



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PASLANMAZ ÇELİK MALZEME ÜZERİNE METALİK VE OKSİT İÇERİKLİ
KAPLAMA TOZUNUN APS YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE SOĞUK
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

ERDEM AKTAŞ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ BİLAL KURŞUNCU

BARTIN-2018



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PASLANMAZ ÇELİK MALZEME ÜZERİNE METALİK VE OKSİT İÇERİKLİ
KAPLAMA TOZUNUN APS YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE SOĞUK AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Erdem AKTAŞ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bilal Kurşuncu - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. M.Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Erdem AKTAŞ tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİK MALZEME ÜZERİNE METALİK VE OKSİT İÇERİKLİ KAPLAMA TOZUNUN APS YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE SOĞUK AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 05.12.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL

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

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

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU danışmanlığında hazırlamış olduğum “PASLANMAZ ÇELİK MALZEME ÜZERİNE METALİK VE OKSİT İÇERİKLİ KAPLAMA TOZUNUN APS YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE SOĞUK AŞINMA DAVRANIŞLARININ 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.

19.05.2018

Erdem AKTAŞ

ÖNSÖZ

Akademik anlamda benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında her konuda engin bilgi ve tecrübeleri benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. M. Sabri GÖK' e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sürecinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU, Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU, Arş. Gör. Mecit ÖGE ve Arş. Gör. Yasin ÖZGÜRLÜK' e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve başarılarımda yanımda olan verdikleri moral ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan başta annem Fazilet BARAN ve babam Adil AKTAŞ olmak üzere tüm aile büyüklerime sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez projeme maddi ve manevi açıdan destek veren Anadolu Radyant ve İlhan Kılıç Makine Şirketlerine' de minnetle teşekkürlerimi sunarım.

Erdem AKTAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİK MALZEME ÜZERİNE METALİK VE OKSİT İÇERİKLİ KAPLAMA TOZUNUN APS YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE SOĞUK AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Erdem AKTAŞ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU

Bartın-2018, sayfa: 77

Yapılmış olan bu çalışmada 316L paslanmaz çeliğinin yüzeyine APS (Atmosferik Plazma Sprey) yöntemi ile molibden (Mo), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve nikel krom alüminyum itriyum (NiCrAlY) alaşımı ile kaplanmış olup, kaplama işleminden sonra malzemelerin soğuk aşınma testlerine tabii tutulmuş ve yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

APS (Atmosferik Plazma Sprey) yöntemi ile 316L paslanmaz çeliğinin yüzeyi molibden (Mo), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve nikel krom alüminyum itriyum (NiCrAlY) alaşımı ile başarılı bir şekilde farklı kalınlıklarda 200 μm ve 300 μm 'da kaplanmıştır. Soğuk aşınma deneylerinden önce numunelerin mikro yapısal özellikleri incelenerek yüzey pürüzlülüğü, porozite, sertlik değerlerine bakılarak bilgi edinilmiştir. Yapılmış olan soğuk aşınma deneyleri neticesinde malzemenin yüzeylerinde bir takım deformasyonlar meydana geldiği gözlenmiştir. Bu deneyler neticesinde elde edilmiş bulgular literatürde yapılmış olan diğer çalışmalar ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Molibden; Zirkonyum Oksit; Nikel Krom Alüminyum İttriyum; Soğuk Aşınma Dayanımı; Atmosferik Plazma Sprey yöntemi; Termal Sprey Kaplama;

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COATING OF METALLIC AND OXIDE COATING POWDER ON STAINLESS STEEL MATERIAL BY APS METHOD AND INVESTIGATION OF COLD WEAR BEHAVIOR

Erdem AKTAŞ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Bilal KURŞUNCU

Bartın-2018, pp: 77

In this study it is made on the surface of 316L stainless steel with the method APS (Atmospheric Plasma Spray), was coated molybdenum (Mo), zirconium oxide (ZrO_2) and nickel chromium aluminum itriy alloy (NiCrAlY) happen, after coating, the materials were to subjected cold wear test and the following result were obtained through experiments performed.

By APS (Atmospheric Plasma Spray) method 316L stainless steel surface was coated with successfully different thickness 200 μm and 300 μm zirconium oxide (ZrO_2), molybdenum (Mo) and nickel chromium aluminum itriy alloy (NiCrAlY) Before the cold wear tests, microstructural properties of the samples were examined and the information was obtained by looking at surface roughness, porosity, hardness values. Some deformations in the surface material has because of cold wear test been observed. The finding who were obtained in these experiments, and were evaluated with other studies in the literature.

Keywords: Molybdenum; Zirconium Oxide; Nickel Chromium Aluminum Itriny; Cold Wear Resistance; Atmospheric Plasma Spray Method; Thermal Spray Coating

Science Code: 625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3 SÜRTÜNME	6
3.1 Sürtünmenin Tanımı	6
3.2 Sürtünme Çeşitleri ve Sınıflandırılması	7
3.2.1 Kuru Sürtünme Mekanizması.....	9
3.2.2 Sınır Sürtünme Mekanizması	9
3.2.3 Sıvı Sürtünme Mekanizması.....	10
BÖLÜM 4 AŞINMA	11
4.1 Aşınmanın Genel Tanımı.....	11
4.2 Aşınma Türleri.....	12
4.2.1 Abrazif Aşınma.....	13
4.2.1.1 Düşük Gerilmeli Abrazif Aşınma.....	15
4.2.1.2 Yüksek Gerilmeli Abrazif Aşınma	15
4.2.1.3 Oyma Tip Abrazif Aşınma	16
4.2.1.4 Pulluklama Tip Abrazif Aşınma.....	16

	<u>Sayfa</u>
4.2.2 Adhezif Aşınma.....	17
4.2.3 Yorulma Aşınma.....	17
4.2.4 Eroziv Aşınma.....	18
4.2.5 Korozif Aşınma	19
4.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler	20
4.4 Aşınma Ölçüm Metodları	21
4.4.1 Ağırlık Farkı Metodu.....	21
4.4.2 Kalınlık Farkı Metodu	22
4.4.3 İz Değişim Metodu	22
4.4.4 Radyoizotop Metodu	22
BÖLÜM 5 TERMAL BARIYER KAPLAMA	23
5.1 Termal Bariyer Kaplama Genel Tanımı	23
5.2 Termal Bariyer Kaplama Yöntemleri	24
5.2.1 Plazma Sprey Kaplama Yöntemi.....	26
5.2.1.1 Atmosferik Plazma Sprey (APS) Kaplama Yöntemi	28
5.2.1.2 Vakum Plazma Sprey (VPS) Kaplama Yöntemi	29
5.2.1.3 Plazma Sprey Kaplamaların Genel Özellikleri.....	29
5.2.1.3.1 Mikro Yapısal Özellikleri	29
5.2.1.3.2 Yoğunluk ve Porozite Değerleri	30
5.2.1.3.3 Yapışma Mukavemeti ve Sertlik Özellikleri	31
5.2.1.3.4 Kaplama Yüzey Özellikleri ve İç Gerilmelerin Etkileri.....	32
5.2.2 Elektrik Ark Sprey Kaplama Yöntemi	33
5.2.3 Alev Sprey Yöntemi	34
5.2.3.1 Toz ile Alev Sprey Yöntemi.....	35
5.2.3.2 Tel ile Alev Sprey Yöntemi.....	35
5.2.4 Patlamalı (Detonasyon) ile Alev Sprey Yöntemi	36
5.2.5 Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Spreyleme (HVOF)	37
5.2.6 Soğuk Sprey Kaplama Yöntemi (CGDS).....	38
5.3 Termal Sprey Kaplamalarda Bağlanma.....	40
5.4 Plazma Sprey Kaplama İşlemlerinde Yapılan Ön Çalışmalar	41

	<u>Sayfa</u>
5.4.1 Temizleme Safhası	41
5.4.2 Yüzey Pürüzlülüğü	41
5.4.2.1 Kaba Vida ile Diş Açma Yöntemleri.....	41
5.4.2.2 Kuşlama İşlemi	42
5.5 Kaplama Kalınlık Ölçüm Metotları	42
5.5.1 Elektromanyetik Test Metodu	42
5.5.1.1 Manyetik İndüksiyon Test Tekniğı.....	43
5.5.1.2 Eddy Current Akımı Test Tekniğı	44
5.5.2 Kulometrik Ölçüm Yöntemleri.....	45
BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMA.....	46
6.1 Çalışmanın Amacı	46
6.2 Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu	46
6.3 Numunenin Kaplama İşlemi için Hazırlanması ve Kaplanması.....	47
6.4 Kaplama Kalınlığı İncelemeleri için Numune Hazırlanması	48
6.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	50
6.6 Sertlik Ölçümlerinin Yapılması.....	50
6.7 X Işınları Analizi	51
6.8. Kuru Kayma Aşınma Testinin Uygulanması.....	51
BÖLÜM 7 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
7.1 Yüzeyi APS Yöntemi ile Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü	53
7.2 Kuru Kayma Aşınma Deneyleri	57
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
8.1 Genel Sonuçlar	69
8.2 Öneriler.....	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
3.1: Yüke bağlı yüzey temasları, (a) Yük olmadığı zaman yüzey teması, (b)Yük olduğundaki yüzey teması	7
3.2: Sürtünme çeşitleri, (a) Kuru Sürtünme, (b) Sınır Sürtünmesi, (c) Sıvı Sürtünmesi	8
3.3: Sürtünme çeşitleri ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki, (a) Kuru sürtünme, (b) Sınır sürtünmesi, (c) Sıvı sürtünmesi	8
3.4: Kuru sürtünme esnasında yüzey durumu, (1) Oluşan pislik tabakası (2) Absorbsiyon tabakası (3)Meydana gelen oksit içerikli tabaka (4) Soğuk şekillenmiş tabaka (5) Altlık metal tabaka.....	9
3.5: Yüzeyler arasında meydana gelen sınır aşınması	10
4.1: Zamana bağlı meydana gelen aşınma grafiği	11
4.2: Genel aşınma mekanizmaları.....	13
4.3: İki farklı tip mazlemenin aşınması ve üç farklı tipteki mazlemede meydana gelen abrazif aşınma mekanizması.....	14
4.4: Madenlerde kullanılmakta olan toprak kazıyıcı makine elemanlarında meydana gelen abrazif aşınma	14
4.5: Düşük gerilmeli abrazif aşınma	15
4.6: Yüksek gerilmeli abrazif aşınma	16
4.7: Adhezif aşınma mekanizması	17
4.8: Yorulma aşınması şematik gösterimi.....	18
4.9: Dişli parçalarda meydana gelen yorulma aşınması.....	18
4.10: Malzeme yüzeyinde meydana gelebilecek aşınma mekanizmaları.....	19
4.11: Malzeme yüzeyinde meydana gelen korozif aşınma	20
5.1: Kaplama prosesi gösterimi	24
5.2: Plazma sprej yöntemi şematik gösterimi	27
5.3: Plazma sprej yöntemi sisteminin bileşenleri.....	28
5.4: Atmosferik plazma sprej (APS) sistemi gösterimi	28
5.5: Vakum plazma sistemi gösterimi.....	29
5.6: (a)Plazma sprej yöntemi ile yapılan kaplamanın şematik bösterimi (b) Plazma sprej yöntemi ile yapılan kaplamanın mikroyapısal özellikleri.....	30
5.7: Eriyik haldeki kaplama partikülünün altlık malzeme ile etkileşimi	32

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
5.8: Paslanmaz çelik malzeme üzerine eriyik halde çarpan nikel toz partiküllerinin formu, (a)Yüzey sıcaklığı 290 °C, (b) Yüzey sıcaklığı 400 °C	33
5.9: Elektirk ark sprej sistemi gösterimi	34
5.10: Alev sprejleme yöntemlerinin gösterimi.....	35
5.11: Patlamalı alev yönteminin şematik gösterimi	36
5.12: Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) sisteminin şematik gösterimi.....	38
5.13: Soğuk sprej kaplamanın (CGDS) şematik gösterimi	39
5.14: Soğuk sprej kaplama (CGDS) yönteminde partikül ve yüzey arasındaki etkileşim	40
5.15: Kaplama kalınlığı belirlenmesinde kullanılan ölçüm cihazları	43
5.16: Elektromanyetik indüksiyon ölçüm yöntemleri.....	44
5.17: Eddy akımı test metodu	44
5.18: Kulometrik test tekniği şematik gösterimi(a), Aşınmanın zaman içinde artması ile birlikte voltajdaki değişim (b).	45
6.1: Mo kaplama tozu	47
6.2: ZrO ₂ kaplama tozu	47
6.3: Kaplama işlemi öncesi numuneler	48
6.4: 300 mikron NiCrAlY kaplama tozu ile kaplanmış numune	49
6.5: 100 Mikron NiCrAlY kaplama tozu üzerine yapılmış olan 200 mikronluk ZrO ₂ kaplama.....	49
6.6: 100 Mikron NiCrAlY kaplama tozu üzerine yapılmış olan 200 mikronluk Mo kaplama.....	50
6.7: Mikrosertlik test cihazı	51
6.8: Kuru kayma test cihazı	52
7.1: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 1000 x	54
7.2: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO ₂ tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 750 x	55
7.3: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 1000 x.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
7.4: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn)	58
7.5: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO ₂ tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn)	60
7.6: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn)	62
7.7: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x, (b) 500 x, 5 N (0,18 m/sn)	63
7.8: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x, (b) 1000 x, 10 N (0,18 m/sn)	64
7.9: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO ₂ tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 5 N (0,18 m/sn)	65
7.10: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO ₂ tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 10 N (0,18 m/sn)	66
7.11: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 5 N (0,18 m/sn)	67
7.12: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 10 N (0,18 m/sn)	68

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
4.1: Aşınma türleri ve sınıflandırılması	12
4.2: Ölçüm metotlarının sınıflandırılması.....	21
5.1: Termal bariyer kaplama yöntemleri ve sınıflandırılması.....	25
5.2: Termal spreyle kaplama yöntemlerinin proses sıcaklığı ve partikül hızlarının karşılaştırılması.....	26
6.1: Paslanmaz 316L çeliğinin ve kaplama tozlarının karakterizasyonu	46
6.2: Kaplama parametreleri.....	48
7.1: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği	57
7.2: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO ₂ tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği	59
7.3: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
E	: Malzemenin sahip olduğu elektrokimyasal eşdeğeri
ΔG	: Ağırlık kaybı
D	: Yoğunluk
İ	: Uygulanan elektrik akımı
M	: Metre
M	: Uygulanan yük değeri
M	: Kaplamanın kütlesi
mg/m	: Miligram/metre
MoS_2	: Molibden disülfür
N	: Newton
NiCrAl	: Nikel krom alüminyum
NiCrAlY	: Nikel krom alüminyum itriyum
S	: Aşınmanın uzunluğu
Ş	: Verim
T	: İşlem süresi
TiAlN	: Titanyum alüminyum nitrit
Wa	: Aşınma oranı
WC	: Tungsten karbür
Wr	: Aşınma direnci
ZrO_2	: Zirkonyum oksit

KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	: Amerikan demir çelik enstitüsü
APS	: Atmosferik plazma sprej
ASTM	: American society for testing and materials
CGDS	: Soğuk gaz dinamik sprej kaplama
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme yöntemi
DC	: Doğru akım
EDX	: Enerji dağılımlı x ışını
EN	: Avrupa standartları
HVOF	: Yüksek hızlı oksijen yakıt sprejleme
HRC	: Rockwell sertliği
ISO	: Uluslararası standart teşkilatı
LPPS	: Düşük basınçlı plazma sprej
MİG	: Metal inert gaz
PDV	: Fiziksel buhar biriktirme yöntemi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TBK	: Termal bariyer kaplama
TİG	: Tungsten inert gaz
TS	: Türk standardı
TSK	: Termal sprej kaplama
VPS	: Vakum plazma sprej
XRD	: X ışını kırınım yöntemi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayileşme ile birlikte gelişmekte olan ülkelerin ortak problemlerinde biride malzeme yüzeylerinde meydana gelen aşınmadır. Aşınma birbirleri ile temas halinde bulunan iki veya daha fazla malzeme yüzeyinde mekanik etkilerden dolayı meydana gelen bir malzeme kaybıdır.

Teknolojik gelişmeler ile birlikte iki malzemenin birbirine sürtünmesi ve sebep olduğu aşınmanın azaltılabilmesi için malzeme yüzeylerine çeşitli yüzey kaplama işlemleri uygulanmıştır. Ticari anlamda yaygın olarak kullanılsa bile molibden ve zirkonyum esaslı kaplamalar aşınma dayanımı açısından üstün özelliklere sahiptir ve çeşitli elementlerin takviyesi ile birlikte aşınma dayanımı daha da artmaktadır.

Bu günlerde aşınma dayanımı için en çok başvurulan yöntemlerin bir tanesi de sert ince film kaplama teknikleridir. Bu yöntemde altlık malzeme özelliklerinden çok daha farklı bir kaplama malzemesi kullanılarak malzeme yüzey özellikleri tam anlamıyla değiştirilebilmektedir. Çok sert bir malzeme olan molibden esaslı kaplamalar içerisinde farklı türde elementlerin ilavesi bu kaplama türü farklı çalışma şartlarında diğer kaplama malzemelerinden daha iyi sonuçlar verdiği sürtünme ve aşınmaya karşı dayanım kazandırdığı belirlenmiştir. Molibden içerikli kaplama türleri için literatüre bakıldığı zaman detaylı araştırmalar söz konusudur.

Örneğin Mo ve N içerikli kaplamanın bir yan ürünü olarak ortaya çıkan molibden trioksit yüksek sıcaklıklarda sağladığı üstün yağlama özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Mo ve N içerikli kaplamaya bakır ve gümüş elementinin de ilave edilmesi ile birlikte tribolojik açıdan daha üstün ve katı yağlayıcı karaktere sahip çok daha yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanılabilecek kaplama ürünleri oluşturulabilmektedir (Ürgen, 1997).

Laboratuvar koşullarında elde edilen gözlemlerde toz formundaki kaplama malzemesinin altlık malzeme üzerine kaplanması esnasında birçok parametrenin rol oynadığı

belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler doğrudan ve dolaylı olarak kaplamanın tribolojik özelliklerini ve kalitesini etkilemektedir.

Sürtünme ve bunun sonucunda meydana gelen aşınmanın kontrol altına alınabilmesi için yüzey işlemleri ve kaplama işlemlerinde son yıllarda daha çok önem verilmiştir. Mekanik parça ve takımların yüksek verimde çalışma durumundan dolayı yüzeylerinde birçok farklı tipte aşınma ve korozyon olayı meydana gelebilmektedir. Farklı tasarımlar ve malzeme seçimleri ile beraber aşınmanın azaltılabilmesi için çeşitli yağlayıcılar kullanılmaya çalışılmış, sentetik yağlar gibi sıvı yağlayıcılar ile beraber molibden esaslı katı yağlayıcılar da kullanılmaktadır.

Endüstriyel alanda katı yağlayıcıların dikkat çekici bir yeri vardır ama birkaç sınırlayıcı etmenden dolayı kullanım alanı daralmıştır. Bu etmenlerin başında yöntemin pahalı olması ve yağlayıcı kalınlıklarının sınırlı olmasıdır. Talaşlı imalat teknolojilerinde soğutma sıvısı olarak kullanılan yağ esaslı sıvıların kullanımını azaltılarak çevreye verdiği zararları önüne geçilebilmektedir (Nomura, 2003).

Molibden esaslı alaşımların rağbet görmesinin başlıca sebebi, yüksek ergime ve mukavemetleri, sürtünme dirençleri ve oda şartlarındaki tokluk değerlerinin yüksek olmasıdır. Molibden esaslı alaşımların kullanımında dikkat edilmesi gereken durum ise zayıf oksidasyon dirençleridir. Bunun önüne geçebilmek için oksidasyona dirençli malzemeler ile birlikte kullanılarak vakum ve atmosferik alandaki uygulamaları genişletilebilmektedir.

Talaşlı imalat teknolojilerinde kullanılan TiAlN malzemenin üzerine direncini arttırmak için MoS₂ ince bir katman halinde uygulanmaktadır. Bu sayede kesici takım ile talaş arasındaki aşınma en aza indirilmiştir (Totemeier, 2004).

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zikin vd. (2013) NiCrBSi nikel esaslı altlık malzeme üzerine TiC-NiMo kaplama malzemelerini plazma transfer ark yöntemini kullanarak kaplama işlemini gerçekleştirmiştir. Bu işlem sonucunda altlık tabaka ile kaplama tabakası arasında iyi bir bağ oluşumu sağlanmış, malzeme yüzeyinde aşınma dayanımı artmış ve yüksek derecede sertlik değerleri elde edildiğini belirtmiştir.

Hou vd. Plazma sprej yöntemindeki parametrelerin mikro yapı ve aşınma direnci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Aps metodu kullanılarak mullit kaplamalar üzerinde birincil gaz olarak H₂ kullanılmış ve bu gaz parametrelerini değiştirerek kaplamada meydana gelen kuru kayma sürtünmesi, aşınma davranışları hareketlerini gözlemlenmiştir. Kaplamada altlık malzemesi 1Cr18Ni9Ti üzerinde NiCrAlY (Sulzer Metco AMDRY 9625) kaplama tozu uygulanmıştır. Diğer kaplama parametreleri sabit tutularak H₂ gazının debisi 35 l/dk, 40 l/dk, 45 l/dk olarak ayarlanmış ve elde edilen veriler neticesinde 40 l/dk 'da yapılan kaplama işlemimde diğer parametrelere göre yayılma derecesi ve altlık üzerindeki birikme veriminin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Niu vd. Aps ve Vps yöntemlerini kullanarak W ve Cu'nun kompozit kaplamanın özelliklerini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada meydana gelen kaplamanın mikro yapısal değerleri, yoğunluk değerleri ve termal özellikleri incelenmiştir. Vps W/Cu kaplamalar Aps W/Cu kaplamalara göre çok daha yoğun bir yapıya sahip olduğu ve kaplama mikro yapısının homojen dağılımda bir yapı oluşturduğunu tespit etmiştir. Ortamdaki O₂ değerinin düşük olduğu zamanlarda porozite miktarının düşük olduğu ve kaplama sertliğinde artma meydana geldiğini belirlemiştir. Kaplama içerisindeki Cu oranının artması kaplamanın sahip olduğu termal özellikleri olumlu yönde etkilediğini de gözlemiştir.

Zhao vd. (2013) Aps yöntemi ile kaplayacak oldukları malzeme üzerine Mo bazlı amorf yapıdaki nano kristal alaşım tozunu kullanmışlardır. Bu çalışmada elde ettikleri kaplama tozunun kaplama tabakasına kazandırdıkları özelliklere bakılmıştır. Yaptıkları çalışmada 250 mikrometrelilik bir kaplama tabakası oluşturmuşlardır. Kaplama ve altlık tabaka

bağlanma bölgesi net bir şekilde test cihazlarında belirlenebilmektedir. Lamel sınırlarında oksit oluşumu belirlenmiş, molibden esaslı kaplamanın kuru kayma aşınma direncinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Wang vd. $\text{Fe}(\text{AlCr})_2\text{O}_4$ altlık malzeme üstüne plazma spreyleme yöntemi ile $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ - mikro yapılu tozlar kullanarak kaplama tabakasının sertlik değeri ve aşınma direnci hakkında çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmalarda $\text{Fe}(\text{AlCr})_2\text{O}_4$ altlık üzerine kompozit nano kaplamalar, tabakalar içerisinde uniform dağılmış olarak $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}$ kaplamalar ile kıyaslandığında, aşınma ve sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespitinde bulunmuştur. Yapı içerisindeki Cr partiküllerinin ise $\text{FeCr}_{52,5}$ matrisi içerisinde düzgün bir şekilde dağılım göstermesi kaplamanın mekanik özelliklerini iyileştirmiştir.

Jin vd. Aps yöntemini kullanarak hazırlamış oldukları $5\text{La}_3\text{TiYSZ}$, 8LaYSZ , 8CeYSZ nano yapılu kaplamaların adheziv aşınma dayanımları ve termal şok özelliklerinin tespit edilmesi ile ilgili araştırma yapmıştır. Yapmış buldukları çalışmada nano yapılu kaplama içerisindeki seramik takviyelerin etkileri de incelenmiştir. Deneyler neticesinde $5\text{La}_3\text{TiYSZ}$ ($5 \text{ wt\% La}_2\text{O}_3 + 3 \text{ wt\% TiO}_2 + 92 \text{ wt\% YSZ}$) kaplamasının aşınmaya karşı direncinin ve termal şok dayanımının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Hou vd. yapmış oldukları çalışmalarda Aps metodu ve süpersonik Aps metodu ile W/TiC ($1,5\text{TiC}$) kaplama çeşitleri üretip, üretmiş oldukları bu kaplamaların mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Mikro yapısının incelenmesi ile lameller arasında dağılmış oksit tabakaları ve gözenekler dikkat çekmektedir. Süpersonik Aps metodu ile üretilen kaplamaların içerdikleri gözeneklilik ve oksijen miktarı, standart Aps metoduna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kaplama tabakasının mekanik özellikleri sertlik ve young modülüne bağlı olarak değişti bilinmektedir. Süpersonik Aps yöntemi ile oluşturulan W/TiC kaplamanın mekanik özellikleri, Aps yöntemi ile oluşturulmuş W/TiC kaplamanın mekanik özelliklerinden çok daha iyi olduğu ve termal iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Hwang vd. yapmış oldukları çalışmada Aps metodu ile saf Mo içerikli kaplama ve bronz, Al-Si ve Mo tozlarının karışımından bir kaplama elde etmişlerdir. Elde edilen bu kaplamaların aşınma dirençleri birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu kaplamalar düşük karbon çelikleri üzerine yapılmış olup mikro yapılarına bakıldığında Mo matrisi içerisinde bronz,

Al-Si karışım fazlarının homojen dağılımı belirlenmiştir. Kaplamalarda test esnasında uygulanan yükün artması kaplamalar üzerindeki sürtünme katsayısını azaltmasına karşın aşınma oranının arttırdığı, karışım kaplamanın sertliğinin saf Mo kaplamaya kıyasla düşük olmasına rağmen aşınma direncinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Karışım kaplama içerisinde bulunan Cu-Al fazları yapı içerisinde sertliği değerini artırma eğilimi gösterdiği gözlenmektedir. Saf haldeki Mo kaplama kırılğan bir yapıya sahip olduğundan dolayı splatlar arasında yük oranına bağlı olarak kırılmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle kırılan splat parçacıkları ara yüzde aşındırıcı madde gibi davranarak kaplama tabakasına zarar verdiği belirlenmiştir.

Wen vd. plazma sprej kaplama yöntemini kullanarak MoSi_2 kaplamaların elektromanyetik korunması isimli çalışma yapmışlardır. Yürüttükleri bu çalışmalarda farklı değerlerde MoSi_2 ye sahip $\text{MoSi}_2/\text{glass}$ kompozit kaplamalar yapmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada elektromanyetik dayanımın elektriksel iletkenlik ve yalıtkanlığı etkilediğini 1,5 mm lik bir kaplamada 30 wt% MoSi_2 içeren kompozit kaplamanın elektromanyetik dayanımı 24,2 dB olduğu ve frekans aralığı 8,2-12,4 GHz değerleri arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

BÖLÜM 3

SÜRTÜNME

3.1 Sürtünmenin Tanımı

Genel olarak birbirine temas halinde olan ve birbirleri ile aynı veya zıt yönde hareket eden elemanların aralarında harekete karşı meydana gelen direnç olarak tanımlanmaktadır. Meydana gelen bu direnç bazı durumlarda çok düşük olsa dahi her zaman mevcuttur.

Meydana gelen bu sürtünme makinenin performansını etkilemekle kalmayıp makine parçalarında boyutsal oranda değişmelere de sebebiyet vermektedir. Olumsuz koşullar altında birbirleri ile temas eden yüzeylerin sürtünme sonucu hasar görmesi malzeme de çatlaklara, kırılmalara ve iç gerilimlere sebebiyet verir. Bu olayda makinenin uzun vade de zarar görüp çalışmaz hale gelmesine sebep olabilmektedir (Oğuz, 1993).

Triboloji biliminin esas aldığı temel konu birbirleri ile temas halinde bulunan ve bağlı hareket yapan iki veya daha fazla malzemenin yüzeylerinde etkileşim sonucu meydana gelen aşınma ve buna bağlı etkilerin en aza indirilmesi için yeni mühendislik malzemelerini üretip geliştirerek ar-ge çalışmaları yapmaktır.

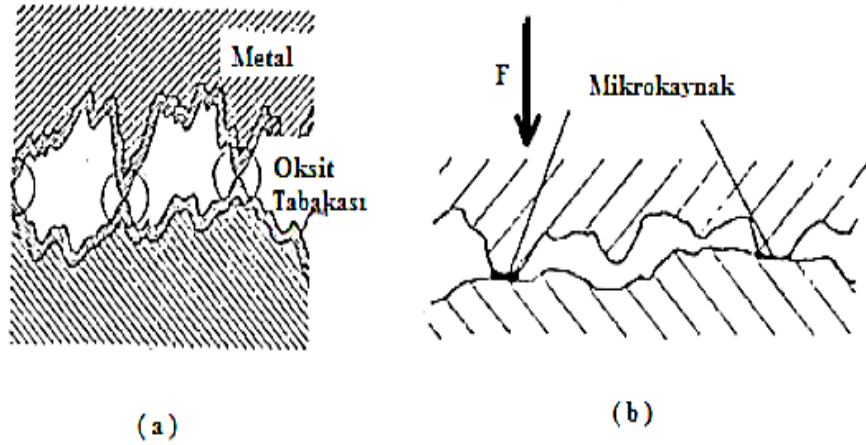
Nerdeyse tüm makine ekipmanların 'da birbirleri ile temas halinde bulunan parçalar mevcuttur. Örneğin pistonlar, fren balataları, kesici takımlar, dişli parçalar gibi örnekleri çoğaltılabilir (Babalık, 2000).

Aşınma ve sürtünme olaylarını açıklamaya çalışan birçok çalışma yapılmıştır ancak bunlardan gerçeğe en yakın olan çalışmayı Bowden ve Tabor 'un kaynak bağları teorisidir. Bowden ve Tabor sürtünme mekanizmasını 3 temel başlık altında toplamıştır. Bunlar; (Bhushan, 2000).

- I. Sürtünme kuvveti temas ortamına bağlı değildir.
- II. Sürtünme kuvveti yük ile doğru orantılıdır.

III. Kinetik sürtünme kuvveti hıza bağlı değildir ayrıca statik sürtünme kuvvetinden düşüktür.

Yükün olmadığı durumlarda yüzeyler birbirleri ile belirli noktalarda temasta bulunurlar Şekil 3.1’de gösterildiği gibi. Bu temasın neticesinde tabakalar arasında bir bağ meydana gelir. Yük uygulandığında ise bu temas eden noktalarda basınç artışları meydana gelir ve bunun neticesinde oluşan bağ tabakalarından birçoğu kopar. Basıncında etkisi ile bu noktalarda daha kuvvetli olan mikroskobik kaynak bağları meydana gelir. Bu bağların kopması yüzeylerin birbirleri ile izafi harekete geçmesi ile mümkün olacaktır. Buradan çıkarılacak sonuç ise sürtünme temas halindeki yüzeylerde meydana gelen bağların oluşturduğu direnç, bu bağları kırmak için gerekli olan kuvvete ise sürtünme kuvveti denmektedir.

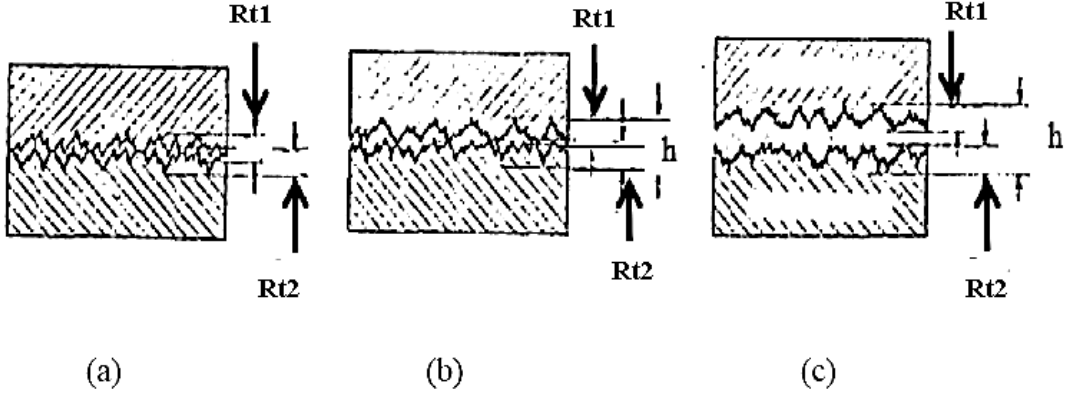


Şekil 3.1: Yüke bağlı yüzey temasları, (a) Yük olmadığı zaman yüzey teması, (b)Yük olduğundaki yüzey teması (Bhushan, 2000).

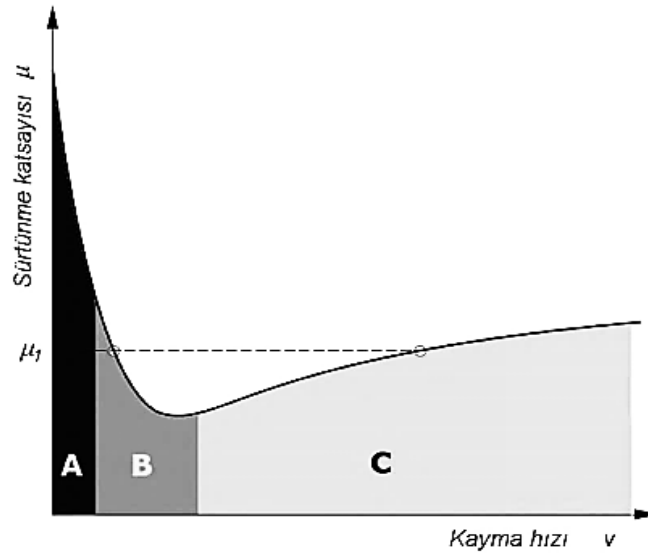
3.2 Sürtünme Çeşitleri ve Sınıflandırılması

Birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında aralarında yağlayıcı madde olsun veya olmasın meydana gelen sürtünme kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç grupta incelenir. Kuru sürtünme mekanizmasında doğrudan birbiri ile temas halinde bulunan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir. Temas halindeki yüzeylerin tamamen birbirinden ayrılamadığı durumda ise sınır sürtünmesi oluşmaktadır.

Bu iki yüzey arasında yağlayıcı bir madde konulması halinde ise sürtünme olayı yağlayıcı tabakalar arasında meydana gelir ve bu olaya sıvı sürtünme denilmektedir. Şekil 3.2’de sürtünme çeşitleri gösterilmekte olup Şekil 3.3’de ise sürtünme çeşitlerinin ile sürtünme katsayısı arasındaki bağlantıyı göstermektedir.



Şekil 3.2: Sürtünme çeşitleri, (a) Kuru Sürtünme, (b) Sınır Sürtünmesi, (c) Sıvı Sürtünmesi (Bhushan, 2000).

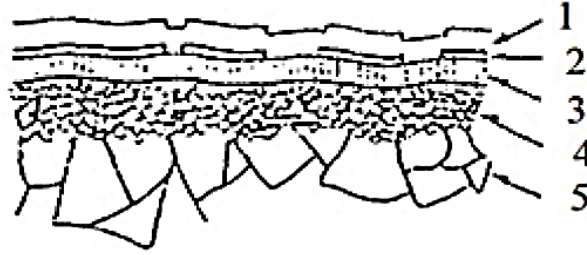


Şekil 3.3: Sürtünme çeşitleri ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki, (a) Kuru sürtünme, (b) Sınır sürtünmesi, (c) Sıvı sürtünmesi (Bhushan, 2000).

3.2.1 Kuru Sürtünme Mekanizması

Sürtünme denildiğinde akıllara ilk gelen sürtünme çeşidi kuru sürtünmedir. Sürtünme olayı sırasında yüzey aşınması, sıcaklık artışı ve enerji kayıpları meydana gelmektedir. Kuru sürtünme mekanizması incelenir iken temas halindeki yüzeylerin pürüzlü oldukları ve temas halindeki kısımların tam olarak temiz olmadığı dikkate alınması gereklidir.

Temas halindeki yüzeyler arasında buldukları ortamın şartlarına bağlı olarak oksit, yağ, pislik, su buharı ve başka materyaller bulunabilmektedir. Absorbsiyon ile meydana gelen bu tabakalar çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemler ile temizlenebilmektedirler. Şekil 3.4'de kuru sürtünme mekanizmasına ait yüzey durumu gösterilmektedir (Bayer, 1994).

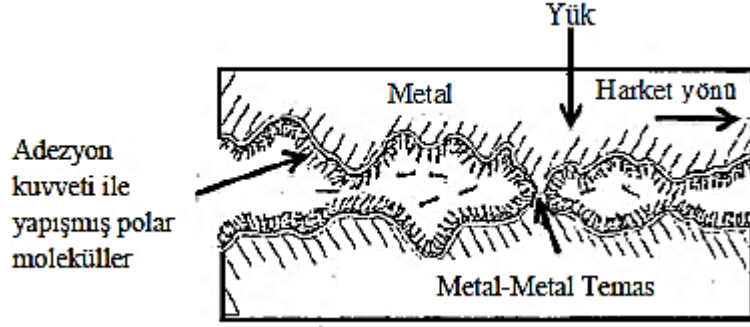


Şekil 3.4: Kuru sürtünme esnasında yüzey durumu, (1) Oluşan pislik tabakası (2) Absorbsiyon tabakası (3) Meydana gelen oksit içerikli tabaka (4) Soğuk şekillenmiş tabaka (5) Altlık metal tabaka (Bayer, 1994).

3.2.2 Sınır Sürtünme Mekanizması

Temas halinde bulunan yüzeyler arasında yağlayıcı bir materyal olmasına rağmen sıvı sürtünmesinin meydana gelmediği durumlarda sınır sürtünme mekanizması meydana gelmektedir. Sınır aşınmasına ait mekanizma Şekil 3.5'de gösterilmiştir.

Yağlayıcı bir maddenin ilavesi ile birbirine temas eden yüzeylere yağlayıcı madde molekülleri homojen bir yayılım gösterirler. Gerçekleşen bu olaya yağlayıcı maddenin kabiliyeti denilmektedir. Oluşan bu tabaka yüzeyler arasında doğrudan temasın önüne geçer.



Şekil 3.5: Yüzeyler arasında meydana gelen sınır aşınması (Bayer, 1994).

3.2.3 Sıvı Sürtünme Mekanizması

Bu sürtünme olayında ise temas eden yüzeyler birbirlerinden tamamen bir yağ tabakası ile ayrılmış olup yüzeyler arası temasın sadece yağ ile sağlandığı sürtünme şeklidir.

Sıvı sürtünmesinin meydana gelmesindeki ana etken basınçtır. Bu basınç durumu hidrostatik ve hidrodinamik olarak iki grupta toplanabilmektedir.

Hidrodinamik sürtünme esnasında yağ tabakası kendi kendine bir basınç meydana getirir. İlk hareket ve durma esnasında kuru ve sınır sürtünme olayları meydana gelebilmektedir. Hidrostatik durumda ise iyi yüzeyi birbirinden ayırmak için gerekli olan basınç dış ortamdan (örneğin bir pompa yardımı ile) sağlanır ve yağ basınçlı bir şekilde birbirine temas eden yüzeylere gönderilir. Hidrodinamik olayda meydana gelen bu basınç yüzey şartlarına göre değişim göstermekte iken hidrostatik durumda bu basınç malzemenin yüzey şartlarına bağlı olmaksızın gerçekleşmektedir (Özsaraç, 1999).

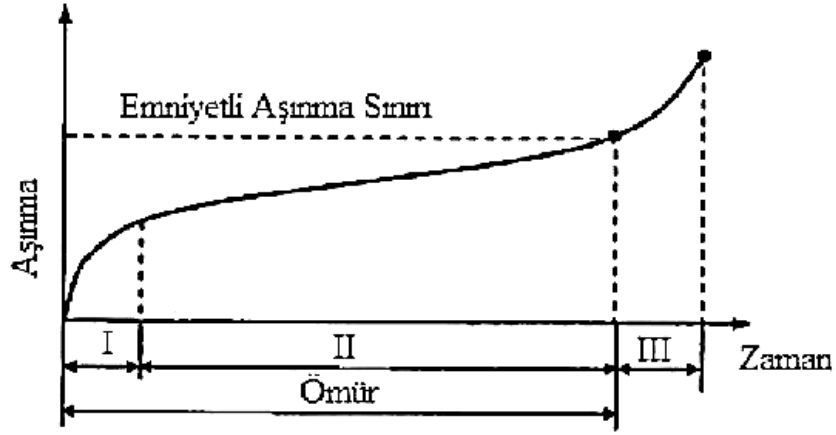
BÖLÜM 4

AŞINMA

4.1 Aşınmanın Genel Tanımı

Aşınma, birbirleri ile mekanik olarak temas halindeki malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen bir hasar türüdür. Aşınma metalik veya metalik olmayan her çeşit malzeme türünde görülmekte olup bunun sonucunda parça üzerinde malzeme kaybına veya hasara sebep olmaktadır (Stachowiak vd., 2005).

Aşınmanın meydana gelmesi ile malzemeler ilk şekillerini kaybeder, parçalar arasındaki mesafeler artar ve istenilen fonksiyonları yerine getiremezler. Aşınma mekanizması zaman içerisinde gelişen safhaları Şekil 4.1’de gösterilmektedir (Şimşek, 2014).



Şekil 4.1: Zamana bağlı meydana gelen aşınma grafiği (Şimşek, 2014).

Grafiğin birinci bölgesini incelediğimiz zaman parçalar arasında ilk hareket esnasında büyük bir aşınma meydana gelmektedir. Bu kısım rodaj olarak ifade edilmekte olup malzemelerin birbirine alışma safhasını göstermektedir. Rodaj kısmı temas halindeki malzeme yüzeylerindeki aşınmayı büyük ölçüde etkileyecek etmenlerden biridir. Rodaj alanının daha küçük tutulabilmesi için malzemeler özel yağlar ile yüksek ve normalinden daha düşük hızlarda temas ettirilerek aşınmanın önüne geçilmeye çalışılır. İkinci bölge ise

çalışma esnasındaki aşınmayı ifade eder. Üçüncü bölge ise şiddetli aşınmaların meydana geldiği ve malzemenin ömrünü tamamladığı kısmı ifade etmektedir (Şimşek, 2014).

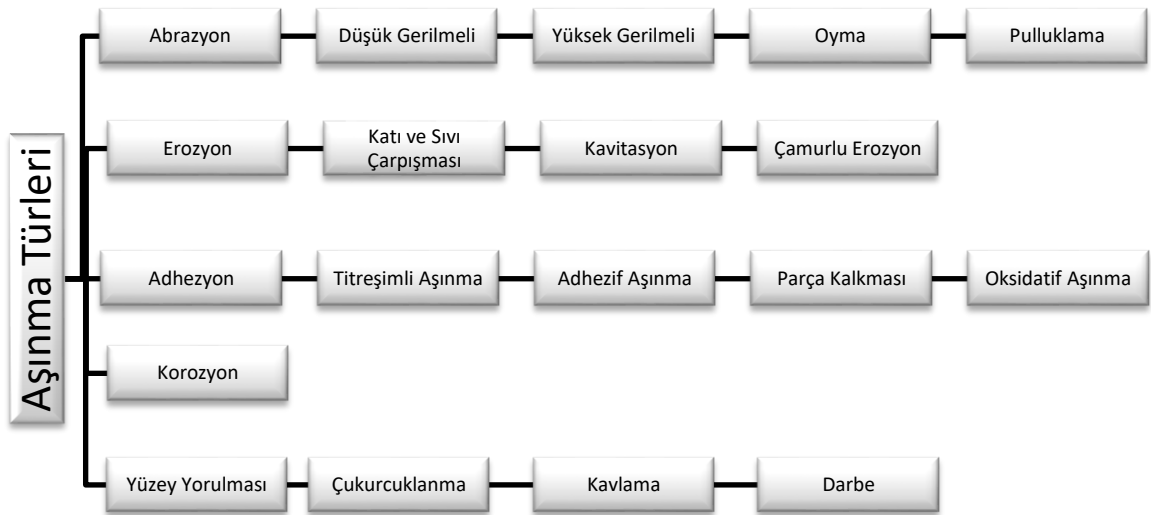
Aşınma türlerinin sınıflandırılmasında literatüre bağlı olarak ufak farklılıklar olabilmektedir. Bunun yanında aşağıda belirtilen sınıflandırmada fikir birliği sağlanabilmektedir (Zum Gahr, 1987).

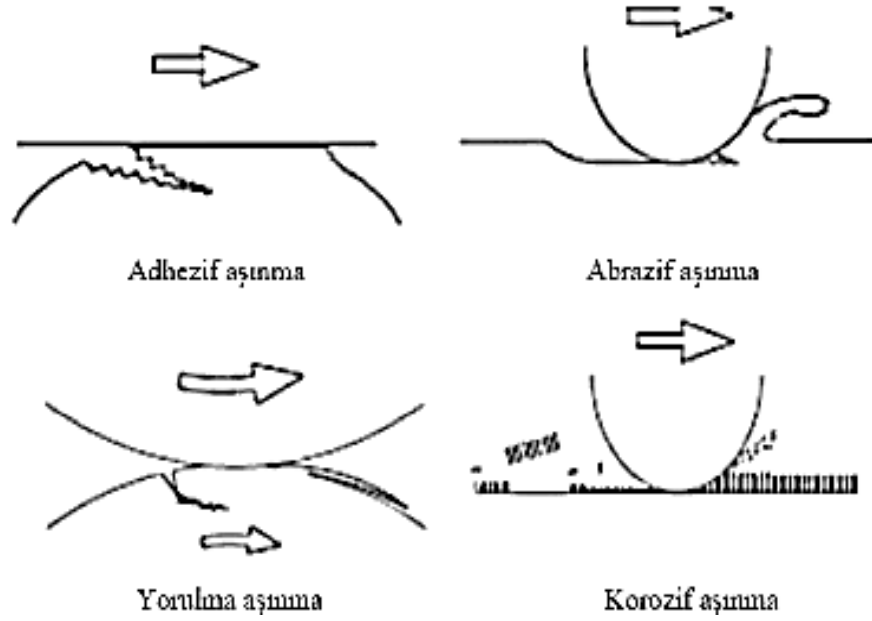
4.2 Aşınma Türleri

Malzemelerin birbirine sürtünmesiyle meydana gelen parça kayıpları yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Aşınan malzeme tekrardan kullanılamayacağı için değiştirilmesi gereklidir. Genel olarak aşınma çeşitlerini Tablo 4.1’de olduğu gibi sınıflandırmak mümkündür.

Sınıflandırma yapılır iken (Tablo 4.1) aşınmakta olan malzeme yüzeyinin maruz kaldığı yük, aşındırıcı parçacığın boyutu, türü, şekli gibi etkenler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Şekil 4.2’de farklı aşınma tiplerine ait mekanizmalar gösterilmektedir (Timur, 2014).

Tablo 4.1: Aşınma türleri ve sınıflandırılması (Timur, 2014).





Şekil 4.2: Genel aşınma mekanizmaları (Şimşek, 2014).

4.2.1 Abrazif Aşınma

Birbirleri ile sürtünen malzemelerden nispeten daha sert olanın kendine göre daha yumuşak olan malzemeyi aşındırdığı durumda meydana gelen bir aşınma türüdür. Sisteme dışarıdan dâhil olan toz, talaş, kum veya çalışmakta olan malzemelerin yüzeylerinde meydana gelebilecek oksit içerikli sert parçacıklar da aşındırıcı madde olarak görev yapabilir. Bu duruma Şekil 4.4’de belirtilen maden kazıyıcılarda meydana gelen aşınma örnek olarak gösterilebilmektedir (Şimşek, 2014).

Bu aşınma türünde meydana gelebilecek iki durum söz konusudur. İlk durumda sürtünen sert yüzeylerin birbirleri arasındaki sertlik farkından meydana gelen aşınma. İkinci durum ise sert yüzeyler arasına giren üçüncü bir materyalin sisteme dahil olup meydana getirdiği aşınma durumudur. Bu durumda yüzeyler arasına giren partikül tek bir yüzeyi veya iki yüzeyi de aşınmaya uğratabilmektedir. Şekil 4.3’de abrazif aşınma mekanizmalarına ait oluşabilecek durumlar gösterilmektedir.



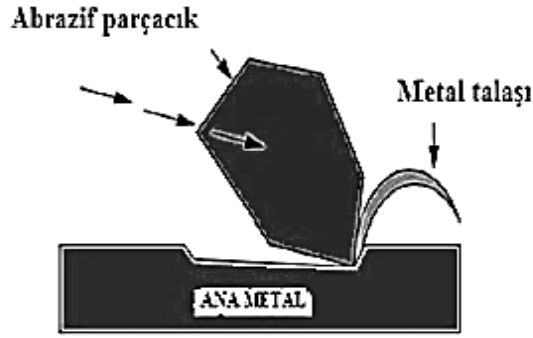
Şekil 4.3: İki farklı tip mazlemenin aşınması ve üç farklı tipteki mazlemede meydana gelen abrazif aşınma mekanizması (Liu vd., 2016).



Şekil 4.4: Madenlerde kullanılmakta olan toprak kazıyıcı makine elemanlarında meydana gelen abrazif aşınma (Stachowiak vd., 2005).

4.2.1.1 Düşük Gerilmeli Abrazif Aşınma

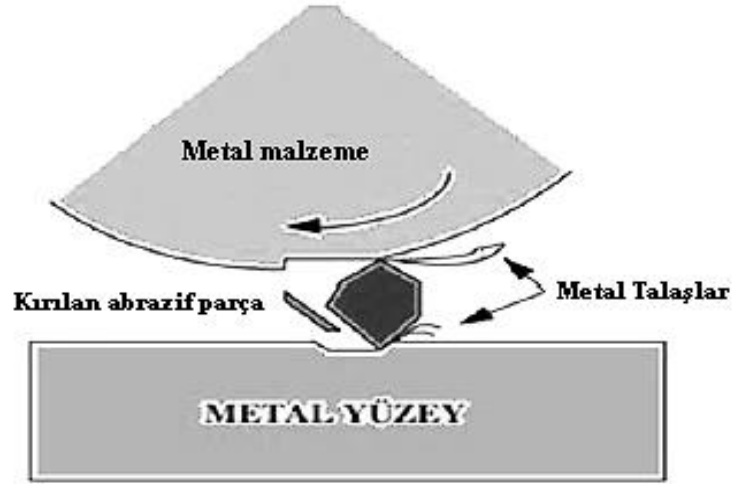
Kırılma dayanımının altında kayan aşındırıcının kesme hareketi ile düşük gerilmeli abrazif aşınma meydana gelir. Kendisine göre sert olan aşındırıcı parçacıklar ile malzemenin yüzey tabakasında küçük parçacıkların ayrılması durumudur, Şekil 4.5’de olduğu gibi. Bu türdeki aşınmalar ayrıca çizik aşınması olarak da bilinmekte ve yüzey altı deformasyonu en düşük seviyededir. Tribolojik aşınmaların %80-90’a yakınında meydana gelmektedir. Karbür içerikli kaplama malzemeleri bu aşınma davranışına karşı tercih edilmekle beraber aşınma esnasında darbe olmadığı için yüksek karbonlu ve krom alaşımlı çelikler de bu tip aşınma mekanizmalarına karşı dayanım gösterebilmektedir (Wang vd., 2008).



Şekil 4.5: Düşük gerilmeli abrazif aşınma (Wang vd., 2008).

4.2.1.2 Yüksek Gerilmeli Abrazif Aşınma

Yüzeyde meydana gelen gerilmenin aşındırıcı malzemeyi parçalayacak kadar yüksek olduğu bir aşınma türüdür. Bu aşınma tipindeki bir aşınmada düşük gerilmeli aşınmaya kıyasla aşınma miktarı daha fazla olacaktır. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere iki metal yüzey arasında kendisinden daha sert olan malzemenin zamanla parçalanıp aşındırma mekanizmasına üçüncü bir parça ilave etmesi ile sonuçlanıp bu parçacıklar malzeme yüzeyleri arasında sıkışarak aşınmanın artmasına sebebiyet verecektir. Bu türdeki bir aşınma da malzeme yüzeyinde çatlaklar meydana gelmesi olası bir durumdur.



Şekil 4.6: Yüksek gerilmeli abrazif aşınma (Viswanath, 2010).

4.2.1.3 Oyma tip Abrazif Aşınma

Aşınmakta olan yüzeyde derin oyuklar ve yivlerin meydana geldiği bir aşınma türüdür. Bu durumun sebebi yüzeyinde aşınma esnasında meydana gelen yüksek gerilmelerdir. Aşındırıcı olarak kullanılan parça üzerine yük uygulandığı esnada metal parçanın yüzeyinde çok fazla miktarda basınç meydana getirerek hasar görmesini sağlar. Sistemde aşındırıcı eleman sabittir ve desteklenmiş haldedir. Bu tip aşınmaya maruz kalan parçalar genelde kesme aletleri gibi parçalardır. Manganlı östenitik çelikler ve karbür içeren alaşımlar bu tip aşınmayı azaltmakta etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Wang vd., 2008).

4.2.1.4 Pulluklama tip Abrazif Aşınma

Pulluklama aşınma mekanizmasında aşınma parçaları üretilmeden metalin yer değiştirmesi olayıdır. Temas halinde bulunan iki metalik yüzey birbirine göre eğimli ya da eğrisel temas halinde bulunuyor ise kayma hareketi ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda oyuk oluşur ve malzeme yüzeyinde bir miktar hacim kaybı meydana gelir (Stachowiak vd., 1993).

4.2.2 Adhezif Aşınma

Genel olarak karşılıklı olarak etkileşim halinde olan birbirlerine göre izafi hareket yapan iki yüzeyin birinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda meydana gelen aşınma türüdür.

Temas halinde bulunan iki malzemeye yük uygulandığı zaman temas noktalarında aşırı gerilmeler oluşur. Meydana gelen bu gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığı zaman iki metal yüzey arasında soğuk kaynama meydana gelir. Oluşan bu kaynak noktaları hareketin de etkisi ile koparak malzeme yüzeyinde parça kayıpları olmasına sebebiyet verir.

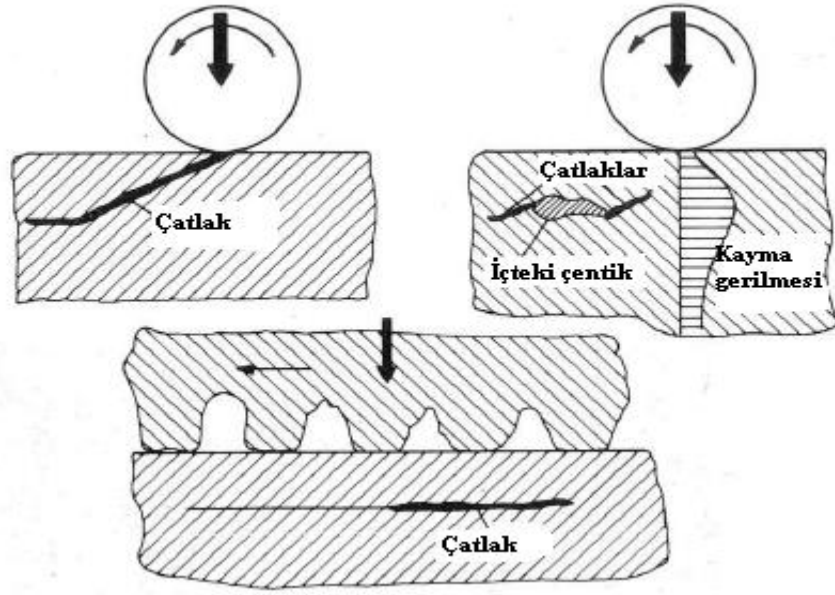
Genellikle kopma olayı zayıf olan malzeme üzerinde gerçekleşir. Kopan bu partiküller sistemden uzaklaştığı gibi iki yüzey arasında kalarak da abrazif aşınmaya sebep olabilmektedir. Şekil 4.7’de bu tip bir aşınma mekanizmasına ait durumun gerçekleşme safhaları gösterilmiştir (Teber, 2015).



Şekil 4.7: Adhezif aşınma mekanizması (Biçer, 2015).

4.2.3 Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması Şekil 4.8’de belirtildiği üzere malzeme yüzeyinde tekrarlı değişken yüklemeler neticesinde çatlak oluşması, malzeme kaybı gibi sonuçlar doğuran aşınma tipidir. Sürekli yüklemeler malzeme yüzeyinde gerilmelere ve sonrasında ise mikro çatlaklara sebebiyet verir. Yorulma aşınması elastik şekil değişimi, plastik şekil değişimi, pekleşme ve çatlak ilerleme mekanizmalarını kapsamaktadır (Karl-Heinz vd., 1987).



Şekil 4.8: Yorulma aşınması şematik gösterimi (Karl-Heinz vd., 1987).

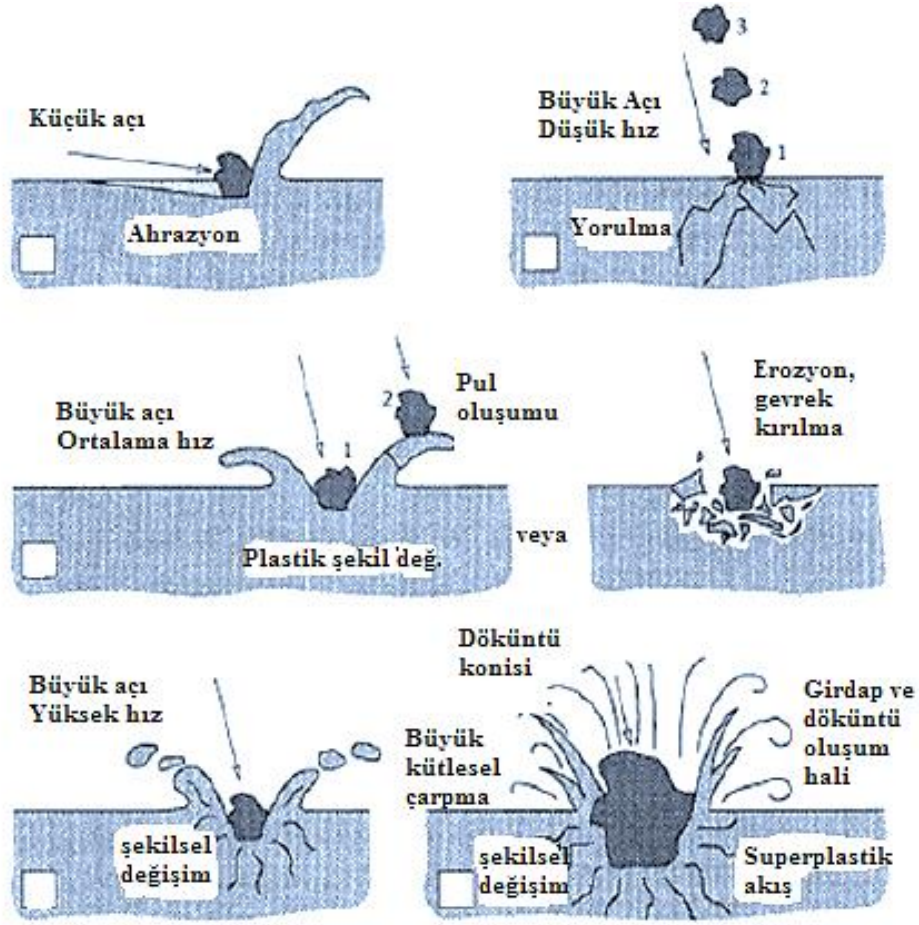


Şekil 4.9: Dişli parçalarda meydana gelen yorulma aşınması (Teber, 2015).

4.2.4 Erozif Aşınma

Sıvı haldeki veya katı haldeki aşındırıcı parçacıkların sıvı bir ortam veya hava ortamı içerisinde malzeme yüzeyinde çarpması sonucu meydana gelen parça kaybı olayına erozif aşınma denilmektedir.

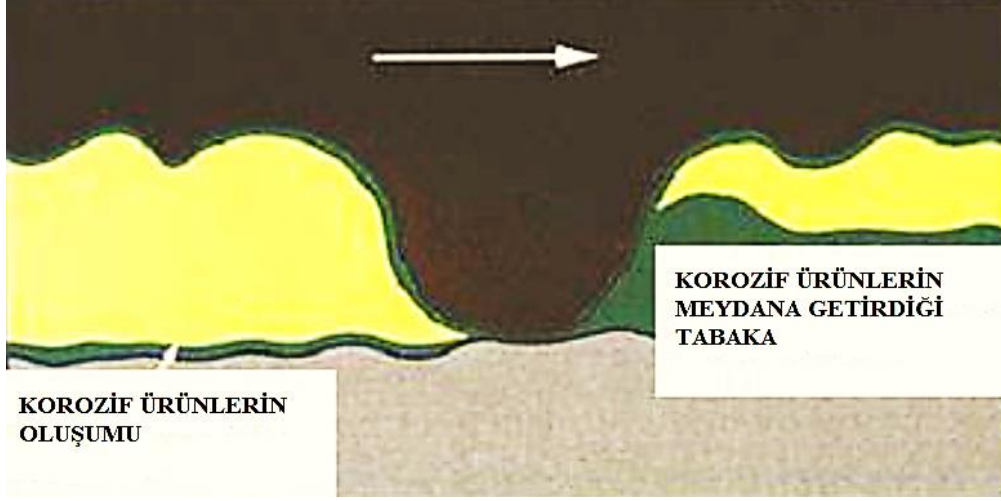
Aşındırıcı malzemenin sıvı olduğu durumlarda abrazyif aşınmadan bahsedilemez. Şekil 4.10'da erozif aşınma mekanizmaları gösterilmektedir (Stachowiak vd., 2005).



Şekil 4.10: Malzeme yüzeyinde meydana gelebilecek aşınma mekanizmaları (Stachowiak vd., 2005).

4.2.5 Koroziif Aşınma

Koroziif aşınma, malzemede hem korozyonun meydana gelmesi hem de aşınma mekanizmasının birlikte gerçekleştiği sonucu oluşan bir aşınma türüdür. Aşınmanın olduğu durumda ortam koroziif ise metal ve alaşımları birleşik oluşturma eğiliminde olurlar. Meydana gelen bu elektrokimyasal ve kimyasal olaylar metalin iç yapısında zayıflamalar oluşturur (Karadeniz, 2005).



Şekil 4.11: Malzeme yüzeyinde meydana gelen koroziif aşınma (Karadeniz, 2005).

Şekil 4.11’de gösterildiği üzere meydana gelen bu aşınma ile oluşan malzeme kaybı bu iki mekanizmanın ayrı ayrı oluşmasıyla gelebilecek malzeme kaybindan daha fazladır. Oluşan bu ince film tabakalar sürtünme esnasında çatlayıp koparlar ve tekrardan oluşarak malzemeye zarar vermeye devam ederler (Şimşek, 2014).

4.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Aşınma sadece malzemenin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda aşınmaya sebep olabilecek etkenlerin tamamı göz önüne alınıp incelenmelidir (TMMOB, 2003).

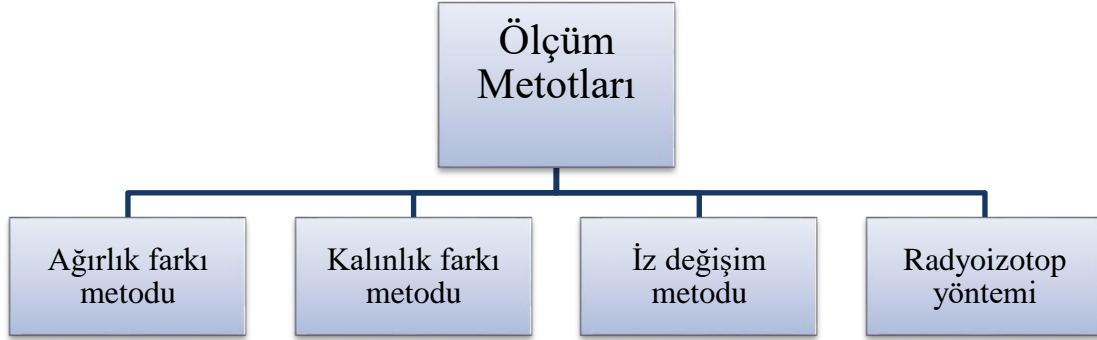
- I. Aşınan malzeme
- II. Aşındırıcı malzeme
- III. Ara malzemeler(partiküller, yağlayıcılar)
- IV. Cisim üzerine uygulanan yük
- V. Karşılıklı iki malzemenin birbirine göre hareketi
- VI. Ortam (sıcaklık, vakum vb.)

Aşınma olayı birbiri ile etkileşim halinde olan tüm malzemelerde görülmekte olup beraberinde şekil değişikliği ve malzeme kaybını getirmektedir. Aşınan iki malzeme arasındaki rölatif hareketler oluşacak olan aşınmanın cinsini belirlemektedir. Uygulanan yük statik veya dinamik şekilde olabilmektedir (Bhushan, 2000).

4.4 Aşınma Ölçüm Metotları

Meydana gelmiş olan aşınmanın tespitinde genellikle göz veya optik muayene, ağırlık kaybı, boyutsal değişimin ölçülmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Tablo 4.2’de ölçüm metotları sınıflandırılmıştır (Yegen, 2009). Bunlar;

Tablo 4.2: Ölçüm metotlarının sınıflandırılması (Yegen, 2009).



4.4.1 Ağırlık Farkı Metodu

Uygulanan yöntemin ekonomik ve yüksek hassasiyete sahip olması sebebi ile en çok tercih edilen yöntemler arasındadır. Bu yöntemin dezavantajı yapılan her ölçümde malzeme yerinden çıkarılıp bağlanması gerekesidir. Ağırlık kaybı 10^{-4} ile 10^{-5} aralığında yapılmaktadır.

Aşınma esnasında gelen malzeme kaybı gram ya da miligram olarak, aşınmış alanın uzunluğu metre veya kilometre olarak hesap edilir ise (g/km), (mg/m) birimleri ile ifade edilir. Bu yöntem ile alakalı bağlantı eşitlik 1’deki gibidir (Akçin vd., 2013).

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{N.m}} \right] \quad (1)$$

Aşınma oranının ters değeri (W_a) aşınma direnci olarak kabul edilmekte olup eşitlik 2’deki formül ile tespit edilmektedir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \left[\frac{\text{N.m}}{\text{mm}^3} \right] \quad (2)$$

4.4.2 Kalınlık Farkı Metodu

Parça üzerinde aşınma meydana gelmeden önceki değerler ile aşınma olayından sonraki parça boyutlarının karşılaştırılması yöntemidir. Elde edilen değerler neticesinde hacimsel değişim tayin edilmiş olup ölçüm değerlerindeki hassasiyet mikron duyarlılığındadır (Akçin vd., 2013).

4.4.3 İz Değişim Metodu

Parça aşınmaya maruz bırakılmadan önce aşınacak olan yüzeye belirli bir iz plastik deformasyon ile oluşturulur ve aşınmaya maruz bırakıldığı süre boyunca parça üzerindeki izin çapında meydana gelecek olan değişimler gözlenir. İz bırakmak için Brinell veya Vickers sertlik cihazları (bilya veya elmas piramit uç) kullanılmaktadır (Akçin vd., 2013).

4.4.4 Radyoizotop Yöntemi

Radyo izotop yöntemi aşınma alanına proton, nötron ya da yüklü haldeki α – parçacıklarının bombardıman edilmesi sonucu radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Bu yöntem ile ölçümler çok hassas bir şekilde yapılabilmekte olup, yöntemin maliyetlerinin fazla olmasından dolayı gerekli görülmediği sürece tercih edilmemektedir.

BÖLÜM 5

TERMAL BARIYER KAPLAMA

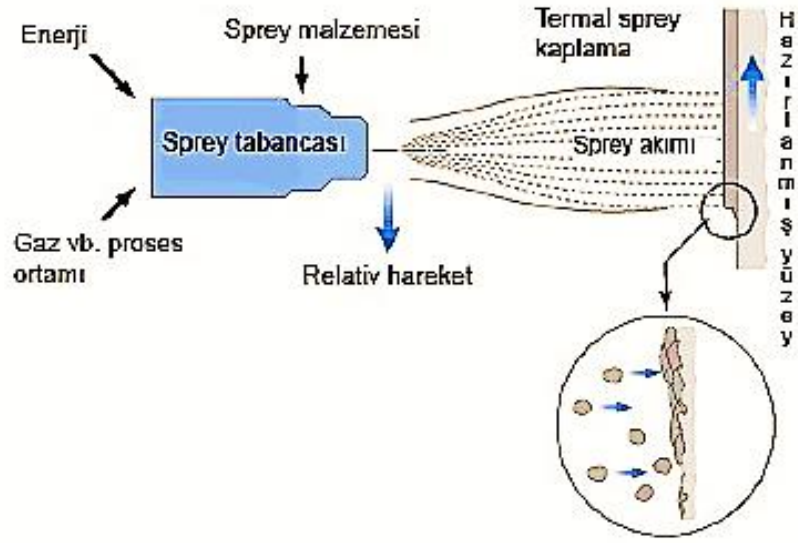
5.1 Termal Bariyer Kaplama Genel Tanımı

Geçmişten günümüze esas malzemenin yüzeyinin sahip olmadığı özellikleri kazandırmak amacı ile uygulanan yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde yüzeye üstün fiziksel, mekanik veya elektriksel nitelikler kazandırılmaktadır (Çakır, 1988).

Yüzey işlemleri ile sağlanan bu özellikler aynı özelliklere sahip daha pahalı malzemelere alternatif olmuştur. Örneğin aşınmaya dirençli olan seramik esaslı bir kaplama malzemesi ile kaplanmış yüksek hız çeliğinin tokluk ve mekanik özelliklerinden faydalanırken seramik malzeme sayesinde yüksek derecede sertlik ve sıcaklık oksidasyon direnci de kazandırılmış olunur. Bunun neticesinde parça abrazyon aşınmaya, korozyona, termal şoklara ilk haline nazaran daha dirençli hale gelir (Ürgen, 1997).

Termal bariyer kaplama yöntemi genel olarak kaplanacak olan ana metal parça üzerinde ara bir bağ kaplama yapılarak ve bu bağ tabaka üzerinde esas yüzey özelliklerini sağlayacak olan oksit tabakası oluşturulması işlemidir.

Yüzeyde oluşturulacak oksit tabakasının kalınlığı kaplanacak olan ana malzemenin kullanım alanı ve maruz kaldığı ortam şartlarına göre belirlenmektedir. Genel olarak tercih edilen kaplama malzemeleri zirkonyum oksit (ZrO_2) alüminyum oksit (Al_2O_3) olmakla beraber farklı tiplerde oksit içerikli malzemelerde kullanılmaktadır. Yapılmış olan ilk termal bariyer kaplamalar plazma spreysel kaplama tekniği ile kalsiyum ve magnezyum ile kararlı hale getirilmiş zirkonyadır ve tarihte ilk defa 1960 yılında yapılmıştır (Bolot vd., 2005).



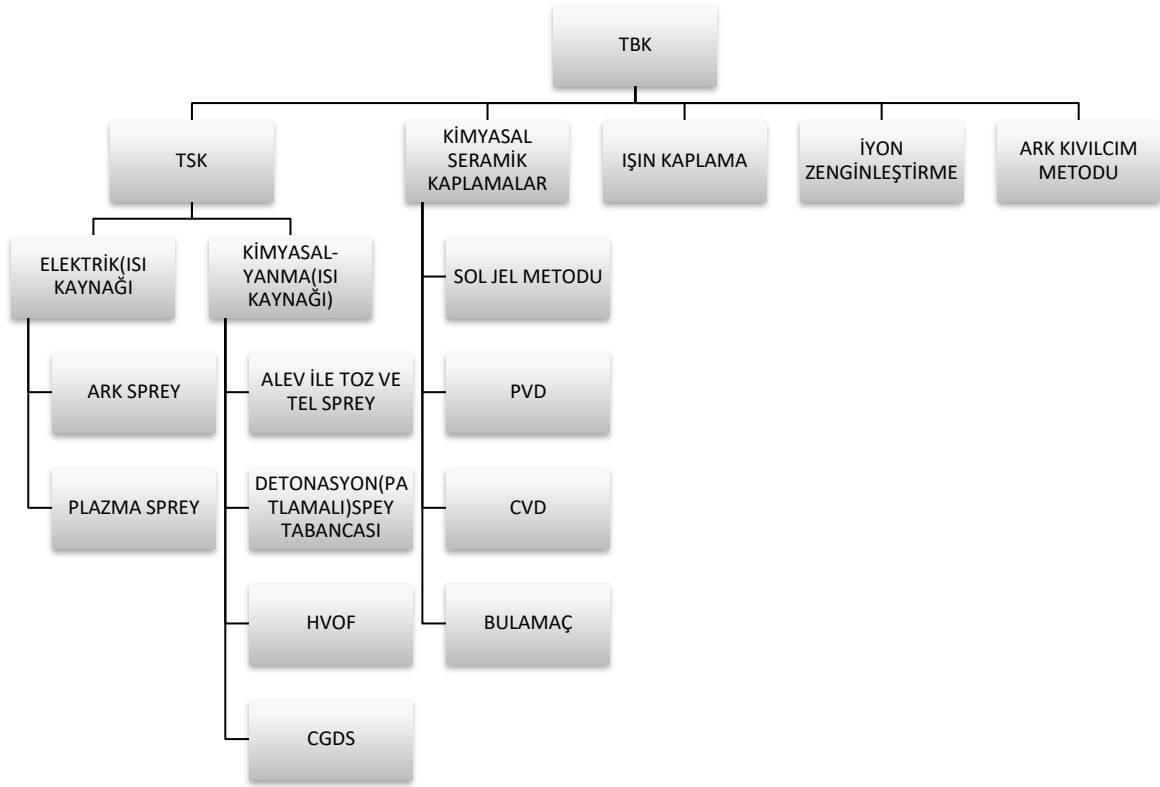
Şekil 5.11: Kaplama prosesi gösterimi (URL-2, 2010).

Uygulanmakta olan farklı kaplama tekniklerinde kaplama partikülleri farklı sıcaklık ve parçacık hızlarına sahip olabilmektedir. Uygulanan kaplamalar farklı kalınlıklara sahiptir. İnce film kaplamalar 0,5 mm kadar olan kaplama türleridir, kalın film kaplamalar ise 5-6 mm kalınlığa sahip kaplamalardır. İnce film kaplamalar genellikle uçak parçalarında ve otomobil parçalarında kullanılmaktadır. Kaplama prosesi Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir (Kamo vd., 1989).

5.2 Termal Bariyer Kaplama Yöntemleri

Seramik kaplama malzemeleri ve diğer kaplama malzemeleri için pek çok kaplama sistemi ve tipi mevcuttur. Termal bariyer kaplamaya ait yöntemler Tablo 5.1 ‘de gösterildiği gibidir (Yaşar, 1997).

Tablo 5.1: Termal bariyer kaplama yöntemleri ve sınıflandırılması (Kamo vd., 1989).



Açıklamalar;

- TBK: Termal Bariyer Kaplama
- TSK: Termal Sprey Kaplama
- PDV: Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi
- CVD: Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi
- HVOF: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Spreyleme
- CGDS: Soğuk Gaz Dinamik Sprey Kaplama

Termal sprey kaplama işlemlerinde sıcaklık ve partikül hızı gibi parametrelerinin kontrolünün sağlanması ve istenilen değer aralığında tutulabilmesi zordur. Bu sebepten ötürü yaygın olarak kullanılmasına karşın yapılacak olan kaplamanın kalitesini kullanıcıyı da etkilemektedir. Tablo 5.2’de farklı kaplama yöntemlerine ait proses hızı ve partikül hızlarına ait veriler gösterilmektedir (Sahoo, 1993).

Tablo 5.2: Termal sprej İle kaplama yöntemlerinin proses sıcaklığı ve partkiül hızlarının karşılaştırılması (Ekrem, 2011).

<u>Proses /Özellik</u>	<u>Proses Partikül Hızı m/s</u>	<u>Proses Sıcaklığı (°C)</u>
Soğuk sprej	800-900	500-900
Alev-toz	30-200	2500-3000
Alev-tel	30-100	2500-3000
HVOF	700-800	2500-3000
Plasma-APS	200-300	2500-3000
Plasma-VPS	200-300	2500-3000
Ark sprej	200-300	2500-3000

Termal sprej kaplama işlemleri, kaynaklı kaplama işlemine göre farklı avantajlar göstermektedir. Bunlardan ilki seramik gibi kaynak edilebilme özelliğine sahip olmayan malzemelere uygulanabilir olması, ikincisi ise bileşim veya çarpılma eğilimleri nedeni ile kaynaklı kaplama işlemine uygun olmayan malzemelerin kullanılabilirliğidir. Bazı yöntemler de kaplama ile kaplanacak malzeme arasında yüksek sıcaklık difüzyonu gerçekleşmesine rağmen çoğunlukla bu iki malzeme arasında mekanik bir bağ meydana gelmektedir. Oluşan bu bağ kaynaklı kaplamalardaki bağ kadar kuvvetli olmamakla beraber aynı zamanda kaplama içerisinde gözeneklere ve oksitlere rastlanabilmektedir.

Termal sprej ile kaplanmış olan bir malzemenin kaplama özelliklerini servis şartları altında tespit edebilmek çok güçtür. Günümüzde ASTM-C633-13(2017) standart mevzuatına göre kaplama malzemesinin yapışma mukavemeti yapılan testler ile belirlenmektedir (Dapkunas, 1993).

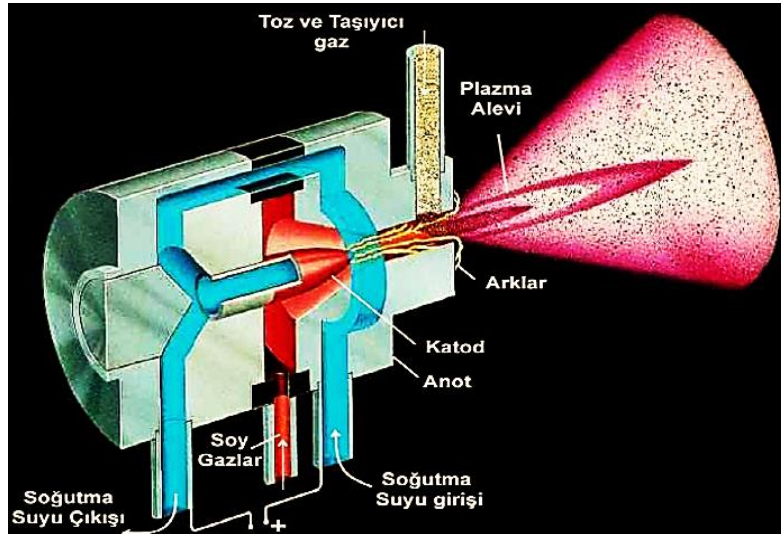
5.2.1 Plazma Sprej Kaplama Yöntemi

Bu yöntemi diğer kaplama çeşitlerinden ayıran en önemli özelliklerden biri yüksek ergime sıcaklığına sahip seramik ve oksit içerikli kaplama tozlarının uygulanabilirliğinin oldukça fazla olmasıdır. Bunun ile birlikte toz özellikleri ve tozun boyutuna bakılmaksızın kullanılabilirliği yüksek bir prosestir. Plazma sprej prosesi kendi içerisinde de farklı çeşitlere ayrılmaktadır.

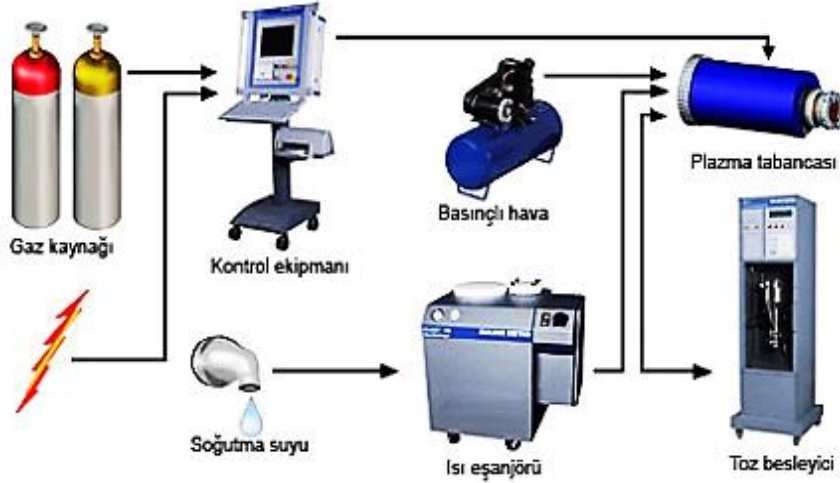
Bunlar;

- I. APS (atmosferik plazma sprej)
- II. VPS (vakum plazma sprej)
- III. LPPS (düşük basınçlı plazma sprej)

Şekil 5.2’de gösterildiği üzere plazma sprej yönteminde kullanılan gazlar tabanca içerisinde bulunan katot ve anot uçlar arasında ileriye doğru hareket ederler ve torc kısmında 20000°C’ye ulaşmış arkın içerisinde geçerek bileşenlerine ayrılır, iyonize olurlar. Torc’daki yüksek sıcaklık artışı gaz hacminde artışa sebebiyet verir ve bu gaza hız kazandırır. Kaplama tozu bu prosese bir besleme ünitesi yardımı ile dâhil edilir, plazma jeti içerisinde ergitilen partiküller kaplanacak olan malzeme yüzeyinde doğru hızlı bir şekilde gönderilir. Bu partiküller yüksek sıcaklığında etkisi ile sıvı damlacıklar (droplet) halini alır, altlık malzeme üzerine çarptığı esnada ise yassılaşılarak (splat) bir katman halinde birikir. Şekil 5.3’de ise plazma sprej yöntemine ait sistem bileşenleri gösterilmektedir (Ekrem, 2011).



Şekil 5.2: Plazma sprej yöntemi şematik gösterimi (URL-2, 2010).



Şekil 5.3: Plazma sprey yöntemi sisteminin bileşenleri (URL-2, 2010).

5.2.1.1 Atmosferik Plazma Sprey (APS) Kaplama Yöntemi

Atmosferik (konveksiyonel) plazma sprey yöntemi genel itibari ile en yaygın kullanılan plazma kaplama yöntemlerinden biridir. Tabancadan çıkan kaplama tozu partikülleri eriyik halde atmosfer ile tepkimeye girerek kaplanacak olan altlık malzemeye oksitlenmiş bir halde ulaşır. Plazma elde edebilmek için sıkça argon gazı, hidrojen veya bu iki gazın karışımı kullanılıp, DC elektrik akımı uygulanmaktadır. Toz kaplama malzemesi sisteme inert bir gaz vasıtası ile beslenir. Plazma tabancasının püskürtme hızı plazma gazlarına, toz besleme ünitesi ve toz boyut dağılımına, proste tercih edilen sprey tabancasının tasarımı gibi esaslara bağlıdır. Şekil 5.4’de atmosferik plazma sprey kaplama yönteminin uygulanış yöntemi gösterilmektedir (Sert, 1990).



Şekil 5.4: Atmosferik plazma sprey (APS) sistemi gösterimi (Matsumoto, 2007).

5.2.1.2 Vakum Plazma Sprey (VPS) Kaplama Yöntemi

Atmosferik plazma sisteminden farklı olarak kaplama sırasında sistem içerisinde vakum oluşturulur. Bu yöntem ile üretilen kaplamalarda korozyon direnci daha fazladır. Vakum plazma sistemi ile 50 µm'den daha düşük kalınlıkta kaplamalar elde edilebilmesi PVD ve CVD gibi kaplama metotlarına alternatif olmuştur. Bu yöntemde karşılaşılabilecek en büyük sorun vakum ortamının sabit tutulabilmesini sağlamaktır. Şekil 5.5'de vakum altında yapılan plazma sprej sistemi gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Vakum plazma sistemi gösterimi (Davis, 2004).

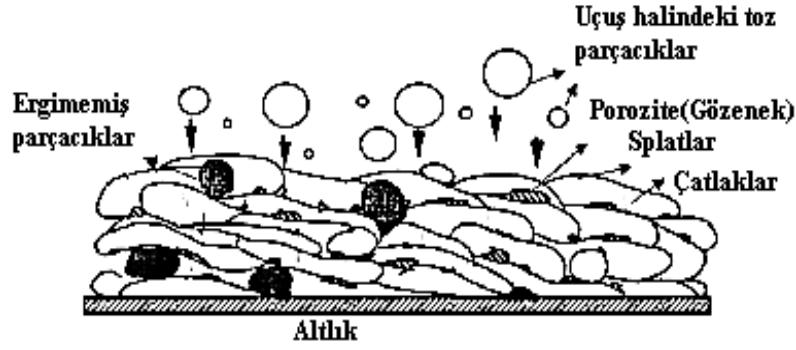
Yöntemin çalışma prensibi ise vakum altındaki kaplama tozları plazma jeti içerisinde geçerek altlık malzeme üzerine gönderilirler. Altlık malzeme pozitif kutuplu olup gönderilen kaplama tozları ise negatif kutupludur (Davis, 2004).

5.2.1.3 Plazma Sprej Kaplamaların Genel Özellikleri

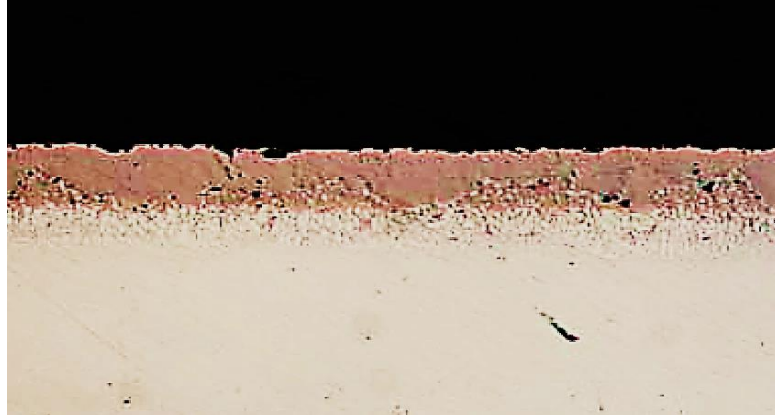
5.2.1.3.1 Mikro yapısal Özellikler

Kaplama yönteminin mikro yapısı plazmanın oluşmasından başlayarak, kaplanacak olan toz partikülün ergime sıcaklığı, tozun beslenebilirliği, erimiş olan sıvı toz partikülün (droplet) yüzeye çarpma esnasındaki deformasyon davranışları, splatın soğuma davranışları vb. birçok durumdan etkilenebilmektedir. Şekil 5.6 (a)'da plazma sprej yöntemi esnasında

malzeme yüzeyinde meydana gelebilecek tabakalar, şekil 5.6 (b)'de plazma sprey işlemi sonrası kaplanan malzeme yüzeyine ait mikroyapı fotoğrafı gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.6: (a) Plazma sprey yöntemi ile yapılan kaplamanın şematik bösterimi, (b) Plazma sprey yöntemi ile yapılan kaplamanın mikro yapısal özellikleri (Kulkarnı vd., 2005).

Yöntemin sahip olduğu yüksek parçacık hızından dolayı toz parçacığın tam olarak erimemesine neden olabilmektedir. Plazma sprey ile elde edilen kaplama heterojen dağılımlı, lameli bir yapıya sahiptir. Farklı tane boyutları, porozite ve oksit tabakalarına sahiptir (Yıldırım, 2009).

5.2.1.3.2 Yoğunluk ve Porozite Değerleri

Plazma kaplama yöntemlerinde iki farklı tip porozite göze çarpmaktadır. Bunlar;

- Partikülleri arasındaki boşlukların tam olarak kapanamamasından meydana gelen poroziteler.
- Kaplamaların doğal özellikleri ile ortaya çıkan mikro porozitelerdir.

Porozite genel olarak sistemdeki enerjinin azalması ve kaplanacak olan mesafe ile sprej tabancası arasındaki mesafenin uzamasından dolayı artmaktadır. Poroziteler lamelli yapının tane sınırlarında daha çok gözükmektedir. Porozite oluşumu genel olarak sistem içerisinde kullanılan gazın cinsine, sprej tabancasının gücüne, kaplama işlemindeki sistem parametrelerine, kaplama tozunun tribolojik özelliklerine bağlıdır.

5.2.1.3.3 Yapışma Mukavemeti ve Sertlik Özellikleri

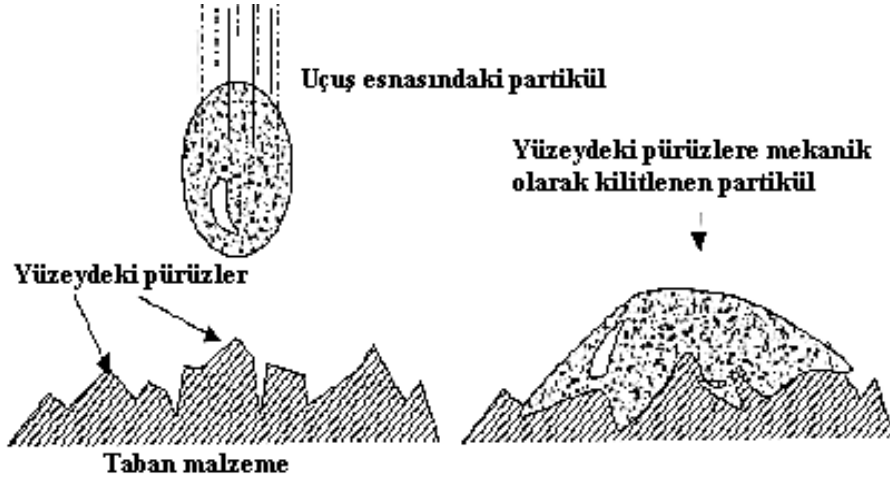
Kaplama kalınlığı ile kaplama mukavemeti arasında doğrudan birbiri ile bağlantılıdır. Kaplama tabakasındaki gerilmenin artması ve kaplama kalınlığının artması parçacığın yapışma mukavemetini olumsuz olarak etkilemektedir. Yapışma mukavemeti altlık malzeme ile kaplama arasındaki bağlanabilirliğin bir ölçüsüdür. Bağlanma mekanizmasını üç farklı etmen etkilemektedir.

1. Mekanik kilitleme
2. Difüzyon
3. Van der Waals Kuvvetleri

Mekanik açıdan kilitlemeyi yüzey pürüzlülüğü, kaplama tozlarının sahip olduğu kinetik enerji, eriyik haldeki kaplama tozlarının karakteristik özellikleri etkilemektedir. Şekil 5.7'de eriyik haldeki kaplama partiküllerinin yüzey ile temas etmesi durumu gösterilmektedir.

Kaplama işlemi esnasında meydana gelen ısı enerjisi ve kinetik enerji difüzyon bağlanması ve metalürjik bağlanmayı arttırmaktadır. Kaplama altlık yüzeyi ve kaplama tabakası ne kadar geç soğur ise difüzyon o kadar artma eğilimi göstermektedir.

Van der Waals kuvveti metal esaslı kaplamalarda sıkça görülmektedir. Mekanik bağlanma mukavemetini de arttırmaktadır (Joseph, 2003).



Şekil 5.7: Eriyik haldeki kaplama partikülünün altlık malzeme ile etkileşimi (Joseph, 2003).

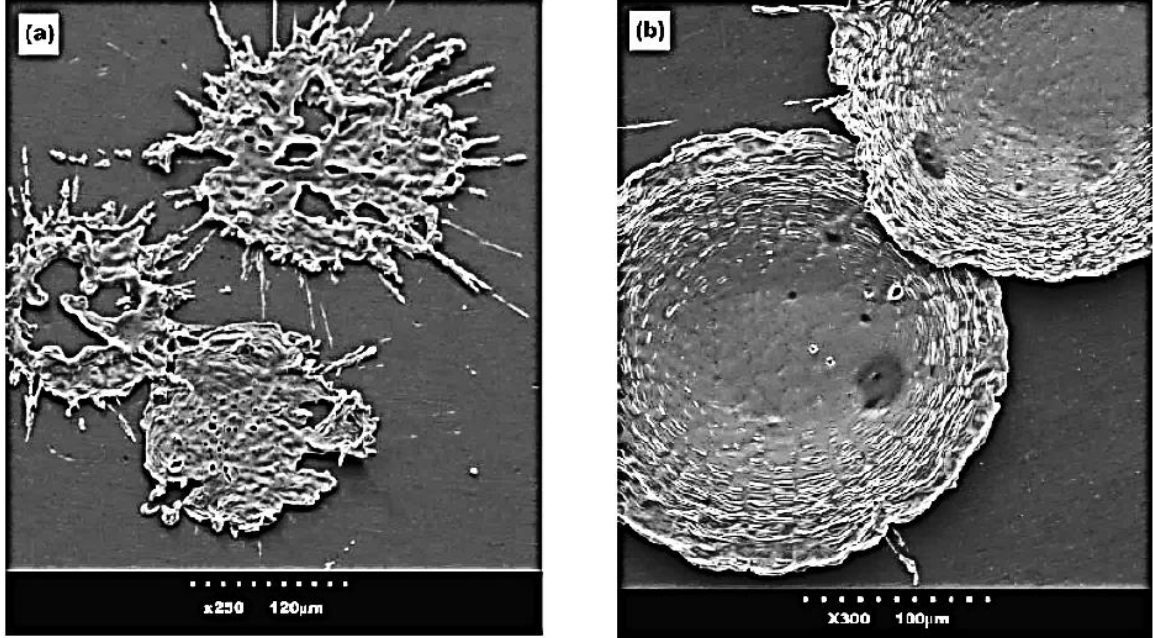
Sertlik değeri ise kaplanacak tozun özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genel tabiri ile kaplama tozunun plazma tabancasından çıkış hızı ne kadar yüksek ise kaplama tabakasında da aynı orantıda sertlik artışı meydana gelmektedir. Kaplama lamelleri içerisindeki oksitlerde sertliğin artmasına sebep olabilmektedir (Aydınlı, 2008).

5.2.1.3.4 Kaplama Yüzey özellikleri ve İç Gerilmelerin Etkileri

Plazma sprej yöntemi ile kaplanmış olan yüzey yöntem parametreleri ve kaplamada kullanılan tozun karakteristik özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Pürüzlü bir yüzey oluşumu gözenek sayısının artmasına sebep olacağından aşınma direncini oldukça düşürmektedir. Aynı zamanda yüzeydeki pürüzlülük yapışma mukavemetini olumlu etkilemektedir.

Kaplanacak olan altlık üzerine gönderilen kaplama tozlarının yüzeydeki katılma hızları, kaplama ile kaplama tozu arasındaki termal özellik farklılıkları kaplama tabakası içerisinde gerilmelere sebep olur. Bunun önüne geçilebilmesi için kaplanacak olan altlık malzeme belli sıcaklığa getirilerek termal genişleme ile alakalı sıkıntılar azaltılmaya çalışılır. Yapışma direncini etkileyen faktörlerden bir de kaplama işlemi yapılacak olan malzemenin sıcaklığıdır. Şekil 5.8'de altlık malzeme ve eriğik haldeki kaplama tozu arasındaki sıcaklık farklarından dolayı meydana gelebilecek splat durumları gösterilmektedir.

Yapılan çalışmalarda 100°C'nin altındaki bir yüzey sıcaklığına sahip altlık malzeme üzerine çarpan eriyik haldeki toz parçacıkları düzensiz şekilli olmaktadır. Düzgün dairesel yapıda olan taneciklerin yapışma oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Bianchi, 1994).



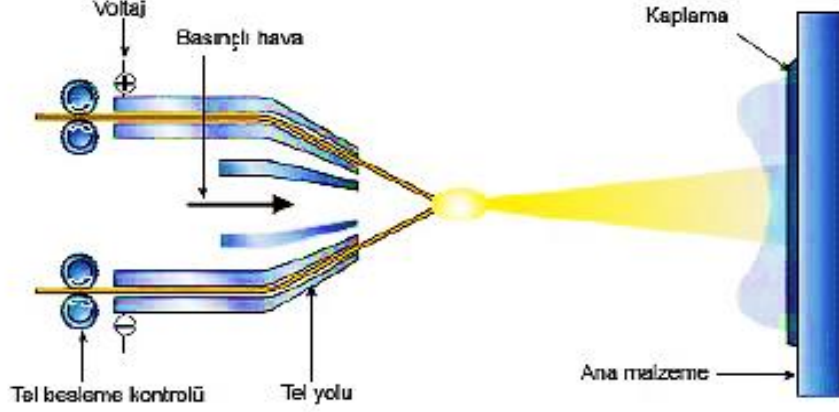
Şekil 5.8: Paslanmaz çelik malzeme üzerine eriyik halde çarpan nikel toz partiküllerinin formu, (a) Yüzey sıcaklığı 290 °C, (b) Yüzey sıcaklığı 400 °C (Smolka, 2002).

5.2.2 Elektrik Ark Sprey Kaplama Yöntemi

Bu yöntemde tel formuna sahip herhangi bir elektriği ileten malzeme kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Teller farklı yüklere sahiptir. Tellerin biri pozitif yüklü iken öteki negatif yüklüdür. Bu sayede oluşturulan elektrik arkı ile teller kesiştikleri noktada eritilerek kaplanacak malzeme üzerine yüksek basınçlı hava ile gönderilir. Sistem içerisine yüksek basınçlı hava olmasından dolayı oksit içeriği yüksektir. Ark sprej yöntemi ile yapılmış olan kaplamalar yüksek gözenek içeriğine de sahiptir. Bu sebepten dolayı meydana gelen bağ kuvveti düşüktür (Joseph, 2003).

Elektrik ark kaplama sisteminde yaygın olarak MİG ve TİG kaynaklarında kullanılan teller tercih edilmektedir. Yöntem içerisinde inert gazların kullanılması ile kontrollü bir atmosfer

sağlana bilinmektedir. Şekil 5.9’da elektrik ark sisteminin uygulanış yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 5.9: Elektirik ark sprej sistemi gösterimi (Davis, 2004).

5.2.3 Alev Sprej Yöntemi

Alev sprej yönteminde seramik veya metalik içerikli toz veya tellerin altlık malzeme üzerine kaplanabilmesi için oksijen-yakıt karışımından oluşan gaz alevinin içerisine yönlendirilir ve buradan erimiş parçacıklar nozulu düşük parçacık hızı ile terk ederler. Parçacık hızının düşük olmasından dolayı atmosfere maruz kalır ve oksit içerikleri artar.

Alev sprej yönteminde yakıt olarak propan gazı, hidrojen ve asetilen gazları oksijen ile karışım oluşturularak yakılır ve elde edilen alev içerisinde kaplama için kullanılacak olan toz veya tel eritilmiş olur. Şekil 5.10’da iki farklı alev sprej yönteminin uygulanışı gösterilmektedir.

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlardan biri plazma sprej yöntemine göre mekanik özellikler daha zayıf kaldığından yüksek gerilmelere maruz kalmayan, korozyondan koruma amaçlı kullanılmaktadır (Dorfman, 2012).

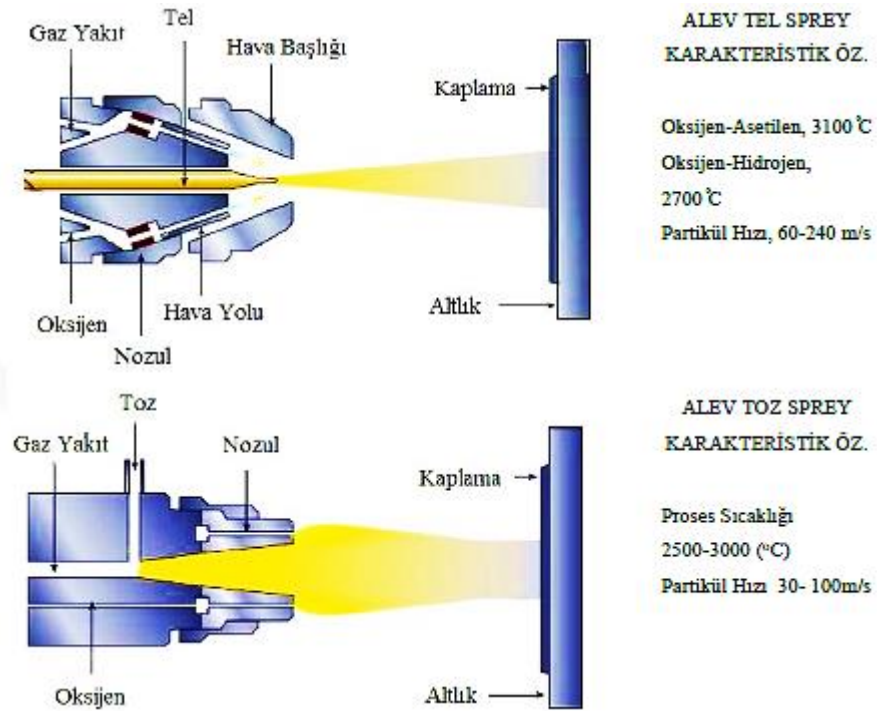
5.2.3.1 Toz ile Alev Sprey Yöntemi

Bu tip kaplama yönteminde kaplanacak olan seramik veya metalik içerikli bir toz nozula gönderilmekte ve oluşan ark ile parçacıklar sıvı hale getirilip altlık malzeme üzerine kaplanmaktadır.

Toz alev sprej yöntemi donanım bakımından daha basit ve plazma sprej kaplamaya göre daha ucuz bir yöntemdir. Çeşitli metal tozları harmanlanarak aşınma ve korozyon direnci daha da artırılabilir.

5.2.3.2 Tel ile Alev Sprej Yöntemi

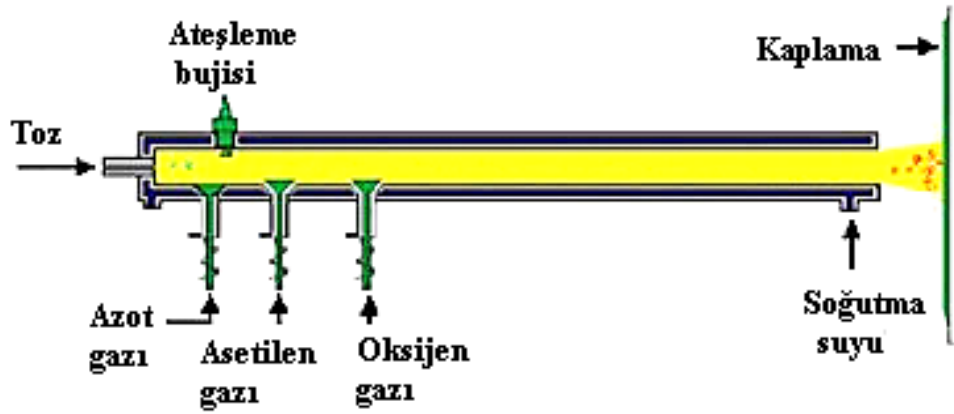
Tel sprej kaplama yönteminde sistem içerisine bir makara vasıtasıyla beslenmekte olan tel eritme tabancasına gönderilmektedir. Yöntem toz sprejleme yöntemine göre daha uygundur. Bazı istisnai durumlarda besleme ünitesinde parça çubuklar da kullanılmaktadır. Sınırlayıcı etmenlerin başında kullanılmakta olan tel yanma alevinden eritilebilir olması gereklidir.



Şekil 5.10: Alev sprejleme yöntemlerinin gösterimi (URL-2, 2010).

5.2.4 Patlamalı (Detonasyon) ile Alev Sprey Yöntemi

Detonasyon (D-Gun) spreyleme yöntemi özel olarak üretilmiş kaplama tabancası ile yapılmaktadır. Tabanca içerisinde oksijen, azot ve asetilen içerisinde toz halinde kaplama malzemesi miktarının ölçülebildiği bir hücre bulunur. Oksijen ve asetilen gaz karışımı, bujiler ile saniyede 4-8 defa elektrik kıvılcımı ile patlatılır. Bu patlamalar sıcak ve yüksek hızlı bir gaz akışına sebep olmaktadır. Yaklaşık olarak 800 m/sn 'lik bir hız ile kaplanacak olan malzemeye doğru ilerlerler. Şekil 5.11'de patlamalı alev spreji yöntemine ait sistem bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 5.11: Patlamalı alev yönteminin şematik gösterimi (Ulutan, 2007).

Bu kaplama yöntemi genellikle yüksek sıcaklık kaplamaları için kullanılan bir yöntemdir. Patlamalı alev yönteminin kaplamanın bağ bütünlüğü, kaplanacak olan toz partiküllerinin yüksek hızda altlık malzemeye çarpması sonucu meydana gelmektedir. Parçacıkların sahip olduğu hız plazma spreji ve alev spreji yöntemine göre 2 ile 5 kat daha fazladır. Bu hız farkından dolayı parçacıklar kaplama malzemesi yüzeyine % 20-25 oranında daha fazla bir kinetik enerjiye sahip olarak çarpmaktadır.

Patlamalı spreyleme yönteminde meydana gelen detonasyonlar hızlı bir şekilde gerçekleştiği için gürültülü bir yöntem olduğundan kapalı alanlarda ses yalıtımı yapılmış ortamlarda çalıştırılmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken hususlardan bir diğeri ise bu yöntem de metalik olmayan malzemeler kaplanamamaktadır. Bunun sebebi yüksek hızdaki gaz akışları erozyona sebep olmaktadır.

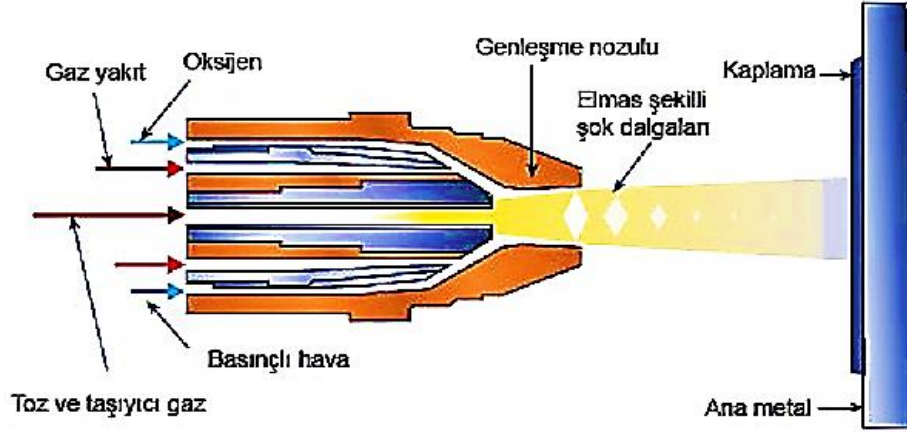
Yüzey üzerinde kaplama malzemesinin birikmesi fırlatılan partiküllerin üst üste gelmesi ile meydana gelir. Bu yöntemde sahip olunan kaplama içerisindeki gözeneklilik daha düşük, bağ dayanımı ve aşınma direnci yüksektir. Yöntem sertlik değeri 50-60 HRC değerinden daha yüksekteki malzemelere uygulanmaktadır (Phillips, 1995).

5.2.5 Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Spreyleme (HVOF)

HVOF yöntemi alev sprey yöntemine göre benzerlik göstermektedir ancak kaplama malzemesi olarak sadece toz formundakiler kullanılabilir. Proseste kullanılan parçacıklar çok yüksek hızlara çıkabilmektedir. Bu sayede sahip oldukları kinetik enerjileri artmakta ve kaplandıkları altlık malzeme üzerinde düşük poroziteye yüksek yapışma mukavemetlerine sahiptir (Minikser, 2009).

Yakıt olarak propan gazı, propilen, hidrojen gibi gazlar kullanılarak oksijen ile beraber bu gazlar hazneye iletilir. Kaplama tozu ise taşıyıcı gaz olarak kullanılan azot gazı ile birlikte yanma odasına gelir ve burada ergitilerek sıvı hale geçer. Kaplama toz partiküllerinin sahip olduğu kinetik enerjiden dolayı tam olarak sıvı faza geçmesine gerek yoktur. Partikül yarı erimiş halde kaplanacak olan altlık tabaka üzerinde biriktirilir.

Bu yöntemin avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür. Kaplama tabakası sert ve yoğundur, içerdiği porozite oranında çok düşüktür, aşınma ve korozyona karşı mukavemettir, meydana gelen bağ tabakası oldukça sağlamdır ve karmaşık şekilli parçaların kaplanabilmesi mümkündür. Şekil 5.12'de HVOF yöntemine ait sistem bileşenleri gösterilmektedir (Joseph, 2003).



Şekil 5.12: Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) sisteminin şematik gösterimi (URL-2, 2010).

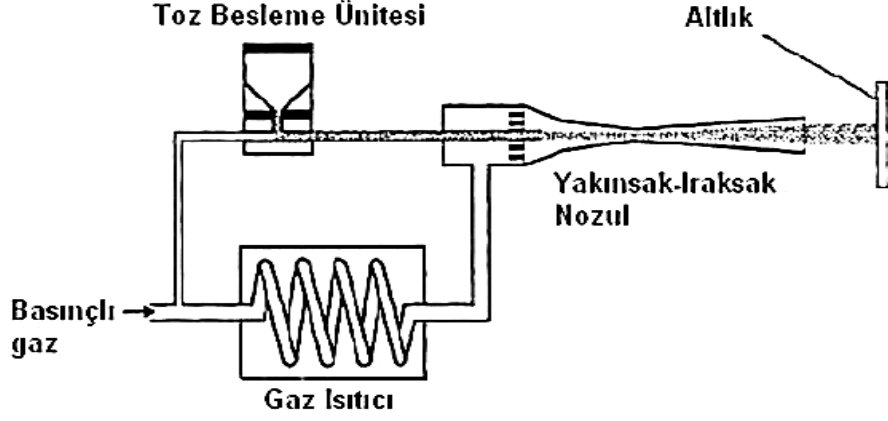
HVOF yöntemindeki en temel değişikliklerden biri gaz yakıtta alternatif olarak sıvı yakıtta kullanılabilmesidir. HVOF yöntemi çoğunlukla havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde rağbet görmektedir.

5.2.6 Soğuk Sprey Kaplama Yöntemi (CGDS)

Termal sprej kaplama proseslerinde kaplamanın mikro yapısında meydana gelen farklı partikül katılma hızları kaplama lamelleri boyunca farklı boyutlarda oksit ve porozite kalıntıları meydana gelebilmektedir.

Soğuk sprej yöntemi diğer termal sprej kaplama yöntemlerine göre katı haldeki kaplama toz partiküllerinin yüksek hızlar ve düşük sıcaklık altında kaplanacak olan altlık malzeme üzerinde püskürtülerek gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.13'de soğuk sprej kapma yönteminin uygulanış biçimi gösterilmiştir (Klassen vd., 2009).

Soğuk sprej yöntemi güvenilir ve çevre dostu bir kaplama yöntemi olup metalik esaslı kaplama malzemelerin endüstriyel uygulama alanlarında faaliyet göstermektedir.

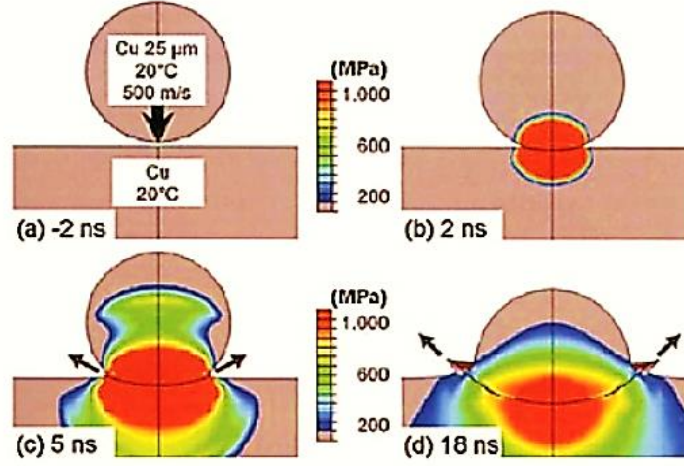


Şekil 5.13: Soğuk sprej kaplamanın (CGDS) şematik gösterimi (Jodoin, 2001).

Diğer termal sprej yöntemlerinde göre farkları ise kaplamada kullanılacak olan toz materyallerin hiçbir ergitme işlemine tabi tutmadan kullanılmasıdır. Partiküller sprej tabancasından yüksek hızlarda çıkarak altlık malzeme üzerinde tabakalar halinde biriktirilmektedir. Termal sprej kaplamada meydana gelen oksit, poroziteleri azaltmak için partiküllerin daha hızlı püskürtüldüğü HVOF yönteminde kontrollü atmosfer ortamı veya inert gazlar kullanılabilir. Sistem üzerinde düşük ısı girdisi olduğu için kaplama tabakası ile altlık malzeme arasında soğuma hızları farkından dolayı meydana gelen termal gerilme oranı düşüktür (Davis, 2004).

Proses içerisinde partiküllere yüksek hız kazandırmak için hava, azot, helyum veya bu gazların karışımları kullanılarak 400 ile 1300 m/sn hız elde edilebilmektedir. partiküllerin sahip olduğu yüksek hızlardan bünyelerinde kinetik enerji birikmektedir. Bu kinetik enerji altlık malzemeye çarptığı anda mekanik enerjiye dönüşür ve bağlanma sağlanmış olur.

Kullanılabilir partikül tozu boyutu 1 μm ile 50 μm arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 5.14'de soğuk sprej kaplama yönteminde meydana gelen kaplama tozu ve altlık tabaka arasındaki etkileşim gösterilmektedir.



Şekil 5.14 Soğuk sprej kaplama (CGDS) yönteminde partikül ve yüzey arasındaki etkileşim (URL-1, 2015).

Soğuk sprej ile kaplama yönteminde kritik hız değerinin altında kalan toz partikülleri altlık malzeme üzerine yapışmayarak sekme hareketi yaparlar. Ancak kritik hız değeri aşıldıktan sonra altlık malzeme üzerinde birikme oranı artar bunun sonucunda bağlanma gerçekleşmiş olur.

5.3 Termal Sprej Kaplamalarda Bağlanma

Kaplama malzemesi ile altlık malzeme arasında oluşacak olun bağı artırılabilmesi için bağlayıcı ikinci bir katmanın kullanılması endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Kaplanacak olan malzeme ile kaplama arasında zayıf bağ oluşumunu en aza indirmek için kullanılır. Bununla birlikte kaplama tozunun yapışma mukavemetini arttırmak, elastik modül, termal gerilmeler gibi uyumsuzlukları da en aza indirmek için kullanılır.

Oluşmakta olan bu bağı etkileyen faktörler ise;

1. Partikül sıcaklığı ve hızı
2. Yüzey kalitesi
3. Altlık malzeme yüzey özellikleri

Kaplama ile altlık malzeme arasındaki bağ kuvvetini etkilemekte olup bağlayıcı takviyeler kullanılmasına yönlendirmektedir. (Kipler, 2003).

5.4 Plazma Sprey Kaplama İşlemlerinde Yapılan Ön Çalışmalar

Kaplama kalitesinin belirlenmesinde kaplanacak olan altlık malzemenin durumu belirleyici bir etmendir. Altlık malzemenin yüzeyinden kirlerden ve yağ tabakalarından arındırılmış olması gereklidir. Temizleme işleminden hemen sonra ise kaplama işlemi yapılmalı ve oksit tabakası oluşması engellenmelidir.

5.4.1 Temizleme Safhası

Kaplama işleminden önce malzeme yüzeyindeki boya kalıntıları, yağ tabaksı, pas vb. etmenler temizlenmelidir. Bu kalıntılar fiziksel veya kimyasal işlem ile malzeme yüzeyinden uzaklaştırılabilmektedir.

Kaplama işlemi temizleme işleminden hemen sonra yapılmayacak ise kaplanacak olan malzemeyi korumak amaçlı Kraft kâğıdı kullanılabilir. Bu sayede malzeme nemden ve ortam şartlarının olumsuz etkilerinden korunması sağlanmış olacaktır (Erzi, 2011).

5.4.2 Yüzey Pürüzlülüğü

Kaplama kalitesini etkileyen parametrelerden biri olan yüzey pürüzlülüğünün aşırı olması lameller arasında gözenekler oluşturacak ve aşınma direncini olumsuz açıdan etkileyecektir. Ama malzeme yüzeyi gerekli olan bağ kuvvetinin sağlanabilmesi için gereken yüzey pürüzlülük değerine sahip değil ise aşındırıcı materyaller kullanılarak uygun değerlere getirilmektedir (Erzi, 2011).

5.4.2.1 Kaba Vida ve Diş Açma Yöntemleri

Genel itibari ile silindirik yüzeylere sahip altlık malzemelere yüzey pürüzlülüğü kazandırmak için kullanılmaktadır. İnce malzemeler için bu yöntem tavsiye

edilmemektedir. Bu işlemden sonra yapılacak olan kumlama işlemi ile kaplama ile altlık malzeme arasında yüksek bağ kuvveti elde edilmektedir.

5.4.2.2 Kumlama İşlemi

Bağ tabakasının kalitesini etkileyen temel etmenlerden bir tanesidir. Kumlama işlemi prosesin olmazsa olmazıdır. Bu işlem ile kesin olaraktan malzeme üzerindeki kir, pas, boya kalıntıları vb. olumsuz etmenler kaplanacak olan malzemedan uzaklaştırılmış olunur.

Alümina, silis kumu, çelik granürler, grit kumu en iyi derece yüzey temizliği sağlamaktadır. Kumların tane büyüklüğü 0,15 mm ile 1mm arasında değişmekte olup daha büyük tane boyutuna sahip kumlama kum çeşitleri de mevcuttur. İnce malzemeler kumlanır iken dikkat edilmelidir. Hızlı bir şekilde çarpacak olan kumlama partikülleri malzeme yüzeyinde deformasyona sebep olabilmektedir (Erzi, 2011).

5.5 Kaplama Kalınlığı Ölçüm Metotları

5.5.1 Elektromanyetik Test metodu

Tahribatsız muayene metotlarından biri olan elektromanyetik ölçüm yöntemi genel itibari ile en çok tercih edilen yöntemler arasındadır. Bu yöntemde iki tip kalınlık ölçüm sistemi mevcuttur. Bunlar;

1. Manyetik indüksiyon test tekniğidir.(TS EN ISO 2178:2016)
2. Eddy Current akım test yöntemidir.(TS EN ISO 2360:2017)

Günümüzde bu iki tip ölçüm yöntemi ile metalik ve metalik olmayan uygulamaların kalınlık ölçümü tesbit edilebilmektedir. Şekil 5.15’de ise kaplama tabakası kalınlığının belirlenmesinde kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



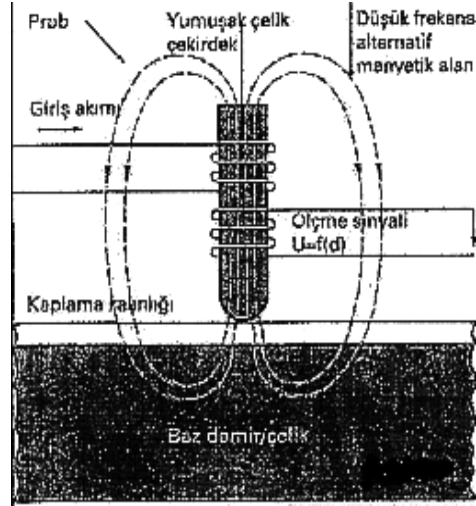
Şekil 5.15: Kaplama kalınlığı belirlenmesinde kullanılan ölçüm cihazları (Slen, 2002).

Ölçüm değerleri sayısal olarak gösterge panelinde belirtilir. Çeşitli tip ve büyüklükte ölçüm yapabilen çok sayıda ölçüm cihazı piyasada mevcuttur (Slen, 2002).

5.5.1.1 Manyetik İndüksiyon Test Tekniği

Bu yöntem demir içerikli veya çelik bazlı altlık tabaka üzerindeki demir dışı kaplamaların kalınlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yöntem esnasında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri altlık malzemenin mıknatıslanabilir özellikte olması ve kaplama malzemesinin demir dışı olması gerektiğidir. Bunların dışında bir malzeme olur ise bu ölçüm yöntemi ile kaplama kalınlığı tespiti yapılamamaktadır.

Bu yöntemde kaplama kalınlığı birkaç mikrondan 30 mm ye kadar ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 5.16'da kaplama kalınlığında kullanılan ekipman ve kaplama kalınlığı ölçüm yönteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.

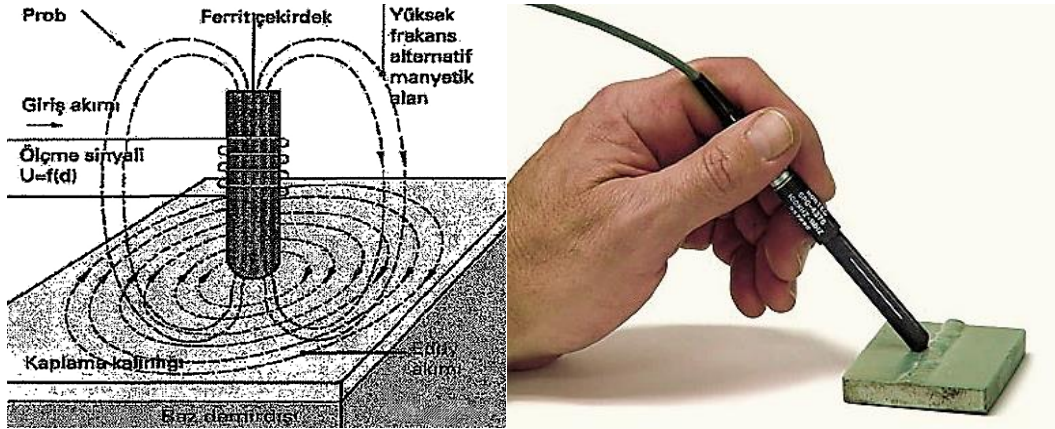


Şekil 5.16: Elektromanyetik indüksiyon ölçüm yöntemleri (Slen, 2002).

Cihaz bünyesinde bulunan problemler tek kutuplu olduğu gibi ölçülecek olan ekipmana bağlı olarak çift kutupluda olarak tasarlanabilmektedir.

5.5.1.2 Eddy Current Akımı Test Tekniği

Bu yöntem sıklıkla demir dışı malzemeler üzerindeki kaplama kalınlığını ölçmek üzere kullanılır.



Şekil 5.17: Eddy Current akımı test metodu.

Şekil 5.17'deki görsellerde yönteme ait ekipman ve uygulanan yöntemin çalışma prensibi gösterilmektedir. Alıcı durumundaki bobine yüksek frekans uygulanarak altlık olan malzeme üzerine temas ettirilir. Oluşan girdap akımı temas eden malzeme üzerinde indüklenir ve algılayıcı bobin üzerinde geri tepmeler oluşturur bu da bobin üzerindeki

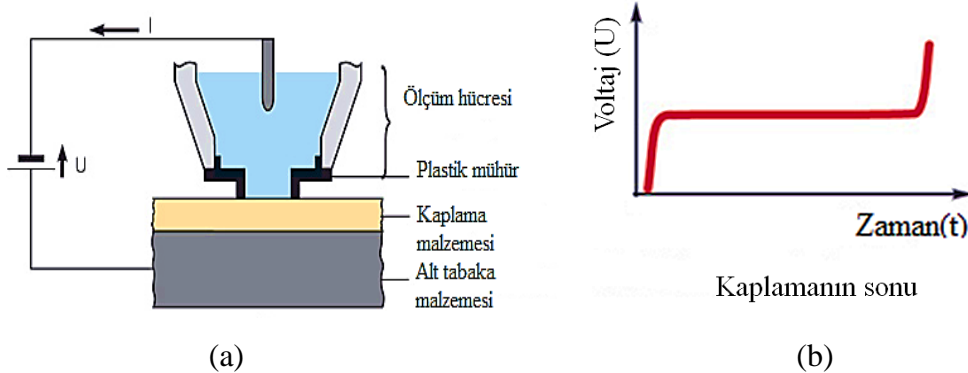
enerjide kayıplar meydana getirir. Yöntemde dikkat edilmesi gereken husus iki malzeme arasındaki elektriksel iletkenlik yeterli derecede olması gereklidir.

5.5.2 Kulometrik Ölçüm Yöntemi

Bu test yönteminde plastik ve seramik malzeme üzerinde bulunan metal içerikli kaplama tabakalarının kalınlıkları ölçülmektedir. Yöntemin dezavantajları arasında bazı durumlarda ölçüm yapılan malzemeyi tahrip edebilmekte ve işlem süresi uzun zamanlar alabilmektedir. Bunların yanında bu ölçüm tekniği çok katmanlı kaplama kalınlıklarını ayrı ayrı belirleyerek ölçebilmektedir. Test aralığı 0,05 mikron ile 40 mikron arasında değişmektedir.

Kulometrik ölçüm yöntemi genel olarak kaplanmış olan altlık malzemeye kontrollü bir şekilde elektrik verilmesi ile ölçüm işlemini yapmaktadır. Şekil 5.18 'de yöntemin uygulanış biçimi gösterilmektedir. Prensipten metalik olan kaplamayı altlık malzeme üzerinden kaldırılmasına dayanmaktadır. Kaplamayı kaldırmak için gerekli olan akım metalin sahip olduğu kütle ile orantılıdır. Test akımı sabit tutularak plaka kalınlığı ve plakayı kaldırma süresi belirlenmektedir. Kaplanmış olan metal ile sökülen metal eşitlikteki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$M = E \times i \times t \times \rho \quad (3)$$



Şekil 5.18 Kulometrik test tekniği şematik gösterimi(a), Aşınmanın zaman içinde artması ile birlikte voltajdaki değişim (b).

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada yüzeyi zirkonyum oksit ve molibden tozları ile kaplanan paslanmaz 316L çeliğinin abrazyon ortamındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Mikroabrazyon deney yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen abrazyon testlerinde aşındırıcı partikül konsantrasyonunun aşınma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Pin on disk yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen testlerde ise numunelerin aşınma davranışları incelenmeye çalışılmıştır.

6.2 Toz ve Altık Malzemelerin Karakterizasyonu

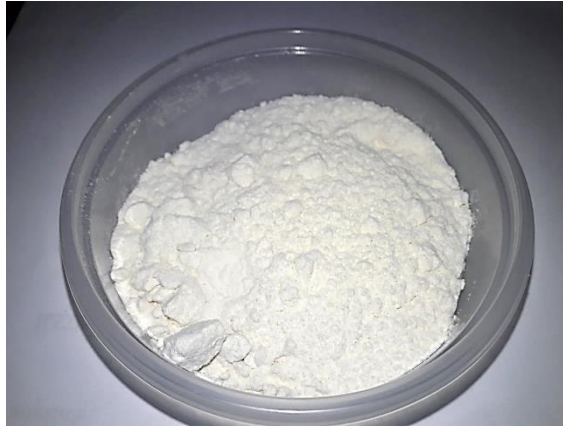
Çalışmada kullanılan paslanmaz 316L çeliğinin ve kaplama tozlarının yüzde olarak elementel karakterizasyon sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Paslanmaz 316L çeliğinin ve kaplama tozlarının karakterizasyonu.

Malzemenin Türü	Fe	Ni	Mo	Cr	Al	Diğer
316L Paslanmaz	% 61-68	% 10-14	% 2-3	% 16-18	-	-
Mo	-	-	% 99,0	-	-	% 0,5
ZrO ₂	-	-	% 99,2	-	-	% 0,8
NiCrAlY	% 40-30	% 30-35		% 21-23	% 9-11	% 0,8-1,2



Şekil 6.1: Mo kaplama tozu.



Şekil 6.2: ZrO₂ kaplama tozu.

6.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması ve Kaplanması

Kaplama işlemi yapılacak numuneler hassas kesme cihazı ile 10 mm kalınlığında olmak üzere 50 mm 'lik kare parçalar halinde kesilmiştir. Her bir kaplama tozu numunesi için 8 er adet olarak toplamda ise 24 adet numune sağlanmıştır. Elde edilen 24 adet paslanmaz 316L altlık numunelerin yüzeyleri etanol ile temizlenerek yüzey pürüzledirler işlemi için hazırlanmıştır. Bu işlem kumlama yöntemi ile yapıp kumlama tozu olarak silisyum esaslı tozlar kullanılmıştır. Şekil 6.3'de kaplama işleminden önceki parçaların yüzey durumları gösterilmektedir. Yüzeği pürüzlendirilmiş olan numuneler Tablo 6.2'de belirtilen parametreler ile APS yöntemi kullanılarak Mo, NiCrAlY, ZrO₂ tozları ile kaplanmıştır.

Tablo 6.2: Kaplama parametreleri.

Ark akış oranı	80–100 l/min
Ark basıncı	0.689 MPa
Yardımcı gaz akış oranı	5–180/min
Yardımcı gaz basıncı	0.385 MPa
Sprey oranı	2,5–7,0 kg/h
Ark voltajı	61–68 V
Ark akımı	400–600 A
Sprey mesafesi	100-150 mm



Şekil 6.3: Kaplama işlemi öncesi numuneler.

6.4 Kaplama Kalınlığı İncelemeleri için Numune Hazırlanması

Numuneler kaplama işleminden sonra kaplama kalınlığını analiz edilebilmek için uygun ölçülerde hassas kesme cihazı ile kesilerek bakalite alınmıştır. Bu numuneler daha sonra sırası 80 mesh'den 1200 mesh'e kadar zımparalanmış, daha sonrasında ise 6 μ ve 1 μ 'luk elmas pasta ile incelenecek olan yüzey parlatılmıştır. Tüm bu işlemler sonrasında kaplama kalınlığını belirleyebilmek amacı ile numuneler Taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 6.4'de 300 μ m NiCrAlY ile kaplanmış numune, Şekil 6.5'de 100 μ m NiCrAlY bağlayıcı toz üzerine yapılmış olan 200 μ m ZrO₂ tabakası, Şekil 6.6'da ise

100 μm NiCrAlY bağlayıcı toz üzerine uygulanmış 200 μm Mo kaplama tabakası gösterilmektedir.



Şekil 6.4: 300 mikron NiCrAlY kaplama tozu ile kaplanmış numune.



Şekil 6.5: 100 Mikron NiCrAlY kaplama tozu üzerine yapılmış olan 200 mikronluk ZrO_2 kaplama.



Şekil 6.6: 100 Mikron NiCrAlY kaplama tozu üzerine yapılmış olan 200 mikronluk Mo kaplama.

6.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Aşınma deneyleri sonucunda malzeme yüzeyinde meydana gelen aşınma mekanizması ve hasarları belirleyebilmek için SEM cihazından ve EDX cihazlarından faydalanılmıştır. Aşınmış olan parçalar teker teker incelenmiş ve yüzeylerinde meydana gelen malzeme kayıplarını da tespit edebilmek amacı ile 3D profilmeter cihazı kullanılmıştır.

6.6 Sertlik Ölçümlerinin Yapılması

Kaplama işlemi yapılmış numunelerin kaplama tabakasının sertliği Future Tech FM-700 mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür. Sertlik değerinin doğruluğunun saptanabilmesi için numune üzerinden üç farklı yerden ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler 100 gf yük altında ve 10 sn süre standartlarında yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen verilerin ortalaması alınarak sertlik değeri saptanmıştır. Şekil 6.7’de sertlik ölçümlerinde kullanılan ekipman gösterilmektedir.



Şekil 6.7: Mikrosertlik test cihazı.

6.7 X Işınları Analizi

X ışını analizi ile numune üzerindeki kaplama tabakasında meydana gelen fazlar ve elementel oranlar tespit edilmiştir. Bu deneyler için rigaku marka XRD analiz cihazı kullanılmış ve elde edilen veriler neticesinde yüzey kaplama karakteri hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

6.8 Kuru Kayma Aşınma Testinin Uygulanması

Pin on disk tribometer cihazı kullanılarak yüzeyi kaplanmış olan numunelerin kuru kayma aşınma verileri incelenmiştir. Şekil 6.8'de uygulamanın yapılmış olduğu ekipman gösterilmektedir. Deney sırasında aşındırıcı bilya olarak ise tungsten karbür esaslı 6 mm çapında bir bilya tercih edilmiş olup kullanılan bilyanın sertliği ise yaklaşık olarak 20 GPa olarak bilinmektedir. Oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiş olan bu deneylerde sırasıyla 5 N, 10 N ve 15 N 'luk yük altına 0,18 m/sn ve 0,36 m/sn kayma hızına tabii tutulmuştur.



Şekil 6.8: Kuru kayma test cihazı.

Elde edilen verilerde kesinlik sağlayabilmek amacı ile numune üzerinden üç farklı yerden ölçüm yapıp değer olarak ortalamaları baz alınmıştır.

BÖLÜM 7

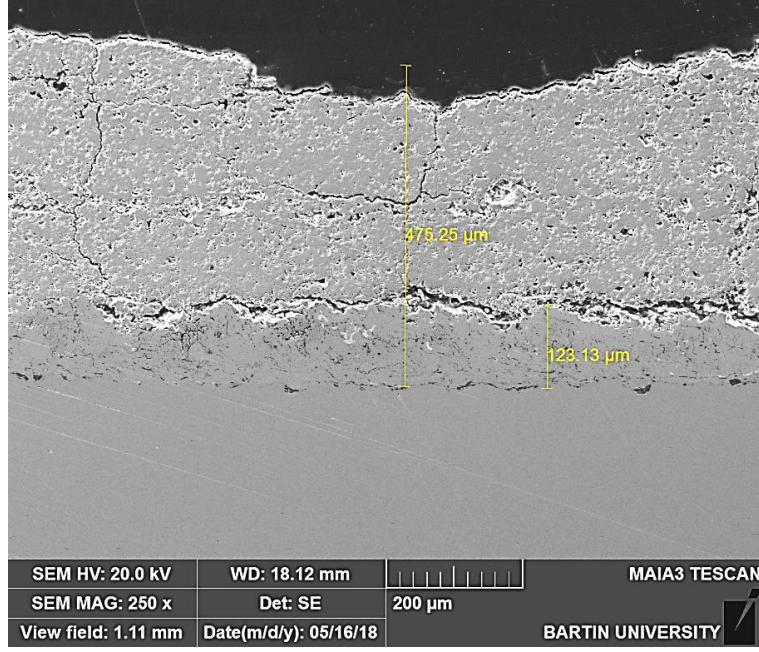
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 316L paslanmaz çeliğinin yüzeyi ticari NiCrAlY tozları ile kaplanmıştır. Bu kaplamanın üzerine tekrar Mo ve ZrO₂ tozları kaplanarak katmanlı sandviç bir yapı elde edilmiştir. Kaplama işlemi Atmosferik Plazma Sprey (APS) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kuru-kayma şartları altında aşınma davranışları incelenmiştir.

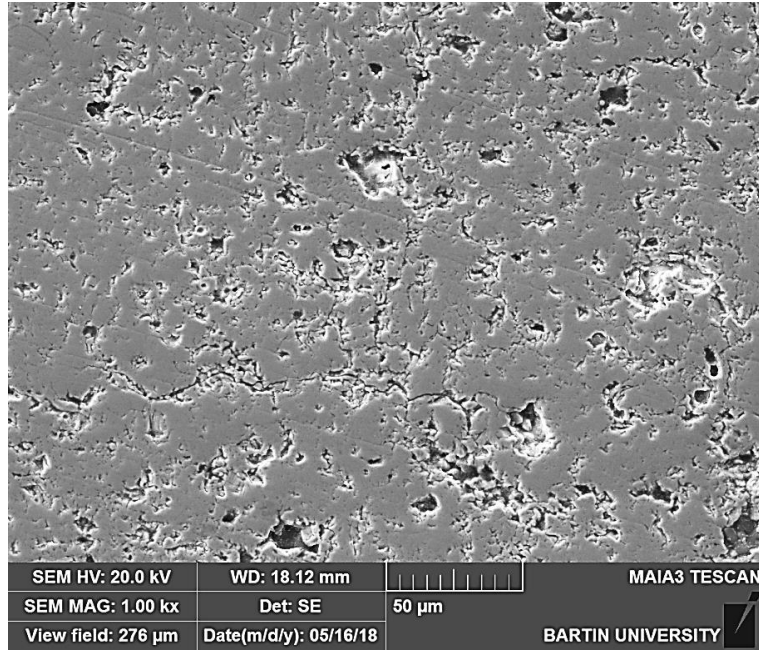
Yüzeyi APS yöntemi ile kaplanan numuneler geleneksel metalografi yöntemleri, X-ışınları difraksiyon analizi, taramalı elektron analizi, mekanik testler (aşınma ve sertlik testi) yardımıyla incelenmiştir.

7.1 Yüzeyi APS Yöntemi ile Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü

Şekil 7.1 (a,b)' de 316 L paslanmaz çelik üzerine Mo tozlarının APS yöntemi ile kaplaması işleminden sonra alınan SEM mikro yapı fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraf üzerinden de görüleceği gibi kaplama Tabakasının toplam kalınlığı 400 µm olurken bunun yaklaşık 100 - 125 µm NiCrAlY tozlarının kaplandığı bölgeden oluşmaktadır. Oluşturulan yüzey üzerinde boşluk, gözenek ve çatlamların varlığı hem 250 x hem de 1000 x de görülmektedir. Bu oluşumların farklı sebepleri bulunmaktadır. Bunlar malzemeye veya işlem parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadırlar. Örneğin partikülün oksitlenmesi, yetersiz basınç, partikülün ergimemesi gibi durumlardır.



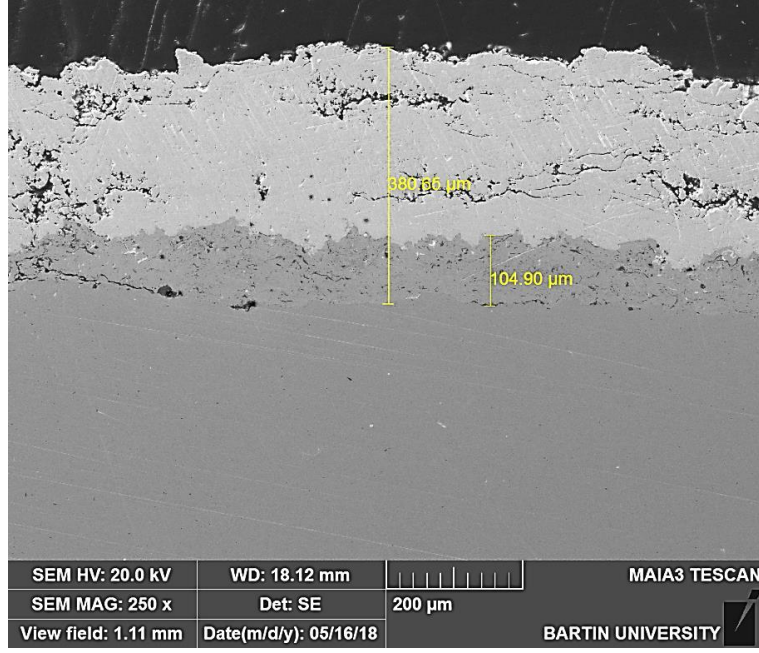
(a)



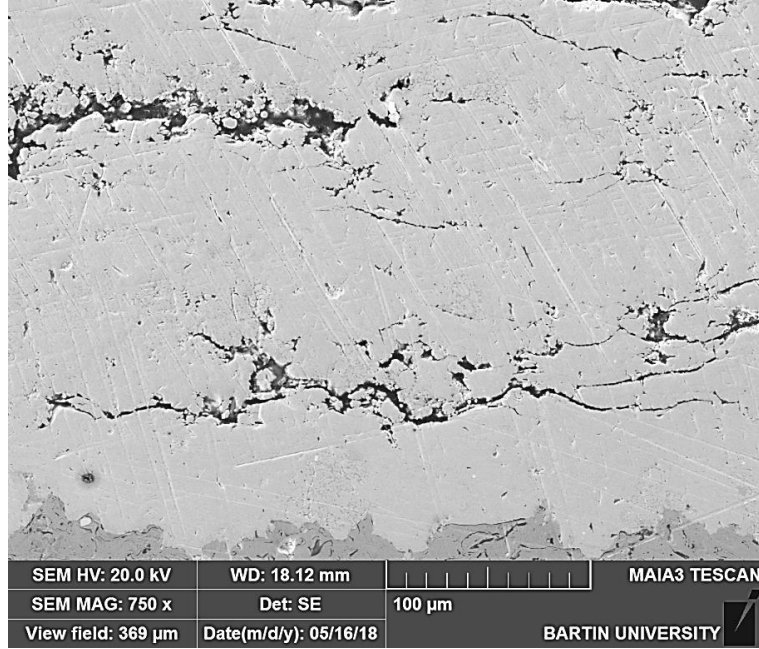
(b)

Şekil 7.1: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 1000 x.

Şekil 7.2 (a,b)' de ise ZrO₂ tozları ile kaplanan numunelerin SEM mikro yapı fotoğrafları verilmiştir. Yine kesit boyunca uzanan oksit ve boşlukların varlığı görülmektedir.



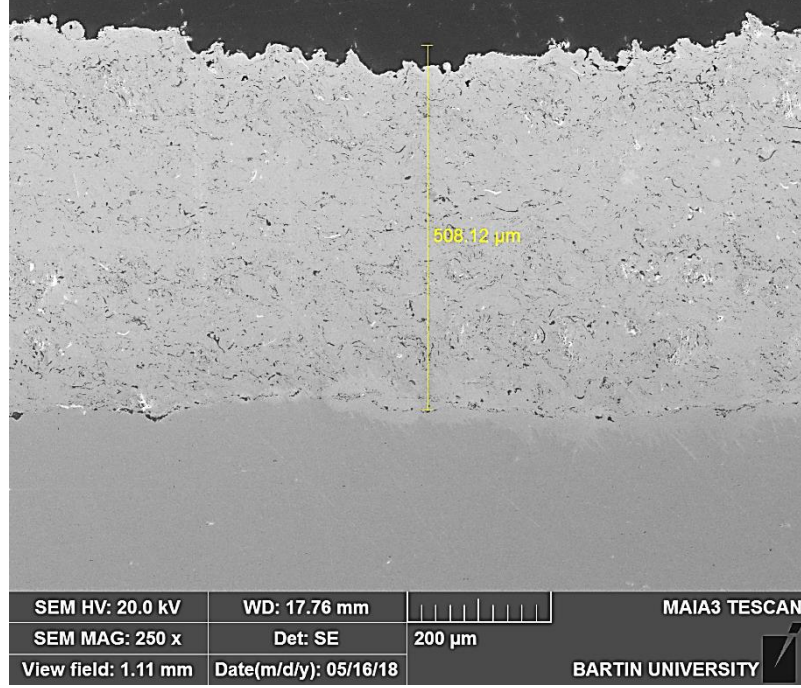
(a)



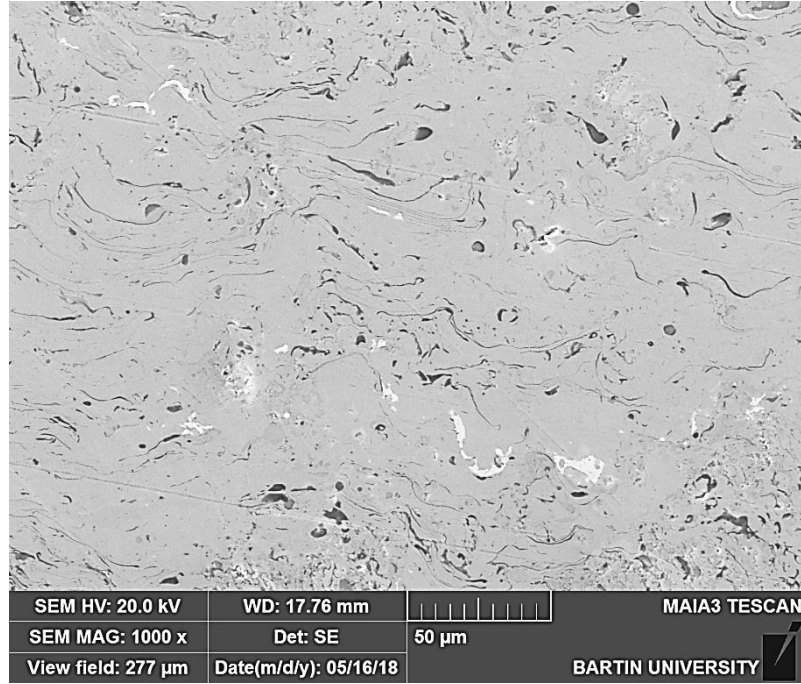
(b)

Şekil 7.2: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 750 x.

Şekil 7.3 (a,b)' de ise NiCrAlY kaplanmış numunelerin hem düşük hem de yüksek büyütmelelerdeki görüntüsü incelenirse çok daha homojen bir mikro yapının varlığı görülmektedir.



(a)



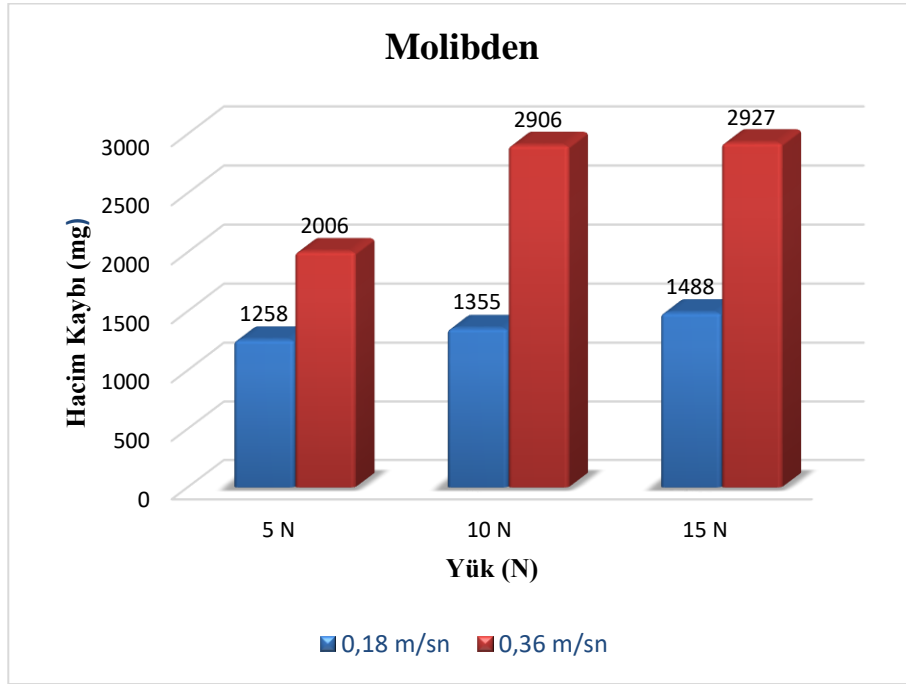
(b)

Şekil 7.3: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü, (a) 250 x, (b) 1000 x.

7.2 Kuru Kayma Aşınma Deneyleri

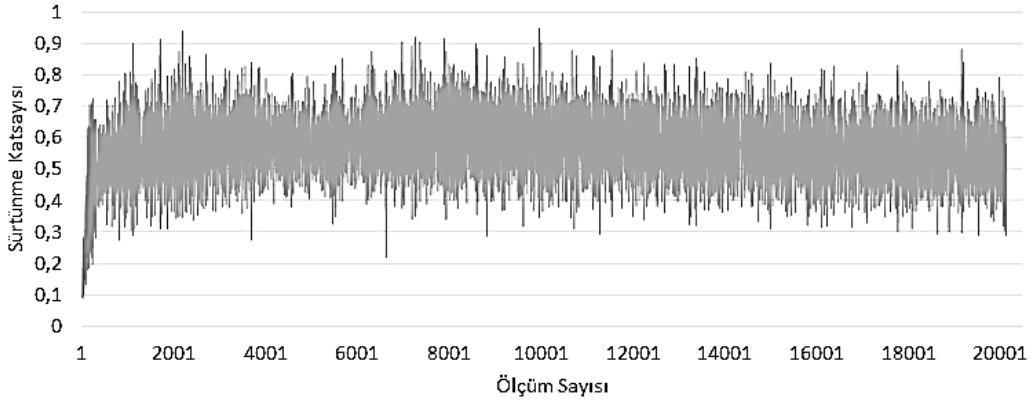
Tablo 7.1’de yüzeyi Mo tozları ile APS yöntemi ile kaplama işlemine tutulan ve sonrasında 5 N, 10 N ve 15 N ‘luk yükler altında ve 0,18 -0,36 m/sn kayma hızlarında pin on disk cihazı ile aşındırılan numunelerin hacim kaybı yol grafikleri verilmiştir.

Tablo 7.1: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği.



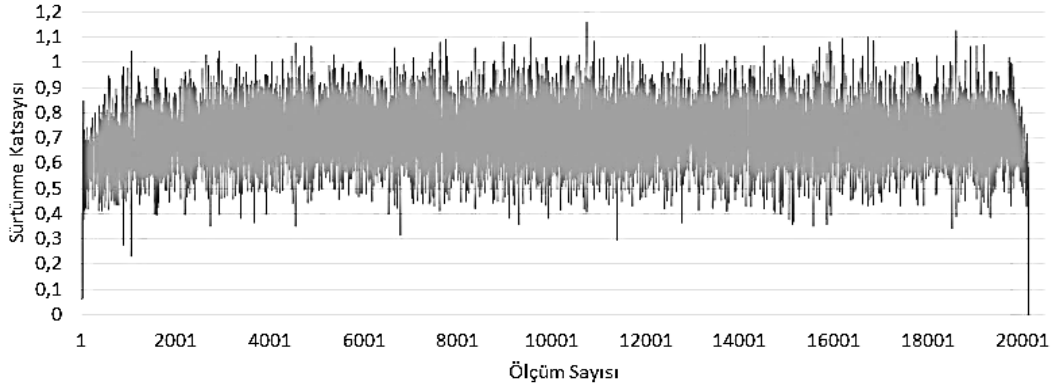
Hem yükün artması hem de kayma hızının artması numunelerde hacim kaybının yükselmesine sebebiyet vermiştir. Ancak kayma hızının artması hacim ayıplarının artmasında yükten daha fazla etkili olmuştur. Grafikte dikkat çeken diğer bir durum ise 0,36 m/sn kayma hızında test edilen numunelerin hacim kaybı değerleri biri birine yakın olmuştur. Yüzeyi Mo tozları ile kaplı numunelerin 5 N, 10 N ve 15N ‘luk yükler altında ve 0,18 m/sn kayma hızında elde edilen sürtünme katsayı grafikleri şekil 7.4 (a,c)’de sırası ile verilmiştir. Artan yüke bağlı olarak sürtünme katsayı grafiklerinde yükselme olmuştur. En yüksek sürtünme katsayı grafiği 15 N luk yük altında gerçekleştirilen deneylerde görülmüştür.

Mo Sürtünme Katsayısı Grafiği



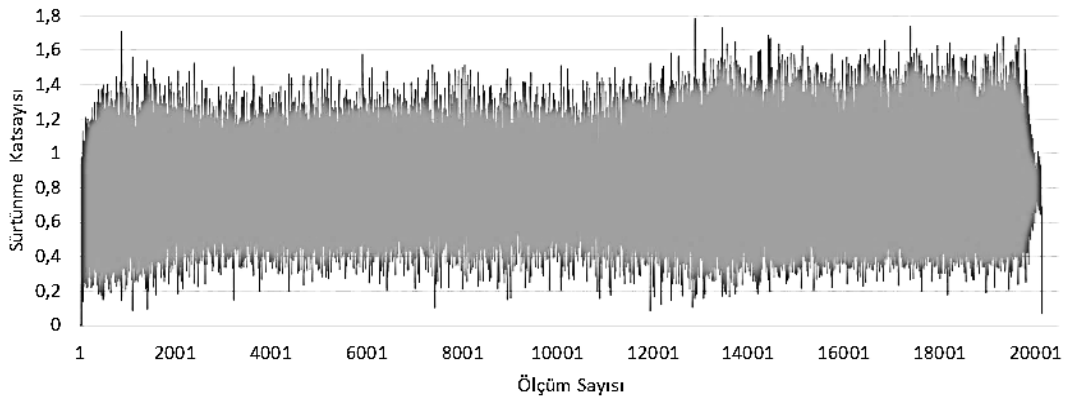
(a)

Mo Sürtünme Katsayısı Grafiği



(b)

Mo Sürtünme Katsayısı Grafiği

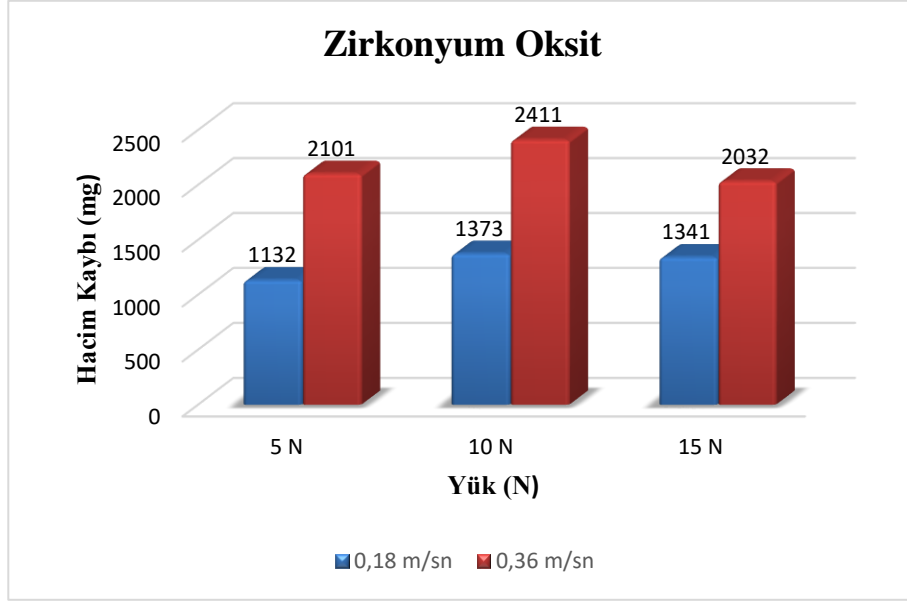


(c)

Şekil 7.4: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayısı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn).

Tablo 7.2’de ise yüzeyi ZrO₂ tozları ile APS yöntemi ile kaplama işlemine tutulan ve sonrasında 5 N, 10 N ve 15 N ‘luk yükler altında ve 0,18 -0,36 m/sn kayma hızlarında pin on disk cihazı ile aşındırılan numunelerin hacim kaybı yol grafikleri verilmiştir.

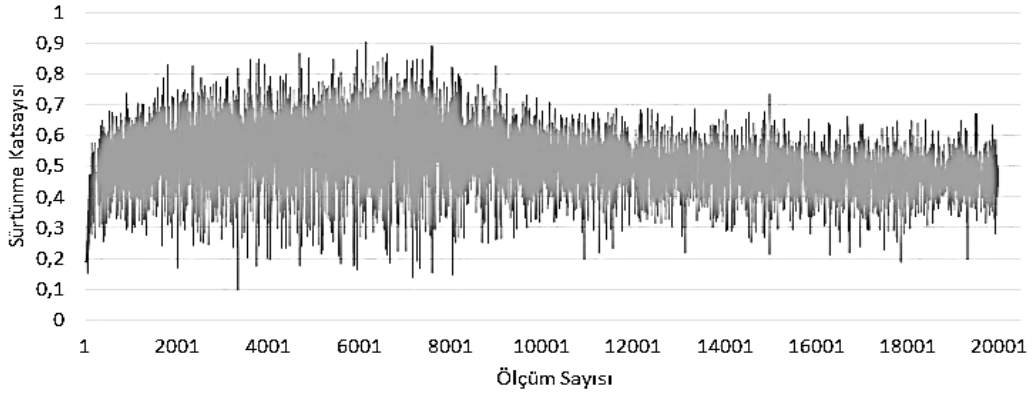
Tablo 7.2: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği.



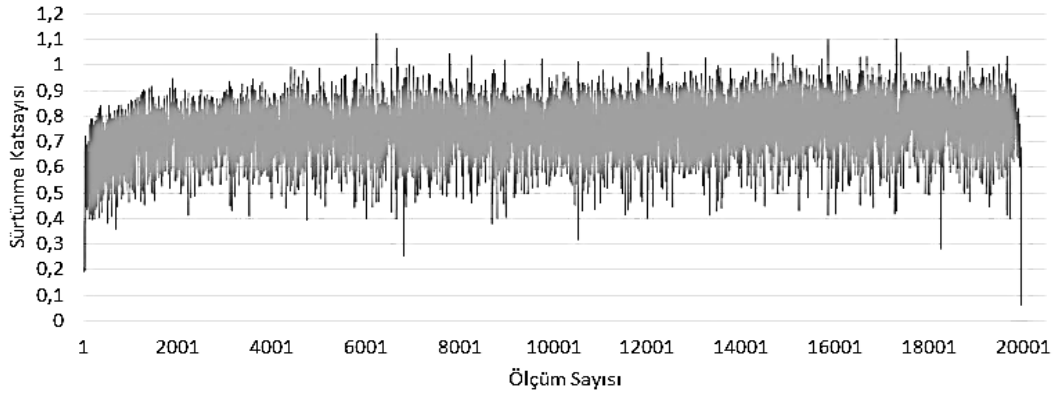
Yine bir önceki numuneler ile benzer şekilde artan yük ve kayma hızı değerleri numunelerdeki hacim kaybı değerlerini arttırmıştır. Ancak yüzeyi ZrO₂ kaplı numunelerin aşınma performansları Mo kaplı numunelerden daha iyi çıkmıştır. Diğer dikkat çeken bir olay ise 15 N luk yük altında gerçekleşen deneylerde her iki kayma hızında da 10 N luk yüke göre daha düşük hacim kaybı değerleri elde edilmiştir. Bu durumu aşındırma işlemi esnasında yüzeyde meydana gelen oksit tabakasının oluşumu ve ya aşınma artığı partiküllerin artan yüklerle birlikte daha sıkı bir yapı oluşturması ile bağdaştırılabilir.

Yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplı numunelerin 5 N, 10 N ve 15 N ‘luk yükler altında ve 0,18 m/sn kayma hızında elde edilen sürtünme katsayı grafikleri şekil 7.5 (a,c)’de sırası ile verilmiştir. Yine artan yüke bağlı olarak sürtünme katsayı grafiklerinde yükselme olmuştur.

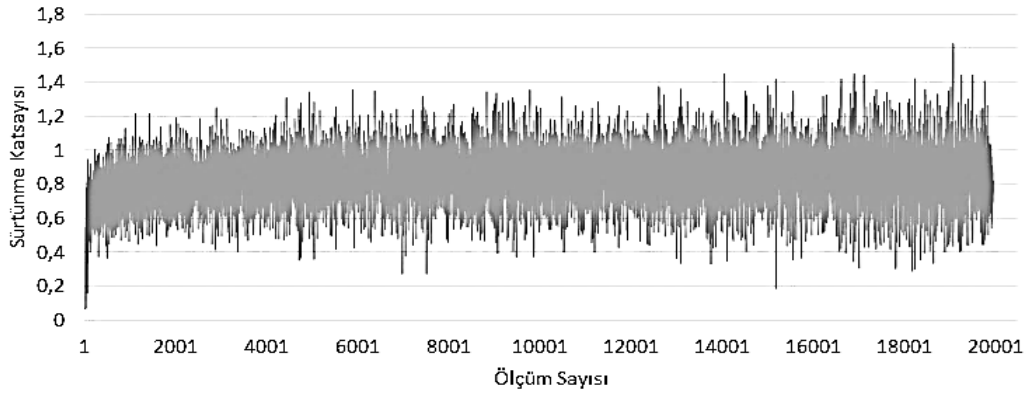
ZrO₂ Sürtünme Katsayısı Grafiği



ZrO₂ Sürtünme Katsayısı Grafiği



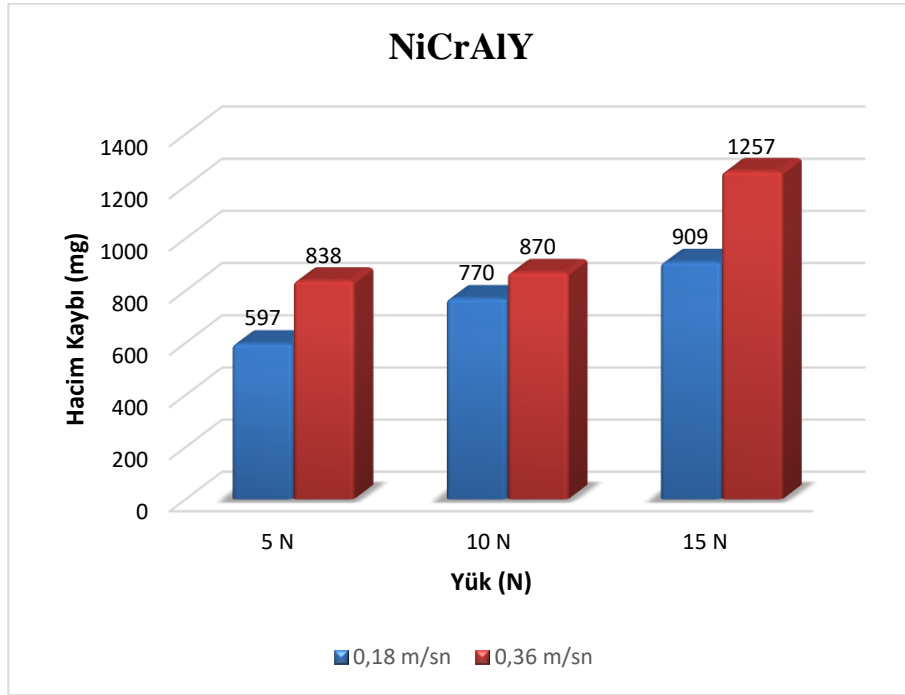
ZrO₂ Sürtünme Katsayısı Grafiği



Şekil 7.5 APS yöntemi ile yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn).

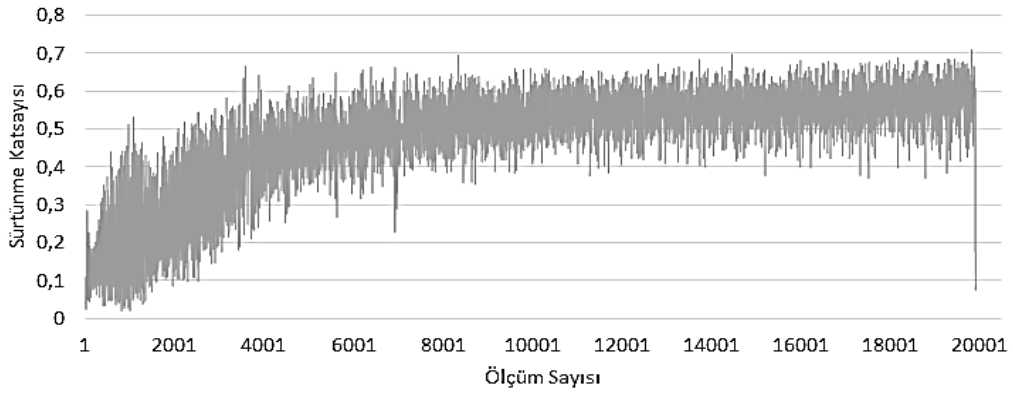
En düşük sürtünme katsayı değeri 5 N luk yük altında gerçekleştirilen deneyde elde edilirken bunu 10N ve 15 N luk yükler izlemiştir. Yüzeyi ZrO₂ kaplı numunelerin sürtünme katsayı değerleri Yüzeyi Mo kaplı numunelerden daha düşük olmuştur. Tablo 7.3'de ise yüzeyi NiCrAlY tozları ile APS yöntemi ile kaplama işlemine tutulan ve sonrasında 5 N, 10 N ve 15 N 'luk yükler altında ve 0,18 -0,36 m/sn kayma hızlarında pin on disk cihazı ile aşındırılan numunelerin hacim kaybı yol grafikleri verilmiştir. Numuneler içerisinde tüm yüklerde ve hızlarda en iyi aşınma direncini yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplı numuneler göstermiştir. Diğer numunelerin aksine bu numunelerde düşük yük ve kayma hızlarında hacim kayıpları düşük olurken artan yüklerde bu durum artmıştır.

Tablo 7.3: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin kuru kayma deney sonucu hacim kaybı grafiği.



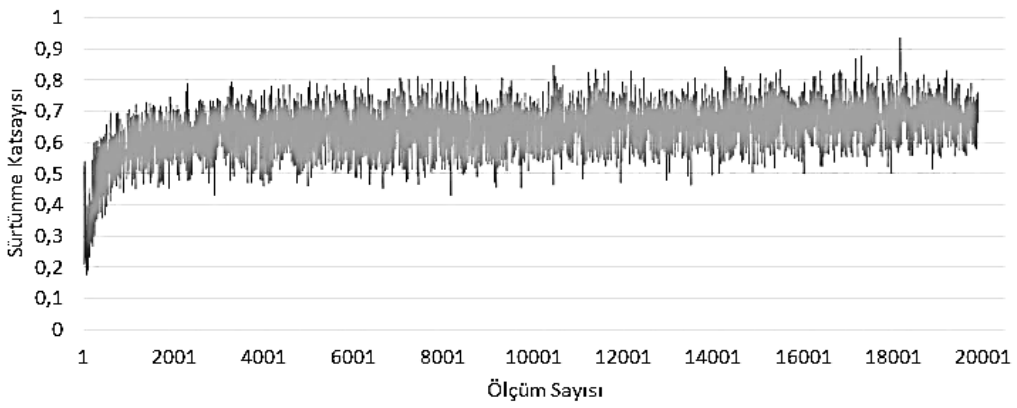
Yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplı numunelerin 5 N, 10 N ve 15 N 'luk yükler altında ve 0,18 m/sn kayma hızında elde edilen sürtünme katsayı grafikleri şekil 7.6 (a,c)'de sırası ile verilmiştir. Tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayı değerleri NiCrAlY kaplı numunelerde elde edilmiştir. Bunun sebebini numunelerin sahip olduğu yüksek sertlik değeri ve kaplama sonrasında diğer numuneler ile kıyaslandığında daha homojen ve kusursuz bir mikro yapıya sahip olmasıdır.

NiCrAlY Sürtünme Katsayı Grafiği



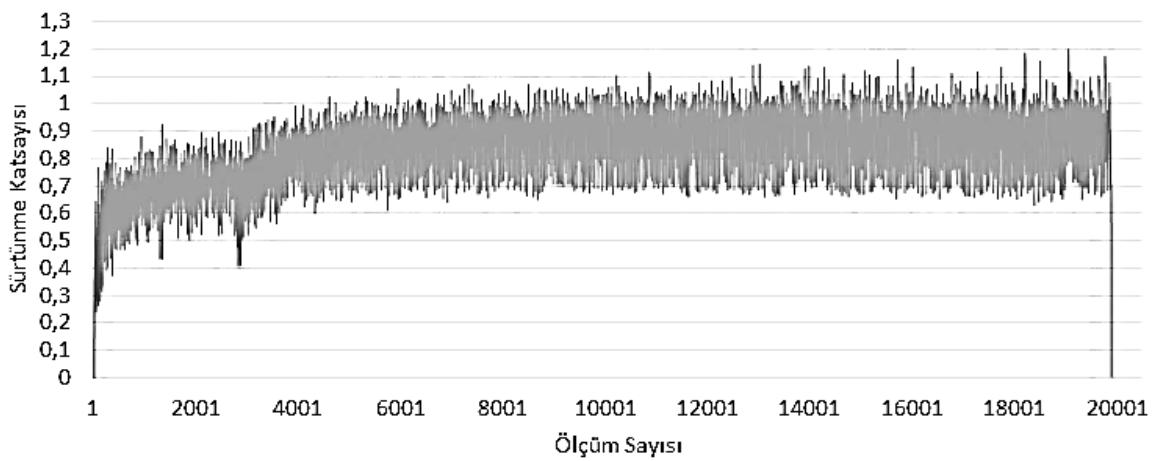
(a)

NiCrAlY Sürtünme Katsayı Grafiği



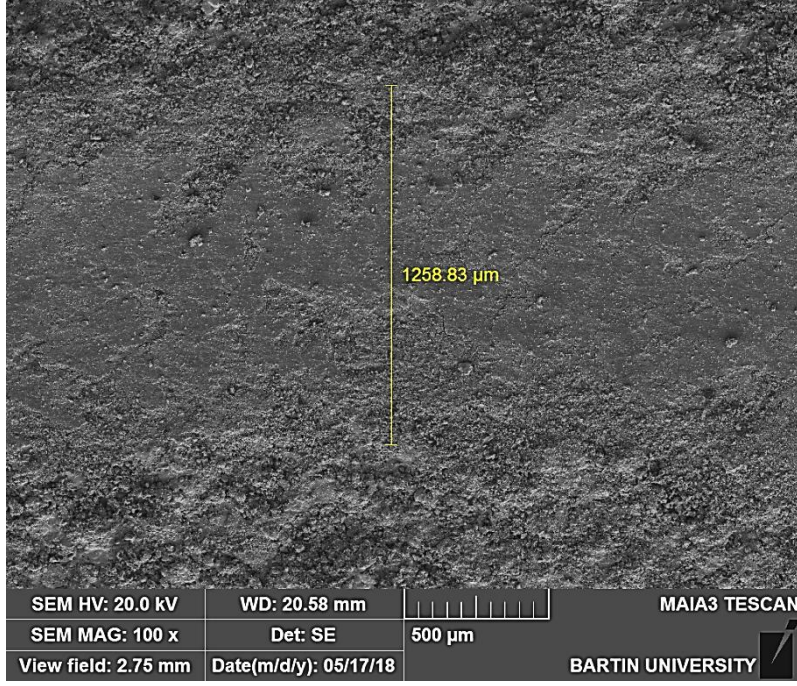
(b)

NiCrAlY Sürtünme Katsayı Grafiği

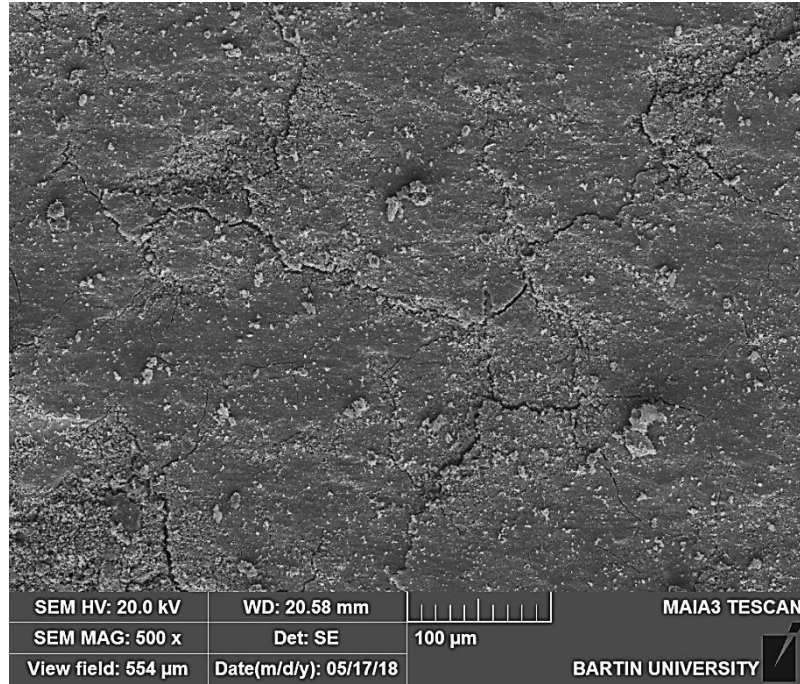


(c)

Şekil 7.6: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin kurukayma deney sonucu sürtünme katsayı grafiği, (a) 5 N, (b) 10 N, (c) 15 N (0,18 m/sn).



(a)

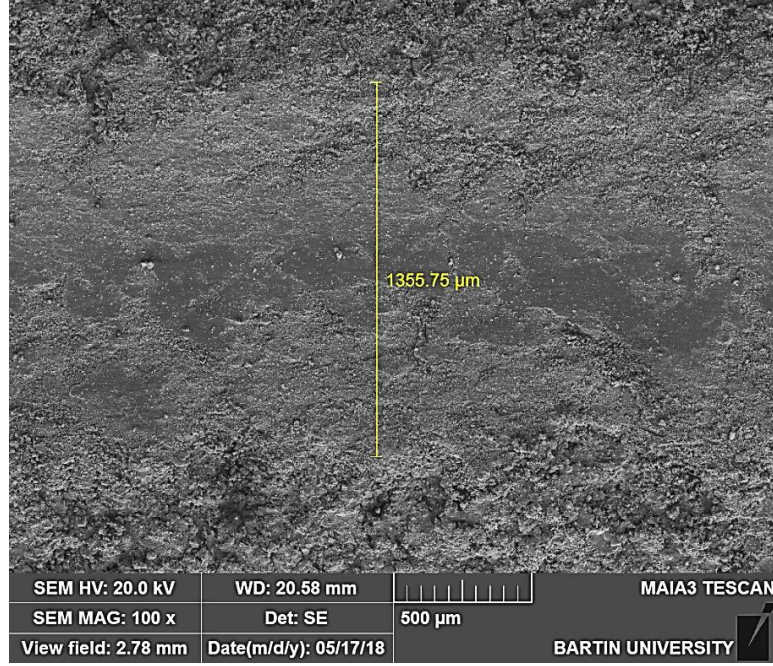


(b)

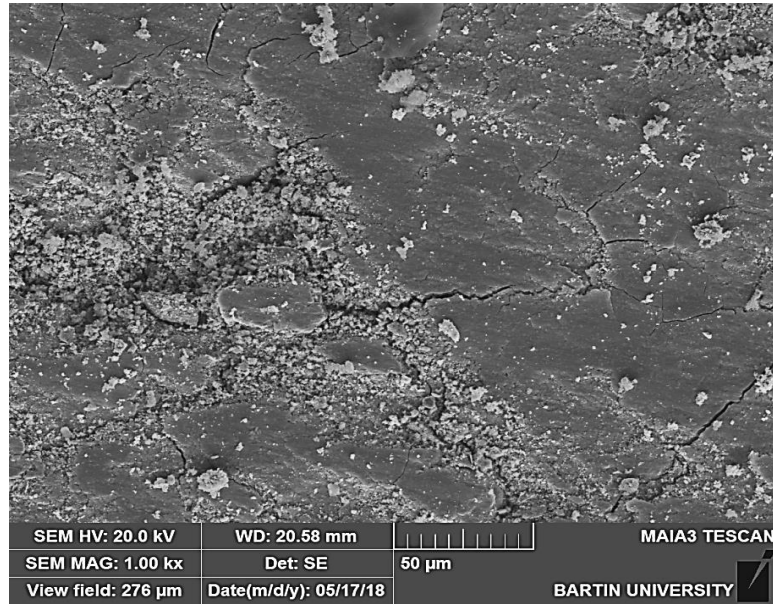
Şekil 7.7: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x, (b) 500 x, 5 N (0,18 m/sn).

Şekil 7.7 (a,b)'de yüzeyi Mo tozları ile kaplanmış numunelerin 5 N luk yük altında kuru kayma işlemine tutulduktan sonra SEM mikroskobu ile aşınma yüzeyinden alınan

görüntüler verilmiştir. Şekil 7.7 (a)'daki resim 100 x genel anlamda aşınma yolunu gösterirken şekil 7.7 (b)'de verilen resim 500 x numune yüzeyinde çatlakları ve aşınma atıklarını bünyesinde barındırmaktadır.



(a)

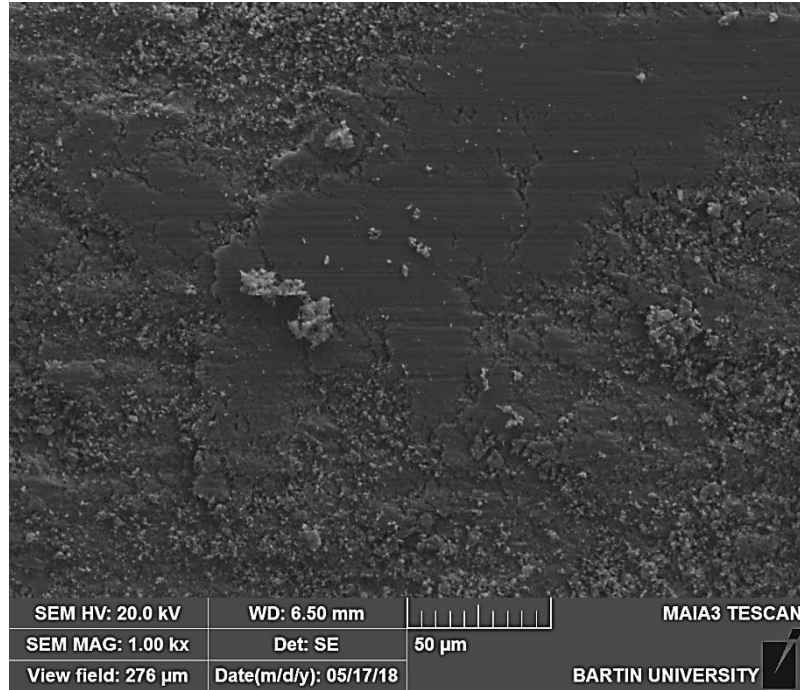


(b)

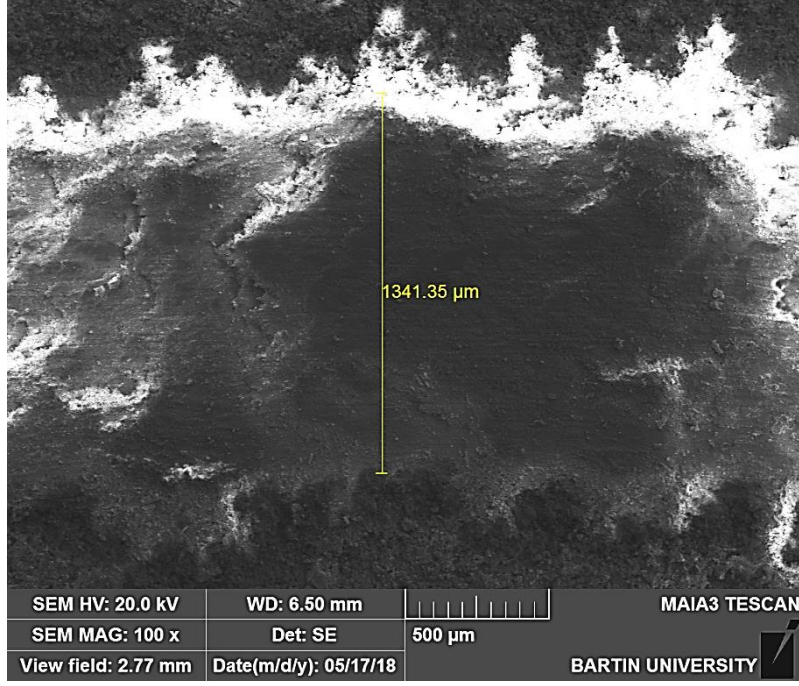
Şekil 7.8: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x , (b) 1000 x , 10 N (0,18 m/sn).

Aynı numunenin 10 N luk yük altındaki SEM görüntüsü incelenecek olursa şekil 7.8 (a,b) aşınma yolu içerisindeki yüzeyde kontrast farkı ile daha koyu bir bölgenin bulunduğu görülmektedir. Şekil 7.8 (b) 1000 x de bu yüzey daha pürüzsüz olarak dikkat çekmektedir. Artan yüke bağlı olarak aşındırıcı bilya altında kalan bölgenin preslenerek bir oksit tabakasının oluştuğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bu koyu gri tabakanın yanında yüzeyden dökülen bir kısım görülmektedir. Yine yüzeye batan aşınma partikülleri SEM aşınma izinde görülebilmektedir.

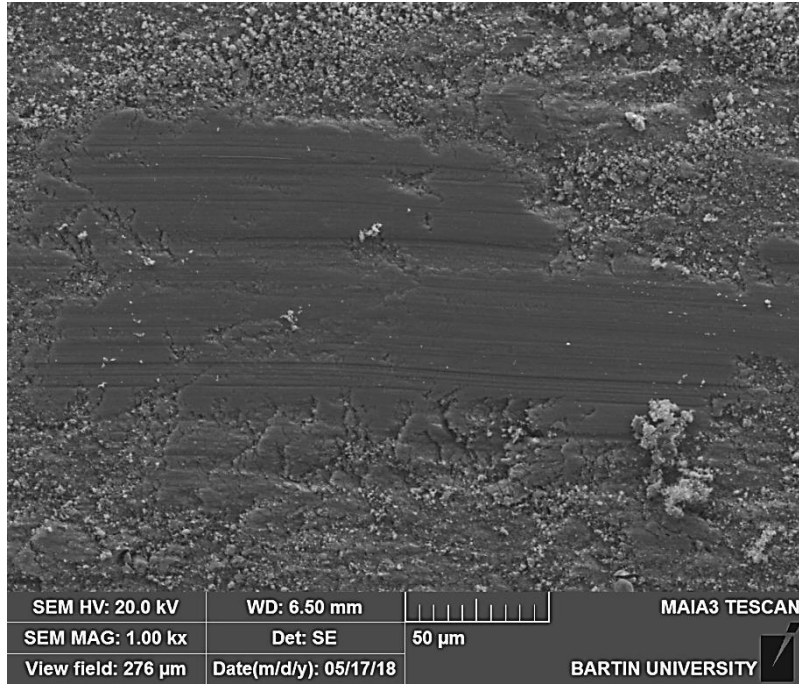
Şekil 7.9’da yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplanmış numunelerin 5 N luk yük altında kuru kayma işlemine tutulduktan sonra SEM mikroskobu ile aşınma yüzeyinden alınan görüntü verilmiştir. Fotoğrafta görüleceği üzere aşınma partiküllerinden oluşan bir yüzey ile daha pürüzsüz ve parlak şekilde görülen ikinci bir bölgenin varlığı görülmektedir. Benzer şekilde aynı numunenin 15 N luk yük altında elde edilen aşınma iz fotoğrafları ise Şekil 7.10 (a,b)’de sırası ile verilmiştir. Her iki yükte de benzer aşınma mekanizmaları görülmüştür. Ancak şekil 7.9 incelendiğinde yüzey tabakasındaki kaplama tabakasının aşınma yönünde ekstrüze olduğu görülmektedir.



Şekil 7.9: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO₂ tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 5 N (0,18 m/sn).

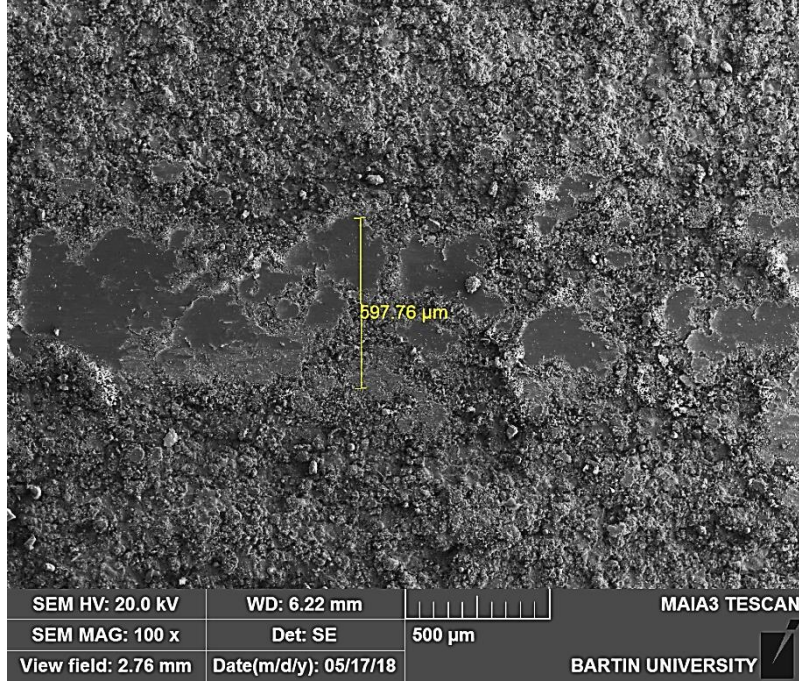


(a)

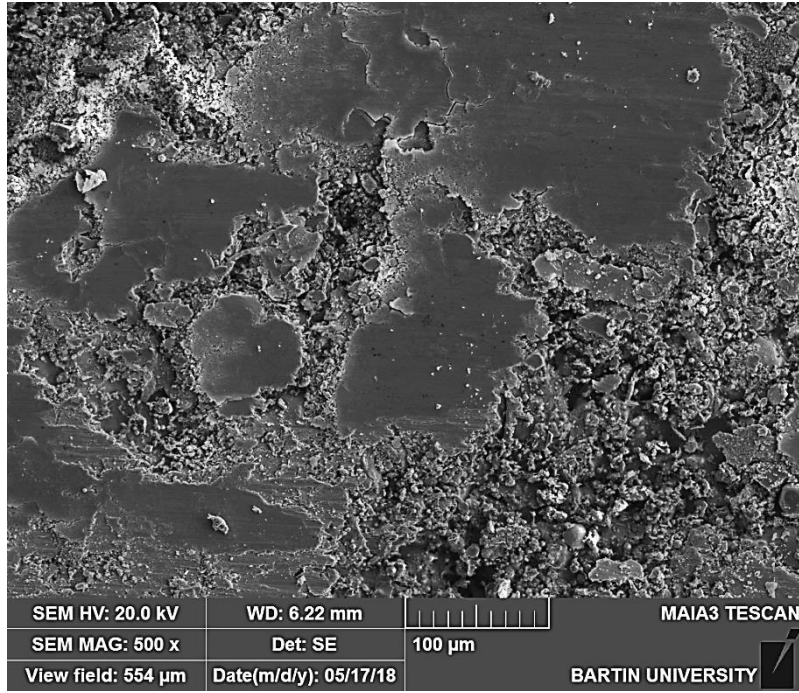


(b)

Şekil 7.10: APS yöntemi ile yüzeyi ZrO_2 tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x , (b) 1000 x , 15 N (0,18 m/sn).



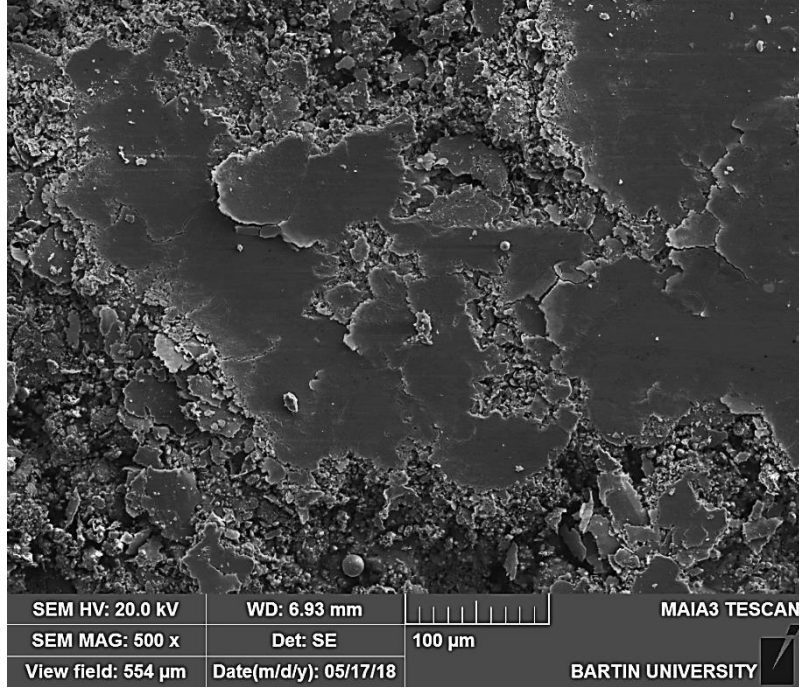
(a)



(b)

Şekil 7.11: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, (a) 100 x , (b) 500 x, 5 N (0,18 m/sn).

Şekil 7.11’de yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanmış numunelerin 5 N luk yük altında kuru kayma işlemine tutulduktan sonra SEM mikroskobu ile aşınma yüzeyinden alınan görüntü verilmiştir. Diğer numuneler ile kıyaslandığında aşınma direnci en yüksek numune olan NiCrAlY kaplı malzemenin yüzeyi aşındırıcı bilyanın etkisi ile kompakt bir yapı oluştuğu ve sonrasında bu yapının kırılarak numunenin hasara uğradığı anlaşılmaktadır. Aynı durum 10 N ve 15 N luk yükler altında da geçerli olmuştur (Şekil 7.12).



Şekil 7.12: APS yöntemi ile yüzeyi NiCrAlY tozları ile kaplanan numunelerin aşındırma işlemi sonrası SEM görüntüleri, 10 N (0,18 m/sn).

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada Mo, ZrO₂ ve NiCrAlY tozları 316L tipi paslanmaz çelik alt yüzey üzerine APS (Atmosferik Plazma Yöntemi) kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama işlemine tabi tutulan numuneler farklı yükler altında kuru-kayma aşınma testlerine tabi tutularak, kaplama işleminde kullanılan tozların kuru kayma aşınma direnci üzerine olan etkisi araştırılarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Kaplama işlemi her bir toz için başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.
2. En iyi aşınma direnci NiCrAlY ile üst yüzeyi kaplı numunelerde görülürken bunu, ZrO₂ ve Mo kaplı numuneler izlemiştir.
3. Yükün artması ve kayma hızının artması ile numunelerin hacim kayıplarında artış görülmüştür.
4. Atmosferik ortamda Adhezif aşınma testlerine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinde yük ve kayma hızına bağlı olarak tribolojik katman oluşmuştur.
5. Kaplama tozunun değişmesi aşınma malzeme üzerinde meydana gelen mekanizmasının değişmesine sebep olmuştur.
6. Etkili aşınma mekanizmaları olarak oksidasyon, plastik deformasyon ve deleminasyon aşınmaları tespit edilmiştir.
7. Yüzeyinde çatlak ve kaplama içinde porozite oranı yüksek olan kaplamalarda aşınmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir.

8.2 Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

1. Plazma parametreleri değiştirilerek parametrelerin kaplama üzerine etkileri araştırılabilir.
2. Bu tip ince kaplamaların aşınma performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan mikro abrasyon yöntemi ile testler uygulanabilir.
3. Hvof yöntemi ile kaplama yaparak iki farklı kaplama yöntemi arasındaki kaplamanın dayanımları incelenebilir.
4. Kaplama yapılmış numunelerin sıcak aşınma dayanımları araştırılabilir.
5. Farklı yük ve hızlarda kaplama dayanımı incelenebilir.
6. Daha ince veya daha kalın haldeki kaplamanın tribolojisine ve dayanımı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akçin, Y., Asi, O., Yeşil, Ö., (2013). “Kompozit malzemelerin kaplanabilirliğinin incelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 19 sayı: 7 319-322.
- Aydınlı, N., (2018). “Plazma sprey kaplamada olivinin değerlendirilmesi ve kaplama özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-5.
- B. Jodoin, (2001). Cold Spray Nozzle Mach Number Limitation, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 11, 496-507
- Babalık, F.C. (2000). Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, Cilt 2, Bursa:Vipaş A.Ş. Yayınları.
- Bayer, R.G. (1994). Mechanical Wear Prediction and Prevention, New York: Marcel Dekker Yayınevi.
- Bhushan, B. (2000). Modern Tribology Handbook, CRC Yayınevi.
- Bianchi L. (1994). et al, Effect of particle velocity and substrate temperature on alumina and zirconia splat formation, Thermal Spray Industrial Applications, 569-574.
- Biçer, A., (2015). “Toz metalurjisi ile üretilen ni₃Al partikülleriyle pekiştirilmiş metal matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1-26 .
- Bolot R., Antou G., Montavon G. and Coddet C., (2005). A two-dimensional heat transfer Model for thermal barrier coating average thermal conductivity computation, Numerical Heat Transfer, Part A, 47, 875–898.

- Çakır, A.F. (1988). "Korozyondan korunmada metalik kaplamalar", Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dapkunas, (1993). S.J., "Nist-industry workshop on thermal spray coating research", Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, May-June, 98 (3): 383-389.
- Davis, J.R. (2004). İntoduction to thermal spray processing, chapter 1. Handbook of thermal spray thecnology, american technical publishers ltd, United States of America, pp 3.
- Davis, J.R.(ed.), (2004). Cold Spray Process, Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International: Materials Park, OH,06994G, 77-84, 211-212.
- Ekrem A. (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.
- Erzi, E., (2011). "İsıl püskürtme yöntemi ile kısmı stabilize edilmiş zirkonya kaplanmış hafif metal alaşımların mekanik özelliklerini incelenmesi" Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-32.
- Joseph Stokes, (2003). Production of coated and free-standing engineering componenets using the HVOF process, Doktora Tezi, Dublin City University.
- Kamo, R., (1989). Assanis, D., and Bryzik, W., "Thin thermal barrier coatings for engines", SAE Paper, No: 890143.
- Karadeniz, S. (2005). Tamir Bakım Kaynağında Dolgu Maddesi Seçimi. II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.
- Karl-Heinz Z. G., John A. Williams. (1987). Microstructure and Wear of Materials, Tribology Series, 10.

- Kipler, G. (2003):"Alüminyum üzerine püskürtme yöntemiyle oluşturulan çelik kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,(yayınlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), İstanbul .
- Klassen T. (2009). Klemann J.O., Onizowa K., Donner K.,Gutzman H., Binder K., Schimidt T., Gartner F., Kreye H.,Cold spraying-new developments and application potential, 8.Kolloquium HVOF Spraying, Erding, Germany, 5-6 Nov., 17-26.
- Kulkarni, A.A. (2005). Goland A, Herman H., Allen A.J., Ilavsky J, Long G.G., Decarlo F., Advanced microstructural characterization of plasma-sprayed zirconia coatings over extended length scales, J. Thermal Spray Technology Volume 14(2) 239-250,
- Liu, Y., Xia, Z., Han, J., Zhang, G., Yang, S., (2006). Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)7C3 reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, Surface and Coatings Technology, 201, 863-867.
- M. R. Dorfman, (2012). "19 - Thermal Spray Coatings," in Handbook of Environmental Degradation of Materials(Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, pp. 569–596
- Matsumoto M., (2007). Development of plasma-sprayed thermal barrier coatings with low thermal conductivity and high oxidation resistance, Journal of the Ceramic Society of Japan, 115, 118-123.
- Minikser, M. A., (2009). "Termal sprej yöntemiyle oluşturulan kaplamaların mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19- 42
- Nomura, N.;Suzuki, T.; Yoshimi, K.; Hadana,S., (2003)."MicroStructure and oxidation resistance of a plasma sprayed Mo-Si-B multiphase alloy coating"İntermetallics 11 735-742.
- Oğuz, B, (1993). Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları. Oerlikon Yayını.

- Özsaraç, U. (1999). Endüstriyel Yatak Alaşımının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Phillips, B. A., (1995). and Knapp, J. K., "Thermal spray coatings reduce wear and corrosion on calender rolls", Tappi Journal, October, 78 (10): 197-205.
- Sahoo, P., (1993). "High performance wear coating-the quest continues", Powder Metallurgy International, 25(2): 73-78.
- Sert, H., (1990). "Toz püskürtme sistemiyle kaplanmış metallerin mekanik deneyleri", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Slen, T.Ali, (2002). "Kaplama Kalınlığı Ölçme Metotlarına Genel Bir Bakış", Yüzey İşlemler, Sayı:25, s.28-29, 226-228.
- Smolka K., (2002). Thermisches Spritzen, DVS-Verlag, 50-57.
- Stachowiak, G.W. Batchelor, A.W. (1993). Engineering Tribology, Tribology Series, 24, Elsevier.
- Stachowiak, G. W. & Batchelor, A. W. (2005). Engineering Tribology, 3th edition.
- Şimşek, M., (2014). "Mikro ark oksidasyon ile Al₂O₃ kaplanmış AA7075 alaşımının kuru ve yağlı şartlarda sürtünme ve aşınma davranışının incelenmesi", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-39.
- Teber, M., (2015). "Yüzey Kaplama ile Ti6Al4V alaşımının aşınma ve korozyon direncinin artırılması", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 5-17.
- Timur, M., (2014). "Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 14-34 (2014).

- TMMOB. (2003). II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı, Yay. No: E/2003/336, Ankara.
- Totemeier, Tery C., (2004). Wright, Richard N.; Swank, David W.:"FeAl and Mo-Si-B intermetallic coatings prepared by thermal spraying", *intermetallics* 12 ,1335-1344.
- Ulutan, M., (2007). "AISI 4140 Çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 29-63.
- Url-1, (2015). <http://www.ippcm.com/Haber/Thermal-Sprey-Kaplama-Teknoloji-Son-Trend-Soguk-Sprey.html>.
- Url-2, Sulzer Metco Product & Services, (2010), www.sulzer-metco.com.
- Ürgen, M., (1997). "Modern yüzey işleme teknolojileri ve Türkiye'deki gelişmeler",9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 333-350.
- Ürgen, M., (1997). Eryılmaz, O.L., Çakır, A.F., Kayalı, E.S., Nilüfer, B., Işık, Y., Characterization of molybdenum nitride coatings produced by arc- PVD technique, *Surface and Coatings Technology*,94/95, 501-506. .
- Viswanath, B., Vijayarangan, S., (2010). A study of the low stress sliding abrasion wear behaviour of mullite coatings, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 5, 106-115.
- Yasar, H., (1997). "Termal bariyer kaplamanın turbo doldurmak bir dizel motorunun performansına etkileri", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yegen, İ., (2009). "Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekil 16MnCr5 çeliklerinde tuz banyosunda gerçekleştirilen sementasyon işleminin aşınma direncine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze 13-59.

- Yıldırım, S. E., (2009). “Y₂SiO₅ tozu üretimi ve plazma sprey tekniği ile kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-42.
- Zum Gahr, K.H., (1987). Microstructure and Wear of materials,; Elsevier, 80-150,Amsterdam.
- Wang, X., Han, F., Liu, X., Qu, S., Zou, Z., (2008). Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, 265, 583-589.
- Wang, X.H., Han, F., Liu, X.M., Qu, S.Y., Zou, Z.D., (2008). Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings. Materials Science and Engineering: A, 489, 193-200.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Erdem AKTAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA / 06.09.1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makina Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Erdem A., Ahmet B.G., Harun C., Mustafa Ö., (2018)
APS Yöntemi ile Yüzeyi Kaplanmış AA 7075
Alaşımının Balistik Dayanımının İncelenmesi Bartın
Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi
Cilt 6 Sayı 1 (2018), 29-32

Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar : Erkunt Traktör Sanayi A.Ş. (2012)
Akdaş Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2013)
Projeler ve Kurs Belgeleri :
Çalıştığı Kurumlar : Anadolu Radyant Isı Sistemleri LTD. ŞTİ

İletişim

E-Posta Adresi : erdemak74@gmail.com

Tarih : 05/12/2018 (Tez Savunma Tarihi)