

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

**TOZ PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE BORU İÇ YÜZEY  
KAPLAMANIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak.Müh. İsmail CEYLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.**

**Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK**

**Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ**

**Eylül 2006**

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

**TOZ PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE BORU İÇ YÜZEY  
KAPLAMANIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak.Müh. İsmail CEYLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.**

**Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK**

**Bu tez 20 / 09 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yard. Doç. Dr.  
Erdal KARADENİZ  
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.  
Abdullah MİMAROĞLU  
Üye**

**Yard. Doç. Dr.  
H. Özkan TOPLAN  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli fikir ve önerilerinden faydalandığım ve bana her türlü desteği veren danışman hocam sayın Yard. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve görüşlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Fatih Üstel'e, Yard. Doç. Dr. H.Özkan Toplan'a ve Yard. Doç. Dr. Uğur Özseraç'a da teşekkür ederim. Deney numunelerimin hazırlanmasında bana atelye ve laboratuvar imkanlarından yararlanma fırsatı veren Petkim yöneticilerine, tecrübelerini ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan Uzman Müh. Fikri Gönülşen ve Uzman Müh. Haluk Gürses'e, kaplama işlemini yapan Petkim Özel Kaynaklar Formeni Ayhan Yaman'a, deney numunelerini hazırlamama yardımcı olan talaşlı imalat atelyesi, teknik kontrol laboratuvarı ve Aype-T Fabrikası Mekanik Bakım çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana verdiği yardım ve desteklerden dolayı eşim Endüstri Mühendisi Ayşegül CEYLAN'a ve biricik kızım Ayşe Burcu'ya sevgilerimi sunarım.

İsmail CEYLAN  
Eylül 2006

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ISIL PÜSKÜRTME.....	5
2.1. Alev Püskürtme.....	8
2.1.1. Toz alev püskürtme.....	11
2.1.2. Tel alev püskürtme.....	11
2.2. Plazma Püskürtme.....	12
2.3. Ark Püskürtme.....	13
2.4. Detonasyon Alev Püskürtme.....	15
2.5. Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF).....	16
BÖLÜM 3.	
TOZ ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ.....	18
3.1. Toz Alev Püskürtme Techizatı.....	20
3.2. Toz Alev Püskürtme Öncesi İşlemler.....	21
3.3. Proses Parametreleri.....	25

3.3.1. Alev ayarı.....	25
3.3.2. Püskürtme havası basıncı.....	25
3.3.3. Püskürtme mesafesi.....	26
3.3.4. Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı.....	26
3.3.5. Püskürtme hızı ve kaplama.....	26
3.3.6. Püskürtülen tabakanın sıcaklığı.....	27
3.4. Toz Alev Püskürtme Sonrası İşlemler.....	27
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>29</b>
4.1. Kaplama Altlık Malzemesi ve Kaplama Tozları.....	29
4.2. Altlık Malzemelerin Kaplamaya Hazırlanması.....	30
4.3. Kaplama İşleminin Uygulanması.....	32
4.4. Kaplama Numunelerinin İncelenmeye Hazırlanması.....	35
4.5. Kaplama Numunelerinin Ara Yüzeylerinin İncelenmesi.....	36
4.6. Kaplama Numunelerine Mikro Sertlik Deneylerinin Yapılması.....	36
4.7. Kaplama Numunelerinde Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi.....	36
4.8. Kaplama Numunelerinde Bağ Mukavemetinin İncelenmesi.....	36
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>39</b>
5.1. Ara Yüzeyin İncelenmesi.....	40
5.2 Mikro Sertlik Deney Sonuçları.....	49
5.3. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.....	55
5.4. Kaplama Bağ Mukavemetleri.....	57
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
ASTM	: Amerikan standart
d	: Çap (mm)
dB	: Gürültü şiddeti
HV	: Vickers sertlik ölçümü
HVOF	: Yüksek hızlı oksî-yakıt
n	: İş parçasının dönme sayısı (dev/dak)
V	: Çizgisel hız (m/dak)
S	: ilerleme hızı (mm/dev)
Ra	: Yüzey pürüzlülüğü
F	: Kuvvet

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Toz alev püskürtme.....	3
Şekil 2.1 Isıl püskürtme işlem sırası.....	5
Şekil 2.2 Isıl püskürtmenin enerji kaynaklarına göre çeşitleri.....	7
Şekil 2.3 Alev püskürtme tabakası.....	10
Şekil 2.4 Tel alev püskürtme sistemi.....	11
Şekil 2.5 Tel alev püskürtme şeması.....	12
Şekil 2.6 Plazma püskürtme yöntemi.....	13
Şekil 2.7 Ark püskürtme yöntemi.....	14
Şekil 2.8 Detenasyon alev püskürtme yöntemi.....	16
Şekil 2.9 HVOF yöntemi.....	17
Şekil 3.1 Toz alev püskürtme sistemi.....	18
Şekil 3.2 Toz alev püskürtme şeması.....	20
Şekil 3.3 Castolin – Rototec 80 tabanca kesiti.....	21
Şekil 3.4 Toz püskürtülecek yüzeye tornada dış açarak tutuculuk kazandırma.....	22
Şekil 3.5. Toz püskürtülecek düzlem yüzeyli parçalara tutuculuk kazandırma.....	23
Şekil 4.1 Xuper Frixtec 19850 tozuna ait duroptik daire.....	30
Şekil 4.2 Kaplama esnasında termal tabanca ile sıcaklık kontrolü.....	31
Şekil 4.3 Kaplama öncesi içine dış açılmış boru.....	31
Şekil 4.4 Toz püskürtme tabancası iç çap kaplama(uzatma) nozulu.....	32
Şekil 4.5 Toz püskürtme tabancası ve gaz ayarları.....	32
Şekil 4.6 Alev toz püskürtme yöntemi ile boru iç yüzey kaplama işlemi...	34
Şekil 4.7 Kaplama sonrası borudan kesilen halka.....	35
Şekil 4.8 Kalıba alınmış deney numunesi.....	35
Şekil 4.9 ASTM C633 standardı.....	37

Şekil 4.10 Bağ mukavemeti deney numunesi.....	38
Şekil 5.1 A1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	40
Şekil 5.2. A1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	40
Şekil 5.3. A2 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	41
Şekil 5.4. A2 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	41
Şekil 5.5. A3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	42
Şekil 5.6. A3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	42
Şekil 5.7. A4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	43
Şekil 5.8. A4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	43
Şekil 5.9. B1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	44
Şekil 5.10. B1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	44
Şekil 5.11. B3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	45
Şekil 5.12. B3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	45
Şekil 5.13. B4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	46
Şekil 5.14. B4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	46
Şekil 5.15. C3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	47
Şekil 5.16. C3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	47
Şekil 5.17. C4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50.....	48
Şekil 5.18. C4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100.....	48
Şekil 5.19. Ortalama mikro sertlik değerleri.....	53
Şekil 5.20. A numuneleri için hava basıncına bağlı sertlik değişimi.....	53
Şekil 5.21. B numuneleri için hava basıncına bağlı sertlik değişimi.....	54
Şekil 5.22. Yüzey pürüzlülük değerleri .....	55
Şekil 5.23. A numuneleri için hava basıncına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	56
Şekil 5.24. B numuneleri için hava basıncına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	56
Şekil 5.25. %100 adhezyon bağlardan kopma.....	59
Şekil 5.26. %80 adhezyon bağlardan, %20 kohezyon bağlardan kopma.....	59
Şekil 5.27. %100 kohezyon bağlardan kopma.....	59
Şekil 5.28. Bağ mukavemetleri.....	60



Şekil 5.29. A numuneleri için hava basıncına bağlı bağ mukavemetlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.30 B numuneleri için hava basıncına bağlı bağ mukavemetlerinin değişimi.....	61

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Isıl püskürtme yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri .....	8
Tablo 3.1 Yüzey hazırlama yöntemlerinin başlıca kullanım yerleri.....	24
Tablo 4.1 Altlık malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	30
Tablo 5.1 Kaplamalar için püskürtme parametreleri.....	39
Tablo 5.2 A1 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	49
Tablo 5.3 A2 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	49
Tablo 5.4 A3 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	50
Tablo 5.5 A4 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	50
Tablo 5.6 B1 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	50
Tablo 5.7 B3 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	51
Tablo 5.8 B4 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	51
Tablo 5.9 C3 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	51
Tablo 5.10 C4 kaplaması mikro sertlik ölçümleri.....	52
Tablo 5.11 Mikro sertlik ortalama değerleri.....	52
Tablo 5.12 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri.....	55
Tablo 5.13 Bağ mukavemetleri ölçüm değerleri.....	58

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüzey Kaplama, Isıl Püskürme, Alev Püskürtme, Püskürtme basıncı, Püskürtme mesafesi

Bu çalışmada, püskürtme mesafesi ve hava basıncının kaplama kalitesine etkisini araştırmak amacıyla 4", 6" ve 10" ASTM A106 GRADE A Dikişsiz Karbon Çelik boruların iç yüzeyleri toz alev püskürtme yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplamada Xuper Ultrabond 51000 astar tozu ve Xuper Frixtec 19850 kaplama tozu kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda, püskürtme mesafesi ve hava basıncı değişken kaplama parametreleri olarak kullanılmıştır. Püskürtme mesafesi olarak 50mm, 100mm ve 150 mm, hava basıncı olarak 0 bar, 0,5 bar, 1 bar ve 2 bar değerleri kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen numunelerin ara yüzeyleri, mikro sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ve bağlanma mukavemetleri incelenerek değişken parametrelerin bunlara olan etkileri tespit edilmiştir.

Deneyisel sonuçlar, yakın püskürtme mesafelerinde porozitenin arttığını fakat hava basıncının düşürülmesi ile porozitede bir miktar azalma olduğunu, uzak püskürtme mesafelerinde ise hava basıncının çok düşürülmesinin erimemiş partiküllere sebep olduğunu göstermiştir. 50 mm püskürtme mesafesi için 0.5 bar, 100 mm ve 150 mm püskürtme mesafesi için 1 bar hava basıncı bağ mukavemeti açısından en iyi değer olarak bulunmuştur.

# **INVESTIGATION OF INNER SURFACE OF PIPES COATED WITH POWDER SPRAY PROCESS**

## **SUMMARY**

**Keywords:** Surface Coating, Thermal Spray, Flame Spray, Compressed air pressure, Spraying distance

In this study, the effects of spray distance and air pressure on coating quality in 4", 6" and 10" ASTM A106 GRADE A seamless carbon steel pipes were investigated. Coating done by Flame Spray Process with Xuper Ultrabond 51000 bonding powder and Xuper Frixtec 19850 coating powder.

Spray distance and air pressure were chosen as variable parameters. Spray distances were chosen as 50 mm, 100 mm and 150 mm and air pressures were chosen as 0 bar, 0,5 bar, 1 bar and 2 bar. The interval surface images , micro hardness measurements, surface roughness and bonding strengths of experiment samples were investigated to see how they were effected by these parameters.

As a result of this study it was obvious that decreasing spray distance increased the porous area in the coating layer. When you spray from low distance, using low air pressure helps to decrease the porous area. Using low air pressure with far spray distance causes unmelted particles. For 50 mm spray distance 0.5 bar air pressure, for 100 mm and 150 mm spray distance 1 bar air pressure are the optimum pressures for best coating bond strength.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Birçok endüstriyel uygulamalarda, özellikle yüksek statik ve dinamik yüklerin bulunduğu sistemlerde, makine parçalarının bu yüklere dayanıklı olmasının yanında, özel çevre şartlarından da etkilenmemesi gerekir. Ancak her yönden bu çalışma koşullarına dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi çok masraflı olur ve parçaların oldukça pahalı malzemelerden imali gerekir.

Ağır çevre şartlarında çalışacak gerekli dayanıklılığa sahip ana metalleri, bu şartların zararlı etkilerinden korumak için çok daha ucuz bir yöntem olan, dayanıklı ana metalin yüzeyini çevre şartlarından etkilenmeyen özelliğe sahip malzemelerle kaplama teknolojisi geliştirilmiş ve kısaca “ YÜZEY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ” olarak isimlendirilmiştir. Burada kaplanan yüzeyler genellikle metal olmakla beraber, nadir durumlarda bazı metal olmayan yüzeylerin kaplanması da mümkündür. Nispeten ucuz olan ve asıl yükü taşıyan ana malzemeler, uygun kaplama malzemeleri ile kaplanarak aşınmaya, korozyona ve ısıya dayanıklı hale getirilebilir [1].

İşletmelerde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de aşınan veya kırılan makine parçalarıdır. Kırılan makine parçaları çeşitli kaynak yöntemleriyle tamir edilebilir. Aşınma nedeniyle işletme toleranslarının dışına çıkmış parçalar ise çeşitli kaplama yöntemleriyle kaplanarak tekrar orijinal ölçü değerlerine getirilebilir.

Aşınma makine parçalarının çalışma ortamındaki mekanik, kimyasal, elektro-kimyasal yada ısıl etkiler nedeniyle ağırlık, şekil ve ölçü değişikliğine uğramasıdır. Bu durum tesislerin ve makinaların çalışma verimlerinin azalması, daha fazla enerji harcanması ve yedek parça kullanım oranının artması nedeni ile işletmelerin zarar etmesine yol açar. Çalışma ortamındaki şartlardan dolayı ortaya çıkan bu problemin önüne geçmek için aşınan makina parçalarının yüzeylerinin neden aşındığının doğru

olarak belirlenmesi ve bu aşınma faktörüne dayanıklı bir malzeme ile kaplama yapılarak parçanın çalışma ömrünü uzatılması mümkündür [2].

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar, iki temel prensibe göre yapılmaktadır.

- 1- Kaplama ile metal arasında bir difüzyon bağı oluşturarak,
- 2- Kaplama ile metal arasında herhangi bir difüzyon bağı olmaksızın metal-kaplama arasındaki mekanik yapışma ile bağlanması.

Difüzyonlu kaplamalarda, metal ile kaplama arasındaki bağı özellikleri, malzeme bileşimleriyle doğrudan ilişkilidir (örneğin; galvaniz kaplama). Toz püskürtme gibi difüzyonsuz kaplamalarda ise, kaplama ve metal arasındaki mekanik yapışma tamamen kaplama prosesi şartlarına bağlıdır [3].

Difüzyonsuz kaplama yöntemlerinden Termal sprej genel bir ifadeyle benzer prosesler vasıtası ile metalik ve metalik olmayan kaplamaların uygulanması için yaygın olarak kullanılan bir grup prosesi ifade etmektedir. Çok sayıda termal spreyleme işlemi mevcut olmakla birlikte ticari olarak kullanılan dört temel spreyleme mevcuttur. Bu metotlar;

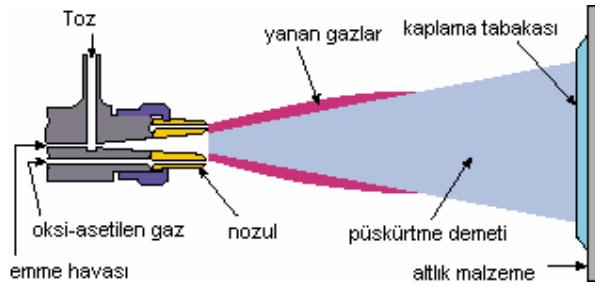
- 1- Alev Püskürtme
  - a) Toz alev püskürtme
  - b) Tel alev püskürtme
- 2- Ark Püskürtme
- 3- Detanasyon Alev Püskürtme
- 4- Plazma Püskürtme

Bu teknikler ile yumuşak metallere son derece sert seramiklere kadar çok geniş bir aralıktaki malzemeler ile hemen hemen tüm altlık malzemelerin kaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca bir malzemenin yüzeyine ince bir tabakanın spreyleneceği aşınmaya, korozyona ve ısıya karşı direnci artırmakta ve ayrıca altlık malzemenin özelliklerini etkilememektedir [4].

Termal Sprey toz halindeki metal, plastik veya seramiklerin ergimiş veya yarı ergimiş koşullarda bir altlık malzeme üzerine ivmelendirilerek bir yapışma kaplama oluşturulmasıdır. Süreç tozun ergitilmesinde kullanılan kaynağa göre tanımlanır. Bu kaynaklar yanma alevi, plazma, elektrik arkı veya patlama şeklinde oluşturulur.

Bu çalışmada ASTM A106 Karbon Çelik boru malzemesinin iç yüzeyine “Toz Alev Püskürtme” yöntemi kullanılarak bronz kaplama tozu püskürtülmüş ve malzeme yüzeyi soğuk püskürtme yöntemiyle kaplanmıştır.

Toz Alev Püskürtme yönteminde toz halindeki ilave metal bir sevk gazı ve sevk düzeneği ile iletiildiği oksii-asetilen alevi içinde eritilir ve asetilen oksijen karışımının yanması ile oluşan genleşme yardımıyla hızlandırılır (kinetik enerji) ve kaplanacak parça yüzeye püskürtülür. Şekil 1.1’de toz alev püskürtme yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.1 Toz alev püskürtme [5]

Toz alev püskürtme yöntemi sanayide bakımçıların çok sık kullandığı, uygulaması diğer yöntemlere nazaran basit ve çok fazla yatırım maliyeti gerektirmeyen bir yöntemdir. Aşınmış ve tolerans değerlerinin dışına çıkmış makine parçalarının aşınmış kısımları bu yöntemle kolay ve hızlı bir şekilde orijinal ölçüsüne getirilebilmekte ve parça kısa sürede yeniden servise girmektedir. Böylece bakım esnasında oluşan üretim kayıpları aza indirilmektedir. Bu yöntemle parça orijinal malzemesiyle aynı bir malzeme ile kaplanıp esas ölçülerine getirilebileceği gibi, prosten kaynaklanan olumsuz etkilere karşı daha dirençli bir malzeme ile kaplanarak daha uzun ömürlü olması da sağlanabilir.

Toz alev püskürtme yöntemi ile ilgili yapılan araştırmaların, genellikle püskürtme mesafesinin sınırlı olmadığı dış yüzey uygulamaları ile gerçekleştirildiği literatürden görölmektedir [6-11]

DeneySEL çalışmalarda, bronz esaslı bir toz olan Xuper FrixTec 19850 kaplama tozu ile A 106 karbon elik malzemededen boruların iç yüzeyleri kaplanmıştır. İç yüzey kaplama yaparken zaman zaman bazı kısıtlamalarla karşı karşıya kalabilmekteyiz. şöyle ki; normalde toz püskürtme yöntemiyle kaplama yaparken püskürtme mesafesi 150-200 mm civarında olmalıdır. İten içe ölçüsü bu değerin altında olan bir parçanın iç yüzeyine kaplama yaparken yukarda belirtilen mesafelerden daha kısa bir mesafeden püskürtme yapmak zorunda kalmaktayız. İç yüzey kaplamalarda tozu malzemenin iç kısımlarına ulaştırmak amacıyla bir uzatma nozulu kullanılmaktadır. Bu nozuldaki tozun çıkış noktası ile kaplama yapılacak yüzey arasındaki mesafe çok kısa ise kaplama kalitesinde problemler yaşanmaktadır.

Bu çalışmada “mesafeden kaynaklanan bu kısıtlamanın olumsuz etkilerini azaltmak için kaplama esnasında kullanılan proses parametrelerinden biri olan püskürtme hava basıncını değiştirmek kaplama kalitesine ne gibi etkiler yapmaktadır”, bu araştırılmıştır. DeneySEL çalışmalarda püskürtme havasının basıncı ile oynanarak bunun kısa mesafeden yapılan püskürtmelerde kaplama kalitesine etkileri incelenmiştir.



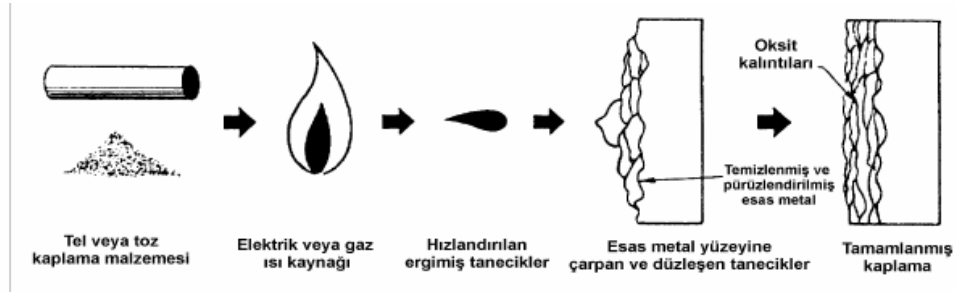
## BÖLÜM 2. ISIL PÜSKÜRTME

Isıl püskürtme, ince öğütülmüş metal, metaloksit veya plastikleri, ergimiş veya yarı ergimiş durumda, uygun bir altyapı üzerine kaplama yapmak üzere yaymak yöntemidir [12].

Ergitme için gerekli olan ısı, ısıl püskürtme tabancaları ile sağlanır. Bu tabancalar ısıyı yanıcı gazlar veya elektrik arkı kullanarak üretirler. Kaplama malzemeleri ısıtılarak, basınçlı hava ile ergimiş veya yarı ergimiş halde kaplanacak yüzeye doğru ivmelendirilirler [13].

Yüzeye çarpan damlacıklar darbe etkisi ile düzleşir ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak katlaşıp birbiri ile temas haline gelerek kaplama tabakasını meydana getirirler [6].

Toplam Kaplama kalınlığı, spreylenen malzemenin gerilim sınırlamalarına bağlı olarak 0,0025-10 mm aralığında olabilir [7].



Şekil 2.1 Isıl Püskürtme işlem sırası [6]

Altlık ve kaplama tabakası arasındaki bağ mekanik, kimyasal, metalurjik veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir. Yapılan kaplamanın özellikleri kullanılan kaplama malzemesine, ısı püskürtme yöntemine ve uygulama parametrelerine göre değişir.

Isıl püskürtme yöntemiyle elde edilen kaplamalar genelde yüksek aşınma direncine sahip oldukları için tercih edilirler. Kaplama yapılmış yüzeyin sertliği ve yoğunluğu kaplamada kullanılan ekipmana ve kaplama parametrelerine göre değişim gösterir. Genelde partikül hızı arttıkça elde edilen yüzeyin sertliği ve yoğunluğu artar. Yüzey sertliği ve yoğunluğu parça sıcaklığı ve kullanılan atomizasyon gazının çeşidine göre de değişir. Kaplamadaki porozite de uygulanan ısı püskürtme prosesi, kaplama parametreleri ve kaplama malzemesine göre değişim gösterir.

Bazen yüzeyler ısı püskürtmeyle kaplanarak korozyona karşı dayanıklı bir yüzey elde edilmek istenir. Böyle durumlarda işletme ortamının sıcaklığı ve kimyasal özellikleri de göz önüne alınarak korozyona dayanıklı bir malzeme ile kaplama yapılır ve esas metalin korozif ortama maruz kalması önlenir.

Isıl püskürtme kaplamaları çok yüksek bağ mukavemetlerine sahip olabilir. Çok yüksek partikül hızlarıyla kaplanmış, aşınmaya karşı dirençli kaplama uygulamalarında 34,000 kPa üzerinde bağ mukavemetleri elde edilebilir. Kaplamalarda bağ mukavemeti ASTM C633 “ Isıl Püskürtme Kaplamaları Yapışma Mukavemeti Ölçüm Standardı”na göre ölçülür [13].

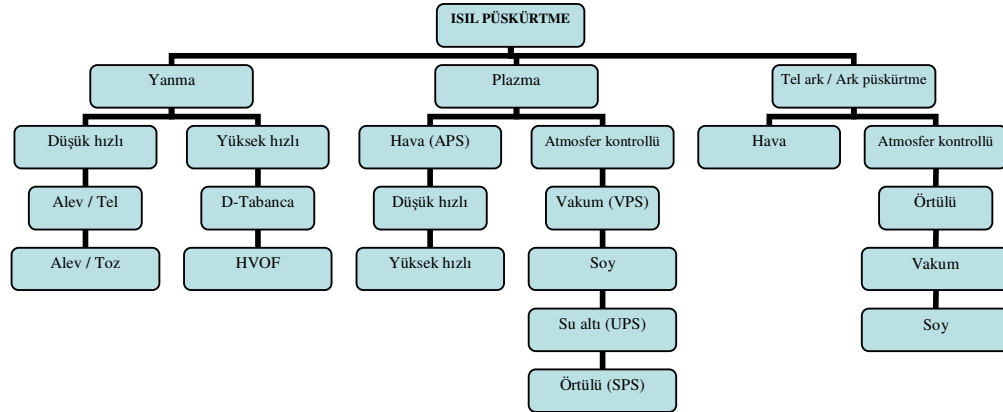
Isıl püskürtme ile yapılmış kaplamaların göze çarpan en önemli özelliği geniş bir alanda uygulanabilir olmasıdır. Bu uygulanabilirlik iki nedenin sonucu meydana gelmektedir. Birincisi; malzeme bileşimindeki limitsizlik ve özel uygulamalar için ısı püskürtme metotlarının uygulanabilir olması, ikincisi ise işlem sırasında parça sıcaklığının (100-260 °C ) arasında oksidasyonu, distorsiyonu ve faz dönüşümlerini minimize etmek için düşük tutulabilmesidir. Isıl püskürtme ile kaplanmış kaplamalarda yüksek partikül hızı, daha iyi bağ mukavemetini, aşınmaya karşı direnci daha büyük olan kaplamaları meydana getirmektedir [7].

Ergiyen kaplama malzemesinin esas metal ile birleşmesi ve tabaka oluşturması difüzyon ve kaynak kabiliyetine bağlıdır. Kaplamalar genellikle mekanik bağlanma ve kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır. Enerji kaynağı (yanıcı gaz veya elektrik), kaplama malzemesi (tel veya toz) ve atmosfer (hava, düşük basınç veya soy gaz) bakımından birbirlerinden farklılık gösteren ısı püskürtme yöntemleri;

- 1- Alev Püskürtme
- 2- Plazma Püskürtme
- 3- Ark Püskürtme
- 4- Detonasyon Alev Püskürtme şeklinde sıralanır [6].

Isıl püskürtme ailesine katılan en son ilave, Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF) yukarıda sayılan yöntemlere alternatif olarak kurulmuştur [14].

Şekil 2.2’de ısı püskürtmenin enerji kaynaklarına göre çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Isıl püskürtmenin enerji kaynaklarına göre çeşitleri [15]

Tablo 2.1’de ısı püskürtme yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Isıl püskürtme yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri [16]

Biriktirme Yöntemi	Isı Kaynağı	Yönlendirici Gaz	Malzeme Besleme	Tabanca İçindeki Sıcaklık°C	Partikül Hızı m/sn	Kaplama Malzemesi Türü	Kaplama Porozitesi %	Nisbi Bağ Mukavemeti
Alev Püskürtme	Oksijen-asetilen Osijen-hidrojen	Hava	Tel Toz	3000 3300	240 30-120	Metalik Metalik/Seramik	8-15 10-20	İyi
Plazma Püskürtme	Plazma arkı	Soy gaz	Toz	12000 16000	120-450	Metalik, sedamik plastik ve karışımları	2-5	İyi Mükemmel
Detanasyon Alev Püskürtme	Oksijen-asetilen-azot gaz detanasyonu	Detanasyon Dalgaları	Toz	4500	800	Metalik, sedamik ve karışımları	0,1-1	Mükemmel
Elektrik Ark Püskürtme	Elektrotlar arası ark	Hava	Tel	6000	240	Nispeten Sünek malzemeler	8-15	İyi

## 2.1. Alev Püskürtme

Bu proseste, bir oksijen-asetilen karışımı bir memeden geçirilir ve bir yanma alev formunda tutuşturulur. Kaplama malzemesi toz yada tel şeklinde alev içine beslenerek, kaplama biriktirme formu için altlık yüzeyi üzerine ivmelendirilir ve yönlendirilir [17].

Termal püskürtme yöntemlerinin en eskisi alev püskürtme yöntemidir. Yöntem, çok geniş bir kaplama malzemesi yelpazesine sahiptir. Metal teller, seramik çubuklar ve metalik ve metalik olmayan bir çok toz çeşidi bu yöntemde kullanılmaktadır. Alev püskürtme yönteminde, malzeme beslemesi kesintisiz olarak püskürtme tabancasının ucuna yapılır ve burada yakıt olarak kullanılan gaz ile eritilip, atomize olmuş gaz akımı içerisinde altlık malzemeye püskürtülür. Yanıcı gaz olarak genelde asetilen ve propan kullanılır. Gazı atomize etmek için hava kullanılır. Yüksek erime sıcaklığına sahip kaplama tozları veya telleri için genelde asetilen tercih edilir. Yanmanın

görünümüne bakarak alev yumuşak, nötr veya sert alev olarak ayarlanabilir. Alüminyum ve polimer gibi düşük erime sıcaklığına sahip kaplama malzemelerinin uygulamasında ise daha düşük yanma ısısına sahip olan propan kullanılır. Bir alev püskürtme sisteminin temel elemanları, alev püskürtme tabancası, malzeme besleme stoğu ve besleme mekanizması, oksijen,yanıcı gaz ve hava için basınç ve akış regülatörleridir [13].

Termal püskürtme işlemlerinin en basit ve en ucuzu olan alevle püskürtme, hem tel hem de toz kullanılan temel sistemlere uygulanabilir. Fakat bir dereceye kadar düşük basınç ve düşük akış oranı, partiküllerin de düşük hızlı ( 40 m/sn) olmasını sağlar. Bundan dolayı kaplamalar daha çok gözenekli ve bağ gücü düşüktür. Sistemlerin uygulanması çok basittir ve elle rahatlıkla kullanılabilir [18].

Alev püskürtme yönteminin düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek dolgu oranı ve düşük bakım masrafı en önemli olan üstünlükleridir. Ancak, daha düşük bağlantı mukavemeti (bonding strength), kaplama tabakasındaki yüksek boşluk seviyesi ve düşük çalışma sıcaklığı yöntemin olumsuz olan özeliğidir. Bu yöntem, aşınmış veya tolerans dışına çıkmış parçaların yenilenmesi amacı ile endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

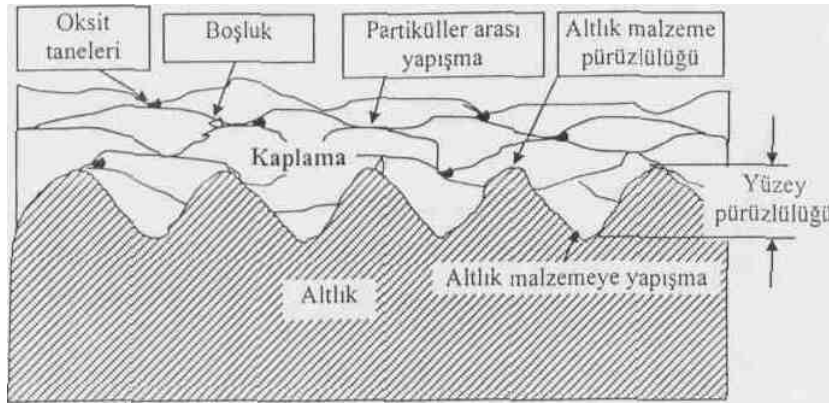
Günümüze kadar bir seri ısı püskürtme yöntemleri geliştirilmekle beraber bu yöntemlerden özellikle alev ile püskürtme yöntemi; düşük ilk yatırım maliyeti, kolay uygulanabilirliği ve düşük bakım masrafı ile uygulamada yaygın olarak kullanılmakta ve toz veya tel şeklindeki malzemeler püskürtülebilmektedir [19].

Alev püskürtme kaplamaları normal olarak yaklaşık 50 mikrondan birkaç milimetreye varan kalınlıklarda kullanılır. İhtiyaç duyulan kaplama kalınlığı, uygun kaplamanın seçiminde genellikle büyük rol oynar. Alev püskürtme, yıpranmış parçaları kurtarmak, yüksek sıcaklık ve ortam sıcaklığında korozyonu önlemek için kullanılabilmesine rağmen işlemin en geçerli kullanımı aşınmaya, erozyona yada aşındırmaya karşı direnç sağlamasıdır.

Alev püskürtme, diğer püskürtme proseslerindeki gibi bir soğuk proses olarak kabul edilmektedir. Öyle ki altlık malzemesi çok sınırlı bir sıcaklık yükselmesini sağlamaktadır. Bu sıcaklık yükselmesi yaklaşık olarak 200 ° C civarındadır [7].

Alev ile püskürtme yönteminde 25-30 Mpa bağlantı mukavemetli, % 10-15 aralığında değişen boşluk miktarı, saatte 0.5-0.6 kg çökeltme oranı ve % 15'e kadar oksit bileşenli kaplamalar elde edilmektedir. Alevle püskürtme yöntemi ile elde edilen metalik kaplamalardaki boşluk miktarı, püskürtme, işleminden sonra kaplama yüzeyine uygulanan ısıtma işlemi ile (oksi-asetilen veya endüksiyon ısıtma gibi) azaltılabilir. Bu yöntem ile sıfır boşluk seviyeli kaplama tabakası ile esas metal ve kaplama tabakası arasında güçlü bağlanma elde edilmektedir [19].

Alev püskürtme kaplama tabakasının yapısı Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3 Alev püskürtme tabakası[7]

Alev Püskürtme tekniği kaplama malzemesinin formuna bağlı olarak iki sınıfa ayrılır

- a) Toz alev püskürtme
- b) Tel alev püskürtme

### 2.1.1. Toz alev püskürtme

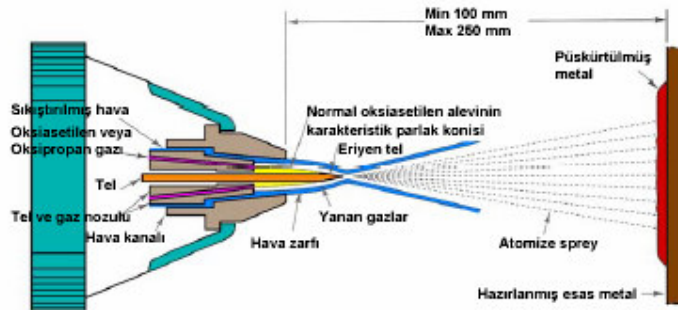
Toz alev püskürtme tekniğinde toz formunda üretilen metal alaşımları vakum yardımı ile oksii-asetilen alev içerisine beslenir. Ergiyen metaller iş parçası yüzeyine taşıyıcı gaz yardımı ile taşınmaktadır. Kaplama esnasında iş parçasının sıcaklığı 200°C'yi geçmediğinden altlık malzemede herhangi bir distorsiyon ve metalurjik dönüşüm görülmemektedir. Bu konu Bölüm 3'te detaylı olarak ele alınacaktır.

### 2.1.2. Tel alev püskürtme

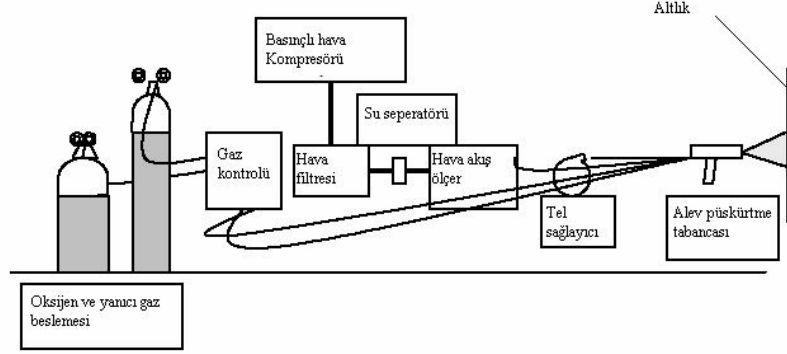
Tel alev püskürtme, tel halinde üretilmiş ve ergime sıcaklığı oksii-asetilen alev sıcaklığının altında olan herhangi bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtölmesi olayıdır. Kaplanacak metal tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenmektedir. Tel nozul içinden geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımı ile ergitilmektedir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtölmemektedir. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ergitilmesini sağlamaktır. Kaplanan yüzeyin sıcaklığı 95-200°C arasında değişmektedir. Bu sistemde kullanılan teller yüzlerce metre uzunlukta olabilir ve teknik açıdan kontinü sistem olarak değerlendirilmektedir [34].

Tel alev püskürtme ile, biriktirilecek metal makara yada halkadan tabancaya sürekli bir şekilde temin edilir. Bazı durumlarda kesilmiş metal çubuklar kullanılır [7].

Tel alev püskürtme sistemi ve şeması şekil 2.4 ve 2.5'de verilmiştir.



şekil 2.4 Tel alev püskürtme sistemi[21]



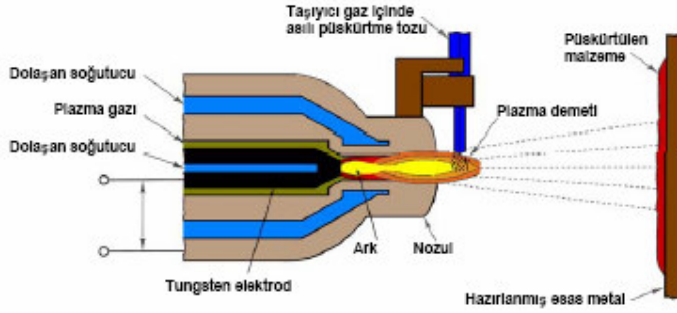
Şekil 2.5 Tel alev püskürtme şeması[13]

Tel kullanan tabanca temel olarak iki parçadan ibarettir. Bunlar teli besleyen sürme ünitesi ve sıkıştırılmış hava, diğeri oksijen ve yakıt gazının akışını kontrol eden gaz başlığıdır. Bütün tel kullanan tabancaların çalışma prensipleri birbirine çok benzerdir. Tel sürme ünitesi, motor ve sürme çubuklarını kapsar. Ayarlanabilir hız kontrolü ile hava yada elektrikselsel olarak tahrik edilir. Hız kontrolleri güç tipine bağlı olarak mekanik, elektromekanik, elektronik yada pnömatik olabilir [7].

## 2.2. Plazma Püskürtme

Plazma, elektriği ileten iyonize olmuş bir gaz akımıdır. Püskürtme işleminde kullanılan plazma alevi direkt etkili olanıdır. Prensip olarak direkt su ile soğutulan ve ucu bir meme şeklinde daralan ve de anot olarak kullanılan bir zarf ve merkezinde izole edilmiş olan katottan oluşur. Bu üfleçten geçen gaz ( argon, helyum, hidrojen içeren azot) anot ve katot arasında teşekkül eden arkta ısınır ve iyonize olarak memeden bir plazma jeti halinde çıkar. Bu jetin çıkış hızı 5000 ila 6000 m/sn ve sıcaklığı ise 15000 ila 25000 °C'dir. Toz halindeki püskürtme malzemesi plazma jetinde erir ve parça üzerine püskürtülür [22].





Şekil 2.6 Plazma püskürtme yöntemi[21]

Plazma püskürtmenin avantajları, tungsten ve seramik gibi yüksek erime sıcaklığına sahip metallerin püskürtülmesine olanak sağlaması ve bu yöntemle daha yoğun, sağlam ve temiz bir kaplama yüzeyinin oluşturulabilmesidir. Plazma püskürtme çok geniş bir uygulama alanına ve çok yönlü kullanıma sahiptir [23].

Bu proseste altlık malzeme spesifik soğutma aygıtlarıyla nispeten düşük sıcaklıklarda tutulabilir [24]. Bu yöntemde düşük sıcaklıktan dolayı ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) distorsiyon olmadığından son halinde işlenmiş malzemeler kaplandığında mikro yapılarında değişme meydana gelmez [4]. Dezavantajı ise yüksek maliyet ve kompleks bir prosese sahip olmasıdır [23].

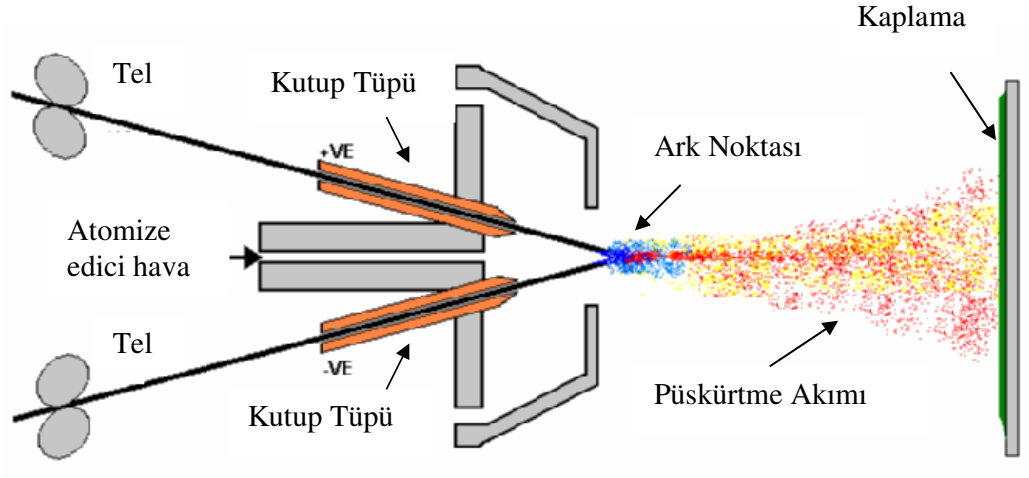
Ülkemizde plazma püskürtme kaplama uygulamaları askeri fabrikalarda, TÜBİTAK, THY, TUSAŞ ve özel sektörde ve de üniversite olarak Sakarya Üniversitesinde yapılmaktadır [3].

### 2.3. Ark Püskürtme

Bu yöntemde  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bölgesel sıcaklıklar sağlayan iki tel elektrot arasında bir ark oluşturulmakta ve burada eriyen malzeme esas metale bir gaz jeti ile (genelde basınçlı hava) ile gönderilmektedir [25].

Bu yöntemi diğer ısı püskürtme yöntemlerinden farklı kılan, prosese dışarıdan herhangi bir gaz/alev yardımıyla ısı verilmeyişidir. Isıtma ve ergitme, opozit yüklere sahip, püskürtme metalinden oluşan ve devamlı beslenen iki telin kesişim noktasında

oluşturulan kontrollü elektrik arkı ile sağlanmaktadır. Eriyen metal atomize olmakta ve basınçlı hava veya gaz jeti ile kaplanacak yüzeye doğru itilmektedir [26].



Şekil 2.7 Ark püskürtme yöntemi [27]

Tabanca nispeten basittir. İki kılavuz, telleri ark oluşum noktasına yönlendirmektedir. Bu noktadan önce basınçlı hava veya gazı ark noktasına yönlendiren bir nozul bulunmakta ve bu hava veya gaz erimiş metali atomize ederek esas malzemenin üstüne taşımaktadır. Genel olarak 450 A lik bir güç ile 50 kg/saat püskürtme yapılabilir. Tel sürme işlemi havalı veya elektrikli bir motor ile yapılır. Voltaj, amper ve basınç regülatörleri ile kontrol sağlanır.

Ark elektrik püskürtme işlemi özellikle büyük malzemeler üzerine kalın kaplamaların yüksek hızlarda biriktirilmesi için uygundur. Elektrik ark püskürtme ile kaplanmış numuneler alevle kaplanmış numunelere göre yüksek bağ mukavemeti, yüksek biriktirme hızı, düşük oksit miktarı ve düşük kaplama maliyeti bakımından avantajlıdır [8].

Bu yöntem için temel uygulama çelik yapıların korunmasıdır. Örneğin bu yapılar atmosfer ve deniz korozyonundan etkilenen köprüler ve sahile yakın platformdaki çelik yapılardır. Yıllardır çinko temel kaplama olarak kullanılırdı. Fakat bileşiğin sülfür ve azot oksitlerin asidik sanayi atmosferleri ve kirliliğe karşı korunması

gerektiğinde özellikle alüminyum artan oranda kullanılmaktadır. Ark spreyleme düşük karbonlu çelik, % 13 kromlu çelik ve alüminyum bronzları gibi malzemelerle, eskimiş miller, yataklar ve muyluları doldurmak için de kullanılır [18].

Ark püskürtme ile üretilen kaplamalar sık sık yüksek seviyede gözenekler içerir ve alt tabaka ile düşük bağ mukavemetine sahiptir. Gözenek korozif akışkanların kaplamaya doğru geçmesine izin verdiği ve böylece alt tabakayı koruma yeteneğini azalttığı için zararlıdır. Düşük bağ mukavemetine sahip kaplamalar, serviste zamanından önce kopar yada tabaka tabaka ayrılır. Bundan dolayı ark püskürtme işlemi genellikle yüksek gözenek seviyesinin kabul edilebildiği, istenmeyen kaplama hatalarının ciddi hasara neden olmadığı ve hasara uğramış kaplamaların kolaylıkla değiştirilebileceği yerlerdeki uygulamalarla sınırlıdır [7].

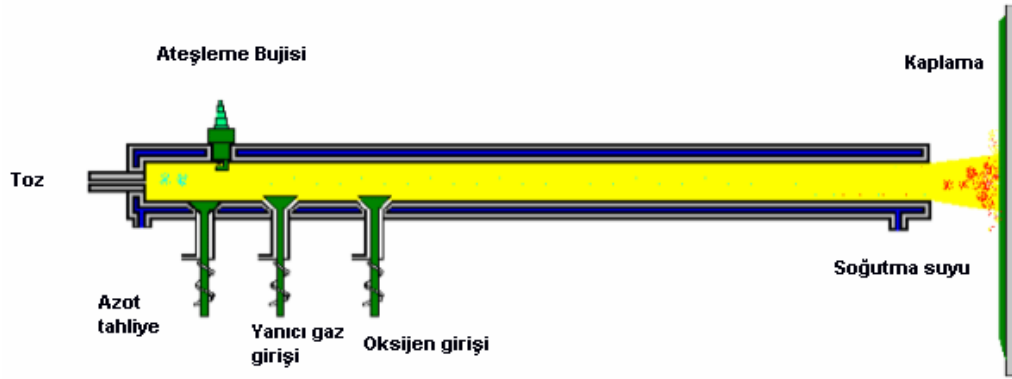
#### **2.4. Detonasyon Alev Püskürtme**

Detonasyon Alev Püskürtme, özel olarak tasarlanmış bir tabanca ile yapılır. Tabanca oksijen, asetilen ve azot içinde asılı olan tozlaştırılmış kaplama malzemesinin enjekte edilecek miktarlarının ölçüldüğü bir hücreyi içermektedir [8]. Oksi-asetilen karışımı bir buji ile ateşlenir. Bu detonasyon sonrası kaplama malzemesi erir ve 600m/sn hızla ivmelenir. Ateşleme sonrası 4000 °C sıcaklığa ulaşılır [28]. Her bir ateşlemeden sonra hücreye yeniden azot gönderilir. Kullanılan ekipmana bağlı olarak saniyede 1-15 ateşleme yapılır [29]. Ergimiş partiküller iş parçasının yüzeyine çarparlar. Tabanca içindeki başarılı detonasyonlar, istenilen kalınlık için biriktirme işlemi sağlar [8].

Sıcak toz partiküllerinin sahip olduğu yüksek kinetik enerjili çarpma sonrası altlık malzeme üzerinde çok sağlam ve yoğun bir kaplama tabakası oluşur [29].

Bu işlem ile yüzey sertliği 50-60 HRC2den daha yüksek sertliğe sahip tüm malzemeler kaplanabilmektedir. Metalik olmayan malzemeler bu yöntemle kaplanamazlar. Çünkü yüksek hızdaki gaz akışı yüzey erezyonuna neden olur [30].

Kinetik enerji hızın karesinin fonksiyonu olduğundan detonasyon tabancasından çıkan partiküller, alev püskürtme tabancasından çıkan partiküllerinkinden en az 25 kat daha büyük bir enerji ile yüzeye çarparlar. Bunun neticesinde % 0,25-1 gözeneklilik aralığına sahip kaplamalar yaygın olarak bu ekipmanla gerçekleştirilir. Püskürtme işlemi detonasyonlar dizisi olduğundan gürültü düzeyi oldukça yüksektir. Püskürtme olarak bu gürültüyü içeren ve özel olarak yapılmış bir uygulama odasında yapılır.[8] Gürültü seviyesi yaklaşık 150 dBA civarındadır [28].



Şekil 2.8 Detonasyon alev püskürtme yöntemi[29]

## 2.5. Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF)

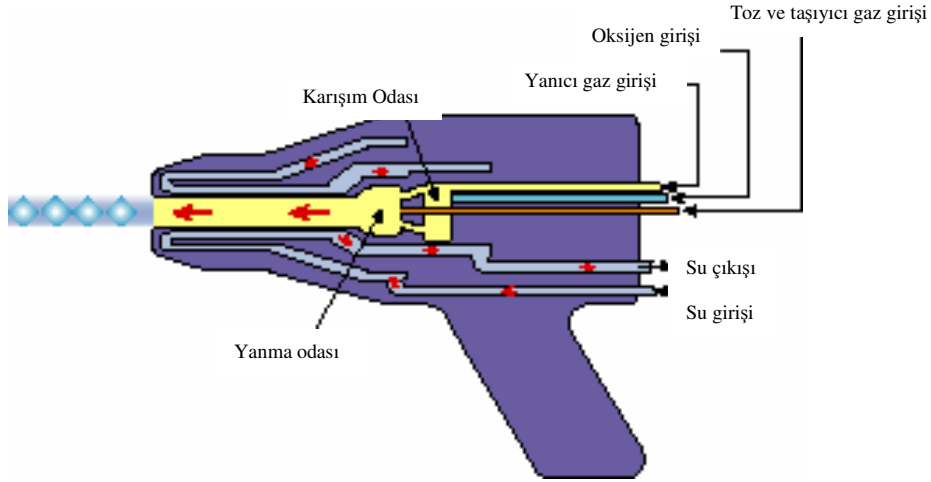
Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme prosesi temel olarak alev püskürtme prosesi ile aynıdır. Bu proses alev püskürtme prosesinden çok daha yüksek bir püskürtme hızı elde edebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir [31]. Bu yöntemdeki en önemli fark gaz yakıtı yerine sıvı yakıtı kullanımındır. İşlem, alev püskürtme işlemine benzer olarak kaplama tabakasını oluşturan malzemenin sıcaklık etkisi ile ergitilmesi ve daha sonra kaplamanın yapılacağı yüzeye gönderilmesi işlemidir. Ancak yanıcı gaz olarak kullanılan propan, propilen veya hidrojen, HVOF tabancası içerisindeki bir odada alev ile püskürtme işleminde kullanılmadan önce çok daha yüksek basınçlarda patlatılır. Ayrıca alevle püskürtme işleminde yanıcı-yakıcı gazın birleşimi tabanca dışında meydana gelmekte, buna karşın HVOF yönteminde ise tabanca içerisinde gerçekleştirilmektedir. Genleşen gaz jetinin nozul yardımı ile hızı daha da artırılır ve kaplama tabakası meydana getirecek tozun jete eklenmesi ile ses üstü (550-800 m/sn) bir hızda kaplama işlemi gerçekleştirilir [32].

Temelde çok basit olmasına rağmen toz besleme konumu, gaz akış oranları ve oksijen/yakıt oranı gibi önemli parametreleri vardır [33].

HVOF yöntemi ile gerçekleştirilen kaplama tabakaları son derece düşük artık gerilmeler içeren kaplamalar, 12 mm'ye kadar kaplama kalınlıkları, tamamen homojen bir kaplama tabakası mikro yapısı, püskürtme işleminde parça şekline daha az bağımlılık, kaplama tabakasının kimyasal bileşiminde esneklik, kaplama tabakasında düşük oksit bileşenleri, düşük gözeneklilik, yüksek bağlantı mukavemeti gibi özellikler göstermektedir [34].

Geleneksel püskürtme prosesleri içerisinde en yüksek bağ dayanımı ( $> 70$  MPa) ve en düşük oksit içeriği (%1-5) HVOF'a aittir [33].

Gaz sıcaklığı  $3300$  ° C civarında olduğu için seramik kaplama yöntemi için uygun bir proses değildir [35].

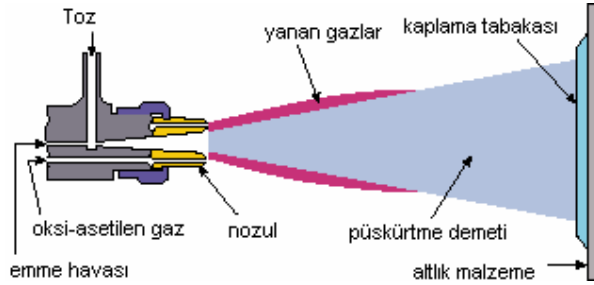


Şekil 2.9 HVOF yöntemi

### BÖLÜM 3. TOZ ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ

Bu yöntemle toz halindeki ilave metal bir sevk gazı ve sevk düzeneği ile iletildiği oksii-asetilen alevi içinde eritilir ve asetilen oksijen karışımının yanması ile oluşan genleşme yardımıyla hızlandırılır (kinetik enerji) ve kaplanacak parça yüzeye püskürtülür [36].

Bu metotla, püskürtülecek malzeme, huniden tabancaya toz formunda temin edilir. Huni tabancadan uzak yada ona gömülü olabilir. Toz aleve hava besleme sistemi, oksijen akıntısı yada çekim kuvveti ( ağırlık) ile taşınır yada emilir. Gelen toz sıkıştırılmış hava jetiyle yada yanma gazlarıyla altlık malzeme üzerine gönderilir [7].



Şekil 3.1 Toz alev püskürtme sistemi[5]

Toz püskürtmede ince parçacıklar birçok ısı kaynağının içinden sevk edilirken ergimiş ya da yarı ergimiş hale gelirler; bir alt yapıya çarptıklarında yassılırlar ve ince plaket veya lamel haline gelerek yüzeyin herhangi bir düzensizliğine uyum gösterirler. Yüzey, bu iş için önceden pürüzlendirildiğinde, bu düzensizlikler, terk edilen parçacıklara takılma (demirleme) yeri olurlar. Bu parçacıklar, bu kez, arkadan gelenlere takılma yeri teşkil eder ki böylece yapılmış bir dolgu hasil olur. Bu mekanik bağlantı boyunca parçacıkların bazı nokta ergimesi ve bazı oksit oksite bağlanması meydana gelirse de esas bağlantı mekanizması mekaniktir [37].

Isı durumuna göre toz püskürtme kaplamaları soğuk püskürtme ve sıcak püskürtme olarak ikiye ayrılır. Yaptığımız deneysel çalışmaların hepsinde soğuk püskürtme yöntemi kullanılmıştır.

Soğuk püskürtmede iş parçası 300 ° C yi geçmemelidir. Eğer geçecek olursa zaman zaman soğutmak gerekir.

Bundan dolayı malzemede sıcaklık artışı fazla olmadığından, metalik yapı değişikliği ve boyutsal çarpılmalar meydana gelmez. Bu tür kaplamalarda kaplama tozu püskürtülmeden önce yüzeye bağlama özelliği olan astar tozu atılır. Son zamanlarda üretilen soğuk kaplama tozlarının bazıları astar gerektirmeden kullanılabilir. Yaptığımız deneysel çalışmalarda astar toz kullanılarak yüzeye bağlama özelliği verilmiştir.

Soğuk püskürtme oksijen ve asetilen gazları kullanılarak mikro alaşımlarla makine parçalarının imalat ve tamiratında orijinal kalıcılık sağlar. Bu işlem ana metalin fazlaca ısınmasına neden olmaz, yapıda sertleştirilmiş veya yüzey bölümlerinde çeşitli şartlara adapte olacak şekilde hazırlanmış parçanın yapısında bir değişiklik meydana getirmez. Biten bölümlerde az miktarda sıcaklık yükselmesinden dolayı herhangi bir distorsiyona rastlanmaz. Dolayısıyla parçalar çabuk olarak servise sokulmuş olurlar.

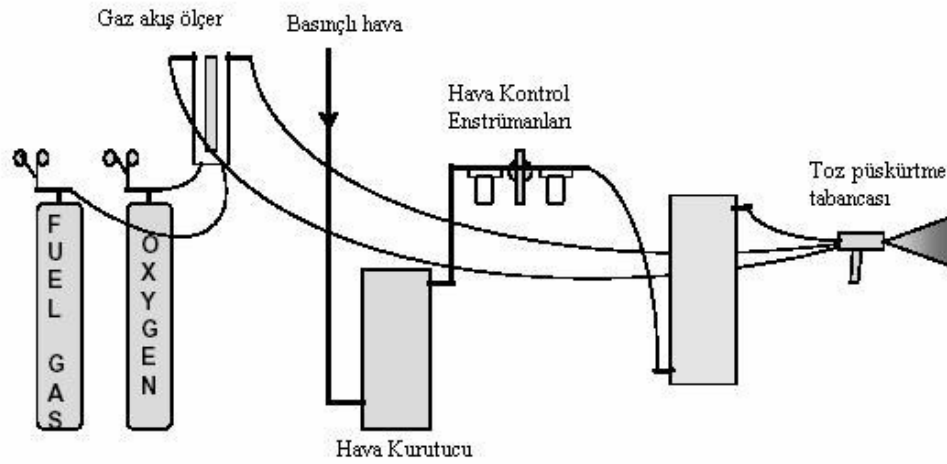
Soğuk püskürtme işlemi makine tamirinin hemen her tarafında kullanılırlar. Bu işlemler saf bakır hariç bütün metallerde uygulanabilirler.

Sıcak püskürtme işleminde normal veya kısmi redükleyici yani asetilen fazlası bir alevle püskürtme yapılır. Dönen iş parçası 100 ila 300 °C arasında bir ön tavlama tabii tutulur. Daha sonra 200 mm mesafeden toz püskürtme yapılır ve hemen arkasından ergitme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemle toz metalin ana malzemeye kaynaması sağlanır. Toz metalle yüzey kaplandıktan sonra kaplanmış kısım ikinci bir hamlaçla ısıtılarak gerek tozun metalle, gerekse tozun tozlarla tam olarak kaynaşması sağlanır. Ve partiküller arasındaki gözeneklilik minimuma indirilir [9].

### 3.1. Toz Alev Püskürtme Teçizatı

Toz alev püskürtme donanımı daha basit ve plazma sprej donanımından daha ucuzdur. Bununla beraber alev püskürtmede sprej hızı daha düşüktür. Donanım kolay taşınabilecek şekilde tasarlanabilir [8].

Şekil 3.2’de toz alev püskürtme sisteminin elemanları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Toz alev püskürtme şeması[13]

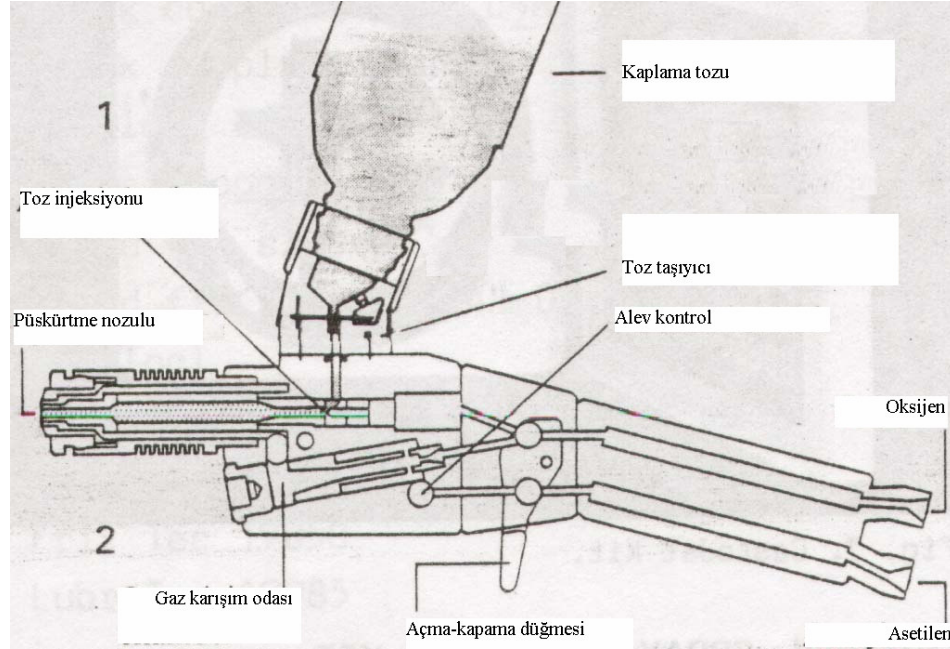
Tipik bir toz alev püskürtme düzeneği şunlardan oluşur:

- 1- Oksijen ve yanıcı gaz gereçleri, basınç monometresi ve regülatörü
- 2- Basınçlı hava kaynağı ve kontrol ünitesi
- 3- Tabancaya gömülü yada ayrı toz hunisi
- 4- Toz püskürtme tabancası
- 5- İş parçasını tutma aleti
- 6- Ön tavlama için hamlaç

Toz alev püskürtme düzeneğinin en önemli elemanı püskürtme tabancasıdır. Tabancanın püskürtülecek malzemenin nakli, tozun bir yanıcı gaz-oksijen aleviyle eritilmesi ve ergimiş tozun püskürtülerek esas metale nakli şeklinde üç önemli fonksiyonu vardır.



Şekil 3.3’de Castolin - RotoTec 80 toz püskürtme tabancasına ait kesit resmi bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Castolin – Rototec 80 tabanca kesiti [38]

### 3.2. Toz Alev Püskürtme Öncesi İşlemleri

Öncelikle kaplanacak yüzey ve çevresi yağdan arındırılır. Bunun için temiz trikloroetilen veya selülozik tiner kullanılır.

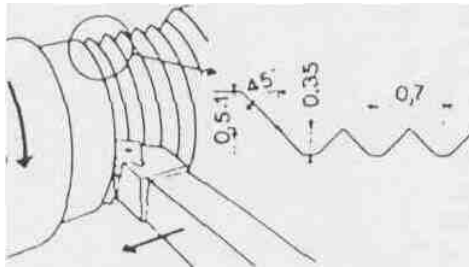
Kaplanacak bölgede, aşınma sonucu oluklar; derinlemesine izler gibi düzensiz yüzeyi düzeltmek amacıyla; yorulmuş malzeme tornada alınarak düzgün bir yüzey elde edilir [39].

Güçlü bir bağ elde etmek için ilk önce, yüzey ve buna bağlı alanlar yağ, oksit, kir ve diğer yabancı maddelerden arındırılmış olmalıdır. Temizlik, spreyleme işleminden önce yapılmalı ve işlem sırasında korunmalıdır. Özel tutma ve saklama prosedürü bundan emin olacak şekilde korunmalıdır. Dökme demir gibi malzemeler kum püskürtme ile temizlenebilirler. Döküm üzerine basınçlı hava püskürtülür ve oksit

kabuğu mekanik olarak kaldırılır. Küçük işletmelerde kum püskürtme aspiratörlü odalarda yapılır fakat işlemin dışarıdan kumanda edilmesi daha yerinde olur. Kum püskürtme temizlenecek malzemenin yüzeyini etkiler ve bazen de mat bir yüzey arzu edildiğinde son işlem olarak kullanılır [40].

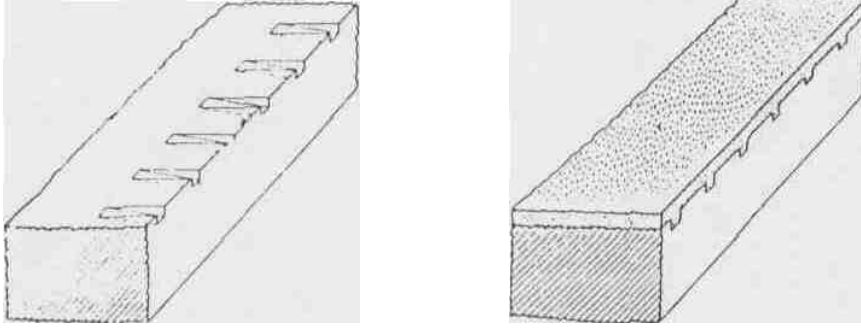
Kumlama tabiri, dere kumu ile kumlamayı ifade etmez. Kumlamadan kasıt, alüminyum oksit ( zımpara maddesi) köşeli zerrelere ( genelde demir-çelik malzemelerin pürüzlendirilmesinde kullanılır) veya silisyum karbür zımpara maddesinin ( genelde pik ve emsali malzemenin pürüzlendirilmesinde kullanılır), iş parçası üzerinde toz bırakmayacak şekilde temizlenmesi ve pürüzlendirilmesidir. Bu amaç için çeşitli tane iriliğinde aşındırıcı malzemeler temin edilmelidir. Kumlamadan sonra 1-2 saat içerisinde püskürtme işlemine geçilmeli ve parçanın kirlenmemesine dikkat edilmelidir [7].

Yüzey temizleme işleminden sonra yüzeye tutuculuk kazandıracak işlemlere geçilir. Dairesel parçalarda torna klemi ile metal toz püskürtülecek yüzeye şekil 3.4'de görüldüğü gibi diş açmak suretiyle tutuculuk kazandırılır. Diş yüksekliği adımın yarısı kadar olmalıdır. Genellikle yüzeyin toz püskürtme ile doldurulması gereken yerlerinde 0,7 mm adım ve 0,35 mm derinlik olacak şekilde yüzey tornalanır.



Şekil 3.4 Toz püskürtülecek yüzeye tornada diş açarak tutuculuk kazandırma[39]

Düzlem yüzeyli parçaların kaplanmasından önce parçanın boyutları ve kaplanacak tozun kalınlığına göre şekil 3.5.de gösterildiği gibi değişik ölçülerde açılacak kanalın derinliği yaklaşık kaplanacak toz kalınlığı kadar olacak ve yüzeye dik gelecek şekilde izler açılır [9].



Şekil 3.5 Toz püskürtülecek düzlem yüzeyli parçalara tutuculuk kazandırma [9]

Bazı malzemelerin yüzeyini işlemek veya püskürtme ile aşındırmak zor olabilir. Bazen de hiç mümkün olmaz. Bu gibi durumlarda Ni-Al alaşım tozları bağ mukavemetini artırıcı bağ tabakası olarak yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu tozlarla, egzotermik bir reaksiyon meydana gelmekte ve bu reaksiyon sonucu bağ mukavemeti artırılmaktadır [7].

Spreyleme esnasında, püskürtmenin yapılmasını istemediğimiz bölgeler, koruma bantları veya koruma boya ile kapatılır ve bu suretle buralara püskürtülen malzemenin yapışması önlenir. Kumlama operasyonunda da bu bölgeler, cam elyaf esaslı yanmayan yapışkan bantlar ile korunur. İşlem sonrası bu örtüler yerlerinden söküldüğünde, kaplamanın istenmediği kısımlar aynen kalır.[7]

Yüzey hazırlama usullerinin kullanım yerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Yüzey hazırlama yöntemlerinin başlıca kullanım yerleri

Hazırlama usulleri	Kullanma Yerleri	Malzeme Cinsi	Düşünceler
1-Mekanik bir hazırlama yapmadan yalnız üzerindeki yağ, oksit ve diğer pislikleri temizlemek	Güzel bir dış görünüşün temininde, elektrik akımını iletmede, ısı izolasyonunda, ateşe ve ısıya karşı korumada	Tahta, plastik malzeme, karton, porselen ve çeşitli taşlar gibi	Püskürtme tabakası 0.3mm kadar
2- Kum püskürtme	1. kısımdakilere ek olarak korozyona ve kavlamaya karşı korumada	Bütün çelik cinsleri, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar	Püskürtme tabakası 0,5 mm kadar
3- Çelik kumu püskürtme	1 ve 2. kısımdakilerin aynı		
4- Tornalama, planyalama, frezeleme, delme ve keskilme	Tamirat işlerinde, yatakların püskürtülmesinde. 1 mm'den kalın korozyona karşı koruma tabakalarının püskürtülmesinde	Bütün çelikler, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımları gibi bütün metalik malzeme için	0,5 mm den kalın püskürtme tabakaları için
5- Nikel, Tungsten ve karbon elektrotla (elektriki yolla) yüzeye girinti çıkıntı verme	Dinamik zorlamalara maruz kalmayan parçalarda ve dökme demirin tamirinde. Elektriki arkla yapılan hazırlamadan sonra yüzeye hafif bir kum püskürtme ile temizleme yapılmalıdır.	Düşük karbonlu alaşımsız çelikler, dökme çelikler ve dökme demir	0,5 mm den kalın püskürtme tabakaları için de tatbik edilebilir. Düşük akım şiddeti ile ark söndürülmeden yapılmalı

Püskürtme öncesi yüzeye uygulanan işlemler tamamlandıktan sonra parça vakit kaybetmeden tezgaha bağlanıp püskürtme işlemine geçilmelidir.

Toz alev püskürtme ile yüzeyi kaplanacak dairesel kesitli iş parçaları torna tezgahına salgısız bir şekilde bağlanmalıdır. Salgının olması bir çok mahsurlar ortaya çıkarır. Parçalar uzun ise, bir ucundan puntaya alınmalı ve torna kızaklarının ısıdan ve dökülen tozlardan etkilenmemesi için paravan kullanılmalıdır. Düzlem yüzeyli parçalarda ise kaplanacak parçalar sabit, hareketli olan püskürtme tabancası ile yüzeyin her iki yönünde dalgasız ve yüzeyin her yerinde eşit olacak şekilde istenen kaplama kalınlığı elde edilene kadar işleme devam edilir [9].

Birçok temel malzemelerde, iş parçasına 90 ile 150°C arasında ön ısıtma yapılmalı ve termal spreyleme işlemi sırasında bu sıcaklık korunmalıdır. Bu işlem, yüzey yoğunlaşmasını, alt tabaka enleşmesini önler ve soğuma esnasında birikintideki stresleri azaltır. Püskürtme sırasında iş parçasına ısı transfer edildiği için fazla ısınmaya ve bunun sonucunda istenmeyen birikinti özelliklerini önlemek için bazı soğutma formuna ihtiyaç duyulabilir [7].

### 3.3. Proses Parametreleri

Yapılan kaplamanın özellikleri kullanılan kaplama malzemesine, ısıl püskürtme yöntemine ve *proses parametrelerine* göre değişir. Isıl püskürtme yöntemiyle elde edilen kaplamalar genelde yüksek aşınma direncine sahip oldukları için tercih edilirler. Kaplama yapılmış yüzeyin sertliği ve yoğunluğu kaplamada kullanılan ekipmana ve *kaplama parametrelerine* göre değişim gösterir. Genelde partikül hızı arttıkça elde edilen yüzeyin sertliği ve yoğunluğu artar. Yüzey sertliği ve yoğunluğu parça sıcaklığı ve kullanılan atomizasyon gazının çeşidine göre de değişir. Kaplamadaki porozite de uygulanan ısıl püskürtme prosesi, kaplama parametreleri ve kaplama malzemesine göre değişim gösterir.

#### 3.3.1 Alev ayarı

Alevle püskürtme işleminde daima nötr (normal) bir alev kullanılmalıdır. Alüminyum püskürtülmesinde alev hafif karbonlayıcı (asetileni fazla) olmalıdır.[7]

Basıncın püskürtme sırasında sürekli olarak sabit kalması gerekmektedir. Bu ayar 4 bar basıncında oksijen ve 0,7 bar basıncında da asetilen olacak şekilde düzenlenmelidir [6,9,10,11].

#### 3.3.2. Püskürtme havası basıncı

Alevle püskürtme işleminde tozun pülverize olup ivmelenerek esas metale ulaşması basınçlı hava ile sağlanır. Yanıcı ve yakıcı gazların akışı da buna yardım eder.

Püskürtme sırasında basınç sabit kalır. Toz alev püskürtme yönteminde optimum püskürtme mesafesi olan 150-200 mm den püskürtme yapılırken hava basıncı 2 bar olarak ayarlanır [10,11,38].

### **3.3.3. Püskürtme mesafesi**

Kaplama genel olarak 100 ila 200 mm arasındaki bir mesafede yapılmaktadır. İnce sac veya ısıya karşı hassas malzeme üzerine püskürtme yapılırken bu mesafe büyük seçilir. Çarpılmaların fazla olduğu veya yapışma mukavemetinin kritik bulunduğu hallerde (alüminyum) ilk tabaka kısa püskürtme mesafesinde ve hızlı püskürtülür. Eğer püskürtme hızı yavaş olursa, püskürtülen tabaka kısmen yanar [6,7,10,11].

Püskürtme ucu ile iş parçası arasındaki uzaklığın soğuk ve sıcak püskürtme sistemlerinde ve kaplama usullerinde çok önemli bir fonksiyonu vardır. Alev işe yakın olursa fazla etkili olan sıcaklığın etkisi ile metal üzerinde karıncalaşmalar ortaya çıkar [9].

### **3.3.4. Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı**

Püskürtme demetinin, püskürtülen yüzeye teşkil ettiği açı 45°den küçük olmamalıdır. Aksi takdirde püskürtülen tabaka sünger gibi bir hal alır. En iyi netice 70 ila 80° lik bir düşüş açısı ile sağlanmaktadır [7].

### **3.3.5. Püskürtme hızı ve kaplama**

Dönmekte olan iş parçasının toz püskürtme ile kaplanacak yüzeyi esas alınarak parçaya devir sayısı verilmelidir. Her zaman devir sayısı parça çapı ile ters orantılıdır. Eğer çap büyüyorsa devir sayısı küçülür, çap küçülüyorsa devir sayısı büyümelidir.

İşin dönme hızı:  $n = 10.000 / d$  formülünden bulunur.

$n$  = iş parçasının dakikadaki dönme sayısıdır ( dev / dak )

$d$  = Kaplanacak malzemenin çapıdır. ( mm )

10.000 = Püskürtmeyle yüzey kaplamada esas alınan sabit bir sayıdır [9].

İş parçasının dönme sayısı tespit edildikten sonra parçanın ilerleme hızı belirlenmelidir. Toz alev püskürtme yöntemine ilerleme hızı 3 mm/devir ile 5 mm/devir arasında olmalıdır.[38].

Ekonomik bakımdan, dar açılı bir püskürtme demetinin kullanılması gerekir. Böylece kalınlığı düzgün olan bir püskürtme tabakası sağlanmış olur. Dar açılı püskürtme kullanılması halinde, tabancanın ilerleme hızının yüksek olması gerekir. Böylece istenilen kalınlıktaki püskürtme tabakası bir kaç defada ve her bir tabaka bir öncekine dik olacak şekilde püskürtülür. Kenarlar daima, ilk önce ve 45°lik açı ile püskürtülmelidir [7].

### **3.3.6. Püskürtülen tabakanın sıcaklığı**

Kötü iklim veya atölye şartlarında, kum ile temizlenmiş yüzeylerde ince bir tabaka halinde su filmi kalır. Bu durum, iyi yapışmayı engeller. Bu sebepten yüzeylerin püskürtme işleminden önce 60 ila 80°C bir ön tavlamaya tabi tutulması gerekir. Genel olarak; kum ile temizlemeden sonra püskürtme hemen yapılmalıdır. Bu arada süre üç saati geçerse yapışma iyi olmaz [36].

### **3.4. Toz Alev Püskürtme Sonrası İşlemler**

Termal püskürtmeli kaplamalar, püskürtülen tabakanın kalınlığına ve malzeme cinsine göre, ani soğumaya bırakıldığı zaman, malzemenin genleşmesi ve ani soğumasından dolayı, yüzeysel veya kılcal çatlaklar oluşabilir. Bu çatlakların oluşmaması için parçalar yavaş soğutulmaya bırakılabilirler. Kuma gömmek, elektrikli fırında soğutmak gibi.

Metalize edilmiş yüzey veya iş parçasının son işlemi ( finishing) başlı başına bir konu olup buna uygun teçhizat ve uygun aşındırıcının bulunması gerekir. Püskürtülen malzeme, süngerimsi kırılğan dokulu olduğundan, tornada işlenecekse kalem ile yontularak değil, adeta okşayarak ve yandan ezerek işlenmelidir. Torna kalemi sivri uçlu değil, radyüs uçlu olup işe açılı olarak değdirilmelidir. Son işlemde, talaş kaldırmadaki zorlukları peşinen dikkate alarak, püskürtme yapılırken püskürtmeden sonra taşlanacağı veya tornalanacağı ölçü esas alınır ve bunun üzerine 1-2 mm veya daha az ilave birikinti atılır. Malzemenin yüzey bitirme işlemi için en uygun yöntem, duruma ve malzemeye göre, kuru veya ıslak taşlama olabilir [7].



## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Deneysel çalışmalarda, toz alev püskürtme yöntemi ile kaplama işlemlerinde püskürtme mesafesinin ve kaplama esnasında kullanılan hava basıncının kaplama sertliğine, mikro yapısına, yüzey pürüzlülüğüne ve kaplama yapışma mukavemetine etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar için 4", 6" ve 10" ASTM A106 GRADE A dikişsiz karbon çelik boruların iç yüzeyleri Toz püskürtme yöntemiyle Castolin firmasına ait Xuper Frixtec 19850 Bakır-Alüminyum alaşımli toz ile kaplanmıştır. Boruların iç çaplarındaki farklılık nedeniyle püskürtme mesafesi 4" borularda 50 mm, 6" borularda 100 mm ve 10" borularda 150 mm tasarlanmıştır.

### **4.1. Kaplama Altlık Malzemesi ve Kaplama Tozları**

Bu çalışmada, tablo 4.1'de kimyasal kompozisyonu verilen ASTM A106 GRADE A dikişsiz çekme karbon çelik boru iç yüzeyi, Castolin firmasına ait Xuper Frixtec 19850 Bakır-Alüminyum alaşımli toz ile kaplanmıştır. Bu toza ait Duroptik Daire Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kompresör pistonları, mil muyluları, kasnaklar, hidrolik pres pistonları, bilye yatakları, yatak burçları, kaymalı tip yataklar ve rulman yatakları bu tozun kullanıldığı yerlerdir.

Alaşımın bileşimi bakır alüminyum esaslı bir toz olup, bronz yapılı kaygan bir yüzey oluşturur. Alaşımın mekanik özellikleri sertlik 110-130 HV<sub>10</sub> , özgül ağırlık 8,37 gr/cm<sup>3</sup> tür. Korozyona, ısıya dayanıklı sık dokulu bir tabaka oluşturur, özellikle metal/metal yüzey sürtünmesine uygundur. Kaplanacak esas metal saf bakır malzeme dışında her tür demir, çelik, alüminyum ve bakır alaşımlarıdır. Kaplama kalınlığı yüksek zorlanmalarda 0,5 – 3,0 mm , normal zorlamalarda maksimum 10,0 mm dir.

Sert metal torna kalem ile  $V = 50-100$  m/dak ve  $S = 0,1$  mm/devir hızlarında işlenebilir. [39]



Şekil 4.1 Xuper Frixtec 19850 tozuna ait duroptik daire[39]

Kaplama öncesi bağlayıcı olarak yine Castolin firmasının Xuper Ultrabond 51000 astar tozu kullanılmıştır. Bu toz soğuk püskürtme yöntemi ile 19000 serisi alaşımların atılmasından önce astar (bağlayıcı) olarak kullanılır. Saf bakır malzeme dışında her tür demir, çelik, alüminyum ve bakır alaşımları üstüne 0,1-0,2 mm kalınlığında astar olarak atılır.[39]

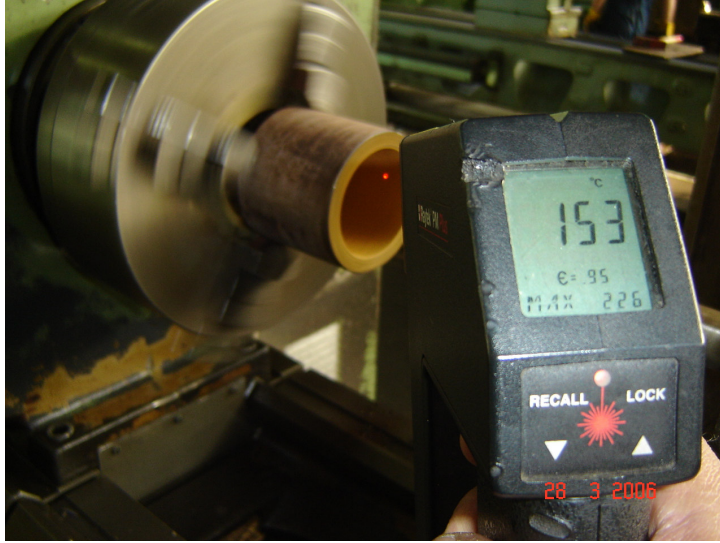
Tablo 4.1 Altlık malzemenin kimyasal kompozisyonu

Element	C	Mn	Si	P max	S max	Cu	Ni	Cr	Mo	V
% Oran	max 0.25	0.27-0.93	min 0.10	0,035	0,035	max 0.40	max 0.40	max 0.40	max 0.15	max 0.08

## 4.2. Altlık Malzemelerin Kaplamaya Hazırlanması

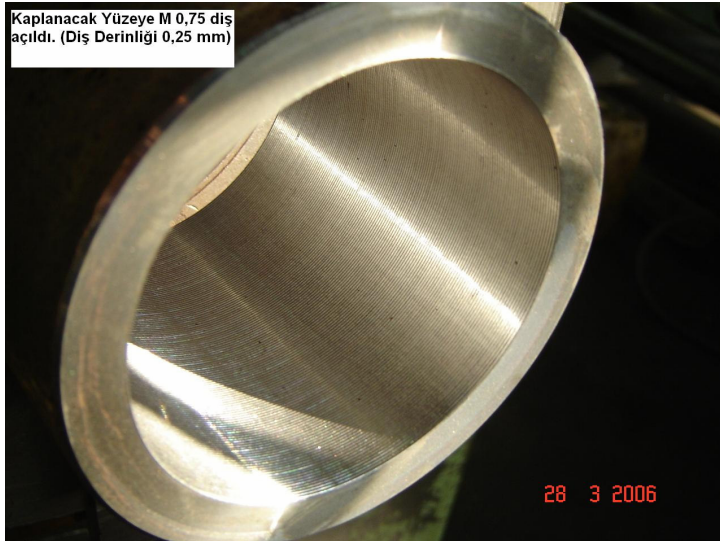
Dört adet 4", üç adet 6" ve iki adet 10" boru tornada 100 mm boylarında kesilerek hazırlanmıştır. Daha sonra boruların iç yüzeylerinden ve dış yüzeylerinden korozyonlu tabakalar tornada alınmıştır. 4" boruların iç çapı  $\varnothing 90$ mm'ye, 6" boruların iç çapı  $\varnothing 143$  mm'ye, 10" boruların iç çapı  $\varnothing 247$  mm'ye işlenmiştir. Malzeme içeriğindeki nemden arındırılmak için  $60$  C° ye kadar ön tavlama tabii

tutulmuştur. Kaplama işlemi esnasında malzeme sıcaklığı Raytek PM Plus Model RAYPM30L2ISG termal tabanca ile kontrol edilmiştir.



Şekil 4.2 Kaplama esnasında termal tabanca ile sıcaklık kontrolü

Ön tavlama sonrası borunun içine tornada 0,75 mm adımı sahip diş açılmıştır. Ardından hemen kaplama işlemine başlanmıştır.



Şekil 4.3 Kaplama öncesi içine diş açılmış boru

### 4.3. Kaplama İşleminin Uygulanması

Kaplama işlemi PETKİM A.Ş. Merkez Bakım Atelyesinde yapılmıştır. Kaplamalar Castolin firmasına ait ROTOTEC 80 Toz püskürtme tabancası ile yapılmıştır. Borunun iç yüzeyine kaplama yapıldığı için kaplama uzatma nozulu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.4 Toz püskürtme tabancası iç çap kaplama ( uzatma ) nozulu

Asetilen ve oksijen değerleri Castolin firmasının verdiği değerlere göre ayarlanmış ve nötr alev kullanılmıştır. Asetilen basıncı 0,7 bar, oksijen basıncı 4 bar olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.5 Toz püskürtme tabancası ve gaz ayarları

ROTOTEC 80 cihazının özelliğinden dolayı toz besleme debisi sabittir. Tüm kaplamalarda aynı toz debisi ile kaplama yapılmıştır.

Gerek astar kaplama gerekse ana kaplama esnasında torna ilerleme hızı 3,2 mm/devir olmuştur. Parçanın dönme devri 10000/çap formülüne uygun olarak tornadaki en yakın dönme devri ile ayarlanmıştır.

4" borularda  $10000/90=111$  hesabından tornadaki en yakın devir olan 112 dev/dak dönme hızı kullanılmıştır.

6" borularda  $10000/143=70$  hesabından tornadaki en yakın devir olan 80 dev/dak dönme hızı kullanılmıştır.

10" borularda ise  $10000/247=40,48$  hesabından tornadaki en yakın devir olan 40 dev/dak dönme hızı kullanılmıştır.

Bu yolla bütün kaplamalarda parçanın çizgisel hızı sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Malzemeye M 0,75 diş açıldıktan sonra bağlayıcı toz olarak Xuper Ultrabond 51000 tozu ile 0,1 mm kalınlığında astar kaplama yapılmıştır. Bütün kaplamalarda astar kaplama esnasında 0 bar basıncında hava kullanılmıştır.

4" borularda 50 mm uzaklıktan püskürtme yapılarak, hava basınçları 0 bar, 0,5 bar, 1 bar ve 2 bar olacak şekilde 4 adet boru iç yüzeyine 1,5 mm kalınlığında kaplama işlemi yapılmıştır.

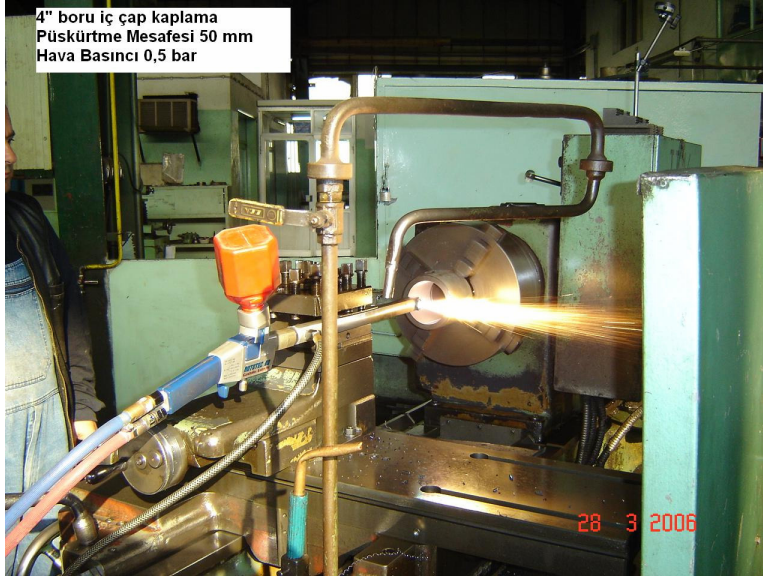
6" borularda 100 mm uzaklıktan püskürtme yapılarak, hava basınçları 0 bar, 1 bar ve 2 bar olacak şekilde 3 adet boru iç yüzeyine 1,5 mm kaplama işlemi yapılmıştır.

10" borularda 150 mm uzaklıktan püskürtme yapılarak, hava basınçları 1 bar ve 2 bar olacak şekilde 2 adet boru iç yüzeyine 1,5 mm kaplama işlemi yapılmıştır.

Kaplamalar esnasında malzeme sıcaklığı termal tabanca ile kontrol edilerek malzeme sıcaklığının 260 C° yi geçmemesi sağlanmıştır. Malzeme bu sıcaklığa ulaştığında bir müddet soğumaya bırakılmış sonra tekrar devam edilmiştir.

Kaplama yapılan numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

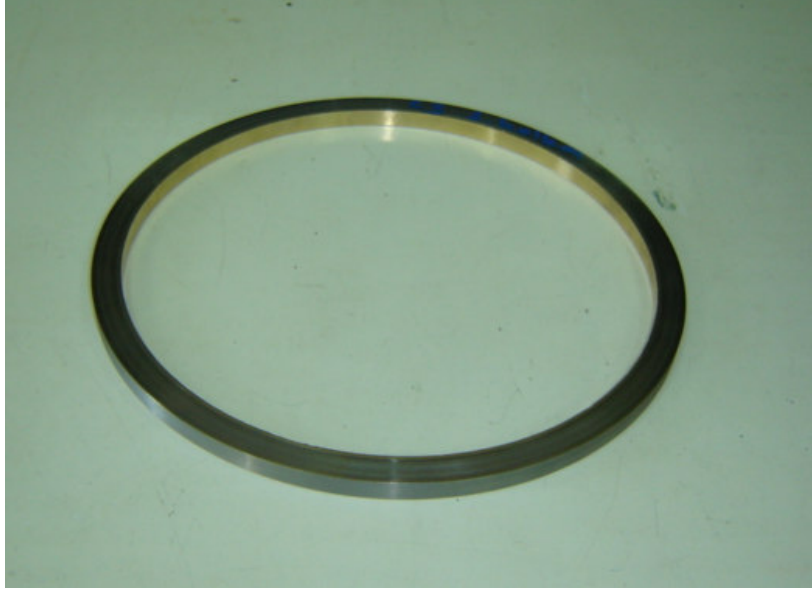
Soğuyan malzemelerin iç çaplarından 0,5 mm talaş alınarak kaplama kalınlıkları 1 mm' ye düşürülmüştür.



Şekil 4.6 Alev toz püskürtme yöntemi ile boru iç yüzey kaplama işlemi

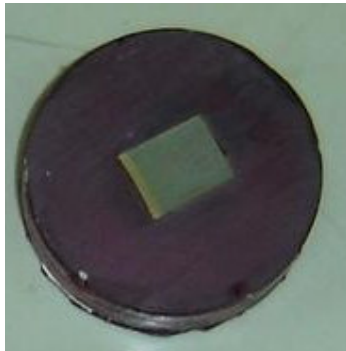
#### 4.4. Kaplama Numunelerinin İncelenmeye Hazırlanması

Kaplama işlemine tabii tutulan borulardan tornada genişliği 10 mm olacak şekilde halkalar kesilmiştir.



Şekil 4.7 Kaplama sonrası borudan kesilen halka

Daha sonra bu halkalardan freze testeresiyle kalınlıkları 10 mm olacak şekilde numuneler kesilmiştir. Kesilen numuneler kalıba alınmış ve sırasıyla 200, 400, 600 ve 1200'lük zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalama işleminden sonra 0,3 mikronluk "Leco-alpha alümina powder" parlatma pastası ile parlatılmış ve parlatılan numunelerde optik mikroskopta ara yüzey ve mikro yapı incelemesi yapılmıştır.



Şekil 4.8 Kalıba alınmış deney numunesi

#### **4.5. Kaplama Numunelerinin Ara Yüzeylerinin İncelenmesi**

Kaplama yapılmış numunelerin, Olympus marka mikroskopta muhtelif büyütmelelerde ara yüzey ve mikro yapı incelemeleri ve parametre etkilerinin belirlenmesi amacıyla fotoğrafları çekilmiştir.

#### **4.6. Kaplama Numunelerine Mikro Sertlik Deneylerinin Yapılması**

Kaplama yapılmış numunelerde ve altlık malzemede Vickers Sertlik ölçüm cihazıyla 100 gr yük altında 30 sn yük uygulanarak mikro sertlik ölçümleri alınmıştır.

#### **4.7. Kaplama Numunelerinde Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi**

Kaplama yapılmış numuneler Diavite DT-15 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla incelenmiştir. Ölçümlerde aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri esas alınmış ve ölçümler mikron cinsinden yapılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı (cut off) 0,8 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçümlerde 4 mm kurs boyu kullanılmıştır.

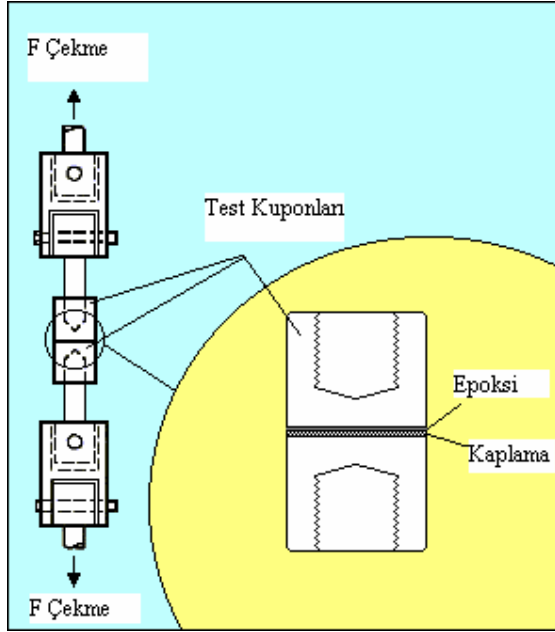
#### **4.8. Kaplama Numunelerinde Bağ Mukavemetinin İncelenmesi**

Kaplamalarda bağ mukavemeti ASTM C633 “ Isıl Püskürtme Kaplamaları Yapışma Mukavemeti Ölçüm Standardı”na göre ölçülür [13].

Ø 25 mm çapındaki test çubuğunun uç yüzeyine kaplama yapılır. Aynı çaptaki diğer bir test çubuğuna epoksi sürülerek kaplama yapılmış çubuğa yapıştırılır. Kullanılan epoksinin serleşme süresi dolunca bu çubuklar çekme deney cihazına bağlanarak çekme kuvveti uygulanır. Çekme sonucu kaplamanın koptuğu gerilme değeri kaydedilir ve bu değer yapılan kaplamanın bağ mukavemeti olarak nitelendirilir [41].



Şekil 4.9’da bu standarda ait deneyin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.9 ASTM C633 standardı

Bizim kaplama numunelerimiz boru malzemesinden yapıldığından dolayı, yapmış olduğumuz çekme deneyi ASTM C633 standardına bire bir uygun yapılmamıştır. Kaplama yapılmış halkalardan kesilen 10 mm x 10 mm kare kesitli test parçalarının kaplama yapılmış yüzeyleri, yine 10 mm x 10 mm kare kesitli çekme deney çubuklarının ucuna yapıştırılmış ve kaplamalara çekme deney cihazıyla çekme kuvveti uygulanmıştır. Kaplamaların esas metalden ayrıldığı gerilme değerleri kaydedilmiş ve bu değerler kaplamaların birbirleriyle mukayese edilmesi için kullanılacak bağ mukavemeti olarak değerlendirilmiştir. Bu değerler yapılan kaplamanın gerçek bağ mukavemeti olarak değerlendirilmemelidir. Bu deneyde bütün numunelere aynı şartlar altında (fakat ASTM C633 standardına tam uygun değil) çekme deneyi uygulanmış ve bulduğumuz kopma değerleri birbirleri arasında mukayese amacıyla kullanılmıştır.

Şekil 4.10’da bağ mukavemeti tespiti için çekme deneyine tabii tutulmuş deney numunesi gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Bağ mukavemeti deney numunesi

## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

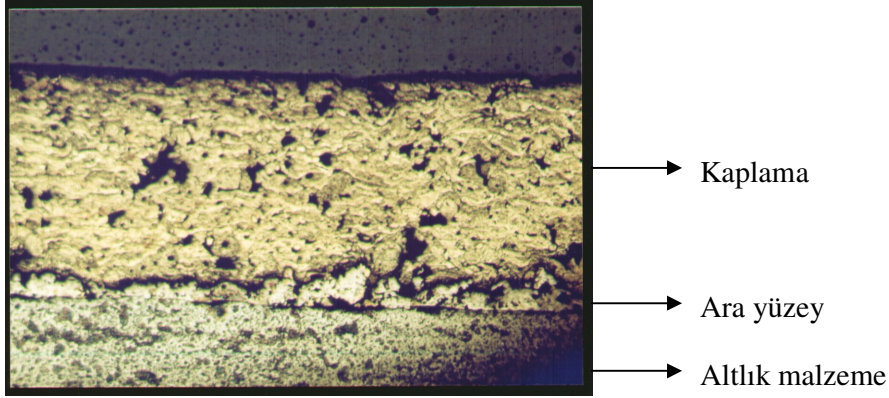
Yapılan kaplamalarda değişken parametreler olarak hava basıncı ve püskürtme mesafesi kullanılmıştır. Diğer parametreler tüm kaplamalarda aynı tutulmuştur. Değişken parametrelere göre numunelere verilen kodlar tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Kaplamalar için püskürtme parametreleri

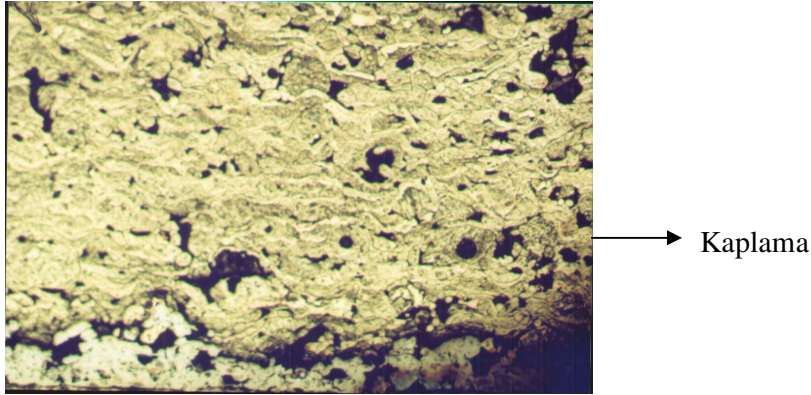
Yanıcı Gaz	: Asetilen ( 0,7 bar )	
Yakıcı Gaz	: Oksijen ( 4 bar )	
Altlık Malzeme	: ASTM A106 GRADE A Dikişsiz C.S Boru	
Astar Toz	: Castolin - Xuper Ultrabond 51000	
Kaplama Tozu	: Castolin - Xuper Frixtec 19850	
Tabanca Tipi	: Castolin - ROTOTEC 80	
Numune Kodu	Hava Basıncı	Püskürtme Mesafesi
A1	0 bar	50 mm
A2	0,5 bar	50 mm
A3	1 bar	50 mm
A4	2 bar	50 mm
B1	0 bar	100 mm
B3	1 bar	100 mm
B4	2 bar	100 mm
C3	1 bar	150 mm
C4	2 bar	150 mm

### 5.1. Ara Yüzey Mikroyapılarının İncelenmesi

Şekil 5.1 ve 5.2'de 50 mm püskürtme mesafeli 0 bar püskürtme basınçlı A1 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.1 A1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50

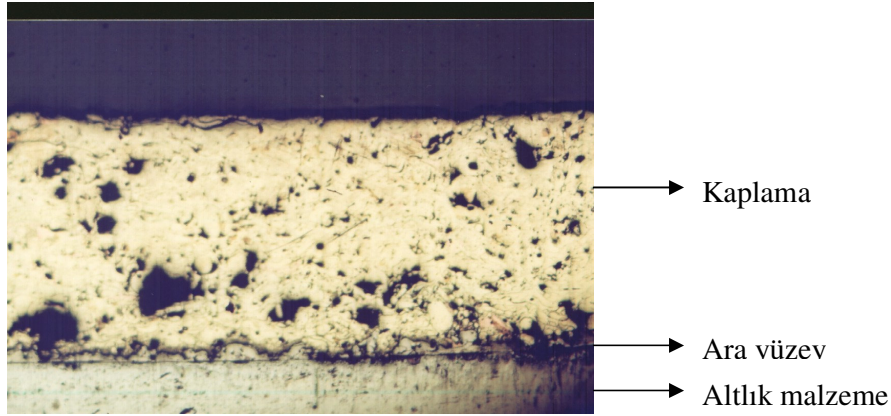


Şekil 5.2 A1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

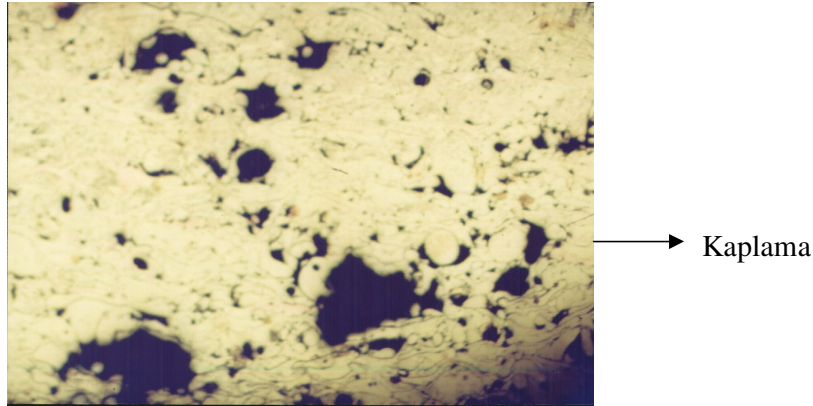
Şekil 5.1 deki A1 kaplaması incelendiğinde kaplama ara yüzeyinde astar tabakası açık renkte görünmektedir. Ortalama 0,1 mm kalınlığında ince bir astar tabaka varlığı söz konusudur. Kaplama tabakasında bağ tabakası ile üst kaplama arasındaki ara yüzeydeki siyahlıklar boşlukları temsil etmektedir. Bu görüntü iki tabakanın birbirine iyi tutunmadığını göstermektedir. Kaplamamın Şekil 5.1 ve 5.2'deki görüntüleri dalgalı klasik termal sprej görüntüsüdür. Fakat homojen büyüklükte

olmayan porozite varlığı göze çarpmaktadır. Büyüklükler çok farklılık göstermektedir.

Şekil 5.3 ve 5.4'de 50 mm püskürtme mesafeli 0,5 bar püskürtme basınçlı A2 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



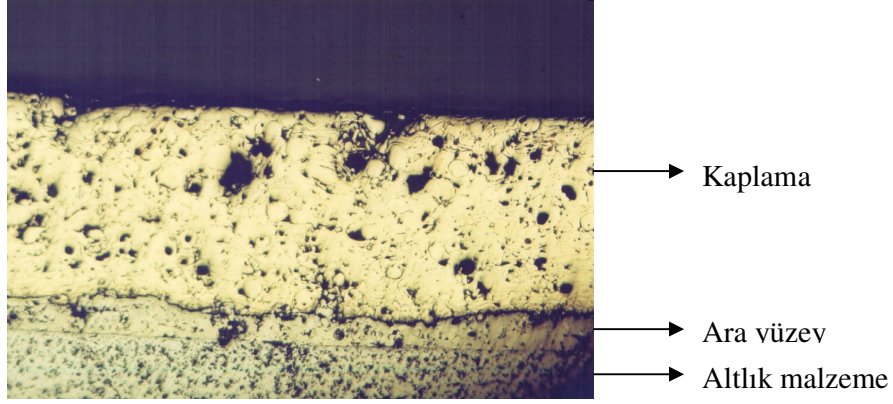
Şekil 5.3 A2 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



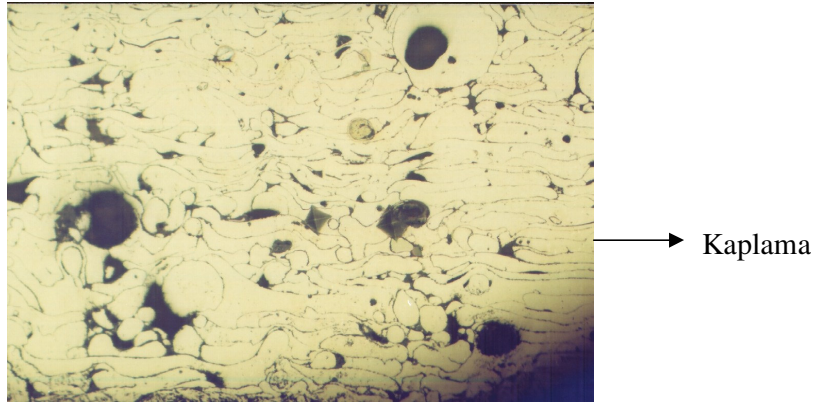
Şekil 5.4 A2 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

A2 numunesi mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, basıncın artırılması kaplamada A1 numunesine göre daha yoğun bir yapı oluşmasına sebep olmuş görülmektedir. Fakat porozite dağılımı ve büyüklüğü hala homojen değildir. Yapışma mukavemetine yönelik, ara yüzeyde esas metal-bağ tabakası ve üst katman bağlantısı gayet iyi görünmektedir.

Şekil 5.5 ve 5.6'da 50 mm püskürtme mesafeli 1 bar püskürtme basınçlı A3 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



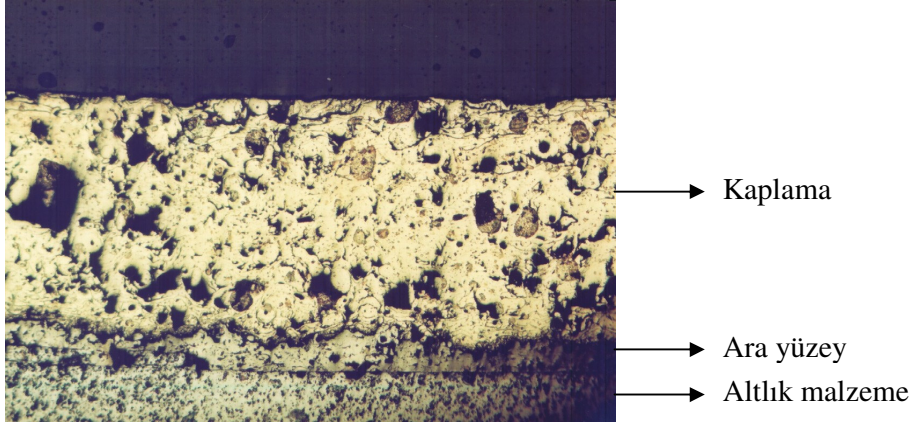
Şekil 5.5 A3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



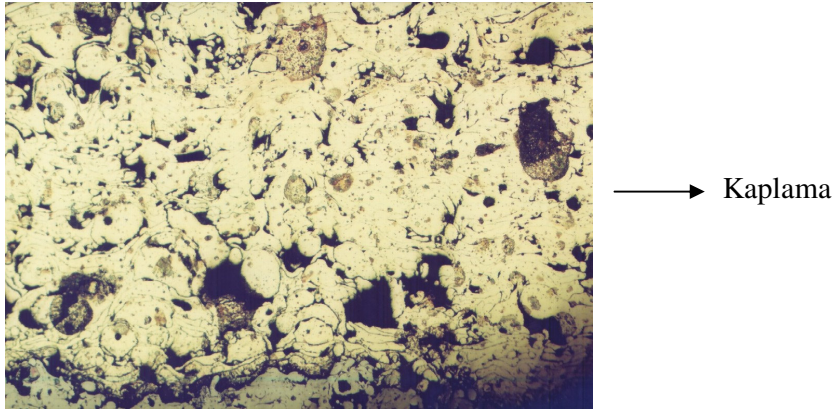
Şekil 5.6 A3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

Basıncın 1 bar'a çıkarılması porozite dağılımının daha homojen olmasına yol açmış görünmektedir. Ara bağ ile altlık ve üst katman arası bağlanmanın iyi olduğu görülmektedir. Mikroyapıda dikkati çeken nokta, kaplama içinde yuvarlak formda ergimemiş partiküllerin varlığıdır. Bu durum basıncın yüksek olmasından dolayı tozların ergimemek için alev içerisinde fazla kalamadığını göstermektedir.

Şekil 5.7 ve 5.8'de 50 mm püskürtme mesafeli 2 bar püskürtme basınçlı A4 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



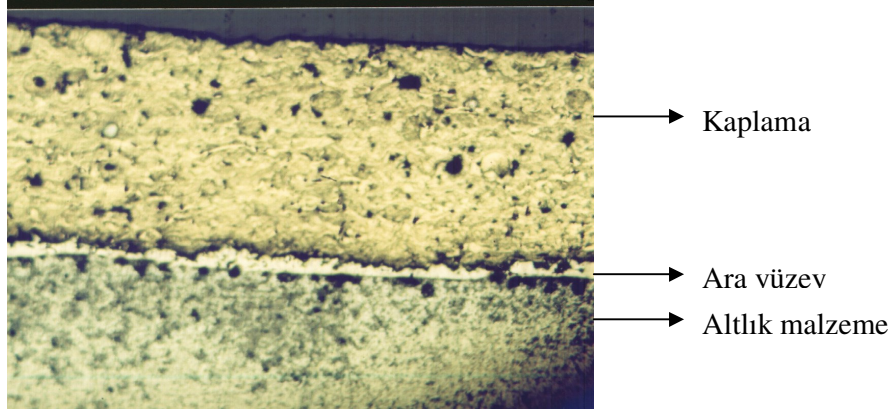
Şekil 5.7 A4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



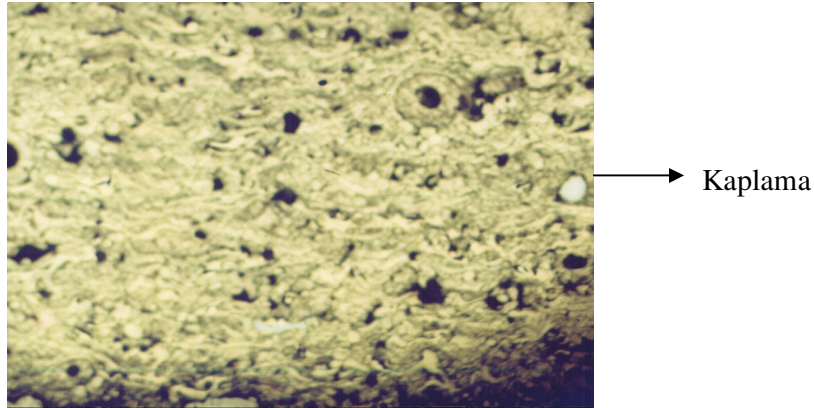
Şekil 5.8 A4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

Basıncın 2 bar'a artırılması, porozitenin arttığını göstermektedir. Ayrıca tozlar ergimeden mikro yapı bünyesine girmiştir. Büyük boşluklar söz konusudur ve bu boşluklar için porozite tabiri dahi yetersiz kalmaktadır.

Şekil 5.9 ve 5.10'de 100 mm püskürtme mesafeli 0 bar püskürtme basınçlı B1 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.9 B1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50

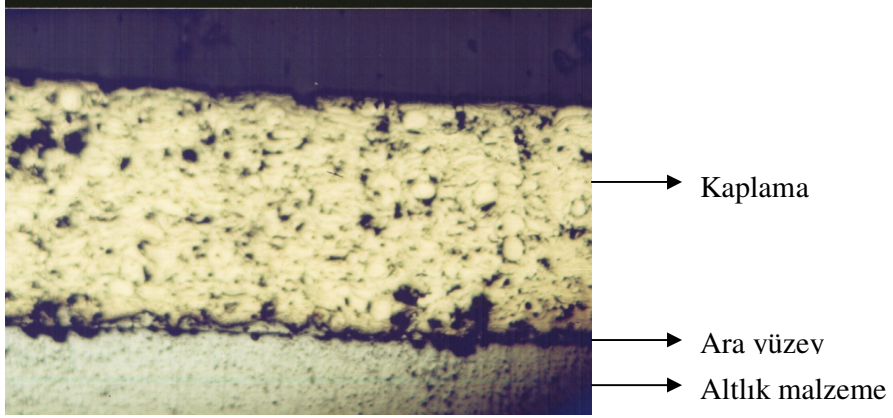


Şekil 5.10 B1 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

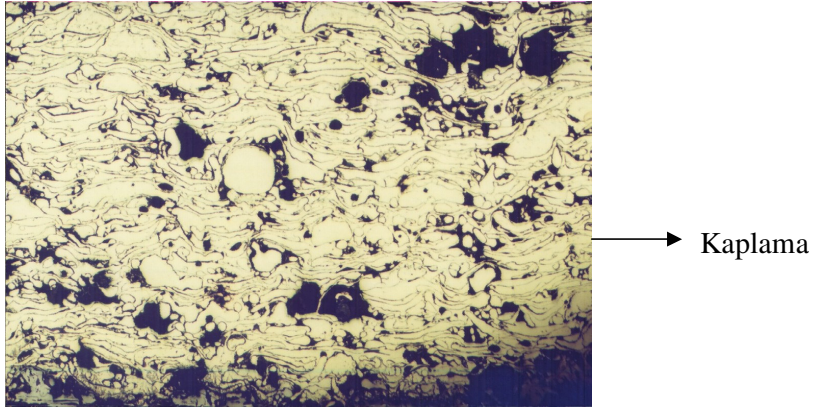
B1 numunesi mikroyapı fotoğraflarında porozite miktarı daha az ve genel olarak iyi bir kaplama yapısı görülmektedir. Püskürtme mesafesinin 100 mm'ye çıkarılması kaplama yapısına olumlu yansımış durumdadır. 50 mm'den püskürtme yapılan A kaplamaları ile kıyaslandığında, püskürtme mesafesinin 100 mm'ye çıkarılmasının kaplama yapısına olumlu yansıdığı görülmektedir.



Şekil 5.11 ve 5.12’de 100 mm püskürtme mesafeli 1 bar püskürtme basınçlı B3 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



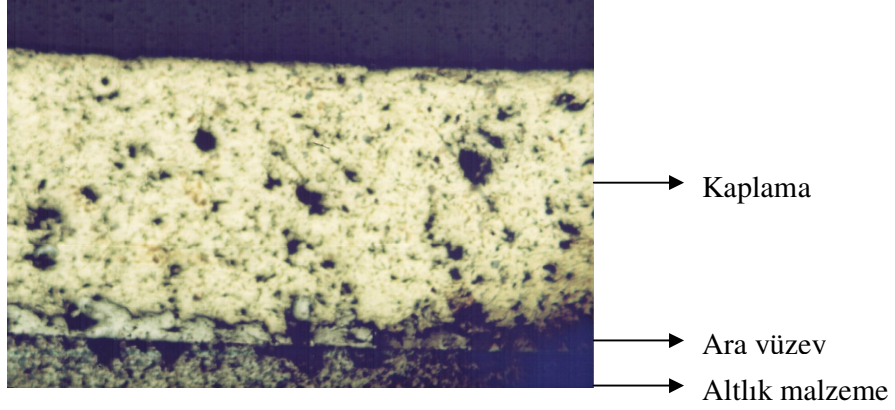
Şekil 5.11 B3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



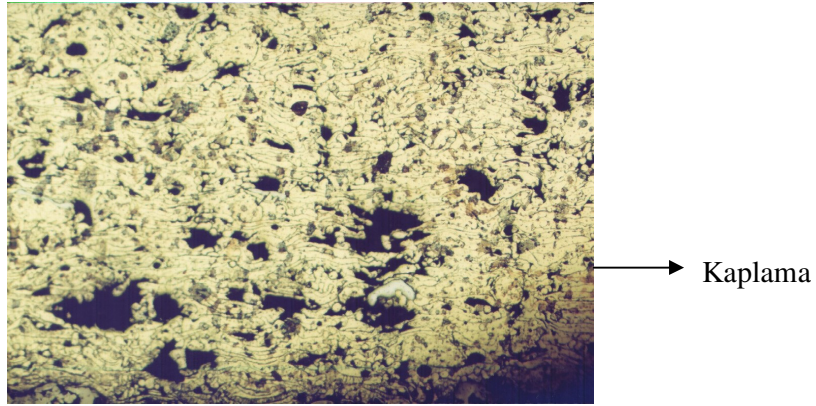
Şekil 5.12 B3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

B3 numunesi mikroyapı fotoğraflarında bazı ergimemiş partiküllerin varlığı göze çarpmaktadır. Yapısal olarak normale yakın bir kaplama yapısı göze çarpmaktadır. Bağ tabakası burada daha ince görünmektedir.

Şekil 5.13 ve 5.14’de 100 mm püskürtme mesafeli 2 bar püskürtme basınçlı B4 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



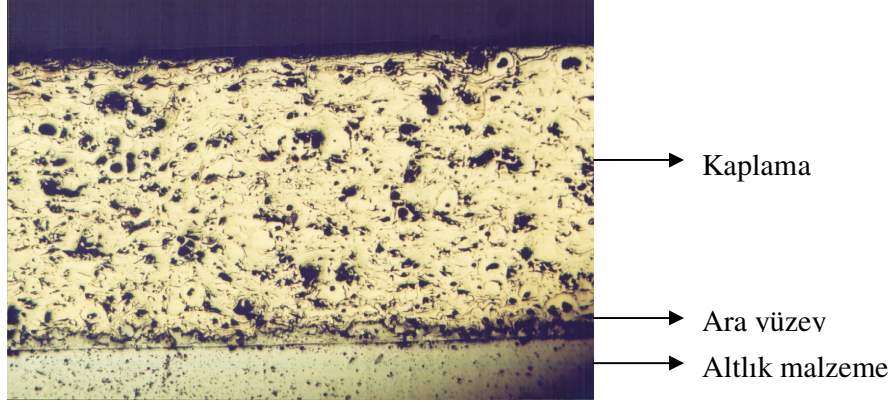
Şekil 5.13 B4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



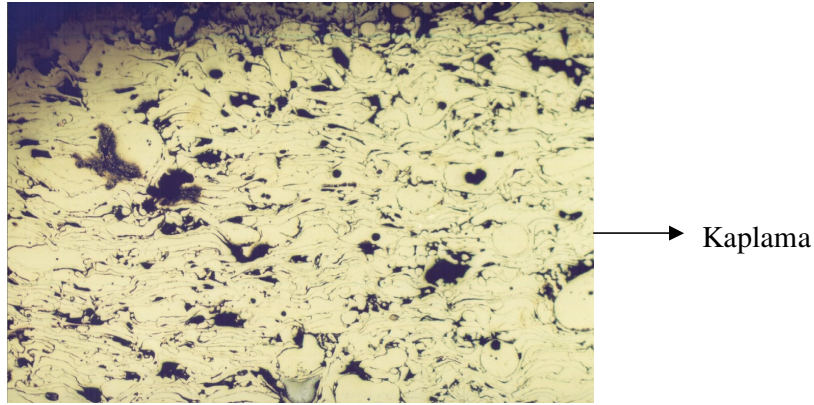
Şekil 5.14 B4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

B4 numunesi mikroyapı fotoğraflarında, diğer B kaplamalarına göre daha poroziteli bir kaplama yapısı görünmektedir. Hava basıncının artırılmasının poroziteye sebep olduğu gözlemlenmektedir. Diğer B kaplamalarına nazaran daha az erimemiş partikül olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 5.15 ve 5.16'da 150 mm püskürtme mesafeli 1 bar püskürtme basınçlı C3 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



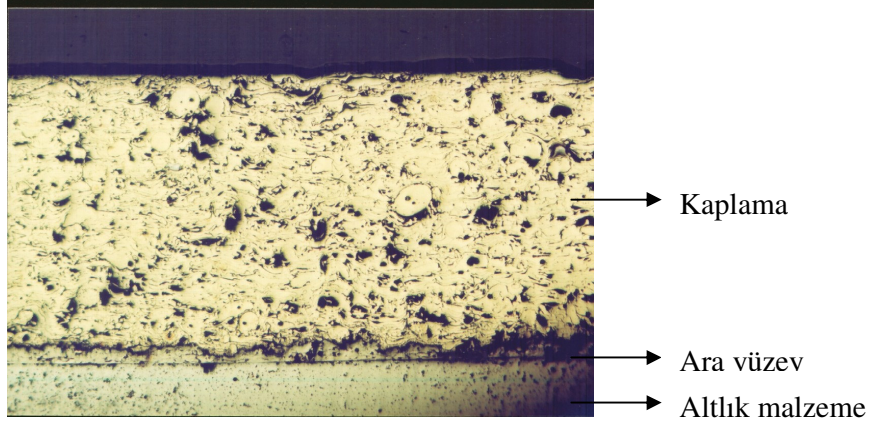
Şekil 5.15 C3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



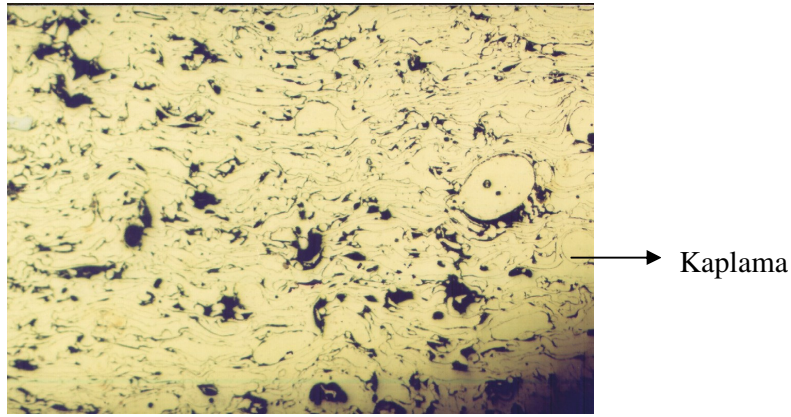
Şekil 5.16 C3 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

C3 numunesi mikroyapı fotoğraflarındaki kaplama görüntüleri incelendiğinde, klasik alev püskürtmenin mikroyapı görüntüsü ( baloncuksu yapı ) elde edilmiştir. Bağ tabakasının altlık malzemeye ve kaplamaya nüfuziyeti gayet iyi görünmektedir. Porozite homojen olarak dağılmış görünmektedir. Bazı ergimemiş partiküller söz konusudur. Püskürtme mesafesinin 150 mm ye çıkarılmasının kaplama yapısına olumlu etkileri açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 5.17 ve 5.18’de 150 mm püskürtme mesafeli 2 bar püskürtme basınçlı C4 numunesinden elde edilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.17 C4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X50



Şekil 5.18 C4 kaplaması optik mikroskop görüntüsü X100

C4 numunesinde püskürtme mesafesinin 150 mm’ye çıkarılmasının kaplama yapısına olumlu etkileri görülmektedir. Homojen dağılmış bir porozite söz konusudur. C3 numunesinden farklı olarak bir miktar erimemiş partikül göze çarpmaktadır.

## 5.2. Mikro Sertlik Deney Sonuçları

Tablo5.2 – 5.10’da numunelerden alınmış mikro sertlik deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.2 A1 mikrosertlik ölçümleri

A1 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 50 mm - Hava Basıncı 0 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	167
0,30 mm	149
0,45 mm	130
0,60 mm	124
0,75 mm	105
0,90 mm	98

Tablo 5.3 A2 mikrosertlik ölçümleri

A2 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 50 mm - Hava Basıncı 0,5 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	128
0,30 mm	171
0,45 mm	167
0,60 mm	140
0,75 mm	121
0,90 mm	112

Tablo 5.4 A3 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

A3 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 50 mm - Hava Basıncı 1 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	142
0,30 mm	134
0,45 mm	167
0,60 mm	164
0,75 mm	135
0,90 mm	112

Tablo 5.5 A4 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

A4 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 50 mm - Hava Basıncı 2 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	160
0,30 mm	179
0,45 mm	124
0,60 mm	108
0,75 mm	102
0,90 mm	76

Tablo 5.6 B1 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

B1 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 100 mm - Hava Basıncı 0 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	178
0,30 mm	160
0,45 mm	155
0,60 mm	133
0,75 mm	121
0,90 mm	108

Tablo 5.7 B3 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

B3 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 100 mm - Hava Basıncı 1 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	181
0,30 mm	154
0,45 mm	155
0,60 mm	102
0,75 mm	101
0,90 mm	108

Tablo5.8 B4 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

B4 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 100 mm - Hava Basıncı 2 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	124
0,30 mm	171
0,45 mm	140
0,60 mm	124
0,75 mm	124
0,90 mm	96

Tablo 5.9 C3 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

C3 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 150 mm - Hava Basıncı 1 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	116
0,30 mm	116
0,45 mm	124
0,60 mm	114
0,75 mm	96
0,90 mm	124

Tablo 5.10 C4 kaplaması mikrosertlik ölçümleri

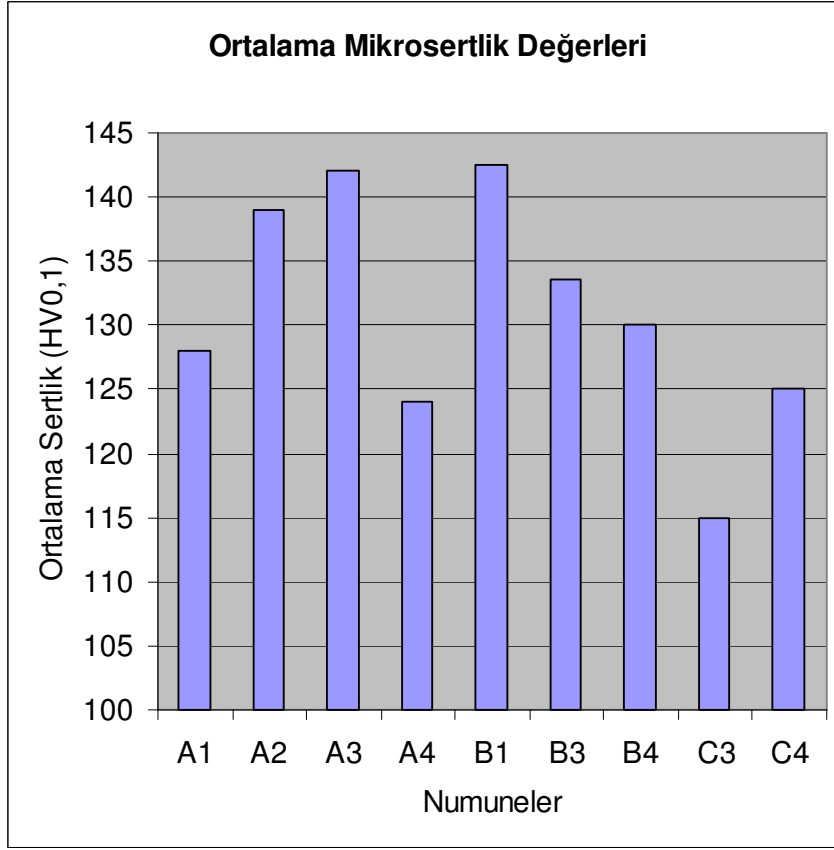
C4 KAPLAMASI MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ Püskürtme Mesafesi 150 mm - Hava Basıncı 2 Bar Toplam Kaplama Kalınlığı 1 mm	
Ara Yüzeyden Uzaklık	Ölçüm Değeri (HV <sub>0,1</sub> )
0,15 mm	120
0,30 mm	171
0,45 mm	126
0,60 mm	108
0,75 mm	108
0,90 mm	118

Ana malzeme ve astar kaplama bölgesi dışında kalan bölgelerden alınan 6 adet sertlik ölçümü göz önüne alınıp bunların ortalamaları alındığında, esas kaplama tabakalarının ortalama sertlik değerleri Tablo 5.11’de gösterilmiştir.

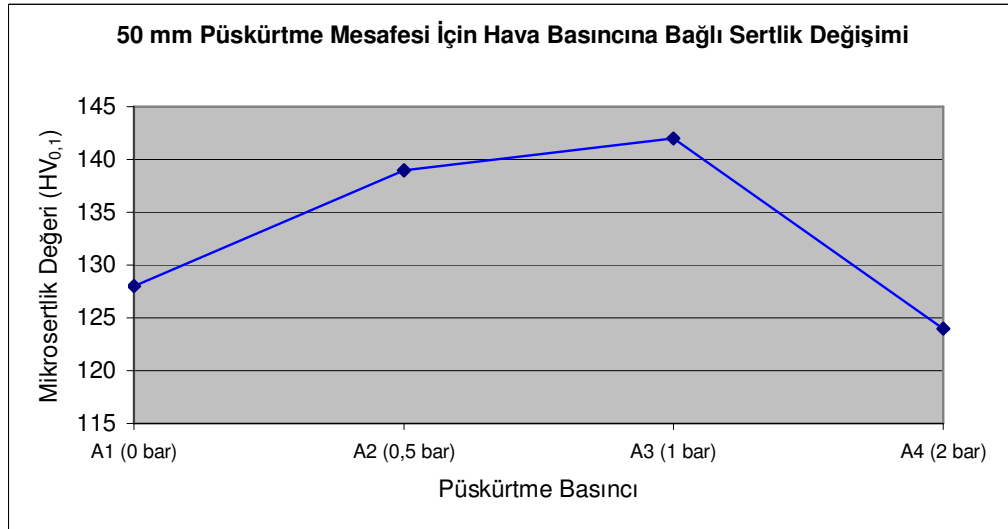
Tablo 5.11 Mikrosertlik ortalama değerleri

KAPLAMALARA AİT ORTALAMA MİKROSERTLİK DEĞERLERİ	
Numune	Ortalama Sertlik(HV <sub>0,1</sub> )
A1	128
A2	139
A3	142
A4	124
B1	142,5
B3	133,5
B4	130
C3	115
C4	125

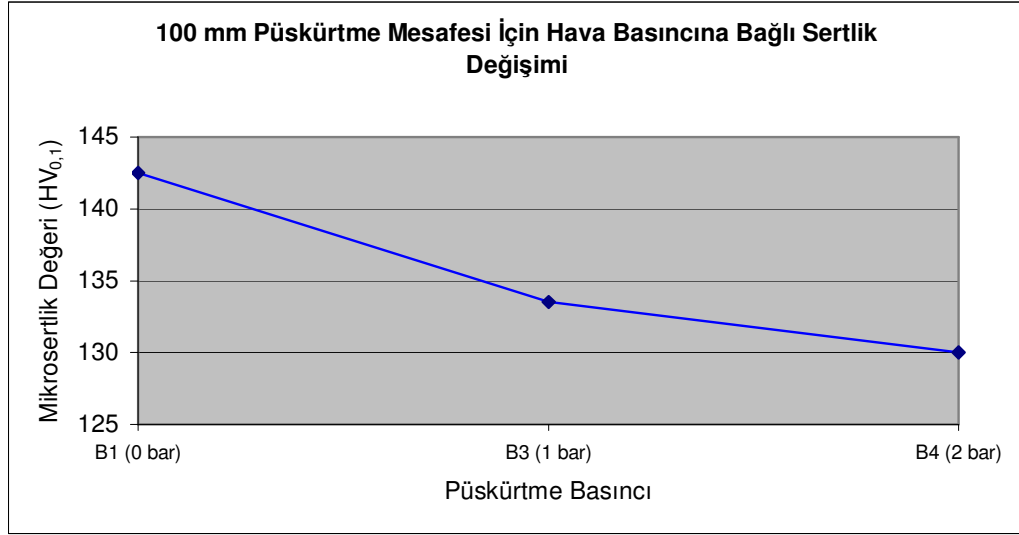




Şekil 5.19 Ortalama mikrosertlik değerleri



Şekil 5.20 A numuneleri için hava basıncına bağlı sertlik değişimi



Şekil 5.21 B numuneleri için hava basıncına bağlı sertlik değişimi

Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde genelde hava basıncı artırıldığında sertliğinde arttığı görülmektedir. Düşük püskürtme mesafelerinde hava basıncı çok artırıldığında bu kural tersine dönebilmektedir. Burada düşük püskürtme mesafelerinde hava basıncı artınca kaplamada oluşan yüksek poroziteden dolayı mikro sertlik ölçümlerinde sağlıklı değerler elde edememiş olmamız olasıdır.

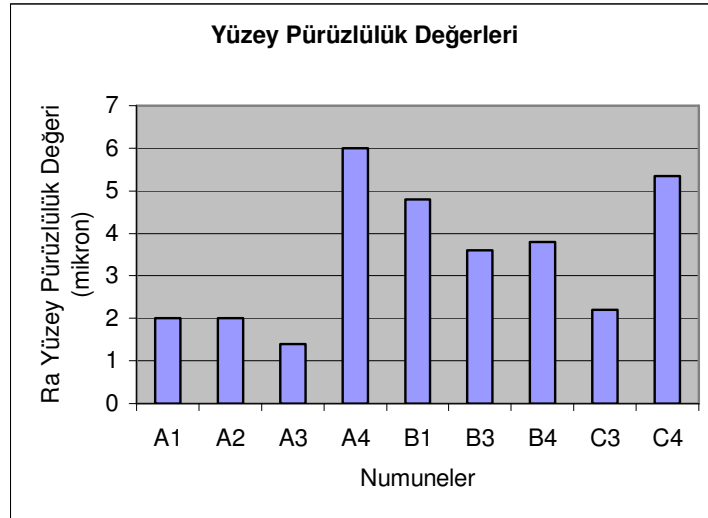
Püskürtme mesafesi olarak optimum değerler içerisinde kabul edilen 150 mm değeriyle kaplanmış C numunelerinde, kullanılan tozun litaratürdeki sertlik değerine yakın değerler elde edilmiştir. Burada da hava basıncı artırıldığında sertlikte artma tespit edilmiştir.

### 5.3. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

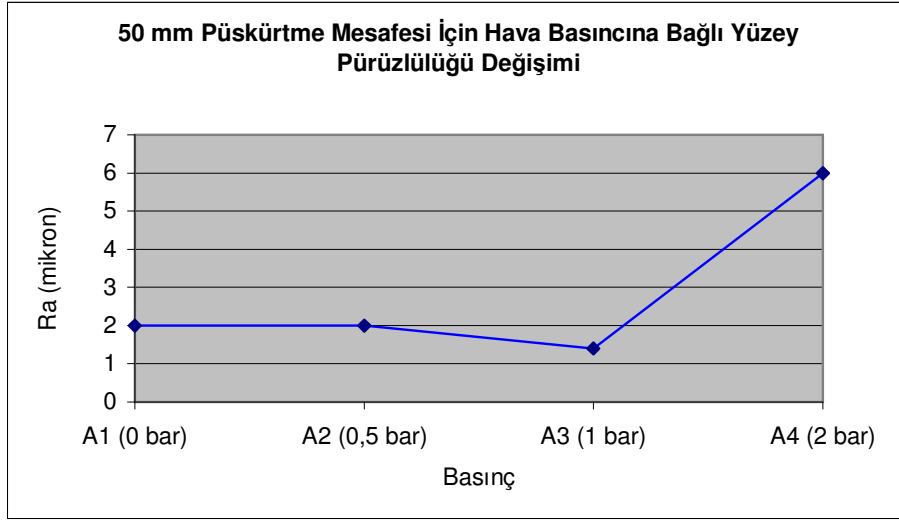
Tablo 5.12’de numune yüzeylerinden ölçülmüş yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 5.12 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

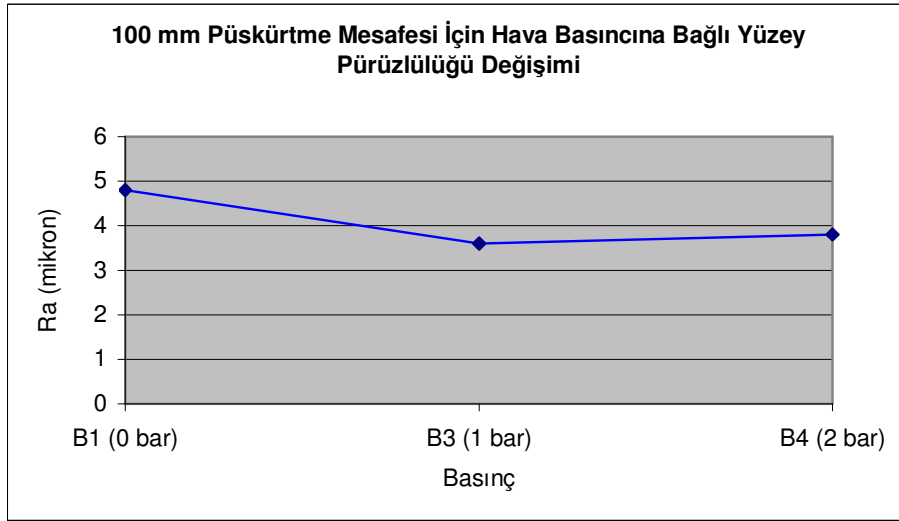
Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Numunesi	Ra Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Değeri ( $\mu$ )
A1	2
A2	2
A3	1,4
A4	6
B1	4,8
B3	3,6
B4	3,8
C3	2,2
C4	5,35



Şekil 5.22 Yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 5.23 A numuneleri için hava basıncına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi



Şekil 5.24 B numuneleri için hava basıncına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde optik mikroskop görüntülerinde elde edilen görüntülerle paralellik gösteren değerler elde edilmiştir. Şöyle ki; yakın mesafeden püskürtme yapılan A1 ve A2 numunelerinde optik mikroskopta görülen heterojen porozite büyüklüğü yüzey pürüzlülüğüne de yansımış ve daha homojen büyüklükte poroziteye sahip A3 numunesinden daha pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Basıncın artırılmasıyla oluşan A4 numunesindeki büyük boşluklar çok daha yüksek bir yüzey pürüzlülüğü oluşturmuştur. B1 numunesinde kullanılan sıfır hava basıncı tozun hızını

çok düşürdüğünden yüzeye geç gelen toz bu süre zarfında soğuyarak yüzeyde erimemiş partiküllere sebep olmuş ve B3 ve B4 numunelerine nazaran daha pürüzlü bir yüzey oluşmasına sebep vermiştir. C numunelerinde ise yüksek hava basıncı kullanılan C4 numunesinde C3 numunesine nazaran çok daha fazla pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Buradan şu sonucu çıkarmak mümkündür ki; hava basıncının çok düşük olması da çok yüksek olması da yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Her üç püskürtme mesafesinde de 1 barlık hava basıncı en düzgün yüzey pürüzlülüğünü vermektedir. Bu değer altındaki basınçlar tozun yüzeye yavaş gelmesine ve bu süre zarfında soğuyarak yüzeyde erimemiş partiküller oluşmasına sebep olmaktadır. Bu değer üstündeki basınçlar da tozun yüzeye çok hızlı çarpmasına ve yüzeyde dalgalı bir görüntü oluşturmasına sebep olmaktadır.

#### **5.4. Kaplama Bağ Mukavemetleri**

Kaplama prosesi sonrası malzemede iki tür bağ kuvveti oluşmaktadır. Esas metal ile kaplama malzemesi arasında oluşan Adhezyon Bağları ve kaplama malzemesinin kendi molekülleri arasında oluşan Kohezyon Bağlarıdır.

Tablo 5.13'de numunelere uygulanmış çekme deneyleri sonucu elde edilen bağ mukavemetleri verilmiştir.

Tablo 5.13 Bağ mukavemetleri ölçüm değerleri

Bağ Mukavemeti Ölçüm Numunesi	Kopma Yeri	Bağ Mukavemeti Ölçüm Değeri
A1	% 100 Esas Metal ile Kaplama Malzemesi Arasındaki Yüzeyden (Adhezyon Bağlarından)	1,83 MPa
A2	% 80 Esas Metal ile Kaplama Malzemesi Arasındaki Yüzeyden (Adhezyon Bağlarından), %20 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	8,16 Mpa
A3	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	4,37 Mpa
A4	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	5,14 Mpa
B1	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	4,92 Mpa
B3	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	7,81 Mpa
B4	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	7,28 Mpa
C3	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	8,99 Mpa
C4	% 100 Kaplama malzemesinin Kendi Molekülleri Arasındaki Bağlardan (Kohezyon Bağlarından)	6,06 Mpa

Şekil 5.25 - 5.27 'da deney sonunda elde edilen adhezyon ve kohezyon tipi kopmalara ait örnekler verilmiştir.



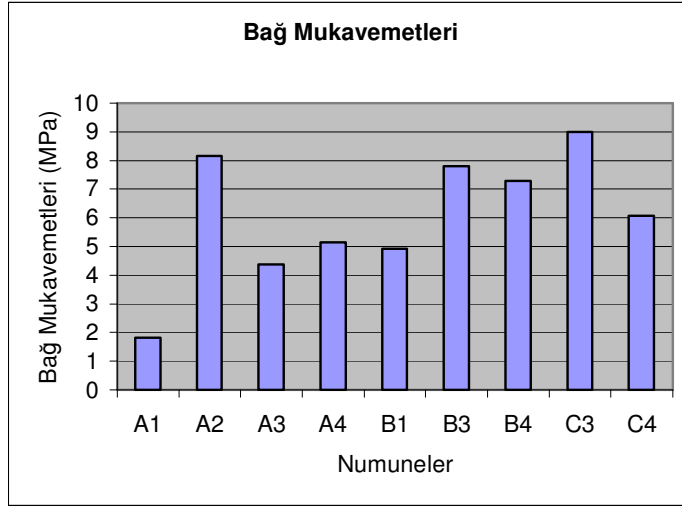
Şekil 5.25 %100 adhezyon bağlardan kopma



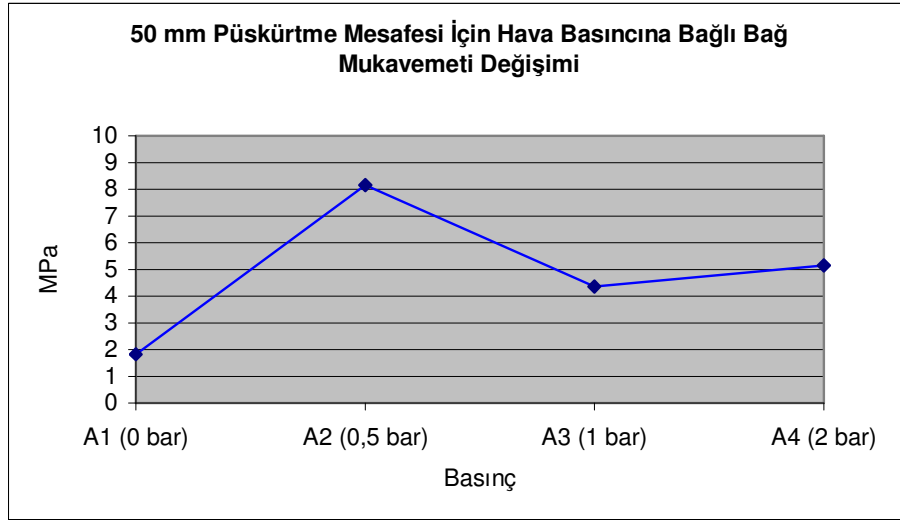
Şekil 5.26 %80 adhezyon bağlardan, %20 kohezyon bağlardan kopma



Şekil 5.27 %100 kohezyon bağlardan kopma

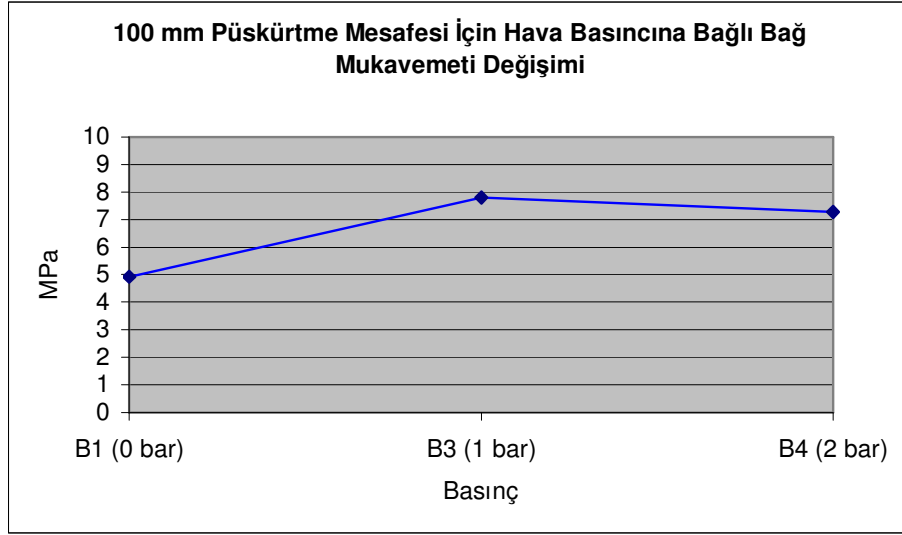


Şekil 5.28 Bağ mukavemetleri



Şekil 5.29 A numuneleri için hava basıncına bağlı bağ mukavemetlerinin değişimi





Şekil 5.30 B numuneleri için hava basıncına bağlı bağ mukavemetlerinin değişimi

Bağ mukavemetleri değerlendirildiğinde yakın mesafeden yapılan püskürtmenin bağ mukavemetine olumsuz etkisi görülmektedir. Yakın mesafeden püskürtme esnasında hava basıncının sıfıra indirilmesi adhezyon bağ kuvvetini olumsuz etkilemekte ve kaplama esas metale yapışmamaktadır. 0,5 bar hava basıncının kullanıldığı A2 numunesinde ise adhezyon ve kohezyon bağ kuvvetlerinin optimum püskürtme mesafesi olan 150 mm den yapılan püskürtme sonucu elde edilen bağ kuvvetleri kadar iyi olduğu görülmektedir. Basınç 1 bar ve 2 bar şeklinde artırıldığında daha düşük kohezyon bağ değerleri elde edilmektedir. 100 mm ve 150 mm püskürtme mesafeli B ve C numunelerinde de hava basıncının 2 bara çıkarılması bağ mukavemetinde zayıflamaya sebep olmaktadır

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toz alev püskürtme yöntemi ile ASTM A106 karbon çelik boru iç yüzeylerinin Xuper FrixTec 19850 tozu ile kaplanması deneylerinden elde edilen sonuçlara göre;

1- Kaplamada kullandığımız üç farklı püskürtme mesafeleri içerisinde en optimum değer 150 mm bulunmuştur.

2- Optimum püskürtme mesafesinde yapılacak kaplamaların sertliği artırılmak istendiğinde hava basıncı biraz artırılabilir.

3- 4" ve 6" boruların iç çaplarının bu değerden daha küçük olması gibi yakından püskürtme yapmak zorunda kalındığı durumlarda, kaplamada oluşacak poroziteyi azaltmak için düşük değerlerde hava basıncı seçilmelidir.

4- Yüzeyde erimemiş partiküllerin görünmesi halinde, hava basıncı artırılarak tozun ivmesinin artırılması ve tabancadan çıktığında erimiş halde olan tozun daha kısa sürede yüzeye ulaşması sağlanmalıdır. Aksi takdirde alev püskürtme yönteminin düşük püskürtme hızından dolayı kaplama tozunun yüzeye ulaşana kadar ergimiş formdan bir miktar katı forma dönüştüğü görülmektedir.

5- Püskürtme mesafesi ile hava basıncı arasında bağ mukavemeti açısından doğrusal bir ilişki bulunmamakta, basınç çok düşürüldüğünde de, çok yükseltildiğinde de bağ mukavemeti zayıflamaktadır. 50 mm püskürtme mesafesi için 0.5 bar, 100 ve 150 mm püskürtme mesafesi için 1 bar hava basıncı bağ mukavemeti açısından optimum değer olarak görülmektedir. Dolayısıyla kısa mesafeden püskürtme yapma zorunluluğunun olduğu durumlarda hava basıncının optimum basınç değeri olan 2 barın daha altlarında bir değer seçilmelidir.

Elde edilen deney numunelerine ring aşınma testi uygulanarak kullandığımız değişken parametrelerin aşınmaya etkileri de incelenebilir.

Ayrıca kısa mesafe püskürtmelerde farklı hava basıncının yanı sıra, püskürtme açısı farklı nozullar kullanarak da tozun yüzeye çarpma açısının kaplama özelliklerine etkisi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] TÜRKEŞ, İ., “Metal Makine Parçalarında Yüzey Kaplama Teknolojisi”, Petkim Petrokimya Holding A.Ş., Yayın No: 93-MB-002
- [2] <http://www.metserkaplama.com>
- [3] ÜSTEL, F., “Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995
- [4] PAMUK, U., “Plazma Spreylenmiş  $Cr_3C_2$ -NiCr ve  $Al_2O_3$ -TiO<sub>2</sub> Kaplamaların Abrasiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996
- [5] [http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band\\_3/ksrdh001.html](http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh001.html)
- [6] SARI, N., YILMAZ, M., “Ni-Esaslı Kaplamaların Abrasif+Erozif Aşınma Direncine Isıl Püskürtme Yönteminin ve WC İlavesinin Etkisi” Mühendis ve Makina, Cilt 46, Sayı 541, Sayfa 14, Şubat 2005
- [7] KAHRAMAN, N., “Toz alev Spreyleme Yöntemi ile Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Ocak 2000
- [8] KURT, C., “Toz püskürtme yöntemiyle bronz kaplanmış çelik malzemelerde kaplama ara yüzeyinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Mayıs 2001
- [9] SERT, H., “Toz püskürtme sistemiyle kaplanmış metallerin mekanik deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Temmuz 1990

- [10] PLANCHE, M. P., LIAO, H., NORDMAND, B., CODDET, C., "Relationships between NiCrBSi particle characteristics and corresponding coating properties using different thermal spraying processes" Surface & Coating Technology 200, Sayfa 2465-2473, 2005
- [11] KUŞOĞLU, I. M., ÇELİK, E., ÇETİNEL, H., ÖZDEMİR, I., DEMİRKURT, O., ONEL, K., "Wear behavior of flame-sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> coatings on plain carbon steel substrates" Surface & Coating Technology 200, Sayfa 1173-1177, 2005
- [12] OĞUZ, B., "Kaynak BLM", Oerlikon Yayını, Sayı 2, 1988
- [13] <http://www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-3401/c-2.pdf>
- [14] KAHRAMAN, N., GÜLENC B., KAÇAR, R., "Alev püskürtme ile kaplanmış malzemelerde kaplama kalınlığının sertliğe etkisinin araştırılması", 8. Denizli malzeme sempozyumu, Denizli, 2000
- [15] SMITH, W. R., KNIGHT, R., "Thermal Spraying I: Powder Consolidation-From Coating to Forming, Overview
- [16] BHUSHAN, B., GUPTA, B. K., "Handbook of Tribology", Mc Graw-Hill, ISBN 0-07-005249-2
- [17] SALMAN, S., VAYVAY, Ö., "The thermal sprayed coatings applications in aero engines components", İstanbul-Türkiye, sayfa 497-505, 1998
- [18] HARVEY, D., "The ultimate coating-thermal spraying at Abington", TWI Bulletin 2, 28-30, March/April 1994
- [19] SARI, N., KALUÇ, E., "Alevle ısı püskürtme ve yeniden ergitme uygulanmış C45E çeliğinin aşınma davranışının incelenmesi", Mühendis ve Makina, Cilt 40, Sayı 476, Sayfa 29-30, Eylül 1999
- [20] TOPLAN, N., YILMAZ, F., "Termal püskürtme kaplamalar ve demir-çelik sektöründeki uygulamalar", I. Demir-çelik sempozyum bildirileri, 109, Zonguldak, 3-5 Ekim 2001

- [21] <http://www.mkn.itu.edu.tr/~vuralmu/MAK351-KAYNAK.pdf>
- [22] CERİT, A. M., “Metal püskürtme, Makina Mühendisliği El Kitabı”, Üretim ve Tasarım, Cilt 2, sayfa 208-211, Ankara, 1996
- [23] <http://www.gordonengland.co.uk/ps.htm>
- [24] FAUCHAIS, P., VARDELLE, M., “Plasma spraying: present and future”, IUPAC, Pure & Appl. Chem., Vol 66 (6), 1247-1258, Britain, 1994
- [25] SARI, N., AKAY, S., KALUÇ, E., “Isıl püskürtme”, Mühendis ve Makina, Sayı 448, Mayıs 1997
- [26] [http://www.thermalspray.org/site\\_electricarc.asp](http://www.thermalspray.org/site_electricarc.asp)
- [27] <http://www.gordonengland.co.uk/aws.htm>
- [28] [http://www.thermalspray.org/site\\_detonationflame.asp](http://www.thermalspray.org/site_detonationflame.asp)
- [29] <http://www.advanced-coating.com/en/techniques/techniques.html>
- [30] VILLAT, M., “Functionally Effective Coatings Using Plasma Spraying”, Sulzer Technical Review, 1986
- [31] <http://www.gordonengland.co.uk/hvof.htm>
- [32] SMITH, W. “The future of thermal spray technology”, Welding journal, 73
- [33] HARVEY, D., 1995, “The tough truth-wear resistant coatings using HVOF”, TWI Bulletin 1, 473(1), January/ February 1995.
- [34] SARI, N., KALUÇ, E., “Isıl püskürtme uygulanmış Ç1050 çeliğinin abrazyon+erozyon aşınma davranışının incelenmesi”, Makine malzemesi ve imalat teknolojisi sempozyumu, Manisa, Kasım 1999

- [35] [http://www.ptise.com/html/hvof\\_coating.html](http://www.ptise.com/html/hvof_coating.html)
- [36] ANIK, S., ANIK, E. S., VURAL, M., “1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt 1, Birsen yayınevi, 270-290, İstanbul, 1993
- [37] OĞUZ, B., “Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları teori-uygulama”, Oerlikon Yayını, 367-461, İstanbul, 1993
- [38] Rototec 80 Operating Manuel
- [39] Castolin-Eutectic “Endüstriyel tamir ve bakım için geliştirilmiş ürün ve prosesler”, El kitabı
- [40] SARAÇ, A. S., “Metal kaplama ve elektro kimyasal teknolojiler”, Çağlayan Kitabevi, 109, İstanbul, 1995
- [41] <http://www.dfdinstruments.co.uk/topics/Study4ASTMC633.htm>

## ÖZGEÇMİŞ

İsmail CEYLAN 1976 yılı Afyon doğumludur. İlkokulu Afyon Kocatepe İlkokulu'nda, orta ve lise eğitimini Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 1994 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 1998 yılında mezun olmuştur. 1999 -2000 yıllarında mühendis yedek subay olarak askerliğini yapmıştır. 2000 yılında Ankara'da ÖZPOR A.Ş' de mekanik montaj şefi olarak göreve başlamış, daha sonra aynı şirkette Camyünü / Taşyünü Mineral Yünler Fabrikası üretim müdürü görevinde bulunmuştur. 2001 yılı kasım ayında PETKİM Petrokimya Holding A.Ş'de Mekanik Bakım Mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu kuruluşta Polietilen Müdürlüğü Mekanik Bakım/Onarım Uzman Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

İsmail CEYLAN evli ve bir kız çocuğu babasıdır.