

**TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ İLE KAPLANAN
NUMUNELERDE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Nizamettin KAHRAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

(93606)

Ocak 2000

ANKARA

Nizamettin KAHRAMAN tarafından hazırlanan TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ İLE KAPLANAN NUMUNELERDE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Adem KURT

Üye : Doç. Dr. Mehmet TÜRKER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.


T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGE VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Kaplama Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1. Sıvı fazdan yapılan kaplamalar.....	5
2.1.1.1. Kimyasal kaplamalar	6
2.1.1.2. Elektrolitik kaplamalar	6
2.1.1.3. Sol-Jel kaplamalar	7
2.1.2. Ergimiş veya yarı ergimiş fazdan yapılan kaplamalar.....	7
2.1.2.1. Lazer kullanılarak yapılan yüzey işlemleri	7
2.1.2.2. Sıcak daldırma	7
2.1.2.3. Termal püskürtme	8
2.1.2.4. Kaynakla yapılan yüzey işlemleri	8
2.1.3. Buhar fazından yapılan kaplamalar.....	9
2.1.3.1. Kimyasal buhar biriktirme	9
2.1.3.2. Fiziksel buhar biriktirme	9
2.1.3.3. İyon demeti destekli biriktirme	10
3. TERMAL SPREYLEME.....	10
3.1. Alev Spreyleme	15
3.2. Plazma Spreyleme.....	15
3.2.1. Kaplama oluşum prosesi	19
3.2.2. Plazma spreylemenin avantajları	19

3.3.	Ark Spreyleme Yöntemi	20
3.4.	Detonasyon Alev Spreyleme.....	23
3.5.	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Spreyleme (HVOF)	26
4.	ALEV SPREYLEME	29
4.1.	Alev Spreyleme İşleminin Prensibi	29
4.2.	Alev Püskürtme Cihazı	30
4.3.	Kaplama Özellikleri	35
4.4.	Alev Spreyleme Yöntemleri	37
4.4.1.	Tel alev spreyleme	37
4.4.1.1.	Seramik çubuk alev spreyleme	39
4.4.2.	Toz alev spreyleme	39
4.5.	Optimal Püskürtme Şartları	41
4.5.1.	Alevin ayarı	41
4.5.2.	Püskürtme mesafesi	42
4.5.3.	Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı	42
4.5.4.	Püskürtme hızı ve kaplama.....	42
4.5.5.	Püskürtülen tabakanın sıcaklığı	42
4.6.	Spreyleme Öncesi İşlemler	43
4.6.1.	Yüzey temizleme	45
4.6.2.	Yüzey pürüzlendirme	45
4.6.2.1.	Kumlama	46
4.6.2.2.	Mekanik işlemler	47
4.6.2.3.	Bağ tabakası	49
4.6.2.4.	Maskelme	50
4.6.3.	Ön ısıtma	51
4.7.	Spreyleme Sonrası İşlemler	51
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1.	Kaplama Altlık Malzemesi ve Kaplama Tozları	53
5.2.	Altlık Malzemelerin Kaplamaya Hazırlanması	53

5.3.	Kaplama İşleminin Yapılışı	55
5.4.	Kaplanan Malzemelerin Karakterizasyonunun İncelenmesi	56
5.4.1.	Kaplama kalınlıklarının ölçülmesi.....	57
5.4.2.	Kaplama yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	57
5.4.3.	Termal Şok Deneyi	58
5.4.4.	Mikrosertlik deneyi	59
5.4.5.	Arayüzeyin metalografik yapısının incelenmesi	59
6.	DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	60
6.1.	Kaplama Kalınlıklarının Değerlendirilmesi.....	60
6.2.	Kaplama Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları	61
6.3.	Mikrosertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	65
6.3.1.	Kaplama sertliğine kaplama prosesinin etkisi	65
6.3.2.	Kaplama kalınlığının kaplama sertliğine etkisi	67
6.3.3.	Kaplama malzemesinin sertliğe etkisi	72
6.4.	Arayüzeyin Metalografik Yapısının Değerlendirilmesi	74
6.4.1.	36C Kaplaması	74
6.4.2.	41C kaplaması	75
6.4.3.	444 Kaplaması	76
6.4.4.	44 Kaplaması.....	77
6.4.5.	449P Kaplaması	78
6.4.6.	452 Kaplaması	79
6.4.7.	19985 Kaplaması	79
6.5.	Termal Şok Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	80
6.5.1.	Gözle muayene	80
6.5.2.	Radyografik muayene	80
6.5.3.	Penetrasyon yöntemiyle muayene.....	80
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	81
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	86

**TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ İLE KAPLANAN
NUMUNELERDE KAPLAMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Nizamettin KAHRAMAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2000

ÖZET

Bu çalışmada, yüzeyleri dişli ve düz olarak hazırlanmış numuneler üzerine değişik tozlar kullanılarak alev spreyleme yöntemiyle sıcak ve soğuk kaplama işlemi yapılmış ve yapılan kaplamaların karakterizasyonları incelenmiştir. Metalografik incelemeler sonucu, bütün numunelerde kaplama yöntemine bağlı olmaksızın kaplama kalınlığının artmasıyla sertliğin azaldığı ve dişsiz millerde kaplama kalınlığının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Optik mikroskop çalışmaları, altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzey geçiş bölgesinin dişli millerde daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca kaplama tabakasındaki oksit, boşluk ve ergimemiş partikül miktarı ve boyutunun altlık malzemenin yüzey özellikleri ile değişmediği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 225.04.01

Anahtar Kelimeler : Toz Alev Spreyleme, Kaplama

Sayfa Adedi : 86

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

**EFFECT OF COATING PARAMETERS ON THE COATED
SURFACES USING POWDER FLAME SPRAYING**

(M.Sc. Thesis)

Nizamettin KAHRAMAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
JANUARY, 2000**

ABSTRACT

In this study, the specimens whose surfaces were plain and threaded were coated using flame spraying method and various powders were used by hot and cold coating processes. The behaviour of the coatings was investigated. Metallographic investigations showed that without being dependent upon the coating method used the hardness decreased on both specimens and surface roughness increased on plain specimens as the coating thickness increased. Optic microscopy studies revealed better substrate material-coating layer interface on threaded specimens. In addition, oxide, porosity and the amount of unmelted particles were not changed based on the surface properties of the substrate.

Science Code : 225.04.01
Key Words : Powder Flame Spraying, Coating
Pager Number : 86
Advisor : Assistant Prof. Dr. Behçet GÜLENC

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmalarım süresince hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, ilgi ve yardımlarını her zaman yanımda hissettiğim tez yürütücüsü hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ'e ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ramazan KAÇAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Deney numunelerinin hazırlanması ve kaplanmasıdaki katkılarından dolayı Sayın Zafer BARUT ve Yaşar ÖNCÜL'e, metalografik incelemelerdeki yardımlarından dolayı Araştırma Görevlileri Ahmet DURGUTLU, Hayrettin AHLATÇI, ve Memduh KURTULMUŞ'a, çalışmalarımın her safhasında bana moral kaynağı olan Araştırma Görevlileri Perihan ERDURANLI, Halil DEMİR, Mustafa BOZ, Melik ÇETİN, İbrahim ÇİFTÇİ, Yunus TÜREN ve Mak. Yük. Müh. Bilal AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere gelmemde desteğini esirgemeyen sevgili Aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Termal sprey yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri	12
Çizelge 4.1. Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri	50
Çizelge 5.1. Altlık malzemenin kimyasal kompozisyonu	53
Çizelge 5.2. Kaplamada kullanılan tozların özellikleri	54
Çizelge 5.3. Altlık malzemelerin kaplama şekli ve tanımlanması	56
Çizelge 6.1. Kaplanmış numunelerin kaplama kalınlık değerleri	60
Çizelge 6.2. Kaplama pürüzlülük değerleri	61
Çizelge 6.3. Kaplanmış numunelerin mikrosertlik değerleri	65



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması	5
Şekil 3.1. Termal spreycaplama yönteminin şematik olarak gösterimi	11
Şekil 3.2. Plazma Sprey tabancası kesit resmi	17
Şekil 3.3. Plazma spreycaplancasının elemanları	17
Şekil 3.4. Plazma spreycapla sisteminin şematik gösterimi	18
Şekil 3.5. Ark spreycapla tabancası	20
Şekil 3.6. Patlamalı püskürtme yönteminin şeması	25
Şekil 3.7. Yüksek hızlı oksiyakıt spreyleme tabancası	27
Şekil 4.1. Bir meme sisteminin şematik olarak gösterilişi	32
Şekil 4.2. Bir alevle püskürtme cihazında yanmanın kademeleri	33
Şekil 4.3. Püskürtme memesi ile parça arasındaki durumun şematik olarak gösterilmesi	34
Şekil 4.4. Metal püskürtme tabakasının yapısı	35
Şekil 4.5. Tel alev spreyleme sistemi	37
Şekil 4.6. Tel alev püskürtmenin şeması	38
Şekil 4.7. Toz alev spreylemenin şeması	40
Şekil 4.8. Spreycaplamanın mikroyapısı	44
Şekil 4.9. Düzgün yüzeye kaplama	44
Şekil 4.10. Pürüzlü yüzey kaplama	44
Şekil 4.11. Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi	46
Şekil 4.12. Vida açılarak yüzeylerin hazırlanması	47
Şekil 4.13. Testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması	47
Şekil 4.14. Karşılıklı yönlerde testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması	48
Şekil 4.15. Basit kırılmaçı kuyruğu yarıkaçarak yüzeylerin hazırlanması.	48

Şekil 4.16.	Profil yarıklar açarak yüzeylerin hazırlanması	48
Şekil 4.17.	Bir milin doldurulmasında esas metal ile püskürtülen tabaka arasındaki geçiş durumu	49
Şekil 4.18.	Millerin uç kısımlarının doldurulması	49
Şekil 5.1.	Kaplama için hazırlanan deney numunesinin şematik gösterilişi	53
Şekil 5.2.	Kaplanmış numunelerin metalografik muayene için hazırlanması	57
Şekil 5.3.	(a), Ra ve (b), Rz cinsinden pürüzlülük değerlerinin şematik görünümü.....	58
Şekil 6.1.	36C Sıcak dişsiz kaplamanın Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi	62
Şekil 6.2.	a) 41C Sıcak dişsiz, b) 41C Soğuk dişsiz kaplamaların Kalınlık- Pürüzlülük ilişkisi	62
Şekil 6.3.	a) 444 Soğuk dişsiz b) 452 Soğuk dişsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi	63
Şekil 6.4.	a) 44 Soğuk dişsiz b) 44 Sıcak dişsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi	63
Şekil 6.5 .	a) 449P Sıcak dişsiz b) 449P Soğuk dişsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi	64
Şekil 6.6.	a) ≈ 0.53 mm, b) ≈ 1.12 mm kalınlığına sahip kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi	66
Şekil 6.7.	a) ≈ 1.17 mm 444 Soğuk-sıcak dişli, b) ≈ 0.362 mm 44 Sıcak-soğuk dişsiz kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi	66
Şekil 6.8.	≈ 0.612 mm 449P Sıcak-soğuk dişsiz kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi	67
Şekil 6.9.	36C Sıcak dişsiz kaplamanın Kalınlık-Sertlik ilişkisi	68
Şekil 6.10.	a) 41C Soğuk dişsiz, b) Sıcak dişsiz kaplamanın Kalınlık- Sertlik ilişkisi	68

Şekil 6.11. a) 444 Sıcak Dişli, b) 444 Soğuk dişli ve c) 444 Soğuk dişsiz kaplamanın Kalınlık-Sertlik ilişkisi	69
Şekil 6.12. a) 44 Soğuk dişsiz, b) 44 Sıcak dişsiz ve c) 44 Soğuk dişli kaplamaların Kalınlık- Sertlik ilişkisi.	70
Şekil 6.13. a) 449P Soğuk dişsiz, b) 449P Sıcak dişsiz ve c) 449P Soğuk dişli kaplamaların Kalınlık- Sertlik ilişkisi	71
Şekil 6.14. a) ≈ 1.375 mm, b) ≈ 0.58 mm kalınlığındaki Sıcak dişsiz kaplamaların kaplama malzemesi-sertlik ilişkisi	72
Şekil 6.15. a) ≈ 0.5 mm Soğuk dişsiz, b) ≈ 1.175 mm Soğuk dişli kaplamaların kaplama malzemesi-Sertlik ilişkisi	73
Şekil 6.16. ≈ 1.108 mm kalınlığındaki kaplamaların kaplama malzemesi- sertlik ilişkisi	73
Şekil 6.17. 36C kaplamasının a) x100 ve b) x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri	74
Şekil 6.18. 41C kaplamasının a) Sıcak dişsiz, b) Sıcak dişli, c) Soğuk dişsiz, d) Soğuk dişli numunelerin x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri	75
Şekil 6.19. 444 kaplamasının a) Soğuk dişli, b) Soğuk dişsiz, c) Sıcak dişli numunelerin x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri	76
Şekil 6.20. 44 kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b) Sıcak dişsiz, c) Soğuk dişli kaplamaların x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri	77
Şekil 6.21. 449P kaplamasının a) Soğuk dişsiz x100, b) Sıcak dişsiz, c) Soğuk dişli x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri...	78
Şekil 6.22. 452 kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b) Soğuk dişli x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.....	79
Şekil 6.23. 19985 soğuk dişli kaplamasının x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış, fakat tez metni içinde açıklanmamış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
MIG	Metal İnert Gaz
MAG	Metal Aktif Gaz
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
IBAD	İyon Demeti Destekli Biriktirme
HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Spreyleme

1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek yeni özellikler kazandırmak veya dekoratif açıdan çekici kılmak insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından biri olmuştur. Günümüzde, malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, “yüzey ve taban malzemenin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen” işlemler olarak tanımlanabilir. Yüzey işlem teknolojileri, yüzey mühendisliği, özellikle 90’lı yıllardan sonra önemli hale gelmiştir. Halen hem klasik hem de modern teknolojilere dayanan yüzey işlemlerinin önemi artmaya devam etmektedir [1].

Malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi veya çevresel etkilere karşı korunabilmesi için yüzeyin koruyucu bir kaplama ile kaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır. Koruyucu kaplama ile yüzey özelliklerinin servis koşullarından daha az etkilenmesine ve malzemenin ömrünün, ekonomik performansının, kullanım veriminin ve güvenilirliğin arttırılmasına çalışılmaktadır [2].

Metallerin, metalik kaplamalarla korozyondan korunması önemini yitirme yerine gittikçe daha yaygın hale gelmektedir. Metalik malzemelerin üretim maliyetlerindeki artış, hammadde kaynaklarının azalması, cevher kaynaklarındaki düşüş ve özellikle gelişmiş ülkelere üretim yöntemlerinin getirdiği çevre koruma sorunları, kullanılan metallerin kullanım ömürlerinin artırılması ve özellikle korozyon nedeni ile kısa sürede kullanılmaz duruma düşmelerinin önlenmesi zorunluluğu getirmiştir. Endüstriyel uygulamalarda özellikle akımsız nikel kaplamaların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hemen hemen her tür endüstri dalında korozyondan koruma ve diğer amaçlarla kullanılan bu kaplamalar en çok elektronik ve kimya sanayiinde kullanılmaktadır. Günümüzde ortama daha dayanıklı, daha ince kaplama

üretimi üzerinde çalışmalar yapılmakta ve yeni alaşımlar üretilerek özellikleri incelenmektedir [3].

Yüksek sıcaklık, korozyon ve aşınmanın mevcut olduğu çalışma şartlarında metal ve alaşımları arzu edilen özellikleri sağlayamamaktadır ve teknolojinin tüm alanlarında devamlı artan malzeme ihtiyacını karşılamak üzere plastikler, kompozitler, süper alaşımlar ve ileri teknoloji seramikleri gibi yeni malzeme grupları geliştirilmiştir. İleri teknoloji seramikleri oksit, karbür, nitrür veya sermetler şeklinde kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), Sol-jel, Termal spreyleme vb. teknikler ile metal esaslı malzeme yüzeylerine uygulanmaktadır [2].

Metalik kaplamalarla korunma kaplama türü seçimi aşağıda sıralanan faktörlerin ışığında gerçekleştirilir:

- Ortam
- Ömür
- Dekoratif etki
- Alt metal
- Parçanın şekli ve boyutu
- Bilahare uygulanacak imalat yöntemleri
- Mekanik faktörler

Seçim sırasında, tüm korozyondan korunma tedbirlerinin alınmasında olduğu gibi ekonomik faktörler de çok önemli yer tutar [3].

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar, iki temel prensibe göre yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, kaplama ile metal arasında bir difüzyon bağı oluşturarak, ikincisi ise herhangi bir difüzyon bağı olmaksızın metal-kaplama arasındaki mekanik yapışma ile bağlanmasıdır. Difüzyonlu kaplamalarda, metal ile kaplama arasındaki bağı özellikleri, malzeme bileşimleriyle doğrudan

ilişkilidir. Plazma sprej yöntemi gibi difüzyonsuz kaplamalarda ise, kaplama ve metal arasındaki mekanik yapışma tamamen kaplama prosesi şartlarına bağlıdır [4].

Termal sprej terimi kabaca 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 metodu mevcuttur. Bu metotlar alev, ark, detanasyon ve plazma spreyleme teknikleridir. 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 spreylenece aşınmaya, korozyona ve ısıya karşı direnci arttırmakta ve ayrıca altlık malzemenin özelliklerini etkilememektedir [2].

Isıl püskürtme, ince öğütülmüş metal, metal oksit veya plastikleri, ergimiş veya yarı ergimiş koşulda, bir altyapı üzerinde bir yapışma kaplama teşkil etmek veya bir yapısal şekil meydana getirmek üzere terk etme sürecidir. Süreç daha sonra, meydana gelen kaynağa göre tanımlanır: Yanma alevi, plazma, elektrik arkı veya patlatma; bu iki temel malzeme şekline göre de kategorilere ayrılır: Bunlardan birisi, malzemenin başta ince öğütülmüş parçacıklar halinde olduğu toz ve diğeri de tel yada çubuk olduğu halidir [5]. Bu çalışmada, malzeme Toz alev spreyleme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.

2. KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde metallerin yüzey özellikleri veya yüzey özelliklerinin değiştirilmesi çok önemli bir bilim ve uygulama alanı olma yolundadır. Metalik malzemelerin kitlesel özelliğinin istenilen yönde değiştirilmesi yerine, bu amaca, yüzeysel değişimi gerçekleştirerek ulaşmak birçok bakımdan daha ekonomik, pratik ve kolay olmaktadır. Bu nedenle metalik yüzeylerin yüzeysel niteliklerinin aşılama, alaşımlandırma, değiştirme, boyama veya metalik veya inorganik maddelerle kaplama yöntemleri ile değiştirilmesinin çok yönlü amacı ve uygulaması mevcuttur. Yüzeye daha değişik fiziksel, mekanik veya elektriksel nitelik kazandırmak, korozyona dirençli hale getirmek veya ona dekoratif açıdan çekicilik vermek için yapılan “metalik kaplamalar” ise işlemleri içinde uygulamaları en eski zamanlara uzananlardandır [3].

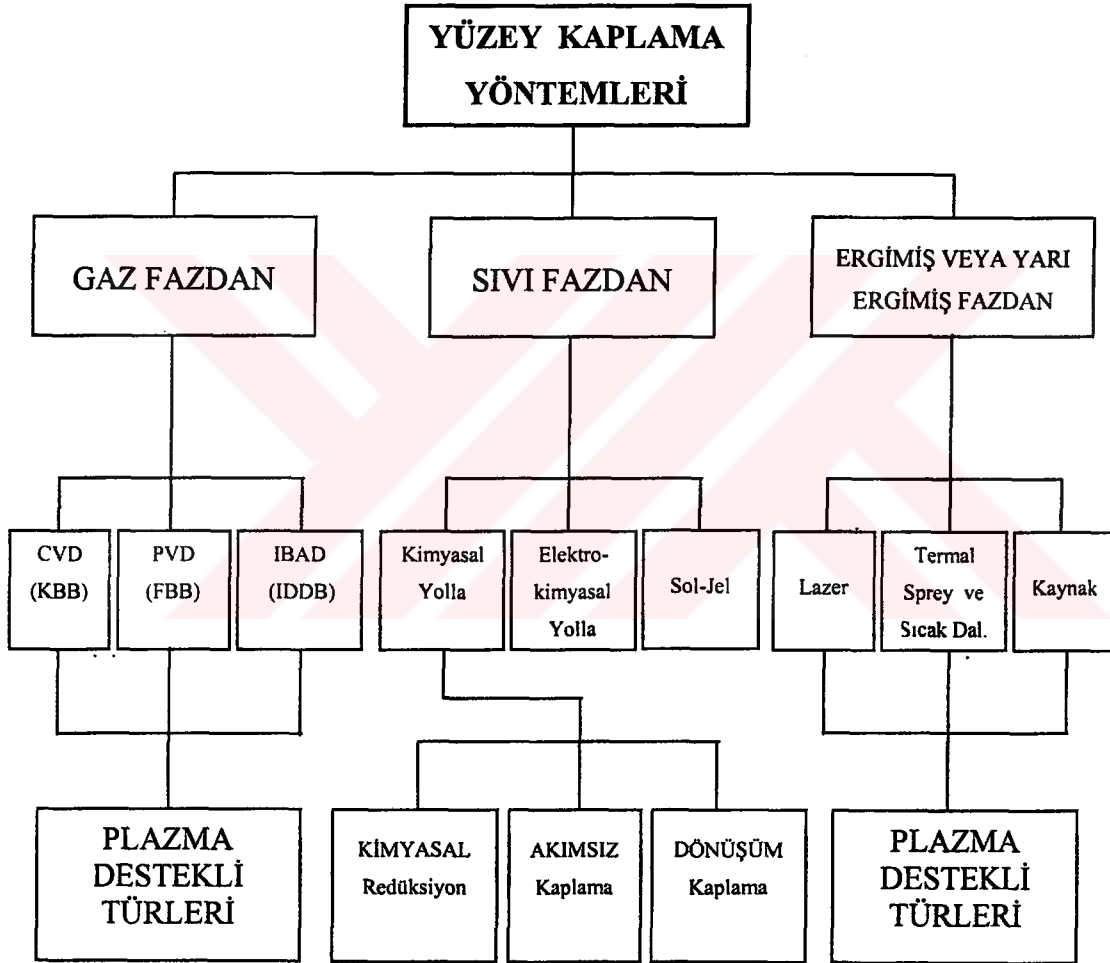
Yüzey işlemleri, taban malzemeye kitlesel olarak sahip olmadığı nitelikler kazandırmakta, daha ucuz ve daha kolay üretilebilen bir malzemenin sadece yüzeyini değiştirerek istenilen amaca ulaşılabilmesini sağlamaktadır. Yüzey işlemlerinin en önemli avantajı göreceli olarak ucuz bir taban malzemenin yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey-ortam etkileşimine dayanan mühendislik özelliklerinin istenilen şekilde değiştirilebilmesidir. Örneğin aşınmaya dayanıklı seramik bir kaplama ile kaplanan yüksek hız çeliği kombinasyonunda taban malzemenin tokluk ve mekanik özelliklerinden yararlanılırken, seramik malzemenin yüksek sertlik ve yüksek sıcaklık oksidasyon direncinden yararlanılır [1].

Çoğu metal ürünlerin kalitesi, onların yüzey çalışma koşullarına ve yüzeylerin kullanım yüzünden bozulmasına bağlıdır. Yüzeylerin bozulması, mühendislik alanında çok önemlidir. Makina elemanlarının performansı ve ömürlerinin en önemli sınır şartı, sık sık yüzeylerinin bozulmasıdır. Aşınma, çevre veya

kullanım sonucunda istemeyerek meydana gelen bozulma olarak tanımlanabilir [6]. Metal yüzeylerinin bu tesirlerden korunabilmesi, ancak uygun bir yüzey kaplama ile sağlanabilir.

2.1. Kaplama Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kaplama yöntemleri malzemenin fiziksel durumuna göre aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması [1].

2.1.1 Sıvı fazdan yapılan kaplamalar

Sıvı fazdan yapılan kaplamalar, sulu çözeltilerden ve organik çözeltilerden kimyasal ve elektrokimyasal yöntemler kullanılarak yapılan kaplamalardır.

Halen metal kaplama amacı ile en yaygın kullanılan sıvı fazdan yapılan kaplamalardır.

2.1.1.1. Kimyasal kaplamalar

Kimyasal yolla yapılan kaplamalar; Sulu çözeltilerde gelişen homojen kimyasal reaksiyonlar aracılığı ile kaplama, akımsız kaplama ve dönüşüm kaplamalar olmak üzere üç çeşittir [1]. Bu yöntemlerden birincisi pek kullanılmamaktadır. Kaplama çözeltisinin ve redükleyicinin kaplanacak yüzeye püskürtülerek indirgenme reaksiyonun yüzeyde gerçekleşmesi sağlanır. Akımsız metal kaplamada ise kaplanacak metalin iyonlarını ve bir indirgeyici içeren çözeltiye daldırılan metalin yüzeyinde indirgenme reaksiyonu meydana gelir ve metal kaplama olayı gerçekleşir. Dönüşüm kaplamalarda malzeme ile reaksiyona girebilecek ve koruyucu nitelikte filmler oluşturabilecek sıvı çözeltilerle metallerin reaksiyonu sonucu oluşur. Kromatlama, fosfatlama ve anodik oksidasyon en iyi bilinen kaplama yöntemleridir [1,3].

2.1.1.2. Elektrolitik kaplamalar

Metal parçaların aşınma direnci elektrolitik kaplama ile iyileştirilebilir [6]. Bu yöntemle metal ve alaşım kaplama bilinen en esnek kaplama yöntemlerinin başında gelir. Yüzeyin iletken yapılması koşulu ile her tür malzeme istenilen hemen hemen her metalle kaplanabilir. Uygun bir çözeltide yüzeyi metal kaplanacak parça katot yapılırsa buraya erişen metal iyonları elektron alarak indirgenirler ve metal haline geçerek parçanın yüzeyini örterler. Kaplamanın düzgün, parlak, her yeri kaplayan ve her yerde kabul edilebilir kalınlıkta olması kaplama çözeltisinin bileşimine ve kaplama koşullarına bağlıdır. Metal kaplamacılığında moda önemli ekonomik faktördür. Parlak veya mat, açık veya koyu kaplamalar modaya göre yaygınlaşmakta veya seyrekleşmektedir. Önemi kaybetmeyen bilakis her zaman artıran kaplama türü ise koruyucu

Çinko ve son yıllarda da alaşım kaplamalardır. Zn, Fe, Zn-Ni, Zn-Co her gün daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1,3].

2.1.1.3. Sol - Jel kaplamalar

Bir sıvı içerisinde yayılmış kolloidal parçacıklar sol olarak tanımlanır. Sol'un kaplanacak malzeme ile teması sonucu ekirdeklenme, Jelleşme ve kuruma aşamalarından geçerek yüzeyde Jel oluşumu gerçekleşir. Bu şekilde kaplanan yüzey uygun sıcaklıklarda ısıtılarak istenilen nitelikte kaplama oluşturulur [1].

2.1.2. Ergimiş veya yarı ergimiş fazdan yapılan kaplamalar

Lazer kullanılarak yapılan yüzey işlemleri, termal püskürtme, sıcak daldırma ve kaynakla yapılan yüzey işlemleri ergimiş veya yarı ergimiş fazdan yapılan işlemlerdir.

2.1.2.1. Lazer kullanılarak yapılan yüzey işlemleri

Lazer kullanılarak; Isıl işlemler (yüzeyin lazer demeti aracılığı ile ısıtılarak faz dönüşümleri,tavlama), yüzey ergitilmesi (yüzeyin lazer demeti aracılığı ile ergitilmesi) ve yüzeyin alaşımlandırılması (korozyon özelliklerini ve aşınma dayanımını geliştirmek amacı ile) gerçekleştirilebilir. Lazer yüzey işlemleri dünyada çok yaygın kullanım alanı bulan teknikler değildir [1].

2.1.2.2. Sıcak daldırma

Sıcak daldırma yolu ile metal kaplama, hacim ve değer açısından değerlendirildiğinde en önemli kaplama türüdür. En yaygın, en ucuz metal kaplama yöntemlerinden olan sıcak daldırma özellikle çeliğe çinko, alüminyum, kurşun, bakıra kalay kaplamada kullanılır. Ergime sıcaklığı nispeten düşük olan metallerin kaplanmasında kullanılır.

Sıcak daldırma küçük-büyük kesitli veya devamlı (kontinü) olarak uygulanabilir. Günümüzde tel, levha, şerit kaplamada sıcak daldırma yöntemi önemli bir yere sahiptir. Bu yöntem ile elde edilebilecek kaplamanın alt sınır kalınlığı sınırlıdır. Günümüzde tazyikli sıcak hava püskürtme uygulamaları ve otomatik kontrol ile kalınlık dağılımı özellikle devamlı kaplamada sıhhatli olarak kontrol edilebilmektedir [1,3].

2.1.2.3. Termal püskürtme (Sprey)

Termal spreyleneş kaplamalar, hazırlanmış bir alt tabaka üzerine çok ince, ergimiş (yada yumuşatılmış) partiküllerin yönlendirilmesi ile üretilir. Normal olarak kaplamalar yapışma, gözeneklilik seviyeleri ve oksit içeriğı yardımıyla karakterize edilir [7]. Ayrıca spreyleme işlemi aşınmış yüzeyleri tamir etmek ve olması gereken boyutun altındaki ölçülere sahip olan ürünleri yeniden kullanılır hale getirmek için yıllardır kullanılmaktadır [6]. Bu konu bölüm 3'te detaylı olarak açıklanacaktır.

2.1.2.4. Kaynakla yapılan yüzey işlemleri

Kaynakla yapılan yüzey işlemine kaynakla dolgu (hard facing) adı verilir. Metalik malzemelerin yüzeyi, özel elektrotlar kullanılarak kaynak aracılığı ile sert aşınmaya dayanıklı katmanlar (metal/kompozit) ile kaplanır. Kullanılan kaynak teknikleri oksii-asetilen ve arkıtır. Kaynakla dolgu işlemi genelde demir-çelik alaşımlarına, abrasif aşınmayı önlemek amacıyla uygulanır. Dolgu kalınlıkları 1-6 mm arasında değışebilir. Yapılan aşınmaya dayanıklı dolgular demir, kobalt veya nikel matris içerisine dağılmış krom, tungsten ve bor karbürlerdir [1]. Genel olarak bakıldığında, kaynakla dolgu, makina parçalarının ömrünü önemli ölçüde artırma olanağı vermektedir. En anlamlı fayda, çok yüksek gerilme altında olmayan parçalarda olur. İnce yüzeylere uygulanması ve iyi bir bağlantının esas olduğı hallerde, artan kusurların sık tekrerrüne rağmen, plazma kaynağına başvurulur [5].

2.1.3. Buhar fazından yapılan kaplamalar

Buhar fazından yapılan kaplamalar, tüm kaplama teknikleri içerisinde üzerinde çalışmaların son yıllarda en çok yoğunlaştığı, teknolojik ve bilimsel gelişmelerin sağlandığı kaplama tekniklerinin başında gelmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri, seramik kaplamaların, bu teknikler kullanılarak oldukça kolay yapılabilmesidir. Buhar fazından yapılan kaplamalar üç temel grup altında toplanabilir [1].

- 1) Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)
- 2) Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)
- 3) İyon Demeti Destekli Biriktirme (IBAD)

2.1.3.1. Kimyasal buhar biriktirme (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme prosesi bazı yönlerden gaz karbürleme ve gaz karbonitrürleme proseslerine benzerdir. CVD prosesinde, bir reaktan atmosfer gazının iş parçasının yüzeyinde bozulmaya uğradığı proses odasına beslenir. İkinci malzeme gaz formunu alır ve gaz haricinde bir şeyle temsil edilen bir karışım şeklinde aşırı atmosfer gazı boyunca yanma odasından taşınır [8].

CVD teknikleri, kolayca buharlaşan taşıyıcı gazları, kaplanacak parçaya bozunmaksızın gazın taşınımı ve yüzey kaplamasının üretimi için kimyasal reaksiyonu içermektedir. CVD ile daha büyük biriktirme hızları ve daha kalın kaplamalar elde edilmektedir. Yalnız CVD kaplamalarda altlık daha yüksek sıcaklıklara (600-1200°C) dayanabilmektedir [9].

2.1.3.2. Fiziksel buhar biriktirme (PVD)

Fiziksel buhar biriktirme (PVD), metal ve alaşımlarının bir kaynaktan diğerine buhar durumunda transfer edilebilmesi vasıtasıyla oluşturulan prosestir. 1912'den beri hem deneysel hem de ticari olarak vakum içinde üretilmektedir.

PVD prosesi, bir metal olarak bir altlık üzerine katı bir malzemenin biriktirilmesi şeklinde orijinal olarak tanımlanır. Bu proses gaz fazında kimyasal reaksiyonlar içermez [10].

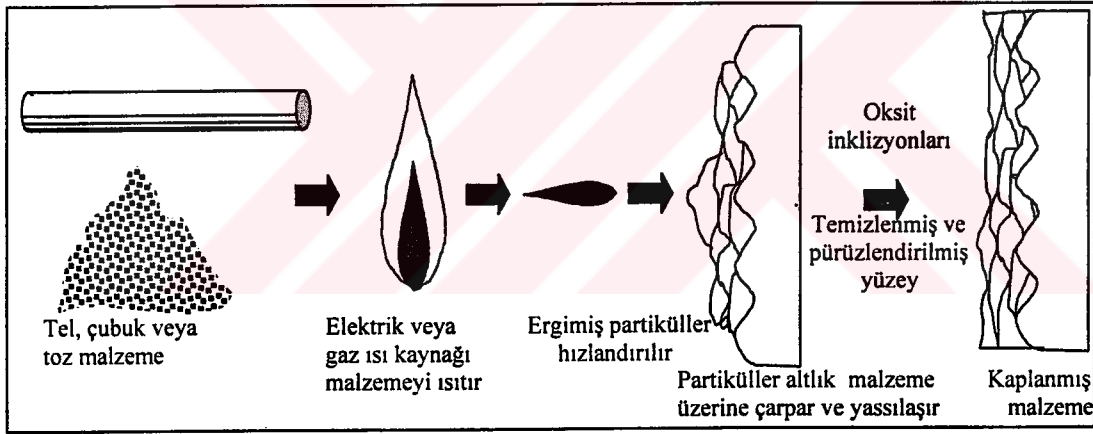
PVD teknikleri, katı bir kaplama malzemesinin vakum altında buharlaşması veya atomsal hale dönüştürülmesi ve taban malzemenin üzerine biriktirilmesi ile gerçekleşir. PVD teknikleri kullanılarak CVD'den farklı olarak daha düşük sıcaklıklarda seramik kaplama olanağı vardır. Bu sistem gaz ortamında 500C'nin altında yapılırken, CVD tekniğinde sıcaklık 1000°C'nin üzerine çıkabilmektedir [1,11]. PVD prosesi, vakum buharlaştırma, iyon yerleştirme (Ion Implantation), iyon kaplama ve sıçratma gruplarına ayrılmaktadır. Bu proses ile 0,1-10 μm aralığında çok ince kaplamalar elde edilmektedir [9]. Aşınmaya en fazla direnç gösteren yüzeyi elde etmek için yapılan işlem vanadyum karbür difüzyon işlemidir. Difüzyon ve PVD işlemleri, küçük boyutlu, yuvarlanan çelik parçaların aşınma direncini iyileştirdiği yapılan araştırmada görülmüştür [12].

2.1.3.3. İyon demeti destekli biriktirme

İyon demeti destekli biriktirme, azot, karbon, silikon yada bor iyonlarının bir demeti altlığa bombardıman edilir. Yüksek akım, düşük voltaj iyon demetleri kaufman iyon kaynakları ile üretilir. Bunlar magnetik alan elektron kapatılma ve sıcak tel elektron kaynaklı çok sayıda yarıkları olan iyon kaynaklarıdır. Demet çapları 300 mm kadar büyük olabilir. Bunun yanında birkaç mA/cm^2 'den yukarı iyon flux yoğunlukları ile 500 – 1000 eV' ta birikinti elde edilebilmektedir [13].

3.TERMAL SPREYLEME

Termal spreylere proseslerinde kaplanacak yüzey, boyanın püskürtülmesindeki mantığa benzer şekilde, ergimiş damlacıklar ile bombardıman edilmektedir. Boyamadan farklı olarak kaplama malzemesi oda sıcaklığında sıvı değildir ve bir yüksek enerji ısı kaynağı tarafından ısıtılmak üzere ısıtılmakta ve kaplanacak malzemenin yüzeyine spreylenecektir. Kaplanacak malzeme, oksidasyondan ve distorsiyondan kaçınmak için düşük sıcaklıklarda (200-300°C) tutulabilmektedir. Yüzeye düşen damlacıklar altlık malzeme ile ısı transferinin yüksek olması nedeni ile kısa sürede yassılaşıp ve soğumaktadır [2]. Temizlenmiş ve pürüzlendirilmiş yüzeye partiküllerin kuvvetli bağlanması şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Termal spreylere kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi [2].

Termal spreylere prosesi, tipik olarak tozlaştırılmış formdaki malzemeyi ısıtır ve bir yüzey üzerine ısıtılan malzemeyi biriktirir. Darbe etkisi üzerinde, malzeme bağlanmış, katılaşmış malzeme halini alır. Bu şekilde kaplamalar, boşluklar ve bir miktar oksitlenmiş partiküller ile karıştırılmış ince mercek partiküllerin tabakalarını bağlar. Toplam kaplama kalınlığı, spreylenecek malzemenin gerilim sınırlamalarına dayalı olarak 0,0025- 10 mm aralığında olabilir [14].

Termal spreyleme, metalik ve metalik olmayan kaplamaların birleştirilmesinde kullanıldığından bazen metalleştirme (metallizing) olarak da bilinir.

Kaplamalar, çubuk yada tel stoğundan yada tozlaştırılmış malzemeden spreylenebilmektedir [8]. Termal spre y yöntemlerinde kullanılan malzeme besleme türleri ve yöntemlerin bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1.Termal spre yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri [15].

Biriktirme yöntemi	Isı kaynağı	Yönlendirici gaz	Malzeme besleme	Tabanca içindeki sıcaklık °C	Tipik Toz hızı (m/sn)	Ortalama spre hızı (kg/sa)
Alev püskürtme	Oksijen-asetilen Oksijen-hidrojen	Hava	Tel Toz	3000	40	2 – 6
Elektrik ark püskürtme	Elektrotlar arası ark	Hava	Tel	6000	100	12
Hava plazma püskürtme	Plazma ark	Soy gaz	Toz	12000	400	3 – 9
Düşük basınçlı plazma püskürtme	Plazma ark	Soy gaz	Toz	12000	400	3 – 9
Detenasyon alev püskürtme	Oksijen-asetilen-azot gaz detenasyonu	Detenasyon dalgaları	Toz	4500	800	0.5
Yüksek hızlı oksijen gaz	Oksi-gaz yanması	Eksoz gazı	Toz	3000	400 – 600	2 – 4

Termal spreylemiş 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 termal spre yöntemlerinin uygulanabilir olması, İkincisi ise işlem sırasında parça sıcaklığının (100-260°C) arasında oksidasyonu, distorsiyonu ve faz dönüşümlerini minimize etmek için düşük tutulabilmesidir [16].

Termal spre proseslerinin yüksek sıcaklıkları ve hızları, proses parametrelerinin ölçümü ve kontrolünü güçleştirir. Bundan dolayı, yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kaliteli kaplamaların üretimi büyük ölçüde yetenekli teçhizat kullanıcılarının sezgisine ve tecrübesine bağlıdır [17]. Termal spreyle kaplanmış kaplamalarda yüksek partikül hızı, daha iyi bağ mukavemetini, daha yüksek gözenekliliği ve yoğunluğu, aşınmaya karşı direnci daha büyük olan kaplamaları meydana getirmektedir [7,14].

Bazı termal kaplama prosesleri, kaplama ile altlık arasında bir dereceye kadar yüksek sıcaklık difüzyonunu içermesine rağmen, kaplamaların çoğu altlığa mekanik olarak bağlanmaktadır. Bu yüzden, kaplama bağ dayancı için altlık ve ara tabaka bağ dayançları, kaynaklı kaplamalarda olduğu kadar yüksek değildir. Daha ileri boyutta, kaplamalar bir miktar gözeneklilik ve oksidasyonu gösterir. Kalın spreyleneş kaplamaların biriktirilebildiğı, örneklerinin mevcut olmasına rağmen, kaynaklı kaplamalarla karşılaştırıldığı zaman termal spreyleneş kaplamaların daha ince olduğu görölmüşür.

Termal spreyleme, kaynaklı kaplamadan farklı iki ayrı avantaj gösterir. Bunlardan ilki; seramik gibi kaynak edilebilir olmayan kaplama malzemelerine uygulanabilir olması, ikincisi ise, kompozisyon yada çarpılmaya eğilimliliğı yüzünden kaynakla kaplamaya uygun olmayan malzemeler için yapılacak kaplamalara uygulanabilirliğıdır. Genel olarak, altlık üzerinde az yada hiç, çarpılma, eriyik ve metalurjik darbe mevcut değildir [9].

Temizlenmiş alt tabakaya kum püskürtölerek veya pürüzlendirilerek yapışma genel olarak arttırılır. Kaynaklı kaplamalar haricinde kaynaşma ile (birleşmeyle) ya altlık yada kaplamanın yoğunluğunda düşme meydana gelmez ve kaplama malzemesinin ergime derecesi altlık malzemesinin ergime derecesinden daha yüksek olabilir. Spreylemenin bir avantajı da az yada hiç ön veya son ısı işlemi gerektirmeyişidir [9,18].

Termal spreyleneş kaplamaların özelliklerinin servis esnasında ölçölmesi güçtür. Çekme gerilmesi, elastikiyet modölü, termal iletkenlik ve kırılma tokluğu önemli kaplama özellikleridir. Ancak en çok tutulan özellik altlığa yapışmasıdır. Bu da çekme yapışma testi olan ASTM-C633-79 ile tespit edilir. Erozyon ya da korozyon direnci gibi performansla ilişkili diğör özellikler rutin olarak ölçölür ve belirli uygulamalardaki işletim şartları ile ilişkilendirilir [17].

Termal sprej kaplama, koruyucu bir bariyer yada yıpranmış boyutları onarmak için iş parçası üzerine ergimiş metal biriktirme olduğundan, metal alaşımları ve seramik kaplamalar, abrazyon, sürtünmeden dolayı ısınma, erozyon, korozyon ve kavitasyon gibi yüksek sıcaklık oksidasyonundan yüzeylerin korunmasını ihtiva eden bazı problemlerle uğraşmaktadır. Yataklar pompalar, valfler, valf yatakları, türbin kanatları vb. gibi işlemler termal sprej kaplama uygulamalarını kapsar. Termal sprej kaplamaların kullanımları, uçak, uzay, çelik, otomotiv ve petrol endüstrilerinde yaygın olarak yer almaktadır. En önemli kullanımları, uçakların türbin-motor imalatlarındadır [19].

Termal sprej uygulamaları otomatik sistemlerle de kullanılmaktadır. Dünyada üretilen ticari uçaklarda bulunan yardımcı güç ünitelerinin %85'ini üreten Birleşik- Işık Uzay'ın Garrett yardımcı güç bölümü (Garrett Auxiliary Power Division of allied-Signal Aerospace) dünya pazarında onunla rakip olmasını sağlayacak diğer teknolojiler ile robotik konusunda ciddi araştırmalar yapmaktadır.

Birleşik-Işık Uzay'ın Garrett bölümlerindeki robotik destekli sprej kullanımının tarihi 1980'lerin başlarında başlamıştır. Dolayısıyla da birkaç yıldan beri ilerleme kaydedilmiş bulunmaktadır. Metal spreylemeyi gerçekleştirmek için temel tahrik kuvveti, iki unsurdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki, komplike parça geometrisine kaplama yapmaya ihtiyaç duyulması, diğeri ise güvenlik sorunları yüzünden bir operatöre ihtiyaç duyulmasıdır [20].

Termal spreyleme genel olarak dört grup altında incelenebilir [21]. Bunlar;

- 1) Alev spreyleme
- 2) Plazma spreyleme
- 3) Ark spreyleme
- 4) Detonasyon alev spreyleme

Termal spreylere katılan en son ilave, Yüksek Hızlı Oksi-yakıt spreyleme (HVOF) yukarıda sayılan yöntemlere alternatif olarak kurulmuştur [7,18].

3.1. Alev Spreyleme

Bu proseste, bir oksijen-asetilen karışımı bir memeden geçirilir ve bir yanma alev formunda tutuşturulur. Kaplama malzemesi, toz yada tel alev içine beslenerek, kaplama biriktirme formu için altlık yüzeyi üzerine ivmelendirilir ve yönlendirilir [22]. Bu konu bölüm 4'te geniş şekilde açıklanmaktadır.

3.2. Plazma Spreyleme

25 yıldan daha uzun bir süredir plazma spreyleme kullanılmaktadır. Bu gerçekte birlikte, bu teknolojiye dayalı bilim hala zayıf bir şekilde gerçekleştirilmektedir. 50'li yılların sonunda, 60'lı yılların başında ilk önemli incelemeler temel refrakter malzemelerinin spreyleneceği için plazma torçları kullanılarak rapor edilmiştir. Bugün, biliyoruz ki, herhangi bir malzeme, herhangi bir altlık üzerine plazma spreyleme için kullanılabilir. Bu esneklik, bu teknolojinin hızlı gelişmesi için temel nedenlerden biridir.

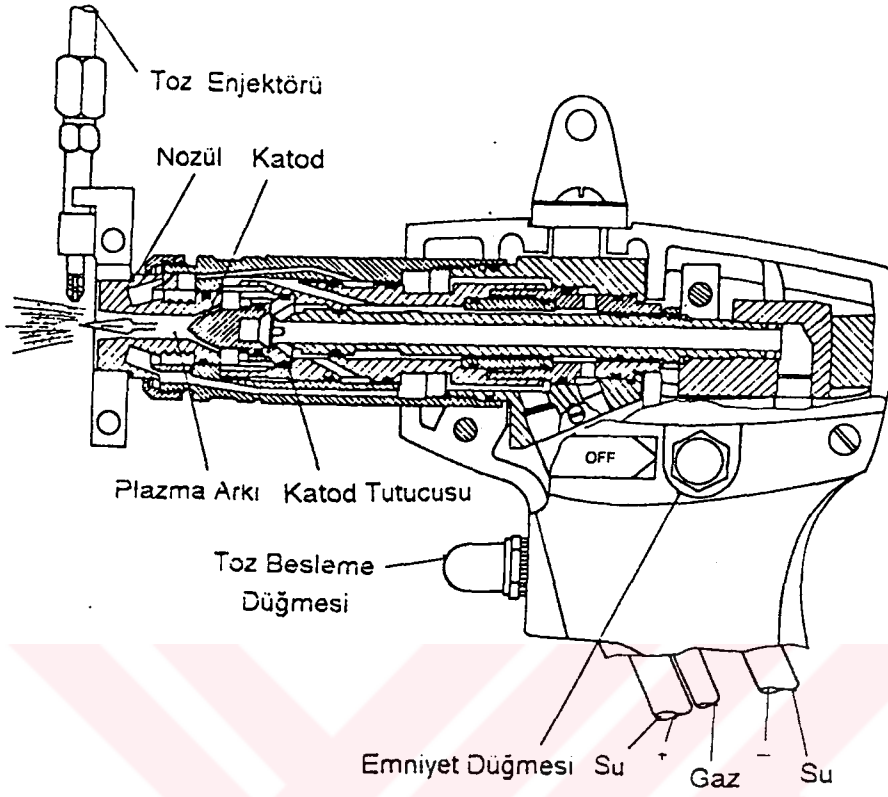
Plazma spreylemenin uygulamaları korozyon, sıcaklık ve abrazyon direnç kaplamalarını ve aynı zamanda hızlı soğuma prosesinin avantajını alan monolitik ve son ürün şekillerini kapsamaktadır. Cam metallerin tozları, onların amorf karakteristiklerini değiştirmeksizin plazma ile

spreylenebilmektedir. Son zamanlarda yüksek sıcaklık süper iletken malzemeler plazma sprej prosesleri ile biriktirilmektedir [23].

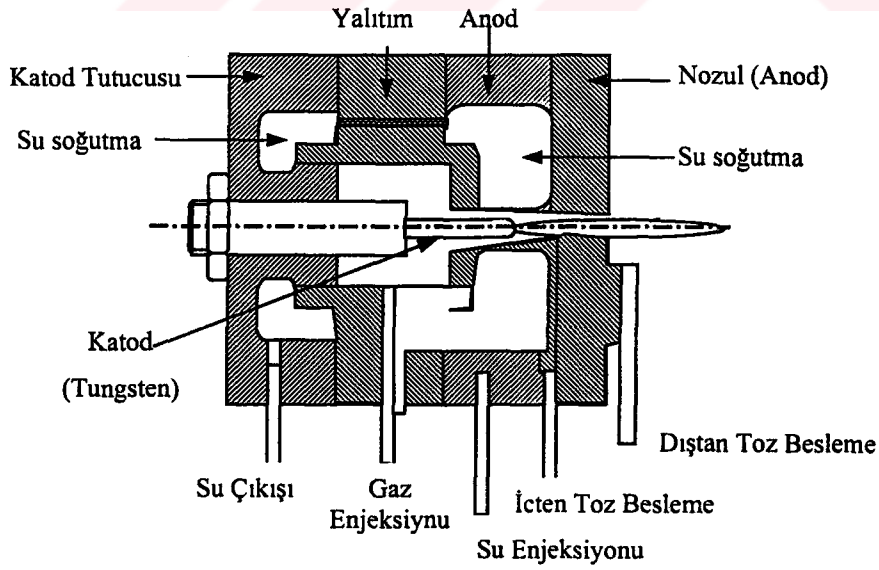
Plazma spreylemede, plazma arkının ısısı, malzeme yüzeyinin ergimesine yardımcı olur. Plazma arkı terimi, metallerin işlenmesinde yüksek yoğunlukta termal enerji sağlamak için elektrik arkının yoğunlaştırılmasında kullanılan işlemlerin tümü olarak bilinir. Ark yoğunlaştırılması genellikle bir su soğutmalı bakır boru boyunca ark plazma kuvveti oluşturur. Bunun amacı, arkın akış yoğunluğunu arttırmak ve kontrol etmektir. Plazma ark işlemi, metallerin kaynatılması, kesilmesi, ve yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Plazma ünitesi bir tabanca, güç kaynağı, sprej malzeme temini, durağan ve hareketli aygıtlardan oluşur [21]. Şekil 3.2.'de plazma sprej tabancası, Şekil 3.3'te de plazma sprej tabancasının elemanları görülmektedir.

Plazma spreyleme, metalik ve metalik olmayan malzemelerin, bir sprej çökeltisi oluşturmak üzere ergimiş veya yarı ergimiş halde bir altlık malzeme üzerine çökeldiği termal sprej prosesleri grubunun bir parçasıdır. Bu proseste altlık malzeme spesifik soğutma aygıtlarıyla nispeten düşük sıcaklıklarda tutulabilir [24].

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 [25,26].



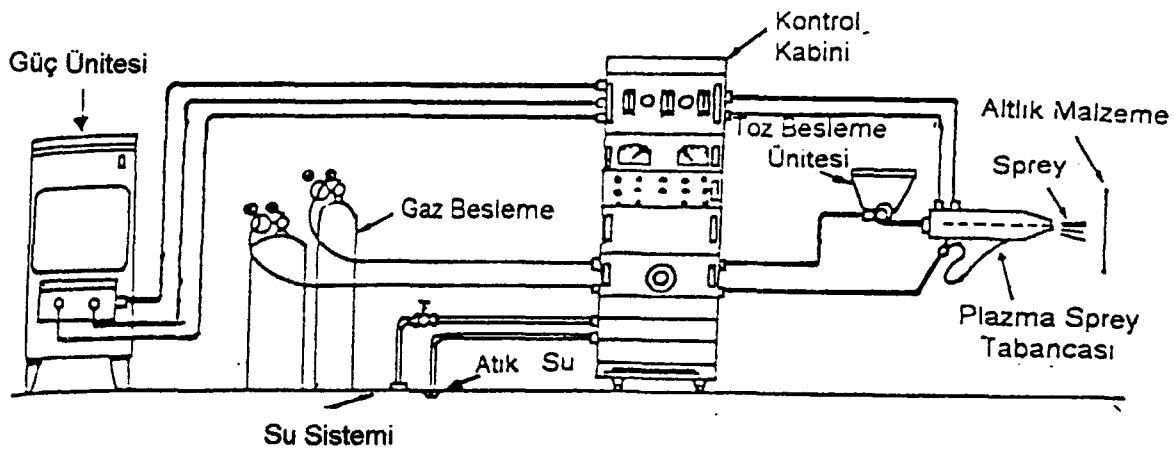
Şekil 3.2. Plazma Sprey tabancası kesit resmi [2].



Şekil 3.3. Plazma sprej tabancasının elemanları [2].

Plazma sprej yönteminde ark, nozul ile elektrot arasında oluşur. Soy gaz (genellikle argon) veya soy gaz karışımları ile gücü arttırmak için az miktarda ilave edilen hidrojen gazı, plazma jeneratörünün ark bölgesine gönderilir ve elektrik arkı ile ısıtılır. Gaz karışımı, 8300°C'ye kadar ısınarak iyonize hale (plazma) gelir. Böylece, yüksek sıcaklık plazma hüzmesi tabancanın nozulundan çıkar. Bu sistemde, seramik tozları plazma alevine, taşıyıcı gaz hüzmesinde süspanse halinde beslenir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle ergiyen tozlar, kaplama yapılacak yüzeyin üzerine hızlı bir şekilde birikir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, Argon/Helyum gaz karışımının gaz akış hızını, böylece partiküllerin hızını arttırdığını göstermiştir [27].

Şekil 3.4. temel bir plazma ark sprej sisteminin içerdiği modülleri ve kontrol edilmesi gereken değişkenleri göstermektedir. Güç düzeyi, ark gazlarının basınç ve akışı ve de toz ile taşıyıcı gazın akışının hızı sistemin mesnetinde kontrol edilir. Sprey-tabanca konumu ve tabanca- iş mesafesi genel olarak önceden ayarlanır. İş parçasının hareketi otomatik yada yarı otomatik araçla kontrol edilir. Altlık sıcaklıkları ön ısıtma ile ve kesintili spreyleme işlemi sırasında sıcaklık artışı sınırlandırılarak kontrol edilebilmektedir [8].



Şekil 3.4. Plazma sprej sisteminin şematik gösterimi [8].

3.2.1. Kaplama oluşum prosesi

Kaplamalar, altlık malzeme üzerine gönderilen partikül akışının çarpmasıyla oluşturulduğu için, kaplamanın yapısını kontrol eden başlıca faktörler partiküllerin sıcaklığı, hızı ve boyut dağılımıdır. Partikül boyutu, beslenen malzeme tarafından belirlenir ama hız ve sıcaklık dağılımları plazma torcunun dizaynına ve çalışma şartlarına bağlıdır. Bir plazma torcu içerisinde partikül hızı ve sıcaklık ölçümlerinin direkt ölçümleri kaplama oluşum prosesleri ile ilişkilendirilmiştir. İdeal olarak, altlık malzemeye çarpan partiküllerin tümü tamamıyla ergimiş olmalıdır. Ergimemiş partiküller sıçrayarak çökelme verimini azaltır ve kısmen ergimiş partiküller çökelti içerisine dahil olurlar. Bu partiküller, mikroyapıyı ve özellikleri değiştirirler [28].

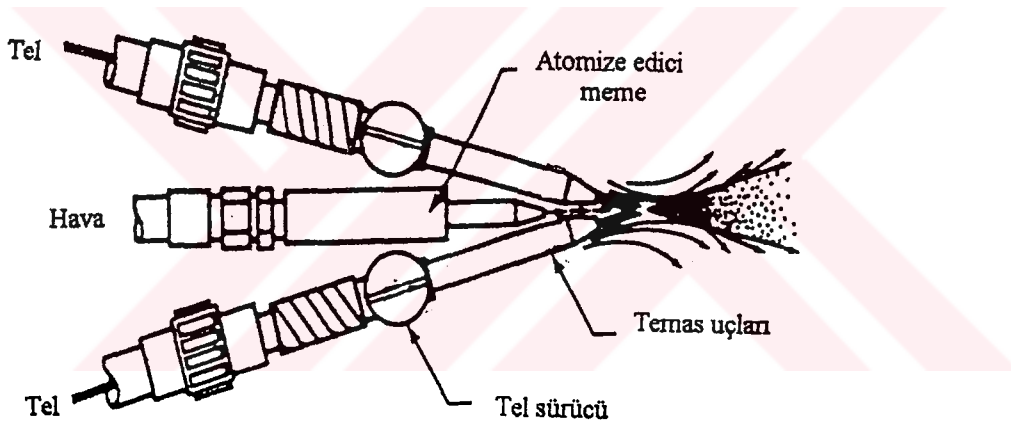
3.2.2. Plazma spreylemenin avantajları

Plazma spreylemenin kaynakla yüzey dolgusuna göre büyük bir avantajı, ana metalde hasıl olan ısıl gerilmenin göreceli alçak düzeyidir. Buna rağmen, plazma p sk rtmesiyle bile, püskürtme parametrelerine bağlı olarak ısı girdisi, sıcaklığa duyarlı kristal içyapı ve fazlar için fazla yüksek olabilir. Sıcaklığa duyarlı parçalara yüksek püskürtme temposuyla plazma püskürtmesi uygulayabilmek ve bunu mümkünse araya soğuma dönemleri sokmadan basınçlı hava ile soğutmak faydalı olabilir. Bu proseste püskürtme sırasında ana metalin soğutulması ve/veya ön ısıtma ile kaplamadaki ilave gerilmeler azaltılabilir [5]. Bu yöntemde, düşük sıcaklıktan dolayı (200 C) distorsiyon olmadığından son halinde işlenmiş malzemeler kaplandığında mikroyapılarında değişme meydana gelmez. Ayrıca, kaplanacak malzeme ile altlık malzemesi birbirinden bağımsız olarak seçilip kaplanabilmektedir [2].

Plazma spreyleme işleminin koruyucu bir gaz altında veya su içinde yapılması bir avantaj olarak kabul edilebilir [29].

3.3. Ark Spreyleme Yöntemi

Ark spreyleme, kullanılışı kolay ve işletim giderleri yardımıyla termal yada metal spreyleme yöntemlerinin maliyet açısından düşük olan bu üretim ana malzemelere metal kaplamaların uygulanması için kullanılmaktadır. Tel formunda herhangi bir elektrik ileten malzeme ark spreyleme yöntemiyle kaplanabilmektedir [30]. Bu işlemde iki adet sürekli tüketilebilir tel kullanılır. Atomlaştırıcı meme önündeki bir noktaya teller otomatik olarak beslenir. Ark eritilecek iki tel arasına yerleştirilir. Atomlaştırma memesi, partiküllerin kuvvetle alt tabaka üzerine yönlendiren gaz buharını erime bölgesine doğru yönlendirir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Ark spreyleme tabancası [31].

Ark spreyleme düzeneği, DC güç kaynağı, iki tel besleyici, spreyleme tabancası ve sıkıştırılmış hava için dağıtıcı sistemi kapsar. Güç kaynağı 18'den 40 Volt'a kadar dağıtma kapasitesine sahip olmalıdır. Tipik olarak, ark dengesinin kalıcı olması için voltaj mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Çünkü voltaj artarsa partikül büyüklüğü de artar [31].

Ark spreyleme 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 asitik 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 içinde kullanılır [18].

Ark spreyleme işlemi, aşınma ve korozyona karşı alt tabakayı korumak ve yüzeyi metalle kaplamak için çeşitli endüstriyel uygulamalarında kullanıldığından, kaplamanın verimi, kaplamada oluşturulan gözenek seviyesi ve alt tabaka ile kaplama arasındaki bağ kuvvetiyle değerlendirilir.

Kaplamaların - diğer gerekli özelliği yüzeyinin pürüzlülük derecesidir. Örneğin, düz bir yüzeyin üretilmesi, sonraki işlemeyi azaltmak ya da yok etmek için istenir. Fakat pürüzlü yüzeye, kaymayı önlemek veya yüzeyler arası sürtünmeyle gücü iletmek için ihtiyaç duyulabilir [32].

Gözeneklilik, katılaştan partiküller arasındaki boşluklar doldurulmadan kaldığı ve kaplama içine yerleştiğinde meydana gelir. Gözeneklilik, yüksek hızda küçük damlacıklar üreten şartlar kullanılarak minimize edilebilir [33].

Ark spreyleme ile üretilen kaplamalar sık sık yüksek seviyede gözenek içerir ve alt tabaka ile düşük bağ kuvvetine sahiptirler. Gözenek, korozif akışkanların kaplamaya doğru geçmesine izin verdiği ve böylece alt tabakayı koruma yeteneğini azalttığı için zararlıdır. Düşük bağ dayancına sahip kaplamalar, serviste zamanından önce kopar ya da tabaka tabaka ayrılır. Bundan dolayı ark spreyleme işlemi genellikle yüksek gözenek seviyesinin kabul edilebildiği, istenmeyen kaplama hatalarının ciddi hasara neden olmadığı ve hasara uğramış kaplamaların kolaylıkla değiştirilebileceği yerlerdeki uygulamalarla sınırlandırılır.

Ark sprej işlemi, kaplamanın karakteristiğini belirleyecek birçok anahtar parametreye sahiptir. 1991 yılında Mohammed Amin tarafından yapılan çalışmada, ark akımı, ark voltajı, hava basıncı ve püskürtme mesafesi etkileri yumuşak çelik üzerindeki alüminyum-silikon kaplamaların yüzey pürüzlülüğü ve gözenek seviyesi ile belirlenmiştir. Sonuçta; yüzey pürüzlülüğünün, ark akımı ve ark voltajındaki değişmelere karşı hassas olmadığı, fakat hava basıncı yada ara mesafe artarken lineer olarak azaldığı görülmüştür. Kaplamaları en düşük gözenekle biriktirmek için ara mesafenin 150 mm'yi geçmemesi, hava basıncının artmasıyla gözenekliliğin lineer olarak azaldığı, sıfır gözenek için önerilen 5 bar basıncın yaklaşık 7 bar'a çıkarılmasının iyi olacağı, minimum gözenekli kaplamalar elde etmek için optimum ark voltajının 27,5 volt olması gerektiği sonucuna varılmıştır [32].

Ark spreyleme prosesi, MİG ve TİG kaynağı için yaygın olarak kullanılan katı tellerin temel tüketicisidir. Ark spreyli kaplamaların kullanıldığı çok sayıda mühendislik uygulamaları mevcuttur. Altlığın istenilen şekilde hazırlanmış olduğu kabul edilerek, kaplama kalitesi, başlıca boyut, sıcaklık ve hızın sprej partikül karakteristikleri ile tespit edilir. Bu karakteristikler, püskürtme mesafesi, tel besleme hızı (yada akımı), ark voltajı ve atomize hava basıncını kapsayan sprej proses parametrelerine bağlıdır. Partikül karakteristiklerinin üzerine kaplanabildiği altlık malzemesinin etkisi önemsiz olarak kabul edilmektedir.

İlk çalışmaya ilave olarak 1992 yılında yapılan ikinci çalışma, düşük karbonlu çelikler üzerinde yapılmış ve ark spreyleme, korozyona direnç gösteren uygulamalar için alüminyum veya çinko'lu dış ortamlarda kalan çelik yapıların yüksek depolama hızında kaplanması yaygın olarak kullanılabilir olduğu, en önemli kaplama karakteristiğinin bağ dayancı olduğu, spreylene kaplamanın altlığa yapışması, kaplamanın altlıktan kalkmasını önlemek için genellikle oksidasyon seviyesi ve kaplama içindeki artık gerilmelerin

minimize edilerek sağlandığı ve minimum gözeneklilik için optimum spreyleme parametreleri minimum yüzey pürüzlülüğü için gerekli olan parametrelere eşdeğerdir [33].

Arklı püskürtme yönteminde yapılan yeni geliştirmeler, yöntemin vakum veya koruyucu gaz atmosferinde refrakter metal tabakaların elde edilmesinde de kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Arklı püskürtme birçok yerde kullanılmasına rağmen, belli başlı kullanım alanları şöyle sıralanabilir: [25,26,29].

- a) Aşınan parçaların (millerin) doldurulmasında,
- b) İmal edilen parçalarda olabilecek ölçü düşüklüklerinin tamamlanmasında,
- c) Kır dökme demir parçaların üzerindeki, döküm hatalarının ortadan kaldırılmasında,
- d) Aşınma ve korozyona dayanıklı yüzeylerin meydana getirilmesinde, mesela; normal çelikten imal edilmiş parçaların üzerine, krom-nikel çeliği püskürtülerek korozyona dayanıklı yüzeylerin elde edilmesi,
- e) Atmosferik tesirlere karşı yüzeylerin korunmasında; yüzeylere ince bir tabaka halinde çinko, alüminyum, kurşun ve kalay püskürtmesinde kullanılır.

3.4. Detonasyon Alev Spreyleme

Detonasyon alev spreyleme, 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. Oksi-asetilen karışımı saniyede birkaç kez elektrik kıvılcımı ile patlatılır. Bu detonasyon sıcak, yüksek hızlı bir gaz akışını doğurur. Bunu yaparken de önce tozu plastik durumuna ısıtılır ve daha sonra partiküller tabanca namlusundan ayrılırken partikülleri yaklaşık olarak 2500 ft/sn

(1ft = 30,48 cm) hıza ivmelendirir. Ergimiş partiküller, iş parçasının yüzeyine çarparlar. Tabanca içindeki başarılı detonasyonlar, istenilen kalınlık için biriktirme işlemini sağlar [21].

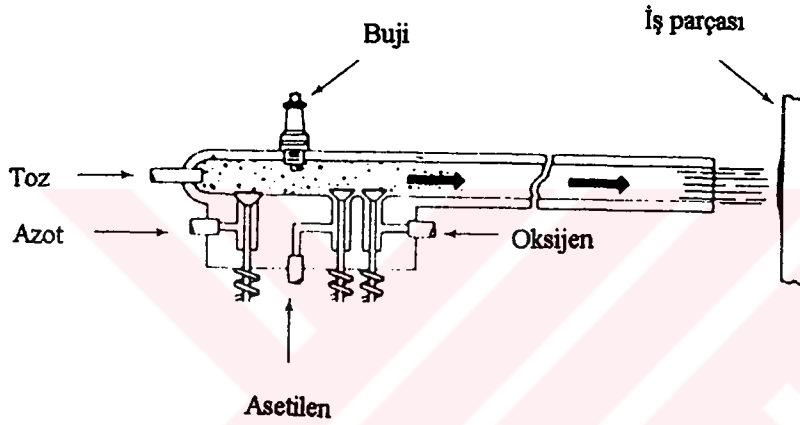
Detonasyon yöntemiyle püskürtme işleminde, kinetik enerji kontrollü bir patlama oluşur. Bu amaçla toz halindeki ilave metal, boru biçimindeki bir reaksiyon odasına sevk edilir ve miktarları hassas olarak ayarlanmış asetilen ve oksijenle karıştırılır; oluşan karışım, elektriksel olarak ateşlenir. Oluşan patlamayla açığa çıkan enerji, toz kabarcıklarını eritir ve çok yüksek hızlara çıkarır. Bu yüksek kinetik enerji, parçacıkların kaplanan yüzeye çarpmaları sırasında kısmen ısıya dönüşür ve böylece parça yüzeyi ile, çarpan damlacıklar arasında mikrokaynak olayı gerçekleşir. Patlamalı püskürtme yöntemi, kesintili çalışır ve saniyede 4 ila 8 püskürtme olayı olur. Her patlamadan sonra yanma artıklarının uzaklaştırılması için reaksiyon odası süpürülür. Bu amaçla azot kullanılır. Detonasyon püskürtmede sadece, tane büyüklükleri tam olarak modife edilmiş (tane büyüklüğü 5 ila 60 μm) tozlar kullanılır.

Detonasyon yöntemiyle püskürtme, yüksek sıcaklık kaplamaları için son birkaç yıldır en yaygın olarak kullanılan püskürtme yöntemidir. Detonasyon tabancasına veya plazma torcuna ek olarak, başarılı bir kaplama uygulamak ve kontrolü sağlamak için (doğru akım güç kaynağı, kontrol paneli, ön ısıtıcı, basınç ölçer, su soğutucu gibi) başka teçhizatlar da kullanılır [29].

Detonasyon spreylili biriktirmelerin yüksek bağ bütünlüğü, partiküllerin altlığa yüksek hızla çarpmasından dolayı meydana gelir. Partiküllerin hızları, plazma yada toz alev spreyleme tabancasından 2,5- 5 kez daha hızlıdır. Kinetik enerji, hızın karesinin fonksiyonu olduğundan, detonasyon alev spreylili tabancasından çıkan partiküller alev spreylili tabancasından çıkan partiküllerinkinden en az 25 kat daha büyük bir enerji ile yüzeye çarparlar. Sonuç olarak, sadece % 0,25-1 gözeneklilik aralığına sahip kaplamalar yaygın olarak bu ekipmanla

gerçekleştirilir. Spreyleme işlemi, hızlı detonasyonlar dizisi olduğundan, gürültü düzeyi oldukça yüksektir. Spreyleme normal olarak bu gürültüyü içeren ve özel olarak yapılmış bir uygulama odasında yapılır [21].

Detonasyon tabanca prosesi, çoğunlukla merdanelerin termal spreyle kaplanmalarında kullanılan detonasyon tabancası, yaklaşık olarak 1 inç çapında ve birkaç fit uzunluğunda su soğutmalı namludan oluşur. Şekil 3.6 patlamalı püskürtme yönteminin şemasını göstermektedir.



Şekil 3.6. Patlamalı püskürtme yönteminin şeması [34]

Dikkatli bir şekilde ölçülen gazlar (oksijen ve asetilen) toz şarjı ile namluya beslenir. Buji gazı ateşler. Detonasyon sonucunda, toz namludan aşağıya doğru hareket ederken ısınır ve ivmelenir. Yeterli bir mesafede gaz içindeki tozun köpük saçması yaklaşık olarak süpersonik hıza (760 m/sn) ivmelenmeye olanak tanır [14].

Geleneksel olarak detonasyon, kaplamanın patlaması ya da dairesel biriktirme ile sonuçlanır. Bir yüzey üzerindeki kaplama biriktirmesi, bu patlayan tabakaların birkaçı üst üste gelerek meydana gelir. Otomatik olarak patlamaların yerleşmesi kararlı bir kalınlık ve düzgün bir yüzey oluşumunu sağlar. Artan biriktirme hızına bağlı avantaj 1988 yılında ileri detonasyon tabanca prosesinin gelişmesine önderlik etmiştir. Bu prosesle üretilen

kaplamalar, diğer detonasyon tabanca prosesi ile karşılaştırıldığı zaman daha düşük gözeneklilik, daha yüksek bağ dayançları ve gelişmiş aşınma direncine sahiptirler. Gelişmiş kaplamaların, daha iyi yoğunluğa sahip olmasından dolayı, geniş kaplanmış merdaneler üzerinde $0,025\mu\text{m}$ 'den küçük ayna gibi yüzeyler elde etmek mümkün olmaktadır [14].

Bu proses ile yüzey sertliği 50-60 HRC'den daha yüksek sertliğe sahip tüm malzemeler kaplanabilmektedir. Fakat metalik olmayan altlık malzemeler bu yöntem ile kaplanamazlar çünkü, yüksek hızdaki gaz akışı yüksek erozyona neden olmaktadır [2].

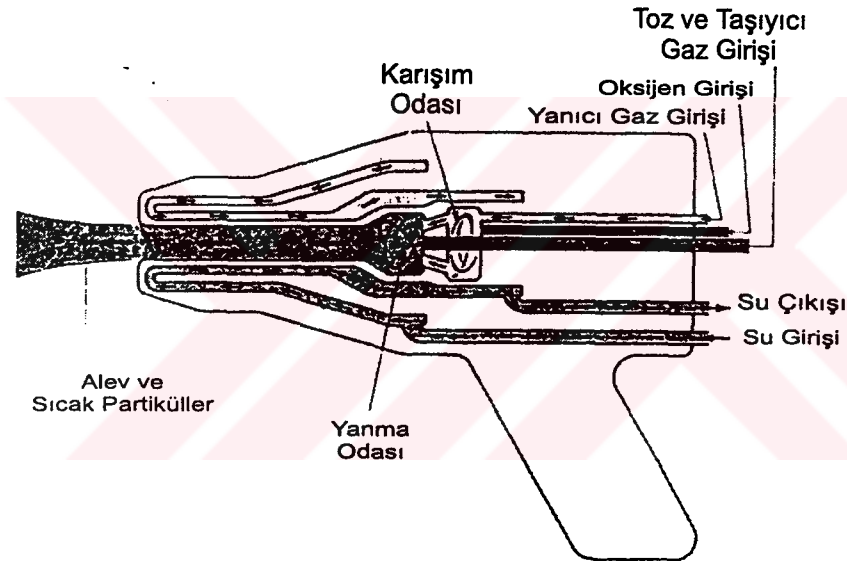
Patlamalı püskürtme yöntemi, ana malzemenin özelliklerini kaplama süreci sırasında değiştirmez. Presizyon parçalarının çarpılma, distorsiyon veya sair fiziksel değişimi, soğutucu sıvı karbondioksit püskürtmesi ile iş parçasında sıcaklığı aşağıda tuttuğuna göre az olur. Her ne kadar tabancada sıcaklıklar 3315°C 'ın üstünde iseler de, kaplanan parçaların sıcaklığı 150°C 'ın altında kalır [5].

3.5. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Spreyleme (HVOF)

Yüksek hızlı oksiyakıt spreyleme (High Velocity Oxyfuel), ısıl spreyl katılımı içinde artan bir uygulama alanı bulmuştur. Çünkü onun yoğun şekilde iyi bağlanmış kaplamaları üretmek için kabiliyetli olduğu kanıtlanmıştır. Şimdiye kadar plazma spreylenmiş çok sayıda malzeme şu anda HVOF alev spreyl tabancaları ile spreylenmektedir [35].

Termal spreyleme ailesine katılan en son ilave yüksek hızlı oksiyakıt spreyleme alternatif olarak kurulmuştur. Yüksek hızlı oksiyakıt spreyleme geleneksel alev spreylemeden ayrılır, öyle ki; yanma prosesi dahilidir ve gaz akış oranları ile dağıtma basınçları atmosferik yanma alev spreyleme proseslerinkinden daha yüksektir. Yüksek yakıtlı gaz ve oksijen akışının

kombinasyonu hızlanır ve yanma odasındaki yüksek basınç, karakteristik şok elmasları ile süpersonik alev üretimini sağlar. 2000 m/sn'lik alev hızları ve 600-800 m/sn'lik partikül hızları HVOF teçhizat satıcıları tarafından iddia edilir. Propilen, propan, hidrojen ve asetileninde içinde olduğu bir gaz yakıt aralığı kullanılır. Yakıt tipine ve akış oranına bağlı olarak, 100 kW'tan yukarı güçler bir HVOF sisteminin yanma odası içinde üretilir. Temelde çok basit olmasına rağmen toz besleme konumu, gaz akış oranları ve oksijen/yakıt oranı gibi önemli potansiyel özellikler arasında görülür [7,18]. Şekil 3.7'de Yüksek hızlı oksî-yakıt spreyleme tabancası görülmektedir.



Şekil 3.7. Yüksek hızlı oksî-yakıt spreyleme tabancası [36].

HVOF spreylemede, yakıt gazı olarak hidrojen kullanımı, hava plazma ile spreyleneş Alümina'ya göre daha iyi aşınma performanslı olan yüksek kaliteli Alümina kaplamalarını üretmektedir. HVOF proseslerinin birkaç değişik biçimi ticari olarak kullanılabilir. Her biri tasarımda farklılıklara sahiptir, ancak tümü aynı temel prensiplere dayandırılmıştır [37].

HVOF sistemleri yüksek ergime noktalı malzemelerin spreyleneğinde elverişlidir. Örneğin Al_2O_3 'te açıkça gösterildiği üzere yanma odasındaki toz besleme, partiküllere olan ısı transferini maksimum yapar.

Geniş bir malzeme ergime noktaları aralığı, toz boyutu ve yanma odası uzunluğunun seçimi ile temin edilir. Genel olarak, yüksek ergime noktalı seramik malzemeler, ince toz boyutuna ($5-15\mu m$) sahiptir ve partikülleri yumuşatmak için daha uzun yanma odası gerekli kılar. HVOF kaplamaları, geleneksel spreyleme proseslerinin en yüksek bağ dayancı (> 70 MPa), en düşük gözeneklilik ($< \%1$) ve en düşük oksit içeriği ($\%1-\%5$) ile karakterize edilirler. HVOF spreylemenin uygulamaları, hava motoru ve uçak parçaları, engel sübapları ve mühendislik komponentlerini (aşınma plakaları vb.) içerirler [7].

HVOF prosesinde, partiküllerin tabancadan çıkıp altlığa çarpma anına kadar hareketi süresince ulaştıkları sıcaklık, özel HVOF ekipmanına, yakıt gazına ve kullanılan spreyleme şartlarına bağlıdır [37].

Ticari sektörde HVOF yöntemi, aşınma idaresi ve boyut koruma için emniyetli bir teknoloji olarak değer kazanmaktadır. HVOF spreyleme, uzay sanayinde jet motorlarının parçaları üzerine astar kaplamada geçtiğimiz yıllarda başarı kazanmıştır.

Yüksek bağ mukavemeti hemen hemen hiç gözeneksizlik ve düşük stres kaplaması gibi faydalardan dolayı HVOF teknolojisinin büyüyen bir kabulü mevcuttur. Bu durum, şirketleri pahalı olmayan, dayanıklı ve HVOF parçalarıyla mukayese edilebilir alternatif malzemeleri aramaya zorlamaktadır [38].

4. ALEV SPREYLEME

4.1. Alev Spreyleme İşleminin Prensibi

Metal püskürtmede esas, erimiş haldeki metali, bir yüzeye püskürterek orada bir tabaka oluşturmaktır. Bir metal yada alaşım, alev yada elektrik arkı ile eritildikten sonra basınçlı hava ile küçük partiküller halinde püskürtülür. Bu püskürtülen metal tozu, daha önce hazırlanan yüzeyde tutunarak orada bir püskürtme tabakası meydana getirir. Günümüzde böyle püskürtülen metaller, sanayinin çeşitli kollarında ve çeşitli amaçlar için hem yapımda hem de onarımda geniş çapta kullanılmaktadır.

İlk defa 1910 yılında İsviçre’li Schoop, gazlı (alevle) püskürtme tabancasını bulduktan sonra, bulduğu bu usul, 1945 yılına kadar bir gelişme göstermedi. İkinci Dünya Savaşından sonra Sovyet Rusya ve Çekoslovakya’da arklı püskürtme konusunda sıkı bir çalışma başladı. Günümüzde çok gelişen çeşitli usuller çeşitli endüstri kollarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur [26].

Termal spreylemelerinin en basit ve en ucuzu olan alevle spreyleme, hem tel hem de toz kullanılan temel sistemlere uygulanabilir. Asetilen ve propan içeren yakıt gazları kullanılır. 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 basit ve elle rahatlıkla kullanılabilir [18].

Alev spreylemede, tüketilebilir tel yada toz oksî-yakıt alevi ile eritilir. Tel, kendi ucunu eriten alevin içine kontrollü bir hızda beslenir. Sıkıştırılmış hava, alt tabaka üzerindeki sıvı yada yarı sıvı parçacıkları ivmelendiren memenin dış çevresine doğru beslenir. Hava, gaz akışları ve basınçlar, tel çapı ile birlikte tel besleme hızı, kaplama özelliklerini etkiler. Modern donanımda, bütün bu

parametreler dikkatlice kontrol edilir ve eldeki özel kaplamanın istekleriyle tanımlanır [39].

Alev spreyleme yönteminde, çubuk yada toz formundaki kaplama malzemesini ısıtmak için 3300°C sıcaklığa sahip oksit-asetilen alevi kullanılır. Sıkıştırılmış hava alt tabaka üzerine toz seramik malzemeyi 200 m/sn hızla ivmelendirerek memeden doğru geçirilir. Düşük spreyleme hızları ve düşük sıcaklıktan dolayı sadece daha düşük ergime noktalı oksit seramikleri depolanabilir. Kaplamalar genellikle diğer işlemler uygulanarak kullanılanlardan daha yüksek gözeneğe, daha zayıf kaliteye ve daha düşük yapışma direncine sahiptirler. Dezavantajlarına karşın işlem, oksit seramik kaplamaların spreyleneceği için kurulu bir metot olmuştur ve düşük maliyet ile yüksek kumanda edilebilirliğe göre bazı avantajları da sunmaktadır [22,34].

Alev spreyleme ile yüzey metalinin ergitilmesi için gerekli ısı oksijen ve yakıt gazının kombinasyonunun yakılmasıyla üretildiğinden yakıt gazı olarak asetilen, MPS, propan, hidrojen ve doğal gaz kullanılır. Asetilen yüksek ısı üretme kapasitesinden dolayı sık kullanılır fakat, daha ekonomik olduğu için düşük sıcaklık yakıt gazları da bu işlemde kullanılabilir. Yakıt gazı alt tabaka üzerine yüzey malzemesini yönlendirmek için değil, sadece yanma için kullanılır [31].

4.2. Alev Püskürtme Cihazı

Alev spreyleme işleminde kullanılan tabanca dizaynı, spreylenecek malzemenin tipine ve fiziksel özelliğine bağlıdır. Otomatik olduğunda tabanca yada iş parçası yada her ikisi birden istenilen biriktirme şeklini üretmek için tasarlanan mekanizmalarla kullanılır [21].

Bir alevle püskürtme cihazının üç önemli fonksiyonu vardır. Bunlar:

- a) Püskürtülecek malzemenin nakli. Mesela, püskürtülecek telin sarılı olduğu bobinden itibaren cihazdan geçerek eriyinceye kadar takip ettiği yol.
- b) Telin bir yanıcı gaz-oksijen aleviyle eritilmesi.
- c) Ergimiş telin püskürtülecek esas metale nakli.

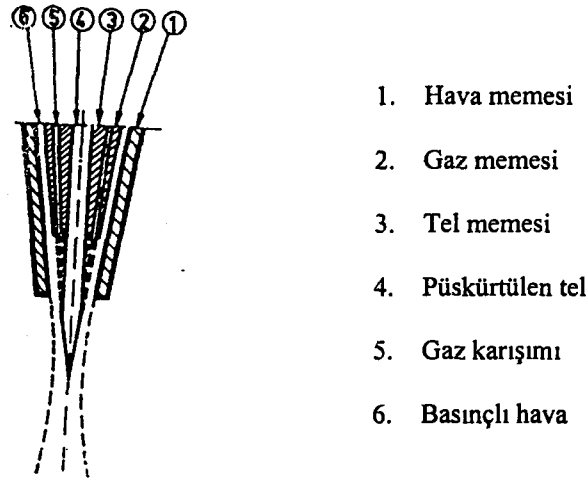
Bu üç esas fonksiyona göre, alevle püskürtme cihazlarının konstrüksiyon tarzı da değişir. Tahrik sistemi, meme sistemi ve ventil sistemi olmak üzere, her alevle püskürtme cihazında üç esas kısım mevcuttur [25,26,29].

4.2.1.Tahrik sistemi

Sistem, telin çeşitli hızlarda sevk edilmesini sağlar. Kademesiz ayarlanabilmesi, tespit edilen devir sayısını koruyabilmesi, hafif ve emniyetli olması istenir. Tahrik sistemi, elektrik motorları veya basınçlı hava ile çalışmaktadır.

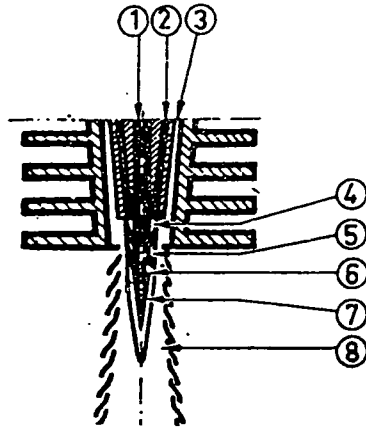
4.2.2. Meme sistemi

Sistem, yanıcı gaz ile oksijen karışımını, telin ergimesini ve püskürtülmesini sağlayan önemli bir kısımdır. Şekil 4.1’de bir alevli püskürtme memesi görülmektedir. Tel, meme sisteminin simetri eksenini boyunca ilerler. Telin etrafındaki kanaldan, oksijen- yanıcı gaz karışımı tele sürünerek çıkar. Bunun etrafındaki kanaldan da, püskürtme veya nakil işlemi yapacak olan gaz dışarıya püskürtülür. Meme içerisindeki gaz karışımını temin eden kısım, ilk uygulamalarda eş basıncı olarak kullanılmakta idi. Fakat bu sistemde gaz karışım oranlarının zaman zaman değişmesi ve geri tepmeler meydana gelmesi nedeniyle enjektörlü sistemler geliştirilmiştir [29].



Şekil 4.1. Bir meme sisteminin şematik olarak gösterilişi [29].

Yanıcı gaz–oksijen alevinde püskürtülen telin erimesi için rölatif olarak yüksek bir alev sıcaklığına ihtiyaç vardır. Buda ancak oksijen-yanıcı gaz aleviyle sağlanabilmektedir. Alevle püskürtmede hava-yanıcı gaz alevi kullanılmaz. En fazla kullanılan yanıcı gazlar, asetilen ve propandır. Asetilenin oksijenle teşkil ettiği alevin en yüksek sıcaklığı 3200°C ve propanın ki de 2800°C 'dir. Korozyona karşı korumada daha ziyade ergime derecesi düşük olan metaller bahis konusu olduğunda, propan gazı kullanılır. Fakat yüksek derecede ergiyen metallerin püskürtülmesinde asetilenin kullanılması gerekir. Bir oksi-asetilen alevinin yanma kademeleri Şekil 4.2.de verilmiştir. Burada oksi-asetilen kaynak alevi ile arasında bariz bir fark yoktur. Fark ancak yanmanın yüksek çıkış hızlı bir hava demeti içerisinde olması ve yüksek bir ısı gücüne sahip olmasıdır [26].

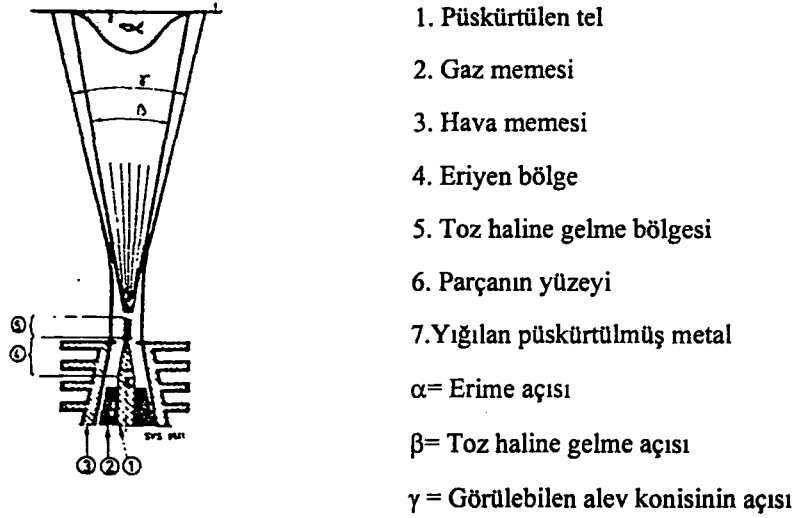


Şekil 4.2 Bir alevle püskürtme cihazında yanmanın kademeleri [29].

Bir alevle püskürtme cihazında yanmanın kademeleri şunlardır [25].

- 1) Püskürtülen tel,
- 2) Yanıcı gaz-oksijen karışımının geçişi,
- 3) Basınçlı havanın geçişi,
- 4) Gaz karışımının yüksek bir hızla çıkışı,
- 5) Yanıcı gazların ayrıştığı bölge (C ve H₂),
- 6) Acık renkli parlak koni (kızarmış karbon taneciklerinin teşkil ettiği),
- 7) Primer yanma bölgesi (en yüksek sıcaklığın olduğu bölge 3200°C),
- 8) Sekonder yanma bölgesi (1000 ila 2000°C arasındaki bölge).

Şekil 4.3’de püskürtme memesinin ucu ile parça arasındaki işlem görülmektedir. Ergime (α) ve toz haline gelme (β) açısı küçüldükçe ergime ve yığılma derecesi (verim) artar. Yüksek yığılma derecesi, aynı zamanda düşük özgül gaz sarfiyatına tekabül eder. Yığılma derecesi, püskürtülen esas metal üzerine yığılan metal veya telin ağırlığıdır ve uygulamada da ekseriya dikkat edilmeyen bir faktördür. Çinkonun yığılma derecesi diğer metallere nazaran çok düşüktür ve %60 ila %85 değerleri arasında bulunur.

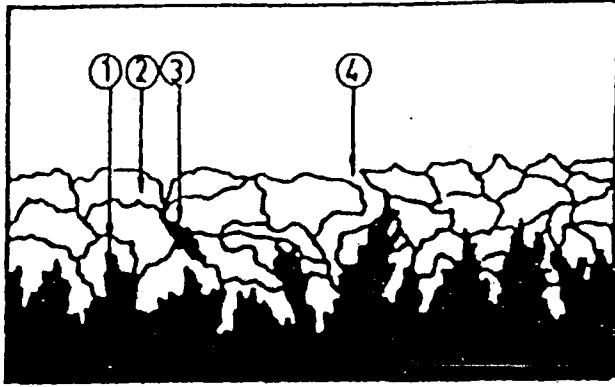


Şekil 4.3 Püskürtme memesi ile parça arasındaki durumun şematik olarak gösterilmesi [26].

Yığılma derecesi, toz haline gelme açısı genişledikçe düşmektedir. Bunun için daima imkan nispetinde dar açık bir püskürtme demetinin sağlanmasına çalışılmaktadır. Mesela, geniş toz haline gelme açısı, daha ziyade boya püskürtme tabancalarında kullanılmakta olup, ekonomik değildir. Diğer taraftan ince taneli bir püskürtme tabakası, düşük yığılma derecelerinde sağlanır. Telden püskürtülen taneciklerin büyüklüğü 50 ila 200 μ arasında olup, daha ziyade püskürtme basıncına ve ısı gücünün nispetine (püskürtme gücü) bağlıdır. Alevin ayarı aynı kalmak şartıyla telin ilerleme hızı azaldığı takdirde tanelerinde küçüldüğü görülmüştür [26,29].

Telden hemen ayrılan taneciklerin sıcaklığı, ergime derecelerinden takriben 10°C daha yüksektir ve ortalama 160 m/sn'lik bir hızla uçarak parçaya erişmektedir. Parçaya kadar uçan taneciklerin sıcaklığı da bu sırada ergime derecesine yakın olup, henüz plastik haldedir. 140-160 m/sn hızla uçmakta olan tanecikler, pul şeklinde deforme olur ve kum püskürtülerek hazırlanan esas metalin küçük boşluklarına dolar. (Şekil 4.4). Parçacıklar başlangıçta oda sıcaklığında olan esas metal ile temas etmeleri ve püskürtme havasının da soğutucu tesiri dolayısıyla çabuk soğumaktadır. Alevle püskürtmede esas

metalın yüzeyinde sıcaklık 100°C 'nin altında olup, $40-80^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir [26].



1. Esas metal yüzeyi
2. Püskürtülen tabaka
3. Oksit kalıntıları
4. Boşluklar (Gözenekler)

Şekil 4.4 Metal püskürtme tabakasının yapısı [25].

4.3. Kaplama Özellikleri

Alev sprej kaplamaları normal olarak yaklaşık 50 mikrondan birkaç milimetreye varan kalınlıklarda kullanılır. İhtiyaç duyulan kaplama kalınlığı, uygun kaplamanın seçiminde genellikle büyük rol oynar. Alev spreyleme, yıpranmış parçaları kurtarmak, yüksek sıcaklık ve ortam sıcaklığında korozyonu önlemek için kullanılabilmesine rağmen işlemin en geçerli kullanımı aşınmaya, erozyona yada aşındırmaya karşı direnç sağlamasıdır. Oksi-asetilen işlemleriyle spreylene termal bariyer kaplamalar özel önem kazanmıştır. Bu tür seramik/metalik kaplamalar gaz türbin motorlarında, metal işleme sıcaklıklarını ve yanma çemberleri, aktarma boruları ve yakıcı kaplamalardan sonraki termal geçicilerin etkilerini azaltmak için yaygın olarak kullanılır. Genelde, pratik termal bariyer kaplamaların istenilen özellikleri şunlardır [39]:

a) Düşük termal iletkenlik

- b) Kaplama ve alt tabaka alaşımının metalik ve seramik elemanlarının termal genleşme karakteristiklerinin yakın uyumu
- c) Çatlama sonucu oluşan konsantre mekaniksel gerilimlere karşı direnç ve kaplamanın kaybını kolaylaştırmak
- d) Termal kristal yapısının uygun stabilizasyonu
- e) Yüksek yansıtıcılık
- f) Kaplamanın metalik elemanlarının sıcak korozyon ve maksimum oksitlenme direnci
- g) İmalat sırasında ve arazi servis işletiminden sonraki gözden geçirmelerde tamir edilebilirlik.

Magnezyum tutturulmuş çinko oksite dayalı çeşitli alev spreyle spreyleneş seramik/metalik termal bariyer kaplama sistemleri son yıllarda başarıyla uygulanmaktadır. Günümüzde, daha yüksek gaz türbin performansı için artan gereksinimler, iyileştirilmiş termal bariyer kaplamaların geliştirilmesini gerektirmektedir. İki yada üç katmanlı alev spreyleme sistemleri artan ihtiyaçları karşılayamaz, fakat sürekli bölümlenmiş plazma spreyle kaplamalar, iyileştirilmiş performansı ve fazla kaplama dayanımı gösterirler [39].

Alev spreyleme, diğer spreyleme 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.

Alev spreyleme tekniğı aynı zamanda kendi kendine akış yapan (self-fluxing) sistemleri depolamak, 950°C ile 1150°C arasındaki sıcaklıklara yükseltmek için kullanılmaktadır. Alaşımın özel bir grubu bu proses kullanılarak biriktirilebilmektedir ve ayrıca bu alaşımlara kendi kendilerine flax yapan alaşımlar denilmektedir [22].

4.4. Alev Spreyleme Yöntemleri

Alev spreyleme yöntemleri püskürtülen ilave metalin biçimi ve durumuna bağlı olarak sınıflandırılırlar [29]. Bunlar:

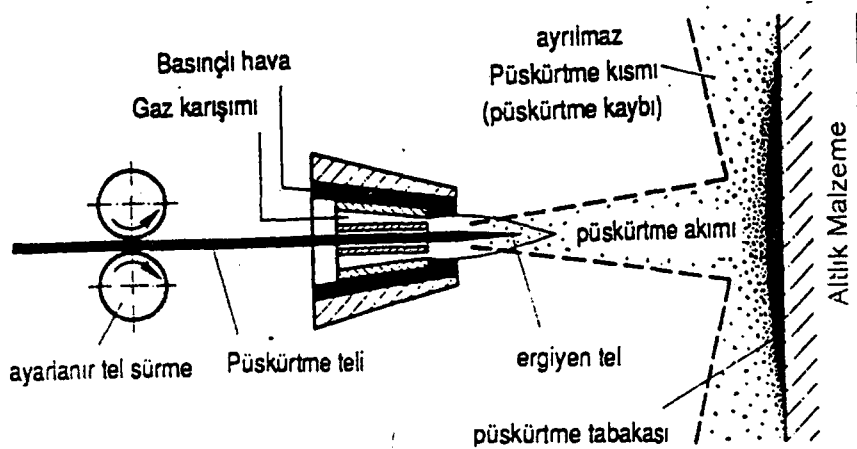
- a) Tel alev spreyleme
- b) Toz alev spreyleme

4.4.1. Tel alev spreyleme

Tel alev spreyleme ile, biriktirilecek metal tel makara yada halkadan tabancaya sürekli bir şekilde temin edilir. Bazı durumlarda kesilmiş metal çubuklar kullanılır. Tipik bir tel alev spreyleme düzeneği şunlardan ibarettir [21].

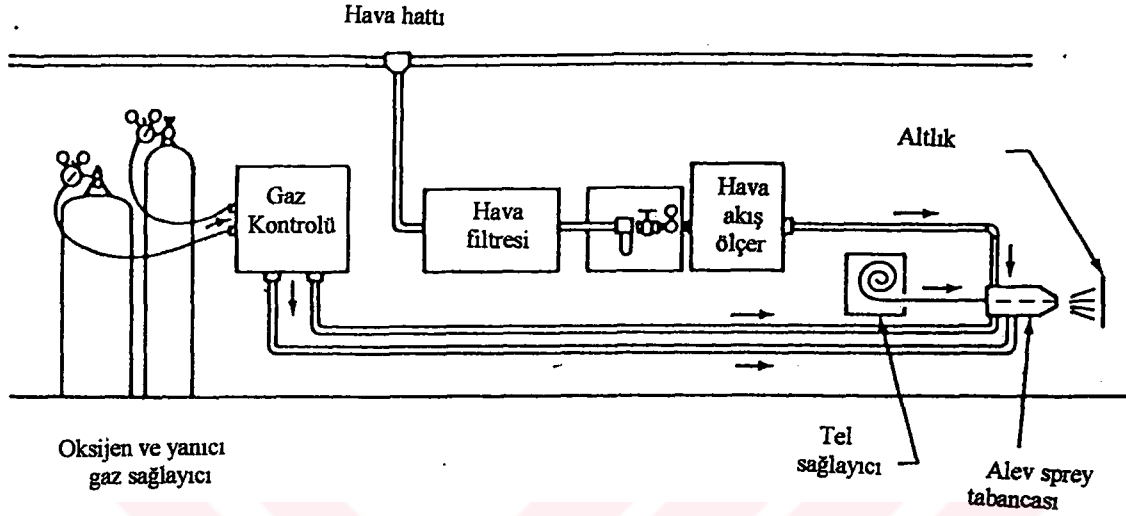
- 1) Alev spreyl tabancası
- 2) Malzeme yüzey kaynağı ve besleme aletine bağlantısı
- 3) Oksijen ve yakıcı gaz gereçleri, basınç manometresi ve flowmetre
- 4) Gerektiğinde sıkıştırılmış hava kaynağı ve kontrol ünitesi
- 5) İş parçasını tutma aleti

Tipik tel alev spreyleme sistemi Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5 Tel alev spreyleme sistemi [21].

Şekil 4.6'da tel alev püskürtmenin şeması görülmektedir.



Şekil 4.6. Tel alev püskürtmenin şeması [5].

Tel kullanılan 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 elektriksiz olarak güçlendirilebilir. Hız kontrolleri, güç tipine bağlı olarak mekanik, elektromekanik, elektronik yada pnömatik olabilir.

Toz alev spreyleme işlemine nazaran telden yararlanan alev spreyleme daha ekonomiktir ve uzun geçmişiyle endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber işlemin uygun tel formunda üretilen ve ayrıca yanma alevinde eritilebilen malzemelerle sınırlandırıldığına özenle dikkat edilmelidir [39].

Gaz başlığı, yakıt gazı, oksijen ve sıkıştırılmış havayı kontrol etmek için vanalar, gaz memesi ve hava kapağından meydana gelir. Tel numunedeki merkezi orifise doğru beslenir. Çeşitli memeler ve hava kapakları farklı tel

boyutları yada metalleri yerleştirmek için kullanılır. Telin aleve doğru beslenme mekanizmasında olduğu gibi oksiyakıt gaz jetleri ve sıkıştırılmış hava orifislerinin sıralaması değişik treticilerle farklılaşır.

Eğer tel besleme hızı fazlaysa, tel ucu alevin sıcak bölgesine doğru uzanır, tel erimez ve uygun bir şekilde atomize olmaz. Buda çok kaba bir birikinti türetir. Eğer besleme çok yavaşsa, metal kötü bir şekilde oksitlenir ve tel, memenin içinde eriyebilir. Sprey birikintisi yüksek oksit içeriğine sahip olur [21].

4.4.1.1. Seramik ubuk alev spreyleme

Seramik ubuk alev spreyleme tel alev spreylemeye benzerdir. Seramik ubuğun doğrusal uzunlukları, tabancadaki plastik silindirlerle sürülecek alev içine başarılı bir şekilde beslenir. Seramik malzeme alevde ergitilir, daha sonra atomize edilir ve sıkıştırılmış hava jeti ile memeden içeriye doğru sürülür. Yapışan sıvı parçacıklar alt tabaya çarpar ve oldukça yoğun, yapışık birikinti oluşturmak için bağlanır. Seramik birikinti ve alt tabaka arasındaki bağ temas olarak mekaniktir. Sıvı parçacıklar deforme olur ve hazırlanan yüzeyin şeklini alırlar. Uygun yüzey hazırlama, sıkıca bağlanmış birikinti için ön koşuldur.

Seramik ubuk spreyleme donanımı, tabancadaki silindirleri sürmek için tel besleme nitesi yerini alan bir mekanizma hariç tel spreyleme donanımı ile benzerdir. Gaz memesi, hava kapağı ve besleme sistemine gelince tabanca tasarımı biraz farklıdır. Metallere göre seramiklerin yüksek ergime noktaları ve daha düşük termal iletkenliklerinden dolayı bu donanım, spreyleme değişkenlerini ayarlama, tel spreyleme donanımına göre daha fazla dikkat gerektirir [21].

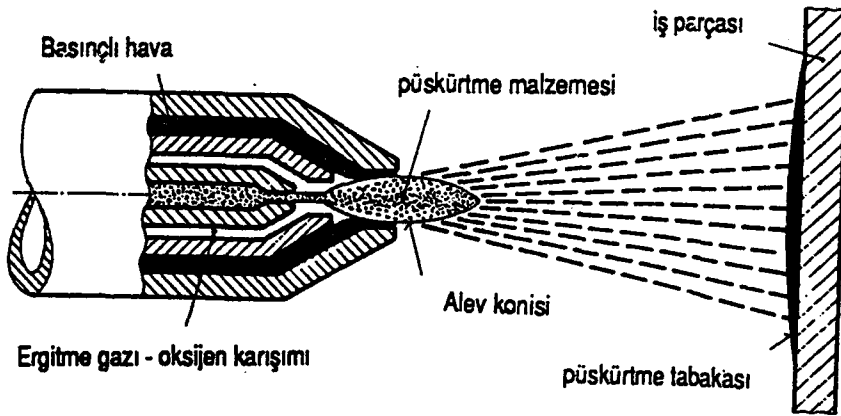
4.4.2. Toz alev spreyleme

Bu metotla, spreylenecek 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. Toz, alev tarafından emilir veya sıkıştırılmış hava jeti yada yanma gazlarıyla alt tabaka üzerine gönderilir [21].

Toz püskürtmede ince parçacıklar birçok ısı kaynağının içinden sevk edilirken ergimiş yada 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 ederler ki böylece yapılmış bir dolgu hasil olur. Bu mekanik bağlantı boyunca parçacıkların bazı nokta nokta ergimesi ve bazı oksit oksite bağlantısı meydana gelirse de esas bağlantı mekanizması mekaniktir [5].

Toz alev spreyleme donanımı daha basit ve plazma spreyleme donanımından daha ucuzdur. Bununla beraber, alevle spreylemeyle spreyleme hızı daha düşüktür. Donanım kolay taşınacak şekilde tasarlanabilir. Şekil 4.7’de toz alev püskürtmenin şeması görülmektedir.



Şekil 4.7 Toz alev spreylemenin şeması [5].

Özel durum, oksijen-asetilen kaynak torcuna benzeyen toz alev spreyleme tabancasıdır. Spreylenecek toz, ucu terk etmeden önce gaz akışına sayacılanır. Burada sıkıştırılmış hava kullanılmaz. Toz, gaz akışı içine enjekte edilmediği

zaman, sprej birikintilerine ön ısıtma yapmak yada eritmek için torç kullanılır [21]. Bazı ilave, metallere ayrıca bir termik işlem (ergitme) uygulayarak, gaz ve sıvı sızdırmazlığı olan bir püskürtme tabakası elde etmek mümkün olur. Bu tür tozlar, alevle püskürtme de kullanılır ve dünyada her yıl yaklaşık 4000 ton üretilir. İkinci termik işlem, yani ergitme sırasında ilave metalin türüne bağlı olarak 1020 ila 1140°C sıcaklıklara çıkar. 900°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, püskürtülen tozun içine katılan bor ve silisyum sayesinde, dekapan etkisi olan bor silikatlar oluşur. Böylece püskürtülen tabakada ve yüzeyde bulunan oksit tabakalar çözünür ve püskürtme tabakası yüzeyine çıkar. Bu sayede gözeneklilik giderilir ve esas metal ile püskürtülen tabaka arasında, sert lehimlemesine benzer, güçlü bir bağ oluşur [29].

Metaller, seramikler ve seramik metal karışımları, toz metoduyla alevle spreylenebilir. Metaller genellikle, özgül aşınma yada korozyon dirençli uygulamalar için tasarlanan sert alaşımlardır. Karbür ve borid'ler gibi çok sert metalik bileşikler, kompozit aşınma dirençli kaplama oluşturmak için metal tozlarıyla homojenleştirilir. Sprej tozu parçacıklarının ergime derecesi, hem malzemenin ergime noktasına hem de parçacıkların alev sıcaklığına bırakılma süresine (aynı yerde kalma zamanı olarak adlandırılır) bağlıdır. Düşük ergime noktalı tozlar, tamamıyla sıvı hale gelir ve seramikler gibi yüksek ergime noktalı olanlar sadece parçacık yüzeyinde ergiyebilir [21].

4.5. Optimal Püskürtme Şartları

4.5.1. Alevin ayarı

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

4.5.2. 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. Çarpımların fazla olduğu veya yapışma mukavemetinin kritik bulunduğu hallerde (alüminyum) ilk tabaka kısa püskürtme mesafesinde ve hızla püskürtülür. Eğer püskürtme hızı yavaş olursa, püskürtülen tabaka kısmen yanar.

4.5.3. Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı

Püskürtme demetinin, püskürtülen yüzeyle 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.

4.5.4. Püskürtme hızı ve kaplama

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 birkaç defada ve her bir tabaka bir öncekine dik olacak şekilde püskürtülür. Kenarlar daima, ilk önce ve 45° 'lik açı ile püskürtülmelidir.

4.5.5. 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 tavlama tabi tutulması ve gerekir. Genel olarak; kum ile temizlemeden sonra püskürtme hemen yapılmalıdır. Bu arada süre üç saati geçerse yapışma iyi olmaz [26,29].

4.6. Spreyleme Öncesi İşlemler

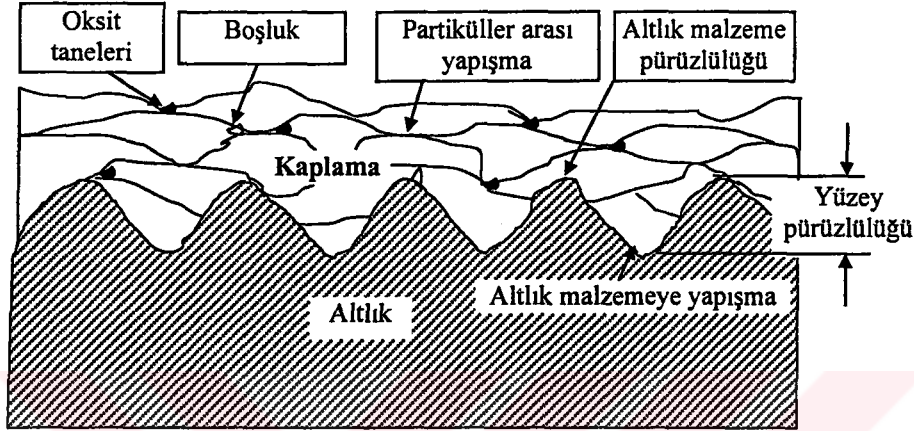
Alt tabaka ve spreyl birikintisi arasındaki bağ tipi mekanik, metalurjik, kimyasal yada bunların kombinasyonu olabilir. Bu alt tabaka malzemesi, yüzeyleme malzemesi ve formu, termal spreyleme metodu ve prosedürleri ve de yüzey hazırlamaya bağlıdır. Bunlardan uygun yüzey hazırlama, güçlü bir bağ elde etmek için en önemli alanıdır [21].

Püskürtülen tabakanın esas metal ile iyi bir tutunma temin edebilmesi için, esas metalin yüzeyinin iyi bir şekilde hazırlanması gerekir. Bilhassa püskürtülen tabakanın kalınlığı arttıkça, ısının tesiriyle meydana gelen kendini çekme gerilimleri, tabakanın tutunma mukavemetini azaltır ve çatlama ile tabakanın kalkma tehlikesi ortaya çıkar [5,26].

Yüzeylerin hazırlanması için genel olarak kabul edilen yöntemler şunlardır: oyuklar yapmak, kaba diş çekme, kum-tane püskürtme, kendini bağlayan malzemelerin kullanılması, saplamalar yerleştirme, taşlama ve dağlama, yüzeyde çalışma sertleştirme, yüzey oksitlenmesi vb. nedenlerle var olan her türlü bulaşmış metalin kaldırılması ve üniform bir kaplama kalınlığının terk edilmesini sağlamak gereklidir. Parçaya daha önce uygulanmış olan kaplamaların kaldırılması da önerilir. Bunun için talaşlı işleme, taşlama, kum ve tane püskürtme kullanılan yöntemlerdir.

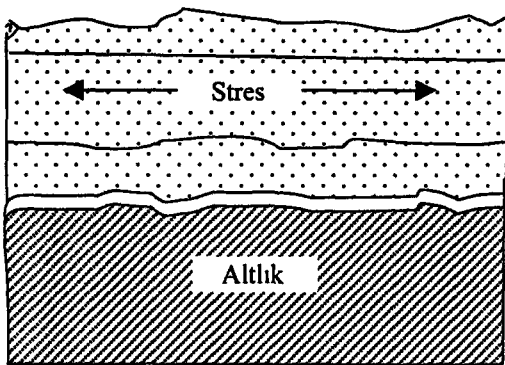
Püskürtmede en vazgeçilmez kural şudur: Yüzey yağlardan arındırılmış ve metalsel temizlikte olmalıdır. Bu kural, DIN 8567'de şu şekilde ifade edilir: "Ancak yüzeyin itinalı ve tekniğe uygun hazırlanması, püskürtmenin bu hazırlıktan mümkünse hemen sonra yapılması ile, püskürtülen tabakanın yeterli bir tutunmaya sahip olması garanti edilebilir." Bu ifade, yüzey ön hazırlığının ve püskürtmenin başlamasına kadar geçen sürenin, püskürtme tabakasının tutunması bakımından ne kadar önemli olduğunu belirtmektedir [29].

Püskürtülen metal, ufak zerreler halinde, sistemine göre, düşük veya orta-yüksek hızla iş parçasına çarpar ve bulunduğu zemine göre şekillenerek, bir tabaka oluşturur. Bu tabakanın oluşumunda, alt zeminin temizliği ile pürüzlülüğü, üzerine gelen zerrelere yapışması ve stresin giderilmesi bakımından çok önemlidir.

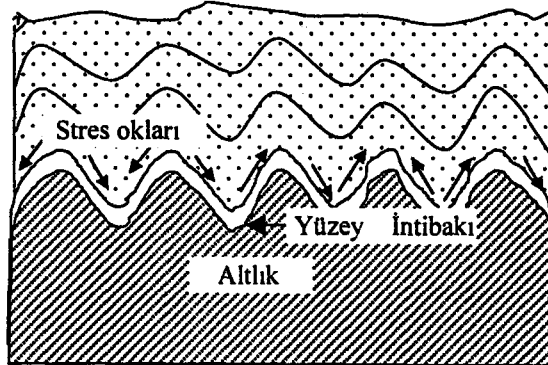


Şekil 4.8. Sprey kaplamanın mikroyapısı [40].

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, partiküller hareket halinde iken hava ile temas ettiklerinden, çevrelerinde oksitlenme oluşur ve malzeme tabakasında da oksit zerrelere ile ufak boşluklara rastlanır. Zerrelere birbirlerine nasıl kilitlendikleri de çok önemlidir. Şekil 4.9 ve 4.10’daki mukayeseli iki resimden anlaşılacağı gibi yüzey pürüzlü olduğunda, partiküller pürüzlü yüzeyleri daha sağlam kavradıkları gibi, tabakalar arasında da genişmeden dolayı meydana gelen streslerin de etkisi azaltılmış olur.



Şekil 4.9 Düzgün yüzeye kaplama



Şekil 4.10 Pürüzlü yüzey kaplama [40].

Özellikle düz yüzeylerde, gerekli özen gösterilmezse, malzeme cinsine ve tabaka kalınlığına göre, püskürtülen tabaka kenarlarından yaprak gibi kalkmak ve kopmak eğilimindedir. Bu nedenle, yüzeye paralel gerilmelerin işlem esnasında giderilmesi çok önemlidir. Bu gerilmelerin (streslerin) kuvveti, doğrudan yüzeyin pürüzlülüğü, kullanılan metalin/malzemenin genleşme faktörü ve atılacak tabaka kalınlığı ile orantılıdır [40].

4.6.1. Yüzey temizleme

Püskürtme sırasında, sıcaklık nedeniyle yağ kusabilecek parçalar, mutlak olarak daha önce, trikloretilen veya benzeri uçucu ve tortu bırakmayacak temizleme maddeleri ile yıkanmalı ve ardından kumlanmalıdır [40].

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 [41].

4.6.2. Yüzey pürüzlendirme

Mekanik bağ, termal spreylemeyle elde edilen en geçerli mekanizma olduğu için, genellikle mekanik pürüzlendirmenin bazı formları kullanılır. Sprey birikintisini yerleştirmek için, yüzeyin alt ölçüye işlenmesi gereken uygulamalarda pürüzlü yüzey, diş açma yada yiv açma gibi tekniklerle işlem sırasında üretilir.

Her bir durumda, yüzey, uygun sert, keskin aşındırıcı yada sertleştirilmiş ve de ufalanmış çelik çakıllarla kavrulmalıdır. Kavurma parçacıklarının türü ve boyutu, iş parçasının kalınlığına yada boyutuna ve kompozisyonuna bağlıdır. Kavurma işleminden kalan herhangi bir kalıntı, iyi bir bağ oluşmasını önleyeceği için spreyleme öncesi bulunduğu yerden uzaklaştırılmalıdır [21].

Abrasiv partiküllerin aşırı püskürtülmesi yüzeyde oluşan keskin piklerin yuvarlatılması ve mekanik kilitlenmenin azaltılması ile sonuçlanabilir. Ayrıca yüzeyde aşındırıcı partiküller kalabilmektedir. Bu durum da altlık malzeme ile kaplama arasındaki difüzyonu etkilemektedir [42]. Şekil 4.11'deki farklı iki şekilde de pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi görülmektedir.



Şekil 4.11 Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi [42].

Spreyleme işlemine tabi tutulacak yüzeyler, malzemenin durumuna göre değişik yöntemlerle pürüzleştirilebilir. Bunlardan bazıları;

4.6.2.1. Kumlama

Kumlama tabiri, dere kumu ile kumlamayı ifade etmez. Kumlamadan kasıt, Alüminyum oksit (zımpara maddesi) köşeli zerrelere (genelde demir-çelik malzemenin 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. Kumlama yapıldıktan sonra 1-2 saat içinde püskürtme işlemine geçilmeli ve parçanın kirlenmemesine dikkat edilmelidir. Gözle

görülmeyecek kadar ince bir oksit tabakasının 3-4 saat içerisinde oluşması veya hafif nemlenme, tozlanma doğrudan iki yüzey arasında yapışmayı zorlaştırır. Kumlama işlemi makine ile yapıldığından makineye gelen havanın her türlü nem ve yağdan temizlenmiş olması gerekir ve normal fincan filtreler yeterli değildir. Bunun için hava girişine veya kompresör çıkışına ciddi mekanik filtre konması çok yararlı olur [40].

4.6.2.2. Mekanik işlemler

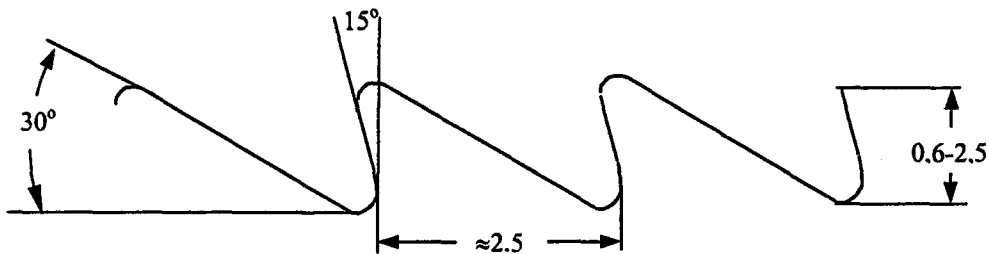
Mekanik olarak yüzeylerin hazırlanması denilince, yüzeylerde püskürtülen parçacıkların kolayca tutunmasını sağlayacak, çeşitli biçimlerin oluşturulması anlaşılır. Bu biçimler temel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir [25,26,29]:

- a) Vida açma: Püskürtülecek yüzeye Şekil 4.12’de görüldüğü gibi vida açılır. Parçanın büyük kısımlarına kaba ve küçük kısımlarına daha ince vida açılmalı ve yüzeyleri de girintili çıkıntılı olmalıdır.



Şekil 4.12 Vida açılarak yüzeylerin hazırlanması [26].

- b) Testere dişi vida açma: Şekil 4.13’de görüldüğü gibi testere dişi vida açılır. Dişlerin ucunun yuvarlatılması gerekir.



Şekil 4.13 Testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması [29].

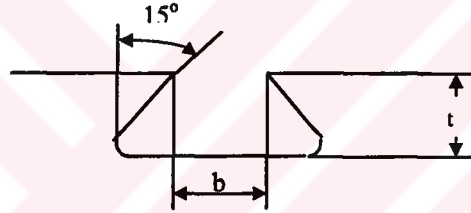
- c) Karşılıklı yönde testere dişi vida açma: Yüksek zorlamaya maruz kalan parçalara (silindir gömlekleri, yatakları ve milleri...gibi), Şekil 4.14’de

verilen tarzda, karşılıklı yönlerde ve bir önceki şekildeki ölçülerde testere vida açılır. Şekilde oklar püskürtme demetinin istikametini göstermektedir.



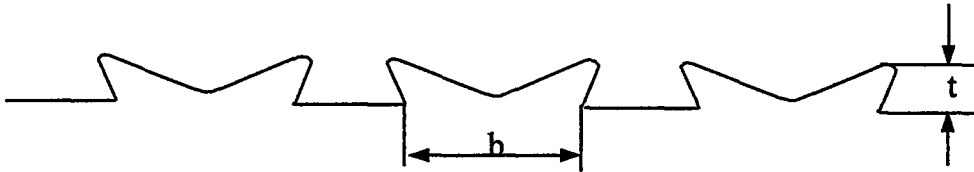
Şekil 4.14 Karşılıklı yönlerde testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması [29].

- d) Basit kırlangıç kuyruğu yarık açma: Büyük, uzun ve geniş parçalara basit kırlangıç kuyruğu yarıklar açılır. Şekil 4.15’de (b) genişliği, asgari $2t$ olmalı ve mümkün mertebe $1,5 \text{ mm}$ ’yi geçmemelidir.



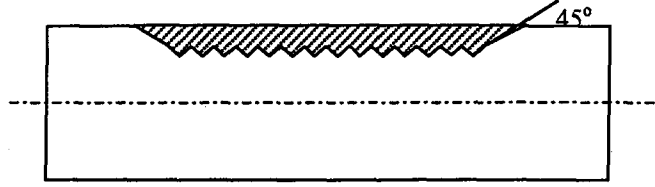
Şekil 4.15 Basit kırlangıç kuyruğu yarık açarak yüzeylerin hazırlanması [26].

- e) Düz yüzeyler için profil yarık açma: Büyük parçalara, bilhassa geniş ve uzun yüzeyler için, Şekil 4.16’da görüldüğü gibi profil yarıklar açılır ve (b) genişliği, parçanın büyüklüğüne göre $3t$ olmalıdır.



Şekil 4.16 Profil yarıklar açarak yüzeylerin hazırlanması [29].

- f) Püskürtme tabakasının sonradan işlenmesi halinde, esas metal ile püskürtme tabakası arasındaki geçiş durumu: (a) Bir milin doldurulması halinde, esas metal ile püskürtme tabakası arasındaki geçiş, Şekil 4.17’de görüldüğü gibi meyilli olmalıdır.



Şekil 4.17 Bir milin doldurulmasında esas metal ile püskürtülen tabaka arasındaki geçiş durumu [29].

- (b) Bir milin uç kısmının püskürtme ile doldurulması halinde, esas metal ile püskürtme tabakası arasındaki durum, Şekil 4.18’de görüldüğü gibi olmalıdır.



Şekil 4.18 Millerin uç kısımlarının doldurulması [26].

Yüzey hazırlama usullerinin, kullanılan malzeme cinsine göre, başlıca kullanım yerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.6.2.3. Bağ tabakası

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, ekzotermik bir reaksiyon meydana gelmekte ve bu reaksiyon sonucu bağ mukavemeti artırılabilir [42].

Ni-Cr alaşımı çoğunlukla, güçlü mekanik bağ elde etmek ve bazı uygulamalarda oksitlenmeye dirençli tabaka sağlamak için seramik birikintilere bağ tabakası olarak kullanılır [21].

Çizelge 4.1 Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri

Hazırlama usulleri	Kullanma İmkanları	Malzeme Cinsi	Düşünceler
1- Mekanik bir hazırlama yapmadan yalnız üzerinde ki 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 0.5mm kadar. 0.5 mm'den fazla da olabilir
3- Çelik kumu püskürtme	1 ve 2. deki kısımların aynı		
4- Tornalama, planyalama, frezeleme, delme ve keskilme	Tamirat işlerinde, yatakların püskürtülmesinde. 1mm'den kalın korozyona karşı koruma tabakalarının püskürtülmesinde	Bütün çelikler, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar 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 şiddetli ile ark söndürülmeden yapılmalı

4.6.2.4. Maskeleme

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 [40]. İşlem sonrası bu örtüler yerlerinden söküldüğünde, kaplamanın istenmediği yüzey kısımları aynen kalır.

4.6.3. Ön ısıtma

Birçok temel malzemelerde, iş parçasına 200 ile 300°F arasında ön ısıtma yapılmalı ve termal spreyleme işlemi sırasında bu sıcaklık korunmalıdır. Bu işlem, yüzey yoğunlaşmasını, alt tabakanın genişlemesini önler ve soğuma esnasında birikintideki stresleri azaltır. Spreyleme sırasında iş parçasına ısı transfer edildiği için fazla ısınmayı ve bunun sonucunda istenmeyen birikinti özelliklerini önlemek için bazı soğutma formuna ihtiyaç duyulabilir [21].

Püskürtme yapılan parçanın kalınlığına ve atılan malzemenin kalınlığı ile çalışma mesafesine göre, bazı hallerde iş parçası arzu edildiğinden fazla ısınabileceğinden, ihtiyari ekipman olarak, tabancaya hava jet soğutma sistemi takılabilir. Bu aksesuar hem iş parçasını soğutabilir, hem de yavaş bir hızla hareket eden partiküllerin daha yüksek bir ivme ile işe yapışmasında yardımcı olur. İş parçası, büyük bir tambur veya emsali ise, genelde ısınma olmaz veya püskürtme yerinin aksi tarafından, hava verilmek suretiyle, parça püskürtmeden ısınırken, diğer yandan da soğutulur [40].

4.7. Spreyleme Sonrası İşlemler

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

Metalize edilmiş yüzey veya iş parçalarının son işlemi (finish) 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, radyus uçlu olup işe açılı olarak

değdirilmelidir. Son işlemde, talaş kaldırmadaki zorlukları peşinen dikkate alarak, püskürtme yapılırken, (örneğin bir milde ölçü belirleme için) milin püskürtmeden sonra taşlanacağı ölçü esas alınır ve bunun üzerine 1-2 mm veya daha az ilave birikinti atılır. Malzemenin yüzey biriktirme işlemi için, en uygun yöntem, duruma ve malzemeye göre, kuru veya ıslak taşlama olabilir. Püskürtülen tabaka, genel olarak çok ince mesamatlı ve sünger dokulu olduğundan birçok durumda yağ tutabileceği için tercih edilebilir. Ancak sakıncalı olan yerlerde tıkayıcı (sealer) malzeme sürmek suretiyle, mesamatların sakıncaları bertaraf edilir [40].

Yapıştırarak kapamak (sealing), spreylı depozitlerin ömrünü uzatmak yada korozyona karşı alt tabakayı korumak için kullanılır. Ayrıca bu işlem, yüzeylenmiş makine parçaları için de kullanılır [21].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kaplama Altlık Malzemesi ve Kaplama Tozları

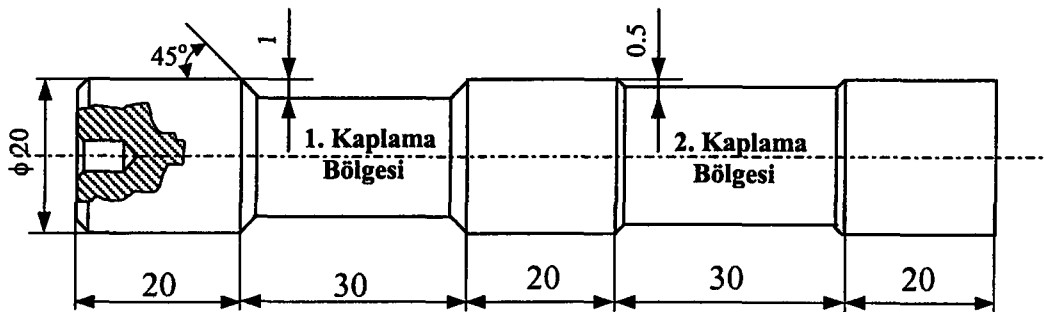
Bu çalışmada Tablo 5.1’de kimyasal kompozisyonu verilen malzeme Alev püskürtme (Flame Spraying) yöntemiyle, bileşimi ve özellikleri Tablo 5.2’de verilmiş olan yedi değişik toz ile kaplanmıştır. Yapılan kaplamalarda, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi’ndeki METCO firmasına ait tozlar ve alev püskürtme tabancası kullanılmıştır. Kaplanan parçaların karakterizasyonları İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümündeki cihazlarla yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Altlık malzemenin kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %)

Element	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	Cr	Cu	Ti
%Oran	0.521	0.94	0.023	0.008	1.181	0.088	0.159	0.415	0.148	0.004

5.2. Altlık Malzemelerin Kaplamaya Hazırlanması

Kaplama tabakasının özelliklerine etki eden en önemli parametrelerden biri olan yüzey hazırlama olduğu düşünülerek yüzeylerin hazırlanmasına azami derecede özen gösterilmiştir. 120 mm boyunda kesilen 20 mm çapındaki 18 adet malzeme Şekil 5.1’de görüldüğü gibi torna tezgahında işlenmiştir.



Şekil 5.1. Kaplama için hazırlanan deney numunesinin şematik gösterilişi.

Malzemelerden 10 tanesi tornadan çıktığı haliyle, 8 tanesi ise dış çekilerek (M18x0.5 ve M19x0.5) kaplamaya hazır hale getirilmiştir. İşlenen kısımların bitiş yerlerine kaplamanın daha iyi yapışmasını sağlamak ve tabakalar arasında stresi azaltmak amacıyla 45°'lik bir eğim verilmiştir. Tornalanmış malzemeler, oksitlenmemesi için kaplanana kadar gerekli itina ile korunmuş ve tornadan çıkan her malzeme hemen kaplamaya alınmıştır.

Çizelge 5.2. Kaplamada kullanılan tozların özellikleri

Tozun Adı	Bileşimi	Özellikleri	Tane boyutu (µm)	Tahmini Sertlikleri
36 C Metco*	%35 Tungsten karbür ve %8 Nikel karışımı, Nikel-Kromlu alaşım	Doğrudan tabana yapışkan özellikli, aşınmaya çok mukavim, çok kolay füzyon olabilir, taşla işlenebilir, lepleme son işlem olabilir.	-150 +45µm (-100 +325 mesh)	Rc 75
41 C Metco*	316 serisi Paslanmaz çelik	Korozyona mukavim, tornada işlenebilir, kalın dolgu işleri için, sıkı dokuludur.	-106 +45µm (-140 +325 mesh)	Rb 88-92
44 Metco*	Nikel bazlı kromlu paslanmaz çelik	Çok parlak, temiz ve tornada işlenebilir yüzeyler için, aşınmaya ve korozyona mukavim	-106 +45µm (-140 +325 mesh)	Rb 80
444 Metco*	Nikel-krom-molibden-alüminyum kompozit tozu	Paslanmaz çelik muadili, 18-8 kalitesi paslanmaz çelik gibi korozyona mukavim, hassas olarak taşlanabilir.	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	Rb 80
449 P Metco*	Yüksek kromlu çelik, molibden-alüminyum kompozit tozu	Taşlama suretiyle iyi bir bitirme yüzeyi, aşınmaya karşı üstün mukavemet.	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	Rc 35-40
452 Metco*	Nikel-demir-alüminyum kompozit tozu	Zemine iyi yapışma, yüksek aşınma tornalama-talaş alma özelliği, seramik ve diğer malzemelerde alt astar olarak kullanılabilir.	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	Rb 80
RotoTec 19985 Castolin*	Krom nikel bazlı	Yüksek korozyon direnci, tamamen işlenebilir kaplama tabakası, basınç altında dahi gayet küçük bir sürtünme katsayısı, 51000 tozu ile bağlayıcı tabaka yapılmalıdır [43].	-	170-210 HV ₁₀

*Ticari ismi

5.3. Kaplama İşleminin Yapılışı

Kaplama, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Kaynak atelyesinde, METCO marka, manuel veya torna sportuna bağlanarak kullanılabilen püskürtme tabancası ile yapılmıştır. Kaplama işleminde, Tablo 5.1'de bileşimi ve özellikleri verilen Metco firmasından alınan tozlar ile Castolin firmasının tozları kullanılmıştır. Castolin tozunun altına astar toz kullanılmış diğerlerinde ise kullanılmamıştır.

Kaplama işleminde, asetilen basıncı 32 atm, oksijen basıncı 28 atm ve torna devir hızı 400 dev/dk. olarak sabit tutulmuştur. Kaplanan malzeme ile tabanca arasındaki püskürtme mesafesi 15 cm'dir. Kaplama işlemi sıcak ve soğuk olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Soğuk kaplamada altlık malzemeler ısıtılmadan direkt püskürtme işlemine tabi tutulmuş, sıcak kaplamada ise malzemeler max 300⁰C tavlandıktan sonra püskürtme işlemine geçilmiş, yeterli birikinti elde edildiğinde tabancadaki toz akışı kesilerek sadece oksigaz aleviyle numune üzerindeki birikinti ergitilerek altlık üzerine daha iyi yapışması amaçlanmıştır. Kaplanan numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Dişli ve dişsiz olarak hazırlanan altlık malzemelerin kaplanmasında kullanılan toz çeşidi ve kaplama şekli Çizelge 5.3'de verilmiştir.

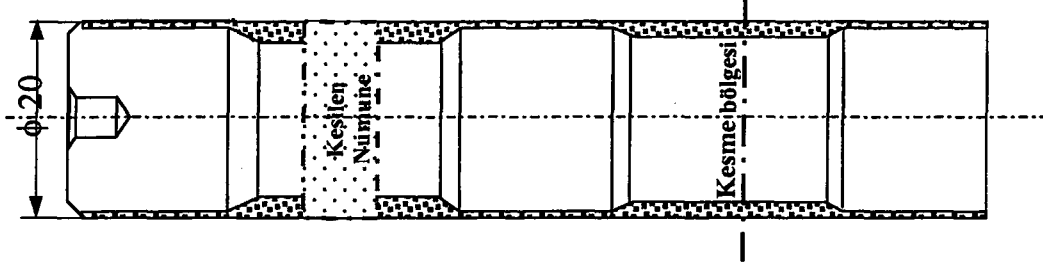
Çizelge 5.3. Altlık malzemelerin kaplama şekli ve tanımlanması.

	Parça kodu	Kaplama tozu	Kaplama şekli
Dişsiz Miller	1 No'lu parça	36 C	Sıcak
	2 No'lu parça	36 C	Sıcak
	3 No'lu parça	41 C	Sıcak
	4 No'lu parça	41 C	Soğuk
	5 No'lu parça	444	Soğuk
	6 No'lu parça	44	Soğuk
	7 No'lu parça	44	Sıcak
	8 No'lu parça	449P	Sıcak
	9 No'lu parça	449P	Soğuk
	10 No'lu parça	452	Soğuk
Dişli Miller	11 No'lu parça	44	Soğuk
	12 No'lu parça	449P	Soğuk
	13 No'lu parça	452	Soğuk
	14 No'lu parça	19985	Soğuk
	15 No'lu parça	41C	Soğuk
	16 No'lu parça	41C	Sıcak
	17 No'lu parça	444	Soğuk
	18 No'lu parça	444	Sıcak

5.4. Kaplanan Malzemelerin Karakterizasyonunun İncelenmesi

Alev püskürtme yöntemi ile kaplanmış numuneler, metalografik inceleme için G.Ü. T.E.F Makine Eğitimi Bölümünde Şekil 5.2'de görüldüğü gibi elektro erozyon yöntemiyle kesilmiştir. Kesilen numuneler sırası ile 400-600-800-1000-1200 numaralı SiC su zımparası ile, her seferinde 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanmış numuneler 1µm'lik elmas parlaticı kullanarak DP mikrokeçe kumaş üzerinde parlatılmış ve parlatılan numuneler dağlama işlemine tabi tutulmadan karakterizasyon işlemleri uygulanmıştır. Karakterizasyon işlemleri olarak mikrosertlik, yüzey pürüzlülüğü, arayüzey yapışma mukavemetinin belirlenmesi için termal şok

deneyi ve kaplama kalınlığı ölçülmüştür. Ayrıca mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop kullanılmıştır.



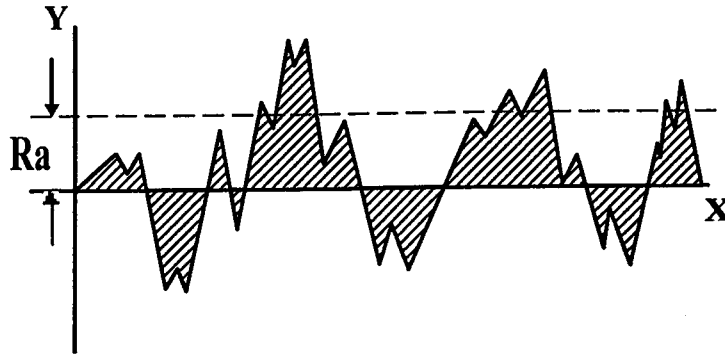
Şekil 5.2. Kaplanmış numunelerin metalografik inceleme için hazırlanması.

5.4.1. Kaplama kalınlıklarının ölçülmesi

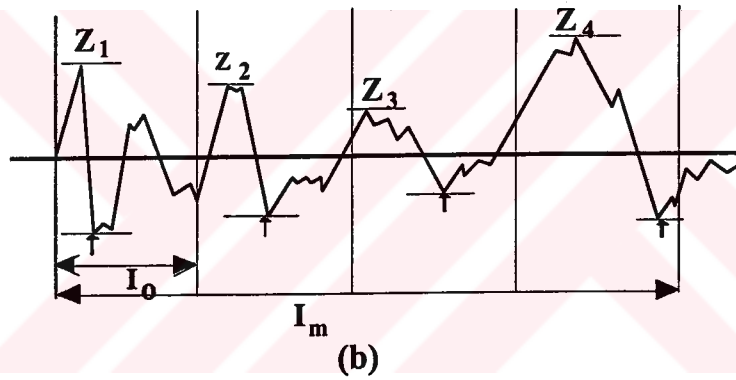
Kaplanmış numunelerin kaplama kalınlıklarının ölçülmesinde milimetrenin onda biri hassasiyetinde aydınlatıcılı 450 model Brinell mikroskop okuyucusu kullanılmıştır. Kaplama kalınlığının ölçümü metalografik hazırlamadan sonra numune kesitlerinden alınmıştır. Kesitlerden alınan en az 4 ölçümün ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.

5.4.2. Kaplama yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Deneylerde kullanılan numunelerin yüzey pürüzlülükleri PERTHOMETER S8P tipi mekanik yüzey profilometre cihazı ile belirlenmiştir. Temaslı ve temassız olarak malzemelerin üç boyutlu profillerini çıkartan Perthen yüzey profilometre cihazı, max 60 mm tarama uzunluğu, 0.5-0.1 mm/sn tarama hızı, yaklaşık 1.5 mm/sn dönüş hızına sahiptir. Kaplanmış deney numunelerinin 1. ve 2. kaplama bölgelerinden ikişer adet olmak üzere her numuneden 4 pürüzlülük değeri alınmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir. Pürüzlülük değerleri mil kesitinden değil, yüzeyinden yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan ölçümlerde ölçüm aralığı (VB) 625.0 μm ve ölçüm uzunluğu 1.250 mm seçilmiştir. Pürüzlülük, tek çizgi profili boyunca ölçülmekte, ve aritmetik ortalama (R_a), ortalama derinlik (R_z) gibi parametreler (Şekil 5.3) yüzey pürüzlülüklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır [44].



(a)



(b)

Şekil 5.3 (a), R_a ve (b), R_z cinsinden pürüzlülük değerlerinin şematik görünümü. L_m , ölçüm uzunluğudur[43].

Pürüzlülük ölçümlerinde kriter olarak alınan aritmetik ortalama (R_a), enine kesit pürüzlülük alanlarının aritmetik ortalaması; ortalama pürüzlülük derinliği (R_z), arka arkaya gelen ölçüm uzunluklarında bulunan her bir pürüzlülük derinliklerinin (Z_i) ortalamasıdır [44].

5.4.3. Termal Şok Deneyi

Termal spreyleneş kaplamaların yapışma mukavemeti göreceli olarak düşüktür ve bazen işletim boyunca altlıktan ayrılma eğilimi gösterirler. Termal spreyleneş kaplamaların ayrılmasını (delamination) tespit etmek için,

Ultrases kullanan tahribatsız muayene metodu önerilmiştir. Termal şok testleri, ultrasonik test metodu kullanılarak spreyleneş kaplamaların ayrılma prosesini araştırmak için gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış malzeme ilk olarak 500 °C'a ısıtılmış bir fırına konulur. 12 dakika fırında tutulur, daha sonra fırından çıkarılarak açık havada soğutulur. Ultrasonik test oda sıcaklığına kadar soğuma gerçekleşikten sonra yapılır ve aynı işlem tekrarlanır [45]. Kaplama yapılmış numunelere yukarıdaki işlemler aynen uygulanmış, buna ilave olarak da birer numune açık hava yerine suda soğutulmuştur.

5.4.4. Mikrosertlik deneyi

Altlık ve kaplamaların sahip oldukları mikrosertlik değeri numunelerin parlatılmış kesitlerinden alınmıştır. Ölçümlerde tepe açısı 136° ve kare tabanlı Vickers uca sahip WILSON TUKON mikrosertlik cihazı kullanılmış ve 200 g yük uygulanmıştır. Ölçümler, kaplama malzemesinden 3 adet alınmış olup ortalamaları değerlendirilmiştir.

5.4.5. Arayüzeyin metalografik yapısının incelenmesi

Parlatılmış numunelerin mikroyapısının incelemesi, arayüzey ve kaplama tabakasından x100 ve x160 büyütmelerde OLYMPUS marka optik mikroskop yardımı ile gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde, fotoğraf çekiminin, kaplamaların karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgelerden yapılmasına özen gösterilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

6.1. Kaplama Kalınlıklarının Değerlendirilmesi

Kaplama yapılmış numuneler üzerindeki kaplama kalınlıkları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi kaplama kalınlıkları 0,1 ile 1,8 mm arasında değişmektedir.

Çizelge 6.1. Kaplanmış numunelerin kaplama kalınlık değerleri (mm).

Dişsiz Miller			Dişli Miller		
Parça No	1 No'lu kısım	2 No'lu kısım	Parça No	1 No'lu kısım	2 No'lu kısım
1 No'lu parça	1.0	0.2	11 No'lu parça	1.325	0.6
2 No'lu parça	1.325	0.825	12 No'lu parça	1.750	0.875
3 No'lu parça	1.2	0.575	13 No'lu parça	1.175	0.325
4 No'lu parça	1.050	0.5	14 No'lu parça	0.8	0.525
5 No'lu parça	1.1	0.5	15 No'lu parça	1.2	1.2
6 No'lu parça	0.8	0.4	16 No'lu parça	0.775	0.775
7 No'lu parça	1.425	0.325	17 No'lu parça	1.150	0.825
8 No'lu parça	0.6	0.1	18 No'lu parça	1.575	1.2
9 No'lu parça	1.175	0.625			
10 No'lu parça	1.550	0.675			

6.2. Kaplama Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

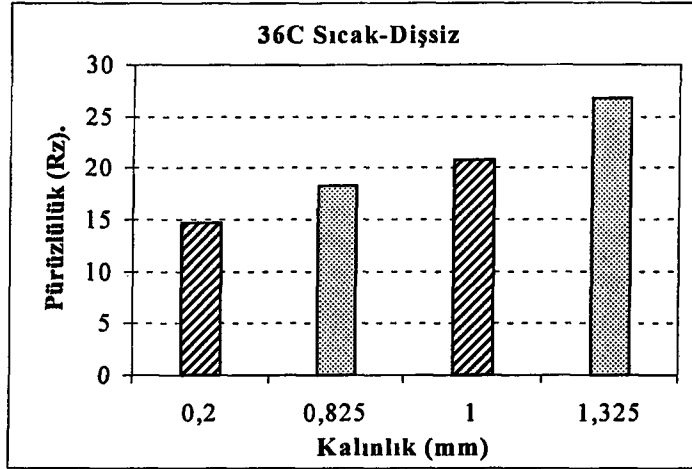
Dişli ve dişsiz olarak kaplanmış altlık numunelerin 1 ve 2 no'lu yüzeylerinden alınan pürüzlülük değerleri Ra ve Rz cinsinden Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kaplama pürüzlülük değerleri (μm).

Dişsiz Miller					Dişli Miller				
Parça No	1 No'lu kısım		2 No'lu kısım		Parça No	1 No'lu kısım		2 No'lu kısım	
	Ra	Rz	Ra	Rz		Ra	Rz	Ra	Rz
1 No'lu parça	4.25	20.75	3.0	14.7	11 No'lu parça	3.95	19.75	5.6	25.6
2 No'lu parça	5.8	26.7	3.75	18.2	12 No'lu parça	4.9	24.75	6.0	26.6
3 No'lu parça	5.85	24.8	4.6	21.15	13 No'lu parça	0.5	2.85	6.05	28.5
4 No'lu parça	5.85	25.85	4.45	20.7	14 No'lu parça	4.6	22.75	5.8	26.4
5 No'lu parça	6.3	29.75	6.1	28.8	15 No'lu parça	4.75	22.4	5.1	23.3
6 No'lu parça	6.15	27.45	4.45	18.2	16 No'lu parça	5	24.45	1.15	6.7
7 No'lu parça	5.85	26.75	4.0	18.65	17 No'lu parça	6.55	29.9	5.75	27.6
8 No'lu parça	5.65	26.3	3.55	15.8	18 No'lu parça	6.75	30.5	6.15	25.3
9 No'lu parça	4.7	21.35	4.6	21.75					
10 No'lu parça	5.9	27.75	3.85	19.4					

Dişsiz miller üzerine kaplanan farklı türdeki tozların kaplama kalınlığı-pürüzlülük ilişkisi Şekil 6.1-6.5'de gösterilmiştir.

36C Sıcak-Dışsiz				
Kalınlık	0,2	0,825	1	1,325
Pürüzlülük	14,7	18,2	20,75	26,7

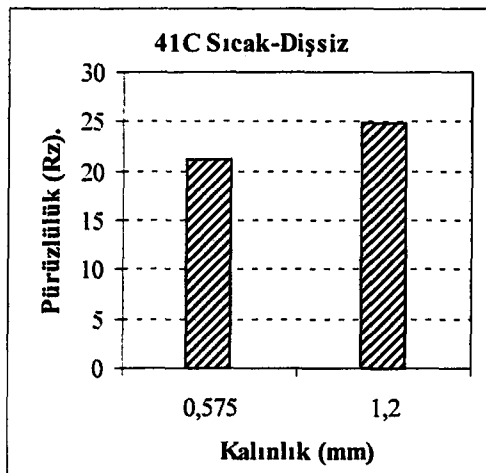


Şekil 6.1. 36C Sıcak dışsiz kaplamanın Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi.

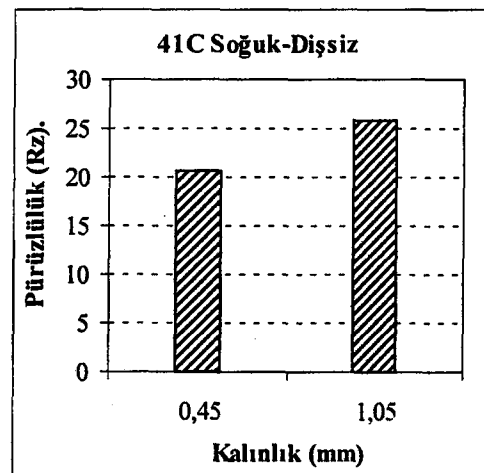
36C Sıcak dışsiz kaplamada yapılan pürüzlülük deneyi sonucunda kalınlık arttıkça pürüzlülüğün arttığı görülmüştür.

41C Sıcak-Dışsiz		
Kalınlık	0,575	1,2
Pürüzlülük	21,15	24,8

41C Soğuk-Dışsiz		
Kalınlık	0,45	1,05
Pürüzlülük	20,7	25,85



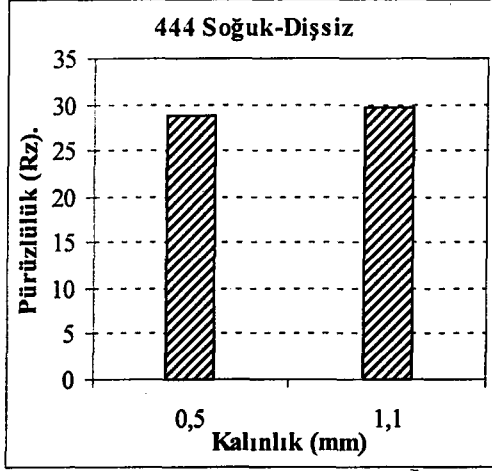
(a)



(b)

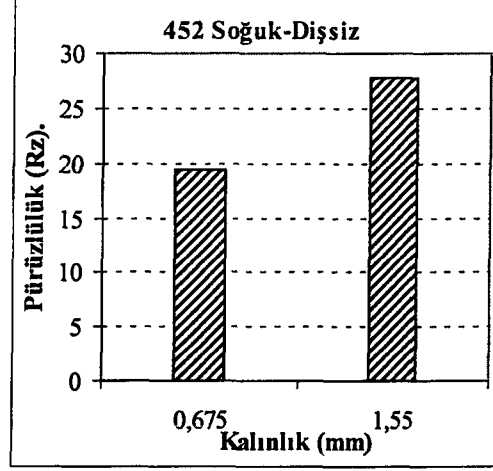
Şekil 6.2 a) 41C Sıcak dışsiz, b) 41C Soğuk dışsiz kaplamaların Kalınlık- Pürüzlülük ilişkisi

444 Soğuk-Dışsiz		
Kalınlık	0,5	1,1
Pürüzlülük	28,8	29,75



(a)

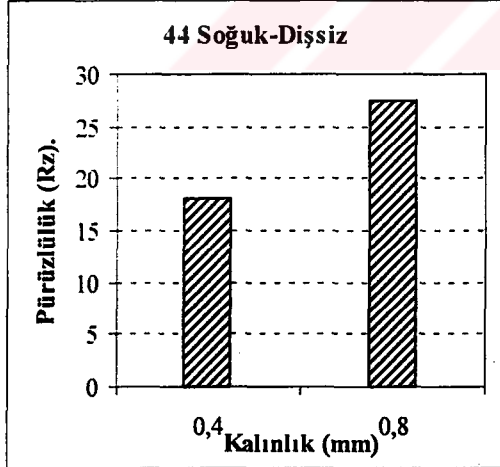
452 Soğuk Dışsiz		
Kalınlık	0,675	1,55
Pürüzlülük	19,4	27,75



(b)

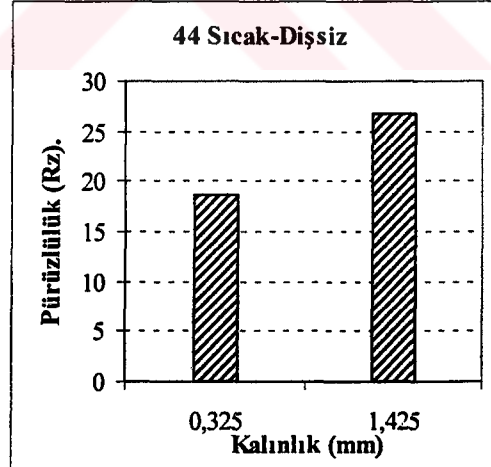
Şekil 6.3 a) 444 Soğuk dışsiz b) 452 Soğuk dışsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi.

44 Soğuk-Dışsiz		
Kalınlık	0,4	0,8
Pürüzlülük	18,2	27,45



(a)

44 Sıcak-Dışsiz		
Kalınlık	0,325	1,425
Pürüzlülük	18,75	26,75



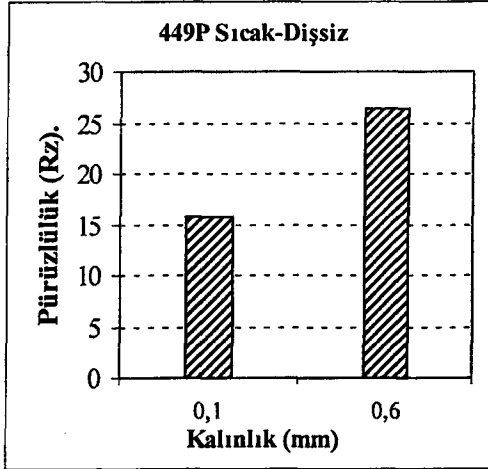
(b)

Şekil 6.4 a) 44 Soğuk dışsiz b) 44 Sıcak dışsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi.

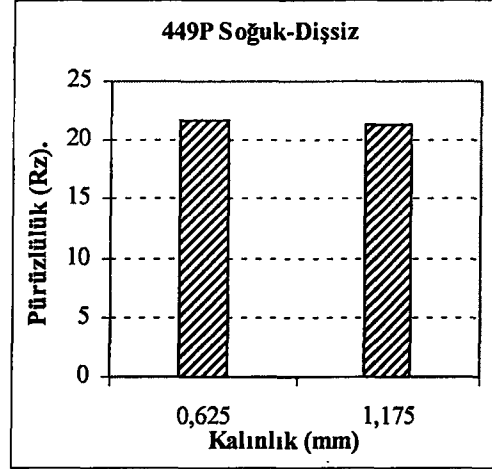
Şekil 6.2-6.4 aralığındaki şekillerin temsil ettiği kaplamalardan da Şekil 6.1 'de olduğu gibi kalınlığa bağlı olarak pürüzlülüğün arttığı sonucuna varılmıştır.

449P Sıcak Dişsiz		
Kalınlık	0,1	0,6
Pürüzlülük	15,8	26,3

449P Soğuk Dişsiz		
Kalınlık	0,625	1,175
Pürüzlülük	21,75	21,35



(a)



(b)

Şekil 6.5 a) 449P Sıcak dişsiz b) 449P Soğuk dişsiz kaplamaların Kalınlık-Pürüzlülük ilişkisi.

Şekil 6.5.a'da görülen grafikte, yukarıda verilen grafiklerde olduğu gibi kalınlığın artmasıyla pürüzlülükte de artış olduğu buna karşılık Şekil 6.5.b'deki grafikte kalınlık artarken pürüzlülüğün bir miktar azaldığı görülmektedir.

Aynı kaplama yöntemi dişli millere de uygulanmıştır. Dişli millerdeki pürüzlülük değerleri arasında düzenli bir ilişki görülememiştir (Çizelge 6.2). Kaplama öncesinde numuneye açılan dişlerin kaplama pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği düşünülmektedir.

6.3. Mikrosertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Parlatılmış dişli ve dişsiz numunelerin kesitlerinden alınan mikrosertlik ölçüm sonuçları Çizelge 6.3’de ortalama olarak verilmiştir.

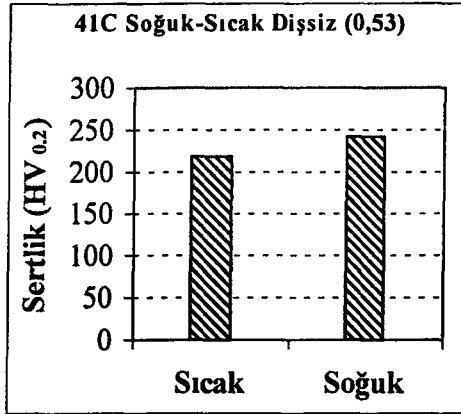
Çizelge 6.3. Kaplanmış numunelerin mikrosertlik değerleri (HV_{02}).

Dişsiz Miller			Dişli Miller		
Parça no	1 No’lu Kısım	2 No’lu Kısım	Parça no	1 No’lu Kısım	2 No’lu Kısım
1 No’lu parça	946	1083.6	11 No’lu parça	257.8	271
2 No’lu parça	965	1027.3	12 No’lu parça	612.8	745.8
3 No’lu parça	189	217.4	13 No’lu parça	228.4	249
4 No’lu parça	229.4	241.4	14 No’lu parça	Astar 208.2 Kaplama 250.2	Astar 215.4 Kaplama 256.8
5 No’lu parça	217.4	228.4	15 No’lu parça	255.4	256.8
6 No’lu parça	284.6	309.7	16 No’lu parça	175.2	175.2
7 No’lu parça	259.6	302.8	17 No’lu parça	225	226.2
8 No’lu parça	263.8	524.1	18 No’lu parça	167.8	200.6
9 No’lu parça	508.7	701			
10 No’lu parça	183.2	187.2			

6.3.1. Kaplama sertliğine kaplama işleminin etkisi

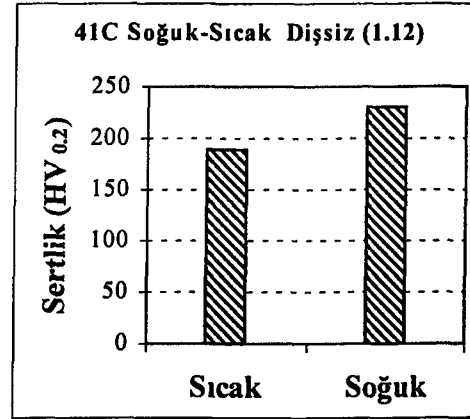
Aynı toz çeşidiyle kaplanmış yaklaşık olarak eşit kalınlığa sahip kaplamalarda, kaplama işleminin sertlik üzerindeki etkisi Şekil 6.6 - 6.8’de gösterilmiştir.

41C Soğuk-Sıcak Dişsiz		
	Sıcak	Soğuk
Sertlik	217,4	241,4



(a)

41C Soğuk-Sıcak Dişsiz		
	Sıcak	Soğuk
Sertlik	189	229,4

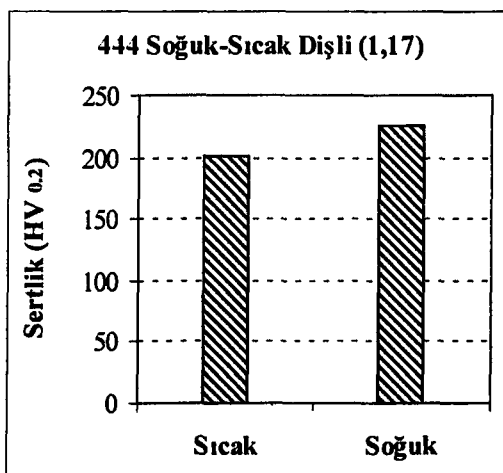


(b)

Şekil 6.6. a) ≈ 0.53 mm, b) ≈ 1.12 mm kalınlığına sahip kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi.

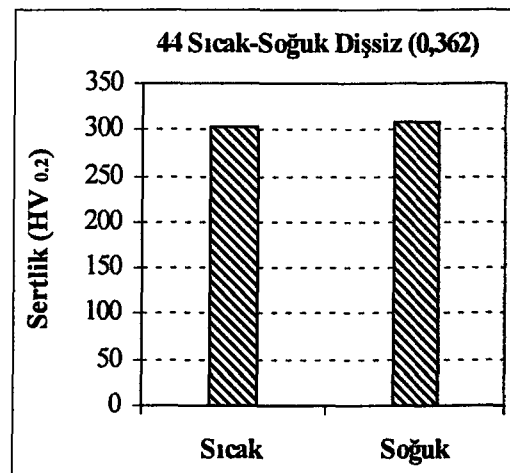
Şekil 6.6'da gösterildiği gibi yaklaşık olarak 0.53 mm (Şekil 6.6.a) ve 1.12 mm (Şekil 6.6.b) kalınlığa sahip kaplamalarda soğuk olarak kaplanan parçaların sıcak olarak kaplanan parçalardan daha sert olduğu görülmüştür.

444 Sıcak-Soğuk Dişli		
	Sıcak	Soğuk
Sertlik	200,6	225



(a)

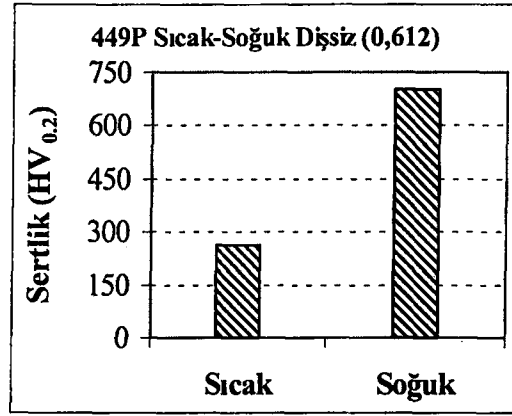
44 Sıcak-Soğuk Dişsiz		
	Sıcak	Soğuk
Sertlik	302,8	309,7



(b)

Şekil 6.7 a) ≈ 1.17 mm 444 Soğuk-sıcak dişli, b) ≈ 0.362 mm 44 Sıcak-soğuk dişsiz kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi.

449P Sıcak-Soğuk Dişsiz		
	Sıcak	Soğuk
Sertlik	263,8	701



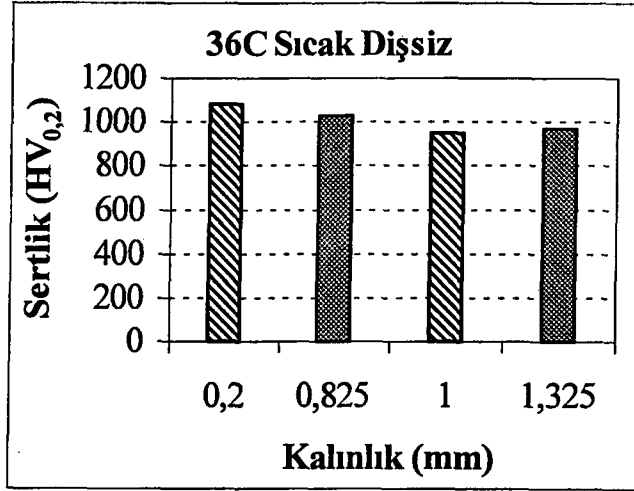
Şekil 6.8. ≈ 0.612 mm 449P Sıcak-soğuk dişsiz kaplamanın sertliğine kaplama işlem parametresinin etkisi.

444, 44 ve 449P tozlarıyla kaplanan numuneler için de sertliğe göre kaplama işlem parametresinin etkisi yukarıdakiyle (Şekil 6.6) aynı doğrultuda sonuçlar vermiştir (Şekil 6.7 ve 6.8).

6.3.2. Kaplama kalınlığının kaplama sertliğine etkisi

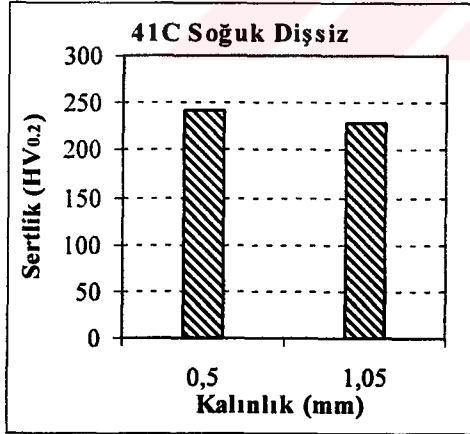
Farklı kalınlıklara sahip kaplamalarda, kaplama kalınlığına bağlı olarak sertlik değişiminin ilişkisi Şekil 6.9-6.13 aralığındaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6.9'de 36 C tozu ile farklı kalınlıklarda kaplanmış numunelerde kaplama kalınlığı 0.2 mm'den 1.325 mm'ye artmasına rağmen sertlik değerlerinin 1083.6 HV'den 965 HV'ye azaldığı görülmüştür.

36C Sıcak Dışsız				
Kalınlık	0,2	0,825	1	1,325
Sertlik	1083,6	1027,3	946	965



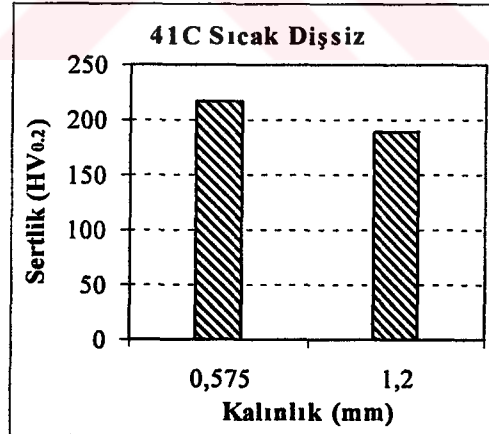
Şekil 6.9. 36C Sıcak dışsız kaplamanın Kalınlık-sertlik ilişkisi

41C Soğuk Dışsız		
Kalınlık	0,5	1,05
Sertlik	241,4	229,4



(a)

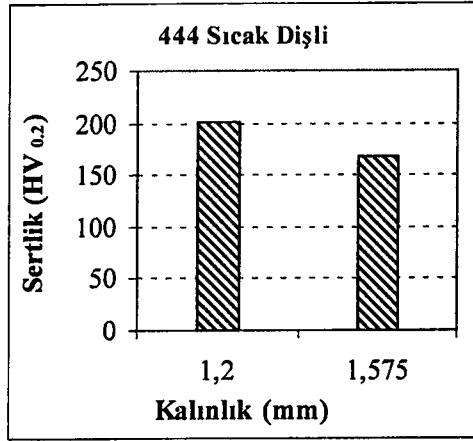
41C Sıcak Dışsız		
Kalınlık	0,575	1,2
Sertlik	217,4	189



(b)

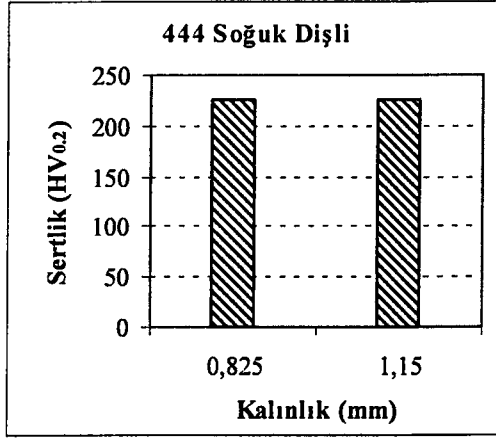
Şekil 6.10. a) 41C Soğuk dışsız, b) Sıcak dışsız kaplamanın Kalınlık-Sertlik ilişkisi

444 Sıcak Dişli		
Kalınlık	1,2	1,575
Sertlik	200,6	167,8



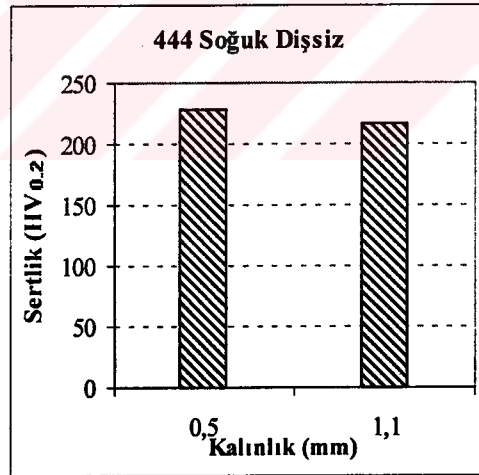
(a)

444 Soğuk Dişli		
Kalınlık	0,825	1,15
Sertlik	226,2	225



(b)

444 Soğuk- Dişsiz		
Kalınlık	0,5	1,1
Sertlik	228,4	217,4

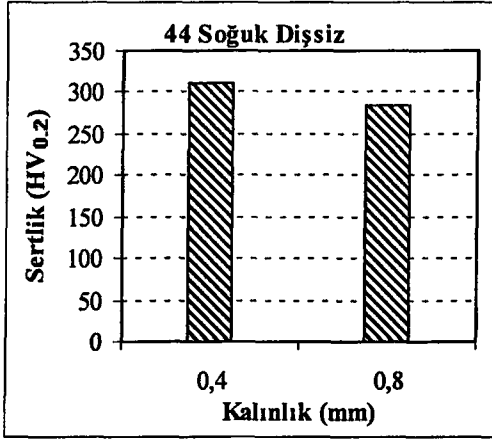


(c)

Şekil 6.611 a) 444 Sıcak dişli, b) 444 Soğuk dişli ve c) 444 Soğuk dişsiz kaplamanın Kalınlık-Sertlik ilişkisi

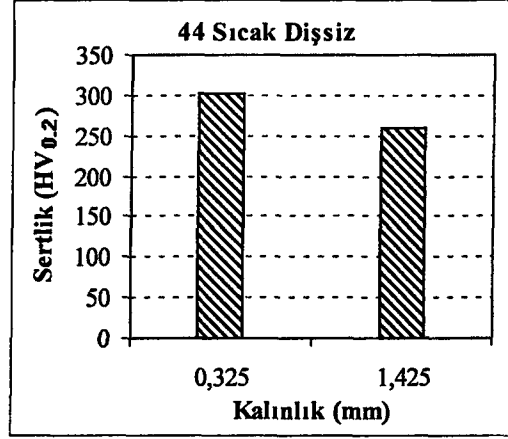
Şekil 6.10 ve 6.11’de farklı tozlarla kaplanmış numunelerde de kaplama kalınlığının artması ile sertliğin azaldığı gözlenmiştir.

44 Soğuk Dişsiz		
Kalınlık	0,4	0,8
Sertlik	309,7	284,6



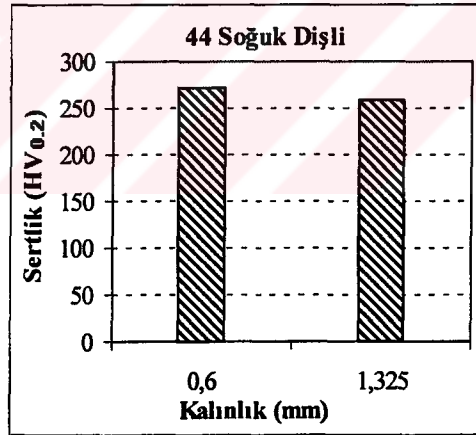
(a)

44 Sıcak Dişsiz		
Kalınlık	0,325	1,425
Sertlik	302,8	259,6



(b)

44 Soğuk Dişli		
Kalınlık	0,6	1,325
Sertlik	271	257,8

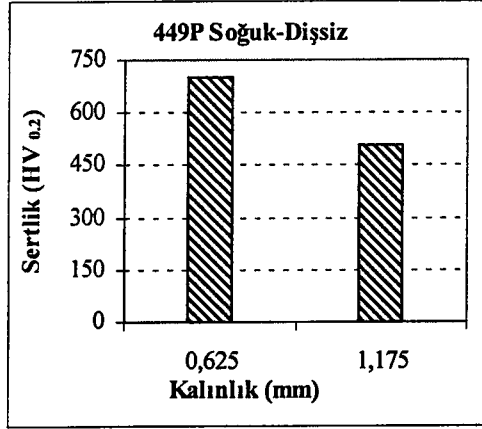


(c)

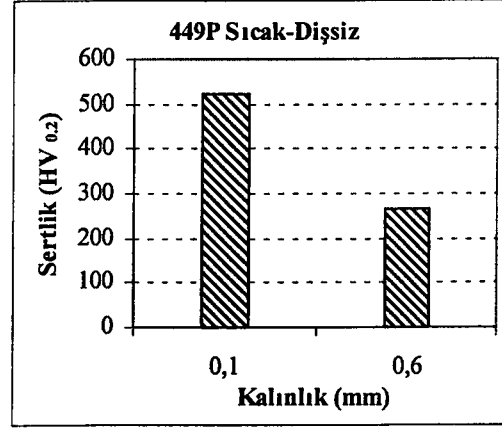
Şekil 6.12. a) 44 Soğuk dişsiz, b) 44 Sıcak dişsiz ve c) 44 Soğuk dişli kaplamaların Kalınlık- Sertlik ilişkisi.

449P Soğuk Dişsiz		
Kalınlık	0,625	1,175
Sertlik	701	508,7

449P Sıcak Dişsiz		
Kalınlık	0,1	0,6
Sertlik	524,1	263,8

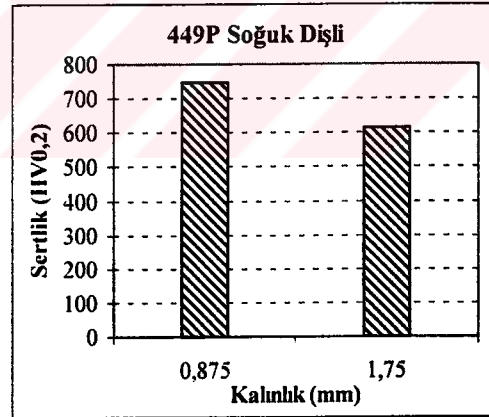


(a)



(b)

449P Soğuk Dişli		
Kalınlık	0,875	1,75
Sertlik	745.8	612.8



(c)

Şekil 6.13. a) 449P Soğuk dişsiz, b) 449P Sıcak dişsiz ve c) 449P Soğuk dişli kaplamaların Kalınlık- Sertlik ilişkisi.

44 ve 449P tozu ile kaplanmış numuneler için de Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'den görüldüğü gibi kaplama kalınlığının artmasına karşı sertliğin azalması, yukarıdaki sonuçları desteklemektedir.

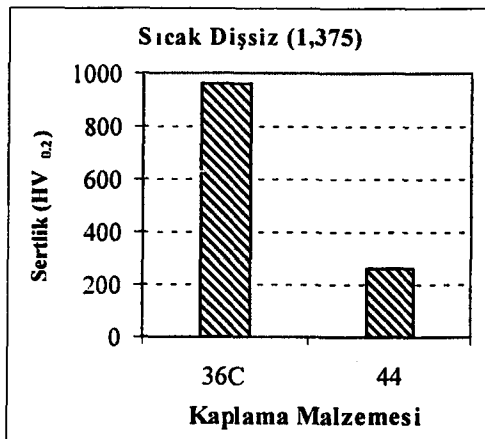
Çizelge 6.3’de sertlik değerleri verilen diğer numunelerde de (452 Soğuk dişsiz, 452 soğuk dişli, ve 19985 soğuk dişli) aynı şekilde kaplama kalınlığının artmasıyla sertliği azalmakta, 41C soğuk dişli ve 41C sıcak dişli numunelerinde ise kaplama kalınlığının aynı kalması durumunda milin her iki tarafında sertlik değerinin de yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür.

6.3.3. Kaplama malzemesinin sertliğe etkisi

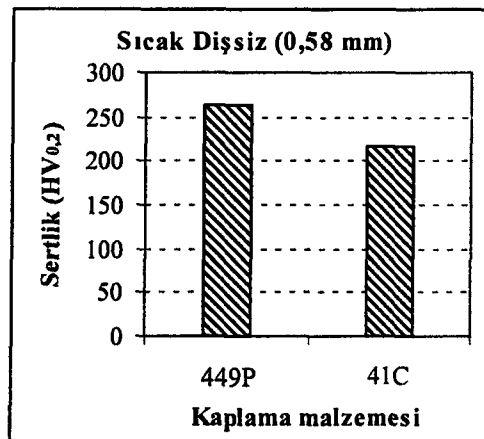
Farklı tozlar ile yapılan, birbirine yakın kalınlıklardaki kaplamaların sertliğine toz özelliklerinin etkisi Şekil 6.14 – 6.16 gösterilmiştir. Şekil 6.14 a ve b’den görüldüğü gibi, yaklaşık aynı kaplama kalınlığına sahip farklı toz ile kaplanmış numunelerde, 36C kaplaması 44 kaplamasından, 449P kaplaması da 41C kaplamasından daha sert bulunmuştur. Bu durumun kaplama öncesinde de aynı olduğu Çizelge 5.2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.15 a ve b’de 41C kaplamasının 444’ten daha sert olduğu da Çizelge 5.2’deki sıralamayı desteklemektedir.

Sıcak Dişsiz (1,375 mm)		
Kaplama. Malz.	36C	44
Sertlik	965	259,6

Sıcak Dişsiz (0,58 mm)		
Kaplama. Malz.	449P	41C
Sertlik	263,8	217,4



(a)

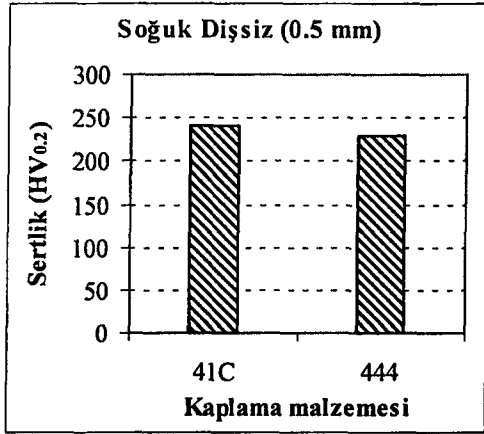


(b)

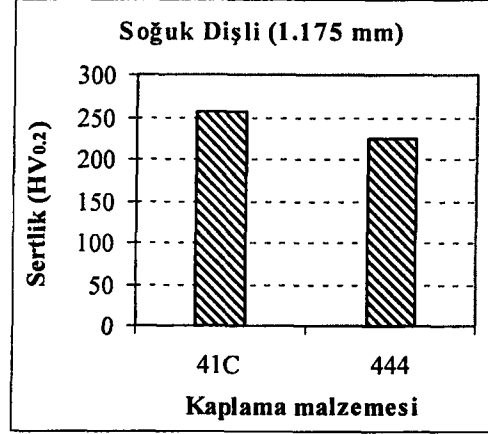
Şekil 6.14. a) ≈ 1.375 mm, b) ≈ 0.58 mm kalınlığındaki Sıcak dişsiz kaplamaların kaplama malzemesi-sertlik ilişkisi.

Soğuk Dişsiz (0,5 mm)		
Kaplama. Malz.	41C	444
Sertlik	241,4	228,4

Soğuk Dişli (1,175 mm)		
Kaplama Malz..	41C	444
Sertlik	255	225



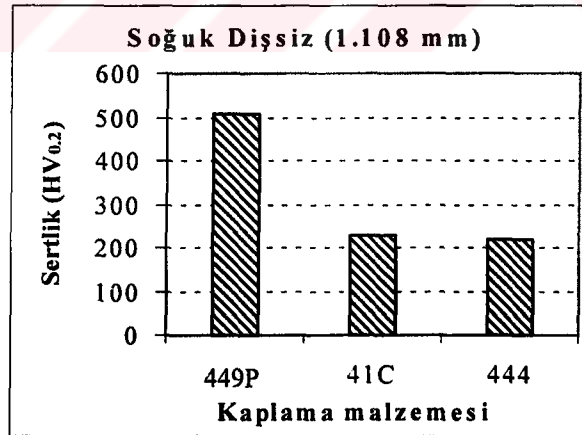
(a)



(b)

Şekil 6.15. a) ≈ 0.5 mm Soğuk dişsiz, b) ≈ 1.175 mm Soğuk dişli kaplamaların kaplama malzemesi-sertlik ilişkisi.

Soğuk Dişsiz (1,108 mm)			
Kaplama Mlz.	449P	41C	444
Sertlik	508,7	229,4	217,4



Şekil 6.16. ≈ 1.108 mm kalınlığındaki kaplamaların kaplama malzemesi- sertlik ilişkisi.

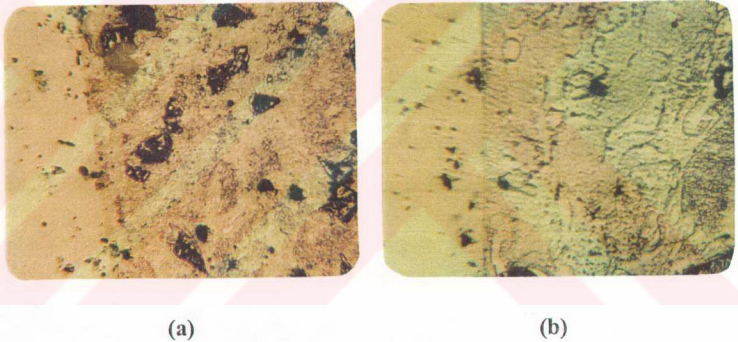
Şekil 6.16'ya göre üç farklı toz ile yapılan kaplamalar kıyaslandığında 449P-41C- 444 kaplamalarındaki sertlik sıralamasının Çizelge 5.2'deki sertlik değerleri ile aynı olduğu görülmüştür.

6.4. Arayüzeyin Metalografik Yapısının Değerlendirilmesi

Kaplamaların arayüzey karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla parlatılmış numunelerin mikroyapısı incelenmiştir. Yapılan incelemede altlık olarak kullanılan malzemelerde değişik boyutta kalıntılar gözlenmiştir.

6.4.1. 36C Kaplaması

% 35 tungsten kurbür ve % 8 nikel karışımı, nikel-kromlu toz içeren 36C kaplamasının optik mikroskop görüntüsü Şekil 6. 17'de verilmiştir.

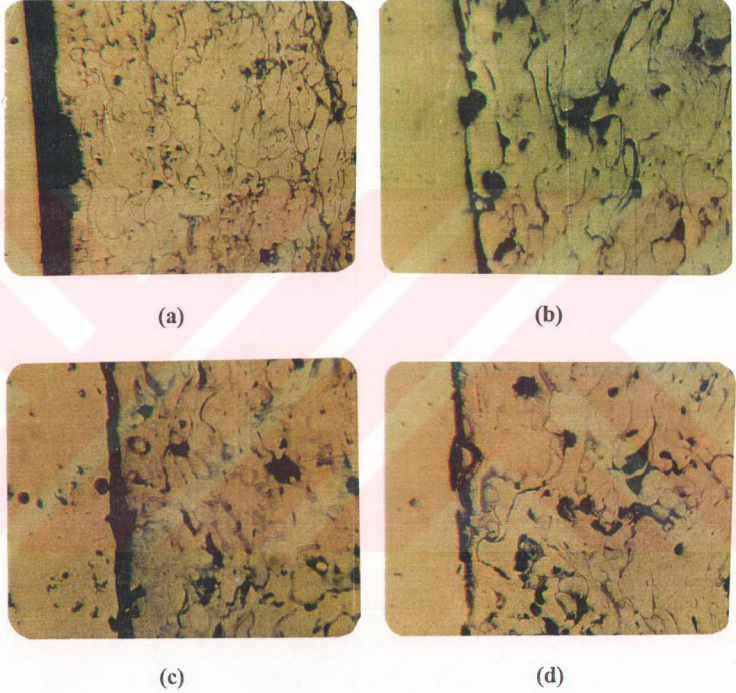


Şekil 6.17. 36C Sıcak dişsiz kaplamasının a) x100 ve b) x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

Dişsiz miller üzerine sıcak olarak kaplanmış 36C kaplamasının altlık-kaplama arayüzeyindeki geçiş bölgesinin düzenli olduğu ve kaplama tabakasında gözeneklerin bulunduğu gözlenmiştir.

6.4.2. 41C kaplaması

316 paslanmaz çelik tozları ile üretilmiş kaplama arayüzeyinin optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.18’de verilmiştir.

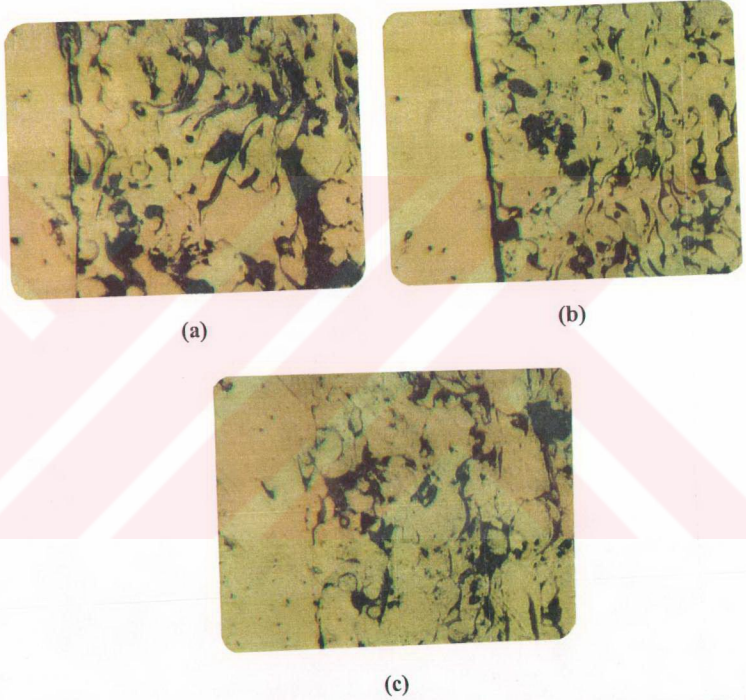


Şekil 6.18. 41C kaplamasının a) Sıcak dişsiz, b) Sıcak dişli, c) Soğuk dişsiz, d) Soğuk dişli numunelerin x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

41C kaplamaların altlık malzeme kaplama tabakası arayüzeylerinin kaplama şartlarına bağlı olmaksızın gözenekli olduğu ve kaplama tabakasında gözenek miktarının kaplama şartlarıyla değişmediği gözlenmiştir. Ayrıca dişli millerin dişsiz millere göre daha iyi arayüzey geçişine sahip oldukları görülmüştür.

6.4.3. 444 Kaplaması

Nikel-krom-molibden-alüminyum kompozit toz karışımı ile üretilen 444 kaplamasının optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.19'da gösterilmiştir.

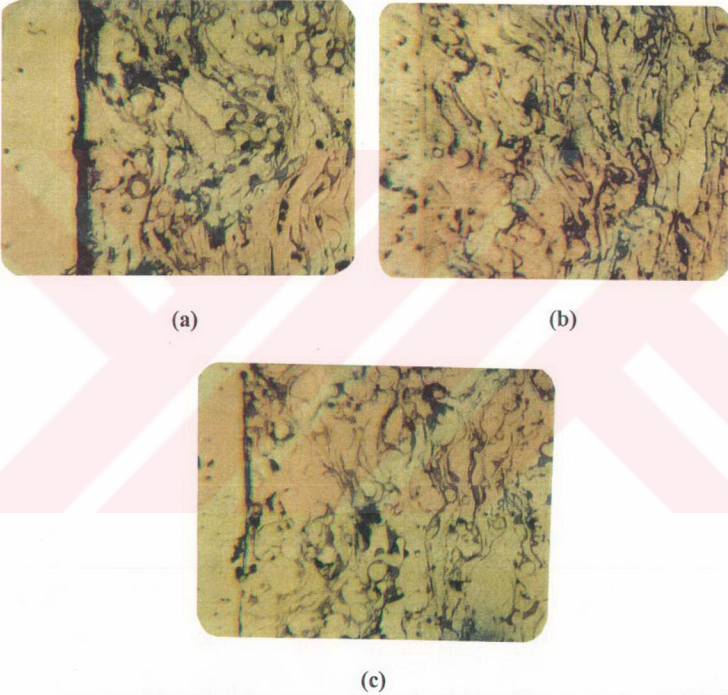


Şekil 6.19. 444 kaplamasının a) Soğuk dişli, b) Soğuk dişsiz, c) Sıcak dişli numunelerin x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

Dişli ve dişsiz miller üzerine kaplanan 444 kaplamasının arayüzey geçiş bölgesinde az miktarda gözenegin bulunduğu ve kaplama tabakasındaki gözenek miktarının kaplama şartları ile değişmediği görülmüştür.

6.4.4. 44 Kaplaması

Nikel bazlı kromlu paslanmaz çelik tozlarıyla üretilen 44 kaplamasının optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.20’de verilmiştir.

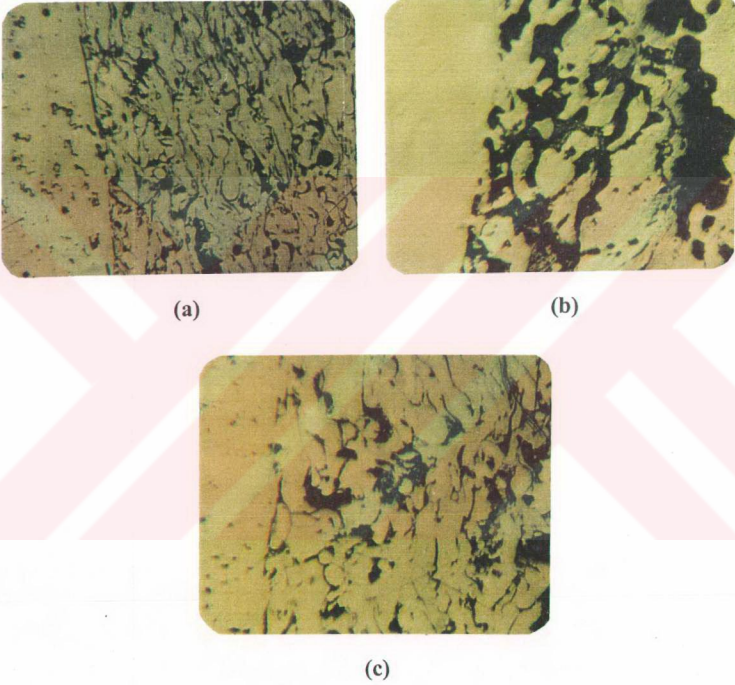


Şekil 6.20. 44 kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b) Sıcak dişsiz, c) Soğuk dişli kaplamaların x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

44 kaplamasının kaplama tabakasında bulunan gözenek boyutunun diğer kaplamalara kıyasla daha küçük olduğu ve kaplama arayüzey geçiş bölgesinin oldukça az gözenek içerdiği gözlenmiştir.

6.4.5. 449P Kaplaması

Yüksek kromlu çelik ve molibden-alüminyum kompozit tozu içeren 449P kaplamasının optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.21’de verilmiştir.

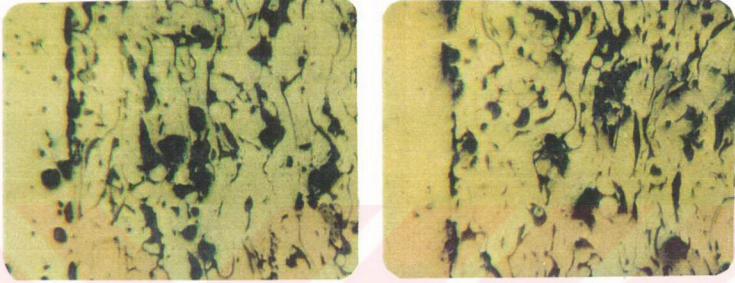


Şekil 6.21. 449P kaplamasının a) Soğuk dişsiz x100, b) Sıcak dişsiz, c) Soğuk dişli x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

Dişli ve dişsiz numuneler üzerine yapılan kaplamaların arayüzey geçiş bölgesinde düzenli bir geçiş olduğu görülmüştür. Ayrıca x160 büyütmedeki Sıcak dişsiz (Şekil 6.21.b) kaplamasındaki gözenek boyutunun soğuk dişli (Şekil 6.21.c) kaplamasındaki gözenek boyutundan daha büyük olduğu görülmektedir.

6.4.6. 452 Kaplaması

Nikel-demir-alüminyum kompozit tozu ile üretilen 452 kaplamasının optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.22'de verilmiştir.



(a)

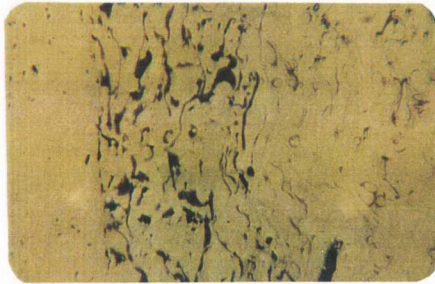
(b)

Şekil 6.22. 452 kaplamasının a) Soğuk dışsız, b) Soğuk dışlı x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

452 tozu ile yapılan kaplamada, soğuk olarak kaplanan dışlı ve dışsız numuneler, geçiş bölgesi, gözenek boyutu ve miktarı bakımından birbirlerine benzer özellikler göstermiştir.

6.4.7. 19985 Kaplaması

Şekil 6.23'de optik mikroskop görüntüsü verilen 19985 kaplamasında bağlayıcı olarak 51000 astar tozu kullanılmıştır. Bağlayıcı tabaka Şekil 6.23'de net bir şekilde görölmektedir.



Şekil 6.23. 19985 Soğuk dışlı kaplamasının x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.

Altlık-bağlayıcı ve bağlayıcı-kaplama geçiş bölgeleri önemli bir hata içermemektedir. Altlık malzeme üzerindeki bağlayıcıda bulunan gözenek miktarı ve boyutunun asıl kaplama malzemesinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.23).

6.5.Termal Şok Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Termal şok deney sonuçları aşağıdaki muayene yöntemleriyle incelenmiştir.

6.5.1. Gözle muayene

Numunelere yapılan gözle muayenede JIS H8666'ya (Japanese Industrial Standart- Japon Sanayi Standardı) göre herhangi bir çatlak, yırtılma, ayrılma ve şekil bozukluğu görülmemiştir. Ayrıca standart dışı olarak aynı numuneler 700°C'de tavlandıktan sonra suda soğutulmuş ve hiçbir şekil değişikliği gözlenmemiştir.

6.5.2. Radyografik muayene

Radyografik muayene Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Muayene esnasında numuneler, FFD=85 cm (Film kaynak uzaklığı), 5mA akımda, 180 kV gerilimde 2 dakika bekletilerek teste tabi tutulmuştur. İncelemeler sonucunda 36C sıcak dişsiz, 41C sıcak dişsiz, 44 Sıcak dişsiz, 449P soğuk dişsiz, 452 soğuk dişsiz, 449P soğuk dişli, 452 soğuk dişli ve 444 sıcak dişli numunelerde termal şok deneyinden sonra altlık malzeme-kaplama tabakası arasında hatalar meydana geldiği tespit edilmiştir. 444 soğuk dişsiz, 44 soğuk dişsiz, 449P sıcak dişsiz, 44 soğuk dişli, 19985 soğuk dişli, 41C soğuk dişli ve 41C sıcak dişli numunelerde ise herhangi bir hataya rastlanmamıştır.

6.5.3. Penetrasyon yöntemiyle muayene

Termal şok testinde hatalı bulunan parçalar penetrasyon yöntemiyle muayeneye tabi tutulmuştur. Muayene sonucunda altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzeyinde kısmi boşlukların olduğu görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alev spreyleme (Flame spraying) yöntemiyle dişli ve dişsiz miller üzerine toz kaplanmış numunelerin karakterizasyon davranışlarının incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Dişli ve dişsiz numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, kaplama kalınlığının artmasıyla ısı girdisi arttığından sertlikte azalma meydana geldiği gözlenmiştir.
- Aynı türdeki tozlarla kaplanmış, yaklaşık aynı kalınlığa sahip kaplamalarda, soğuk püskürtme ile üretilen kaplama malzemeleri sıcak püskürtme ile üretilen kaplama malzemelerinden daha sert bulunmuştur.
- Soğuk ve sıcak püskürtme yöntemi ile kaplanan numunelerde, kaplama öncesindeki tozların sertlik sıralamasının, kaplama sonrasında da değişmediği gözlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülük ölçümleri hem dişli hem de dişsiz numuneler üzerinde uygulanmış ve dişsiz numuneler üzerinde yapılan ölçümlerde kalınlık arttıkça pürüzlülük de artmıştır. Dişli numunelerde ise, diş yüksekliği kaplama sonrası yüzeyde etkili olduğu için, kaplama kalınlığı artarken pürüzlülük bazen artmış bazen de azalmıştır.
- Optik mikroskop analiz sonuçlarına göre, dişli numunelerdeki arayüzey geçiş bölgesinin dişsiz numunelere göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.
- Arayüzey pürüzlülüğünün kaplama performansına etkisinin incelenmesi amacıyla miller üzerine metrik vida açılarak yapılan kaplamalarda, kaplama tozlarının vida diş diplerine tam olarak temas etmediği görülmüştür. Metrik vida (üçgen kesitli) yerine yuvarlak kesitli vida açılması durumunda, kaplama tabakası altlık malzemeye daha iyi temas edebilir.

KAYNAKLAR

1. Ürgen, M., 1997, Modern yüzey işleme teknolojileri ve Türkiye'deki gelişmeler, **9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, 333-350, İstanbul.
2. Pamuk, U., 1996, Plazma spreyleneş $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ kaplamaların abraziv aşınma davranışlarının incelenmesi, **Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
3. Çakır, A.F., Korozyondan korunmada metalik kaplamalar, 1988, **Yüksek Lisans Ders Notları, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü**, İstanbul.
4. Üstel, F., 1995, Plazma sprej kaplama teknolojisi, **Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
5. Oğuz, B., 1993, Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları teori-uygulama, **Oerlikon kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş. Yayınları**, 367-491, İstanbul.
6. Avner, S. H., 1974, Introduction to physical metallurgy, **Mc Graw-Hill**, Second Edition, 567-573, Singapore.
7. Harvey, D., 1995, The tough truth-wear resistant coatings using HVOF, **TWI Bulletin 1**, January/ February, 473(1) 95.
8. ASM Handbook Committee, 1986, **ASM Metals Handbooks**, Vol 2 (29), 1-54, USA.
9. Harvey, D., 1991, Surfacing armoury broadens to combat industry bane, **TWI Bulletin 6**, November/ December, 416 (6) 91.
10. Boone, D.H., 1986, **Materials science and technology**, March, Vol 2, 220-224.
11. Habig, K. H., 1989, Wear behaviour of surface coatings on steels, **Tribology International**, April, Vol 22 (2), 65-73.
12. Budinsky, K.G., 1995, Abrasion resistance of transport roll surfaces, **Wear**, 181(183), 938-943.

13. Gissler, W., Jehn, H. A., 1992, Advanced technique for surface engineering, **ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg**, Vol 1, 181-197.
14. Phillips, B. A., Knapp, J. K., 1995, Thermal spray coatings reduce wear and corrosion on calender rolls, **Tappi Journal**, October, Vol 78(10), 197-205.
15. Sturgeon, A., 1994, Thermal spraying gives a new look to substrate design, **TWI Bulletin 4**, July/August, 464(4) 94.
16. Sahoo, P., 1993, High performance wear coating-the quest continues, **Powder Metallurgy International**, 25(2), 73-78.
17. Dapkunas, S.J., 1993, Nist-industry workshop on thermal spray coating research, **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, May-June, 98(3), 383-389.
18. Harvey, D., 1994, The ultimate coating-thermal spraying at Abington, **TWI Bulletin 2**, March/April, 456(2) 94, 28-30.
19. Kuvin, B. F., 1989, How to apply thermal-spray coatings, **Welding Design&Fabrication**, May, 43-46.
20. Abram, K.R., Bustamante, J., Etzenhouser, R.D., 1990, Automated metal spray applications, **Thermal Spray Research and Applications, Proceedings of the Third National Thermal Spray Conference**, May, 655-661, USA.
21. Resistant and solid-state welding and other joining processes, Chapter 12, 1984, **Aws Welding Handbook**, Seventh edition, Vol 3, welding processes.
22. Salman, S., Vayvay, Ö., 1998, The termal sprayed coatings applications in aero engines components, **Fifth Combustion Symposium**, 497-505, Istanbul/Türkiye.
23. Pfender, E., 1987, Fundamental studies associated with the plasma spray process, **Thermal Spray Advances in Coatings Technology Proceedings of the National Thermal Sprey Conference**, September, Orlanda, Florido, USA.

24. Fauchais, P., Vardelle, M., 1994, Plasma spraying: present and future, **Iupac, Pure& Appl. Chem.**, Vol 66 (6), 1247-1258, Britain.
25. Cerit, A. M., 1996, Metal püskürtme, **Makina Mühendisliği El Kitabı, Üretim ve Tasarım**, Cilt 2, 208-211, Ankara.
26. Anık, S., 1983, Kaynak teknolojisi el kitabı, **Ergör Matbaası**, İstanbul.
27. Geçkinli, A. E., 1992, İleri teknoloji malzemeleri, **İTÜ Maatbası**, 246-251, Gümüşsuyu- İstanbul.
28. Pherson, R., 1989, A review of microstructure and properties of plasma sprayed ceramic coatings, **Surface and Coatings Technology**, 39/40, 173-181, Netherlands.
29. Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1993, 1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt I, **Birsen Yayınevi**, 270-290, İstanbul.
30. Howes, C. P., 1995, Thermal spraying upgrades cookware quality, **Welding Journal**, October, 43-44.
31. AWS committee on thermal spraying, 1997, Thermal Spraying, **Welding Journal**, August, 69-70.
32. Amin, M., 1991, Surface quality in arc spraying-optimising the parameters, **TWI Bulletin 3**, May/June, 407 (5) 91 .
33. Amin, M., 1992, Coating quality in arc spraying-getting it right, **TWI Bulletin 3**, May/june, 424 (3) 92.
34. Sturgeon, A., 1992, Ceramiç coating-agrowing technology, **TWI Bulletin**, March/April, 421 (3) 92.
35. Kowalsky, M. A., Marantz, D. R., Smith, W.F., Oberkamp, W. L., 1990, HVOF: Particle, flame diagnostics and coating characteristics, **Thermal Spray Research and Application, Proceedings of the Third National Thermal Spray Conference**, 587-592, May, USA.
36. Harvey, D., 1991, HVOF takes off, **TWI Bulletin**, September/October, 423 (9) 91.

37. Sturgeon, A., 1994, Alumina coating-HVOF using hydrogen, **TWI Bulletin**, November/December, 472 (6) 94.
38. Fillion, G., 1995, Applying nickel-based alloys by HVOF, **Welding Journal**, October, 45-47.
39. Agard Technical Bulletin, 1980, **Materials coating techniques LS-106**, March, London, 1-4.
40. Sulzer Metco (US) Inc., Copyright 1995, Westbury, NY 11590.
41. Saraç, A.S., 1995, Metal kaplama ve elektro kimyasal teknolojiler, **Çağlayan Kitabevi**, 109, İstanbul.
42. Herman, H., Sampath, S., Rangaswamy, S., 1988, Ni-Al re-evaluated, **Proceedings of the National Thermal Spray Conference**, 47, Ohio, USA.
43. Katolog, 1992, Endüstriyel Tamir ve Bakım için Geliştirilmiş Ürün ve Prosesler, **Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.**, 8-10, İstanbul.
44. Sander, M., 1989, A practical guide to the assesment of surface texture, **Feinprüf Perthen GmbH**.
45. Lian, D., Suga, Y., Shou, G., Kurihara, S., 1996, An ultrasonic testing method for detecting delamination of sprayed ceramic coating, **Journal of Thermal Spray Technology**, Volume 5(2).

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Bursa-İznik'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elbeyli Kasabası'nda lise öğrenimini ise İznik Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. 1990 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitimi Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nden 1994'te mezun oldu. Aynı yıl İstanbul'da Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı Sarıyer Atatürk Çıraklık Eğitimi Merkezi'nde 1 yıl görev yaptıktan sonra askerliğini tamamladı. Şubat 1997'de Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitimi Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Kaynak Eğitimi Anabilimdalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Şu anda Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 35. Madde ile görevlendirilmiş bulunmaktadır.