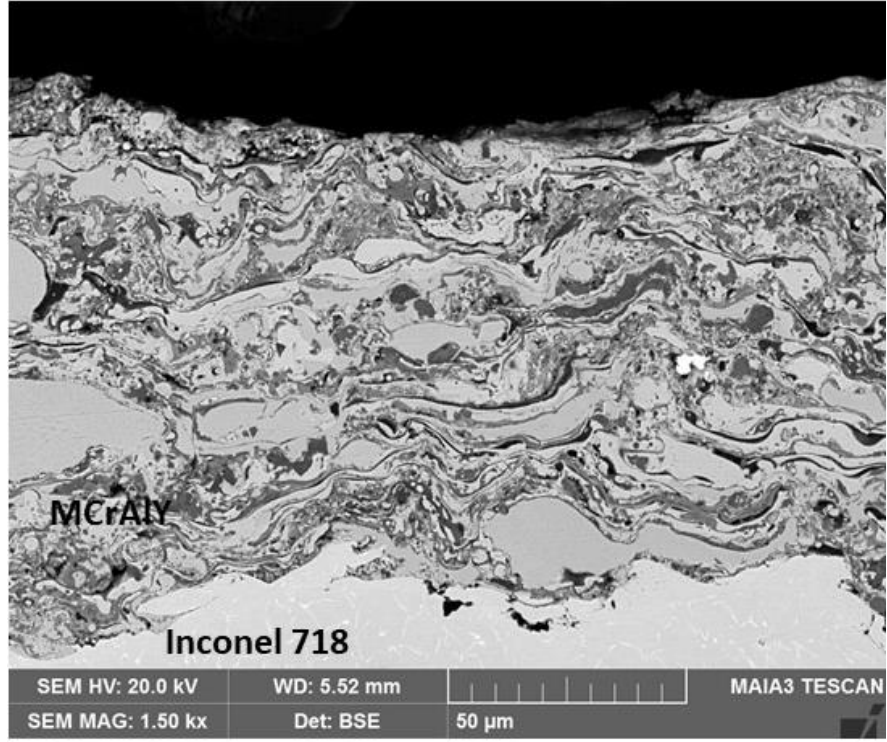
4.1. MCrAlY Kaplamaların Mikro Yapısal İncelenmesi

Deneysel çalışmalarda, Ni içerikli bir süper alaşım olan Inconel-718 altlık malzeme üzerine MCrAlY tozları kullanılarak D-Gun ve SAPS yöntemleri kullanılarak termal sprey kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. İki farklı yöntemle kaplamaları yapılan numunelerin mikro yapıları, mekanik özellikleri ve kuru-kayma aşınma altındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılan aşınma ile birlikte aşındırıcı partikül oranının aşınma üzerine nasıl etki ettiğini ve farklı sıcaklıklardaki kuru-kayma aşınmasıyla aralarındaki etkiyi belirlemektir. D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleriyle kaplanan numunelerin geleneksel metalografi yöntemleri, taramalı elektron analizi (SEM) ve aşınma testleri yardımıyla araştırılmıştır.

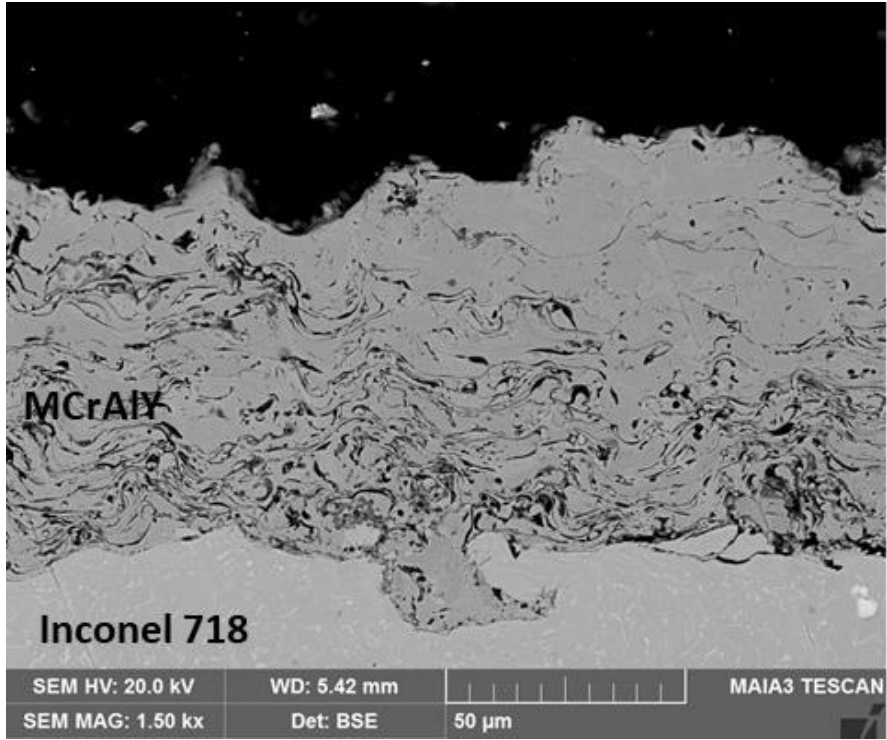
4.1.1. Aşınma Testleri Öncesi D-Gun ve SAPS Kaplamaların Mikro Yapıları

Şekil 4.1’de belirtildiği gibi D-Gun kaplama yöntemi kullanılarak üretilen ve altlık malzeme üzerine MCrAlY tozları püskürtülerek yapılan metalik bağ kaplamanın mikro yapısı gösterilmiştir. Şekil 4.2’de ise, SAPS kaplama yöntemi kullanılarak üretilen ve altlık malzeme üzerine MCrAlY tozları püskürtülerek yapılan metalik bağ kaplamanın mikro yapısı gösterilmiştir.

Daha önceden Tablo 3.3’de, D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri ile üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların sertlik, yüzey pürüzlülüğü, gözeneklilik ve oksit içeriği parametreleri belirtilmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’den de anlaşıldığı gibi, D-Gun kaplama yöntemi kullanılarak üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların, SAPS kaplama yöntemiyle üretilen metalik bağ kaplamalarına göre daha çok sert olduğu görülmüştür. D-Gun kaplama yönteminin, SAPS kaplama yönteminden farklı olarak, parçacıkların katı veya yarı katı halde olduğu tespit edilmiştir. Katı veya yarı katı halde bulunan bu parçacıkların yoğun bir kaplama yapısı olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.1: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin aşınma testi öncesi SEM görüntüsü.

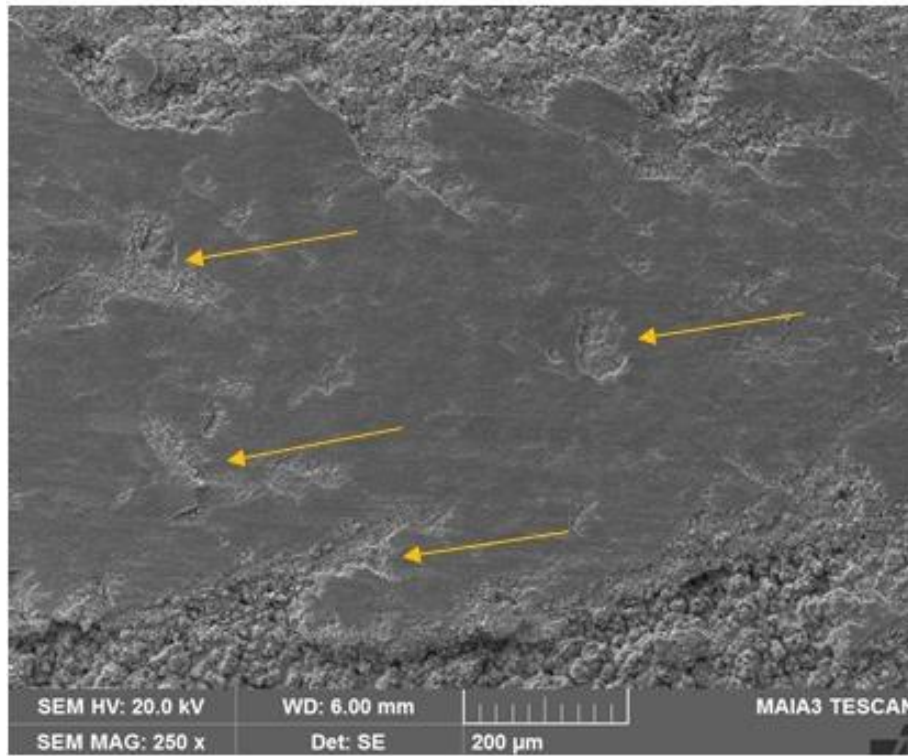


Şekil 4.2: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin aşınma testi öncesi SEM görüntüsü.

4.1.2. Aşınma Testleri Sonrası D-Gun ve SAPS Kaplamaların Mikro Yapılarının İncelenmesi

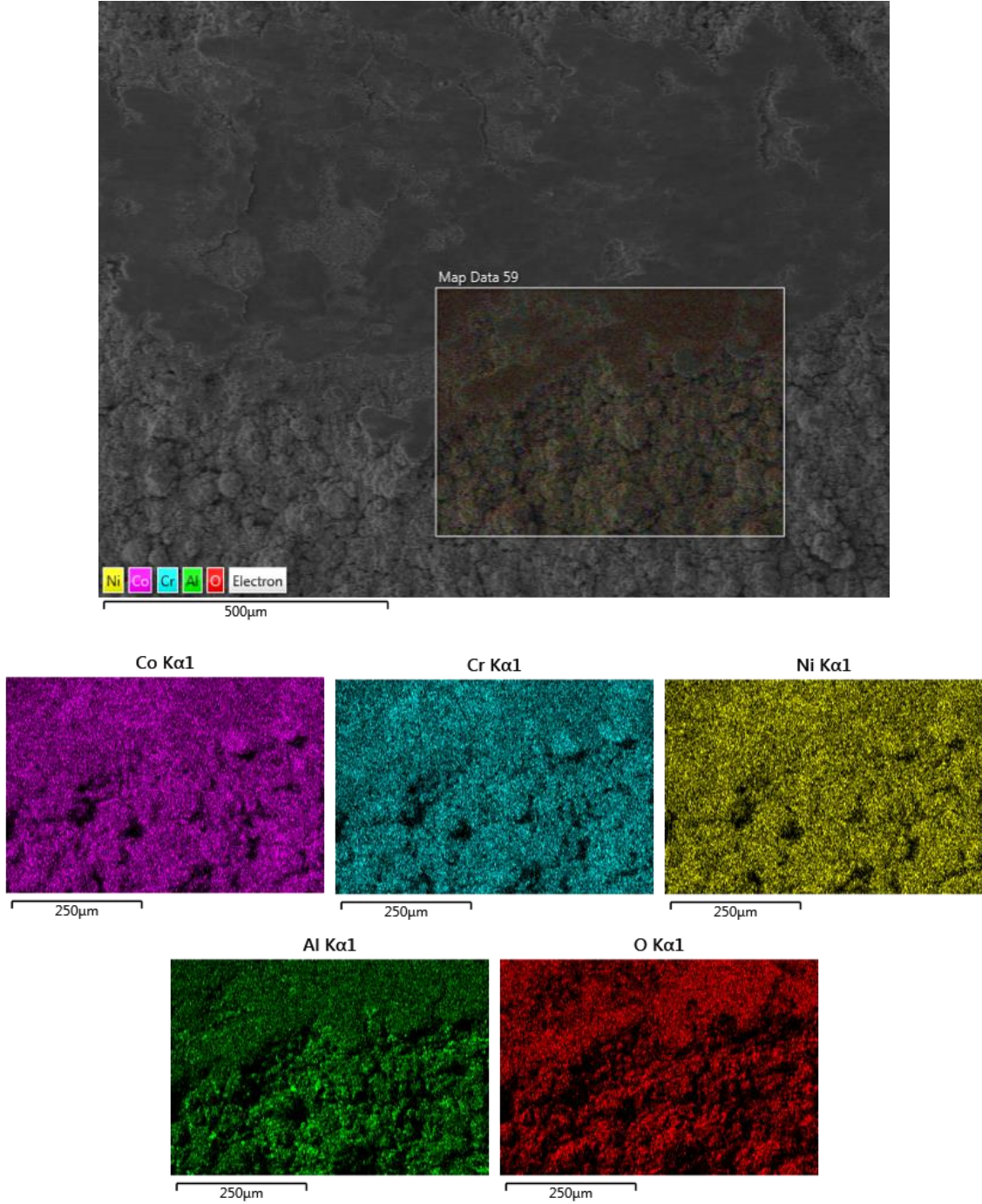
4.1.2.1. Oda Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikro Yapıları

D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş MCrAlY metalik bağ kaplama tabakasının oda sıcaklığında 2N yük altındaki SEM mikro yapısı Şekil 4.3’de gösterilmiştir. 250x büyütme yapılan, 2N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunenin plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.3’den de anlaşıldığı gibi MCrAlY metalik bağ kaplama esnasında oluşan boşluk hataları meydana gelmiştir. Aşınma testi esnasında zayıf olan bu bölgelerde, sürtünme katsayısına bağlı olarak daha fazla aşınmaların olduğu görülmüştür.



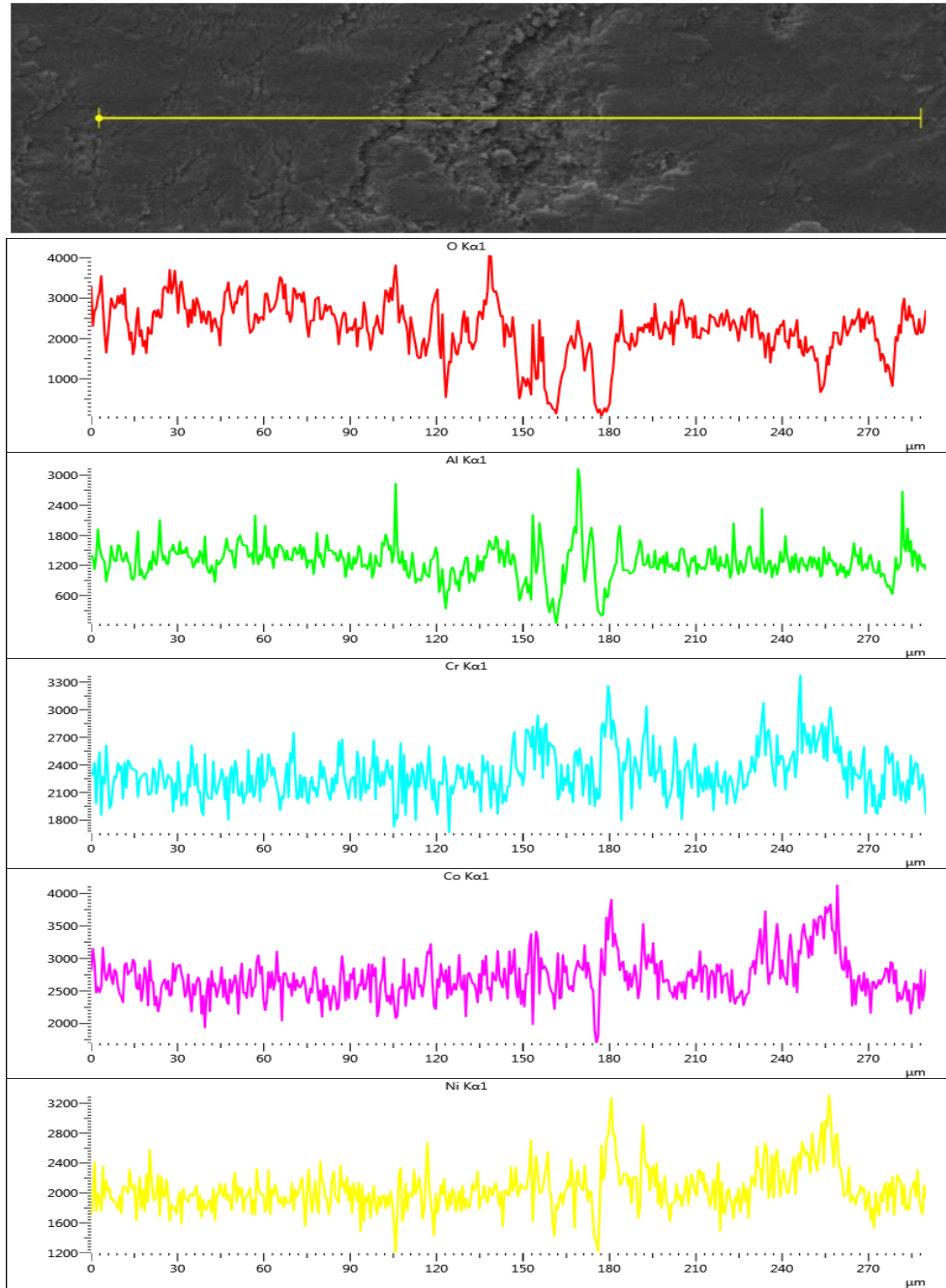
Şekil 4.3: 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 250x büyütmedeki SEM görüntüsü.

2N yük altında aşınma testi sonrası başka bir ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.4’de verilmiştir. SEM analizinden alınan kesit alanında Ni, Co, Cr ve Al elementlerinin yanı sıra O elementinin de ortaya çıktığı görülmüştür. Metalik bağ kaplama elementlerinin yapılan analiz sonucunda homojen bir dağılımda olduğu görülmüştür.



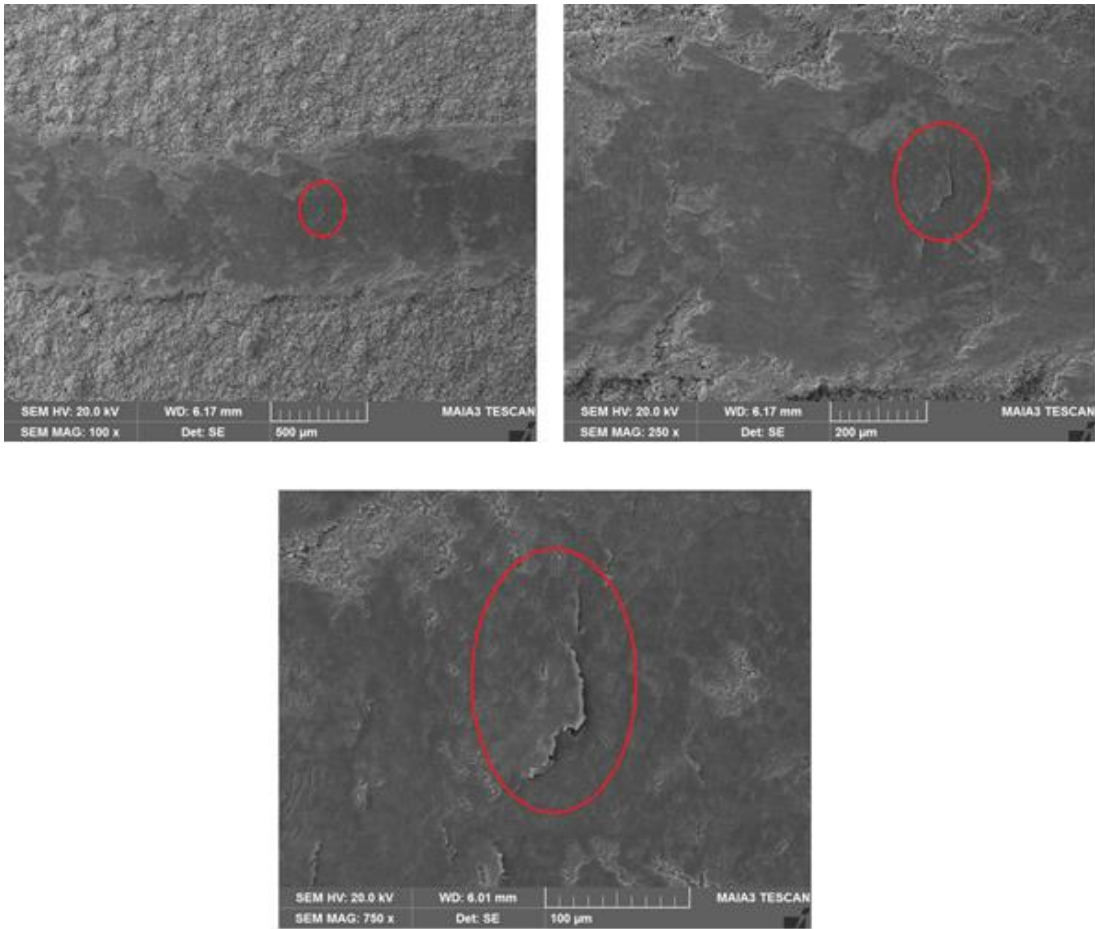
Şekil 4.4: 2N yük altında oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Şekil 4.5’de ise D-Gun kaplama yöntemi ile üretilen ve 2N yük altında oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) modülü kullanılarak alınan elementel analiz raporları sırasıyla verilmiştir. MCrAlY tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin EDS analizleri incelendiğinde kaplama bölgesindeki O elementinin yoğunlaştığı görülmüştür. Şekil 4.5’den de anlaşıldığı gibi yapının homojen bir yapıya sahip olduğu görülürken, plastik deformasyonun başladığı andan itibaren yoğunluk farklarının olduğu da görülmüştür.



Şekil 4.5: 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

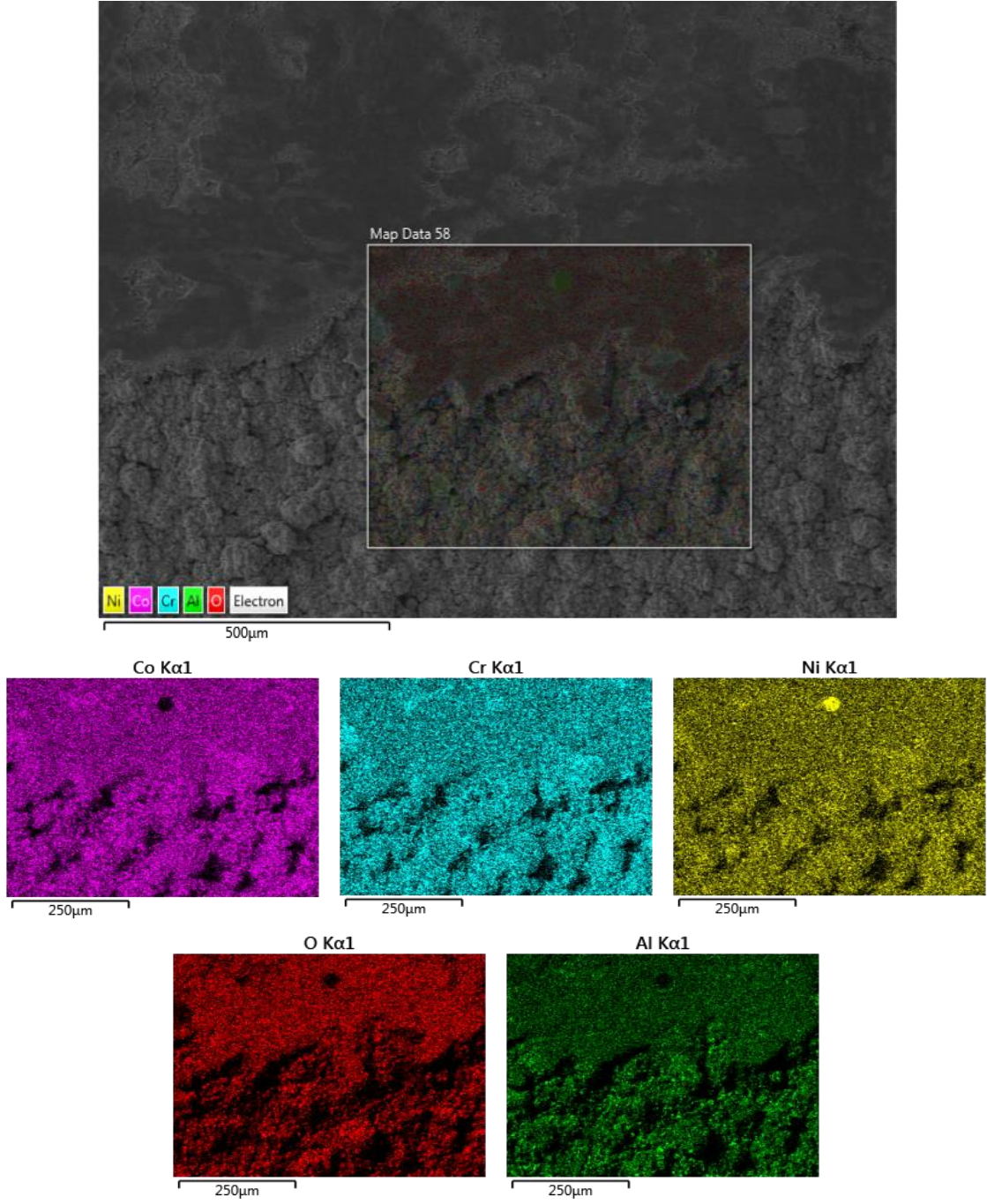
D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş metalik bağ kaplama tabakasının oda sıcaklığında 5N yük altındaki SEM mikro yapısı Şekil 4.6’da gösterilmiştir. 100x, 250x ve 750x büyütme yapılan ve 5N yük altında 4,7 m/s hızda 10 dk boyunca devam eden aşınma testinde numune üzerinde plastik deformasyona uğrayan bir noktadan kesit alınmıştır. Aşınma testi sonrası numunelerde ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu burada da görülmüştür. Yükün artması, aşınma izi genişliğini arttırmıştır. 2N yük altında yapılan aşınma testinde dökülmelerin varlığı görülürken, yükün artmasıyla birlikte aşınan yüzeylerde dökülmenin olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise, kopan partiküllerin preslenerek daha kompakt bir tabaka oluşturmasıdır.



Şekil 4.6: 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 100x, 250x ve 750 x büyütmedeki SEM görüntüleri.

5N yük altında aşınma testi sonrası başka bir ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bağ kaplama elementlerinin yapılan analiz sonucunda yine homojen bir dağılımda olduğu görülmüştür. Homojen dağılımın yanı sıra

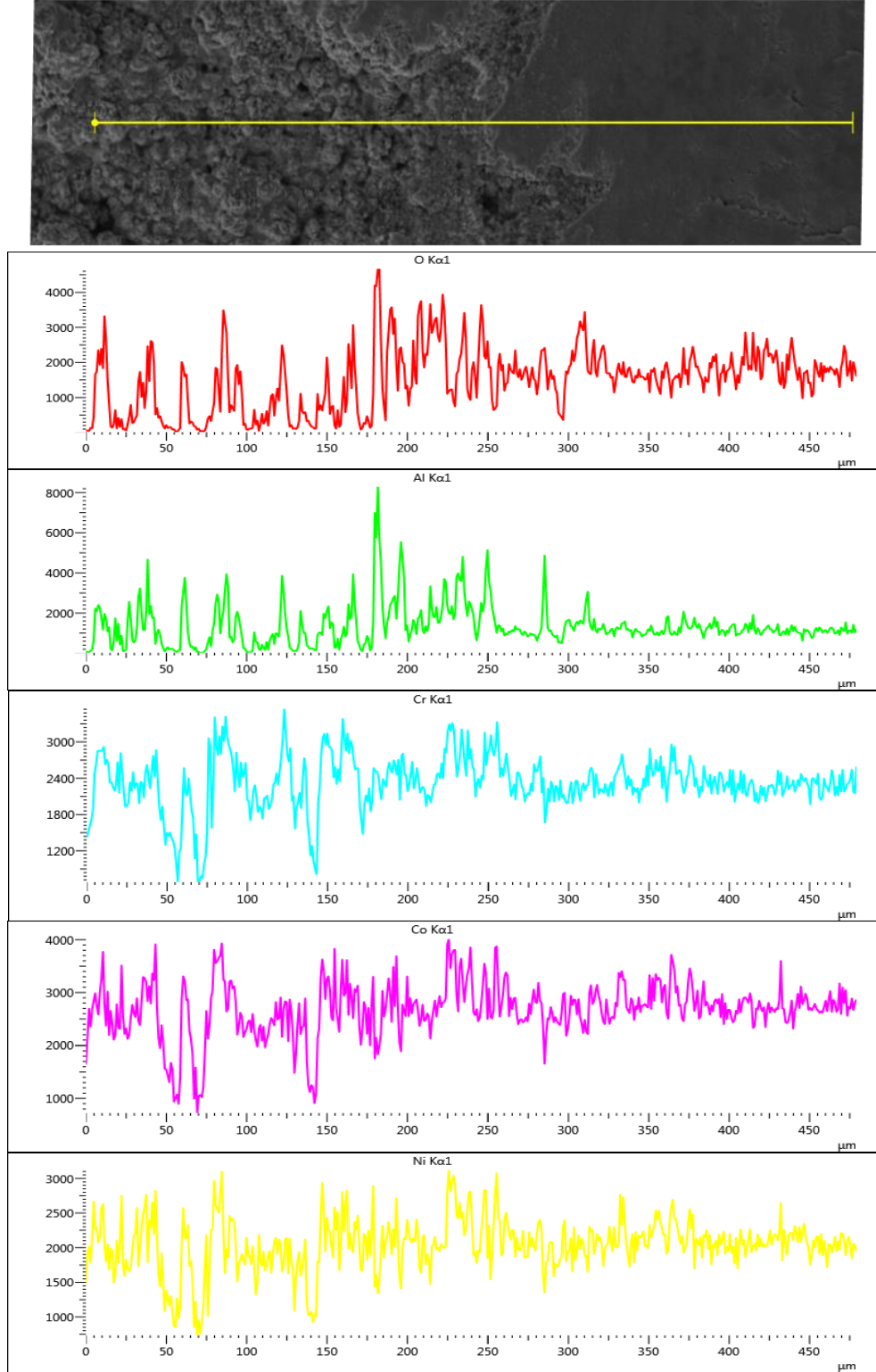
yapıya oksijen de girmiştir. Şekil 4.7’deki gibi, homojen yapısı ve düşük gözeneklilik içeren kaplamaların yapısı içindeki oksit içeriği dağılımı görülmüştür.



Şekil 4.7: 5N yük altında oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Şekil 4.8’de D-Gun kaplama yöntemi ile üretilen ve 5N yük altında oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri gösterilmiştir. Aşınmaya maruz kalan

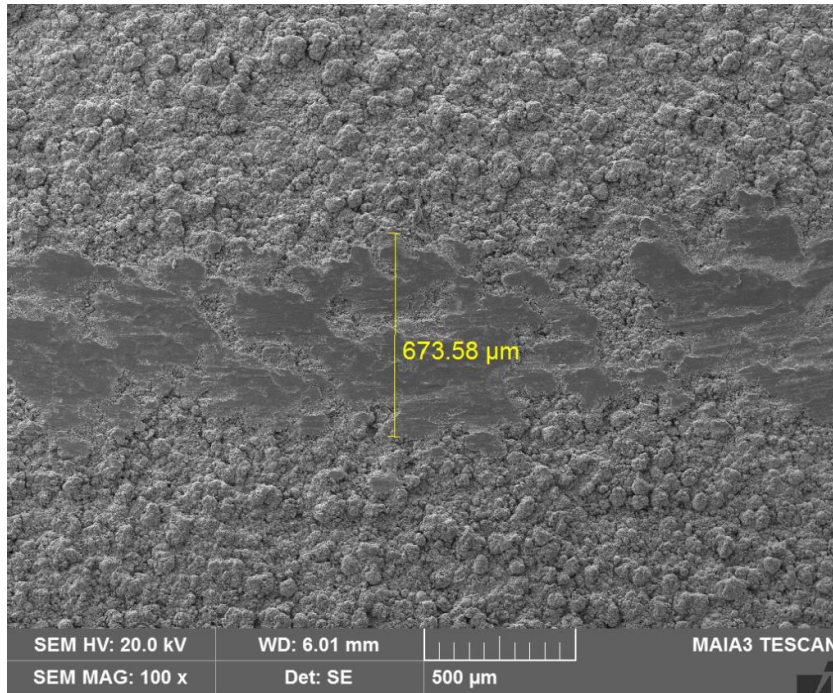
kısımların daha yoğun olduğu gör÷l÷rken, aşınmaya dâhil olmayan kısımlarında yoğunluk farklılıklarının olduğu gör÷lm÷ştür.



Şekil 4.8: 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

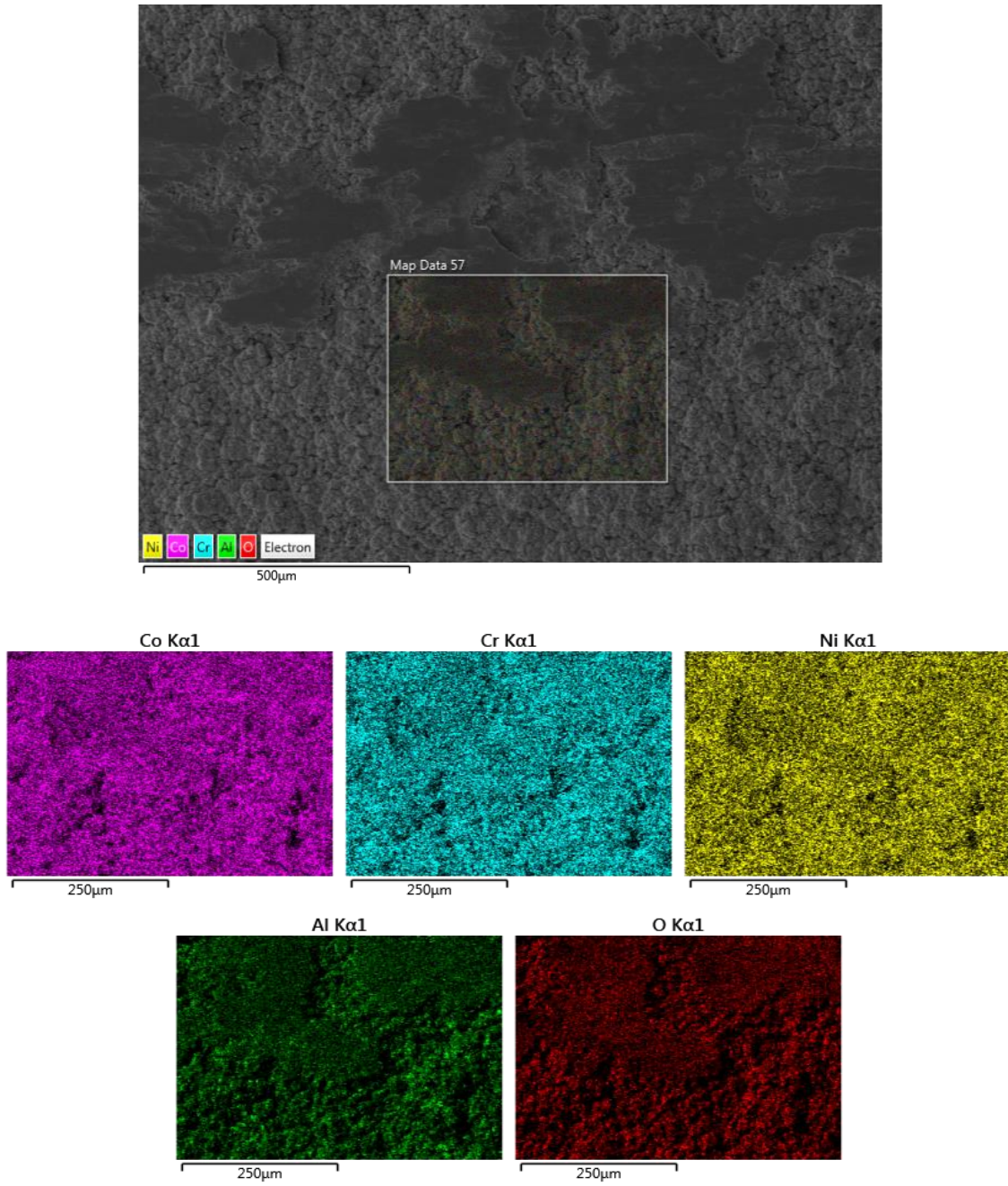
4.1.2.2. 250°C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikro Yapıları

D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş metalik bağ kaplama tabakasının 250 °C sıcaklıkta, 2N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM mikro yapısı Şekil 4.9’da gösterilmiştir. 100x büyütme yapılan aşınma testi sonrası numunelerde plastik deformasyona uğradığı ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu görülmüştür.



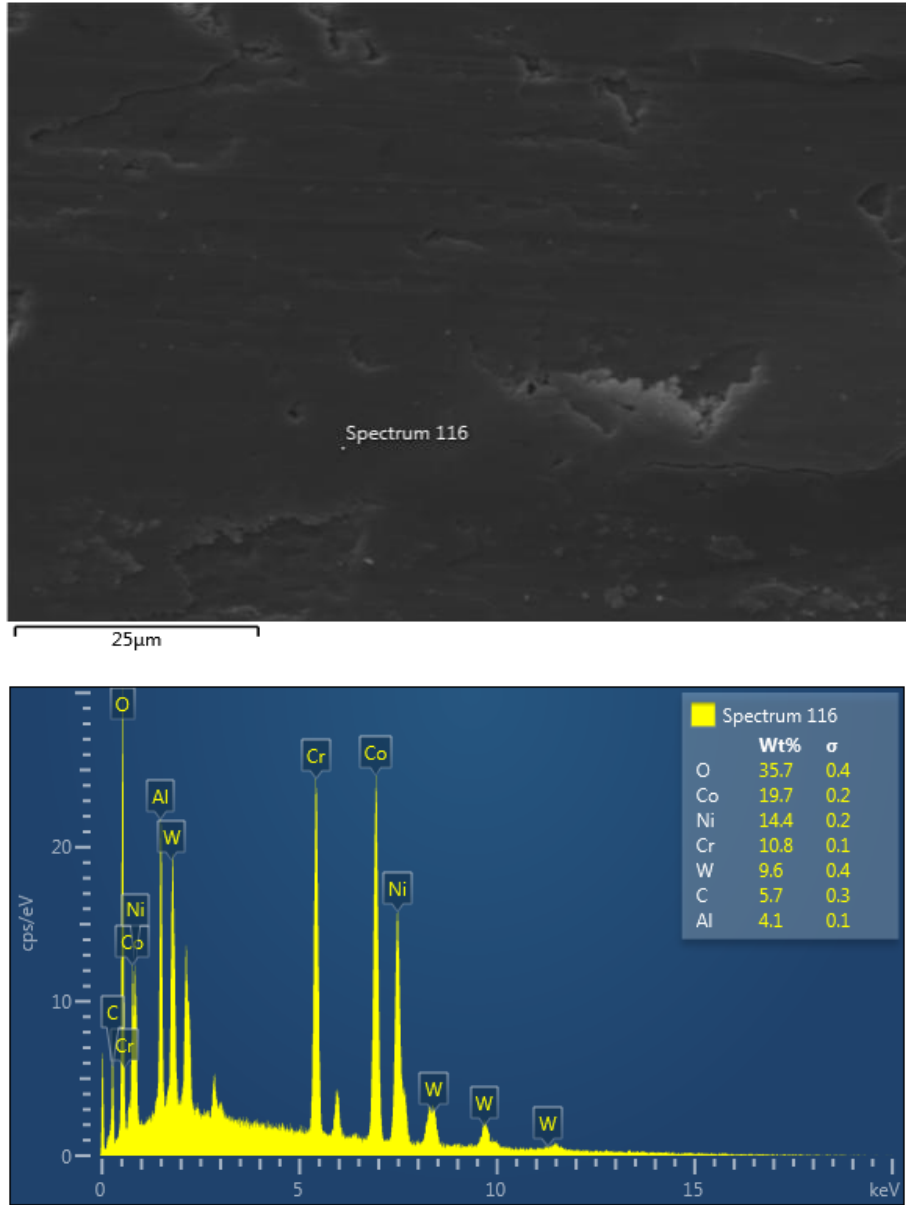
Şekil 4.9: 2N yük altında 250 °C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın 100x büyütmedeki SEM görüntüsü.

Şekil 4.9’da da görüldüğü gibi, 250 °C’de gerçekleştirilen testlerde, yüzeyde oluşan tabakanın çok daha kompakt bir şekilde meydana geldiği SEM incelemelerinde görülmüştür. Zamanla kırılan tabakanın dökülmesi sonucu meydana gelen plastik deformasyon çatlaklar ve gözenekler görülmüştür. 2N yük altında 250 °C’de yapılan aşınma testi sonrası başka bir ara yüzey görüntüsünün SEM elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Elementel dağılımda görüldüğü gibi, ana bileşimi oluşturan elementlerin homojen dağılımının yanı sıra yapıya oksijen de girmiştir.



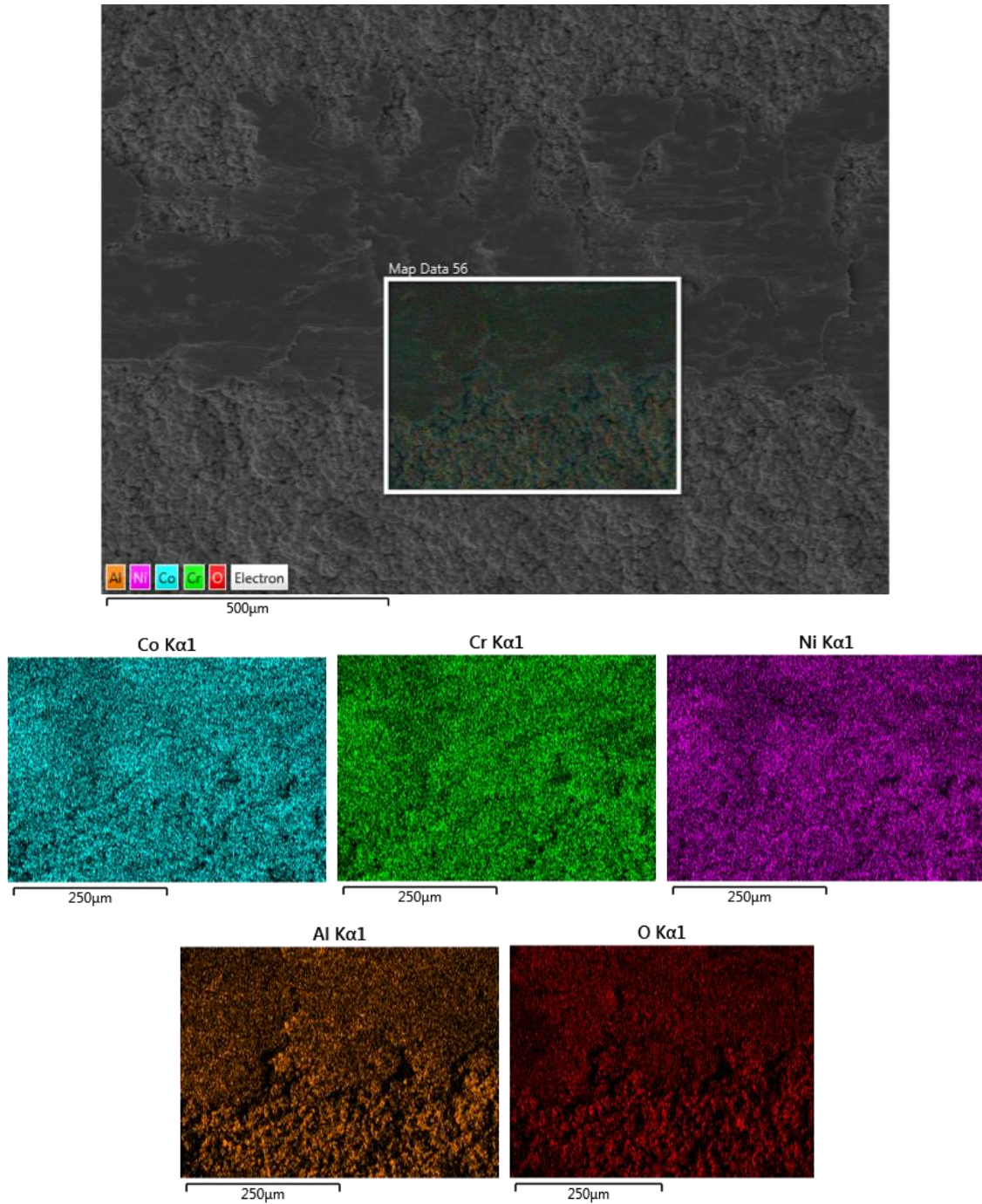
Şekil 4.10: 2N yük altında 250 °C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Şekil 4.10’da homojen yapıya rağmen, üretilen kaplamanın yapısı içindeki oksit içeriği dağılımı açık bir şekilde görülmüştür. Şekil 4.11’de ise MCrAlY kaplamaların ve EDS analizlerinin SEM mikro yapısı gösterilmiştir. Homojen dağılıma dahil olan oksijen oranının da yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11: 250 °C’de 2N yük altında aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü ve EDS analizi.

250 °C’de 2N yük altında yapılan aşınma deneyi sonucu elementel dağılımda oksijeninde ortaya çıktığı görülürken, 5N yük altında ise oksijen elementinin ortaya çıktığı ve elementel dağılımın yine homojen bir yapıda olduğu da görülmüştür.

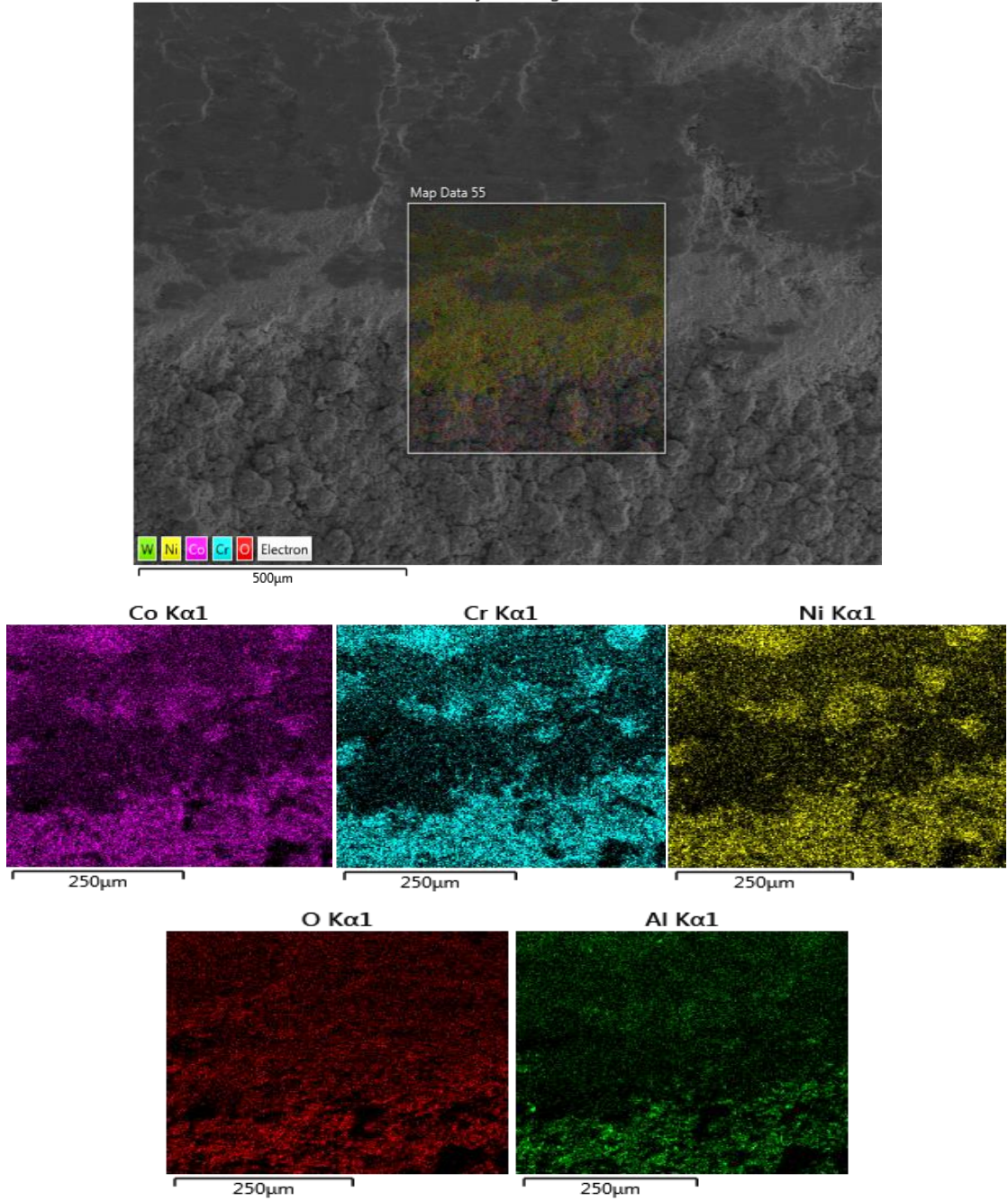


Şekil 4.12: 5N yük altında 250 °C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

4.1.2.3. 500 °C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası D-Gun Kaplamaların Mikro Yapıları

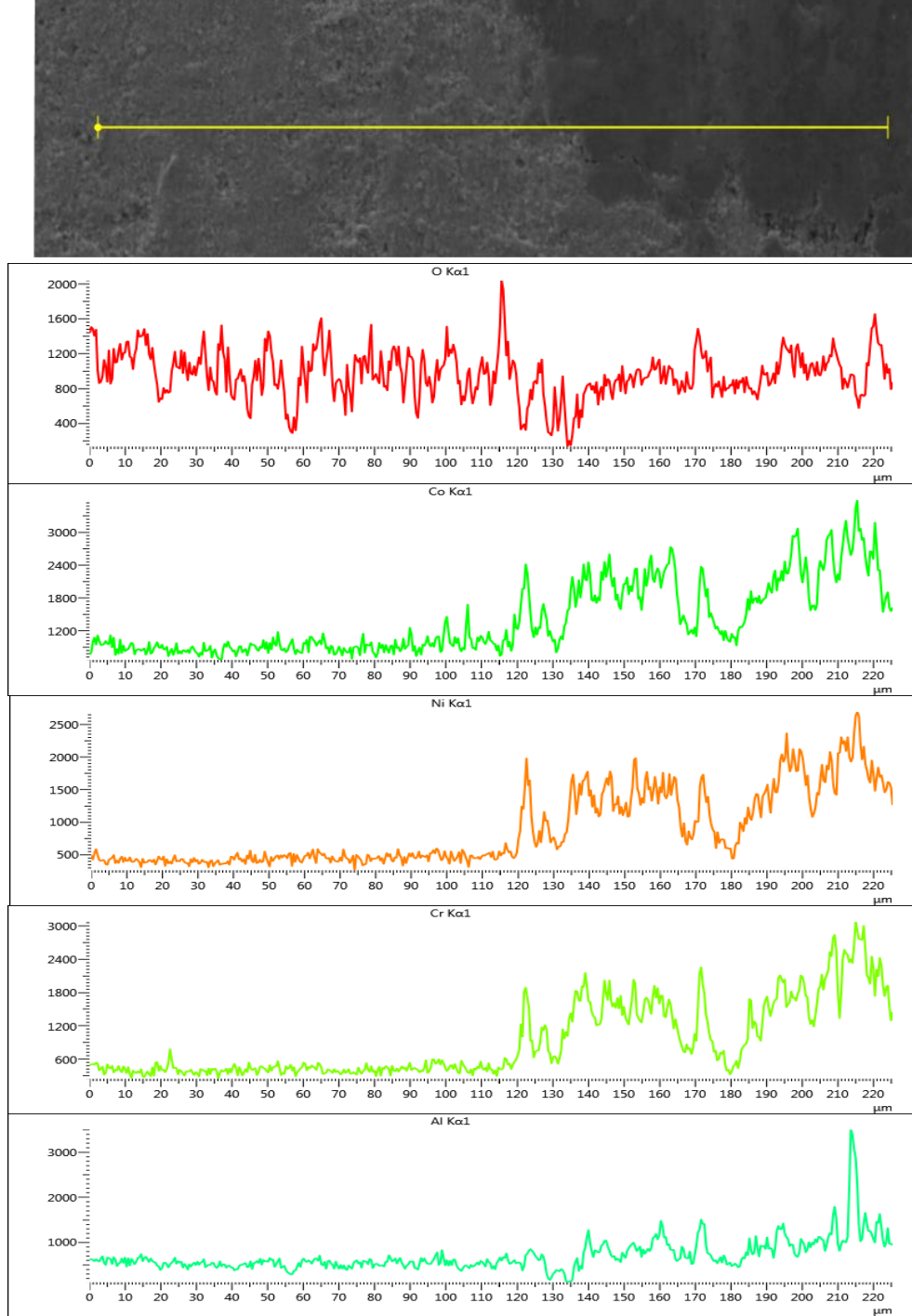
D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş metalik bağ kaplama tabakasının 500 °C sıcaklıkta 2N yük altında 4 m/s hızda 10 dk boyunca aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM mikro

yapısı ve ara yüzey görüntüsünün SEM elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Elementel dağılımda görüldüğü gibi, ana bileşimi oluşturan elementlerin homojen dağılımının yanı sıra yapıya sıcaklığın artmasına bağlı olarak, oksijen de ortaya çıkmıştır. Şekil 4.13’de gösterilen SEM elementel dağılımları verilen görüntüye ait numunenin SEM mikroskobunun EDS modülünü kullanarak alınan elementel analiz raporları Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



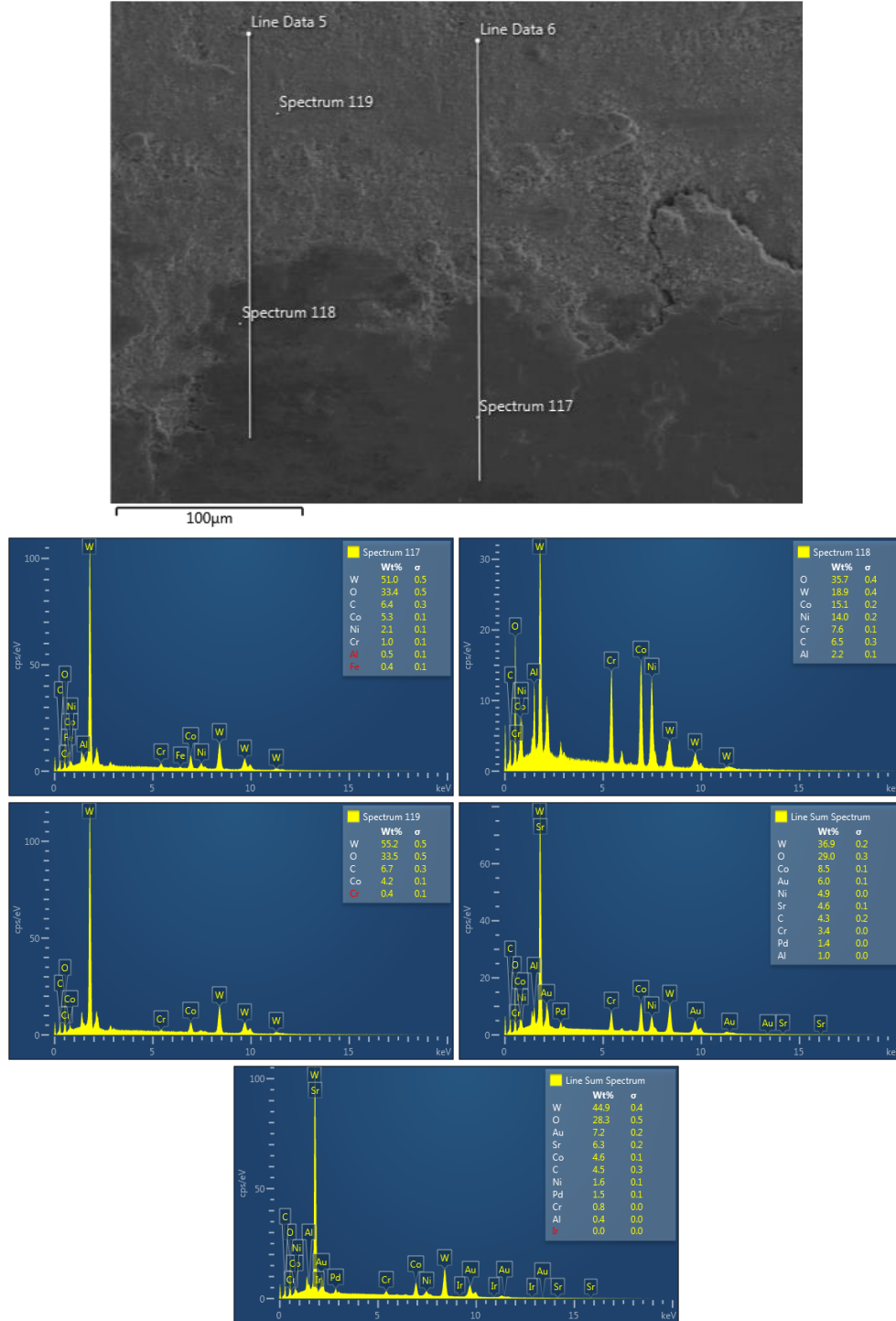
Şekil 4.13: 2N yük altında 500 °C’de aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Line-EDS analizleri incelendiğinde O, Co, Ni, Cr ve Al elementleri ortaya çıkmıştır. Sıcaklığında etkisiyle aşınan bölgelerde Co, Ni ve Cr elementlerinin yoğun olduğu görülürken, aşınmaya maruz kalmayan kaplama bölgesinde ise O elementinin daha yoğun olduğu görülmüştür.



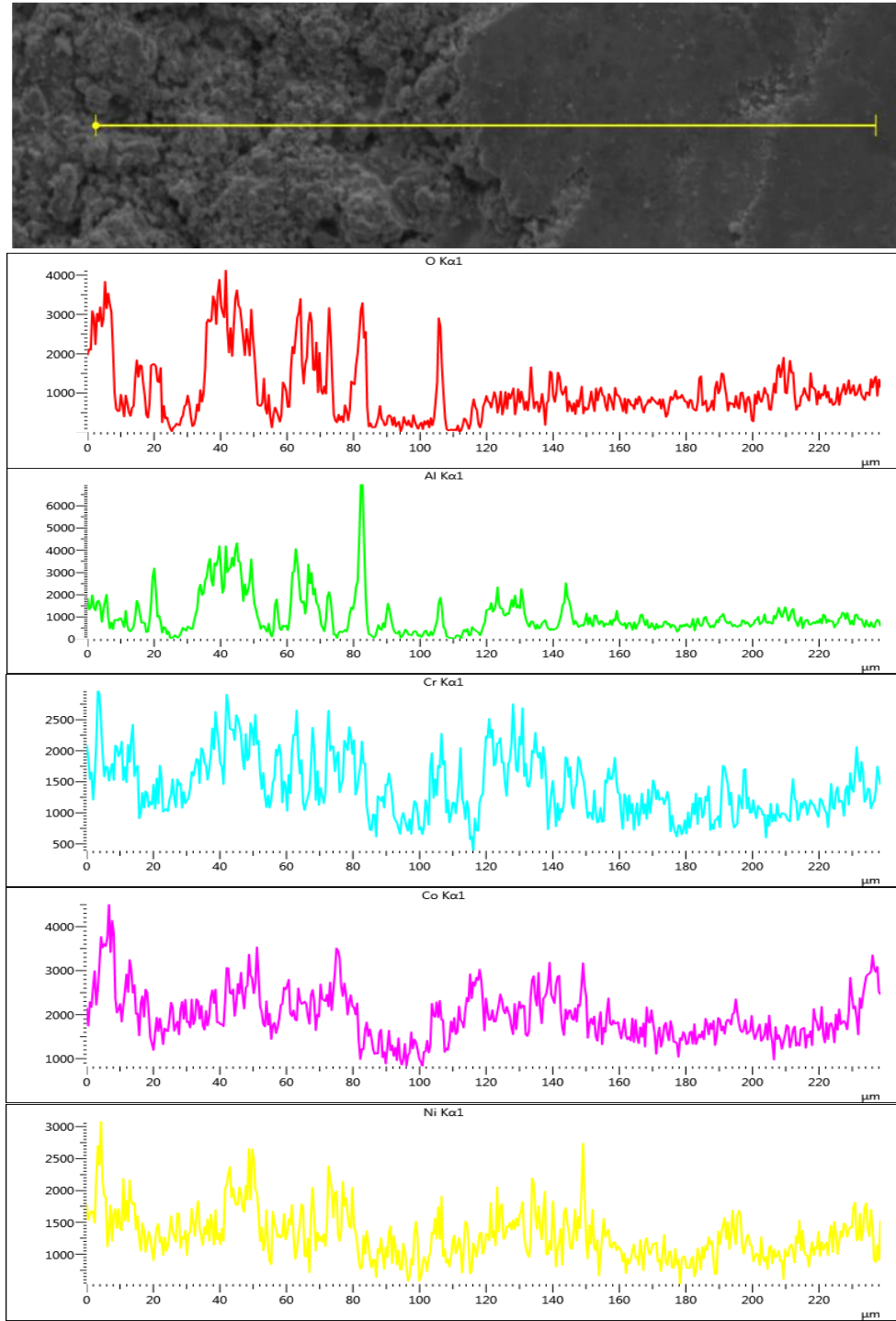
Şekil 4.14: 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

Şekil 4.15’de ise, yine D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 500 °C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınmaya maruz kalan farklı bir ara yüze ait, ana bileşimi oluşturan elementler ve farklı spektrumlardaki dağılımları gösterilmiştir. Analizler sonucunda oksijen miktarlarının oldukça fazla olduğu görülmüştür.



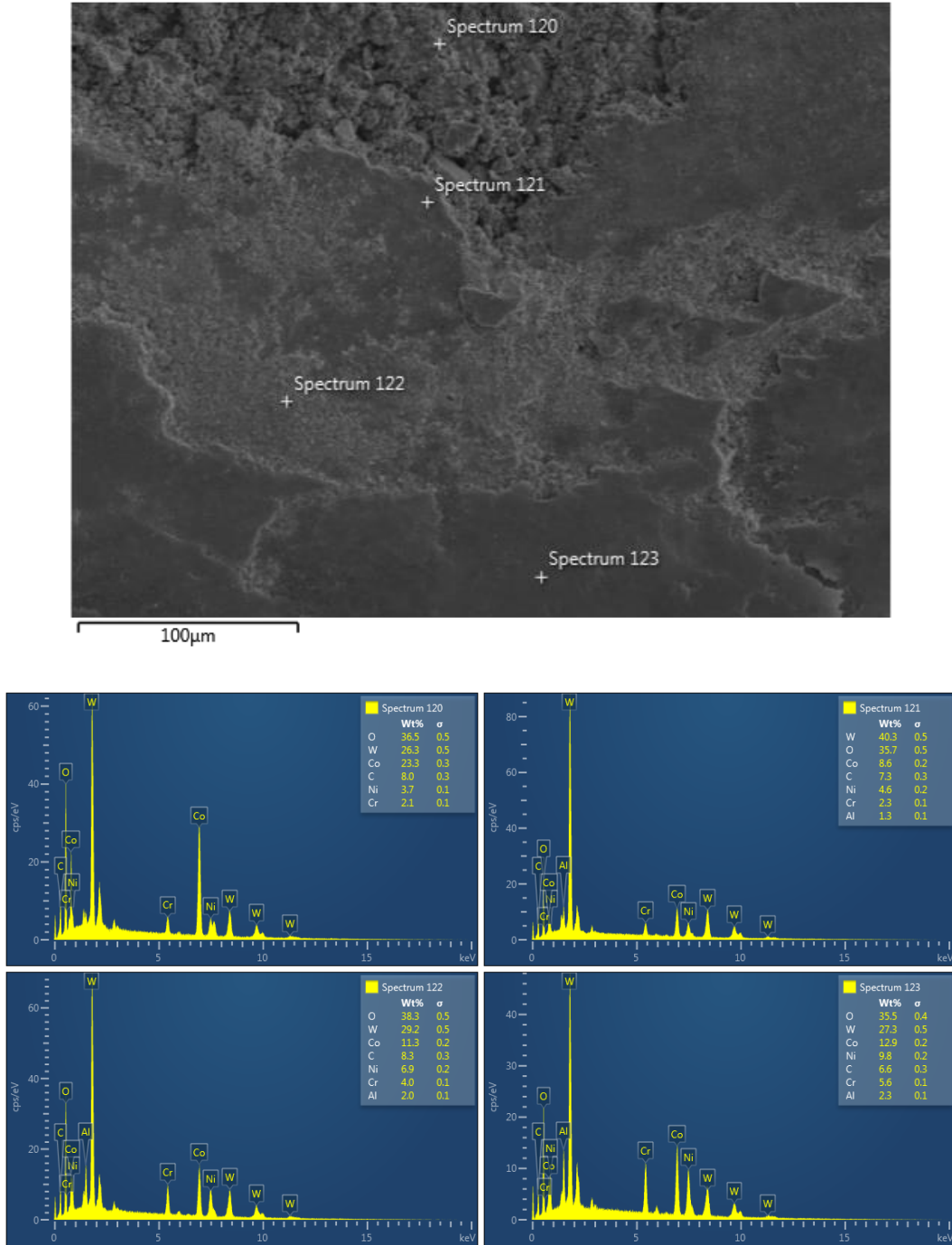
Şekil 4.15: D-Gun kaplama yöntemi ile üretilen MCrAlY metalik bağ kaplamaların 2N yük altında aşınma testi sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizi.

5N yük altında aşınma testine sabit tutulan numunenin SEM mikroskobunun EDS modülünü kullanarak alınan elementel analiz raporları Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Line-EDS analizleri incelendiğinde O, Co, Ni, Cr ve Al elementleri ortaya çıkmıştır. Sıcaklığında etkisiyle aşınmaya maruz kalmayan kaplama bölgesinde bulunan elementler ise yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak karasız bir davranış sergilediği görülmüştür.



Şekil 4.16: 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

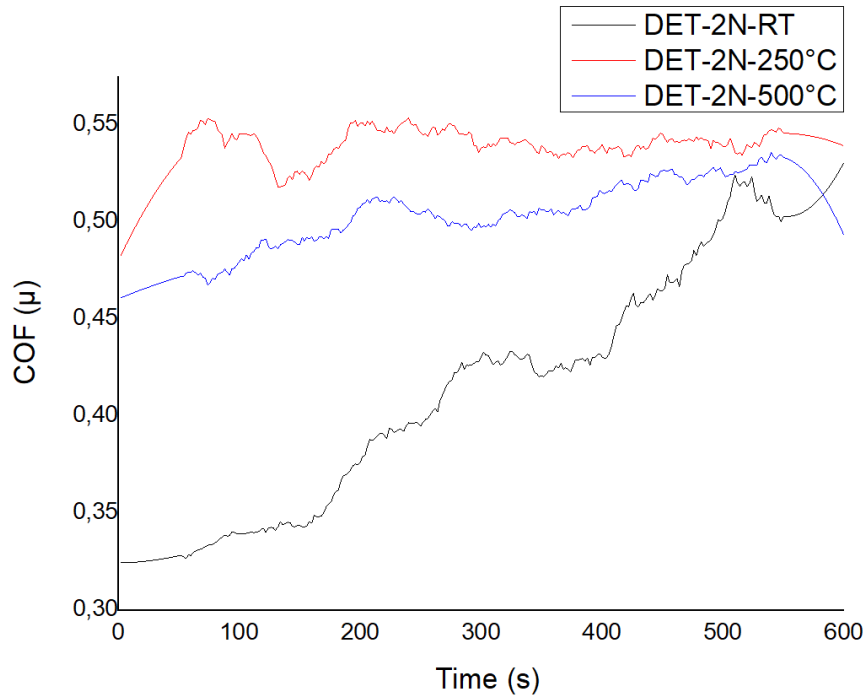
Şekil 4.17’de ise yine D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 500 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınmaya maruz kalan farklı bir ara yüze ait, ana bileşimi oluşturan elementler ve farklı spektrumlardaki dağılımları gösterilmiştir. Analizleri sonucunda oksijenin yanı sıra yükün artmasına bağlı olarak kobalt miktarının da oldukça fazla olduğu görülmüştür.



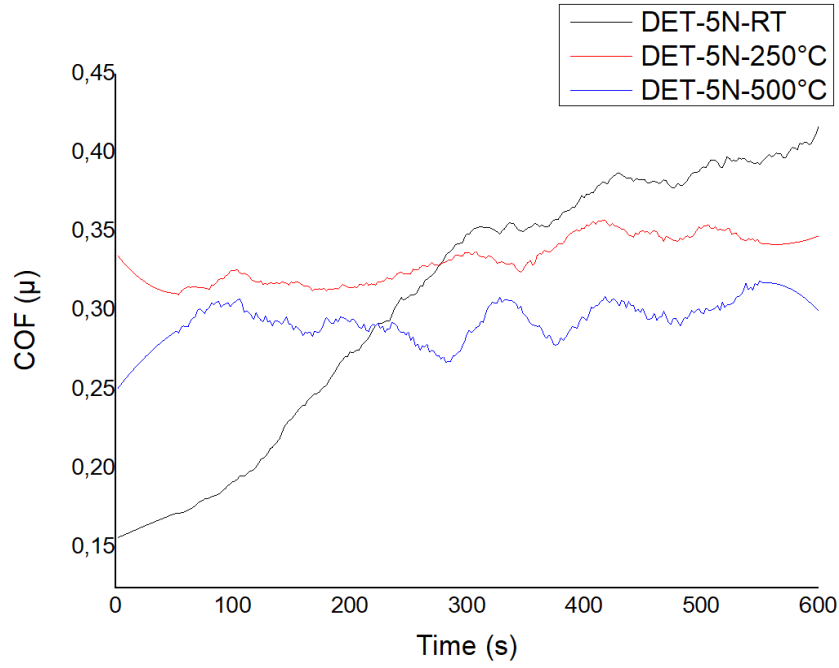
Şekil 4.17: D-Gun kaplama yöntemi ile kaplanan MCrAlY metalik bağ kaplamaların 5N yük altında aşınma testi sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizi.

D-Gun sprey kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin, farklı sıcaklıklarda ve farklı yükler altında yapılan aşınma testleri sonucunda meydana gelen mikro yapısal değişimler Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilen grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sıcaklık ve basınç değişikliklerinde aşınan yüzeylerde meydana gelen ve zamana göre değişiklik gösteren sürtünme katsayısı ve mikro yapısal değişimleri grafiksel olarak incelenmiştir. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi 2N yük altında oda sıcaklığında zamana bağlı olarak sürekli bir artış görülürken, 250 °C ve 500 °C sıcaklıklarda çok yönlü bir artış olduğu görülmemiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak mikro yapısal değişikliklerde artış beklenirken, en yüksek sürtünme katsayısının 250 °C’de olduğu görülmüştür.

Şekil 4.19’da ise, hemen hemen aynı değişim söz konusudur. Yine 250 °C’de yüksek mikro yapısal değişime sahip olduğu görülürken yükün artışıyla birlikte oda sıcaklığında yapılan aşınma testinde diğer sıcaklıklara göre daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Pin-on-disc cihazı ile gerçekleştirilen deneylerde 2N ve 5N’luk yükler kullanılmış ve deneyler sonucunda elde edilen, sürtünme ve aşınma direncine bağlı hacim kayıpları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’daki grafiklerde gösterilmiştir.

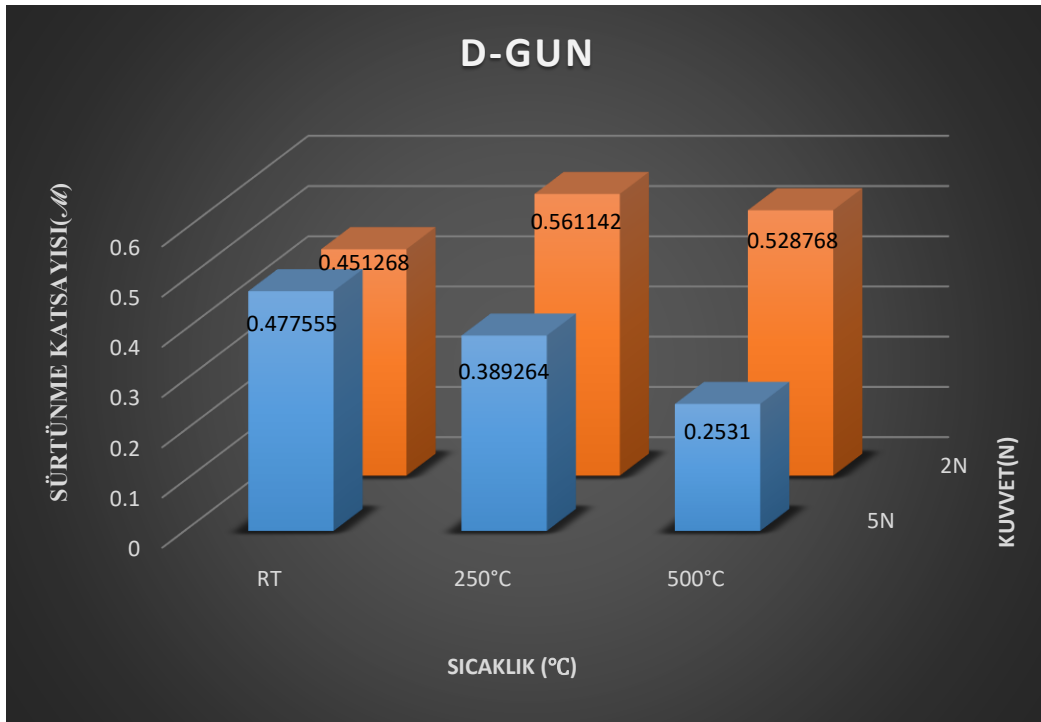


Şekil 4.18: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen 2N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.19: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilen 5N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.

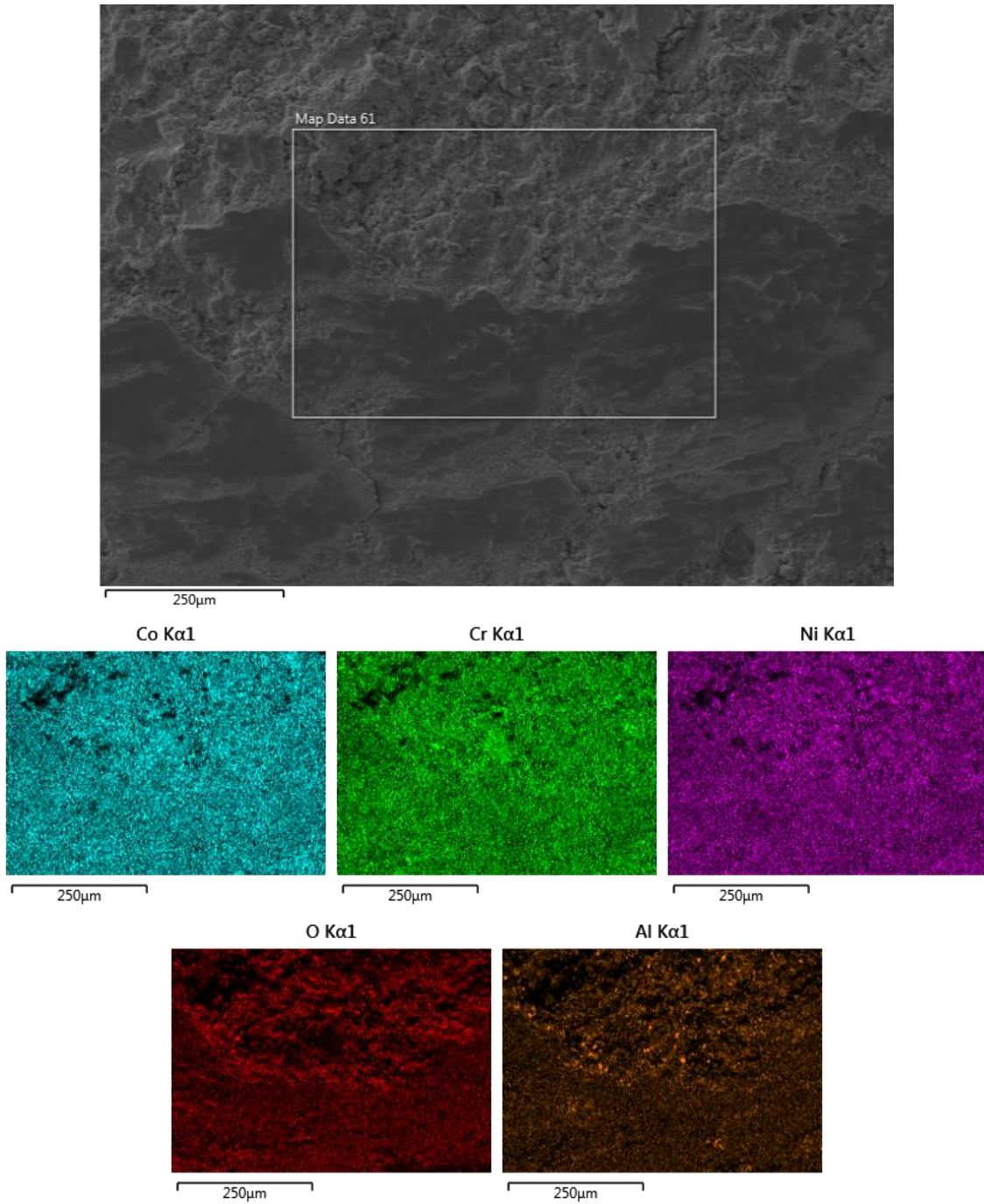
Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da farklı sıcaklıklarda ve farklı yükler altında yapılan aşınma testleri sonucunda meydana gelen mikro yapısal değişimler gösterilmiştir. Sıcaklık ve yükün artmasında bağlı olarak değişiklik gösteren mikro yapılar Şekil 4.20’den daha iyi anlaşılmıştır. 4m/s’de 10 dk boyunca aşınma testine tabi tutulan ve 10. dk’nın sonunda her bir numunelerdeki sürtünme katsayılarındaki artışlar ve buna bağlı olarak hacim kayıpları incelenmiştir. 2N ve 250 °C’de aşınma testine tabi tutulan numunelerin en yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20: D-Gun kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 2N ve 5N yüklerde 4 m/s’de 10 dk sonunda meydana gelen sürtünme katsayılarının incelenmesi.

4.1.2.4.Oda Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPS Kaplamaların Mikro Yapıları

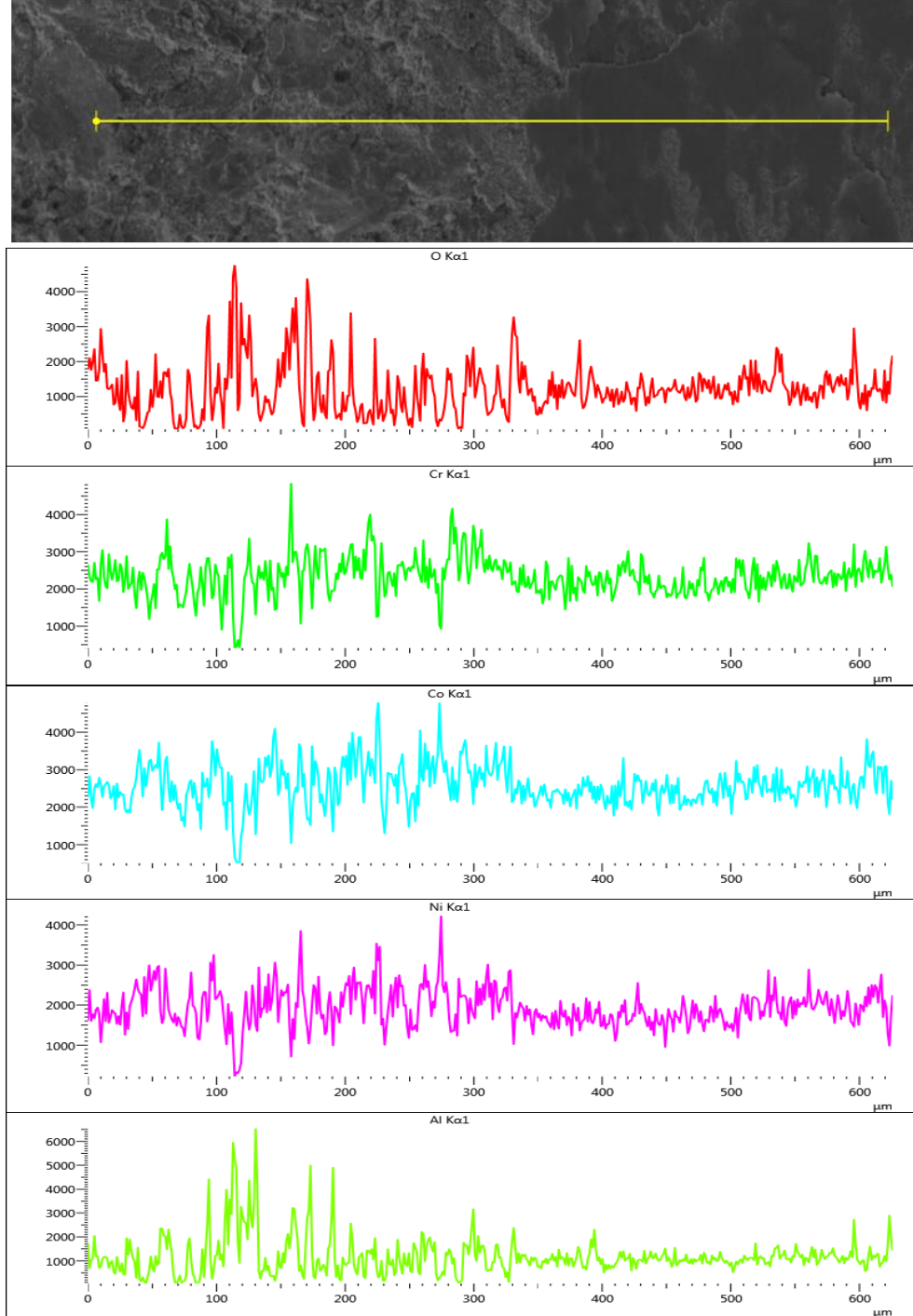
SAPS kaplama yönteminde de D-Gun kaplama yöntemiyle olduğu gibi MCrAlY metalik bağ kaplama tabakasının oda sıcaklığında 2N yük altındaki aşınma testi sonrası SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. 2N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunelerde plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.21: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Metalik bağ kaplama elementlerinin, yapılan analiz sonucunda homojen bir dağılım olduğu görülmüştür. Aşınma testi sonrasında yapılan analizlerde, D-Gun kaplama yönteminde Co, Cr, Ni, Al ve O elementleri ortaya çıkarken, Şekil 4.22’de ise SAPS kaplama yöntemi ile üretilen ve 2N yük altında oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS analizlerinde de aynı elementlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Oda sıcaklığında teste

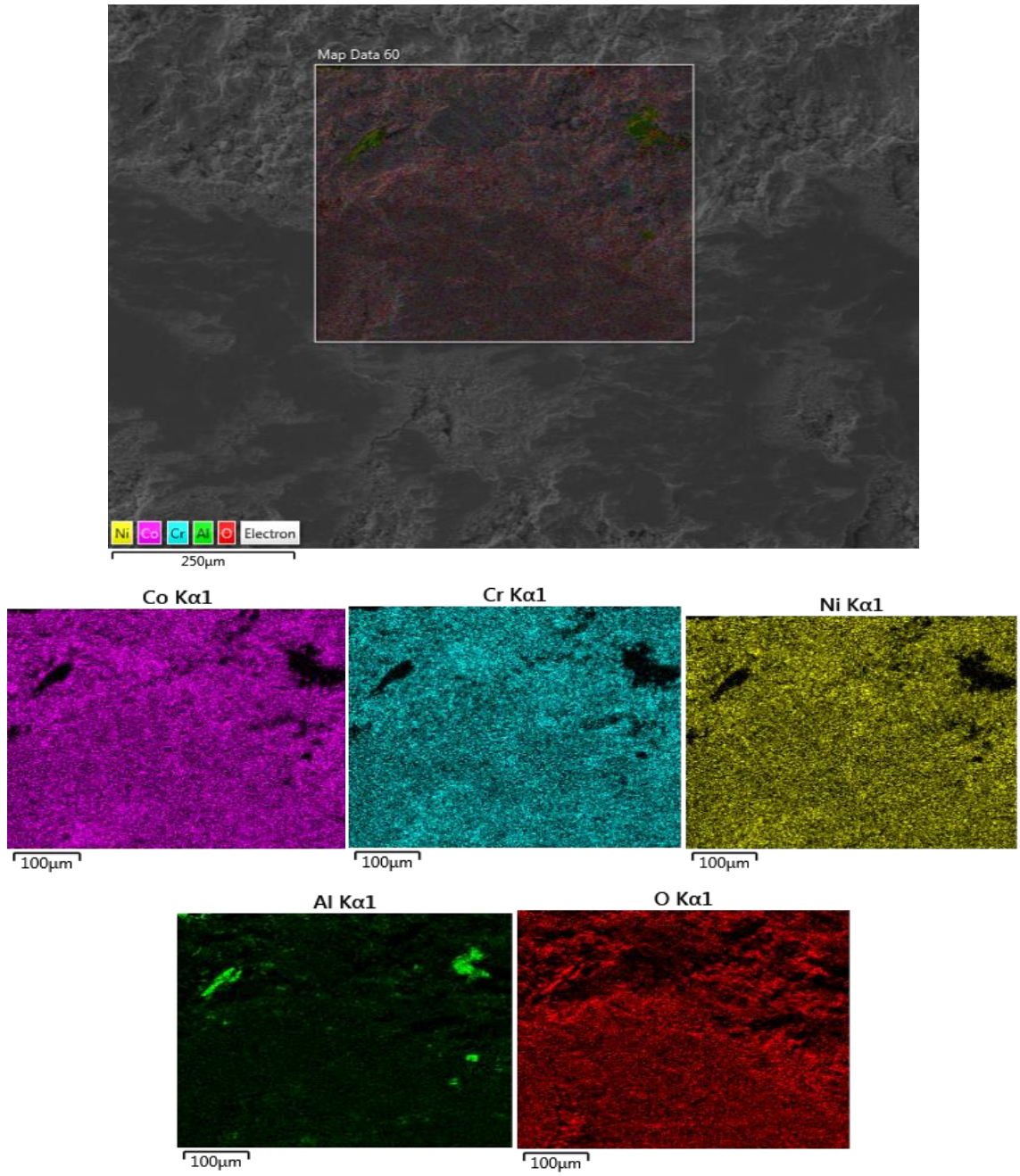
tabi tutulan numunenin öncelikle yüzeydeki pürüzlerinin temizlenerek kompakt bir yapının oluştuğu, sonrasında oluşan bu yapının bölgesel kırılma ve dökülmeler bağlı olarak yüzeyden ayrıldığı görülmüştür.



Şekil 4.22: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

Yapılan EDS analizleri sonucunda aşınmaya maruz kalan bölgelerde Cr, Co ve Ni elementlerinin çok yoğun olduğu görülürken, ortaya çıkan diğer elementlerin ise daha az bir yoğunluklara sahip olduğu ve aşınma yapılmayan bölgelerde ise elementler düzensiz bir yoğunluğa sahiptirler. Çizgiler hemen hemen aynı düzeyde ilerlerken plastik deformasyonun yoğun olduğu bölgede farklılık olduğu görülmüştür.

MCrAlY metalik bağ kaplama tabakasının oda sıcaklığında 5N yük altındaki aşınma testi sonrasında ise numunenin SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Şekil 4.23’den de anlaşıldığı gibi 5N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunelerin plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu ve analiz sonucunda bağ kaplama elementlerinin yapılan analiz sonucunda homojen bir dağılımda olduğu görülmüştür.

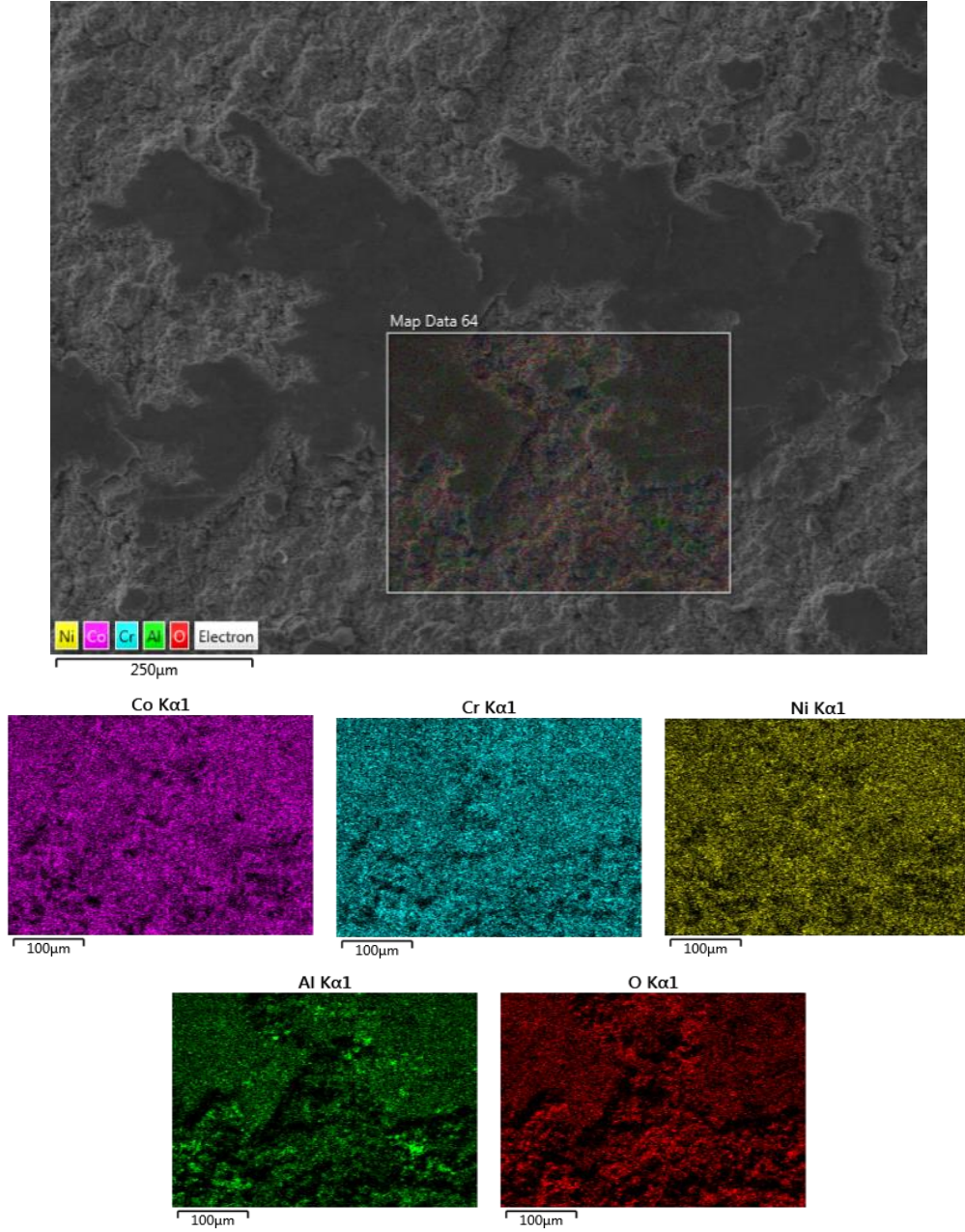


Şekil 4.23: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, oda sıcaklığında ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

4.1.2.5. 250 °C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPS Kaplamaların Mikro Yapıları

SAPS kaplama yönteminde MCrAlY metalik bağ kaplama tabakasının 250 °C sıcaklığında 2N yük altındaki aşınma testi sonrası SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.24’de gösterilmiştir. 2N yük altında, 4 m/s hızda

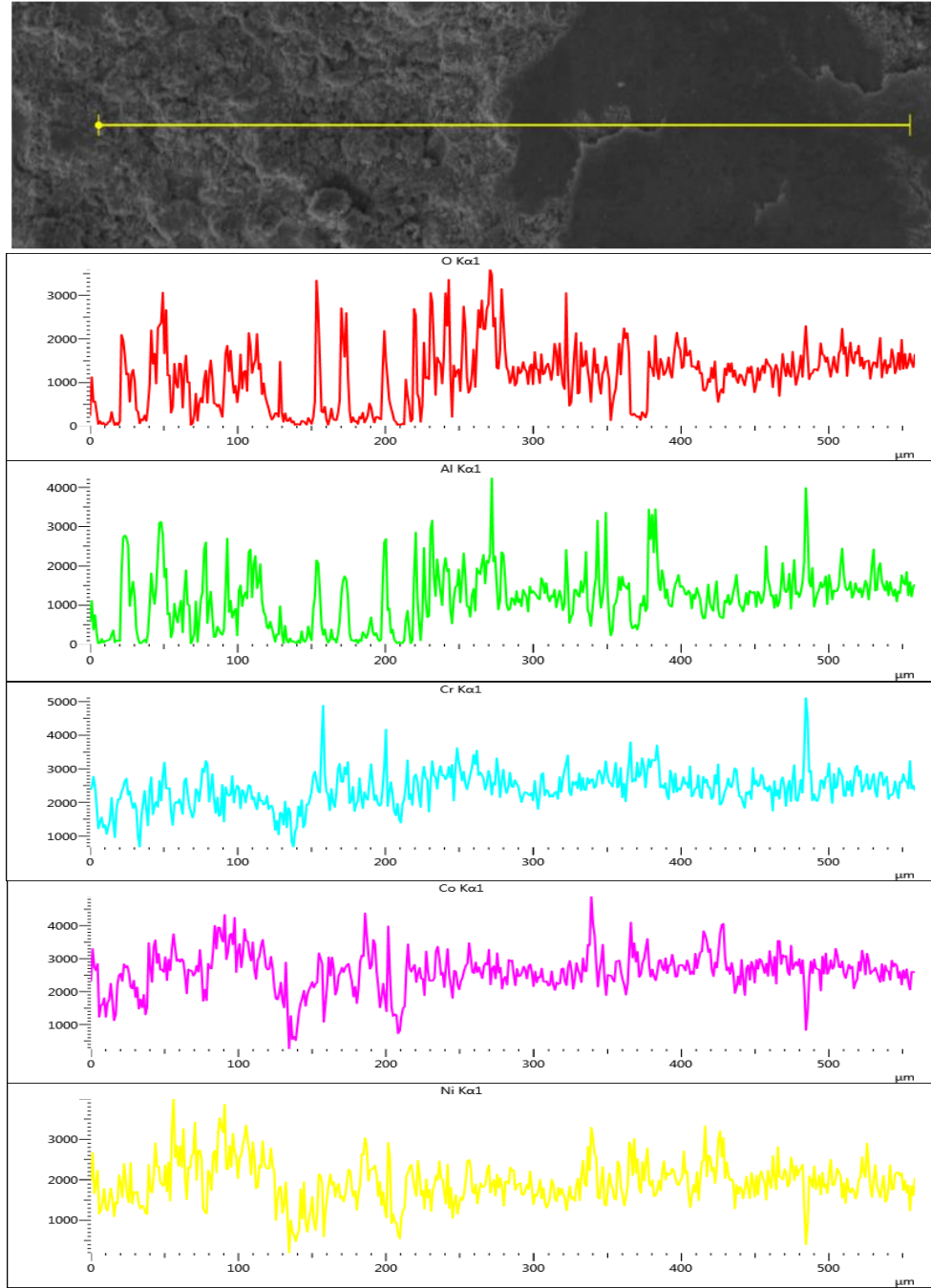
ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunelerde plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülükleri görülmüştür.



Şekil 4.24: SPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250 °C sıcaklığında ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Bu yöntemde, metalik bağ kaplama elementlerinin, yapılan analiz sonucunda homojen bir dağılım olduğu görülmektedir. Yapılan analizlerde, oda sıcaklığında yapılan aşınma testlerinde Co, Cr, Ni, Al ve O elementleri ortaya çıkarken, 250 °C sıcaklıkta yapılan aşınma testlerinde ise sıcaklığın artmasıyla birlikte Co, Cr, Ni, Al ve O elementlerinin ortaya çıktığı

görülmüştür. Şekil 4.25’de ise SAPS kaplama yöntemi ile üretilen ve 2N yük altında 250 °C sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS analizleri gösterilmiştir.

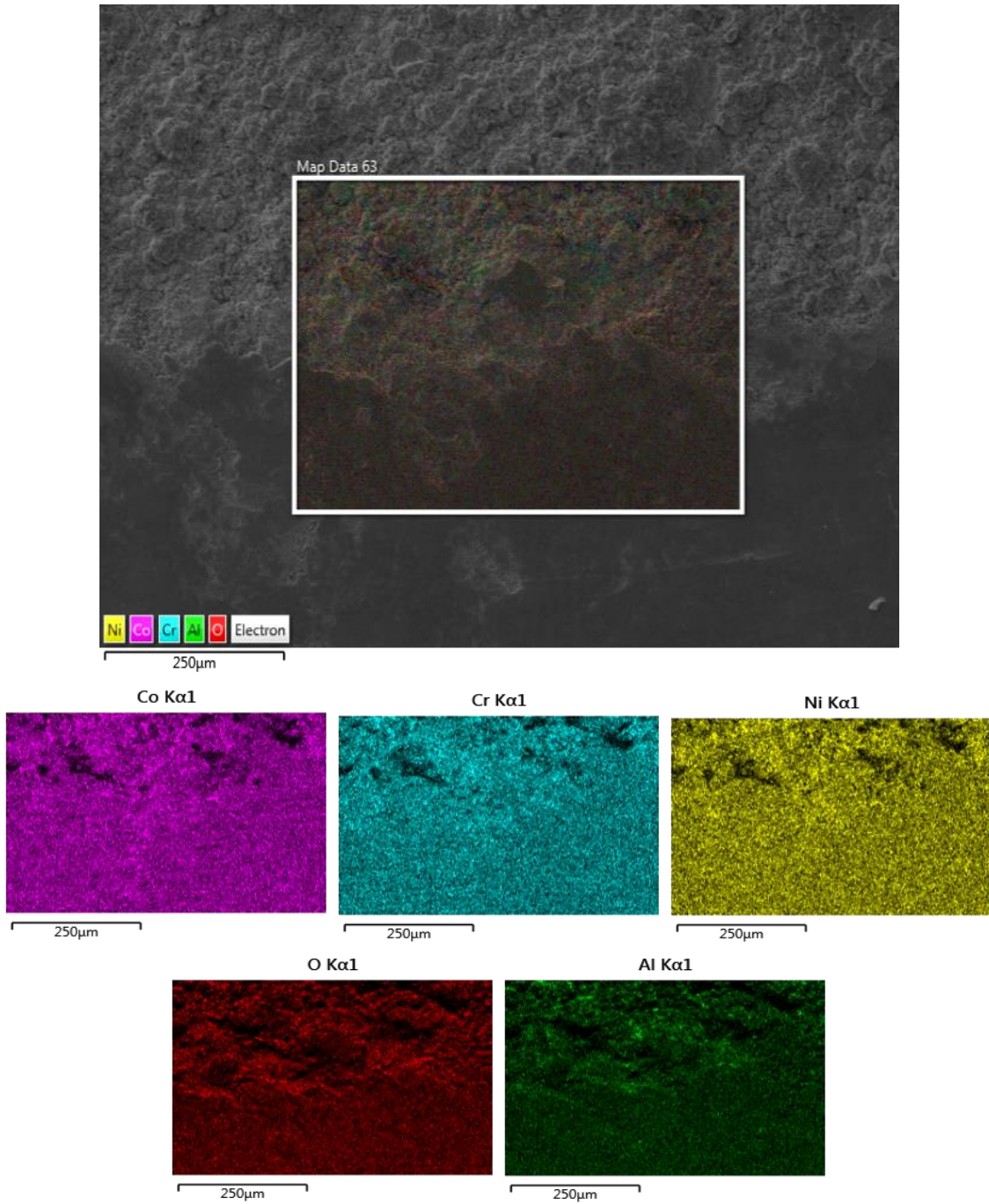


Şekil 4.25: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250 °C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

Yapılan deneyde aşınmaya maruz kalan noktalar ile aşınma yapılmayan kısımlar arasında çok fazla yoğunluk farkları olmadığı gibi görünse de aşındırılan kısımların diğer kısımlara oranla biraz fazla yoğun olduğu söylenebilir. Özellikle de Ni, Co, Cr, Al ve O elementlerinde

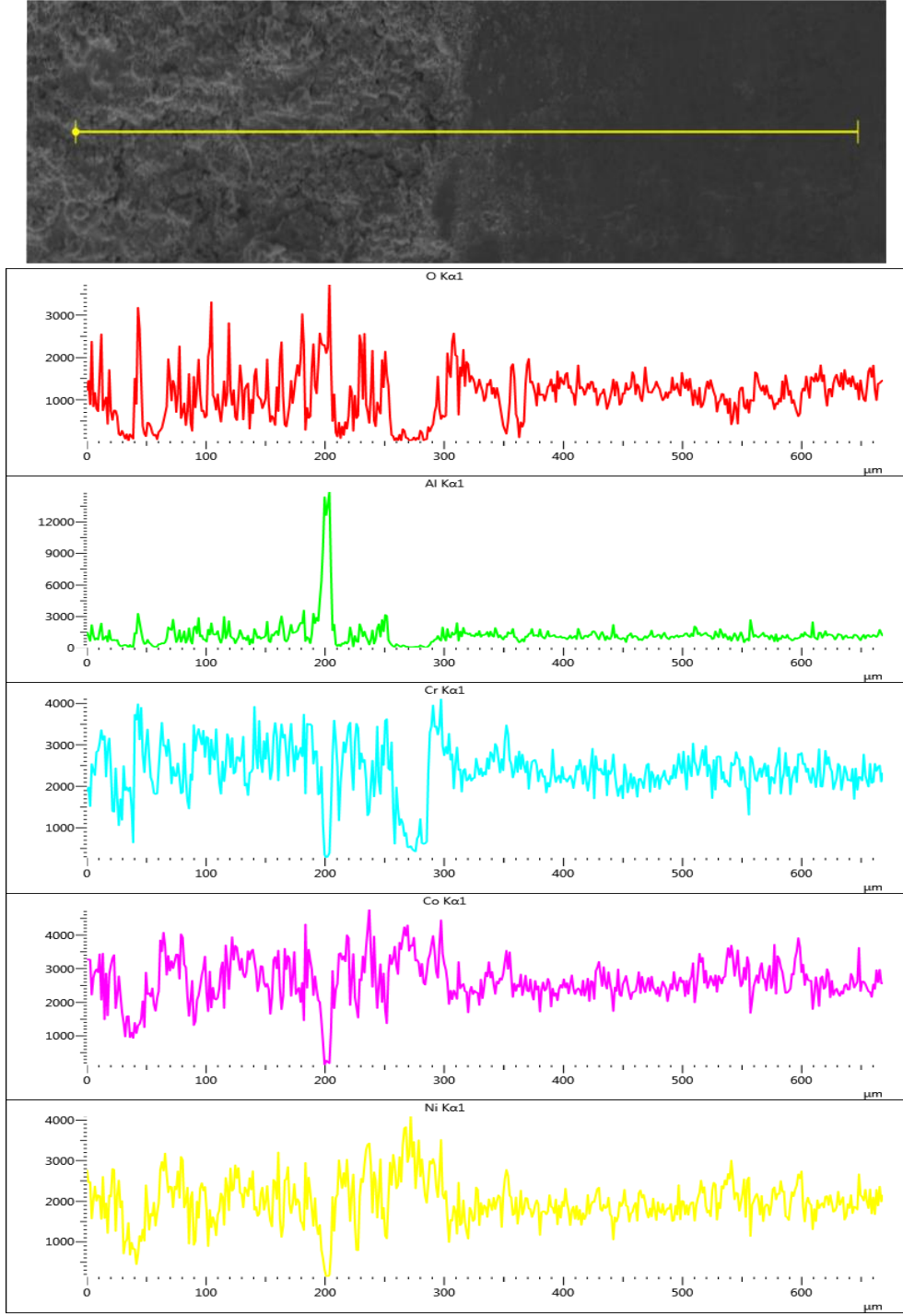
yoğunluk farkları biraz daha anlaşılır durumda olduğu gözlemlenmiştir. Metalik bağ kaplama tabakasının 250 °C sıcaklıkta 5N yük altındaki aşınma testi sonrasında ise numunenin SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Şekil 4.26'dan da anlaşıldığı gibi 5N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunelerde plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu görülmektedir. Analiz sonucunda bağ kaplama elementlerinin yapılan analiz sonucunda yükün artmasıyla elementler arasında değişim olmamıştır.

250 °C'de gerçekleştirilen testlerde, yüzeyde oluşan tabakanın çok daha kompakt bir şekilde meydana geldiği ve zamanla kırılan tabakanın dökülmesi sonucu meydana gelen plastik deformasyon çatlamları ve gözenekler oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.26: SPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Şekil 4.27’de ise, SPS kaplama yöntemi ile üretilen ve 250 °C sıcaklığında 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS analizleri gösterilmiştir.



Şekil 4.27: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 250 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

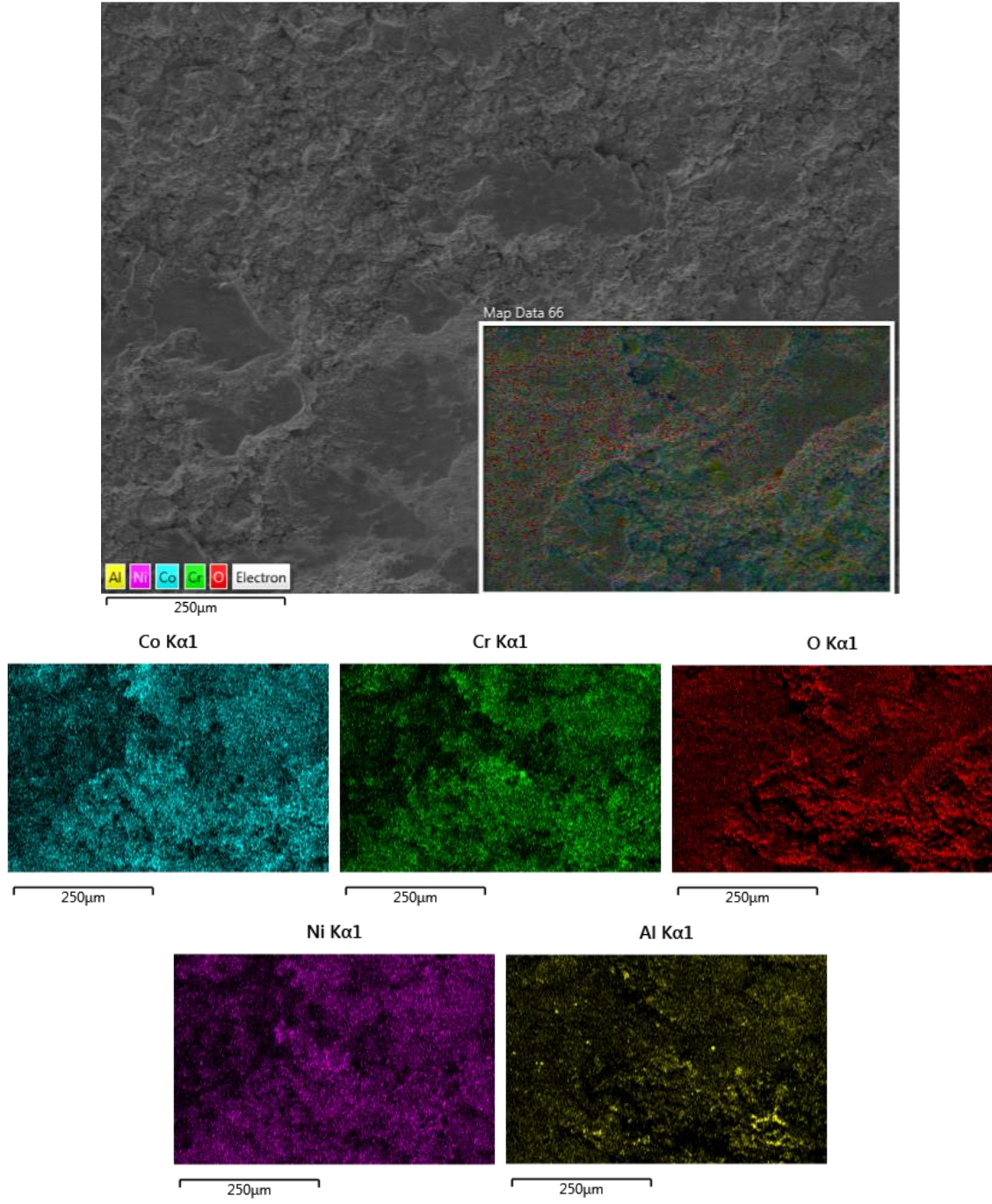
Yapılan analizler sonucunda O, Al, Cr, Co ve Ni elementleri ortaya çıkmıştır. Sıcaklığın ve yükün artmasıyla yüksek bir yoğunluk farkları olmadığı görülmüştür. Fakat sadece Al elementinde bir farklılık olduğu görülür ki yok denecek kadar az bir yoğunluğa sahip olduğu

görülmüştür. Genel olarak, aşındırılan ve aşınmaya uygulanmayan bölgeler arasında çok büyük bir yoğunluk farklarının olmadığı görülmüştür.

4.1.2.6. 500 °C Sıcaklığında 2N ve 5N Yük Altında Yapılan Aşınma Testi Sonrası SAPS Kaplamaların Mikro Yapıları

SAPS kaplama yönteminde MCrAlY metalik bağ kaplama tabakasının 500 °C sıcaklığında 2N yük altındaki aşınma testi sonrası SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel analiz dağılım görüntüleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir. 2N yük altında, 4m/s hızda ve 10dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası numunelerde numunelerin mekanik özellikleri ve yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde aşınan yüzeylerde plastik deformasyonların meydana geldiği görülmüştür.

Bu yöntemde, metalik bağ kaplama elementlerinin, yapılan analiz sonucunda sıcaklığın artmasıyla bir değişiklik olmayıp, homojen bir dağılımın değil heterojen bir dağılım olduğu görülmüştür. Yapılan analizlerde, 250 °C sıcaklıkta yapılan aşınma testlerinde olduğu gibi yine Co, Cr, Ni, Al ve O elementleri ortaya çıkmasıyla sıcaklığın artmasıyla elementel dağılımda değişiklik olmadığı görülmüştür. Fakat deformasyon durumunun daha net bir şekilde anlaşıldığı görülmektedir. Şekil 4.29’da ise SAPS kaplama yöntemi ile üretilen ve 2N yük altında 500 °C sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS analizleri gösterilmiştir.



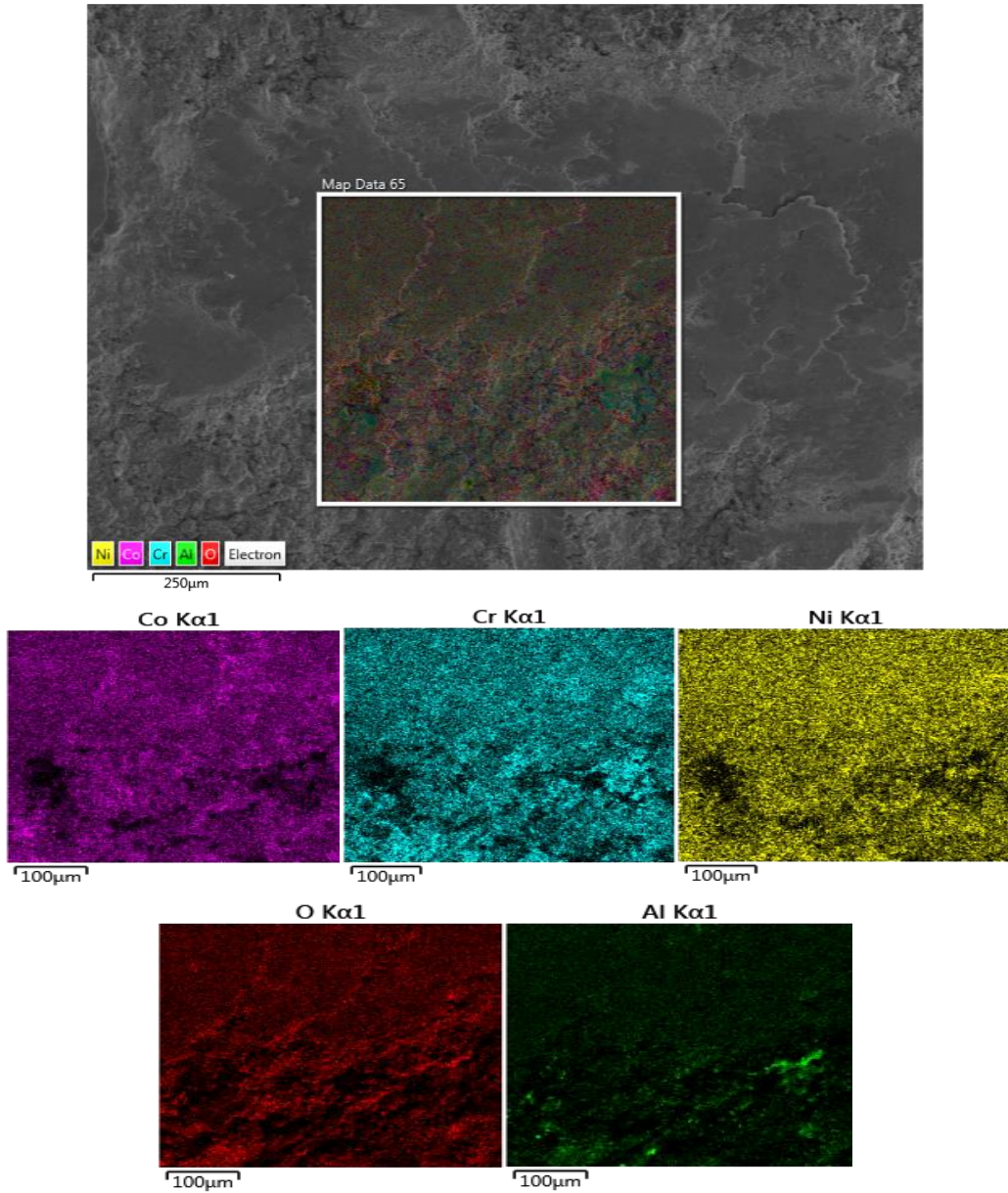
Şekil 4.28: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500 °C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.



Şekil 4.29: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500 °C sıcaklıkta ve 2N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

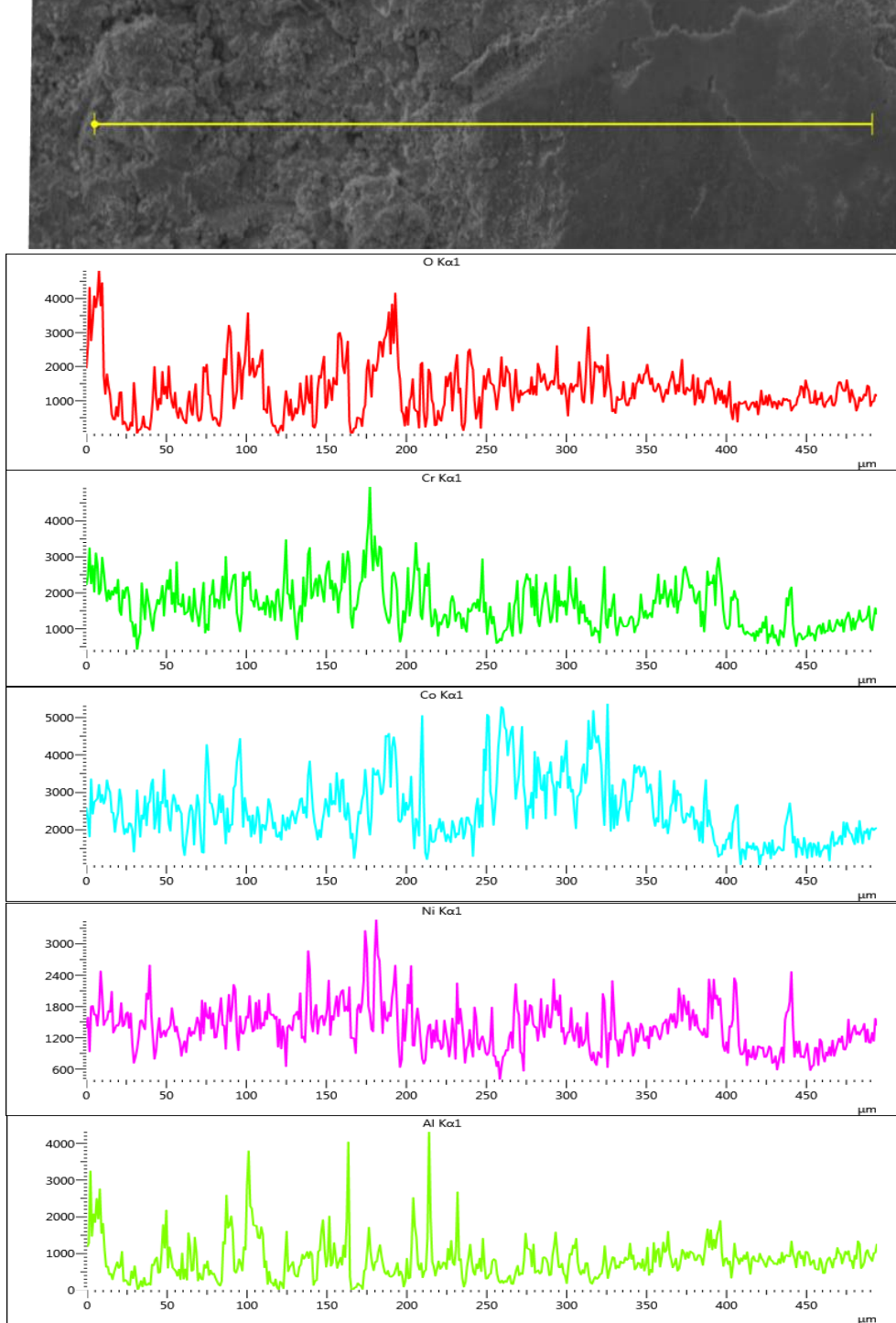
Yapılan deneyde aşınmaya maruz kalan noktalar ile aşındırılmayan kısımlar arasında çok fazla yoğunluk farkları olmadığı gibi görünse de aşındırılan kısımların diğer kısımlara oranla daha fazla yoğun olduğu görülmüştür. Kaplama tabakasının 500 °C sıcaklıkta 5N yük

altındaki aşınma testi sonrasında ise numunenin SEM mikro yapısı ve ara yüzey görüntüsünün elementel haritalama görüntüleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir. Şekil 4.29’dan da anlaşıldığı gibi 5N yük altında, 4 m/s hızda ve 10 dk boyunca devam eden aşınma testi sonrası sıcaklık ve basıncın artmasına bağlı olarak numunelerin plastik deformasyona uğradığı ve zamanla ara yüzey pürüzlülüğündeki azalmalar olduğu ve yapılan analiz sonucunda bağ kaplama elementlerde yükün artmasıyla elementler arasında değişim olduğu görülmüştür.



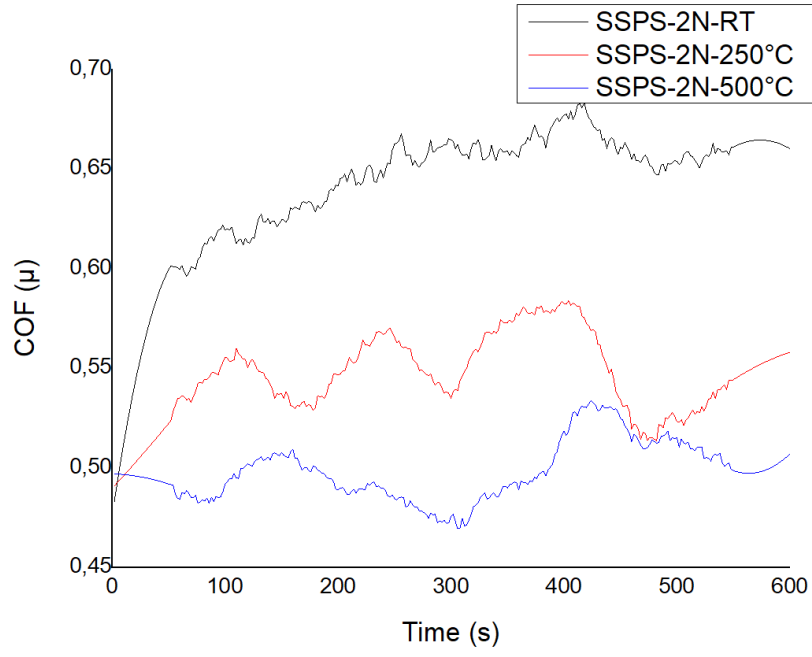
Şekil 4.30: SPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

Şekil 4.31’de ise SAPS kaplama yöntemi ile üretilen ve 5N yük altında 500 °C sıcaklığında aşınma testine tabi tutulan bu numunenin line-EDS analizleri gösterilmiştir. Aşınmaya maruz bırakılan bölgelerde ve aşınmaya maruz bırakılmayan kaplama bölgelerinde heterojen bir dağılımı olduğu görülmüştür.

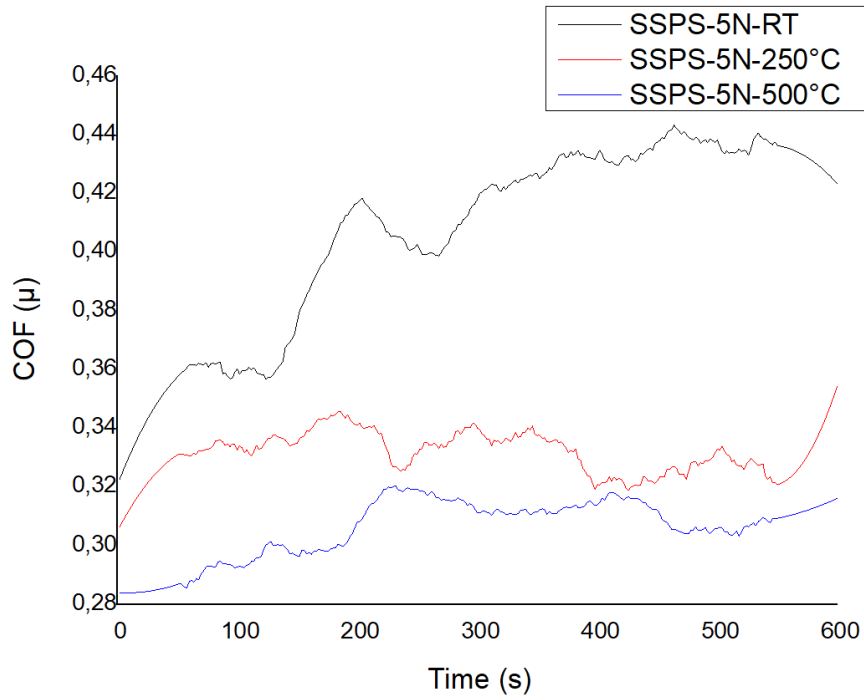


Şekil 4.31: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen, 500 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan kaplamanın line-EDS analizleri.

SAPS kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin, farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) ve farklı yükler (2N ve 5N) altında yapılan aşınma testleri sonucunda meydana gelen mikro yapısal değişimler Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilen grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sıcaklık ve basınç değişikliklerinde aşınan yüzeylerde meydana gelen ve zamana göre değişiklik gösteren sürtünme katsayısı ve mikro yapısal değişimleri grafiksel olarak incelenmiştir. Şekil 32’de görüldüğü gibi 2N yük altında oda sıcaklığında zamana bağlı olarak sürekli bir artış görülürken, 250 °C ve 500 °C sıcaklıklarda çok yönlü bir artış olduğu görülmemiştir. En yüksek sürtünme katsayısının oda sıcaklığında olduğu ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak numunelerin mikro yapılarında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Pin-on-disc cihazı ile gerçekleştirilen deneylerde 2N ve 5 N’luk yükler kullanılmış ve deneyler sonucunda elde edilen hacim kayıpları Şekil 4.32 ve 4.33’ deki grafikte gösterilmiştir. Grafikten anlaşılabacağı üzere SAPS kaplama yöntemi ile kaplama işlemi uygulanan numunelerin hacim kayıpları hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda D-Gun kaplama yöntemi kullanılarak kaplanan numunelerin hacim kayıplarından daha yüksek tespit edilmiştir. SAPS yöntemi ile yüzeyi kaplanan numunelerin oda sıcaklığındaki hacim kayıpları yüksek sıcaklıklara kıyaslandığında daha yüksek olduğu ve yapılan deneyler sonucunda en iyi aşınma direnci 5N yük altında 500 °C de aşındırma işlemine tabi tutulan numunede olduğu görülmüştür.

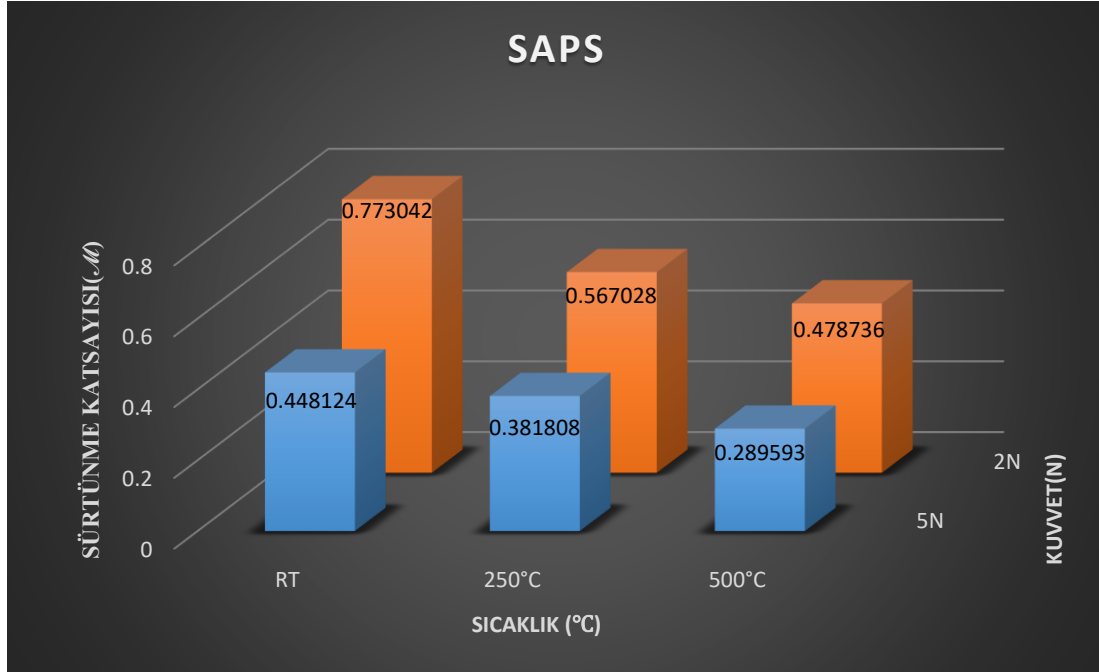


Şekil 4.32: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen 2N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.33: SAPS kaplama yöntemiyle üretilen 5N yük altında farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testine tabi tutulan kaplamanın zamana bağlı değişimi.

Şekil 34’de verilen sütun grafiğinde ise 2N ve 5N yüklerde ve farklı sıcaklıklarda aşınma testine tabi tutulan kaplamaların sürtünme katsayıları ve buna bağlı olarak kaplama üzerinde hacim kayıpları incelenmiştir.



Şekil 4.34: SAPS kaplama yöntemiyle üretilmiş kaplamaların, 2N ve 5N yüklerde 4 m/s’de 10 dk sonunda meydana gelen sürtünme katsayılarının incelenmesi.

Kaplama sertliklerinin hacim kayıplarını değerlendirecek olunursa, SAPS kaplama yöntemi ile yüzeyi kaplanan numunelerin sertlikleri 350 Hv olarak görülürken, D-Gun kaplama yöntemi ile işleme tabi tutulan numunelerin sertlikleri 475 Hv olarak belirlenmiştir. Sertlik cismin kendisine batmaya çalışan başka bir cisme göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanırsa çoğu zaman sertliğin artması aşınma direncinin artmasına sebep olmuştur.

SAPS kaplama yöntemiyle üretilen numunelerin yüzey 350 Hv, D-Gun kaplama yöntemi ile üretilen numunelerin ise, 475 Hv olduğu daha önce belirtilmişti ve aşındırma olayının başlaması ile birlikte SAPS numunesinin yüzeyinden kopan partiküller yeterli sertliği sahip olmadığından dolayı çoğu sistemde dışarı atılmıştır. Artan yük ile birlikte bu oranın arttığı anlaşılmıştır. Ancak D-Gun kaplama yöntemi ile işleme tabi tutulan numunelerin sertlikleri hemen hemen altı sertliğe eşit olduğundan aşınma esnasında kırılan partiküllerin büyük bir kısmı artan yük ile birlikte yüzeye tekrar tutunarak aşınma direncini arttırmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda numunelerin hacim kayıplarının azalmasını ise iki olaya bağlamak

mümkündür. Bunlardan birincisi artan sıcaklık değeri ile birlikte malzemenin plastik deformasyon kabiliyetinin artmasıdır. Böylece aşındırma işlemi esnasında meydana gelen aşınma atıkları kaplama tabakası ve alt yüzeyin plastik deformasyon kabiliyeti yükseleceği için baskı altında aşındırıcı top ve karşı yüzey arasında sıkışan partiküller preslenerek yüzeye yapışacaktır. Diğer bir yaklaşım ise sıcaklığın artması ile birlikte kaplama tabakasını oluşturan Cr ve Ni gibi elementlerin oksitlenme yüzde oranı artacağı için yüzeyin mekanik özelliklerini artırarak aşınma direncini yükseltecektir. Çünkü oksidasyon yüksek sıcaklıklarda metalik malzemeler için önemli bir reaksiyondur. İşlem esnasında, oksijen molekülleri metallerin oksijene olan düşkünlüğüne göre ortamdan yakalanır. Böylece ince bir oksit tabakası şekillenmeye başlar. Zamanın geçmesi ile bu tabaka daha da kalınlaşabilir. Ancak, burada oksit tabakasının kırılması ve oluşumu sırasında diğer parametreleri de unutmamak gereklidir. Yani uygulanan yük, aşınma hızı, aşınma yolu, malzeme gibi benzeri durumlar bunda etkili parametrelerdir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1.Genel Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada, Inconel 718 süper alaşım altlık malzeme üzerine, D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri kullanılarak MCrAlY içerikli metalik bağ kaplamaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplamalar oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C olmak üzere üç farklı ortam sıcaklığında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık aşınma testleri öncesi ve sonrasında mikroyapısal özellikleri, mekanik özellikleri ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Kaplanmış ve aşınmış yüzeylerin taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), sertlik ve 3D topografyası karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri kullanılarak, Inconel 718 süper alaşım altlık malzeme üzerine MCrAlY metalik bağ kaplamaların üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.
2. D-Gun ve SAPS kaplama yöntemleri ile üretilen metalik bağ kaplamalar, farklı yüklerde (2N ve 5N) ve farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 250 °C ve 500 °C) aşınma testlerine tabi tutularak kaplamaların mekanik özellikleri incelenmiştir. Yükün artması ile numunelerin aşınma oranı ve sürtünme katsayısına bağlı olarak hacim kayıplarında artış olduğu tespit edilmiştir.
3. Analizler neticesinde, özellikle SAPS kaplama yöntemiyle üretilen kaplamaların oda sıcaklığında teste tabi tutulduğunda öncelikle yüzeyde bulunan partiküllerin temizlenerek kompakt bir yapının oluştuğu sonrasında oluşan bu yapının bölgesel kırılma ve dökülmelere bağlı olarak yüzeyden ayrıldığı gözlemlenmiştir. 250 °C’ de ise zamanla kırılan tabakanın dökülmesi sonucunda meydana gelen plastik deformasyonlar (çatlamalar) ve gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. 500 °C’ de aşınma testine tabi tutulan kaplamalarda ise, yüzeydeki hasar oluşumlarının diğerlerinden daha az olduğu ve delaminasyona bağlı olarak yüzeyde tabaka şeklinde

aşınma partiküllerinin oluştuğu görülmüştür. Diğer sıcaklık koşullarındaki kaplamalara göre karşılaştırma yapıldığında ortaya çıkan daha pürüzsüz yüzeyin sıcaklıkla birlikte yüzeyde oluşan oksit tabakalarıyla ilişkili olduğu görülmüştür.

4. Aşınmaya tabi tutulan her iki termal spreycaplama tekniğı ile üretilen kaplamaların mikro yapılarında sıcaklığın artmasına ve zamana bağılı olarak yüzeylerinde tribolojik katmanların ve yüzeysel değışimlerin oluştuğı görülmüştür.
5. D-Gun ve SAPS kaplama yöntemlerinin kaplamaların yüksek sıcaklık aşınma performansları üzerindeki etkisi incelendiğinde daha iyi özelliklerin D-Gun tekniğı ile üretilen kaplamalarda elde edildiğı görülmüştür.
6. Kaplama yapılarındaki yüzey sertlik derecelerinin artmasına bağılı olarak aşınma dirençlerinin de arttığı her iki teknik kullanılarak üretilen kaplama yapılarında görülmüştür.

5.2.Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda gelecekte yapılacak olan çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır:

1. Farklı termal spreyci kaplama yöntemleri kullanılarak farklı sıcaklık, süre ve test koşullarında deneysel çalışmaların gerçekleştirilerek daha kapsamlı optimum proses ve test koşullarının belirlenmesi,
2. Analizlerde kullanılan aşındırıcı tipinin dışında farklı aşındırıcıların da kullanarak aşınma performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi,
3. Metalik bağ kaplamaların üretiminde kullanılan MCrAlY toz partikül boyut aralığı değişiminin, yapışma üzerindeki etkisi ve kaplamaların sürtünme katsayısına bağlı olarak aşınma oranı üzerindeki etkisinin belirlenerek en iyi toz boyut aralığının saptanması,
4. Yüksek sıcaklık aşınma testlerinin oda sıcaklığı ve diğer sıcaklık koşullarında erozyon testleriyle birlikte gerçekleştirilerek karşılaştırmalı verilerin hem aşınma hem de erozyon odaklı elde edilmesi gelecek çalışmalarda düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Altuncu, E. (2011). YSZ ve CSZ Esaslı Termal Bariyer Kaplamaların Üretimi, Karakterizasyonu ve Termal Çevrim Performanslarının Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 258 s.
- Baş, H., Bıyıklıoğlu, A. ve Çuvalcı, H., (2003). A New Test Apparatus for The Tribological Behavior of Cam Mechanisms. *Experimental Techniques*, 27:28-32.
- Bıyık G. (2013). Katodik Koruma Sistemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bose S. (2007). High Temperature Coatings. Butterworth-Heinemann: Elsevier Burlington, 300s.
- Braithwaite N. ve Graham, B. (1993). Quest For The Perfect Plasma. *New Scientist*, 140:34-38.
- Cui, C., Hu, B., Zhao, L. ve Liu, S. (2011). Titanium alloy production technology, market prospects and industry development. *Materials & Design*, 32(3): 1684–1691.
- Çay, V. ve Ozan, S. (2005). Süper Alaşımlar ve Uygulama Alanları. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Elazığ.
- Davis J.R. (2004). *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International: Ohio.
- Dorfman M. R. (2012). Thermal Spray Coatings, Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, 569–596.
- Evcin A. (2006). Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi.
- Fauchais P. (2004). Understanding plasma spraying. *Journal of Applied Physics D:Applied Physics*, 37: 86-108.
- Geibel A., Froyen L., Delaey, L. ve Leuven, K.U. (1996). Plasma Spray Forming: An Alternate Route for Manufacturing Free-Standing Components.
- Gülensoy, B.A. (2006). Doğalgaz Boru Hatlarında Uygulanan Korozyon Tedbirleri ve Kayseri Doğalgaz Hatlarındaki Uygulamaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Gleaze, W.A. (1995). Friction and Wear of Ceramics , *ASM Handbook*, V. 18, pp: 812815.
- Hummel, R.E. (2000). *Electronic Properties Of Materials*,Spring-Verlag,3rd edition.

- Igual Muñoz, A. ve Mischler, S. (2011). *Effect of the environment on wear ranking and corrosion of biomedical CoCrMo alloys. Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 22(3): 437–450.
- Ivasyshyn, O.M. ve Aleksandrov, A.V. (2008). Status of the titanium production, research, and applications in the CIS, *Material Sciens*, 44(3): 311–327.
- Kahraman N. (2000). Toz Alev Spreyleme Yöntemiyle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmış)), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Kahraman M. (2009). Yüzeyi Toz Alev Püskürtme Yöntemi İle Kaplanan (wc, b4c, b4c - icrbsi) AISI 1040 Çeliğinin Aşınma Mekanizmalarının DeneySEL Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Karaoğlu A.C., Elçiçek H. ve Demirel B. (2011). Gemicilik Endüstrisinde Korozyon Problemi ve Katodik Koruma Uygulamaları, Bartın Üniversitesi.
- Karaoğlu A.C., Altuncu E., Özdemir İ., Türk A. ve Üstel F. (2011). Structure and durability evaluation of YSZ + Al₂O₃ composite TBCs with APS and HVOF bond coat under thermal cycling conditions. *Surface and Coatings Technology*, 205(2): 369-373.
- Karaoğlu A.C. (2012). Termal Bariyer Kaplamalarda Bağ Tabakasının Farklı Yöntemlerle Üretilmesi ve Özelliklere Etkisi. (Yayınlanmamış doktora tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 225 s.
- Karaoğlu A. C., Dikici H. ve Küçük Y. (2013). Effects of heat treatment on adhesion strength of thermal barrier coating systems. *Engineering Failure Analysis*, 32: 16-22.
- Karaoğlu A. C., Ogawa, K., Türk A., ve Özdemir, İ. (2014). Thermal Shock and Cycling Behavior of Thermal Barrier Coatings (TBCs) Used in Gas Turbines, Chapter 10. *In Progress in Gas Turbine Performance*.
- Karaoğlu A.C. (2016). Microstructure Characteristics Of Detonation Gun Sprayed Conical Coatings. *Journal Of Aeronautics and Space Technologies*, volume 9 number 2: 47-53.
- Kaya, Ö.A., Çakır K. Ve Bozkurt Y. (2017). Plazma Püskürtme Yöntemiyle Çelik Levha Üzerine Farklı Alaşımların Kaplanması, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve malzeme Mühendisliği Bölümü, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, İstanbul.
- Keskin, İ. (2012). Yüksek Mekanizmaların Aşınma Ve Elastohidrokinamik Yağlama. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 15-26s.

- Kharlamov, Y.A. (1986). *Materials Engineering Forum Detonation Spraying of Protective Coatings*, Voroshilavgrad Machine Building Institute, Voroshilavgrad, U.S.S.R. 9 Sept.
- Kuo, C.M., Yang, Y.T., Bor, H.Y., Wei, C.N. ve Tai, C.C. (2009). Aging effects on the microstructure and creep behavior of Inconel 718 superalloy. *Materials Science and Engineering*, 510–511; 289–294.
- Lima R.S. ve Marple B.R. (2007). Thermal Spray Coatings Engineered from Nanostructured Ceramic Agglomerated Powders for Structural, Thermal Barrier and Biomedical applications: A Review, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol: 16: 40-63.
- Liu Y., Qiao Y. and Fischer T.E.(2000). *Sliding and Abrasive Wear Resistance of Thermal Sprayed WC-CO Coatings*.
- Marginean G. and Utu D. (2012). Cyclic oxidation behavior of different treated CoNiCrAlY coatings, *Applied Surface Sciens*, 258: 8307–8311.
- Meşekıran, N. (2015). Farklı Üst Kaplama İçeriğine Sahip Termal Bariyer Kaplamaların (TBC) Oksidasyon Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 115 s.
- Minisker, M. A. (2009). Termal Sprey Yöntemiyle Oluşturulan Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İstanbul, 73 s.
- Mostaghimi, J. ve Chandra, S. (2007). Heat Transfer in Plasma Spray Coating Processes. *Advances in Heat Transfer*, 40: 143–204.
- Özel S. (2013). Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri, Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- Özbek T. ve Kayral S.A. (2017). Termal Sprey Kaplama Yöntemlerine Genel Bakış: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt (HVOF) Sprey Kaplama, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Özgürlük Y.(2016). Soğuk Gaz Dinamik Sprey (CGDS) Kaplama Yöntemiyle Üretilen Termal Bariyer Kaplamaların (TBC) Sıcak Korozyon Davranışlarının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Pawlowski L. (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings: Second Edition*. John Wiley & Sons: Chichester.
- Pereira J., Zambrano J., Licausi M., Tobar M., Amigo V. (2015). Tribology and high temperature friction wear behavior of MCrAlY laser cladding coatings on stainless steel, *Wear* 330-331; 280–287.

- P. Robottiand ve G. Zappini, Chapter 9. Thermal Plasma Spray Deposition of Titanium and Hydroxyapatite on Polyaryle there therketone Implants, in *PEEK Biomaterials Handbook*, Oxford: William Andrew Publishing,2012, pp. 119–143.
- Pierre R. Roberge, (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill.
- Richard C. S. et al. (1996),The influences of heat-treatmentsand inter diffusion on the adhesion of plasma-sprayed NiCrAlY coatings, *Surface Coatings Technology*, 82: 99-109.
- Rätzer-Scheibe H.-J. ve Schulz U. (2007). Theeffects of heattreatmentandgasatmosphere on thethermalconductivity of APS and EB-PVD PYSZ thermal barrier coatings. *Surface and Coatings Technology*, 201 (18): 7880-7888.
- Sarhan Ahmed A.D., Zavareh M.A., Zavareh P.A., Razak B.A. (2017). *Fundamentals and Applications of Thermal Spray Coating*.
- Sarıkaya, Ö. (2007). Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri, Sakarya, 280s.
- Sarıca B. (2005). Farklı Kalite Çeliklere Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemlerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi(Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sheng Zhu ve Binshi Xu, (2007). High-Performance Ceramic Coatings Sprayed via ovel Supersonic Plasma Spraing System. *National Key Laboratory for Remanufacturing*, No.21 Dujiakan, Changxindian, Beijing 100072, China.
- Singh L., Chawla V., Grewal J.S., (2012). A Review on Detenation Gun Sprayed Coatings, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 11, No.3, pp: 243-265.
- Sivakumar et al., (1989). High Temperature Coatings For gas Turbine Blades, *Surface Coating Technology*., 37 139-160.
- Grainger S. ve Blunt J., (1998). *Engineering Coatings* (Abington Publishings) p. 119.
- Terkeşli M.H., (2017). APS Yöntemi ile Üretilen WC ve Mo Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.
- Tao C., Wang L., and Song X. (2016). High-temperature frictional wear behavior of MCrAlY-based coatings deposited by atmosphere plasma spraying, *International Journal of Minerals*, Northeastern University, Shenyang 110819, China.
- Tucker R.C. (2004). ASM Handbook, Volume 5. *Surface Engineering*. ASM International: Ohio.

- Uyanık M. (2012). SiC Nano partikül İlaveli Asitli Çinko Kaplama Banyolarında Yapılan Kaplamaların Malzemenin Korozyon Direnci ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması(Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uzunonat Y. (2017). Examination of Inconel 718 Welding Microstructure, *International Journal of Scientific and Technological Research*, www.iiste.org ISSN 2422-8702 (Online) Vol 3.
- Wang, D. S., Tian, Z. J., Wang, S. L., and Shen, L. D. (2012). Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding Nano-Al₂O₃/MCrAlY Composite Graded Coating on TiAl Alloy. *Applied Mechanics and Materials*, 217-219; 1350–1353.
- Yeşildal R. ve Günay Y. Z. (2007). The coating with plazma spray method and research of spray characteristics. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 59-76.
- You Wang, Stephen Jiang, Meidong Wang, Shihe Wang, T. Danny Xiao ve Peter R. Strutt (2000). *Abrasive wear characteristics of plasma sprayed nano structured alümina/titania coatings*.
- Young D. J. (2008). High temperature oxidation and corrosion of metals: Volume 1 *Corrosion series*. Elsevier: The Netherlands, 574 s.
- Yüksek E. (2008). Ark Sprey Teknolojisi İle Şekilli Parça Üretimi (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Zağlı, M (2010). Alev Sprey Yöntemiyle Polimer Kaplamaların Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 72 s.
- Zhang Q.,Li C.-J., Li C.-X., Yang G.-J. ve Lui S.-C. (2008). Study of oxidation behavior of nano structured NiCrAlY bond coatings deposited by cold spraying. *Surface and Coatings Technology*, 202: 3378–3384.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : MEHMET KILIC
Doğum Yeri ve Tarihi : TOKAT/09.02.1990

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği (2012-2015)
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji
ve Malzeme Mühendisliği (2016-2019)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (Orta Derece)
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : MCrAlY İçeriğine Sahip Termal Sprey Kaplamaların
Aşınma Dayanımı Amaçlı Olarak Gaz Türbin
Motorlarında Kullanılması

İş Deneyimi

Stajlar : Tokat Ayyıldız Tarım Makinaları (2014)
Çalıştığı Kurumlar : Aksa Tokat Amasya Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (2017-
devam ediyor)

İletişim

E-Posta Adresi : mehmetkilic307@hotmail.com

Tarih : 10/09/2019 (Tez Savunma Tarihi)