

TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ  
KULLANILARAK KAPLANAN  
FARKLI MALZEMELERİN AŞINMA  
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tuncay ÇÖĞÜR

Yüksek Lisans Tezi

Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Haziran - 2007

TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK  
KAPLANAN FARKLI MALZEMELERİN  
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tuncay ÇÖĞÜR

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Eğitimi Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

Haziran - 2007

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Tuncay ÇÖĞÜR'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK KAPLANAN FARKLI MALZEMELERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

Üye : Yrd.Doç.Dr. ....

Üye : Yrd.Doç.Dr. ....

Üye : Yrd.Doç.Dr. ....

Fen Bilimleri Enstitüsünün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TOZ ALEV SPREYLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK KAPLANAN FARKLI MALZEMELERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tuncay ÇÖĞÜR

Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

### ÖZET

Endüstrinin değişmez malzemeleri alüminyum ve çelik, başta taşıtlar olmak üzere bir çok endüstri alanında kullanılmaktadır. Ancak alüminyum, düşük mukavemet ve aşınma direncine sahip olduğu için taşıt motorları gibi aşınmaya maruz kalan kısımlarda kullanılması tercih edilmemektedir. Alüminyum yerine çelik malzemeler tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Alüminyum alaşımı (Al 5754) ve Ç1030 çelik malzemeleri toz alev püskürtme yöntemiyle değişik tozlar kullanılarak kaplama işlemi yapılmıştır. Yapılan kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, mikrosertliği, mikroyapısı ve aşınma davranışı incelenmiş ve sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Optik mikroskop çalışmaları sonucunda, kaplama tabakasındaki oksit, boşluk ve ergimemiş partikül miktarı ve boyutunun altlık malzemenin yüzey özellikleri ile değişmediği tespit edilmiştir. Mikroyapı sertliği ölçümlerinde, altlık malzemenin yüzey özellikleri ile değişmediği tespit edilmiştir. Aşınma deneyi çalışmalarında, sertlikle aşınma miktarının orantılı olduğu ve Alüminyum alaşımı (Al 5754) ile Ç1030 çeliğinin aşınma davranışlarının kaplamadan sonra aynı özellikler gösterdiği görülmüştür.

Bu teknik ile ağır malzemeler yerine, hafif ve aşınma dayanımı yüksek, ekonomik kazanç sağlayan dayanıklı ürünler elde etmek mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Kaplama, Mikrosertlik, Mikroyapı, Toz Alev Spreyleme.

## **EXAMINING THE REACTIONS OF DIFFERENT MATERIALS PLATED BY USING POWDER FLAME SPRAYING**

Tuncay ÇÖĞÜR

Graduate School of Applied and Natural Sciences, M.S.Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nurullah KIRATLI

### **SUMMARY**

Aluminum and steel which are immutable materials of industry are used especially in vehicle industry. However; Aluminum is not preferred for vehicle engines because it has low strength and wear endurance steel materials are preferred instead of Aluminum. In this study, Aluminum alloy (Al 5754) and SEA 1030 steel materials are plated by using powder flame spraying including different powder. The smoothness, micro temper, microform and wear reaction of overlay examined and results compared with each other.

At the end of the optic microscopy study; it was ascertained that oxide, porosity and the amount of unmated particles didn't vary in the layer of properties of the substrate. As a consequence of micro temper measurements, it was ascertained that the layer properties of substrate didn't vary. As a result of abrasion studies it was seen that microtemperness and abrasion were inversely proportional and the reactions of Aluminum alloy and steel were the same.

By using this technique, it is possible to produce materials being light and resistant to abrasion instead of heavy materials.

**Key Words:** Wear, Coating, Micro-Form, Micro-Structure, Powder Flame Spraying.

## TEŞEKKÜR

Bir senelik koşturma ve emeğin sonucunda şu anda gelmiş olduğum nokta gerçekten çok huzur verici... En büyük yorgunluklara bedel...

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmalarım süresince her türlü fedakarlığı esirgemeyen, ilgi ve yardımlarıyla her zaman yanımda hissettiğim tez danışmanım hocam Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI'a ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu noktalara gelmemde büyük pay sahibi olduğumu düşündüğüm değerli hocalarım Prof. Dr. Alim IŞIK, Prof. Dr. Ramazan KÖSE, Yrd. Doç. Dr. Dinçer BURAN ve Yrd. Doç. Dr. Nimeti DÖNER'e, bu çalışmada deney numunelerinin hazırlanması ve kaplanmasındaki katkılarından dolayı Kaynak Merkezinden Sayın Zafer BARUT ve arkadaşım Nuri DOĞAN'a, aynı bölümde yüksek lisans tezini yapan bu yola beraber çıktığım değerli çalışma arkadaşım Özgür ÖZCAN'a, metalografik incelemelerdeki yardımlarından dolayı Araştırma Görevlisi Volkan KILIÇLI'a teşekkür ederim.

Ayrıca bizi yetiştiren ve bu günlere gelmemizde büyük emeği olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür etmeyi borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ISIL PÜSKÜRTME .....	3
2.1. Alev Püskürtme .....	6
2.2. Plazma Püskürtme .....	6
2.3. Ark Püskürtme Yöntemi .....	11
2.4. Detonasyon Alev Püskürtme .....	13
2.5. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme (HVOF) .....	15
3. ALEV SPREYLEME .....	18
3.1. Alev Püskürtme İşleminin Prensibi .....	18
3.2. Alev Püskürtme Cihazı .....	19
3.3. Kaplama Özellikleri .....	23
3.4. Alev Püskürtme Yöntemleri .....	24
3.4.1. Tel alev püskürtme .....	24
3.4.1.1. Seramik çubuk alev püskürtme .....	26
3.4.2. Toz alev püskürtme .....	26
3.5. Optimal Püskürtme Şartları .....	28
3.5.1. Alev ayarı .....	28
3.5.2. Püskürtme mesafesi .....	28
3.5.3. Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı .....	28
3.5.4. Püskürtme hızı ve kaplama .....	28
3.5.5. Püskürtülen tabakanın sıcaklığı .....	28
3.6. Kaplama Öncesi İşlemler .....	29
3.6.1. Yüzey temizleme .....	31
3.6.2. Yüzey pürüzlendirme .....	31

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6.3. Ön ısıtma .....	36
3.7. Püskürtme Sonrası İşlemler .....	36
4. AŞINMA .....	38
4.1. Aşınmaya Etki Eden Faktörler .....	40
4.2. Aşınma Mekanizmaları .....	42
4.2.1. Adhezyon aşınması .....	42
4.2.2. Abrasiv aşınma .....	43
4.2.3. Erozyon aşınması .....	44
4.2.4. Yuvarlanma aşınması .....	44
4.2.5. Termik aşınma .....	45
4.2.6. Yorulma (titreşim) aşınması .....	45
4.2.7. Korozyon aşınması .....	45
4.2.8. Kavitasyon aşınması .....	46
4.2.9. Oksidasyon aşınması .....	46
4.3. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri .....	47
4.3.1. Ağırlık kaybı yöntemi .....	49
4.3.2. Kalınlık farkı yöntemi .....	49
4.3.3. İz değişimi yöntemi .....	50
4.3.4. Radyoizotop yöntemi .....	50
5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	51
6. METARYAL VE METOT .....	55
6.1 Materyal .....	55
6.1.1. Kaplama altlık malzemesi .....	55
6.1.2. Kaplama tozları .....	57
6.2. Metot .....	58
6.2.1. Kaplama yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi .....	58
6.2.2. Mikrosertlik deneyi .....	59
6.2.3. Metalografik yapının incelenmesi .....	59
6.2.4. Aşınma deneyi .....	60
7. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	62
7.1. Kaplama Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları .....	62
7.2. Mikrosertlik Sonuçları .....	63
7.3. Aşınma Deney Sonuçları .....	66
7.4. Mikroyapı Değişimleri .....	69



## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	71
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Termal spreyleme yönteminin şematik olarak gösterimi .....	3
2.2. Plazma spreyleme tabancası kesit resmi .....	8
2.3. Plazma püskürtme sisteminin şematik gösterimi .....	8
2.4. Elektrik ark püskürtme yöntemi .....	11
2.5. Ark spreyleme tabancası .....	12
2.6. Patlamalı püskürtme yöntemi .....	14
2.7. Yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme tabancası .....	16
3.1. Meme sisteminin şematik olarak gösterilişi .....	20
3.2. Alevle spreyleme cihazında yanma kademeleri .....	21
3.3. Püskürtme memesi ile parça arasındaki durumun şematik olarak gösterilmesi .....	22
3.4. Metal püskürtme tabakasının yapısı .....	23
3.5. Tel alev püskürtme sistemi .....	25
3.6. Tel alev püskürtmenin şeması .....	25
3.7. Toz alev püskürtme yöntemi şeması .....	27
3.8. Püskürtme kaplamanın mikroyapısı .....	30
3.9. Düzgün yüzeye kaplama .....	30
3.10. Pürüzlü yüzey kaplama .....	30
3.11. Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi .....	32
3.12. Vida açılarak yüzeylerin hazırlanması .....	33
3.13. Testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması .....	33
3.14. Karşılıklı yönlerde testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması .....	33
3.15. Basit kırlangıç kuyruğu yarık açarak yüzeylerin hazırlanması .....	33
3.16. Profil yarıklar açarak yüzeylerin hazırlanması .....	34
3.17. Bir milin doldurulmasında esas metal ile püskürtülen tabaka arasındaki geçiş durumu	34
3.18. Millerin uç kısımlarının doldurulması .....	34
4.1. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları .....	40
4.2. Metal-metal sürtünmesi ile oluşan adhezyon aşınması .....	43
4.3. İki elemanlı abrasiv aşınma .....	43
4.4. Üç elemanlı abrasiv aşınma .....	44
4.5. Termik aşınmanın oluşumu .....	45
4.6. Kaviteleşme aşınması .....	46

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Çeşitli aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi . . . . .	48
6.1. Perthometer S8P tipi yüzey pürüzlülüğü cihazı fotoğrafı . . . . .	58
6.2. (a) Ra ve (b) Rz cinsinden pürüzlülük değerlerinin şematik görünümü. $L_m$ ölçüm uzunluğudur . . . . .	59
6.3. Kaplanmış numunelerin metalografik inceleme için hazırlanması . . . . .	60
6.4. Numunelerin aşındırmanın yapıldığı aşınma cihazının fotoğrafı . . . . .	61
7.1. Kaplama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Ra cinsinden) . . . . .	62
7.2. Kaplama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Rz cinsinden) . . . . .	62
7.3. A ve B parçasının toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi . . . . .	64
7.4. C ve D parçasının toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi . . . . .	65
7.5. A ve C parçalarının aynı toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi . . . . .	65
7.6. B ve D parçalarının aynı toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi . . . . .	65
7.7. A, B, C ve D numunelerinin 10 N ve 20 N yük altındaki aşınma davranışları . . . . .	67
7.8. Al 5754 ve Ç1030 kaplama malzemelerinin optik görüntüleri . . . . .	69

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Termal sprey yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri .....	4
3.1. Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri .....	35
6.1. Kaplama altlık malzemelerinin kimyasal kompozisyonları (Ağırlıkça %) .....	55
6.2. Ç1030 düşük karbonlu çeliğinin fiziksel, mekanik ve işleme özellikleri .....	56
6.3. Al 5754- Alüminyum alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri .....	56
6.4. Altlık malzemelerin toz çeşidine göre kodlanması .....	57
6.5. Kaplamada kullanılan tozların özellikleri .....	57
6.6. Altlık malzemelerin yüzeylerinin dağlanması için kullanılan dağlayıcılar .....	60
7.1. Kaplama pürüzlülük değerleri ( $\mu\text{m}$ ) .....	62
7.2. Al 5754 ve Ç1030 deney numunelerinin toz çeşidine göre yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri (HV 0,1 kgf) .....	64

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
APS	Hava Plazma Püskürtme
DIN	Alman Endüstri Normu
HVOF	Yüksek Hızlı Oksit-Yakıt Püskürtme
MAG	Metal Aktif Gaz
MIG	Metal İnert Gaz
THY	Türk Hava Yolları
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VPS	Düşük Basınçlı Vakum Plazma Püskürtme

## 1. GİRİŞ

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 malzeme ömrünün, ekonomik performansının, kullanım veriminin ve güvenilirliğin artırılmasına çalışılmaktadır [1].

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 ülkeler 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 sanayinde kullanılmaktadır. Günümüzde ortama daha dayanıklı, daha ince kaplama üretimi üzerinde çalışmalar yapılmakta ve yeni alaşımlar üretilerek özellikleri incelenmektedir [2].

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmek, yeni mühendislik özellikleri kazandırmak veya dekoratif açıdan çekici kılmak insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından biri olmuştur. Günümüzde, malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, yüzey ve taban malzemesinin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler olarak tanımlanabilir. Yüzey işlem teknolojileri ve yüzey mühendisliği özellikle 90'lı yıllardan sonra önemli hale gelmiştir. Günümüzde hem klasik hem de modern teknolojilere dayanan yüzey işlemlerinin önemi artmaya devam etmektedir [3].

İlk zamanlarda ısı püskürtme yöntemine 'metalizasyon' denmektedir. 1890-1910 yıllarında metalizasyon amacıyla oksijenli torçunun kullanılmaya başlanılmasından sonra 1910 yılında Schoop ve arkadaşları tarafından, iletken metal tellerini ergitmek, atomize etmek ve ana metal üzerine uygulamak için bir elektrik ark yöntemini geliştirmiştir. Daha sonraki gelişmelerde bu olayı izlemiştir [4].

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar difüzyonlu ve difüzyonsuz olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Difüzyonlu kaplamalarda kaplama ile altlık malzeme arasında bir difüzyon bağı oluşturulmaktadır ve oluşan bağın özellikleri malzemelerin bileşimleri ile ilişkili

olmaktadır. Difüzyonsuz kaplamalarda ise kaplama metale mekanik olarak bağlanır ve kaplama ile metal arasındaki bağlanma tamamen kaplama prosesi ile ilişkilidir [5].

Birim özgül ağırlık başına mukavemeti düşük olan alüminyum, yakıt tasarrufu sağladığı için taşıtlarda çokça kullanılmaktadır [6]. Bununla birlikte alüminyum düşük aşınma direncine sahip olduğu için motor piston bloklarında istenmeyen boyut değişimi olmaktadır. Yağlayıcı malzeme kullanılsa dahi bile aşınma koşullarında istenilen iyileştirme elde edilememiştir.

Alüminyum yerine demir esaslı malzemelerin kullanılması durumunda çok daha iyi aşınma direnci elde edilmektedir [7]. Bu nedenle, alüminyum parçaların aşınma dayanımını arttırmak için ısı püskürtme kaplama metodu ile temas yüzeyi kaplanmıştır [8]. Isı püskürtme kaplama metodunun ana çalışma prensibi, ergimiş ve/veya kısmen ergimiş malzemeleri kuvvetli gaz basıncı altında altlık malzemeye püskürtme işlemine dayanır [9].

Koruyucu toz püskürtme teknolojisinde temel amaç, aşınan parçaların aşınmış kısımlarının, oksit-asetilen alevi yardımıyla püskürtülen mikro tozlarla daha dayanıklı, daha özellikli ikinci bir tabaka ile kaplamaktır. Kaplanacak yüzeylerin aşınan kısmı alınarak, yüzey pürüzlülüğü kazandırmak için kanallar yiv ve set açılarak, yüzey pürüzlülüğü kazandırıldıktan sonra özel alaşımlı tozlarla 0,5 mm de 5 mm'ye kadar kaplanır. Taşlanma işlemi yapılarak tekrar kullanıma kazandırılmış olur.

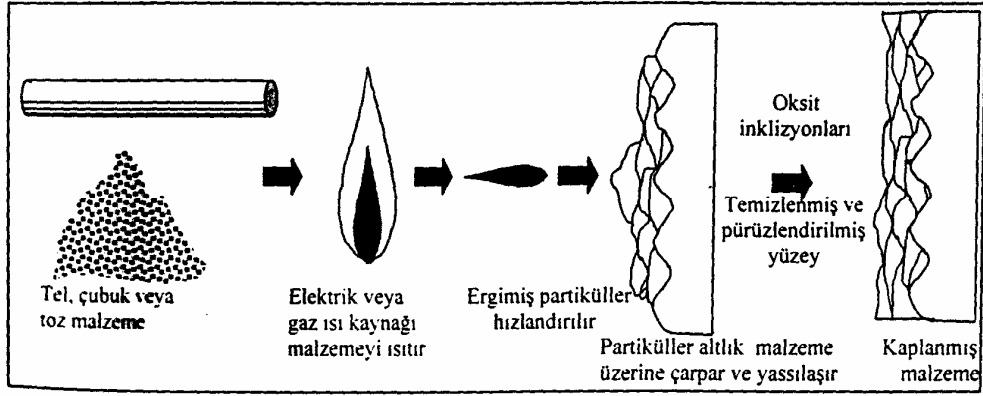
Bunların dışında koruyucu bakım teknolojisi olan püskürtme yöntemi ile yüzey kaplama, enerji ve doğal kaynakların, ekonomideki tasarrufuna çok önemli katkıda bulunmaktadır.

1900'lü yıllarda başlayan metal toz püskürtme çalışmaları son on beş yıldır hızlandırılarak büyük bir potansiyel elde edilmiştir. Ülkemizde de son yıllarda uygulanan bu sistem ile önemli sonuçlar alınmaktadır [10].

Bu çalışmada, Al 5754 - Alüminyum alaşımı altlık malzemesi ve Ç1030 düşük karbonlu çelik (imalat çeliği) altlık malzemesi kullanılarak çeşitli tozlarla kaplanan numunelerin yüzey pürüzlülüğü, mikro sertliği, mikro yapısı ve aşınma davranışları incelenmiştir.

## 2. ISIL PÜSKÜRTME

Termal sprey 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 ergitilmek üzere ısıtılmakta ve kaplanacak malzemenin yüzeyine spreylenecektir. Kaplanacak malzeme, oksidasyondan ve distorsiyondan kaçınmak için düşük sıcaklıklarda (200-300 °C) tutulabilmektedir. Yüzeğe düşen damlacıklar altlık malzeme ile ısı transferinin yüksek olması nedeni ile kısa sürede yassılaşıp ve soğumaktadır [1]. Termal spreyleme yöntemi şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Termal sprey kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi [1].

Termal sprey prosesi, tipik olarak tozlaştırılmış formdaki malzemeyi ısıtır ve bir yüzey üzerine ısıtılan malzemeyi biriktirir. Darbe etkisi üzerinde, malzeme bağlanmış, katılmış malzeme halini alır. Bu şekilde kaplamalar, boşluklar ve bir miktar oksitlenmiş partiküller ile karıştırılmış ince mercek partiküllerin tabakalarını bağlar. Toplam kaplama kalınlığı, püskürtülen malzemenin gerilim sınırlamalarına bağlı olarak (0.0025-10 mm aralığında) değişir [11].

Termal püskürtme, metal ve metal olmayan kaplamaların biriktirilmesinde kullanıldığından bazen metalleştirme (metallizing) olarak da isimlendirilmektedir.

Kaplamalar, çubuk tel stoğundan veya tozlaştırılmış malzemedan spreylenebilmektedir [12]. Termal sprey yöntemlerinde kullanılan malzeme besleme türleri ve yöntemlerin bazı özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.



**Çizelge 2.1** Termal sprey yöntemlerinin bazı karakteristik özellikleri [13].

Biriktirme Yöntemi	Isı Kaynağı	Yönlendirici Gaz	Malzeme Besleme	Tabanca İçindeki Sıcaklık (°C)	Tipik Toz Hızı (m/sn)	Ortalama Sprey 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 Basıncılı 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 Oksigaz	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 sprey metotlarının uygulanabilir olması, ikincisi ise işlem sırasında parça sıcaklığının (100-260 °C) arasında oksidasyonu, distorsiyonu ve faz dönüşümlerini minimize etmek için düşük tutulabilmesidir [14].

Termal sprey proseslerinin yüksek sıcaklıkları ve hızları, proses parametre ölçümü ve kontrolünü güçleştirir. Bundan dolayı, yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kaliteli kaplamaların üretimi büyük ölçüde yetenekli teçhizat kullanıcılarının bilgisine ve tecrübesine bağlıdır [15]. Termal spreylemeyle kaplanmış kaplamalarda yüksek partikül hızı, daha iyi bağ mukavemetini, daha yüksek gözenekliliği ve yoğunluğu, aşınmaya karşı daha dayanıklı kaplamaları meydana getirmektedir [11].

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 dayancıları, kaynaklı kaplamalarda olduğu kadar yüksek değildir. Daha ileri boyutta, kaplamalar bir miktar gözeneklilik ve oksidasyonu gösterir. Kalın spreyleneş kaplamaların biriktirebildiği, örneklerinin mevcut olmasına rağmen, kaynaklı kaplamalarla karşılaştırıldığı zaman termal spreyleneş kaplamaların daha ince olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür.

Termal spreyleme yöntemi, kaynaklı kaplamadan farklı olarak iki ayrı avantaj gösterir. Bunlardan ilki; seramik gibi kaynak edilebilir olmayan kaplama malzemelerine uygulanabilir olması, ikincisi ise, kompozisyon yada çarpılmaya eğilimliliği yüzünden kaynakla kaplamaya uygun olmayan malzemeler için yapılacak kaplamalara uygulanabilirliğidir. Genel olarak, altlık üzerinde az yada hiç, çarpılma, eriyik ve metalurjik darbe mevcut değildir [16].

Temizlenmiş alt tabaka kum püskürtülerek veya pürüzlendirilerek yapışmanın daha iyi olması sağlanır. 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 ısıl işlemleri gerektirmeyişidir [16].

Termal spreyleneş kaplama özellikleri servis esnasında ölçülmesi güçtür. Çekme gerilmesi, elastikiyet modülü, 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 diğer özellikler rutin olarak ölçülür ve belirli uygulamalardaki işletim şartları ile ilişkilendirilir [15].

Termal spreyleneş 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 spreyleneş kaplama uygulamalarını kapsar. Termal spreyleneş kaplamaların kullanım alanları, uçak, uzay, çelik, otomotiv ve petrol endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

Termal spreyleneş 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 spre 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 [18].

Termal püskürtme yöntemi genel olarak dört grup altında incelenebilir [19]. Bunlar;

1. Alev Püskürtme,
2. Plazma Püskürtme,
3. Ark Spreyleme,
4. Detonasyon Alev Spreyleme yöntemidir.

Termal spreyleme ailesine katılan en son ilave, Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Spreyleme (HVOF) yukarıdaki sayılan yöntemlere alternatif olarak kurulmuştur [20].

## **2.1 Alev Püskürtme**

Bu proseste, bir oksijen-asetilen karışımı gaz 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 [21]. Alev spreyleme yöntemi 3. bölümde geniş olarak açıklanacaktır.

## **2.2 Plazma Püskürtme**

İlk alev (oksi-asetilen) tabancalarının toz ve tellere uygulanmak için modife edildiği 1900'lerin ilk yıllarından günümüze kadar termal spreyleme teknolojisinde havacılık ve uzay sanayindeki ilerlemelere paralel olarak çok büyük gelişmeler kaydetmiştir. Termal spreyleme işlemleri ve kaplama özellikleri ilişkilerinin daha iyi anlaşılması termal spre kaplama uygulamalarının artması ve yeni işlemlerin (yüksek hızlı oksiyakıt, düşük basınçlı plazma spreyleme vb.) geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır [1].

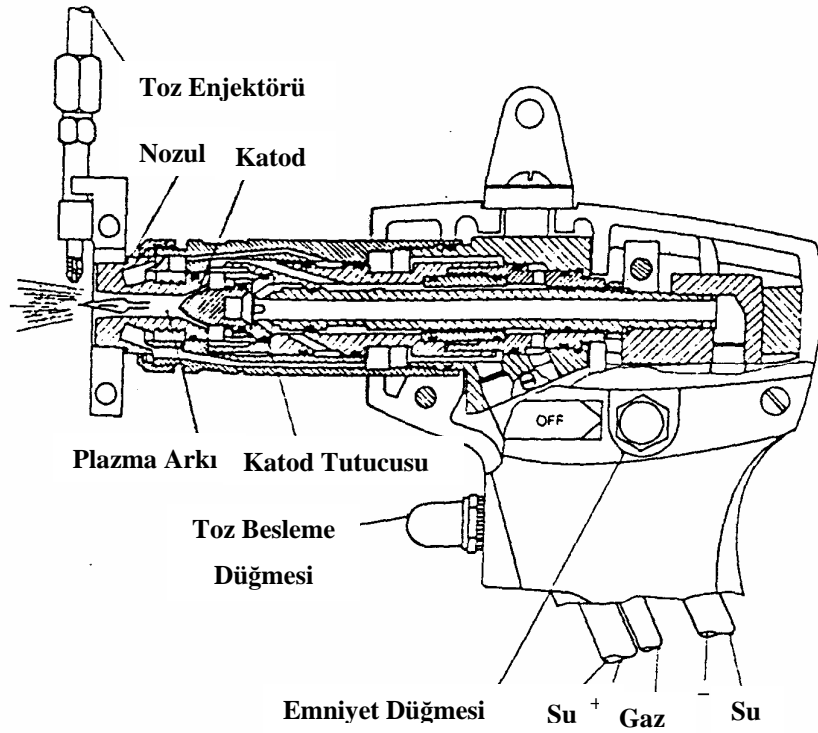
25 yıldan daha uzun bir süredir plazma spreyleme kullanılmaktadır. Bu gerçekte birlikte, bu teknolojiye dayalı bilim hala zayıf bir şekilde gerçekleştirilmektedir. 50'li yılların sonunda, 60'lı yılların başında ilk önemli incelemeler temel refrakter malzemelerinin spreylemesi için plazma torçları kullanılarak 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.

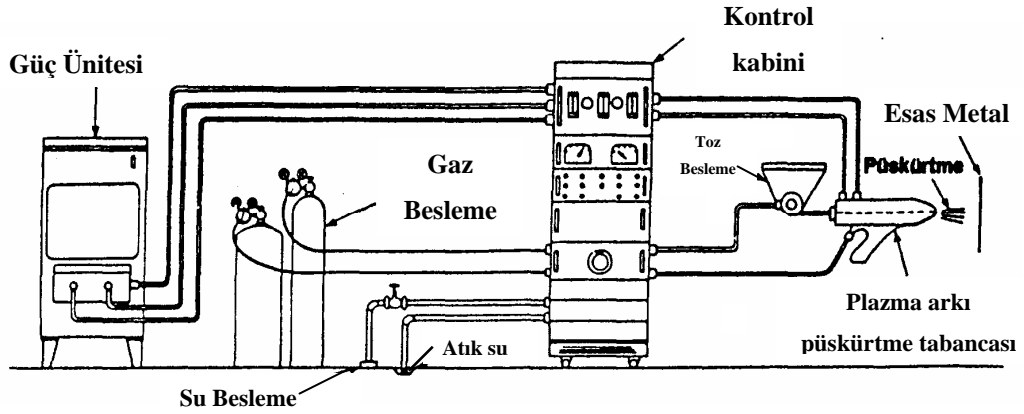
Plazma spreylemenin uygulamaları korozyon, sıcaklık ve abrazyon direnç kaplamalarını ve aynı zamanda hızlı soğuma prosesinin avantajını alan monolitik ve son ürün şekillerini kapsamaktadır. Cam metallere tozları, onların amorf karakteristiklerini değiştirmeksizin plazma ile spreylenebilir. Son zamanlarda yüksek sıcaklık süper iletken malzemeler plazma spreyleme prosesleri ile birleştirilmektedir [22].

Plazma püskürtme kendi arasında üç önemli bölüme ayrılır. Bunlar hava plazma püskürtme (APS), düşük basınç plazma veya vakum plazma püskürtme (VPS) ve atmosfer kontrollü plazma püskürtmedir [23].

Plazma spreylemede, plazma arkının ısı, malzeme yüzeyinin ergimesine yardımcı olur. Plazma arkı terimi, metallere 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, metallere kaynatılması, kesilmesi ve yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Plazma ünitesi bir tabanca, güç kaynağı, spreyleme malzeme temini, durağan ve hareketli aygıtlardan oluşur [19]. Şekil 2.2'de plazma spreyleme tabancası, Şekil 2.3'de ise plazma püskürtme sistemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 Plazma spreyleme tabancası kesit resmi [24].



Şekil 2.3 Plazma püskürtme sisteminin şematik gösterimi [12].

Plazma spreyleme, metalik ve metalik olmayan malzemelerin, bir sprey çökeltisi oluşturmak üzere ergimiş veya yarı ergimiş halde bir altlık malzeme üzerine çökeldiği termal sprey prosesleri grubunun bir parçasıdır. Bu proseste altlık malzeme spesifik soğutma aygıtlarıyla nispeten düşük sıcaklıklarda tutulabilir [26].

Plazma, elektriği ileten iyonize olmuş bir gaz akımıdır. Püskürtme işleminde kullanılan plazma alevi direkt etkili olanıdır. Prensipte 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 ergir ve parça üzerine püskürtülür [27].

Plazma püskürtme yönteminde oluşturulan plazmanın sahip olduğu yüksek sıcaklık aşırı derecede buharlaşmayan ve ayrışmayan tüm malzemelerin (metaller, seramikler, plastikler ve bu malzemelerin karışımları) çok kısa bir süre içerisinde ergimesini ve püskürtülebilmesini mümkün kılar [28].

Plazma püskürtme teknolojisi malzeme mühendisliğinde büyük bir potansiyele sahiptir. Bu yöntem sayesinde;

- Optimum malzeme ve yüzey kaplama özellikleri eşleştirilerek parçaların performansı geliştirilebilmekte ve homojen malzemelerde olmayan özelliklerin kombinasyonu elde edilebilmektedir,
- Pahalı olmayan altlık malzemeler üstün özellikteki kaplamalar ile geliştirilmekte ve maliyetlerin düşürülmesi sağlanmaktadır,
- Bu yöntemde pahalı, nadir bulunan yada elde edilmesi güç olan malzemelerin kullanımı azdır ve bu yöntem ile kaynaklar en iyi şekilde kullanılmaktadır [29].

Plazma sprey 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 jeneratörü tarafından ark bölgesine gönderilir ve elektrik arkı ile ısıtılır. Gaz karışımı, 8300 °C'ye kadar ısınarak iyonize hale (plazma) gelir. Böylece, yüksek sıcaklık plazma hızı tabancanın nozulundan çıkar. Bu sistemde, seramik tozları plazma alevine, taşıyıcı gaz hızında süspansiyon halinde beslenir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle ergiyen tozlar, kaplama yapılacak yüzeyin üzerinde hızlı bir şekilde birikir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, Argon/Helyum gaz karışımının gaz akış hızını, böylece partiküllerin hızını arttırdığını göstermiştir [30].

Kaplamaların plazma püskürtme yöntemiyle oluşturulması belirgin ve çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar;

1. Kaplanacak malzeme sıcaklığı soğutma ile 200 °C'den daha düşük sıcaklıklarda tutulabilmektedir. Bunun sonucunda;
  - Distorsiyon yoktur, malzemeler işlendikten sonra kaplanabilir.
  - Altlık malzemenin mikro yapısında değişiklik meydana gelmez.
  - Alüminyum, kalay ve çinko alaşımları gibi düşük ergime noktalı alaşımlardan yapılmış parçaların kaplanması mümkündür.
2. Kaplama malzemesi ve altlık malzeme birbirinden bağımsız olarak seçilebilmekte ve kombine edilebilmektedir. Plazma püskürtme yöntemi ile kaplama tabakalarının bileşimi, konfigürasyonu ve özellikleri çok geniş bir aralıkta değiştirilmekte ve özel uygulamalar için optimize edilebilmektedir.
3. Uygun kalınlıktaki bölgesel kaplamalar yüksek gerilimlere maruz alanlara uygulanabilmektedir. Bu yolla son derece büyük miktarlarda pahalı malzemelerden tasarrufta bulunmak mümkündür.
4. Plazma püskürtme ile hem küçük hem de büyük parçalar kaplanabilmektedir.
5. Plazma püskürtme işleminde kaplamanın ekonomik performansının ve kalitesinin yükseltilmesi amacıyla son derece ileri teknoloji kullanılabilmektedir.
6. Plazma püskürtme işlemi parça üretiminde imalat aşamaları arasında kolaylıkla entegre edilebilmektedir.
7. Başlangıç kaplama malzemesi ile kaplamanın kimyasal yapısı arasında yakınlık mevcuttur [1].

Plazma püskürtme tekniğinde istenilen kaplama kalınlığı elde edilebilir. Bu nedenle Plazma püskürtme yönteminin kullanım alanları aşağıdaki gibidir [5];

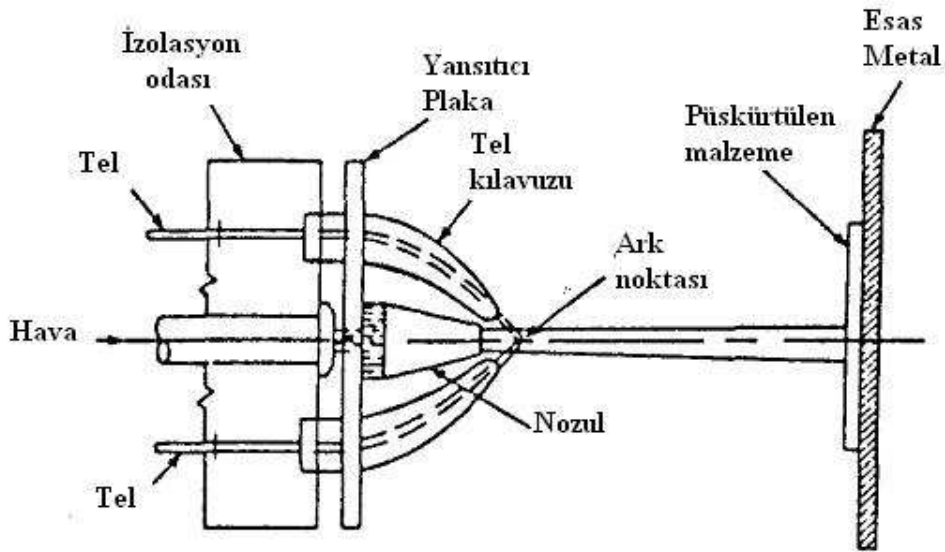
- Uçak ve uzay sanayinde yüksek sıcaklığa karşı, türbin kanatçıklarında, roket gövde kabuğunda, yanma odasında, pervane platformlarında, termal bariyer kaplamalarında,
- Termik santraller, gaz ve dizel türbinlerde dizel motorlarında, uçak motorlarındaki türbin panellerinde erozif aşınmaya karşı,
- Matbaa ve kağıt endüstrisinde sürtünmeye ve aşınmaya maruz kalan hareketli makina elemanlarında,
- Tekstil endüstrisinde özellikle bobin ve çözümlü makinaları, katlama, büküm makinaları ipliğin hızla geçtiği iplik yönlendiricilerde aşınmaya karşı,
- Otomotiv motorlarında piston başları, subaplar, silindir kapakları, eksoz subapları ve termal izolasyon amacıyla,

- Elektrik santrallerinde kızdırma boruları, yanma kamaraları ve ısıtıcı duvarlarında,
- Bio-medikal uygulamalarında suni eklemler ve kemikler olarak,
- Günlük yaşantımızda tavaların iç yüzeyinde ve ütülerin tabanlarında,
- Kimya endüstrisinde, ayrışma kulelerinde, termo element koruyucu borular vb. gibi alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde plazma püskürtme kaplama uygulamaları askeri fabrikalarda, TÜBİTAK, THY, TUSAŞ ve özel sektörde ve de üniversite olarak Sakarya Üniversitesinde yapılmaktadır [5,31].

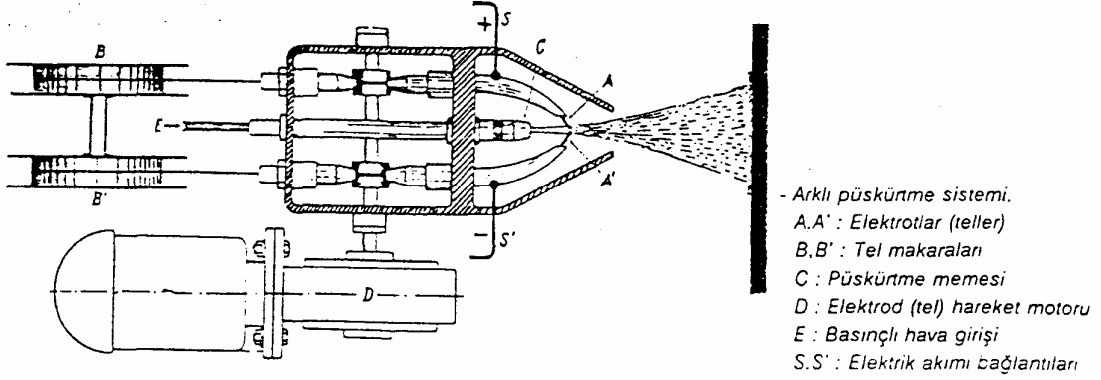
### 2.3 Ark Püskürtme Yöntemi

Bu yöntemde 4000 °C'nin üzerinde bölgesel sıcaklıklar sağlayan iki tel elektrot arasında bir ark oluşturulmakta ve burada eriyen malzeme esas metale bir gaz jeti (genellikle basınçlı hava) ile gönderilmektedir [33]. Korozyon kontrolü kesinlikle ısı püskürtme için yeni bir uygulama değildir, fakat ark püskürtme ekipmanlarındaki önemli değişiklikler bu uygulamalarda artan alakaya sebep olmuştur. Büyük tel ark püskürtmenin yüksek üretim miktarları ısı püskürtme kaplamaları korozyon kontrol uygulamaları için genel (dünya çapında) ve ekonomik yapmıştır. 3/16" çapında tel kullanan yüksek miktarda üretim sistemleri çeşitli büyük ölçekli projelerde önemini ispatlamıştır [32]. Şekil 2.4'de elektrik ark püskürtme yöntemi, Şekil 2.5'de de ark spray tabancası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Elektrik ark püskürtme yöntemi [33].





Şekil 2.5 Ark sprey tabancası [34].

Elektrik ark püskürtme işlemi özellikle büyük malzemeler üzerine, kalın kaplamaların yüksek hızlarda biriktirilmesi için uygundur. Tel ergime verimini çok yüksek oranlarda gerçekleştirmesi işlemden yüksek biriktirme hızlarının elde edilmesine imkan tanımaktadır [35].

Ark spreyleme düzeneği, DC (doğru akım) güç kaynağı, iki tel besleyici, sprey 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. Voltaj'ın artmasıyla partikül büyüklüğü de artmaktadır [34].

Elektrik ark püskürtme ile kaplanmış numuneler alevle kaplanmış numunelere göre aşağıdaki üstünlükleri sağlar [36];

- Yüksek bağ mukavemetine sahiptirler,
- Biriktirme hızı daha yüksektir,
- Kaplamadaki oksit miktarı azaltılabilmektedir,
- Kaplamanın maliyeti daha düşüktür.

Bu yöntem ile yüksek dolgu oranları elde edilebilir ve otomatik sistemlere uyarlanması da kolaydır.

Elektrik ark püskürtme ile abrazyona, korozyona, erozyona ve sürtünmeye dirençli kaplamalar ile makina parçalarının aşınan kısımlarının yenilenmesi, uygunsuz bir şekilde işlenmiş parçaların geri kazanılması veya bitirilmiş parçaların özelliklerinin iyileştirilmesi için yeniden dolgu kaplamaları elde etmek olanağı vardır [37].

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 kullanılmaktaydı. Ark spreyleme yöntemi düşük karbonlu çelik, %13 kromlu çelik ve alüminyum bronzları gibi malzemelerle, eskimiş miller, yataklar ve muyluları doldurmak içinde kullanılır.

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 bir aranan özelliği de yüzeyinin pürüzlülük derecesidir. Örneğin, düz bir yüzeyin üretilmesi, sonraki işlemeyi azaltmak yada yok etmek için istenir. Fakat pürüzlü yüzeye, kaymayı önlemek veya yüzeyler arası sürtünmeyle gücü iletmek için ihtiyaç duyulabilir [34].

Ark spreyleme yönteminde yapılan yeni gelişmeler, yöntemin vakum veya koruyucu gaz atmosferinde refrakter metal tabakalarının elde edilmesinde de kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu yöntem birçok yerde kullanılmasına rağmen, belli başlı kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir [38,39,40]:

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

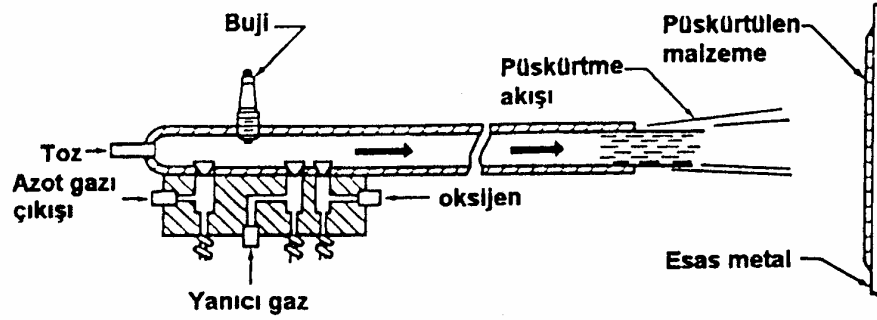
#### **2.4 Detonasyon Alev Püskürtme**

Detonasyon alev püskürtme, özel olarak tasarlanmış bir tabanca ile yapılır. Tabanca, oksijen, asetilen ve azot içinde asılı olan tozlaştırılmış kaplama malzemesinin enjekte edilecek miktarlarının ölçüldüğü bir hücreyi içermektedir. 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 (1 ft = 30,48 cm) hıza ivmelendirir. Ergimiş

partiküller, iş parçasının yüzeyine çarparlar. Tabanca içindeki başarılı detonasyonlar, istenilen kalınlık için biriktirme işlemini sağlar [19].

Bu işlem ile yüzey sertliği 50-60 HRC'den daha yüksek sertliğe sahip tüm malzemeler kaplanabilmektedir. Metalik olmayan malzemeler bu yöntemle kaplanamazlar. Bunun nedeni yüksek hızdaki gaz akışı yüzey erozyonuna neden olmaktadır [29].

Bu yöntem, yanıcı gazların ısı ve kinetik enerjilerinden faydalanmaktadır. Boşluk seviyesi düşük, iyi bağlanmış tabakalar elde etmektedir. Püskürtme tabancası uzun namlu biçimindeki bir tüpten oluşmakta ve toz halindeki kaplama malzemesi azot gazı süspansiyonunda verilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Patlamalı püskürtme yöntemi [33].

Oksijen-asetilen karışımı, saniyede birkaç kez (4-8 defa) elektrik kıvılcımı ile tutuşturularak toz taneciklerinin ısıtılmasını ve hızlandırılmasını sağlayan bir seri kontrollü dalgali patlama meydana getirir. Her defasında toz enjekte edildikten sonra patlamadan önce azot gazı boşaltılır.

Bu yöntemde alev sıcaklığı yaklaşık 3000 °C, esas malzemenin sıcaklığı ise CO<sub>2</sub> soğutma işlemi ile 150 °C'nin altında olup ergimiş damlaların hızı 800 m/s'dir. Bu şekilde yüksek hızlı damlalar, esas metal üzerinde boşluk seviyesi düşük (%0.5-1) ve iyi bağlanmış kaplamalar meydana getirir. Yöntem çok gürültülü olup ses şiddeti 150 dB'den fazladır. Bundan dolayı işlem ses izolasyonlu bir odada yapılmaktadır [41].

Detonasyon püskürtmede sadece, tane büyüklükleri tam olarak modifiye edilmiş (tane büyüklüğü 5 ila 60 µm) tozlar kullanılır. Union Carbide Corporation (UCC) firmasının patenti ile korunan bu ilginç yöntem, yakın zamana kadar sadece bu firmanın ABD, İngiltere, İsviçre, Japonya, Fransa, İtalya ve Almanya'daki işletmelerinde, ücret karşılığında yapılmaktaydı. Son

yıllarda İsveç, Avusturya ve Sovyetler Birliğinde (Rusya) bu sistemi kurmak için çabalar yürütülmektedir. Avusturya'da halen başarı ile çalıştırılan bir tesis mevcuttur [40].

Detonasyon püskürtülmüş 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 spreyleme tabancasından çıkan partiküller alev spreyleme 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. Püskürtme işlemi, hızlı detonasyonlar dizisi olduğundan, gürültü düzeyi oldukça yüksektir. Püskürtme normal olarak bu gürültüyü içeren ve özel olarak yapılmış bir uygulama odasında yapılır [19].

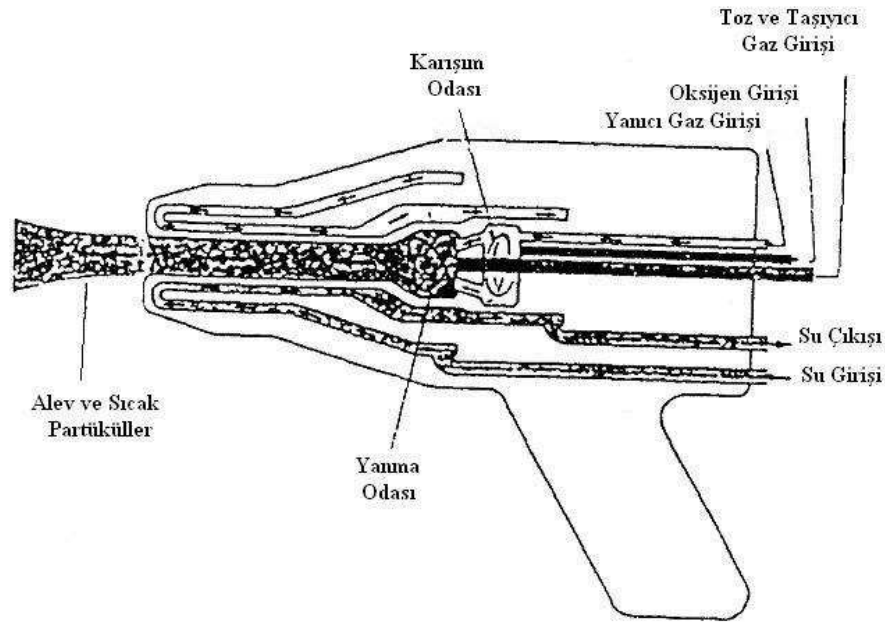
Geleneksel olarak detonasyon, kaplamanın patlaması yada dairesel biriktirme ile sonuçlanır. Bir yüzey üzerindeki kaplama biriktirmesi, bu patlayan tabakaların birkaçı üst üste gelerek meydana gelir. Otomatik olarak patlamaların yerleşmesi kararlı bir kalınlık ve düzgün bir yüzey oluşumunu sağlar. Artan 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 dayanımları 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 [34].

Patlamalı püskürtme yöntemi, ana malzemenin özelliklerini kaplama süresi sırasında değiştirmez. Prezisyon parçalarının çarpılma, distorsiyon veya sair fiziksel değişimi, soğutucu sıvı karbondioksit püskürtmesi ile iş parçasında sıcaklığı aşağıda tuttuğu için az olur. Her ne kadar tabancada sıcaklıklar 3315 °C'in üstünde iseler de, kaplanan parçaların sıcaklığı 150 °C'in altında kalır [10].

## **2.5 Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme (HVOF)**

Isıl püskürtme teknolojisinde en son yenilik 1980'lerde geliştirilen yüksek hızda oksijen yakıt (High Velocity Oxyfuel) yöntemidir (HVOF). Bu yöntemdeki en önemli fark gaz yakıtı yerine sıvı yakıtın kullanımınıdır. Aslında yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme yöntemi alev ile püskürtme işlemine benzer olarak kaplama tabakasını oluşturan sıcaklık etkisi ile ergitilmesi ve daha sonra kaplamanın yapılacağı yüzeye gönderilmesi işlemidir. Ancak, yanıcı gaz olarak kullanılan propan, propilen veya hidrojen, HVOF tabancası içerisindeki bir odada alev ile

püskürtme işleminde kullanılanlardan çok daha yüksek basınçlarda patlatılır. Ayrıca, alevle püskürtme işleminde yanıcı-yakıcı gazın birleşimi; tabanca dışında meydana gelmekte, buna karşın HVOF yönteminde ise tabanca içerisinde gerçekleştirilmektedir. Genleşen gaz jetinin nozul yardımı ile hızı daha da artırılır ve kaplama tabakası meydana getirecek tozun jete eklenmesi ile ses üstü (550-800 m/sn) bir hızda kaplama işlemi gerçekleştirilir [42]. Şekil 2.7’de HVOF tabancası şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 2.7** Yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme tabancası [43].

Yüksek hızlı oksijen-yakıt spreyleme geleneksel alev spreyleme yönteminden ayrılır. Bu yöntem dahili olup gaz akış oranı ile dağıtma basınçları atmosferik yanma alev spreyleme proseslerinininkinden 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 [34].

HVOF yöntemi ile gerçekleştirilen kaplama tabakaları son derece düşük gerilmeler içeren kaplamalardır. 12 mm’ye kadar kaplama kalınlıkları, tamamen homojen bir kaplama

tabakası, mikro yapısı, püskürtme işleminde parça şekline daha az bağımlılık, kaplama tabakasının kimyasal bileşiminde esneklik, kaplama tabakasında düşük oksit bileşenleri, düşük gözeneklilik, yüksek bağlantı mukavemeti gibi özellikler göstermektedir [44].

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 odasını 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 [45].

HVOF prosesinde, partiküllerin tabancadan çıkıp altlığa çarpma anına kadar hareketi süresince ulaştıkları sıcaklık, özel HVOF ekipmanına, yakıt gazına ve kullanılan spreyleme şartlarına bağlıdır [34].

HVOF yöntemi ile aşınmaya ve korozyona karşı koruma ile ısı ve elektriksel izolasyon için kaplamalar üretilmektedir. Püskürtme parametreleri özel uygulamalar için ayarlanabilmektedir. Yüksek dolgu oranları, geniş yüzey parçalarda işlem zamanını kısaltmaktadır [5].

### 3. ALEV SPREYLEME

#### 3.1 Alev Püskürtme İşleminin Prensibi

Isıl püskürtme yöntemine ilk zamanlarda “metalizasyon” adı verilmekteydi. 1890-1910 yıllarında metalizasyon amacıyla oksii-asetilen torcunun kullanılmaya başlanmasından sonra 1910 yılında Schoop ve arkadaşları, iletken metal tellerini eritmek, atomize etmek ve ana metal üzerinde uygulamak için bir elektrik ark yöntem geliştirmiştir. Özellikle ikinci dünya savaşına kadar bir gelişme gösteremeyen yöntem daha sonra Sovyet Rusya ve Çekoslovakya da farklı püskürtme konusunda sıkı bir çalışmaya başlanmıştır. Daha sonraki olaylar ise bunu izlemiştir. Günümüzde çok gelişen çeşitli usuller çeşitli endüstri kollarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur [33].

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.

Termal püskürtme işlemlerinin en basit ve en ucuzu olan alevle püskürtme yöntemi, 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 [46].

Alev püskürtmede, tüketilebilir tel yada toz oksii-gaz alevi ile eritilir. Tel, kendi ucunu eritken alevin içinde 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 [35].

Alev püskürtme yönteminde, çubuk yada toz formundaki kaplama malzemesini ısıtmak için 3300 °C sıcaklığa sahip oksii-asetilen alevi kullanılır. Sıkıştırılmış hava alt tabaka üzerine toz seramik malzemeyi 200 m/sn hızla ivmelendirerek memeden doğru geçer. Düşük püskürtme hızları ve düşük sıcaklıktan dolayı sadece daha düşük ergime noktalı oksit seramikler 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 püskürtülmesi için kurulu bir metot olmuştur ve düşük maliyet ile yüksek kumanda edilebilirliğe göre bazı avantajları da sunmaktadır [21].

Alev püskürme 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 [47].

### 3.2 Alev Püskürtme Cihazı

Alev püskürtme işleminde kullanılan tabanca dizaynı, spreylenen malzemenin tipine ve fiziksel özelliğine bağlıdır. Otomatik olduğunda tabanca yada iş parçası veya her ikisi birden istenilen biriktirme şeklini üretmek için tasarlanan mekanizmalarla kullanılır [40].

Alevle püskürtme cihazının üç önemli özelliği vardır. Bunlar;

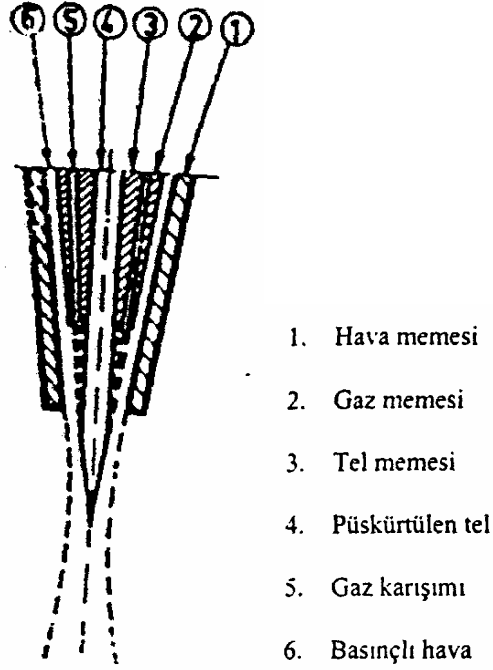
- Püskürtülecek malzemenin nakli,
- Telin bir yanıcı gaz-oksijen aleviyle ergitilmesi,
- Ergimiş telin püskürtülerek esas metale naklidir.

Bu özelliklere 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 [27,40,48].

Tahrik sistemi, 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.

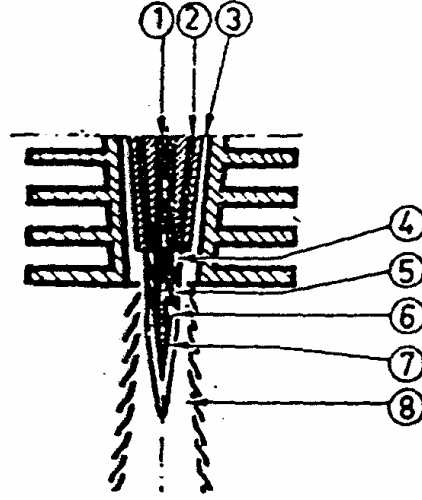
Meme sistem, yanıcı gaz ile oksijen karışımını, telin ergimesini ve püskürtülmesini sağlayan önemli bir kısımdır. Şekil 3.1’de bir alevli püskürtme memesi görülmektedir. Tel, meme sisteminin simetri eksenini boyunca ilerler. Telin etrafındaki kanaldan, oksijen- yanıcı gaz karışımı tele sürünerek çıkar. Bunun etrafındaki kanaldan da, püskürtme veya nakil işlemi yapacak olan gaz dışarıya püskürtülür. Meme içerisindeki gaz karışımını temin eden kısım, ilk uygulamalarda eş basınç olarak kullanılmakta idi. Fakat bu sistemde gaz karışım oranlarının zaman zaman değişmesi ve geri tepmeler meydana gelmesi nedeniyle enjektörlü sistemler geliştirilmiştir [40].





Şekil 3.1 Meme sisteminin şematik olarak gösterilişi [40].

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 propan'dır. 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 oksii-asetilen alevinin yanma kademeleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Burada oksii-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 [48].

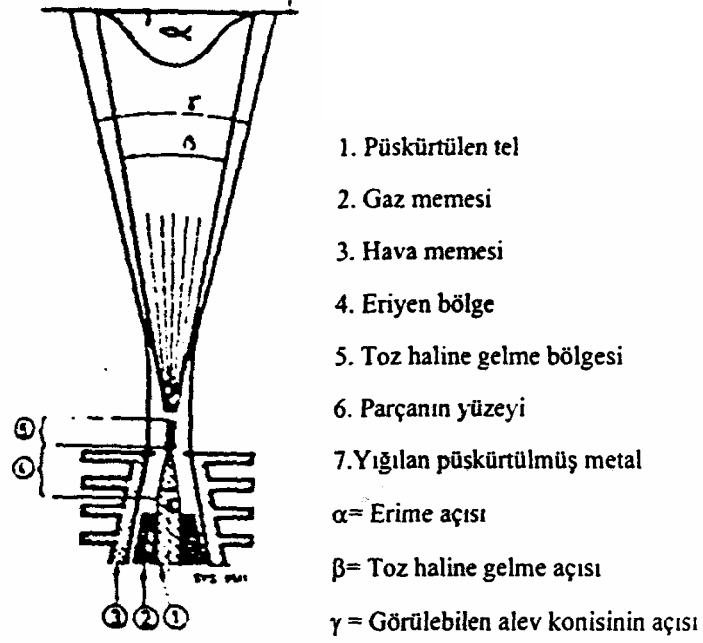


Şekil 3.2 Alevle spreyleme cihazında yanma kademeleri [40].

Alevle püskürtme cihazında yanmanın kademeleri aşağıdaki şekildedir [27];

1. Püskürtülen tel,
2. Yanıcı gaz-oksijen karışımının geçişi,
3. Basıncı havanın geçişi,
4. Gaz karışımının yüksek bir hızla çıkışı,
5. Yanıcı gazların ayrıştığı bölge (C ve H<sub>2</sub>),
6. Açık 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).

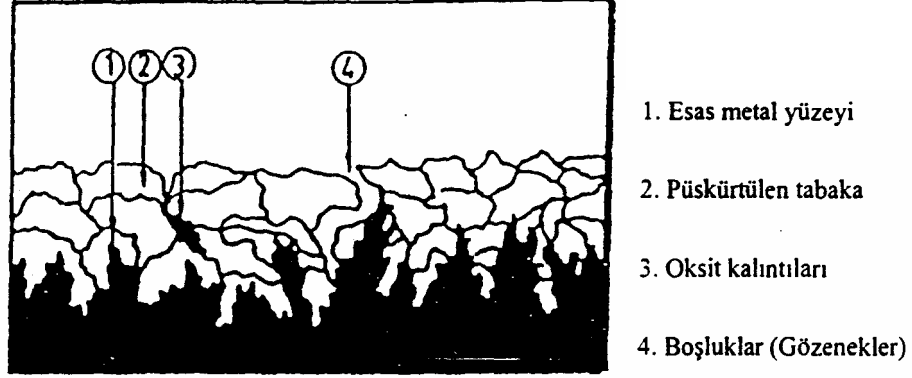
Şekil 3.3'de püskürtme memesinin ucu ile parça arasındaki işlem görülmektedir. Ergime ( $\alpha$ ) ve toz haline gelme ( $\beta$ ) açısı küçüldükçe ergime ve yığılma derecesi (verim) artar. Yüksek yığılma derecesi, aynı zamanda düşük özgül gaz sarfiyatına tekabül eder. Yığılma derecesi, püskürtülen esas 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 [34].



Şekil 3.3 Püskürtme memesi ile parça arasındaki durumun şematik olarak gösterilmesi [48].

Yığılma derecesi, toz haline gelme açısı genişledikçe düşmektedir. Bunun için daima imkan nispetinde dar açık bir püskürtme demetinin sağlanmasına çalışılmaktadır. Örneğin, 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  $\mu$  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 [40,48].

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 3.4). Parçacıklar başlangıçta oda sıcaklığında olan esas metal ile temas etmeleri ve püskürtme havasının da soğutucu tesiri dolayısıyla çabuk soğumaktadır. Alevle püskürtmede esas metalin yüzeyinde sıcaklık 100 °C'nin altında olup, 40-80 °C arasında değişmektedir [48].



Şekil 3.4 Metal püskürtme tabakasının yapısı [27].

### 3.3 Kaplama Özellikleri

Alev sprej yöntemi, yaklaşık 50 mikron ile birkaç milimetre kalınlıklara kadar malzemelerin kaplanmasında kullanılır. İhtiyaç duyulan kaplama kalınlığı, uygun kaplamanın seçiminde büyük rol oynar. Alev spreyleme, yıpranmış parçaların tamirinde, yüksek sıcaklık ve ortam sıcaklığında korozyonu önlemek için kullanılabilmesine rağmen işlemin en geçerli kullanımı aşınmaya, erozyona yada aşındırmaya karşı direnç sağlamasıdır. Oksi-asetilen yöntemiyle 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 [35]:

- Düşük termal iletkenlik,
- Kaplama ve alt tabaka alaşımının metalik ve seramik elemanların termal genişleme karakteristiklerinin uyumlu olması,
- Çatlama sonucu oluşan konsantre mekaniksel gerilimlere karşı direnç ve kaplamanın kaybını kolaylaştırmak,
- Termal kristal yapısının uygun stabilizasyonunun sağlanması,
- Yüksek yansıtıcılığının olması,
- Kaplamanın metalik elemanlarının sıcak korozyon ve maksimum oksitlenme direnci göstermesi,
- İmalat sırasında ve arazi servis işletiminden sonraki gözden geçirmelerde tamir edilebilirliğinin olması.

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 karşılayamamakta, ancak sürekli bölümlenmiş plazma spreyle kaplamalar, iyileştirilmiş performansı ve fazla kaplama dayanımı gösterirler [35].

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 bu alaşımlara kendi kendilerine flax yapan alaşımlar denilmektedir [21].

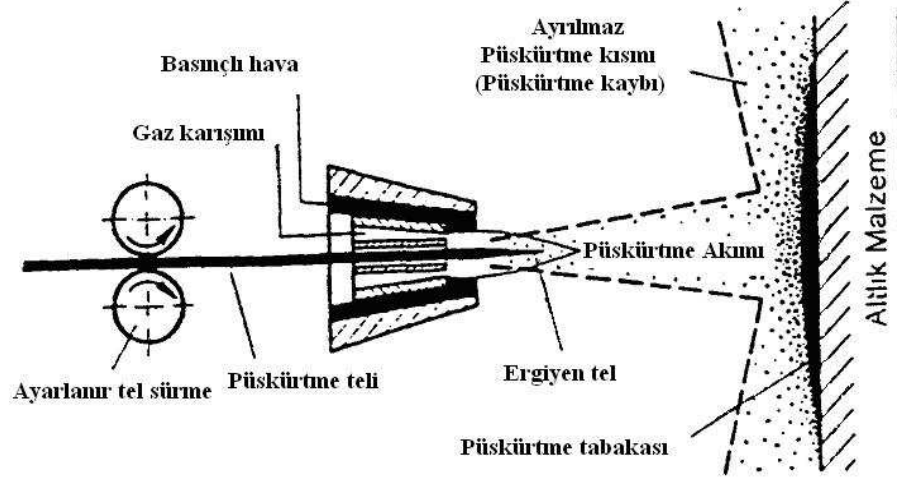
### **3.4 Alev Püskürtme Yöntemleri**

Alev püskürtme yöntemleri püskürtülen ilave metalin biçimi ve durumuna bağılı olarak, tel alev püskürtme ve toz alev püskürtme yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır [40].

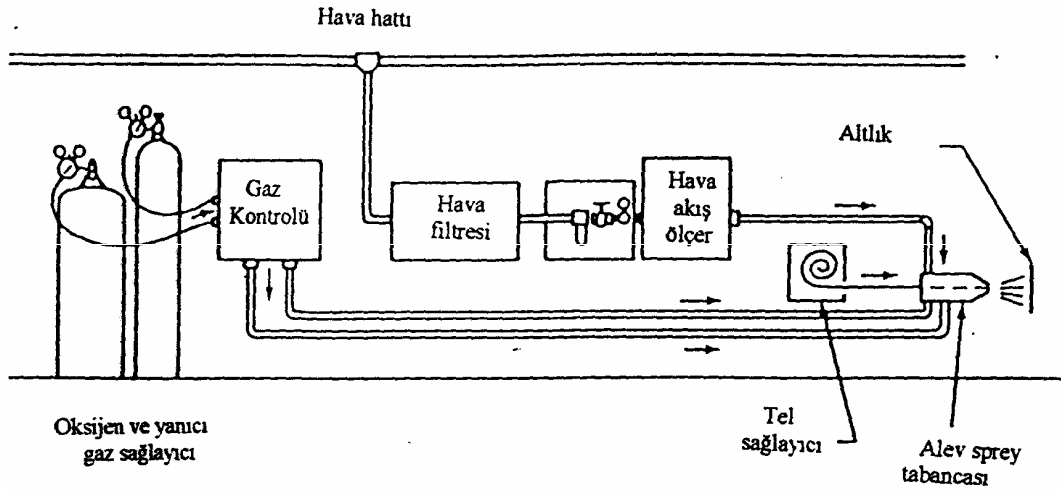
#### **3.4.1 Tel alev püskürtme**

Tel alev püskürtme ile, biriktirilecek metal tel makara yada halkadan tabancaya sürekli bir şekilde temin edilir. Şekil 3.5'de tel alev püskürtme sistemi ve Şekil 3.6'da tel alev püskürtme sisteminin şeması gösterilmiştir. Bazı durumlarda kesilmiş metal çubuklar kullanılır. Tipik bir tel alev püskürtme düzeneğı şunlardan ibarettir [19]:

- Alev spreyle tabancası,
- Malzeme yüzey kaynağı ve besleme aletine bağlantısı,
- Oksijen ve yakıcı gaz gereçleri, basınç manometresi ve flowmetre,
- Gerektiğinde sıkıştırılmış hava kaynağı ve kontrol ünitesi,
- İş parçasını tutma aleti.



Şekil 3.5 Tel alev püskürtme sistemi [19].



Şekil 3.6 Tel alev püskürtmenin şeması [49].

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 elektriksel olarak güçlendirilebilir. Hız kontrolleri, güç tipine bağlı olarak mekanik, elektromekanik, elektronik yada pnömatik olabilir.

Toz alev püskürtme işlemine nazaran telden yararlanan alev püskürtme daha ekonomiktir ve uzun geçmişiyle endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılır.

Bununla beraber işlemin uygun tel formunda üretilen ve ayrıca yanma alevinde ergitilebilen malzemelerle sınırlandırıldığına özenle dikkat edilmelidir [35].

Tel besleme hızı fazlaysa, tel ucu alevin sıcak bölgesine doğru uzanır, tel ergimez ve uygun bir şekilde atomize olmaz. Bu da çok kaba bir birikinti sağlar. Eğer besleme çok yavaşsa, metal kötü bir şekilde oksitlenir ve tel, memenin içinde ergiyebilir ve sprey birikintisi yüksek oksit içeriğine sahip olur [19].

#### **3.4.1.1 Seramik çubuk alev püskürtme**

Seramik çubuk alev püskürtme tel alev püskürtmeye benzerdir. Seramik çubuğun doğrusal uzunlukları, tabancadaki plastik silindirlerle sürülecek alev içine başarılı bir şekilde beslenir. Seramik malzeme alevde ergitilir, daha sonra kaplama yüzeyine atomize edilir ve sıkıştırılmış hava jeti ile memeden içeriye doğru sürülür. Yapışan sıvı parçacıklar alt tabakaya çarpar ve oldukça yoğun, yapışık birikinti oluşturmak için bağlanır. Seramik birikinti ve alt tabaka arasındaki bağ mekanik olarak temas eder. Sıvı parçacıklar deforme olur ve hazırlanan yüzeyin şeklini alır. Uygun yüzey hazırlama, sıkıca bağlanmış birikinti için ön koşuldur.

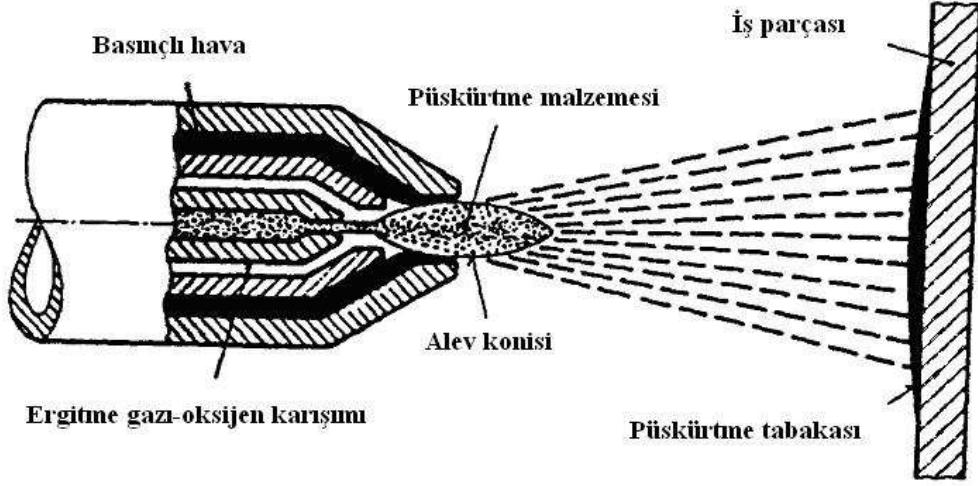
Seramik çubuk püskürtme donanımı, tabancadaki silindirleri sürmek için tel besleme ünitesi yerini alan bir mekanizma hariç tel püskürtme donanımı ile benzerdir. Gaz memesi, hava kapağı ve besleme sistemine gelince tabanca tasarımı biraz farklıdır. Metallerle göre seramiklerin yüksek ergime noktaları ve daha düşük termal iletkenliklerinden dolayı bu donanım, püskürtme değişkenlerini ayarlama ve tel püskürtme donanımına göre daha fazla dikkat gerektirir [19].

#### **3.4.2 Toz alev püskürtme**

Bu metotla; spreylenecek malzeme, huniden tabancaya toz formunda temin edilir. Huni tabancadan uzak veya tabancaya gömülü olabilir. Toz, alev tarafından emilir veya sıkıştırılmış hava jeti yada yanma gazlarıyla alt tabaka üzerine gönderilir [19].

Toz püskürtmede ince parçacıklar birçok ısı kaynağının içinden sevk edilirken ergimiş yada yarı ergimiş hale gelerek, bir alt tabakaya çarptıklarında yassılırlar ve ince plaka 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 oluşmuş olur. Bu mekanik bağlantı boyunca parçacıkların baz nokta ergimesi ve bazı oksit oksite bağlantısı meydana gelse de esas bağlantı mekanizması mekaniktir [49].

Toz alev spreyleme donanımı daha basit ve plazma spray donanımından daha ucuzdur. Bununla beraber, alevle spreyleme ile spray hızı daha düşüktür. Donanım kolay taşınacak şekilde tasarlanabilir. Şekil 3.7’de toz alev püskürtme yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.7 Toz alev püskürtme yöntemi şeması [49].

Özel durum, oksijen-asetilen kaynak torçuna benzeyen toz alev püskürtme tabancasıdır. Püskürtülecek toz, ucu terk etmeden önce gaz akışına sayılanır. Burada sıkıştırılmış hava kullanılmaz. Toz, gaz akışı içine enjekte edilmediği zaman, spray birikintilerine ön ısıtma yapmak yada ergitmek için torç kullanılır [19]. 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°C 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 lehimlemeye benzer, güçlü bir bağ oluşur [40].

Metaller, seramikler ve seramik metal karışımları, toz metoduyla alevle spreylenebilir. Metaller genellikle, özgül aşınma yada korozyon dirençli uygulamalar için tasarlanan sert alaşımlardır. Karbür ve boridler gibi çok sert metalik bileşikler, kompozit aşınma dirençli kaplama oluşturmak için metal tozlarıyla harmanlanır. Püskürtme 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 [19].

### **3.5 Optimal Püskürtme Şartları**

#### **3.5.1 Alev ayarı**

Alevle püskürtme işleminde daima nötr (normal) bir alev kullanılmalıdır. Alüminyum püskürtülmesinde alev hafif karbonlayıcı (asetileni fazla) olmalıdır [34].

#### **3.5.2 Püskürtme mesafesi**

Kaplama genel olarak 100 ila 200 mm arasındaki bir mesafede yapılmaktadır. İnce saç veya ısıya karşı hassas malzeme üzerine püskürtme yapılırken bu mesafe büyük seçilir. Çarpılmaların fazla olduğu veya yapışma mukavemetinin kritik bulunduğu hallerde (alüminyum) ilk tabaka kısa püskürtme mesafesinde ve hızla püskürtülür. Eğer püskürtme hızı yavaş olursa, püskürtülen tabaka kısmen yanar [34].

#### **3.5.3 Püskürtme demetinin püskürtülen yüzeye düşüş açısı**

Püskürtme demetinin, püskürtülen yüzeye teşkil ettiği açı  $45^\circ$  'den küçük olmamalıdır. Aksi takdirde püskürtülen tabaka sünger gibi bir hal alır. En iyi püskürtme açısı  $70^\circ$  ila  $80^\circ$  'lik bir düşüş açısı ile sağlanmaktadır [74].

#### **3.5.4 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 öncesine dik olacak şekilde püskürtülür. Kenarlar daima, ilk önce ve  $45^\circ$  'lik açı ile püskürtülmelidir [34].

#### **3.5.5 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  $80^\circ\text{C}$  bir ön tavlama tabi tutulması gerekir. Genel olarak, kum ile temizlemeden sonra püskürtme hemen yapılmalıdır. Bu arada süre üç saati geçerse yapışma iyi olmaz, çünkü kaplanacak yüzeyde oksitlenme olur [40,48].

### 3.6 Kaplama Öncesi İşlemler

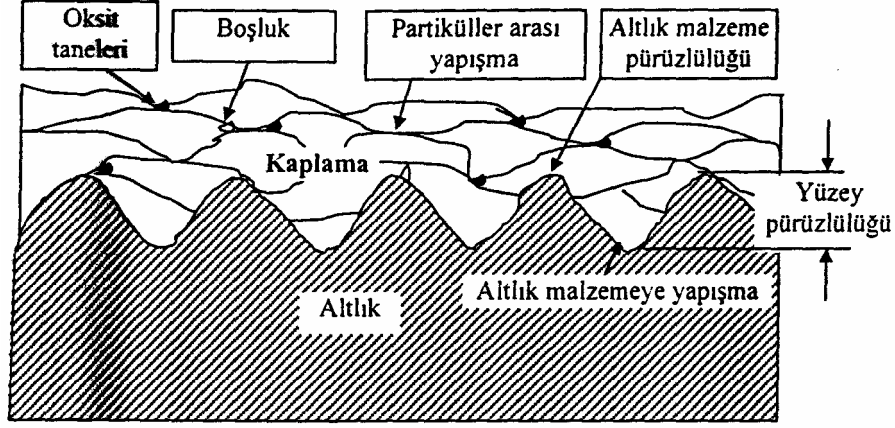
Alt tabaka ve püskürtme birikintisi arasındaki bağ tipi mekanik, metalurjik, kimyasal yada bunların kombinasyonu olabilir. Bu alt tabaka malzemesi, yüzeyleme malzemesi ve formu, termal spreyleme metodu ve prosedürleri ve de yüzey hazırlamaya bağlıdır. Bunlardan uygun yüzey hazırlama, güçlü bir bağ elde etmek için en önemli alanıdır [19].

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 çekme gerilmeleri, tabakanın tutunma mukavemetini azaltır ve çatlama ile kaplama tabakasının kalkma tehlikesi ortaya çıkar [48,49].

Yüzeylerin hazırlanması için; oyuklar yapmak, kaba diş çekme, kum-tane püskürtme, kendini bağlayan malzemelerin kullanılması, saplamalar yerleştirme, taşlama ve dağlama, yüzeyde çalışma sertleştirilmesi, yüzey oksitlenmesi vb. nedenlerle var olan her türlü bulaşmış metalin kaldırılması ve üniform bir kaplama kalınlığının terk edilmesini sağlamak amacıyla yüzey temizleme yöntemlerinden biri kullanılır. Parçaya daha önce uygulanmış olan kaplamaların kaldırılması da önerilir. Bunun için talaşlı işleme, taşlama, kum ve tane püskürtme kullanılan yöntemlerdir.

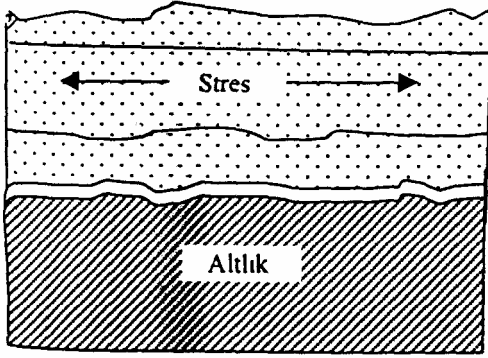
Püskürtmede en vazgeçilmez kural, yüzeyde bulunan yağların arındırılmış ve metalsel temizlikte olması gerekir. Bu kural, DIN 8567’de şu şekilde ifade edilir: “Yüzeyin itinalı ve tekniğe uygun hazırlanması, püskürtmenin bu hazırlıktan mümkünse hemen sonra yapılması ile, püskürtülen tabakanın yeterli bir 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 [40].

Püskürtülen metal, ufak zerrecikler halinde, sistemine göre, düşük - orta veya yüksek hızla iş parçasına çarpar ve bulunduğu zemine göre şekillenerek, bir tabaka oluşturur. Bu tabakanın oluşumunda, alt zeminin temizliği ile pürüzlülüğü, üzerine gelen zerreciklerin yapışması ve stresin giderilmesi bakımından çok önemlidir. Püskürtme yöntemi ile kaplanmış bir malzemenin mikro yapısı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

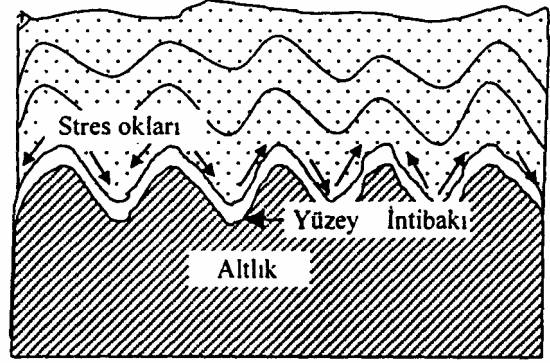


Şekil 3.8 Püskürtme kaplamanın mikroyapısı [10].

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, partiküller hareket halinde iken hava ile temas ettiklerinden, çevrelerinde oksitlenme oluşur ve malzeme tabakasında da oksit zerrecikleri ile ufak boşluklara rastlanır. Zerreciklerin birbirlerine nasıl kilitlendikleri de çok önemlidir. Şekil 3.9 ve 3.10'daki mukayeseli iki şekilden anlaşılacağı gibi yüzey pürüzlü olduğunda, partiküller pürüzlü yüzeyleri daha sağlam kavradıkları gibi, tabakalar arasında da genleşmeden dolayı meydana gelen streslerin de etkisi azaltılmış olur.



Şekil 3.9 Düzgün yüzeye kaplama.



Şekil 3.10 Pürüzlü yüzey kaplama [10].

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 [10].

### 3.6.1 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 [10].

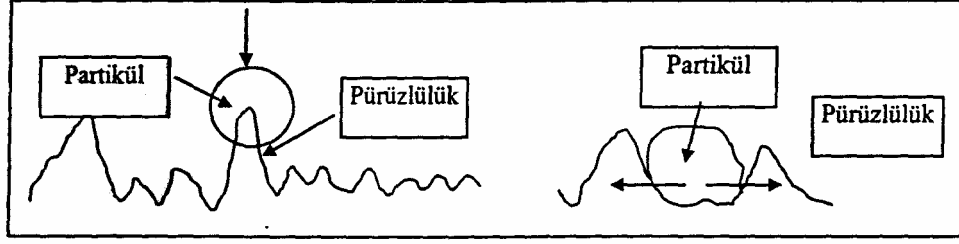
Güçlü bir bağ elde etmek için, yüzey ve buna bağlı alanlar yağ, oksit, kir ve diğer yabancı maddelerden arındırılmış olmalıdır. Temizlik, püskürtme işleminden önce yapılmalı ve işlem sırasında korunmalıdır. Özel tutma ve saklama prosedürü bundan emin olacak şekilde korunmalıdır. Dökme demir gibi malzemeler 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 [50].

### 3.6.2 Yüzey pürüzlendirme

Mekanik bağ, termal püskürtme ile 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 üretilebilir.

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 püskürtme öncesi bulunduğu yerden uzaklaştırılmalıdır [19].

Abrasiv partiküllerin aşırı püskürtülmesi yüzeyde oluşan keskin piklerin yuvarlatılması ve mekanik kilitlemenin azaltılması ile sonuçlanabilir. Ayrıca yüzeyde aşındırıcı partiküller kalabilmektedir. Bu durum da altlık malzeme ile kaplama arasındaki difüzyonu etkilemektedir [51]. Şekil 3.11'deki farklı iki şekilde de pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi görülmektedir.



Şekil 3.11 Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi [51].

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

### **Kumlama**

Kuclamadan kasıt, Alüminyum oksit (zımpara maddesi) köşeli zerrelerin (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. Kuclama 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. Kuclama işlemi makina ile yapıldığından makinaya gelen havanın her türlü nem ve yağdan temizlenmiş olması gerekir. Bunun için hava girişine veya kompresör çıkışına ciddi mekanik filtre konması çok yararlı olur [10].

### **Mekanik işlemler**

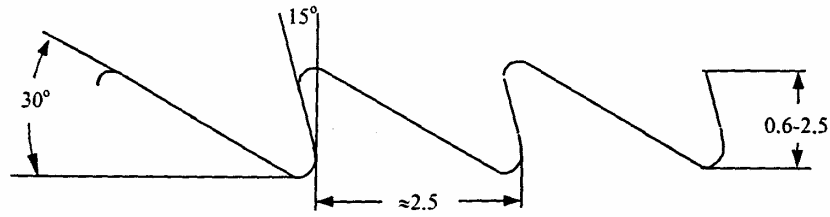
Mekanik olarak yüzeylerin hazırlanmasında, yüzeylerde püskürtülen parçacıkların kolayca tutunmasını sağlayacak, çeşitli biçimlerin oluşturulması anlaşılır. Bu biçimler temel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir [27,40,48]:

- Vida Açma:** Püskürtülecek yüzeye Şekil 3.12’de görüldüğü gibi vida açılır. Parçanın büyük kısımlarına kaba ve küçük kısımlarına daha ince vida açılmalı ve yüzeyleri de girintili çıkıntılı olmalıdır.



Şekil 3.12 Vida açılarak yüzeylerin hazırlanması [48].

- b) Testere Dişi Vida Açma: Şekil 3.13’de görüldüğü gibi testere dişi vida açılır. Dişlerin ucunun yuvarlatılması gerekir.



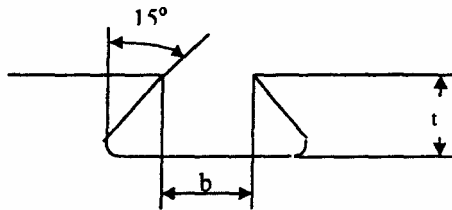
Şekil 3.13 Testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması [40].

- c) Karşılıklı Yönde Testere Dişi Vida Açma: Yüksek zorlamaya maruz kalan parçalara (silindir gömlekleri, yatakları ve milleri gibi), Şekil 3.14’de verilen tarzda, karşılıklı yönlerde ve bir önceki şekilde ölçülerde testere vida açılır. Şekilde oklar püskürtme demetinin istikametini göstermektedir.



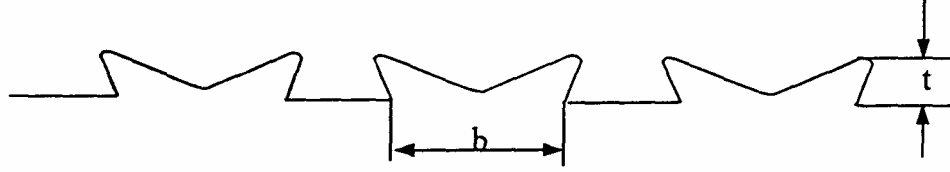
Şekil 3.14 Karşılıklı yönlerde testere dişi vida açarak yüzeylerin hazırlanması [40].

- d) Basit Kırlangıç Kuyruğu Yarık Açma: Büyük, uzun ve geniş parçalara basit kırlangıç kuyruğu yarıklar açılır. Şekil 3.15’de (b) genişliği, asgari  $2t$  olmalı ve mümkün mertebe 1,5 mm geçmemelidir.



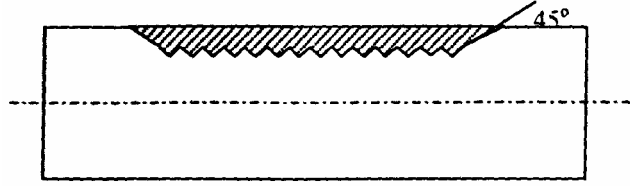
Şekil 3.15 Basit kırlangıç kuyruğu yarık açarak yüzeylerin hazırlanması [48].

- e) Düz Yüzeyler İçin Profil Yarıklar Açma: Büyük parçalara, bilhassa geniş ve uzun yüzeyler için, Şekil 3.16'da görüldüğü gibi profil yarıklar açılır ve (b) genişliği, parçanın büyüklüğüne göre  $3t$  olmalıdır.



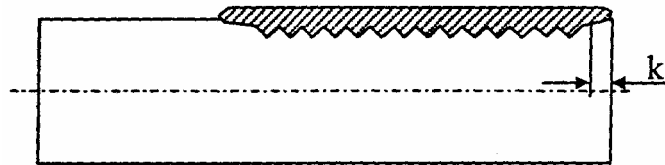
Şekil 3.16 Profil yarıklar açarak yüzeylerin hazırlanması [40].

- f) Püskürtme Tabakasının Sonradan İşlenmesi Halinde, Esas Metal ile Püskürtme Tabakası Arasındaki Geçiş Durumu: (a) Bir milin doldurulması halinde, esas metal ile püskürtme tabakası arasındaki geçiş, Şekil 3.17'de görüldüğü gibi meyilli olmalıdır.



Şekil 3.17 Bir milin doldurulmasında esas metal ile püskürtülen tabaka arasındaki geçiş durumu [40].

- (b) Bir milin uç kısmının püskürtme ile doldurulması halinde, esas metal ile püskürtme tabakası arasındaki durum, Şekil 3.18'de görüldüğü gibi olmalıdır.



Şekil 3.18 Millerin uç kısımlarının doldurulması [48].

Yüzey hazırlama usullerinin, kullanılan malzeme cinsine göre, başlıca kullanım yerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri [34].

Malzeme Cinsi	Yüzey Hazırlama Usulleri	Kullanım Alanları	Düşünceler
Tahta, plastik malzeme, karton, porselen ve çeşitli taşlar gibi	Güzel bir dış görünüşün temininde, elektrik akımını iletmede, ısı izolasyonunda, ateşe ve ısıya karşı korumada	1- Mekanik bir hazırlama yapmadan yalnız üzerindeki yağ, oksit ve diğer pislikleri temizlemek	Püskürtme tabakası 0.3 mm kadar
Bütün çelik cinsleri, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar	1. kısımdakilere ek olarak korozyona ve kavlamaya karşı korumada	2- Kum püskürtme	Püskürtme tabakası 0.5 mm kadar. 0.5 mm'den fazla da olabilir
Bütün çelikler, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar gibi bütün metalik malzeme için	1 ve 2. deki kısımların aynı	3- Çelik kumu püskürtme	0.5 mm'den kalın püskürtme tabakaları için
	Tamirat işlerinde, yatakların püskürtülmesinde. 1mm'den kalın korozyona karşı koruma tabakalarının püskürtülmesinde	4- Tornalama, planyalama, frezeleme, delme ve kesileme	
Düşük karbonlu alaşımsız çelikler, dökme çelikler ve dökme demir	Dinamik zorlamalara maruz kalmayan parçalarda ve dökme demirin tamirinde. Elektrikli arka yapılan hazırlamadan sonra yüzeye hafif bir kum püskürtme ile temizleme yapılmalıdır.	5- Nikel, Tungsten ve karbon elektrotla (elektrikli yolla) yüzeye girinti çıkıntı verme	0.5 mm'den kalın püskürtme tabakaları için de tatbik edilebilir, düşük akım şiddetli ile ark söndürülmeden yapılmalı

**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 [21].

Ni-Cr alaşımı çoğunlukla, güçlü mekanik bağ elde etmek ve bazı uygulamalarda oksitlenmeye dirençli tabaka sağlamak için seramik birikintilere bağ tabakası olarak kullanılır [19].



### **Maskleme**

Püskürtme esnasında, püskürtmenin yapılmasını istemediğimiz bölgeler, koruma bantları veya koruma boyaları ile kapatılır ve bu suretle buralara püskürtülen malzemenin yapışması önlenir. Kumlama operasyonunda da bu bölgeler cam elyaf esaslı yanmayan yapışkan bantlar ile korunur. İşlem sonrası bu örtüler yerlerinden söküldüğünde, kaplamanın istenmediği yüzey kısımları aynen kalır [10].

### **3.6.3 Ön ısıtma**

Birçok temel malzemelerde, iş parçasına 200 ile 300 °C arasında ön ısıtma yapılmalı ve termal püskürtme işlemi sırasında bu sıcaklık korunmalıdır. Bu işlem, yüzey yoğunlaşmasını, alt tabakanın genleşmesini önler ve soğuma esnasında birikintideki stresleri azaltır. Püskürtme sırasında iş parçasına ısı transfer edildiği için fazla ısınmayı ve bunun sonucunda istenmeyen birikinti özelliklerini önlemek için bazı soğutma formuna ihtiyaç duyulabilir [19].

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 soğutur, hem de yavaş olarak hareket eden partiküllerin daha yüksek bir ivme ile malzemeye 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 [10].

### **3.7 Püskürtme Sonrası İşlemler**

Termal püskürtmeli kaplamalar, püskürtülen tabakanın kalınlığına ve malzeme cinsine göre, ani soğumaya bırakıldığı zaman, malzemenin genleşme ve ani soğumasından dolayı, yüzeyel veya kılcal çatlaklar oluşabilir. Bu çatlakların bu şekilde gelmemesi için parçalar yavaş soğutulmaya bırakılabilirler.

Metalize edilmiş yüzey veya iş parçalarının son işlemi başlı başına bir konu olup buna uygun teçhizat ve uygun aşındırıcının bulunması gerekir. Püskürtülen malzeme, süngerimsi kırılğan dokulu olduğundan, tornada işlenecekse kalem ile talaş kaldırılarak değil, adeta okşayarak ve yandan ezerek işlenmelidir. Torna kalemi sivri uçlu değil, radyus uçlu olup parçaya açılı olarak değiştirilmelidir. Son işlemde, talaş kaldırmadaki zorlukları peşinen dikkate alarak, püskürtme yapılırken, 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 malzeme sürmek suretiyle, mesamatların sakıncaları bertaraf edilir [10].

Yapıştırarak kapamak, spreylı depozitlerin ömrünü uzatmak yada korozyona karşı alt tabakayı korumak için kullanılır. Ayrıca bu işlem, yüzeylenmiş makina parçaları için de kullanılır [19].

#### 4. AŞINMA

Aşınma, kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır. Başka bir ifade ile aşınmanın tanımı “malzeme yüzeylerinin genel olarak daha ziyade mekanik zorlanmalar nedeniyle, bazı hallerde kimyasal etkenlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu değişmesi” şeklindedir [52].

Aşınmayı genel olarak tanımlayacak olursak; kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde, yataklarda, pistonlarda, subaplarda, tekerleklerde, frenlerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinalarında, türbin kanatlarında, maden cevherleri üretim cihazlarında vb. yerlerde meydana gelmektedir. Herhangi bir yerde aşınma oluşabilmesi için genel olarak aşağıdaki faktörlerin mutlaka var olması gerekir. Bunlar, esas malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, izafi hareket ve çevre (ortam) gibi unsurlardır. Bu unsurların etkisiyle ya parça kopması yada atom düzeyinde parçacık ayrılması şeklinde aşınma gerçekleşmektedir.

Aşınma olayı esnasında, meydana gelen mekanik enerji ve bunun ısı enerjisine dönüşmesiyle malzemenin aşınma yüzeyinde, daha çok kimyasal ikincil reaksiyonlar meydana gelerek sınır tabakası çözünür. Aşınma nedeniyle ortaya çıkan hasar, daha çok parçanın şeklinin ya da ölçülerinin değişmesi, ısınmadan dolayı malzeme yüzeyinde yapı değişmesinin oluşması şeklindedir [63].

Aşınmaya etki eden bu unsurlar kısaca aşağıdaki şekilde açıklanabilir [63]:

- a. **Aşınan Eleman (esas malzeme):** Yüzeysel yapısı, şekli durumu, fiziksel ve kimyasal özellikleri tamamen belirli olan ve aşınması özel ilgi ile incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.
- b. **Aşındıran Eleman (karşı malzeme):** Aşınmanın oluşmasında başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanıdır. Katı bir cisim, sıvı ya da gaz olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.
- c. **Ara Malzeme:** Aşınan ve aşındıran malzemeler arasında katı, sıvı, gaz, buhar yada bunların karışımı şeklinde bulunan elemandır. Örneğin; bu ara maddeyi, aşınma esnasında yüzeyden kopan parçacıklar oluşturabileceği gibi, yüzeyler arasında herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri de ara maddesi olabilirler.

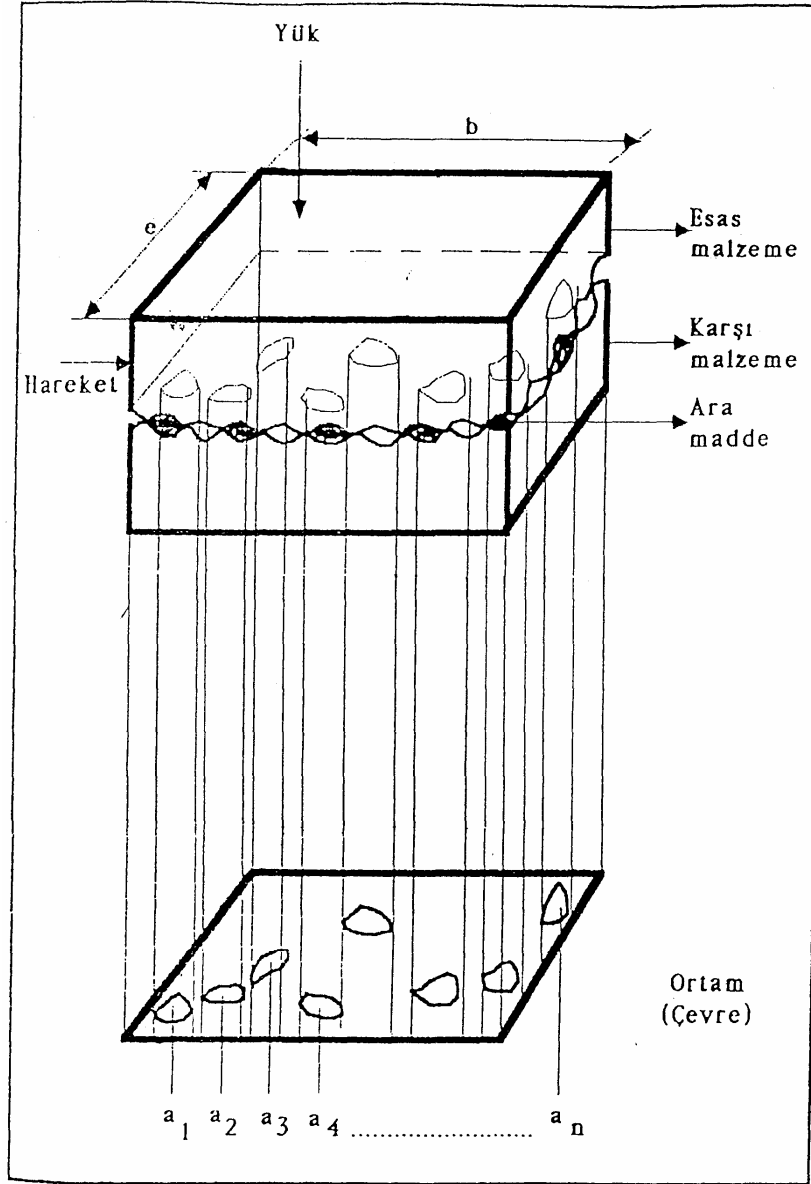
- d. **Yük:** Aşınmaya etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli ya da titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve geçen zaman içerisindeki değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen unsurları oluşturur.
- e. **Göreceli Devinim:** Aşınan elemanın aşındıran elemana göre göreceli devinimin cinsi (kayma, yuvarlanma ya da çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile ortaya çıkar.
- f. **Çevre (ortam):** Sistemi içine alan ve genellikle sıvı yada gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

Makina parçaları aşınmaya maruz kaldıklarında çabuk aşınmaları ömürlerinin kısa olmasına ve maliyetin artmasına sebep olur. Onarım için geçen süre ve harcanan para da üretimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu soruna çözüm getirebilmek için aşınmaya maruz kalan makina parçalarının aşınmaya karşı dirençli malzemelerden seçilmesi veya aşınmaya dayanıklı kaplamalarla aşınma yüzeylerinin kaplanması büyük önem arz etmektedir.

Aşınma, tribolojinin ana bölümlerinden birisidir. Triboloji genel olarak “Birbirleriyle göreceli devinim şeklinde etkileşen yüzeylerin ve bununla ilgili uygulamaların bilim ve teknolojisidir [63].” Şeklinde tarif edilerek hızlı bir şekilde kabul görmüştür.

Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 4.1’de görülmektedir.

Birbirleriyle temas eden iki cismin gerçek temas yüzeyi, görünen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düzgün işlenirse işlensin mutlaka yüzeyde kabarıklık ve çıkıntılardan oluşan pürüzlerin bulunduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halindeki iki cisim bu pürüzlerin çıkıntıları vasıtasıyla birbirleriyle temas ederler. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır. Şekil 4.1’den de görüldüğü gibi, görünen temas alanı  $S = e \cdot b$  (birim kare) iken; gerçek temas yüzeyi, pürüzlerin temas yüzeylerinin toplamına eşittir. Gerçek temas alanını bulabilmek için,  $S = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$  şeklinde formüle etmek gerekir. Buradan da anlaşılacağı gibi, görünen (geometrik) temas alanı (S), gerçek temas alanından ( $S_g$ ) daima büyüktür.  $S > S_g$  [54].



Şekil 4.1 Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları [54].

#### 4.1 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

##### A. Metalurjik Değişkenler:

- a. Sertlik,
- b. Tokluk,
- c. Mukavemet,
- d. Mikro yapı,
- e. Kimyasal bileşim.

B. Çalışmayla İlgili Değişkenler:

- a. Temas eden malzeme,
- b. Basınç yada kuvvet,
- c. Hız,
- d. Sıcaklık.

C. Diğer Faktörler:

- a. Yağlama,
- b. Korozif etki.

Çok fazlı alaşımlarda abrasiv aşınma direnci ile sertlik arasındaki ilişki kısmen fazların ayrı ayrı gösterdikleri davranışa bağlıdır. Karbürlerin hacim oranı şekli ve karbür/matris ara yüzeyinin mukavemeti aşınmada önemli bir rol oynar. Alaşım elementleri arasında karbonun mikro yapı üzerine olan etkisi çok büyüktür [55]. Ni, Ti, V, Mo, Cr gibi karbür yapıcı elementler hem karbür hem de matris fazlarında bulunmaktadır. Bu alaşım elementleri yapıya katıldıkları zaman katı eriyik sertleşmesi de büyük ölçüde artar. Bu da abrasiv aşınma direncini artırır. Matrisin plastik deformasyonunun azaltılması açısından karbürlerin birbirlerine yakın olarak yerleşmiş olması abrasiv aşınma direnci üzerine faydalı bir etki yapar [63].

Karbürler matris içerisinde sürekli olmadıklarından matris tarafından yeteri kadar desteklendiklerinde aşınma sırasında karbürlerin dökülmesini önlediği söylenebilir. Ağır abrasiv aşınma şartlarında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzeylerinden başlamaktadır. Matris fazının mikro sertliğinin artması ile daha yüksek bir abrasiv aşınma direnci elde edilebilir [56].

Aşınma nedeniyle ortaya çıkan hasar, daha çok parçanın şeklinin yada ölçülerinin değişmesi, ısınmadan dolayı malzeme yüzeyinde yapı değişmesinin oluşması şeklindedir.

Aşınma malzemenin yıpranması gibi görüyor olmasına rağmen aşınma olayının oluşabilmesi ve olayın aşınma sayılabilmesi için;

1. Sürtünme olması,
2. Mekanik bir etki olması,
3. Hareketin devamlı yavaş olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesi,
5. Olayın istek dışı gerçekleşmesi gibi şartları taşınması gerekir [57].

## 4.2 Aşınma Mekanizmaları

Aşınma şekilleri, çeşitli şekillerdeki enerji büyüklüklerinin değişik kombinasyonlarına göre sınıflandırılabilir. Aşınma şiddetli yada hafif olabileceği gibi, parçanın maruz kaldığı etkilere göre; mekanik, kimyasal ve termik olarak da sınıflandırılabilir [57].

Hasarın oluş mekanizmalarına göre aşınmanın en çok görülen şekilleri aşağıda sınıflandırılmıştır. Bunlar [57]:

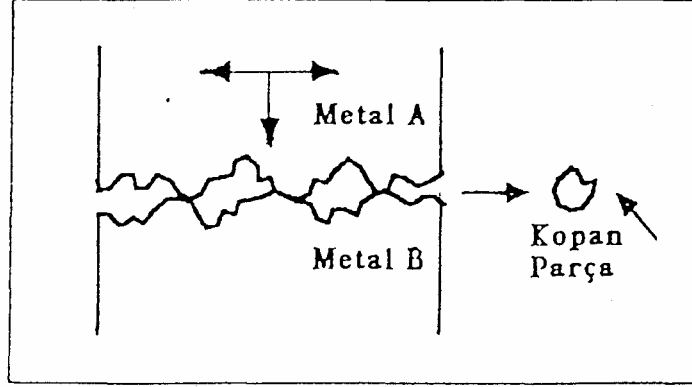
- a. Adhezyon aşınması,
- b. Abrasiv aşınma,
- c. Erozyon aşınması,
- d. Yuvarlanma aşınması,
- e. Termik aşınma,
- f. Yorulma (titreşim) aşınması,
- g. Korozyon aşınması,
- h. Kavitasyon aşınması,
- i. Oksidasyon aşınması.

### 4.2.1 Adhezyon aşınması

Birbiriyle sürtünen elemanların temas eden yüzeylerinde yüksek oranda oluşan gerilmeler sonucu mikro kaynak bölgeleri oluşur. Böylece birbiri ile temas halinde ve bağlı harekete sahip olan malzemelerde birinden diğerine parçacık nakli olur. Temas halindeki iki yüzey arasında oluşan basınçtan dolayı kaynak bölgelerinin oluşması ve işlem sırasında bunların kopması adhezyon aşınmasının en belirgin özelliğidir. Bu aşınma şekli özellikle birbiri üzerinde kayma sürtünmesi yapan metal-metal aşınma çiftinde meydana gelir.

Adhezyon aşınması; yüzeye etkiyen normal yük, kayma yolu ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır [57].

İki metalin belirli bir basınç altında sürtünmesi esnasında yüzeyden parça kopması Şekil 4.2'de görülmektedir.



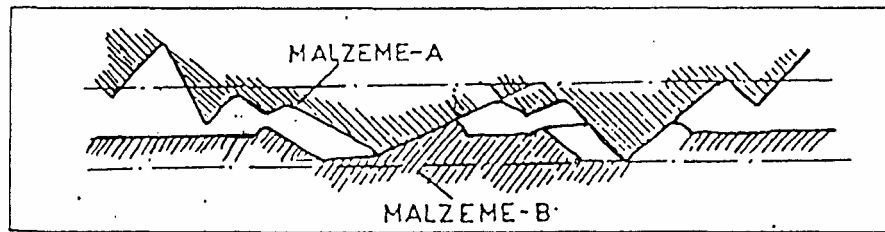
Şekil 4.2 Metal-metal sürtünmesi ile oluşan adhezyon aşınması [58].

#### 4.2.2 Abrasiv aşınma

Abrasyon, birbiri ile sürtünme halindeki elemanların yada araya giren metal ve metal olmayan sert parçacıkların sürtünen yüzeyleri çizmesi dolayısıyla mikro boyutlarda parçalanmalar oluşmasıdır. Bu parçalanmalar yalnız basınç yada yalnız darbe etkisiyle oluşabileceği gibi her ikisinin birlikte etkimesiyle de oluşabilir. Çizici, yontucu ve darbeli zorlanma etkilerinden dolayı bu aşınmaya yırtılma ve çizilme aşınması adı da verilebilir.

Sert parçacıklar basınç altında yüzeyde kayar yada yuvarlanırken önce metal yüzeyine girerler ve parçacıklar koparılır. Kopan bu parçacıklar da karşı malzemeyi aşındırır.

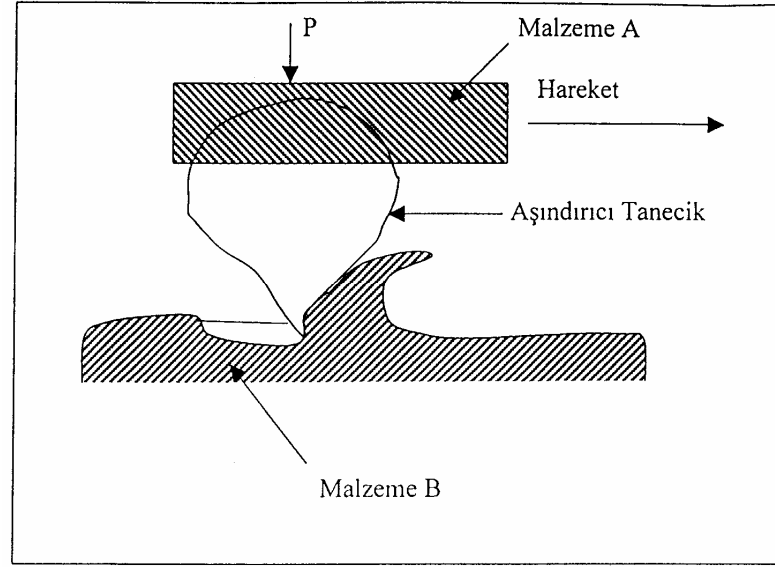
Abrasyon aşınması, iki ya da üç elemanlı abrasiv aşınma olarak iki grupta incelenebilir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Meydana gelen aşınma serbest, hafif darbeli yada ağır darbeli şekillerde olabilir. İki elemanlı abrasiv aşınma Şekil 4.3’de, üç elemanlı abrasiv aşınma ise Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3 İki elemanlı abrasiv aşınma [58].



Eğer abrasiv maddeler metal yüzeyinde kendi ağırlıkları ile bir aşınma meydana getiriyorlarsa serbest, yüksek basınç ve hafif darbe etkisi ile metal yüzeyinde aşınma oluşuyorsa hafif darbeli, yüksek basınç ve ağır darbe etkisi altında malzeme yüzeyinden irili ufaklı parçacıklar kopar yada malzeme yüzeyinde çatlaklar ve kırılmalar oluşuyorsa ağır darbeli şiddetli abrasiv aşınma adını alır [63].



Şekil 4.4 Üç elemanlı abrasiv aşınma [58].

#### 4.2.3 Erozyon aşınması

Erozyon aşınması akışkan maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Gazlar ve sıvılar akış sırasında temas ettikleri yüzeylerde çarpma ve hacimce genişleme etkisi ile küçük parçacıkların kopmasına neden olurlar.

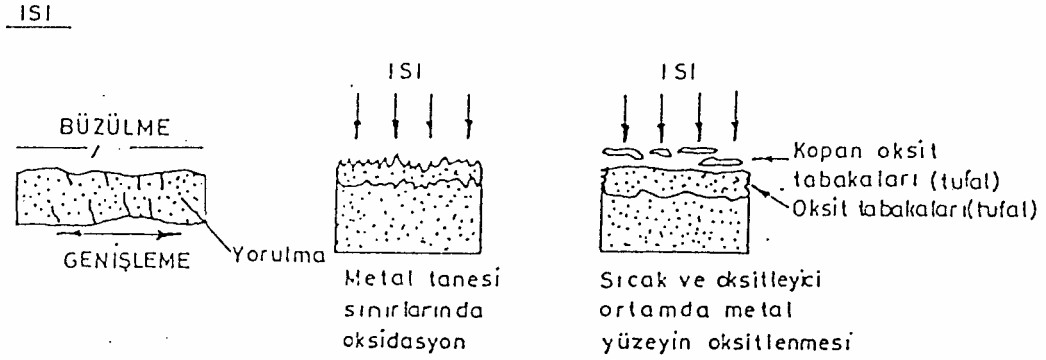
Gaz ve sıvı gibi akışkanların birlikte sürüklediği maddeler aşınmayı hızlandırırlar. Bunlar buhar içerisindeki oksitler, su içerisindeki kumlar, hava içerisindeki tozlar vb. maddelerdir [57].

#### 4.2.4 Yuvarlanma aşınması

Birbiri üzerinden yuvarlanarak hareket eden malzemelerde görülebilecek aşınma türüdür. Bu aşınma her iki malzemede oluşabileceği gibi tek bir malzemede de oluşabilir. Bu da malzemenin cinsi ile yakından ilişkilidir. Aşındırıcı tanelerin sertliği genellikle yüksek değerdedir [63].

#### 4.2.5 Termik aşınma

Yüksek sıcaklığın etkisiyle hızlanan atomik hareketler malzemenin yumuşaması, hatta ergimesine sebep olurlar. Bunun yanı sıra darbe ve gazların da etkisiyle ısı altında termik aşınma meydana gelir. Aşınma sistemi şematik olarak Şekil 4.5’de görülmektedir. Bu aşınmanın oluştuğu hadde silindirleri, buhar ve gaz vanaları örnek olarak verilebilir [59].



Şekil 4.5 Termik aşınmanın oluşumu [58].

#### 4.2.6 Yorulma (titreşim) aşınması

Sürtünme bölgelerinde oluşan yüksek basınçtan dolayı malzeme yüzeyinde çatlak oluşur. Bu çatlaklar, zamanla içerisine giren sıvı yağlayıcının ve titreşimlerin etkisiyle ilerler. Oluşan bu yıpranmaya yorulma (titreşim) aşınması denir.

Yorulma aşınmasında iç yapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar gibi malzeme kusurları meydana gelir. Bu olaylar teknik uygulamada en sık rulmanlı yataklarda ve dişli çarklarda görülür. Bu tür aşınmayı engellemek yada en aza indirmek için yüzey sertleştirme işlemleri yapılır [57].

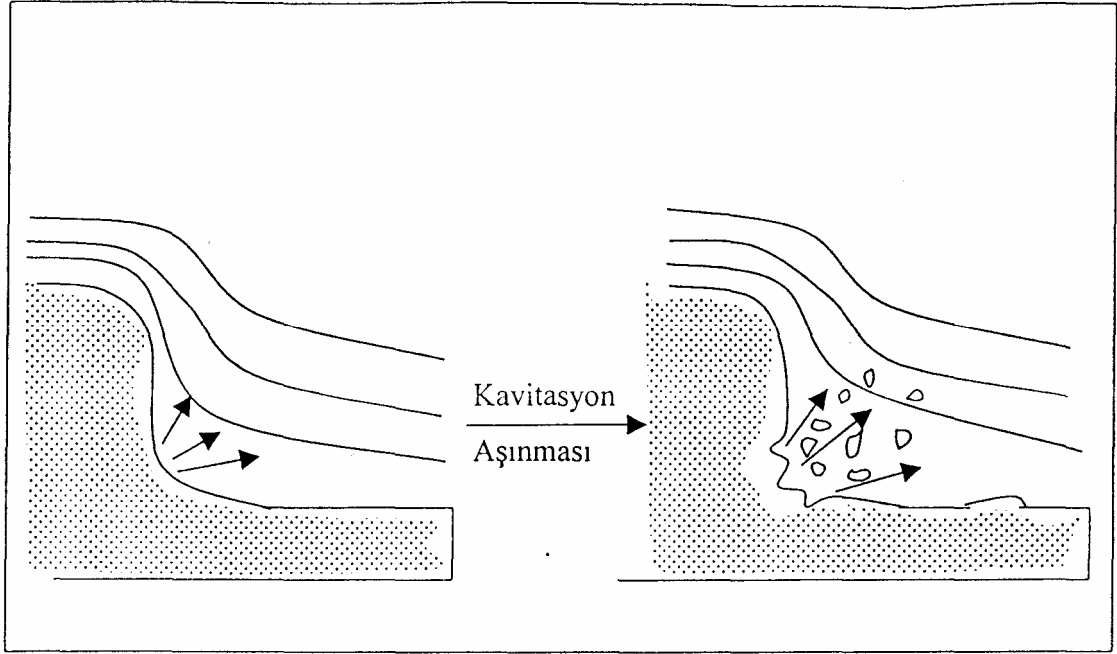
#### 4.2.7 Korozyon aşınması

Abrasyon aşınmasının oluştuğu malzeme yüzeyi içerisinde bulunduğu ortamdan kimyasal yada elektro-kimyasal olarak da etkilendiği takdirde (aşınan yüzeyde oksit oluşması gibi) korozyon aşınması meydana gelir.

Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte de oluşabilir. Oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda yüzeyde oluşan tabakalar eğer yüzeye sıkıca yapışmış ise, aşınma zamanla yavaşlar yada durur. Böyle bir yüzeyde oluşacak sürtünme ise aşınmayı hızlandırır [60].

#### 4.2.8 Kaviteasyon aşınması

Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu kabarcıkların ve boşlukların oluşması olayına kaviteasyon adı verilir. Hareket halindeki sıvı, darbe ile bu boşlukları kapatır. İçerisinde bulunan kum gibi abrasiv etki yapan maddelerin de etkisiyle malzeme yüzeylerinde çukurlaşmalar, plastik deformasyonlar gibi hasarlara yol açabilirler. Oluşan bu aşınma şekli kaviteasyon aşınması olarak adlandırılır. Şekil 4.6'da kaviteasyon aşınma şematik olarak gösterilmiştir. Genellikle su türbini çark kanatları, deniz taşıtı pervaneleri (uskur çarkları), keskin dönüşlerin olduğu boru dirsekleri gibi yerlerde görülür [61].



Şekil 4.6 Kaviteasyon aşınması [58].

#### 4.2.9 Oksidasyon aşınması

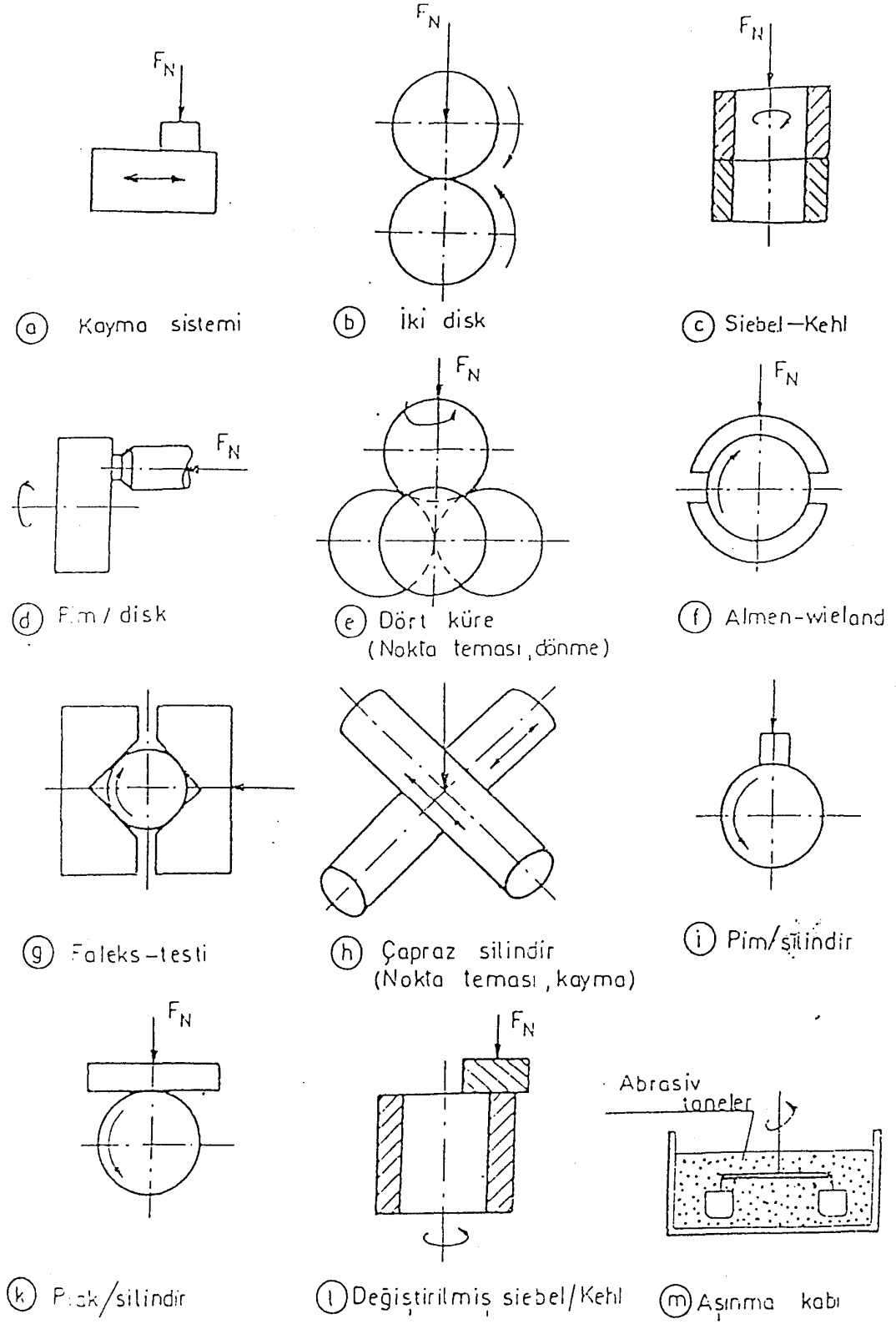
Hava oksijeni ile reaksiyona giren malzeme yüzeyinde oksit tabakaları oluşur. Bu oksit tabakaları zamanla yüzeyin aşınmasına yol açarlar. Oluşan tabakalar sarsıntı ve sürtünme gibi olayların etkisiyle malzeme yüzeyinden koparak ayrılır ve yüzeyin plastik deformasyona uğramasına neden olurlar. Kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda çalışan malzemeler bu maddeler yada ortamdaki gazlarla reaksiyona girerek aşınırlar [63].

### 4.3 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Makina parçalarının çabuk aşınması hem makinanın ömrünü kısaltmakta, hem de maliyeti artırmaktadır. Onarım için geçen süre de üretimi büyük ölçüde aksatmaktadır. Alet ve makinelerin kullanım ömürlerinin uzun olması aranan bir özelliktir. Bundan dolayı makina parçalarının yapımında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınmaya karşı dirençli malzemelerin kullanılması gerekir. Uygun malzemelerin bulunması laboratuvarlarda çeşitli deneyler yaparak mümkün olabilmektedir. Bu deneylerde, kullanılması düşünülen malzemenin çeşitli numuneleri üzerinde çalışmalar yapılır. Numuneler genellikle basit şekillerde hazırlanır. Üretimleri çok fazla masraf gerektirmez. Hazırlanan numuneler seçilen aşınma deney düzeneği ile çeşitli aşınma ölçme işlemlerine tabi tutulurlar. Aşınma deney düzenekleri çok değişik şekillerde oluşturulabilir. En çok kullanılan aşınma mekanizmaları Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Kurulan deney düzenekleri çoğu zaman aşınmanın nasıl gerçekleştiğini değil, şartlara göre nasıl değiştiğini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bir çok aşınma deney sistemleri içerisinde abrasiv aşınma için en çok kabul gören ve kullanılan yöntem, pin-on-disk metodudur. Aşınma deneylerinde; ağırlık farkı, kalınlık farkı, radyoizotop ve iz değişimi gibi aşınma ölçüm yöntemleri tercih edilir. En çok kullanılan yöntem ise ağırlık kaybı yöntemidir [53].



Şekil 4.7 Çeşitli aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi [53].

### 4.3.1 Ağırlık kaybı yöntemi

Bu yöntem; diğer yöntemlere göre düzeneğin kolay hazırlanabilmesi, ekonomik olması, ölçme cihazının duyarlılığının yüksek olması nedeniyle aşınmadan kaynaklanan farkların hassas bir şekilde tespit edilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı deneylerde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin tek dezavantajı ise, deney numunesinin her ölçümden sonra yerinden çıkarılıp ölçüm yapılmasıdır.

Bu deneyin esasını aşınmadan dolayı ortaya çıkan malzemedeki ağırlık kaybı oluşturmaktadır. Bunun için 0,0001 gr. hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi kullanılır. Aşınma miktarı gram yada miligram, aşınma yolu da metre yada kilometre cinsinden tespit edilebilir. Aşınma kaybı hacimsel olarak hesaplanabildiği gibi, birim alandaki hacim kaybı da hesaplanabilir.

Ağırlık kaybı ölçme yönteminde aşınma oranı ( $W_a$ ), aşınma direnci ( $W_r$ ) gibi bağıntılar kullanılır. Aşınma oranı kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek bulunabilir [63].

Bu verilerin ışığı altında en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir [63];

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

Burada;

$$W_a : \text{Aşınma oranı} \quad (\text{mm}^3 / \text{Nm})$$

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

$$M : \text{Yükleme ağırlığı} \quad (\text{N})$$

$$S : \text{Aşınma yolu} \quad (\text{m})$$

$$d : \text{Cismin yoğunluğu} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının ( $W_a$ ) tersine aşınma direncini ( $W_r$ ) verir.

$$W_r = 1 / W_a \quad (\text{Nm} / \text{mm}^3)$$

### 4.3.2 Kalınlık farkı yöntemi

Aşınma sonrasındaki oluşacak boyut ile ilk boyutunun karşılaştırılması ile sonucu elde etmek mümkündür. Kalınlık farkı yönteminde  $\pm 1 \mu\text{m}$  hassasiyetinde çalışılması gerekir. Bu yöntem kullanım zorluğundan dolayı pek tercih edilmez [63].

### 4.3.3 İz değişimi yöntemi

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon ile geometrik bir iz oluşturulur. Bu izin oluşturulması Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucu kullanılarak elde edilir. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Elmas piramit ya da bilyenin bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskop altında ölçülerek belirlenir [57].

### 4.3.4 Radyoizotop yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron yada yüklü  $\alpha$  parçacıklarıyla bombardıman edilmesi ve radyoaktif hale getirilmesi bu yöntemin temelini teşkil eder. Aşınma değeri büyük hassasiyetle ölçülebilir. Çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi büyük avantaj sağlar. En büyük dezavantajı ise, aşınma deneyleri için pahalı bir yöntem olmasıdır. Bu yöntem çok özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılmaz [57].

## 5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; toz alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerin, aşınma, sertlik ve mikroyapı özelliklerine ilişkin yapılan çalışmalar kronolojik sırasıyla incelenmiştir.

Sarı ve Yılmaz [62], AISI 1050 malzemesinin Ni esaslı kaplamaların abrazif erozif aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Isıl püskürtme ile kaplama tabakası oluşturulmuş numunelerin tamamı AISI 1050 çeliğinden daha düşük aşınma miktarı göstermiştir. AISI 1050 çeliğinin aşınma miktarını azaltmada en etkili yöntem yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) azaltmıştır. Ni esaslı toza WC ilavesi aşınma miktarını %3.36 oranında azalttığını belirtmiştir.

Ay [63], Fe tozuna ağırlıkça %3 oranında Mo, %1.5 oranında C ve %4, %8, %12 oranlarında (ortalama 25 µm, 50 µm, 80 µm tane boyutlarında) ferrokrom tozları katılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş olan Fe-C-Mo-Cr kompozitinin aşınma davranışı üzerinde krom karbürün ( $Cr_7C_3$ ) etkisi araştırılmıştır. Bütün numunelerde artan tane büyüklüğü ile matrisin sertliği düşmektedir. Bu sonuçlarda muhtemelen, artan tane boyutu büyüdükçe takviye elementlerinin matrise difüzyon oranının düşmesinden kaynaklanmaktadır. Matris içerisine katılan takviye partüküllerinin tane boyutunun artmasıyla aşınma kaybının da arttığı gözlenmiştir. Normal yük artışıyla aşınma direnci arasında doğrudan bir ilişki bulunmadığı tespit etmiştir.

Çeltik [64], AISI 310 paslanmaz çeliğinden seçilen aşındırma numuneleri ister kendi türünden isterse başka türden çelik malzemeler karşısında benzer aşınma davranışlarını sergilemektedir. Artan aşınma yolu ile aşınmada, başlangıçta az ve ilerleyen yol değerinden yaklaşık doğrusal artan ilişkili bir durum belirlenmiştir. Hızın artması ile aşınan malzeme miktarının gittikçe düştüğü, ancak kopan taneciklerin abraziv etki göstermesiyle aşınmanın ileri safhalarında artan oranlarda daha yüksek hızlarda elde edilen eş değer bir aşınmanın söz konusu olduğu belirtmiştir.

Şahin [65], metal ve metalik malzemeler incelendiğinde ilk dikkat çeken aşınma oranlarının  $10^{-8}$  mm<sup>3</sup>/Nm derecesinde olmasıdır. Bu da seçilecek püskürtme yöntemine göre aşınma dayanımının aynı tür kaplama için iyileştirilebileceğini göstermektedir. Diğer taraftan, yüksek hız yanmalı püskürtme yöntemi plazma yöntemine göre çok daha iyi sonuçlar sunduğunu belirlemiştir.

Kahraman [34], alev spreyleme yöntemiyle dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılan numunelerin ölçümlerde kalınlık



arttıkça pürüzlülükte artmıştır. Dişli numunelerde ise, diş yüksekliği kaplama sonrası yüzeyde etkili olduğu için, kaplama kalınlığı artarken pürüzlülük bazen artmış bazen de azaldığı tespit etmiştir.

Kahraman ve arkadaşları [66], alev spreyleme yöntemiyle dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, kaplama kalınlığının artmasıyla sertlikte azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Kaplama işleminin soğuk oluşu sonucu değiştirmemektedir. 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 kanıtlamıştır.

Kahraman ve Gülenç [67], alev spreyleme yöntemiyle dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, optik mikroskop analiz sonuçlarına göre, dişli numunelerdeki ara yüzey geçiş bölgesinin dişsiz numunelere göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Altlık malzemesinin sıcak oluşu, ara yüzeyi ve kaplama tabakasını olumlu yönde etkilememiştir. Bunun için altlık malzemeyi ısıtmak, numunenin çarpılması ve kaplama maliyeti açısından doğru bir tercih olmayabilir. Numunelere yapılan termal şok testi sonrasında, yüzey pürüzlendirilmiş (dişli) numunelerdeki hataların, yüzeyi tornada talaş kaldırma pürüzlülüğünde işlenenlere (düz) göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Kahraman ve arkadaşları [68], düşük karbonlu çelik malzemelerin toz altı ark kaynak yöntemi ile üç farklı serbest tel uzunluğunda birleştirildiği, serbest tel uzunluğunun artmasına bağlı olarak, yığılan toz miktarının artması sebebiyle yavaş soğuma olduğundan, kaynak metali ve ITAB'deki sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Kaynak metali ve ITAB'de en yüksek tokluk değerleri sertliğin düşük olması nedeniyle 24 mm serbest tel uzunluğu kullanılarak elde edilen birleştirmelerde tespit edilmiştir. Çekme testleri sonucunda kopma birleştirmelerin tümünde, ana malzemedan gerçekleşmiş ve kaynak dikişinin deformasyonu engellemesinden dolayı kaynaklı numunelerin çekme değerleri, ana malzemenin çekme değerlerinden daha yüksek olduğu, çalışmadan elde edilen kaynak metali mikro yapılarında, artan serbest tel uzunluğu ile beraber martenzit oluşumunda bir azalma görülmüş ve bunu sertlik değerleri de desteklediğini tespit etmişlerdir.

Karaoğlu ve arkadaşları [69], plazma nitrürasyon proses parametrelerine bağlı olarak AISI 5140 çeliğinin aşınma dayanımında önemli artışlar elde edilmiştir. En yüksek aşınma direnci, yüzey sertliği en yüksek olan numunelerde görüldü. Yüksek sıcaklıkta işlem gören numunelerde oluşan kalın bileşik tabaka oldukça gevrek ve aşınmanın ilk safhasında bu

tabakanın kırılmasıyla ortaya çıkan parçacıklar aşınma mekanizmasını adezif aşınmadan abrazif aşınmaya çevirerek malzemenin aşınma hızını yükseltir. Böylece, aşınma dayanımı, artan bileşik tabaka kalınlığı ile azalır ve aşırı kalın bileşik tabaka plazma nitrürasyonunda bir hata olarak kabul edilebilir. Malzeme kaybını azaltmak için, plazma nitrürasyon işlem parametreleri, kalın ve yüksek sertlikli bir difüzyon tabakası verirken, bileşik tabakanın aşırı büyümesini önleyecek şekilde seçilmesi gerektiğini belirlemişlerdir.

Kıratlı [70], farklı tip dolgu elektrotları ile dolguları yapılmış bor kırıcı çenelerinin, aşınma deneyleri yapılan numunelerin sertliğinin artmasıyla aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Elektrot bileşimindeki karbon, mangan ve krom miktarlarının artması dolgu metalinin aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır. Metalografik incelemeler sonucunda, ince taneli yapının aşınmaya karşı direncini iri taneli yapının aşınmaya karşı direncinden daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Kıratlı ve arkadaşları [71], tozaltı kaynağında bor karışımı tozlar kullanılarak dolguları yapılan Ç1040 çeliğinin aşınma davranışları incelenmiştir. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozlarına bor ve N (azot) gazı ilave edilerek kaynak metaline bor karışımı koruyucu tozun etkisi, aşınma, testlerinde en yüksek sertliğe sahip numunenin en yüksek aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir. Dolgu kaynağı yapılan numunelerin kaynak metalinden ölçülen sertlik değerleri, kaynak esnasında kullanılan tozların kimyasal bileşimine ve bor miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışma sonucu, tozaltı kaynağında kullanılan koruyucu toz içerisine bor ilavesinin yapılması ve kaynak sırasında azot gazı verilmesi sonucu kaynak metalinin aşınmaya karşı direncinin arttığını belirlemişlerdir.

Kiper [72], alev püskürtme yöntemiyle alüminyum üzerine asetilen fazlası, nötr, oksijen fazlası yapılan düşük karbonlu ve yüksek karbonlu çelik kaplamaların, yüksek karbonlu çelik kaplamaların düşük karbonlu çelik kaplamalara nazaran daha yüksek sertlik ve poroziteye sahiptir. Yüksek karbonlu çelik kaplamaların aşınma direnci düşük karbonlu çelik kaplamaların aşınma direncinden daha yüksek olup kayma hızından etkilenmemektedir. Düşük karbonlu çelik kaplamalarda artan kayma hızıyla aşınma miktarı artmaktadır. Oksijen fazlası ortamda yapılan kaplama koşulunda gerek yüksek gerekse düşük karbonlu çelik kaplamalarda en yüksek aşınma direncinin elde edildiğini belirtmiştir.

Koçak [73], çeşitli alanlarda kullanılan X210Cr12, 90MnCrV8 soğuk iş takım çeliklerinin ve C35 alaşımsız makina yapım çeliğinin aşınma deneylerinden elde edilen aşınma dirençleri sertliklerine bağlı olarak değişiklik göstermiş. X210Cr12 çeliği aşınmaya daha

dirençli olmak koşuluyla, X210Cr12 ve 90MnCrV8 çelikleri C35 çeliğinden daha iyi aşınma direnci gösterdiğini belirlemiştir.

Kurt [74], Ç1010 ve Ç1050 malzemelerine toz alev püskürtme yöntemi ile bronz tozu kaplanmış, püskürtme mesafesi arttıkça partükül ısı kaybederek küreselleşmekte ve buna bağlı olarak yüzeye yapışan tozlar arasında boşluklar artmaktadır. Altlık malzeme olarak kullanılan numunelerde karbon oranı farklılığının kaplama tabakasının ısıl şok testinde olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir. Alevle toz püskürtme yöntemi ile oluşturulan kaplama tabakalarına yağ emdirmek mümkündür. Metal metale sürtünme aşınma kayıplarında yağ emdirilmiş numunelerde aşınma kayıpları yağ emdirilmemiş olanların yaklaşık yarısı kadar olması gerektiğini belirlemiştir.

## 6. METARYAL VE METOT

### 6.1 Materyal

#### 6.1.1 Kaplama altlık malzemesi

Bu çalışmada; Seydişehir Etibank Alüminyum tesislerinde ETİAL 53 olarak isimlendirilen Al 5754-Alüminyum alaşımı ve Ç1030 düşük karbonlu çelik (imalat çeliği) altlık malzeme olarak kullanılmıştır. Bu malzemelerin KOSGEB laboratuvarlarında yapılan spektral analiz sonuçları ile elde edilen kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1’de, Ç1030 malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 6.2’de, Al 5754 alaşımının mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 6.3’de verilmiştir. Hazırlanan altlık malzemelerinin toz çeşidine göre kaplama kodlamaları da Çizelge 6.4’de verilmiştir. Kaplanan parçaların karakterizasyonları Gazi Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümünde ve Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesinde bulunan cihazlar ile yapılmıştır. Kaplamada kullanılan tozların tane boyutu 250 mesh, kaplama tozlarının sertlik değerleri ise 110 ile 160 HV<sub>10</sub> arasında değişmektedir.

**Çizelge 6.1** Kaplama altlık malzemelerinin kimyasal kompozisyonları (Ağırlıkça %).

Al 5754 – Alüminyum alaşımı									
Element	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	
% Oran	0.40	0.40	0.10	0.50	2.60-3.60	0.20	0.15	0.30	
Ç1030 Düşük Karbonlu Çelik (İmalat Çeliği)									
Element	C	Si	Mn	Cu	S	Cr	P	Ni	Fe
% Oran	0.2852	0.190	0.722	0.447	0.0332	0.0851	0.0162	0.124	Kalan

**Çizelge 6.2** Ç1030 düşük karbonlu çeliğinin fiziksel, mekanik ve işleme özellikleri [75].

<b>Özellikler</b>	
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	7.833
Ergime noktası, (°C)	1510
Isı iletkenliği, (100 °C); (Kcal/Sa/cm/°C)	40.2
Genleşme katsayısı (0-100 °C), (°C <sup>-1</sup> ) x 10 <sup>-6</sup>	14.94
Isınma ısısı (0-100 °C); (Kcal/kg/°C)	0.11
Özdirenç (Oda sıcaklığı), (μ Ω – Cm)	19
<b>Mekanik Özellikler</b>	
Gerilmede elastikiyet modül, (kg/cm <sup>2</sup> ) x 10 <sup>3</sup>	2110
Çekme dayanımı, (kg/cm <sup>2</sup> )	2625 5975
Akma dayanımı, (kg/cm <sup>2</sup> )	3515 5060
Uzama (5 cm'de), (%)	36 26
Alan küçülmesi, (%)	56 51
Sertlik, HBn	163 179
Büzülme dayanımı (100 saatte %1 uzama) (kg/cm <sup>2</sup> ) 705 °C	260
<b>İşleme Özellikleri</b>	
Tavlama sıcaklığı, (°C)	950
Dövme sıcaklığı (başlangıç), (°C)	970
Talaşlı işleme indeksi	50
Kaynak özellikleri	Çok iyi

**Çizelge 6.3** Al 5754- Alüminyum alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri [76].

<b>Özellikler</b>	
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	2.65
Elastisite modülü, (kg/mm <sup>2</sup> )	7000
Isısal iletkenlik, (cal/cm <sup>2</sup> °C)	0.31
Genleşme katsayısı, (20-100 °C)	25 x 10 <sup>6</sup>
Elektriksel direnci (Oda sıcaklığı), (Ω mm <sup>2</sup> /m)	0.052
<b>Mekanik Özellikler</b>	
Isıl işlem	Yok
Akma dayanımı, (kg/mm <sup>2</sup> )	11.5
Çekme dayanımı, (kg/mm <sup>2</sup> )	24.5
Uzama (50 mm), (mm/mm) (%)	25
Sertlik, (HB) (kg/mm <sup>2</sup> )	58
Kesme dayanımı, (kg/mm <sup>2</sup> )	15

**Çizelge 6.4** Altlık malzemelerin toz çeşidine göre kodlanması.

Malzeme Cinsi	Astar	Parça Kodu	Kaplama Tozu
Al 5754	51000	A parçası	19850
		B parçası	19985
Ç1030 çeliği		C parçası	19850
		D parçası	19985

### 6.1.2 Kaplama tozları

Kaplama tabakasına etki eden parametrelerin en önemlisi yüzey temizleme olduğu düşünülerek yüzey oksitlerinin temizlenmesinde azami derecede özen gösterilmiştir. 100 x 100 mm boyutlarında 10 mm kalınlığında 3 adet Ç1030 çeliği ve 3 adet Al 5754-Alüminyum alaşımı malzemeleri kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Kaplanacak malzemeler hazırlandıktan sonra oksitlenmemesi için hemen kaplamaya alınmıştır.

Kaplama işlemi, Ostim/Ankara'da bulunan KAYNAK MERKEZİ firmasının atölyesinde, Castolin marka, manuel veya torna sportuna bağlanarak kullanılabilen püskürtme tabancası ile yapılmıştır. Kaplama işleminde, Çizelge 6.5'de bileşimi ve özellikleri verilen bir firmanın kaplama tozları kullanılmıştır. Kaplama işleminden önce altlık malzemesi üzerine 51000 astar malzemesi kullanılmıştır.

Kaplama işleminde, kaplanan malzeme ile tabanca arasındaki püskürtme mesafesi 15 cm'dir. Kaplamada altlık malzemeler max 300 °C'de tavlandıktan sonra püskürtme işlemine geçilmiş ve yeterli birikinti elde edildiğinde tabancadaki toz akışı kesilmiştir. Kaplama işleminden sonra numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

**Çizelge 6.5** Kaplamada kullanılan tozların özellikleri [4,77].

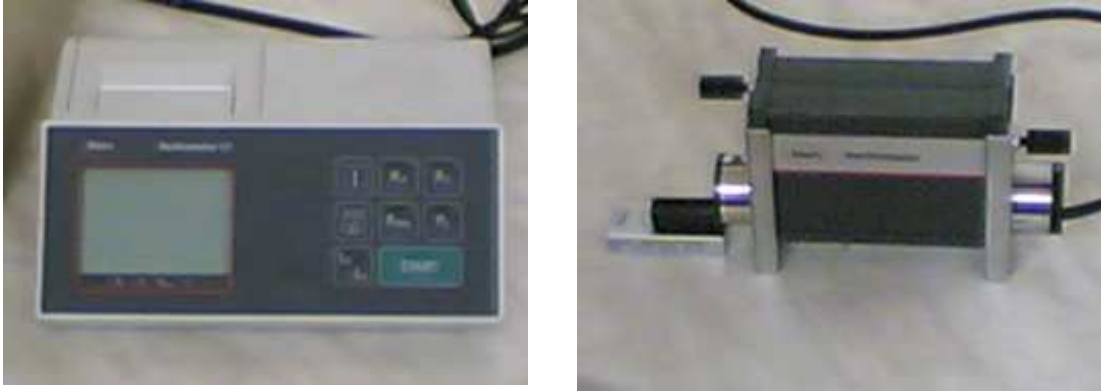
Tozun Adı	Bileşimi	Özellikleri	Tahmini Sertlikleri
RotoTec 19850	Bakır Alüminyum esaslı	Yüksek korozyon direnci, tamamen işlenebilir kaplama tabakası, sürtünme katsayısı düşüktür, 51000 tozu ile bağlayıcı tabaka yapılmalıdır.	110-130 HV <sub>10</sub>
RotoTec 19985	Krom nikel bazlı	Yüksek korozyon direnci, tamamen işlenebilir kaplama tabakası, basınç altında dahi gayet küçük bir sürtünme katsayısı, 51000 tozu ile bağlayıcı tabaka yapılmalıdır.	130-160 HV <sub>10</sub>

## 6.2 Metot

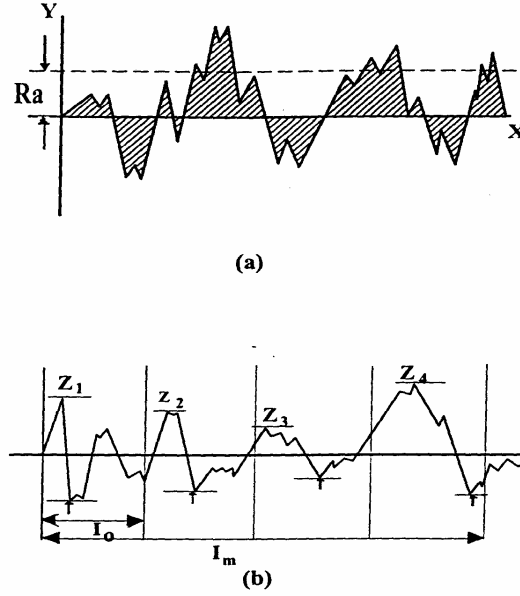
Yüzeyleri değişik tozlarla kaplanan Alüminyum alaşımı ve Ç1030 düşük karbonlu çelik malzemelerinin yüzeylerinden, 10 x 8 mm boyutunda numuneler kesilerek aşınma, yüzey pürüzlülük ölçümü, sertlik ölçümü ve mikroyapıları incelenmiştir.

### 6.2.1 Kaplama yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Deneylerde kullanılan numunelerin yüzey pürüzlülükleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi bölümünde bulunan PERTHOMETER S8P tipi mekanik yüzey profilometre cihazı ile belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük cihazının görünüşü Şekil 6.1'de verilmiştir. 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 kaplama bölgelerinden 3 defa pürüzlülük ölçümleri alınmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir. Pürüzlülük değerleri kesitten değil, yüzeyinden yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan ölçümlerde ölçüm aralığı (VB) 0.8 mm ve ölçüm uzunluğu 5.6 mm seçilmiştir. Pürüzlülük, tek çizgi profili boyunca ölçülmekte ve aritmetik ortalama (Ra), ortalama derinlik (Rz) gibi parametreler yüzey pürüzlülüklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır [34]. Yüzey pürüzlük değerlerinin Ra ve Rz olarak gösterimi Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Perthometer S8P tipi yüzey pürüzlülüğü cihazı fotoğrafı.



**Şekil 6.2** (a) Ra ve (b) Rz cinsinden pürüzlülük değerlerinin şematik görünümü.  $L_m$  ölçüm uzunluğudur [77].

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 [34].

### 6.2.2 Mikrosertlik deneyi

Altık ve kaplamaların sahip oldukları mikro sertlik değerleri numunelerin parlatılmış kesitlerinden alınmıştır. Ölçümlerde tepe açısı  $136^\circ$  Vickers uca sahip HMV SHIMADZU marka mikrosertlik cihazı kullanılmış ve 100 gr yük uygulanmıştır. Ölçümler, kaplama yüzeyinden ana malzemeye doğru 0.25 mm aralıklarla (0-1.5 mm arasında) 6 adet ölçüm yapılmıştır.

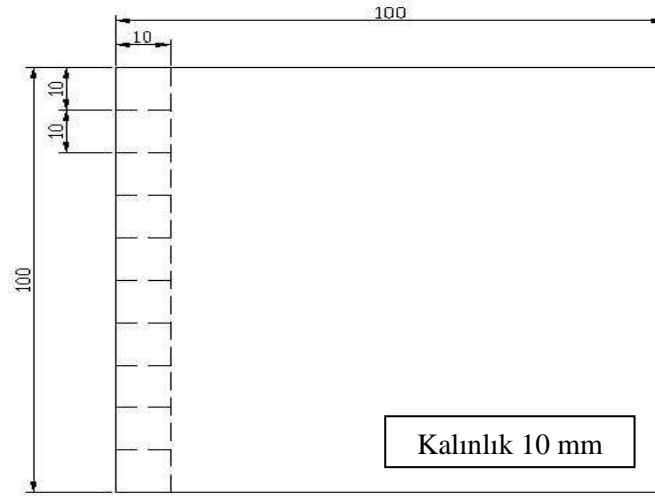
### 6.2.3 Metalografik yapının incelenmesi

Alev spreyleme yöntemi ile kaplanmış numuneler, metalografik inceleme için Ankara/Ostim KALIPSAN firmasında AQSL-350 markalı Tel Erozyon Kesim Tezghasında Şekil 6.3'de görüldüğü gibi tel erozyon yöntemiyle kestirilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri ölçülen numuneler Metal Eğitimi Bölümünde polyeşter reçineyle (bakalite) gömüldükten sonra, sırası ile 240-400-600-800-1200 numaralı SİC su zımparası ile, her seferinde  $90^\circ$  döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanan numunelerin polisaj (parlatma) işleri de sırasıyla 6  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  ve 1  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta süspansiyonları kullanılarak DP mikrokeçe kumaş



üzerinde parlatılmış ve parlatılan numuneler dağlama işlemine tabi tutularak mikroyapı resimleri çekilmiştir. Mikroyapı incelemeleri için malzemelerin dağlanmasında kullanılan dağlayıcıların kimyasal bileşimleri Çizelge 6.6'da gösterilmiştir. Bu işlemden sonra mikrosertlik ölçülmüştür.

Parlatılmış numunelerin mikroyapısının incelenmesi, arayüzey ve kaplama tabakasından x100 büyütmelerinde LEİCA DFC320 dijital kamera bağlantılı LEİCA DM 4000m optik mikroskop yardımı ile gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde, fotoğraf çekiminin, kaplamaların karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgelerden yapılmasına özen gösterilmiştir.



**Şekil 6.3** Kaplanmış numunelerin metalografik inceleme için hazırlanması.

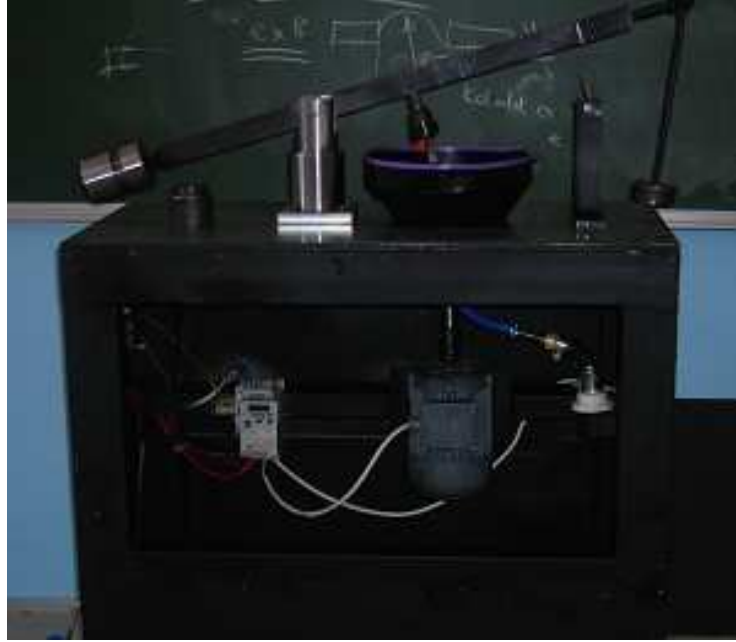
**Çizelge 6.6** Altlık malzemelerin yüzeylerinin dağlanmasında kullanılan dağlayıcılar [78].

Malzeme	Dağlayıcı		Kullanım Biçimi
	Dağlatıcı Adı	İçeriği	
Al 5754 Alüminyum Alaşımı	Keller	2 ml HF 3 ml HCl 5 ml HNO <sub>3</sub> 190 ml H <sub>2</sub> O	20 s süreyle dağlama banyosuna daldırıldı
Ç1030 Düşük Karbonlu İmalat Çeliği	Nital	2 ml HNO <sub>3</sub> 98 ml CH <sub>3</sub> OH	10 s süreyle dağlama banyosuna daldırıldı

#### 6.2.4 Aşınma deneyi

Aşınma deneyi için hazırlanan numunelerin kaplama yüzeylerinin aşınmayı olumsuz etkilememesi için, kaplama yapılan ilk günden itibaren itinalı bir şekilde yüzeyleri yağ ve kirden korunmuştur. Numuneler PRECİSA marka 0.0001gr hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra

Şekil 6.4’de fotoğrafı görülen 800 grit’lik SiC su zımparası disk aşındırma düzeneğinde kuru olarak aşındırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Testler için kullanılan aşındırma cihazı değişken devirli bir elektrik motoru tarafından ayarlanmakta ve anında hız ayarlaması yapılabilmektedir. Aşınma deneylerinde kayma hızı sabit tutularak kayma mesafeleri 180 m - 360 m - 540 m -720 m - 900 m olmak üzere toplam kayma mesafesi 900 m’dir. Aşınma deneyleri 10 N ve 20 N olmak üzere iki farklı yük altında uygulanmıştır. Deney esnasında 300 dev/dk ile devir sayısı sabit tutulmuş olup, her bir deney numunesinden 3 adet aşındırma yapılarak ortalamalar değerlendirilmiştir. Aşınma deneylerinden sonra numunelerin aşınma kayıplarını hasas terazi ile tartarak ağırlık kayıpları bulunmuştur.



**Şekil 6.4** Numunelerin aşındırmanın yapıldığı aşınma cihazının fotoğrafı.

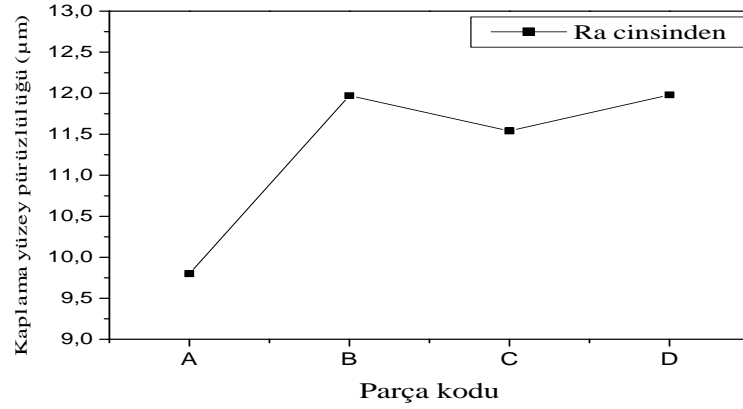
## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 7.1 Kaplama Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

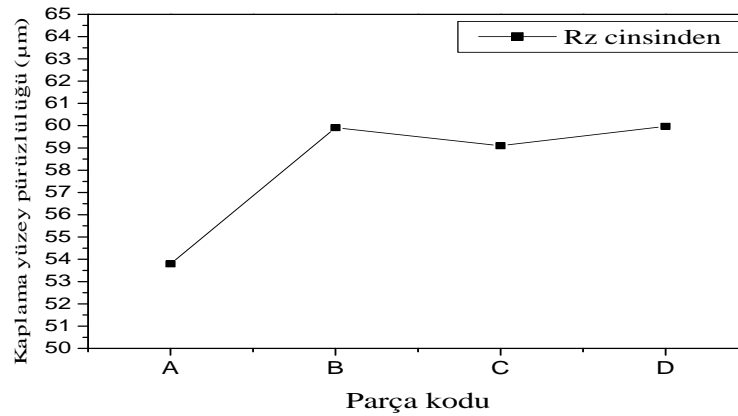
Kaplanmış altlık numunelerinin Ra ve Rz cinsinden yüzeylerinden alınan pürüzlülük değerleri Çizelge 7.1’de, kaplamalara göre; Ra cinsinden ölçümü yapılan yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi Şekil 7.1’de, Rz cinsinden ölçümü yapılan yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi ise Şekil 7.2’de verilmiştir.

**Çizelge 7.1** Kaplama pürüzlülük değerleri ( $\mu\text{m}$ ).

Al 5754 – Alüminyum Alaşımı			Ç1030 Düşük Karbonlu Çelik (İmalat Çeliği)		
Parça Kodu	Ra	Rz	Parça Kodu	Ra	Rz
A parçası	9.8	53.79	C parçası	11.54	59.1
B parçası	11.97	59.91	D parçası	11.98	59.97



**Şekil 7.1** Kaplama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Ra cinsinden).



**Şekil 7.2** Kaplama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Rz cinsinden).

Çizelge ve Şekiller incelendiğinde; Al 5754 -Alüminyum alaşımının kaplama yüzeyinin ve Ç1030 düşük karbonlu çeliğinin kaplama yüzeyinin Ra cinsinden yüzey pürüzlülüğü, A numunesinin yüzey pürüzlülük değeri aynı tozla kaplanmış C numunesine göre Ra cinsinden daha az olduğu görülmektedir. A ve C numunelerine göre farklı tozla kaplanmış B numunesinin yüzey pürüzlülük değeri aynı tozla kaplanmış D numunesi ile yaklaşık olarak aynı değerdedir. En az yüzey pürüzlülük değerinin A numunesinde olduğu görülmektedir. Rz cinsinden numuneler karşılaştırıldığında ise yine en az yüzey pürüzlülüğüne sahip numune A numunesidir.

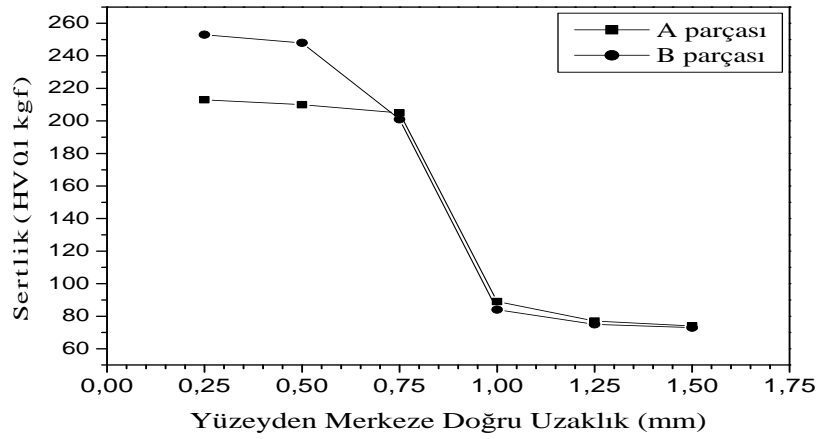
Her iki yüzey pürüzlülük ölçümü sonrasında A numunesi en az yüzey pürüzlülüğüne sahip numunedir. Bunun nedeni; altlık malzemesi olarak kullanılan Alüminyumun ergime derecesinin çeliğe göre daha düşük olmasından dolayı, malzeme yeniden kristalleşme sıcaklığına daha yakındır. Bu nedenle kaplama tozu ile altlık malzemesinin tutunması daha sağlıklıdır. Hem bu özelliği hem de kaplama tozunun özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## **7.2 Mikrosertlik Sonuçları**

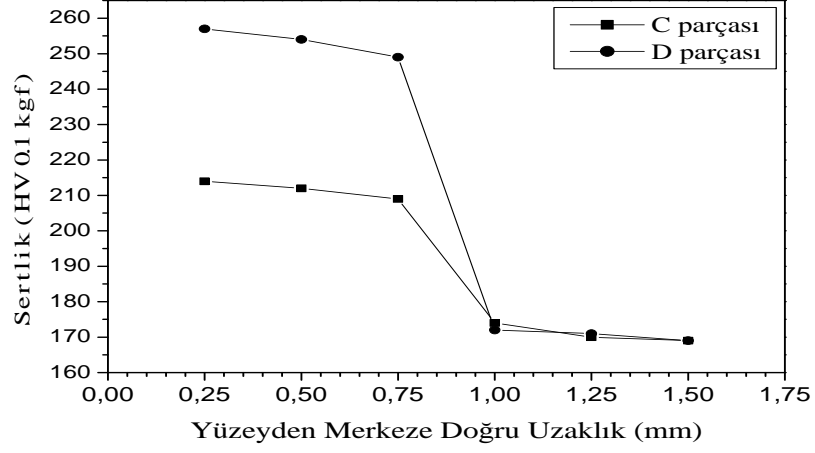
Farklı kaplama tozlarının, farklı malzemelere yapılan kaplamalarının sertlik değişimlerini incelemek üzere bir dizi çalışma yapılmıştır. Kaplama türüne ve malzemelere göre sertlik değişimleri Çizelge 7.2’de, Alüminyum alaşımının (Al 5754) toz çeşidine göre sertlik değişimi Şekil 7.3’de, Ç1030 çeliğinin toz çeşidine göre sertlik değişimi Şekil 7.4’de, Al-5754 ve Ç1030 malzemelerinin 19850 kaplama tozuna göre sertlik değişimleri de Şekil 7.5’de, Al-5754 ve Ç1030 malzemelerinin 19985 kaplama tozuna göre sertlik değişimleri de Şekil 7.6’da verilmiştir.

**Çizelge 7.2** Al 5754 ve Ç1030 deney numunelerinin toz çeşidine göre yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri (HV 0,1 kgf).

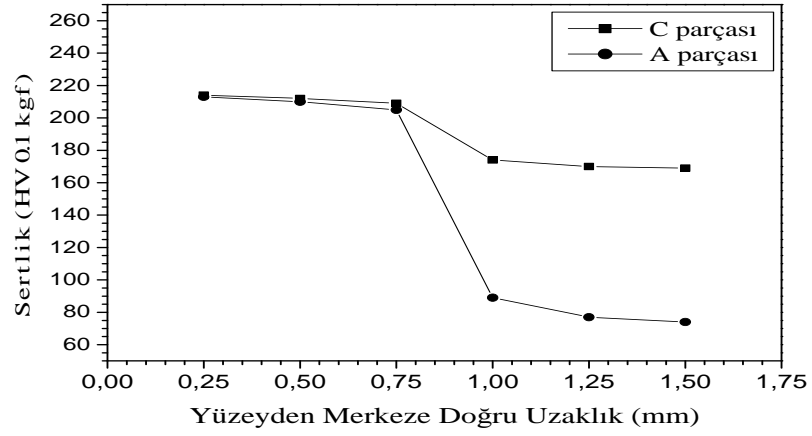
Malzeme Çeşidi	Kaplama Tozu	Yüzeyden Merkeze Doğru Ölçüm Noktaları (mm)	Sertlik Değerleri (HV 0,1 kgf)
Al 5754 – Alüminyum alaşımı	19850 (A parçası)	0.25	213
		0.50	210
		0.75	205
		1	89
		1.25	77
		1.5	74
	1985 (B parçası)	0.25	253
		0.50	248
		0.75	201
		1	84
		1.25	75
		1.50	73
Ç1030 düşük karbonlu çelik (imalat çeliği)	19850 (C parçası)	0.25	214
		0.50	212
		0.75	209
		1	174
		1.25	170
		1.5	169
	1985 (D parçası)	0.25	257
		0.50	254
		0.75	249
		1	172
		1.25	171
		1.50	169



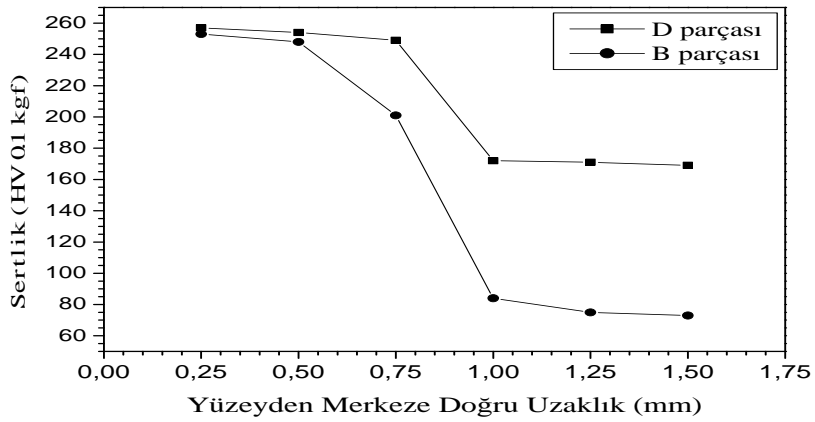
**Şekil 7.3** A ve B parçasının toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi.



Şekil 7.4 C ve D parçasının toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi.



Şekil 7.5 A ve C parçalarının aynı toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi.

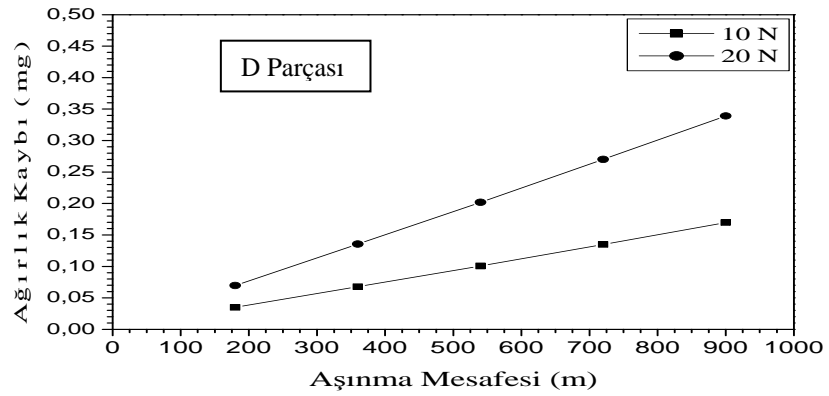
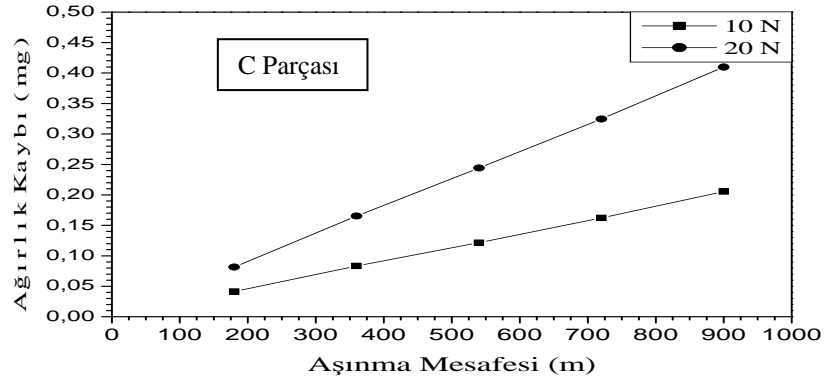
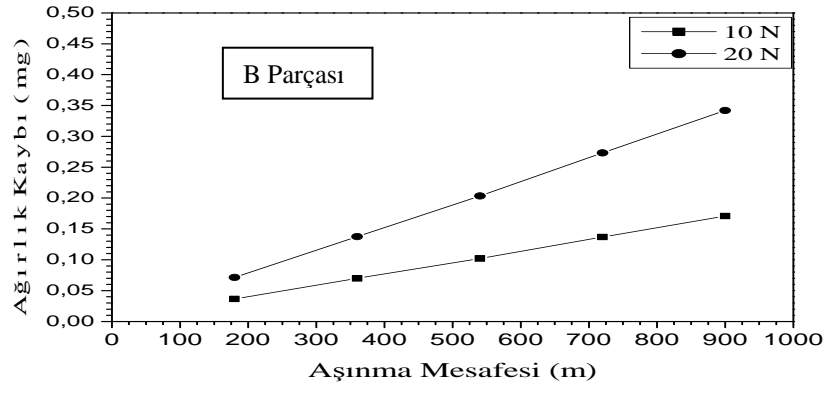
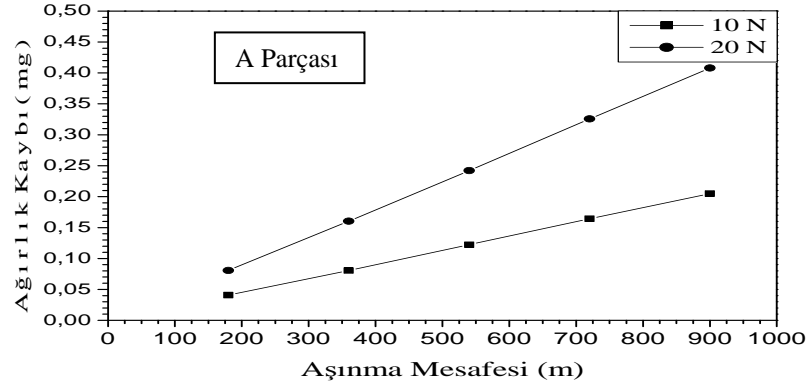


Şekil 7.6 B ve D parçalarının aynı toz çeşidine göre mikro sertlik değişimi.

Yukarıdaki şekillerden anlaşılmaktadır ki, altlık malzemelerinin farklı olması yüzey kaplamasını etkilememektedir. Toz özellikleri kaplama sertliğini önemli derecede etkilemiş fakat altlık malzemesi kaplama özelliğini önemli derecede etkilememiştir. Bir başka ifadeyle altlık malzemesinin farklı olması kaplamada etkili değildir. Her iki malzemeye de aynı özellikteki tozlar kullanılmasına rağmen toz özelliklerine bağlı olarak sertlik değişimleri farklılık göstermiştir. Bunun nedeni, kaplama tozu bileşiminde bulunan CrNi elementlerinin neden olduğu söylenebilir. Farklı malzemelerin, farklı kaplama tozları ile kaplanan numunelerde sertlik artışı, kaplama başlangıcından başlamış ve en son kaplama yüzeyinde en yüksek sertlik değerine ulaşmıştır. Dolayısı ile altlık malzemelerinin farklı olması kaplama sertliğini etkilememektedir. Bir başka ifadeyle kaplama tozunun bileşimi yani özelliği kaplama sertliğini önemli derecede etkilemektedir.

### **7.3 Aşınma Denev Sonuçları**

Yapılan aşınma deneyi sonucunda, toplama ağırlık kaybı aşındırma mesafesi eğrilerinde her bir zamana karşılık toplam ağırlık kaybı değerleri her numune için aynı şartlarda aşındırılan 3'er adet numunenin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda farklı yük altındaki kaplama yöntemlerinin gösterdiği aşınma davranışları Şekil 7.7'de verilmiştir.



Şekil 7.7 A, B, C ve D numunelerinin 10 N ve 20 N yük altındaki aşınma davranışları.

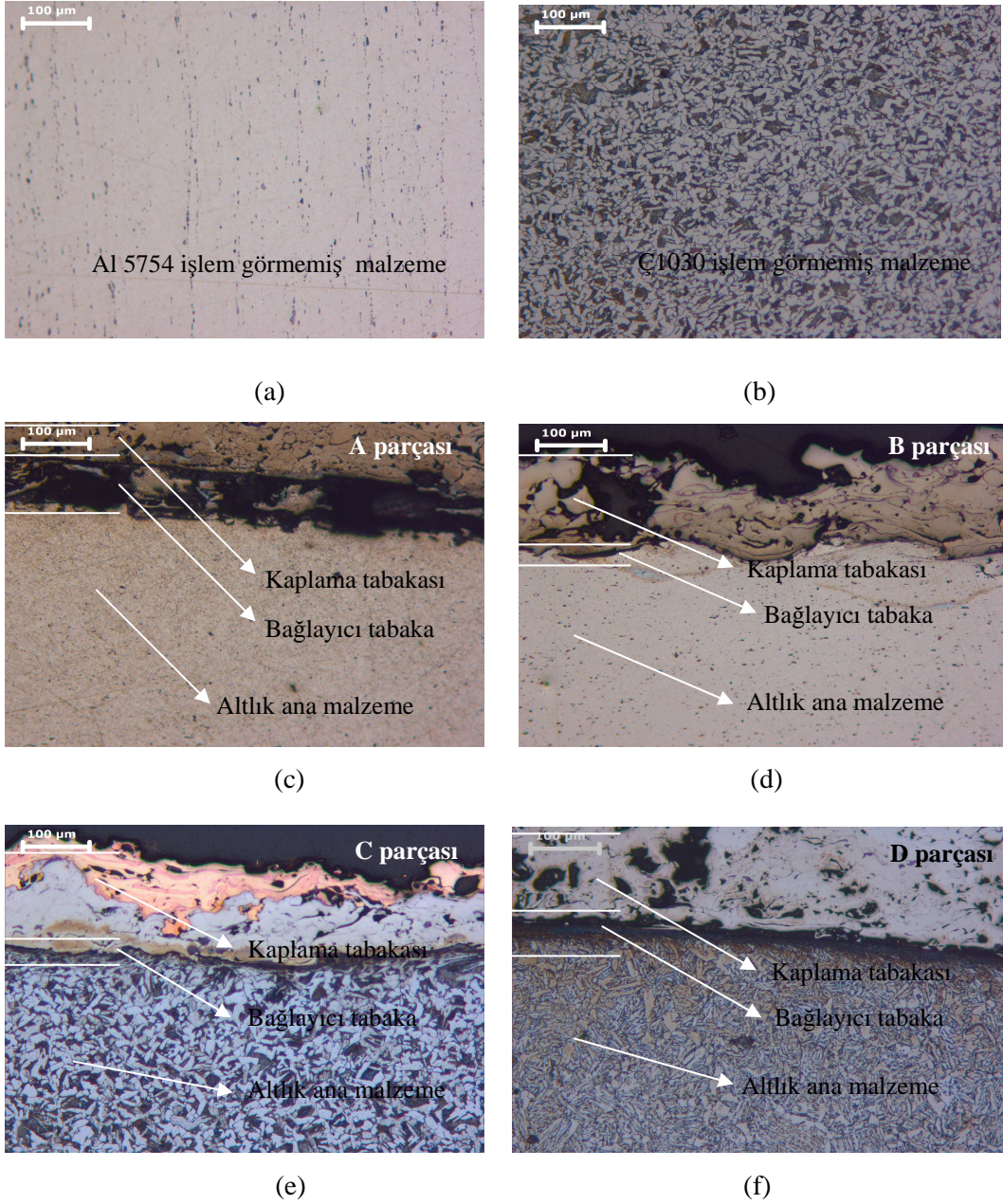


Şekil 7.7 incelendiğinde, deney numunelerindeki ortak özellik, zamanla doğru orantılı olarak ağırlık kayıplarının artmasıdır. Aşındırma işleminin başlangıcında ağırlık kaybı artışı fazladır. Aşındırma işlemi sırasında ilk 180 m'den sonra aşınmaya karşı direnç olduğu söylenebilir. Bunun nedeni soğuk deformasyon sırasında oluşan pekleşmedir. Malzemelerdeki pekleşme olayı sertliği artırmakta olup, sertliğin artması ise malzemelerin aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır.

Aşınma grafiklerinden de anlaşılacağı gibi CrNi bazlı kaplama tozu kullanılarak yapılan B ve D kaplama numuneleri en yüksek aşınma direncini göstermiştir. Bunun nedeni, kaplama tozunun bileşiminde bulunan Cr ve Ni elementlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Cr ve Ni elementleri kaplamanın sertleşmesine sebep olmakta ve aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır. Diğer kaplama tozları ile yapılan kaplamalar da ise Cu ve Al bazlı toz olmasından dolayı A ve C kaplama numuneleri daha düşük aşınma direnci göstermiştir. Bunun nedeni ise, kaplama tozu bileşiminde bulunan Cu ve Al elementlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Cu ve Al elementleri kaplamanın yumuşamasına sebep olduğu düşünülmektedir. Aşınma deney sonuçları ile sertlik deney sonuçları birbirini doğrulamaktadır.

#### 7.4 Mikroyapı Değişimleri

Al 5754 ve Ç1030 malzemelerinin farklı tozlarla kaplanarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.8’de verilmiştir.



**Şekil 7.8** Al 5754 ve Ç1030 kaplama malzemelerinin optik görüntüleri:  
a) Al 5754 işlem görmemiş yapı, b) Ç1030 işlem görmemiş yapı,  
c) A parçası işlem görmüş yapı, d) B parçası işlem görmüş yapı,  
e) C parçası işlem görmüş yapı, f) D parçası işlem görmüş yapı.

Al 5754 - Alüminyum alaşımı (A ve B parçası) ve Ç1030 imalat çeliğinin (C ve D parçası) altlık-bağlayıcı ve bağlayıcı-kaplama geçiş bölgeleri önemli bir hata içermemektedir. Altlık malzeme üzerindeki bağlayıcıda bulunan gözenek miktarı ve üzerindeki bağlayıcıda bulunan gözenek miktarı ve boyutunun asıl kaplama malzemesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında kaplama yapılan malzemelerin içyapılarında herhangi bir değişme olmadığı tespit edilmiştir.

Kaplamada kullanılan bağlayıcı tabaka, hem ana malzemeyi hemde kaplamaya girintili-çukuntulu bir şekilde bağlayarak iyi bir ara yüzey geçişinin elde edildiği ve dolayısı ile yapışmanın tam olarak sağlandığı görülmektedir. Kaplamanın dış yüzeylerinde atmosferik koşullardan kaynaklandığı düşünülen oksit tabakalarının oluştuğu gözlenmiştir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Alev spreyleme yöntemiyle Alüminyum alaşımı (Al 5754) ve Ç1030 düşük karbonlu çelik üzerine toz kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik, mikroyapı ve aşınma davranışları incelenmiştir.

- Yüzey pürüzlülük ölçümleri kaplanmış numuneler üzerinde uygulanmış, bunun sonucunda ihmal edilebilecek bir farkla da olsa Alüminyum alaşımı (Al 5754) üzerine yapılan kaplamanın Ç1030 imalat çeliği üzerine yapılan kaplamaya göre daha pürüzsüz olduğu görülmüştür. Bu numunelerin içinden ise en düşük yüzey pürüzlülüğü çıkan numunenin de A numunesinin olduğu tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik ölçümleri sonuçlarına göre, altlık malzemesinin Al 5754 veya Ç1030 çeliği olması kaplama sertliğini değiştirmedeği görülmüştür. A parçası ile C parçasının ve B parçası ile D parçasının aşağı yukarı aynı mikrosertlik değerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek mikrosertlik değerinin 19985 tozuyla kaplanan B ve D numunelerde olduğu görülmüştür.
- Mikroyapı incelemeleri sonuçlarına göre, sıcaklık 300 °C geçmediği için kaplama yapılan malzemelerin içyapılarında herhangi bir değişme olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Numunelerin aşınma deneyleri sonucunda sertliğin artmasıyla aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.
- Deney numunelerindeki ortak özellik, zamanla doğru orantılı olarak ağırlık kayıplarının artmasıdır.
- Bu çalışmada en yüksek aşınma direncini kaplanan numunelerden 19985 tozu ile kaplanan B ve D parçası vermiştir.
- Bu teknik ile ağır malzemeler yerine, hafif ve aşınma dayanımı yüksek, ekonomik kazanç sağlayan dayanıklı ürünler elde etmek mümkündür.
- Yapılan çalışma sonucunda mikrosertlik sonuçları ile aşınma deney sonuçları birbirini tamamlamaktadır.

Bu sonuçlara göre aşağıdaki öneriler yapılabilir;

1. Bu yöntemle kaplanmış numunelerde temperleme ısıl işleminin malzemenin kaplama yüzeyinin mikroyapısına ve aşınma direncine ne şekilde etki edeceği araştırılabilir.
2. Bu malzemelerin değişik aşınma şartlarındaki davranışları incelenebilir.

### KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Pamuk, U., 1996, Plazma spreyleneşmiş  $Cr_3C_2$ -NiCr ve  $Al_2O_3$ -TiO<sub>2</sub> kaplamaların abrazif aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Çakır, A.F., Korozyondan korunmada metalik kaplamalar, 1988, Yüksek Lisans Ders Notları, İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [3] Ürgen, M., 1997, Modern yüzey işleme teknolojileri ve Türkiye' deki gelişmeler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 333-350.
- [4] Askaynak Kobatek El Kitabı, 2003, 273-298.
- [5] Üstel, F., 1995, Plazma spreyleneşmiş kaplama teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Topbaş, A., 1993, Endüstri malzemeleri, Yıldız Yayını, Cilt-1, 260.
- [7] McCune, R.C., 1995, Thermal spraying of clinder bore surfaces for aluminun engine blocks, Welding Journal, August, 41-47.
- [8] Edrisy, A., Perry, T., Cheng, Y.T., Alpas. A.T., 2001, Wear of thermal spray deposited low carbon steel coatings on aluminum alloys, Wear, 251, 1023-1033.
- [9] Knotek, O., 2001, "Wear and corrosion resistant hard coatings for non-cutting tool applications", in Handbook of hard coatings, R.F. Bunshah (ed.), Noyes Publications, New York, 77-108.
- [10] Sulzer Metco Catalog (US) Inc., 1995.
- [11] Phillips, B.A., Knapp, J.K., 1995, Thermal spray coatings reduce wear and corrosion on calender rolls, Tapi Journal, October, Vol. 78(10), 197-205.
- [12] ASM Handbook Committe, 1986, ASM Metals Handbooks, USA, Vol. 2(29), 1-54.
- [13] Sturgeon, A., 1994, Thermal spraying gives a new look to substrate design, TWI Bulletin 4, 464(4), 94.
- [14] Sahoo, P., 1993, High performance wear coating-the quest continues, Powder Metallurgy International, 25(2), 73-74.
- [15] Dapkunas, S.J., 1993, Nist-industry workshop on thermal spray coating research, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 93(3), 383-389.
- [16] Harvey, D., 1991, Surfacing armoury broadens to combat industry bane, TWI Bulletin 6, 416 (6), 91.
- [17] Kuvın, B.F., 1989, How to apply thermal-spray coatings, Welding Desing&Fabrication, May, 43-46.
- [18] 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, USA, 655-661.
- [19] Resistant and solid-state welding and other joining processes, Chapter 12, 1984, Aws Welding Handbook, Seventh edition, Vol. 3, welding processes.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [20] Harvey, D., 1995, The tough truth-wear resistant coatings using HVOF, TWI Bulletin 1, 473(3), 95.
- [21] Salman, S., Vayvay, Ö., 1998, The termal sprayed coatings applications in aero engines components, Fifth Combustion Symposium, İstanbul/Türkiye, 497-505.
- [22] Pfender, E., 1987, Fundamental studies associated with the plasma spray process, Thermal Spray Advances in Coatings Technology Proceedings of the National Thermal Spray Conference, USA.
- [23] Smith, W.R., Knight, R., Termal Spraying I: Powder Consolidation From Coating to Forming, Overview.
- [24] Pfender, E., 1988, Fundamental studies associated with the plasma spray process, Thermal Spray Advances in Coatings Technology Proceedings of the National Thermal Spray Conference, USA.
- [25] Knight, R., Smith, W.R., Lawley, A., 1995, Sprayforming Research at Drexel University, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 31, No:3.
- [26] Fauchais, P., Vardelle, M., 1994, Plasma spraying: present and future, Iupac, Pure&Appl. Chem., Britain, Vol. 66(6), 1247-1258.
- [27] Cerrit, A.M., 1996, Metal püskürtme, Makine Mühendisleri El Kitabı, Üretim ve Tasarım, Ankara, Cilt 2, 208-211.
- [28] Steffens, H.D., Mack, M., 1990, Present Status of Low Pressure and Atmospheric Plasma Spraying, Vacuum, 41.
- [29] Villat, M., 1986, Fancionally Effective Coatings Using Plasma Spraying, Sulzer Technical Review.
- [30] Geçkinli, A.E., 1992, İleri teknoloji malzemeleri, İTÜ Matbaası, İstanbul, 246-251.
- [31] Yılmaz, F., 1999, Plazma püskürtme kaplama, Türk Toz Metalurjisi Derneği Haber Bülteni, Sayı 9, Ankara.
- [32] Spraytime, 1999, ASM Thermal Spray Society and The International Thermal Spray Association, Vol. 6, Num. 2.
- [33] Sarı, N.Y., Akay, S., Kaluç, E., 1997, Isıl püskürtme, Mühendis ve Makine, Sayı: 448.
- [34] Kahraman, N., 2000, Toz Alev spreyleme yöntemi ile kaplanan numunelerde kaplama parametrelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [35] Agard Technical Bulletin, 1980, Materials coating techniques LS-106, March, London, 1-4.
- [36] Clare, H.J., Crawmer, D.E., Thermal Spray Coatings, Metal Handbook, Vol. 5, 361-375 p.
- [37] Charles, P.H., 1994, Thermal spraying processes preparation coating and application, Welding Journal, 73(4).

### KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [38] Sarı, N.Y., Kaluç, E., Tülbentçi, K., 1999, Alevle ısı püskürtme uygulanarak Ç1050 çeliğinin abrazif+erozif aşınma davranışının iyileştirilmesi, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, Ankara.
- [39] Anık, S., 1991, Kaynak tekniği el kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, İstanbul.
- [40] Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1993, 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt I, Birsen Yayınevi, İstanbul. 270-290.
- [41] N. N., 1991, Welding Handbook, Welding Processes, 9. Edition, AWS, USA.
- [42] Smith, R.W.E., 1994, Fast, R.D., The future of thermal spray technology, Welding Journal, 73(8).
- [43] Harvey, D., 1991, HVOF tekes off, TWI Bulletin, September/October, 423(9), 91.
- [44] Sarı, N.Y., Kaluç, E., Tülbentçi, 1999, Isıl püskürtme uygulanmış Ç1050 çeliğinin abrazif+erozif aşınma davranışının incelenmesi, MAMTEK 99, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu, Manisa.
- [45] Harvey, D., 1991, The tough truth-wear resistant coatings using HVOF, TWI Bulletin 1, 473(1), 95.
- [46] Harvey, D., 1994, The ultimate coating-thermal spraying at abington, TWI Bulletin 2, March/April, 456(2), 94, 28-30.
- [47] AWS committe on thermal spraying, 1997, Thermal Spraying, Welding Journal, August, 69-70.
- [48] Anık, S., 1983, kaynak teknolojisi el kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul.
- [49] Oğuz, B., 1993, Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları teori uygulama, Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş. Yayınları, İstanbul, 367-491.
- [50] Saraç, A.S., 1995, Metal kaplama ve elektro kimyasal teknolojiler, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 109.
- [51] Herman, H., Sampath, S., Rangaswamy, S., 1988, Ni-Al re-evaluated, Proceedings of the National Thermal Spray Conference, 47, Ohio, USA.
- [52] Moore, M.A., 1974, A Reviev of Two-Body Abrasive Wear, Wear, 27, 1-7.
- [53] Karamış, M.B., 1985, Toprak işleme aletlerinde iş organının aşınmasının etüdü, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi M. F., Kayseri.
- [54] Kragelsky, I.V., 1960, Contact Area of Rough Surfaces, Wear, 3, 170-187.
- [55] Atamert, S., 1989, Ph. D. Thesis. University of Cambridge, England.
- [56] Noble, D.N., 1986, The effect of flux-coart arc welding conditions on microstructure and abrasive wear Resistance of two iron-based hardfacing alloys, Welding Institute, Report, 7856.
- [57] Yıldırım, M.M., 1999, Yüzey Mühendisliği I-II, Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ders Notları.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [58] Koz, M., 1988, Sertliğin incelenmesi ve tanımı, Yüksek Seviyede Sert Dolgu Kaynakları Seminer Notları, İstanbul, 15-20.
- [59] Layıktez, C., 1988, Çeşitli Sanayi Kollarında Aşınma Türlerinin İncelenmesi, Oerlikon Yayınları.
- [60] Domke, W., 1987, Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Verlag W. Girardet, Essen. Germany.
- [61] Murray, M.J., Muttan, P.J., and Watson, T.D., 1982, Abrasive wear mechanisms in steels, Journal of Lubrication, Technology, 104, 9-16.
- [62] Sarı, Y.N., Yılmaz, M., 2005, AISI 1050 malzemesinin Ni esaslı kaplamaların abrazif erozif aşınma direncine ısıl püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi, Makina Mühendisleri Odası Dergisi, 14-20.
- [63] Ay, M., 2003, Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Fe-C-Mo-Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> kompozitinin abradiv aşınma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [64] Çeltik, İ., 2000, AISI 310 Paslanmaz çeliğinin mikroyapı ve aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- [65] Şahin, K., 1996, Isıl püskürtme yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [66] Kahraman, N., Gülenç, B., Kaçar, R., 2000, Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki kaplama kalınlığının sertliğe etkisinin araştırılması, 8. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 245-255.
- [67] Kahraman, N., Gülenç, B., 2002, Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerde kaplama tabakası ve arayüzeyinin incelenmesi, ODTÜ Makine Tasarım ve İmalat Dergisi, Ankara, 146-154.
- [68] Kahraman, N., Gülenç, B., Durgutlu, A., 2005, Toz altı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 473-480.
- [69] Karaoğlu, S., Karadeniz, S., Karaoğlu, Ç., 2001, Plazma nitrülenmiş az alaşımlı bir çeliğin aşınma davranışının incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, 85-92.
- [70] Kıratlı, N., 2006, Farklı tip dolgu elektrotları ile dolguları yapılan bor kırıcı çenelerin aşınma davranışlarının incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kütahya, 117-125.
- [71] Kıratlı, N., Fındık, F., Gülenç, B., Durgutlu, A., 2004, Toz altı ark kaynağında bor karışımı kaynak tozları kullanılarak dolguları yapılan AISI 1040 çeliğinin aşınma davranışının incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Afyon, 105-115.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

- [72] Kiper, G., 2003, Alüminyum üzerinde ısı püskürtme yöntemiyle oluşturulan çelik kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [73] Koçak, A., 1993, Soğuk iş takım çeliklerinin sertlik ve mikroyapı özelliklerinin aşınma davranışlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] Kurt, C., 2001, Toz püskürtme yöntemiyle bronz kaplanmış çelik malzemelerde kaplama ara yüzeylerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [75] Keskin, İ., 1991, Malzeme el kitabı, Onarsan İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. Genişletilmiş II. Baskı, Ankara.
- [76] Yükler, İ., 2000, Alüminyum alaşımları ve ısı işleme, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kütüphanesi, 317, 156 s.
- [77] Katalog, 1992, Endüstriyel tamir ve bakım için geliştirilmiş ürün ve prosesler, Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., İstanbul, 222-260.
- [78] Akkurt, A., Çeşitli malzemelerinin aşındırıcı su jeti ile kesilmesinde yüzey özellikleri, sertlik ve mikro yapı değişimlerinin farklı kesme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.