

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

**PLAZMA SPREY KAPLAMADA OLİVİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAPLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Nuri AYDINLI

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Recep ARTIR

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLAZMA SPREY KAPLAMADA OLİVİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAPLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Nuri AYDINLI

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Bu tez 09/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirligi ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Recep ARTIR
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Sefer Cem OKUMUŞ
Jüri Üyesi


Doç. Dr. Ramazan YILMAZ
Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında, değerli bilgi ve fikirleriyle büyük katkı sağlayan, çalışmalarında her türlü yardımı fazlasıyla gösteren saygıdeğer Hocam Doç. Dr. Recep ARTIR' a çok teşekkür ederim. Çalışmamda kullanmış olduğum olivin hammaddesini sağlayan BEYKROM A.Ş.' ye ve numunelerin kaplaması konusunda bana yardımcı olan PLAZMA TEKNİK A.Ş.' ye teşekkür ederim. Kumlama testleri için yardımcı olan SENKRON MAK. A.Ş. ye ve M. Burak YILMAZ'a aşınma testlerinde katkıda bulunan Marmara Üniv. Metal Eğitimi bölümü araştırma görevlisi M. Kemal BİLİCİ' ye ve yakın arkadaşım, meslektaşım Güvenç ARABACI' ya şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın hazırlanması sırasında çalışmakta olduğum şirketim Atlas Baca Sistemleri' ne ve çalışma arkadaşlarıma yerimi doldurarak tezimi hazırlamam için zaman ayırmama yardımcı oldukları için teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisansa başlamamı sağlayan ve beni teşvik eden abim Deniz AYDINLI ve ablam Melike Loise ÖRSER' e teşekkürler. Tabii ki doğduğum günden bugüne gelmemi sağlayan desteklerini hiç esirgemeyen annem ve babama da sevgilerimi sunar teşekkürler ederim.

Nuri AYDINLI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
OLİVİN.....	5
2.1. Olivin.....	5
2.2. Olivinin Kullanım Alanları.....	7
2.2.1. Demir-çelik sanayisinde.....	7
2.2.2. Refrakter sanayisinde.....	8
2.2.3. Döküm sanayisinde.....	8
2.2.4. Aşındırıcı (Abresiv) olarak kullanımı.....	10
2.2.5. Elektrikli ısıtıcı (Radyatör) olarak kullanımı.....	10
2.2.6. Balast (Denge) malzemesi olarak kullanımı.....	11
2.2.7. Gübre yapımında.....	12
2.2.8. Diğer.....	12
2.3. Olivinin Üretilmesi.....	13
2.3.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	13
2.3.2. Olivinin üretim standartları.....	14

2.4. Türkiye'deki Olivin Rezervleri.....	15
BÖLÜM 3.	
PLAZMA SPREY TEKNİĞİ.....	17
3.1. Plazma.....	17
3.2. Plazma Çeşitleri.....	18
3.2.1. Tam veya yarı iyonlaşmış plazmalar.....	18
3.2.2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar.....	18
3.3. Plazma Sprey Teknikleri.....	18
3.4. Plazma Sprey Tekniğinin Ana Unsurları.....	21
3.4.1. Plazma sistemi ve alev tabancası.....	21
3.5. Plazma ve Plazma Jel Oluşumu.....	25
3.6. Plazma Jetindeki Toz Hareketleri.....	26
3.7. Kaplama Prosesi.....	28
3.7.1. Kaplama tozu.....	28
3.7.2. Kaplamada kullanılan gazların özellikleri.....	29
3.7.3. Yüzey hazırlama.....	29
3.7.4. Kuşlama.....	30
3.7.5. Oluk açma.....	33
3.7.6. Ara bağlayıcı.....	33
3.7.7. Maskeleye.....	37
3.7.8. Kaplama.....	38
3.8. Plazma Kaplamaların Temel Özellikleri.....	39
3.8.1. Yapı.....	39
3.8.2. Yoğunluk ve porozite.....	40
3.8.3. Yapışma, iç gerilme ve kaplama kalınlığı.....	41
3.8.4. Mukavemet, sertlik.....	42
3.8.5. Termal ve elektriksel iletkenlik.....	43
3.9. Uygulama Alanları.....	44
3.9.1. Otomotiv endüstrisi.....	44
3.9.2. Kimya endüstrisi.....	45
3.9.3. Hidrolik makineler.....	45
3.9.4. Cam endüstrisi.....	45

3.9.5. Uçak ve uzay endüstrisi.....	46
3.9.6. Nükleer teknoloji.....	46
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE METODOLOJİ.....	47
4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı.....	47
4.2. Materyaller ve Yöntemler.....	48
4.1.1. Kaplama tozunun temini ve hazırlanması.....	48
4.2.2. Altlık numunenin hazırlanması.....	49
4.2.3. Numunenin plazma sprey ile kaplanması.....	50
4.2.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	50
4.2.5. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD).....	52
4.2.6. Mikroyapı.....	52
4.2.7. Mekanik Özellikler.....	53
4.2.8. Kaplamanın Aşınma Özellikleri.....	54
4.2.8.1. Aşınmaya etki eden faktörler.....	55
4.2.8.2. Aşınma mekanizmaları.....	56
4.2.8.3. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri.....	58
4.2.9 Kuşlama Testi.....	60
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	62
5.1. Kaplamaların Yüzey Pürüzlülüğü.....	62
5.2. Kaplama Mikroyapıları.....	63
5.3. Mikrosertlik.....	66
5.4. X-ışınları Difraksiyon Analizi (XRD).....	66
5.5. Aşınma Deney Sonuçları.....	68
5.6. Kuşlama Test Sonuçları.....	71
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	72
6.1. Tartışmalar.....	72
6.1. Öneriler.....	74

KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ar	: Argon
He	: Helyum
N ₂	: Azot
H ₂	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
Fe	: Demir
SiO ₂	: Silisyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Fe ₂ O ₃	: Hematit
Al ₂ O ₃	: Alümina
Na ₂ O	: Sodyum Oksit
Cr ₂ O ₃	: Krom Oksit
NiO	: Nikel Oksit
TiO ₂	: Titanyum Oksit
MnO	: Mangan Oksit
Al	: Alüminyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
W	: Volfram
NiAl	: Nikel Alüminyum
ZrN	: Zirkonyum Nitrür
B ₄ C	: Borkarbür
O ₂	: Oksijen
CaO	: Kalsiyum Oksit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit

Y_2O_3	: Yitriya
$^{\circ}C$: Santigrat derece
%	: Yüzde
MTA	: Maden Teknik Arama
Min.	: Minimum
Max.	: Maksimum
gr	: Gram
cm^3	: Santimetre Küp
mm	: Milimetre
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
KW	: Kilowatt
K	: Kelvin Derece
m	: Metre
sn	: Saniye
μm	: Mikrometre
kg	: Kilogram
V	: Volt
kJ	: kilojoul
W	: Watt
MPa	: Mega Paskal
σ_p	: İç Gerilme
α_p	: Lineer Genleşme Katsayısı
E_p	: Basmada Elastiside Modülü
T_p	: Sıcaklık
β	: İlk Alandaki Yapışma
S_x	: Bağlamanın Olduğu Alan
S	: Toplam Kaplama Alanı
σ_o	: Başlangıç İç Gerilme
N	: Newton

λ_C	: Metal Partiküllerin Elektronlar İletkenliği
λ_f	: Foton Termal İletkenliği
λ_1	: Yüksek Sıcaklıklara Çıkarılan Kaplama Porlarındaki Radyasyona Uğrayan Fotonlar
λ_m	: Kaplama Porlarında Kalan Termal İletkenlik
Ra	: Pürüz Yükseklik ve Derinlik Değerlerinin Profil Ortalama Çizgisinden Dikey Sapmasının Aritmetik Ortalama Değeridir.
Rz	: Ortalama Pürüz Yüksekliğinin Profil Ortalama Çizgisine olan Uzaklığıdır.
Rmax	: En Derin ve En yüksek Pürüz arası Mesafe Değerleridir.
XRD	: X- Işınları Difraksiyon Analizi
d	: Düzlemler Arası Mesafe
P	: Uygulanan Yük
I	: Şiddet

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Olivin minerali.....	5
Şekil 2.2.	Olivin mineralinin a) kayaç hali, b) tane yapısı.....	5
Şekil 2.3.	Olivin döküm kumu.....	10
Şekil 2.4.	Türkiye’ deki önemli dünit alanları.....	16
Şekil 3.1.	Plazma sprej kaplama tekniğinde genel halde etki eden faktörler	20
Şekil 3.2.	Plazma sprej prosesinin genel görünümü.....	21
Şekil 3.3.	Plazma kaplama sistemi.....	22
Şekil 3.4.	Plazma sprej tabancasının şematik görünüşü.....	23
Şekil 3.5.	Farklı plazma kaplama sistemleri.....	25
Şekil 3.6.	Azot-hidrojen plazma jeti için (a) sıcaklık, (b) hız profili.....	26
Şekil 3.7.	Altlık üzerinde plazma halinde gelen tozun yapışması ve soğuması.....	27
Şekil 3.8.	İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri.....	31
Şekil 3.9.	Farklı basınçlar ve işlem zamanlarının yüzey pürüzlülüğü ve kalan kum miktarına etkisi.....	32
Şekil 3.10.	Ara bağlayıcı kaplama.....	34
Şekil 3.11.	Kaplamada oluşan sorunlar.....	38
Şekil 3.12.	Mukavemetin kaplama kalınlığına bağlı olarak değişimi.....	43
Şekil 3.13.	Plazma sprej kaplamaların başlıca uygulama alanları.....	46
Şekil 4.1.	Olivin tozunun stereo optik mikroskopta gözlenen morfolojisi.....	49
Şekil 4.2.	Sertlik alınmış bir numunenin optik mikroskop altındaki görüntüsü.....	53
Şekil 4.3.	Aşınma deney düzeneğinin şematik olarak görüntüsü.....	55
Şekil 4.4.	Metal- Metal sürtünme sırasında yüzeyden parça kopması.....	57
Şekil 4.5.	Abrezif aşınma mekanizması.....	58

Şekil 5.1.	Ni-Al ara bağlayıcı kullanarak kaplanan numunenin pürüzlülük değerleri.....	62
Şekil 5.2	Ara bağlayıcı kullanmadan kaplanan numunenin pürüzlülük değerleri.....	62
Şekil 5.3.	Kumlama sonrası 316L paslanmaz çeliğin pürüzlülük değerleri...	63
Şekil 5.4.	x300 Büyütmede ara bağlayıcılı kaplanmış numune.....	63
Şekil 5.5.	x600 Büyütmede ara bağlayıcılı kaplanmış numune.....	64
Şekil 5.6.	x300 Büyütmede ara bağlayıcısız kaplanmış numune.....	64
Şekil 5.7.	x600 Büyütmede ara bağlayıcısız kaplanmış numune.....	65
Şekil 5.8.	x1500 Büyütmede ara bağlayıcısız kaplanmış numune ara yüzeyi	65
Şekil 5.9.	Kaplama öncesi Olivin tozunun XRD analizi	67
Şekil 5.10.	Kaplama sonrası yüzeyden alınan XRD analizi	67
Şekil 5.11.	Ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız numunelerin Wa-m grafiği.....	69
Şekil 5.12	Ara bağlayıcısız numunenin aşınma sonrası yüzey profili.....	70
Şekil 5.13.	Ara bağlayıcısız numunenin aşınma sonrası yüzey profili.....	71

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Olivinin genel kimyasal bileşimi.....	6
Tablo 2.2.	Olivinin özellikleri.....	6
Tablo 2.3.	Olivin tozunun kullanım yerinde ortalama istenen toz boyutları.....	13
Tablo 2.4.	Olivinin üretim standartları.....	14
Tablo 2.5.	TSE' nin kimyasal bileşimine göre sınıflandırması.....	14
Tablo 2.6.	Elek analizine göre Olivin tipleri.....	15
Tablo 3.1	Plazma sprey kaplama bileşenleri ve bunlara etki eden parametreler.....	24
Tablo 3.2.	Plazma gazları ve özellikleri.....	29
Tablo 3.3.	Bazı malzeme ve kaplamalara ait termal genleşme katsayıları....	34
Tablo 4.1.	Deneysel çalışmada takip edilen program.....	47
Tablo 4.2.	Kullanılan olivin tozunun kimyasal bileşimi.....	48
Tablo 4.3.	316L paslanmaz çeliğin kimyasal analizi.....	49
Tablo 4.4.	Ara bağlayıcı kaplama sırasında meydana gelen plazma sprey parametreleri.....	51
Tablo 4.5.	Aşınma test cihazının mekanik özellikleri.....	54
Tablo 4.6.	Kumlama metodları.....	61
Tablo 5.1.	Kaplama pürüzlülük değerleri.....	62
Tablo 5.2.	Mikrosertlik değerleri.....	66
Tablo 5.3.	Aşınma öncesi ve sonrası numune ağırlıkları.....	68
Tablo 5.4.	Numune türüne bağlı olarak aşınma oranı ve mesafe değişimi....	69
Tablo 5.6.	Kumlama test sonuçları.....	71

ÖZET

Anahtar kelimeler: Olivin, plazma sprey, kaplama, aşınma

Günümüzde kullanılan metalik malzemeler çok çeşitli ve değişken ortamlarda mekanik, termal ve kimyasal etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu gibi zor şartlarda çalışan malzemelerin daha uzun süre ve etkilenmeden çalışabilmesi için farklı kaplama metotları geliştirilmiş olup, plazma sprey kaplama tekniği bunlardan birisidir.

Bu çalışmada olivin tozunun aşınmaya karşı çalışacak plazma kaplama tozu olarak kullanılabilirliği ve kaplama sonrası mikroyapı ve özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla endüstride geniş bir kullanım alanı olan 316L paslanmaz çeliğin çalışma performansını iyileştirmek için çelik yüzeyine olivin minerali kaplanmıştır.

Çalışmada önce plazma kaplama tekniği ve özelliklerinden bahsedilmiş olup daha sonra olivin minerali kısaca tanıtılmıştır. Deneysel metodoloji kısmında çalışmada kullanılan olivin tozu ve özelliklerinin yanı sıra plazma kaplama ünitesi ve kaplama öncesi ve sonrasında uygulanan karakterizasyon tekniklerine yer verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda ise belli toz boyutuna sahip olivin, metalografik olarak hazırlanmış 316L kalite paslanmaz çelik numuneler üzerine ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız olmak üzere iki grupta kaplanmıştır. Kaplanan numuneler üzerinde metalografik hazırlama işleminden sonra mikroyapı, sertlik, pürüzlülük oranları, XRD analizi, aşınma ve kumlama testi yapılarak özellikleri incelenmiştir.

Ara bağlayıcılı olarak kaplanmış olan numunelerin aşınma ve kumlama testlerindeki performanslarının ara bağlayıcısız olanlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Kaplanmış numunenin XRD analizinde ise olivinin, plazma kaplama prosesi sırasında faz dönüşümüne uğrayarak kristalin yapıdan amorf yapıya kısmi bir dönüşüm geçirdiği tespit edilmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre olivin tozunun plazma kaplama tozu olarak kullanılabilceği görülmüştür.

USAGE OF OLIVINE IN PLASMA SPRAY COATING AND INVESTIGATION OF COATING PROPERTIES OF OLIVINE

SUMMARY

Key Words: Olivine, plasma spray, coating, wear

Metallic materials are subjected to different and various environments such as thermal, mechanic and chemical effects. Coating methods have been developed, such as plasma spray coating, for those materials working in harsh environments to extend their life span.

Present study is aimed at investigation of coating performance of olivine powders that would be working against wear and abrasion and their microstructure and properties after coating. In order to improve working performances of 316L stainless steel, which is one of the widely used steel in industry, olivine was coated on steel surface.

Plasma coating technique and its properties were mentioned and olivine mineral was also introduced. In the experimental methodology part, details of olivine powders used and their properties were given. Information about plasma coating unit and characterization techniques involved in experiments were also mentioned.

In experimental studies, olivine powders were coated on metallographically prepared 316L stainless steel with and without bond coating. Coated samples were characterised for both groups using optical microscopy, XRD analysis, hardness, surface roughness, wear test, sand blasting tests.

Bond coated samples were more successful for wear and abrasion resistance when compared with the non-bond coated samples. Coated samples XRD analysis revealed that glassy phases were formed by partial transformation of olivine from crystalline to amorphous phase during plasma coating process.

Consequently, it was found that olivine powders could be used as plasma coating powder.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Maddenin katı, sıvı ve gaz halinden başka çok yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan, plazma olarak adlandırılan dördüncü bir hali daha vardır.

Yüksek sıcaklığa ısıtılan gazlar önce atomlarına ayrılır, sonra da atomdan dış yörünge elektronlarının kopması ile pozitif yüklü iyon oluşur. Bu plazma hali denilen yüksek sıcaklık halinden faydalanılarak plazma kaplama prosesi geliştirilmiştir [1].

Bilindiği gibi gerek oda sıcaklıklarında gerekse de yüksek sıcaklıklardaki işletme şartlarında malzemeler pek çok dış etkilere (aşınma, korozyon vb.) maruz kalmaktadırlar. Bundan dolayı iş parçalarının çok dikkatli seçilmesi ve gerekiyorsa koruyucu tabaka ile kaplanması ya da yüzey ısı işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Plazma sprej kaplama tekniği günümüz modern endüstrilerinde yüksek performans gerektiren yüzeylerin üretimine uygun çok önemli teknolojilerden biridir. Son 20–25 yıl içerisinde plazma fiziğini anlamada ve sprej kaplama donanımı ve tekniklerinde önemli gelişmeler olmuştur. Söz konusu teknik metalleri, alaşımları, seramikleri ve sermetleri de içeren malzemelerin çok değişik tip ve geometriye sahip iş parçalarının üzerine kaplama yapılmasına imkân sağlamaktadır. Çünkü 1939 yılından beri plazma sprej kaplama donanımlarında geliştirilen konstrüksiyonlar da çok önemli gelişmeler sağlanmıştır [2].

Plazma sprej alanında en büyük gelişmelerden biriside açık atmosfer ve vakum altında plazma sprej kaplama metodunun her ikisinde de bilgisayar kontrollü ve robotların kullanılmasıdır. Burada önemli olan tekrarlama özelliğine sahip doğru plazma ve tetikleme donanımı seçiminin yapılmış olmasıdır [3].

Sprey kaplama tekniğinin kalitesi plazma ve çevre şartlarıyla birlikte toz partiküllerinin etkileşimlerine bağlıdır. Etkileşme tozun şekli, boyutu, yoğunluğuna, plazma alevinin laminer veya türbülanslı oluşuna, kimyasal bileşimine, entalpisine, plazma alevinin hızına, tozun plazma alevi içerisine gönderilme şekline ve hızına bağlıdır [4].

Plazma alevini oluşturmak için Ar, He, N₂, H₂ veya bunların bileşimleri kullanılır. Plazma için vakum sonrasında nozul içerisinden gaz geçirilir. Gazın akışı esnasında katod ve anod arasında yüksek frekansta D.C. elektrikli ark uygulanır ve gazların iyonizasyonu sağlanır ve sonrasında da plazma alevi oluşturulur. Plazmada yüksek sıcaklık gradyentleri meydana gelir ve eksendeki sıcaklık 15,000 °C dereceye kadar çıkılabilmektedir [2, 4].

Yüksek sıcaklıktan dolayı nozul sürekli olarak su ile soğutulmaktadır. Toz malzemesi plazma alevi içerisine taşıyıcı bir gaz (Ar, N₂) yardımıyla gönderilir. Kaplama malzemesi olan toz partikülleri, ortaya çıkan yüksek sıcaklık sebebiyle, toz çapına bağlı olarak tam veya yarı eriyik halde iş parçasına doğru ivmelendirilir. Hızla iş parçası yüzeyine çarpan eriyik yüzeye yine hızla yapışır ve aynı şekilde çok çabuk soğurlar (>10⁶ K/s). Ve yüzeyde arzu edilen koruyucu yüzey tabakası (veya çökelti) oluşturulur [4].

Plazma kaplama tekniği teknoloji için oldukça önemli bir prosestir. Ama kullanılan plazma tozları belli özelliklere sahip olması gerektiğinden (bileşim, akışkanlık, tane boyutu ve tane geometrisi) maliyetleri oldukça arttırmakta ve yeni alternatif kaplama malzemesi arayışları devam etmektedir.

Alternatif kaplama tozu malzemesi olarak sertliği ve aşındırıcı özellikleri ile ön plana çıkan olivin' in kaplama malzemesi olarak değerlendirilmesi bu çalışmanın amacı olarak belirlenmiş olup, olivin madenciliği diğer mineraller ile karşılaştırıldığında Türkiye de ve Dünyanın birçok ülkesinde oldukça yeni sayılır. Teknolojik ve fiziksel özelliğinden dolayı da son 25 yıl içinde oldukça önemli bir mineral durumuna gelmiştir. Bu özelliklerinin yanı sıra yerini alabileceği minerallerden ucuz olması da sanayide kullanma şansını artırmıştır. Diğer önemli bir unsur da kütleler halinde

bulunan dunitlerin (olivin) açık işletmeye uygun olmalarının yanı sıra, krom cevherinin zenginleşmesi sırasında yan ürün olarak doğrudan elde edilmesidir. Bu da işletme maliyetlerinde önemli düşüşler sağlayabilmektedir [5].

Olivin içeren en önemli kayaç dunittir. Sanayide dunitlerin Mg'ca zengin cinsi olan Forsterit cinsi kullanılmaktadır. Dunitler çoğunlukla % 95-99 arasında olivin içerirler. Dunitlerin çoğunlukla % 95-99 kısmı olivin, geriye kalan % 1-5 kısmı da piroksen, serpantin, klorit ve spinel'den ibarettir [5].

Olivin en fazla demir-çelik sanayinde eritici, cüruf düzenleyici ve sinterleşme derecesini düşüren bir hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu özelliği ile hamdemir üretimi sırasında kullanılan kok miktarında yaklaşık % 20 kadar tasarruf sağlamaktadır.

Olivinin, diğer bir kullanım alanı da refrakter sanayidir. Forsterit tuğla, ateş tuğlası, kimyasal bağlı tuğlalar ve çeşitli refrakter yapı ve malzemelerin imalinde de önemli miktarlarda olivin kullanılmaktadır [5].

Dünya'daki gelişmiş ülkeler sağlık ve çevre konusunda düzenledikleri yasalar ile serbest silis içeren mineral veya hammaddelerin kullanımını yasaklama yoluna gitmişlerdir. Bu nedenle döküm sanayi ve aşındırıcı (abrasiv) özelliğinden dolayı binaların, köprülerin ve benzeri çeşitli yapıların temizlenmesinde kullanılan kuvars kumları yerlerini olivine terk etmeye başlamışlardır. Yoğunluğunun fazla olması nedeni ile petrol platformlarını dengede tutma amacıyla yapılan sütunların çimentosunda ayrıca tren yollarının temelinde duyarlılığı sağlamak amacıyla da balast taşı olarak önemli miktarlarda olivin kullanılmaktadır. Son yıllarda ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacı ile kaya yünü olarak da olivin kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca özel boya ve beton üretiminde de kullanımı için çalışmalar başlatılmıştır.

Ülkemizde dunit Guleman-Kef, Adana-Karsantı (Kızılyüksek), Bursa-Orhaneli, Muğla-Fethiye, Köyceğiz, Beyşehir yörelerinde bulunmaktadır. Bu yörelerde ülke ihtiyacını fazlasıyla karşılayacak milyarlarca ton dunit potansiyeli belirlenmiştir.

Ayrıca MTA Genel Müdürlüğünün yaptığı çalışmalar değerlendirme aşamasına gelmiş ve Türk sanayicisi artık olivini tanır ve kullanır olmuştur [5].

Ülkemizde ümit vadeden ve kullanımı gittikçe yaygınlaşan olivin minareli nin yeni kullanım alanları bulup daha aktif kullanılması için plazma sprey kaplama tekniğiyle paslanmaz çelik üzerine uygulanması ve kaplama sonucunda elde edilecek özellikleri bu araştırmanın amaçlarını teşkil etmektedir.

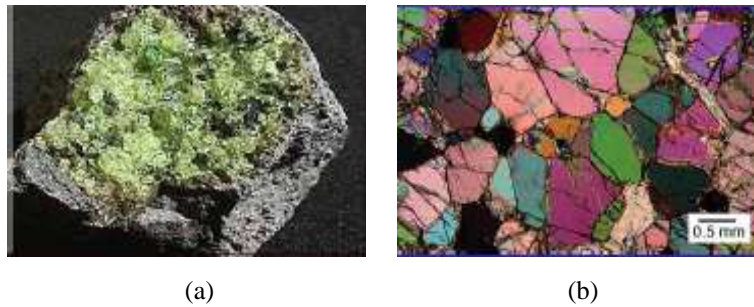
BÖLÜM 2. OLİVİN

2.1. Olivin

Minorolojik formülü $(Mg, Fe)_2 SiO_2$ olan zeytin yeşili renge doğal magnezyum ve demir silikattır[5].



Şekil 2.1. Olivin minareli [6].



Şekil 2.2. Olivin mineralinin a) kayaç hali, b) tane yapısı [6].

Olivin ortorombik sisteminde kristalleşen bir mineraldir. Esas olarak Mg^{+2} ve Fe^{+2} silikatlardan ibaret olup orto-silikat gurubunda yer alır. Mg^{+2} ve Fe^{+2} in baskın

olduğu uç mineraller Mg_2SiO_4 (forsterit) ve Fe_2SiO_4 (fayalit) olarak isimlendirilmektedir. Kısaca olivin söz konusu olduğu zaman forsterit ve fayalit akla gelmektedir [5].

Tablo 2.1. Olivinin genel kimyasal bileşimi [7].

BİLEŞEN	% min	% max
MgO	44,50	50,00
SiO₂	41,00	43,00
Fe₂O₃	6,22	7,50
Al₂O₃	0,06	0,20
Na₂O	0,02	0,05
Cr₂O₃	0,15	0,30
NiO	0,10	0,20

Olivin genellikle yeşil ve koyu yeşil renkte olup oldukça sert bir mineraldir. Güneş ışınları ve atmosferik şartlar ile renk, açık yeşile dönüşür [5].

Tablo 2.2. Olivinin özellikleri [5, 8].

Kayaç İsmi	DUNİT
Ürün Adı	OLİVİN
Mineral	FORSTERİT
Kimyasal Formülü	$(Mg, Fe)_2SiO_4$
Renk	KOYU YEŞİL
Tane Şekli	KÖŞELİ
Yoğunluğu	3,4 gr/cm ³
Hacimsel Yoğunluk	1,9 gr/cm ³
Sertlik (mohs)	6,5 - 7
pH	8 - 8,5
Sinterleşme Başlangıcı	1450 °C
Genleşme Katsayısı	% 1,1(1200 °C lineer)
L.O.I	max.% 1,85
Nem	max % 1,5
Kızdırma Kaybı	%0,5 - 2
Serbest silikat veya çözülebilir tuzlar	YOK
Ergime sıcaklığı	1760 °C

Olivinler, özellikle Mg'lu olivinler, çoğunlukla ultrabazik ve bazik kayalar içerisinde bulunurlar. Olivinler ultrabazik magmada ilk kristallaşan minerallerdir. Ultrabazik (peridotit) kayalar içerisinde en fazla olivin dunitler içerisinde bulunur. Teorik olarak dunit içerisinde olivin miktarı %95–99 arasındadır, geriye kalan % 1–5 kısmı da piroksen, serpantin, klorit ve spinel'den ibarettir [5].

Dunitler genel olarak kütleler halinde, bazen de harzburjitler içerisinde dayklar şeklinde bulunurlar. Fe'ce zengin olivinlere yani fayalite çoğunlukla ferrogabrolarda, siyenitlerde, asidik ve alkali volkanik kayalarda rastlanmaktadır. Ayrıca dolomitlerin sıcaklık altında metamorfizmaya uğramaları sonucunda da Mg'ca zengin olivinlerin oluştuğu bilinmektedir[5].

Olivin, madenciliği diğer mineraller ile karşılaştırıldığında oldukça yeni sayılır. Teknolojik ve fiziksel özelliğinden dolayıda geçen 15–20 yıldan beri Avrupa ve Dünya'nın birçok ülkesinde oldukça önemli bir mineral durumuna gelmiştir. Bu özelliklerinin yanı sıra yerini alabileceği minerallerden ucuz olması da sanayide kullanma şansını artırmıştır. Diğer bir önemli husus da kütleler halinde bulunan dunitlerin (olivin) açık işletmeye müsait olmalarının yanı sıra, krom cevherinin zenginleşmesi sırasında yan ürün olarak doğrudan elde edilmesidir. Bu da işletme maliyetlerinde önemli tasarruf sağlamaktadır [8].

2.2. Olivinin Kullanım Alanları

2.2.1. Demir-çelik sanayisinde:

Günümüzde olivinin en çok kullanıldığı alan demir-çelik sektörüdür. Yüksek fırınlarda cüruf düzenleyici, elektrik ark ocaklarında delik kumu, tandiş destek kumu, pota destek kumu olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırınlarda çelik üretimi için demir cevheri ve kok kömürü kullanılmaktadır. Ancak bu hammaddeler yeteri derecede saf değildir. Bu nedenle yüksek fırına giren hammaddelerin yeteri derecede erimesi ve curufa karışması gerekir. İşte ilk planda gerekli olan ergirmede olivinin eritici olarak büyük rolü olmaktadır [5].

2.2.2. Refrakter sanayisinde:

Yüksek ergime derecesinden dolayı olivinden forsterit ateş tuğlası imali, katkı maddesi, refrakter harçlar (püskürtme, tamir harcı vb.) ve refrakter beton yapımında kullanılmaktadır. Forsterit tuğla yapımı 1930 yılından beri sürdürülmektedir. Forsterit tuğlanın refrakterlik derecesi 1890 °C civarında olup başta demir-çelik sanayinde yüksek fırınlarında, çimento sektöründe ve yüksek ısının gerektiği birçok iç tuğla ve ve refrakter malzeme yapımında kullanılmaktadır. Ancak olivinin yüksek fırındaki curufa karşı fazla mukavemet göstermemesi nedeniyle genellikle yüksek fırının nisbeten daha az sıcak kesimlerinde ve taban kısımlarında kullanılmaktadır. Olivinin kullanılmasındaki diğer bir avantaj da, içerisinde bulunan çelik malzemeyi daha çabuk soğutmasıdır.

Sürekli döküm elde etmek için kullanılan tandişlerin imalinde de önemli miktarlarda olivin kullanılmaktadır. Tandişlerden geçen eriyik cevher potalarda son şeklini alarak piyasaya sürülür. Özellikle tandişlerin astar şeklinde kaplanmasında çok miktarda olivin püskürtülerek kullanılmaktadır.

Refrakter endüstrisinde değişik oranlarda olivin içeren tuğlalar da kullanılmaktadır. Bu tuğlalar değişik oranlarda olivin ile fosfat, karbon, krom gibi minerallerin inorganik maddeler veya reçine ile bağlanmaları sonucu oluşturulmaktadır. Bunlara kimyasal bağlı tuğlalar denir.

Olivin ayrıca çöp ve benzeri artık malzemelerin yakılıp kül haline getirildiği fırınların imalinde de; özellikle A.B.D.'de Avusturalya'da ve Pasifik kıyısı ülkelerde bol miktarda kullanılmaktadır [5,7].

2.2.3. Döküm sanayinde:

1970'li yıllarda Avrupa'da döküm sanayisinde çok miktarda kullanılmakta olan zirkon ve kromitteki yüksek fiyat artışı nedeniyle olivinin bu sanayi dalında pazar bulmasına neden olmuştur. Kalıp ve maça kumu olarak, özellikle manganlı dökümlerde, alternatif olan silis kumuna göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Esasen

döküm sanayinde silis kumu tercih edilir. Ancak döküm sırasında dökülen metalik malzemelerde kalıp arasında, problemlili durumlarda olivinden yapılmış kalıplar tercih sebebidir. Kuvars kumları, döküm esnasında metal ile reaksiyona girmekte, olivin kalıp ise metalin bünyesine girmesine müsaade etmemektedir. Özellikle manganezli çelik dökümünde sadece olivinden yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Zira silis kumu döküm sırasında düşük ergime sıcaklığına sebep olmakta, bu da çeliğin kum üzerinde sinterleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle önce çelik üzerinde yanmalar olacak, sonrada çelik yüzeyinde delikler meydana gelecektir. Olivin ise manganezli çelik ile düşük ergime fazı oluşturmaz. Döküm imalinde, olivin kumuna zaman zaman düşük oranlarda krom ve zirkon katılabilir.

Döküm sanayinde olivinin silis kumuna göre avantajlı yönleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- 1) ısı karşısında oldukça düşük ve tekdüze genişleme göstermektedir. Bu durumda genişmeden dolayı meydana gelebilecek olan hatalarda azalma olmaktadır.
- 2) düşük ısı genişmesine sahip olması nedeniyle bağlayıcı olarak sadece bentonit ve suyun %3 miktarlarında olması yeterli olacaktır.
- 3) termal şoka karşı sürekli mukavemet göstermektedir.
- 4) daha kolay şekillendirilebilir
- 5) kısmen köşeli parçalardan oluşması daha fazla kuru kırılma dayanımı görmesine neden olmaktadır.
- 6) silis kumları “silikosis” denen hastalığa neden olmakta, olivin kumuyla çalışıldığında ise böyle bir sorun ortaya çıkmamaktadır.
- 7) olivin işlem sırasında oldukça iyi kalsine olduğundan, bünyelerinde oldukça az miktarda su kabul etmekte ve bunun sonucu olarak yeniden kullanımı da kolaylaştırmaktadır.

Genel olarak döküm kalıbı ve onun iç kısmında un halinde (200–300 mesh’lik yani 74–50 mikron arası) olivin kullanılmaktadır. Bu durumda refrakter özellikte olan kaplama dökümün kalıptan kolayca çıkmasını sağlamış olacaktır [5, 7].



Şekil 2.3. Olivin Döküm Kumu [7].

2.2.4. Aşındırıcı (Abrasiv) olarak kullanımı :

Yoğunluklarının $3,3-3,5 \text{ gr/cm}^3$, sertliklerin 6,5-7mohs ve genellikle köşeli tanelere sahip olmaları, olivinlere belirgin aşındırıcı özellikler kazandırmıştır.

Avrupa'nın birçok ülkesinde bina ve köprüler gibi yapıtların yüzeylerinin temizlenmesinde olivin kullanılmaktadır. Kullanılan yüzeye göre 0,09 mm-1,7 mm boyutlarında olan olivinler basınçlı hava ile temizlenecek yüzey üzerine püskürtülmek suretiyle kir, pas ve benzeri istenmeyen materyaller kolayca uzaklaştırılarak yüzey temizlenir.

Avrupa'da bu amaç için 1988 yılından önce zaman zaman silis kumu kullanılmaktaydı. Silis kumunun sağlığa zararlı olması nedeniyle bu tarihten itibaren kullanımı yasaklanmış, yerine serbest silis içermemesinden dolayı olivin kullanılmaya başlanmıştır [5, 7].

2.2.5. Elektrikli ısıtıcı (radyatör) olarak kullanımı :

Bu ısıtıcılara Avrupa'da "gece ısıyı depo eden ısıtıcılar (Night Storage Heaters)" denmektedir. Bir elektrikli materyalden ısıyı absorbe eden ve depolayan radyatör şeklinde dizayn edilmiş olivinden yapılmış tuğlalar, belirli bir süre sonra özellikle gündüzleri bu ısıyı yayarak konutları ısıtmaktadır. Bu depolama işlemi elektrik enerjisi fiyatlarının % 50-60 iskontolu olduğu gece dönemlerinde olduğu için bunlara Night Storage Heater ismi verilmiştir. 1965-1975 yılları arasında bu ısıtıcılar

Avrupa'da oldukça büyük oranlarda kullanılmıştır. Ancak 1977 yılından sonra elektrik fiyatlarında görülen artış, bu radyatörlere olan ilgiyi azaltmıştır. Özellikle İngiltere ve Almanya'da bu alandaki pazar oldukça küçülmüştür. Örneğin yılda 120 000 tonluk olivin kullanımı, 40 000 tona düşmüştür. Radyatör olarak dikkate alındığında; İngiltere ve Galler'de 1969–1970 yıllarında toplam 530 000 adet olivinli radyatör satılmıştır. 1977–78 yıllarında 60 000 adete düşmüş ve 1980 yılında kısmen canlanarak 100 000 adete ulaşmıştır. Bu ısıtıcıların en fazla kullanıldığı ülke İngiltere olup bu ülkedeki kullanımı 1980'den itibaren oldukça azalmıştır. Bu alandaki yıllık olivin tüketimi 5000 ton civarında olmuştur. Ancak geçen birkaç yılda Batı Avrupa'da özellikle de Batı Almanya'da bu ısıtıcıların kullanımında kısmen bir artışın olduğu gözlenmiştir. Elektrik fiyatlarının artışı yanında, doğal gazın Batı Avrupa'da etkin bir şekilde kullanımı bu pazarı olumsuz etkilemiştir. Esasen olivinli radyatörler ısıyı daha fazla tutması açısından manyezitli radyatörlere tercih edilmekle beraber, son yıllarda demirden (magnetit) yapılmış radyatörlerin tercihi, bu pazarı olumsuz etkileyen ikinci etkidir. Demirli radyatörler, yoğunluğunun fazla olmasından dolayı daha ince imal edilmekte, bu da daha fazla ısıyı depo etmesine ek olarak estetik bir görünüm arz etmektedir [5,7].

2.2.6. Ballast (denge) malzemesi olarak kullanımı :

Olivin, yüksek yoğunluğundan dolayı, bazı denge işlevlerinin esas olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle Kuzey denizindeki petrol platformlarını dengede tutmak için olivin kullanılmaktadır. Olivin, bu platformlardaki betonların gözeneklerini gayet iyi bir şekilde doldurarak, ağırlığından dolayı denge işlevine yardımcı olmaktadır. Tren yollarında sağlam ve dengeli bir temel sağlamak için de olivin çakılları kullanılmaktadır.

Nisbeten köşeli ve sağlam çakıllar burada iyi bir drenaj sağlayarak tren yolunun kaymasını önleyecektir [5, 7].

2.2.7. Gübre yapımında:

Toprağın magnezyum ve demir ihtiyacını karşılamak amacıyla gübre yapımında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [5,7].

2.2.8. Diğer:

Son yıllarda A/S Olivin (Norveç) Şirketi, olivini kaya yünü olarak da kullanmaktadır. Bu durumda ısı ve ses yalıtımı sağlanmaktadır. Ayrıca Nuova (İtalya) Şirketi, ürettiği olivinin %5'ini özel boya yapımında kullanmaktadır. Bunlardan başka yine A/S Olivin Şirketi daha sağlam betondaki kırılmaları önlemek amacıyla olivinli beton yapımı çalışmalarına başlamıştır [5].

Yukarıdaki kullanım alanlarına ve amaçlarına göre olivin farklı isimler almaktadır:

EBT Kumu: Elektrik ark ocaklı demir-çelik fabrikalarında EBT deliğinin kapatılması için kullanılır.

Cüruf Düzenleyici: Yüksek fırınlı demir-çelik fabrikalarında sinter ve yüksek fırında ham demir cevherine ilave edilmek suretiyle kullanılır. Demir-çelik sanayinde eritici, cüruf düzenleyici ve sinterleşme derecesini düşüren bir hammadde olarak kullanılmaktadır.

Raspa Kumu: Metal yüzeylerin boya öncesi temizliği amacıyla yüksek basınçla yüzeylere olivin kumu püskürtülmesi esasına dayanır.

Döküm Kumu: Dökümhanelerde özellikle manganlı ve çelik dökümlerin yapılmasında kalıp ve maça kumu olarak kullanılabilir.

Refrakter Amaçlı Kumlar: Ateşe dayanıklı ürünlerin (refrakter) yapılmasında hammadde olarak kullanılabilir.

TDK Kumu: Demir-çelik fabrikalarında tundiş destek kumu olarak kullanılmaktadır [9].

Kullanım alanlarının farklılığı nedeniyle farklı isimler alan olivin ürünleri, aynı üretim sürecinden geçmekte, kırılma işlemi sonrasında elenerek ayrılmaktadırlar. Olivin ürünlerinin birbirinden farklılığı sadece tane büyüklüğüdür, olivinin temel özellikleri değişmemektedir. Tane boyutları ise şu şekildedir:

Tablo 2.3. Olivin tozunun kullanım yerinde ortalama istenilen toz boyutları [9].

Kullanıldığı Yer	Boyut
EBT kumu	3-8 mm
TDK kumu	0-3 mm
Cüruf düzenleyici	0-3 mm
Raspa kumu	0,5-2 mm
Döküm kumu	0,2-0,8 mm
Refrakter kumu	0,2-0,8 mm

2.3. Olivinin Üretilmesi

Olivin üretiminde gerek yeraltı gerekse yerüstü madenciliği yapmak mümkündür. Yeraltında oda topuk metoduyla işletilen olivinli zonlar loderler ile yükleme yapılarak yüzeye çıkartılır. Bazen de gerekli durumlarda cevher konveyörler ile yüzeye çıkartılır. Dünitler, oluşumu itibari ile kütleli yayılımlar gösterdiğinden yüzey açık işletme yolu ile de kolayca üretilmektedirler. Patlama metoduyla parçalanmış cevherli zon loderler ile doğrudan büyük kamyonlara yüklenerek tesislere taşınmaktadır [4].

2.3.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi

Olivin üretiminde gerek yeraltı gerekse yerüstü madenciliği yapmak mümkündür. Yer altında oda topuk metoduyla işletilen olivinli zonlar loderler ile yükleme yapılarak yüzeye çıkartılır. Bazen de gerekli durumlarda cevher konveyörler ile yüzeye çıkartılır. Dünitler, oluşumu itibari ile kütleli yayılımlar gösterdiğinden yüzey açık işletme yolu ile de kolayca üretilmektedirler. Patlama metoduyla parçalanmış cevherli zon loderler ile doğrudan büyük kamyonlara yüklenerek tesislere taşınmaktadır [5].

2.3.2. Olivinin üretim standartları:

Doğadan kayaç olarak çıkartılan olivinin kullanımı için belli bir standarta sahip olması gerekir. A/S Olivin firması ve diğer ticari olivin üretici firmaların kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 2.4. Olivinin üretim standartları [5].

	North Cape	Unimin		A/S Olivin		Avusturya
		Washington	N. Coralina	Aheim	Stranda	
MgO	47 - 49	45 - 49	45 - 48	34,6	46	48
SiO ₂	40 - 41	39 - 42	39 - 42	41,5	41,5	42
Fe ₂ O ₃	7,5 - 8,5	6,8	6,8	7,2	7,6	10,5
Ateş Kaybı	1 - 1,5	0,5 - 1	0,8 - 1,4	1,1	2,4	-

Türk Standartları Enstitüsü de olivinleri refrakter sanayindeki kullanımlarını dikkate alarak kimyasal analizlerine ve refrakterlik derecelerine göre sınıflandırmıştır (Tablo 2.5) [5].

Tablo 2.5. TSE'nin kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması [5].

Kimyasal Birleşim	% Ağırlık Miktarı			
	I. Sınıf		II. Sınıf	
	En Az	En Çok	En Az	En Çok
MgO	47	-	41	-
SiO ₂	-	43	-	44,5
Toplam Demir Oksit	-	6	-	10
Al ₂ O ₃	-	1,5	-	2,5
CaO	-	1	-	1,5
TiO + Cr ₂ O ₃ + NiO+ MnO	-	2	-	3

Türk Standartları Enstitüsü elek analizi yolu ile olivini cevher tiplerine göre ayırmıştır. (Tablo 2.6) [5].

Tablo 2.6. Elek Analizine Göre Olivin Tipleri (TSE) [5].

Cevher Tipi	Elek Analizi	Kütlece %
Parça Olivin	40 mm göz açıklıklı elekte kalan kısım 10mm göz açıklıklı elekten geçen kısım	0 - 5
Kırılmış Olivin	10 mm göz açıklıklı elekte kalan kısım 2 mm göz açıklıklı elekten geçen kısım	0 - 5
Toz Olivin	2 mm göz açıklıklı elekte kalan kısım	0

Parça olivinde ağırlıkça en fazla % 1, kırılmış olivinde en fazla % 1,5, toz olivinde ise en fazla %2 rutubet istenmektedir [5].

2.4. Türkiye'deki Olivin Rezervleri

Ülkemizde 1996 yılına kadar olivinin hemen hemen hiç kullanılmadığı biliniyordu. Diğer bir deyimle devlet ve özel sektör kurumları olivinle açık bir şekilde tanışmamışlardı. Bu nedenle Türkiye'de dünit üretim kaydına rastlanmamıştır. Sadece bazı mermer üreticileri dünit bloklarını mermer olarak kullanma yoluna gitmişlerdir. Ancak 90'lı yılların ortalarından olivin üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bazı Özel Demir-Çelik Fabrikalarında düşük kaliteli olivinlerin kullanıldığı, İskenderun Demir-Çelik Sanayiinin bu yönde bir girişimi olduğu ikili görüşmeler yoluyla öğrenilmiştir.

Türkiye'de oldukça geniş alanlar kaplayan ultrabazik kayalar (Şekil 2.4) ve bunların içerisinde de önemli dünit oluşumları mevcuttur. Özellikle Adana-Karsantı (Kızılyüksek), Guleman-Kef, Bursa-Orhaneli, Muğla-Fethiye, Köyceğiz, Beyşehir, Konya-Meram'da ultrabazik kayalarında önemli dünit zonları mostra vermektedir. Guleman'da Engin ve diğerleri (1986), forsterit niteliğinde olan olivinlerden alınan bir numunenin kimyasal analizinde MgO % 46,66, Fe₂O₃ %10,94, Al₂O₃ % 1,32 ve Ateş Z. % 4,01 değerleri elde edilmiştir. Bu numunenin refrakterlik derecesi 1743 °C (PCE=33) olup oldukça yüksektir. İkinci önemli dünit oluşumları Bursa- Orhaneli ultrabazik masifi içerisinde bulunmaktadır [5, 10].



Şekil.2.4. Türkiye'deki önemli dünit alanları [5].

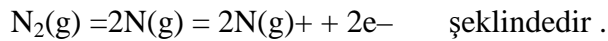
BÖLÜM 3.

3.1. Plazma

Maddenin katı, sıvı ve gaz hâlimden başka çok yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan, plazma olarak adlandırılan dördüncü bir hâli daha vardır. Langmuir'e göre ise plazma terimi; içerisinde molekül, atom, iyon ve elektron bulunduran malzemenin iyonize edilmiş halini ifade eder. Yüksek sıcaklığa ısıtılan gazlar önce atomlarına ayrılır, sonra da atomdan dış yörünge elektronlarının kopması ile pozitif yüklü iyon oluşur [1,11].

Doğal olarak görünen plazma çok seyrek olarak ortaya çıkmasına rağmen kuzey yarım kürede geceleri gökyüzünde ortaya çıkan ışıklarla etkilerini görmek mümkün olmaktadır. Plazma florasan lambası tüpleriyle de üretilmektedir. Uzayda ise formasyonunu tamamlayabileceği bir ortam mevcuttur, bu yüzden tüm evren plazma fazında olabilir. Örneğin güneş tamamen plazmadan meydana gelmiştir. Sürekli tüm gezegenlerin etrafını saran dalgalar yayar. Yıldızların içindeki madde de plazma fazındadır [11].

Örneğin, azot molekülü ısıtılırsa önce azot atomu, sonra da azot iyonu oluşur. Olayın denklemi;



Burada molekül, atom, iyon ve elektron bulunan bir karışım meydana gelir. Elektrikçe nötr olan bu karışım plazmadır. Plazma yüksek sıcaklıkta oluşabildiği gibi, yüksek basınç altında da oluşabilir. Yüksek basınçta atomların elektron kabukları çöker. Serbest elektronlar ve çekirdekten oluşan plazma meydana gelir. Laboratuvar şartlarında bu basınca ulaşamaz, ancak Jüpiter gibi büyük gezegenlerde

bu mümkün olabilir. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki plazmanın yanında, kibrit alevi, florasan lâmbadaki ışıltama gibi düşük sıcaklık ve basınç şartlarında da plazma ile karşılaşılır. Gazlardaki iyonlaşma nispeti sıcaklıkla artar. Bir kaç on bin derece gibi bir sıcaklıktan sonra yalnız pozitif yüklü iyonlar ve elektronlar karışımı elde edilir [12].

3.2. Plazma Çeşitleri

Gazın iyonlaşma oranına göre iki çeşit plazma vardır.

1-Tam veya yarı tam iyonlaşmış plazmalar

2- Kısmi iyonlaşmış plazmalar

3.2.1. Tam veya yarı tam iyonlaşmış plazmalar

Döteryum ve trityum gibi hafif çekirdeklerin helyum çekirdekleri vermek üzere kaynaştıkları, termonükleer sıcaklıkta karşılaşılan bu tür plazmalarda sıcaklık bir kaç milyon derecedir. Yıldızlar ve güneş bu plazmaya örnektir.

3.2.2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar

İyonlaşma oranı ancak %50'yi ara sıra aşan plazmalardır. Sıcaklık 2000 °C ile 10000 °C arasındadır. Kısmî iyonlaşmış plazmalar sanayide kullanılır. Gazlar yalıtkan olmalarına rağmen plazma iletkenidir. Bu da sanayi için çok önemlidir [1, 12].

3.3. Plazma Sprey Teknikleri

Plazma sprej kaplama teknolojisi yaklaşık 25 yıldan beri endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Buna karşılık tekniğin bilimsel alanda analizi ve kavranması henüz zayıf hatta bazı yönleri yok denecek mertebededir.

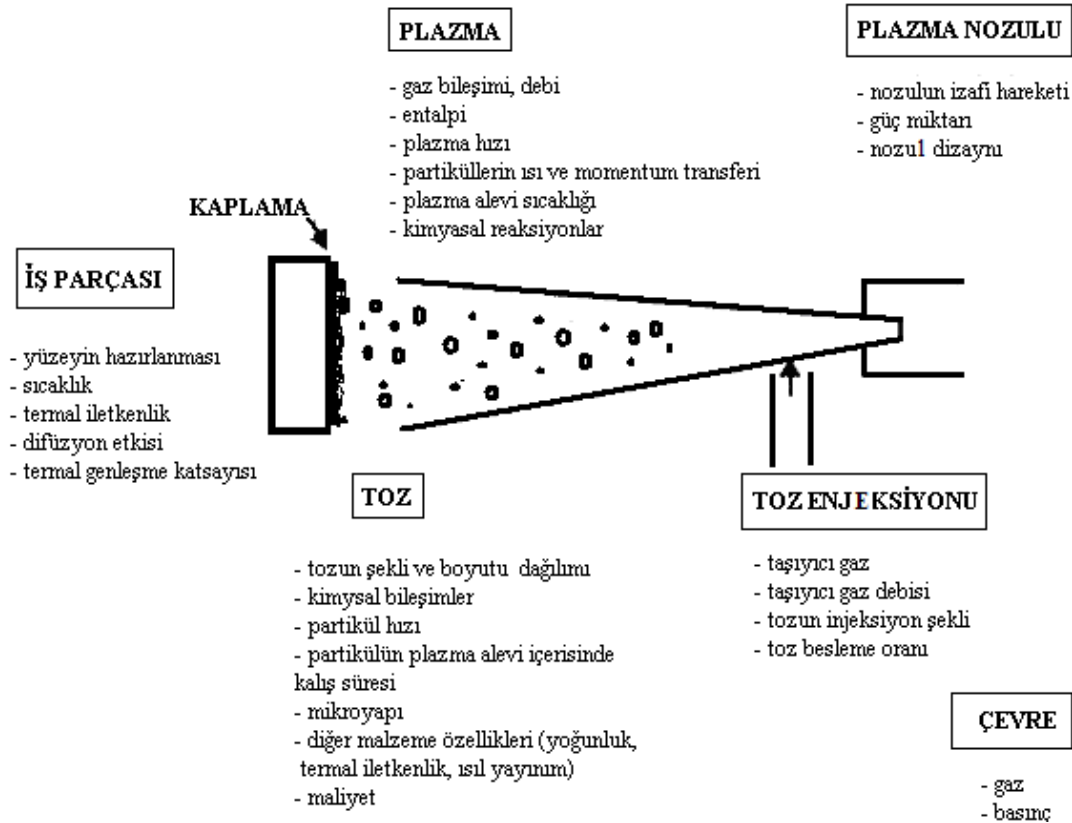
Bugün için hemen hemen her türlü malzeme plazma sprej kaplama için her tip malzemenin üzerine kaplama yapılabilmekte ve kullanılabilir. Bu nedenden dolayı bu teknik süratle gelişip uygulamalarda yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Plazma sprej tekniği korozyona, sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı kaplamaların elde edilmesinde kullanılmaktadır. Son gelişmelere örnek olarak iletken malzemelerin bu teknikle üretimi gösterilebilir. Ayrıca, metaller, seramikler, plastikler ve bu malzemelerin kombinasyonlarının plazma sprej uygulamalarında kullanılması bu tekniğin getirdiği avantajların bazılarıdır.

Plazma sprej kaplama tekniği özellikle havacılık sanayinde türbin kanatlarının ve diğer parçalarının korozyon ve yüksek işlemler sıcaklığına dayanıklılığının artırılması için uygulanmaktadır [13].

Plazma sprej tekniğinin yüksek işlemler sıcaklığı, ergime noktası yüksek metal ve alaşımlarla çalışmaya imkan sağlamaktadır. Ayrıca, inert ortamlarda kullanılabilmesi yöntemin avantajlarından. Toz formunda ve belirli tane boyutlarında üretilen tüm malzemeler bu işlemlerde başarıyla kullanılabilir [11].

Sprej kaplama tekniğinin kalitesi plazma ve çevre şartlarıyla birlikte toz partiküllerinin etkileşimlerine bağlıdır. Etkileşim tozun şekli, boyutu, yoğunluğuna, plazma alevinin laminer veya türbülanslı oluşuna, kimyasal bileşimine, entalpisine, plazma alevinin hızına, tozun plazma alevi içerisine gönderilme şekline ve hızına bağlıdır. Bu durum Şekil 3.1 de gösterilmektedir [1, 14].

Plazma sprej yöntemiyle gerçekleştirilen seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptirler ve dizel motorları da dahil erozyon ve aşınma dirençli uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar [11].



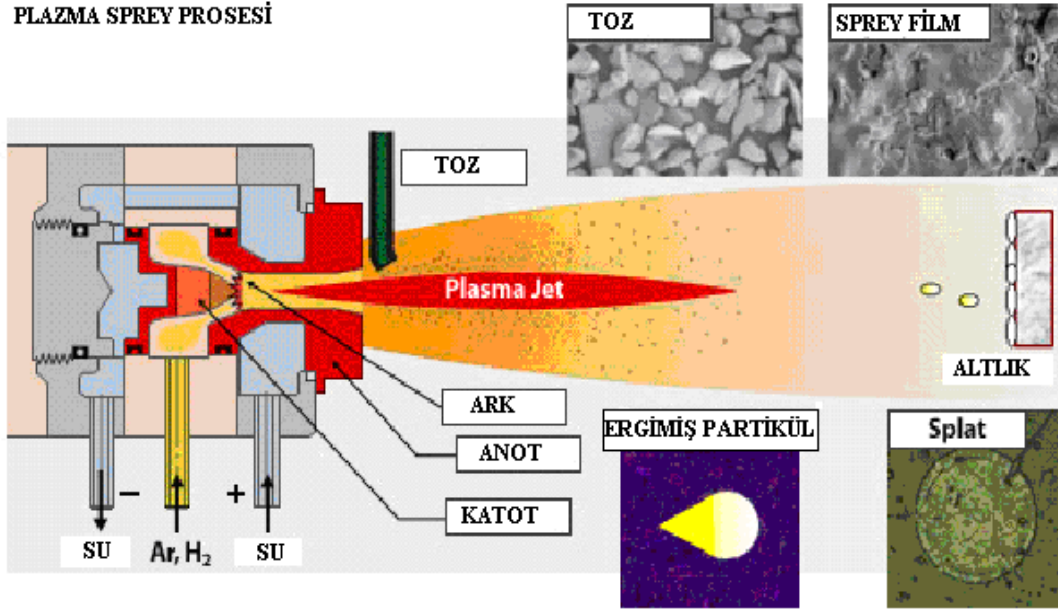
Şekil 3.1. .Plazma sprej kaplama tekniğinde genel halde etki eden faktörler [1, 3].

Aşağıda görülen Şekil-3.2’de de plazma sprej prosesinin genel bir görüntüsü verilmiştir [15].

Bu şekilde plazma tabancasının ve plazmanın oluşması için gereken tabancaya giren malzemeler, kullanılan tozun genel yapısı, tabancadan çıkan plazma halini almış

tozun yapısı ve splat durumu gösterilmektedir. Splat plazma haldeki tozun kaplanacak malzemeye çarptığındaki duruma denir. Bu splatlar üst üste birikerek birbirine yapışarak kaplamayı meydana getirmektedir.

PLAZMA SPREY PROSESİ



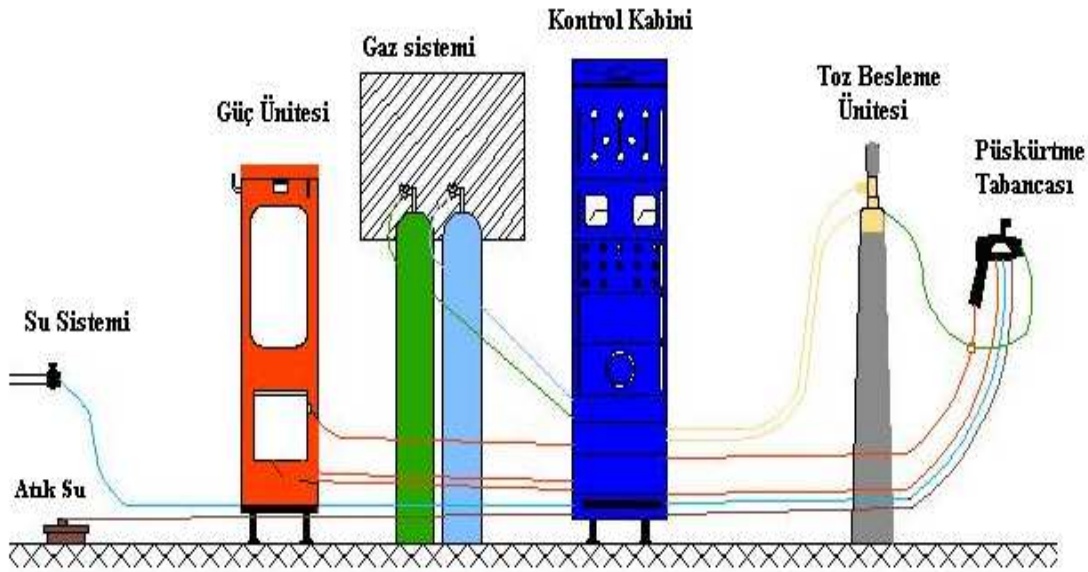
Şekil 3.2.. Plazma sprej prosesinin genel görünümü. [15].

3.4. Plazma Sprej Tekniğinin Ana Unsurları

3.4.1. Plazma sistemi ve alev tabancası

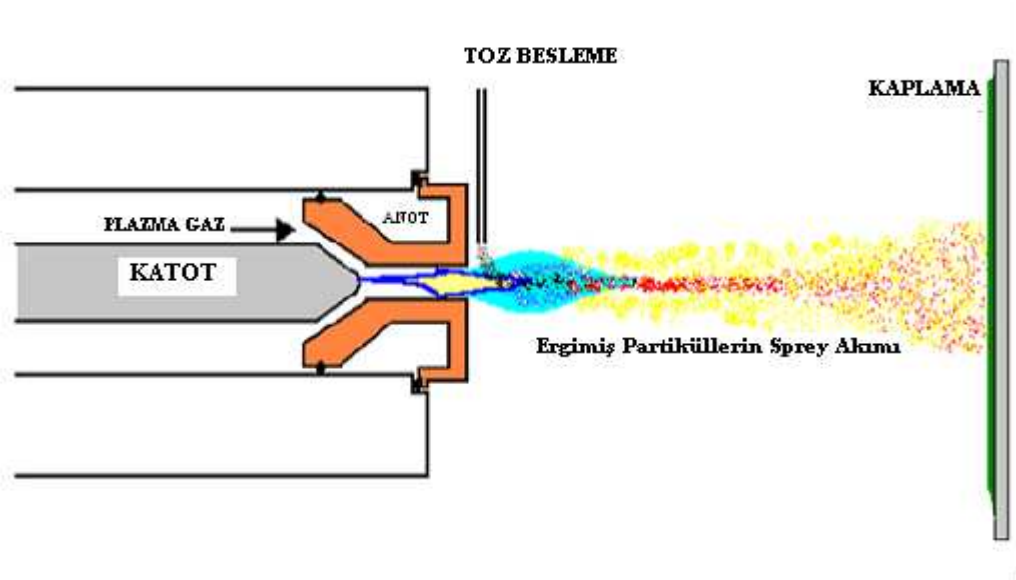
Partiküllerin ergitilebilmesi için yüksek sıcaklık ta bir plazma alevine ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra sistemin de ergimiş partikülleri kaplanacak malzeme üzerine yüksek darbe hızı ile çarptırması gerekmektedir. Bunların sağlanabilmesi için gerekli plazma sprej sistemi altı üniteden oluşmaktadır (Şekil 3.3) [16].

- Güç temin ünitesi,
- Gaz temin ünitesi,
- Toz besleme ünitesi,
- Kontrol ünitesi,
- Kapalı devre su soğutma ünitesi,
- Plazma sprej tabancası,



Şekil 3.3.. Plazma kaplama sistemi [16].

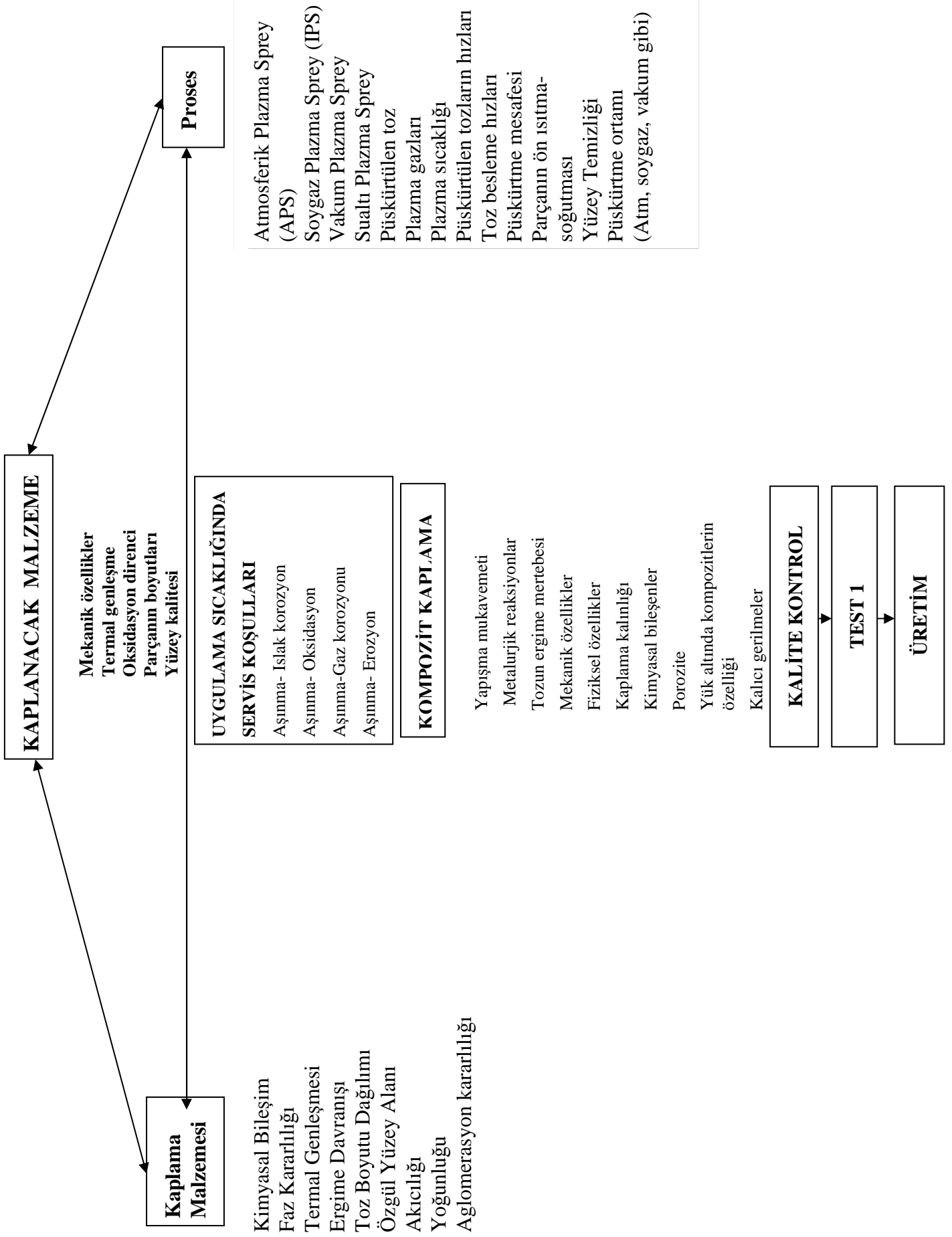
Sprey tabancası, kaplama sisteminin en önemli çalışma ünitesidir ve Şekil 3.4 ' te şematik olarak verilmiştir. Anot olarak saf Cu ve katot olarak da %2 ThO₂ katkılı W'ın kullanıldığı tabancada plazma, bu iki elektrot arasındaki elektrik arkında plazma gazlarının iyonizasyonu ile elde edilir. Bu gazlar katodun etrafından ve aynı zamanda nozul görevini de gören anodun içerisinden geçirilirler. Doğru akım arkı, genellikle yüksek frekans akışı ile başlar ve elektrotlar ile devam eder. Katot boyunca verilen plazma gazı bu ark içerisinde ısıtılmakta ve plazma sıcaklığına erişen gaz anot nozulundan plazma jeti veya plazma alevi olarak püskürtülmektedir. Ark akımı ve voltajı, anot/katod dizaynı, gaz akışı ve gaz bileşimi değişkenlerine göre kullanılmaktadır. Çalışma parametrelerine ve tabancanın tipine bağlı olarak 5 ile 100 KW arasında güçler kullanılır. Genelde ark anot ile katodun teması ile ateşlenir. Elektrik kaynağında oluşan ark ile plazmadaki birbirinden farklıdır. Elektrik kaynağındaki ark nötr değildir ve elektrik akımını iletmektedir. Plazma spreynde nötr plazma gerektiği için özel bir dizaynda anot boş bir nozul halinde yapılarak ark devresinin ağızlık içinde (nozül) tamamlanması sağlanmıştır. İyonize edilerek ağızdan püskürtülen plazma serbest plazmadır ve elektrik akımını taşımaktadır [16, 17].



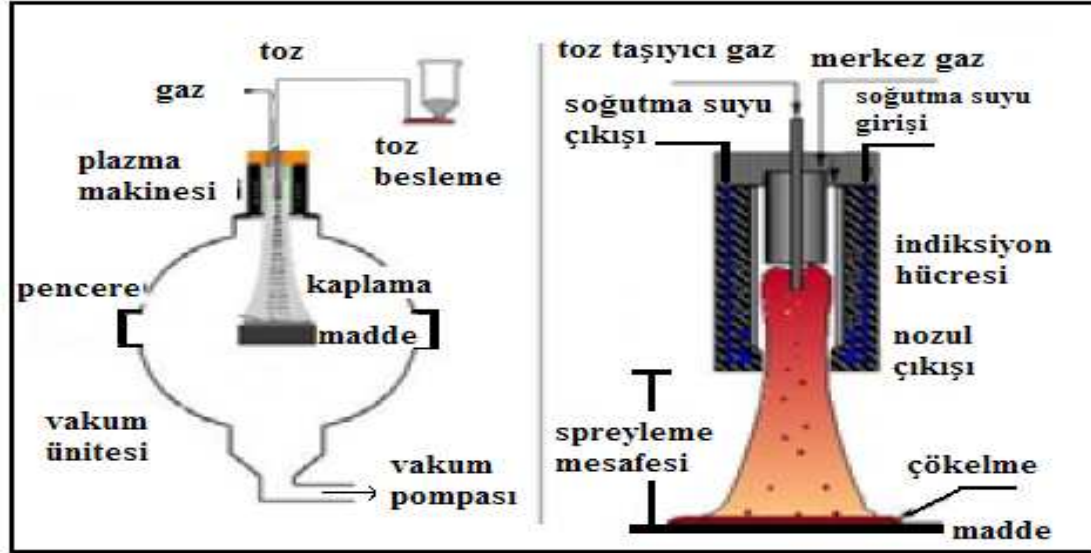
Şekil 3.4. Plazma sprej tabancasının şematik görünüşü [17].

Elde edilen plazma alevi içerisinde, taşıyıcı bir gaz vasıtası ile gönderilen ince malzeme tozları, buradan çok kısa bir sürede ivme kazanarak ısınmaktadırlar. Burada eriyen toz malzeme yüksek hızlarla kaplanacak malzeme üzerine şiddetle çarparak yoğun bir tabaka oluşturmaktadır. Plazma sprej teknolojisinin belli başlı bileşenleri ve bunlara etki eden parametreler ana hatları ile Tablo 3,1’de gösterilmektedir [13, 18].

Tablo 3.1. Plazma sprey kaplama teknolojisi bileşenleri ve parametreler [16].



Aşağıdaki şekilde çalışma sistemleri farklı, 2 ayrı plazma sprej sisteminin basit görüntüleri görülmektedir (Şekil 3.5).



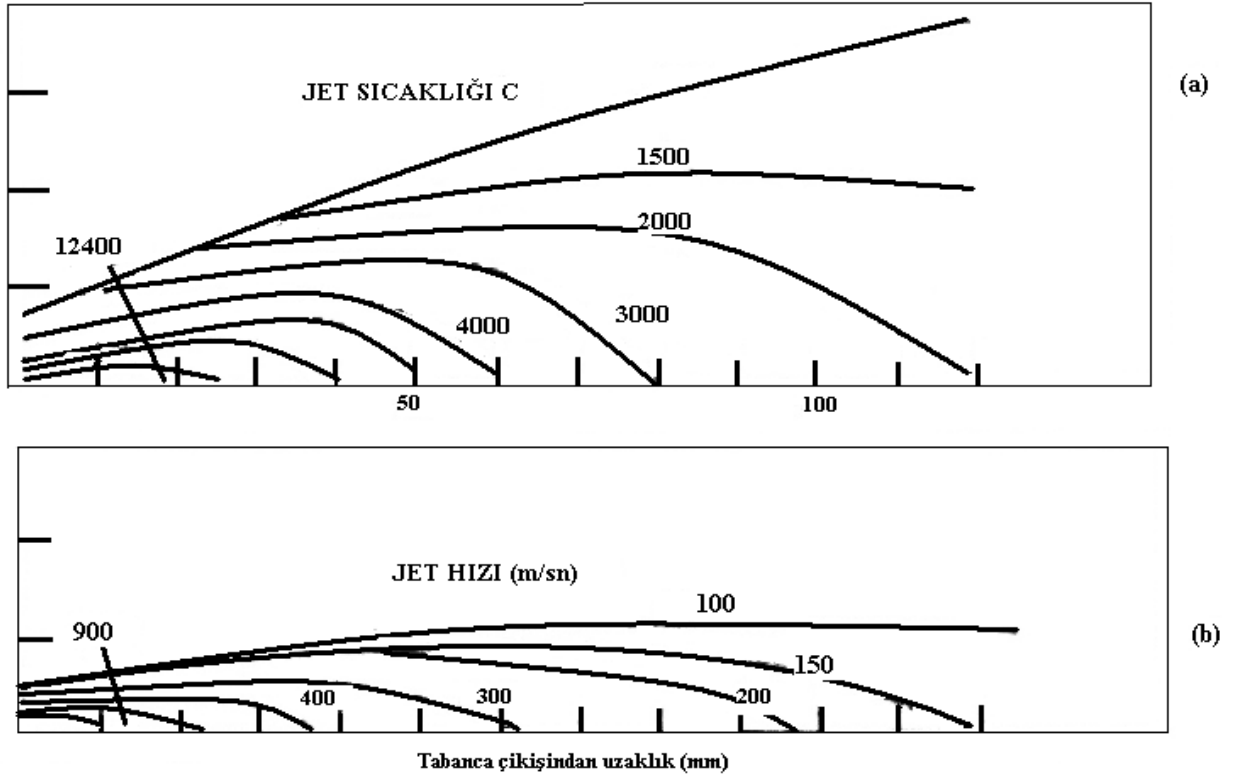
Şekil 3.5. Farklı Plazma kaplama sistemleri [15].

3. 5. Plazma ve Plazma Jel Oluşumu

Şekil 3.4' da gösterilen şematik bir plazma tabancasında ark, tungsten bir katodun ucu ile su soğutmalı anot nozulu arasında ateşlenir. Nozul şekilleri plazma kaplama tozlarına bağlı olarak değişik şekillerde olabilir. Ateşleme gazı yatay olarak veya dönerli bir püskürtme ile ark ortamına verilebilir. Dönerli gaz verme ark stabilitesini artırır. Tipik plazma sprej kaplama uygulamalarında gaz akış hızı yüksek, türbülanslı bir jet halinde nozul ucundan birkaç santimetre öteye kadar püsküren bir görünümde ayarlanır. Diğer operasyon parametreleri de ayarlanarak plazma azami sıcaklığa yükseltilebilir. Genelde, bu sıcaklık 50.000 K'lere kadar yükselebilmektedir. Nozul çapı küçüldükçe arkın yatay boyda erişebileceği sıcaklık seviyeleri de artar [13].

Plazma jeti açık alan plazma (atmosferik plazma) olduğu için plazma sıcaklığı nozul çıkışından uzaklaştıkça hızla düşer. Eğer, ortamda türbülans dolaylı jet ile atmosfer arasında şiddetli bir enerji alış verişi varsa bu düşüş daha yüksek olur. Bundan dolayı vakum şartlarında yapılan plazma kaplama uygulamaları enerji

açısından daha etkindir. Nozul ucundan çıkan plazma jet hızları 10m/sn civarından ses hızlarına, hatta süpersonik hızlara ulaşabilir. Ancak, burada da sıcaklık düşüşüne benzer bir durum söz konusudur. Yani nozuldan uzaklaştıkça bu hız düşer. Her iki duruma ait eğriler Şekil 3.6 'da gösterilmektedir [13].

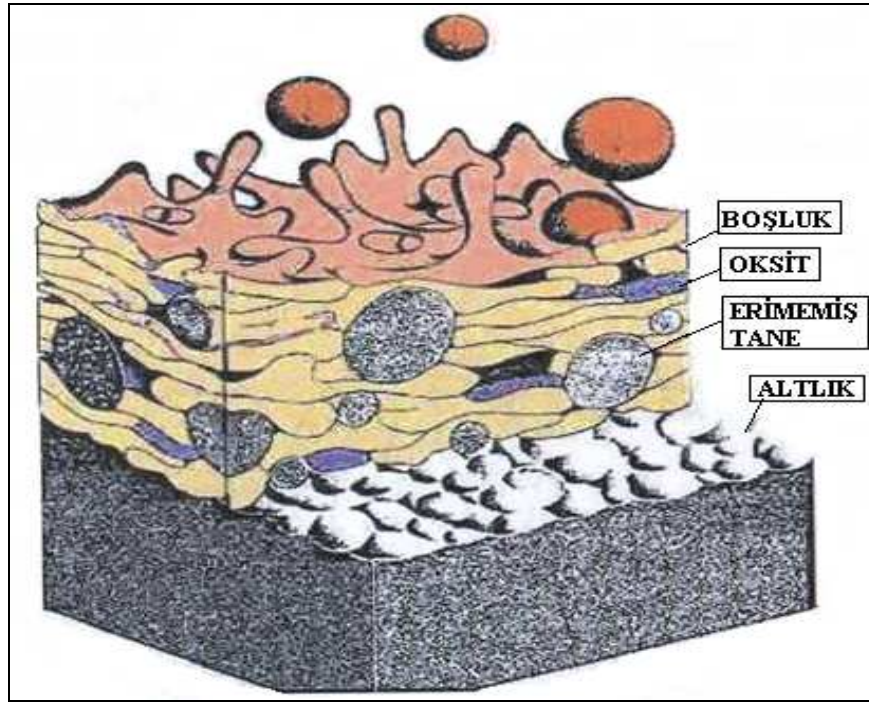


Şekil 3.6. Azot- hidrojen plazma jeti için (a) sıcaklık, (b) hız profili [13].

3.6. Plazma Jetindeki Toz Hareketleri

Taşıma özellikleri, toz partiküllerinin şekli ve boyutuyla ilişkilidir. Toz boyut dağılımı mümkün olduğunca üniform, şekli ise küresel olmalıdır. Çünkü plazma alevinde daha ince tozlar buharlaşmaya, iri tozlar ise tam olarak erimemeye neden olurlar, spray tozlarının tamamen eriyebilmesi, ancak plazma tabancasının anot ile katodu arasındaki ark bölgesine beslenmeleri ile mümkün olur. Günümüzde kullanılan sistemlerin büyük bir kısmında toz, reaktif olmayan bir gaz vasıtasıyla, nozul dışında plazma alevine radyal olarak enjekte edilmektedir [13].

Plazma alevine beslenen toz partikülleri, alevin ısı ve kinetik etkileri sayesinde erir ve ana malzeme yüzeyine püskürtülür. Plazma alevinde eriyen toz partikülleri, yüksek kimyasal aktiviteye sahiptirler. Plazma alevindeki erimiş partiküller ana malzeme yüzeyine çarptığı zaman kinetik enerjileri ısı ve deformasyon enerjisine dönüşür. Partiküller ana malzemeye temas ettiklerinde ısılarını yüzeye aktarıp hızla soğur ve katılırlar (Şekil 3.7) [11].



Şekil 3.7. Altlık üzerine de plazma halinde gelen tozun yapışması ve soğuması [15].

İdeal olarak kaplanacak malzemenin üzerine gelen tozların çok yüksek hızlarda ve tamamen ergimiş halde olması, yoğun ve boşluksuz bir kaplama için kesinlikle gereklidir [16].

Kısaca özetlemek gerekirse, bir plazma jet sisteminde parçacık dinamiği ve ısı transferleri şu mekanizmalar tarafından değişime uğratılmaktadır:

- Viskozite çekimi,
- Kesintili etkiler,
- Türbülans dağılımı,
- Parçacık şekli,

- e) Buharlaşma,
- f) Dengesiz ısınma ve radyasyon,
- g) Yüzeysel ısı transferleri ve parçacıkların elektrik yüklenmesi.

Bu yukarıda sayılan faktörler ayrı ayrı incelenmekte ve etkileri hala tartışılmaktadır. Ancak günümüzde, bir plazma sprey jeti sisteminin içinde yüksek sıcaklık ve yüksek hızlı erimiş tozların davranışı konusunda tamamen kesin izahatlar mevcut değildir [16].

3.7. Kaplama Prosesi

Kaplamaların özellikleri genel olarak her uygulamada değişen şartlara bağlı olarak farklı durumlar arz eder. Örneğin, aşınma ve korozyona dayanıklı tabakalar yüksek yoğunlukta oluşturulurken, ısı şok dayanımı istenen termal bariyer kaplamalarda ise yüksek seviyede boşluklar olması istenir. Plazma sprey parametreleri ile oynayarak kaplama özellikleri değiştirilebilir. Bu bakımdan araştırma çalışmalarının esas gayesi, özellikleri önceden tahmin edilebilecek kaplama süreçleri için tüm parametrelerin kontrol altına alınması yönünde sürdürülmektedir.

Kaplama prosesi bazı aşamaları içerir. Bunlar; kaplanacak tozların özelliklerinin belirlenmesi, altlık hazırlanması, kaplama yüzeyinin işlenmesi ve kaplama operasyonunun kendisidir. Aşağıda bu aşamalara kısaca değinilmektedir [13, 16].

3.7.1. Kaplama tozu

Plazma sprey prosesinin 100'ün üzerinde değişkene sahip olduğu belirtilmektedir. Bu değişkenler kaplamanın kalitesini etkiler. Toz değişkenlerinin kaplamanın yoğunluğu ve yapısında en önemli etkenlerden biri olduğu ifade edilmektedir.

Plazmada kullanılan tozların çoğu 5-60 µm boyutundadırlar. Tek bileşenli tozların hızlandırılması ve homojen ısıtmanın olabilmesi için, dar boyut dağılımı tavsiye edilmektedir. Boyut ilave maliyetine karşı, daha iyi kaplama kalitesi ve daha yüksek kaplama randımanı elde edilir. İnce taneli tozlar, büyük taneli tozlara göre daha

çabuk hızlandırılır ve ısıtılırlar. Fakat ince taneler uzun mesafeli püskürtmelerde momentumlarını çabuk kaybetme eğilimlerindedir. İnce tozlar daha yüksek oksit kirlenme seviyelerine sahip ve tabancada daha fazla problem çıkarma eğilimindedir.

Tozların kalite kontrolü sadece üretim sırasında değil işleme ve depolama sırasında da önemlidir. Tozların kuru ve temiz tutulması gereklidir. Bu konudaki çok küçük bir dikkatsizlik dağılma problemlerine, tabancanın tıkanmasına ve kaplamanın bazı noktalarında aşırı yağılmaya neden olabilmektedir [13, 16].

3.7.2. Kaplamada kullanılan gazların özellikleri

Plazma gazının fonksiyonu püskürtülen parçacıkları hızlandırmak ve kaplama yüzeyine taşımaktır. Ayrıca parçaların etrafını sarma ve atmosferin kimyasal etkisinden sıcak yüzeyi koruma görevi de vardır. Plazma torcundaki gaz ortamı plazma oluşumunu, elektrotları oksitlemeye karşı koruma ve soğumasını sağlamaktadır. Plazma sprej kaplama teknolojisinde kullanılan gazlar, farklı ısı kapasiteleri, farklı iyonlaşma özelliği ve dissosiyon gösterdiklerinden dolayı önemlidir. Plazma sprej kaplama prosesinde kullanılan gazlar, azot, argon, hidrojen ve helyumdur [19].

Plazma gazlarının temel ve kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 3.2’de belirtilmiştir:

Tablo 3.2. Plazma gazları ve özellikleri [19].

ÖZELLİK	PLAZMA GAZLARI			
	Ar	He	N ₂	H ₂
Relatif molar ağırlık	39,944	40,002	28,016	20,156
Özgül ağırlık (0°C, 100 kpa) (kg/m ³)	1,783	0,1785	12,505	0,0898
Isıl iletkenlik katsayısı (0°C) (W/mK)	0,01633	0,14363	0,0238	0,1754
Özgül ısı kapasiteleri (29°C) (kJ/kgK)	0,511	5,233	1,046	14,268
Sıcaklık (K)	14000	20000	7300	5100
Ark Voltajı (V)	40	47	60	62
Ark Girişi (kW)	----	50	65	120

3.7.3. Yüzey hazırlama

Kaplama prosesinin en çok dikkat edilmesi gereken noktalarında bir tanesi de yüzey hazırlanmasıdır. Kaplanacak her parçanın temiz olması esastır. Bu nedenle, sadece oksitler değil diğer yabancı maddeler de kaldırılmalı ve bütün yağlar elimine edilmelidir.

Plazma sprejde altlık üzerine gönderilen parçacıkların kaplama oluşturma mekanizması tamamen mekanik bir yapışmadan ibarettir. Bu yüzden, plazma püskürtmeden önce yüzey pürüzlendirmenin başlıca sebeplerinden biri kaplama ve alt tabaka arasında güçlü bir mekanik bağ temin etmek için yeterli yüzey pürüzlülüğü meydana getirmektir.

Yüzey pürüzleme işleminin hangi metotla ve ne kadar yapılacağı, uygulanacak kaplamanın enine ve kalınlığına göre seçilmektedir. Bu yüzden de kaplama kalınlığı ve kaplama cinsi, yüzey hazırlama metodunun seçimi için en önemli iki faktördür.

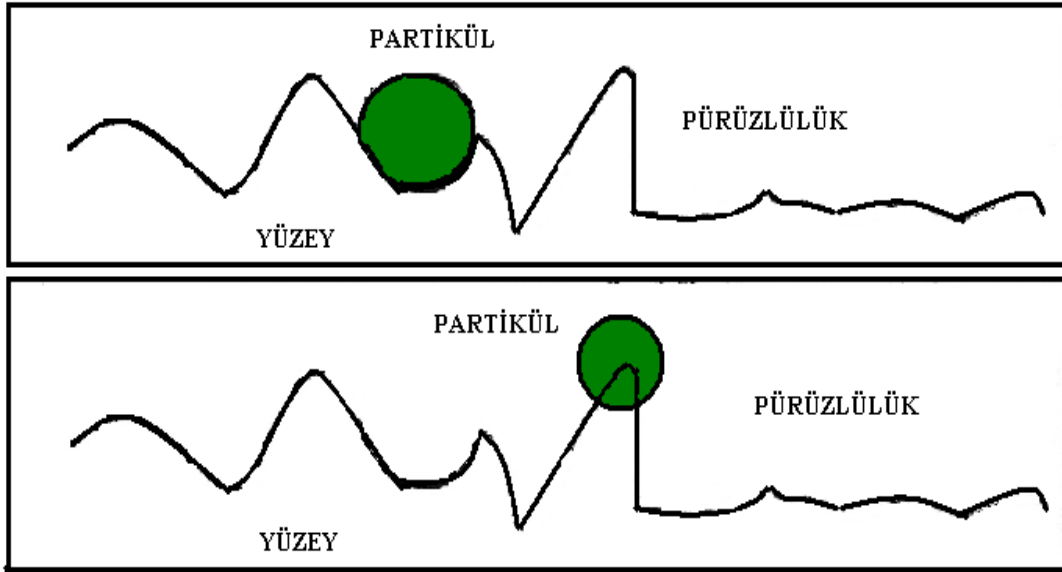
Malzeme yüzeyinin pürüzlendirme işleminden önce temizlenmesi gerekebilir. Eğer malzeme yüzeyinde yağ, pislik, boya ve diğer istenmeyen maddeler varsa bunlar kesinlikle temizlenmelidir.

Özellikle yağlı parçalardaki yağlar temizlenmeden pürüzlendirme yapılması, yağın iç bölgelerde kirlilik yaratmasına neden olmaktadır. Bu yüzden kumlama öncesinde ve sonrasında yüzeyler kimyasal malzemelerle özellikle yağlardan arındırılmalıdır. Pürüzlendirme ve yüzey hazırlama için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır [16].

3.7.4. Kumlama

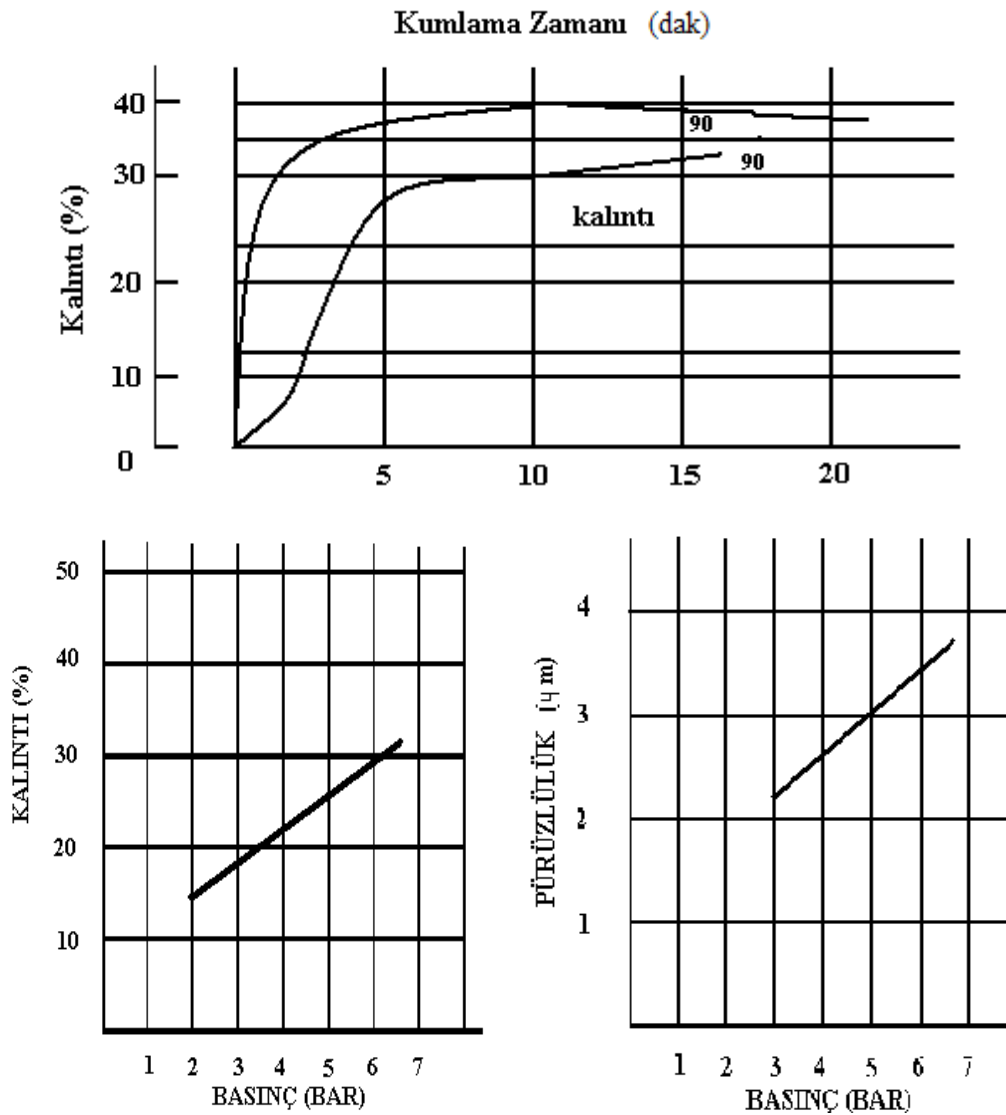
Termal sprej devrinin başlangıcından beri, kumlama (grit blasting) yöntemi, yüzeyi kaplamaya hazırlamak için en çok kullanılan yöntemdir.

Altlığın ısıtma işlem koşulları ve bileşimi, grit' in (kumun) boyutunu, türünü ve kuşlama basıncını belirler. Çoğu yumuşak altlıklarda, çelik döküm gritleri yeterli olmaktadır. Bunlar yüzeyde aşırı bir hasar yapmamaktadır. Sert atıklar için, alümina veya silisyum karbür daha uygun olmaktadır. Yüzey topografyası pürüzsüz dalgalı olmamalı ve keskin değişimli olmalıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. İyi Mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri [13].

Diğer taraftan, aşırı kuşlama iş parçasının sertleşmesine, piklerin körleşmesine ve yüzeyde fazla kum artıklarının kalmasına neden olmaktadır. Kuşlama zamanı ve basıncı arttıkça yüzeyde kirliliğe neden olan kum kalıntısı ve pürüzlülük artmaktadır (Şekil 3.9) [16].



Şekil 3.9. Farklı basınçlar ve işlem zamanlarının yüzey pürüzlülüğü ve kalan kum miktarına etkisi[16].

Kumlamada, kum artıklarının özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan ve mekanik yüklemeye maruz bırakılan kaplamaların sağlamlılığını zayıflattığı bilinmektedir. Bununla beraber, kalıntı gerilmeler ve deformasyon gibi problemlere sebebiyet verebileceği için yüksek basıncın kullanımı söz konusu olduğunda dikkatli olunmalıdır [20].

Kumlamadan sonra yüzey temiz tutulmalıdır. Püskürtme yapılanaya kadar, parmak izleri de dahil her türlü kire karşı korunmalıdır. Kumlama işleminden sonra kaplama işlemi düzenli bir şekilde 24 saat içinde yapılmalıdır. Böylece yüzey dış

oksidlenmeye uğramadan kaplanmış olur. Kumlama sayesinde pürüzlendirilmiş yüzeye çarpan ergimiş partiküller, yüzeyin inişli çıkışlı düzensizliğine uyar ve katılarak yapışır kalırlar. Bu şekilde, kaplama ile altlık arasında mekanik bir birleşme sağlanmış olmaktadır [20].

3.7.5. Oluk açma

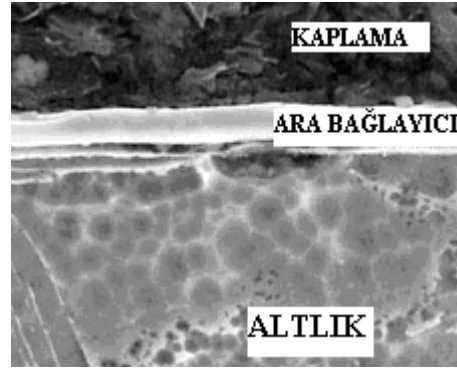
Dairesel şekilli malzemelerin yüzeylerinin oluk şeklinde pürüzlendirilmesi için kullanılan yöntemdir. Altlık malzemenin, talaş kaldırılabilir kadar yumuşak olması zorunludur. Bu metot, özellikle 500-700 mikronun üzerindeki kaplamalar için uygulanmaktadır. Pürüzlülüğü sağlayan cihazın aşındırıcı ölçüsü, istenilen pürüzlülüğe göre ayarlanabilmektedir. Bu yöntemin esası da yüzeyin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesini sağlamaktır[20].

3.7.6. Ara bağlayıcı

Bazı malzemelerin yüzeyini işlemek veya püskürtme ile aşındırmak çok zor veya mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda yüzey hazırlama için, metalik yüzeylere yapışma özelliği çok iyi olan Ni-Al alaşım tozların kullanılmaktadır.

Kaplama işlemi sırasında Ni ve Al arasında oluşan ekzotermik reaksiyon sonucu ortaya çıkan ilave enerjinin kaplama mekaniğine ilave mukavemet olduğu ileri sürülmüştür. Ancak bu konuda esaslı bir bilimsel temel henüz kurulmamıştır [20].

Bazı durumlarda, parçanın yüzeyi kumlanmış olsa dahi, kaplamanın daha güçlü kılınması ve termal genleşme uyumsuzluklarının önlenmesi içinde ara bağlayıcı kaplanması uygulanabilmektedir. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ara bağlayıcı kaplama [21].

Bazı malzeme ve kaplamalara ait termal genişleme katsayıları aşağıda Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3 . Bazı malzeme ve kaplamalara ait termal genişleme katsayıları [16].

Malzeme	Sıcaklık Aralığı (°C)	Termal Genişleme Katsayısı X10 ⁶ /°C
Metaller		
Ni	25-1000	17,1
Co	25-1000	18,45
Cr	25-1000	11,0
W	25-1000	8,1-4,9
Alaşımalar		
Ni-%20Cr	20-1000	18,1
Stellite(Co-%20Cr)	20-600	16,1
Düşük karbonlu çelik	-	15,0
Yüksek hız takım çeliği	-	12,0

Tablo 3.3'ün devamı,

Malzeme	Sıcaklık Aralığı (°C)	Termal Genleşme Katsayısı X10 ⁶ /°C
Bileşikler		
NiAl	250-1050	14,3
Ni ₃ Al	250-1050	11,9
CrB ₂	20-1000	5,4
FeB	20	23,0
Ni ₃ Si	770-1070	14,0
Oksitler		
Al ₂ O ₃	200-1000	8,0-9,0
%99 Al ₂ O ₃	20-980	6,8
Al ₂ O ₃ (Plasma sprey)	25-1000 -	7,6 5,4-12,6
ZrO ₂	25-1000	9,5
ZrO ₂ – CaO	25-1000	10,6
ZrO ₂ - %20Y ₂ O ₃	25-1000	8,5
Cr ₂ O ₃	25-1000	7,0-8,8
TiO ₂	25-1000	12,3
Fe ₂ O ₃		
Borürler		
FeB	20	12.0-23.0
Fe ₂ B	20	8.0

Tablo 3.3'ün devamı

Malzeme	Sıcaklık Aralığı (°C)	Termal Genleşme Katsayısı X10 ⁶ /°C
Karbürler		
Cr ₂ C ₆	10-150	9.5
Cr ₃ C ₂	-	10.3
TiC	20	7.4-8.8
VC	20	7.2
SiC	20	4.7-6.8
ZrC	-	6.7
NbC	-	6.6
B ₄ C	-	4.5
WC	-	4.2-5.0
WC - %5.5Co	-	5.4
WC - %512.2Co	-	6.1
WC - %15Co	20-540	8.4
Nitrürler		
TiN	-	9,35
ZrN	-	7,24
VN	-	8,1
NbN	-	10,1
CrN	-	2,3

3.7.7. Maskeleme

Kaplanacak parçanın sadece gerekli kısımlarının kaplanabilmesi için, çeşitli maskeleme teknikleri kullanılır. Bunlar; metal maskeleme, lastik maskeleme ve bazı oksit boyalarla maskeleme teknikleridir. Kaplama hızı yüksek olan uygulamalarda metal ve lastik maskeleme daha uygundur [20].

Anti-bonding'' adı verilen çeşitli oksit boyaların kullanıldığı maskeleme yöntemi de oldukça yaygındır. Sonuçta maskeleme yöntemi, parçanın tamamının kaplanıp sonra gerekli kısımlarının işlenmesi yöntemine göre daha ucuz ve son derece kolaydır [16].

Bütün bunların yapılmasının genel olarak sebebi kaplamanın ana malzemeye en iyi şekilde yapışmasını sağlamaktır.

Yapışma,

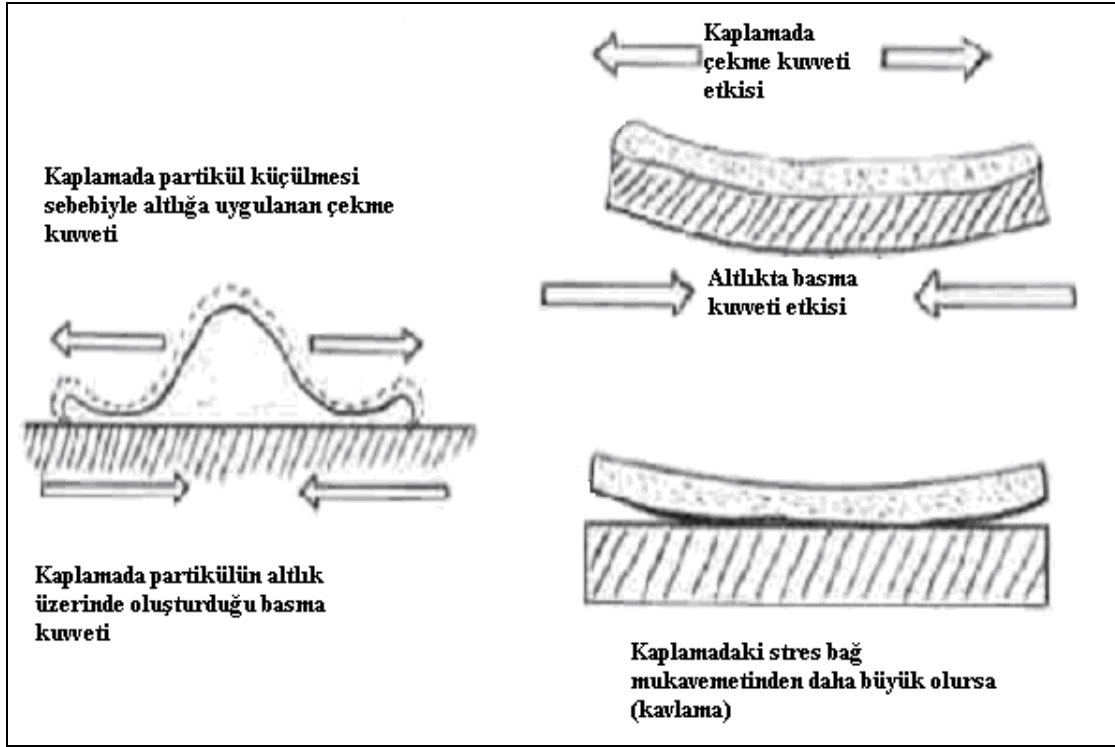
- mekanik olarak (genellikle seramik esaslı kaplamalar),
- Van der Waals kuvvetleri (genellikle metal esaslı kaplamalar) ve
- difüzyon işlemleri ile gerçekleşir.

Ana malzeme ile metalik, bağlanma göstermeyen seramik kaplamalar, kırılğan yapıları nedeniyle, metal esaslı kaplamalara nazaran daha düşük yapışma mukavemetine sahiptirler. Bütün kaplamalarda yapışma mukavemeti, artan kaplama kalınlığı ile birlikte düşer.

Plazma sprej kaplamalarda, kaplama işlemi esnasında kaplamanın çatlamasına veya ana malzemedan ayrılmasına yol açan basma ve çekme iç gerilmeleri meydana gelmektedir.

Bu iç gerilmelere; sprej malzemesinin üniform olmayan dağılımı, kaplama ile ana malzeme arasındaki termal genişleme farklılığı, ana malzemenin üniform olmayan bir şekilde ısıtılmasıyla yine ana malzemenin şekil ve boyut özellikleri neden

olmaktadır. Ara tabaka uygulaması ve sprey esnasında ana malzemenin ön ısıtılması veya soğutulması ile bu iç gerilmeler azaltılabilir [11].



Şekil 3.11. Kaplamada oluşan sorunlar [11].

3.7.8. Kaplama

Altlığın temizlenmesi ve pürüzlendirilerek yüzeyinin hazırlanmasından sonra, herhangi tipte bir plazma tabancasıyla püskürtme işlemi yapılır.

Kaplama işleminin ilk etabı ön ısıtmadır. Ön ısıtma ile su buharının malzeme üzerinde yoğunlaşması önlenmektedir. Ön ısıtma kaplamadan hemen önce ve uygun sıcaklıkta yapılmaktadır. Aksi takdirde malzeme yüzeyinde oksitlenme olabilir. Ön ısıtma için önerilen sıcaklık yaklaşık 100-150 °C civarındadır [13, 20].

Kaplanacak tozun bileşimi ve boyut dağılımına göre, gazların cinsleri ve akış oranları anot dizaynı, kullanılacak güç seviyesi ve bazı tabancalar için toz giriş noktası ve tabanca parametreleri uygulanacak kaplamaya göre seçilmelidir.

Uygun parametreler seçilip ayarlandıktan sonra püskürtme işlemine başlanır. Altlık yüzeyine hızlı bir şekilde çarptırılarak katılaştırılan bu sıvı parçacıklar akışkanlıklarından dolayı yayılarak düzleşir. Mesela 30 mikronluk tozların katılma süreleri yaklaşık 10 saniye civarında olmaktadır. Bu süre içerisinde yaklaşık 50–100 parçacık metrekaire başına yüzeye çarparak katılmaktadır.

Kaplama bu şekilde teker teker her parçacığın çarpıp katılması ve parçacıkların üst üste yığılması şeklinde oluşmaktadır. Bu da, tabiatıyla bir nevi katmanlı yapı oluşmaktadır [20].

Daha önce belirtildiği gibi yapılan bu kaplamalarda, kaplamanın altlığa uygun bir şekilde yapışabilmesi yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. Aynı zamanda yüksek kalitede yoğun bir yapışma elde edilmesi için yüksek hızda yüzeye gönderilen parçacıkların yine şiddetli bir şekilde malzeme yüzeyine çarpmaları gerekmektedir. Bu çarpma anındaki sıcaklığında mümkün olan en yüksek değere sahip olması gerekmektedir.

Kaplama kalitesi plazma sprey sistemindeki pek çok değişkene bağlıdır. Bunların arasında en önemlileri şöyle sıralanabilir:

- kaplanacak yüzeydeki soğuma,
- plazma tabancası ile kaplama yüzeyi arasındaki mesafe,
- kaplama yüzey üzerindeki iç gerilmeler,
- püskürtülen tozların ergime durumları ve yüzeye çarpan parçacıkların hızı,
- karşılıklı ıslatma ve akışkanlık davranışları şeklindedir.

3.8. Plazma Kaplamaların Temel Özellikleri

3.8.1. Yapı

Plazma ışınında ergitilen partiküller yüzey gerilmelerinin sonucu olarak küresel şekiller elde edilir. Püskürtülen malzemelerin ergimiş partikülleri yüzeye çarptıktan sonra kaplamanın oluşması esnasında yassı veya lamelli yapılar oluşmaktadır. Belirli yörüngede hareket eden partiküllerin kinetik enerjisi termal enerjiye transfer edilir.

Plazma püskürtülmüş katmanlar yoğun malzemelere tekabül ettiğinde toplam olarak farklı yapılara sahiptir. Bu neden püskürtülen katmanlar farklı fiziksel veya kimyasal özellik gösterir. Bazı elementlerin yanmasıyla kimyasal bileşim değerlerinde değişimler meydana gelir ve oksijen ve azot içeriği artar. Kaplamanın özellikleri kullanılan ekipmanlara ve gaz türlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kaplamanın iç yapısı homojen değildir. Tabaka yapısı genellikle farklı tane boyutları ve farklı yapışma değerlerine sahiptir. Ergiyen partiküllerin kaplamaları katmanlı yapılar olarak karakterize edilir. Ergimiş ve katı fazların katmanlı yapısı temas malzemesinin yapısından az bir farklılık arz eder. Ergimiş partiküllerden elde edilen kaplamanın yapısı yarı kararlıdır. Ayrıca düşük porozite ve yüksek yapışma mukavemeti içeren katmanlar vakum odası ve inert atmosferde sağlanır.

Metalin yeniden kristallenme sıcaklığında ısı işleme tabi tutulması nedeniyle lamelli yapılar bölgesel (globular) yapıya dönüşür. Kontrolsüz atmosferde yapılan kaplamalar ise inklüzyonlar ve oksitler içerir [19].

3.8.2. Yoğunluk ve porozite

Porozite, altlık üzerindeki kaplama tabakası içerisindeki birim alandaki por yüzdesinin sayısıdır. Kaplamalarda açık ve kapalı poroziteler mevcuttur. Açık porozite, kaplamanın geometrik hacmi ve dış yüzeyi ile bağlantısı olan toplam porların hacmine oranıdır. Kapalı porozite ise kaplamanın geometrik hacmi ve kaplama malzemesindeki porların hacmine oranıdır. Kaplamalarda porların geometrisi ve dağılımı üniform değildir.

Porozite püskürtülen kaplamaların karakteristik özelliğidir. Viskoz bir ortam ve yüksek hızla kaplama yapıldığında yoğun yapılar elde edilir. Porozite, sprej mesafesinin artması ve sistem enerjisinin azalmasıyla artar. Dolayısıyla kaplamanın kırılabilirliği artmaktadır. Bazı durumlarda ise yüksek porozite arzu edilebilir. Porlu kaplamalar termal izolasyon için istenmektedir. Porlar tane sınırlarında oluşarak, 20 ile 100 mm çaplarına sahiptir. Filtrasyon ve termal izolasyon için yüksek porlu kaplamalar sprej mesafesinin artırılmasıyla kolayca hazırlanabilir. Bu durumda bazı

katmanlar oldukça zayıftır. Genelde plazma kaplamaların yoğunluğu teorik yoğunluktan daha düşüktür ve yaklaşık % 85-93 oranında değişmektedir.

Kaplamaların mikroporozitesi sıcaklığın azaldığı esnada çözünebilirliği düştüğü O₂, H₂ ve N₂ ile bağlanmaktadır. Ancak çözünmüş gazların toplam hacmi çözünmenin aşırı derecede ayrışması kadar önemlidir. Çözünen gazlar serbest atmosfere (açık porozite) veya mikroboşluklara (kapalı porozite) kaçabilir. Bütün bu ihtimaller hesaba katılarak maksimum kaplama yoğunluğu hesaplanır. Açık porozite püskürtme enerji şartlarının değiştirilmesiyle, kapalı porozite ise çözünen gazlar sayesinde elde edilir [19].

3.8.3.Yapışma, iç gerilme ve kaplama kalınlığı

Püskürtülen katman altlık üzerine mekanik kumlama, valans ve Van der Waals kuvvetlerin kombinasyonu olarak yapışmaktadır. Genellikle püskürtülen kaplama tok olan metal altlıktan daha fazla kırılığandır. Seramik kaplamalar altlığın yüzeyi ile metalik olarak bağlanmaz. Bu nedenle seramik kaplamaların yapışması metalik kaplamalara göre daha zayıftır. Metaller üzerine püskürtülen metalik kaplamalar difüzyonla bağlanmaktadır. Benzer şekilde seramik yüzeyler üzerine yapılan seramik kaplamalarda da difüzyon olabilir. Bütün püskürtülen kaplamalar için altlığa yapışma , artan kaplama kalınlığı ile azalır. Seramik kaplamanın artan kalınlığı ile yapışma değerleri aşağıya düştüğü için yaklaşık 0,1 mm kaplama kalınlığında 30-49 MPa olur. 0.3 mm kalınlıklarda bu değer 5-10 MPa ,0.5 mm'de ise 4-7 MPa 'a düşer. Bu azalma farklı termal genleşme katsayıları ve farklı ergime noktaları nedeniyle iç gerilmelere sebep olur. Kaplamaların hızlı soğumasıyla oluşan bu tür iç gerilmeler kaplamada çatlak başlangıcına neden olur.

Kaplamaların homojen olmayan dağılımı ve ısıtılması, plazma tabancasının faaliyetinde yerel değişimlerin meydana gelmesi ve iç gerilmelerin artmasıyla sonuçlanır. Ayrıca kaplama yüzeyinde iç gerilmeler kaplama sıcaklığı düştüğünde gerçekleşmektedir. Oluşan termal gerilmeler eşitlik 3.1 ile hesaplanır.

$$\sigma_p = \alpha_p \cdot T_p \cdot E_p \quad (3.1)$$

Burada $\sigma_p =$ iç gerilme, α_p : lineer genişleme katsayısı, E_p : basmada elastisite modülü, T_p : sıcaklık

Püskürtülen malzemelerin termal genişleme katsayısı altlık malzemesine eşit ve ya daha yüksek olduğunda kaplamada iç gerilim oluşur. Püskürtme esnasında altlık iç gerilimleri azalttığı için ön ısıtmaya tabi tutulur. Ayrıca, NiAl gibi ara bağlayıcılar kullanılarak iç gerilimlerin giderilmesi sağlanır [19].

3.8.4. Mukavemet, sertlik

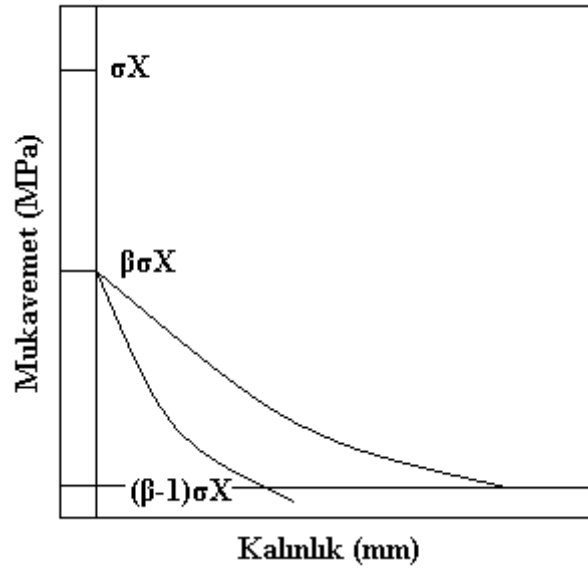
Kaplama mukavemeti ve altlığa yapışması birçok faktörlere bağlıdır. Kaplama kalınlığı kaplamanın mukavemetine etki eden faktörlerden biridir. Gerilme analizi diyagramında kaplama kalınlığının ve gerilmenin artmasıyla yapışma mukavemeti azalma gösterir.

σ_x altlık ile kaplama arasındaki maksimum yapışma mukavemetini karakterize eder. Diğer bir faktörde kaplamanın elastisite modülüdür. Bu modül arttığında kaplamanın porozitesi de artarak sertlik ve mukavemet düşer.

Yapışma partiküllerin altlığa temas ettiği bölgede gerçekleşir. Bağlanmanın olduğu bölgede S_x kaplamadaki S toplam kaplama alanının sadece bir kısmıdır. Buna bağlı olarak ilk katmanda yapışma eşitlik 3.2 verilebilir.

$$\beta = S_x / S \quad (3.2)$$

Partiküllerin ilk katman olarak altlığa yapışma mukavemetini ifade eder. Sonraki katmanın püskürtülmesi kaplamada σ_0 İç gerilime neden olur. Bu gerilim kaplama ve ya artan katman sayısı ile büyüyen tabaka kalınlığı iç gerilimleri artırır. Böylece partiküllerin yapışma mukavemeti β , $\sigma_x - \sigma_0$ 'ye eşittir. Ancak kaplamanın elastisitesi nedeniyle yapışma mukavemetinin stabilizasyonu belirli seviyede meydana gelir [19].



Şekil3.12. Mukavemetin kaplama kalınlığına bağlı olarak değişimi [20].

Püskürtme parametrelerinin değiştirilmesiyle Şekil 3.11'deki eğriler ile mukavemet kontrol edilebilir. Kaplamadaki partiküllerin mukavemeti ve altlık ile kaplamanın yapışma mukavemeti arasındaki ilişkiye bağlı olarak yapışma sağlanır. Bu bölgede kaplamanın azalan mukavemeti altlık üzerindeki ikinci, üçüncü ve daha fazla katmanlardaki partiküllerin temas sıcaklığında yoğun masif altlığın yüksek termal iletkenliğin istenmeyen etkilerin sonucudur. Kaplamanın termal iletkenliği artan kalınlığa bağlı olarak kaplamanın mukavemetinin arttığında düşüş gösterir.

Sertlik, püskürtülen katmanların önemli özelliklerinden biridir. 1000 Vickers sertlik ve 3 N yükte kaplama kalınlığı en az 0.05 mm ve 500 Vickers sertlikte ise 0.07 mm olmalıdır. Kaplamaların sertliğini ölçebilmek için yükler 0.1-0.5 N arasında olmalıdır [19].

3.8.5. Termal ve elektriksel iletkenlik

Püskürtülen kaplamaların ısı transferi aşağıdaki yöntemle açıklanabilir.

a-) Kuvvetli metalik bağlanmanın olduğu temas bölgesini içeren metal partiküllerin elektronlar sayesinde (λ_C)

- b-) Partiküller arasındaki kimyasal bağlanmalara göre ve oksit esaslı malzemeler için partiküllerdeki latis ve ya foton termal iletkenliği (λ_f)
- c-) Yüksek sıcaklıklara çıkartılan kaplama porlarındaki radyasyona uğrayan fotonlar (λ_l) ve
- d-) Kaplama porlarında kalan termal iletkenlik (λ_m)

Bunlara göre kaplamanın termal iletkenliği;

$$\lambda = \lambda_C + \lambda_f + \lambda_l + \lambda_m \quad (3.3)$$

Kaplamanın termal iletkenliği kaplama malzemesinin yoğunluğuna bağlı olduğu gibi kaplamanın sıcaklığıyla da değişmektedir. ZrSiO₄ kaplamaların termal iletkenlik değeri Eşitlik 3,4'de verilmiştir.

$$\lambda_{T=(25C)} = (0.211 + 0.037) \cdot W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1} \quad (3.4)$$

Termal ve elektriksel iletkenliğin düşük ve minimum değerleri plazma kaplamaların bazı uygulamaları için gereklidir. Bu özellikler püskürtme şartlarından önemli derecelerde etkilenebilir. Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, ZrO₂ ve kısmen stabilize edilmiş ZrO₂ yüksek sıcaklık izolasyon özellikleri için seramik kaplamalar olarak kullanılır [19].

3.9. Uygulama Alanları

3.9.1. Otomotiv endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde plazma püskürtülmüş kaplamalar aşınma, kavitasyon, korozyona direncin ve termal bariyer özelliklerin istendiği alanlarda kullanılmaktadır. Dizel motorlarının valflerinde yüksek sıcaklık ve basınçlardan dolayı yanma ürünlerinden dolayı sıcak korozyona uğramasını önlemek amacıyla Al₂O₃ + TiO₂ + Y₂O₃ esaslı kaplamalar yapılmaktadır. Valf başlıklarında yüksek sıcaklık korozyonuna karşı direnç sağlamada NiCr/Al veya valf disklerinin üzerine termal izolasyon ve yüksek sıcaklıkta korozyona karşı direnç sağlamada ise NiCr,

NiCrAl, NiCrAlY ara katmanlı $ZrO_2 + CaO$, $ZrO_2 + MgO$ veya $ZrO_2 + Y_2O_3$ kaplamalar uygulanmaktadır [19].

3.9.2. Kimya endüstrisi

Kimyasal ünitelerde çeşitli şaftlar, tüpler, brülör, bıçaklar ve soğutma sistemleri gibi makine bileşenleri çalışma ortamına bağlı olarak aşınma ve korozyona uğramasını önlemek amacıyla $MoCrBSi$, $Al_2O_3 + TiO_2$, $ZrSiO_4$ ve $Cr_2C_3 + NiCr$ kaplamalar uygulanır [19].

3.9.3. Hidrolik makineler

Ekonomik maliyeti yüksek olan su güç ünitelerinde kompleks çalışma şartlarından dolayı aşınma, korozyon, erozyon ve kavitasyon olaylara rastlanmaktadır. Bunları önlemek amacıyla oksit esaslı kaplamalar uygulanmaktadır. $Al_2O_3 + TiO_2$ veya Cr_2O_3 kaplamalar su pompalarında, $ZrSiO_4$ esaslı kaplamalar ise kimyasal ünitelerde H_2SO_4 pompalamada aşınma ve korozyona karşı korumada kullanılmaktadır. Ayrıca şaftların sızdırmaz contaları, ana yatakları ve rotor pompaları korozyona karşı korumak için Cr_2O_3 kaplanmaktadır [19].

3.9.4. Cam endüstrisi

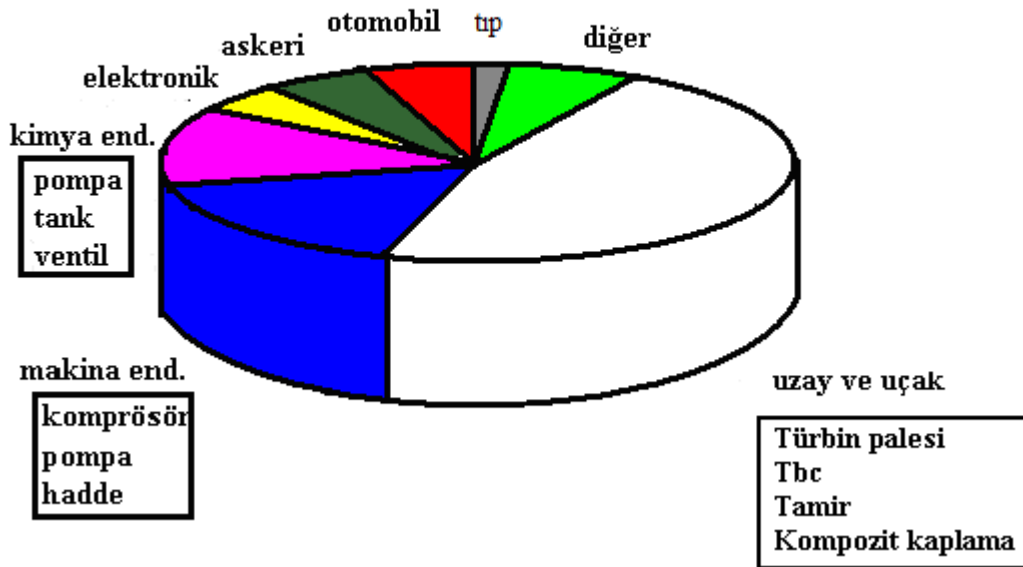
Ergimiş camın termal, abrasif ve korozif etkileri işlem esnasında temas ettiği metalik aletler ve yüzeyler hızlı bir şekilde aşınır. Bu durumda dökme demir üzerine 0,15 - 0,30 mm kalınlığında NiAl intermetalik tozlarla kaplanmaktadır. Aşınmaya direnç ve termal izolasyon amaçlı ZrO_2 , $Al_2O_3 + TiO_2$ ve $ZrSiO_4$ seramik kaplamalar kullanılarak ergimiş camların yapışması da önlenmektedir. Cam presleme mandrelleri $Al_2O_3 + TiO_2$ ve $ZrSiO_4$ ile cam yapıcı çubukları da $ZrSiO_4$ ile kaplanmaktadır [19].

3.9.5. Uçak ve uzay endüstrisi

Uçak gaz türbinlerinin yanma odaları, pervane statörleri, türbin paleleri ve pervane platformları gibi çeşitli gaz türbin parçaları özellikle sıcak gaz korozyonuna karşı dirençleri ile yüksek sıcaklık kararlılıklarını ve ısı kayıplarını arttırmak amacıyla TBC (Termal Bariyer Kaplama) esaslı kaplamalar uygulanır [19].

3.9.6. Nükleer teknoloji

Plazma sprej teknolojisiyle nükleer santrallerin çeşitli bileşenleri kaplanmaktadır. Yüksek sıcaklıkları ölçmek için kullanılan genleme ölçerler Al_2O_3 ile kaplanmaktadır. Nükleer reaktörlerin aktif bölgelerindeki termal alanları ölçmede kullanılan termokupullar püskürtülen metal katmanlarıyla tutturulur. Ayrıca Al_2O_3 , $Al_2O_3 + MgO$ kanallar ve güç jeneratörlerinde, Al_2O_3 , ZrO_2 ısıya direnci arttırmak için yakıt elemanlarında ve aşınmaya direnci arttırmada ise $Cr_2O_3 + NiCr$ kaplanmaktadır [19].



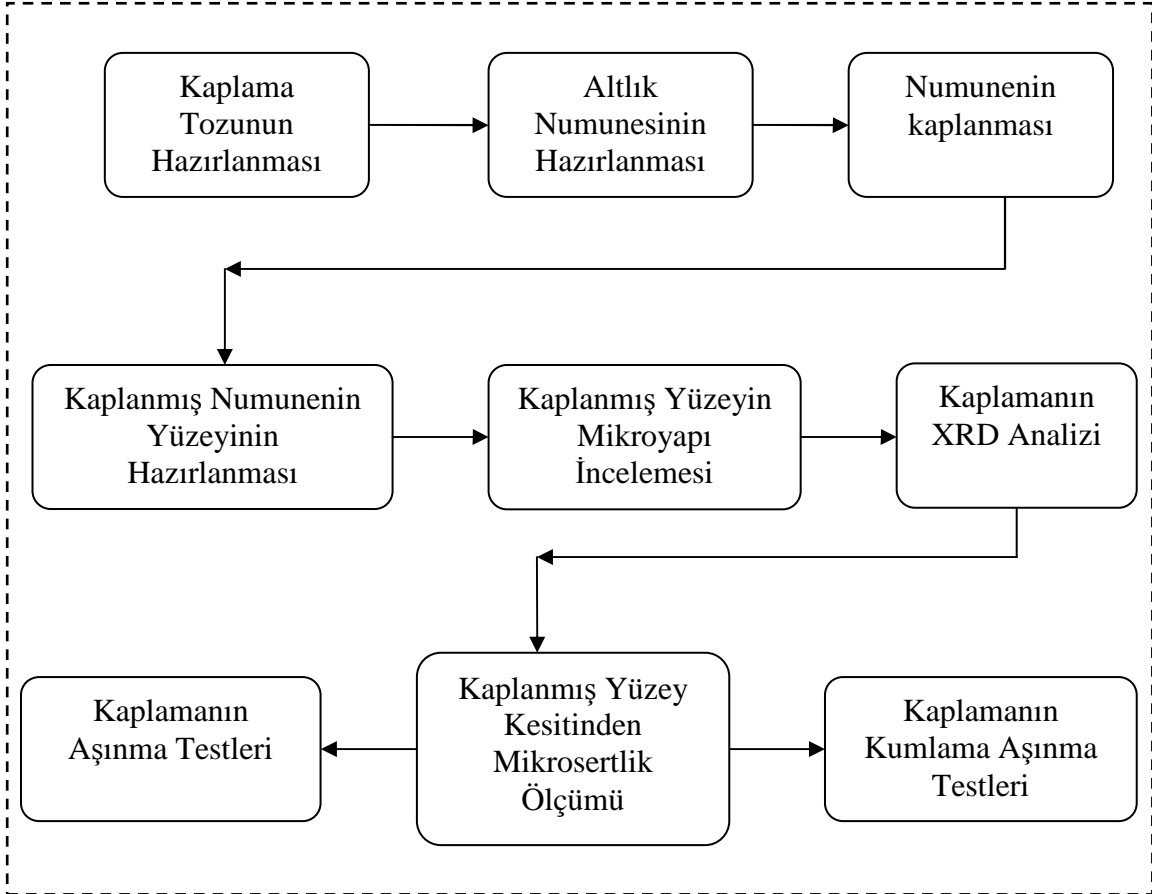
Şekil 3.13. Plazma sprej kaplamaların başlıca uygulama alanları [11, 19].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE METODOLOJİ

4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı

Ülkemizde doğal olarak bulunan bu volkanik kayaç olan olivin üstün özelliklerine karşın fazla ve yaygın kullanım alanı yoktur. Bu çalışma, olivinin paslanmaz çelik üzerine plazma sprey metoduyla ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız direk uygulamasıyla elde edilecek sonuçların irdelenmesi ve yeni kullanım alanlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda takip edilen program Tablo 4.1. de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmada takip edilen program



4.2. Meteryaller ve Yöntemler

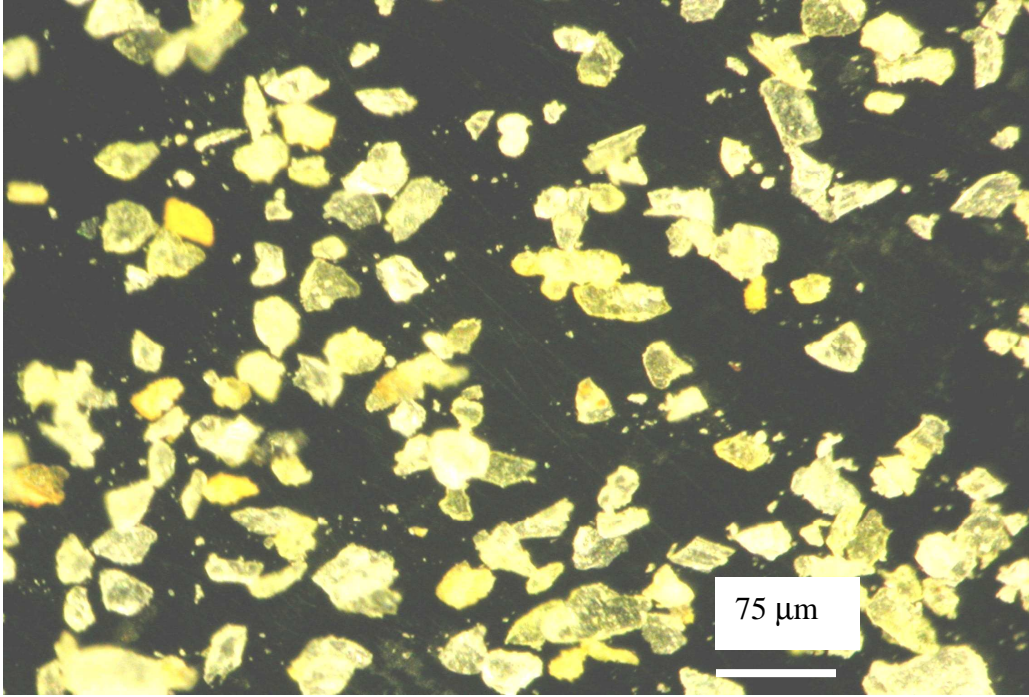
4.1.1 Kaplama tozunun temini ve hazırlanması

Olivin tozu Beykrom firmasından hazır olarak -63 μm boyutunda temin edildi. Kaplamanın daha iyi olması ve kaplama kalitesinin artırılması için kaplama tozu akışkanlığının iyileştirilmesi amacıyla olivin tozu -45 μm luk elekten geçirilerek iki ayrı boyutta toz elde edildi. Kaplamayı yapacak olan firmada yapılan deneme de toz akışkanlığı bakımından -63 μm boyutundaki tozla yapılacak kaplamanın daha iyi olacağını belirlendi.

Kaplama çalışmamızda kullanılan toz boyutu hiç bir işlem yapmadan direk olarak firmadan gelen -63 μm boyutundaki tozla kaplanılmasına karar verildi. Kaplama tozunun spesifik özellikleri ve kaplama öncesi toz morfolojisi sırasıyla aşağıdaki Tablo 4.2. de ve Şekil 4.1. de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Kullanılan olivinin tozunun kimyasal bileşimi [8].

BİLEŞEN	% min.	% maks.
MgO	44,50	50,00
SiO₂	41,00	43,00
Fe₂O₃	6,22	7,50
Al₂O₃	0,06	0,20
Na₂O	0,02	0,05
Cr₂O₃	0,15	0,30
NiO	0,10	0,20



Şekil 4.1. Olivin tozunun stereo optik mikroskofta gözlenen morfolojisi.

4.2.2. Altık numunesinin hazırlanması

Çalışmalarda ticari AISI 316L paslanmaz çelik altık olarak kullanılmıştır. Paslanmaz çeliğin bileşimi satın alınan firmadan temin edilmiş olup Tablo.4.3' te belirtilmiştir.

Tablo 4.3. 316L paslanmaz çeliğin kimyasal analizi [23].

ELEMENT	%
C	0,015
Si	0,52
Mn	1,47
Cr	16,93
Mo	2,08
Cu	0,72
Ni	10,19
P	0,034
Si	0,03
N	0,065

50 cm boyundaki ve 25mm çapındaki 316 L elik metalografik kesme makinesinde ve alümina kaplı disk ile 1 cm kalınlığında (ap 25 mm) silindirik parçalar halinde kesildi. Toplamda 12 adet numune elde edildi. yüzeyleri kaplamaya hazırlanmak ve yüzey pürüzlülüğünü ortadan kaldırmak için zımparalandı ve parlatmaya tabi tutuldu.

Zımparalama 80, 100, 200, 400, 600 1000 lik zımparalar ile ve yaklaşık her zımparalama kademesi 3-4 dakika olacak şekilde uygulandı. İstenilen yüzey pürüzsüzlüğüne gelince zımparalanan numunelere parlatma uygulanarak kaplamaya hazır hale getirildi.

Kaplama öncesi iyi bir yapışma sağlanması için elik altlıklar Al_2O_3 tozu ile kullanarak yüzeyleri homojen bir şekilde pürüzlendirilmiştir.

4.2.3.Numunenin plazma sprej ile kaplanması

Plazma kaplama işlemi İstanbul'da Plazma Teknik adlı firmada yapılmıştır. Kaplamada altışarlı iki ayrı gurup oluşturulmuştur. İşaretlenen ilk altılı gurupta toz ile numune arasında hiçbir ara bağlayıcı kullanmadan direk kaplama yapılmıştır. Bu kaplama sırasında kaplama prosesi sırasında kullanılan parametreler aşağıdaki Tablo 4.4. de verilmiştir.

4.2.4.Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Termal sprej kaplamalarda altlık malzemesine kaplanması temel olarak mekaniksel olarak gerçekleşir yani kimyasal bir birleşme oluşmamaktadır. Bu mekaniksel birleşmenin sağlıklı bir şekilde oluşumu için altlık malzeme 4-5 μm veya daha fazla yüzey pürüzlülüğü elde etmek amacıyla pürüzlendirilmiştir. Ayrıca kaplama öncesi yüzey pürüzlülüğünün önemi kadar kaplama sonrası kaplama yüzeyinin de pürüzlülük değeri önemli bir parametredir.

Tablo 4.4. Ara bağlayıcılı ve bağlayıcısız kaplama sırasında kullanılan plazma sprey parametreleri

Kaplama Malzemesi	Olivin
Ara Kaplama	%95Ni - %5Al
Altlık	316L paslanmaz çelik
Kaplama Sistemi	Manuel, atmosferik plazma sprey sistemi
Plazma Tabanca tipi	3 MBN
Kumlama	Al ₂ O ₃
Voltaj (V)	73,5
Akım (A)	501
Birincil Gaz (H ₂) (l/dk)	51
İkincil Gaz (Ar) (l/dk)	75
Ortalama Kaplama kalınlığı (µm)	310
Ortalama Astar kalınlığı (µm)	65-70
Sprey Mesafesi (cm)	15
Toz İtici Gaz (Ar) (l/dk)	50

Kaplama uygulanmış malzeme yüzeyindeki pürüzlülük malzemenin kullanım alanına göre farklı değerlerde istenebilir. Yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki farklı yüzey sapması oluşabilmektedir.

Dalga geometri bir sapma olduğundan, yüzey kalitesi genel olarak yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rz, ve Rmax parametreleriyle simgelenmektedir. Pürüzler, belirli bir mesafe boyunca ve belirli bir profil ortalama çizgisine göre tayin edilmektedir. Profil ortalama çizgisinin üstündeki ve altındaki pürüz kesit alanları birbirine eşittir.

Ra: Pürüz yükseklik ve derinlik değerlerinin profil ortalama çizgisinden dikey sapmasının aritmetik ortalama değeridir.

Rz: Ortalama pürüz yüksekliğinin profil ortalama çizgisine olan uzaklığıdır.

Rmax : En derin ve en yüksek pürüz arası mesafe değeridir.

Bu değerleri ölçmek için malzeme yüzeyinde gezen sivri elmas uç 1,75 µm' lik bir alanı tarar ve bu alanı beş eşit parçaya bölerek yukarıda tanımlaması yapılan şekliyle Ra, Rz, ve Rmax değerlerini bize verir.

Yüzey pürüzlülüğü genel olarak profilometre ile ölçülür. Mekanik profilometreler, elmas sivri bir ucun malzeme yüzeyinde gezdirilmesi sırasında sivri ucun malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntılardan geçirilerek yüzey profilinin çıkarılması prensibine göre çalışır.

Bu çalışmada numunelerde kumlama sonrası, arabağlayıcı kullanılarak olivin kaplanmış numuneler ve ara bağlayıcı kullanılmadan olivin kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülükleri belirlenmiştir.

4.2.5. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)

Bu yöntemde çok kısa dalga boyuna sahip bir x-ışını demeti analiz edilecek numunenin üzerine gönderilir. Işın demeti maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar ve bu maddeye has difraksiyon patterni elde edilir. Bu patternlerin standart mineral patternleriyle karşılaştırılması sonucu, numunenin mineral yapısı saptanmış olur. Standart olarak ASTM kartları kullanılır [24].

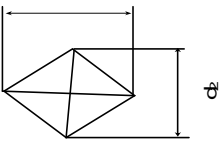
Çalışmalarımızda, 63 µm altı olivin tozunun ve olivin ile kaplanmış yüzeyin XRD analizleri RİGAKU marka bir cihazla $CuK\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen diyagramlar üzerinde yapılan ölçme ve hesaplamalardan bulunan düzlemler arası mesafe (d) değerleri ASTM kartları ile karşılaştırılarak numunelerin mineralojik analizleri kalitatif olarak tespit edilmiştir.

4.2.6. Mikroyapı

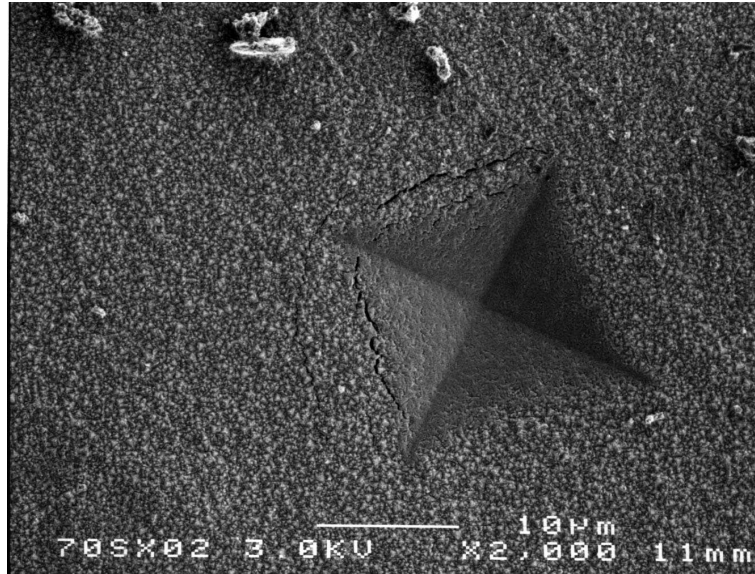
Ara bağlayıcı ile kaplanmış ve ara bağlayıcısız olarak kaplanmış iki numune yüzeyleri hazırlandıktan sonra Olympus 313U optik mikroskopuyla farklı büyütmelerde mikroyapıları incelenmiş ve fotoğrafları alınmıştır.

4.2.7. Mekanik özellikler

Metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlik değerleri Struers-Duramin A-300 marka bir mikrosertlik test cihazı yardımıyla Vickers sertlik olarak ölçülmüştür. Uygulanacak yük, çatlak oluşturmayacak şekilde ve meydana gelen izin köşegenlerinin kolayca görülebileceği bir uzunlukta olması dikkate alınarak deneme ile belirlenmiş, numunelere 10 sn süreyle 0,1 kg yük uygulanmıştır ve sertlik değerleri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümler her numunenin 3 farklı bölgesinden alınarak gerçekleştirilmiş ve daha sonra aritmetik ortalamaları alınmıştır.

	$HV = \frac{1,8544P}{d^2} \quad (4.1)$
--	--

Burada d izin taban köşegen uzunluğu (mm) ve P ise kg olarak uygulanan yüküdür [25].



Şekil 4.2. Sertlik alınmış bir numunenin optik mikroskop altındaki görüntüsü [26].

4.2.8. Kaplamamanın aşınma özellikleri

Aşınma, katı cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması, sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkması ve istenmeyen yapı değişikliklerinin oluşması şeklinde tanımlanmaktadır [31].

Aşınma deneylerinin yapılabilmesi için bir “pin on disk” aşınma test cihazına ihtiyaç duyulmuştur. Aşınma deneyi Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri için kullanılan cihazda, disk üzerinde sürtünen pim (pin-on-disk) yöntemi uygulanmıştır. Aşınma cihazında 12 ayrı devir mevcuttur ve değişik yük altında test yapılabilmesi için yüke orantılı moment mesafeleri cihaz üzerinde mevcuttur.

Cihazda devir sayımı manyetik alan esasına dayanan devir sayacı ile takip edilmektedir. Aşındırıcı disk olarak yüzeyi hassas parlatılmış Alumina (Mohs skalasında sertliği 9) kullanılmıştır. Tablo 4.5’de cihaza ait özellikler verilmiştir.

Tablo 4.5. Aşınma test cihazı mekanik özellikleri

Devir	110 – 720 devir / dakika
Uygulama yükü	10 – 70 N
Aşındırıcı disk çapı	50 – 250 mm
Pin çapı	3 – 15 mm
Aşınma tarama çapı	10 – 230 mm

Aşınma (pin-on-disk) deneylerinde sabit hızla dönen disk üzerine sabit bir yük uygulanmaktadır. Deneyler; oda sıcaklığında, disk üzerine 20 N yük, 160 devir / dakika dönme hızında ve toplam 250, 500 ve 750 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’te, aşınma test cihazının şematik olarak gösterimi verilmektedir.

Ağırlık kaybını saptamak için, her sürtünme mesafesinden sonra numuneler etil alkol ile temizlenerek 10^{-5} hassasiyetinde dijital terazide tartılmıştır.

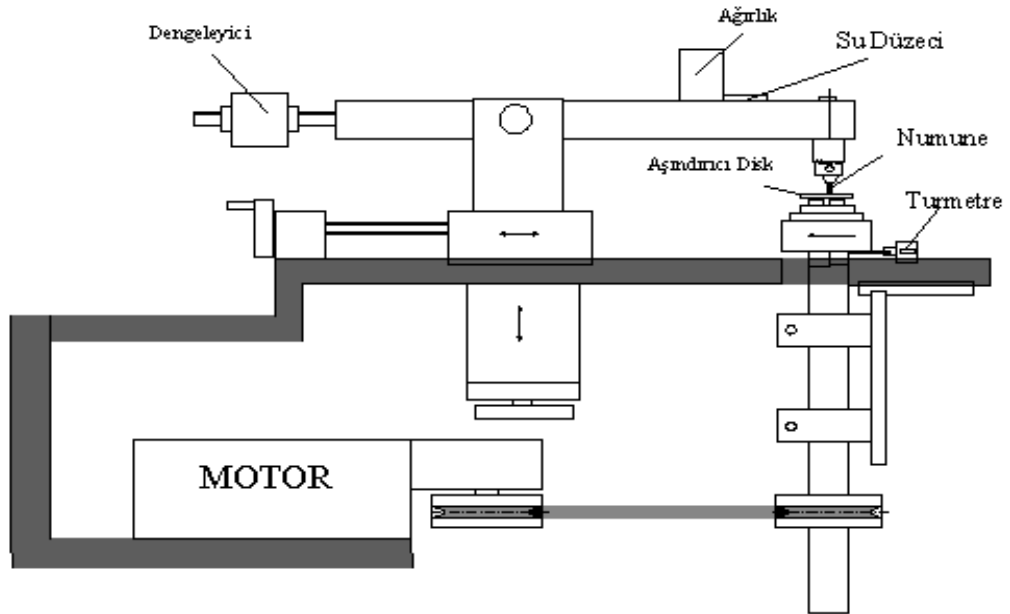
Aşınma deneylerinin başlangıcı ve sonrasında, ağırlık kayıpları (ΔG) olarak hesaplanmış ve aşınmadaki ağırlık kaybı bilinen numunelerin aşınma oranları ağırlık farkı metodunda kullanılan bağıntı

$$W_a = \Delta G / d.M.S \text{ (mm}^3 / \text{N.m)} \quad (4.2.)$$

ile bulunmuştur. Aşınma dirençleri ise aşınma oranının tersi olduğunda bu değeri de

$$W_r = 1/W_a \text{ (N.m/ mm}^3) \quad (4.3.)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır [27].



Şekil 4.3. Aşınma deney düzeneğinin şematik olarak gösterilişi [27].

4.2.8.1. Aşınmaya etki eden faktörler

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler sistemin durumuna göre kullanılan yere göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler aşağıda dört farklı ana grup halinde verilmektedir.

1. Ana malzemeye kristal yapısı
 - ✓ Malzemenin kristal yapısı
 - ✓ Malzemenin sertliği
 - ✓ Elastisite modülü
 - ✓ Deformasyon davranışı
 - ✓ Yüzey pürüzlülüğü
 - ✓ Malzemenin boyutu
2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcı etkisi
3. Ortam etkisi
 - ✓ Sıcaklık
 - ✓ Nem
 - ✓ Atmosfer
4. Servis koşulları
 - ✓ Basınç
 - ✓ Hız
 - ✓ Kayma yolu

4.2.8.2 Aşınma mekanizmaları

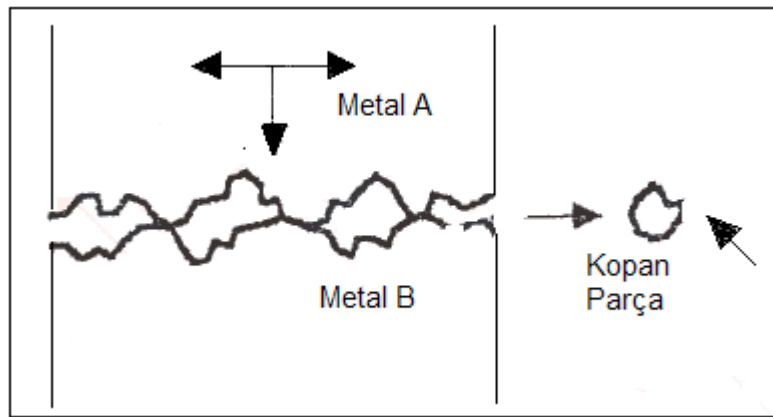
Rabinozwich aşınmayı dört temel guruba toplamıştır. Bunlar; adhesiv aşınma, abresif aşınma, oyuklanma ve kimyasal veya korozif etkidir. Problemin doğru olarak çözülmesi için aşınma mekanizmasının çok iyi anlaşılması gerekmektedir [28,29,30].

Adhesiv aşınma;

Yapışma aşınması olarak da bilinen adhesiv aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle aşınma hasarlarının hızlandırıcı etkisi

bulunmaz. Bu tür aşınma iki malzemenin birbiri üzerinde hareket etmesi sırasında yapışması ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır.

İki metal yüzeyi birbiri ile temas ettiği takdirde, malzemelerin yüzeylerinde bulunan izler, düzensizlikler malzeme yüzeyinde bölgesel yüksek basınçlar oluştururlar ve yüzey filmlerinin kırılmasına neden olurlar. Temiz metal yüzeyleri birbirine temas ettirildikleri zaman, yüzeylerdeki elektrostatik düzensizlikler sebebiyle, kaynama için bir eğilim söz konusudur. Metalografik çalışmalar sonucunda belirlenen başlıca özelliklerden biri de malzeme taşınımının yumuşak metal yüzeyinden sert olan metal yüzeyine doğru olmasıdır. İki metalin sürtünmesi esnasında yüzeyden parça kopması Şekil 4.4. de verilmektedir.

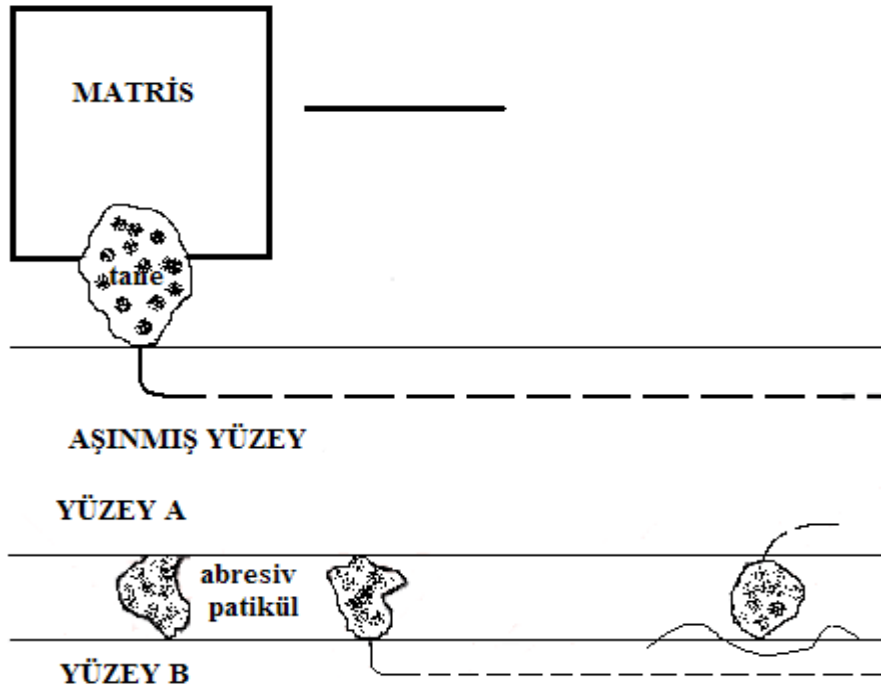


Şekil 4.4. Metal-metal sürtünmesi sırasında yüzeyden parça kopması [29].

Abresif aşınma;

Çok hızlı bir şekilde gelişen, etkisini anında belli eden ve çok yüksek aşınma hızına sahip olan ve de sistemin hasarına sebep olacak şekilde gelişen bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma iki yüzeyden birinin çok sert ve yüzeyin pürüzlü olduğu şartlarda oluşan bir aşınmadır. Etki, yumuşak malzemenin üzerinde gelişen belirgin çizikler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Aşınmanın etkisi sert partikülün, yumuşak malzemenin yüzeyinden parça kopartarak uzaklaştırmasıyla olur ve parçanın kopması sırasında yapışmanın olmadığı bir sistemle gerçekleşmektedir. Yüzeyden malzeme kaybının çok hızlı geliştiği bir aşınma mekanizmasıdır.

Genel olarak abrasif aşınma türleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; oymalı sürtünme aşınması, öğütmeli sürtünme aşınması ve erozyondur. Bir çok karakteristik açıdan bu aşınma türlerinin birbirlerine benzemelerine rağmen , tek tek inceledikleri zaman, birbirlerinden önemli farklılıklar sergiledikleri görülür [31,32,33]. Şekil 4.5' te Abrezif aşınma mekanizması verilmiştir.



Şekil 4.5. Abrezif aşınma mekanizması [29].

Diğer aşınma türleri de;

- ✓ Yüzey yorulma aşınması
- ✓ Eroziyon aşınması
- ✓ Kaviteleme
- ✓ Öğütmeli aşınma
- ✓ Oyuklama ve kalkma
- ✓ Kazımalı aşınma
- ✓ Koroziyon aşınması

şeklinde sıralanabilir.

4.2.8.3. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri

Endüstride kullanılan alet ve ekipmanlarda aranılan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen süre de üretimin öneli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tespiti içinde birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekmektedir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model, basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinden yapılabilir. ASLE tarafında yüz kadar aşınma deney sistemi belirlenmiştir [33]. Bu sistemlerin en çok kabul göreni abrasiv aşınma için, pin-on-disk sistemidir. Aşınma deneylerinde aşınmanın ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişimi ve radyoizotop metotları olarak sıralanabilir.

Ağırlık farkı metodu;

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması, bu yöntemin dezavantajıdır.

Aşınma deneylerinde en çok kullanılan ölçüm metodu ağırlık kaybı esasına göre yapılan bağıntılarla hesaplanır. Bu bağıntılar sırasıyla şu şekildedir:

$$W_a = \Delta G / d.M.S \text{ (mm}^3/\text{N.m)}$$

$$W_a: \text{Aşınma oranı (mm}^3/\text{N.m)}$$

$$\Delta G: \text{Ağırlık kaybı (mg)}$$

$$M: \text{Yükleme ağırlığı (N)}$$

$$S: \text{Aşınma Yolu (m)}$$

$$d: \text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}$$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir [34].

$$W_r = 1/W_a \text{ (N.m/mm}^3\text{)},$$

Başka bir bağıntı olarak da, bir kilometre kayma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki genellikle iki elemanlı abrasive aşınmanın hesaplanmasında kullanılır.

$$V_s = 10^4 / F.P.S \text{ (}\mu\text{m/km)}$$

V_s : Bir km aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı (μm)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

F: Aşınma yüzeyi (cm^2)

d: Yoğunluk (g/cm^3)

s: Kayma yolu (km)

olarak alınır. Deney malzemesi yükseklik kaybının, mukayese malzemesinin (örneğin Fe 37 çeliği) yükseklik kaybına oranı, aşınma orantı sayısını (W_s) verir.

$$W_s = V_s \text{ (deney numunesi)} / V_s \text{ (Fe37 çeliği)}$$

Bu orantı sayısının ters değeri de bağıl aşınma direnci olarak kullanılır.

$$R = 1/W_s \text{ [34].}$$

4.2.9. Kuşlama testi

Ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız olmak üzere 2 ayrı numune SENKRON Metal Kuşlama San. Tic. Ltd. Şti. tesislerinde ki kuşlama makinesinde kuşlama testine tabii tutulmuştur. Kuşlama testinde kullanılan parametreler Tablo 4.6. da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kuşlama parametreleri

Kuşlama Parametresi	Uygulanan/Kullanılan Değer
Kuşlama tozu	kahverengi fused alümina
Toz Boyutu	- 1 mm
Kuşlama Süresi	10 dakika
Kuşlama mesafesi	25 mm
Kuşlama basıncı	6 Bar
Kuşlama Nozul Çapı	10 mm
Kuşlama Açısı	22,5 °

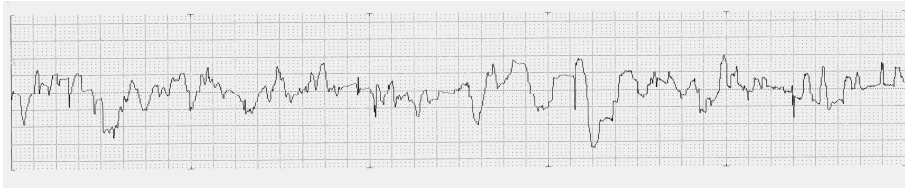
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Kaplamaların Yüzey Pürüzlülüğü

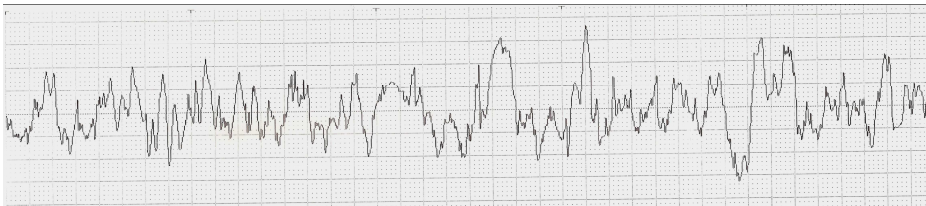
Hazırlanmış numunelerin kumlama sonrası, ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız olarak pürüzlülük ölçümleri yapılmış ve Ra sonuçları aşağıdaki Tablo 5.1' de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde ara bağlayıcı kullanılmadan kaplama yapılan numunenin pürüzlülüğünün daha az olduğu ve ara bağlayıcının kaplamadaki pürüzlülüğü arttırdığı gözlenmiştir. Bu durumda ara bağlayıcılı numunede kaplamanın muhtemelen daha iyi yapışmasına neden olmaktadır.

Tablo 5.1. Kaplama pürüzlülük değerleri (Ra)

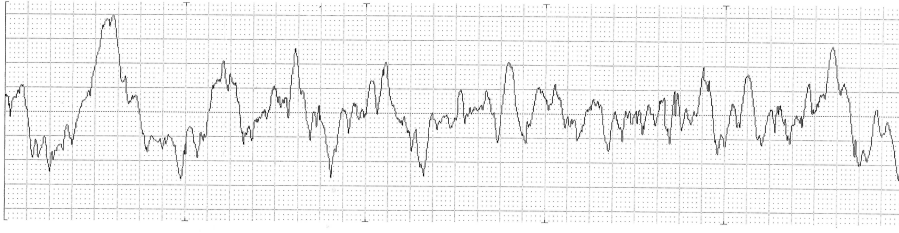
NUMUNE	Ra (μm)
Ni-Al Arabağlayıcılı	8,58
Arabağlayıcısız	6,26
Kumlama sonrası	4,44



Şekil 5.1 Ni-Al ara bağlayıcılı kullanılarak kaplanan numunenin pürüzlülük değerleri.



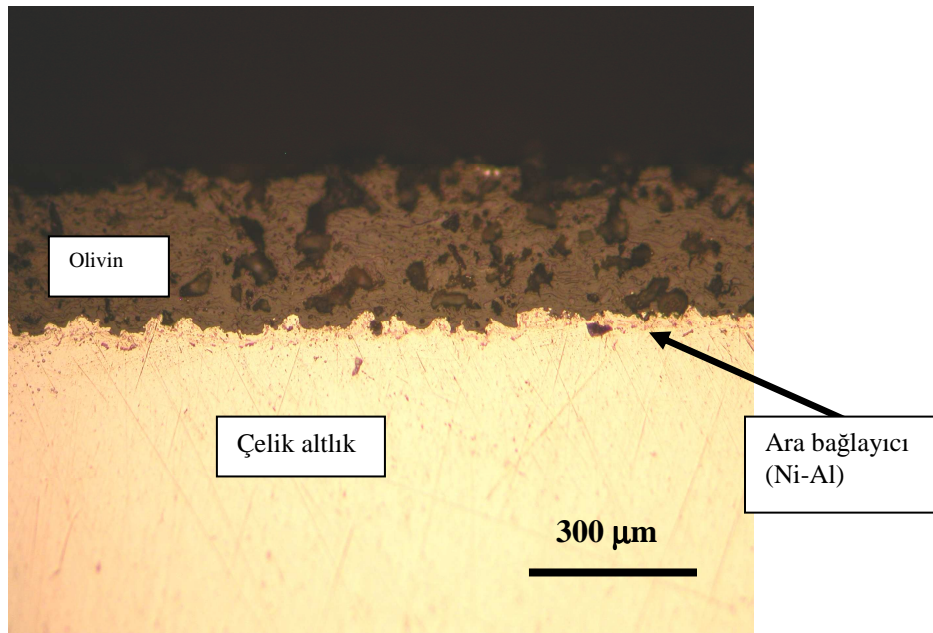
Şekil 5.2 Ara bağlayıcı kullanılmadan kaplanan numunenin pürüzlülük değerleri.



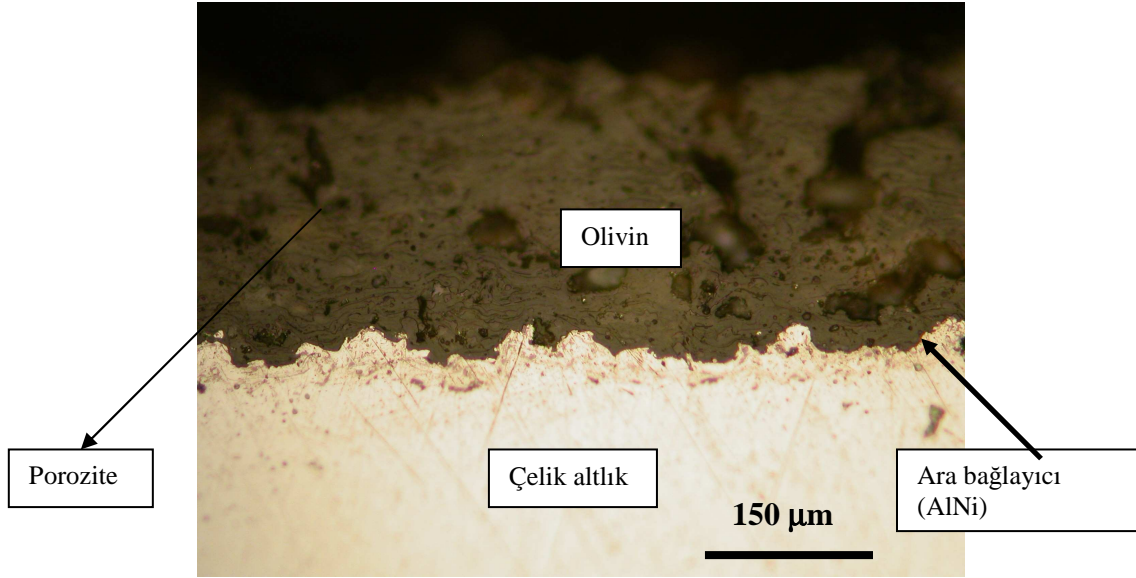
Şekil 5.3 Kumlama sonrası 316L paslanmaz çeliğin pürüzlülük değerleri.

5.2 Kaplama Mikroyapıları

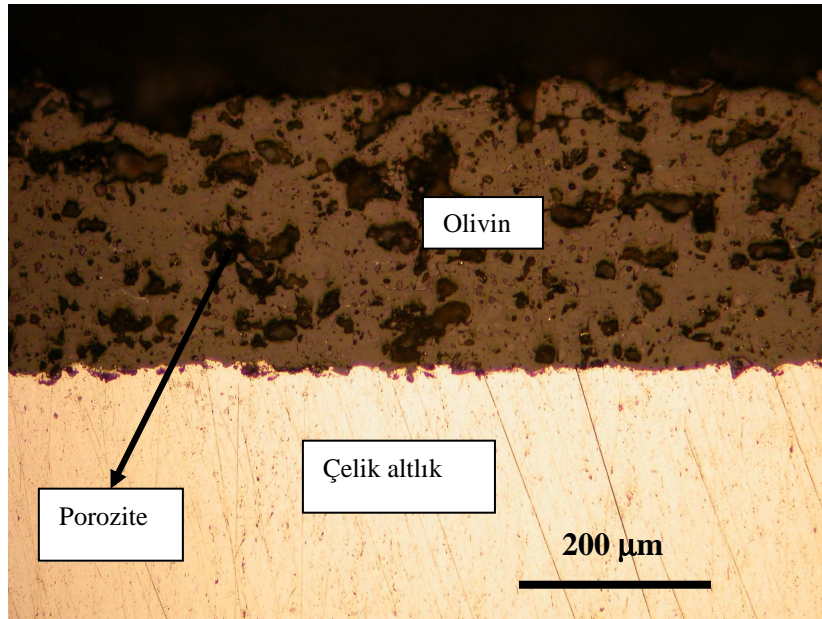
Plazma ile kaplanmış ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız numunelerin optik mikroyapıları aşağıda Şekil 5.4 ila Şekil 5.8 de verilmiştir.



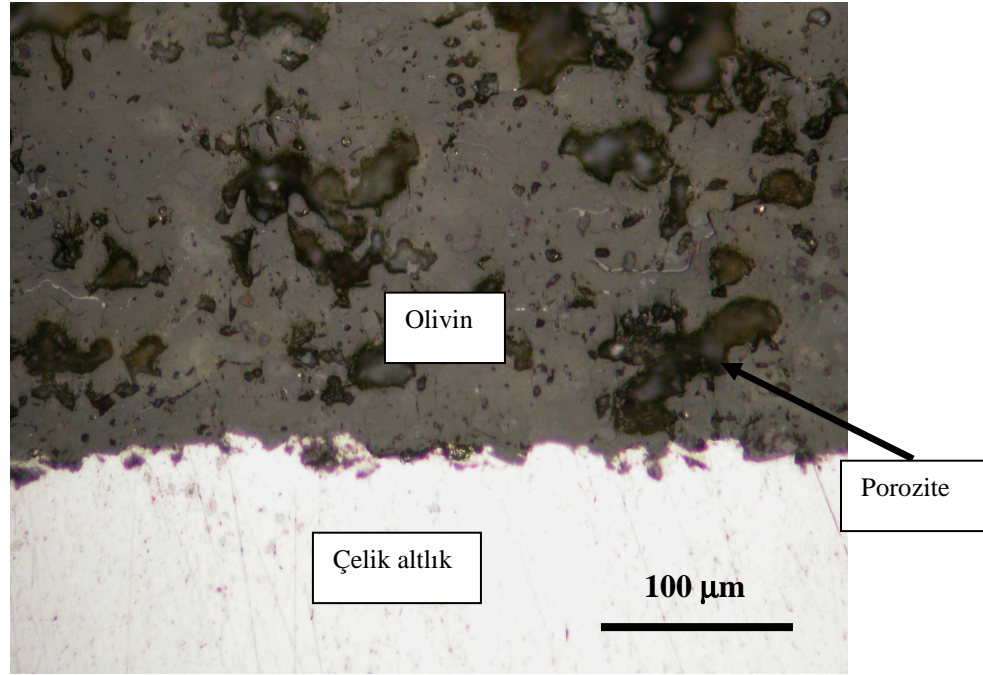
Şekil 5.4. Ara bağlayıcılı kaplanmış numune



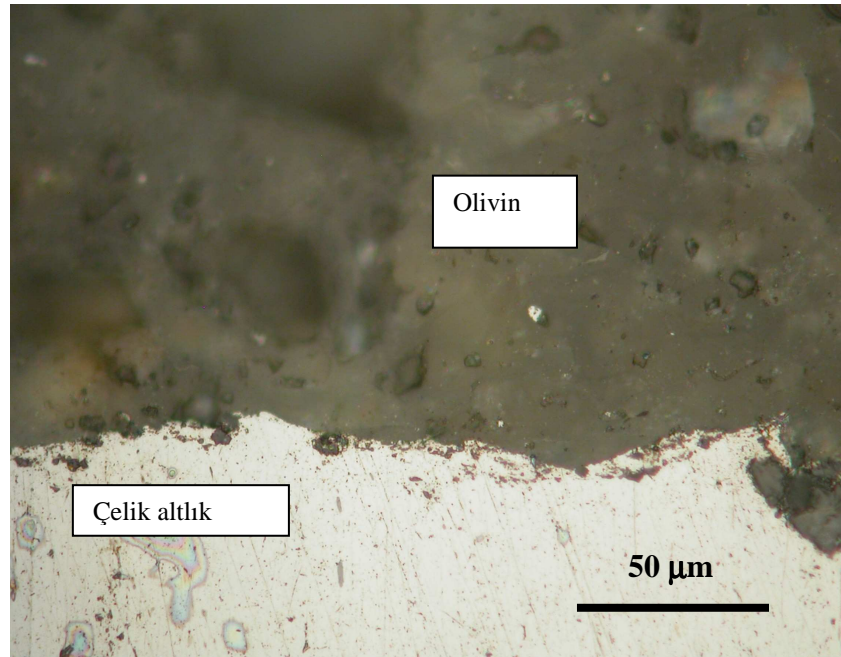
Şekil 5.5. Ara bağlayıcılı kaplanmış numune.



Şekil 5.6. Ara bağlayıcısız kaplanmış numune.



Şekil 5.7. Ara bağlayıcısız kaplanmış numune.



Şekil 5.8. Ara bağlayıcısız kaplanmış numune ara yüzeyi.

Yapılan mikroyapı incelemeler sonucunda ara bağlayıcı kullanılarak yapılan kaplamanın ara bağlayıcısız olarak yapılan kaplamadan daha iyi bir yapışma gösterdiği anlaşılmıştır.

Aynı zamanda ara bağlayıcı ile kaplanmış numunenin diğerine göre mekanik özelliklerinin daha üstün olduğu da ortaya çıkmıştır. Mikrosertlik daha fazla, porozite miktarı daha düşük ve pürüzlülük değerlerinin düşük olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Olivinin plazma sprey kaplama metoduyla kaplanmasında ara bağlayıcı olarak uygulanması daha iyi sonuçlar getirdiğinden bu şekilde uygulanması önerilir.

5.3. Mikrosertlik (Vickers)

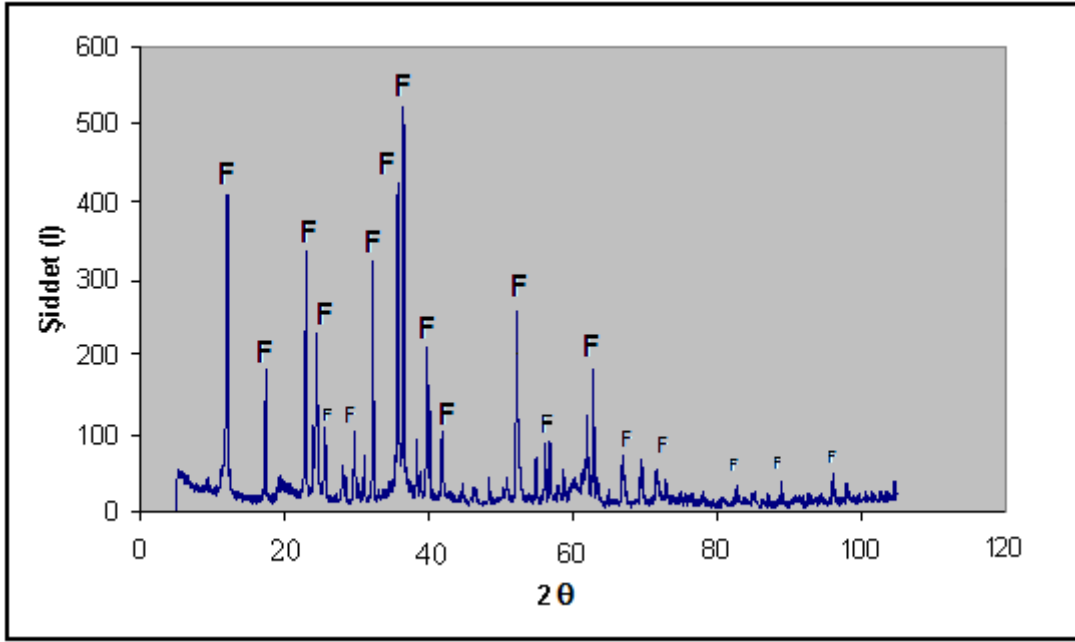
Sertlik ölçümünde elde edilen değerler Tablo 5.2' de verilmiştir. Ölçüm sırasında numuneler üzerine 0,1 kg' lık bir yük uygulanmıştır. Tablodan da anlaşılacağı gibi ara bağlayıcı kaplanmış numunenin sertliği bağlayıcısız kaplama yapılmış numuneye göre daha yüksektir. Bu da ara bağlayıcı kaplamanın mekanik özelliklerinin daha iyi olabileceği izlenimini vermektedir.

Tablo 5.2. Mikrosertlik değerleri.

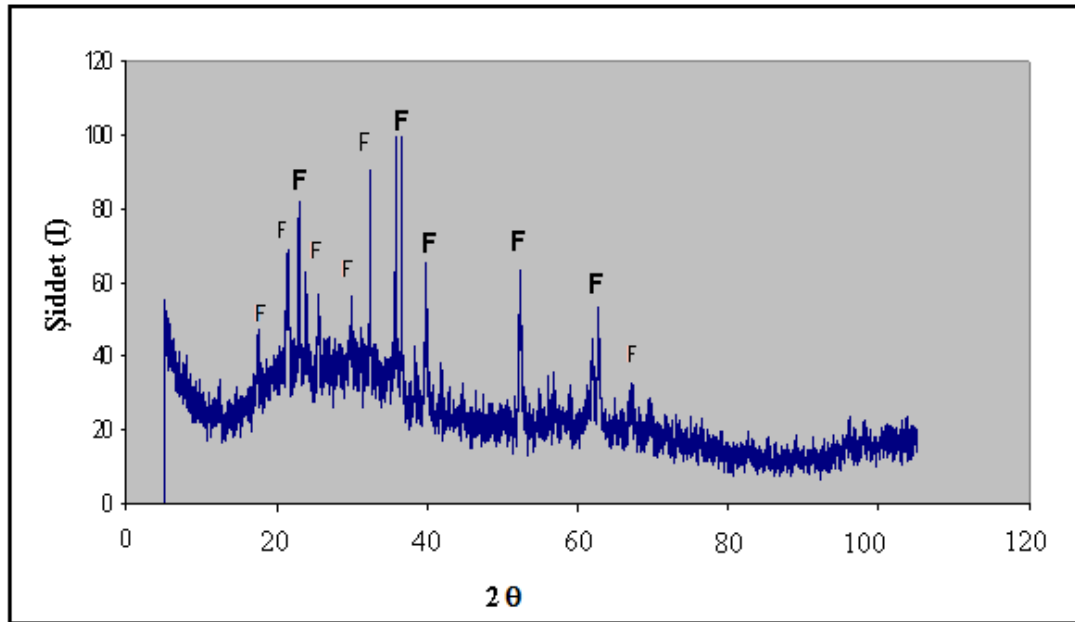
Kaplama	Mikrosertlik (Hv)
Ni-Al Ara bağlayıcı kaplama	494
Ara bağlayıcısız kaplama	487
Paslanmaz Çelik (kaplamasız)	251

5.4. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)

Kaplama öncesi olivin tozunun ve kaplama sonrasında elde edilen kaplamanın XRD paternleri sırasıyla Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 da verilmiştir.



Şekil 5.9. Kaplama öncesi Olivin tozunun XRD paterni (F= Fosterit = $2\text{MgO}.\text{SiO}_2$)



Şekil 5.10. Kaplama sonrası yüzeyden alınan XRD paterni (F= Fosterit = $2\text{MgO}.\text{SiO}_2$)

Kaplama öncesi tozun XRD paterni incelenmiş olup piklerin magnezyum demir silikat olduğu ($\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ tespit edilmiş olup bu kimyasal bileşik ise olivinin içerdiği bileşenlerden $\text{Mg}_2.\text{SiO}_4$ (Fosterit ASTM kart no: 34-0189) olmaktadır.

Kaplama sonrası yapılan XRD analizi sonucunda ise fosterit piklerinin hepsinin aynı 2 teta açılarında belirgin olduğu fakat daha düşük şiddet de pikler verdiği tespit edilmiştir. Şiddetin azalması ve pik aralarındaki arka plan görüntüsü ise düzensiz amorf bir yapının oluştuğunun bir göstergesi olup yapının başlangıca nazaran yarı camlaşmış olduğu bu piklerden belirlenmiştir. Bunun sebebi kaplama sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı olivinin yapısındaki silikaların camlaşmaya sebep olmalarıdır. Kaplama sonrası yarı camsı yarı kristalin bir yapı ortaya çıkmıştır.

5.5 Aşınma Deney Sonuçları

Yapılan çalışmalar sonucunda numunelerin başlangıç ağırlıkları ve aşınmadan sonraki ağırlıkları aşağıdaki Tablo 5.3. de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Aşınma öncesi ve sonrası numune ağırlıkları

	Başlangıç ağırlığı (mg)	250 m	500m	750m
Ara bağlayıcı	39666,7	39665,0	39653,3	39637,4
Ara bağlayıcısız	46130,3	46115,1	46086,7	46065,0
Aşınma sonucunda oluşan ağırlık farkları				
Ara bağlayıcı	0	1,7	11,7	14,9
Ara bağlayıcısız	0	15,3	21,7	28,4

Her bir numune için disk üstünde yaptığı turu hesapladığımızda;

250 m için:

Numunenin Çapı = 25.4 mm

dairenin çevresi: $2 \pi \times r$

bir turda numunen gittiği mesafe = 78,5 mm = 0,0785 m

250 m için = $250 / 0,0785 = 3185$ tur yapmaktadır.

Benzer şekilde hesaplama yapılırsa:

500 m için: 6369 tur

750 m için: 9554 tur yaptığı hesaplanmıştır.

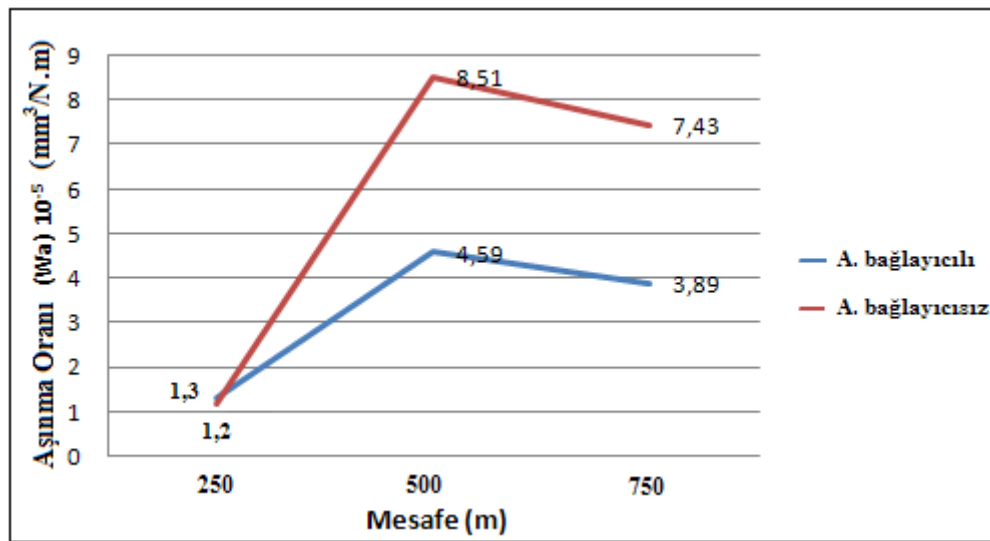
Aşınma oranları ise,

$W_a = \Delta G / d.M.S$ ($\text{mm}^3/\text{N.m}$) formülünden ara bağlayıcı ve bağlayıcı numuneler için hesaplanmış olup sonuçlar aşağıdaki Tablo 5.4. de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Numune türüne bağlı olarak aşınma oranı ve mesafe değişimi

Malzeme Türü	Aşınma Oranı W_a / Mesafe ($\text{mm}^3/\text{N.m}$)		
	250 m	500 m	750 m
Ara Bağlayıcı Numune	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$4,59 \cdot 10^{-5}$	$3,89 \cdot 10^{-5}$
Ara Bağlayıcı Numune	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,51 \cdot 10^{-5}$	$7,43 \cdot 10^{-5}$

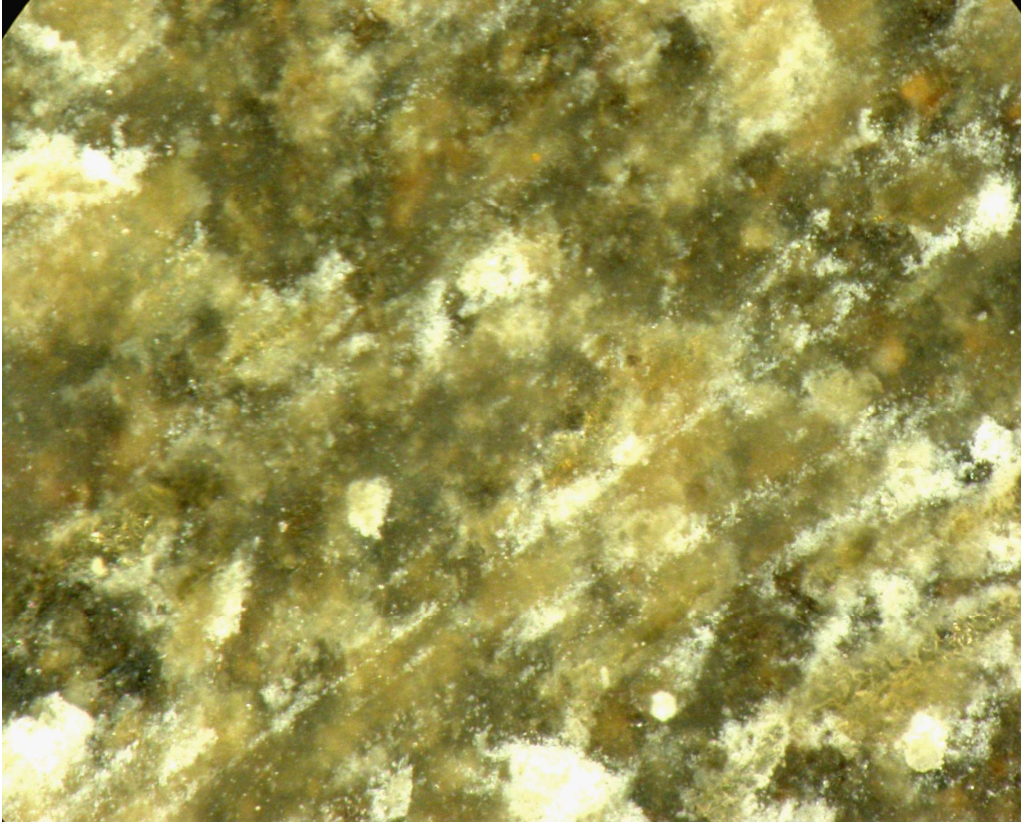
Deney gurubundaki numunelerin aldığı yol (m) ve aşınma oranları (W_a) arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.11 de verilmiştir.



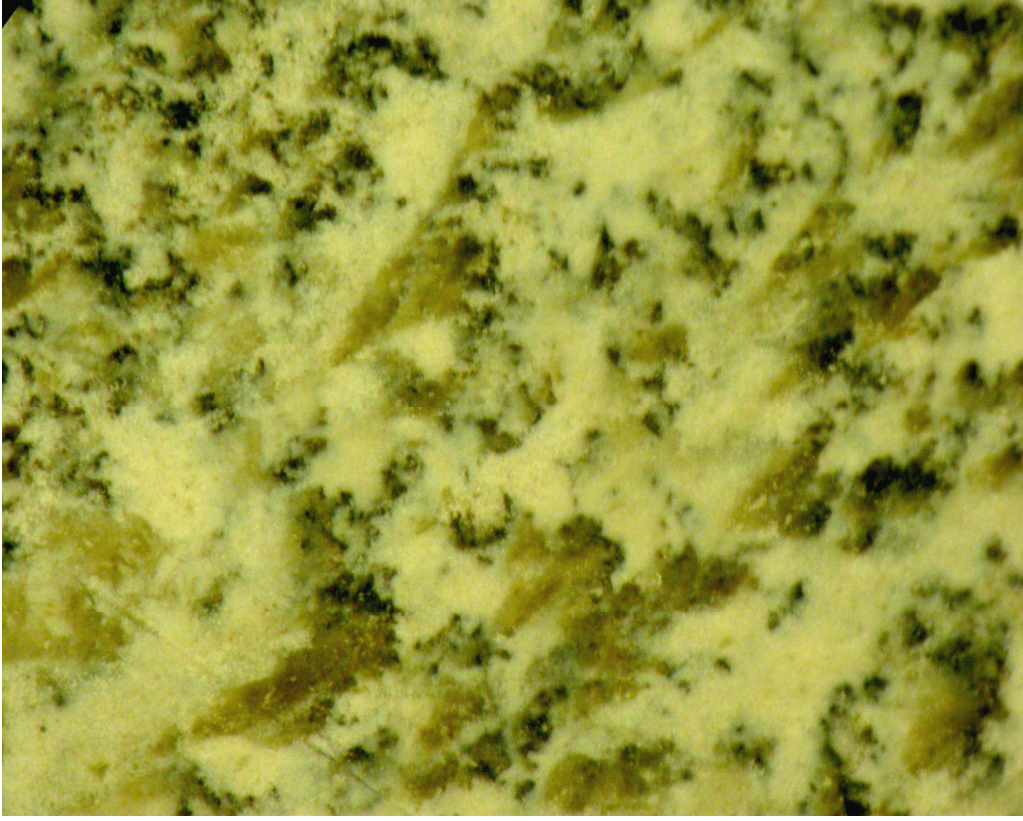
Şekil 5.11. Ara bağlayıcı ve ara bağlayıcı numunelerin W_a -m grafiği

Aşınma testinin sonuçlarına göre ara bağlayıcı olan numunenin aşınma performansının ara bağlayıcı olana göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu fark Ni-Al ara bağlayıcının olivin tozunun yüzeye daha iyi tutunmasını ve bağlanmasını sağlamasından ileri gelmekte olup ayrıca ara bağlayıcının olivin tozu ile paslanmaz çelik arasındaki termal genleşme farkını da azaltması kaplamanın aşınma

özelliklerinde iyileşmeye yol açtığı belirlenmiştir. Aşınma testinden sonra yapılan diğer bir çalışmada ise aşınma testi sonrasında ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız olmak üzere 2 ayrı test numunesi yüzeyinin aşınma profilleri optik stereo mikroskopta incelenmiş olup aşağıdaki Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 de verilmiştir. Bu şekiller üzerinde yapılan inceleme sonucu ara bağlayıcısız numunede abrazif ve adeziv aşınma profili tespit edilmiş olup aşınma izleri çok net olarak beyaz dairesel çizgiler halinde görülmektedir. Ara bağlayıcılı numunede ise aşınma mekanizması sadece adeziv olup aşınma izi belirgin değildir. Bu aşınma mekanizması da bağlayıcı kullanılan numunenin daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12. Ara bağlayıcısız numunenin aşınma sonrası yüzey profili



Şekil 5.13 Ara bağlayıcısız numunenin aşınma sonrası yüzey profili

5.6. Kumlama Test Sonuçları

Kumlama testinin sonuçları Tablo 5.5 de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre ara bağlayıcılı olan numuneni aşınma performansının ara bağlayıcısız olana göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu fark Ni-Al ara bağlayıcının olivin tozunun yüzeye daha iyi tutunmasını ve bağlanmasını sağlamasından ileri gelmekte olup ayrıca ara bağlayıcının olivin tozu ile paslanmaz çelik arasındaki termal genleşme farkını da azaltması kaplamanın mekanik özelliklerinde iyileşmeye yol açtığı belirlenmiştir.

Tablo 5.5. Kumlama Test Sonuçları (Ağırlıkça)

Numune Türü	Kumlama Öncesi (gr)	Kumlama Öncesi (gr)	% Aşınma
Ara bağlayıcılı	40,728	40,022	0,76
Ara bağlayıcısız	41,195	41,022	1,69

BÖLÜM 6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE ÖNERİLER

6.1. Tartışmalar

Bu çalışmada öncelikle başlangıçta teorik olarak olivin tozunun mohs sertlik skalasında 6,5-7 değerinde sert bir mineral özelliğine sahip olmasından dolayı aşınmaya karşı çalışacak plazma kaplama tozu olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği düşünülmüştür.

Olivinin bu özelliğinden hareketle plazma kaplama prosesin de kullanılabilirliği ve kaplama sonrası mikroyapı ve özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla endüstride geniş bir kullanım alanı olan 316L paslanmaz çeliğin çalışma ve özellikle aşınma performansını iyileştirmek için çelik yüzeyine olivin minerali kaplanmıştır.

Çalışmada önce plazma kaplama tekniği ve özelliklerinden bahsedilmiş olup daha sonra olivin minerali kısaca tanıtılmıştır. Deneysel kısımda ise çalışmada kullanılan olivin tozu ve özelliklerinin yanı sıra plazma kaplama ünitesi ve kaplama öncesi ve sonrasında uygulanan karakterizasyon tekniklerine yer verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda ise belli toz boyutuna sahip olivin, metalografik olarak hazırlanmış 316L kalite paslanmaz çelik numuneler üzerine ara bağlayıcı ve ara bağlayıcısız olmak üzere iki grupta kaplanmıştır. Kaplanan numuneler üzerinde metalografik hazırlama işleminden sonra mikroyapı, sertlik, pürüzlülük oranları, XRD analizi, aşınma ve kumlama testi yapılarak özellikleri incelenmiştir.

Yapılan optik mikroyapı çalışmalarında genel olarak olivinin ara yüzeyde yüzeye iyi tutunduğu ve bağlandığı belirlenmiş olup yaklaşık 300 mikron kalınlığa sahip olan kaplamaların porozite içerdiği gözlenmiştir (optik mikroyapılardaki siyah bölgeler).

Toz numuneden alınan toz morfolojisi incelemesinde tozun geometrisinin genelde sivri köşelere sahip ve plazma kaplama için istenen ideal toz geometrisi olan küresel biçimden uzak bir geometriye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı kaplama sonrası gözenekli bir yapının oluşması kaçınılmaz olarak gerçekleşmiştir. Karşılaştırma yapıldığında ise ara bağlayıcılı numunelerin porozitesinin ara bağlayıcısız kaplamaya göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

Ara bağlayıcılı olarak kaplanmış olan numunelerin aşınma ve kumlama testlerindeki performanslarının ara bağlayıcısız olanlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ara bağlayıcılı olan numunelerin gerek altlık malzemeye daha iyi bağlanma göstermesi ve gerekse porozitelerinin daha az olmasından dolayı sertlik ve mekanik özelliklerinin (bu çalışma için aşınma ve kumlama testi) ara bağlayıcısız numunelere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Aşınma testi sonrası ara bağlayıcısız numunenin aşınma mekanizmasının abrasif +adezif olduğu belirlenmiştir. Bu mekanizmanın görülmesinin sebebi nispeten daha zayıf bir bağlanma ile bağlanmış ve daha fazla porozite içeren mikroyapının daha kolay aşınmasıdır.

Buna karşılık ara bağlayıcılı numunede ise hem altlık malzemeye tutunma ve bağlanmanın nispeten iyi olması ve porozitenin az olmasından dolayı adezif aşınma mekanizmasının hâkim olduğu belirlenmiştir.

Kaplanmış numunenin XRD analizinde ise olivinin, plazma kaplama prosesi sırasında faz dönüşümüne uğrayarak kristalin yapıdan amorf yapıya kısmi bir dönüşüm geçirdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi olivinin yapısında bulunan silika içeriğinden dolayı plazma prosesinde var olan yüksek sıcaklık etkisi altında silika içeriğinin kısmi olarak veya bazen de tam ergiyerek camlaşmasıdır. Bu camı dönüşüm geçirme özelliği camı yapının gevrek özelliği dolayısıyla aslında mekanik özellikler ve aşınma açısından istenmeyen bir özelliktir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre; genel olarak sonuçlar özetlenirse

- a) Olivin tozunun plazma kaplama tozu olarak kullanılabilmesi görülmüştür

- b) Ara bağlayıcı kaplamanın ara bağlayıcısız kaplamaya göre daha iyi bağlanma ve daha az poroziteli bir mikroyapı sergilediği tespit edilmiştir
- c) Ara bağlayıcı kaplamanın ara bağlayıcısız kaplamaya göre daha üstün aşınma, sertlik ve kumlamaya karşı direnç gösterdiği bulunmuştur
- d) Aşınma testinde ara bağlayıcısız numunenin aşınma mekanizmasının abrasif +adezif olduğu buna karşılık ara bağlayıcı numunede ise adezif aşınma mekanizmasının hâkim olduğu belirlenmiştir
- e) Dolayısıyla sonuç olarak, olivin minerali tozunun ara bağlayıcı olmak kaydıyla plazma sprej kaplama tozu olarak 316L türü çeliklerin aşınmaya karşı performanslarının artırılması amacıyla değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

Olivinin plazma kaplamada kaplama tozu olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada geleceğe yönelik olarak aşağıdaki çalışmalar önerilebilir.

- a) Farklı ara bağlayıcılar denenerek aşınma ve sertlik değerleri ve mikroyapı incelemeleri yapılabilir.
- b) Altlık malzemesi olarak düz karbon çeliği ve az alaşımlı çelikler kullanılabilir.
- c) Termal bariyer kaplama olarak kullanılabilirliği araştırılabilir
- d) Farklı yüklerde ve ortamlarda aşınma testleri yapılabilir.
- e) Plazma sprej kaplama parametreleri (plazma mesafesi, tane boyutu, ark voltajı gibi) değiştirilerek farklı özellikler sağlayacak kaplamalar elde edilebilir.
- f) Isıl işlem uygulamalarıyla kaplama özelliklerinin incelenmesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ERDOĞAN, M., GÜNEŞ, İ., DEVELİ, F., “ Plazma Sprey ve Kullanım Alanları ”, Afyon Kocatepe Ün., Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Bölümü, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006, s. 61-66.
- [2] MURAKAMİ, K., YOSHİMOTO, A., OKAMOTO, T., and MİYAMOTO, Y., “ Plasma Spray of Composite Materials With Fine Titanium Carbide Particks ”, Matsci and Eng., A160 (1993) s. 137-142.
- [3] WUEST, G., KELLER, A., NİCOLL, R., and DONNELLY, A., “Plasma Spray Deposition Efeciencies”, J. Vac.Sci.Tech. A2, Nov./Dec. 1984, s.2464-2468.
- [4] KALYONCU, M., Makine İmlatı Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No:228, 14-15 Ekim 1999, Konya.
- [5] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri II, ANKARA 2001, s. 68-69.
- [6] http://www.mmf.selcuk.edu.tr/personel/yeren/yasareren/pdfdosy/jeomuh_giris/Microsoft%20PowerPoint%20-%2011-jmg-mineraller.pdf, Şubat 2008.
- [7] <http://www.beykrom.com.tr>
- [8] Ş., A., Refrakter Sanayi Hammaddeleri (Olivin), VI. Beş Yıllık Kalkınma ÖİK Raporu, 1995, s. 170-191.
- [9] <http://www.rekabet.gov.tr/pdf/04-60-862-203.pdf>, s.4, Şubat 2008.
- [10] AĞRILI, H., Batı Anadolu Bölgesi Olivin Potansiyeli, BAKSEM'99 Bildiri Özetleri Kitabı, 1999, s. 388-392.
- [11] EVCİN, A., “Kaplama Teknikleri Ders Notları”, Afyon Karahisar Kocatepe Üniversitesi 2006.
- [12] GÖL, G., “Olivinin Plazma sprej Kaplama ile Kaplanması”, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh., Tasarım-2 Ödevi, 2002, s.1

- [13] KILAVUZ, Z., “AISI Paslanmaz Çelik Üzerine Plazma Sprey Tekniği ile Kaplama ve Karakterizasyonu”, Lisans Tezi, 2004.
- [14] HERMAN, H., Plasma Spray Deposition Processes, MRS Bulletin, Ekim1988, s. 60-67.
- [15] ERCENK, E., “Bazalt Esaslı SiC Takviyeli Cem-Seramik Kaplamalar”, Sunum, Sakarya Üniversitesi, Fenbilimleri Enst. Metalurji ve Malz. Müh. 2004.
- [16] TAŞ, A., “AISI 316L Paslanmaz Çelik Üzerine Plazma sprej Tekniği ile Hidroksiapatit Kaplama ve Karakterizasyonu”, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malz. Müh., Lisans Tezi, Ağustos 2007, s. 11-12.
- [17] DEMİRTAŞ, H., TEKTAŞ, Y., BPLAZMA “Sprej Kaplama Metodu”, Sunum, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malz. Müh.
- [18] ÜSTEL, F., “Plazma Sprej Kaplama Teknolojisi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İ.TiÜ. 1997, s.8.
- [19] BÜYÜKKAYA, E., “Termal Bariyer Kaplamanın Turbodoldürmal Bir Dizel Motorunun Egsoz Emisyonlarına Etkileri”, Sakarya Üniversitesi, Fenbilimleri Enst., Makine Müh., Doktora Tezi, 1997, s.8
- [20] ÇELİK, E., Plazma Sprej Tekniğiyle Üretilen Seramik Kaplamaların Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fenbilimleri Enst., Metalurji ve Malzeme Müh., Yüksek Lisans Tezi, Eylül 1995.
- [21] www.racingplasma.com/pages/process.html, Mart 2008.
- [22] INGHAM, H., S., SHEPARD, A., P., “Metco Flame Spray Handbook”, Metco Inc., New York, 1995
- [23] www.atacelik.com/paslanmaz_celik.html
- [24] DEMİRKIRAN, A. Şükran, “Porselen üretiminde kuvars yerine zeolit ilavesi etkisinin incelenmesi ” Doktora Tezi, Mayıs 2006, SAÜ, Fen Bilimleri Enst., Sakarya
- [25] VURAL, M., “Thermal and Mechanical Behavior of Plasma Sprayed Oxide Ceramic Coating on Steels”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Haziran 1991.
- [26] www.mspusch.de/.../2_GeneralBackground.htm, Mart 2008

- [27] BİLİCİ, Kemal, M., “Alaşımız Dökme Demirlerin Aşınma Özelliği ”, Y. Lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst, İstanbul 2004.
- [28] KAYALI, E.S., ÇİMENOĞLU, H., “Hasar Analizi Semineri”, TMMOB Metalurji Mühendisliği Odası Haziran, (1990).
- [29] ASTM Standarts, G49-93 ‘ Standart Test Method for Wear Testing Pin on Disk Apparatus’, Annual Book of ASTM Standarts, 03.02, (1990).
- [30] ÇELİK, H., “Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışları”, Doktora Tezi, İTÜ, (1991).
- [31] COLOGELO, V., J., Heiser, F., A., “Analysis of Metallurgical”, John Wiley and Sons, Newyork, (1974).
- [32] Metals Handbook, “Failure analysis and Prevention”, ASM 9 th Edition, Vol. 11, (1986).
- [33] MILLER, A.E.; “Wear in Steels”, Journal of Metals, October, (1986).
- [34] AKDEMİR, Ö.; “Alaşımız Beyaz Dökme Demirlerin Mikroyapı Analizi ve Aşınmanın Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1994).

ÖZGEÇMİŞ

Nuri AYDINLI, 29.06.1981'de Bursa'nın Keles ilçesinde doğdu. İlköğrenimini İznik, orta öğrenimini ve lise eğitimini de Çınarcık'ta tamamladı. 1998 yılında Çınarcık Füzruzan Kınal Lisesi, Fen Bölümü'nden mezun oldu. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği 2004 yılında bitirdi. Eylül 2005'te Sakarya Üniversitesinde, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisansının tez dönemine geçtiğinde İstanbul'da Atlas Baca Sistemlerinde Mühendis olarak hayata atıldı. Halen Atlas Baca Sistemleri Dış. Tic. San. & Paz. Ltd. Şti. de Satış ve Pazarlama departmanında İstanbul Bölge sorumlusu olarak çalışmaktadır.