

**KOMPOZİT MALZEMELERİN
KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yelda AKÇİN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Osman ASİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2011

T.C
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOMPOZİT MALZEMELERİN KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YELDA AKÇİN

UŞAK 2011

Yelda AKÇİN tarafından hazırlanan Kompozit Malzemelerin Kaplanabilirliği adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Osman ASİ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Osman ASİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Mevlüt TERCAN
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih:

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

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Yelda AKÇİN

KOMPOZİT MALZEMELERİN KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Yelda AKÇİN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2011

ÖZET

Kompozit malzemeler günümüzde, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranının önemli olduğu özellikle savunma sanayinde, deniz taşımacılığında, otomotiv ve uzay sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak tribolojik davranışlar ve düşük aşınma dirençleri gibi yüzey özellikleri ile ilgili olan nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlanmaktadır. Bir başka problem de epoksi kompozitlerde bazı uygulamalar için gerekli olan elektrik ve termal iletkenliklerin olmamasıdır. Malzemelerin bu özelliklerinin düzeltilebilmesi için yapılacak çalışmalardan en önde geleni ise kaplamadır. Bu çalışmada günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanılan plazma sprey kaplama yöntemi ile sert seramik tozları olan $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 tozları, cam elyaf takviyeli ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin yüzeyine kaplama işlemi yapılmış ve elde edilen kaplamaların fiziksel, mekaniksel ve metalografik özellikleri incelenmiştir. Bu Yüksek Lisans Tezi Uşak Üniversitesi BAP Birimi tarafından 2010/TP002 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Bilim Kodu:625

Anahtar kelimeler: Cam elyafı, karbon elyafı, sert seramik tozları, plazma sprey kaplama

Sayfa Adedi:81

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Osman ASİ

THE INVESTIGATION OF COATING ABILITY OF THE COMPOSITE MATERIALS

(M.Sc. Thesis)

Yelda AKÇİN

**UŞAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2011

ABSTRACT

Composite materials have extensively been used in various fields such as aerospace industries, automobiles, marine, and defense industries because of their high strength/density ratios and high young modulus/density ratios. But their using area is restricted because of their surface feature like low wear resistance, tribology behaviors. Coating is the most preferred method to increase wear resistance of machine parts. In this study, hard ceramic powders $Al_2O_3+TiO_2$ and CrO_3 are coated on glass fiber and carbon fiber reinforced epoxy composite materials with plasma spray coating method. Then, an experimental study has been carried out to investigate the physical, mechanical and metallographic properties of coated materials.

This M.Sc. Thesis is stood by Uşak University Unit of BAP with number of 2010/TP2010 project.

Science Code :625

Keywords: Glass fibre, carbon fiber,hard ceramic powdwers,plasma spray coating

Page Number:81

Adviser: Associate Professor Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma boyunca bilgileri ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, yakın ilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Osman ASI'ye en içten teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalıŐmam sırasında deneysel çalıŐmalarımnda her zaman bana yardımcı olan ArŐ. Gör. Dr. Fatih ÇOLAK, ArŐ. Gör. Dr. Rıza KARA ve ArŐ. Gör. Önder YEŐİL' e teŐekkürleri bir borç bilirim.

Bu süreç boyunca maddi-manevi her Şekilde yanımda olan, desteklerini hep hissettiren canım AİLEM... Çok teşekkür ederim, iyi ki varsınız.

Yelda AKÇİN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Geleneksel Kaplamalar	2
2.1.1 Elektrolitik Kaplama	3
2.1.2 Galvanizleme	4
2.1.3 Polimerle Boyama	5
2.2 Modern Kaplamalar	6
2.2.1. PVD (Fiziksel buhar çökeltme)	6
2.2.1.1. Buharlaştırma kaynaklı PVD işlemi	6
2.2.1.2. Saçılma kaynaklı PVD işlemi	7
2.2.1.3 İyon Kaplama Yöntemi	7
2.2.2 CVD (Kimyasal buhar çökeltme)	8
2.2.3 Plazma Sprey Kaplama	10
2.2.4.1 Plazma Spreyin Sınıflandırılması	11
2.2.4.2 Plazma Sprey Kaplama Sistemi	12
2.2.4.3. Plazma Spreyde Proses Parametreleri	15
2.2.4.4. Plazma Spreyde Kullanılan Kaplama Tozları	15
2.2.4.5. Plazma Spreyde Tabaka Oluşumu ve Kaplama Karakteristikleri	17
2.2.4.6. Plazma Sprey Kaplamanın Bağ (Yapışma) Mukavemeti	20
2.2.4.7. Plazma Sprey Kaplamaların Sertliği ve Aşınma Direnci	23
2.2.4.6 Plazma Sprey Kaplamaların Teknolojik Uygulamaları	25

2.2.4.Termal Sprey Kaplama	32
2.2.4.1.Alev Sprey Kaplama	32
2.2.4.2.Elektrik Ark Spreyi	33
2.2.5.Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt(HVOF) Püskürtme	34
2.3 Kompozit Malzemeler	35
2.4 Literatür Araştırması	40
3.ÇALIŞMANIN AMAÇLARI	43
4.MATERYAL METOT	44
4.1. Kuşlama	44
4.2.Plazma Sprey Kaplama	45
4.3.Kesme	46
4.4 Metalografik Analiz	47
4.5 Mikro sertlik	51
4.6 Çekme Deneyi	53
5.BULGULAR	57
5.1. Kuşlama	57
5.2.Plazma Sprey Kaplama	59
5.3.Kesme	62
5.4 Metalografik Analiz	62
5.5 Mikrosertlik	73
5.6 Çekme Deneyi	77
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	82
6. KAYNAKLAR	84
7. ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	American Iron and Steel Institute
HB	Brinell sertlik
HRC	Rockwell C sertlik
HV	Vickers sertlik
APS	Atmosfer kontrollü plazma sprej
HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Kaplama çeşitleri	2
Şekil 2.1. Çinko kaplama yapısının Fe-Zn Denge Diyagramı yardımı ile şematik açıklanması	4
Şekil 2.2 Galvanizleme yöntemi	5
Şekil 2.3. Polimerik boyalar	6
Şekil 2.4 İyon kaplama yöntemi	8
Şekil 2.5 CVD yöntemi ile TiC kaplama işlemi için kullanılan donanımların şematik gösterimi	9
Şekil 2.6 Plazma sprej kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması	12
Şekil 2.7 Plazma sprej kaplama ünitesinin şematik gösterimi	13
Şekil 2.8 Plazma sprej tabancasının kesiti ve plazma oluşumu	14
Şekil 2.9 Termal/plazma sprej prosesine etki eden parametreler	15
Şekil 2.10 Plazma sprejde kullanılan toz grupları	16
Şekil 2.11 AISI 304 paslanmaz malzeme üzerine kaplanmış Co+Cr+Mo tabakasının kalınlığı ile yapışma mukavemetinin değişimi	21
Şekil 2.12 AISI 304 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri	22
Şekil 2.13 AISI 1020 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri	23
Şekil 2.14 Bilezik-blok şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması	24
Şekil 2.15 Plazma sprej kaplama yönteminin kullanıldığı alanlar	26
Şekil 2.16 Alev Sprej Püskürtme Yöntemi	32
Şekil 2.17 Elektrik Ark Spreyi Yöntemi	33
Şekil 2.18 HVOF Yöntemi	35
Şekil 2.19 Karbon fiber epoksi altlık üstüne yapılan plazma sprej kaplamaların yapışma kuvvetleri	39
Şekil 4.1 Plazma sprej kaplama yönteminin uygulaması	46
Şekil 4.2 Taramalı elektron mikroskopunun çalışma prensibi	49
Şekil 4.3 Elektron-Numune Etkileşimi	50
Şekil 4.4 Mikro sertlik cihazının çalışma prensibi	52
Şekil 4.5 Çekme testinin aşamaları yapısı	54

Şekil 5.1	Plazma sprey kaplama yöntemi ile yapılan kaplamaların içyapısı	72
Şekil 5.2	Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Altlık üzerine NiAl astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı	78
Şekil 5.3	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı	79
Şekil 5.4	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı	79
Şekil 5.5	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı	80
Şekil 5.6	Çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırması	81

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 2.1	Günlük yaşantımızda doğal plazma örneği (yıldırım düşmesi)	11
Resim 2.2	a) Gaz atomizasyonu ile üretilmiş Ni tozu, b) Kırma-öğütme ile üretilen Al_2O_3 tozu SEM resmi	17
Resim 2.3	Plazma sprey yöntemi kullanılarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin SEM görüntüsü	18
Resim 2.4	AISI 304 malzeme üzerine (Al-Ni) tozu ile kaplama	19
Resim 2.5	AISI 1020 malzeme üzerine (Al-Ni) tozu ile kaplama	19
Resim 2.6	Çekme deney numuneleri	21
Resim 2.7	Plazma sprey yöntemi ile kaplanmış araba subabı	27
Resim 2.8	Plazma sprey yöntemi ile kaplanmış gaz türbin parçası	28
Resim 2.9	Sürekli tavlama proses hattında kullanılan silindirlerin kaplaması	29
Resim 2.10.	Titanyum kalça protezi	30
Resim 2.11	Seramik kaplanmış iplik sargı, makara ve kılavuzları	31
Resim 4.1.	Metkon marka hassas kesme cihazı	47
Resim 4.2.	Zımparalama Cihazı	48
Resim 4.3.	Optik mikroskop	48
Resim 4.4.	Taramalı Elektron Mikroskobu	50
Resim 4.5.	Shimadzu HMV-2 mikro sertlik cihazı	53
Resim 4.6.	Çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları	55
Resim 4.7.	Çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları	55
Resim 4.8.	Çekme test cihazı	56
Resim 4.9.	Çekme cihazına yerleştirilmiş numune	56
Resim 5.1.	Kumlanmış kompozit malzemeler a) Kumlanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme yüzeyi, b) Kumlanmış cam elyaf takviyeli kompozit malzeme yüzeyi	57
Resim 5.2.	Kumlama yapılmış cam elyaf takviyeli kompozitin SEM görüntüsü	58
Resim 5.3.	Kumlanmış Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme	58

Resim 5.4.	Kumlanmış Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Yüzeyi	59
Resim 5.5.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune	59
Resim 5.6.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune	60
Resim 5.7.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl Astar+ $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune	60
Resim 5.8.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl Astar kaplanmış numune	61
Resim 5.9.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numune	61
Resim 5.10.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numune	62
Resim 5.11.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama (100X)	63
Resim 5.12.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl astar+ $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama (50X)	63
Resim 5.13.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)	64
Resim 5.14.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)	65
Resim 5.15.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama(100X)	65
Resim 5.16.	Karbon elyaf demeti	66
Resim 5.17.	Cam elyaf takviyeli kompozit altlık üzerine NiAl astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama	67
Resim 5.18.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama	68
Resim 5.19.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO_3 kaplama	69
Resim 5.20.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama	70
Resim 5.21.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO_3 kaplama	71
Resim 5.22.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunede kaplamanın içyapısı	72

Resim 5.23.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunede kaplamanın içyapısı	73
Resim 5.24.	İnceleme için bakalite alınmış numuneler	74
Resim 5.25.	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)	74
Resim 5.26	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)	75
Resim 5.27.	Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (500X)	75
Resim 5.28	Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (500X)	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Fe-Zn Denge Diyagramındaki fazların özellikleri	4
Çizelge 2.2 Karbon fiber epoksi malzeme üzerine kaplama yapılması esnasında plazma sprej parametreleri	39
Çizelge 4.1 Plazma sprej parametreleri	46
Çizelge 5.1 Kaplama kalınlıkları	66
Çizelge 5.2 Ölçülen sertlik değerleri	76

1. GİRİŞ

Kaplama, korozyon direnci, aşınma direnci, yorulma mukavemeti gibi özellikleri düşük olan malzemelerin bu özelliklerini iyileştirmek için ya da malzemenin fiziksel özellik, estetik görünüm gibi özelliklerini çalışma şartlarına uygun hale getirmek için yapılan yüzey sertleştirme işlemidir.

Kaplama yapmanın nedenleri:

- Korozyondan koruma
- Aşınma dayanımını arttırma
- Sürtünmeyi azaltma
- Estetik Özellikler
- Optik özellikler
- Elektriksel iletkenlik
- Termal iletkenlik
- Yorulma dayanımını arttırmak
- Radyasyona direnç
- İyon ve elektron değişimini arttırmak [1]. şekilde sıralanabilir.

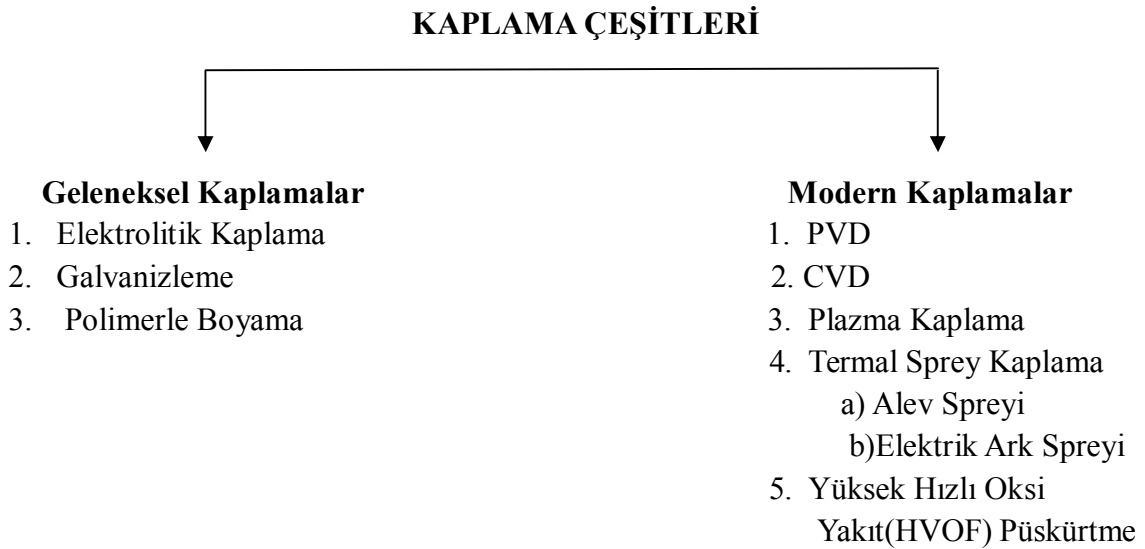
Genellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin, uygulanan yükleri taşıyabilecek dayanıklılıkta olması istenir. Bu özellikler doğrudan malzemenin kendisiyle ilgiliyken, bazı çalışma koşullarında malzemenin yapısal dayanıklılığı ile birlikte yüzey özellikleri de önem taşır. Bunlar iletkenlik, yarı iletkenlik, süper iletkenlik, yalıtkanlık, manyetik, optik, biyouyumluluk ve ısı özellikleri olabileceği gibi; aşınma, erozyon, yorulma, sürtünme ve korozyon dayanımı gibi malzemelerin kullanım sürelerini ilgilendiren özellikler de olabilir. İstenilen tüm bu özellikleri tek bir malzeme bulmak ya imkânsız ya da çok pahalıdır. Bu yüzden gerekli yapısal özellikleri sağlayan ucuz bir malzemeye istenilen yüzey özellikleri doğrultusunda kaplama yapılması en uygun yöntemdir.

Günümüzde malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, yüzey ve altlık malzemenin tasarımını bir arada ele alan ve bu ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemlere ‘Yüzey Mühendisliği’ adı verilir. Yüzey mühendisliği teknolojileri iki temel gruba ayrılır:

a) Yüzey işlemleri: Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin difüzyonu neticesinde yüzeyde bir bileşik tabakasının oluşturulması(nitrürleme, karbürleme, borlama vb.)

b)Yüzey kaplamaları: Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması ya da çöktürülmesi(metal-bileşik-alaşım-seramik kaplama, boya-cam-beton-emaye kaplama vb.) [2].

Kaplama çeşitleri ise şu şekilde sınıflandırılır:



Şekil 1.1. Kaplama çeşitleri [2]

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Geleneksel Kaplamalar

2.1.1 Elektrolitik Kaplama

Metalik bir eşyanın elektrolitik olarak başka bir metalle kaplanmasının amaçları:

- 1 - Korozyona karşı dayanıklılığının sağlanması,
- 2 - Dekoratif olarak iyi bir görünüm,
- 3 - Aşınma ve yıpranmaya karşı dayanıklılığının artırılması
- 4 - Darbelere karşı dayanıklılığın artırılması'dır.

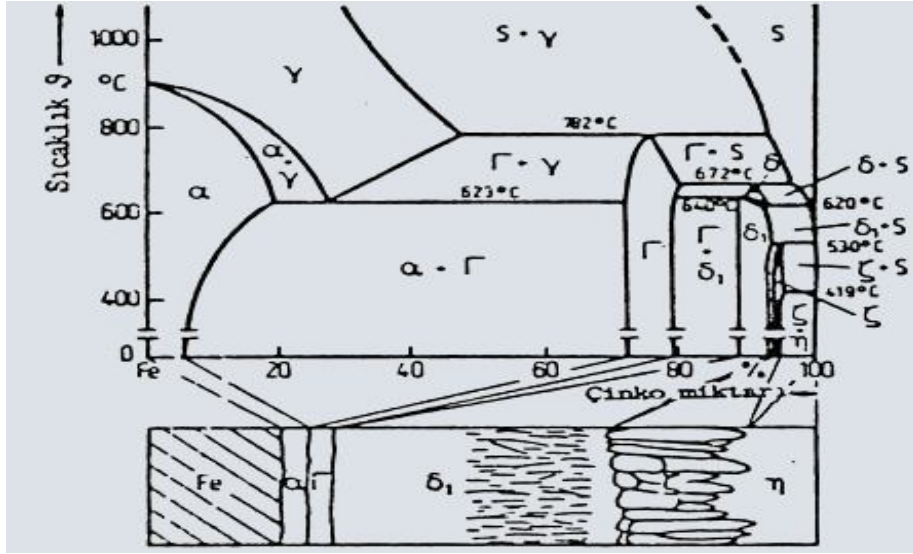
Bir metal yüzeyinin elektrolitik olarak kaplanabilmesi için kaplanmak istenilen metal, katot olarak kullanılır ve uygun bir elektrota batırılır. Yüzeyin kaplanılmasının istenildiği metal ise %99,999 saflıkta olmalıdır ve anot olarak kullanılır. Sadece krom kaplamalarda anot olarak çözünmeyen kurşun (%7 Sn+%93 Pb) kullanılır. Elektrolitik kaplamalarda düşük voltajlı doğru akım tercih edilir. Elde edilen kaplamanın yapısı kaplama cinsine ve elektroliz koşullarına bağlıdır. Kristal yapıda olan metallerin yüzeyde birikmesi olayı bir çeşit kristalleşme olup kaplama yapısını bu kristallerin yapısı belirlemektedir. Kristallerin oluşma biçimi 2 etkene bağlıdır:

- Kristallerin oluşum hızı
- Kristallerin büyüme hızı

Eğer kristallerin büyüme hızı, oluşum hızından büyükse büyük kristalli bir kaplama, küçükse küçük kristalli, daha düzgün, yapışmış ve ince bir kaplama elde edilir. Bu yüzden elektroliz şartları en uygun şekilde ayarlanıp, kristalleşmenin kolay olması sağlanırsa daha kaliteli kaplamalar elde edilir [3].

2.1.2 Galvanizleme

Demir esaslı bir malzemenin, sıvı çinko banyosuna batırılıp yüzeyinin koruma amaçlı olarak çinko ile kaplanmasına Galvanizleme denir. Bu işlem sırasında Şekil 2.1 'de verilen Fe- Zn faz diyagramında görülen fazlar oluşmaktadır. Bunlar ξ (zeta), δ (delta), η (eta), α (alfa) ve γ (gama) fazlarıdır ve bu fazların özellikleri de Tablo 2.1'de verilmiştir.[4]



Şekil 2.1.Çinko kaplama yapısının Fe-Zn Denge Diyagramı yardımı ile şematik açıklanması [5]

Çizelge 2.1. Fe-Zn Denge Diyagramındaki fazların özellikleri [4]

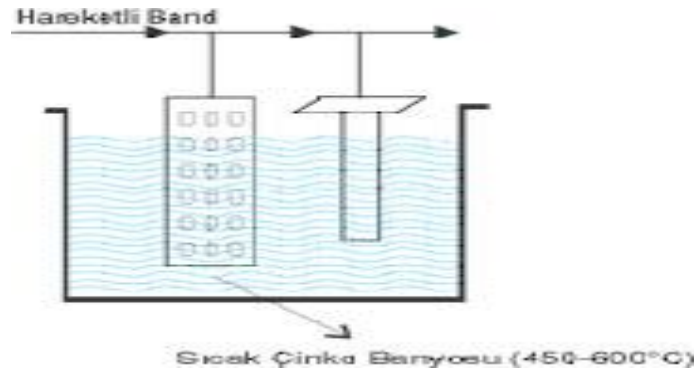
Faz	Kristal yapı	Formül	Sertlik (HV 0.025)
a -Fe (alfa)	HMK	Fe(Zn)	104
G (gama)	HMK	Fe ₃ Zn ₁₀	326
d (delta)	Hegzagonal	FeZn ₁₀	358
z (zeta)	Monoklinik	FeZn ₁₃	208
h (eta)	Hegzagonal	Zn(Fe)	52

Galvanizleme, demir esaslı ürünleri atmosferik, toprak altı ve su altı korozyonuna karşı korumak için yaygın olarak kullanılan bir koruma yöntemidir.

Çinko kaplama çeliği üç şekilde korumaktadır:

- Yüzeydeki çinko filminin ana metali ortamdaki ortamdan ayırmasıyla
- Kaplamadaki bir süreksizlik durumunda çeliği korumak için kurban olarak davranma yoluyla (katodik koruma)
- Zamanla oluşan çinko korozyon ürünlerinin korozyon hızını yavaşlatması yoluyla [4].

Galvanizleme yöntemi ile kaplamanın nasıl yapıldığı aşağıda Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2.Galvanizleme yöntemi[5]

2.1.3 Polimerle Boyama

Metalik malzemelerin korozyondan korunması için polimerlerle boyanması uzun süredir uygulanan bir kaplama tekniğidir. Polimerlerin koruma etkisi genel olarak yüzeyde bir örtü oluşturması ve metalik malzemenin atmosferle ilişkisini kesip korozyonu engellemesi ile açıklanır [3].



Şekil 2.3. Polimerik boyalar [3]

2.2 Modern Kaplamalar

2.2.1. PVD (Fiziksel buhar çökeltme)

Diğer kaplama yöntemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda yapılan PVD işleminde; katı, sıvı veya gaz kaynağından fiziksel olarak elde edilen kaplama malzemesi atomik, moleküler veya iyon şeklinde, kaplanılmak istenilen yüzeye gönderilir. Sıcaklık daha düşük olduğu için altlık malzemenin mikroyapısı ve özelliklerinde herhangi bir değişme gözlenmez. Buharlaştırma, saçılma ve iyon kaplama şeklinde 3 değişik yöntemi vardır.

2.2.1.1. Buharlaştırma kaynaklı PVD işlemi

Buharlaştırma kaynaklı PVD işlemi cam mercek veya diğer optik bileşenler üzerine kaplama yapmak için uzun yıllardır kullanılan en basit PVD kaplama işlemidir. Kaplama genellikle elektron ışını ile ısıtılmış olan malzemenin vakum altında (yaklaşık 10^{-3} Pa) buharlaştırılıp hedef malzemeye kaplanması ile gerçekleştirilir. Isıtılmış yüzeyden atom şeklinde ayrılan ve soğuk olan altlık malzemeye doğru hareket eden metal, havada soğuk gaz molekülleri ile çarpışarak enerjisini kaybedebilir. Bu durumun engellenebilmesi için altlık malzemenin kaynağa uygun bir pozisyonda olması ve dönmesi gerekir. Ancak vakum ortamında bunun yapılabilmesi çok pahalı bir işlemdir. Ayrıca bu yöntemin bir

diğer dezavantajı da kaplamanın yapışma mukavemetinin düşük olmasıdır. Yapışma mukavemetini iyileştirmek için altlığı ısıtmak bir parça problemin çözülmesine yardımcı olsa da yine de buharlaştırma kaynaklı PVD işlemi ile üretilmiş kaplamalar tribolojik amaçlar için çok uygun değildir.

2.2.1.2.Saçılma kaynaklı PVD işlemi

Saçılma işlemi enerjili parçacıklar ile yüzeyin bombardıman edilmesi sonucu momentum değişimi sağlanarak sıvı veya katı yüzeyinden malzemenin koparılması ve taşınması işlemidir. Bu şekilde katot (hedef) atomlarının yüzeyden koparılma işlemi saçılma olarak adlandırılır. Hedef olarak adlandırılan kaplama malzemesi kaynağı, vakum odası içinde kaplanacak olan malzemeye yani altlığın karşısına yerleştirilir. Vakum odası 10^{-5} - 10^{-6} mbar mertebesinde basınç değerine ulaştırılır. Vakum odası, daha sonra yüksek saflıktaki bir gaz (Ar) ile 10^{-2} - 10^{-3} mbar basınca tekrar çıkartılır. İyon bombardımanına tutmak için hedef katot, iş parçası anot konumundadır. Hedef ve anot arasına uygulanan 500–5000 V arasında potansiyel gerilim ile yani elektriksel boşalma ile plazma durumuna geçen Ar gazının iyonize olması sonucunda hedef bombardıman edilir ve oradan koparılan parçacıklar ile kaplama işlemi gerçekleştirilir. Hem gaz atomlarının çarpışma yolu ile iyonizasyonu ve hem de pozitif iyonlar ile katottan koparılan elektronlar ile elektriksel boşalma olayının devamlılığı sağlanır ve işlem sürekli olarak devam eder.

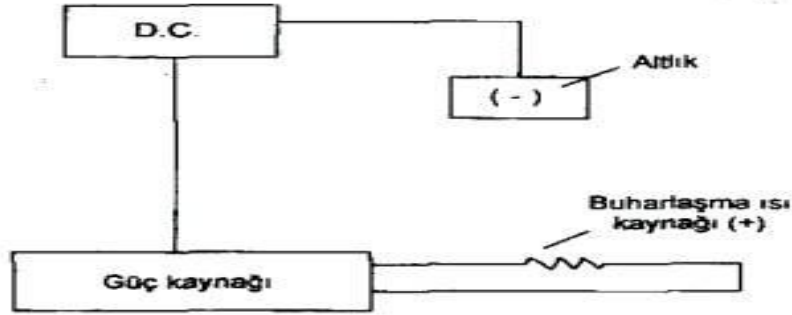
2.2.1.3 İyon Kaplama Yöntemi

İyon kaplama yönteminde buharlaşma ile üretilen parçalar elektrik alanı ile hızlandırılarak altlık malzemesine doğru gönderilmektedir.

Buharlaştırma işlemi ya elektron ışını ile ya da direnç şeklinde ısıtılarak veya buharlaştırılacak malzemeye ark tutuşması ile sağlanır.

Başlangıçta vakum odası 10^{-6} mbar mertebesinde boşaltılır daha sonra yüksek saflıkta (Ar) bir gaz ile 10^{-2} - 10^{-3} mbar mertebesinde tekrar doldurulur. Daha sonra 500-5000V potansiyel gerilim uygulayarak elektriksel boşalma plazma elde edilir. Buharlaşan

atomların bir kısmı, plazmada pozitif olarak iyonize olur ve 2–5 Kv negatif potansiyelde tutulan kaplanacak malzemeye doğru hızlanır. Bir kısım atomlar da yüksek enerjili Ar atomları ile çarpışmadan kazanılan hareket ile kaplanacak malzemeye doğru yönelirler. Sonuçta iyi yapışmış ve üniform bir şekilde dağılmış kaplama elde edilir. İyon kaplama işlemi ile dakikada birkaç μm çökeltme oranı elde edilebilir. PVD yöntemlerinde olduğu gibi sisteme dâhil edilen reaktif bir gaz ile yüzeyde oluşan bileşime izin verilebilir. Bu işleme reaktif iyon kaplama denilmektedir. Bu işlem, yaklaşık 400 °C' de kaplanacak malzemeyi çevreleyen N ve Ar gazları karışımında elektriksel boşatma ile buharlaşan Ti metali ile TiN kaplamalar oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, özellikle takım çelikleri ile diğer sert malzemelere ana malzemede yumuşama meydana getirmeden uygulanabilmektedir [6,7].



Şekil 2.4. İyon kaplama yöntemi[6]

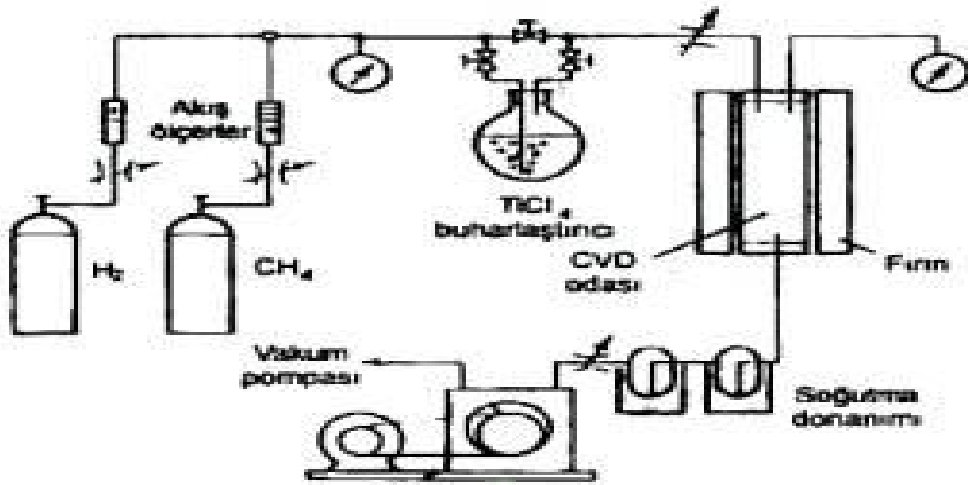
2.2.2 CVD (Kimyasal buhar çökeltme)

CVD işlemi, ısıtılmış ana malzeme (altlık) yüzeyinde ısıl destekli kimyasal reaksiyonları içeren bir yöntemdir. Bu yöntemle tek kristalli, çok kristalli veya amorf yapılar elde edilebilir. Kimyasal reaksiyonlar sırasındaki fiziksel ve kimyasal şartlar, oluşturulacak olan kaplama yapısına, etki ettiğinden işlem kontrolü gerekmektedir.

CVD yöntemi ile kaplama, Campbell isimli bilim adamı ve arkadaşları tarafından, metal tuzlarının kimyasal indirgenmesi sonucunda gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen

kimyasal reaksiyon sonucunda, 1000 °C civarındaki sıcaklıklarda yaklaşık 5–6 saat süren işlem süresince 5–15 µm tabaka kalınlıkları elde edilebilmektedir.

1950'lerden sonra başlayan ilk çalışmalar sonucunda metalurjik, elektriksel ve optik uygulamalarda CVD yöntemi ile metal karbür, nitrür ve oksit kaplamaların elde edilebileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu çeşit kaplamalar için metal tuzlarının hidrojen, azot veya metan ile reaksiyonu sonucunda saf metaller veya onların karbürleri ya da nitrürleri ile oksit kaplamalar elde edilmektedir [6].



Şekil 2.5. CVD yöntemi ile TiC kaplama işlemi için kullanılan donanımların şematik gösterimi [6]

CVD kaplama için geliştirilen donanımlar (Şekil 2.5), sıcak reaksiyon kazanı ve gaz taşıyıcılardan oluşmaktadır. Genellikle, sıcak reaksiyon kazanında kaplama işleminin uygulandığı malzeme (altlık) konveksiyon ya da radyasyon yolu ile ısıtılmaktadır. İşlem, iş parçasının sıcaklığının değişimi ve gaz karışımının basıncının ve bileşiminin değişimi ile kontrol edilmektedir. Optimum çökeltme oranı vakum altında elde edilmektedir. İşlem şartlarına bağlı olarak dakikada 0,1–1 µm kalınlığa kadar çökeltme oranı elde edilmektedir. 10 µm kalınlığına kadar tabakalar istenmekle beraber korozyon direncinin istendiği bazı uygulamalarda daha da kalın tabakalar oluşturulabilmektedir. Çökeltilen tabakanın tane boyutu ve mikro yapısı işlem şartlarına bağlı olarak değişmekte olup genellikle, CVD işlemi sonucunda meydana gelen tabaka yapısı sütunsal şeklinde bazen de başlangıçta eş eksenli yapı meydana gelebilmektedir [6].

2.2.3 Plazma Sprey Kaplama

Plazma sprey kaplama yöntemi 1937 yılında Reineck tarafından bulunmuş ancak ilk endüstriyel uygulaması 1960'lı yıllarda havacılık sahasında görülmüştür. Plazma; maddenin 4. hali olarak bilinen, bünyesinde eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulunduran, enerji seviyesi yükseltilmiş bir gaz buharıdır. Plazma sprey kaplama yönteminin temel esası kaplanılmak istenilen seramik, metalik, karbür, oksit, plastik veya kompozit karakterli tozların plazma enerjisi ile eritilmesi ve kaplanılmak istenen yüzeye püskürtülmesine dayanır. Plazma oluşturmak için bir gaz kütlesine enerji verilerek kararlı gaz yapısının bozulması ve denge dışı yoğun bir enerji bulutunun ortaya çıkması sağlanır. En yaygın ve basit yöntem gaz kütlesine elektrik enerjisi verilmesidir. Plazma sprey kaplama yönteminin en büyük avantajı çok yüksek sıcaklıklara çıkılarak erimesi zor olan seramik ve metal alaşım tozlarının dahi kolayca eritilmesini sağlamasıdır. Seramik tozları, yüksek aşınma dayanımları ve sertlikleri, hammaddelerinin kolay bulunabilirliği ve buna bağlı olarak ucuzluğu, korozyon, oksidasyon ve termal özelliklerinin iyi olması gibi sebeplerle önemli bir kaplama malzemesidir. Ancak erime sıcaklıklarının çok yüksek olması bu tozların kaplanabilirliğini sınırlandırmaktadır. İşte plazma sprey kaplama teknolojisi sayesinde yüksek erime sıcaklığına sahip bu malzemeler de kolayca kaplanabilmeye başlanmıştır.

Plazma sprey prosesinde plazma, sprej tabancası içerisinde bulunan bakır anot ile toryum katot arasında oluşturulur. Anot ile katot arasına verilen yüksek voltaj arkı plazma gazlarının (Ar, H₂, N₂, He) nötr durumlarının bozulmasına neden olur ve disosiyasyon, iyonizasyon, rekombinasyon olayları sonucunda 20.000⁰ K sıcaklığa kadar çıkan plazma meydana gelir. Isınan gazlar genişler ve partiküllerin hızının daha da artırılması için dar bir boğazlı bir nozul içerisinden geçirilir. Kaplama tozları ise taşıyıcı Ar gazı ile bu oluşturulan plazma huzmesinin içine beslenir. Bu çok sıcak olan gaz içerisinde eriyen tozlar altlık malzemenin üzerine püskürtülür. Altlığa çarpan tozlar yassılaşıp ve lamelli bir kaplama yapısı oluşturur [8]. Plazma sadece plazma sprej kaplama prosesinde değil günlük hayatımızda da karşımıza çıkmaktadır. Yıldırım çarpması doğal bir plazma örneğidir. (Resim 2.1)



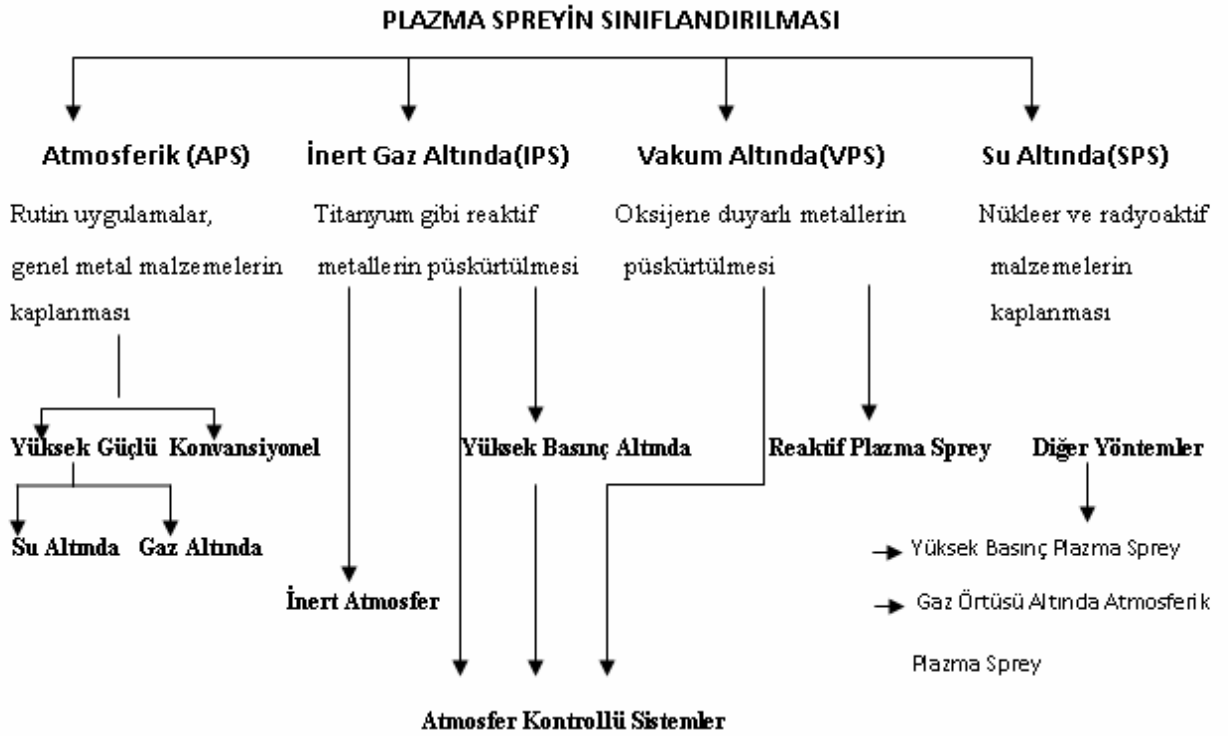
Resim 2.1. Günlük yaşantımızda doğal plazma rneği (yıldırım düşmesi)

2.2.3.1 Plazma Spreyin Sınıflandırılması

Plazma spreyin çok yaygınlaşmasının sebebi prosesin özellikleridir. Plazma sprej, termal spreyin bir alt yesi iken prosesin çok yönlülüğü yöntemin kendi başına bir kaplama prosesi olmasını sağlamıştır Plazma spreyin avantajları;

- Her türlü, her geometride ve büyüklükte malzemenin kaplanabilmesi
- Sabit ergime noktasına sahip tüm malzemelerin kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi
- Daha düşük altlık sıcaklığı
- Daha yüksek depozisyon hızı, daha kalın, sert, homojen, saf kaplamalar
- Uygun yatırım ve işletme maliyeti

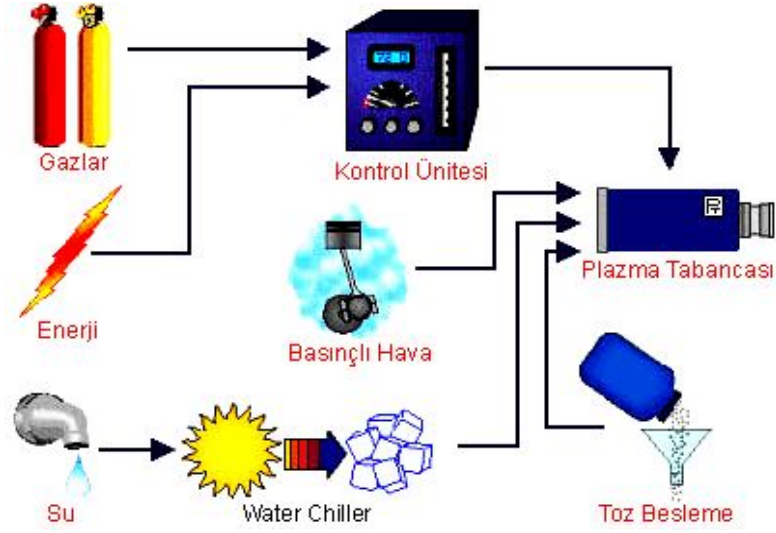
Plazma spreyn kaplamannın çeşitleri genelde benzer esaslara dayanmakla birlikte sınıflandırılması kaplama tabancasının bulunduğu ortama göre yapılır. Kaplama tabancası atmosfer ortamında bulunuyorsa, atmosferik plazma spreyn, inert gaz ya da avkum altında bulunuyorsa inert plazma spreyn veya vakum plazma spreyn olarak adlandırılır [8,9].



Şekil 2.6. Plazma spreyn kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması [8]

2.2.3.2 Plazma Spreyn Kaplama Sistemi

Plazma spreyn yöntemi ile kaplama işleminin gerçekleştirildiği plazma spreyn sistemi başlıca; Güç ünitesi, gaz besleme ünitesi, toz besleme ünitesi, soğutma sistemi, spreyn tabancası ve kontrol ünitesinden meydana gelmektedir. Bu sistemlerin fonksiyonu aşağıda kısaca verilmiştir [9].



Şekil 2.7. Plazma sprej kaplama ünitesinin şematik gösterimi[9]

Güç Ünitesi

Plazma kaplama sisteminde kullanılan güç kaplama kalitesini doğrudan etkilemektedir. Çünkü anotla katot arasındaki potansiyel fark ne kadar fazla olursa anottan yayılan serbest elektronların hızı o kadar fazla olmaktadır. Hızlı elektronlar ise hızlı çarpma etkisiyle gazların daha fazla iyonize olmasına neden olurlar. Bu durum da tozların daha hızlı olarak yüzeye çarpmasına ve daha yoğun kaplamaların elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Plazma sprej sistemi için kullanılan güç ilk zamanlar 40 kW iken günümüzde 80, 120, 220 kw lık güç üniteleri kullanılmaktadır.

Gaz Besleme Ünitesi ve Plazma Gazları

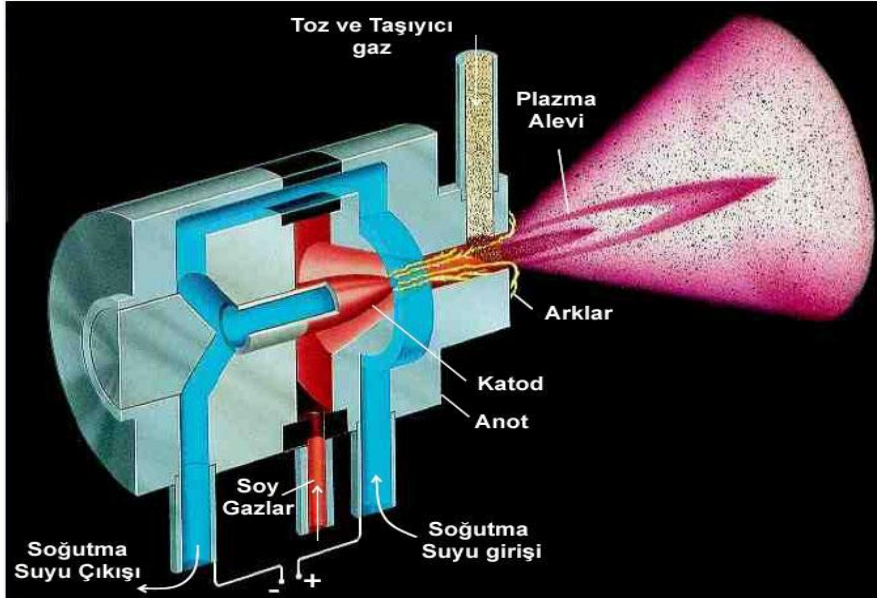
Plazma sprej kaplama yönteminde kullanılan gazlar Ar, N₂, H₂, He' dur. Bu gazların hepsi farklı özellikler (disosiyasyon, iyonlaşma özelliği, ısı kapasitesi vb.) gösterirler. Proses boyunca gazların görevleri püskürtülen toz parçacıklarını hızlandırarak altlık malzeme yüzeyine taşımak, ayrıca tozların etrafını sararak onların atmosferle etkileşimlerini engellemektir.

Toz Besleme Ünitesi

Toz besleme ünitesinin görevi, kaplanılacak olan toz partiküllerini oluşturulan plazma huzmesinin içine taşımaktır. Homojen kalınlıkta, kaliteli bir kaplama elde edebilmek için tozların düzenli bir şekilde ergitme ortamına taşınabilmesi gerekir. Tozların taşınmasında genellikle N_2 veya Ar gazları kullanılır. Bu gazların çalışma parametreleri toz üretici firmalarının tavsiyelerine göre ayarlanır.

Plazma Sprey Tabancası

Plazma enerjisinin üretilmesi sırasındaki tüm süreçler (dissosyasyon, iyonizasyon ve plazma hali) tabanca içinde meydana geldiği için plazma sprej tabancası prosesin en önemli parçasıdır. Kaplama kalitesi tabancanın dizaynı ile doğrudan ilgilidir. Toz besleme ve ergitme sürelerinin kontrolü kaplamanın birikme verimini belirlerler ve bu kontroller de püskürtme tabancasından yapılır. Plazma sprej tabancasının kesiti ve plazma oluşumu Şekil 2.8 de verilmiştir [8,9].



Şekil 2.8. Plazma sprej tabancasının kesiti ve plazma oluşumu [8]

2.2.3.3. Plazma Spreyde Proses Parametreleri

Kaplama prosesini kontrol eden parametreleri üç temel gruba ayırmak mümkündür. Bunlar, kaplama tabancasına, kaplama malzemesine, püskürtme süreci ve altlık malzemesine bağlı karışık bir süreçtir. Şekil 2.9'da proses parametrelerine genel bir bakış verilmektedir. Başarılı bir kaplama üretmek için tüm parametrelerin optimize ve birbirleriyle senkronize edilmesi önemlidir. Bu noktadan bakılınca plazma sprej prosesinin çok basit bir teknoloji olmadığı, teknolojik ve bilimsel bilgiye ihtiyaç gösterdiği ortadadır [9].

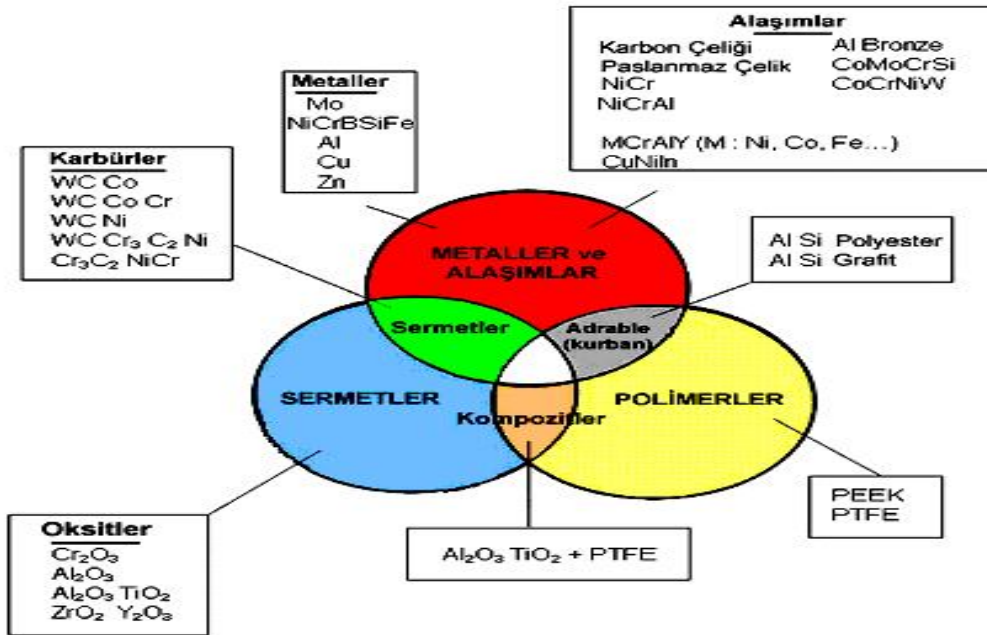


Şekil 2.9. Termal/plazma sprej prosesine etki eden parametreler [9]

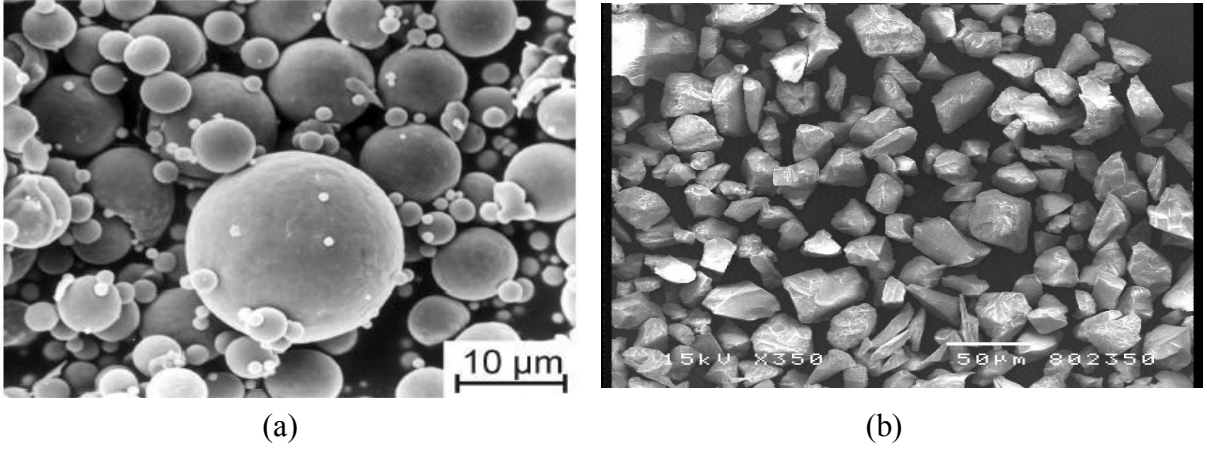
2.2.3.4. Plazma Spreyde Kullanılan Kaplama Tozları

Plazma sprej kaplama tekniği ile sabit bir ergime noktasına sahip, toz formunda üretilebilen ve süblime olmayan tüm seramikler, metaller, plastikler vb. kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler.(Şekil 2.10.) Kullanılan tozların farklı özellikleri,

tane boyut ve dağılımları olabilir. Tozlardan beklenen en önemli özellik iyi bir akışkanlığa sahip olmaları ve homojen ergimeleridir. Tozun akışkanlığı kaplama malzemesinin oluşturulan plazma huzmesine iyi beslenebilmesi için önemli bir özelliktir. Kaplama sırasında tozun ergimesine ve ergime zonuna iyi beslenebilmesine tozun şekli etki eder. Düzenli küresel şekilli tozlarda yüzey\hacim oranı ısı transferini ve buna bağlı olarak ergimeyi olumsuz yönde etkilerken, düzensiz şekilli tozlarda hızlı ergime sağlanabilmektedir. Genellikle metal karakterli tozlar, küresel, yuvarlatılmış ve aglomere edilmiş şekilde kullanılmaktadır.(Resim 2.2 a) Seramik karakterli tozlar ise genellikle köşeli formda üretilmektedir.(Resim 2.2 b) Toz üretim yöntemleri; sinterleme, aglomerasyon, kırma-öğütme, atomizasyon (su veya gaz), sol-jel vb.tekniklerde tozların şekli değişmektedir. Uygulamalarda kaplama yöntemine bağlı olarak toz boyutu +5–120 µm arasında değişebilir [10].



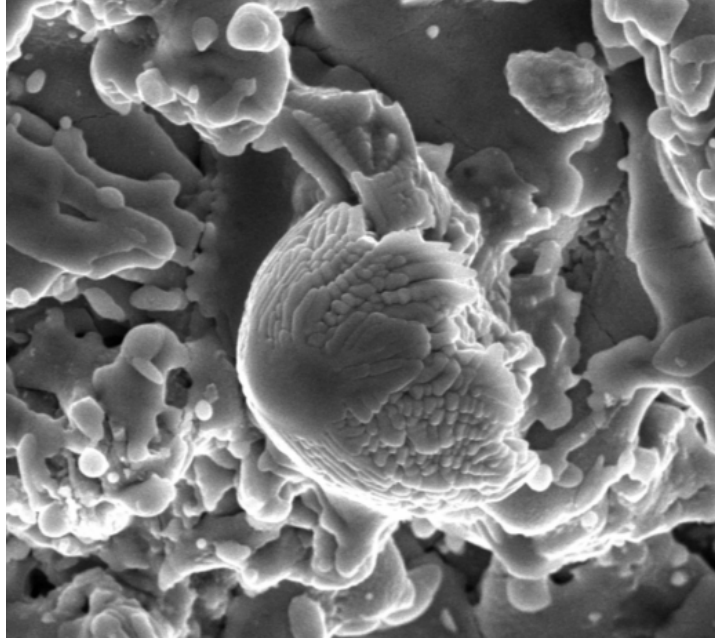
Şekil 2.10.Plazma sprejde kullanılan toz grupları [9]



Resim 2.2 a) Gaz atomizasyonu ile üretilmiş Ni tozu, b) Kırma-öğütme ile üretilen Al₂O₃ tozu SEM resmi [9]

2.2.3.5. Plazma Spreyde Tabaka Oluşumu ve Kaplama Karakteristikleri

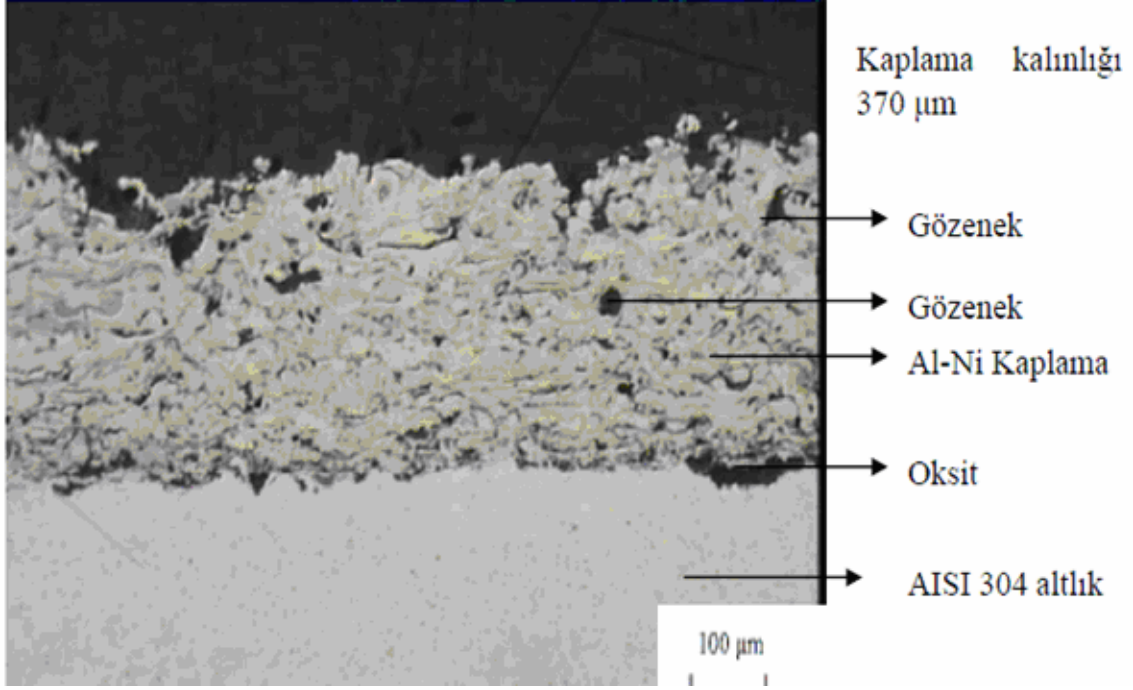
Plazma sprej kaplama yönteminde kaplama tabakasının özellikleri büyük oranda püskürtme şartlarına, seçilen teknolojiye ve kaplama malzemelerine bağlıdır. Plazma sprej kaplama prosesi genel olarak kaplama tozlarının oluşturulan plazma içerisinde eritilmesine, sonra bu tozların taşıyıcı gazlar yardımıyla altlık malzemenin yüzeyine püskürtülmesine dayanmaktadır. Diğer bir deyişle kaplama tozları erir, altlığa kadar yol alır ve yol alırken ortam atmosferiyle reaksiyona girer, sonra altlık üzerinde hızla katılarak soğur ve kaplama tabakasını oluşturur [8,9]. Ergitilen partiküller, altlığa ulaşmaya kadar yüzey gerilimlerinin sonucu olarak yağmur damlası veya küresele yakın formda bulunur.(Resim 2.3)



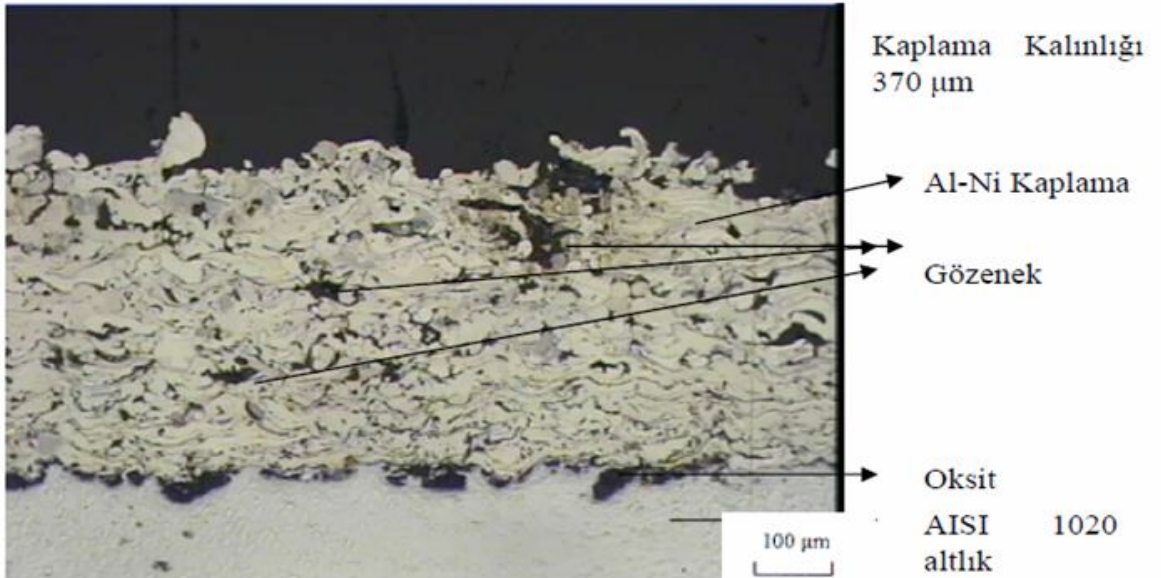
Resim 2.3. Plazma sprej yöntemi kullanılarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin SEM görüntüsü

Plazma sprej yöntemi ile üretilen kaplamalarda lamelli bir yapı görülmektedir. Kullanılan sprej parametrelerine ve tozun özelliklerine bağlı olarak kaplama yapısı az veya çok poroziteli, mikroçatlaklı, heterojen ve anizotropik (özelliklerin yöne bağlılığı) özellik gösterir. Üretilen kaplamalar, homojen değildir ve farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Kaplama malzemeleri, kaplama/ergime esnasında faz dönüşümüne uğrayabilmektedir. Ayrıca kaplamada tam ergimemiş partiküller ve yüzeyi oksitlenmiş partiküller de görülebilir [10]. (Resim 2.4 ve Resim 2.5)

Porozite, püskürtme yoluyla üretilen kaplamaların karakteristik özelliğidir ve tabaka içerisindeki boşlukları ifade etmektedir. Plazma sprej kaplamalarda, porların geometrisi ve dağılımı üniform değildir. Porların çapları 20 ila 100 μm arasında değişmektedir. Porozite, kaplama malzemelerinin yüzeye düzensiz bir şekilde birikmesi sonucu oluşur. Kaplamalarda porozite artan tabanca (ergitme) gücü ve sprej mesafesinin azalmasıyla düşer. Porozite kaplamaların, sertlik, aşınma direnci ve yapışma mukavemetini azaltır ve kullanım ortamına bağlı olarak iş parçasının servis ömrünü kısaltabilir [11,27].



Resim 2.4. AISI 304 malzeme üzerine (Al-Ni) tozu ile kaplama [10]



Resim 2.5. AISI 1020 malzeme üzerine (Al-Ni) tozu ile kaplama [10]

2.2.3.6. Plazma Sprey Kaplamanın Bağ (Yapışma) Mukavemeti

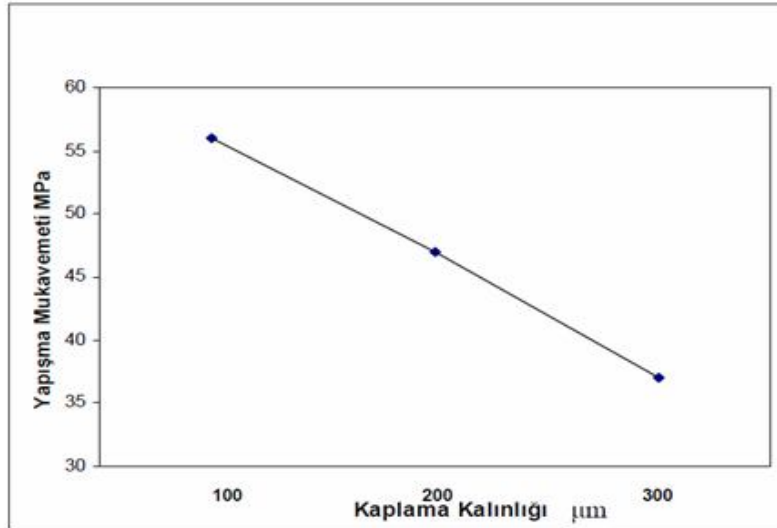
Kaplamaların bağ (yapışma) mukavemeti kaplama parametrelerine, kaplanacak malzeme özelliğine, altlığın cinsine (demir veya demir dışı) ve altlık yüzeyinin durumuna (temizliğine, pürüzlülük derecesine ve geometrisine) bağlıdır. Termal spreycaplamalarının ana malzeme üzerine yapışması, kumlanmış yüzeylerde mekanik, (seramik esaslı kaplamalar) Vander-Wals kuvvetleri (metal esaslı kaplamalar) ve noktasal bölgelerde görülen sınırlı bir difüzyon ile gerçekleşir. Plazma spreyle üretilen seramik kaplamalar, gevrek ve kırılğan yapıları nedeniyle, metal esaslı kaplamalara nazaran daha düşük yapışma mukavemetine sahiptir. Kaplamaların yapışma mukavemeti artan tabaka kalınlığı nedeniyle azalır. Altlık ile seramik tabaka arasındaki termal genleşme uyumsuzluğunun giderilmesine yönelik uygulanan ara metalik kaplamalar (Ni-Al, Ni-Cr, NiAlCrY), yapışma mukavemetini olumlu yönde geliştirir [9,29].

Kaplamanın bağ mukavemetini belirlemek amacıyla yapılmış bir çalışmada paslanmaz çelik ve karbon çeliklerinin üzerine seramik ve metal esaslı tozlar plazma spreycaplaması yöntemi kullanılarak kaplanmış daha sonra bu numunelere çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi, kaplanmış olan numunelerin deney için hazırlanmış test kuponlarına iki taraflı olarak yapıştırıcı ile yapıştırılıp çekme deney cihazında çekilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri bütün numuneler için çekme cihazında 5000N\ Dak sabit yüklemde yapılmıştır [10].



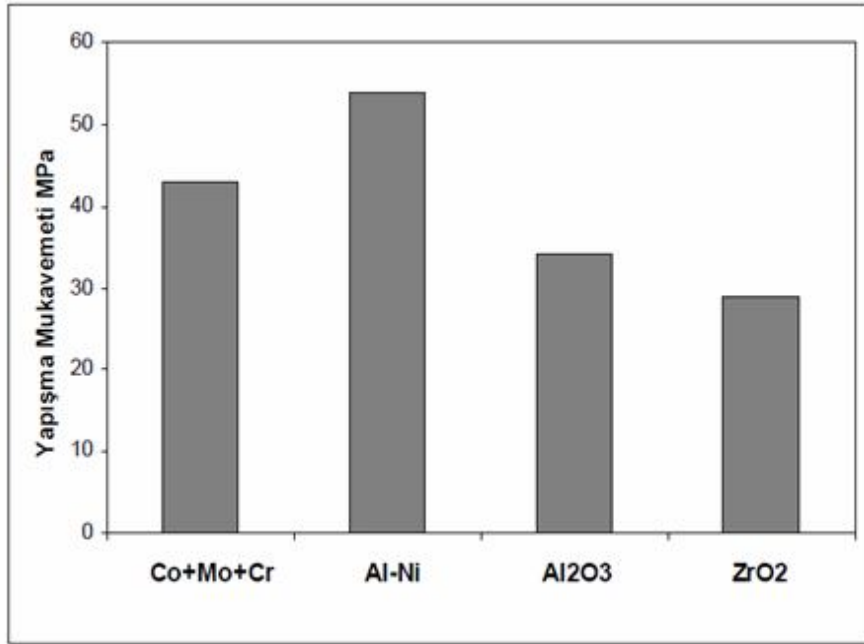
Resim 2.6. Çekme deney numuneleri [10]

Deney sonucunda kaplamaların yapışma mukavemetleri incelendiğinde kalınlık arttıkça yapışma mukavemetinin azaldığı sonucuna varılmıştır.(Şekil 2.11) Çünkü kalınlığın artması malzemeler arasındaki uyumsuzluğun artmasına ve buna bağlı olarak da yapışma mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır [10].

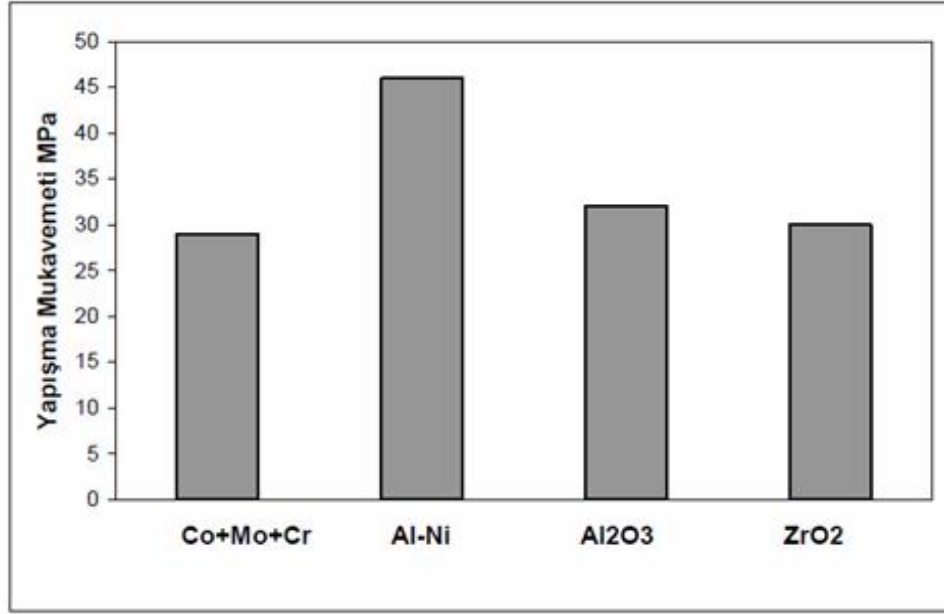


Şekil 2.11. AISI 304 paslanmaz malzeme üzerine kaplanmış Co+Cr+Mo tabakasının kalınlığı ile yapışma mukavemetinin değişimi [10]

Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 de AISI 304 paslanmaz çelik ve AISI 1020 karbon çeliği üzerine farklı tozlarla yapılan kaplamaların çekme deneyleri sonucu elde edilen yapışma mukavemet değerlerini içermektedir. Her iki grafiğin kendi içinde değerlendirilmesinden Al-Ni kaplamanın adezyonunun daha iyi olduğu ve daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiş, ikinci yüksek mukavemetin Co+Cr+Mo kaplamadan elde edildiği görülmüştür. Seramik esaslı tozların ise daha düşük mukavemet değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni altlık ile kaplama tozlarının metal-metalkafes yapısında daha iyi bir uyum sağlayacak olmasıdır [10].



Şekil 2.12. AISI 304 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri [10]



Şekil 2.13. AISI 1020 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri [10]

2.2.3.7. Plazma Sprey Kaplamaların Sertliği ve Aşınma Direnci

Mühendislik malzemelerinin seçimi, bu malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi ile sağlanabilmektedir. Malzemelerin yüzey sertliği veya mikro sertliği, özellikle aşınmaya maruz kalan makine elemanlarında bilinmesi gereken bir mekanik özelliktir. Yüzey kaplama işlemi sonrası, yüzey sertliğin ölçülmesi için Mikro Sertlik Cihazı kullanılır. Kaplama malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükün uygulanarak batıcı ucun malzemeye batırılması sonucu, oluşan izin boyutlarının ölçülmesi prensibiyle sertlik belirlenir. Mikrosertlik ölçümü, kaplamaların kullanım alanlarını veya kullanım alanına göre mikro sertliğin artırılması veya azaltılması için bilgi sahibi olmamızı sağlar [12].

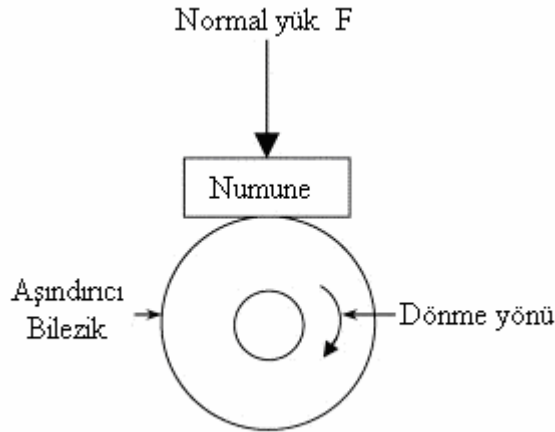
Plazma sprej kaplama yöntemiyle elde edilen kaplamalar karakteristik olarak poroziteli yapıya sahiptirler. Ayrıca kaplanan malzeme ile altlık malzeme arasındaki termal uyumsuzluğun fazla olması kaplamada mikro çatlaklara neden olur. İşte bu porozite ve mikro çatlakların fazla olması kaplamaların sertliğini düşürebilir. Bu yüzden plazma sprej kaplama yapılırken sert bir kaplama elde etmek için sprej parametreleri kontrolü

ile mümkün olduğu kadar az poroziteli kaplama eldesine çalışılmalı, kaplama-altlık arasındaki termal uyumsuzlukları gidermek içinse ara kaplamalar kullanılmalıdır. Böylece istenilen sertlikte kaplamalar elde edilebilir [10].

Plazma sprej kaplamalarının en yaygın uygulamalarından birisi de aşınmaya karşıdır. Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerini birbirini etkilemesi sonucu sürtünme neticesinde mekanik etkenler ile malzeme kaybına aşınma denir. Kaplamalar, muhtelif tür aşınmalara (abrasif, adhezif, erozif vb.) maruz kalırlar. Malzemelerin aşınma özelliklerini belirlemek için genel olarak üç şekilde aşınma deneyleri yapılmaktadır. Bunlar;

1. Sürtünme aşınması (Disk-pim, Bilezik-blok veya dönen çift disk şeklinde)
2. Darbe aşınması (Disk üzerinde salınlı pim veya parça püskürtme şeklinde)
3. Yuvarlandırılmalı aşındırma (Silindir üzerinde bilye şeklinde) [13].

Aşınma deney setleri olarak genellikle en yaygın Bilezik-blok veya Disk-pim şeklindeki aşınma mekanizma setleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.14. Bilezik-blok şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması [13].

Aşınma deneyleri sonucunda genellikle madde kaybı belirlenir. Kaplamaların aşınma performansı, kaplanan malzeme ve çalışma ortamına bağlı olarak değişmektedir. Plazma spreyle kaplanan Cr_2O_3 , Al_2O_3 , $Al_2O_3+TiO_2$ gibi oksit esaslı seramik kaplamalar yüksek sertlikleri ve ergime sıcaklıkları nedeniyle özellikle aşınma uygulamalarına karşı tercih edilirken, NiCrAlY, Ni-Co, Ni-Cr gibi metaller ve karbür ($WC-Co$, Cr_2C_3-NiCr) malzemeler de aşınmayı önlemek için kaplanabilmektedirler [14].

2.2.3.6 Plazma Sprey Kaplamaların Teknolojik Uygulamaları

Seramik kaplama uygulamalarında uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan parçaların yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı korunmasına yönelik ilk çözüm, plazma spre yöntemiyle mümkün olmuştur. Termal bariyer amaçlı seramik kaplama uygulamaları, uçak ve gaz türbin motorlarında, türbin kanat ve yanma odalarında verimliliği ve türbin ömrünü arttırmıştır.

Bu sektörde elde edilen sonuçların başarısı plazma püskürtme yönteminin diğer birçok alana yayılmasına öncülük (kâğıt, çelik üretimi, tekstil, otomotiv, kimya, elektrik, enerji, petrol endüstrisinden günlük ev eşyalarına kadar) etmiştir.(Şekil 2.15) Endüstrinin çeşitli kollarında halen sürekli veya otomatik/ yarı otomatik kontrollü plazma püskürtme sistemleri ile metalik, intermetalik, alaşım, plastik, oksitli, karbürü, nitrürlü seramik veya sermet gibi kompozit esaslı kaplama malzemeleri tek katman ve/ya çok katman olarak altlık malzemeye kaplanabilmektedir. Başlıca kullanım amaçları;

Sürtünme/ aşınma/ erozyon direnci,

Korozyon/ oksidasyon direnci,

Kimyasal inertlik,

Termal bariyer / termal şok/ termal yorulma direnci,

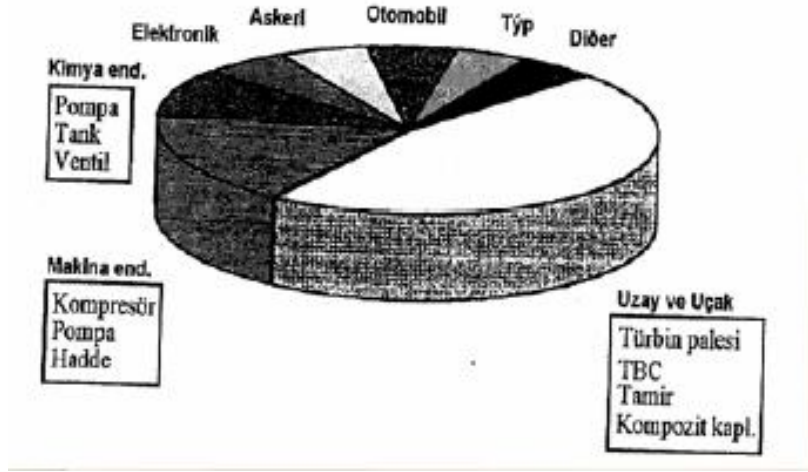
Elektriksel direnç/ yalıtım,

Biyoyumluluk

Radyasyon yalıtımı

Lokal ve yerinde kaplama yapılmasına imkân sağlaması olarak sayılabilir.

Plazma püskürtme yöntemi yakın geçmişine rağmen diğer seramik kaplama ve kalın tabaka üretiminden diğer yöntemlere (PVD, CVD, Sol-Jel) göre rakipsizdir [8,14].



Şekil 2.15. Plazma spreylendirme yönteminin kullanıldığı alanlar [14]

Otomotiv Endüstrisi

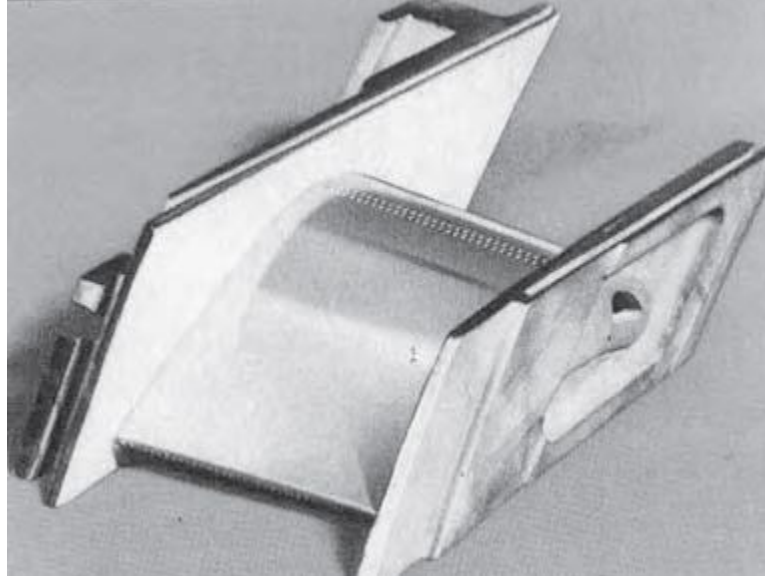
Otomotiv endüstrisinde dizel motorların piston başlıkları, subap yüzeyleri ve silindir kapakları yakıtın daha yüksek yanma sıcaklıklarına ulaşması, ısı kayıpların azaltılması ve motor veriminin artırılması için ZrO_2 esaslı malzemelerle kaplanmaktadır. Ford motor şirketi fabrikalarında günde 12.000 alternatör seramik monolitlere göre gerek ekonomik olması gerek korozyona dirençli olması nedeniyle APS tekniği ile Al_2O_3 kaplamaları kullanmıştır [15].



Resim 2.7. Plazma sprej yöntemi ile kaplanmış araba subabı [15]

Uzay Ve Havacılık Endüstrisi

Gaz türbin motoruna hava kompresörüyle giren toz parçacıklarının oluşturduğu aşınma ve erozyon etkilerine karşı Cr_3C_2 + %25 NiCr, WC-Co kaplamalar APS tekniği ile uygulanmaktadır. Uçakların kalkış ve iniş hareketleri esnasında eğer kıyı şeridindeyseler tuzlu su ortamının etkisi motorlarda ciddi korozyon sorunları ortaya çıkartmaktadır. Oksidasyon ve korozyon sorunlarına karşı M-CrAl-X alaşımları (M= Ni, Co, Co-Ni ve X= Y, Hf, Si, Ta) VPS veya SPS tekniği ile birlikte ticari uçaklarda türbin panelleri ve yanma odasında gaz sıcaklığı $1350\text{ }^\circ\text{K}$ üzerine çıkmaktadır. Yanma odaları genellikle ergime sıcaklığı $1500\text{-}1590\text{ }^\circ\text{K}$ arasında olan süper alaşımlardan yapılmaktadır. Eğer bir termal bariyer kaplama uygulanmadığı takdirde önemli sürünme, oksidasyon sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle tipik olarak iki tabaka halinde kaplama uygulanmaktadır. VPS veya SPS tekniği ile MCrAlY kaplama metal altlık yüzeyine bağ kaplama olarak, onun üzerine de APS tekniği ile $\text{ZrO}_2\text{+Y}_2\text{O}_3$ kaplama uygulanmaktadır[9,15].



Resim 2.8. Plazma sprej yöntemi ile kaplanmış gaz türbin parçası [15]

Aralık toleransı kontrolü için dönen parçaların kendi toleranslarını kendileri oluşturması için dönme sırasında aşınabilen kurban kaplamalar kullanılmaktadır.

Kompresörlerde tipik olarak aşınabilir (abradable) kaplama kompozisyonları genel olarak nikel grafit, alüminyum grafit, alüminyum-silisyum-polyester, nichrome poliüretan ve nichrome-bentonit esaslı kompozit malzemeler olup APS tekniği ile kaplanabilmektedir. Bunun yanında nikel-alüminyum, nikel-krom-bor nitür kaplamalar da APS tekniği ile uygulanan bir diğer kaplama türleridir. [15]

Demir Çelik Endüstrisi

Sürekli tavlama proses hattı, sürekli olarak ısıtma işlem uygulamasının yapıldığı bir ünedir. Sistem ısıtma, soğutma ve yaşlandırma proseslerinden oluşmaktadır. Bu işlemler soğuk haddelenmiş çeliklere üstün mekanik özellikler ve yüzey kalitesi kazandırmaktadır. Proseste çelik levhalar çok hızlı bir şekilde soğutulmaktadır. APS tekniği ile $Al_2O_3 + \%25 ZrO_2$ kaplama yapılarak soğutma silindirlerinin ömrü 3 aydan iki yıla çıkarılmıştır.

Demir çelik uygulamasında bir diğer plazma püskürtme uygulaması ise blokların dökümü esnasında karbürizasyon için kullanılan borulara 300 mikron kalınlığında APS tekniği kaplanan alümina-titanya kaplamalar karbürizasyona karşı koruma amaçlı kullanılmaktadır [9,15].



Resim 2.9. Sürekli tavlama proses hattında kullanılan silindirlerin kaplaması [15].

Demir Dışı Metal Endüstrisi

Demir-Çelik endüstrisinde kullanılan haddeler, taşıyıcı silindirlere muhtelif mekanik termal yükler altında çalışmaktadır. Yüksek fırına sıcak hava üflemede kullanılan tüyerelelerin $Al_2O_3 + TiO_2$ ile kaplanması, metal ergime ünitelerinde kullanılan tapalar, tandiş nozulları, tandiştan döküm alma boruları ve potalarda refrakter malzeme bileşiminde ($Al_2O_3 + ZrO_2, MgZrO_3$) ve mullit kaplamaları kullanılmaktadır.

Sıcak ekstrüzyon kalıpları pirinç veya bakır dikişsiz boru üretiminde kullanılmaktadır. Plastik alanda (sıcaklık $1070 \text{ } ^\circ K$) bulunan ekstrüzyon malzemesi istenilen şekli verebilmek için kalıptan geçmeye zorlanmaktadır. Kaplama yapılmamış olan sıcak iş çeliği 20 kez kullanılabilirken, APS ile 50 mikron Ni-Cr bağ kaplama üzerine 100 mikron Al_2O_3 kaplanmış kalıp, kompozit kaplama oluşturulduğunda kullanım ömrü 2,5 katına çıkmıştır [9].

Tıp ve Biyomedikal Uygulamalar

Tıbbi implant malzemeler, paslanmaz çelik, CoCrMo alaşımı ve TiAlV alaşımı gibi biyo-inert malzemelerden üretilmektedir. Ortopedik amaçlı implant malzemeler,(örneğin diş sabitleştirici vidalar, diz eklemleri, kalça protezleri) hidroksi apatit olarak tanımlanan ve insankemiği bileşimindeki malzemeler ile vakum plazma sprey yardımıyla kaplanır. Hidroksiapatit kaplamalar, yoğun trafik kazalarının yaşandığı ülkemiz için büyük bir ekonomik potansiyel oluşturmaktadır.[9,15]



Resim 2.10. Titanyum kalça protezi [15]

Baskı ve Kağıt Endüstrisi

Baskı endüstrisinde korona silindirlerde dielektriksel dirence sahip yaklaşık 2 mm kalınlığında alümina kaplamalar APS tekniği ile uygulanmaktadır. Kağıt sektöründe ambalaj baskı işlemlerinde kullanılan Anilox merdaneleri çok kuvvetli kimyasal etkilere sahip mürekkeplerle temas halindedirler. Çelik esaslı bu baskı merdaneleri APS ile Cr_2O_3 kaplanmaktadır.

Kağıt üretiminde kullanılan Yankee kurutucuları toplam enerjinin %25'ni kullanmaktadır. Bu kurutucu silindirler tipik olarak dökme demirdir ve kurutucular aşırı ısıtılmış buhar içinde tutulmaktadır. Kurutucunun kağıtla teması esnasında yüzeylerde aşınma meydana gelmektedir. Aşınmaya karşı molibden veya nikel esaslı kaplamalar atmosferik plazma sprej yöntemi ile uygulanmaktadır [16].

Tekstil Endüstrisi

Tekstil endüstrisinde iplik çekme ve sarma makinelerinde kullanılan iplik yönlendirme kılavuzları, galetler, domuz kuyrukları gibi aksamalar sentetik fiberlerin yol açtığı yüksek aşınmaya maruz kalmaktadırlar. Bu aşınma parçaların atmosferik plazma sprejle Al_2O_3 , $Al_2O_3-TiO_2$ ve Cr_2O_3 kaplaması uygulamasıyla önlenir [16].



Resim 2.11. Seramik kaplanmış iplik sargı, makara ve kılavuzları [16]

Günlük Yaşamımızda Plazma Sprej Uygulamalar

Günlük ev araç ve gereçlerinde çeşitli amaçlarla plazma püskürtme örneklerini görebiliriz. Örneğin, yapışmayan tavalar, kaygan ütüler ve elektrik ocak üstleri teknolojinin günlük yaşamımızdaki uygulamalarıdır [16].



Resim 2.12.Ütü tabanı plazma püskürtme tekniği ile kaplanabilmektedir [16]

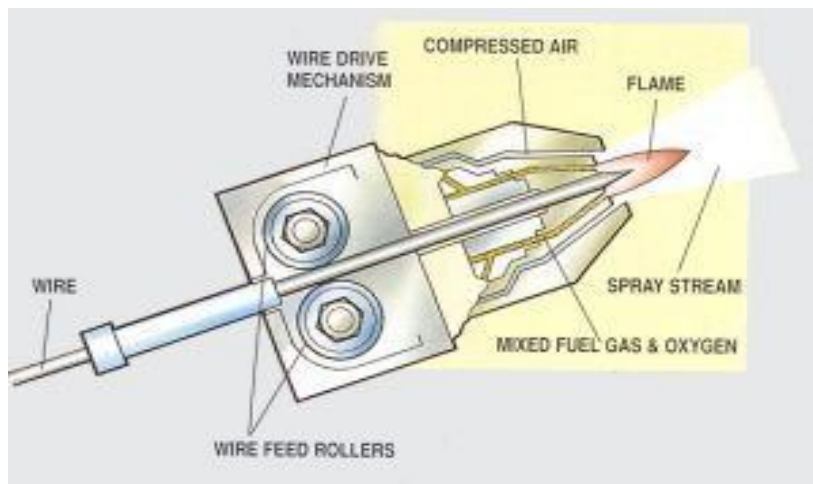
2.2.4.Termal Sprey Kaplama

2.2.4.1.Alev Sprey Kaplama

Alev sprej kaplama, termal sprej kaplama yöntemlerinin en basiti ve en ucuz olanıdır. Alev püskürtme kaplama tekniği kaplanacak malzemenin cinsine bağılı olarak hem tel hem de toz kullanılabilen temel sistemlere uygulanabilmektedir.

Alev püskürtme yönteminin düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek dolgu oranı ve düşük bakım masrafı en önemli olan üstün özellikleridir.

Ancak düşük bağ mukavemeti, kaplama tabakasındaki yüksek boşluk seviyesi ve düşük çalışma sıcaklığı yöntemin olumsuz olan özellikleridir[9,17].

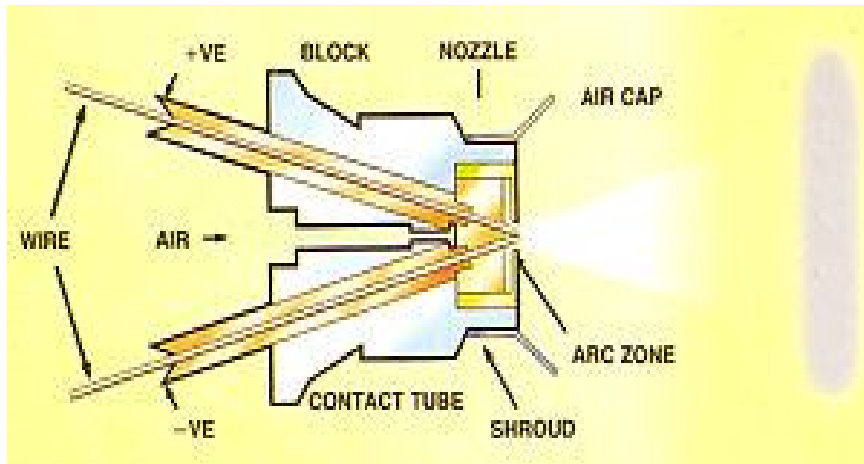


Şekil 2.16.Alev Sprey Püskürtme Yöntemi [17]

Tel alev püskürtme tekniğin; tel halinde üretilmiş ve ergime sıcaklığı oksii-asetilen alev sıcaklığının altında olan herhangi bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtülmesi olayıdır. Kaplanacak metal tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenmektedir. Tel nozul içinden geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımıyla ergitilmektedir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmektedir. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ergitilmesini sağlamaktır. Kaplanan yüzeyin sıcaklığı 95-200°C arasında değişmektedir[9,17].

2.2.4.2.Elektrik Ark Spreyi

Bu yöntem ile yüksek dolgu oranları elde edilebilir ve otomatik sistemlere uyarlanması da kolaydır. Yöntem 1.5 mm çapında elektriksel olarak iletken, yumuşak telin kullanılması ile sınırlı olduğundan karbürler, nitrürler ve oksitler püskürtülemezler. Elektrik ark püskürtme ile korozyona, erozyona ve sürtünmeye dirençli kaplamalar elde etmek mümkündür [17].



Şekil 2.17.Elektrik Ark Spreyi Yöntemi[17]

İki sprej telin arasına bir elektrik potansiyeli uygulanır ve teller bir sürücü tarafından tabancaya beslenir. Kısa temas noktası diye isimlendirilen yerde karşılaşan teller birbiri ile temas ederler ve bu noktada her bir mm²'ye düşen 100 amperin üzerindeki yüksek akım yoğunluğu nedeniyle ergime gerçekleşir. Ergimiş metal damlacıkları basınçlı hava akımı vasıtasıyla tabanca/nozul ucunda püskürtülür. Bu sayede ergimiş metal partikülleri 80 ila 200mm uzaklıkta bulunan altlık yüzeyine yaklaşık 100 ila 150 m/s'lik bir hızla taşınır[17].

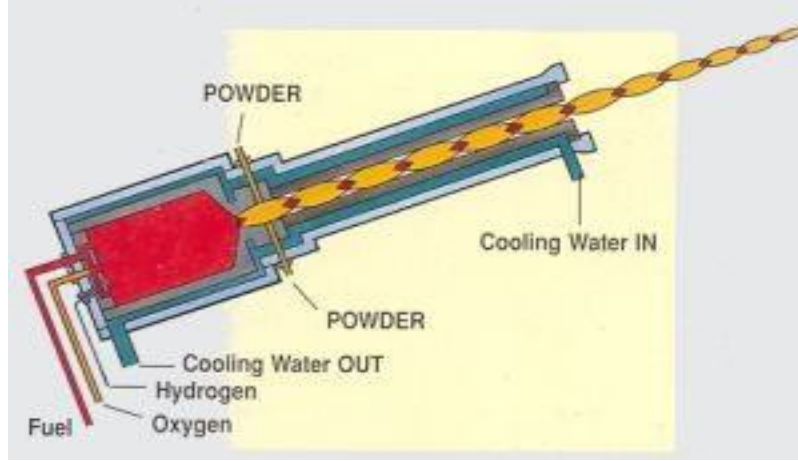
2.2.5.Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt(HVOF) Püskürtme

Yüksek hızlı oksi-yakıt yöntemi, termal püskürtme teknolojisinde son on yılın en önemli gelişmesidir. Yöntem 1980'li yılların başında D-Gun yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. HVOF ile elde edilen kaplamalar yüksek sprej partikül hızlarının elde edilmesi sebebiyle çok az porozite içermekte ve yüksek yoğunluğa sahip olmaktadır.

Ayrıca çok değişken bir sistemdir. Kullanılacak malzeme cinsine, istenilen kaplama kalitesine göre sprej parametreleri değiştirilebilir. HVOF için temel uygulama alanı, aksamaların yüzey karakteristiklerinin ıslah edilmesi veya değiştirilmesidir. Elde edilen kaplamalar endüstride kullanımda sınırsız imkânlar sunar.

HVOF yöntemiyle gerçekleştirilen kaplama tabakaları;

- Düşük artık gerilme içerirler
- 12 mm kalınlığa kadar ulaşılabilir,
- Homojendirler,
- Püskürtme işleminde parça şekline daha az bağımlılık gerektirirler,
- Kaplama tabakasının kimyasal bileşiminde esneklik gösterirler,
- Kaplama düşük oksit bileşenleri içerir,
- Bağlantı mukavemeti yüksektir [9,17].



Şekil 2.18.HVOF Yöntemi [17]

HVOF termal sprejde, yüksek basınçta oksijen gazı, yakıt gazı ile çok yüksek partikül hızı oluşturabilmek için yanma meydana getirirler. Bu yakıt karışımı propilen, propan veya hidrojen içerebilir.(Son yıllarda HVOF kaplamalarda gaz yakıttan sıvı yakıta doğru gelişme vardır.) Yakıt gazları HVOF silahının önünde bulunan siflon sisteminde karıştırılırlar. Karışım gazları nozuldan silaha enjekte edilirler ve tutuşturulurlar. Oluşan alev çembersel bir konfigürasyon gösterir ve toz halindeki kaplanacak malzemeyi sarar. Bu tozlar oluşan yüksek basınçla silahtan püskürtülürler. Yanma sıcaklığı kullanılan yakıta bağlı olarak 5000F ve 6000F arasında değişir. çembersel alev şekli kaplanacak olan toz malzemenin ısınması, ergimesi ve hızlanmasını sağlar.

Bu yöntemle daha yoğun kaplamalar elde etmek için, plazmanın termal enerjisi kinetik enerjiye dönüşür [17,28].

2.3 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler 2 veya daha fazla malzemenin ayrı ayrı olan üstün özelliklerini tek bir malzemedan elde etmek için bu malzemelerin birleştirilmesiyle üretilmiş yeni malzemelerdir. Fiber takviyeli gelişmiş kompozitlerin ortaya çıkması büyük bir yenilik olarak nitelendirilmektedir. Buradaki 'gelişmiş' kelimesi aramid, boron ve grafit kompozitlerin ve onlara göre daha düşük olsa bile yine de metallere çok daha üstün özelliklere sahip olan cam elyafların yüksek dayanım ve rijitliğini anlatmaktadır.

Kompozit malzemelerin en önemli 2 özelliği parça ağırlığı ile karşılaştırıldığında gelişmiş dayanım ve rijitlikleridir. Bir parça çelikten ve kompozitten üretildiğinde çelik ile aynı dayanım ve rijitliği sağlayan kompozit parça çelik parçaya göre %70 daha hafif olur. Kompozit malzemeler alüminyumdan 3 kat daha dayanıklı olup %60 daha hafiftirler. Bu yüzden uçak ve uzay araçlarında kompozit malzemelerin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Bunların yanında kompozit malzemelerin ayrıca su avantajları da mevcuttur:

- 1) Kompozit malzemeler kullanılarak birçok metal parçanın yerini tutacak yekpare parçalar üretilebilir. Yani kompozit malzemelerin entegrasyon kabiliyeti vardır.
- 2) Kompozit malzemeler üretilirken içlerine sensörler yerleştirilerek çalışma durumları sürekli kontrol altında tutulabilecek ‘akıllı malzemeler’ üretilebilir.
- 3) Kompozit malzemelerin en önemli özellikleri büyük rijitlik/yoğunluk oranlarıdır. Kompozitler çeliğin rijitliğini 1/5, alüminyumun rijitliğini 1/2 ağırlıkta sağlarlar.
- 4) Kompozit malzemelerin bir diğer önemli özelliği de dayanım\yoğunluk oranlarının yüksekliğidir. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv sektöründe daha hafif arabalar üreterek yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla tercih edilirler. Spesifik dayanımları aynı ağırlıktaki çeliğin 3 ila 5 katı fazladır.
- 5) Kompozit malzemelerin yorulma dayanımları daha fazladır. Çelik ve alüminyum alaşımları statik dayanımlarının %50’sine kadar olan yüklere kadar iyi dayanım gösterirlerken kompozitlerde bu oran %90 civarındadır.
- 6) Kompozit malzemelerin dış yüzeyleri plastik olduğundan iyi korozyon ve kimyasal dayanım gösterirler.
- 7) Kompozitlerin termal genişmesi metallere göre çok daha düşük olduğundan çok daha iyi boyutsal stabilite sağlarlar.
- 8) Kompozit malzemelerle net şekil ya da nete yakın şekilde parçalar üretilebilir. Bu da birçok işleme zahmetini elimine eder ve süreç çevrimi zamanını ve maliyeti düşürür. Daha iyi boyutsal stabilite net ya da nete yakın şekilde parçalar üretilmesine imkan verir. Bu durum da işleme işini devre dışı bıraktığından üretim zamanını ve maliyetini düşürür.
- 9) Kompozit malzemelerle karmaşık parçalar kaynaklı, perçinsiz, tek parça olarak üretilebildiklerinden güvenilirlikleri daha fazladır.

10) Kompozit malzemeler metallere göre daha iyi titreşim sönümlerler ve tokluk karakteristikleri daha iyidir.

11) Kompozit malzemeler çalıştırıldıkları yönler göre üretilerek diğer yönlerde gereğinden fazla özelliklere sahip olması önlenebilir. Bu durum da maliyeti düşürür.

12) Kompozit üretimi için gereken kalıp ve ekipman ücretleri metallere göre çok daha azdır çünkü sıcaklık ve basınç gereksinimleri metal üretimine göre daha düşüktür [18].

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1) Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

2) Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.

3) Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.

4) Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez [19].

5) Karbon fiber-epoksi kompozitlerinin tribolojik davranışlar ve düşük aşınma dirençleri gibi yüzey özellikleri ile ilgili olan nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlanmaktadır.

6) Bir başka problem de epoksi kompozitlerde bazı uygulamalar için gerekli olan elektrik ve termal iletkenliklerin olmamasıdır [20].

Kompozit malzemelerin avantajlarından birçok yerde faydalanılırken; tribolojik davranışları, düşük aşınma dirençleri, elektrik ve termal iletkenliklerinin olmaması gibi yüzey özellikleri ile ilgili olan dezavantajları bazı yerlerde kullanımlarını engellemektedir. Bu dezavantajları gidermek amacıyla plazma sprej yöntemi ile kompozit malzemelerin yüzeylerinin kaplanabilmesi onların yüzey özelliklerini iyileştirir. Ancak metallere uygulanan standart sprej prosedürleri, kompozitlerinin ısıya duyarlılıkları ve polimerik malzemelerin erimelerinden dolayı uygun değildir. Sprejleme sırasında oluşan aşırı ısı kompozite zarar verebilir.

Kompozit malzemeleri kaplamak için yapılan çalışmalarda endüstriyel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak üretim yöntemlerinin mümkün olduğunca ucuz ve kolay olmasına çalışılmıştır. Ancak atmosferik ortamda kompozit malzeme üzerine direkt kaplama yapma çalışmaları sprejleme sırasında altlık malzemesinde bozulmaya neden

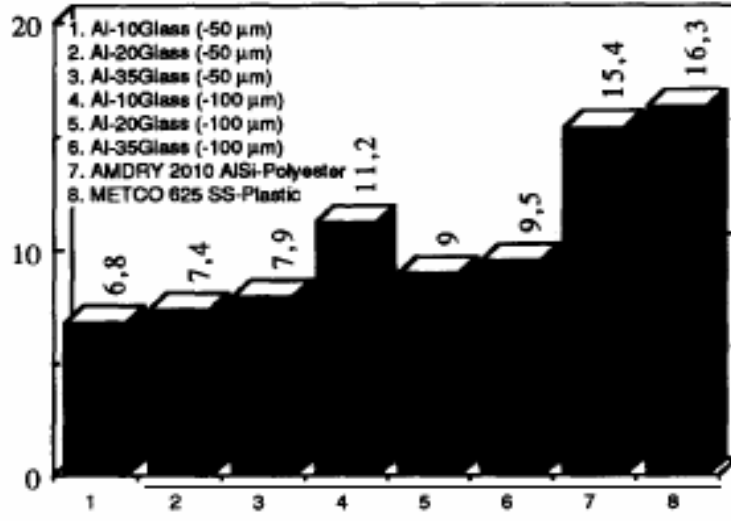
olan yüksek sıcaklıktaki eritici partiküller nedeniyle başarısız olmuştur.

Düşük sıcaklıklarda ergiyen metaller (Al, Zn) kompozit malzemelerin kaplanması için aday malzeme gibi görülseler de, onların da altlık malzemesiyle termal genleşme uyumsuzluklarının aşırı olması sorun teşkil etmektedir.

Bu problemin üstesinden gelmek için yapılan bir çalışmada, cam parçaları ile alüminyum parçaları karıştırılıp karbon fiber epoksi üzerine astar kaplama olarak spreyleme yapılmış böylelikle kaplama verimi arttırılmaya çalışılmıştır. Alüminyum matris içindeki cam partikülleri kaplamanın termal genleşme katsayısı ve ısı iletkenliğini azaltarak daha sonra bu astar üstüne spreylenen seramik ve karbitlerin depozisyonunu mümkün kılmıştır[21]. Yapılan çalışma esnasında plazma sprey parametreleri Çizelge 2.2. de, Al parçaları ile çeşitli boyutlarda karıştırılan cam parçalarının kompozit malzeme üstüne kaplanması sonucunda elde edilen kaplamaların yapışma mukavemetleri Şekil 2.19 da, verilmiştir.

Çizelge 2.2. Karbon fiber epoksi malzeme üzerine kaplama yapılması esnasında plazma sprey parametreleri [21]

Parameter	Aluminium-glass (1-6)	Al-Si- polyester (7)	Stainless steel-plastic 8	WC-12Co 10	Al ₂ O ₃ 10
Ar (standard l min ⁻¹)	40	70	50	47	41
H ₂ (standard l min ⁻¹)	10	8	—	—	14
He (standard l min ⁻¹)	—	—	—	150	—
Current (A)	500	450	650	720	600
Power (kW)	32	28.5	27	50	41
Carrier gas (standard l min ⁻¹)	4	4	4	4.5	3.4
Powder feed (g min ⁻¹)	8	10	25	35	27
Injector diameter (mm)	2	2	1.8	1.8	1.8
Injector distance (mm)/angle (deg)	6/+15	6/+15	6/90	6/75	6/90
Spray distance (mm)	170	170	170	170	170
Traverse speed (mm s ⁻¹)	50	50	50	50	50
Rotational speed (rev min ⁻¹) ^a	50	50	50	85	50



Şekil 2.19. Karbon fiber epoksi altlık üstüne yapılan plazma sprey kaplamaların yapışma kuvvetleri [21]

Bu yaklaşım kullanılarak diğer aday malzemeler de kaplama için test edilmiştir. Özellikle 2 ticari toz olan aşındırılabilir AlSi polyester ve paslanmaz çelik-plastik tozu kullanılmış, her ikisi de polimerik altlıkla daha yakın ilgili olduğundan, karbon epoksi kompozite en iyi yapışma kuvvetini bu 2 toz göstermiştir. Bu kaplamalar kompozit üzerine en iyi sonuçlarda kaplanmasına rağmen, onların üzerine ikinci tabaka Al_2O_3 veya WC-Co kaplama yapıldığında sonuçlar başarısız olmuştur. Al_2O_3 ve WC-Co malzemelerin spreyleme için yüksek enerji gerektirmeleri, bu ısı ve ergimiş metallerin çarpmalarından dolayı da alt kaplamanın polimerik bileşenlerinin bozulması bu yöntemin başarısız olmasına neden olmuştur. Ancak düşük ergime noktasına sahip metaller (Al_2O_3 - TiO_2 gibi) kullanılırsa bu kaplamaların bazıları sprey prosedürünü destekleyebilir.

Seramik oksit ve karbitlerin fonksiyonel kaplamaları astar alüminyum-cam tabakasının üzerine spreylenecek ve altlıkta açık bir ergime gözlenmemiştir. Ancak bunun yapılabilmesi için standart sprey parametrelerinin modifiye edilmesi gerekmiş, daha uzun bir sprey uzunluğu (170mm) ve yoğun bir soğutma işlemi uygulanmıştır. Bu değişiklikler birikmiş kaplamanın mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde gözle görülür bir değişikliğe neden olmuştur. Örneğin genelde sprey kaplamalarda mikroyapı daha az gözenekli bir yapı gösterirken bu uygulamada porozite miktarının arttığı gözlenmiştir [21].

2.4 Literatür Araştırması

Kompozit malzemeler günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakla beraber kompozit malzemelerden yapılan makine parçalarının mekanik dayanım, aşınma dayanımı, korozyon, yorulma ömrü vb. gibi özelliklerinin çalıştığı ortamın şartlarına uygun olması gerekmektedir. Ancak bu malzemelerin özellikle tribolojik davranışlarının kötü olması onların kullanımlarında dezavantaj oluşturmaktadır. Malzemelerin yüzey özelliklerinden kaynaklanan dezavantajlarını gidermek için kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı kaplamadır. Kaplama yöntemleri çok çeşitlilik gösterse de son yıllarda en çok öne çıkan yöntem diğer yöntemlere nazaran daha üstün özellikler gösterdiği için plazma sprej kaplama yöntemidir. Aşağıda kompozit malzemeler ve plazma sprej kaplama yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmaların özetleri verilmektedir.

S. Cem Okumus (2005) çalışmasında alümina-titania ($Al_2O_3 - TiO_2$) kompozit tozları atmosferik plazma sprej sistemi kullanılarak dökme demirle kaplanmış Mo üzerine biriktirmiştir. Çalışmanın amacı, çok katmanlı $Al_2O_3-TiO_2$ Mo\ Dökme Demir kaplamalarının, içten yanmalı makinelerde kullanılması sırasında koruma performanslarının araştırılmasıdır. Mikro yapısal incelemeler göstermiştir ki çok katmanlı kaplamalar yapısında porozite, çatlak, erimemiş partiküller, oksit ve inklüzyonlar gibi bazı homojensizlikler bulundurlar.

Serdar Salman vd.(2004) çalışmalarında metal üzerine seramik tozlarını plazma sprej kaplama tekniğini kullanarak kaplamışlardır. Üç çeşit seramik tozu kaplama malzemesi olarak kullanılmış (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2), astar kaplamalı ve astar kaplamasız olarak dökme demir malzemelere uygulanmıştır. Sonuçta testlerle en uygun seramik kaplama belirlenmiştir.

I.A. Gorlach (2009) bu çalışmada yüksek hızlı hava alevi prosesi (HVOF) prensibi üzerine kurulmuş termal sprej sistemindeki gelişmeleri sunmayı amaçlamıştır. Sonuçlar gösterir ki termal sprej kaplamaların yoğun yapıları, düşük miktarda oksit içerikleri ve korozyona karşı yüksek dayanımları vardır. Yüksek sprej oranı ve iyi kaplama özellikleri HVOF termal sprej metodunu geleneksel termal sprej kaplamalarına (wire

flame,twin wire flame) alternatif yapmaktadır.

F. Alonso vd.(1991) nin çalışmaları karbon-fiber-epoksi kompozitlerinin üzerinde plazma sprej yöntemi ile erozyona dirençli kaplamaların üretilmesi ve onların erozyon davranışlarının incelenmesi hakkındadır. Kompozit malzemelerin ısıya duyarlılıkları erimeden kaçınmak için özel bir spreyleme prosedürü gerektirir. İki farklı fonksiyonel kaplama, WC-12Co Sermet ve Al_2O_3 seramik oksit, alüminyum-cam tabakası üzerine spreyleneştir. Sonuçta kompozit malzeme üzerine kaplanmış Al_2O_3 ve WC-Co kaplamaların erozyon testine tabi tutulduklarında gevrek davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Ancak Al_2O_3 kaplama tamamen gevrek davranış gösterirken WC-Co kaplamalar bazı sünek davranışlarda bulunmuşlardır. Ayrıca sprej kaplama teknolojisinin erozyon performansının sprej parametrelerine bağlı olan mikroyapı ve mekanik özelliklerle direkt bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Ancak karbon epoksinin karakteristiği sprej parametrelerini sınırlandırdığı için daha yüksek performanstaki kaplamalar için başka çalışmalar yapılması önerilmiştir.

Senol Yılmaz vd.(2004) çalışmalarında AISI 316 çeliğine Al_2O_3 ve Al_2O_3 - %13TiO₂ tozlarını plazma sprej yöntemini kullanarak kaplanmışlardır. İlk önce altlık ile kaplanan tozlar arasına bir astar olmadan, daha sonra da altlıkla kaplanacak tozların arasına Ni-%5 Al astar olarak uygulanmış ve kaplama yapılmıştır. Sonuçta astar kullanılmış kaplamanın yapışma mukavemetinin astar kullanılmayana göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaplamalarda kohezyon ve adezyon kuvvetleri tespit edilmiş ve kohezyon kuvvet yüzdelerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Melih Belevi vd.(2008) çalışmalarında karbon fiber, kevlar (aramid) ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerine darbenin ve sıcaklık, nem, tuz gibi ortam şartlarını incelemişlerdir. Sonuçta darbelerin kompozit malzemelerin çeki ve bası dayanımlarını düşürdüğü, sıcaklığın düşmesinin gevrekliği arttırdığı, nemin matris-fiber ara yüzeyini çözdüğü için dayanımı düşürdüğü gibi veriler elde edilmiştir.

Özkan Sarıkaya vd. (2004) çalışmalarında Al-Si alaşım tozunu % 5-25 arasında değişen oranlarda B₄C tozu ile karıştırarak plazma püskürtme yöntemi ile ana malzeme üstüne püskürtmüşlerdir. Sonuçta Al ile B₄C arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon olmamış, B₄C fazında da herhangi bir dönüşüm görülmemiştir. Yüzey pürüzlülüğüne bakıldığında plazma spreyle kaplamanın bir karakteristiği olarak bir artış gözlenmiştir ancak takviye partikül miktarının artırılması pürüzlülüğü de azaltmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde takviye partiküllerin kaplama içinde homojen olarak dağıldığı ve matris metalin takviye partikülleri ıslatma kabiliyetinin iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Literatür incelemesi yaptığımızda kompozit malzemeler ve plazma spreyle kaplama yöntemi üzerine pek çok çalışma yapılmış olduğunu gördük. Ancak kompozit bir malzeme üzerine plazma spreyle kaplama yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalar üzerine sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bunlardan sadece F. Alonso ve arkadaşlarının 1991 yılında karbon-fiber-epoksi kompozitlerinin üzerine plazma spreyle yöntemi ile erozyona dirençli kaplamalar üretmek amacıyla yaptıkları çalışma bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Ancak bu çalışmada bizim çalışmamızdan farklı olarak kaplanacak olan tozlar alüminyum-cam ara kaplama üzerine kaplanmıştır.

Melih Belevi ve arkadaşının 2008 yılında kompozit malzemeler üzerinde yaptığı çalışmada ortam şartlarının (sıcaklık, nem, tuz vb.) kompozit malzemelerinin dayanımlarını düşürdüğünü belirlemesi, kompozit malzemelerin kaplanarak daha dayanıklı bir hale getirilebileceği fikrini desteklemektedir.

3.ÇALIŞMANIN AMAÇLARI

Kompozit malzemeler çok iyi olan mekanik özellik-yoğunluk oranlarından dolayı günümüz endüstrisinde metallere yer değiştirerek yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak tribolojik davranışlar ve düşük aşınma dirençleri gibi yüzey özellikleri ile ilgili olan nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlanmaktadır. Bir başka problem de epoksi kompozitlerde bazı uygulamalar için gerekli olan elektrik ve termal iletkenliklerin olmamasıdır. Bu özelliklerin birçoğu metal ve alaşımlarına yapıldığı gibi kompozitlerde de plazma sprey kaplama yöntemi uygulanarak düzeltilebilir. Ancak metallere uygulanan standart sprey prosedürleri, karbon fiber kompozitlerinin ısıya duyarlılıkları ve polimerik malzemelerin erimelerinden dolayı uygun değildir. Eğer spreyleme sırasında önlemler alınmazsa aşırı ısı kompozite zarar verebilir.

Aşırı ısınmadan kaçınmak için sıvı gaz püskürterek kontrollü atmosferde yoğun soğutma sağlamak, sprey parametrelerinin kontrolü ve bu çeşit malzemeler veya plastikler için özel yapışan kaplamalar üretmek gibi çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlar içerisinde en çok tercih edilen yöntemler sprey parametrelerinin kontrolü(uzaklık, hız, açı...) ve sprey sırasında yoğun soğutma sisteminin kullanılmasıdır.

Çalışmamızda cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin plazma sprey yöntemi kullanılarak $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 ten oluşan sert seramik tozları ile altlığa zarar vermeden direk olarak kaplanabilmesi ve daha sonra bu kaplamaların özellikleri incelenmesi amaçlanmıştır.

4.MATERYAL METOT

Çalışmamızın amacı kompozit malzemelerin plazma sprej yöntemi kullanılarak sert seramik tozları ile direk olarak kaplanabilirliğinin incelenmesidir. Bu doğrultuda incelememiz için kompozit malzeme olarak cam elyaf takviyeli ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler seçilmiştir. Bu malzemelere daha iyi bir kaplama yapılabilmesi için kuşlama işlemine tabi tutulduktan sonra plazma sprej yöntemi kullanılarak NiAl astar kaplama ve $Al_2O_3+TiO_2,CrO_3$ sert seramik tozları kaplaması yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin ilk önce hiçbir işlem uygulanmadan görüntüleri alınmış daha sonra bu numunelerden optik mikroskop ve SEM incelemeleri için hassas kesme cihazında parçalar çıkartılmıştır. Bu parçalardan birer tanesi optik mikroskopta ve mikro sertlik cihazında kolay görüntü alınması için dikey olarak bakalite alınmışlardır. Bakalitlenen bu parçaların önce mikro sertlik cihazında sertlikleri ölçülmüş, daha sonra optik mikroskopta resimleri çekilmiştir. Kesilen diğer parçalar SEM incelemesi için karbon kaplanmış ve daha sonra SEM mikroskobunda görüntüleri alınmıştır. Bu sırada kaplama kalınlıkları da ölçülmüştür. En son ise kaplamaların yapışma mukavemeti tayini için çekme deneyi yapılmıştır. Bunun için kaplanmış numunelerden 1.5x1.5 cm ebatlarında parçalar kesilmiş, bu parçalar 1.5x1.5x10 cm ebatlarında hazırlanmış demir kuponlara çift taraflı olarak yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve yapıştırıcının iyi tutması için 24 saat bekletilmişlerdir. Daha sonra hazırlanan bu düzenekler çekme deneyi cihazında teste tabi tutulmuş, kopma değerleri belirlenip, yüzey alanlarına bölünerek yapışma mukavemetleri tespit edilmiştir. Bu veriler Excellde grafik haline dönüştürülmüş ve çalışmaya eklenmiştir.

4.1. Kuşlama

Kompozit malzemelerin sert seramik tozlarıyla kaplanabilirliğini incelemek için el yatırma yöntemiyle hazırlanmış cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanılmıştır.

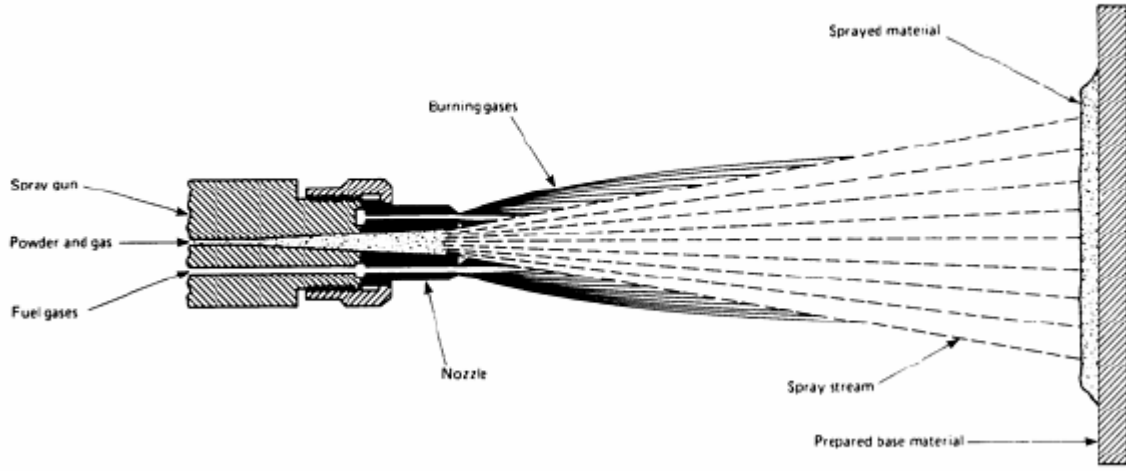
İyi bir kaplama yapılabilmesinin ilk şartı kaplanacak olan numunenin yüzeyinin temiz olmasıdır. Ayrıca kaplanacak yüzeyin pürüzlü olması kaplamanın yüzeye daha iyi

tutunmasını sağladığı için kaplama verimini artırır. Tüm bu nedenlerden dolayı kompozit malzemelerimize kaplama işlemi yapılmadan önce kumlama işlemi yapılmıştır.

Kumlama; uygulanacak malzemeye göre seçilen uygun KUM'un yüksek basınçlı hava ile aşındırılmak istenen yüzeye çarptırılmasıdır. Bu çarpma esnasında kum yüzeyi mikron seviyesinde aşındırırken aynı zamanda yüzeydeki her türlü istenmeyen maddeyi de kazır, temizler. Bu işlem sonucunda kaplamanın yapışabilmesi için daha elverişli bir yüzey oluşur.

4.2.Plazma Sprey Kaplama

Kumlama işleminin ardından cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler Ni-Al astar, $Al_2O_3 - TiO_2$ ve CrO_3 tozları ile plazma sprej yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Plazma sprej kaplama yönteminde kullanılan gaz (oksijen\asetilen) çok yüksek sıcaklıklara çıkartılarak iyonize hale getirilir ve bu gazlara elektrik iletkenliği özelliği kazandırılır. Plazma sprej tabancasının nozulu ile elektrot arasında doğru akım arkı ile oluşturulur. Daha sonra yaklaşık $10000^{\circ}C$ sıcaklığa ulaşan gaz çok hızlı bir şekilde fişkırmaya başlar ve kaplanacak yüzeye çarptığı anda katılaşır. Bu yüksek sıcaklıkta zor ergiyen seramik tozları bile kolayca ergir [17]. Plazma sprej kaplamanın nasıl yapıldığı Şekil 4.1 de verilmiştir. Kaplama işlemi METSER Kaplama Makine Bakım Onarım Sanayi Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. Kaplama işleminin uygulanmasında kullanılan cihaz METCO 6P II dir. Plazma sprej kaplama parametreleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.



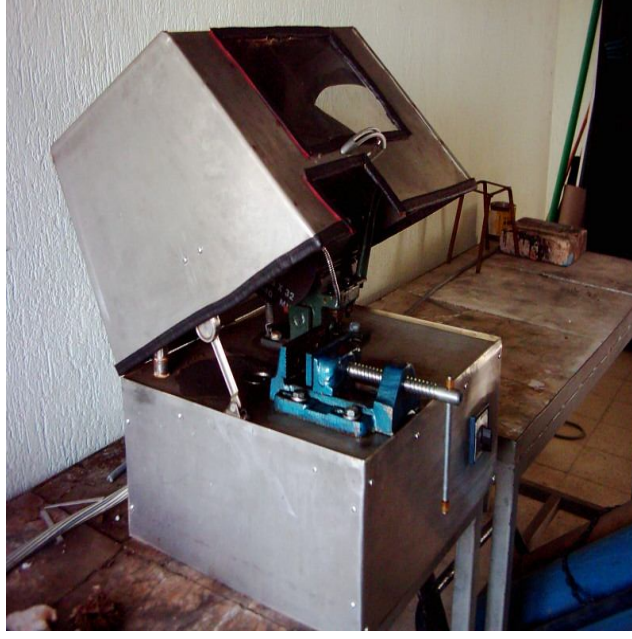
Şekil 4.1. Plazma spray kaplama yönteminin uygulaması [14]

Çizelge 4.1. Plazma spray parametreleri

KULLANILAN TOZ	KULLANILAN GAZLARIN FLOWMETRE DEĞERLERİ		HAVA	ATIŞ MESAFESİ	HAVA SETİ
	OKSİJEN	ASETİLEN			
NİKEL-AL ASTAR 95/5	34	34	2 BAR	180 mm	YOK
CrO ₃ (% 99)	34	34	4 BAR	60 mm	4 BAR
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (60/40)	32	30	4 BAR	75 mm	4 BAR

4.3. Kesme

Bütün kaplanmış numunelerden 1.5x1.5cm boyutlarında 2 tane parça Metkon marka hassas kesme cihazında kesilmiştir. (Resim 4.1) Hassas kesme cihazında kesici bıçak olarak SiC disk kullanılmıştır. Bu disk 100mm çap, 1mm kalınlık ve 1.5mm kesici kenar kalınlığına sahiptir.



Resim 4.1. Metkon marka hassas kesme cihazı

4.4 Metalografik Analiz

Kesilen parçalardan birer tanesi dikey olarak bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler sırası ile 60, 80, 120, 240, 600, 800 lik zımparalar ile zımparalanarak (Resim 4.2) optik mikroskopta inceleme için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra bu numuneler optik mikroskopta incelenmiş ve resimleri çekilmiştir. Kullanılan optik mikroskobun resmi Resim 4.3 de verilmiştir.



Resim 4.2. Zımparalama Cihazı



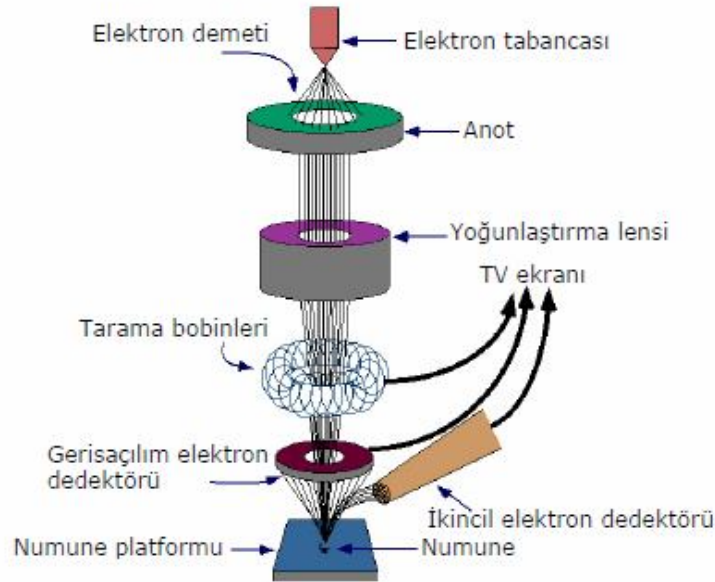
Resim 4.3. Optik mikroskop

Diğer parçalar ise taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmek üzere hazırlanmıştır. SEM de görüntü elde edebilmek için incelenecek olan numunenin iletken olması gerekmektedir. Metal olmayan yalıtkan numunelerin SEM de incelenebilmesi için yüzeyleri en fazla 20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanmalıdır [22].

Kullandığımız sert seramik tozlarıyla kaplanmış olan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler elektriği iletmedikleri için SEM incelemesi yapılmadan önce karbon kaplama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. SEM mikroskopunda oluşturulan resimler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışınlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur. Bunlar ikincil elektron(secondary electron image),yansımali(geri yansımaya uğramış) elektronlar (backscattered electrons), karakteristik x ışınları, Auger elektronlarıdır [22].

SEM'in çalışma prensibi Şekil 4.2 de verilmiştir. Çalışma sırasında kullandığımız SEM cihazının görüntüsü ise Resim 4.4 'te verilmiştir.

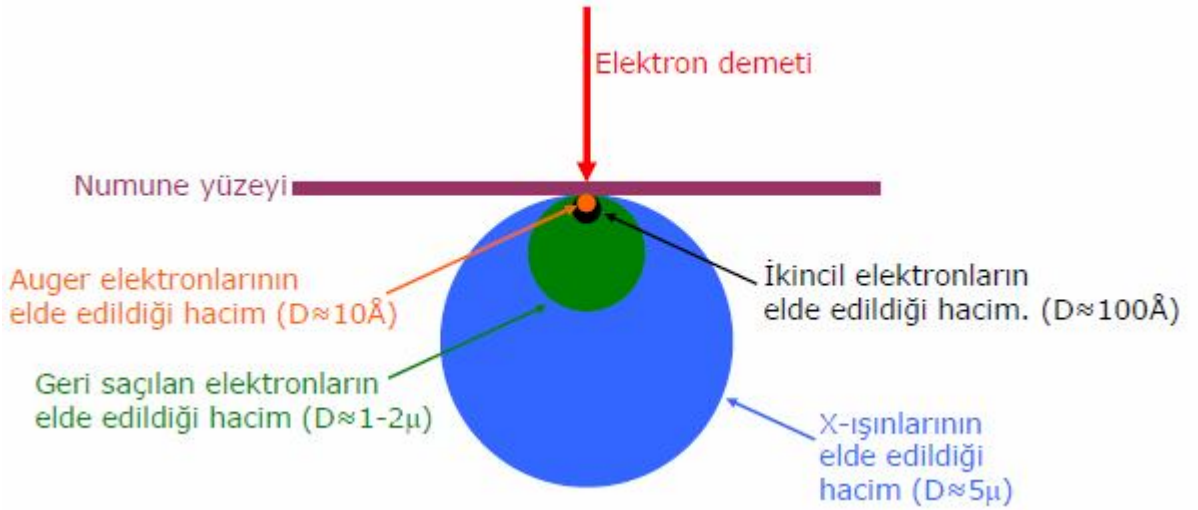


Şekil 4.2. Taramalı elektron mikroskopunun çalışma prensibi [22]



Resim 4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Gönderilen elektron demetinin malzeme ile olan etkileşimi Şekil 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.3. Elektron-Numune Etkileşimi [22]

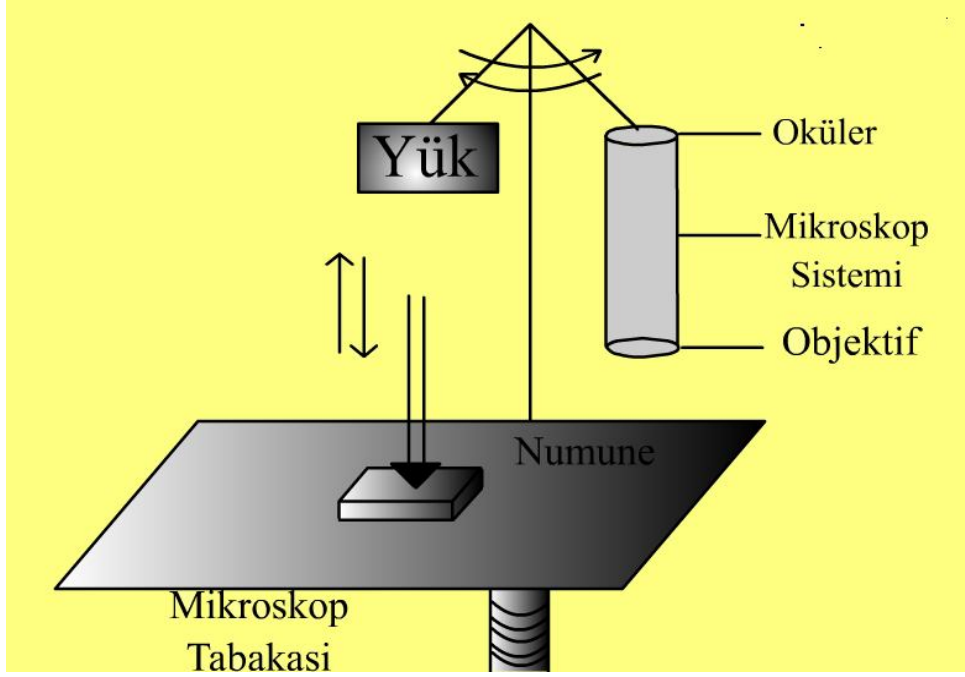
Elektron mikroskobunda çok yüksek enerjili elektronlarla çalışılmaktadır. Ancak ikincil elektronlar geri yansıyan elektronlara göre daha düşük enerjili elektronlardır. Detektöre 100-300V arasında bir pozitif voltaj uygulanması ile kolaylıkla toplanabilirler. Bu yolla ikincil elektronların %50–100 arasındaki kısmı toplanarak incelenen bölgenin 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiş olur [22].

Çalışmamız sırasında daha yüksek enerjili elektronlar kompozit numunelerimizin fiberlerinde bozulmaya neden olduğundan dolayı ikincil elektronlarla çalışmayı tercih ettik ve elde ettiğimiz SEM görüntülerini ikincil elektronların oluşturduğu görüntülerle aldık.

4.5 Mikro sertlik

Bir malzemenin, kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine (kalıcı şekil değiştirmesine vb) karşı gösterdiği dirence sertlik denir .

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde; sertlik ölçme deneyinin basit oluşu ve malzemede daha az tahribata yol açması, malzemenin sertlik değeri ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunması gibi nedenlerden dolayı en yaygın kullanılan deneydir. Mikro sertlik deneyi, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır. Deney, numuneye sertliğine uygun bir yükü batırılan batıcı ucun numune üzerinde bıraktığı iz ölçülmesi prensibiyle sertliğin belirlenmesi şeklinde uygulanır. Mikro sertlik cihazının çalışma prensibi Şekil 4.4 te verilmiştir. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman “1” mikronu geçmez [23].



Şekil 4.4. Mikro sertlik cihazının çalışma prensibi [24]

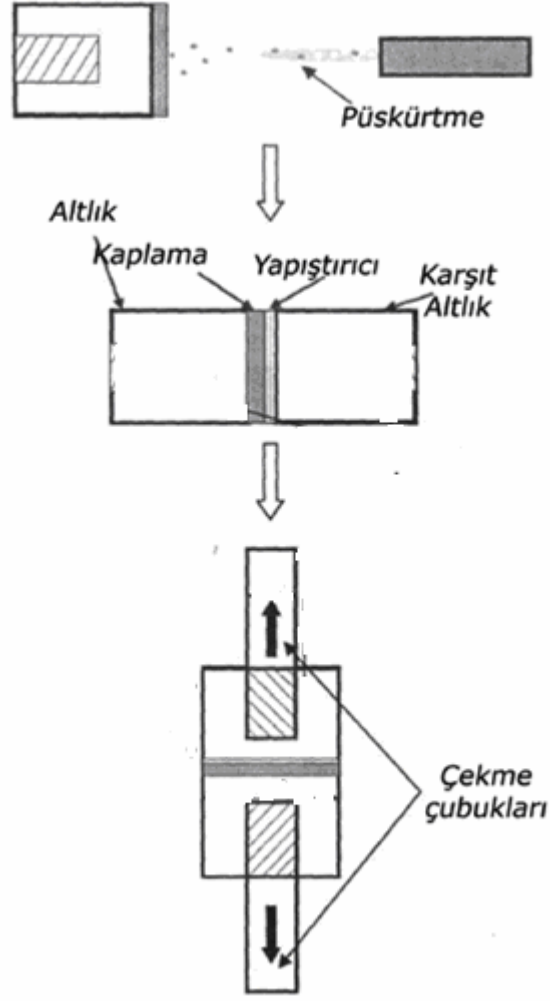
Mikro - sertlik aleti hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, aletin komple metal mikroskobunu ihtiva etmesidir. Çalışmamızda kaplama sertliği kaplamanın enine kesiti boyunca Shimadzu HMV-2 Mikro Sertlik Cihazı (Resim 4.5) ile ölçülmüştür. 50gr ve 100gr lık yükler 20 sn uygulanmıştır.



Resim 4.5 Shimadzu HMV-2 mikro sertlik cihazı

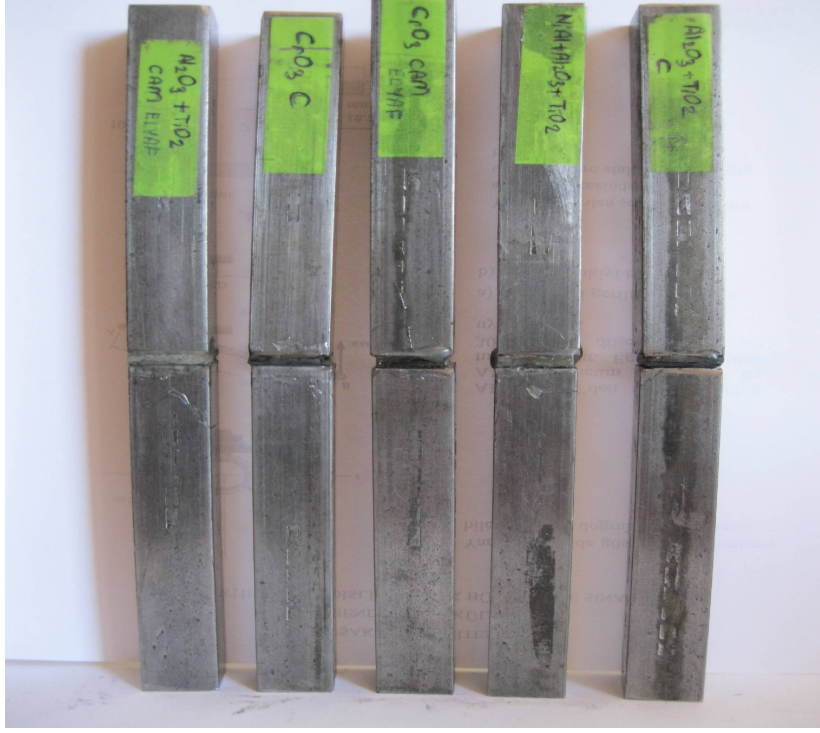
4.6 Çekme Deneyi

Isıl püskürtme kaplamalarının yapışma mukavemetini belirlemek için birkaç yöntem mevcuttur. En çok kullanılan yöntem çekme testi olup, ASTM C-63 ile standartlaştırılmıştır. Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılmaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulanırken, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir [25,26]. Kaplamalar için çekme deneyinin uygulanışı şematik olarak şekil 4.5 te verilmiştir.



Şekil 4.5.Çekme testinin aşamaları[26]

Bu çalışmada çekme deneyi kaplamanın altlık malzemeye yapışma mukavemetinin ölçülebilmesi amacıyla yapılmıştır. Deney için hazırlanan karbon fiber ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine plazma sprej yöntemiyle $Al_2O_3+TiO_2,CrO_3$ ve NiAl astar kaplanmış numunelerden, 1.5x1.5cm boyutlarında kesilerek parçalar hazırlanmıştır. Bu numuneleri üzerine yapıştırıp çekme deneyine tabi tutmak içinse 1.5x1.5x10 cm ebatlarında test kuponları hazırlanmış, numuneler kuponların üzerine yapıştırmak içinse yapıştırıcı kullanılmıştır. Numunelerin her iki yüzeylerine de ince bir film şeklinde homojen olarak yapıştırıcı sürülüp 2 tane test kuponu arasına eksenleri çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra bu düzenek iyice yapışması için 24 saat boyunca bekletilmiştir. Resim 4.5 ve Resim 4.6 de çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları görülmektedir.



Resim 4.6. Çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları

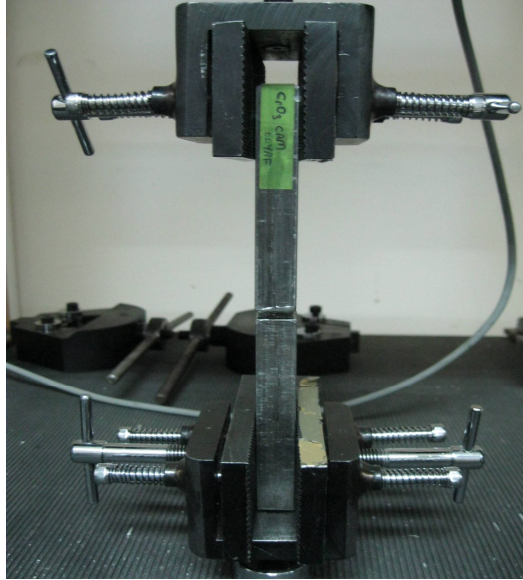


Resim 4.7. Çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları

Çekme deneyleri bütün numuneler için UTEST UNİVERSAL ÇEKME TEST CİHAZI'nda yapılmış elde edilen kopma değerleri kaydedilmiştir. Kullanılan çekme cihazı Resim 4.7 de, test kuponlarının cihaza nasıl yerleştirildiği ise Resim 4.8 de gösterilmiştir.



Resim 4.8. Çekme test cihazı



Resim 4.9. Çekme cihazına yerleştirilmiş numune

5.BULGULAR

5.1. Kumlama

Daha iyi bir kaplama yapabilmek için yapılan kumlama işlemi sonrasında numune yüzeyleri pürüzlendirilmiş ve böylece kaplama kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Kumlama işlemi sonrasında numunelerin görüntüleri Resim 5.1 de verilmiştir. Üretildiklerinde pürüzsüz bir yüzeye sahip olan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kumlama işlemi sonrasında yüzeylerinin pürüzlendiği resimlerde görülmektedir.

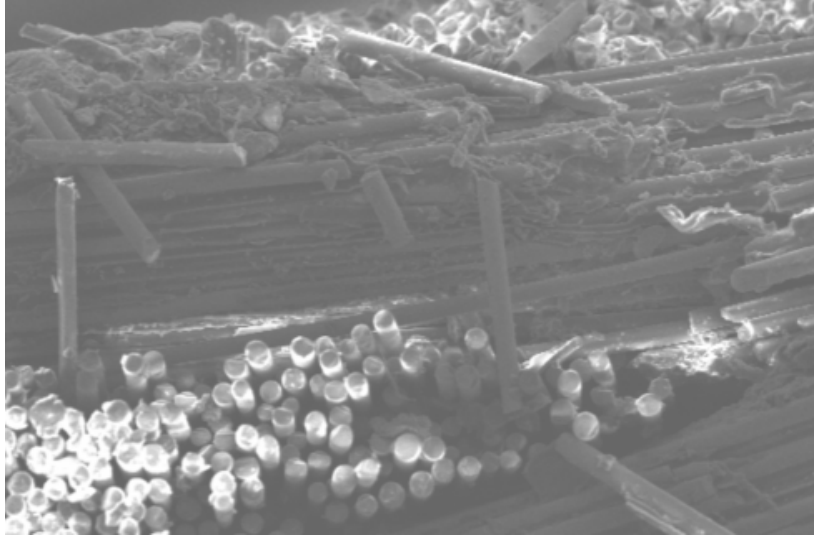


(a)

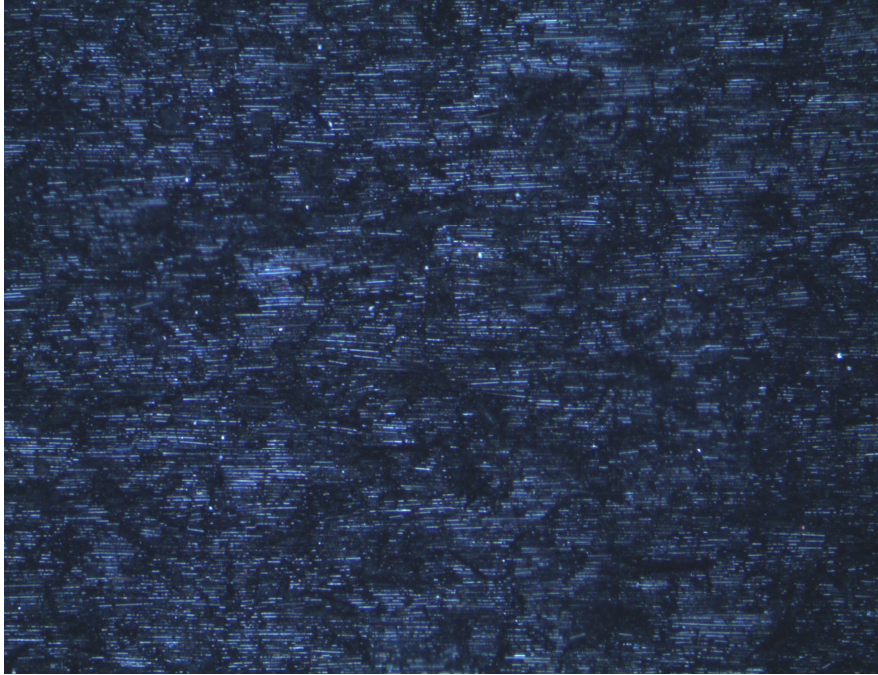
(b)

Resim 5.1.Kumlanmış kompozit malzemeler a) Kumlanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme yüzeyi, b) Kumlanmış cam elyaf takviyeli kompozit malzeme yüzeyi

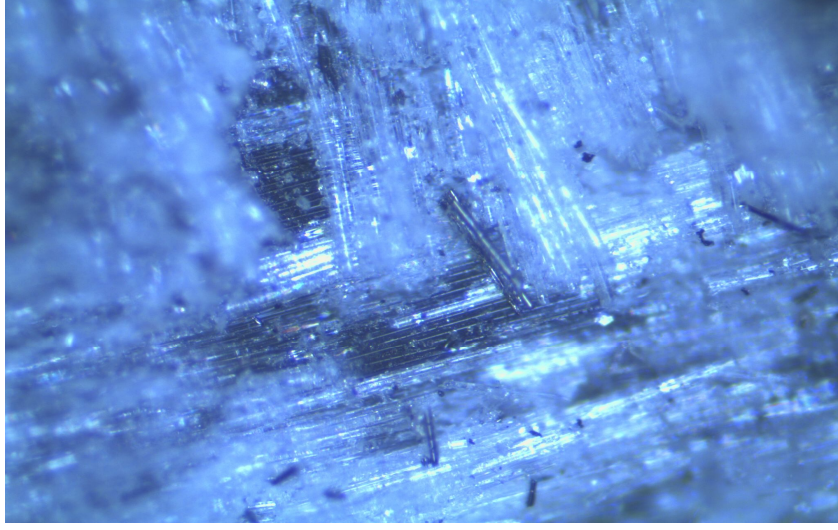
Optik mikroskopta ve SEM’de de kumlanmış malzeme yüzeylerinin resimleri çekilmiş ve bu resimlerde de yüzeylerdeki aşınmalar görüntülenmiştir.(Resim 5.2, Resim 5.3, Resim 5.4)



Resim 5.2.Kumlama yapılmış cam elyaf takviyeli kompozitin SEM görüntüsü



Resim 5.3.Kuulanmış Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Yüzeyi



Resim 5.4. Kumlanmış Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Yüzeyi

5.2.Plazma Sprey Kaplama

Kumlama işleminden sonra plazma sprej yöntemi kullanılarak Ni-Al astar, $Al_2O_3 - TiO_2$ ve CrO_3 tozları ile kaplanan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin görüntüleri Resim 5.5, Resim 5.6, Resim 5.7, Resim 5.8, Resim 5.9, Resim 5.10 da verilmiştir. Resimlerde de görüldüğü gibi kompozit malzeme üzerine plazma sprej yöntemi ile kaplama işlemi yapılabilmektedir. Kaplama yüzeylerinin pürüzlü bir görünüme sahip oldukları yine resimlerde gözle görülebilmektedir.



Resim 5.5.Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune



Resim 5.6. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune



Resim 5.7. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl Astar+ $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune



Resim 5.8. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl Astar kaplanmış numune



Resim 5.9. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numune



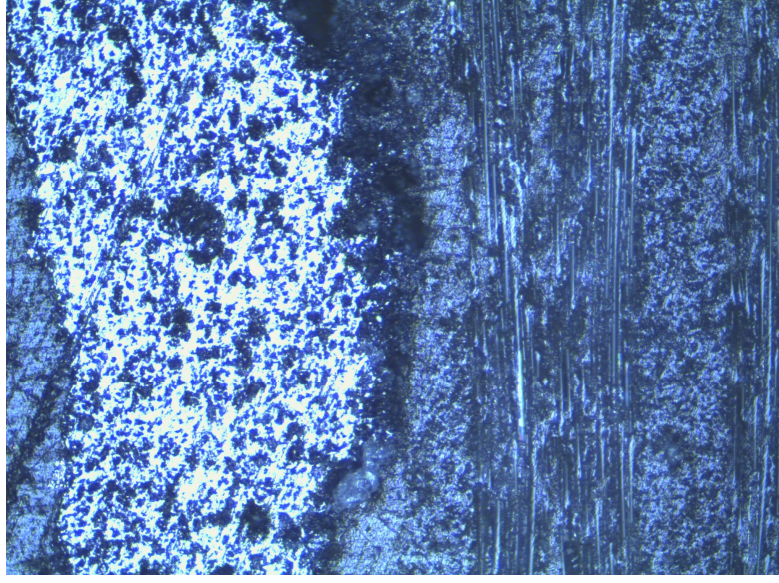
Resim 5.10. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numune

5.3. Kesme

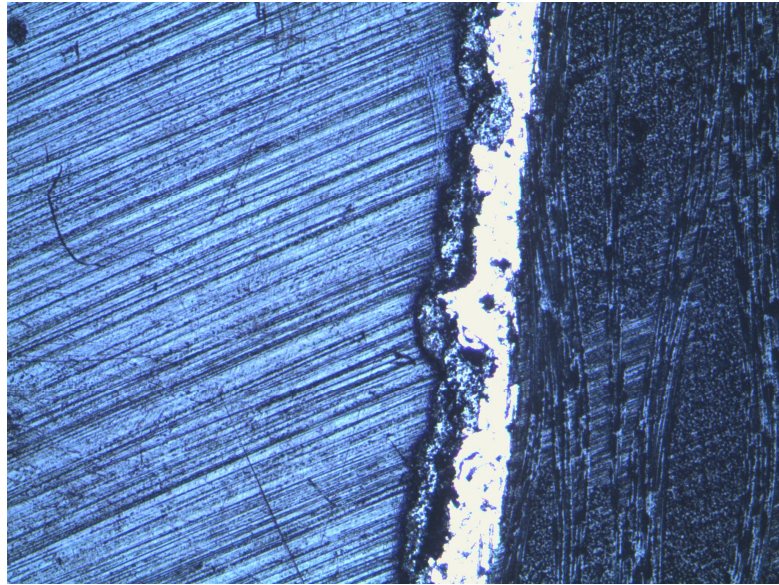
Numuneler kesildikten sonra kesme ile oluşturulmuş yüzeyden 1 mm yukarda yüzeyler arasında lokal ayrılma gözlenmiştir.

5.4 Metalografik Analiz

Kaplama işlemi sonrası optik mikroskopta incelenen numunelerin çeşitli büyütme resimleri çekilmiş, kaplama yüzeyleri incelenmiştir. Resim 5.11’de cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplanmış numunenin 100 büyütmedeki optik mikroskop resmi verilmiştir. Resimde kaplama yapısındaki poroziteler ve ergimemiş partiküllerin olduğu görülmektedir. Ayrıca kumlama işleminden dolayı pürüzlendirilmiş altlıktan dolayı kaplamanın yüzeye girintili çıkıntılı olarak yapıldığı resimde görülmektedir. Resim 5.12 de cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl astar+ $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplanmış numunenin 50 büyütmedeki optik mikroskop resmi görülmektedir. Resimde parlak olan NiAl astar kaplama tabaka ile mat $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama tabakaları açıkça ayırt edilebilmektedir. Ayrıca her iki kaplamanın da kalınlıkları tüm yüzeyde eşit değildir.

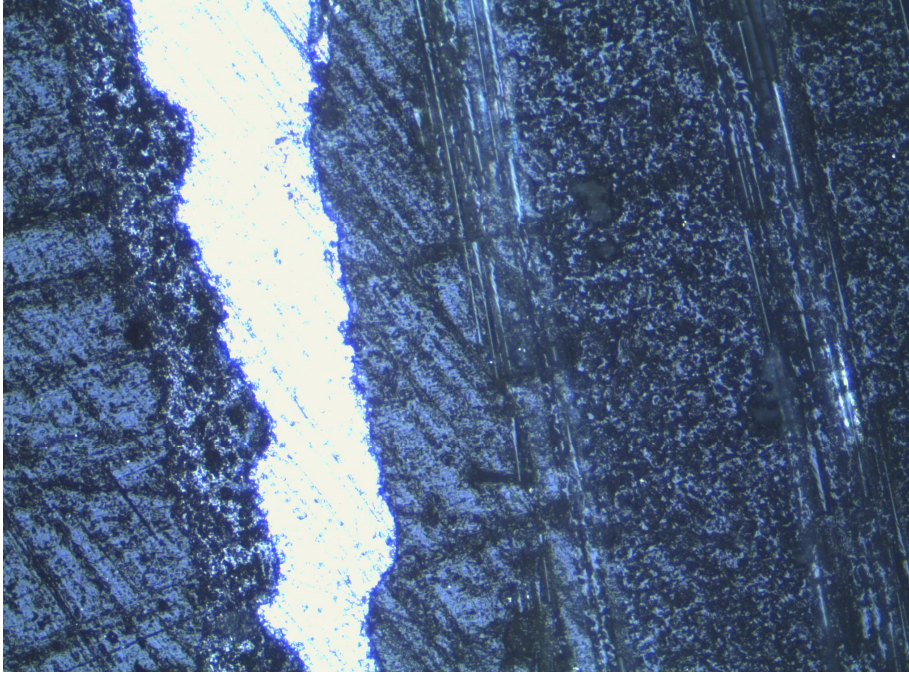


Resim 5.11. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama (100X)

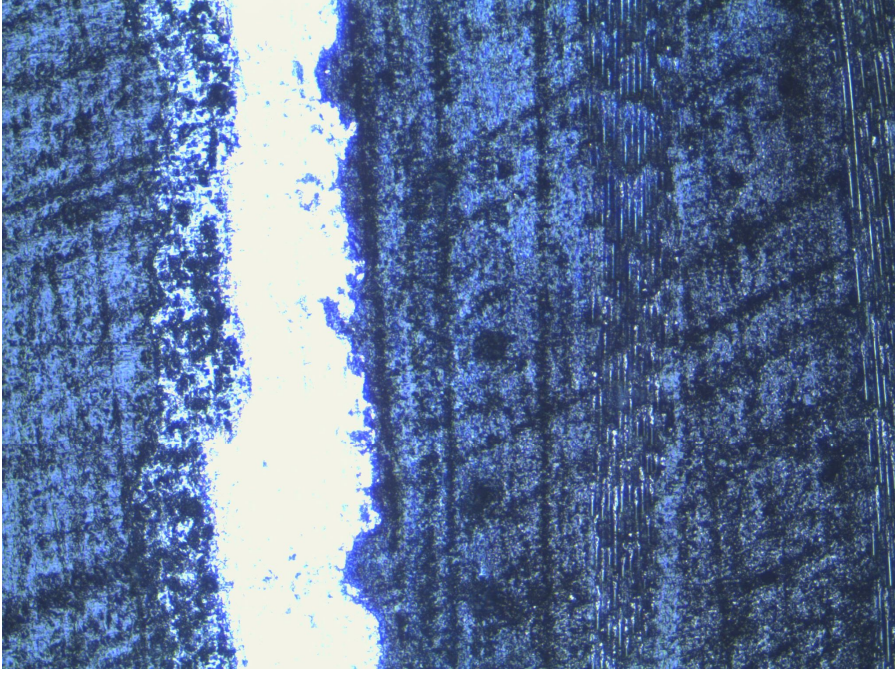


Resim 5.12. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine NiAl astar+ $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama (50X)

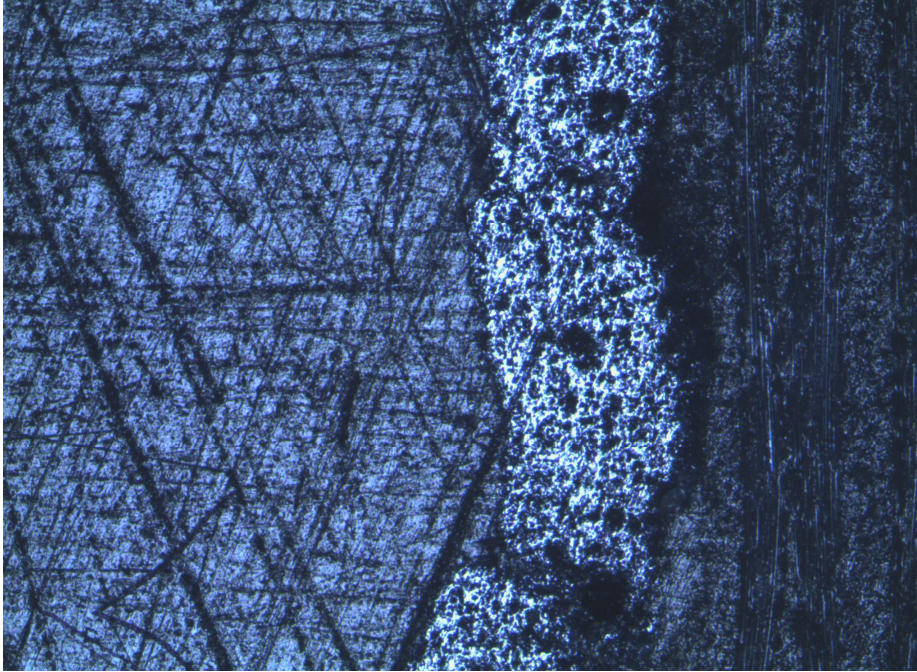
Resim 5.13 ve Resim 5.14 te cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunelerin 100 büyütmedeki optik mikroskop resimleri görülmektedir. CrO_3 kaplama optik mikroskopta parlak bir yüzey olarak görüldüğünden kaplama mikroyapısı çok net olarak görülemez. Ancak kaplama tüm pürüzlü yüzey boyunca bir süreklilik gösteriyor gibi görülmektedir. Resim 5.16 da ise $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme görülmektedir. $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama, CrO_3 kaplamanın aksine parlamadığı için mikro yapı net bir şekilde görülebilmekte, poroziteler ve ergimemiş partiküller belli olmaktadır.



Resim 5.13. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)

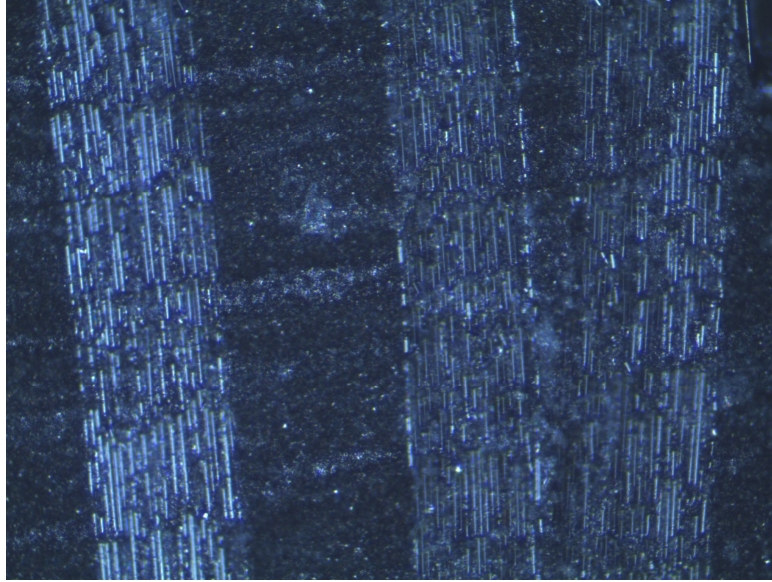


Resim 5.14. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)



Resim 5.15. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama(100X)

Resim 5.16 da kaplanan altlık malzemelerden karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin optik mikroskop görüntüsü bulunmaktadır. Kompozit malzeme içindeki karbon elyaf demetleri çok net bir şekilde görülmektedir.



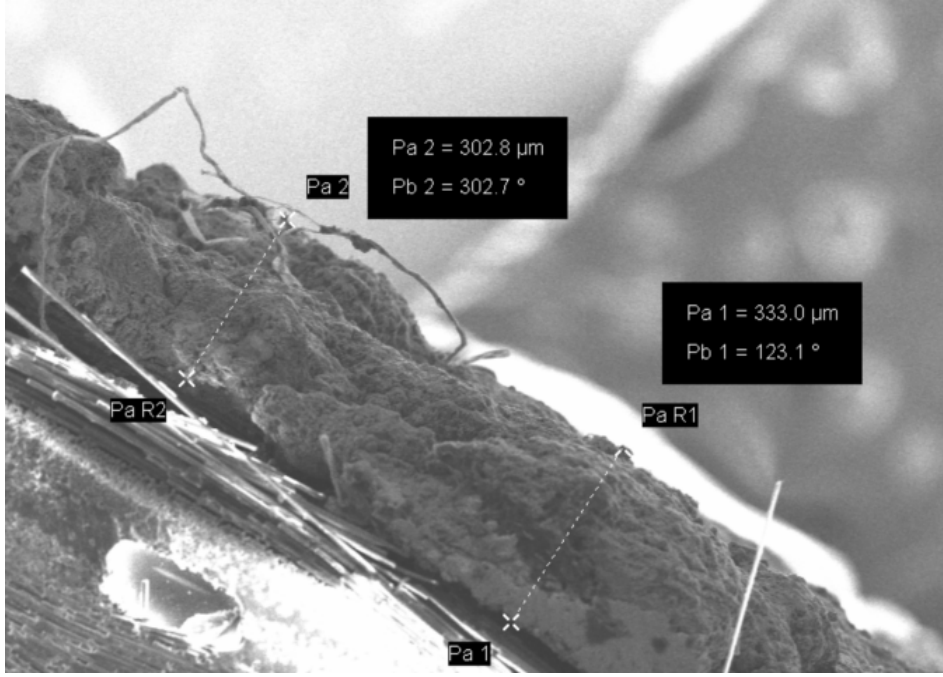
Resim 5.16. Karbon elyaf demeti

Optik mikroskoptan sonra SEM incelemesi yapılan numunelerin burada da fotoğrafları çekilmiş, kaplama kalınlıkları belirlenmiştir. Numunelerin kaplama kalınlıkları Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaplama kalınlıkları

NUMUNELER	KALINLIK(μm)
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ (Cam Elyaf)	124–155
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ (C Elyaf)	268–283
CrO_3 (Cam Elyaf)	253–260
CrO_3 (C Elyaf)	280–386
NiAl Astar+ $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ (Cam Elyaf)	302–333

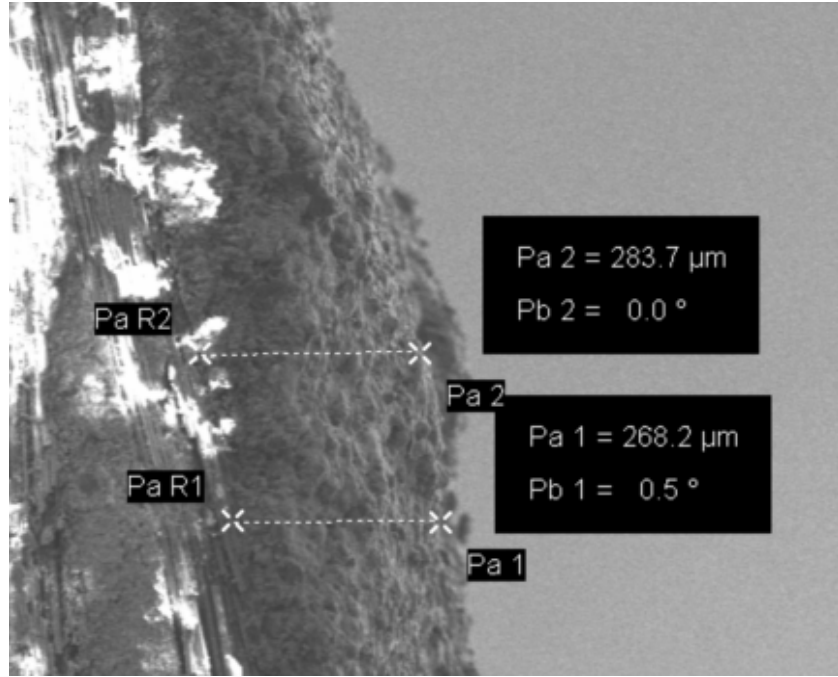
Resim 5.17 de cam elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine NiAl astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. Kalınlığın 302–333 μm arasında değiştiği görülen kaplama tabakası, astarla birlikte iki kez kaplama işlemi yapıldığı için kalın olmuştur. Resimde de görüldüğu gibi kaplama bazı yerlerde altlığa yapışmamıştır. Aslında ara kaplama yapıldığı için en fazla yapışmanın bu kaplamada olması beklenmişti. Ancak kaplama süreksizlikleri SEM resminde görülmektedir. Bu duruma kaplama kalınlığının fazla olmasının neden olduğu düşünölmektedir.



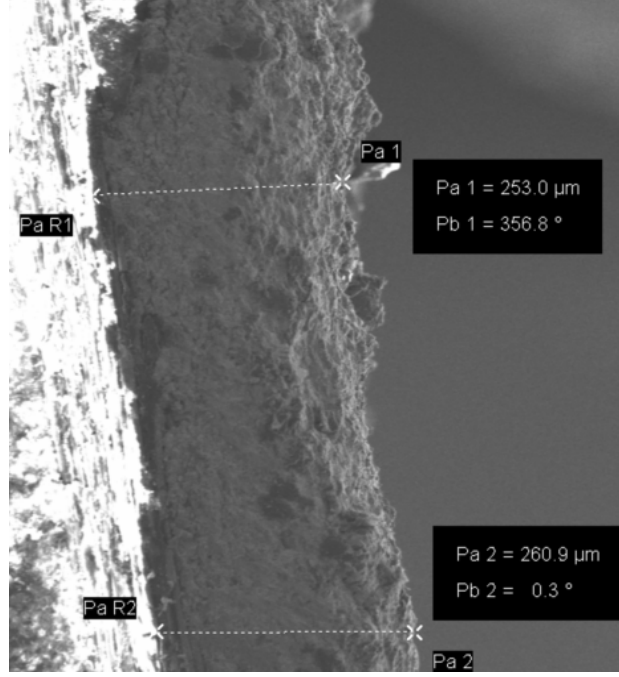
Resim 5.17. Cam elyaf takviyeli kompozit altlık üzerine NiAl astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama

Resim 5.18 de karbon elyaf takviyeli kompozit altlık üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin resmi, Resim 5.19 da cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin resmi görülmektedir. Bu numunelerin her ikisinde de kaplama tabakası ile altık malzeme arasında herhangi bir ayrılma gözlemlenmemiştir. Kaplama

kalınlığı karbon elyaf takviyeli kompozit üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunede 268–283 μm arasında değişirken, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin kaplama kalınlığı 253–260 μm arasında değişmektedir. Buradan 280 μm ye kadar yapılan kaplamalarda herhangi bir ayrılma olmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Resimlerde altlık malzemelerde görülen parlamalar malzemelerin karbonla kaplanmış olsa bile yine de yer yer elektronları iletememesinde kaynaklanmaktadır.

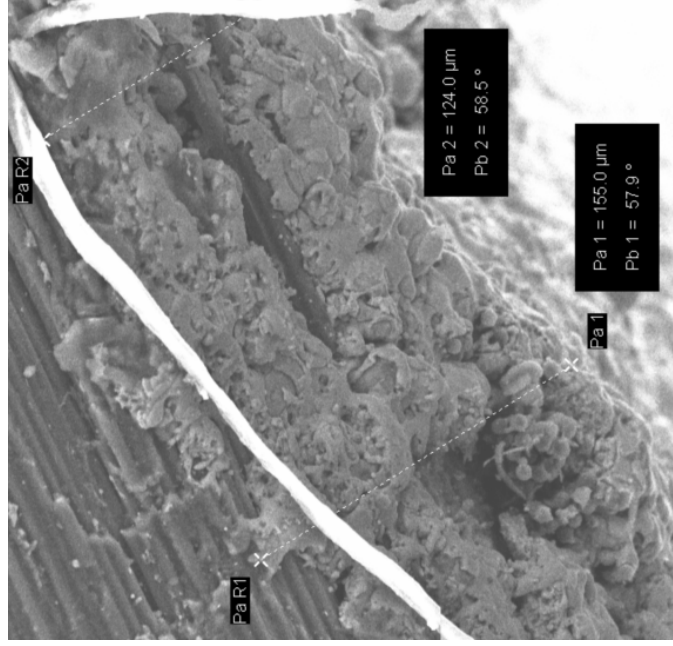


Resim 5.18. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama



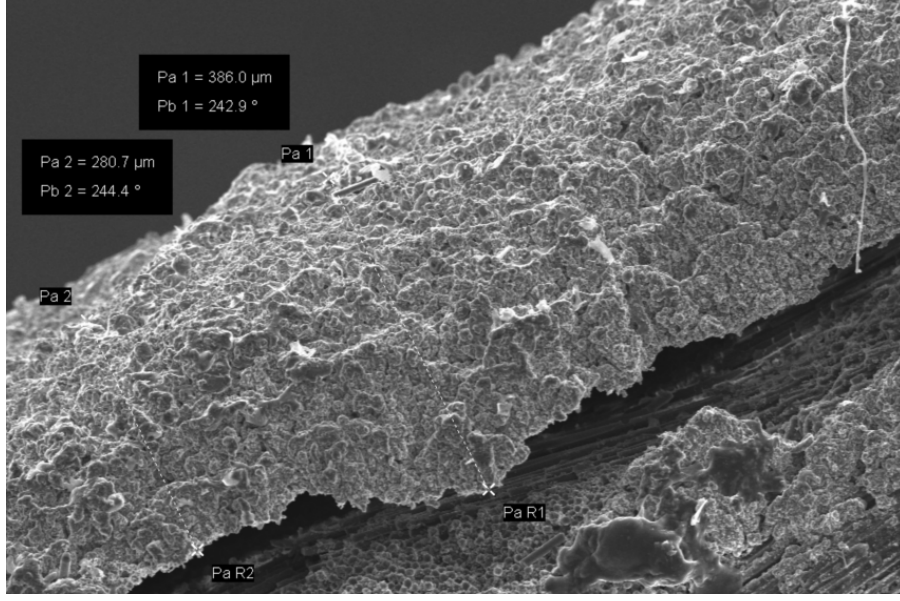
Resim 5.19. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO₃ kaplama

Resim 5.20 de cam elyaf takviyeli kompozit altlık üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunenin SEM resmi verilmiştir. Kumlanmış yüzeye yapılan kaplamanın nasıl fiberlerle iç içe geçtiği resimde açıkça görülmektedir. Bu durumun kaplamanın yapışma mukavemetini arttırdığı düşünülmektedir. Ayrıca kaplama kalınlığının en az olduğu numune cam elyaf takviyeli kompozit üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunedir. Kaplama kalınlığı 124 – 155 μm arasında değişmektedir.



Resim 5.20. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ kaplama

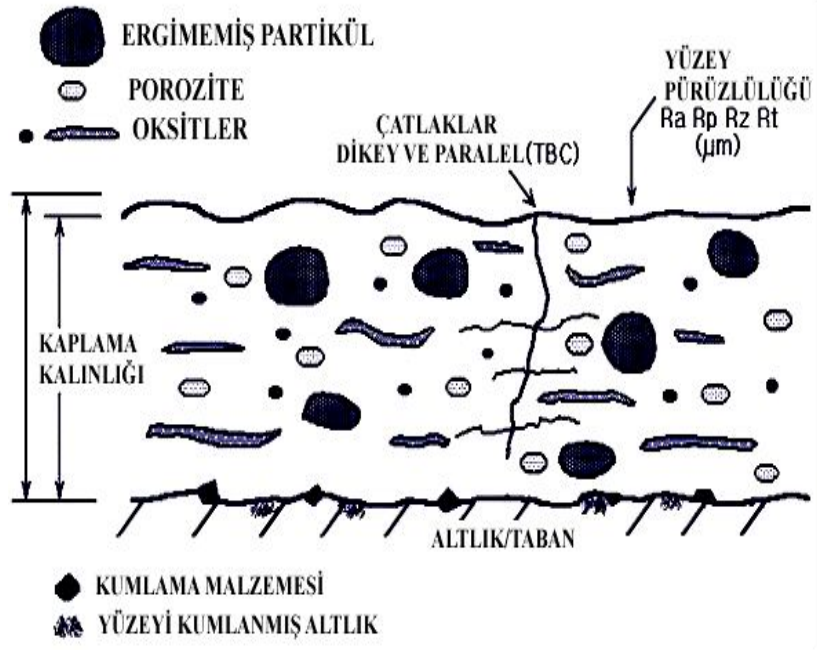
Resim 5.21 de karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin SEM görüntüsü verilmiştir. Kaplama kalınlığının 280–386 μm arasında değiştiği kaplama tabakasının altlığa hiç yapışmadığı resimde görülmektedir. Bunun nedeninin kaplama kalınlığının çok yüksek olması sonucu kaplama-altlık malzeme arasındaki uyumsuzluğun artması ve yapışma sağlanamaması olduğu düşünülmektedir.



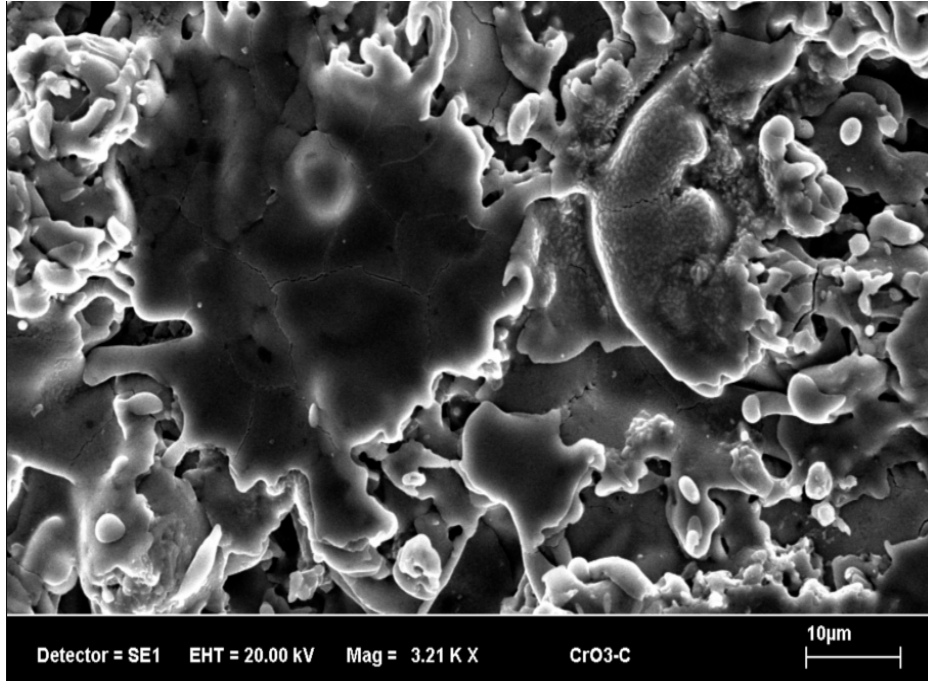
Resim 5.21. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO₃ kaplama

Optik mikroskop resimlerinde görülen poroziteler SEM fotoğraflarında daha açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Şekil 5.1 de plazma sprej kaplamaların iç yapısının genel görüntüsü verilmiştir. Şekilde de belirtildiği gibi plazma sprej kaplamalar yapısında düzensiz birikmeden kaynaklanan poroziteler, ergimemiş partiküller, çatlaklar içerir.

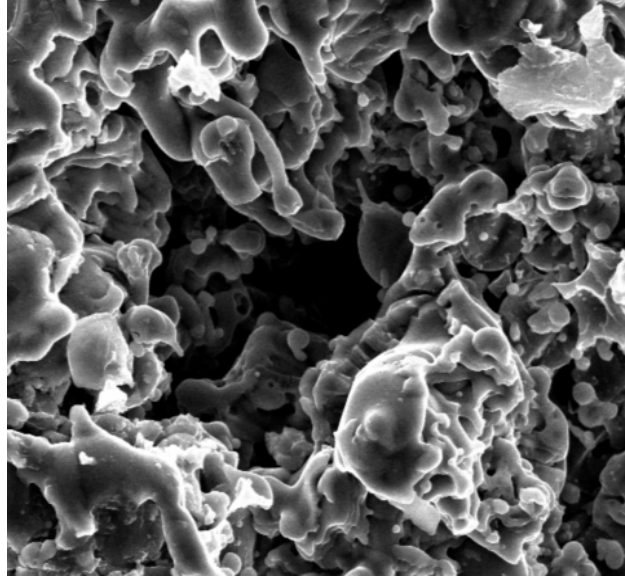
Resim 5.22 de çalışmamızda bulunan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numunenin içyapısı görülmektedir. Şekilde belirtildiği gibi SEM resminde de kaplamanın yapısında ergimemiş partiküller, mikro çatlaklar, küçük poroziteler göze çarpmaktadır. Resim 5.23 te ise cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunede düzensiz birikmeden kaynaklanmış büyükçe bir porozite görülmektedir. CrO₃ kaplamadaki porozitelerin küçük, Al₂O₃+TiO₂ kaplamadaki porozitelerin daha büyük olmasının nedeni Al₂O₃+TiO₂ kaplamanın daha uzun bir mesafeden yapılmış olmasıdır.



Şekil 5.1. Plazma sprej kaplama yöntemi ile yapılan kaplamaların iç yapısı[7]



Resim 5.22. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunede kaplamanın iç yapısı



Resim 5.23. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunede kaplamanın içyapısı

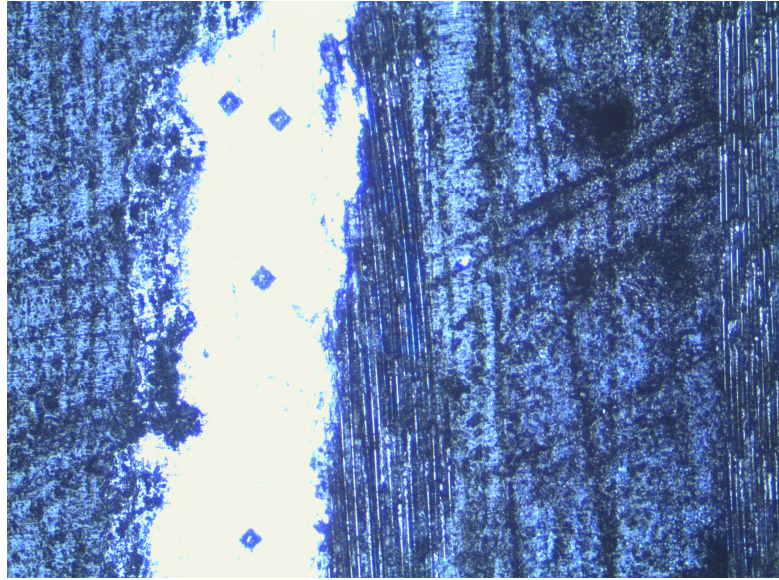
Porozite kaplamanın sertlik, aşınma direnci ve yapışma mukavemetini azalttığı için istenmeyen bir özelliktir. Ancak plazma sprej kaplamalarda porozite kaplamaların karakteristik bir özelliği olmasına rağmen ergitme gücünün artırılması, sprej mesafesinin kısaltılması gibi parametre kontrolleriyle en aza indirilmeye çalışılır. Ancak bizim çalışmamızda altlık malzemenin kompozit malzeme olması ve fiberlerin çok yüksek ısılarda bozunmaları nedeniyle kaplama parametrelerinin altlıkta olabildiğince bozunmaya neden olmayacak şekilde düzenlenmesine çalışılmıştır. Bu nedenle sprej mesafesinin uzun tutulması kaplamanın poroziteli bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur.

5.5 Mikrosertlik

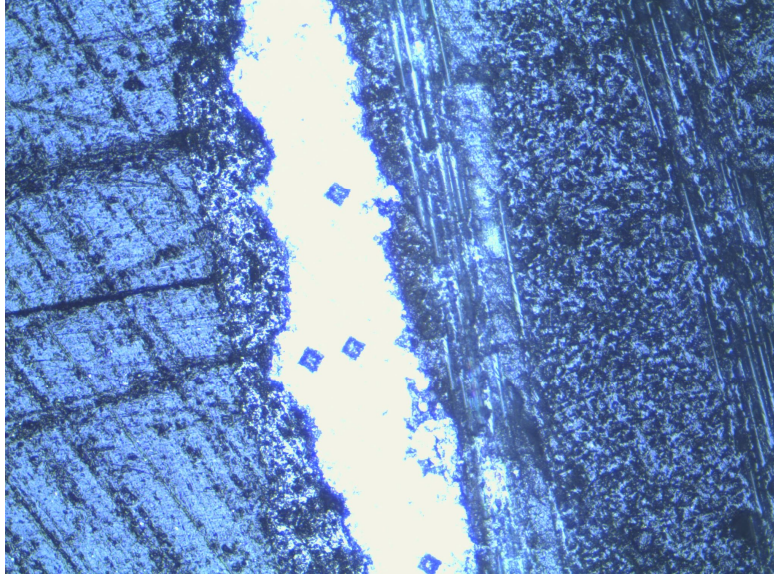
Deneysel çalışma için dikey olarak bakalite alınan numuneler (Resim 5.24) mikroskop tablasına yerleştirilmiş, net görüntü bulunana kadar odaklama yapılmıştır. Yükün uygulanması için objektif kenara çekilip, batıcı uç numune üzerine getirilmiş, yük uygulandıktan sonra bu kez batıcı uç kenara çekilip oluşan iz üzerinde ölçüm yapmak üzere tekrar ölçekli objektif setlik ölçülen bölgeye getirilmiştir. Mikrosertlik cihazıyla elde edilen izlerin görüntüleri Resim 5.25, Resim 5.26, resim 5.27 ve Resim 5.28 de verilmiştir.



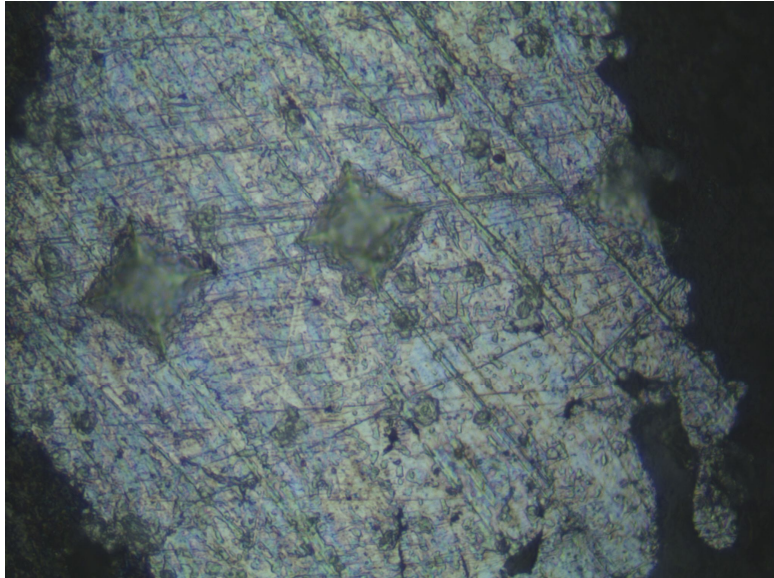
Resim 5.24. İnceleme için bakalite alınmış numuneler



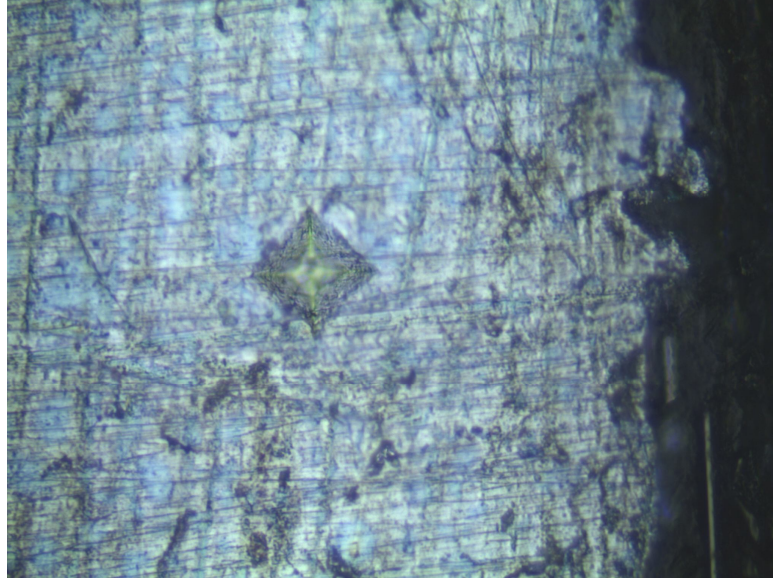
Resim 5.25. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)



Resim 5.26. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (100X)



Resim 5.27. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplama (500X)



Resim 5.28. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplama (500X)

Daha sonra izlerin boyutları tespit edilmiş, cihaz tarafından sertlik değerleri belirlenmiştir. Sertlik değerleri, uygulanan ağırlık ve süreleri ise Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2.Ölçülen sertlik değerleri

NUMUNELER	SERTLİK DEĞERLERİ(Hv)	YÜK(gr)	SÜRE(sn)
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam Elyaf)	356	200	20
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (C Elyaf)	345	200	20
CrO ₃ (Cam Elyaf)	854	500	20
CrO ₃ (C Elyaf)	523	500	20
NiAl+Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam Elyaf)	1108	500	20

Çizelgedeki verilere göre en sert kaplama 1108 Hv ile cam elyaf takviyeli kompozit üzerine NiAl astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunedir. Bu numuneye astar kaplama yapılması kaplama-altlık malzeme arasında gerilmelerden doğan uyumsuzluğun engellenmesine ve bunun sonucunda mikroçatlakların azalmasına neden olmuştur. Böylece sertlik değeri diğer numunelere göre oldukça yüksek çıkmıştır. Ayrıca $Al_2O_3+TiO_2$ kaplamalar daha uzun atış mesafesinden yapıldığı için kaplamalardaki porozite miktarları ve büyüklüğü CrO_3 kaplamalara göre daha fazladır. Bunun sonucunda da CrO_3 kaplamaların sertlik değerleri $Al_2O_3+TiO_2$ kaplamalardan daha yüksektir.

5.6 Çekme Deneyi

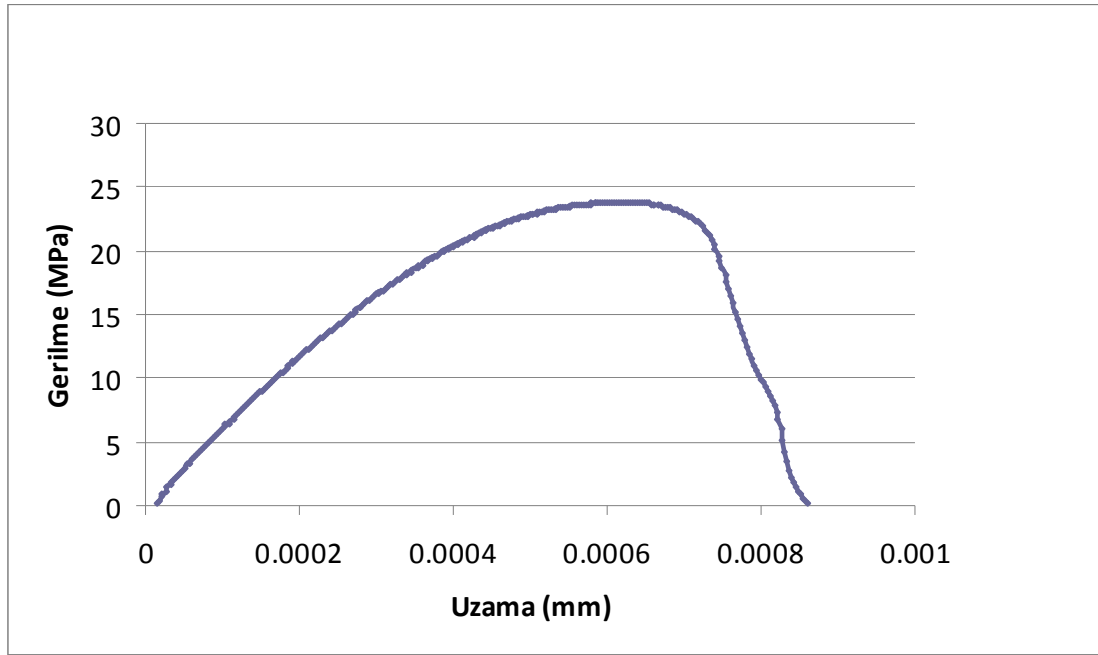
Çekme deneyi yapıldıktan sonra deneye tabi tutulan numunelerin kopma yüzeyleri gözle kontrol edilip ayrılmanın kaplama-altlık, altlık-yapıştırıcı ya da kaplamanın kendi içinden mi olduğu tayin edilmeye çalışılmış ve bütün ayrılmaların kaplama-altlık arasında olduğu gözlemlenmiştir. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunede çekme cihazına yerleştirme sırasında deney yapılamadan altlık-kaplama arasında ayrılma meydana gelmiştir. Zaten bu numunenin SEM görüntülerinde kaplamanın altlığa hiç yapışmadığı gözlemlenmiştir.(Resim 5.21) Bunun nedeninin kaplama kalınlığı arttıkça kaplamanın altlığa yapışma mukavemetinin azalması olduğu düşünülmektedir. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO_3 kaplanmış numune kaplama kalınlığı en yüksek olan numunedir. Kalınlık arttıkça uyumsuzluğun artması, yapışma mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır. Diğer 4 numune çekme deneyine tabi tutulmuş ve deney sonuçları grafiklere dönüştürülmüştür.

Kaplama yapılırken altlık malzeme ile kaplama yapılan malzemelerin termal genleşme katsayılarının farklılıklarından doğan gerilimler uyumsuzluk yaratırlar. Bunun sonucunda da çatlaklar oluşur, kaplama kalitesi düşer. Bu durumun engellenmesi için altlık ile kaplanan malzemenin arasına termal genleşme katsayısı ikisinin arasında olan bir ara kaplama yapılabilir. [1] Bir tane numunede $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama ile cam elyaf takviyeli kompozit malzeme arasına NiAl ara kaplama yapılmış ve böylece kaplamanın altlık malzeme ile daha iyi bir uyum sağlayarak yapışma mukavemetinin en yüksek

çıkması beklenilmiştir. Ancak yapışmayan CrO₃ kaplamasından sonra en düşük yapışma mukavemeti 23.79 MPa ile bu astarlı numunede görülmüştür.(Şekil 5.2)

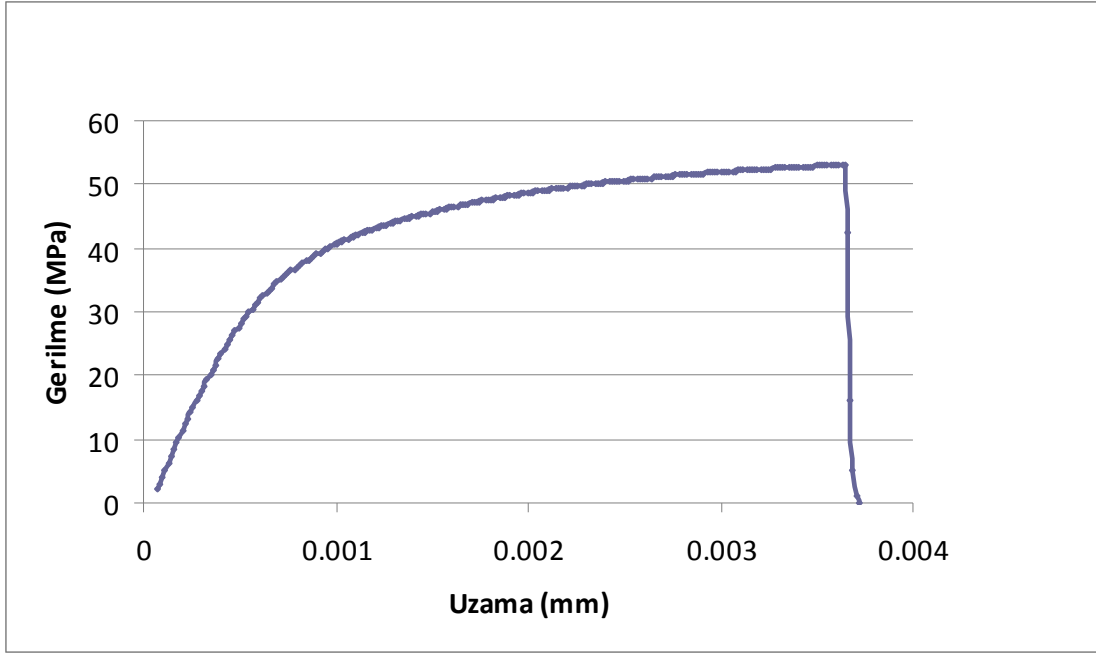
Bunun nedeninin iki kere kaplama yapmanın kaplama kalınlığını yükseltmesi ve bunun sonucunda da yapışma mukavemetini düşürmesi olabileceği düşünülmektedir.

NiAl astar kaplamanın cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile Al₂O₃+TiO₂ kaplama arasına yapılmak için uygun bir ara kaplama olmaması da bu sonucu doğurmuş olabilir.

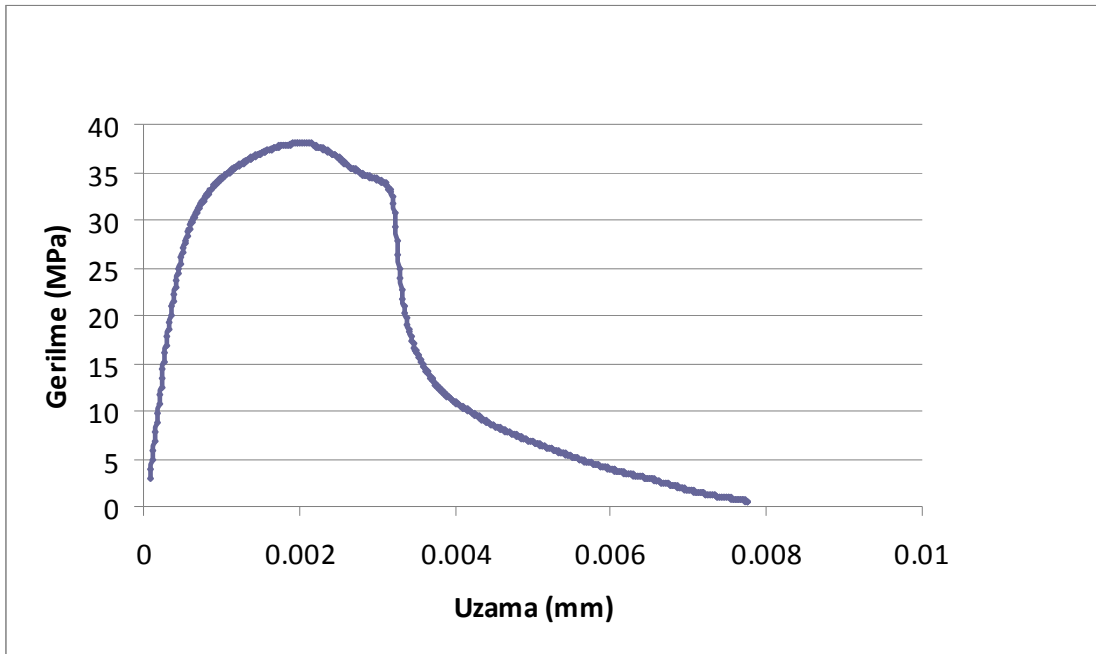


Şekil 5.2. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Altlık üzerine NiAl astar + Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı

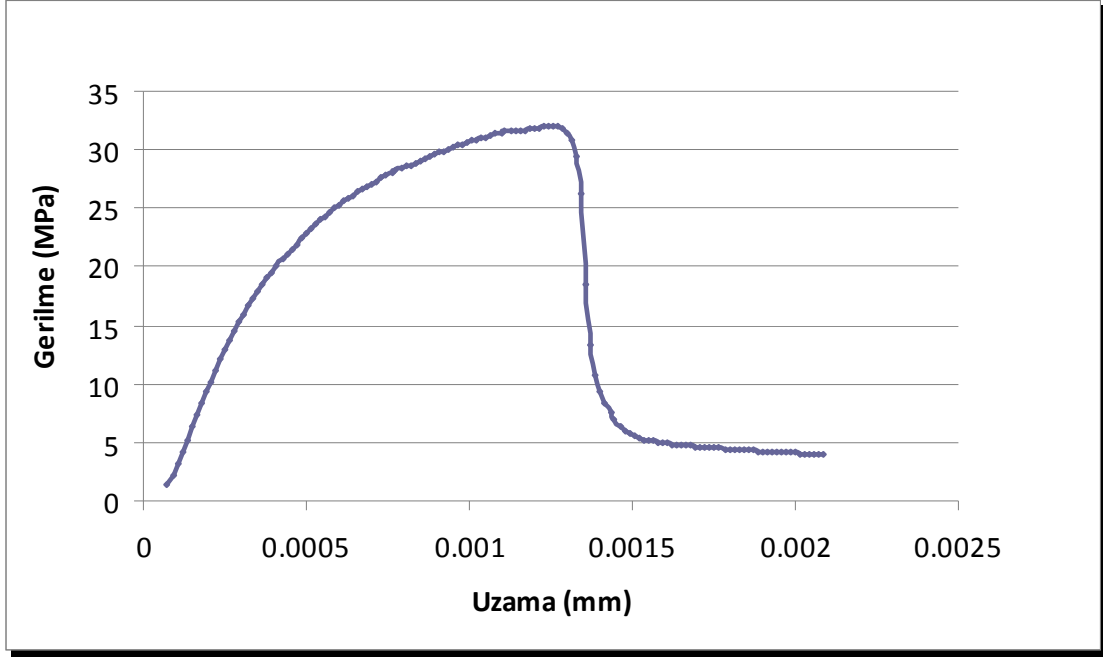
Diğer numuneleri sıralayacak olursak en yüksek yapışma mukavemeti 50.41 MPa ile cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunede görülmüştür.(Şekil 5.3) Daha sonra bu sırayı cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numune 38.06 MPa ile (Şekil 5.4) ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numune 32.27 MPa (Şekil 5.5) yapışma mukavemeti ile takip etmiştir.



Şekil 5.3. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı

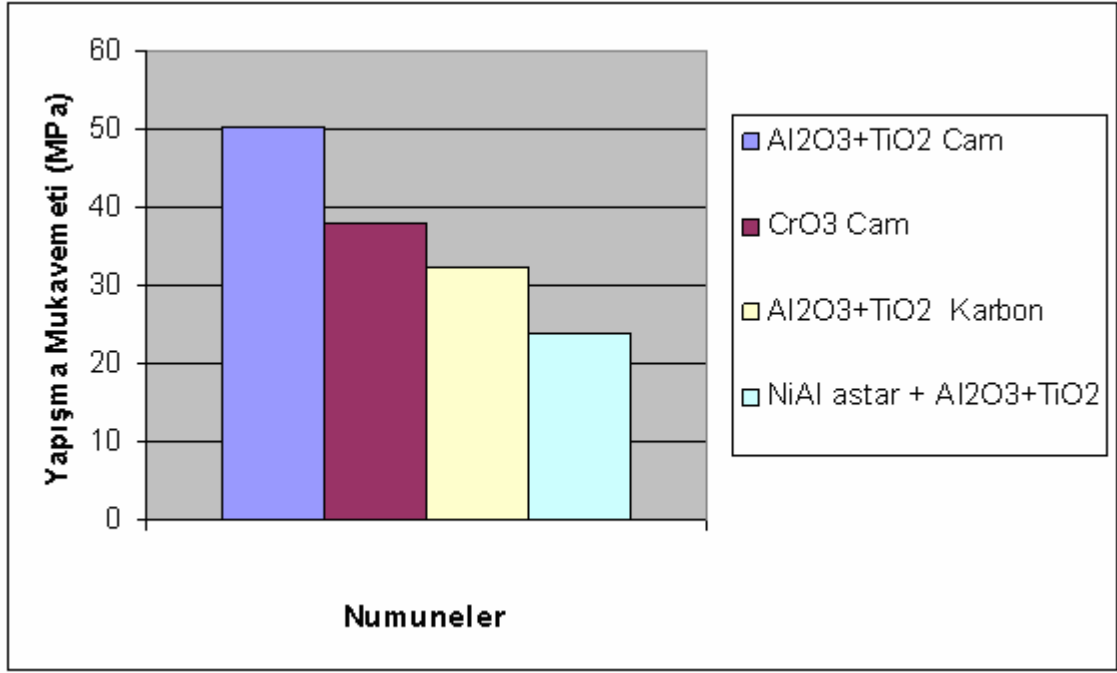


Şekil 5.4. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı



Şekil 5.5. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin Gerilme-Uzama Diyagramı

Bu sonuçlardan da görülmektedir ki kaplama kalınlığı kaplamanın yapışma mukavemetini olumsuz etkileyen bir etkidir. Kalınlık arttıkça yapışma mukavemeti düşmektedir. En iyi yapışma mukavemeti en ince kaplama olan cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunede, en kötü yapışma mukavemeti ise en kalın kaplama olan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numunede görülmüştür. Çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırmalı sonuçları Şekil 5.6 te verilmiştir.



Şekil 5.6.Çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırması

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Kompozit malzemeler çok iyi olan mekanik özellik-yoğunluk oranlarından dolayı günümüzde metallere çok daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak tribolojik davranışlarla ilgili olan nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlıdır. Ayrıca elektrik ve termal iletkenliklerinin olmaması da kompozit malzemelerin dezavantajları arasında sayılmaktadır. Bu çalışmada kompozit malzemelerin, zayıf olan yüzey özelliklerinin düzeltilmesi amacıyla kompozit malzemelerin plazma sprej yöntemi kullanılarak sert seramik tozlarından $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 ile kaplanabilirliği araştırılmış daha sonra bu kaplamaların yüzey özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Plazma sprej yöntemi kullanılarak $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 gibi sert seramik tozları cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine ara kaplama yapmaya veya atmosfer kontrolüne gerek duymaksızın, direk olarak kaplanabilmektedir.
- 2) Plazma sprej kaplama işlemi sırasında sprej mesafesi kaplamanın mikroyapısını doğrudan etkilemektedir. Kaplama mesafesinin uzun olması kaplamanın poroziteli bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Mesafe arttıkça porozite miktarı ve porozitelerin büyüklüğü artmaktadır.
- 3) Porozite, kaplamanın sertliğinin düşmesine neden olmaktadır. $Al_2O_3+TiO_2$ kaplamaların sprej mesafesi daha uzun olduğu için yapılarında CrO_3 kaplamalara nazaran daha büyük poroziteler bulunmaktadır. Buna bağlı olarak da sertlikleri, CrO_3 kaplamalardan daha düşük çıkmıştır.
- 4) $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama ve cam elyaf takviyeli kompozit altlık arasına yapılan NiAl ara kaplama termal genleşme katsayıları arasındaki uyumsuzluğu giderdiğinden kaplama yapısının çatlaksız dolayısıyla sert olmasını sağlamıştır. Ancak yüksek bir yapışma mukavemeti beklenirken kaplama kalınlığının fazla olmasından dolayı en düşük yapışma mukavemeti bu numunede çıkmıştır.

- 5) Kaplama kalınlığı, kaplamanın altlığa yapışma mukavemetini etkileyen en önemli faktördür. Kalınlık artıkça kaplamanın yapışma mukavemeti düşmektedir. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO₃ kaplanmış numune 280–386 µm kaplama aralığı ile en kalın kaplamadır ve SEM resimlerinde kaplamanın altlığa hiç yapışmadığı açıkça görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yola çıkarak bundan sonra yapılacak çalışmalara aşağıdaki öneriler verilebilir.

- 1) Çalışmamızın amacı kompozit malzemelerin kaplanabilirliğinin incelenmesi ve kaplama işleminin maliyetini en aza düşürmek adına direk olarak yapılmasına çalışılmasıydı. Kompozit malzemeler başarıyla kaplandı ancak altlığa zarar vermemek için sprej mesafesinin uzun tutulması kaplama yapısının poroziteli, dolayısıyla sertliğinin düşük olmasına neden oldu. Bu çalışma ışığında yapılacak yeni çalışmalarda atmosfer kontrolü sağlanarak sprej mesafesi biraz daha azaltılıp, daha gözeneksiz ve dolayısıyla daha sert kaplamalar yapmaya çalışılabilir.
- 2) Kaplama kalınlığı yapışma mukavemetini olumsuz yönde etkilediği için bundan sonra yapılacak kaplama çalışmalarında kaplama kalınlığı istenilen özellikleri sağlayacak optimum kalınlıkta tutularak daha yüksek yapışma mukavemetlerine çıkılabilir.
- 3) Bu çalışma da yapılan NiAl ara kaplamanın yapışma mukavemetine olumsuz etki yapmasının tek nedeninin kaplama kalınlığını arttırmış olması mıdır ya da kaplama ve altlık arasında termal uyumu sağlayamamış olması mıdır, farklı ara kaplamalar denenerek araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 1) Salman S, Öksüz M, 2000, ‘Seramik ve Plastik Yüzeylerin Porozite-Kaplama Özelliklerine İlişkisi’,8. Denizli Malzeme Sempozyumu, DENİZLİ, 296–304
- 2) Soykan Ş H, Karakaş Y, 2006, ‘Yüzey Kaplama Teknolojisi’,Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Yılmaz Karakaş, Hüseyin Ş. Soykan,M. Zeki Mahmutoglu, Ziya Aslanoğlu, Erdemir,Ereğli,1-8
- 3) Yaşar H,’Yüzey İşlemleri’,Makine Mühendisliği El Kitabı, Cilt 2, A. Münir Cerit, TMMOB Makina Mühendisleri Odası,1 -19
- 4) Elkoca O, Küçükkaragöz S, 2000, ‘Sıcak Daldırmada Çelik Kimyasal Bileşimi ve Yüzey Özelliklerinin Kaplama Davranışına Etkisi’, 8. Denizli Malzeme Sempozyumu, DENİZLİ, 305 – 310
- 5) Elkoca O, 2006, ‘Galvanizleme’, Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Yılmaz Karakaş, Hüseyin Ş. Soykan,M. Zeki Mahmutoglu, Ziya Aslanoğlu, Erdemir,Ereğli, 163-188
- 6) http://www.tezproje.8m.com/fatih_bayraktaroglu1/2_5_yuzey_kaplama.htm
- 7) Kılıç Y, 2006, ‘Fiziksel Buhar Biriktirme’, Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Yılmaz Karakaş, Hüseyin Ş. Soykan, M. Zeki Mahmutoglu, Ziya Aslanoğlu, Erdemir,Ereğli, 272-284
- 8) Üstel F, Soykan Ş, Çelik E, Avcı E, 1995, "Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi", Metalurji Dergisi (97):31-37
- 9)Soykan Ş H, Üstel F, Çelik E, 2006, ‘Termal Sprey Teknolojisi’, Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Yılmaz Karakaş, Hüseyin Ş. Soykan, M. Zeki Mahmutoglu, Ziya Aslanoğlu, Erdemir, Ereğli, 221-248

- 10) <http://web.deu.edu.tr/fmd/s25/25-06.pdf>
- 11) Visconti I C, Paesano A and Penasa M, 1992 'An investigation of antiwear coatings on fibre-reinforced plastics', Composites Manufacturing, Vol 3 No 1
- 12) <http://www.sdu.edu.tr/diger/bapyb/2003-21.htm>
- 13) Asi D, 2008, 'Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, UŞAK
- 14) Tucker R C, 1994, 'Thermal Spray Coatings', ASM Metals Handbook, Volume 5, Catherine M. Cotell, James A. Sprague, and Fred A. Smidt, Jr., ASM International Handbook Committee, 1446-1471
- 15) Mellor B G ,2006, 'Surface Coatings For Protection Against Wear', B.G. Mellor, Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining, Boca, Raton, Boston, New York, Washington DC, 249-302
- 16) Tracton A A, 2006, 'Coating Tecnology Handbook' CRC Press
Taylor & Francis Group, Boca, Raton, London, New York, Singapore
- 17) <http://www.ytmk.sakarya.edu.tr/yuzey.html>
- 18)) Belevi, İnançer, 2008, 'Darbe ve Ortam Sartlarının Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkileri' Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (4),19-31
- 19) Yıldızhan H ,2008 'Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ISPARTA
- 20) Alonso F, Fagoaga I, Oregui P, 1991, 'Erosion protection of carbon—epoxy composites by plasma-sprayed coatings', Surface and Coatings Technology, 49, 482-488

- 21) Salman S, Köse R, Urtekin L, Fındık F, 2004 ' An investigation of different ceramic coating thermal properties', *Materials and Design*, 27,585-590
- 22) <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm>
- 23) http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/mal_mekanik_ozellik.htm
- 24) http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/mekanik_denyler/sertlik_olcme.htm
- 25) <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/lecture2.pdf>
- 26) Sarıkaya Ö,2010,'Kaplama Kalınlığının Ölçümü',*Yüzey İşlem ve Kuşlama Dergisi*,13, 52-53
- 27) Okumuş S C,2005,'Microstructural and mechanical characterization of plasma sprayed Al₂O₃-TiO₂ composite ceramic coating on Mo/cast iron substrates', *Materials Letters* 59,3214-3220
- 28) Gorlach I A,2009,'A new method for thermal spraying of Zn-Al coatings', *ARTICLE IN PRESS*, TSF-26008,1-4
- 29) Yılmaz Ş,İpek M,Çelebi G F,Bindal C,2004,'The effect of bond coat on mechanical properties of plasma-sprayed Al₂O₃ and Al₂O₃-13wt% TiO₂ coatings on AISI 316L stainless steel ', *Vacuum* 77,315-321

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı: AKÇİN Yelda
Uyruğu T.C
Doğum Tarihi ve Yeri: 07.02.1986\Uşak
Medeni Hali: Bekar
Telefon: 0 505 457 06 09
e-mail: yeldaakcin@hotmail.com
Yabancı Dili İngilizce

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2011
Lisans	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2008
Lise	Uşak Orhan Deniz Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap okumak, seyahat etmek, müzik dinlemek