



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**APS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN WC VE M₀ KAPLAMALARIN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN
MELİKE HAZAL TERKEŞLİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSTAFA SABRİ GÖK

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**APS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN WC VE M₀ KAPLAMALARIN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Melike Hazal TERKEŞLİ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. M. Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Melike Hazal TERKEŞLİ tarafından hazırlanan ‘‘APS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN WC VE Mo KAPLAMALARIN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ’’ başlıklı bu çalışma, 29.12.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL

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

Prof. Dr. H. Selma ELİKAYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “APS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN WC VE Mo KAPLAMALARIN 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.

İmza

29.12.2017

Melike Hazal TERKEŞLİ

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma aşamasında, yüksek lisans tezinin bilimsel danışmanlığını üstlenen, konunun belirlenmesi ve hazırlanması sırasında, maddi ve manevi yardımını ve fedakârlığını esirgemeyen, desteğini her zaman yanımda hissettiğim hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Sabri Gök'e teşekkür ederim.

Laboratuvar ve çalışmalarım sırasında gerekli ekipmanları sağlamamda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAĞOLANLI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere gelmemde bana ışık tutan ve her zaman yanımda olarak maddi ve manevi desteğini esirgemeyen başta annem olan Mualla TERKEŞLİ'ye, babam M. İlhan TERKEŞLİ' ye ve son olarak da ablam Çisem TERKEŞLİ'ye, sonsuz şükranlarımı sunarım.

Melike Hazal TERKEŞLİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

APS YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN WC VE Mo KAPLAMALARIN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Melike Hazal TERKEŞLİ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Bartın- 2017, sayfa: XV + 74

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliğinin yüzeyi Atmosferik Plazma yöntemi kullanılarak WC ve Mo tozları ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında numunelere farklı yükler ve farklı aşındırıcı süspansiyonlar altında mikro-abrasyon ve kuru kayma aşınma testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

APS yöntem, kullanılarak AISI 1020 çeliğinin yüzeyi hem WC kaplama hem de Mo tozları ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama kalınlığı 100-125 µm olarak belirlenmiştir. WC ile kaplanan numunelerin yüzey sertlikleri 1800 HV olurken, Mo ile kaplanan numunelerin yüzey sertlikleri 1200 HV olmuştur. Kaplama işlemi sonrasında numune yüzeylerinde gerçekleştirilen X-ray incelemelerinde WC ve Mo elementlerinin varlığına rastlanmıştır. Artan yüzey sertlik derecesine bağlı olarak numunelerin aşınma direnci de artmıştır. Mikro-abrasyon deneylerinde solüsyon içerisindeki aşındırıcı partikül oranının artması numunelerin kütle kayıplarının artmasında etkili olmuş ancak aşınma mekanizmasında değişiklik meydana getirmemiştir. WC kaplı numunelerde oluklanma aşınma mekanizması olurken, Mo ile kaplı numunelerde plastik deformasyon görülmüştür. Kuru kayma aşınma testlerinde yine WC kaplı numunelerin aşınmaya karşı gösterdikleri

performans daha yüksek olmuştur. Aşınma mekanizması olarak WC kaplı numunelerde delemantasyon görülürken Mo kaplı numunelerde plastik deformasyon görölmüştür.

Anahtar Kelimeler

APS (Atmosferik Plazma Sprey), Mikro-abrasyon, Kurukayma aşınması, Kaplama

Bilim Kodu

625.02.05



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIORS OF WC AND Mo COATINGS PRODUCED WITH APS METHOD

Melike Hazal TERKEŞLİ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2017, pp: XV + 74

In this study, WC and Mo thermal spray powders were deposited onto AISI 1020 specimen surfaces using Atmospheric Plasma Spraying method. Following the coating process, micro-abrasion wear tests with different abrasive suspensions, and dry sliding wear tests under were performed under varying loads. The following results were obtained after the conducted research.

Both WC and Mo powders were successfully deposited onto AISI 1020 steel substrate surfaces using APS method. The coating thickness was specified as 100-125 μm . The hardness of the WC-coated specimens was found as 1800 HV, whereas that of Mo-coated specimens was found as 1200 HV. No presence of W and Mo elements was encountered during the X-ray analyses performed following the coating process. Wear resistance of the specimens were found to increase with increasing surface hardness values. Increasing rate of abrasive particles within the solution resulted with increased mass loss of the specimens during micro-abrasion tests, however no change was observed in the wear mechanism. Grooving wear mechanism was observed on the specimens coated with Mo. WC-coated specimens exhibited higher wear resistance during dry sliding wear tests. Delamination was observed on the WC coated specimens as the wear mechanism, whereas plastic deformation was observed on Mo-coated specimens.

Key Words

APS (Atmospheric Plasma Spray), Micro-abrasion, Dry Sliding Wear, Coating

Science Code

625.02.05



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Aşınma	2
1.2 Aşınmanın Tanımları	2
1.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler.....	4
1.3.1 Malzeme Seçimi	4
1.3.2 Pürüzlülük	4
1.3.3 Sertlik	4
1.3.4 Yüzey İşlemleri	4
1.3.5 Yağlama	5
1.3.6 Temas Geometresi	5
1.3.7 Çevre	5
1.3.8 Zaman	5
1.4 Aşınma Çeşitleri	6
1.4.1 Adhesiv Aşınma	6
1.4.2 Abrasif Aşınma	7
1.4.3 Erozyon Aşınma.....	10
1.4.3.1 Katı Partikül Aşınma Erozyonu	11
1.4.3.2 Sıvı Su Damlası Erozyonu	11
1.4.3.3 Katı Partikül Taşıyan Akışkan Ortam Erozyonu	11
1.4.3.4 Kativasyon Aşınması	11

	<u>Sayfa</u>
1.4.3.5 Elektro Erozyonu	11
1.4.4 Korozyon Aşınması	12
1.4.5 Yorulma Aşınması	13
1.5 Aşınma Mukavemetini Artırma İşlemleri	14
1.5.1 Pürüzlülük.....	14
1.5.2 Setlik	15
1.5.3 Tane boyutu.....	15
1.5.4 Malzeme boyutu.....	15
1.5.5 Yüzey İşlemleri	15
1.5.6 Ortamın Etkisi	15
1.5.7 Sıcaklık.....	16
1.5.8 Atmosfer	16
1.5.9 Nem	16
1.5.10 Malzeme Seçimi.....	16
1.5.11 Yağlama	16
1.5.12 İşletme Koşulları	17
1.5.12.1 Hız Kayma Yolu	17
1.5.12.2 Yük	17
1.5.12.3 Zaman	17
1.6 Aşınma Deneylemleri ve Ölçüm Yöntemleri	17
1.6.1 Ağırlık Farkı Metodu	19
1.6.2 Kalınlık Farkı Metodu	20
1.6.3 İz Değişim Metodu	20
1.6.4 Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi.....	20
1.6.5 On-line İzleme Yöntemi	21
BÖLÜM 2 TERMAL SPREY KAPLAMALAR	22
2.1 Termal Sprey Kaplamanın Tarihçesi.....	22
2.2 Termal Sprey Kaplama İşlemleri ve Teknikleri	23
2.2.1 Alev Sprey Kaplama Teknikleri	24
1.2.1.1 Toz İle Alev Sprey Kaplama Tekniği.....	25

	<u>Sayfa</u>
1.2.1.2 Tel İle Alev Sprey Kaplama Tekniği.....	26
1.2.1.3 HVOF (High-Velocity Oxyfuel) Kaplama Tekniği	27
2.2.2 Patlama Tabancası İle Sprey Kaplama Tekniği.....	28
2.2.3 Elektrik Ark Sprey Kaplama Tekniği.....	29
2.3.4 Plazma Sprey Kaplama Yöntemi ve Plazmanın Tanımı	30
2.2.4.1 Atmosferik Plazma Sprey Kaplama Tekniği.....	30
2.2.4.2 Vakum Altında Plazma Sprey Kaplama Tekniği	32
2.3.5 Soğuk Sprey Kaplama Tekniği.....	33
BÖLÜM 3 LİTERATÜR TARAMASI.....	35
BÖLÜM 4 METARYAL VE METOD.....	48
4.1 Amaç.....	48
4.2 Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu	48
4.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması ve Kaplanması	48
4.4 Kaplama Kalınlığı İncelenmeleri İçin Numune Hazırlanması	49
4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	49
4.6 Sertlik Ölçümlerinin Yapılması.....	49
4.7 X-Işınları Analizi.....	50
4.8 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin Uygulanması	50
4.9 Kuru Kayma Aşınma Deneyleri	50
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	51
5.1 Yüzeyi APS Yöntemi İle Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü	51
5.2 Yüzeyi APS Yöntemi İle Kaplanan Numunelerin X-Işınları Difraksiyon Analizi ...	55
5.3 Sabit Top Mikro-Abrasyon Aşınma Deneyleri	56
5.4 Kuru Kayma Aşınma Deneyleri	63
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68

	<u>Sayfa</u>
6.1 Genel Sonuçlar	68
6.2 neriler.....	69
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi.....	3
2. Adhesiv aşınmanın şematik gösterimi	7
3. Abrasif aşınma şeması	8
4. İki elemanlı abrasif aşınma	9
5. Üç elemanlı abrasif aşınma	9
6. Erozyon aşınması	10
7. Şematik korozif aşınma gösterimi	13
8. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi	14
9. Yağlamalı yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri	18
10. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri	19
11. Termal sprey işleminin temel şeması	23
12. Toz alev spreylemenin şeması	25
13. Tel alev spreylemenin şeması	26
14. HVOF kaplama yönteminin şematik gösterimi	28
15. Sprey tabancası ile kaplama yanal kesiti.....	29
16. Elektrik ark püskürtme yönteminin şematik gösterimi	29
17. Plazma sprey kaplama tabancası şematik gösterimi	31
18. Plazma sprey kaplama yönteminin şematik gösterimi	32
19. Vakum Plazma sprey kaplama yönteminin şematik gösterimi	33
20. Sgdp tekniği ekipmanlarının şematik gösterimi	33
21. Laval tipi nozülün şematik gösterimi	34
22. APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü	51
23. APS yöntemi ile yüzeyi WC tozları kaplanan numunenin SEM kesit yüzey görüntüsü	52
24. APS yöntemi ile yüzeyi WC tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi	53
25. APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi	54

Şekil	Sayfa
No	No
26. APS yöntemi kullanılarak WC tozlarıyla kaplanan numunelerin XRD analizi	55
27. APS yöntemi kullanılarak Mo tozlarıyla kaplanan numunelerin XRD analizi.....	55
28. SiC aşındırıcı partikül SEM görüntüleri	56
29. Mikro-abrasyon deney sonuçları % solüsyona bağlı kütle kayıpları	57
30. Mikro-abrasyon deney sonuçları % solüsyona bağlı kütle kayıpları	58
31. SiC abrasiv içeren solisyon ile 1N'luk yükte sabit top mikro-abrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	59
32. SiC abrasiv içeren solisyon ile 1N'luk yükte sabit top mikro-abrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	61
33. SiC abrasiv içeren solisyon ile 1N'luk yükte sabit top mikro-abrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	62
34. Kuru kayma hacim kaybı değerleri grafiği.	63
35. WC kaplı numunenin SEM kuru kayma aşınma fotoğrafı	65
36. Mo kaplı numunenin SEM kuru kayma aşınma fotoğrafı	66

TABLULAR DİZİNİ

Tablo		Sayfa
No		No
1.	AISI 1020 çeliğinin ve kaplama tozlarının karakterizasyonu	48
2.	Kaplama parametleri	49



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

W	:	Aşınma oranı
A	:	Ağırlık kaybı
M	:	Yükleme ağırlığı
C	:	Karbon
S	:	Aşınma yolu
d	:	Yoğunluk
Mo	:	Molibden
SiC	:	Silisyum karbür
Cu	:	Bakır
Al	:	Alüminyum
Si	:	silisyum
WC	:	Vofram karbür
TiC	:	Titanyum karbür
BaF ₂	:	Baryum Florür
MoS ₂	:	Molibden Disülfüt
TiC	:	Titanyum karbür
TiN	:	Titanyum Nitrür

KISALTMALAR

- ASTM : American society for testing and materials
- NASA : Ulusal havacılık ve uzay dairesi (national aeronautics and spaces ministration)
- APS : Atmosferik plazma spreyleme (atmospheric plasma spray)
- SEM : Taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microsope)
- HVOF : Yüksek hızda oksit yakıt püskürtme (high velocity oxygen)
- PEEK : Poli eter koton
- Ar-Ge : Araştırma –geliştirme (research and development)
- EDX : Energy dispersive X-RAY
- TIG : Tungsten inert gas
- AISI : American iron and steel institute
- EDS : Energy-dispersive X-ray spectroscopy

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenler nedeniyle küçük boyutlu taneciklerin yavaş olmasına karşı sürekli bir şekilde malzeme yüzeyinden kopup ayrılmasıyla oluşan ve malzemedен istenmeyen değişikliklerin meydana getirme olayına aşınma denir.

İlk kez Sümer ve Mısır uygarlıklarında incelenen aşınma olayı daha sonraları Leonardo da Vinci (1452-1519) ve G. Amontons (1663-1705) tarafından incelenmiş ve ana prensipleri ortaya çıkarılmıştır. Aşınma; farklı ortamlarda çeşitli tipleri ile madencilik, tarım, makine gibi çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin ömrünü önemli ölçüde azaltarak büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır (Erdem, 2006).

Birbirleri ile etkileşim halinde bulunan yüzeylerden, herhangi bir mekanik nedenler ile meydana gelen malzeme kaybı, geçmişten bu yana insanoğlunun mekanik problemlerinin başında gelmiştir. Dünya da var olan mekanik enerjinin, yüzde otuz kısmı mekanik kayıplara harcandığı varsayılırsa, sürtünme ve aşınmanın ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılabilir.

Malzeme bilimciler günümüzün sanayisinde, gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek için, sert ama tokluk bakımında oldukça yüksek, aşınmanın ve sürtünmenin minimum düzeylerde olacağı, yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple Ar-Ge çalışmalarına önemli bir bütçe ayırmaktadır.

Aşınma çalışan parçalarının birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeylerinde meydana gelir. Bu yüzden sanayide, her çalışma ortamında aşınma direnci yüksek olan malzeme üretmek ekonomik olmamakla birlikte oldukça güçtür. Bu duruma en iyi çözüm çalışma koşullarına göre uygun malzeme üretmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürtünme ve bunun sebep olduğu aşınma problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan yöntemlerden biriside, malzemelerin yüzeylerini kaplamaktır. Yüzey kaplama yöntemleri, özellikle alaşimsız ya da düşük alaşıma sahip

malzemelerin (metaller vb.) fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiştir.

1.1 Aşınma

1.2 Aşınmanın Tanımları

Genel anlamda aşınma; malzeme yüzeyine temas eden parçaların kimyasal, fiziksel ve mekanik etkenleri sonucunda, malzemede mikroskobik parça kopmalarına bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybıdır.

Moore göre ise aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmaktadır (Bhushan, 2000).

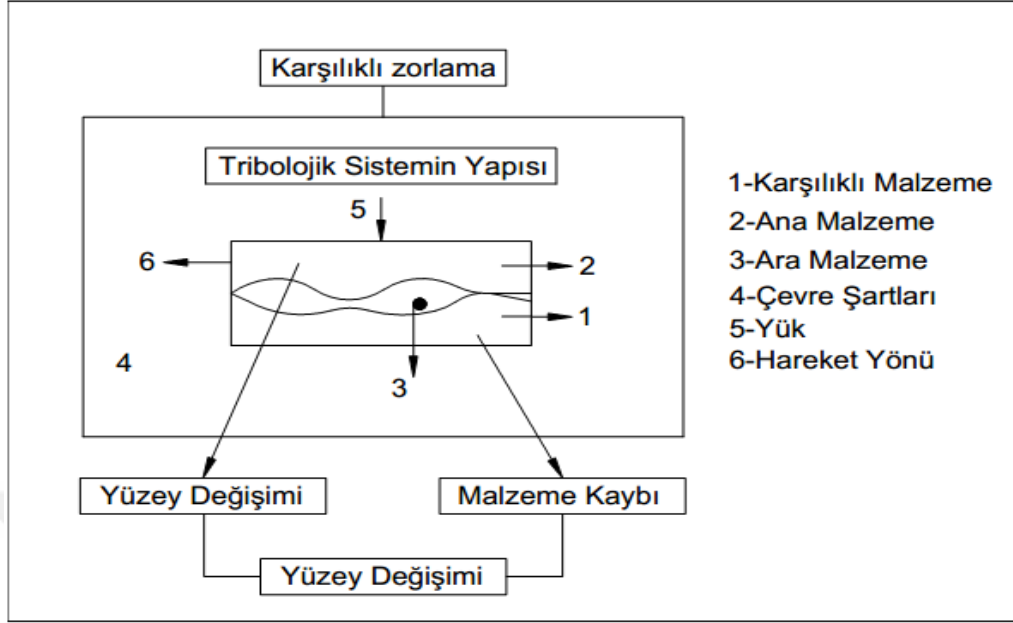
1979'da yayınlanan Alman DIN 50320 standardına göre aşınma, “ kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey hasarlarıdır.” şeklinde tanımlanmaktadır (Sevim, 1998).

Aşınmanın minimum seviyede tutulması birçok parametreyi yakından etkilemektedir. Örneğin; malzeme değişim masrafları, servis sürecinde geçen zaman kayıpları, doğal kaynaklara verilen zarar, insan sağlığına verilen zararlar gibi örnekler bunlardan birkaçıdır.

Aşınma malzemede meydana gelen bir hasar mekanizması olarak da adlandırılır. Aşınmanın meydana gelebilmesi için, malzeme yüzeylerinin birbirine göre izafi (bağlı hareket) yapması, birbirine temas halinde olan malzemelerden en az birisinde mekanik bir etki yardımıyla malzeme kaybı oluşması ve kaybın istemeyerek oluşması gerekmektedir. Aşınma olayları bir tribosistem (triboloji) olarak adlandırılan bir sistemde incelenmektedir.

Triboloji kelimesi Latince sürtünme anlamı olan tribos kelimesi ile bilim kelimesinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Ayrıca sürtünme bilimi olarak da kullanılmaktadır (Büyükkelleci, 2008).

Tribolojik sisteminin şematik gösterimi Şekil 1 'de gösterilmiştir



Şekil 1: Tribolojik Sistemin Şematik Gösterimi.

Tribolojik sistem birçok elemandan meydana gelmektedir. Bunlar:

- Aşınan malzeme,
- Karşı malzeme,
- Ara malzeme,
- Yük,
- Hareket,
- Çevre.

a) Aşınan malzeme: Aşınması istenen malzeme olup, malzeme özellikleri önceden belirlenmiştir ve daima katı haldedir.

b) Karşı malzeme: Katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilen, aşındırıcı malzemedir.

c) Ara malzeme: Aşınan ile aşındırıcı malzeme arasında bulunan, katı sıvı ve gaz halinde ya da bunların karışımı halinde bulunabilen malzemedir.

d) Yük: Önemli bir faktör olup, aşınma çiftini temas alanını etkiler. Uygulanan yük titreşimli, darbeli, dinamik ve statik olabilir ya da artan ve azalan şekilde olabilir.

e) *Hareket*: Triboloji içinde esas ve karşı elemanlarının birbirine göre yapığı bağıl harekettir. Hareket tipi kayma, yuvarlanma, çarpma ya da kayma yuvarlanma şeklinde olabilir.

f) *Çevre*: Tribolojik sistemin içerisinde bulunduğu ortamdır.

1.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

1.3.1 Malzeme Seçimi

Birbirleriyle etkileşim halinde çalışan parçaların aşınma dayanımını yükseltmek için çalışma ortamı ve malzemenin mekanik özellikleri iyi değerlendirilmelidir (Keskin, 2012).

1.3.2 Pürüzlülük

Malzemelerin aşınma dirençlerini en fazla etkileyen faktörlerden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Gerçek yüzey alanı pürüzlerin temas ettiği bölgede olmasından dolayı, ilk temas bölgesi olan pürüzlerin adhezyon kuvvetlerinin artmasında rolü önemlidir (Keskin, 2012).

1.3.3 Sertlik

Malzemelerde diğer faktörler sabit kalmak üzere sertliğin artırılması aşınma miktarını azaltır. Sertleştirme gerçekleşmemiş malzeme yüzeyinde deformasyon sertleşmesi uygulanan bölgelerde mikro bölgeler meydana oluşur. Oluşan bu mikro bölgelerin duktilitesi azalarak kopar. Aşınmaya karşı dayanımını arttırmak için ısıtılma işlemi ya da alaşımlandırma işlemi uygulanarak yüzey sertleştirilmelidir (Keskin, 2012).

1.3.4 Yüzey İşlemleri

Malzemede aşınmaya karşı olumlu yönde katkıda bulunmak için, temas halinde çalışan iki metal arasındaki sürtünme katsayısını ve aynı zamanda tutunabilme özelliğini azaltılması gerekmektedir (Keskin, 2012). Bunun için yüzeyde kimyasal, elektrokimyasal ya da termokimyasal yöntemlerle malzeme yüzeylerinde tabakalar meydana getirilmelidir.

1.3.5 Yağlama

Gerek ekonomik olması gerekse kolay uygulanabilir olması için, aşınmaya karşı uygulanan en çok tercih edilen yöntemdir. Yağlama işlemi sayesinde sürtünen yüzeyler arasındaki metal-metal sürtünmesi yerine sıvı-metal sürtünmesi sağlamaktadır. Kullanılan yağların dikkat edilecek en önemli özelliği yüksek sıcaklar dahil yağlama özelliğini uzun süre muhafaza edebilmeli niteliğe sahip olmasıdır (Keskin, 2012).

1.3.6 Temas Geometrisi

Birbiri temas halinde malzemelerin temas geometrisi aşınma miktarına etki eder. Örneğin malzemede meydana gelen abrazyon aşınmasını azaltmak için aşınma artıklarını iki yüzey arasından dışarı çıkarmalarını kolaylaştırılması gerekmektedir (Keskin, 2012).

1.3.7 Çevre

Çevrede aşınma miktarına etki etmektedir. Atmosferde bulunan oksijen sayesinde yüzeyde koruyucu oksit tabakası meydana gelmektedir. Eğer ortamda soy gaz bulunduğunda oksit oranı azalacaktır. Bu oksit tabakalarının koparılması sebebiyle malzemede metal-metal teması oluşarak, adezyon kuvveti aşınması meydana gelir.

Aşınma olayını etkileyen diğer faktör ise atmosferde bulunan bağıl nem oranıdır. Bağıl nem oranı azaldıkça, aşınma miktarını artmaktadır (Keskin, 2012).

1.3.8 Zaman

Metal yüzeyinin yorulması ve deformasyon sertleşmesi devir sayısına, frekansa ve toplam zamana bağlıdır (Keskin, 2012).

1.4 AŞINMA ÇEŞİTLERİ

1.4.1 Adhesiv Aşınma

Aşınma türleri arasında en çok görülen aşınma türüdür. Bu aşınma türünde birbiriyle temas halinde bulunan iki metalin yüzeylerinin, yüksek basınçta ve meydana gelen sıcaklığın yükselmesi sonucunda bir kaynama oluşur. Çalışma esnasında oluşan bu kaynamalar birbirinden ayrılır ve böylece adhesiv aşınma meydana gelir (Toparlı, 1993).

Bu aşınma genellikle katı malzemelerde meydana gelir. Katı malzemelerin birbirinin üzerinde kaymasıyla ya da birbirlerine karşı uyguladıkları baskı sonucunda adhesiv aşınma ortaya çıkar. Ve böylelikle malzeme kaybı meydana gelir. Adhesiv aşınma terimi genellikle kayma aşınması terimi ile karıştırılır. Maalesef bu iki aşınma türünü birbirinden ayırt edici kesin bir çizgi de yoktur.

Temas halindeki malzemelerin, yapışma eğilimi malzemelerin yüzey atomları arasındaki çekme kuvveti sonucu meydana gelir. İki yüzey teğetsel ya da normal bir şekilde bir araya gelip, bir kuvvet yardımı ile ayrılması sonucunda malzeme bir yüzeyden diğerine olacak şekilde bir çekim alanı meydana gelir. Bu sayede malzeme orijinal yüzeyden uzaklaştırılır. Ve böylece adhesiv aşınma parçası oluşur.

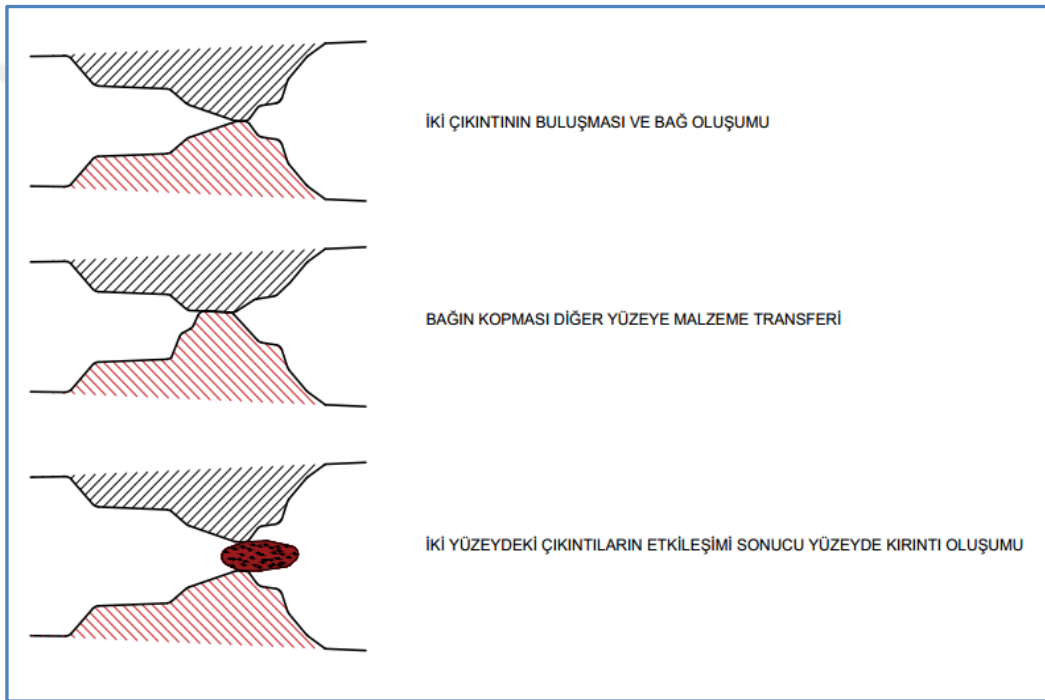
Bu aşınma türüne en çok, kristal kafes yapısı benzer olan malzemelerde rastlanır. Benzer kristal kafes yapısına sahip metaller de, hareket ve sürtünmelerin sonucunda oluşan sıcaklık nedeniyle, sıcaklık artar ve böylelikle kaynama daha kolay gerçekleşir. Yani malzemelerde oluşan yüksek sıcaklık yardımıyla, malzemeler birbiriyle bağ oluşturur.

Birbirleriyle temas halinde olan mealler de, yüzeyi her ne kadar düzgün olsa bile, yüzeylerinde bulunan pürüzler nedeniyle bir etkileşim oluşur. Yani metalin ağırlığında veya metale uygulanan bir yükleme durumunda, pürüz tepelerinde bir gerilme meydana gelir. Bu gerilmeler sayesinde plastik deformasyon oluşur.

Malzemenin deforme edilebilirliği kolay ise temas alanı artarak bütün yüzeye dağılır. Bu durumda yüzeylerde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak, malzeme moleküllerinin direkt temas etmelerine imkân verir. Böylece temas

noktalarında soğuk kaynak bölgeleri oluşur. Bu bölgeler izafi hareket durumunda, sürtünme kuvvetinin etkisiyle kırılarak yüzeyler arasına taşınır (Okay, 2006).

Eğer malzemede sürtünme esnasında, kaynak bağları malzeme yüzeyinin temas bölgelerinde kırılırsa, malzeme de herhangi bir malzeme kaybı meydana gelmez. Ama kırılma temas yüzeyinin uzağında herhangi bir bölgede meydana gelirse, kırılan parçacıklar bir yüzeyden diğerine doğru hareket eder. Bu hareketin yönü genellikle temas halinde bulunan iki malzemeden, yumuşak olanından sert olanına doğru gerçekleşir. Şekil 2’de adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2: Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi.

1.4.2 Abrasif Aşınma

Temas halindeki iki malzemeye, uygulanan yük ve hareketin sebebiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri ya da taneleri yardımıyla diğerini çizerek mikro talaş kaldırmasıdır. Bu tanım katı-katı, katı-mineral ve katı ve sıvı arasında meydana gelen birçok abrasif aşınmayı kapsar.

Genellikle abrasif aşınma, sürtünen cisimlerde doğrudan karşılıklı etkileşimleri sonucunda meydana geliyorsa iki cisimli abrasif aşınma, eğer ara yüzeylerde sürtünme elamanlarını

çizerek onları tahrip eden sert tanecikler bulunuyorsa üç cisimli aşınma olarak da adlandırılır.

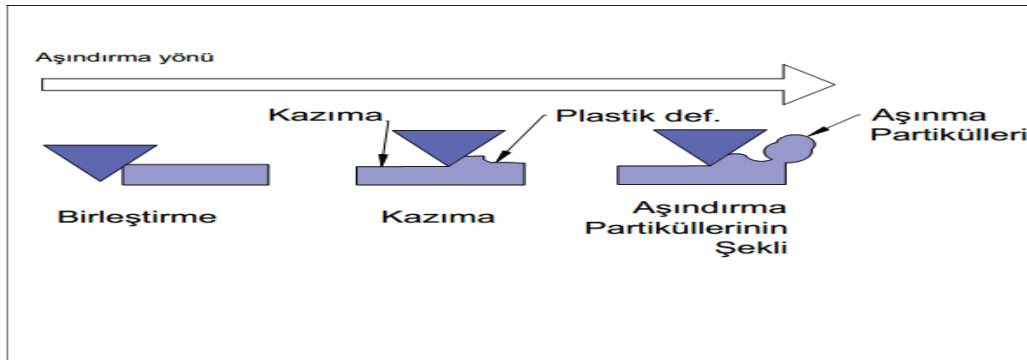
Çoğunlukla aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde aşınma başlangıç olarak iki cisimli abrasif veya adhesiv aşınma şeklinde oluşur ve daha sonra üç cisimli abrasif olarak devam eder. Genellikle üçüncü cisim olarak ortaya çıkan toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları görülebilir. Üçüncü cisim abrasif aşınma, aşınmayı hızlandırıcı bir etkiye sahiptir. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasif aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarır (Demirel, 2013).

Khruschov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki prosesin meydana geldiğini yaptığı incelemelerde fark etmişlerdir (Çetin, 2005).

- Çiziklerin oluşmasının sebebi basıncın yardımıyla plastik şekil değiştirmelerdir (metal kalkmadan yüzeyin plastik şekil değiştirmesi),
- Metal parçacıkların mikro talaş şeklinde ayrılması (yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

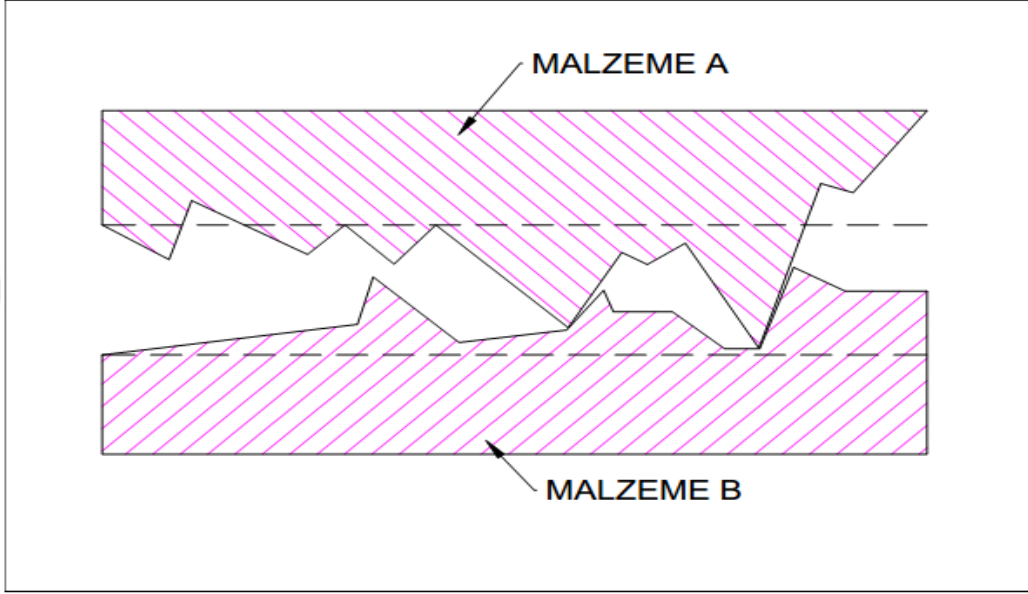
Abrasif aşınma genellikle, kesilme kazınma ve tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar sayesinde meydana gelir. Malzemede abrasif aşınma meydana gelebilmesi için en önemli şart, sürtünme sırasında, aşındırıcı malzemenin sertliği, aşınan malzemeden daha sert olması gerekmektedir.

Aşağıdaki Şekil 3 'de abrasif aşınmanın şeması gösterilmektedir.

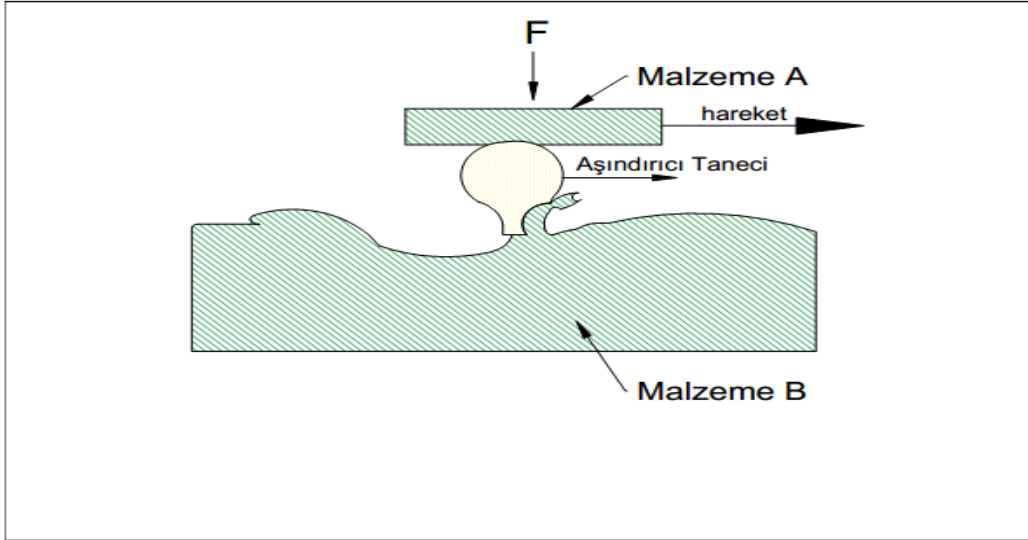


Şekil 3: Abrasif Aşınma Şeması.

Şekil 4’de iki cisimli abrasif aşınma gösterilmektedir. Mikro talaş kaldırma olayı, daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizmesiyle meydana gelmektedir. Abrasif aşınmada mikro boyutlu talaş kaldırma etkisini sert ve keskin parçacıklar görev yapar. Bu aşınma üç ve iki elemanlı olmak üzere iki şekilden oluşur. Bu mekanizmalar aşağıdaki Şekil 4 ‘te ve Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 4: İki elemanlı abrasif aşınma.



Şekil 5: Üç elemanlı abrasif aşınma.

Sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle temas etmesi sonucunda iki elemanlı abrasif aşınma meydana gelirken, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzemesi

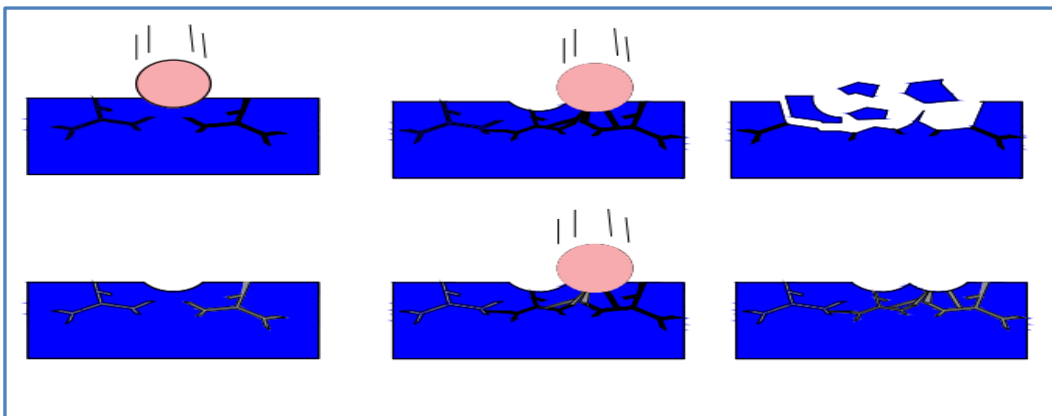
olması olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmasıyla da üçüncü eleman olarak meydana gelir.

Metal-metal sürtünmelerinde genellikle aşınma iki elemanlı adhesiv veya abrasif olarak başlayıp, üç elemanlı olarak abrasif olarak devam eder. Bu durumda üçüncü eleman olan ara malzemeyi, araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest halen geçen mikro taşlar ve parçalanmış oksit parçalarından meydana gelir. Genellikle ana malzemedan daha sert olan serbest hale geçen mikro talaş parçaları aşınmayı hızlandırmaktadır.

1.4.3 Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması deyince akla, karşı malzeme ile malzeme arasındaki tribolojik zorlamalardan dolayı sonucu oluşan kimyasal reaksiyon gelir. Malzeme yüzeyinin hava ile reaksiyonu girmesi sonucu meydana gelen oksit tabakaları aşınmayı azaltır. Fakat bu oksit tabakaları erozyon aşınması nedeniyle özelliklerini değiştirerek aşınmayı hızlandırılır.

Genellikle kimyasal maddeler ile temas halinde çalışan makine parçalarının yüzeylerinde meydana gelen yüzey tabakalarından bir kısmının tribolojik etkenler sayesinde zorlanarak kırılması sonucunda aşındırıcı parçacıklar oluşur ve böylelikle aşınma hızlanır. Metalik malzeme yüzeylerinde genellikle erozyon aşınması görülür (Demir, 2012). Şekil 6'da erozyon aşınması gösterilmektedir.



Şekil 6: Erozyon aşınması.

Erozyon aşınması, plastik deformasyon plastik deformasyonu ve gevrek kırılmayı birlikte gerçekleştirebildiği için abrasiv aşınmaya benzetilir. Aşınan malzeme, aşındırıcı ve

aşındırıcı malzemenin şekli, sertliği, tokluğu, uygulanan darbelerin durumu, başlangıçtaki partikülün geliş açısı ve hızı, erozyon aşınmasının yapısını etkiler (Bhustan, 2001). Erozyon aşınması genellikle beş şekilde gerçekleşir.

1.4.3.1 Katı Partikül Erozyonu

Sıvı ya da gaz ortamında hareketlendirilen aşındırıcı tanelerin ya da partiküllerin yüksek hızlarla bir katı yüzey üzerine sürekli çarpması sonucu darbe etkisiyle meydana gelen aşınmadır.

1.4.3.2 Sıvı Su Damlası Erozyon

Hareket halindeki sıvı (su) damlarının yüksek hız yardımıyla bir katı yüzeyine tekrar edecek şekilde çarpması sonucu meydana gelen şok dalgalarının oluşturduğu tahribat sayesinde oluşan bir aşınma türüdür.

1.4.3.3 Katı Partikül Taşıyan Akışkan Ortam Erozyonu

Yüksek hızlarda hareket halinde bulunan bir katının, kendisinden daha az yavaş olan su damlalarının tekrarlı çarpması sonucunda oluşan şok dalgalarının tahribatı neticesinde oluşan aşınmalardır.

1.4.3.4 Kativasyon Aşınması

Genellikle su ve kalorifer borularında rastlanan bir aşınma türü olup, gaz kabarcıklarının yüksek basınçlar yardımıyla malzeme yüzeyinde tekrarlı bir şekilde patlaması ile oluşur.

1.4.3.5 Elektro Erozyon

Katot ve anot şeklinde kutuplanan elektiriksel yüklü iki parça arasındaki akımsal boşalım etkisiyle meydana gelen aşınma türü olup, aşağıda belirtilen hasarların oluşmasıyla tanımlanabilir.

Sert olmayan malzeme yüzeyinde oluşan kopma:

Bu hasara örnek olarak fan pervanelerini verebiliriz. Fan pervanelerinin kullanımında, ortamda var olan sert partiküllerin ve tozların pervanenin konkav tarafında hızlı bir şekilde kaymaları ve yuvarlanmaları sırasında oluşan aşınmadır.

Malzeme yüzeyinde kanalların ve yivlerin oluşması:

Genellikle bu tür aşınma hasarları, sıvaların ya da gazların hızlı bir şekilde aktığı, bunun sonucunda sistemde akış hızının ve yönünün değişmesine sebep olduğu bölgelerde görülür.

Köşelerin yuvarlanması:

Pervana ve türbin kanalları ve benzeri malzemelerin şekillerinde köşelerin yuvarlanması şeklinde değişiklikler meydana gelebilir (Demir, 2012).

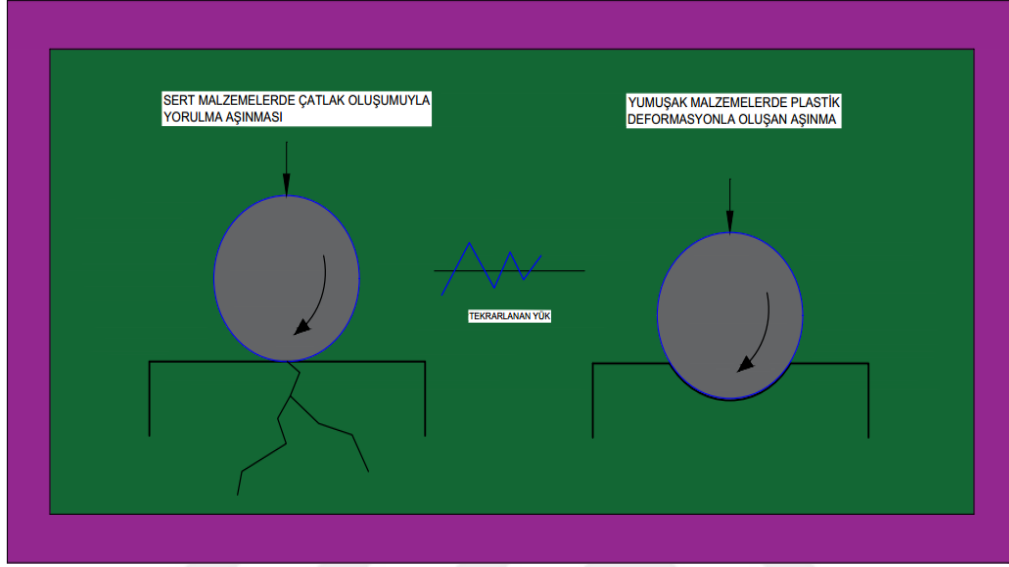
1.4.4 Korozyon aşınması

Korozif bir ortamda, parçaları meydana getiren alaşımlar ve metaller birleşik oluşturmak amacıyla çevre ile elektrokimyasal ya da kimyasal olarak reaksiyona girerler. Bu sayede çeşitli bileşikler meydana getirilerek metalin iç yapısında zayıflamaya sebebiyet verirler. Meydana gelen bu bileşikler sayesinde ana metalle bağlantıları zayıflayarak, bileşikler ana metalden kopar ve böylece korozyon aşınması oluşur. Korozyon aşınması, metallerde hem korozyon hem de aşınmanın birlikte meydana gelmesi şeklinde tanımlanabilir (Owsalou, 2012).

Bu mekanizmaların ayrı ayrı meydana gelerek oluşturduğu malzeme kaybı, korozyonlu aşınma sonucu oluşan malzeme kaybından daha azdır. Korozyon aşınması aşınma olayı iki aşamada meydana gelir.

Temas halinde bulunan yüzeyler ortamla reaksiyona girerek yüzeyde bir tabaka oluşturur. Zamanla birlikte temas noktalarında çatlak oluşarak, ya da abrasif etkiler sonucu oluşan reaksiyon sonucu tabakası hasara uğrar. Bu aşınma türünde olumsuz hava koşulları oldukça önemlidir. Korozyon aşınması sonucu oluşan korozyon ürünleri korozyonu,

birlikte büyüklüğü ve zamana ve konuma göre sabit olmayan mekanik gerilmeler sonucu meydana gelir. Sonuçta malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, bu da yüzey parçacıkların ayrılması, çukur ve meydana gelmesine neden olur (Ulutan, 2007). Şekil 8’de yorulma aşaması gösterilmiştir.



Şekil 8: Yorulma aşınmasının şematik gösterimi

1.5 Aşınma Mukavemetini Artırma İşlemleri

Malzemenin kimyasal içerikleri ve temas yüzeylerinin setliği aşınmayı etkileyen önemli parametlerin başında gelmektedir. Malzemelerde aşınmayı azaltmak için malzeme içeriğinin birbirine yapışmayı engelleyici olması ve korozyona karşı mümkün olduğu kadar dayanıklı olması gerekmektedir. Malzeme yüzeyinin pürüzlü olması ya da termokimyasal ve kimyasal işlemleri maruz kalması aşınmayı hızlandırır. İstenmeyen bir durum olduğu için aşınma olayını azaltmak için bazı önlemler alması gerekir (Sarıkaya, 2007).

1.5.1 Pürüzlülük

Malzemenin yüzey pürüzlülüğünü artması sonucunda, malzemede yükü taşıyacak olan gerçek alan azalır. Bunun sonucunda aşınma miktarı artar. Malzemelerin temas alanının da küçük olması aşınma miktarını artırır. Çünkü yüzeye etkiyen kuvvet daha büyük olacaktır. Adhezyon ve abrasif aşınmayı artıran sebeplerden biride sürtünen iki yüzeyin arasında çekim kuvvetinin fazla olması ve pürüzsüz bir yüzeyde aşınma artıklarının bulunmasıdır.

Sürtünme hareketinin yönünün pürüzlülük yönüne dik olması durumunda aşınma oranı azalır (Sarıkaya, 2007).

1.5.2. Sertlik

Aşınma direncinin artırılması ile malzemenin sertliği doğru orantılıdır. Deformasyon sertleştirilmesi yardımıyla sertleştirilmiş malzemenin yüzeyinde mikro bölgeler oluşur. Oluşan bu bölgelerde kopabilir. Malzemenin sertliği genellikle abrasif aşınma direncine bağlıdır. (Sarıkaya, 2007).

1.5.3.Tane Boyutu

Malzemenin dayanım değerleri ile tane boyutu arasında bağlantı mevcuttur. Malzeme ne kadar tok ve mukavim ise tane boyutu o kadar da küçüktür. Aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de malzemenin kristal yapısıdır. Genellikle sıkı paket yapıya sahip malzemelerin aşınma direnci diğer malzemelere göre yüksektir. Kobalt bu yapıya örnek olarak verilebilir. (Sarıkaya, 2007).

1.5.4. Malzeme Boyutu

Geometrik şekli ideal daireye yakın olan parçaların daha az aşındığı ve şeklini koruduğu tespit edilmiştir (Sarıkaya, 2007).

1.5.5 Yüzey İşlemleri

Malzemelerin yüzey yapısı aşınma direncini etkilemektedir. Yüzeyde kimyasal, termo kimyasal ya da elektro-kimyasal yöntemler sonucu meydana gelen tabakaların ile beraber çalışılan parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltılırsa aşınma direnci artar (Sarıkaya, 2007).

1.5.6 Ortamın Etkisi

Ortamın etkisi aşınma miktarını etkiler. Özellikle atmosferde çalışan sistemlerde çevre şartları büyük etkindir (Sarıkaya, 2007).

1.5.7 Sıcaklık

Sürtünen yüzeyler arasında oluşan sıcaklığın artmasıyla yüzey sertliği azalır, oksidasyon gerçekleşir ve plastik deformasyon kolaylaştırır. Yapılan araştırmalar neticesinde belli bir sıcaklık değerine kadar aşınma direncini etkilemediği fakat kritik bir değerinin üzerine çıktıkça aşınmanın arttığı görülmüştür. Özellikle sürtünmenin istenmediği kaymalı çalışma yatak ve kızaklarda yatağın ısınması problem oluşturur ve sıcaklığın düşürülmesi için ısı iletim görevi yapan yağlayıcı maddelerin kullanılması gerekir (Sarıkaya, 2007).

1.5.8 Atmosfer

Malzeme yüzeyinde oksit tabakasının oluşma nedeni atmosferde bulunan oksijendir. Ortamda soygaz kullanıldıkça oksit oranı azalır, ancak buna bağlı olarak da bölgede adhezyon aşınması gözlenir.(Sarıkaya, 2007).

1.5.9 Nem

Atmosferdeki nem oranının artması sonucunda sürtünme katsayısının azalmasına ve dolayısıyla da aşınma miktarının azalmasına neden olur (Sarıkaya, 2007).

1.5.10 Malzeme Seçimi

Aynı malzemelerin birbirleri ile kaynak yapma özellikleri, farklı malzemelerin kaynak yapma özelliğinden daha yüksektir. Bu yüzden birbirleri ile sürtünme halinde çalışan parçaların malzemelerinin farklı seçilmesi adezyon aşınmasına karşı direnci artırır (Sarıkaya, 2007).

1.5.11 Yağlama

Aşınmaya karşı en etkili, basit ve ekonomik yöntemlerden biride yağlamadır. Kullanılan yağlarda kayma mukavemeti düşük, kullanıldığı yerde korozif etki yapmamalı, malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşturmamalı, özelliklerini muhafaza edebilmeli ve sıcaklıktan etkilenmeden görevini devam ettirmesi gibi özellikler olmalıdır. Yataklarda olduğu gibi

hareket hızının fazla olduğu yerlerde yükü yüzeyler arasında oluşan yağ filmi taşır ve bu da çalışan sistemlerin ömrünü direkt olarak etkiler (Sarıkaya, 2007).

1.5.12 İşletme Koşulları

Hız, kayma yolu ve yük özellikleri işletme koşulları olarak incelenebilir (Sarıkaya, 2007).

1 5.12.1 Hız, Kayma Yolu

Hız, kayma yolu şiddetli aşınma durumunda kayma hızı artıkça aşınma miktarı azalır. Çünkü sürtünen alanın azalmasıyla, ısıdan dolayı sürtünme katsayısını azaltır. Tek yönlü kayma ve sabit hızdaki aşınmanın iki yönlü ve değişken hızdaki aşınmadan daha az olduğu belirlenmiştir (Sarıkaya, 2007).

1.5.12.2 Yük

Uygulanan kuvvetin artması sonucunda aşınma yüzeyinin etkileneceği yükün büyüklüğünün ve birim yüzeye uygulanan kuvvetin ve sürtünme kuvveti artar. Böylece aşınma artar. Eğer aşınma miktarı iki kat artarsa yük kritik yük olarak adlandırılır. Aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla sertliğin belli bir oranda arttığı değere kritik yükleme denir. Yüzeydeki oksit tabakasının aşınma sebebi kayma olayıdır. Bu durumda aşınan bu oksit tabakasından sonra tabaka sürekli kendisini yenilemeye çalışacaktır ve dolayısıyla aşınma olayı artarak gerçekleşecektir (Sarıkaya, 2007).

1.5.12.3 Zaman

Malzeme yüzeyinin yorulması devir sayısı ile ilişkili olduğuna göre yüzeyin aşınması da devir sayısı, zaman ve frekansın bir fonksiyonudur (Sarıkaya, 2007).

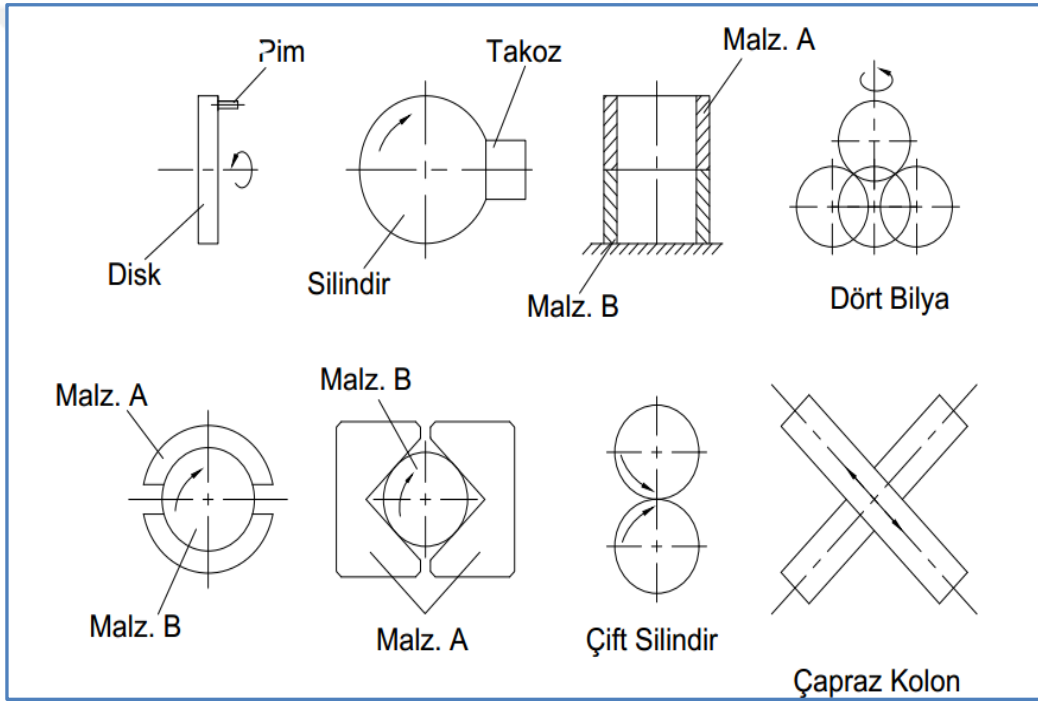
1.6 Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri

Üretim sanayisinde aşınma önemli bir unsur olup, istenmemektedir. Bu yüzden üretim sanayisinde, aşınma direnci yüksek malzemeler tercih edilmektedir. Bu malzemelerin

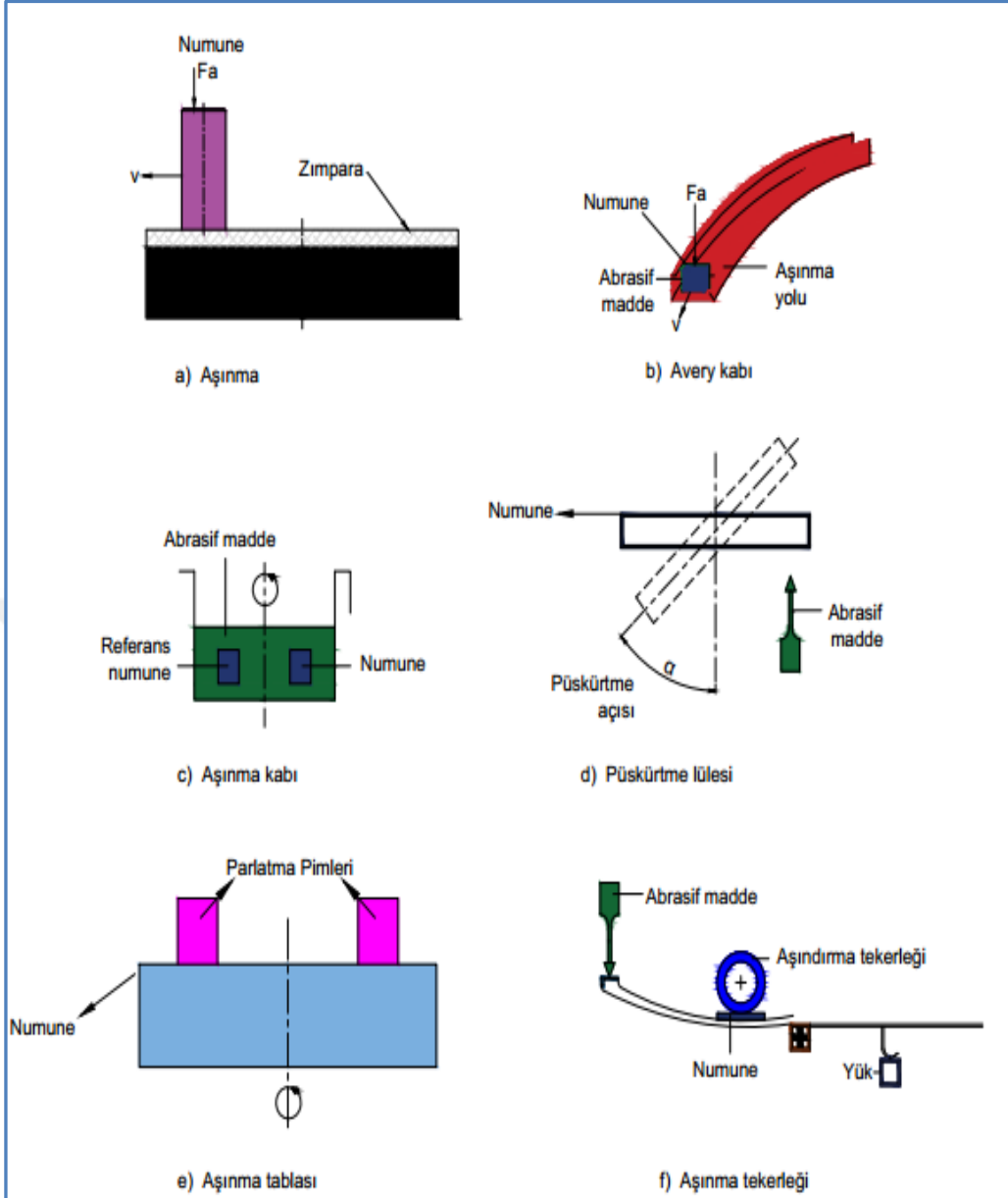
amacına uygun olarak kullanılabilmesi için aşağıdaki şekiller de görüleceği gibi çeşitli deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ikiye ayrılır.

- a) Yağlamasız ve yağlamalı bir ortam koşulunda karşı ve ana malzemenin adhesiv aşınma değerlerinin ölçüldüğü yöntemler,
- b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin tesirinin altında sadece karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü yöntemler (Tabur, 2003).

Şekil 9 ve Şekil 10 sırasıyla adhesiv aşınma deney yöntemleri ve çeşitli abrasiv maddeler ile kullanılan deney yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 9: Yağlamalı, yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri.



Şekil 10: Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemeleri aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri.

6.1. Ağırlık Farkı Metodu

En yaygın olarak kullanılan aşınma deneyi ölçüm yöntemidir. Pratik olmasıyla birlikte ekonomik bir yöntem olmasından dolayı tercih edilmektedir. Bu yöntem genellikle ölçüm yönteminin saptanabilirlik sınırı 10^{-4} gram hassasiyetindeki teraziler kullanılır.

Bu metoda göre, aşınma miktarı veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Birim alan içinde ağırlık kaybı hesap edilecekse (g/cm^2) gibi birim kullanılır (Özocakcıoğlu, 2016).

Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı farklı yollar ile de bulunabilir. Bunlardan birkaçı da ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerinde etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve yüklem ağırlıklarına karşılık gelen hacim kaybıdır.

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

Bu formülde,

W_a : Aşınma Oranı ($mm^3/N.m$),

ΔG : Ağırlık Kaybı (mg),

M: Yükleme Ağırlığı (N),

S: Aşınma Yolu (m),

d: Yoğunluk (g/cm^3),.

6.2 Kalınlık Farkı Metodu

Malzemede aşınma sırasında meydana gelen boyutsal değişikliklerinin ölçülmesi ve başlangıç değeri ile karşılaştırılması yapılır. Böylece kalınlık farkı değeri tespit edilir. Bu değer yardımıyla hacimsel kayıp değeri ve birim hacmindeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas aletleri yardımıyla $\pm 1 \mu m$ duyarlılıkta ölçülmelidir (Özocakcıoğlu, 2016).

6.3 İz Değişim Metodu

Malzemelerin sürtünme yüzey bölgesinde var olan nötron, proton veya yüklü α -parçacıkları yardımıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi iz değişim metodun esasıdır. Bu metodun diğer metotlara göre en büyük avantajı, aşınma miktarının yüksek derecede hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarının değiştirmeden ölçü alınabilmesidir.

6.4 Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi

Bu teknikte, malzemedeki şekil değiştirme enerjisinin hızla serbest kalması sonucu oluşan transient elastik gerilmesi olarak adlandırılır. Uygun bir sensör yardımıyla yüzeyde, radyasyon gerilim dalgaları tespit edilir.

6.5 On-line İzleme Yöntemi

Yöntem şu şekildedir. Lazer diyot tarafından ışık üretilir. Üretilen bu ışık fiber optik kablo yardımıyla iş parçası üzerine gönderilir. İş parçası üzerinden yansıyan ışın başka bir optik fiber kablo sayesinde alınarak foto diyot üzerine düşürülür. Bunun sonucunda foto diyot çıkışından alınan voltaj değerinin Analog/Dijital dönüştürücü yardımıyla bilgisayar da depolanır. Uygulamanın esası fiber optik uçların iş parçası ile aralarındaki mesafeyi koruması ve iş parçası boyunca kesme işlemini takip etmesine dayanır.



BÖLÜM 2

TERMAL SPREY KAPLAMALAR

2.1 Termal Sprey Kaplamanın Tarihçesi

Termal spre y yöntemi ilk olarak metalizasyon adı olarak adlandırılmıştır. 1890-1910 yılları arasında metalizasyon gerçekleştirmek maksadıyla oks i-asetilen torcu kullanılmaya başlanmıştır. 1910 yılında ise İsviçreli bilim adamı Dr. M. Schoop ısı kaynağı olarak oksijen ve asetilenin kullanıldığı, ergimiş malzemeyi püskürtmek üzere basınçlı havadan yararlandığı bir tabanca tasarlamıştır. Bu tabanca sayesinde sıvı kurşunu oyuncak topa püskürtüldüğünde kurşunun bütün yüzeyde yapışıp kaldığı gözlemiştir. Böylelikle termal püskürtme teknolojisinin temellerini atmıştır.

Daha sonra bu yöntem Amerika'da R. Axline, G. Lufkin ve H. Ingham tarafından geliştirilmiştir. 1933 yılında ise endüstriyel uygulama sürecini hızlandıracak MetcoInc kurulmuştur. 1939 senesinde ilk defa Reinecke tarafından endüstriyel olarak termal spre y kaplama yöntemi ile kaplama gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çeşitli Amerikan şirketleri tarafından bu yöntem geliştirilmiştir (Ersöz, 2011).

1950 yılına bakıldığında Amerikan havacılık ve uzay dairesi yani kısaca NASA kurulmuştur. NASA'nın üzerinde çalıştığı çalışmalar sonucunda aşınma ve korozyon direnci yüksek olan aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda çalışabilen malzemelerin ve kompozitlerin kaplanması için yeni tekniklere ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı plazma torcunun buluşunu, termal spreylemenin gelişimini sağlamıştır.

20. yüzyılın ilk başlarında termal spreyleme işlemi tamir amaçlı olarak yapılmaktaydı. Ancak 1960 senesinden sonra çok hızlı bir şekilde termal spre y işlemleri, yöntemler kullanılan malzemeler, termal spreyleme aletleri ve işlem parametleri hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı teknolojik ilerlemeler ve yeni ve potansiyel uygulama çeşitliliği ortaya çıkmıştır. 1960'lı yıllarda ise ısı kalkanlar ve jet motorlarında termal spre y yöntemi ile kaplama tercih edilmiştir. 1980'li yıllara bakıldığında soy atmosferlerin kullanımı, termal spre y kaplamalarının kalitesini arttırmış ve endüstrinin beklentilerini daha iyi karşılamıştır.

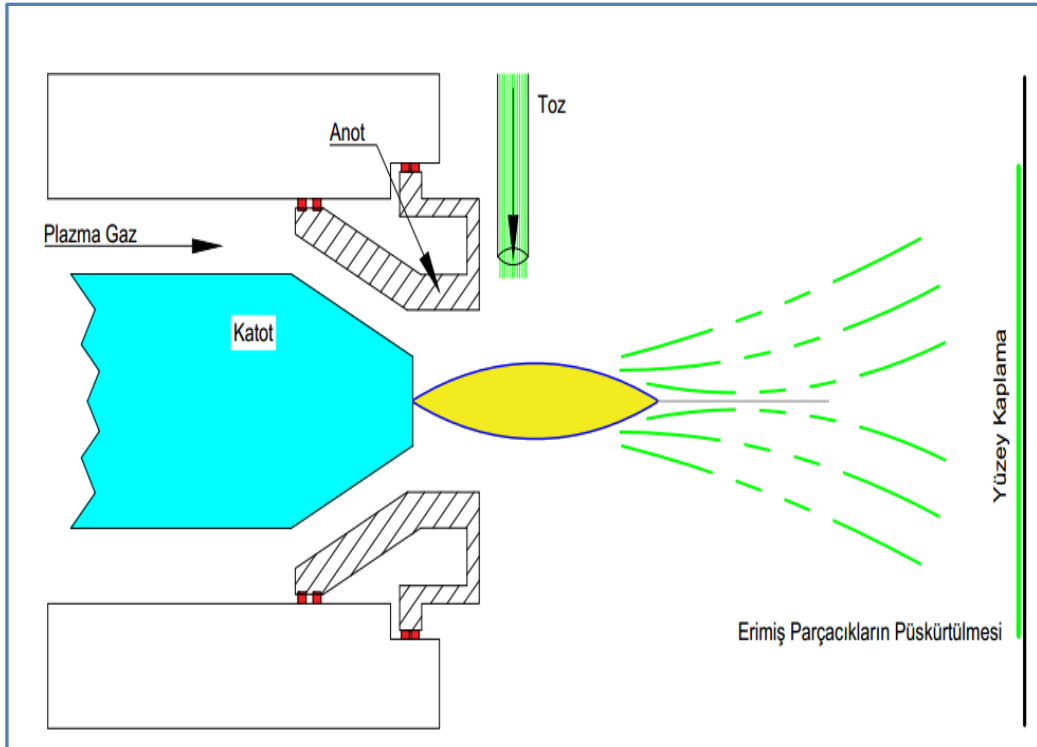
2.2 Termal Sprey Kaplama İşlemleri Ve Teknikleri

Termal sprej kaplama işlemleri özel bir terim olup, metal ve metal olmayan malzemelerin kaplama işlemlerinin gerçekleşmesi için kullanılır. Üç ana grupta incelenmektedir. Bunlar;

- Alev sprej işlemleri,
- Elektrik ark plazma sprej işlemleri,
- Plazma ark sprej işlemleridir.

Bu enerji kaplanacak malzemeyi ısıtılarak ergimiş ya da yarı ergimiş hale getirilmesi sayesinde ısıtılan partiküller bir hızlandırılır. Hızlandırılmış bu partiküller bir taşıyıcı gaz yardımıyla ya da atomisyon jeti kullanılarak kaplanacak olan malzemenin yüzeyine fırlatılır. Partiküllerin yüzeye çarpmasıyla geometrisi değişerek yassılaştır ve yüzeye yapışır. Bu işlemin tekrarlanmasıyla partiküller birikerek yüzeyde bir kaplama tabakası oluşturur. Splat adı verilen bu partiküller çok yüksek hızda 10^6 K/s soğuma hızına maruz kalırlar (Bayrak, 2009).

Aşağıdaki Şekil 11’de termal sprej işleminin termal şeması gösterilmiştir.



Şekil 11: Termal sprej işleminin temel şeması

Termal sprey kaplama işleminin avantajları arasında, kullanılan malzeme türlerinin geniş bir çeşitliliğe sahip olması, altlık malzemeyi fazla ısıtmadan gerçekleştirebilmesi, malzemelerin ısıl distorsiyona uğramaması ve hasar görmüş ya da yıpranmış malzemelerin yeniden kaplamasından sonra herhangi bir ölçüsel ve özelliklerin değişimine uğramaması sayılabilir.

Malzemeye hangi termal sprey kaplamanın uygun olduğuna karar verilebilmesi için göz önünde bulunması gereken hususlar şunlardır;

- a) Ekonomiklik,
- b) İstek edilen kaplama malzemesi seçimi,
- c) Yeterli olabilecek kaplama performansı,
- d) Parça boyutu ve portatifliğidir.

2.2.1 Alev Sprey Kaplama Tekniği

İlk kez 1910 senesinde İsviçre’li bilim adamı olan Scoop’ın alevle püskürtme tabancasını keşfettikten sonra bulduğu bu yöntem, 1945 yıllarına kadar pek bir gelişme kaydedemedi. Daha sonra ikinci dünya savaşı ile birlikte özellikle Sovyet Rusya ve Çekoslovakya’nın önderliğinde alevle püskürtme konusunda çalışmalar hız kazanmıştır. Böylece günümüzde gelişen çeşitli yöntemler türlü endüstri kollarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Alev sprey kaplama hem tel hem de toz bulunan sistemlerde kullanılabilirdiği için diğer termal sprey kaplamalara göre kullanımı basit ve ekonomik olan yöntemdir. Gaz olarak asetilen ve propan gazı kullanılır. Bu yöntemde kullanılan gazlar düşük basınç, düşük akış oranı ve partiküllerinde hızlarının düşürülmesini sağlar. Bundan dolayı oluşan kaplamalar oldukça gözenekli ve bağ gücü minimumdur (Harvey, 1994).

Bu yöntemde oksijen-yakıt alevi yardımıyla, harcanabilir tel veya toz eritilir. Oksijen-yakıt alevi için 3300°C sıcaklığa sahip oksijen-asetilen alevi kullanılır. Eritme sayesinde oluşan alev içinde tel kontrollü bir hızla beslenir. Sıkıştırılmış hava yardımıyla alt tabakanın üzerinde bulunan yarı sıvı veya tamamıyla sıvı parçacıkları hızlandırılan memenin dış çevresine doğru beslenir.

Bu yöntem kısaca, püskürtme sistemin, yüzeye kaplanması düşünülen tel veya tozların, püskürtme memesi içerisinde ergitilerek kaplanacak olan alt malzeme yüzeyine püskürtülmesi şeklinde çalışması şeklindedir. En çok aşınmaya maruz kalmış parçaların kaplanmasında kullanılır.

Alevle spreyleme işleminde kullanılan tabanca, spreylenen malzemenin fiziksel tipine göre dizaynedilir. Alevle spreyleme cihazının üç temel fonksiyonu olup, Bunlar;

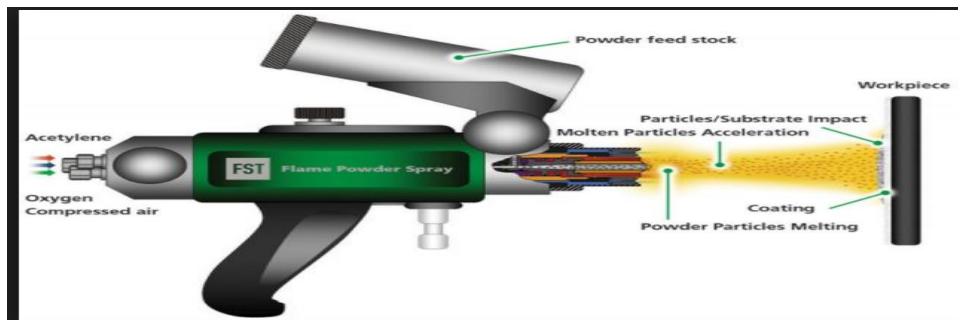
- Püskürtülecek malzemenin nakli,
- Telin bir yanıcı gaz oksijen aleviyle eritilmesi,
- Ergimiş telin püskürtülecek esas metale nakli (Kahraman, 2000).

Püskürtülen metalin şekli ve durumuna göre alevle spreyleme yöntemi, tel ile alev spreyleme ve toz ile alev spreyleme olmak üzere iki yönteme ayrılır.

2.2.1.1 Toz İle Alev Spreyleme

Bu yöntemde spreylenecek olan toz malzeme, bir huni yardımıyla tabancaya koyulur. Huni tabancadan bağımsız ya da bağımlı bir şekilde olabilir. Hava besleme sistemi, oksijen akıntısı veya çekim kuvveti gibi nedenlerden dolayı toz alevle taşınarak, alev tarafından tozun emilmesi sağlanır. Sıkıştırılmış hava jeti ve yanma gazları yardımıyla kaplanacak malzemenin yüzeyine gönderilir.

Toz ile alev spreyleme yöntemi, plazma spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında oldukça basit ve bir o kadar da ucuzdur. Fakat spreyleme hızı daha plazma spreyleme yöntemine göre oldukça düşüktür. Donanım kolay taşınacak şekilde tasarlanabilir (Kahraman, 2000). Aşağıdaki Şekil 12'de toz ile alev spreylemenin şeması görülmektedir.



Şekil 12: Toz ile alev spreylemenin şeması (Oğuz 1993).

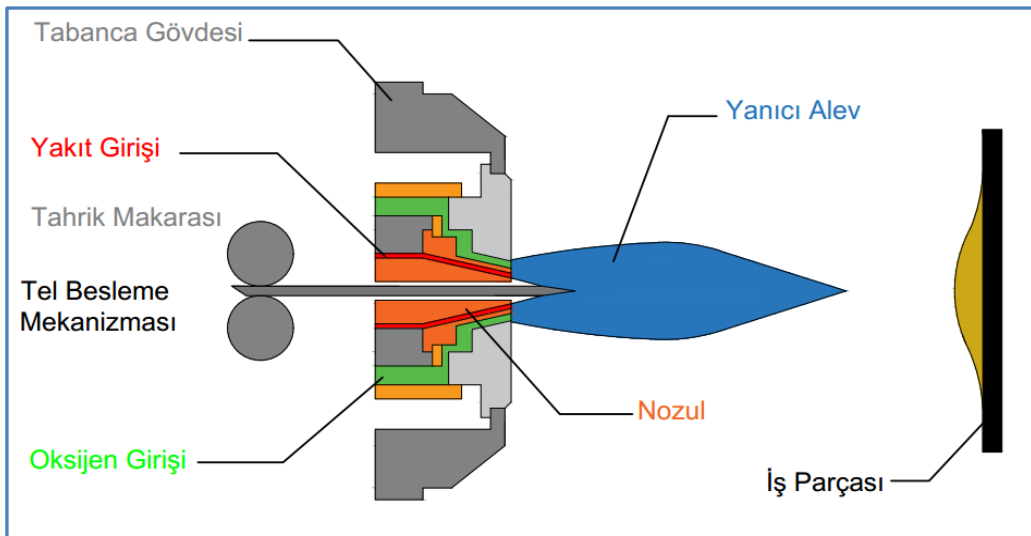
Oksi asetilen–kaynak torcuna benzer olmakla birlikte toz alev sprej tabancasıdır. Ve bu özel durumdur. Savaşlanması için spreylenecek toz, ucu terk etmeden önce yönlendirir. Burada sıkıştırılmış hava kullanılmasına ihtiyaç yoktur. Eğer gaz akışı içine, toz enjekte edilmediği zaman torç devreye girerek sprej birikintilerini ön ısıtma veya eritme yapar.

Toz ile alev sprejleme metalar, seramikler ya da iki malzemenin karışımları olan seramik metal karışımlarına uygulanır. Kullanılan sprej tozu parçacıkların ergime derecesi kaplama yapılacak malzemenin ergime noktası ve aynı zamanda parçacıkların alev sıcaklığına bırakılma süresine bağlıdır. Seramikler gibi yüksek ergime noktasın sahip tozlar yalnız parçacık yüzeyinde ergiyebilmesine karşın, düşük ergimeli noktalı tozlar sıvı hale gelebilir.

2.2.1.2 Tel ile Alev Sprej Kaplama

Tel ile alev sprej kaplama yönteminde kaplanacak metal tel kesintisiz bir biçimde bir makara ya da halkadan geçerek tabancaya temin edilir. Bazen kesilmiş metal çubuklarda kullanıldığı durumlar da olur.

Alev sprej tabancası, iş parçası tutma aleti, malzeme yüzey kaynağı ve besleme aletine bağlantısı, oksijen ve yakıcı gaz gereçleri, basınç manometresi ve flowmetre, gerektiğinde sıkıştırılmış hava kaynağı ve kontrol ünitesi gibi unsurlar tipik bir tel ile alev sprej kaplama düzeneğini oluşturan unsurlardır. Aşağıdaki Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil: 13 Tel alev sprejleme sistemi.

Teli besleyen sürme ünitesi ve sıkıştırılmış hava ve oksijen ve yakıt gazının akışını kontrol eden gaz başlığı olmak üzere iki parçadan, tel kullanılan tabanca oluşur. Bütün tel kullanılan tabancaların çalışma prensiplerinde birbirinden farklı değildir. Motor ve sürme çubuklarını tel sürme ünitesi kaplar ve hız kontrolleri mekanik, elektromekanik, elektronik ya da pnomatik olarak seçilen güç ünitesine göre farklılık olarak seçilebilir.

Yakıt gazı, oksijen ve sıkıştırılmış hava kontrol etmeye yarayan vana, gaz memesi ve hava kapağı bir araya gelerek gaz başlığını oluşturur. Tel numunedeki merkezi orifise doğru beslenir. Farklı tel boyutları ve metallerini kullanmak için çeşitli memeler ve hava kapakları tercih edilir (Kahraman, 2000).

Toz alev spreyleme yöntemi ile karşılaştırıldığında daha yaygın bir kullanım alanına sahip olmasıyla birlikte oldukça ekonomiktir.

2.2.1.3 HVOF (High-Velocity Oxyfuel) Kaplama

Bu yöntemin Türkçe adı yüksek hızlı-oksi yakıt püskürtme tekniği olarak çevrilir. Bu yöntemde kullanılan propan ya da hidrojen gibi yanıcı gazlar yüksek basınç odasına gönderilerek yakılması sağlanır. Yüksek basınç odasındaki basınç yardımıyla partiküller ses hızının üzerindeki bir hızla kaplanacak malzemenin üzerine püskürtülür. Bu yöntemde genellikle 3000 Kelvin'in altındaki toz malzemelerin kaplanması uygulanır.

Diğer yöntemlere göre HVOF kaplamada alev hızı yüksektir. Dolayısıyla alev hızının yüksek olması sayesinde kaplama tabakası daha az gözeneklidir. Bundan dolayı ise kaplamanın bağ mukavemeti yüksektir. Yöntemin dezavantajları arasında diğer ısı kaplama sistemlerine göre maliyeti yüksek olması, alevin uzun mesafelere kadar etkili olması dolayısıyla malzeme yüzeyinin kimyasal özelliklerini değiştirmesi, plastikler gibi kolay eriyen malzemelerin kullanılamaması sayılabilir (Şekil 14).



Şekil 14: Hvof kaplama yönteminin uygulanışı (Yonar, 2009).

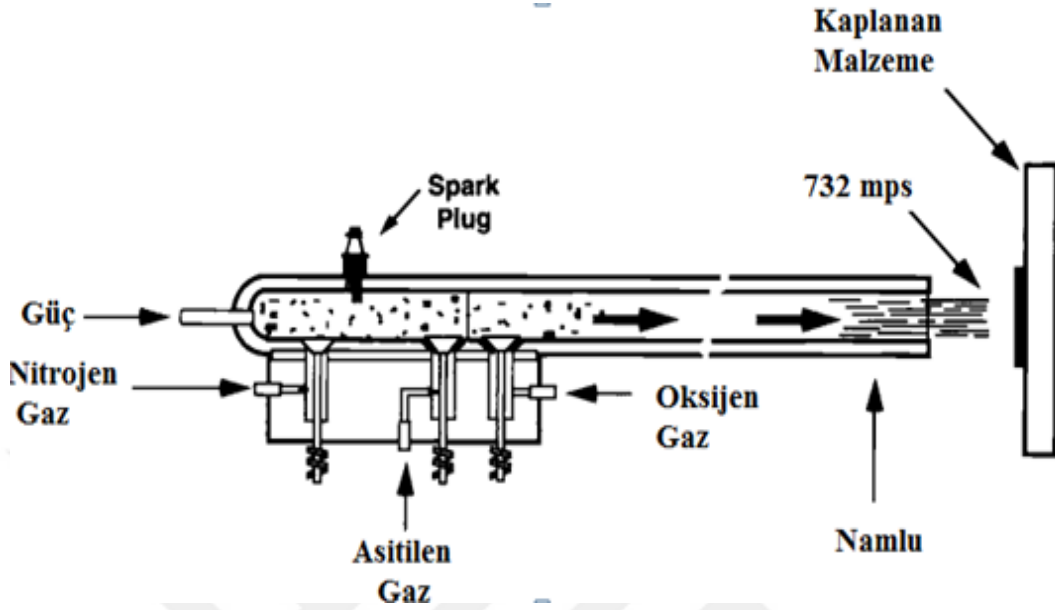
Bu yöntem genellikle aşınma ve erozyon direnci yüksek olması istenilen malzemelerde, özellikle WC, CrxCy ve süper alaşım kaplamalarda, uçakların türbin kanatçıkları, uzay ve uçak sanayinde, otomotiv sektöründe, kayıt endüstrisinde, aşınmaya maruz kalan şaftlarda, kimyasal rafineli tesislerin kazanlarında, nükleer reaktörlerde, tıbbi implant uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbür esaslı malzemelerin kaplamalarının oluşturulmasında HVOF sistemi yaygın olarak kullanılır (Zağlı, 2010).

2.2.2 Patlama Tabancası ile Sprey Kaplama

Bu yöntemde oksijen ile genellikle kullanılan yanıcı bir gaz olan, asetilen gazı kullanılarak 1 mm uzunluğunda ölçülere sahip bir kovan içine besleme tozu koyularak bir karışım oluşturulur. Bu karışım bir kıvılcım yardımıyla ateşlenir. Böylece kontrollü bir patlama gerçekleşir. Ve bu patlama namlu boyunca ilerler. Yüksek sıcaklık ve basınç yardımıyla namlu ucundan kaplanacak altlık malzeme yüzeyine doğru parçacıklar itilir. Çok yüksek yoğunluğu ve bağlama mukavemetine, düşük oksit içeriğine sahip olmasından dolayı bu kaplama yöntemi kullanışlıdır (Davis, 2004).

Bu yöntemde kaplamalar yüksek bağ mukavemetine, diğer kaplama yöntemlerine göre düşük gözenekli kaplama özelliğine sahiptir. Bu yöntemde en dikkat edilmesi gereken unsur ise, gazların kontrollü bir biçimde kullanılmasıdır. Kullanılmadığı takdirde metal ve

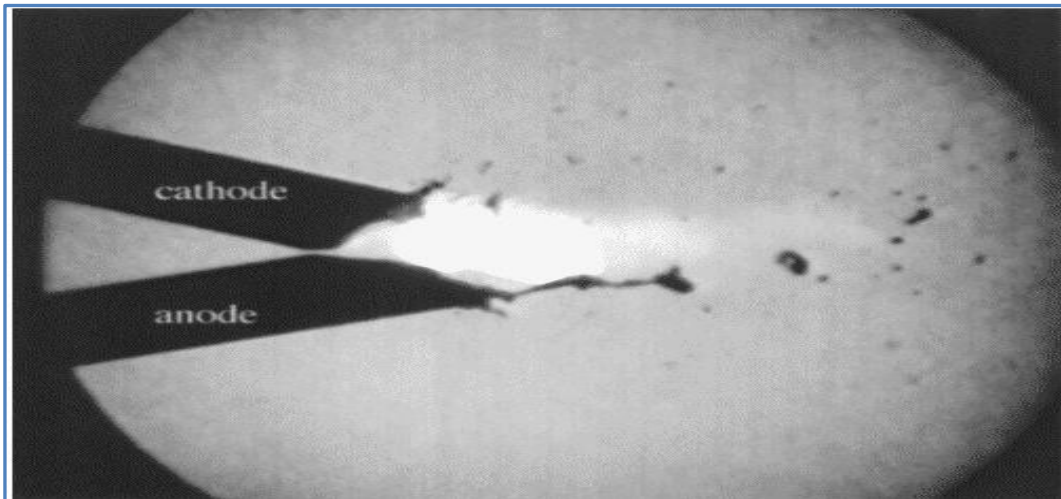
karbürlerin oksidasyonuna neden olur. Ekonomik, uzun ömürlü ve en zorlu uygulamalar için tercih edilir (Tucker, 1994).



Şekil 15: Patlama tabancası ile kaplama yanal kesiti (Tucker, 1994).

2.2.3 Elektrik Ark Sprey Kaplama Tekniği

Yöntem, yüksek akımlı enerji kaynağına iki harcanan telin bağlanmasıyla gerçekleşir. Teller tabancaya beslenilir. Tellerin birbirine temas noktasında bir ark meydana gelir. Oluşan bu ark sayesinde tellerin ucunu ergitilir. Basınçlı hava sayesinde ergimiş metal parçacıklar ayrılır ve kaplanacak malzeme yüzeyine püskürtülür (Kaptan 2012, Şekil 16).



Şekil 16: Elektrik ark püskürtme yönteminin şematik gösterimi (URL-1,2017).

Elektik ark püskürtme yönteminde giren bütün enerji Metali ergitmek amacıyla kullanılır dolayısıyla enerji etkinliği oldukça yüksektir. Yüksek hızlı hava jetleri tellerin kesişim bölgesi arkasında bulunmaktadır. Püskürtme hızını, birincil uygulanan akım, kullanılan malzemelerin ergime noktası, elektrotların iletkenliği gibi unsurlar etkilidir.

Bu yöntemde inert gaz kullanılarak kontrollü bir şekilde atmosfer oluşturabilir. Ayrıca sıcak gaz jeti doğrudan altlık malzemeye etki etmediğinden, altlık malzemenin sıcaklığı azdır.

Kullanılan teller, tel ile alev spreyleme yönteminde kullanılan tellere benzer olup, yöntem tel alev spreyleme yöntemi karşılaştırıldığında, çökme hızının yüksek olması, maliyetin düşük, kaplamanın oksit miktarının az ve yüksek bağ mukavemetine sahip olmasından dolayı bir takım üstünlüklere sahiptir.

2.2.4 Plazma Sprey Kaplama yöntemi Ve Plazmanın Tanımı

Alev sprej ve ark sprej kaplama yönteminden sonra plazma sprej prosesi geliştirilmiştir. 1960 yılların başında ise bu prosesle ilgili incelemeler daha bir önem kazanmıştır.

Plazma maddenin dördüncü halidir. İçeriğinde elektron, iyon, nötr atom, foton karışımını bulunduran karmaşık bir yapıya sahiptir. Elektrik ve ısıyı iyi iletir. Dış ortama karşı nötrdür. Yüksek sıcaklık ve enerji özelliklerine sahiptir.

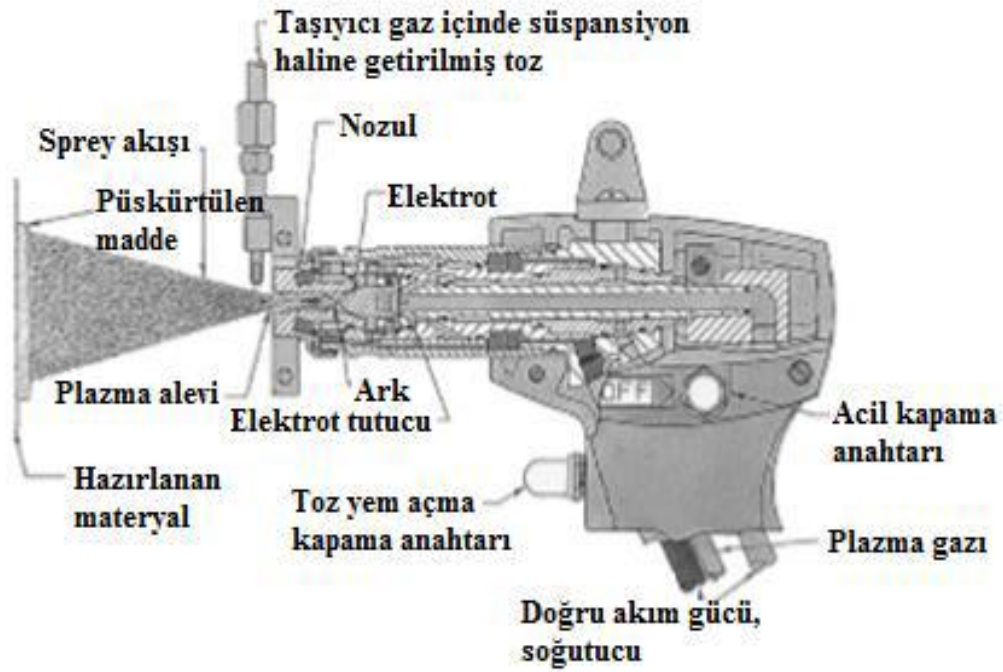
En yaygın olarak plazma elektrik enerjisiyle elde edilir. Bunun dışında manyetik, mekanik, ısı ve ışın enerjisiyle de plazma elde edilebilir (Islak ve Buytoz, 2011).

2.2.4.1 Atmosferik Plazma Sprey Kaplama

Ergimiş ya da yarı ergimiş metalik veya metalik olmayan malzemelerin, kaplanacak olan altlık bir malzemenin üzerine çökertilmesiyle oluşan termal sprej yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde altlık malzeme soğutma sistemleri sayesinde düşük sıcaklıklarda kalabilmektedir (Yeşildal ve Günay, 2007). Hava ile temas halinde uygulanabildiği için bu yöntemde atmosferik plazma sprej yöntemi denir. Bu yöntemde de plazma arkının sıcaklığından oluşan ısı sayesinde kaplanacak olan altlık malzemenin yüzeyi eritilir. Ark

plazma kuvveti yardımıyla su soğutmalı bakır borular içerisinde, plazma arkı elektrik arkının yoğunlaşmasını sağlar. Plazma kuvvetiyle doğru orantılı olarak arkın akış yoğunluğu da aynı miktarda doğru orantılıdır. Yoğunluğu artan ark sayesinde plazma sprej kaplama yöntemi, metallerin kesilmesi veya kaplanması amacıyla kullanılmaktadır (Kurbanoglu ve Özkavak, 2013).

Plazma prosesi bir takım ekipmanlardan oluşur. Bunlar plazma sprej kaplama tabancası, güç kaynağı sprej malzemesi gibi ekipmanlardır. Aşağıdaki Şekilde 17’de plazma sprej tabancası şematik olarak gösterilmektedir



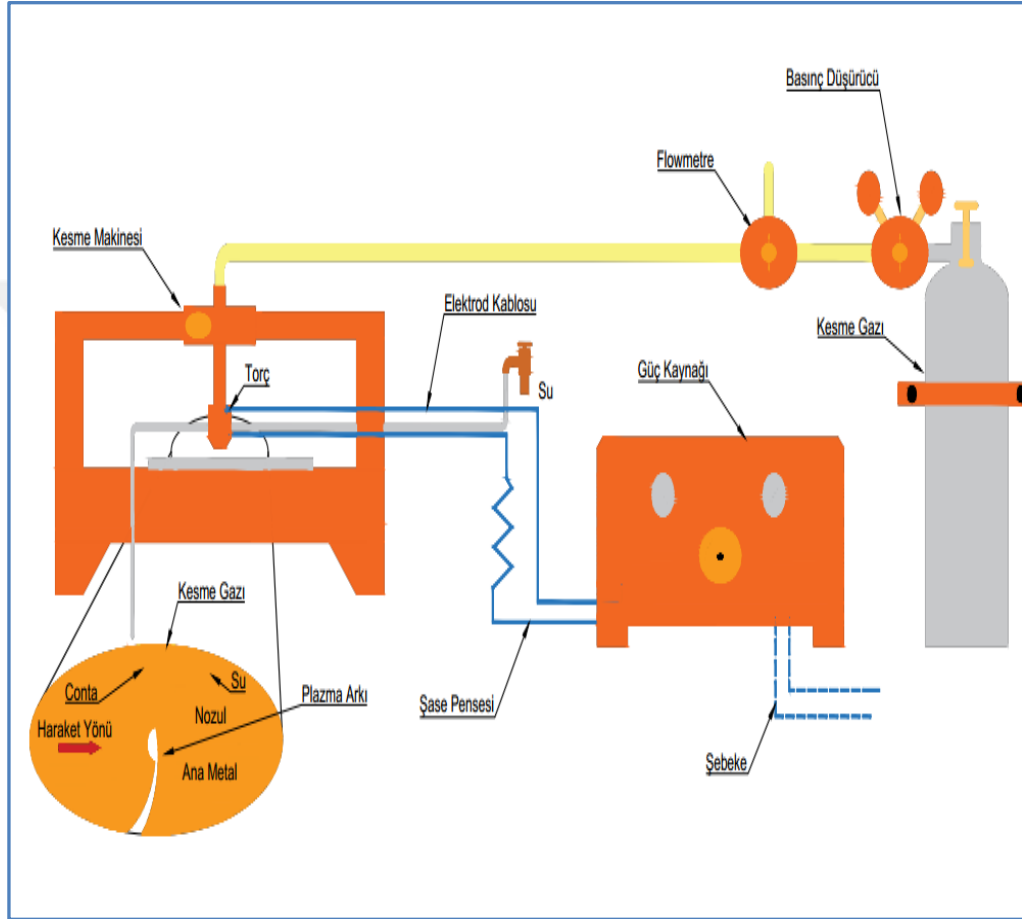
Şekil 17: Plazma sprej kaplama tabancası şematik gösterimi (Davis, 2004).

Plazma sprejinin ana düşüncesi maliyeti ekonomik olan düşük bir altlık malzemenin üzerine aşınma direnci yüksek ama bir o kadar da ince bir tabaka ile kaplaması esasına dayanır. Yöntemin prensibi ısı yardımıyla iyonize olmuş bir gazın içeriğinde bulunan erimiş toz şeklindeki malzemenin, yüksek sıcaklık ve hız yardımıyla kaplanacak olan altlık malzeme yüzeyine püskürtülmesine dayanır.

Sprej kaplama yönteminin kalitesini etkileyen en önemli parametreler arasında çevre koşulları, toz partiküllerin birbirleriyle etkileşimi, tozun şekli, tozun boyutu, plazma alevi ve alev hızı, tozun kimyasal bileşimi sayılabilir (Davis, 2004).

Plazma sprej kaplama makinesi birçok ünitenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu üniteler gaz ünitesi, toz besleme ünitesi, güç ünitesi, soğutma ünitesi, püskürtme ünitesi ve kontrol ünitesidir (Dorfman, 2012).

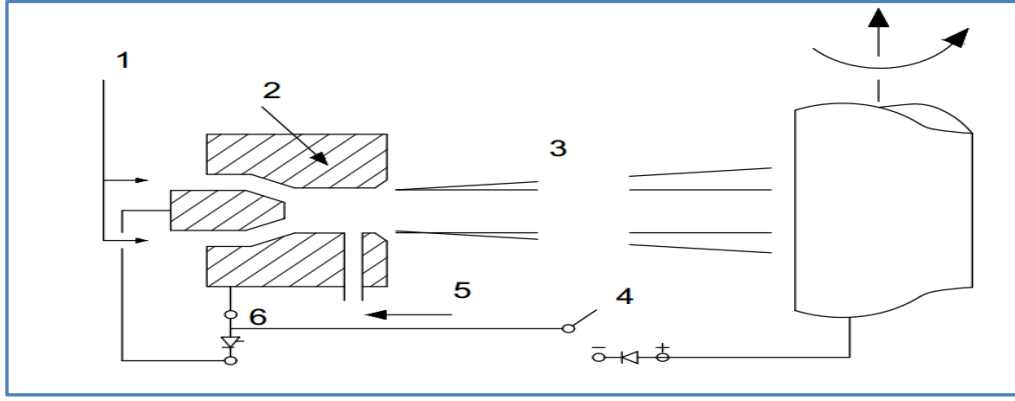
Aşağıdaki Şekil 18 'de plazma sprej kaplama prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 18: Plazma sprej kaplama yönteminin şematik gösterimi.

2.2.4.2 Vakum Altında Plazma Sprej Kaplama

Vakum altında plazma sprej kaplama yönteminin temelini ilk defa 1974 yılında E. Muehlberger isimli bir bilim adamı atmıştır. Atmosferik plazma sprej kaplama yönteminden farkı kaplamanın vakum altında gerçekleştirilmesidir. Bu yöntem atmosferik plazma sprej kaplama yöntemine göre oldukça çok zor bir yöntemdir. Çünkü vakumu oluşturmak ve oluşan bu vakumu sabit bir değerde tutma oldukça zordur (Davis, 2004). Aşağıdaki Şekil 19'da vakum plazma sprej kaplama yönteminin şematik olarak gösterilmektedir.

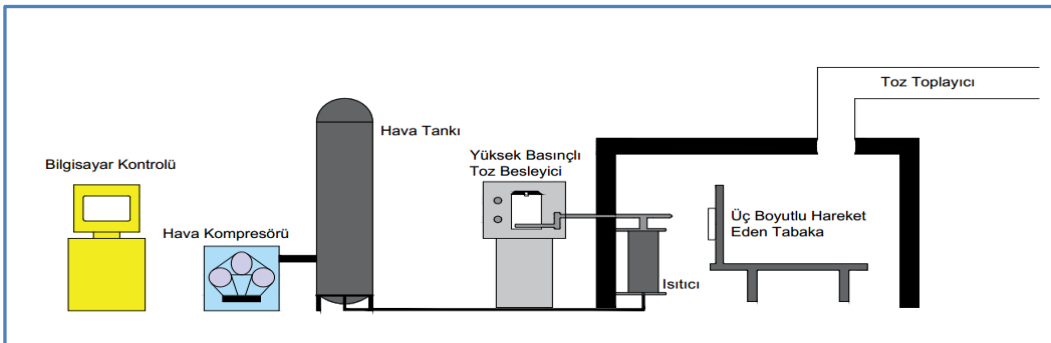


Şekil 19: Vakum plazma sprej kaplama yönteminin şematik gösterimi. 1) Çalışma gazlarının girişi, 2) Anot, 3) akım çemberi, 4) Ark üretici, 5) Toz giriş kısmı, 6) Plazma üretici.

Bu yöntemde vakum altında tozlar plazma jetine iletilerek kaplama işlemi gerçekleşir. Sistemde negatif kutbu ark, pozitif kutbu ise kaplanacak yüzeyin altlık malzemesini temsil eder. Burada arkın görevi, arkın ivme kazanmasıyla kaplanacak olan malzemenin yüzeyini temizlemesini aynı zamanda altlık malzemenin ısınmasıdır. Spreyde kutlanılan partiküllerin en önemli özelliği yüksek kinetik enerjiye sahip olmasıdır. Dolayısıyla kaplanacak olan yüzey bu yüksek kinetik enerji sayesinde düşük porozitelidir (Dorfman, 2012).

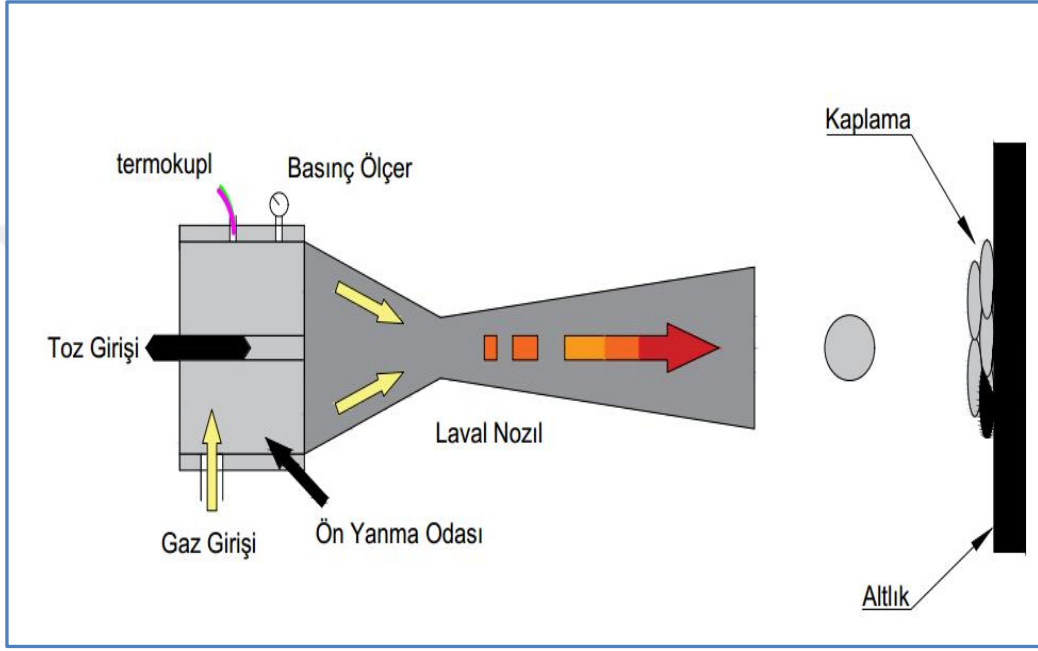
2.2.5. Soğuk Sprej Kaplama

Bir diğer ismi soğuk dinamik gaz sprej kaplamadır. Yöntem Rusya'da Profesör Anatolii Paapyrin ve arkadaşları tarafından 1980 yıllarda geliştirilmiştir. Bu yöntemle çok sayıda metal alaşımların, saf metallerin, polimerlerin ve kompozit malzemeler çeşitli altlık malzemeler üzerine kaplanmıştır. Aşağıdaki Şekilde 20'de soğuk dinamik gaz püskürtme tekniği için kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.



Şekil 20: Sgdp tekniği ekipmanlarının şematik gösterimi.

Yöntemim esası katı halde olan tozların herhangi bir ergime işlemine uğramadan malzeme yüzeyinde biriktirme işlemine dayanır. Yöntemin çalışma prensibi, genellikle kaplanacak olan 50 µm partikül boyutundaki tozlar sıkıştırılmış gaz yardımıyla yüksek hıza sahip gaz akımına iletilir. Ve bu sayede ses üstü hıza ulaştırılır. Yüksek hızda gaz akışı laval tipi nozul içerisinden geçirilmesiyle oluşur. Aşağıda laval tipi nozulün şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 21: Laval tipi nozulün şematik gösterimi.

Başlangıçta ayrı bir gaz akımı yardımıyla taşınan tozlar nozüle iletilir. İletilen bu tozlar ana gaz akımı ile birlikte hızlanır ve nozülden ayrılır. Ayrılan bu tozlar altlık yüzeye çarpar. Ses hızını geçerek yüzeye çarpan bu toz partikülleri plastik deformasyano uğrar. Ve böylelikle altlık yüzeye yapışır. Kaplama süresince tozlar altlık yerine yüzeye yapışan malzeme (kaplama) ile bağ oluşturmaya devam eder. Sonuç olarak altlık malzemesine iyi yapışan, homojen ve düşük poroziteli istenen kalınlıkta kaplama elde edilir (Yumuşak 2012).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR TARAMASI

Zhao vd. (2013) yaptıkları çalışmada düz karbonlu çeliğin yüzeyine atmosferik plazma spreyleme yöntemi yardımıyla amorf nano kristal kaplama yapmışlardır. Molibden bazlı kaplama ve tozun mikro yapısını karakterize etmek için X-ray diffraction (XRD) ve SEM 'den yararlanmışlardır. Vickers sertlik cihazını kullanılarak alt katmanın, kaplamanın ve ara yüzeyinin mikro sertlik profillerini çıkartmışlardır. Aşınma testlerini de plaka üstü pim tipi test makinasında ölçülecek parçanın, yük ve çizgisel hızlarını değiştirilerek gerçekleştirmişlerdir.

Aşınma testlerinin sonucunda, önceden hazırlanmış Mo-bazlı kaplamanın $Fe_{0.54}Mo_{0.73}$, Fe_3Mo , $Cr_9Mo_{21}Ni_{20}$, Fe_3B ve $Cr_{0.46}Mo_{0.4}Si_{0.14}$ fazlarından oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Mo-bazlı kaplamanın ortalama tanecik büyüklüğü 22-32 nanometre aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaplamanın yaklaşık 250 μm kalınlığında yoğun katmanlı bir yapı olduğu. Mo-bazlı kaplamanın yüzey sertliği 0.2 GPa olduğunu ve alt yüzeyin 8 katı kadar sertliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Kesişim alanının mikro sertliği kaplamadan, alt yüzeye azalarak değiştiğini ve Mo-bazlı kaplamanın aşınma direnci alt yüzeyin direncinden fazlasıyla iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zhao vd. (2013) atmosferik plazma spreyleme yöntemi ile gerçekleştirilen Mo-bazlı amorf nanokristal alaşım kaplamada hammadde olarak Mo-bazlı toz kullanılarak ürettikleri çalışma sonucunda bulunan detaylar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- a) Kaplamanın ana bileşenleri $Fe_{0.54}Mo_{0.73}$, Fe_3Mo , $Cr_9Mo_{21}Ni_{20}$, Fe_3B ve $Cr_{0.46}Mo_{0.4}Si_{0.14}$ fazlarıdır. Ortalama toz kalınlığı 22-32 nm'dir.
- b) Kaplamanın kalınlığı 250 μm olup yoğun bir yapıya sahiptir. Kaplama ve alt yüzeyin bağlanma bölgesi kusursuz bir ara yüz çizgisine sahiptir ve net bir şekilde görülebilmektedir. Kaplama deoksidizasyon olgusuna sahiptir, ancak lamelin sınırları oksitlenmiştir. Kaplamanın yüzey sertliği 9.2 GPa seviyesinde olup alt tabakanın 8

katı kadar yüksektir. Kesişim noktasının mikro sertliği kaplamadan alt tabakaya azalma eğilimindedir.

- c) Sürtünme katsayıları düz bir şekilde yük ve çizgisel hızın artmasına bağlı olarak azalmıştır. Hem sürtünme katsayısı hem de yekün kaplama kaybı alt tabakaya nazaran fazlasıyla iyidir. Mo-bazlı kaplama kuru kaydırma koşullarında mükemmel aşındırma direnci sergilemiştir.

Sampaio vd. (2016) yaptıkları çalışmada dişlerde ve ağızda çiğneme veya diş fırçalama sırasında abrazyon aşınmasına maruz kaldığını görmüşlerdir. Ayrıca Ti-bazlı protez veya implantlar üzerindeki aşınmanın, diş macununda var olan aşındırıcılar nedeniyle oluşabildiği düşünülmüştür. Bu nedenle PEEK ve Ti6Al4V abrazyon aşınması dirençlerinin üç cisimli aşınmasının farklı nemlendirilmiş silica zımpara yüzeylerinde karşılaştırmışlardır. Bunun için Ti6Al4V veya PEEK silindirlerinin yüzeyleri (8 mm çapında ve 4 mm yüksekliğinde) SiC kâğıtlar üzerinde ıslatılarak 1 milimetrelilik elmas macun ile parlatılmışlardır. Parlatıldıktan sonra yüzeyler önce 15 dakika propil alkol içinde sonra 10 dakika damıtılmış su içerisinde ultrasonik olarak temizlemişlerdir. Mikro ölçekli aşınma testlerini 600 bilye devrinde sonrasında 60 rpm'de farklı yükler kullanılarak (0.4 Newton, 0.8 Newton veya 1.2 Newton) test etmişlerdir. Ve bu testleri farklı ağırlıklardaki sulandırılmış silika içeren çözeltilerde gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları aşınma testleri sonucunda düz yüzeylerdeki aşınma izleri, SEM yardımıyla aşınma hacmi ölçülerek ölçeklendirmişlerdir. Deneyin sonucunda PEEK üzerindeki yüksek hacim kaybı oranının sulandırılmış silika süspansiyonu içeren 3 cisimli (three-body) aşınma testine tabi tutulduğunda Ti6Al4V üzerindeki oranla daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Her iki test malzemesinde de aşındırıcı madde veya yük artırıldığında hacim kaybının arttığı belirlenmiştir. PEEK, diş macunlarında yaygın olarak bulunan sulandırılmış silika partikülleri ile temasında mikro ölçekte aşınma miktarı bakımından Ti6Al4V'ye nazaran daha az dirençli olduğunu karakterize etmişlerdir. PEEK ve Ti6Al4V mikro ölçekli aşınma testlerinde damıtılmış su ve farklı özelliklerde silika süspansiyonlarda hazırlanmış karışım ile test edildiğinde PEEK'in Ti6Al4V'ye göre daha az direnç gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Hazırlanan aşındırıcı karışım miktarı ya da yük arttığında hacim kaybında artış her iki malzemede de belirlenmiştir.

Kamdi vd. (2011) malzemelerin abrasif aşındırıcı özellikleri birçok yöntemle test edilebildiğini, kullanılan test prosedüre bağlı olarak malzemelerin görelî performansları değişebileceğini düşünmüşlerdir. Bu nedenle geleneksel tungsten karbid-nikel ısıtılmış kaplama (karbid boyutu 0.3 ile 5 µm arasında) ile büyük karbid kürelerin üzerine lehimlenmiş Tungstenkarbid-nikel alaşım (karbid boyutu 50 ile 140µm çap arasında (DuraStell) malzemelerinin aşınma davranışlarını hem silika hem de alümina aşındırıcılar (boyutları 2-10 µm olan) ASTM G65 ve tekrar silika alümina çözücüler (180-300 µm boyutlu) yardımıyla mikro ölçekli aşınma testlerini incelemişlerdir. Yaptıkları aşınma testleri sonucunda aşındırıcı parçacıklar, sert fazdaki parçacıklar arasındaki serbest yol arasındaki ortalama mesafeye eşit veya daha büyük ise matris fazı sert faz ile iyi korunduğunu ve her iki test ile test edildiğinde, alümina aşındırıcı hem sert karbid fazında hem de matris fazında, hem termal spreylendirme hem de kaynak yüzeyinde daha düşük aşınma olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınma davranışına baktıklarında, endüstriyel uygunlukta silika aşındırıcı içindeki materyaller daha karmaşık olduğunu ve termal spreylendirme kaplamadaki materyallerin, kaynak katmanına kıyasla daha ince, abrasif testte ise mikro ölçekte ince güçlendirilmiş parçacık boyutundan dolayı matris üzerinde aşındırmaya karşı daha etkili koruma sağladığı için daha düşük aşındırma oranı sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Tersine iri taneli silika aşındırıcı (abrasive) kuru kum teker testinde (dry sand-rubber wheel test) büyük karbidlerin bulunduğu kaynak katmanı aşınma miktarı düşük matris koruması sağlarken, termal spreylendirme kaplama daha kırılğan mikro yapı içindeki çatlaklardan yıpranmıştır. Bu bulgular laboratuvarında uygun test koşullarının ve aşındırıcıların seçiminin, hizmet noktalarındaki malzemelere benzer davranışlarını canlandırabilmek adına ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

Hou vd. (2016) yaptıkları çalışmada atmosferik plazma püskürtme ve süpersonik atmosferik plazma püskürtme teknikleri yardımıyla ağırlıkça %1.5TiC (W/TiC) olan tungsten kaplamalar üretmişlerdir. Ürettikleri kaplamalarda kristal tanelerinin tipik katmanlı yapısının oluştuğu gözlemlemişlerdir. Ve genellikle lamel boşluklarında oksidasyon işle bağlantılı gözenekler gözlemlemişlerdir. Lamel boşluklarına dağılmış TiC fazı ve erimemiş tungsten parçacıkları etrafına dağılmış ve saçılmış atıklar kaplanmış parçacıklar veya kaplanmış atıklar lamel boşluklarındaki TiC ile bağlantılı olduğunu ve arta kalan TiC fazı kaplaması ve bağları, tungsten parçacıklarının kaplamalardan çıkmasını engellediğini görmüşlerdir. Süpersonik atmosferik plazma püskürtme yöntemi ile üretilen W / TiC' nin kaplamanın gözenekliliği ve oksijen içeriği, atmosferik plazma püskürtme

yöntemiyle üretilen W / TiC kaplamasının gözeneklilik ve oksijen içeriğine göre daha düşük olduğunu saptamışlardır. Kaplamaların mekanik özellikleri, H / E * oranına (H ve E * sırasıyla sertlik ve Young modülüdür.) bağlı olarak değiştiğini ve daha yüksek bir H / E * oranına sahip süpersonik atmosferik plazma sprej kaplama yöntemiyle üretilen W / TiC kaplamasının, daha küçük bir H / E * oranına sahip atmosferik plazma sprej yöntemiyle üretilen W / TiC kaplamaya kıyasla elastik kırılma ve kırılma dayanıklılığı konusunda daha yüksek performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Süper sonik atmosferik plazma spray ile üretilen W / TiC kaplamasının ısı iletkenliği, sertliği ve young modülü atmosferik plazma spray ile üretilen W / TiC kaplama ile karşılaştırıldıklarında daha yüksek olduğu ortaya çıktığını görmüşlerdir.

Wen vd. (2015) yaptıkları çalışmada süpersonik atmosferik plazma püskürtme ile üretilen NiCrMoY kaplamayı, aşınma direncini artırmak için vakumla yeniden ergitme uygulamışlardır. NiCrMoY kaplamalarının vakumla eritilmeden önceki ve sonraki mikro yapı, yüzey pürüzlülüğü, faz kompozisyonu, mikro sertliği ve aşınma direnci incelemişlerdir. Yaptıkları inceleme sonucunda, vakumla yeniden eritmenin plazma püskürtme kaplamasının kusurlarını (gözenekler ve çatlaklar gibi) ortadan kaldırdığını ve nispi yoğunluğunu ve mikro sertliğini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Bu arada, Cr₂B ve Cr₇C₃ fazları yeniden eritildikten sonra CrB ve Cr₂₃C₆'ya dönüşen toz haline getirilmiş kaplamada ve ayrıca yeniden eriyik kaplamada Ni₃B, Mo₂C ve NbC de dahil olmak üzere bazı yeni fazlar tespit etmişlerdir. Yeniden eritilen kaplamaların ortalama aşınma ağırlık kaybı, 11.88 miligramlık püskürtme kaplamasıyla karşılaştırıldığında, yaklaşık 1.34 miligram olduğunu ve bu kaplamaların aşınma direncinin vakumla yeniden eritme işlemi ile geliştirildiğini gösterdiğini belirlemişlerdir. Plazma püskürtmesi ile imal edilen Ni60-NiCrMoY kaplama, bazı gözenekler ve çatlaklara sahip tabakalı yapılar sergilediğini ve vakumda yeniden eritme sonrası işlem, püskürtme kaplamaların yoğunluğunu, tabakalı yapıların yok edilmesi ve kusurların iyileşmesi ile püskürtme kaplamaların yoğunluğunu arttırdığını ve ayrıca püskürtülen kaplamaların gözenekliliğinin, yaklaşık % 3,0 iken yeniden eritilmiş kaplamaların gözenekliliği % 0,1'den daha az olduğunu belirlemişlerdir. Ve kaplamaların daha yoğun hale getirilmesi ve yeni sert fazların (Karbürler) oluşması nedeniyle, yeniden eritilen kaplamaların mikro sertliği, püskürtülen kaplama ile karşılaştırıldığında % 4 arttığını tespit etmişlerdir.

Silva vd. (2011) mikro aşınma testleri yaygın olarak kullanıldığını ve Değişkenliğin kaynakları farklı yazarlar tarafından incelendiğini gözlemlemişlerdir. ve yaptıkları test şartlarını, silikon karbürü zımpara olarak adlandıran BS EN 1071-6: 2007 standardı ile parametrelendirmişlerdir. Bununla birlikte, diğer aşındırıcıların kullanımı mümkün olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada dört farklı aşındırıcı parçacığın üç benzer olmayan malzemelerinde (elmas, alümina ve silikon karbür kullanarak) testleri gerçekleştirilmişlerdir. Testleri, TiB₂ hard kaplamayla donatılmış bir çelik plaka üzerinde aynı koşullar altında gerçekleştirdiler. Her aşındırıcı için, ilk aşınma fenomenini anlamak için beş farklı test süresi kullanmışlardır Zımpara parçacıklarının bileşimi ve şeklini belirlemek için SEM ve EDS yardım almışlardır. Aşınma alanları, her birinin neden olduğu aşınma etkilerini anlamak için optik ve elektronik mikroskop ile gözlenmişlerdir. Aşınma geometrisi ve yivleri analiz ederek karşılaştırmışlardır. Her bir durum için aşınma katsayısı hesaplamışlardır. Elmas parçacıklarının iyi tanımlanmış ve dairesel aşınma izleri ürettiği gözlenmişler ve farklı silikon karbid parçacıkları, farklı parçacık şekli ve boyut dağılımının sonucu olarak farklı sonuçlar vermiştir. Bu çalışma sonrasında aşağıdaki gibi bir sonuç çıkarmışlardır:

Al₂O₃ aşındırıcı partiküller, test edilen kalan aşındırıcılarla karşılaştırıldığında düşük aşındırma göstermiştir. Bu, nispeten düşük sertliğe ve parçacıkların yuvarlak geometrisine bağlanabilir.

- a) Elmas partikülleri ile yapılan mikro aşındırma aşınma testleri iyi tanımlanmış kraterler gösterdi. Elmas yüksek aşındırıcılık gösterdi. Bununla birlikte, SiC parçacıkları F1000 ve F1200 tarafından üretilen kraterler elmas parçacıklarının oluşturduğu kraterlerden daha büyüktür;
- b) Bu çalışmada kullanılan SiC parçacıklarının heterojenliği, özellikle SiC F1000, mikro aşınma, aşınma testlerine zararlı olduğunu ortaya koymuştur; bu da tanımlanmamış kraterler ve yanal film ayrışmalarına neden olmuştur;
- c) Mikro aşınma aşındırıcı kraterlerin çapı ve dolayısıyla çıkarılan malzemenin hacmi, aşındırıcının sertliğinin çok önemli olduğu sonucuna varmamızı sağlar, ancak ciddi mikro aşınmaya katkıda bulunan tek faktör değildir: aşındırıcı

parçacıkların boyutu arttığında, mikro aşınma da aşındırıcının sertliğine kesinlikle bağlı kalmaksızın yükselir;

d) Yüksek sertlik ve düşük tanecik boyutuna sahip eş zamanlı aşındırıcılar kullanarak mikro aşınma testlerinde daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

Kovarik vd. (2015) yaptıkları deneylerde yüzey sıcaklığının W kaplamalarının integral (aralık) özellikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Bunun için farklı sıcaklıklarda alt tabakalara eşzamanlı birikim sağlayan soğutulmuş numune tutucu kullanmışlardır. Püskürtme işlemi atmosferik plazma spreyi (suyla sabitlenmiş torch) ve vakum plazma spreyi (RF indüktif olarak birleştirilen torch) ile gerçekleştirmişlerdir. Farklı hava spray parçacıkları elde etmek için vakum plazma spreyleri için üç meşale güç seviyesi kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde alt katman sıcaklığının; gözenekliliği, kaplama modülünü, birikintilerin sertliğini ve ısıl iletkenliği etkilediği gözlemlenmiştir. Diğer birikimler için, W oksitleri, yoğunlaşmış W fazı, erimiş hammadde partikülleri ve sıçrayan sıçramalar mevcut tüm yukarıda bahsedilen kaplama özelliklerinin değerlerini düşürmüş, diğer sıcaklıkları sabit tutarken farklı sıcaklıktaki alt tabakalara kaplamalar yapmayı sağlayan deneysel bir yöntem geliştirilmişlerdir. Dört adet W çökeltisi hazırlanmışlar ve W yoğunluğunda birikinti özellikleri ölçmüşlerdir ve ölçülen tüm kaplama özelliklerinin değerleri düştüğünü gözlemlemişlerdir. Optimum torç gücü uygulandığında, sadece düşük miktarda yoğunlaşma bulunmuş ve parçacığın erime durumu yoğun kaplama sağlamak için elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Bu püskürtme koşulunda, yüzey sıcaklığı, kaplamanın tane boyutu, sertliği, kaplama modülü ve ısıl iletkenliğini etkili bir şekilde kontrol edebildiğini tespit etmişlerdir.

Hwang vd. (2005) yaptıkları çalışmada, atmosferik plazma püskürtme yöntemi (APS) yardımıyla bronz ve Al-Si alaşım tozlarının karışımlandığı, saf Mo kaplama ve altı Mo karışımlı kaplama ile karışım elemanlarının aşınma direncine etkileri araştırmışlardır. Biri saf molibden tozu, diğerleri molibden tozları ile karışık bronz ve alüminyum-silikon alaşım tozları, molibden tozları ile karıştırılmış 3 çeşit spray tozu kullanılarak, düşük-karbon çelik üzerine püskürmüşlerdir. Kaplamaların mikroyapısal analizini incelediklerinde, püskürtme sırasında oluşan karışım fazlarının molibden matrisinde homojen olarak dağıldığını belirlemişlerdir. Yaptıkları aşınma testi sonuçlarına göre, artan

yük ile aşınma oranının arttığını ve kaplamalarının saf molibden kaplamaya kıyasla sertliği daha düşük olmasına rağmen, daha iyi aşınma direnci gösterdiğini göstermişlerdir. Özellikle, bronz ve Al-Si tozlarının Mo tozları ile harmanlandığı molibden karışım kaplaması, büyük miktarda sert Cu-Al fazları içerdiğinden en iyi aşınma direnci gösterdiği ortaya çıkmıştır ve yüksek sürtünme katsayısına sahip oldukları için senkronizasyon halkaları gibi otomotiv parçaları için de tercihen uygulanabilirliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları deneylerin diğer bir sonucunda, tüm kaplamalarda, aşınma yükü arttıkça sürtünme katsayısı azalmasına rağmen, kaplamanın aşınma oranının arttığını belirlemişlerdir. Mo karışım tozlarına ait kaplamaları bakıldığında, saf Mo kaplamadan daha düşük sertlik gösterdiğini, ancak kaplamaların ve muadili materyalin aşınma oranı önemli derecede düştüğünü ve sırasıyla, saf Mo kaplamaya oranla sırasıyla 1/2, 1/10 ve 1/2, 1 / 20 değerlerinde olduğunu belirlemişlerdir. Saf Mo kaplamaya baktıklarında, yüksek aşınma yüküne maruz kaldığından dolayı, kırılganlıkları nedeniyle splatların kırıklı bir yapı sergilediğini, splatlar arasında çatlamlar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu durum kaplamanın delaminasyonuna yol açtığını ve bu aşınma işleminde oluşan aşınma yıkıntıları aşındırıcı parçacıklar gibi davranarak kaplama ve karşıt malzemenin aşındırmasını hızlandığını görmüşlerdir. Buna bağlı olarak da saf Mo kaplama ve muadili materyalin aşınma oranlarının, Mo karışımı kaplamalardan daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Ve ayrıca bronz ve Al-Si tozlarının Mo tozları ile karışımlandığı Mo karışım kaplamalarında, iki toz eritilirken ve püskürtme sırasında, alt tabakaya çökeldiği sırasında sert Cu-Al fazları oluştuğuna ve bu sert fazlar, oluşan kaplamanın sertliğinin ve aşınma direncinin arttırılmasına katkıda bulunduğunu belirlemişlerdir. Daha büyük miktarlarda bronz ve Al-Si tozları ile imal edilen kaplamalarda ise, daha sert miktarda Cu-Al fazı içermesi nedeniyle en iyi aşınma özelliklerini gösterdiğini ve nedenle senkronizör halkaları gibi otomotiv parçalarına en yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu için tercihen uygulanabilir olduğunu belirlemişlerdir.

Cozza vd. (2011) normal ve teğetsel kuvvetleri izlemek için bilyeli krater aşınma testleri deneyleri uyguladılar. Bunun için 52100 çelik topları, H10 alet çeliğinin bir örneği ve silisyum karbür parçacıkları ve damıtılmış su ile hazırlanmış bir aşındırıcı bulamaç kullanmışlardır. Aşınmış kraterlerin optik mikroskopla incelediklerinde, sadece yiv aşınmasının varlığına rastlamışlardır. Bununla birlikte, SEM ile yapılan daha ayrıntılı bir analiz yapmışlardır. Bu analizin sonucunda yivler boyunca farklı derecelerde yuvarlanma(Rolling) aşınması meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sonuçlar ayrıca

normal kuvvetin, sürtünme katsayısının değerlerinin dağılımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Özet olarak yaptıkları bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- a) Aşınmış kraterlerin optik mikroskobu analizi sadece yiv açma aşınmasının varlığına işaret etmiştir. Bununla birlikte, SEM ile yapılan daha ayrıntılı bir analiz, yivler boyunca farklı derecelerde haddeleme aşınmasının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu aşınmaya mikro silindir aşınma denilmiştir.
- b) Mikro-haddeleme aşınmasının derecesi, normal kuvvetteki bir artış ile azalmıştır.
- c) Sabit normal kuvveti ile gerçekleştirilen mikro aşındırıcı aşınma testleri arasında ve sırasında sürtünme katsayısının değeri değişkenlik göstermiştir. Sürtünme dağılma miktarı, normal kuvvetin değerinde bir artış ile azalmıştır; buda döndürülen parçacıkların sayısı ile temas sırasında kayan parçacıkların sayısı arasındaki farkın farklılıklarıyla ilişkili olabildiğini ortaya koymuştur.
- d) Değişik konfigürasyonlarda aşındırma partiküllerinin farklı tip ve / veya ebat ve / veya şekillerinin kullanıldığı aşınma testlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması zor olduğu belirlenmiştir.

Hwang vd. (2004) yaptıkları çalışmada otomotiv parçaları için geçerli olan çeşitli molibden karışım kaplamalarının mikroyapı ve aşınma direnci arasındaki ilgisini araştırmışlardır. Bir tanesi saf molibden tozu ve diğerleri pirinç olan, bronz ve molibden tozlu alüminyum alaşımlı tozların karışımları olan beş tane türü olan püskürtme tozu, atmosferik plazma püskürtme (APS) ile düşük karbonlu bir çelik yüzey üzerine püskürtmüşlerdir. Kaplamaların mikroyapısal analizini incelediklerinde, uzunlamasına sıçramalarla oluşturulan kavisli bir tabakalı yapıdan oluştuğunu ve püskürtme esnasında molibden matrisinde homojen bir şekilde dağılan sert fazların oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan deneylerin sonucunda, karışım kaplamaların saf molibden kaplamaya kıyasla daha iyi aşınma direnci gösterdiğini ortaya koyduğunu, bunun nedeni ise bir dizi sert faz içermesi olarak belirlemişlerdir. Özellikle, molibden kaplaması bronz ve alüminyum alaşımlı tozlar ve karşılık gelen malzeme ile karışımlanmış, $CuAl_2$ ve Cu_9Al_4 gibi sert fazların varlığı

nedeniyle mükemmel aşınma direnci gösterdiğini görmüşlerdir. Kaplama ve karşı malzeme için genel aşınma özelliklerini geliştirmek ve kaplamalarda sert fazlar oluşturmak için uygun püskürtme tozları molibden tozlarıyla harmanlanmışlardır. Mo karışım kaplamaları, hem saf Mo kaplamalardan hem kaplama hem de mukabil malzeme içinde daha düşük bir sertlik ve önemli ölçüde daha düşük bir aşınma oranı sergilediğini belirlemişlerdir ve durumda, sürtünme katsayısı azalmasına karşılık, kaplamaların ve mukabil malzemenin aşınma hızının yük arttıkça arttığını gözlemlemişlerdir. Bronz ve Al-Si tozları ile Mo karışım kaplamalarında, kaplama sertliği ve aşınma direnci diğer karışım kaplamalardan daha olduğunu ve eşdeğer aşınma oranı daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Sürtünme katsayısı üzerine birçok çalışma literatürde mevcuttur, ancak Balya kraterli ile yapılan mikro aşındırıcı aşınma testlerinde sürtünme katsayısı üzerine yalnızca birkaçı gerçekleştirilmiştir.

Cozza vd. (2013) yaptığı çalışma olan bilya kraterli mikro aşındırıcı aşınma testlerinde, sürtünme katsayısı ve aşınma katsayısı üzerine titanyum nitrür (TiN) ve titanyum karpit (TiC) kaplama sertliğinin etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Bunun için deneylerde AISI 52100 çelikten bir yuvarlak şeklinde malzeme ve TiN ile kaplanmış ve Ti ile kaplanmış AISI D2 çeliğinden iki numune kullanmıştır. Aşındırıcı bulamaç içinde siyah silisyum karbid (SiC) parçacıkları ve damıtılmış su ile hazırlamıştır. Deneyde iki normal kuvvet ve altı kayma mesafesi tanımlamıştır ve normal ve teğetsel kuvvetler, tüm testler sırasında sürekli olarak izlendi. Uygulanan kuvvete paralel yöndeki numunenin hareketi de elektronik bir doğrusal cetvel yardımıyla sürekli olarak izlemiştir. Böylelikle krater geometrisinin ve de dolayısıyla testi durdurmaya gerek kalmadan farklı kayma mesafeleri için aşınma katsayısının hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Sürtünme katsayısı, teğetsel ve normal kuvvetler arasındaki oran ile belirlemiştir ve hem TiN hem de TiC kaplamaları için değerler yaklaşık olarak aynı aralıkta kalmıştır ($\mu = 0.4$ ila $\mu = 0.9$). Öte yandan, aşınma katsayısı, kaplama sertliğinde artış ile birlikte azaldığı gözlemiştir. Yaptığı bu çalışmanın sonucunda kaplamaların sertliğinin sürtünme katsayısı değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığını; Bunlar $\mu = 0.4$ ila $\mu = 0.9$ arasında olan değerlerin ortalama değerleri 0.6 ile 0.74 arasında aynı aralıklarda kalmışlardır. Ayrıca, "AISI D2 takım çeliği + TiN" ve "AISI D2 takım çeliği + TiC" için sürtünme katsayısı eğrileri, kaplamaların hassasiyetinden bağımsız olarak pratikte aynı davranışları sergilediği görülmüştür. Ayrıca deney sonucunda TiN kaplı numune (daha yüksek sertlik), TiC kaplı numuneden daha düşük aşınma katsayısı değerleri) sergilemiştir. Kaplamanın aşınma katsayısı açısından

farkı, ya TiC kaplamanın daha yüksek kalınlığı ya da daha düşük sertliği ile ilişkilendirilebilir. Mikro ölçekli aşınma testi son zamanlarda, hem ince aşınmaya dayanıklı kaplamalar hem de monolitik malzemelerin incelenmesi için ideal bir test olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte deney verilerinin yorumlanmasına özen gösterilmesi gerekir, aksi takdirde test koşullarındaki değişiklikler veya hatta test edilen malzeme testteki aşındırıcı parçacıkların davranışını radikal bir şekilde değiştirebilir. Örneğin yüksek yüklerde, aşınma direncinin bir ölçüsü olarak testi etkili bir şekilde geçersiz kılan sırt oluşumu gözlemlenebilir. Bununla birlikte düşük yüklerde parçacıkların temas yüzeyi üzerinde bazı durumlarda yuvarlandığı bazı durumlarda da kaydığı gözlenmiştir; bu tip parçacık hareketindeki değişiklikler aşınma hızlarının kıyaslanmasını zorlaştırmaktadır.

Shipway (2004) yaptığı çalışmada, parçacığın yükü desteklediği yerde birbirine yüklenen iki yüzey arasında bir parçacığın hareket şeklini öngören mekanik bir model sunmaktadır. Bu Williams ve Hyncica'nın ilk çalışmalarında sıvı filmin kendisinin yükü desteklediği yağlanmış bir kontakten geçen parçacıkların problemi ile tersidir. Parçacığın şekli, paralelkenar kesiti olan bir prizma olarak kabul edilmiştir. Bu basit varsayımla bile, parçacık şeklinin parçacık hareketi üzerinde güçlü bir etki yarattığı gözlemlenmiştir. Modelin deneysel gözlemlerden türetilen parçacık şekilleri ile çalışmasına izin vermek için daha fazla çalışma gerekmektedir. Parçacıkların davranışı, aşınma sistemini tanımlayan bir dizi parametrenin bir fonksiyonu olarak haritalanmış ve böylece bu parametrelerin parçacık hareketi üzerindeki etkisi belirlenmiştir (parçacık başına uygulanan yük, parçacık şekli, iki yüzeyin sertliği, partikül ile yüzey arasındaki kayma sürtünme katsayısı). Modelin parçacık sürgüsüne (oluk açma) neden olacağı öngörülen yükler ile literatürden deneysel veriler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır; parçacıkların şekli, temas bölgesinin parçacık konsantrasyonu ve sürtünme katsayısı yapılması gerektiği varsayımları olmakla birlikte, model ve deney sonuçları uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca yaptığı çalışma sonucunda, literatürde bildirilen mikro ölçekli aşınma testinden elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında, davranışta gözlemlenen eğilimlerin model tarafından öngörülmüş olduğu ve kaymanın pratikte meydana geldiği gözlemlenen kuvvetin, model tarafından öngörülenle aynı büyüklükte olduğunu görmüştür. Model kayan yüzeydeki sürtünme katsayısı ve parçacık şekli gibi faktörlerin parçacık hareketi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Yuan vd. (2011) yaptıkları çalışmada, aşınma uygulamalarında kullanılan katı yağlayıcı Cu ve MoS₂ içeren koruyucu WC-Co esaslı kaplamalar araştırmışlardır. Bu kaplamalar, atmosferik plazma püskürtme (APS) yöntemi ile sade karbonlu çelik yüzeylerde biriktirmişlerdir. Bu kaplamalar, besleme stoğu tozları, katı yağlayıcı tozlar ile WC-Co tozunun mekanik olarak karıştırılması ve bunu takiben plazmada farklı partikül iletim yörüngelerinden kaçınmak için karışımların ezilerek sinterleme yöntemiyle hazırlamışlardır. Kaplamaların paslanmaz çelik numunelere karşı tribolojik özelliklerini normal atmosfer koşullarında disk üzerinde top (BOD ball-on-disk) tribometre yöntemiyle incelemişlerdir. Besleme tozundaki MoS₂ bileşiminin WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalarında tutulduğunu ve APS prosesinde WC'nin ayrışma ve dekarbürleşmesinin iyileştiğini ve bu durumun Cu'nun çevrelerindeki korunumu ile ilişkili olduğu bulmuşlardır. Tüm WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalarının sürtünme ve aşınma davranışları WC-Co kaplamanın sürtünme ve aşınma davranışından daha üstün olduğunu ve bunun nedeni ise WC-Co kaplama ve WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalar için çalışan farklı aşınma mekanizmalarıyla ilişkilendirmişlerdir. Bir seri WC-Co-Cu-MoS₂ kaplaması da, atmosferik plazma püskürtme ile WC-Co, Cu ve MoS₂'den oluşan ev yapımı besleme stoğu tozları kullanılarak oluşturmuşlardır. SEM, XRD, EDS ve WDS ile elde edilen sonuçlara göre MoS₂ bileşiminin WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalarında homojen olarak dağıldığını belirlemişlerdir. WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalarındaki düşük dereceli WC ayrışma ve dekarbürizasyon, Cu'nin korunmasına atfedilmiştir. MoS₂'nin sürtünmeyi azaltıcı etkisi nedeniyle, WC-Co-Cu-MoS₂ kaplamalar WC-Co kaplamaya kıyasla daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Kompozit kaplamaların malzeme kaybı esasen bir aşındırıcı aşınma mekanizması tarafından yönetilirken, aşınma oranı WC-Co kaplamasındaki yorulma aşınması mekanizması tarafından yönetilmiştir. Kompozit kaplamalardaki yağlayıcı içeriğinin artmasıyla birlikte, ardışık ve yoğun bir tribo reaksiyon oluşturuldu ve bir yağlayıcı olarak hareket ettirildi. Bununla birlikte, fazla tribo reaksiyon ürünü aşındırıcı olarak davrandı ve sürtünme işlemi sırasında daha yüksek aşınmaya yol açmıştır. Bu ön çalışmadaki sonuçlar, kendinden yağlamalı özellikli WC-Co kaplamanın öngörülen birikiminin uygulanabilir olduğunu ve nihai kaplamanın daha yüksek kayma aşınma direnci gösterebileceğini göstermiştir.

Ghadami vd. (2015) yaptıkları çalışmada, yumuşak çelik yüzeyler üzerine WC-Co karışımından oluşan tozları, atmosferik plazma püskürtme yöntemi ile kaplamışlardır. Kaplanan numuneler daha sonra tungsten inert gaz (TIG) yöntemi ile yüzey eritme

işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra püskürtme ve yüzey eritilmiş numunelerin mikroyapı, faz değişiklikleri, mikrosertlik ve aşınma özellikleri araştırmışlardır. Araştırma sonucunda yüzey eritişi, W_6Co_6C ve Fe_6Co_6C karbürleri ile birlikte tungsten açısından zengin dendritler içeren kalın tabakaların oluşumuna rastlamışlardır. Erime tabakasının sertliği, 1250 Vicker sertliğine kadar yükselirken, püskürtülen tabaka sertliği maksimum 900 Vicker olmuştur. Sonuç olarak, püskürtülmüş WC-Co kaplı numuneler, yüzey erimiş numunelerinkine kıyasla nispeten daha yüksek bir aşınma hızı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca Püskürtülen WC-Co kaplamaları, WC ve W_2C karbürlerden ve kobalt, tungsten ve karbonun amorf fazlarından oluşmaktadır. WC-Co kaplı numunelerin TIG yüzeyinde eritilmesi, mikroyapısını homojenize ederek ve yapısal gözeneklerin çoğunu ortadan kaldırarak kaplanmış katmanın kalitesini geliştirmiştir. Aynı zamanda püskürtme tabakası ve alt tabaka arasında metalürjik bağ oluşturmuştur. Yüzey eritme işlemi sırasında, dendritik yapı oluşturmak için yüzeyden gelen demirin WC-Co kaplama bileşimi ile karıştırıldığı gözlenmiştir. TIG yüzey eritme işleminden sonra, eş-zengin matris fazında WC ve W_2C karbürlerin çözünmesi ve aynı zamanda kaplama tabakasının ana metal ile karışması, Co_6W_6C , Fe_6Co_6C karbürlerin eritilmiş katmanda Co_3Fe_7 intermetalik faz ile birlikte oluşmasına ve bunun sonucunda da sertlik ve aşınma direncinde artışa neden olduğunu belirlemişlerdir.

Yuan vd. (2010) WC-Co, Cu ve BaF_2 / CaF_2 ötektikten oluşan ev yapımı hammadde tozlarını kullanarak atmosferik plazma püskürtme (APS) işlemi vasıtasıyla umut verici bir WC-Co-Cu- BaF_2 / CaF_2 kendiliğinden kaygan (yağlamalı) aşınmaya dirençli kaplama hazırlamışlardır. Hazırlanan sermet kaplamaların WC-Co kaplama ile karşılaştırıldığında daha iyi sürtünme davranışı olduğu görmüşlerdir. Üstelik APS sürecinde WC'nin sıklıkla meydana gelen dekarbürizasyonu, sadece etkili katı yağlama sunmakla kalmayıp, aynı zamanda mikro yapıyı düzeltmek için oluşan bağ fazlarını ve ayrılmış WC'yi de bozunan bakır ve BaF_2 / CaF_2 fazının bağlanması nedeniyle belirgin bir şekilde geliştiğini belirlemişlerdir. Optimize edilen numune, mükemmel sürtünme ve aşınma performansına sahip olan bir ağırlıkça %10 Cu ve ağırlıkça % 10 BaF_2 / CaF_2 içeren bir WC-Co matrisi içermesi sağlanmıştır. WC-Co-Cu- BaF_2 / CaF_2 kaplamaların WC-Co kaplamaya kıyasla daha yüksek aşınma direncine sahip oldukları gösterilmiştir. Bir bağlayıcı faz olarak bakır ve BaF_2 / CaF_2 , plazma püskürtme işleminde WC parçacıklarının ayrışma ve dekarbürleşmesini büyük ölçüde önlenmiş ve kaplamalarda bir yağlayıcı gibi davranmıştır. 80W10C10F kaplama aşınma hızı ve sürtünme katsayısı sırasıyla yaklaşık $1,3 \times 10^{-5}$

$\text{mm}^3\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$ ve 0.02 olan mükemmel aşınma direnci sergilemiştir. Kayma sırasındaki kompozit kaplamaların aşınma kaybı, ağırlıklı olarak aşındırıcı bir aşınma mekanizması nedeniyle meydana gelirken, WC-Co kaplaması bir yorulma aşınması mekanizmasından kaynaklandığını belirlemişlerdir.. Bu araştırmadaki kompozit WC-Co-Cu-BaF₂ / CaF₂ kaplaması, yüksek yoğunluk, düşük sürtünme katsayısı, düşük aşınma kaybı özelliklerine sahip olan ve kendini yağlayan aşınmaya dayanıklı bir malzeme olduğu görülmüştür.



BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1 Amaç

Bu çalışmada yüzeyi wolfram karbür ve molibden tozları ile kaplanan AISI 1020 çeliğinin abrasiv ve adhesive ortamdaki aşınma davranışları incelenmiştir. Mikro-abrasyon deney yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen abrasyon testlerinde aşındırıcı partikül konsantrasyonunun aşınma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Pin on disk yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen testlerde numunelerin adhezyon aşınma davranışları incelenmeye çalışılmıştır.

4.2 Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan AISI 1020 çeliğinin ve kaplama tozlarının karakterizasyon sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 1020 çeliğinin ve kaplama tozlarının karakterizasyonu.

Fe	Ni	Mo	C	Si	Cr	Mn	Diğer
93,6	3,82	0,42	0,2	0,21	0,6	0,34	0,81

4.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması ve Kaplanması

Yüzeyi kaplanacak numuneler 30 mm çapında ve 5 mm kalınlığında hassas kesme cihazında kesilmişlerdir. Kesme işleminden sonra numunelerin kaplanacak yüzeylerine yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmıştır. Yüzeyi pürüzlendirilen numuneler Tablo 2 de verilen şartlar altında Atmosferik Plazma (APS) yöntemi kullanılarak WC ve Mo tozları ile kaplanmıştır.

Tablo 2. Kaplama parametreleri.

Arc flow rate	80–100 l/min
Arc pressure	0.689 MPa
Auxiliary gas flow rate	5–15 l/min
Auxiliary gas pressure	0.345 MPa
Spray rate	2.7–6.8 kg/h
Arc voltage	61–68 V
Arc current	400–600 A
Spray distance	70–100 mm

4.4 Kaplama Kalınlığı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması

Kaplama işlemi sonrasında numunelerin kaplama kalınlıklarını belirleyebilmek için ortalarından hassas kesme cihazı ile kesilerek bakalite alınmış ve 80 mesh'den 1200 mesh'e kadar zımparalanmış, sonrasında 6 µm ve 1 µm'lik elmaspasta ile parlatılmıştır. Sonrasında numunelerin kaplama kalınlıkları Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir.

4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Numunelerin kaplama kalınlıklarını ve aşınma testleri sonucunda oluşan aşınma mekanizmalarını belirleyebilmek için SEM mikroskobundan ve bu mikroskoba adapte edilmiş olan EDX ünitesinden faydalanılmıştır. Ayrıca mikroabrasyon ve adhezyon deneyleri sonucunda meydana gelen aşınma kayıplarını tespit edebilmek için 3D profloetre mikroskobundan faydalanılmıştır.

4.6 Sertlik Ölçümlerinin Yapılması

Numunelerin mikrosertlik deneyleri, Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı ile 10 sn süre ve 100 gf yük kullanılarak yapılmıştır. Doğru bir sertlik değerinin elde edilebilmesi için, kaplama tabakası kesit yüzeyinden eşdeğer uzaklıktaki noktalarından 3'er adet sertlik ölçümünün aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen bu değer o noktanın değeri olarak verilmiştir.

4.7 X ışınları Analizi

Kaplama tabakasında oluşan fazları belirlemek amacıyla Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü XRD cihazı kullanılmıştır.

4.8 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin uygulanması

Mikro-abrasyon deneylerinde 1" (25,4mm) çapında AISI 5210 (100Cr6) rulman çeliği kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak 800 mesh boyutunda ve SiC aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Bilya şaft hızı olarak 90 d/dk seçilmiştir. Ayrıca aşınma testi sonrası yüzeylerde meydana gelen aşınma izleri SEM Mikroskobu kullanılarak tespit edilmiştir.

Sabit top mikro-abrasyon test yönteminde, bilya belirli yükler altında numune üzerinde hareket eder. Bilyaların numune üzerinde oluşturduğu dairesel kesitli iz SEM veya optik mikroskop altında ölçülerek, elde edilen değerler ile belirli eşitlikler kullanılarak hacim kaybı hesaplanmakta ve numunenin aşınma dayanımları belirlenmektedir.

4.9 Kuru Kayma Aşınma Testinin uygulanması

Kuru-kayma aşınma testleri oda sıcaklığında 6 mm çapında tungsten karbür bilya kullanılarak Ball-on-disk tribometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sert karbür bilyanın sertliği 19 GPa'dır. Yüzeyi kaplanmış numuneler deney cihazının döner tablasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Aşınma testleri oda sıcaklığında 3N, 5N, 7N ve 10 N yük altında (0.05 m/sn) kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyleerin geçerliliğini arttırabilmek için her bir deney 3 defa gerçekleştirilerek ortalama değer alınmıştır. Aşındırma işleminden sonra numunelerin hacim kayıplarını belirlemek için aşınma oluşunun kesit görünüşünden 3D profil metre ile kesit yüzeyin görüntüsü alınmıştır. Aşınma sonucunda meydana gelen çember üzerinde 90 derecelik açılarla toplamda 4 bölgenin kesit yüzeyi alınmıştır.

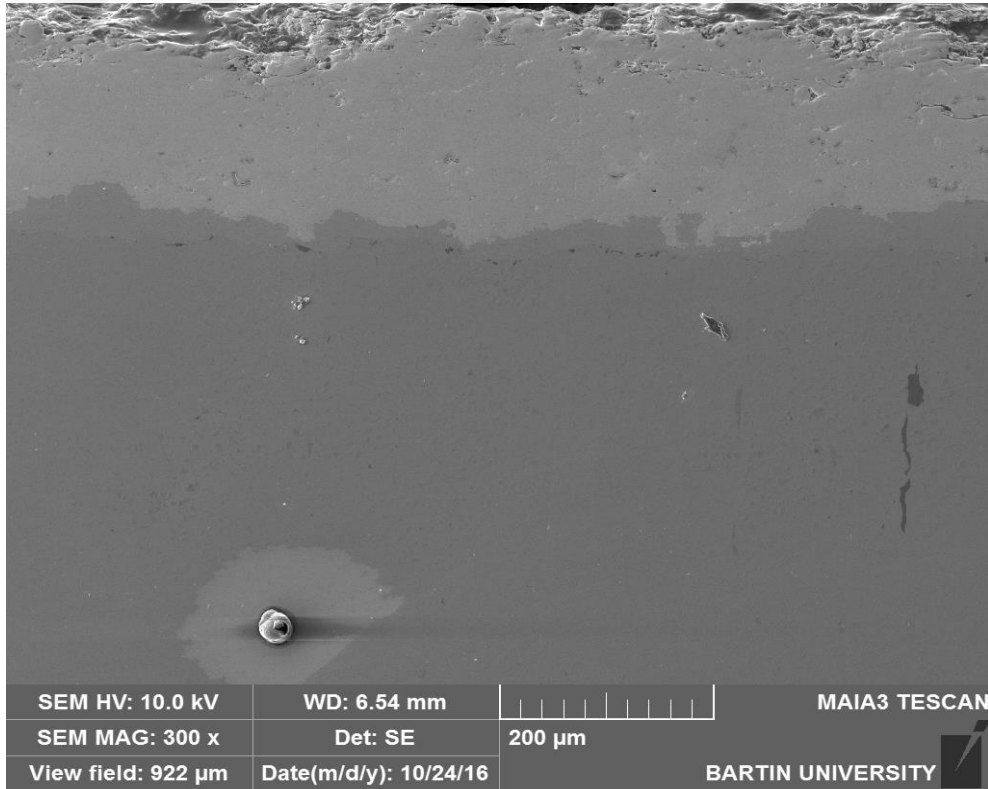
BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

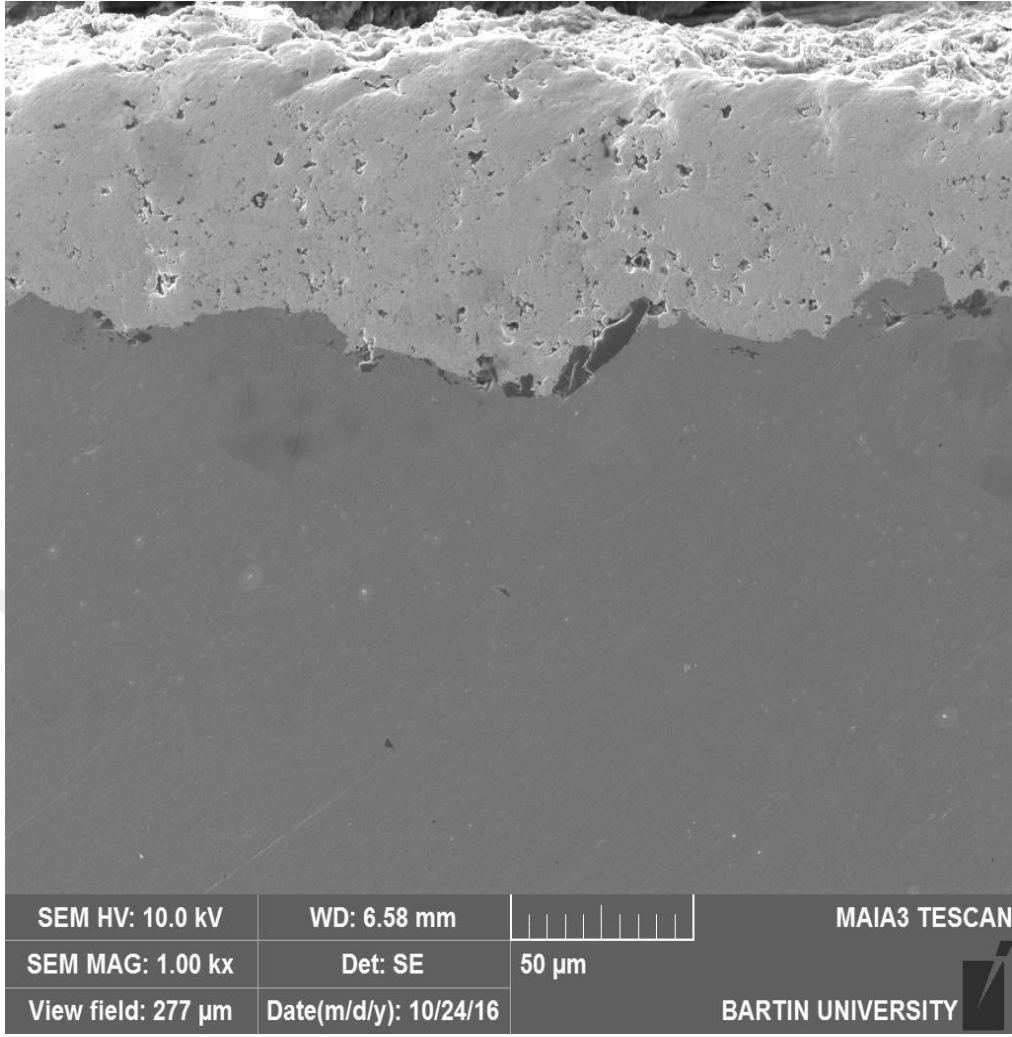
Bu çalışmada WC ve Mo tozları APS yöntemi ile AISI 1020 çeliği üzerine kaplanarak abrasiv ve kuru-kayma şartları altında aşınma davranışları incelenmiştir. Bilim adamları tarafından benzer yöntem ve malzemeler ile yapılan birçok yayın bulmak mümkündür. Ancak bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılan kısmı ise aşınma ile birlikte aşındırıcı partikül oranının aşınma üzerine nasıl bir etki yaptığını belirlemek ve kuru-kayma aşınması (adhesiv) ile aralarındaki ilişkiyi belirleyebilmektir.

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

5.1 Yüzeyi APS Yöntemi ile Kaplanan Numunelerin SEM Kesit Görüntüsü

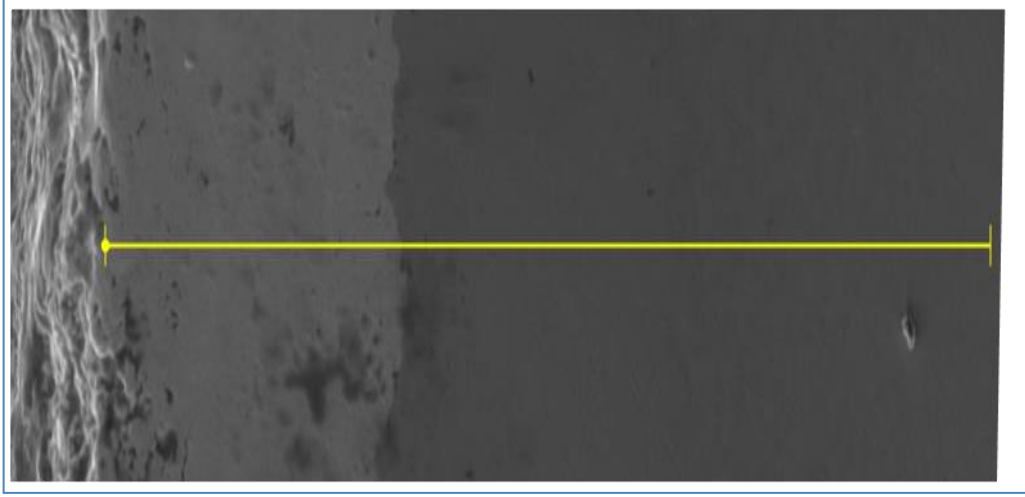


Şekil 22: APS yöntemi ile yüzeyi Mo tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

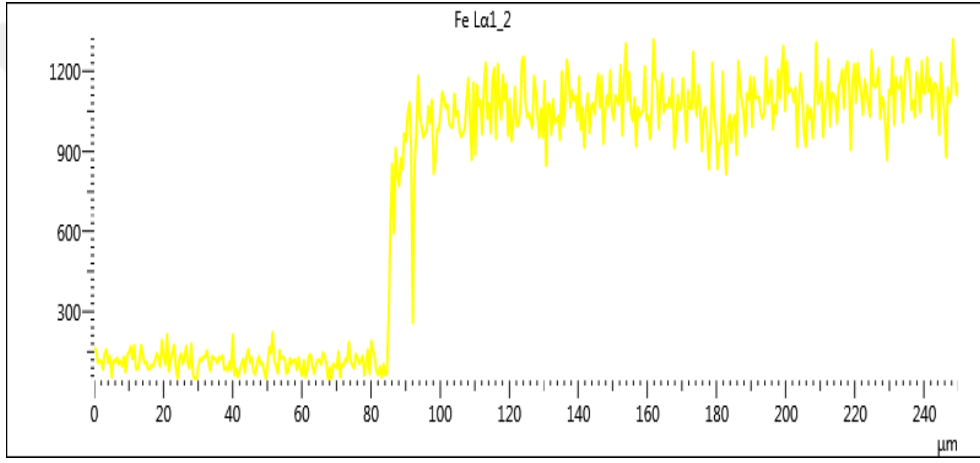


Şekil 23: APS yöntemi ile yüzeyi WC tozları ile kaplanan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

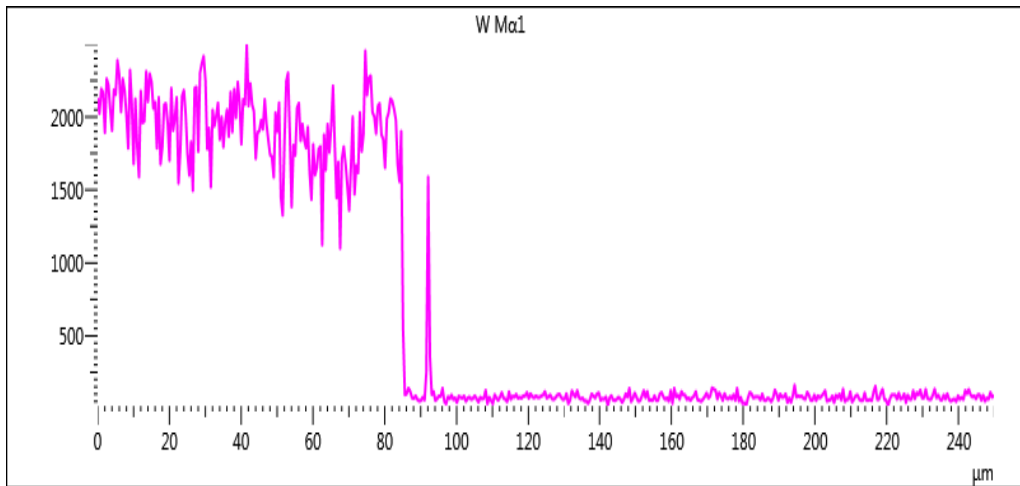
Şekil 22’ de AISI 1020 çelik üzerine Mo ticari tozu, ve Şekil 23’ de ise WC tozu APS yöntemi ile kaplama işleminden sonra alınan SEM mikro yapı fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraf üzerinden de görüleceği gibi kaplama tabakası üzerinde mikron seviyesinde boşluk ve gözenek oluşumları bulunmaktadır. Yine aynı numunelerin üzerinden SEM mikroskopunun EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) modülünü kullanarak alınan elemensel analiz raporları Şekil 24 a.b de sırası ile verilmiştir. Şekil 24 ab. WC tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde kaplama bölgesinde W elementinin yoğunlaştığı alt yüzeyin ise Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Şekil 25. de ise Mo tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi verilmiştir. Yine kaplama bölgesinde Mo elementinin yoğunlaştığı alt yüzeyin ise Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ancak diğer numuneden farklı olarak orta bölgede Ni ve O elementlerinin varlığı, bu numunede bağ tabakası olarak Ni elementinden kaynaklanmaktadır



a)

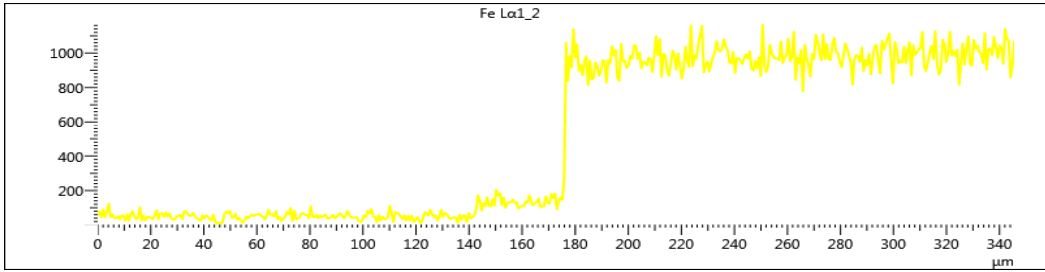
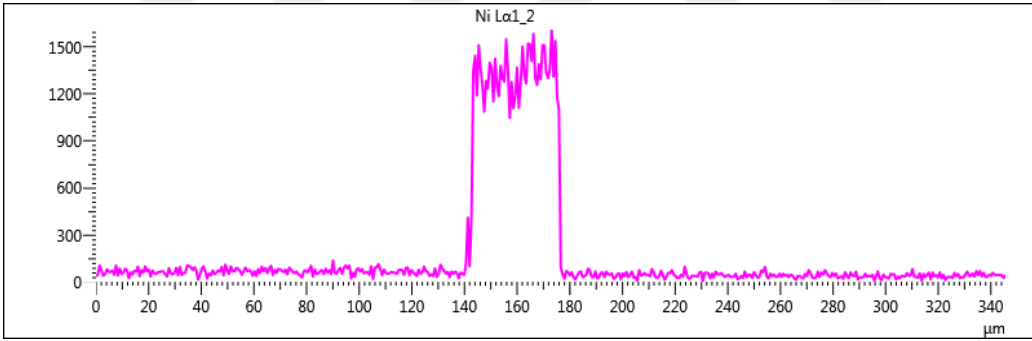
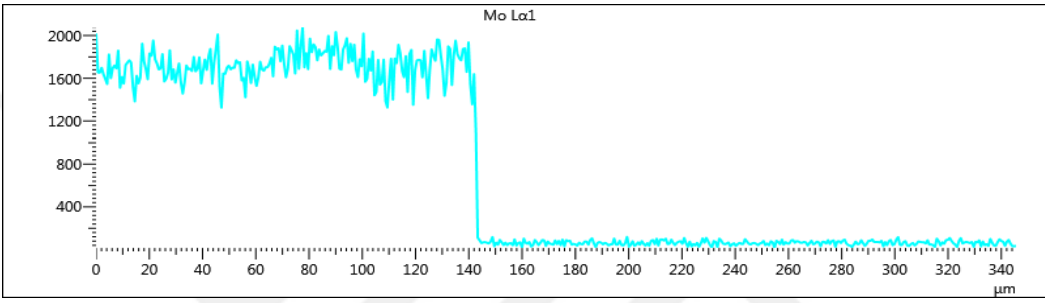
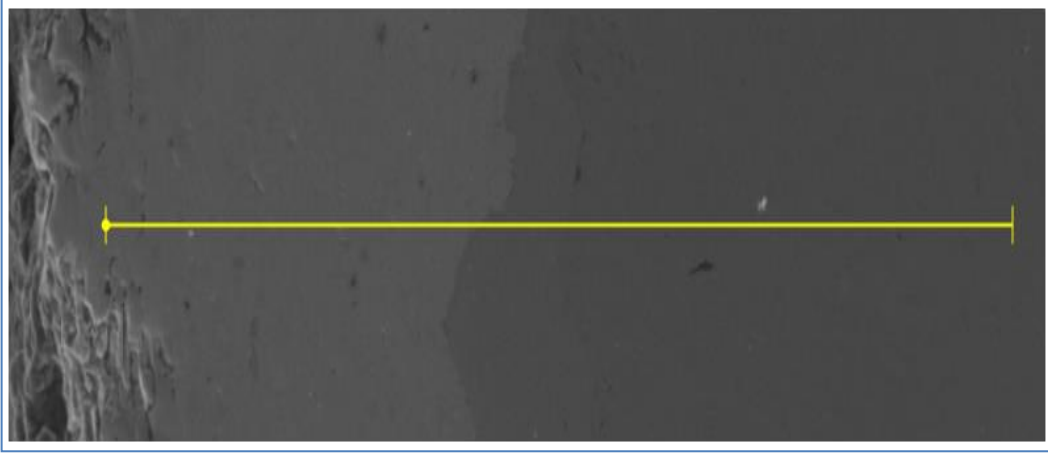


b)



b)

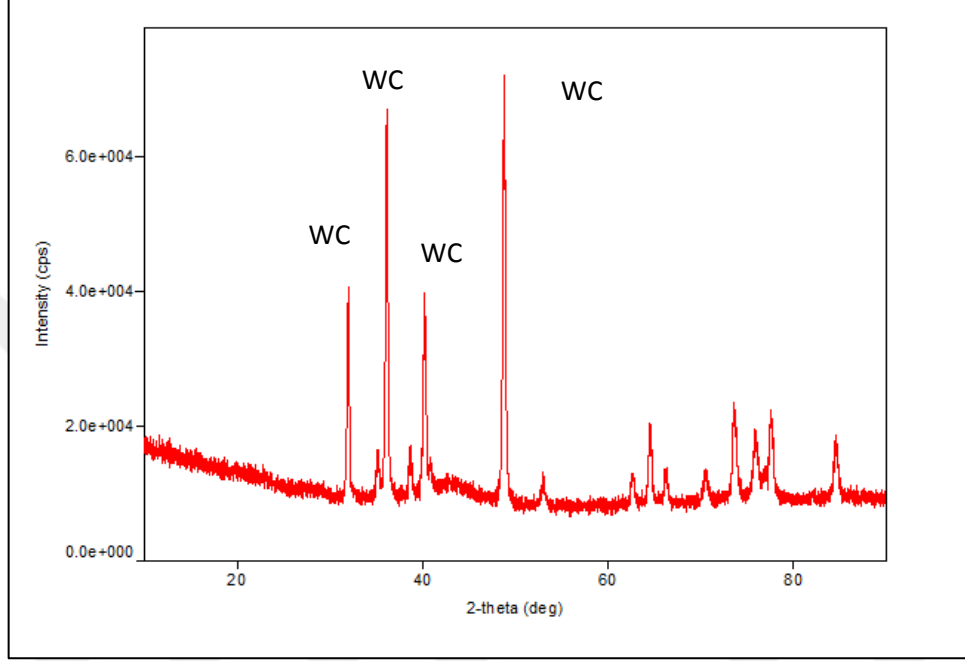
Şekil 24: APS yöntemi kullanılarak WC tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisi EDS analizi.



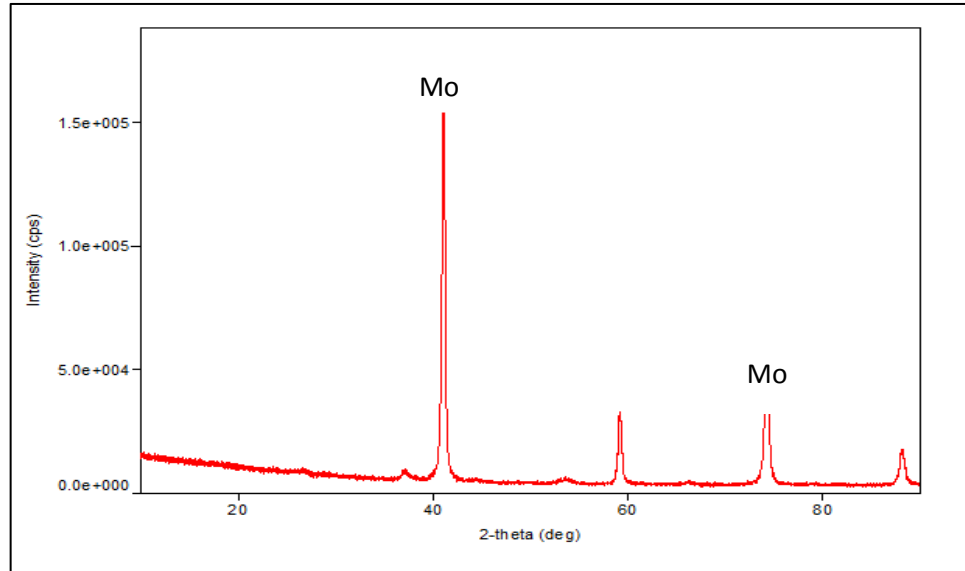
Şekil 25: APS yöntemi kullanılarak Mo tozlarıyla kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi.

5.2 Yüzeyi APS Yöntemi ile Kaplanan Numunelerin X-Işınları Difraksiyon Analizi

Şekil 26 ve 27 ' de, WC ve Mo tozları ile kaplama işleminden sonra numunelerin kaplama yüzeyinden alınan XRD analizleri görülmektedir.



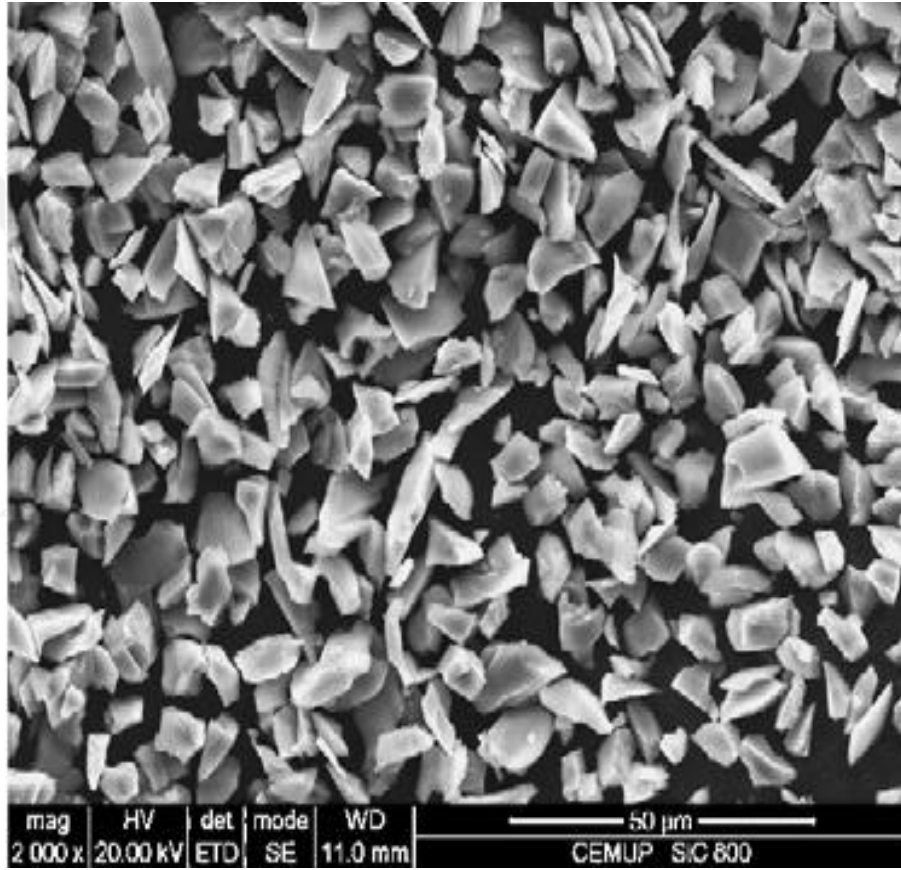
Şekil 26: APS yöntemi kullanılarak WC tozlarıyla kaplanan numunenin xrd analizi.



Şekil: 27. APS yöntemi kullanılarak Mo tozlarıyla kaplanan numunenin xrd analizi.

5.3 Sabit Top Mikro Abrasyon Aşınma Deneyleri

Bu çalışmada APS yöntemi ile kaplanan numunelerin farklı hız ve yüklerde sabit top mikroabrasyon aşınma özellikleri test edilmiştir. Aşındırıcı olarak 800 mesh SiC tozları kullanılmıştır. Aşındırıcı solüsyon % 30,40 ve 50 oranında SiC ve kalan kısmı damıtık sudan oluşmaktadır. Sabit top mikroabrasyon aşınma deneyinde aşındırıcı olarak kullanılan Si tozların SEM görüntüleri şekil 28’de verilmiştir.

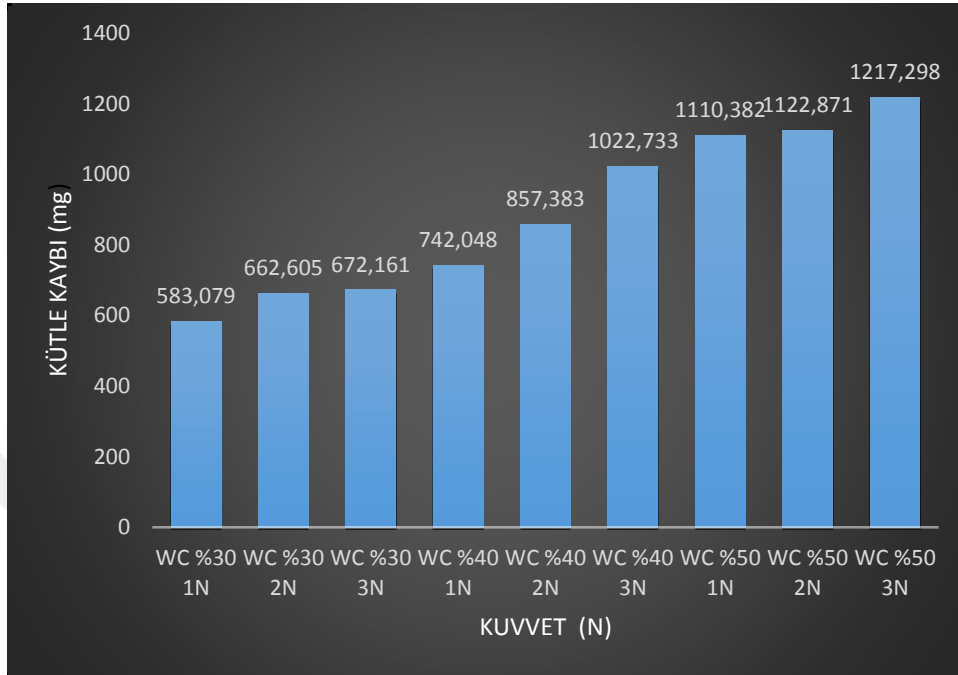


Şekil 28: SiC aşındırıcı partikül SEM görüntüleri.

Şekil 28’den de görüleceği üzere aşındırıcı tane boyutları 5-15 mikron arasında değişmektedir.

Şekil 29’da 90 dev/dk dönme hızın da, % 30, % 40 ve %50 oranlarında hazırlanan solüsyon ile Mo tozları ile kaplanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen aşınma deneylerinden sonra elde edilen hacimsel kayıpları gösteren grafik verilmiştir. Grafikten de

görülebileceği üzere solüsyon içerisindeki aşındırıcı partikül oranının artması ve aynı şekilde yükün artması numunelerdeki kütle kayıplarını arttırmıştır.

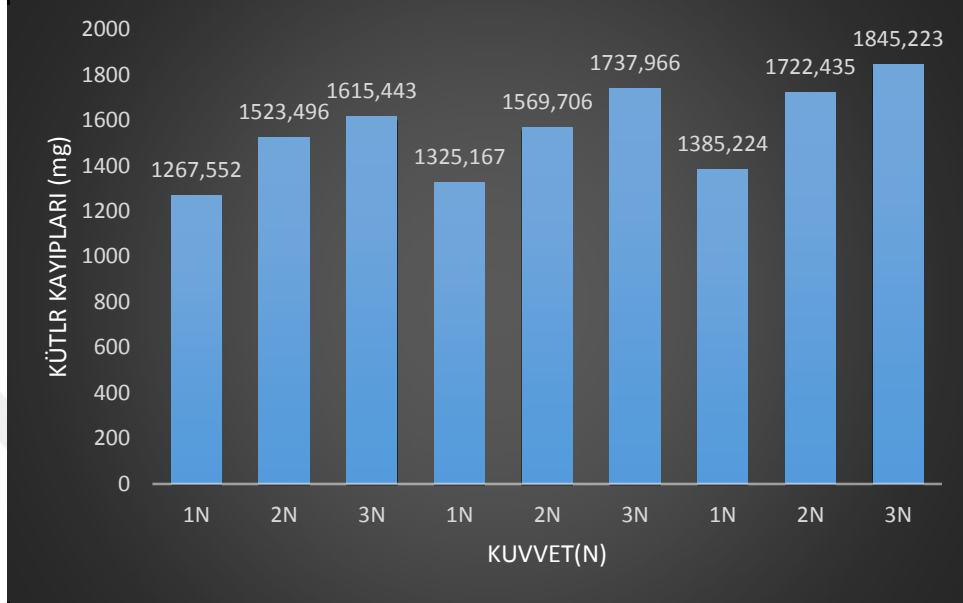


Şekil 29: WC kaplı numunelerin mikro abrazyon deney sonuçları sonrası % solüsyona bağlı kütle kayıpları.

Artan yüke bağlı olarak hacim kayıplarında meydana gelen artışı şu şekilde açıklamak mümkündür. Öncelikle aşınma çiftini oluşturan üç eleman mevcuttur. Bunlar aşındırıcı olarak kullanılan SiC + su solüsyonu, 1'' çapındaki bilya (top) ve aşındırılacak yani yüzeyi borlama işlemine tabi tutulan numuneler. Numunelerin yüzeyinden aşındırıcı partikülün malzeme transfer edebilmesi için iki kuvvete gereksinim vardır. Bunlardan biri partikülün malzemeye batmasını sağlayan basma kuvvetidir. Bu kuvvet ise direk numuneye uygulana nominal kuvvet ile orantılıdır. Yani yük ne kadar arttırılır ise aşındırıcı partikül üzerine uygulanan kuvvet o kadar artacağı için partikülün aşındırılacak numuneye batma oranı o kadar artacaktır. Malzeme yüzeyine batan partikülün ikinci görevi ise önündeki malzemeyi keserek yerinden kopartmaktır. Burada ise kesme kuvvetleri iş görmektedir. Kesme işlemi basma ve kesme kuvvetlerinin bir bileşkesi olarak düşünülürse artan nominal kuvvet hem basma hem de kesme kuvvetini arttırmış olacaktır.

Şekil 30'da ise 90 dev/dk. dönme hızının da, % 30, % 40 ve % 50 oranlarında hazırlanan solüsyon ile WC tozları ile kaplanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen aşınma deneylerinden sonra elde edilen hacimsel kayıpları gösteren grafik verilmiştir. Yine

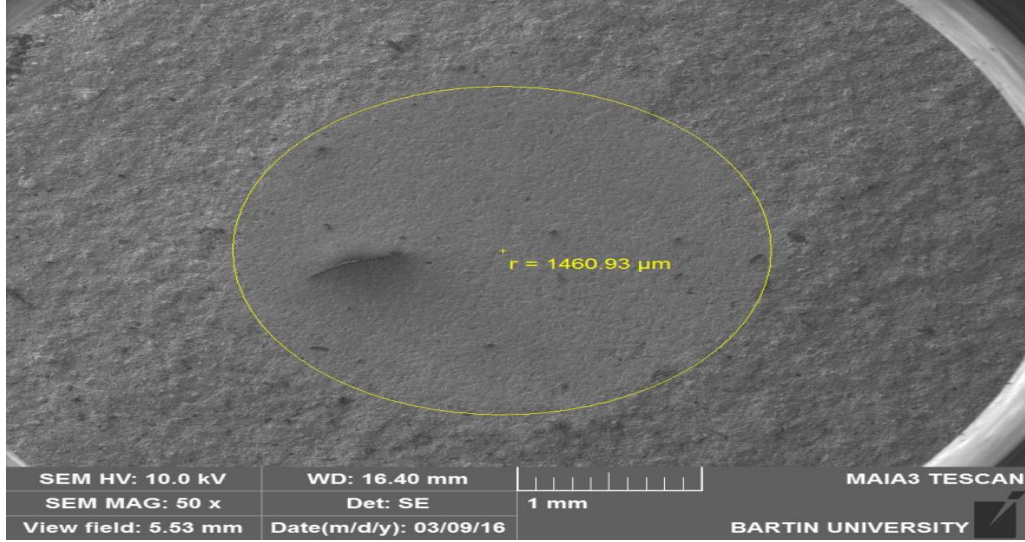
solüsyon içerisindeki aşındırıcı partikül oranının ve yükün artması ile numunelerdeki kütle kayıplarını arttırmıştır. Ancak molibdenli numuneler ile karşılaştırılacak olursa aşınma dirençlerinde 2 kat daha fazla bir direnç artışı olmuştur.



Şekil 30: Mo kaplı numunelerin mikro abrazyon deney sonuçları sonrası % solüsyona bağlı kütle kayıpları.

Bu artışın sebebini WC ile kaplanan numunelerin kaplama yüzey sertliği ile ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü aşınma işleminde birçok parametre rol oynamaktadır. Bunlardan önemli olanlarından biriside şüphesiz numunelerin sertlik değeridir. WC ile kaplanan numunelerin kaplama bölgesindeki sertlik değeri 1800 HV olurken Mo ile kaplı numuneler de bu değer 900 HV ye düşmüştür.

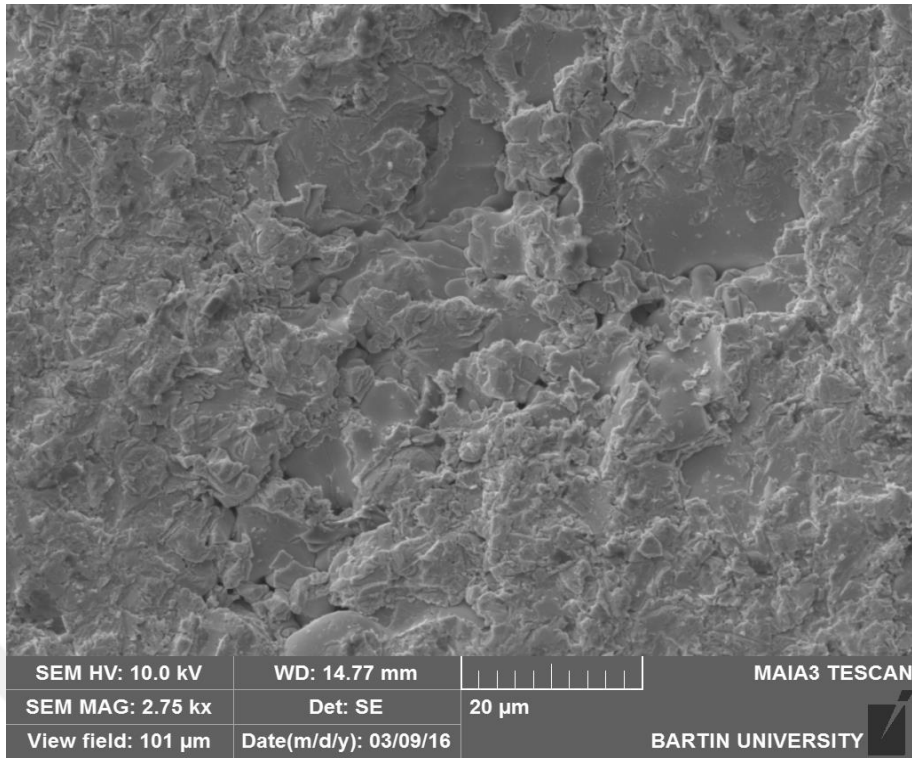
Şekil 31’de abrasiv kullanılarak hazırlanan solüsyon ile sabit top mikroabrazyon işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeyinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırası ile verilmektedir.



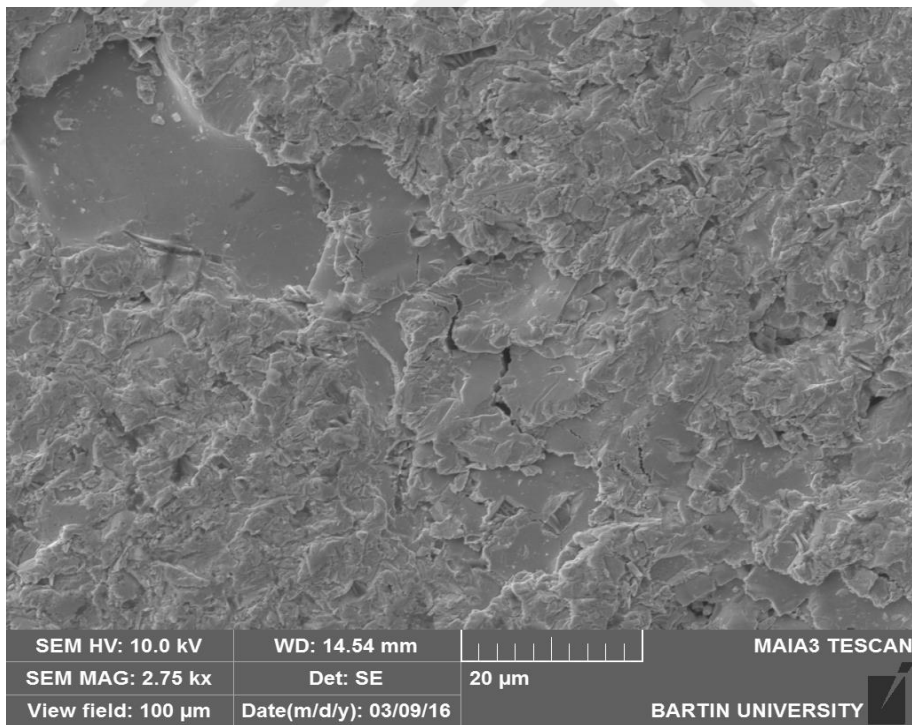
Şekil 31: SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N'luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.

% 40 solüsyon oranı ile 1 N luk yükte işlem gören numunenin ASTM G77 standartlarında gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen aşınma izleri beklenildiği şekilde dairesel geometride oluşmuştur (Şekil 31).

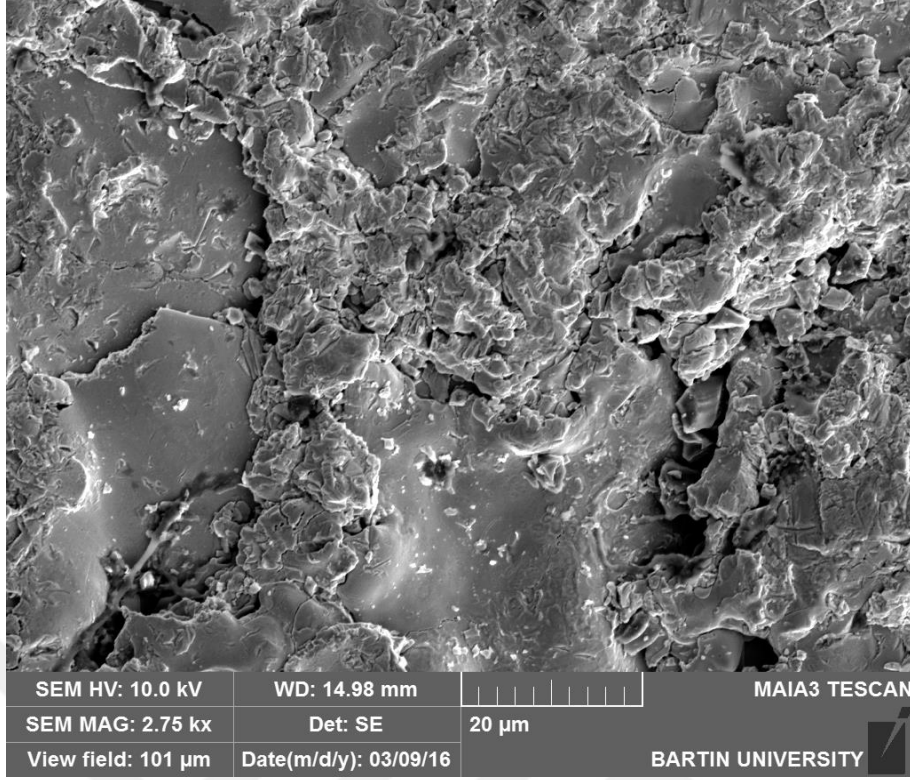
Şekil 32 a-c'de sırası ile % 30, % 40, % 50 oranlarında SiC partikül ile süspansiyon hazırlanarak aşındırma işlemine tabi tutulan Mo elementi ile yüzeyi kaplanan numunelerin SEM aşınma izi yüzey fotoğrafları verilmiştir. Aynı büyütmede alınan SEM görüntülerinden aşınma mekanizmasının değişmediği ancak SiC konsantrasyonunun artması ile yüzeyde meydana gelen plastik deformasyonun arttığı Şekil 32 c de açıkça görülmektedir. Mikroabrasyon deneylerinde görülen iki baskın aşınma mekanizması bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yuvarlanma ikincisi ise oluklanmadır. Ancak APS yönteminin çalışma mekanizması mikron boyutundaki partiküllerin yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılarak yüksek bir hızla karşı yüzeye yapıştırılması işlemidir. Her partikül kendisinden önce yüzeye yapışan diğer bir partikül üzerine mekanik olarak kilitlenmektedir.



a. % 30



b. % 40

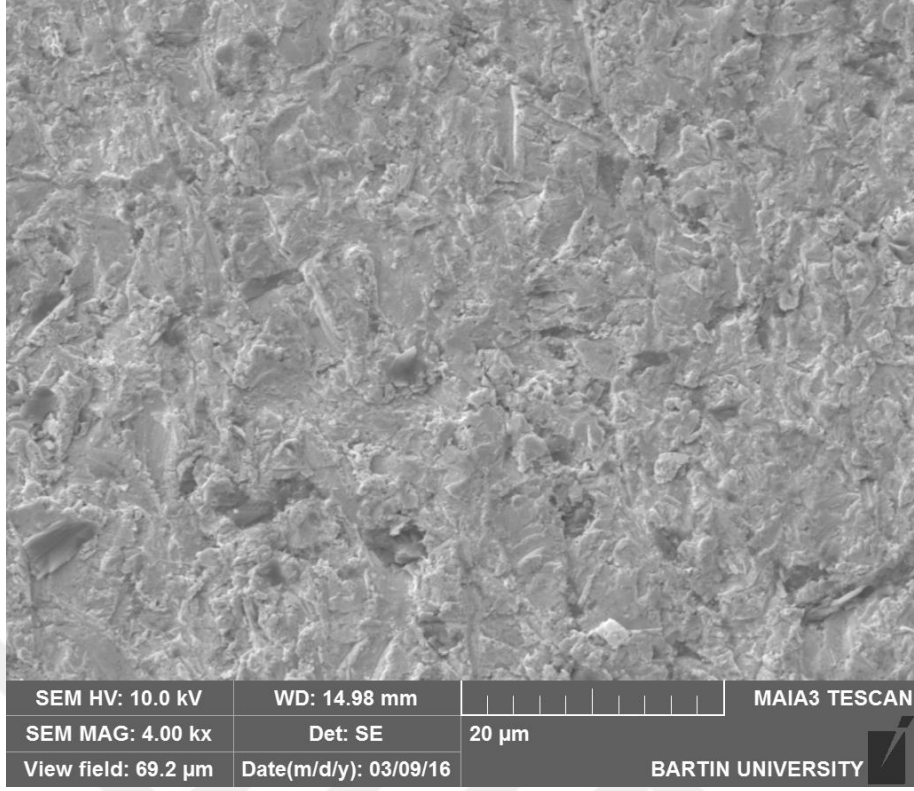


Şekil 32: SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N'luk yükte sabit mikro-abrasyon işlemiden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.

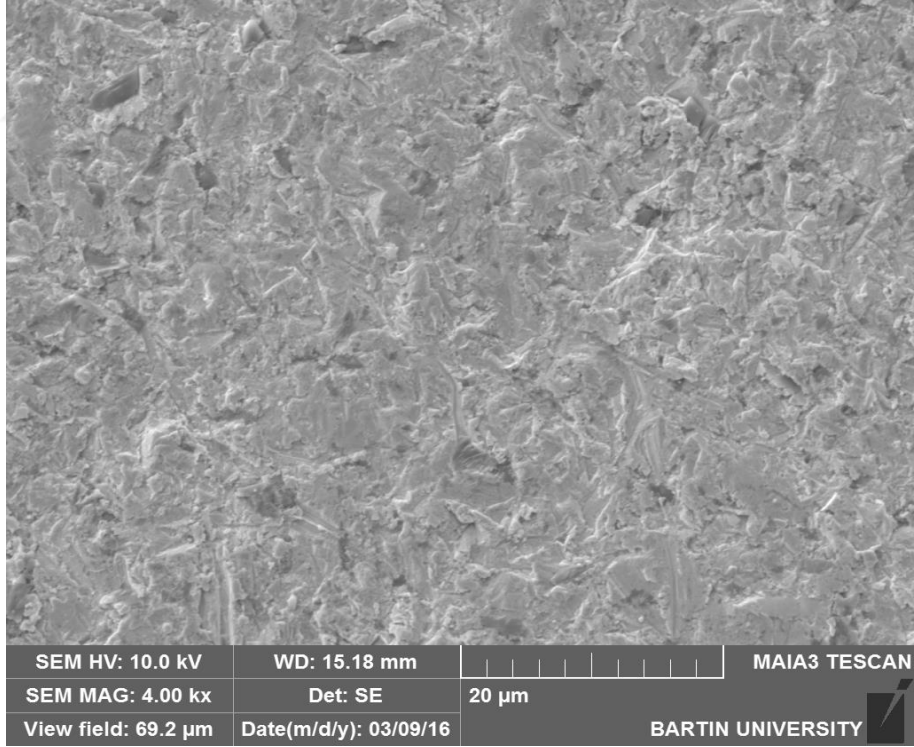
Aşındırma işleminin başlaması ile çelik bilya ile karşı yüzey arasında sıkışan SiC aşındırıcılar iki şekilde karşı yüzeyden partikül koparmaya çalışacaklardır. Bunlardan birincisi birbiri üzerine mekanik olarak tutunan partiküllerin bu mekanik bağını kırarak onları dökmeye çalışmaktır. İkincisi ise sertliği karşı yüzey sertliğinden 2–3 kat daha yüksek olan SiC partiküllerinin kaplama yüzeyindeki parçacıklar üzerinden aşındırma yolu ile partikül kaldırmasıdır.

Şekil 33 a-b'de % 40 % 50 oranlarında SiC partikül ile süspansiyon hazırlanarak aşındırma işlemine tabi tutulan WC elementi ile yüzeyi kaplanan numunelerin SEM aşınma izi yüzey fotoğrafları verilmiştir.

Sahip olduğu yüksek sertliğinden dolayı yüzeyin görünümü Mo ile kaplı numuneler ile kıyaslandığında çok daha pürüzsüz olarak oluşmuştur. Ve tüm konsantrasyonlar da benzer görüntü elde edilmiştir. Groving tipi aşınma mekanizması olarak ifade edilen bu aşınma mekanizması aşındırıcı partikülün etkileşimli yüzeyler arasında rahat bir şekilde hareket edememesi sonucunda meydana gelmektedir.



a. % 40

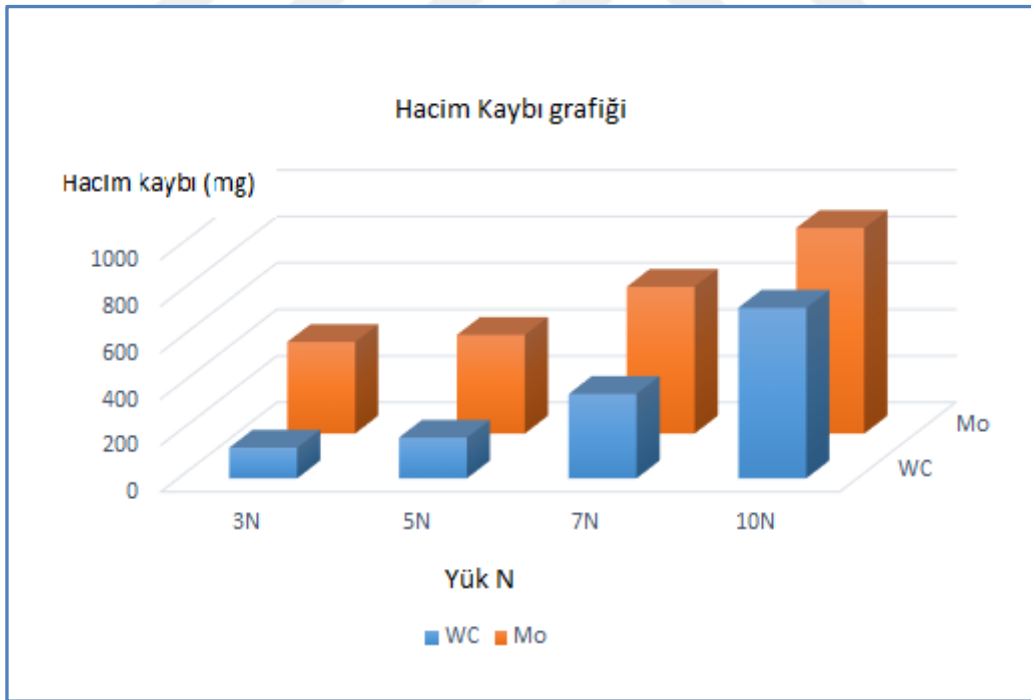


b. % 50

Şekil 33: SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N'luk yükte sabit mikro-abrasyon işlemiden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü.

5.4 Kuru Kayma Aşınma Deneyleri

Şekil 34’de 3, 5, 7 ve 10 N ‘luk yükler altında ve 0.18 m/sn kayma hızında pin on disk cihazı ile aşındırma işlemine tutulan numunelerin hacim kaybı yol grafikleri verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere tüm yüklerde Mo tozları ile kaplı numunelerin hacim kayıpları Yüksek olmuştur. Artan kaplama kalınlığı ile aşınma direncinin arttığı ve yine artan alt yüzey sertliği ile etkileşim alanının azalarak sürtünmenin azaldığını belirtmişlerdir. Malzemenin aşınması yüzey pürüzlülüğü, sertlik, tokluk ve geometrik teması olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. İşlem tekniklerini geliştirmek için bu faktörler aşağıda açıklanmaktadır. Sertlik ölçümü malzemenin plastik deformasyon mukavemetini ölçer. Dolayısıyla sertlik arttıkça aşındırıcı bilyanın malzeme üzerinde plastik deformasyon oranı düşecektir. Yükün artması ile hacim kayıplarının artması ise etkileşim bölgeleri ve yüzey altındaki bölgelerde artan yük ile birlikte maksimum basma gerilmesi ve bilyanın kayma kuvvetinin etkisiyle teğetsel kayma gerilmeleri meydana gelecektir. Gerek matris gerekse kaplama bölgesinin plastik deformasyon uğramasında bu gerilemeler etkili olacaktır.



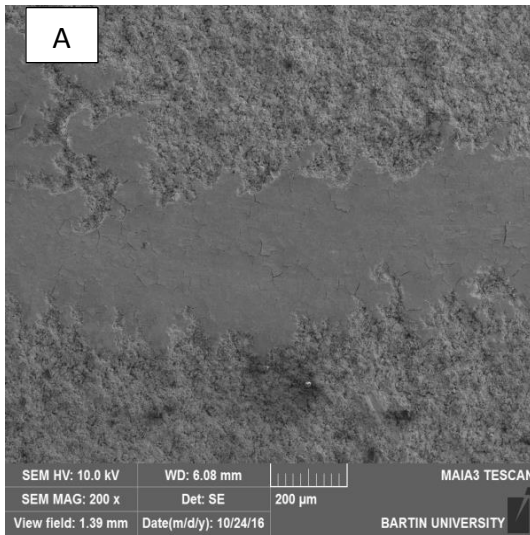
Şekil 34: Kuru kayma hacim kaybı değerleri grafiği.

Artan yüke bağlı olarak adhesiv aşınma mekanizmasının temelini oluşturan soğuk kayma mekanizması daha aktif olarak meydana gelecektir. Bu durum ise daha fazla oranda aşınma

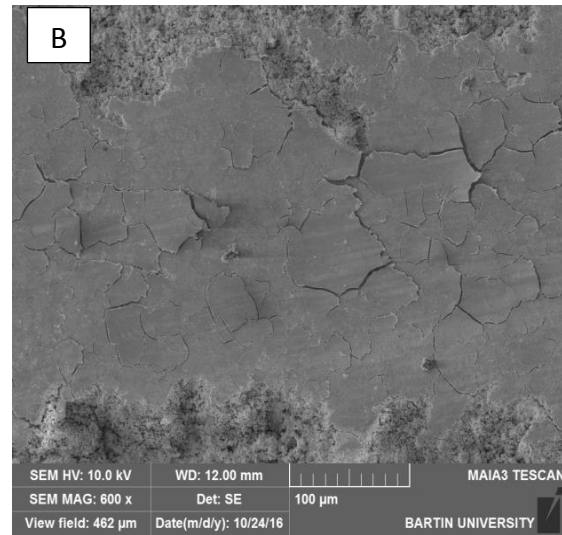
partikülünün oluşmasına sebebiyet verecektir. Çok daha yüksek yüklerde ise daha yüksek oranlarda oluşacak kayma gerilmeleri plastik akışı hızlandıracaktır.

Ayrıca artan yüke bağlı olarak basma gerilimi değerleri artacak bu ise yüzey bölgesinde çatlak çekirdeklenmelerine ve kaplamanın kırılarak dökülmesine sebebiyet verecektir. Literatürde kaplama yüzeyinden aşınma etkisi ile kopan partiküllerin sistemde abraziv aşındırıcı olarak iş göreceği de belirtilmektedir.

Şekil 35 a' da 3 ve 10 N'luk yükler altında ve 0.18 m/sn kayma hızında pin on disk cihazı ile aşındırma işlemine tutulan Wc kaplı numunelerin SEM aşınma izi yüzey fotoğrafları düşük büyütmelerde verilmiştir. Yükün artması aşınma izi genişliğini arttırmıştır. Aynı görüntülerin daha Yüksek büyütmelerdeki görüntüleri Şekil 35 b-c yükün aşınma üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek için tekrar verilmiştir. Düşük yüklerde dökülmelerin varlığı görülürken Yüksek yüklerde bu dökülmelerin olmadığı dikkat çekmektedir Şekil 35 a-b. bunun sebebi yükün artması ile karşı yüzeyde meydana gelen kesme, basma ve gerilme kuvvetlerini artarak yüzeye daha fazla zarar vermesi gerekirken böyle bir durumla karşılaşılmasının sebebi kopan partiküllerin Yüksek yükler altında preslenerek daha kompakt bir tabaka oluşması ile ilişkilendirilebilir.

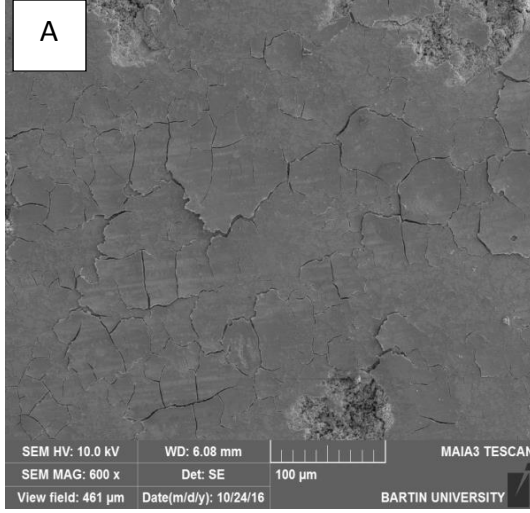


3N

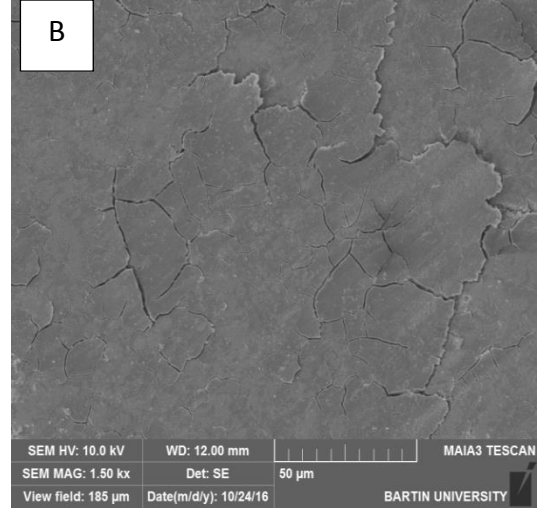


10N

a.

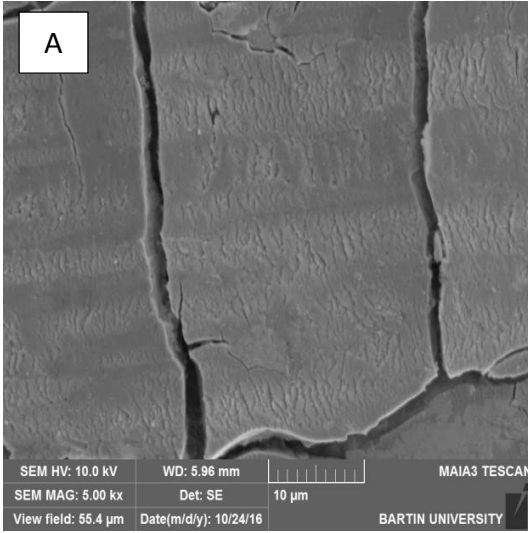


3N

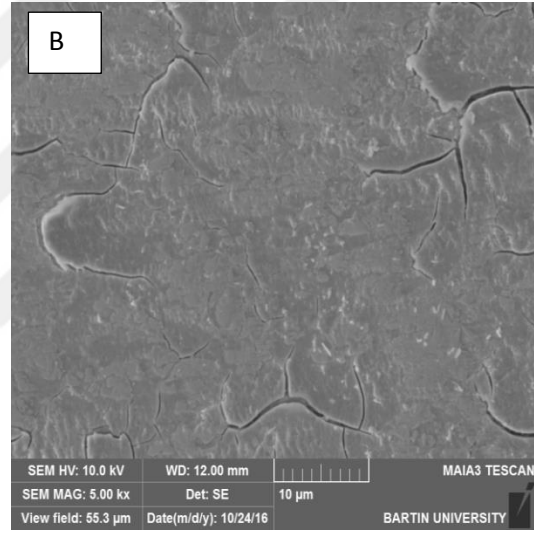


10N

b.



3N

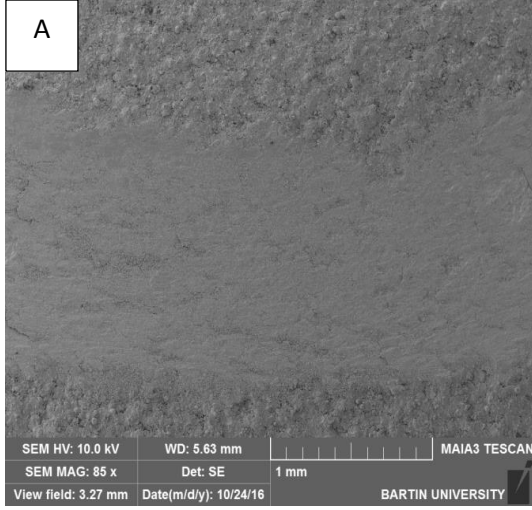


10N

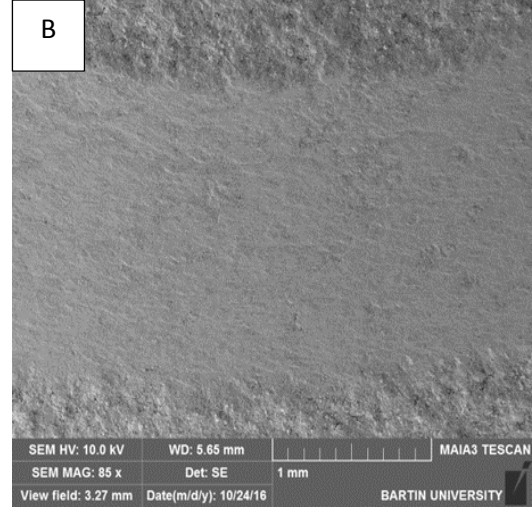
c.

Şekil 35: WC kaplı numunenin SEM kuru kayma aşınma yüzey fotoğrafı.

En Yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri incelenecek olursa (Şekil 35 c) gerilme altında düşük yüklerde mikron seviyesinde başlayan çatlamlar en zayıf olduğu bölgeden koparak çatlamlara sebebiyet vermiştir. Ancak Yüksek yüklerde gerçekleştirilen aşınma testlerinde çatlamların daha local ve küçük boyutta olduğu SEM resminden görülmektedir.

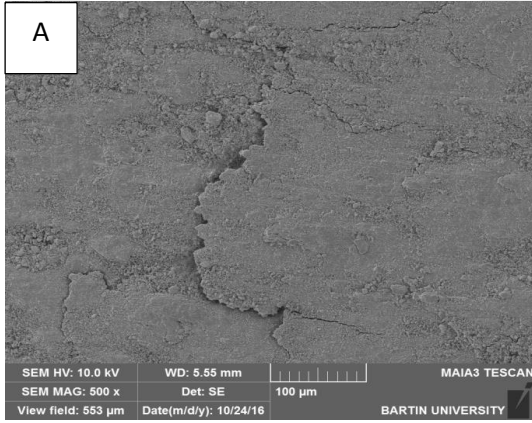


3N

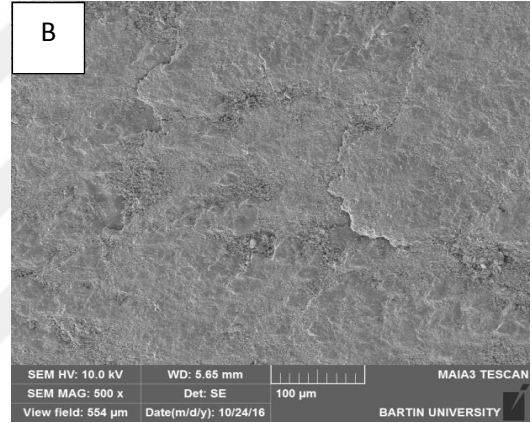


10N

a.

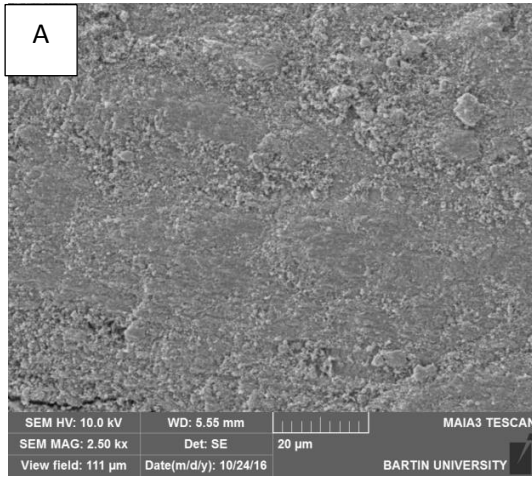


3N

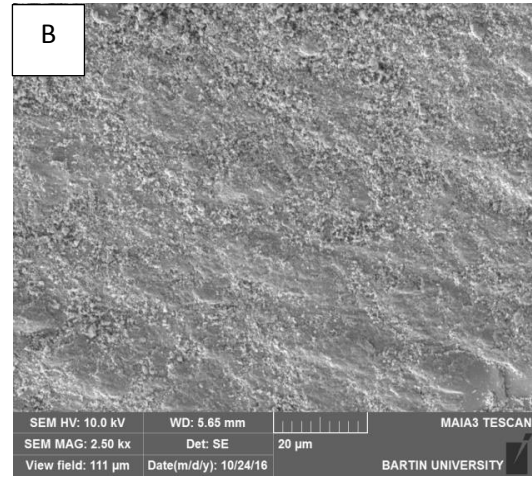


10N

b.



3N



10N

c.

Şekil 36: Mo kaplı numunenin SEM kuru kayma aşınma yüzey fotoğrafı.

Şekil 36 a da 3N ve b de 10 N luk yükler altında ve 0.18 m/sn kayma hızında pin on disk cihazı ile aşındırma işlemine tutulan Mo ile kaplı numunelerin SEM aşınma izi yüzey fotoğrafları düşük büyütmelede verilmiştir. Düşük büyütmede sadece artan yüklerle birlikte aşınma izinin genişlediği görülmektedir. Şekil 36 b de ki görüntülerde ise düşük yüklerde daha büyük deformasyon görülürken Yüksek yüklerde bunun düştüğü görülmüştür. Yüzeyden kopan partiküller artan yük ve hızın etkisi ile preslenerek kompaktlanmıştır. Bundan dolayı aşınma Yüksek ancak aşınma mekanizması farklı olmuştur. Şekil 36 c incelendiğinde Yüksek yüklerde meydana gelen oluklanmanın daha fazla olduğu ve olukların daha derin olduğu göze çarpmaktadır.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 1020 çeliğinin yüzeyi Atmosferik Plazma yöntemi kullanılarak WC ve Mo tozları ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında numunelere farklı yükler ve farklı aşındırıcı süspansiyonlar altında mikro-abrasyon aşınma deneyleri ayrıca kuru kayma aşınma testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- a) APS yöntemi kullanılarak AISI 1020 çeliğinin yüzeyi hem WC hem de Mo tozları ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama kalınlığı 100-125 µm olarak belirlenmiştir.
- b) WC ile kaplanan numunelerin yüzey sertlikleri 1800 HV olurken Mo ile kaplanan numunelerin yüzey sertlikleri 1200 HV olmuştur.
- c) Kaplama işlemi sonrasında numune yüzeylerinde gerçekleştirilen X-ray incelemelerinde W ve Mo elementlerinin varlığına rastlanmıştır.
- d) Artan yüzey sertlik derecesine bağlı olarak numunelerin aşınma direnci de artmıştır.
- e) Mikro abrasyon deneylerinde solüsyon içerisindeki aşındırıcı partikül oranının artması numunelerin kütle kayıplarının artmasında etkili olmuş ancak aşınma mekanizmasında değişiklik meydana getirmemiştir. WC ile kaplı numunelerde oluklanma aşınma mekanizması olurken Mo ile kaplı numunelerde plastik deformasyon görülmüştür.
- f) Kuru kayma aşınma testlerinde yine WC kaplı numunelerin aşınmaya karşı gösterdikleri performans daha yüksek olmuştur. Aşınma mekanizması olarak WC

kaplı numunelerde delemantasyon görülürken Mo kaplı numunelerde plastik deformasyon görülmüştür.

6.2 Öneriler

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

- a) Solüsyon içerisindeki aşındırıcı tane boyutu değiştirilerek, tane boyutunun aşınmaya olan etkisi incelenebilir.
- b) Farklı tip aşındırıcılar kullanılarak bunların aşınmaya olan etkileri araştırılabilir
- c) Malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Bayrak, G. (2009). Yerli Bazaltlardan Üretilen Cam-Seramik Esaslı Tozların Plazma Sprey Kaplamalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, Sakarya, 65s.
- Bhushan, B. (2000). Wear mechanisms, chapter 7. In modern tribology handbook, Crc press, United States of Amererica, pp. 273-279.
- Bhushan, B. (2001). modern tribology handbook, crc press llc (pdf form), ch 13 and ch7, pp. 272-230.
- Büyükkelceci, Ü. (2008). Yeni Bir Aşınma Cihazı Tasarımı Ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 6s.
- Cozza, R.C. Tanaka D.K. ve Souza R. (2011). Friction coefficient and wear mode transition in micro-scale abrasion tests, tribology international, 44: 1878-1189.
- Cozza, R.C. (2013). A study on friction coefficient and wear coefficient of coated systems submitted to micro-scale abrasion tests, surface coating tecnology, 215: 224-223.
- Çetin, M. (2005). Öztemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara, 78-100s.
- Davis, J.R. (2004). Introduction to thermal spray processing, chapter 1. Handbook of thermal spray technology, american technical publishers ltd, United States of America, pp 3.
- Demir, A. (2012). Farklı Çelik Yorulma Aşınmasında Malzeme Sertliğinin Aşınma Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, 69s.
- Demirel, Ç. (2013). AISI 8640 Ve GS 60 Çelik Malzemelerin Abrasif Aşınma Ve Korozyon Davranışına Borlama İşleminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2s.
- Dorfman,, M.R. (2012). Thermal spray coatings in handbook of environmental degradation of metarials, Elsevier, Newyork, pp. 298.
- Döleker, K.M. (2014). Bilyalı Dövme İşleminin Termal Bariyer Kaplamaların Oksidasyon Davranışı Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı, Bartın, 34s.
- Erdem, S. (2006). Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı Ve Alaşımız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması..

Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, S1.

- Ersöz, E. (2011). Plazma Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Yüzeyi Al₂O₃ –TiO₂ Tozlarıyla Kaplanan Düşük Karbonlu Çeliğin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, S18.
- Ghadami, F. Sohi M.H. ve Ghadami S. (2015). Effect of tıg surface melting on structure and wear properties of aiplasma-sprayed wc-co coatings. *Surface & Coatings Tecnology*; 261: 108-113.
- Harvey, D. (1994). The Ultimate Coating- Thermal Spraying At Abington, TWI Bulletin 2, March/April 456 (2), 94: 28-30
- Hou, Q. Y, Luo M.L., Huang, Z.Y. Wang P. Ding, T.T Ve Wu, Y.C. (2016). Comparasion of w-tic composite coatings fabricated by atmospheric plasma spraying and süper sonic atmospheric plasma spraying. *Fusion Engineering And Design*, 105: 77-85.
- Hwang, B., Ahn, J. ve Sunghak, L. (2005). Effect of bleding elements on wear resistance of plasma sprayed molybdenum blende coating used for automotivesyon chronizzerrings, *Surface & Coating Technology*. 194: 256-264.
- Hwang B., Ahn, J. Ve Sunghak, L. (2004). Correlation of microstructure and wear resistance of molybdenum blend coating fabricated by atmospheric plasma spraying. *Metarials Science and Engineering A366*:152-163.
- Islak, S ve Buytoz, S. (2011). Microstructure Propwerties Of Zro₂/Al₂O₃-%13 Tio₂ Composite Coating Produced With Plasmas Method On AISI 304 Stainless Stell 6 *The International Advanced Technologies Symposium (11ATS'11)*, Elazığ, 12s.
- Kahraman, N. (2000). Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelere Kaplama Parametlerinin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Metal Eğitimi, Ankara, 15-34s.
- Kamdi, Z. Shipway, P.H, Voisey, K.T. ve Sturgeon A.J. (2011). Abrasive wear behaviour of conventional and large-parcicle tungsten carbide-based cermet coatig as a function of abrasive size and type. *Wear* 271: 1264-1272.
- Kaptan, S. (2012). Plazma Sprey Gazlarının Tungsten Karbür Kaplama Özellikleri Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 32s.
- Keskin, İ. (2012). Yüksek Mekanizmalarınsa Aşınma Ve Elastohidrodinamik Yağlama. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 15-26s.
- Kobrick, R.L. (2010). Characterizion and Measurement Standardization of Lunar Dust Abrasion For Space Craft Design And Operations, A Thesis Submitted Other To The Falculy Of The Gradute School Of The University Of Colorado In Partial.

Doktora Tezi, Uzay Bilimler Departmanı.

- Kovářík O, Haušild P. ,Siegl, J., Chráska, T, Matějček, J, Pala, Z ve Boulos, M. (2015). The influence of substrate temperature on properties of APS and VPS W coatings, *Surface & Coatings Technology*, 268:7-14.
- Kurbanoğlu, C. ve Özkavak Varol, H. (2013). Atmosferik ve Vakum Şartlarında Plazma Kaplama Deney Düzenineğinin Tasarlanması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (2): 27-36.
- Okay, F. (2006). PVD Yöntemi İle Tin Kaplı Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Adhesiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi, 69-70s.
- Owsalou, R. G. (2012). Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı, İzmir, 26-27s.
- Özocakcıoğlu, A. (2016). Sertleştirilmiş AISI 4140 Çelik Malzemesinin İşlenmesinde Seramik Kesici Takımda Oluşan Aşınmanın İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Abant Baysal Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Anabilim Dalı, 27-29s.
- Sampaio, M., Buciumeanu M., Henriques M, Silva., F.S., Souza J.C.M. ve Gomes J.R. (2016). Comparision between and peek and ti6al4v concerning micro-scale abrasion wear on dental aplicaitons. *Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical*, 60:121-219.
- Shipway, P.H. (2004). A mechanical model for particlemotion In the micro-scale abrasion wear tests. *Wear*, 257:984-991.
- Sarıkaya, Ö. (2007). Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri, Sakarya, 280s.
- Sevim, İ. (1998). Çeliklerin Abrasiv Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Silva, F.J.G., Casais, R.B. ve Baptista A.P.M. (2011). Role of abrasive meterial on micro-abrasion wear tests, *wear*, 271: 2632-2639.
- Tabur, M. (2003). Farklı Isıl İşlemlerindeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-7s.
- Toparlı, M. Şen. (1993). “Karbonlu Çeliklerde Aşınma” 5. *Denizli Malzeme Sempozyumu* 11-13 Kasım 1993.
- Tucker, Jr. R.C. (1994). ASM handbook volume 5, surface engineering, Eds.; Cotell, C.M., Sprague, J.A. Ve Smidt, F.A. , Ohio, United States Of America, Pp. 497-509.
- Ulutan M. (2007). AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama

Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışının Araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 79s.

- URL-1 (2017). <http://www.teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10713/42046/elektrik-ark-sprey>, 10 Temmuz 2017.
- Wen, Z.H., Bai Y., Yang J.F., Huang J. Ve Zhang L. (2015). Effect of vacuum remelting on microstructure and wear resistance of ni-crmoy coatings deposited by supersonic atmospheric plasma spraying. *Surface & coating technology*, 281:67-62.
- Yeşildal, R. ve Günay Y.Z. (2007). The Coating With Plasma Spray Method And Research Of Spray Characteristics. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen Ve Mühendislik Dergisi, 9 (1):59-76.
- Yonar, H.Ç. (2009). HVOF Yöntemi Kullanılarak WC-%17 Co Kaplama Üretimi. Bitirme Çalışması, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi.
- Yuan, J. , Zhu Y., Yang J.F., Zheng X. , Ji H. ve Yang T. (2011). Fabrication and evaluation of atmospheric plasma spraying. W-co-cu-mo₂ composite coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, 509:2576-2581.
- Yuan, J., Zhu Y., Yang J.F., Zheng X., Ji H., ve Ruan Q. (2010). Microstructures and tribological properties of plasma sprayed W-Co-Cu-BaF₂/CaF₂ self-lubricating wear resistance coating, *Applied Surface Science*, 256:4938-4944.
- Yumuşak, G. (2012). Soğuk Gaz Dinamik Püskürtme Yöntemi İle Cu- Al₂O₃ Kompozit Kaplamasının Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İstanbul, 6-9s.
- Zağlı, M. (2010). Alev Sprey Yöntemiyle Polimer Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 7s.
- Zhao X.B. ve Ye Z.H. (2013). Microstructure and wear resistance of molybdenum based amorphous nano crystalline coating fabricated by atmospheric plasma spraying. *Surface & Coating Technology*, 228:266-270

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Melike Hazal TERKEŞLİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Altındağ / 10.09.1989

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Metalürji Ve Malzeme
Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makina Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyet / Yayınlar : Neccaroğlu, V., Yıldız, F., Terkeşli, M. H., Özliman, H. ve Türkyücel, H. (2017). APS Yöntemi ile Yüzey WC ve Mo Tozları ile Kaplanmış AISI 1040 Çeliğinin Mikro-Abrazyon Aşınma Davranışlarının incelenmesi. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*. Vol. 5 Issue 1 (2017), 29-34.

İş Deneyimi

Stajlar : ASELSAN (2012)

Projeler ve Kurs Belgeleri :

Çalıştığı Kurumlar : TÜZÜN KARDEŞLER (2015-)

İletişim

E-Posta Adresi : mhterkesli@hotmail.com

Tarih : 29/12/2017(Tez sınav tarihi)