



ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE Al_2O_3 ve Cr_2O_3 KAPLANMIŞ $AlMg_3$
ALAŞIMININ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

S. Hakan YETGİN

Yüksek Lisans

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2005

ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE Al_2O_3 ve Cr_2O_3 KAPLANMIŞ
 $AlMg_3$ ALAŞIMININ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

S. Hakan YETGİN

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

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İhsan KÜÇÜKRENDECI

Ekim – 2005

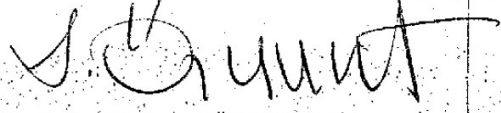
KABUL VE ONAY SAYFASI

S. Hakan YETGİN 'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE Al_2O_3 ve Cr_2O_3 KAPLANMIŞ $AlMg_3$ ALAŞIMININ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

14.10.2005

Üye : Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Üye : Doç. Dr. Rasim İPEK
Üye : Yrd. Doç. Dr. İhsan KÜÇÜKRENDECI (Danışman)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Rahmi ÜNAL
Üye : Yrd. Doç. Dr. Muammer GAVAS

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun 26/10/05 gün ve ...19... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE Al_2O_3 ve Cr_2O_3 KAPLANMIŞ $AlMg_3$ ALAŞIMININ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

S. Hakan YETGİN

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2005,

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İhsan Küçükrendeci

ÖZET

Alevle püskürtme yönteminde kaplamaların mikroyapısını etkileyen bir çok parametre mevcuttur. Sprey mesafesi, ana malzeme yüzey pürüzlülüğü, ana malzeme sıcaklığı, kaplama kalınlığı gibi parametreler kaplamanın sertliğini, gözenek miktarını, yüzey pürüzlülüğünü ve kaplamanın ara tabaka ile yapışma dayanımını etkilemektedir.

Bu çalışmada, farklı kumlama basınçları (4 ve 7 bar) ile yüzeyleri pürüzlendirilen $AlMg_3$ (Etial 53) alaşımı üzerine Al_2O_3 ve Cr_2O_3 seramik telleri farklı kaplama parametreleri (10, 12 ve 15cm sprej mesafesi ve 100, 200 ve 300 μ m kaplama kalınlığı) kullanılarak alevle püskürtme yöntemi ile kaplanmış ve optimum değerlerin hangi şartlar altında elde edilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Kaplamaların mikroyapısı, optik mikroskopu kullanılarak incelenmiştir. Metalografik çalışma sonucu kaplama tabakalarının, lamelli ve yassı bir yapıya sahip olduğu, boşluk ve ergimemiş partikül içerdiği görülmüştür. Cr_2O_3 kaplı numunelerin sertlik değerleri Al_2O_3 kaplı numunelere göre daha yüksek bulunurken, en yüksek sertlik değeri 7 bar basınç ile yüzeyi pürüzlendirilen, 12cm sprej mesafesinde 100 μ m kaplama kalınlığına sahip Cr_2O_3 kaplı numunede elde edilmiştir. Cr_2O_3 kaplı numuneler düşük gözenek miktarına sahipken, en düşük gözenek miktarı 7 bar basınç ile yüzeyi pürüzlendirilen 12cm sprej mesafesinde 100 μ m kaplama kalınlığına sahip numunede elde edilmiştir. Kaplamaların yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü Cr_2O_3 kaplı numunelerde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alevle püskürtme yöntemi, Al_2O_3 ve Cr_2O_3 kaplama, kumlama basıncı, sprej mesafesi.

INVESTIGATION OF THE COATING PROPERTIES OF AlMg3 ALLOY COATED WITH Al₂O₃ AND Cr₂O₃ VIA FLAME SPRAY PROCESS

S. Hakan Yetgin

Mechanical Engineering, M.S.Thesis, 2005

Thesis Supervisor:Asist. Prof. Ihsan Küçükrendeci

SUMMARY

There are many parameters that affect the microstructure of the coating in flame spray process. Spray distance, the roughness and temperature substrate of material and coating thickness affect the hardness of the coating, porosity ratio, surface roughness and the adhesion strength between the coating and interlayer.

In this study AlMg3 alloy was grit-blasted at 4 and 7 bar than these samples were coated with Al₂O₃ and Cr₂O₃ ceramic wires at different parameters (10, 12 and 15cm spray distance and 100, 200 and 300µm coating thickness) with flame spray process to obtain optimum conditions.

The microstructures of coatings were examined by using light microscope. As the result of these examinations it was seen that coating layers were lamellar and plane. The coatings had porosity and unmelted particles. The hardness values of Cr₂O₃ coated samples were higher than Al₂O₃ coated samples. The highest hardness value was obtained at Cr₂O₃ coated samples with 7 bar grit-blasted, at 12cm spray distance and 100µm coating thickness. The Cr₂O₃ coated samples at low porosity ratio and the lowest porosity ratio was seen 7 bar grit-blasted, at 12cm spray distance and 100µm coating thickness. The lowest surface roughness was seen in the Cr₂O₃ coated samples.

Key Words: Al₂O₃ and Cr₂O₃ coating flame spray process, grit-blasting pressure, spray distance.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince yardım ve fedakarlıklarını esirgemeyen, bilgi ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danıőmanım Yrd. Doç. Dr. İhsan KÜÇÜKRENDECI' ye, yine yardımlarını esirgemeyen Doç Dr. Rasim İPEK ve Yrd. Doç. Dr. Rahmi ÜNAL hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca kaplamaların yapılmasında destek olan Köroğlu A.Ő. sahibi Sayın Osman Karayel' e teőekkürlerimi sunarım.

Sabır ve desteğiyle daima yanımda olan annem, babam, kardeőim ve eőim Seda YETGIN' e....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Isıl Püskürtme Yöntemleri İle İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ	5
2.1. Giriş	5
2.2. Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Esası.....	5
2.3. Isıl Püskürtme Yöntemleri	6
2.3.1. Alev ile tel ve toz püskürtme tekniği	7
2.3.2. Plazma püskürtme tekniği.....	9
2.3.3. Fiziksel buhar çöktürme (PVD) tekniği.....	10
2.3.4. Kimyasal buhar çöktürme (CVD) tekniği.....	11
2.3.5. Detonasyon tabancası tekniği	11
2.3.6. Kaplama işlemi için ön hazırlık çalışması	12
2.3.6.1. Yüzey hazırlama	12
2.3.6.2. Kimyasal temizleme.....	12
2.3.6.3. Abrasiv temizleme (Kumlama).....	12
2.3.6.4. Ara tabaka uygulaması.....	13
2.3.6.5. Kaplama işlemi ve kaplama tabakalarının oluşumu.....	13
2.4. Isıl püskürtme Yönteminin Uygulama Alanları.....	14

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
3. KAPLAMA KALİTESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER	16
3.1. Kaplamanın Yapısı	16
3.2. Gözeneklilik.....	17
3.3. Yapışma Mukavemeti ve İç Gerilmeler ...	18
3.4. Kaplama Kalınlığı ve Mukavemet.....	18
3.5. Sertlik.....	19
3.6. Isıl Genleşme.....	19
3.7. Ana Malzeme Sıcaklığı.....	19
3.8. Sprey Mesafesi.....	20
3.9. Yüzey pürüzlülüğü.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
4.1. Giriş	21
4.2. Kullanılan Deney Malzemeleri	21
4.2.1. Ana malzeme	21
4.2.2. Kaplama malzemeleri	21
4.3. Kaplama Numunelerinin Üretilmesi ...	22
4.3.1. Altlık malzemelerin hazırlanması	22
4.3.2. Alev püskürtme ile kaplama işlemi.....	23
4.4. Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi.....	24
4.4.1. Işık mikroskobu çalışmaları.....	24
4.4.2. Kaplama kalınlığı ölçümü.....	24
4.4.3. Mikrosertlik deneyleri.....	25
4.4.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	25
5. DENEY SONUÇLARI	26
5.1. Kaplamaların Mikroyapısı	26

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
5.2. Ana Malzeme ve Ara Bağlayıcı Yüzey Pürüzlülüğü	28
5.3. Kaplamaların Gözenek Miktarları	29
5.4. Kaplamaların Sertliği	32
5.5. Kaplamaların Yüzey Pürüzlülüğü	37
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR DİZİNİ	42



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Isıl püskürtme işlem sırası.....	6
2.2. Isıl püskürtme yöntemleri	7
2.3. Tel / çubuk alev püskürtme tekniği.....	8
2.4. Alevle toz püskürtme sistemi.....	9
2.5. Plazma toz püskürtme sistemi.....	10
2.6. Ara tabakanın uygulanması.....	13
2.7. Partiküllerinin deformasyonu ve ana malzemeye bağlanması	14
3.1. Kaplamaların özelliklerini etkileyen temel parametreler.....	16
3.2. Tipik bir kaplamaya ait mikroyapının şematik gösterimi	17
4.1. Kumlama ünitesi	22
4.2. Alevle püskürtme tabancası	23
4.3. Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı	24
5.1. Al ₂ O ₃ ve Cr ₂ O ₃ kaplamalara ait kaplama-ana malzeme ara yüzeylerini gösteren optik mikroyapılar	27
5.2. 12cm sprej mesafesinde Cr ₂ O ₃ kaplamalara ait mevcut gözenekleri gösteren optik mikroyapılar.....	27
5.3. 15cm sprej mesafesinde Cr ₂ O ₃ kaplamalara ait ergimemiş partikülleri gösteren optik mikroyapılar	28
5.4. Farklı kumlama basınçları ile yüzeyi pürüzlendirilen AlMg3 alaşımının yüzey pürüzlülük değerleri	29
5.5. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde gözenek miktarının sprej mesafesi ile değişimi	30
5.6. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde gözenek miktarının sprej mesafesi ile değişimi	31
5.7. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde % gözenek miktarının kaplama kalınlığı ile değişimi	32
5.8. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde % gözenek miktarının kaplama kalınlığı ile değişimi.....	32
5.9. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde sertliğin sprej mesafesi ile değişimi.....	33
5.10. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde sertliğin sprej mesafesi ile değişimi.....	34
5.11. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde sertliğin kaplama kalınlığı ile değişimi.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.12. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde sertliğin kaplama kalınlığı ile değişimi.....	36
5.13. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün sprej mesafesi ile değişimi. 37	37
5.14. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün sprej mesafesi ile değişimi	38
5.15. Cr ₂ O ₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı ile değişimi	39
5.16. Al ₂ O ₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı ile değişimi.....	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Isıl püskürtme yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanları.....	15
4.1. AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimleri (%ağ.)	21
4.2. % ağırlık olarak kaplama malzemelerinin kimyasal bileşimleri	22
4.3. Kaplama malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
4.4. Alevle püskürtme işlem parametreleri.....	23



1. GİRİŞ

Modern teknolojide, metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması, maruz kaldığı yorulma, sürünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla, çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Malzeme yüzeyinin, sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması istenildiğinde, fiziksel buhar çöktürme (PVD), kimyasal buhar çöktürme (CVD), sol-jel (SG), ısıl püskürtme teknikleri (plazma püskürtme (PS), alevle püskürtme (FS)), sıcak izostatik presleme ile kaplama (HIP) ve detonasyon tabancası (DG) gibi yöntemler kullanılarak yüzey sertleştirme ve aşınmaya dayanıklı malzemelerin üretilmesi gerçekleştirilmektedir [1-5].

Isıl püskürtme tekniklerinde, ulaşılabilen yüksek kaplama sıcaklıkları sayesinde metaller, alaşımlar, intermetalikler, kompozitler ve seramik malzemelerden aşınmaya ve korozyona dayanıklı yüzeyler elde edilmektedir.

Püskürtme tekniğinin en büyük pazar alanı uçak ve uzay endüstrisi olup yaklaşık otuz yıldan beri ısıl püskürtme tekniği havacılık teknolojisinde kullanılmaktadır. Türbin kanatçıklarının ve aktarma dişlilerinin kaplanması yanında piston yüzeyleri, subap başları, silindir kapaklarında termal bariyer amaçlı kaplamalar da yapılmaktadır. Tekstil endüstrisi, kağıt endüstrisi, demir-çelik endüstrisi, tıbbi uygulamalar, toz metalurjisi ve otomobil endüstrisi, püskürtme tekniğinin diğer uygulama alanlarıdır [6-8].

Kaplamalarda, yapışma mukavemetini artırmak amacıyla, kaplama öncesi yüzeyin pürüzlendirilmesi zorunludur. Kaplama uygulanacak yüzeye ergitilen partiküller hızla püskürtülür ve çarptırılır. Böylece yüzeye çarpan partiküller hızla soğuyarak katılaşır. Yüzeydeki pürüzlükler, ergimiş partiküllerin katılaşması sırasında gerilmelerin yoğunluk kazandığı bölgelerdir. Bu bölgesel gerilme noktaları yüzeye çarpan partiküllerin yüzeye tutunmasını sağlar. Yüzeye dik bağlanma kuvvetini artırmak için önce yüzey pürüzlendirilir ve böylece kaplama işlemi sonucu, yüzeyde tamamen paralel tabakalar yerine dalgalı tabakalar oluşturulur [9].

Kaplama işlemi süresince, kaplama kalitesine etki eden birçok parametre vardır. Bu parametreler; sprej mesafesi, ana malzeme sıcaklığı, ana malzeme yüzey pürüzlülüğü, kaplama

kalınlığı, kullanılan gazlar, partikül karakteristikleri (boyutu, dağılımı ve morfolojisi)' dir [10-12].

Yüksek hız ve sıcaklık nedeniyle, kontrol edilebilen veya edilemeyen parametrelerdeki küçük bir değişiklik bile partikül özelliklerini önemli derecede değiştirir

Isıl püskürtme yöntemleriyle yüksek yoğunlukta kaplamalar elde edilebilirken, üretilen kaplamaların karakteristik özelliği olarak gözenek, iğne deliği ve mikroçatlak gibi küçük yapısal hatalar bulunmaktadır. Bu yapısal hatalar kaplama ile ana malzeme arasında bağlantı kanalcıkları oluşturarak kaplamanın mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkilemektedir [11,13-14].

1.1 Isıl Püskürtme Yöntemleri İle İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar

Kiper ve diğerleri [8]; yaptıkları çalışmada, alüminyum altlık üzerine alevle püskürtme yöntemiyle uygulanan yüksek karbonlu çelik kaplamanın kuru kayma koşullarındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Nominal bileşimi % 0.6 C - % 0.5 Mn olan çelik tel ile ticari saflıkta, 2 mm kalınlığında alüminyum sac kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda, yüksek karbonlu çelik kaplamanın aşınma direnci yaklaşık olarak 170 kat daha fazla çıkmıştır.

Özkan [11]; AISI 304L paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 kaplama yaparak spreysel mesafesinin, ana malzeme sıcaklığının, kaplama kalınlığının ve ana malzeme yüzey pürüzlülüğünün etkilerini incelemiştir. 12 cm 'den düşük veya yüksek püskürtme mesafesinde, düşük sertlik, yüksek gözeneklilik ve yüksek kaplama pürüzlülüğü elde etmiştir. Ana malzeme sıcaklığının artması sertliği artırmış, gözeneklilik ve kaplama pürüzlülüğünü azaltmıştır. Artan kaplama kalınlığı ile gözeneklilik ve kaplama pürüzlülüğü artarken, mikrosertlik azalmıştır. Yüksek sertlik, düşük gözeneklilik ve düşük kaplama pürüzlülüğü değerleri, 12 cm püskürtme mesafesinde, $3.28\mu m$ ana malzeme pürüzlülüğünde, $100\mu m$ kaplama kalınlığında ve $500\text{ }^\circ C$ ana malzeme sıcaklığında elde edilmiştir.

Erdal, Şengil ve Avcı [14]; yaptıkları çalışmada, AISI 304L paslanmaz çeliği üzerine Al_2O_3 , $Al_2O_3 + TiO_2$ ve $Cr_3C_2 + NiCr$ kullanarak plazma püskürtme tekniğiyle kaplamışlar ve gözenek, kaplama kalınlığı, kaplamanın yüzey pürüzlülüğünün korozyon direncine olan etkilerini incelemişlerdir. Plazma püskürtme kaplamaların genellikle gözenek, oksit, ergimemiş partikül ve çatlak içerdiğini belirlemişlerdir. Gözenek ölçüm sonuçlarına göre Al_2O_3 kaplamanın daha düşük gözenek içerdiği ve $Al_2O_3 + TiO_2$ kaplamalarda ise dağılımın yüksek

olduğu belirlenmiştir. Metalografik incelemeler sonucunda, artan kaplama kalınlığı ile gözenek, iğne deliği ve mikroçatlak oranları artmıştır. Plazma püskürtme kaplamaların korozyon direnci, azalan gözeneklilik, kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ile artmıştır.

Zeng, Lee ve Ding [15], yaptıkları çalışmada, küresel ve elipsoidal morfolojiye sahip, 60, 100 ve 200nm toz boyutundaki alümina tozları kullanarak, nano boyutta tozların kaplanabilirliğini incelemiştir. Sonuçta, ısı püskürtme teknolojisinin nano yapıdaki malzemelerin üretilmesi için iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Nejat ve Muharrem [16]; yaptıkları çalışmada, AISI 1050 çeliğinin aşınma direncini artırmak için Ni-esaslı tozlar kullanarak alev püskürtme, alev püskürtme + ergitme, yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) püskürtme + ergitme şeklinde bir seri ısı püskürtme yöntemleri ile kaplama tabakası oluşturmuşlardır. Ni-esaslı tozlar ile yapılan kaplama tabakalarının aşınma direncine WC sert fazı ilavesinin ve ısı püskürtme yönteminin etkisini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, AISI 1050 çeliğinin aşınma miktarını azaltmada en etkili yöntemin yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) olduğunu belirlemiştir. Ni-esaslı toza WC ilavesi, aşınma miktarını % 3.36 oranında azaltmıştır. AISI 1050 çeliğinin aşınma miktarını % 80 oranında azaltan en etkili yöntem, WC ilaveli Ni-esaslı kaplama tozu kullanarak yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) işlemini takiben yapılan ergitme işleminin olduğunu tespit etmişlerdir.

Akın ve diğerleri [17]; yaptıkları çalışmada, alüminyum altlık üzerine alevle püskürtme yöntemiyle uygulanan oksit kaplamaların (Cr_2O_3 , ZrO_2CaO ve Al_2O_3) kuru kayma koşullarındaki aşınma davranışlarını incelemiştir. Sertliğe bağlı olarak Cr_2O_3 kaplama en yüksek aşınma direnci, Al_2O_3 kaplama ise en düşük aşınma direnci gösterdiğini belirlemiştir. Cr_2O_3 kaplama, Al_2O_3 kaplamaya göre yaklaşık 10 kat, ZrO_2CaO kaplamaya göre ise yaklaşık 4 kat daha yüksek aşınma direnci gösterdiğini belirlemiştir.

Erdal, Demirkıran ve Avcı [18]; yaptıkları çalışmada, kumlamanın, plazma püskürtme ile Al_2O_3 kaplanmış malzemenin, 25 °C'de 1N H_2SO_4 solüsyonunda korozyon davranışına olan etkilerini incelemiştir. Ana malzemenin yüzey pürüzlülüğü, başlangıçta artan kumlama zamanı ile artmış daha sonra belirli bir kumlama zamanından sonra sürekli olarak azalmıştır. Plazma püskürtme kaplamada adhezyon dayanımı için yüzey pürüzlülüğünün en önemli parametre olduğunu, alümina kaplamaların korozyon direncinin, azalan gözeneklilik ve kaplama kalınlığı ile arttığını belirtmişlerdir.

Erickson ve Hawthorne [19], yaptıkları çalışmada kumlanmış yumuşak karbon çeliği üzerine 200'den 370µm kalınlığa kadar alümina, krom ve alümina-titanyum kaplamışlardır. Alümina kaplamalar için 5–10–18–30µm boyutlarında partikül tozları kullanmışlardır. Plazma püskürtme kaplamalarda aşınma davranışlarının, mikroyapısal ve mikromekanik karakteristikleri arasındaki ilişkide malzeme sertliği, düşük gözeneklilik ve aşınma miktarı özellikle abrasif aşınma miktarı arasında bir bağ bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Özkan [20]; Plazma püskürtme yöntemiyle hazırlanmış Al₂O₃ kaplamalarda, ana malzeme sıcaklığının sertlik, gözenek ve ısıl genleşme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Artan ana malzeme sıcaklığı ile sertliğin arttığını ve gözenekliliğin azaldığını tespit etmiştir. En yüksek sertlik ve en düşük gözeneklilik değerleri, bağlayıcı tabakanın kullanılmadığı 500 °C ana malzeme sıcaklığında elde etmiştir. Bağlayıcı tabakanın kullanılmadığı kaplamalarda, artan ana malzeme sıcaklığı ile Al₂O₃ kaplamaların ısıl genleşmelerinin arttığı görülmüştür. Ana malzeme sıcaklığının artması bağlayıcı tabakada oksit fazlarının gelişmesine neden olmuş ve bağlayıcı tabaka kullanılan kaplamalarda ısıl genleşmenin 300 ve 500 °C ana malzeme sıcaklığında 25 °C 'ye göre daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

Köroğlu A.Ş. [21]; kağıt endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelikten yapılmış fan pompası kollarını Cr₂O₃ ile kaplamışlar ve çalışma ömrü 18 aya çıkarılmıştır. Yine kağıt endüstrisinde kullanılan hamur stok hunilerine ait bronzdan imal edilmiş rotorlar, Cr₂O₃ ile kaplanmış ve çalışma ömürleri 5 aya çıkarılmıştır. Petrol endüstrisinde kullanılan pompa gövdesi ve fanı Cr₂O₃ ile kaplanmış ve çalışma ömürleri 6 kat artırılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yapılan literatür taraması sonucu, plazma sprey yöntemi ile kaplamaların daha fazla çalışıldığı fakat ucuz ve basit olan alevle püskürtme yöntemi ile fazla çalışmanın yapılmadığı belirlenmiştir. Bu amaçla, kalıp malzemesi ve kazan borularında kullanılan AlMg3 (Etial 53) alaşımı üzerine kaplama malzemesi ve ana malzeme arasındaki termal genleşme farklılıklarını en aza indirmek amacıyla NiCr alaşımı astar malzemesi olarak uygulanmıştır. NiCr kaplı yüzeylere farklı kaplama parametreleri kullanılarak Al₂O₃ ve Cr₂O₃ seramik malzemeleri kaplanmıştır. Sprey mesafesi ve kaplama kalınlığının kaplamanın sertliğine, gözenek miktarına ve yüzey pürüzlüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Optimum değerlerin hangi şartlar altında elde edilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

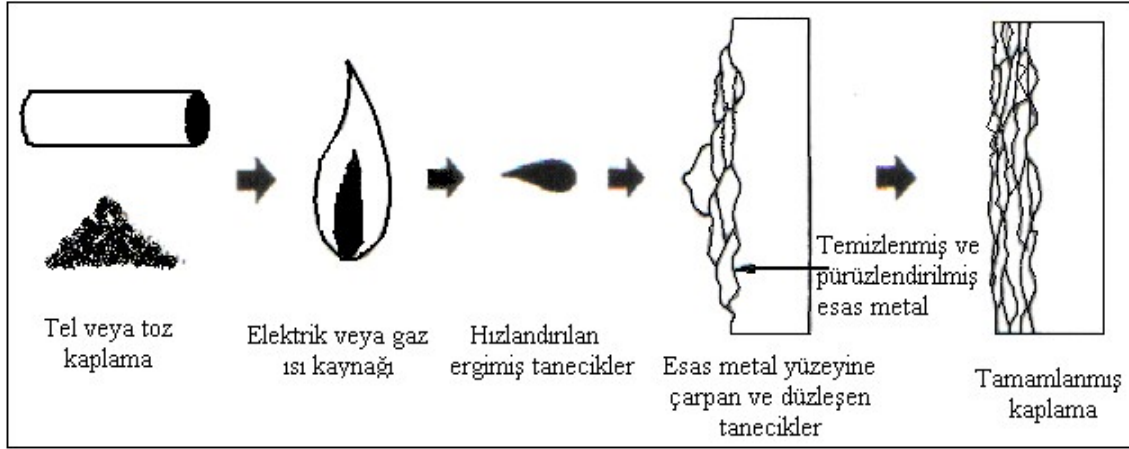
Sağladıkları ağırlık tasarrufu nedeniyle kullanılma gerekliliği her gün biraz daha artan hafif metal ve alaşımlarının tribolojik özelliklerini geliştirmek için çeşitli yüzey kaplama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de 20.yy'ın başından beri kullanılmakta olan ısı püskürtme yöntemidir. Bu yöntemde, toz, tel veya çubuk şeklindeki kaplama malzemesinin ergiyik ya da kısmi-ergiyik durumuna getirilerek, kaplanacak yüzeye olabildiğince hızlı bir şekilde püskürtülmektedir.

2.2 Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Esası

Isıl püskürtme yöntemi, kaplama oluşturmak için önceden hazırlanan esas metale çok ince metalik veya metalik olmayan malzemeleri çökeltten bir grup yöntemi tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Kaplama malzemesi toz, çubuk veya tel biçiminde olabilir. Isıl püskürtme tabancası (başlığı), kaplama malzemesini eritmek için gerekli olan sıcaklığı yanıcı gazlar, elektrik arkı veya plazma arkı ile elde eder [16-17,22].

Ergiyen kaplama malzemesi kaplanacak olan ve altlık denilen parçanın soğuk olan yüzeyine püskürtülür. Yüzeye darbe etkisi ile çarpan tanecikler düzleşmekte ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak katılaşmakta ve birbirleri ile temas haline gelerek tabaka meydana getirmektedir. Şekil 2.1'de ergiyen kaplama malzemesinin ana malzeme ile olan işlem sırası gösterilmektedir [16,22].

Isıl püskürtme ile kaplama başladıktan sonra istenilen kaplama kalınlığı elde edilinceye kadar işlem kesilmemelidir. Fakat ana malzemelerin özelliklerine veya kaplamanın verimine zıt etki yapabilecek aşırı ısınmadan kaçınmak için tedbir alınmalıdır. Şayet püskürtmenin aniden durdurulması kaçınılmaz ise iş parçasının sıcaklığının düşmesi engellenmelidir.

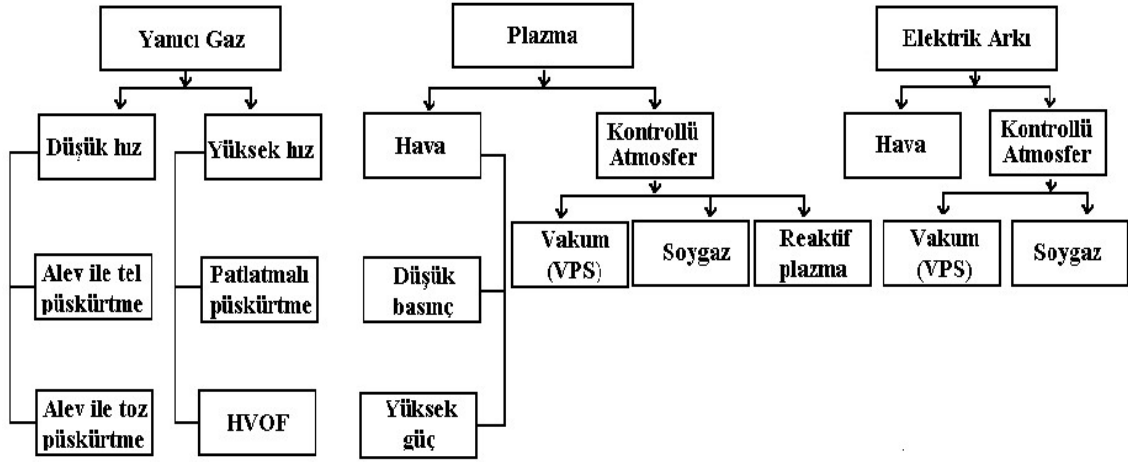


Şekil 2.1 Isıl püskürtme işlem sırası [16]

2.3 Isıl püskürtme Yöntemleri

Isıl püskürtme yöntemlerinde, malzeme seçiminin sınırsız olması ve kaplama işleminin uygulandığı ana malzemede herhangi bir metalurjik dönüşüm meydana getirmeden ve az bir miktar oksitlenme oluşturarak esas metale çok az ısı girdisi ile uygulanması, yöntemi çok ilgi çekici kılmaktadır. Isı girdisinin çok az olması nedeni ile metal, plastik veya kompozit herhangi bir malzemeye kaplama işlemi rahatlıkla uygulanabilir [22].

Bütün ısıl püskürtme yöntemlerinin en yaygın özelliği, kaplamayı oluşturacak olan malzemenin kimyasal veya elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılması ve daha sonra hızlandırılarak kaplama yüzeyine gönderilmesidir [23]. Isıl püskürtme yöntemleri, enerji kaynağı (yanıcı gaz veya elektrik), kaplama malzemesi (tel veya toz) ve atmosfer (hava, düşük basınç veya soy gaz) bakımından birbirlerinden farklılık gösterir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi ısıl püskürtme yöntemleri yanıcı gaz ile püskürtme, elektrik arkı ile püskürtme ve plazma püskürtme yöntemleri şeklinde 3 ayrı gruba ayrılmaktadır [16,22].



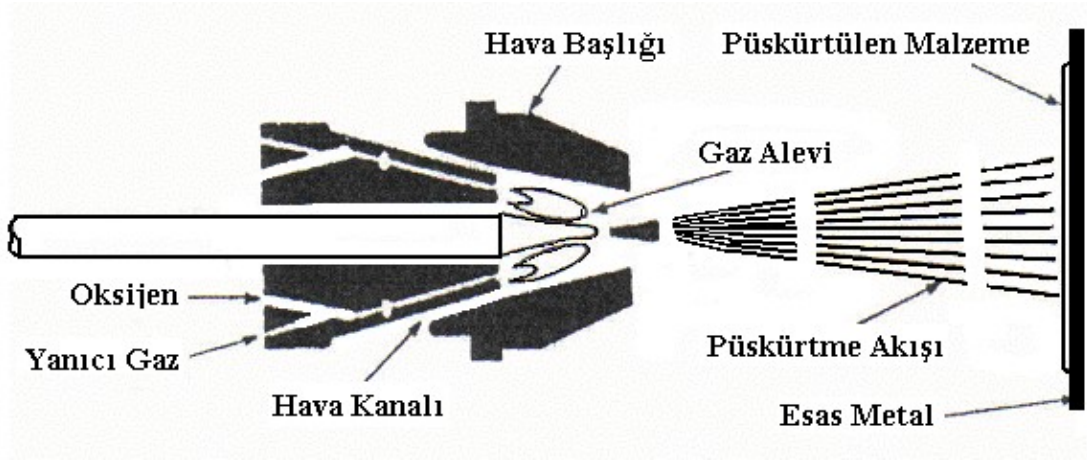
Şekil 2.2 Isıl püskürtme yöntemleri [22].

2.3.1 Alev ile tel ve toz püskürtme tekniği

Isıl püskürtme yöntemlerinin en basiti ve en ucuzu olan alev püskürtme tekniğinde kaplama işlemleri kullanılan kaplama malzemenin tipine göre alevle tel veya alevle toz püskürtme tekniği olarak adlandırılır. Yakıcı gaz olarak oksijenin kullanıldığı bu sistemde, düşük ergime derecesine sahip malzemeler için propan, çelikler için asetilen ve ince tozların püskürtülmesinde ise hidrojen yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Gaz değişiminde alevle püskürtme tabancasının değişmesine gerek yoktur [8,22].

Alevle tel püskürtme tekniğinde, ergime sıcaklığı oksii-asetilen alev sıcaklığının altında olan metalik bir telin ertilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmesi olayıdır. Kaplanacak tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenmektedir. Tel, nozul içerisinde geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımı ile ertilmektedir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmektedir. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ertilmesini sağlamaktır. Kaplama yüzeyinin sıcaklığı 95–200°C arasında değişmektedir [8].

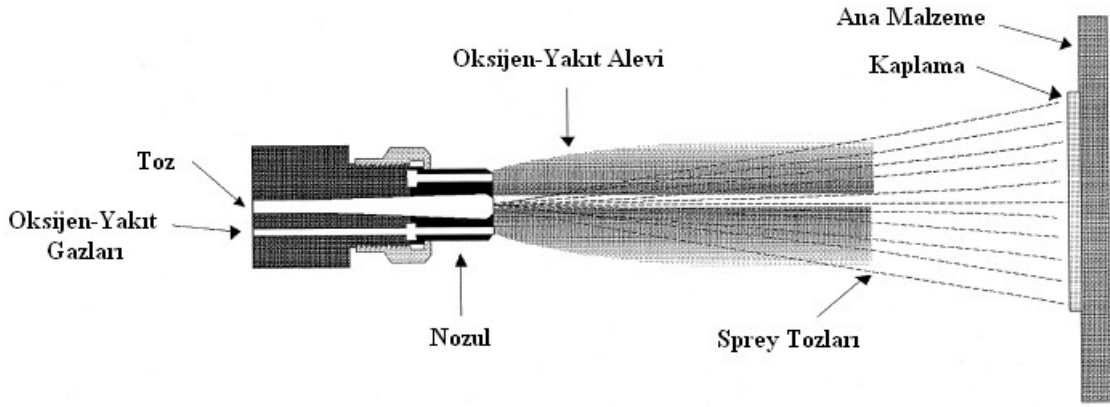
Alevle tel püskürtme tekniğinde telin ilerleme hızı, telin ertilmesine yetecek hızda olmalıdır. Alevle tel püskürtme tekniği, alevle toz püskürtme tekniğine göre daha ekonomiktir. Ancak kaplama malzemesinin tel olarak üretilebilmesi dezavantajıdır [22]. Şekil 2.3 'de tel/çubuk alev püskürtme yönteminin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 2.3 Tel/çubuk alev püskürtme tekniği [22].

Toz püskürtme tekniğinde ise toz formundaki metal alaşımları vakum yardımı ile oksijen alev içerisinde beslenir. Ergiyen metaller iş parçası yüzeyine taşıyıcı gaz yardımıyla taşınmaktadır. Alevle toz püskürtme tekniği soğuk ve sıcak olmak üzere iki şekilde yapılır. Soğuk püskürtme tekniğinde kaplanacak malzeme sıcaklığı 200°C ' yi geçmez. Bu nedenle malzemede metalurjik dönüşümlere sebep olmaz. Bağlanma türü mekanik tutunmadır. Sıcak toz püskürtme tekniğinde ise parçaya 300°C 'yi bulan ön tav uygulanır. Metal tozları yüzeye püskürtüldükten sonra tekrar ısı uygulanarak ergitme difüzyon yolu ile kaplanacak malzemeye bağlanma sağlanır [8,23].

Alevle toz püskürtme tekniği, kullanılacak malzeme tipinin geniş olması açısından önemlidir. Tozların beslendiği taşıyıcı gaz oksijendir. Bunun yanında yanma bölgesine tozun beslenme oranı çok önemlidir. Toz besleme oranı çok düşük ise tozun buharlaşması sonucunda işlem maliyeti artacak ve yüzey kalitesi bozulacaktır. Toz besleme oranının yüksek olması durumunda ise tozlar tamamen erimeyecek ve bu durum kaplama içerisinde erimemiş taneciklerin artışına yol açarak çökeltme verimini düşürecektir. Bunun yanında düşük yapışma mukavemeti, yüksek gözeneklilik ve düşük çalışma sıcaklığı sistemin dezavantajlarıdır [22]. Şekil 2.4 ' de alevle toz püskürtme yönteminin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 2.4 Alevle toz püskürtme sistemi [23].

Püskürtme malzemesi olarak tel ve tozun yanı sıra çubuklarda kullanılmaktadır. Bu sistemde yanıcı ve yakıcı gaz karışımı dairesel olarak çubuğun etrafına etki eder. Çubuğun hızı otomatik olarak ayarlanır. Sistem olarak çubuklu alev püskürtme yöntemi tüm çubuğun ergiyerek ziyan olmaması açısından toz püskürtme yönteminden üstündür. Fakat her püskürtme malzemesinin çubuk formunda elde edilememe dezavantajı da vardır [23].

Tel, toz veya çubuk olsun alevle püskürtme tekniği düşük sermayeli yatırım, yüksek çökeltme oranı ve verimliliği, kullanım kolaylığı ve düşük bakım maliyeti ile karakterize edilir [23].

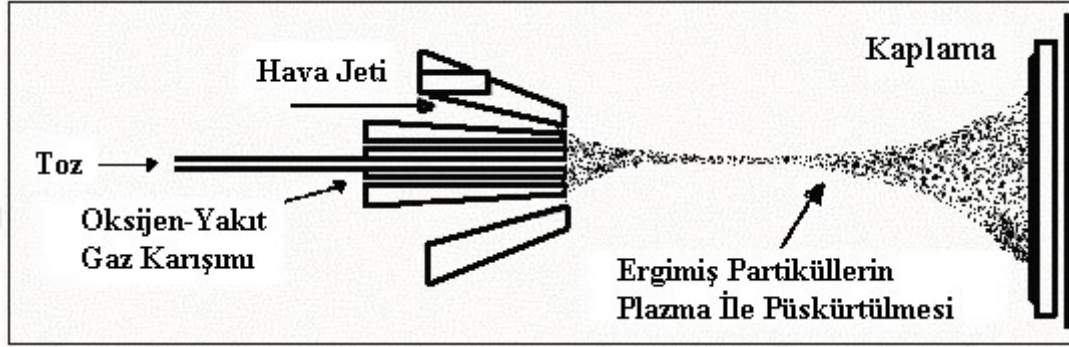
2.3.2 Plazma püskürtme tekniği

Kaplama malzemesinin plazma gazı içerisinde geçirilerek erimiş halde kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmesi “Plazma Püskürtme Tekniği” adını alır [24].

Plazma püskürtme tekniğinde elektrotlar arasında oluşturulan ark içerisinde inert bir gaza enerji depolanır. Primer ark gazı genellikle argon veya nitrojendir. Tabancadaki odacığa gelen yüksek frekanstaki elektrik akımıyla iyonize olur. Plazma 2000A’ lik doğru akım ve 30 ile 80V arasındaki doğru akım potansiyelleri iletebilir. Standart plazma tabancaları 40kW değerlerine kadar ulaşmaktadır [24].

Püskürtülen malzemenin bileşeni, kaplama şartları ve sıcaklığa bağlı olarak farklı mekanik, fiziksel veya kimyasal kaplama özellikleri elde edilebilir [25].

Şekil 2.5' de görüldüğü gibi oluşturulan plazmaya karıştırılan seramik toz, ergiyerek kaplanacak yüzeye yüksek bir hızla püskürtülmektedir [24].



Şekil 2.5 Plazma toz püskürtme sistemi [24].

Plazma püskürtme tekniğinde argon, hidrojen veya azot gibi soygazlar kullanıldığından kaplanacak malzemenin oksitlenme sorunu asgariye inmektedir. Plazma püskürtme yöntemi ile yapılan kaplamalar diğer yöntemlere kıyasla pahalıdır. Bu nedenle, diğer yöntemlerin uygulanmasının mümkün olmadığı veya kaplama özelliklerinin diğer yöntemlerle sağlanamadığı hallerde kullanılması daha uygundur [24].

Plazma püskürtme yönteminin en önemli avantajı, yüksek plazma sıcaklığı sayesinde ergime sıcaklığı çok yüksek olan malzemelerin kaplamada kullanılmasına imkan verir.

2.3.3 Fiziksel buhar çöktürme (PVD) tekniği

Fiziksel buhar çöktürme işlemi vakum altında gerçekleştirilen ve fiziksel olarak buharlaştırılan malzemenin kaplanacak metal yüzeyinde biriktirilmesi esasına dayanan bir ince film kaplama tekniğidir. Kaplama malzemesi, ısı enerjisi veya iyon bombardımanı ile buharlaştırılır. Kaplama sırasında sisteme reaktif gazların verilmesi ile (oksijen, azot, metan gibi) seramik ince film katmanlarının da (Ti, Zr, Cr, Al, Hf-nitrür, karbür, oksit gibi) kaplanması mümkün olmaktadır. Fiziksel buhar çöktürme belli başlı üç tekniği kapsamaktadır. Buharlaştırma, sıçratma ve iyon kaplamadır. PVD tekniğinde sert ince film tekniği denenmesinin nedeni kaplama tabaka kalınlığının 1–5 µm arasında yapılması ve bu kalınlıklarda

tabakaların bazı fiziksel özelliklerinin kaplanacak malzemenin fiziksel özelliklerini almasıdır. Örneğin kaplama malzemesinin ısıl genleşme katsayısı kaplanan çeliğin ısıl genleşme katsayısını almaktadır.

PVD tekniği ile TiN (titanyum nitrür), TiO₂ (titanyum oksit), ZrN (zirkonyum nitrür), ZrC (zirkonyum karbür), CrN (krom nitrür), CrC (krom karbür), AlN (alüminyum nitrür), Al₂O₃ (alüminyum oksit) gibi kaplamalar yapılabilmektedir [24].

2.3.4 Kimyasal buhar çöktürme (CVD) tekniği

Kimyasal buhar çöktürme tekniği gaz karbürizasyonuna ve karbonitrürasyona benzer. Bu teknikte buhar fazında kararlı katı reaksiyon ürünleri kimyasal çözünme veya kimyasal reaksiyonla kaplanacak malzeme üzerinde çekirdeklenir ve gelişir. Reaksiyon ve reaksiyon ürünlerinin birçoğu 700–1200 °C gibi yüksek (PVD ye göre) sıcaklıklarda gerçekleşir. Şekilde kimyasal reaksiyon ve çekirdeklenme görülmektedir.

CVD yönteminin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

1. Kaplama malzemelerinin çökeltmesi ergime sıcaklıklarının çok altındaki sıcaklıklarda yapılır.
2. Çökeltinin yoğunluğu teoriğe yakın veya kontrollüdür.
3. Çökeltinin tane oryantasyonu istenen seviyededir.
4. Çökeltinin tane boyutu kontrollüdür.
5. Girintili çıkıntılı parçalar üzerine çökeltme için en uygun yöntemdir.
6. Atmosferik basınçta işlemler uygundur.
7. Genellikle bağlanma iyidir.

CVD tekniğiyle TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃, Cr₇C₃ gibi kaplamalar 1–10 mikrometre kaplama kalınlıkları en uygun olanlarıdır. Bu yöntemde tek kademeli kaplama yapılabileceği gibi kullanım yerlerine göre çok kademeli kaplamalarda yapılabilmektedir [24].

2.3.5 Detonasyon tabancası tekniği

Mükemmel yoğunluk, sertlik ve yapışma mukavemetine sahip kaplamaların elde edilebileceği kaplama tekniğidir. Bu sistemde yanıcı gaz, taşıyıcı gaz ve oksijen bir yanma odasında elektrik kıvılcımı ile ani bir patlama sağlar, toz halindeki kaplama malzemesi kamara

içerisinde ergitilir ve hızla kamaradan dışarı püskürtülür. Bütün olaylar kamara içerisinde gerçekleşir. Bu tekniğin dezavantajları, düşük işlem hızları ve yüksek maliyetlidir [24].

2.3.6 Kaplama işlemi için ön hazırlık çalışması

2.3.6.1 Yüzey hazırlama

Yüzey hazırlama, kaplama yönteminin en çok dikkat edilmesi gereken kademelerinden birisidir. Kaplamanın ana malzemeye gerektiği gibi bağlanması, ancak kaplanacak yüzeyin iyi bir şekilde hazırlanmasıyla mümkündür. Kaplamalarda, mekanik bağlanma yanında; partiküllerin ana malzeme ile mikrokaynaması ve kimyasal bağ oluşumu gibi diğer bağlanma mekanizmaları da mevcuttur. Bütün bu bağlanma mekanizmaları, temas alanının artırılması ve yüzeyin aktivasyonunu gerektirir. Güçlü bir kaplama-ana malzeme bağı oluşturmak için gerekli şartlar; yüzey üzerindeki nem, yağ ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesiyle sağlanabilir.

2.3.6.2 Kimyasal temizleme

Üretimleri ve kullanımları sonucu yüzeylerinde yağ ve gres bulunan makine parçalarının kaplanmasında birçok problemle karşılaşılır. Kaplama yüzeyi, yağ, pas ve kirden çok iyi bir şekilde temizlenmiş olmalıdır. Yağların ortamdaki uzaklaştırılması için kimyasal çözücüler (alkol) kullanılmalı veya ısıtma işlemiyle yüzeydeki yağlar yakılmalıdır.

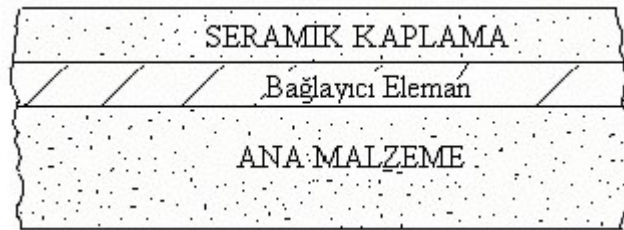
2.3.6.3 Abrasiv temizleme (Kumlama)

Üzerinde mevcut olan yağ, gres ve paslardan temizlenmiş ana malzeme yüzeyleri, SiC, Al₂O₃ veya kuvars kumu gibi aşındırıcılar kullanılarak pürüzlendirilir. Bu işleme kumlama (grit-blasting) adı verilir. Kumlama için kullanılan havanın ve kumlama malzemesinin kuru olması gerekmektedir. Ayrıca kumlama malzemesinin daha önceden kullanılmamış olması, yağsız ve temiz olması önemlidir. Arzu edilen yüzey pürüzlülüğüne, keskin köşeli kumlama malzemeleriyle ulaşılmaktadır. Kumlanmış ana malzemenin yüzey topografyası pürüzsüz dalgalı olmamalı, keskin değişimli (pikli) olmalıdır. Diğer taraftan aşırı kumlama, piklerin körleşmesine ve yüzeyde kum artıklarının kalmasına neden olmaktadır. Kumlama sonucu elde edilen pürüzlülük değerleri, aşındırıcının tane boyutuna, kumlama basıncına ve ana malzemenin sertliğine bağlıdır [22].

2.3.6.4 Ara tabaka uygulaması

Yüzeyleri hazırlanmış metalik ana malzemelerin üzerine özel bazı malzemelerin aratabaka olarak kaplanmasıyla, daha sonra yapılacak seramik kaplama için uygun bir zemin hazırlanmış olur. Aratabakanın temel özelliği, ana malzemeye çok iyi bir şekilde bağlanmalarıdır. İyi bağlanma özelliklerinin yanında aratabakalar ana malzeme ile kaplama arasındaki termal genişleme farklılıklarını azaltmak; ana malzemeyi korozyondan, gaz oluşumundan ve yüksek sıcaklık etkilerinden korumak amacıyla kullanılabilir.

Termal sprey kaplamalar için geliştirilen bağ tabakası genellikle MCrAlY alaşımları olup, burada M: Fe, Ni, Co veya bunların bileşimlerini ifade eder. Fe, Ni ve Co kendi oksitlerinden indirgenerek kolaylıkla elde edilebildikleri gibi aynı zamanda kolaylıkla oksitlenebilirler. Kullanımda bu elementlerden en çok tercih edileni, ana malzeme-seramik arasında kuvvetli bir bağ oluşturduğu ve kobalttan daha sünek olduğu için Ni ve alaşımlarıdır. Alaşımlama elementleri olarak ise Al ve Cr kullanılır. Şekil 2.6' daki gibi ara bağlayıcı katman kullanılmaması durumunda seramik kaplamanın ana malzemeye yapışması tam olarak gerçekleşmeyecektir [23,26].



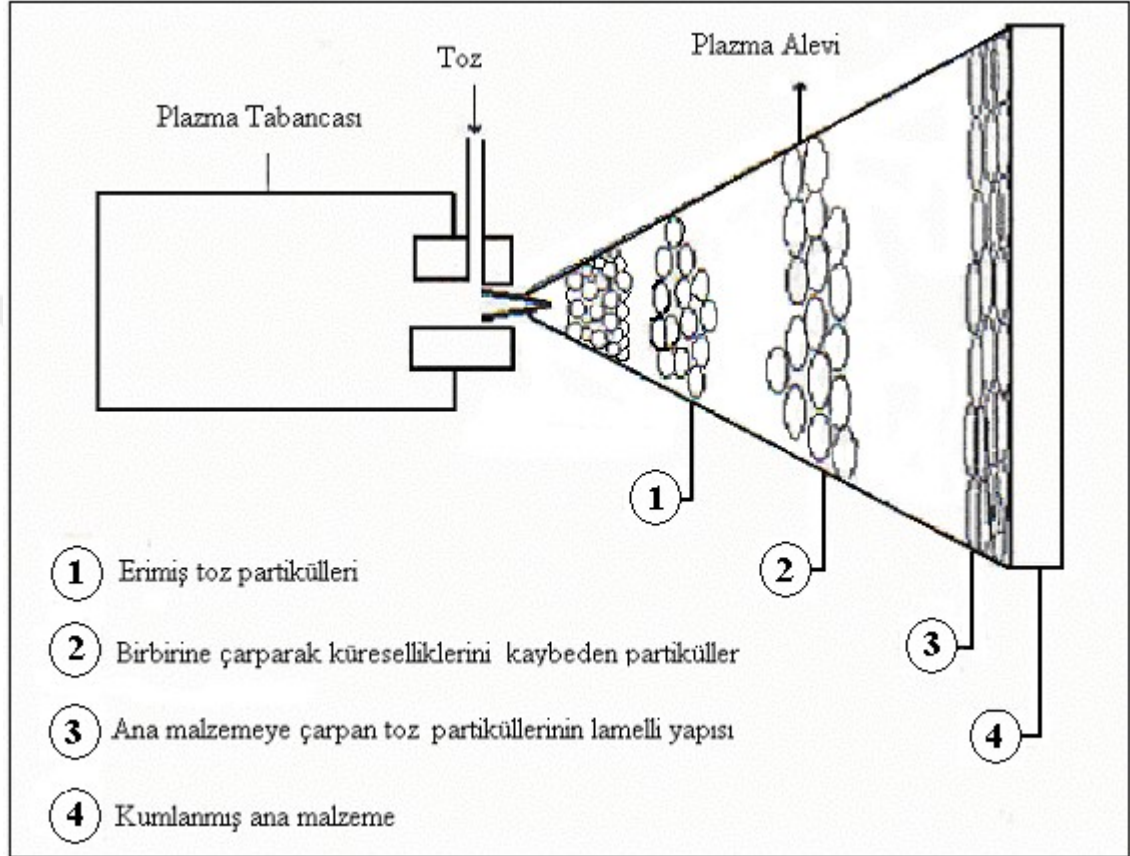
Şekil 2.6 Ara tabakanın uygulanması [23].

2.3.6.5 Kaplama işlemi ve kaplama tabakalarının oluşumu

Yüzeyi hazırlanmış parçalar, aleve dik olarak yerleştirilir ve sabitlenir. Yoğun ve iyi kaplamalar elde etmek için, püskürtülen partiküllerin kaplanacak malzemeye dik olarak çarpması gerekmektedir [22].

Ergimiş partiküller ana malzeme yüzeyine çarptığı zaman, kinetik enerjileri ısı ve deformasyon enerjisine dönüşür. Partiküller ana malzeme ile temas ettiklerinde, ısılarını yüzeye aktarır hızla soğur ve katılırlar. Küresel şekle sahip olan ergimiş partiküller, ana malzeme yüzeyine çarptıklarında ısı ve kinetik enerjilerini kaybederek deforme olurlar ve lamelli şekilde

katılaşırlar. Bu durum Şekil 2.7' de şematik olarak gösterilmiştir. Deformasyon miktarı ve dolayısıyla lamellerin şekli, erimiş partiküllerin vizkozitesi ve ıslatılabilirliği, partikül granülitesi ve ana malzeme yüzeyinin karakteri gibi faktörlere bağlıdır [22].



Şekil 2.7 Partiküllerinin deformasyonu ve ana malzemeye bağlanması [22].

2.4 Isıl Püskürtme Yönteminin Uygulama Alanları

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan ısıl püskürtme yöntemleri olarak alevle toz ve tel püskürtme, elektrik arkı ile sprej, detonasyon tabancası tekniği, yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme sayılabilir. Isıl püskürtme kaplama teknolojisi, başta uçak ve uzay sanayi ile otomotiv sektörü olmak üzere tekstil, kağıt ve madencilik endüstrisinde, tıbbi uygulamalarda ve malzeme bilimi ile metalurjide kullanılmaktadır. Tablo 2.1' de ısıl püskürtme yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanları karşılaştırılmalı olarak verilmektedir [22].

Tablo 2.1 Isıl püskürtme yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanları [22]

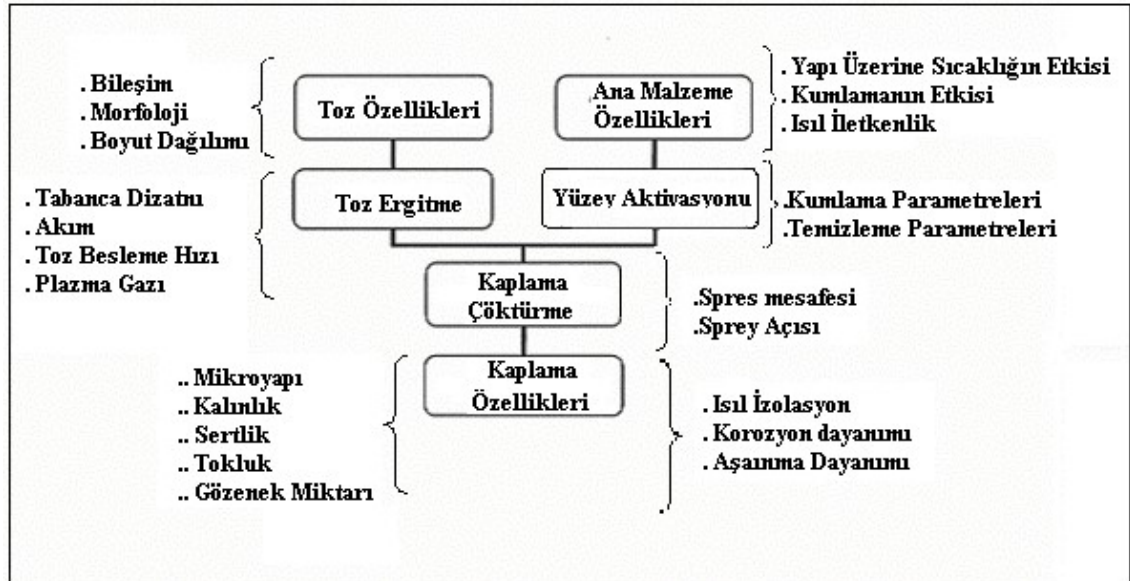
YÖNTEM	KAPLAMA MALZEMELERİ	UYGULAMA ALANLARI
Alevle toz püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Ni-Cr alaşımları, bronzlar, Co alaşımı	Otomotiv: Rulman yatakları, mil muyluları, kompresör pistonları, kam milleri, burç ve kovanlar, hidrolik silindir pistonları
Alevle tel püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al ve bronz alaşımları	Otomotiv: Hidrolik piston mili ve muyluları, kompresör pistonları, piston segmanları
Elektrik arkı ile püskürtme	Paslanmaz çelik, normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al ve bronz alaşımları	Otomotiv: Krank mili, debriyaj baskı plakası, yatak ve şaft aşınma yüzeyleri Kağıt sanayi: Kurutma silindirleri Matbaa sanayi: Bakır ve paslanmaz çelik, mürekkep merdaneleri, kağıt tutucu tırnaklar Demir Çelik: Silindir ve rulolar
Detonasyon Tabancası	NiCrMo ve NiCr, CoCr, Al ₂ O ₃ , WC-Co ve Al ₂ O ₃ -TiO ₂	Uçak sanayi: Gaz türbini motor parçaları Otomotiv: Yataklar Tekstil: Tekstil makine parçaları Matbaa: Merdaneler
HVOF	WC, Cr ₃ C ₂ , NiCrAl, Paslanmaz çelik ve süper alaşımlar	Uçak Sanayi: Türbin kanatları Kağıt: Sıyırıcı bıçaklar Tekstil: Polimer bıçakları Petrokimya: Salmastra burçları, piston rotları, sürgülü vanalar
Plazma Püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Seramikler (Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ -Cr ₂ O ₃) Karbürler (WC-Co, Cr ₃ C ₂ -NiCr) Sermetler ve süper alaşımlar	Uçak Sanayi: Yanma odası, türbin kanatları Kağıt: Kurutma silindirleri, salmastra burçları Otomotiv: Yanma odası parçaları Tekstil: Mekikler, iplik kılavuzları

3. KAPLAMA KALİTESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Kaplama parametreleri, kaplamadaki kalıntı gerilmelere, gözenek miktarına ve dağılımına, kaplamanın kalınlığına, sertliğine, oksit içeriğine ve kaplamanın yapışma mukavemetine etki eder [22].

Şekil 3.1’de kaplamaların mikroyapısını ve özelliklerini etkileyen kaplama parametreleri verilmiştir. Sprey mesafesi, tabancanın gücü, kaplanacak malzemenin beslenme hızı, ana malzemenin yüzey sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü, kumlama basıncı ve süresi gibi parametreler kaplamanın gözenek, sertlik gibi özelliklerini etkilemektedir [10,12].

Kaplama işleminde kullanılacak olan malzemelerin püskürtme parametreleri, üretici firma tarafından belirlenmiş olan parametrelere uygun seçilir.

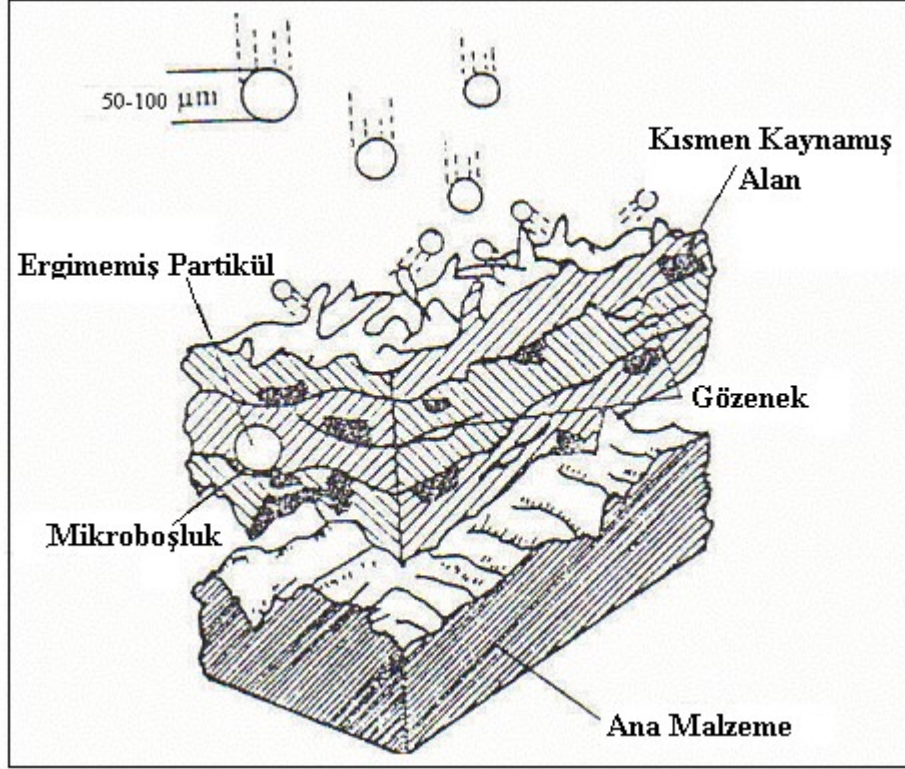


Şekil 3.1 Kaplamaların özelliklerini etkileyen temel parametreler [27].

3.1 Kaplamanın Yapısı

Püskürtme esnasında eriyen partiküller yüzey gerilmelerinin sonucu olarak küresel şekilde elde edilir [10]. Püskürtülen malzemelerin erimiş partikülleri, sıvı damlacıkları halinde ana malzeme yüzeyine çarptıktan sonra katılarak yassı veya lamelli yapılar oluşturmaktadır [13,22].

Şekil 3.2' de gösterildiği gibi bir kaplama tabakasında işlem şartlarına bağlı olarak ergimemiş partiküller, mikroboşluklar, oksitler ve gözenek bulunabilir [11,13–14]. Özellikle gözenek ve ergimemiş partikül miktarı kullanılan tozların kalitesine bağlı olarak elde edilir [10].



Şekil 3.2 Tipik bir kaplamaya ait mikroyapının şematik gösterimi [23,28].

3.2 Gözeneklilik

Hem avantaj hem de dezavantaj olan gözeneklilik kaplamaların karakteristik özelliği ve yapısal göstergesidir. Ana malzemenin yüzey pürüzlülüğü, spray mesafesi, ana malzeme sıcaklığı ve kaplama kalınlığı gibi parametrelere bağlı olarak kaplama tabakasındaki gözenek miktarı % 20' lere kadar ulaşabilmektedir [10–11,14,29].

Yüksek gözenekli kaplamalar, uzun spray mesafesi ve iri taneli tozlar kullanılarak meydana gelir. Yüksek gözenek miktarı, ısı yalıtım ve filtrasyon gibi uygulamalar için arzu edilen bir durumdur [22].

Kaplamadaki gözenek miktarının artması kaplamanın elastik modülünü azaltır ve ısı direncini artırır. Bununla beraber korozif sıvının ve gazların kaplama ve ana malzemeye

sızması daha kolay olduğundan kaplamanın mekanik özellikleri düşecektir. Gözenek miktarı ısıtılışlara bağlı olarak kaplamada ısıtılış gerilmelerinin oluşmasına önemli derecede etki eder [29].

Sprey mesafesinin artması ve sistem enerjisinin azalmasıyla gözenek miktarı artarken kaplamanın kırılabilirliği de artar. Viskozitesi yüksek tozlar ve güçlü kaplama üniteleri kullanılarak daha yoğun bir kaplama tabakası elde edilebilir [11].

3.3 Yapışma Mukavemeti ve İç Gerilmeler

Yapışma mukavemeti, ana malzemeden bir birim kaplama alanının ayrılması veya koparılması için gerekli olan kuvvet olarak ifade edilmektedir [18]. Isıtılış püskürtme kaplamalarda kaplama malzemesinin ana malzeme üzerine yapışması, mekaniksel olarak (adhezyon) gerçekleşir. Metalik yüzeylerde iyi bir yapışma, kaplanacak yüzeyin temizliği ve pürüzlülük miktarı ile doğru orantılıdır [22].

Kaplama tabakasının yapışma mukavemeti;

- Kaplama malzemesine,
- Kaplama kalınlığına,
- Ana malzemeye,
- Kaplama öncesi yapılan yüzey hazırlama işlemine,
- Kaplama malzemesi ile ana metal arasındaki ısıtılış genleşme uyumuna bağlıdır [22].

Kaplama tabakalarının heterojen yapısı ve tam olarak kontrol edilemeyen parametreler (sıcaklık, nem vb.) ile kaplama tabakası ve ana malzeme arasındaki termal genleşme farklılıkları, tozların farklı ergime sıcaklıkları nedeniyle kaplama tabakasının çatlamasına veya ana malzemeden ayrılmasına yol açan basma ve çekme iç gerilmeleri meydana gelir. Ayrıca kaplama tabakasını meydana getiren partiküllerin çok hızlı soğumasıyla oluşan iç gerilmeler de kaplamada çatlak başlangıcına neden olabilir. Kaplama işlemi öncesinde kaplama uygulanacak yüzeylerin bir ön ısıtmaya tabi tutulması tabakada meydana gelecek iç gerilmeleri azaltır [30].

3.4 Kaplama Kalınlığı ve Mukavemet

Kaplamaların mukavemetine etki eden en önemli faktörlerden biriside kaplama kalınlığıdır. Kaplama tabakalarının kalınlığı genellikle 500µm altında olmakla birlikte çok katmanlı kaplamalarda bu kalınlık 2.5mm' ye kadar çıkabilmektedir. Artan kaplama kalınlığı ile tabakalardaki iç gerilmeler artış gösterir. Tabaka içerisindeki gerilim artışı kaplamanın ana

malzemeden kopmasını teşvik etmektedir. Kaplamaların mukavemeti artan kaplama kalınlığı ile azalır.

Kaplamanın mukavemetine etki eden diğer bir faktörde kaplamanın elastisite modülüdür. Elastisite modülü arttığında kaplamanın gözenek miktarı arttığından dolayı, sertlik ve mukavemet düşer.

3.5 Sertlik

Kaplamaların sertliği, kullanılan kaplama malzemesinin cinsine, kaplama yapısındaki gözenek miktarına ve tabakanın heterojen yapısına bağlıdır. Kaplamaların sertliği, kaplama kalınlığının artması sonucu artan gözenek miktarı sebebiyle azalır [11,22].

3.6 Isıl Genleşme

Değişen sıcaklıklarla birlikte ana malzeme ile kaplama arasında büyük ısıl uyumsuzluklar oluşabilir. Bu ısıl uyumsuzluklar çatlakların oluşumu veya damlacıkların yüzeye yayılması sonucu geniş/büyük ısıl gerilmelere neden olur [20]. Sıcaklığın değişmesiyle, ısıl gerilmeler, farklı iki malzeme arasındaki ısıl genleşme ile doğrudan ilişkilidir [29].

Genellikle metalik ana malzemenin termal genleşme katsayısı, seramik kaplamanın termal genleşme katsayısından daha büyüktür. Termal genleşme katsayıları arasındaki fark ne kadar küçükse, kaplama-ana malzeme uyumu o derece iyi olmaktadır.

Kaplamaların kullanım potansiyelini azaltan bu tip termal uyumsuzluklar, ara tabaka uygulaması veya çok katmanlı kaplamalar oluşturulmasıyla giderilebilir.

3.7 Ana Malzeme Sıcaklığı

Ana malzeme sıcaklığı, kaplama süresince partiküllerin ana malzemeye çarpmasını, sertliği, gözeneklilik miktarını ve artık gerilmeleri etkiler [20].

Ana malzeme sıcaklığı aynı zamanda kaplamanın sertliğini de etkiler. Yüksek ana malzeme sıcaklığında, düşük ana malzeme sıcaklığına göre daha yoğun kaplamalar elde edilir ve kaplamanın sertliği artar [11,20].

3.8 Sprey Mesafesi

Kaplamanın sertliği, gözenek miktarı ve yüzey pürüzlülüğü, sprej mesafesinin uzun veya kısa olmasına bağlıdır. Genelde partiküller, ergimesi için gerekli olan sıcaklığa 11.5–12.5cm sprej mesafesinde, düşük akış hızı oranı ile ulaşırlar. 12.5cm sprej mesafesi 10cm sprej mesafesinden daha fazla ergime meydana getirmektedir. Kısa ve uzun sprej mesafesinde, partiküller ergimeden veya kısmen ergimiş olarak kalacak ve kaplamanın yüzey pürüzlülüğü ve gözenekliliği artacaktır [11].

3.9 Yüzey Pürüzlülüğü

Ana malzeme yüzey pürüzlülüğü sprej kaplamalarda yapışma dayanımını etkileyen en önemli faktördür [18].

Yüzey pürüzlülüğünün artması kaplamanın açık gözenekliliğini ve dolayısıyla korozyon dayanımını etkileyecektir. Kaplama üzerindeki bölgesel farklılıklar çeşitli zımparalama kademeleri ile giderilerek korozyona dirençli yüzeyler elde edilebilir [22].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Alevle püskürtme yönteminde kaplamaların mikroyapısını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Sprey mesafesi, ana malzeme yüzey pürüzlülüğü, ana malzeme sıcaklığı, kaplama kalınlığı gibi parametreler kaplamanın sertliğini, gözenek miktarını, yüzey pürüzlülüğünü ve kaplamanın ara tabaka ile yapışma dayanımını etkilemektedir.

Bu çalışmada, yüzeyleri 4 ve 7 bar kumlama basınçları ile pürüzlendirilen AlMg3 alaşımı üzerine, NiCr astar uygulanmıştır. NiCr kaplanmış numunelere aşınma ve korozyon direncini artırmak amacıyla Al₂O₃ ve Cr₂O₃ seramikleri [20], farklı kaplama parametreleri (10, 12 ve 15cm sprej mesafesi ve 100, 200 ve 300µm kaplama kalınlığı) kullanılarak alevle püskürtme yöntemi ile kaplanmıştır. Optimum değerlerin hangi şartlar altında elde edilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2 Kullanılan Deneysel Malzemeleri

4.2.1 Ana malzeme

Deneysel çalışmalarda ana malzeme olarak, 10 x 20 x 20mm boyutlarında kalıp malzemesi, depo tankları ve basınçlı kap yapımında kullanılan AlMg3 (Etial 53) alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan ana malzemenin % ağırlık olarak kimyasal bileşimi Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimi (% ağı.)

Cu	Mg	Zn	Cr	Mn	Fe	Si	Ti	Al
0,1	3,1–3,9	0,2	0,15–0,35	0,1	0,4	0,25	0,2	Kalan

4.2.2 Kaplama malzemeleri

Deneylerde ana malzeme ile kaplama malzemesi arasındaki termal uyumsuzlukları ortadan kaldırmak için ara bağlayıcı olarak NiCr alaşımı, kaplama malzemeleri olarak ise Al₂O₃ ve Cr₂O₃ telleri kullanılmıştır. Kullanılan kaplama malzemelerinin % ağırlık olarak kimyasal bileşimleri Tablo 4.2' de, bazı fiziksel özellikleri ise Tablo 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.2 % ağırlık olarak kaplama malzemelerinin kimyasal bileşimleri

	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiC ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	TiO ₂	CaO
Al ₂ O ₃	98.38	-	-	0.05	0.34	0.78	0.01	0.14
Cr ₂ O ₃	3.67	90,33	5.62	0.27	0.11	-	-	-

Tablo 4.3 Kaplama malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

KAPLAMA MALZEMELERİ	YOĞUNLUK (g / cm ³)	ERGİME SICAKLIKLARI (°C)	ELASTİK MODÜL (GPa)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	TERMAL GENLEŞME KATSAYISI
Al ₂ O ₃	3.2	2050	340	240	8
Cr ₂ O ₃	4.5	2300	--	325	9.6

4.3 Kaplama Numunelerinin Üretilmesi

4.3.1 Altlık malzemelerin hazırlanması

Alevle püskürtme kaplamalarda ana malzeme ile kaplama tabakası arasındaki bağlanma yoğunlukla mekanik karakterli olduğu için, kaplama öncesi ana malzemenin yüzeylerinin hazırlanması yani yüzeylerinin pürüzlendirilmesi önemli bir işlemdir. Bu amaçla yağ, pas ve kirden arındırılmış ana malzeme yüzeyleri 4 ve 7 bar basınç altında, kuvars aşındırıcı malzemesiyle pürüzlendirilmiştir. Şekil 4.1' de kumlama işlemi için kullanılan kumlama ünitesi verilmiştir. Püskürtme tabancasının ana malzeme yüzeyine 90°'lik bir açı altında tutulmasıyla maksimum yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir

**Şekil 4.1** Kumlama ünitesi

4.3.2 Alev püskürtme ile kaplama işlemi

Kaplama işlemleri, Köroğlu A.Ş. (Kütahya) işletmesinde manuel sprey sistemleri kullanılarak yapılmıştır. Kaplama süresince Şekil 4.2’de gösterilen Metco Thermo Spray 5P-II tipinde püskürtme tabancası kullanılmıştır. İşlem parametreleri üretici firma tavsiyelerine göre seçilmiş ve bu parametreler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Alevle püskürtme işlem parametreleri

İşlem Parametreleri	
Püskürtme başlığı	Metco Thermo Spray 5P-II
Püskürtme Mesafesi	10–12–15 cm
Püskürtme Oranı	2.5 g/sn
Oksijen Basıncı	2.35 atm
Asetilen Basıncı	2.35 atm
Kaplama Malzemesi	Al_2O_3 ve Cr_2O_3



Şekil 4.2 Alevle püskürtme tabancası

4.4 Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi

Alevle püskürtme yöntemiyle üretilen kaplamaların özelliklerini tespit etmek amacıyla;

- Işık mikroskobu çalışmaları,
- Sertlik deneyleri,
- Gözenek miktarı ölçümü,
- Yüzey pürüzlülüğü ölçümü işlemleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 Işık mikroskobu çalışmaları

Kaplanmış numunelere ışık mikroskobu çalışmaları için 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik SiC zımparalar kullanılarak zımpara işlemi uygulanmıştır. Zımparalamadan sonraki parlatma kademesinde ise, parlatma kumaşı olarak DP mikrokeçe ve parlatıcı olarak 1 μm 'lik elmas pasta kullanılmıştır. Kaplama numunelerin dağlanmasında Keller dağlayıcısı kullanılmış ve numuneler 5 dakika boyunca dağlanmıştır. Numunelerin metalografik incelemeleri, IMM 901 ışık mikroskobu yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

4.4.2 Kaplama kalınlığı ölçümü

Kaplanmış numunelerin kaplama kalınlıkları Şekil 4.3'de görülen cihazla belirlenmiştir. Kaplama kalınlıklarının tespitinde her bir numunenin 10 farklı bölgesinden yapılan ölçümlerin ortalama değerleri alınmış ve yaklaşık olarak 100, 200 ve 300 μm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3 Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı

4.4.3 Mikrosertlik deneyleri

Kaplamaların sertlikleri, Vickers sertlik ölçme yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçümler kaplama kesiti üzerinde HVS-1000 Digital Micro Hardness Tester cihazı ile HV100 (100g) yük altında gerçekleştirilmiş ve en az 5 farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalama değeri dikkate alınmıştır.

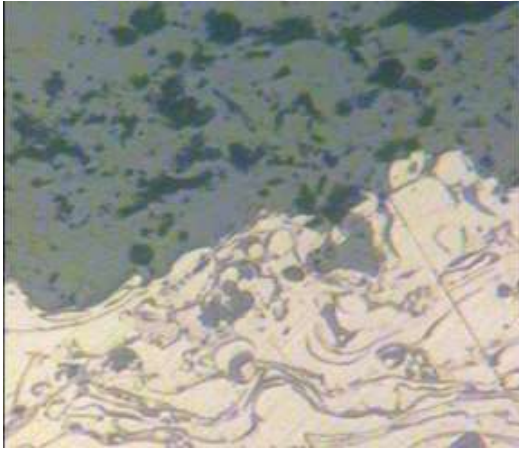
4.4.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Kaplamaların ve kullanılan ana malzemenin yüzey pürüzlülük değerleri (R_a), Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında, Perthometer M1P tipi cihaz kullanılarak μm cinsinden ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır.

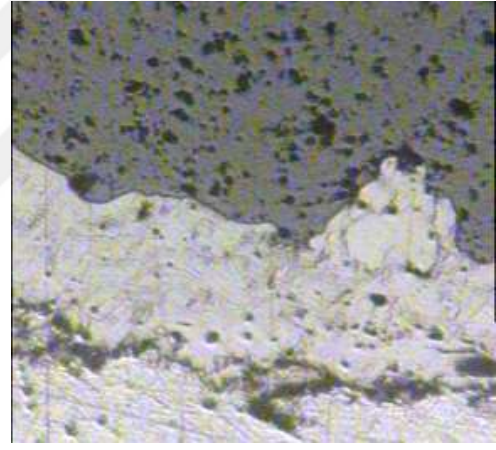
5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Kaplamaların Mikroyapısı

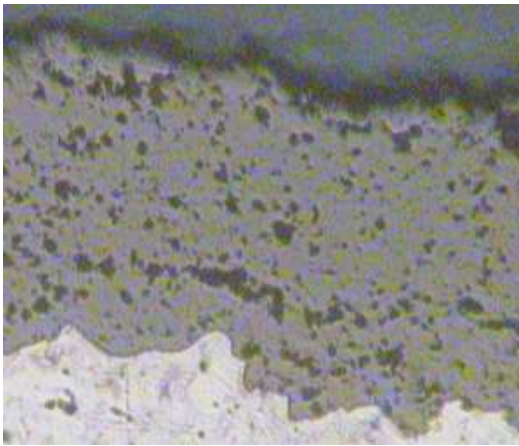
Bilindiği gibi kaplamalar lamelli yani katmanlı bir yapıya sahiptirler ve genellikle değişik oranlarda gözenek, ergimemiş partikül ve çatlak gibi kusurlar içerirler. Kaplamaların mikroyapı incelemelerinde, genel kaplama yapısı ile birlikte bu kusurların tespiti üzerinde durulmuştur. Şekil 5.1’de değişik büyütme oranlarında, farklı sprej mesafelerinde, 100 μ m ve 200 μ m kaplama kalınlığına sahip Al₂O₃ ve Cr₂O₃ kaplamalara ait kaplama-ana malzeme ara yüzlerini gösteren optik mikroyapılar verilmiştir. Homojen olarak dağılan gözenekler ile yoğun kaplamaların elde edildiği ve yapı içerisinde mikroçatlaklara rastlanmadığı görülmüştür.



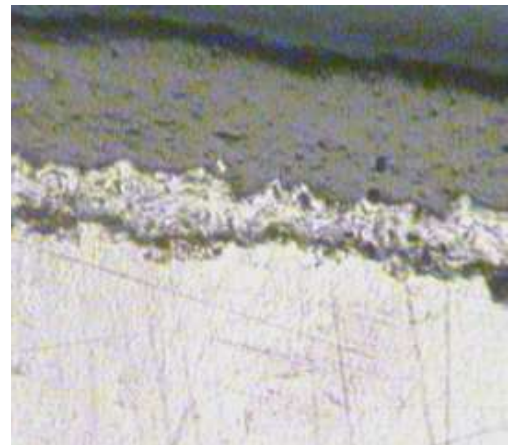
a)



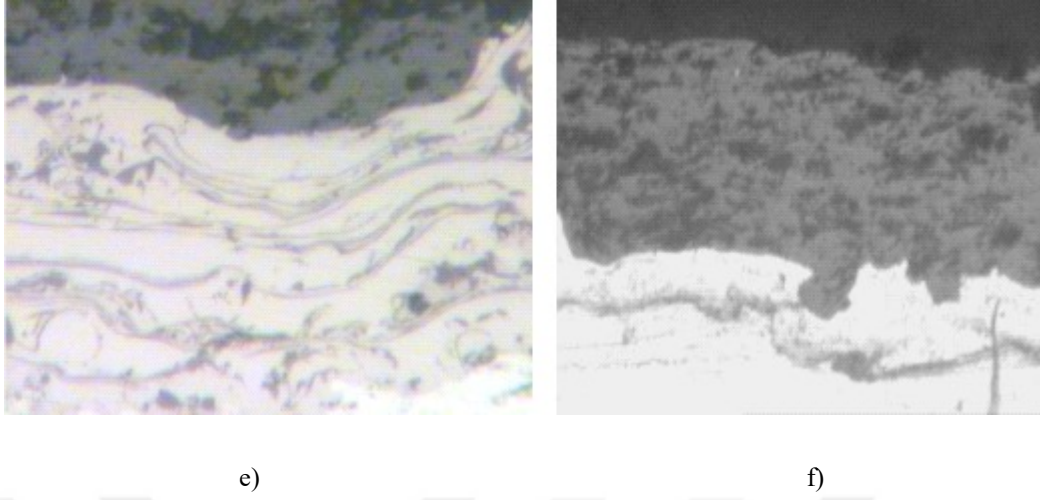
b)



c)

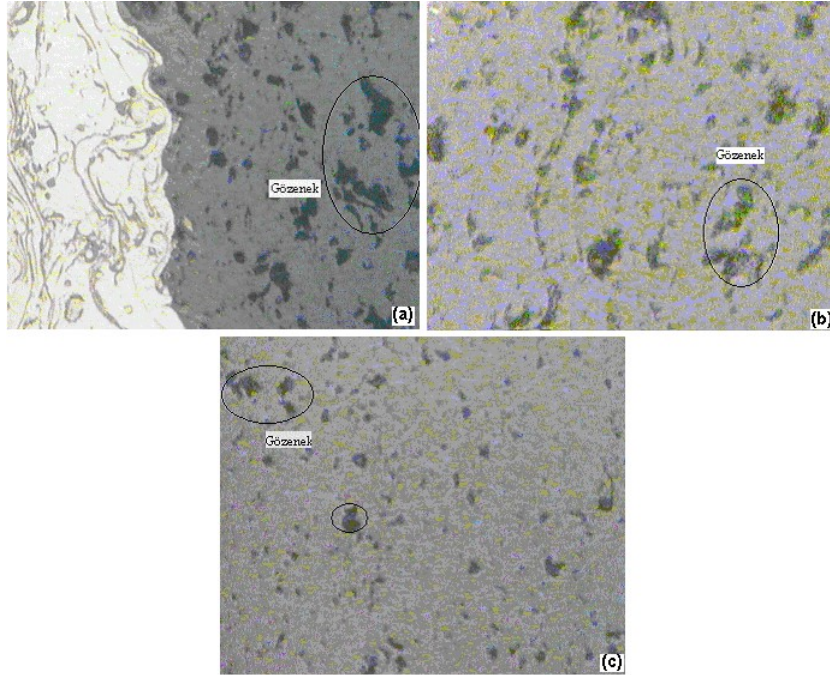


d)



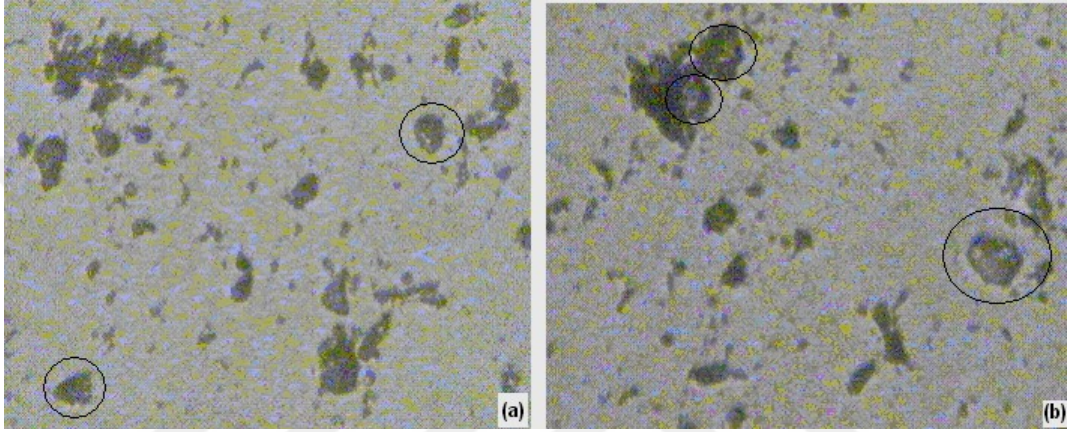
Şekil 5.1 Al_2O_3 ve Cr_2O_3 kaplamalara ait kaplama-ana malzeme ara yüzeylerini gösteren optik mikroyapılar. a) Cr_2O_3 -4 bar-12 cm-100 μm (x250), b) Cr_2O_3 -4 bar-12cm-100 μm (x250), c) Cr_2O_3 -4 bar-10cm-200 μm (x250), d) Cr_2O_3 -4 bar-10cm-200 μm (x40), e) Al_2O_3 -7 bar-15cm- (x250), f) Al_2O_3 -7 bar-12cm-(x100)

Gözenek, kaplamaların karakteristik özelliğidir. Kullanılan tel ve toz malzeme cinsine bağlı olarak kaplamalarda % 20'lere kadar gözenek bulunabilir [29]. Şekil 5.2'de 12cm spray mesafesinde, 100 μm , 200 μm ve 300 μm kaplama kalınlığındaki Cr_2O_3 kaplı numunelere ait mevcut gözenekleri (siyah bölgeler) gösteren optik mikroyapılar verilmiştir.



Şekil 5.2 12cm spray mesafesinde Cr_2O_3 kaplamalara ait mevcut gözenekleri gösteren optik mikroyapılar. a) Cr_2O_3 100 μm ,(x 400) b) Cr_2O_3 200 μm ,(x 400) c) Cr_2O_3 300 μm ,(x 400)

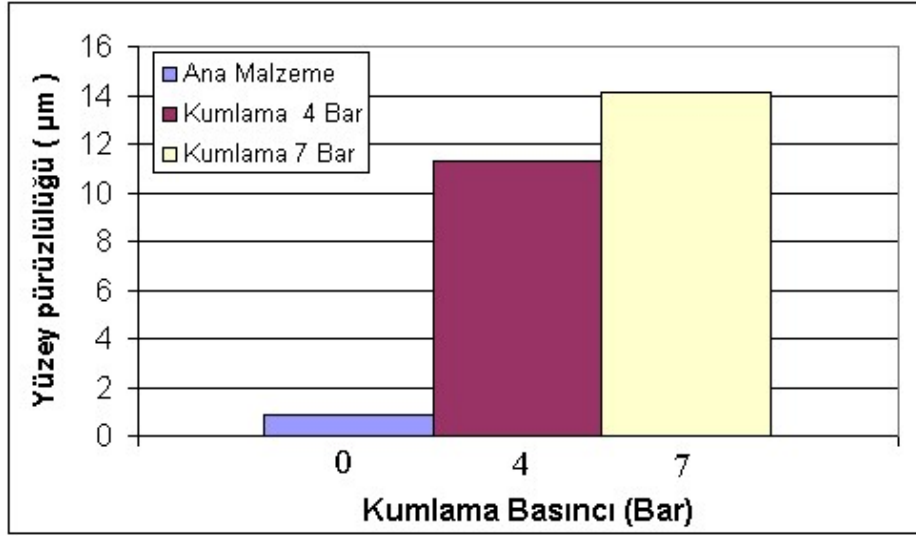
Kaplamalardaki mevcut diğ er bir mikroyapı bileş eni ise, ergimemiş partiküllerdir. Kaplama yapısında ergimemiş partikül bulunmasının temel nedenleri olarak spre y mesafesinin kısa veya uzun tutulması, to z boyutunun oldukça iri ve kullanılan sistemin malzemeyi tam olarak ergitmeye yetersiz olması sayılabilir. Ş ekil 5.3' de, 15cm spre y mesafesinde, 200µm ve 300µm kaplama kalınlıklarındaki Cr₂O₃ kaplama numunelerine ait, yuvarlak halde ergimemiş partikül iç eren mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Ş ekil 5.3 15cm spre y mesafesinde Cr₂O₃ kaplamalara ait ergimemiş partikülleri gösteren optik mikroyapılar. a) Cr₂O₃ 200 mikron, x 400, b) Cr₂O₃ 300 mikron, x 400

5.2 Ana Malzeme ve Ara bağ layıcı Yüzey Pürüzlülüğü

Ş ekil 5.4' de farklı kumlama basınçları ile yüzeyi pürü zlendirilen AlMg3 alaşımının yüzey pürü zlük değ erleri verilmiştir. Ana malzemenin (AlMg3) yüzey pürü zlüğü 0.871µm iken, 4 bar ve 7 bar ile yüzeyi pürü zlendirilen AlMg3 alaşımının yüzey pürü zlük değ erleri 11.31µm ve 14.14µm olarak belirlenmiştir.

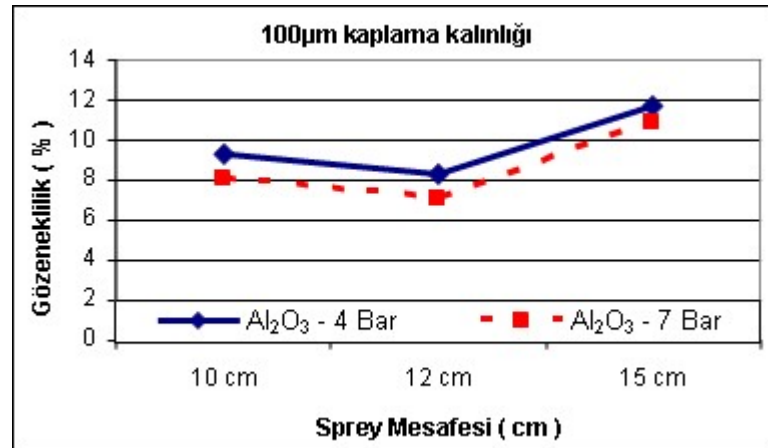


Şekil 5.4 Farklı kumlama basınçları ile yüzeyi pürüzlendirilen AlMg3 alaşımının yüzey pürüzlülük değerleri

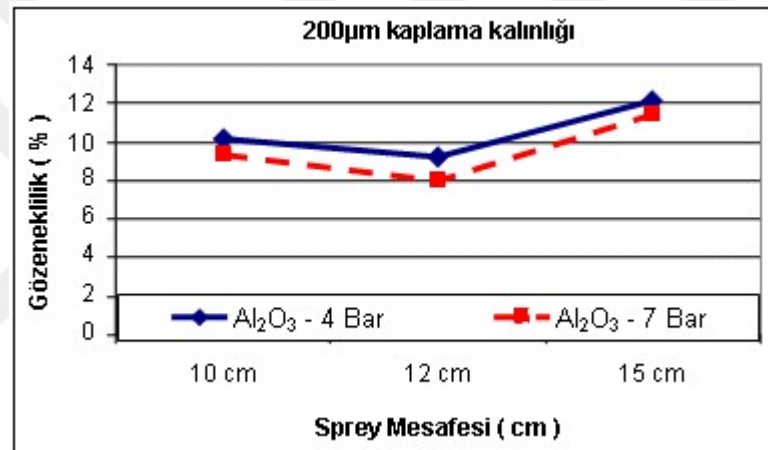
Numuneler kumlandıktan sonra, kaplama ve ana malzeme arasındaki ısıl gerilmeleri en aza indirmek ve kaplamanın ana malzemeye yapışmasını kolaylaştırmak amacıyla kumlanmış yüzeylere uygulanan NiCr ara bağlayıcıya ait yüzey pürüzlülük değerleri ise 9.251µm ve 10.832 µm olarak belirlenmiştir.

5.3 Kaplamaların Gözenek Miktarları

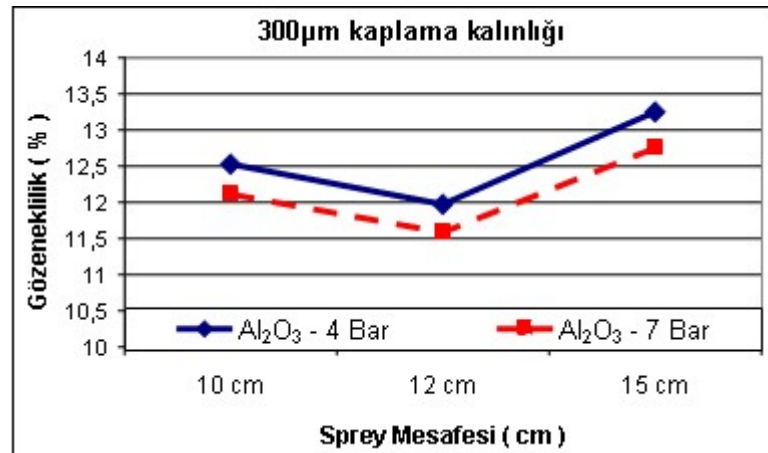
Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da, Al₂O₃ ve Cr₂O₃ kaplı numunelerin 100µm, 200µm ve 300µm kaplama kalınlıklarındaki % olarak gözeneklilik miktarları verilmiştir. Her iki kaplama malzemesi içinde 12cm sprej mesafesinde minimum gözeneklilik elde edilmiştir. Bunun sebebi partikül sıcaklığının belli bir sprej mesafesinden sonra azalmaya başlaması ve izoterm bozulmaların hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 12cm sprej mesafesi 10cm sprej mesafesinden daha fazla erime meydana getirmektedir. Kısa ve uzun sprej mesafesinde, partiküller ergimeden veya kısmen ergimiş olarak yapı içerisinde bulunduğundan kaplamanın gözenekliliği artmaktadır [11].



a)

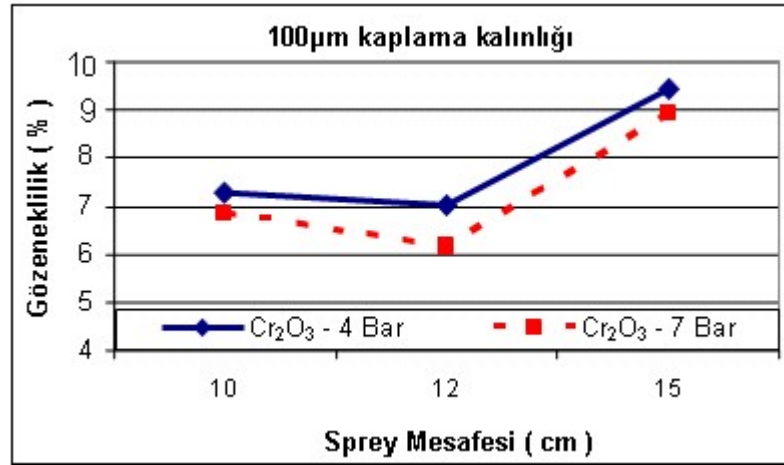


b)

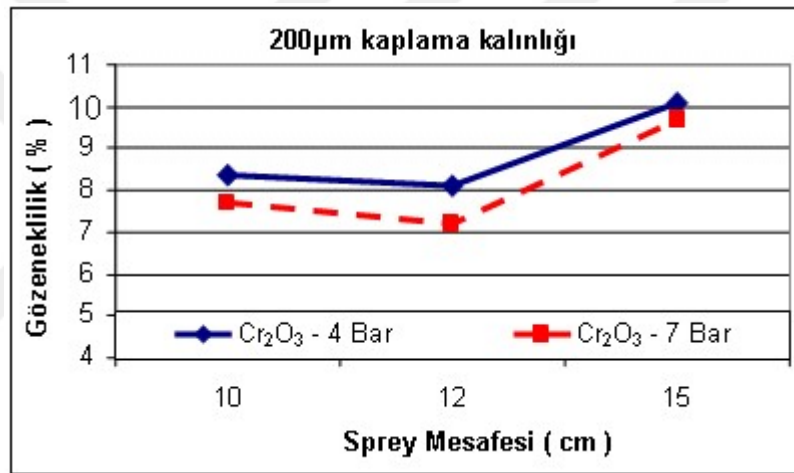


c)

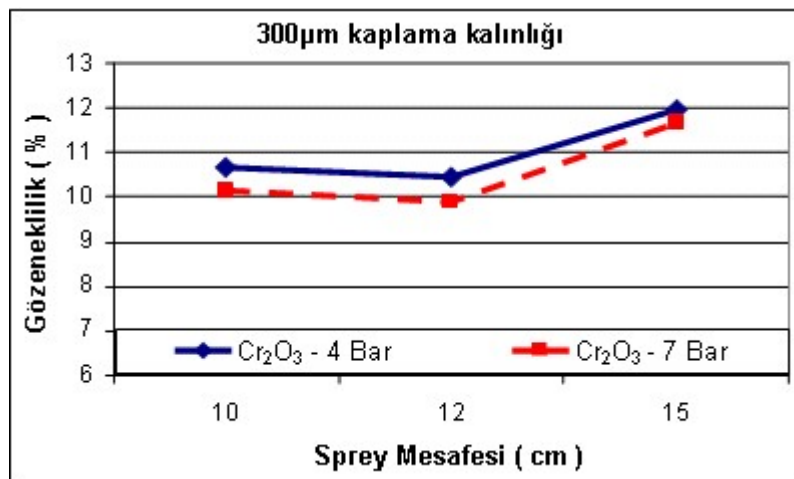
Şekil 5.5 Al₂O₃ kaplı numunelerde gözenek miktarının sprej mesafesi ile değişimi a) 100µm kaplama kalınlığı, b) 200µm kaplama kalınlığı, c) 300µm kaplama kalınlığı



a)



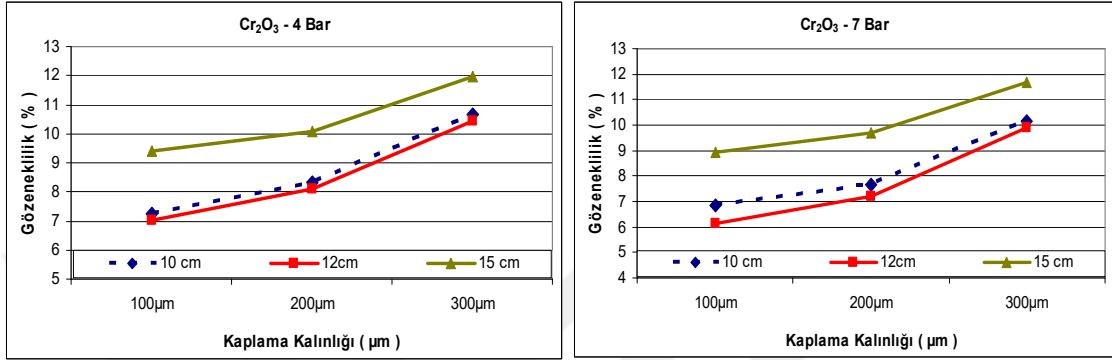
b)



c)

Şekil 5.6 Cr₂O₃ kaplı numunelerde gözenek miktarının sprej mesafesi ile değişimi, a) 100µm kaplama kalınlığı, b) 200µm kaplama kalınlığı, c) 300µm kaplama kalınlığı

Şekil 5.7 ve 5.8’ de ise % gözenek miktarının kaplama kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Her iki kaplama malzemesi içinde artan kaplama kalınlığı ile gözenek miktarını arttığı tespit edilmiştir. 10cm ve 12cm spray mesafelerinde birbirine yakın değerler elde edilirken 15cm spray mesafesinde daha yüksek değerler elde edilmiştir.

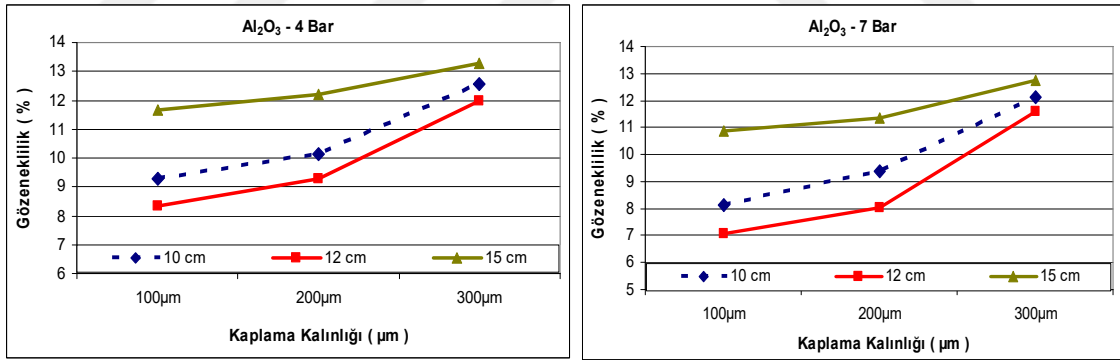


a)

b)

Şekil 5.7 Cr₂O₃ kaplı numunelerde % gözenek miktarının kaplama kalınlığı ile değişimi

a) Cr₂O₃ – 4 Bar, b) Cr₂O₃ – 7 Bar



a)

b)

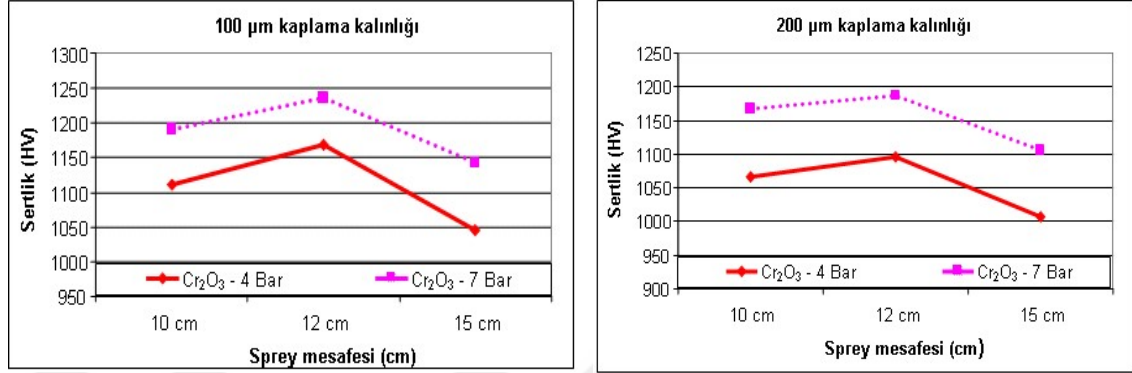
Şekil 5.8 Al₂O₃ kaplı numunelerde % gözenek miktarının kaplama kalınlığı ile değişimi

a) Al₂O₃ – 4 Bar, b) Al₂O₃ – 7 Bar

5.4 Kaplamaların Sertliği

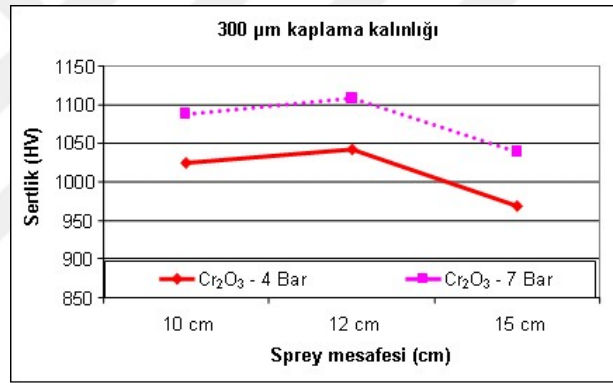
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da Al₂O₃ ve Cr₂O₃ kaplı numunelerin 100µm, 200µm ve 300µm kaplama kalınlıklarındaki kesitten ölçülmüş sertlik değerleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her üç kaplama kalınlığında 7 bar basınç ile yüzeyleri pürüzlendirilen numunelerin sertlik değerleri daha fazla elde edilmiştir. Yüzeyleri 7 bar basınç ile pürüzlendirilen numunelerde pürüzlülük değerleri 4 bara göre daha fazla olduğu için

püskürtülen kaplama partikülleri, pürüzlü yüzeylere daha fazla temas etmiş ve daha sıkı bir bağ oluşturmuştur. Bu da sertliğin artmasına sebep olmuştur.



a)

b)

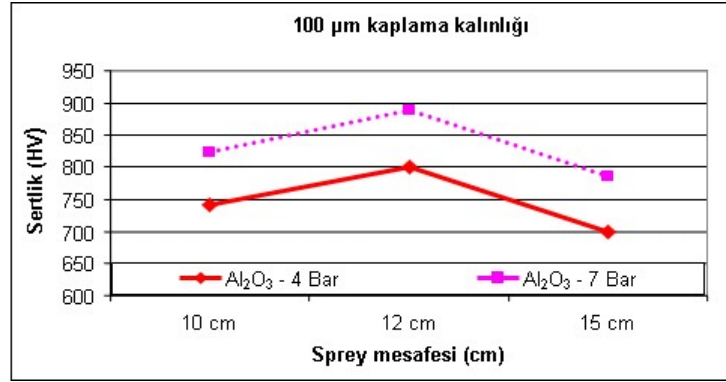


c)

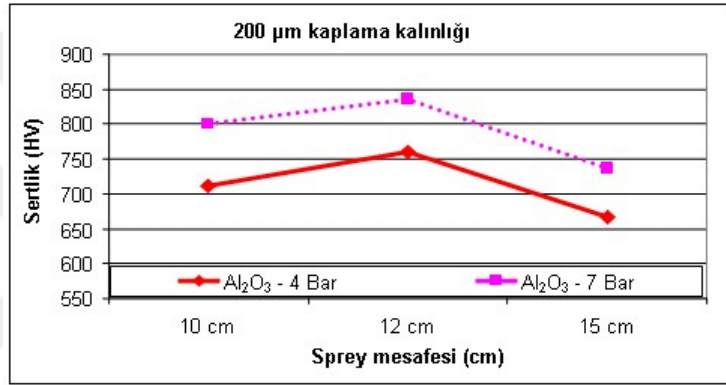
Şekil 5.9 Cr₂O₃ kaplı numunelerde sertliğin sprej mesafesi ile değişimi,

a) 100µm kaplama kalınlığı, b) 200µm kaplama kalınlığı, c) 300µm kaplama kalınlığı

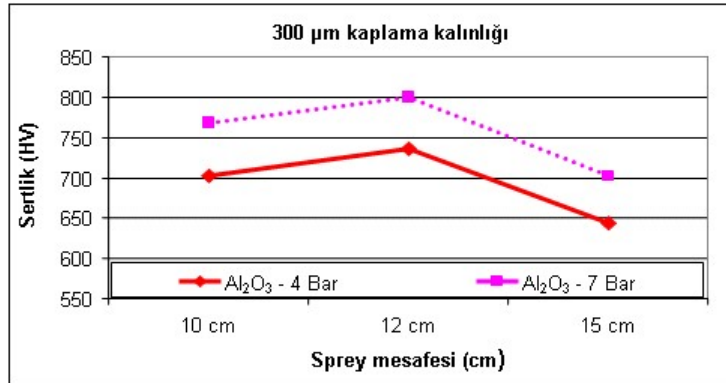
12cm sprej mesafesinde maksimum sertlik elde edilirken 10cm ve 15cm sprej mesafelerinde daha düşük sertlik elde edilmiştir. 12cm sprej mesafesinde kullanılan kaplama malzemeleri maksimum sıcaklığa ulaşmış ve yapı içerisindeki ergimemiş veya yarı ergimemiş partiküller azalmıştır. Bunun sonucunda yapı içerisindeki gözenek miktarının azalması ile daha yoğun kaplamalar elde edilmiş ve sertlik değerleri daha yüksek bulunmuştur [11].



a)



b)

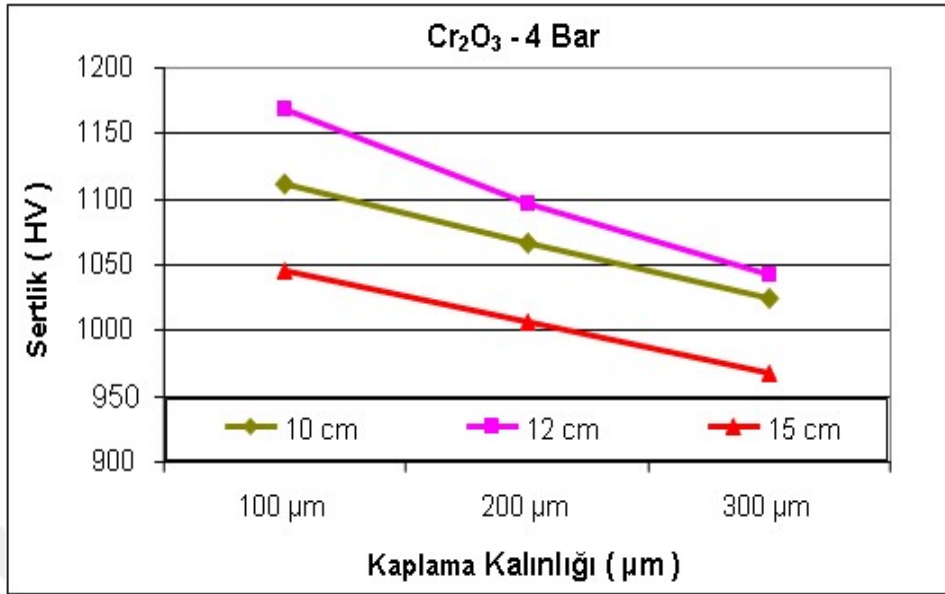


c)

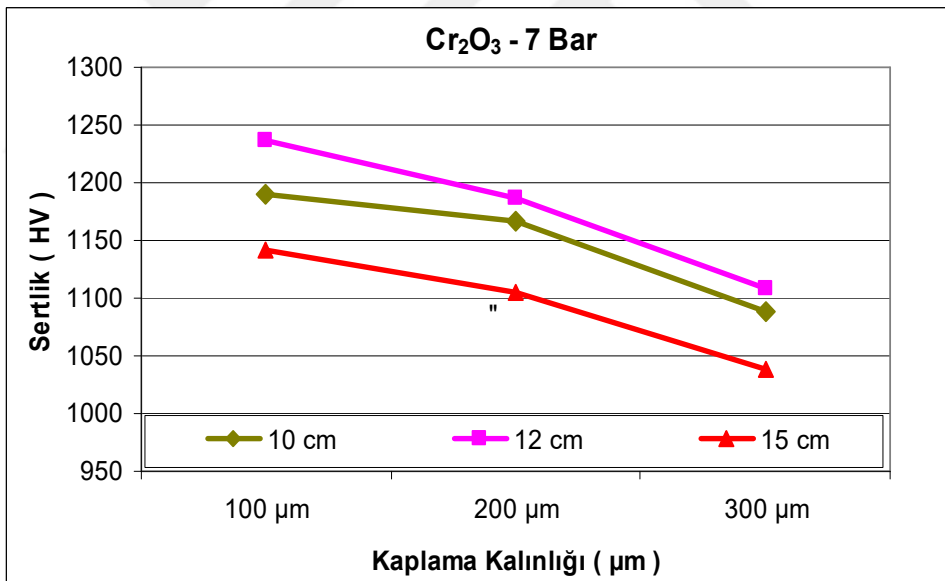
Şekil 5.10 Al₂O₃ kaplı numunelerde sertliğin sprej mesafesi ile değişimi,

a) 100µm kaplama kalınlığı, b) 200µm kaplama kalınlığı, c) 300µm kaplama kalınlığı

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12' de ise sertlik değerlerinin kaplama kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Al₂O₃ ve Cr₂O₃ kaplı numunelerin her ikisinde de artan kaplama kalınlığı ile sertlik değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise artan kaplama kalınlığı ile gözenek miktarının artmasıdır.



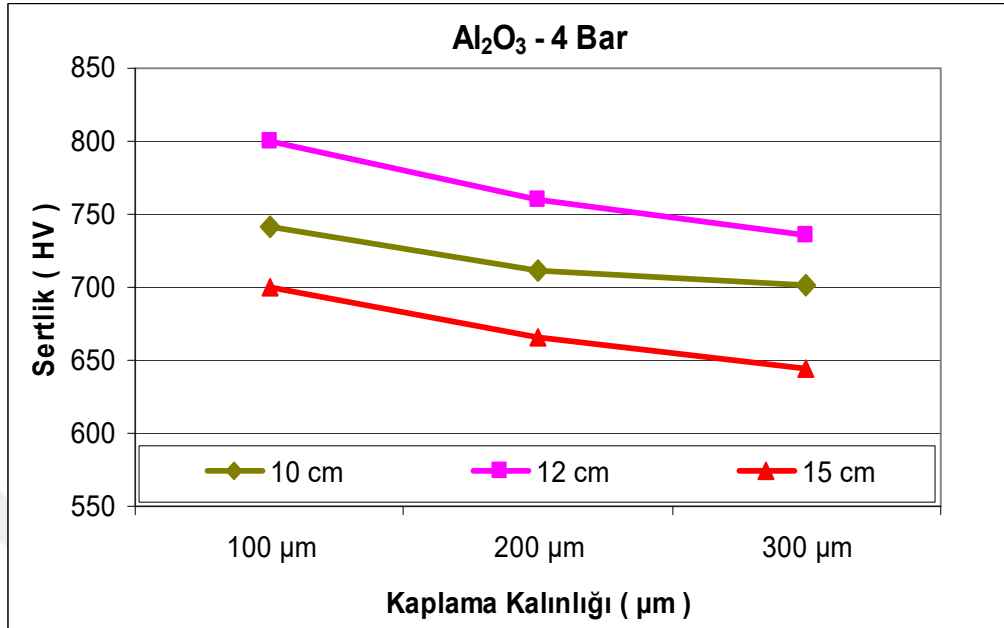
a)



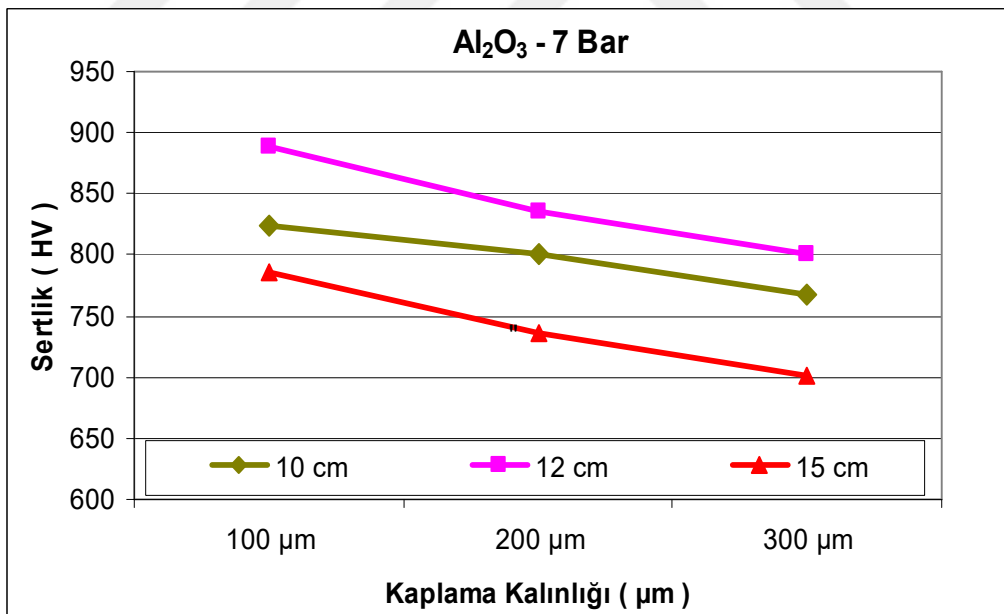
b)

Şekil 5.11 Cr₂O₃ kaplı numunelerde sertliğin kaplama kalınlığı ile değişimi,

a) Cr₂O₃ – 4 Bar, b) Cr₂O₃ – 7 Bar



a)



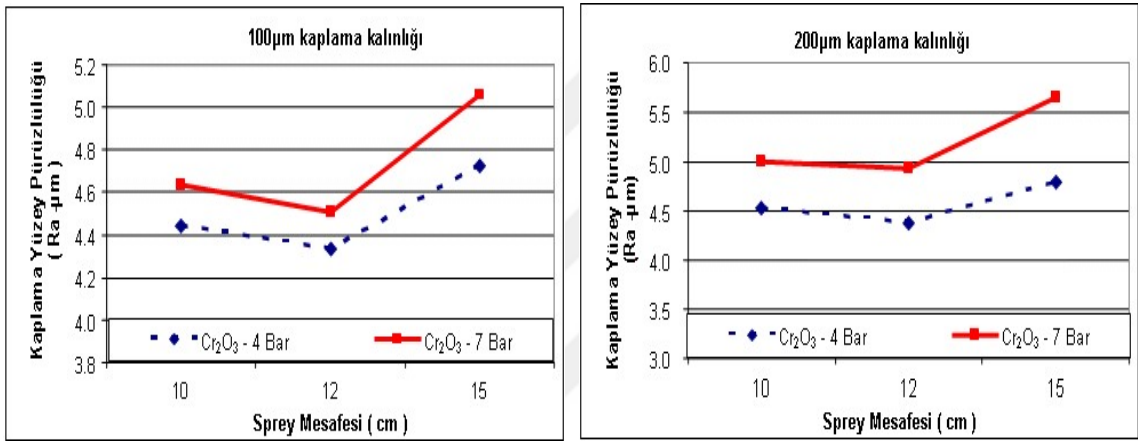
b)

Şekil 5.12 Al₂O₃ kaplı numunelerde sertliğin kaplama kalınlığı ile değişimi,

a) Al₂O₃ – 4 Bar, b) Al₂O₃ – 7 Bar

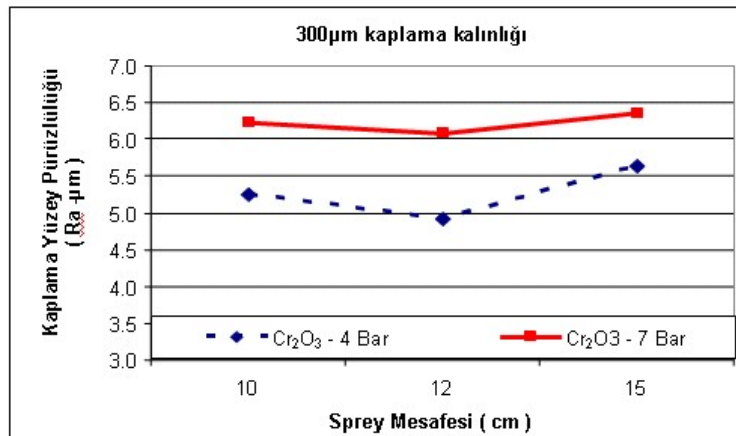
5.5 Kaplamaların Yüzey Pürüzlülüğü

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’ de Al_2O_3 ve Cr_2O_3 kaplı numunelerin 100 μm , 200 μm ve 300 μm kaplama kalınlıklarındaki yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her üç kaplama kalınlığında 7 bar basınç ile yüzeyleri pürüzlendirilen numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri daha fazla elde edilmiştir. Bunun nedeni 7 bar basınç ile yüzeyi pürüzlendirilen AlMg3 alaşımının yüzey pürüzlülüğü değerinin, 4 bar basınç ile pürüzlendirilene göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



a)

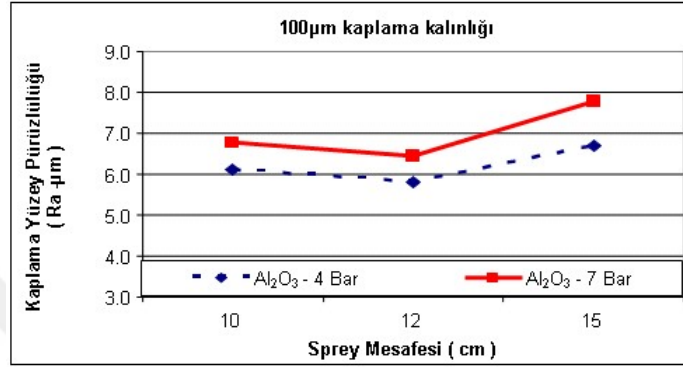
b)



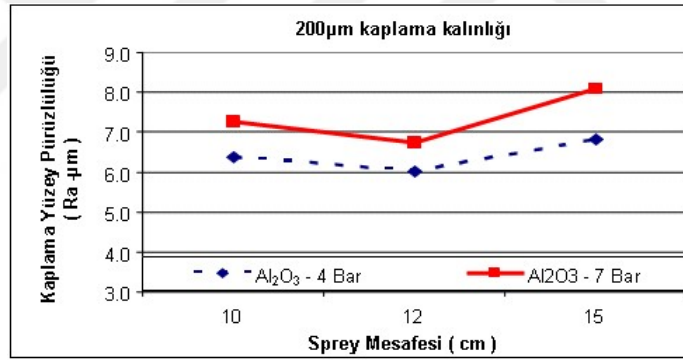
c)

Şekil 5.13 Cr_2O_3 kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün sprej mesafesi ile değişimi, a) 100 μm kaplama kalınlığı, b) 200 μm kaplama kalınlığı, c) 300 μm kaplama kalınlığı

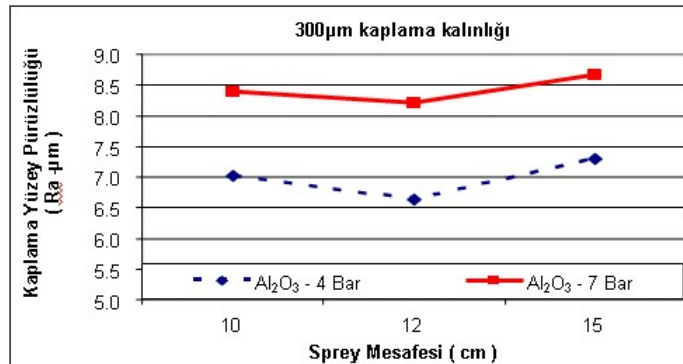
Kaplama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde 15cm spray mesafesindeki değerlerin 10cm ve 12cm' ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise spray mesafesinin uzaması, partiküllerin kaplama yüzeyine ulaşmadan hızlı bir şekilde katışlaşması ve ergimemiş partikül miktarının artmasıdır.



a)



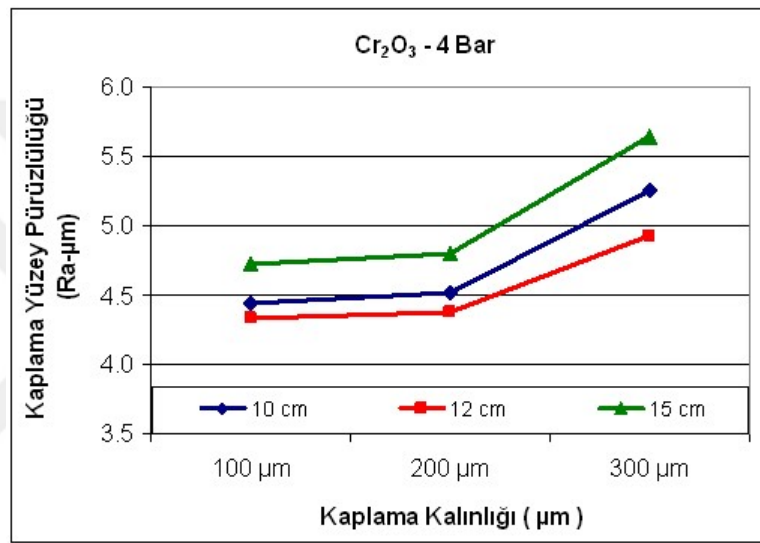
b)



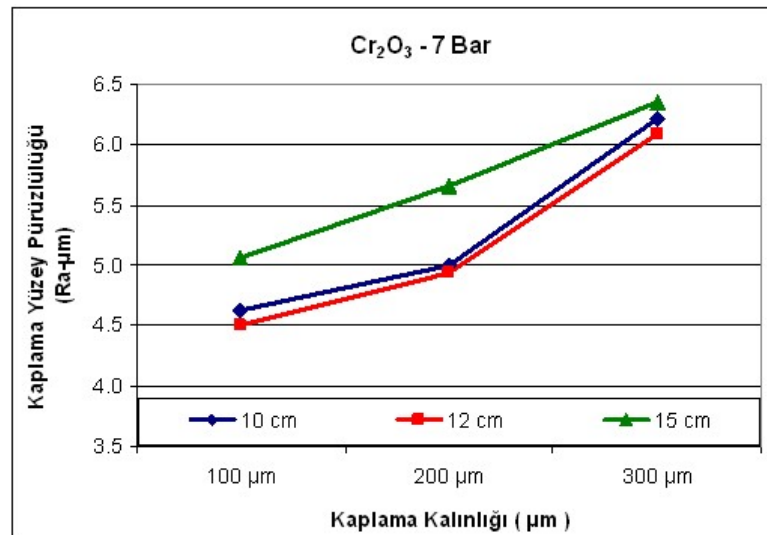
c)

Şekil 5.14 Al₂O₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün spray mesafesi ile değişimi, a) 100µm kaplama kalınlığı, b) 200µm kaplama kalınlığı, c) 300µm kaplama kalınlığı

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16' da ise kaplama yüzey pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi kaplama kalınlığının artması ile kaplama yüzey pürüzlülükleri artmıştır. 10cm ve 12cm spray mesafelerinde birbirine yakın kaplama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 15cm spray mesafesinde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Spray mesafesinin uzun olmasına bağlı olarak partikül sıcaklığının düşmesi sonucu ergimemiş veya yarı ergimmiş partikül miktarı artacaktır. Bu ergimemiş partiküller kaplama yüzeyinde pürüzlülük değerlerini arttırmıştır.



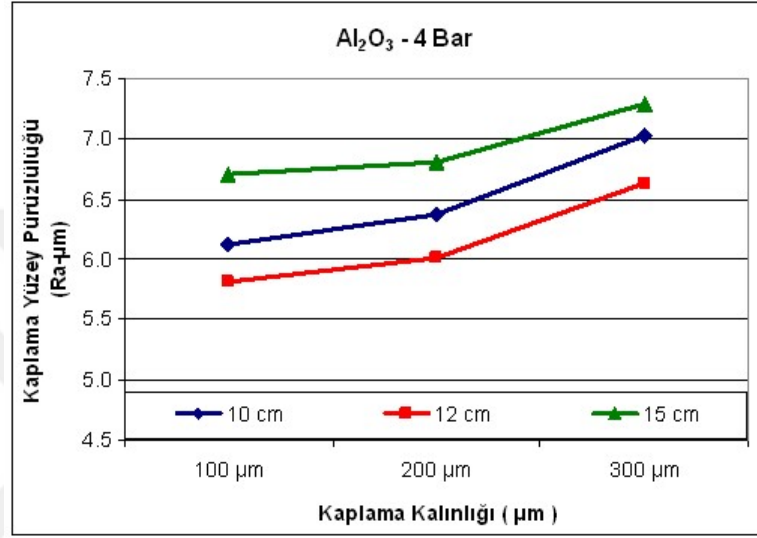
a)



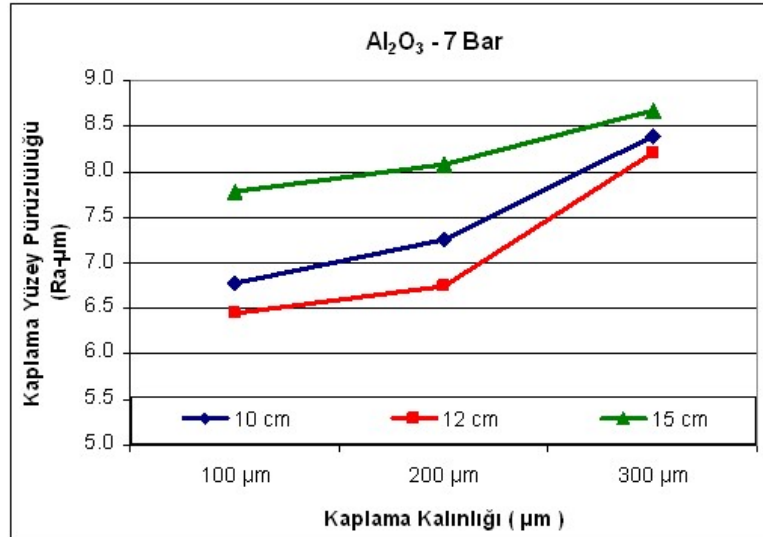
b)

Şekil 5.15 Cr₂O₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı ile değişimi, a) Cr₂O₃ – 4 Bar, b) Cr₂O₃ – 7 Bar

Yüzeyleri 7 bar ile pürüzlendirilmiş 300 μ m kaplama kalınlığına sahip Cr₂O₃ ve Al₂O₃ kaplı numunelerde her üç sprej mesafesinde de birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. 300 μ m kaplama kalınlığında, kullanılan kaplama malzemesi 100 ve 200 μ m kaplama kalınlıklarına göre daha fazla olması ve püskürtülen kaplama partikülleri farklı hızlarda soğuması nedeniyle yüzey pürüzlülükleri birbirlerine yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 5.16 Al₂O₃ kaplı numunelerde kaplama yüzey pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı ile değişimi, a) Al₂O₃ – 4 Bar, b) Al₂O₃ – 7 Bar

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanmıştır.

1. Kaplama öncesi ana malzemeye uygulanan kumlama işleminde, kumlama basıncının artışıyla ana malzemenin yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmiştir.
2. Mikroyapı incelemeleri sonucunda kaplamaların lamelli yani katmanlı bir yapıya sahip olduğu ve genellikle değişik oranlarda gözenek içerdiği belirlenmiştir.
3. Kaplamaların sertlik değerleri, artan kaplama kalınlığı ve gözenek miktarı ile azalmıştır.
4. Her iki kaplama malzemesi için de, en yüksek sertlik değerleri 12cm sprej mesafesinde, 100µm kaplama kalınlığında elde edilmiştir.
5. Kaplamaların gözenek miktarları, artan kumlama basıncı ile azalmış ve artan kaplama kalınlığı ile artmıştır.
6. 7 bar kumlama basıncı ile pürüzlendirilmiş ve Cr₂O₃ ile kaplanmış numunelerde minimum gözeneklilik elde edilirken, 4 bar kumlama basıncı ile pürüzlendirilmiş ve Al₂O₃ ile kaplanmış numunelerde maksimum gözenek miktarı tespit edilmiştir.
7. En düşük gözenek miktarı, 12cm sprej mesafesinde, 100µm kaplama kalınlığına sahip Cr₂O₃-7 bar kaplı numunede elde edilmiştir.
8. Artan kumlama basıncı, kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır.
9. Cr₂O₃ kaplı numunelerde Al₂O₃ kaplı numunelere göre daha düşük kaplama yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, minimum pürüzlülük değeri 12cm sprej mesafesinde, 100µm kaplama kalınlığına sahip Cr₂O₃-4 bar kaplı numune vermiştir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılacak çalışmalarda bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir.

1. Ana malzeme sıcaklığının kaplamanın mikroyapısı ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenebilir.
2. Kumlama işlem süresinin kaplama üzerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Khedkar, J., Khanna, A. S. and Gupt, K. M., 1997, Tribological behaviour of plasma and laser coated steels, *Wear* 205, 220-227.
- [2] Holmberg, K., Ronkainen, H. and Mattewst, A., Tribology of thin coating, 2000, *Ceramics International* 26, 787-795.
- [3] Korkut, M. H., Yılmaz, O ve Buytoz, S., 2002, Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe-Cr-Si-Mo-C coated low carbon steel, *Surface and Coating Technology* 157, 5-13.
- [4] Toma, D., Brandl, W., Marginean, G., 2001, Wear and corrosion behaviour of thermally sprayed cermet coatings, *Surface and coating technology* 138, 149-158.
- [5] Gemma, K., Ohtsuka, T., Fujiwara, T. and Kawakami, M., 2002, Normal and anormal microstructure of plasma nitrided Fe-Cr Alloys”, *Journal of Materials Science* 37, 835-844.
- [6] Üstel, F., Toplan, N. ve Yılmaz, F., 1998, Termal sprej kaplama teknikleri, 4. Seramik Kongresi, 697-703, Eskişehir.
- [7] Geibel, A., Froyen, L., Delaet, I. and Leuven K.U., 1996, Plasma spray forming: An alternate route for manufacturing free-standing componenets, *J. Thermal Spray technology* 5-4, 419-430.
- [8] Kiper G., Mindivan H., Samur R., Kayalı E. S., Çimenoğlu H., 2004, Alüminyum üzerine uygulanan yüksek karbonlu çelik kaplamanın aşınma davranışının incelenmesi, 10. Denizli malzeme sempozyumu ve sergisi, 84-87, 14-16 Nisan, Denizli.
- [9] Çelik E., 1995, Plazma sprej tekniğiyle üretilen seramik kaplamaların korozyon davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Çelik E., 2002, Preparation and characterization of Al₂O₃-TiO₂ powders by chemical synthesis for plasma spray coatings, *Journal of Materials processing technology* 128, 205-209.
- [11] Özkan S., 2005, Effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coatings prepared by the air plasma sprating process, *Surface & Coatings Technology* 190, 388-393.
- [12] Chang Jiu L. and Bo Sun, 2004, Effect of spray parameters on the microstructure and property of Al₂O₃ coatings sprayed by a low power plasma torch with a novel hollow cathode”, *Thin Solid Films* 450, 282-289.
- [13] Çağrı, E., İsmail, Ö. ve Erdal, Ç., 2003, Plazma püskürtme yöntemi ile dökme demir altlıklar üzerine molibden kaplamalar, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 1, 173-179.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [14] Erdal, Ç., Şengil, I. A. and Avcı, E., 1997, Effects of some parameters on corrosion behaviour of plasma-sprayed coatings”, Surface and Coatings Technology 97, 355-360.
- [15] Zeng, Y., Lee, S. W. and Ding, C. X., 2002, Plasma spray coatings in different nanosize alumina, Materials Letters 57, 495-501.
- [16] Nejat, Y. S. ve Muharrem, Y., Ni-Esaslı kaplamaların abrazif+erozif aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi, Mühendis ve Makine, Cilt: 46, Sayı: 541, 14-20.
- [17] Akın, U., Mindivan, H., Samur, R., Kayalı, S. ve Çimenoğlu, H. 2004, Alüminyum üzerine uygulanan seramik kaplamaların aşınma davranışının incelenmesi, 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, Denizli, 30–35.
- [18] Erdal, Ç., Demirkıran, A.Ş. ve Avcı, A., 1999, Effect of grit blasting of substrate on the corrosion behaviour of plasma-sprayed Al₂O₃ coatings, Surface and Coatings Technology 116-119, 1061-1064.
- [19] Erickson, L. C., Hawthorne, H. M. and Troczynski, T., 2001, Correlations between microstructural parametres, micromechanical properties and wear resistance of plasma spreyed ceramic coatings, Wear 250, 569-575.
- [20] Özkan S., 2005, Effect of the substrate temperature on properties of plasma spreyed Al₂O₃ coatings, Materials and desing 26, 53-57.
- [21] Köroğlu A.Ş., 2005, Rokide Seramik Sprey Sistemi Katalogu.
- [22] Ö. Sarıkaya, 2003, Al-%12Si malzemesi üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+B₄C kaplama, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- [23] Urtekin, L., 2001, Otomotiv sanayiinde kullanılan dökme demirler ve aşınma dirençlerinin artırılması, Dumlupınar Üniversitesi, F. B. E., Yüksek Lisans Tezi.
- [24] Salman, S., Köse, R., Urtekin, L. ve Fındık, F., 2005, An investigation of different ceramic coating thermal properties, Materials and Design, (Basımda).
- [25] K-D., Bouzakis, A. Lontos, 2003, Creep behaviour determination of monolayer plasma-sprayed coatings under dynamic or static loads, Surface and coatings technology 174-175, 1053-1058.
- [26] A. Ş. Demirkıran, Y. Yaralı, M. Erol, V. Uçar, 2004, Plazma spreyle üretilmiş NiCrAl bağ tabakasının aşınma davranışı, 10. Denizli malzeme sempozyumu ve sergisi, 869–876, 14–16 Nisan, Denizli.
- [27] Fılmer, H. L., 1990, Plasma deposition of alümina-based ceramics coatings, Ceramic Bulletin 12, 69, 1955-1958.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [28] Pohl, A., Lichtenauer, L. M., Jager, D. and Willbrand, J., 1994, The microstructural analysis of VPS-Coatings, *Pract. Metallgr* 7, 31, 338–348.
- [29] E. Çelik, Ö. Sarıkaya, 2004, The effect on residual stresses of porosity in plasma sprayed MgO-ZrO₂ coatings for an internal combustion diesel engine, *Materials science and engineering A379*, 11–16.
- [30] Chagnon, P. and Fauchais, P., 1984, Thermal Spraying of Ceramics, *Ceramics International* 4/10, 119–131.

