

ADİL ALPAY
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Mayıs-2000

**PLAZMA SPREY ZrO₂ TERMAL BARIYER KAPLAMASINA
SİLİSYUM KARBÜR İLAVESİNİN KAPLAMA ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

ADİL ALPAY

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Mayıs-2000

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Adil Alpay'ın " Plazma Sprey ZrO₂ Termal Bariyer Kaplamasına Silisyum Karbür İlavesinin Kaplama Özellikleri Üzerine Etkisi " başlıklı Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki , Yüksek Lisans tezi 24.05.2000 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim/Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yr. Doç. Suat CANARSLAN

Üye : Prof. Dr. Hikmet KARAKOC

Üye : Prof. Dr. Hidayet BUĞDAYCI

Üye :

Üye :

Anadolu Üniversitesi Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31.05.2000 tarih ve 14/1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
MÜDÜRÜ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLAZMA SPREY ZrO_2 TERMAL BARIYER KAPLAMASINA SİLİSYUM KARBÜR İLAVESİNİN KAPLAMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ADİL ALPAY

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. N. Suat CANARSLAN

2000

Bu çalışmada, SiC ilavesinin plazma sprey Ca kısmen stabilize ZrO_2 termal bariyer kaplamasının performansına olan etkisi incelenmiştir. Yapışma mukavemeti ve ısı-yalıtım direnci SiC ilaveli kaplamanın performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. SiC ilave miktarı ağırlıkça %0 ila %15 arasında değiştirilmiş ve yapışma mukavemetine bağlı olarak optimize edilmiştir. Bu deneyde kullanılan altlık titanyum esaslı bir alaşımdı. Kaplama numune yüzeylerine METCO 3 MB torch kullanılarak plazma sprey metodu ile uygulandı. Çekme ve eğilme deneyleri sonucunda SiC miktarının kritik olduğu ve %5 ağırlık oranındaki SiC katkılı kaplamanın ısı yalıtım direnci katkısız ticari kaplamanınkine kıyaslanabilir-seviyede olduğu gözlenmiştir. Öte yandan yapışma mukavemetini büyük ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kaplama , Plazma Spreyi, Termal Bariyer Kaplama, Seramik

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EFFECT OF SILICON CARBIDE DOPING ON THE PERFORMANCE OF THE PLASMA-SPRAYED ZrO₂ THERMAL BARRIER COATINGS

ADİL ALPAY

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

Supervisor : Assist. Prof. Dr. N. Suat CANARSLAN

2000

In the present study, the effect of the silicon carbide doping on the performance of the plasma-sprayed Ca partially stabilized ZrO₂ thermal barrier coating was investigated. Adhesive strength and heat-insulating resistance were used to evaluate performance of the SiC-doped coating. The amount of SiC additive varied in the range from 0% to 15% wt. and was optimized with respect to adhesive strength. Adhesive strength was analyzed by tensile and bending tests. The substrate used in this experiment was titanium base alloy. The coating was plasma sprayed on the surfaces of samples using METCO 3 MB torch. It was shown by tensile and bending tests that the amount of SiC doping was critical and the 5% wt SiC-doped coating tremendously improved the adhesive strength, while the heat-insulating resistance of SiC-doped coating was comparable with the commercial undoped coating.

Keywords : Coating , Plasma Spraying, Thermal Barrier Coating, Ceramics

TEŐEKKÖRLER

Bu araŐtırmayı tavsiye eden ve motive eden hocam Yrd.Doç. Dr. N. Suat CanarŐlan'a çalışmanın en baŐından sonuna kadar yapmıŐ olduğu danıŐmanlık ve yardımlardan dolayı teŐekkörü bir borç bilmekteyim.

1nci Hava İkmal ve Bakım Merkezi Komutanlığı Jet Revizyon Atölyesi çalıŐanları proses mühendisi Serkan Kaptan, makine Őefi YaŐar Turan ve Kalite Laboratuvarı Őefi Davut Bayraktar'a deneyler sırasında yaptıkları katkılardan dolayı ayrıca teŐekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜRLER..... | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | viii |
| 1 GİRİŞ 1 | |
| 2 KAPLAMA TEKNOLOJİLERİNİN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ..... | 3 |
| 2.1 Kaplamaların Uygulama Alanları..... | 4 |
| 2.1.1 Katalitik Yüzey..... | 5 |
| 2.1.2 Korozyon Direnci..... | 5 |
| 2.1.3 Elektrik İletkenliği..... | 5 |
| 2.1.4 Elektrik Direnci..... | 5 |
| 2.1.5 Elektromanyetik Dalgaların Etkisinin Engellenmesi..... | 5 |
| 2.1.6 Serbest Şekiller..... | 5 |
| 2.1.7 Kalıp Yapımı..... | 6 |
| 2.1.8 Nükleer Yavaşlatıcılar..... | 6 |
| 2.1.9 Oksitlenmeden Korunma..... | 6 |
| 2.1.10 Termal Bariyer (Isıl Set)..... | 6 |
| 2.1.11 Termal İletkenlik..... | 6 |
| 2.1.12 Aşınma Direnci..... | 7 |
| 2.1.13 Aşınan Parçaların Kurtarılması..... | 7 |
| 2.2 Kaplama Malzemelerinin Fonksiyonları ve Özellikleri..... | 7 |
| 2.2.1 Silikatlar..... | 8 |
| 2.2.2 Oksitler..... | 8 |
| 2.2.3 Karbürler..... | 10 |
| 2.2.4 Silisyumlar..... | 11 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2.5 | Fosfat-bağlı Kaplamalar | 12 |
| 2.2.6 | Sermetler | 13 |
| 3 | TERMAL BARİYER KAPLAMA | 15 |
| 4 | TERMAL SPREY KAPLAMA TEKNİKLERİ..... | 18 |
| 4.1 | Alev Spreyi Tekniği | 18 |
| 4.1.1 | Toz alev spreyi..... | 19 |
| 4.1.2 | Tel alev spreyi..... | 20 |
| 4.1.3 | Çubuk alev spreyi | 21 |
| 4.1.4 | Patlamalı tabanca spreyi | 21 |
| 4.1.5 | Yüksek hızlı oksii-asetilen spreyi | 22 |
| 4.2 | Elektrik-Ark Spreyi | 23 |
| 4.3 | Plazma Sprey Teknikleri | 25 |
| 4.3.1 | Plazma-ark sprej | 25 |
| 4.3.2 | İletimli plazma-ark sprej..... | 26 |
| 4.3.3 | Düşük Basınçlı Plazma Spreyi..... | 27 |
| 5 | JET MOTORU EGZOZ FLAPLARINDA KARŞILAŞILAN KAPLAMA PROBLEMLERİ | 29 |
| 6 | DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 30 |
| 6.1 | Termal Sprej Kaplama Uygulaması | 30 |
| 6.2 | Kaplama Kabul Kriterleri ve Uygulanan Testler | 31 |
| 6.2.1 | Göz Kontrolü | 31 |
| 6.2.2 | Çekme-Yapışma Testi | 32 |
| 6.2.3 | Eğilme Testi..... | 35 |
| 6.2.4 | Isı-Yalıtım Direnç Testi..... | 36 |
| 7 | SONUÇLAR VE YORUM | 37 |
| 8 | ÇALIŞMANIN UYGULAMADAKİ ÖNEMİ VE ÖNERİLER | 41 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.1. Tipik bir termal sprej kaplama kesiti | 16 |
| 4.1. Toz alev sprej tabancası kesiti | 19 |
| 4.2. Tel ve çubuk alev sprej tabancası kesiti | 21 |
| 4.3. Elektrik-ark cihazı | 24 |
| 4.4. Plazma-ark sistemi | 26 |
| 6.1. Çekme-yapışma testi kütleme sabitleyicisi [21] | 32 |
| 6.2. Çekme gerilmesi test asamblesi şematik gösterimi [21] | 33 |
| 6.3. a) Kaplama kesiti b) Eğilme testi uygulaması | 35 |
| 6.4. Kaplama eğilme testi | 36 |
| 6.5. Isı-Yalıtım Direnç Testi | 36 |
| 7.1. SiC katkı oranına bağılı olarak çekme gerilmesinin değışimi | 37 |
| 7.2. Kaplama eğilme yüzeyleri | 38 |
| 7.3. SiC katkı oranına bağılı olarak çatlak bant uzunluğunun değışimi | 39 |
| 7.4. Isı-yalıtım Testi sonunda kaplama yüzeyleri | 40 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1. Kaplama yöntemleri [1]..... | 3 |
| 2.2. Bazı Kaplama Yöntemlerinin Karakteristikleri[1] | 4 |
| 2.3. Seramik kaplamalarda kullanılan temel oksitlerin ergime noktaları [11] | 10 |
| 2.4. Karbürlerin ergime sıcaklığı [11] | 11 |
| 2.5. Çubuktan alev spreyci yapılmış Alümina ve Zirkonyanın fiziksel özellikleri[11] | 12 |
| 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan karışımlar | 31 |
| 6.2. Alternatif test numunesi malzemeleri..... | 33 |
| 6.3. Yapıştırıcı uygulama parametreleri | 34 |

1 GİRİŞ

Havacılık sanayindeki gelişmeler özellikle uçak motorlarında kullanılmak amacıyla daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve kırılman olmayan malzemelerin kullanılmasını gerekli kılmıştır. Seramik malzemelerin ve grafitin bu amaçla kullanılması bir eksikliği belli oranda ortadan kaldırmış ve daha yüksek kapasitelere sahip ses üstü taşıtların dizaynı için bir başlangıç olmuştur. Seramiğin jet motorlarında kullanımı konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Gelişmeler, seramiği havacılık sanayi dışında, otomobil motorları ve elektrik jeneratörleri gibi alanlarda da cazip hale getirmiştir [1].

Uçak motorlarındaki teknolojik gelişmeler, motor elemanlarını yüksek sıcaklık, yüksek gerilmeler, oksitlenme ve korozyon ortamı ile karşı karşıya bırakmıştır. Seramik, gelişmiş metal alaşımlarına kıyasla kırılma mukavemeti, sürünme, oksitlenme ve korozyon direnci gibi alanlarda önemli avantajlara sahiptir.

Motor parçalarının kısmen yada tamamen seramik malzemedan imal edilmesi konusunda çok yönlü sürdürülen çalışmalar devam etmekte olup, metal parçalarının seramik malzemelerle termal bariyer amaçlı plazma sprey teknolojisi ile kaplanması yöntemi, türbin ve jet motorlarının yanma odası, türbin paleleri, alev tutucular ve egzoz flapları gibi elemanlarında uzun süredir kullanılmaktadır [2,3]. Söz konusu teknolojiler kullanılarak yüksek sıcaklıklara maruz elemanların yüzey sıcaklıklarda 100-200 °C sıcaklık oranlarında düşüşler sağlanabilmektedir [4]. Birçok motor elemanı için seramik malzemelerin metal parçalara kıyasla fayda sağlayacağı görülmektedir.

Kısmen stabilize edilmiş zirkonya (PSZ), havacılık uygulamalarındaki termal bariyer amaçlı kullanımı nedeniyle, plazma sprey alanında en yoğun ilgiyi çekmiş seramik oksit grubudur. Ağırlıkça ZrO₂, %5 CaO, %0.5 Al₂O₃ ve %0.4 SiO₂ içeren, METCO 201B-NS ticari tozu jet motoru egzoz flapları gibi, yüksek sıcaklıklara maruz parçaların termal bariyer kaplamasında kullanılan bir karışımdır. Ancak, söz konusu kaplamada, kaplamanın gözenekli ve homojen olmayan yapısı nedeniyle, belli işletim sürelerinin ardından, kaplamada çatlak

oluşumu ve soyulma gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu doğrultuda, kaplamanın iyileştirilmesi yönündeki çalışmalar devam etmektedir.

Plazma sprej PSZ kaplamalarında görülen benzer sorunlara yönelik yapılan çalışmalarda, belirli oranda SiO₂ katkısının, sprej sürecinde sıvı faz sinterlemesi ve yapıda kapalı gözenekliliğe yol açtığı ve bağılı olarak, kaplama yapışma dayanımı, ısıl şok ve korozyona dayanımını artırdığı gösterilmiştir [5].

Benzer doğrultuda, termal bariyer özellikler açısından silisyum karbürün yüksek ısıl iletkenliğe sahip olması bir dezavantaj olmakla birlikte, üstün yüksek sıcaklık özellikleri ve bünyede yer alan kalıntı silisyum oksit ile birlikte ele alındığında , kaplama optimizasyonunda kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, SiC ilavesinin plazma sprej Ca ile kısmen stabilize ZrO₂ termal bariyer kaplamasının performansına olan etkisi incelenmiştir. Karışımındaki SiC miktarı ağırlıkça % 0 ila % 15 arasında değiştirilmiştir. METCO 210B-NS tozu ve silisyum karbür tozlarının karışımları , METCO 3 MB torch kullanılarak plazma sprej yöntemi ile titanyum alaşımı test kuponları üzerine kaplanmıştır. Kaplanmış kuponlar üzerinde, silisyum karbürün, kaplama yapışma mukavemeti ve ısı-yalıtım direnci üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan çekme ve eğilme deneyleri sonucunda, karışımda yer alan silisyum karbür oranının kritik olduğu ve %5 ağırlık oranındaki silisyum karbürün kaplama yapışma mukavemetini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmiştir. Ayrıca devamında ısı-yalıtım direnci konusunda ağırlıkça % 5 SiC ilaveli kaplama ile % 0 ilaveli kaplama karşılaştırılmıştır. SiC ün ağırlıkça % 5 civarında ilavesinin ısıl-yalıtım yönüyle olumsuz bir etkiye yol açmadığı görülmüştür.

2 KAPLAMA TEKNOLOJİLERİNİN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

‘Kaplama’ özellikleri alt yüzeyden veya ana malzemeden ayrı olan ‘yüzey-yakını’ bir bölge olarak tanımlanabilir. Bu yüzey-yakını bölge ya yüzey malzemesinin değişimi (difüzyon yöntemiyle kaplama gibi), ya da alt yüzey üzerine ayrı veya değişik bir malzemenin kaplanmasıyla (üst kaplama) oluşturulabilir. Difüzyon yöntemiyle kaplama malzemenin termodinamik özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Öte yandan, üst kaplama yöntemi genelde ana malzemenin termodinamiği ile doğrudan ilgili olmadığı için geniş bir uygulama olanağı sağlamaktadır. Böylece oluşturulan malzeme gerek alt yüzey, gerekse kaplama dolayısıyla çok geniş bir özellik yelpazesi sergilediğinden teknolojik açıdan önemi fazladır [6-7].

Malzeme uygulamaları açısından önemli olan bazı kaplama yöntemleri, kaplama malzemesinin boyutuna bağlı olarak Çizelge 2.1’de verilmektedir. Bu yöntemlerde kullanılan cihazlar çok çeşitli olup, sürekli ve yarı sürekli tipleri en çok tercih edilenleridir [8-9].

Çizelge 2.1. Kaplama yöntemleri [1]

| Atomik Kaplama | Partikül Kaplama | Kaba Kaplama | Yüzey Değişimi |
|--------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| 1.Elektrolitik Yöntem | 1.Termal Püskürtme | 1.Islatma yöntemi | 1. Mekanik |
| 2.Fiziksel Buharlaştırma | 2.Füzyon Kaplamalar | -Boyama | Yöntemler |
| -Vakumda Kaplama | -Elektroforetik | -Daldırma | 2. Yüzey |
| -İyon Işını Yöntemi | Yöntem | 2.Elektrostatik | Zenginleştirme |
| -Moleküler Işın | -Sırlama | Yöntem | -Difüzyon Yöntemi |
| Epitaksisi | -Çarpma yöntemi ile | 3.Püskürtme | -Püskürtme yöntemi |
| -Püskürtme Yöntemi | Kaplama | 4.Kaynak | 3. İyon ekimi |
| -Plazma Polerizasyonu | | Yöntemi | Yöntemi |
| -İyon Yöntemi | | | |
| 3.Kimyasal Buharlaştırma | | | |
| -İndirgeme | | | |
| -Çözünme | | | |
| -Plazma Yardımıyla | | | |
| Kaplama | | | |
| 4.Sıvı Faz Epitaksisi | | | |

Çizelge 2.2. Bazı Kaplama Yöntemlerinin Karakteristikleri[1]

| | Fiziksel buharlaştırma yöntemleri | | Kimyasal Buharlaştırma Yöntemleri | Termal Püskürtme | Elektro kaplama |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| | Buharlaştırma | Püskürtme | | | |
| Kaplayıcı Elemanın Üretim Mekanizması | Isıl Enerji | Momentum Transferi | Kimyasal Reaksiyon | Alevlerden Veya Plazmadan | Kaplama Çözeltisi |
| Kaplama Hızı | Çok yüksek (750 A/dak) | Düşük | Orta (200-2500A/dk) | Çok Yüksek | Düşük-Yüksek |
| Kaplayıcı Eleman | Atomlar ve İyonlar | Atomlar ve İyonlar | Atomlar | Tanecikler | İyonlar |
| Kaplama Gücü | Zayıf | İyi | İyi | Çok sınırlı | İyi |
| Metal Kaplama | Evet | Evet | Evet | Evet | Evet (Sınırlı) |
| Alaşım Kaplama | Evet | Evet | Evet | Evet | Çok sınırlı |
| Refrakter Madde Kaplama | Evet | Evet | Evet | Evet | Sınırlı |

Bazı önemli kaplama yöntemlerinin karakteristikleri Çizelge 2.2’de verilmektedir. Ülkemizde en çok kullanılan yöntem olan elektroliz kaplama yönteminin özelliklerine de karşılaştırma amacıyla aynı çizelgede yer verilmiştir.

2.1 Kaplamaların Uygulama Alanları

Genellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin istenen dayanıklılığa sahip olması ve uygulanan yükleri taşıması gerekir. Bu tür özellikler malzemenin kendisi ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca, malzemeler verimli olarak kullanılabilmek için gerekli bazı yüzey özelliklerini de taşımalıdır. Bu özellikler elektrik, optik ve termal özellikler olabileceği gibi malzemenin kullanım süresi ile yakından ilgili olan korozyon ve aşınma direnci gibi özellikler de olabilir. Bu sebeplerden dolayı mühendislik malzemelerin gerekli yapısal özellikleri sağlayan ucuz bir malzemedan seçilmesi ve diğer yüzey özelliklerinin ise kaplamalarla sağlanması en uygun çözümdür. Seramik ve metallerin termal sprey kaplamaları aşağıda verilen amaçlarla kullanılmaktadır.

2.1.1 Katalitik Yüzey

Kaplamalar, daha fazla yüzey alanı elde edilebilen yüksek poroziteli katalizör olarak kullanılabilirler.

2.1.2 Korozyon Direnci

Çinko ve alüminyumun tel alev sprej kaplamaları, oksitlenme ve tuzlu su korozyonundan korunmak için kullanılır.

2.1.3 Elektrik İletkenliği

Plazma-ark ve alev sprej, kapasitör ve elektrikli ısıtıcılar gibi uygulamalarda, elektriksel temas veya temas alanları elde edebilmek için uygulanabilir.

2.1.4 Elektrik Direnci

İndüksiyonla ısıtma bobinlerinde ve dielektrik tabaka gibi uygulamalarda, oksit kaplama ile yalıtkan tabaka elde edebilmek için plazma-ark ve alev sprej kullanılır.

2.1.5 Elektromanyetik Dalgaların Etkisinin Engellenmesi

Elektromanyetik ve radyo frekanslı karışmaların (parazit) elektronik bileşenler üzerindeki etkisi kaplama ile azaltılabilir.

2.1.6 Serbest Şekiller

İşlenmesi zor malzemelerden üretilen parçalar, sökülmüş haldeyken kaplama ile oluşturulabilirler. Bu yöntemle parçalar son şekil ve boyutlarına

yakın üretilirler. Buna örnek olarak roket nozulları ve iyon motor bileşenleri gösterilebilir.

2.1.7 Kalıp Yapımı

Elektrik-ark sprej kullanılarak kalıp prototipi üretilebilir ve böylece fiyat ve işçilikte önemli bir avantaj sağlanır. Prototip bir kalıp şekli uygun metalle kaplanarak kalıp yüzeyi elde edilir.

2.1.8 Nükleer Yavaşlatıcılar

Pek çok termal sprej kaplama nükleer reaktörlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

2.1.9 Oksitlenmeden Korunma

Nikel, krom, kobalt alaşımları oksitlenmeye direnç sağlamak için sık sık kullanılırlar. Uygulama alanları içinde egzoz bileşenleri de vardır.

2.1.10 Termal Bariyer (Isıl Set)

Zirkondioksit, manyezit ve alümine tek başlarına veya beraber olarak termal direnç sağlamak yada termal sistemlerin etkinliğini artırmak için kullanılırlar. Roket motorları yada adyabatik motorlarda, etkinliği arttırmak ve metal sıcaklığını yada soğutma gereksinimlerini azaltmak için termal bariyer kaplama (TBC) kullanılır.

2.1.11 Termal İletkenlik

Yüzey alanını arttırarak ısı transferini arttıran kaplama kullanımı ile veya daha iyi ısı karakteristiklere sahip kaplama kullanarak ısı iletkenlik arttırılabilir.

Bunun için bakır ve alüminyum yaygın olarak kullanılır. Berilyum oksitler ise elektrik iletkenliğinin istenmediği yerlerde kullanılabilir.

2.1.12 Aşınma Direnci

Mikro alaşımlı çeliklerin ve demir dışı metal yüzeylerin aşınma dirençleri, termal sprey işlemlerinin ve kaplama malzemelerinin uygun kombinasyonları ile arttırılabilir. Krom-Nikel-Bor alaşımı ve karbür kaplamalar gibi sert metal kaplamalar bu işlem için kullanılabilir.

2.1.13 Aşınan Parçaların Kurtarılması

Termal sprey en yaygın olarak aşınan parçaların gerçek boyutlarına getirilmesinde kullanılır. Bütün termal sprey işlemleri bu uygulamada kullanılabilir [10].

2.2 Kaplama Malzemelerinin Fonksiyonları ve Özellikleri

Pek çok metal, oksitler, sermetler (seramik+metal), metalik bileşikler, bazı karbürler, organik plastikler ve bazı camlar termal sprey işleminde kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler. Üstüne kaplama yapılabilecek ana malzemeler (altlıklar) ise; metaller, oksitler, seramikler, camlar, pek çok plastik, tahta, kullanılmış kağıt ve ince filmlerdir.

Seramik kaplama olarak kullanılan metalik olmayan, inorganik malzemeler genel bazı karakterlere sahiptirler. Bunlardan başta gelenler ; yüksek sıcaklıklarda kimyasal olarak oldukça kararlı olmaları, sertlikleri, yük altında kırılma davranış sergilemeleri ve ince bir kesit alanında mekanik süreklilik sergilemeleridir. Yaygın olarak kullanılan kaplamalardan silikatlar, oksitler, karbürler, silisyumlar, fosfor bağlı kaplamalar ve sermetler malzeme özellikler kullanım amaçları ve uygulama yöntemleri yönüyle takip eden sayfalarda ele alınmıştır.

2.2.1 Silikatlar

Silikat tozundan hazırlanan kaplamalar oldukça yaygın endüstriyel uygulama alanına sahiptir. Silikat kaplamalar uçak motorları yanma odaları, türbin ve egzoz manifoldları , ve ısı dönüştürücüleri gibi uzun süreli yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Silikat toz karışımları limitsiz denebilecek kadar fazladır. Silikat toz karışımları oldukça yumuşak ve düşük ergime sıcaklığına sahip olan alkali-alüminyum silikat camlarından, oldukça değişken baryum camları arasında geniş bir yelpazeye sahiptir.

Kristalleştirilmiş cam kaplamalar silikat tozlarından geliştirilmiştir. Bu kaplamalar, camın kristalleşmesi ısıl işlem ve çekirdeklenmeyi sağlayan katkıları ile kontrol edilir.

Birçok diğer malzeme silikat tozu ile birleştirilerek yüksek sıcaklık uygulamaları için tatminkar kaplama üretiminde kullanılır. Katkı malzemelerinin ilaveleri servis gereksinimlerine, ve malzemenin silikat ile uyumuna bağlıdır. Silikat kaplamalar kırılmandır, fakat genel uygulama kalınlığı olan 25 – 50 µm arasında uygulandığında parça kenarı ve keskin kenarlarda bile oldukça dayanıklıdır. Kaplama öncesinde metal yüzeyinin mekanik pürüzlülüğü yapışmayı iyileştirmede rol oynar. Uygulama sonrasında kaplama fazla yüksek olamayan bir sıcaklıkta kurutulur ve daha sonra arzu edilen performans ve görünümü karakterlerinin elde etmek için daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılır.

2.2.2 Oksitler

Oksit metallere dayalı kaplamalar yüksek seviyede termal yalıtım ve yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı koruma sağlar. Alev spreyle uygulanan oksit kaplamalar ile yapısındaki gözeneklilik sebebiyle oksitlenmeye karşı yeterli korumayı sağlayacak yüksek sıcaklığa dayanıklı metaller elde edilemez. Oksit kaplamalar 6.4 mm kalınlığa kadar kolaylıkla uygulanabilir, fakat termal şoka karşı direnç kalınlık artımı ile ters orantılı olarak azalır.

Alüminyum oksit (Alümina) ve zirkonyum oksit (Zirkonya) kaplama olarak yaygın olarak kullanılan oksitlerdir. Alüminyum oksit kaplamalar serttir,

aşınmaya karşı mükemmel dirence sahiptir ve korozyona oldukça iyi dayanır. Zirkonyum oksit düşük ısıl iletkenliği sebebiyle termal kaplama olarak yaygın olarak kullanılır.

Çizelge 2.3'te kaplamalar için kullanılan temel oksitlerin listesi ve ergime noktaları verilmiştir. Karışımlarda temel oksit kaplamada ağırlıkça ana bileşendir ve % 95 seviyelerindedir. Kalsiyum oksit, krom oksit ve magnezyum oksit gibi diğer bileşenler kararlılık, sprey edilen durumdaki yoğunluğu artırmak yüzey yayılma karakterinin modifikasyonu ve termal şoklara karşı direnci artırmak amacıyla düşük oranlarda ilave edilirler.

Oksit kaplamalar genellikle alev sprey ve plazma-ark sprey teknikleri kullanılarak uygulanırlar. Her iki metotla uygulama öncesi ana malzeme pürüzlendirilmeli ve temizlenmelidir. Aşındırıcı taneciklerin yüzey üzerine püskürtülmesi arzu edilen yüzey durumunun elde edilmesini sağlar. Sprey edilen kaplama kalınlığı genellikle 25 – 2500 µm arasında değişir. Oksi-hidrojen veya oksi-asetilen sistemleri ile alev spreyi ergime derecesi 2760 °C'a kadar olan ısıya dayanıklı oksitleri çökeltir. Bununla birlikte, bazı ısıya dayanıklı oksitler ergime dereceleri 2760 °C'nın çok altında olmalarına rağmen iyi şekilde sprey edilemezler.

Oksit tabakası alev spreyi ile püskürtülmeden önce, oksitlenmeye dirençli nikel-krom alaşımları ana malzeme üzerine kaplanır. Böyle bir temel kaplama olmaksızın oksidin yapışması yetersiz kalabilir. Alev sprey esnasında yapışma oranı düşüktür, genellikle 16 – 410 cm²/saat civarındadır.

Alev spreyi yapılabilen tüm oksitler ve 2760 °C'den daha yüksek ergime sıcaklığına sahip oksitler plazma spreyi ile uygulanabilir. Genel olarak, alev sprey ile elde edilenden daha yoğun (uygulama metoduna bağlı olarak, sprey oksit kaplamaların gözenekliliği, % 5 – 15 arasında değişir), daha sert, ve daha pürüzsüz kaplama elde edilir. Aynı zamanda ana malzemenin sıcaklığı çökelmenin daha hızlı olması sebebiyle daha düşük seviyede kalır. Plazma sprey esnasında asal gazların kullanılması sebebiyle, ana malzemenin oksitlenmesi minimuma indirilmiş olur.

Herhangi bir oksit sprey yöntemine ilave olarak sıvama ile de uygulanabilir. Sıvanmış kaplama genellikle sprey kaplamadan daha kalındır ve

ana malzemeye maksimum termal korumayı sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Sodyum silikat, kalsiyum alümina, fosforik asit veya cam gibi yapışma vasıtaları, sıvama ile uygulanan kaplamalar için kullanılır.

Çizelge 2.3. Seramik kaplamalarda kullanılan temel oksitlerin ergime noktaları [11]

| Oksit | Ergime sıcaklığı (°C) |
|---|-----------------------|
| Al ₂ O ₃ | 2070 |
| Al ₂ O ₃ TiO ₃ | 1860 |
| BeO | 2570 |
| CaZrO ₃ | 2345 |
| CeO ₃ | 2600 üzerinde |
| Cr ₂ O ₃ | 2265 |
| 2MgO SiO ₂ | 1805 |
| HfO ₂ | 2900 |
| MgO | 2850 |
| 3Al ₂ O ₃ .SiO ₂ | 1810 |
| NiO | 1980 |
| SiO ₂ | 1720 |
| ThO ₂ | 2455 |
| TiO ₂ | 1870 |
| UO ₂ | 2875 |
| Y ₂ O ₃ | 2455 |
| ZrO ₂ .SiO ₂ | 1775 |
| ZrO ₂ | 2710 |

2.2.3 Karbürler

Karbürler seramik kaplamalar gibi temel olarak aşınma yalıtım uygulamaları için kullanılırlar. Karbürlerin en yüksek sertliğe sahip olması bu uygulamalarda bir avantajdır. Bu uygulamalardan bazıları, jet motoru contaları, bıçaklar, kağıt makinelerinin bıçakları ve bujilerdir. Çizelge 2.4'te yaygın olarak kullanılan on adet karbürün ergime noktaları verilmiştir.

Çizelge 2.4. Karbürlerin ergime sıcaklığı [11]

| Karbürler | Ergime sıcaklığı (°C) |
|--------------------------------|-----------------------|
| B ₄ C | 2470 |
| Cr ₃ C ₂ | 1900 |
| NbC | 3480 |
| HfC | 3890 |
| Mo ₂ C | 2410 |
| SiC | 2540 |
| TaC | 3980 |
| TiC | 2940 |
| WC | 2790 |
| ZrC | 3400 |

2.2.4 Silisyumlar

Silisyum ısıya dayanıklı malzemeleri oksitlenmeye karşı koruyan en önemli kaplama malzemeleridir. Silisyum esaslı kaplamalar, oksijen içeren bir atmosferde ısıtıldığında kaplama yüzeyinde oluşan ince bir silisyum tabakası vasıtasıyla koruma sağlarlar. Kimyasal kararlılığı, bu ince silisyum kaplamasının yapışmasını iyileştirmek amacıyla krom , niyobyum, bor veya alüminyum kaplama formülüne ilave edilir.

Çizelge 2.5'te birkaç silisyum kaplama listelenmiş ve tanımlanmıştır. Bu malzemeler genellikle ana malzemeye buharlaşma-çökmesi yöntemleriyle uygulanır. Çökme, difüzyon ve silisyumun reaksiyonu (ve küçük miktarda ilave edilen diğer herhangi bir eleman) yüksek sıcaklıklarda ana malzeme ile birlikte silisyum esaslı kaplamayı oluşturur.

Buharlaşma ile çökeltilen silisyum kaplamalar ana malzemeye süper yapışmaları ile bilinirler. Kaplama kalınlığının hassas kontrolü bu proses ile elde edilir. Kompleks ve basit şekiller üzerinde 2 – 50 µm arasında üniform silisyum kaplama kalınlığı paket-semantasyonu (Pack-cementation) veya sıvılaştırılmış-yatak (Fluidized-bed) teknikleri kullanılarak elde edilir.

Tanecik füzyon (Slurry fusion) tekniği erimesi zor metaller üzerinde silisyum kaplamanın çökeltilmesinde en yaygın olarak kullanılan metottur. İnce silisyum toz tanecikleri, bir inorganik sıvı içerisindeki arzu edilen yapıştırıcı ile (demir, krom, hafniyum veya titanyum) daldırma , sprej ve fırçalama tekniklerinden biri ile parçaya uygulanabilir. Kaplanan parça 1300 – 1400 °C derece sıcaklıkta inert atmosferde veya vakumda 30 – 60 dakika ısıtılır. Mükemmel bir ana malzeme kaplama yapışması elde edilir.

Çizelge 2.5. Çubuktan alev sprej yapılmış Alümina ve Zirkonyanın fiziksel özellikleri[11]

| Kaplama | Yoğunluk (gr/cm ³) | Gözenek (%) | Renk | Basma Gerilmesi (MPa) | Termal Genleşme (µm/m.K) | Termal iletkenlik (W/m.K) |
|----------|-----------------------------------|----------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Alümina | 3.3 | 8 – 12 | Beyaz | 255 | 7.4 | 33 |
| Zirkonya | 5.2 | 8 – 12 | Açık Bronz | 145 | 9.7 | 14 |

Ana malzeme metallerinde çok daha kırılğan oldukları için silisyum kaplamalar çatlak oluşumuna çok duyarlıdırlar ve ana malzeme üzerinde gerilme yükseltici olarak davranırlar. Genelde, oda sıcaklığında silisyum kaplamalar ana malzemenin mekanik özelliklerine zıt etkiye sahiptir; kaplama kalınlaştıkça etki artar.

2.2.5 Fosfat-bağlı Kaplamalar

Metal koruyucu kaplama sistemlerinde fosfatlar fosforik asidin alüminyum oksit, hafniyum oksit, çinko oksit, krom oksit, ve zirkonyum oksit gibi bir metal oksit ile kimyasal reaksiyonu ile oluşturulur. Fosfat-bağlı malzemeler metali ısıya karşı korumak ve ince seramik boya filmler içerisinde birleştirici olarak davranması için kullanılır. Daha kalın kompozitler istenen kalınlığa kadar sıvanır veya sprej yapılır. Fosfat ile yapıştırılan malzemeler 21 – 425 °C arasında değişen sıcaklıklarda kürlendikten sonra, düşük yoğunluğa, düşük termal iletkenliğe ve yüksek ısıl dayanıma sahiptir ve diğer seramik kaplamalardan daha fazla kalınlığa sahiptirler. Dolayısıyla, kalın bir ısıya dayanıklı kompozitler daha

düşük sıcaklıklara dayanabilen metal sistemlerimi korumak için kullanılabilir. Fosfat-bağlı kompozitler, bileşime bağlı olarak 2425 °C'ğa kadar dayanabilir ve 50 mm kalınlığa kadar uygulanabilir.

Yüzeğe yapışmış veya kaynaklanmış takviyeler genellikle fosfat-bağlı kaplamalar içerisinde ana malzemeye yapışmaya yardımcı olmak ve titreşim ve darbelere karşı direnç sağlamak amacıyla kullanılır. Takviyeler oluklu metal kafesler, açık metal şeritler ve metalik ve metalik olmayan honeycomblardır. Fosfat-bağlı kompozitler hazırlandığında, metal oksit tanecikleri arasındaki en kuvvetli bağlarda bir tanesi % 85 ortho-fosforik asit (H_3PO_4) ile elde edilir. Bununla birlikte, H_3PO_4 ile yapıştırılan kompozitler, fluoro-fosforik asit (H_2PO_4F) ve metal oksidin reaksiyonu ile oluşturulan kompozitlerden daha düşük servis sıcaklıklarına sahiptirler. H_2PO_4F kullanılması daha düşük kütleme sıcaklığının kullanılmasına imkan sağlar.

Hazırlıktan sonra, metal oksit ile asidin reaksiyonuna imkan verecek şekilde kompozitler 24 saat veya daha fazla süre ile yaşlandırılırlar. Yaşlandırılan kompozitler direk olarak ana malzemenin veya diğere bir koruyucu kaplamanın üzerine sıvanırlar. Kaplama daha sonra zaman ve sıcaklık kontrolü altında kürlenir.

2.2.6 Sermetler

Metal ve seramik oksitlerin karışımı olan sermet kaplamalar metalik ana malzemeyi oksitlenmeye ve aşınmaya karşı korurlar. Bu kaplamaları uygulamak için kullanılan elektro-çökeltme prosesi elektroliz kaplama (metaller için) ve electrophoresis (seramikler için) yöntemlerinin bir kombinasyonudur. Çökeltilebilecek seramiğin miktarı tanecik boyutuna, yoğunluğa ve kompozisyona bağlıdır. Seramik tanecikleri 1 ila 44 μm arasında ise kaplanabilir. Bu tanecikler herhangi bir yaygın kaplama banyosunda çalkalama ile süspansiyon hale getirilebilir. Sıradan prosedürler ile % 20 ağırlık oranlarına kadar seramik içeren kaplamalar çökelti içerisinde elde edilebilir; özel prosedürler ile bu % 50 – 60 ağırlık oranlarına kadar artırılabilir. Birçok sermet kaplamalar roket egzozları gibi

erozyona dayanıklı uygulamalar için, kaplama nispeten kalındır ($>75 \mu\text{m}$). Daha kalın kaplamalar elde edilebilir fakat kalınlık $25 \mu\text{m}$ a kadar kontrol altındadır.

Plazma sprej veya patlamalı tabanca prosesi ile uygulanan sermetlerin metallerin ve süper alaşımların aşınma direncini artırmaya dayanır. En önemli sermetler metal bağlı karbürlerdir (özellikle % 8 ila 15 kobalt içeren tungsten karbür). Daha düşük kobalt içeriklerinde, yüksek sertlik ve aşınma direnci elde edilir. Kobalt içeriği artırılır ise darbe ve aşınma için gerekli tokluk artar. Tungsten karbürler atmosfer ortamında $590 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar aşınmaya oldukça dirençlidir. Daha yüksek sıcaklıklarda krom karbür kendini yağlama özelliklerinden dolayı kullanılırlar. Alüminyum oksit , ısıya dayanıklı karbürler ve oksitlenmeye dayanıklı mekanik yapıştırıcı esaslı kaplamalar $870 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklara kadar termal bariyer amaçlı kullanılabilirler [11].

Seramik kaplamalar, malzemeleri oda ve yüksek sıcaklıklarda oksitlenme ve korozyona karşı korumak amacıyla uygulanırlar. Aşınmaya karşı direnç, kimyasal direnç, elektrik direnç, hidrojen difüzyonunun önlenmesi gibi özel kullanımlar için özel kaplamalar geliştirilmiştir. Takip eden bölümde, seramik kaplamaların yüksek sıcaklıklarda termal bariyer olarak kullanım amaçları ve uygulama tekniklerine yer verilmiştir.

3 TERMAL BARIYER KAPLAMA

Termal sprej; çubuk, tel veya toz halindeki kaplama malzemelerini ergimiş veya yarı ergimiş hale getirerek, kaplanacak malzeme üzerine püskürtme işlemidir. Kaplanacak malzemeye çarpan termal sprej zerrecikleri, burada birbirleri ve ana malzemeyle bağ oluşturarak katılırlar. Termal sprej kaplaması ile ana malzemede istenilen özelliklerin (mekanik özellikler, korozyon direnci ve yüzey özellikleri) gelişme sağlanır.

Termal bariyer kaplama yüzey boyunca ısı akışını sınırlayan düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerden oluşur. Termal bariyer kaplama uygulamalarından biri olan jet motorlarında, dahili olarak soğutulmuş hareketli veya sabit kanatçıklar durumunda, temel malzemenin yüzey sıcaklığı düşürülür ve sonuç olarak parça ömrü artar. Malzemedeki bu sıcaklık düşüşü ana malzemenin daha yüksek sıcaklıklarda kullanılmasına imkan sağlar. Termal bariyer kaplamanın diğer bir avantajı ısı düzenleme avantajıdır. Isınma periyodunda, kalın ve ince parça arasındaki sıcaklık farkı termal bariyer kaplama kullanılarak dikkate değer şekilde düşürülür. Bu durumda kaplama ısı akışını kontrol eder. Bu aynı zamanda termal yorulmadan kaynaklanan düşük çevrimli yorulma ile ortaya çıkan problemlerin termal bariyer kaplama kullanılarak azaltılabileceği anlamına gelmektedir.

Termal bariyer kaplama olarak düşünülen malzemeler genellikle oksitler ve sonra karbür ve nitritlerdir. Kaplama malzemesinin ana özelliği dört başlık altında toplanır ;

- Mukavemet,
- Termal iletkenlik,
- Kararlılık,
- Temel malzeme ile olan uyum.

Bir çok termal bariyer kaplamanın mukavemeti 700 – 1000 °C sıcaklık aralığında süper alaşımından düşüktür. Bir çok seramik malzemelerin diğer bir doğal dezavantajı kırılganlıklarıdır.

Zirkonyum oksidin ısı iletkenliği diğer seramik malzemelerinkinden birkaç kat daha düşük olması sebebiyle, termal bariyer uygulamalarında yaygın olarak tercih edilir. Zirkonyum oda sıcaklığında monoclinic iken 1000 – 1100 °C arasında büyük bir hacim değişimi ile (% 7 lere varan) tetragonal şekle dönüşür. Bu dönüşüm soğuma esnasında sinterlenmiş yapısının mekanik bütünlüğüne zarar verir. 2370 °C üzerinde, ZrO₂ kübik yapıya sahiptir. Zirkonyum okside ağırlıkça % 3 ila 15 arasında kalsiyum oksit, seryum oksit, itriyum oksit veya magnezyum oksit ilavesi tüm sıcaklık aralığında kübik yapıyı kararlı hale getirir ve bu sebeple soğuma esnasında seramik malzemede mikro çatlama oluşumunu önler. Değişik oranda oksit ilavesi ile, rasgele parçalara bölünmüş veya mikro çatlaklar oluşturulmuş yapı elde edilebilir. Şekil 3.1’de tipik bir termal spre y kaplama kesiti görölmektedir.

Termal kaplama ile alt yapının uyumunu sınırlayan temel etken kaplama ile alt yapı arasındaki ısı genleşme farklılığıdır. Bir M, Cr, Al, Y tabakası seramik ile temel malzeme arasında oksitlenme ve korozyon dirençli tabaka olması yanında genel olarak uyum tabakası olarak kullanılır. M, Cr, Al, Y ve stabilize edilmiş zirkonyum tabakaları genellikle plazma spre y metodu ile oluşturulur.



Şekil 3.1. Tipik bir termal spre y kaplama kesiti

Tekrarlı ısıl şoklar altında termal bariyer kaplamanın ömrünü artırmak için değişik çalışmalar yapılmıştır;

- Porozite kontrolü, mikro parçalara bölünmüş stabilize zirkonya kullanımı,
- Kaplama oluşumu boyunca ana malzeme sıcaklığının kontrolü.

Termal bariyer kaplamanın ömrü aynı zamanda kaplamanın korozyon direncine de bağlıdır: Y_2O_3 ile stabilize edilmiş ZrO_2 diğerlerinden daha iyi korozyon direnci göstermektedir [12].

Birçok termal sprej tekniği uygulanmakta olup; $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ altındaki sıcaklıklarda kullanımı amaçlanan metalik olmayan ve oksitlenmeye karşı dirençli malzemeler için alev spreji ve atmosfer plazma spreji, metalik bağlı kaplamalar için vakum plazma spreji ve genellikle tüm seramik malzemeler için atmosfer plazma spreji kullanılmaktadır. Takip eden bölümde termal sprej kaplama teknikleri ve uygulama alanları daha detaylı olarak ele alınmıştır.

4 TERMAL SPREY KAPLAMA TEKNİKLERİ

Kaplamanın uygulama metodu; kaplamanın tipi, kaplanacak yüzeyin özellikleri ve işin boyutuna göre belirlenir. Kaplama proseslerinin bir çoğu yapışma ve izolasyon özelliklerini iyileştirmek için ısı işlem uygulaması içerir. Plazma spreyi, elektrik-ark spreyi ve alev spreyi teknikleri bu amaçla kullanılan başlıca tekniklerdir.

4.1 Alev Spreyi Tekniği

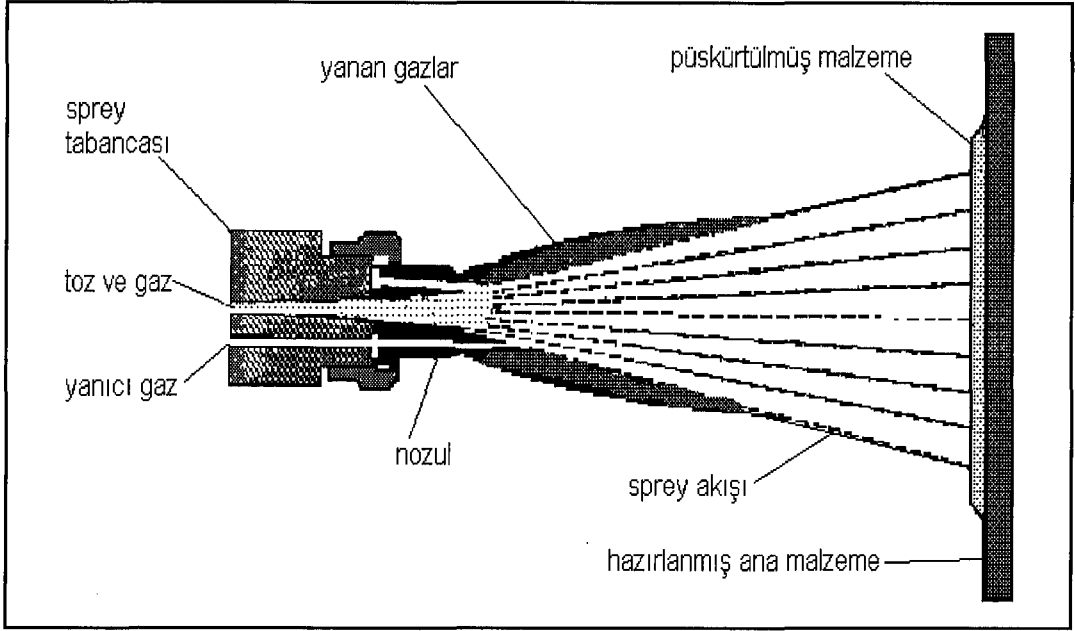
Alev sprej tekniği termo-plastik kaplamalar için geliştirilmiştir. Polietilen, etilenin kopolimerleri , vinil asetat, naylon ve polyester toz kaplamaları alev sprej tekniği ile başarıyla uygulanır. Geçerli olarak kullanılan birçok seramik kaplama malzemesi alev sprej edilebilir. Silicatlar, silisyumlar, oksitler, karbürler ve nitrürler bu yöntemle çöktürebilen temel malzemeler arasındadır.

Alev sprej seramik kaplamalar çok geniş boyut aralığında ve şekillerde uygulanabilir. Bu teknik kaplama parçası tabaka oluşumunu sağlamak için ilave ısıtmaya gerek duymadığı için , toz kaplamalarının her hangi bir alt yapıya kısmen uygulanmasına olanak sağlar. Bu yöntem ile metal, tahta, kauçuk ve taş kaplama kendiliğinden alt yapıya uygun bir yapışma özelliğine sahip ise toz boyalar ile başarı ile kaplanır.

Teknik oldukça basittir. Toz kaplamaları sıkıştırılmış hava ile sıvılaştırılır ve alev tabancasına gönderilir. Tabancada toz propan alevi vasıtasıyla toz yüksek bir hız ile enjeksiyon edilir. Alev içinde tozun direnç zamanı kısadır, fakat toz taneciklerinin tamamının erimesine imkan sağlanır. Yüksek viskoziteli tanecikler halindeki erimiş tanecikler katılaşmaya bağlı olarak kalınlığı değişen bir tabaka oluşturur [11].

Bu yöntemde kaplama malzemesini eritebilmek için yanıcı gaz kullanılır. Alev sprej tabancaları; tel, çubuk ve toz şeklindeki kaplama malzemesini püskürtebilir. Asetilen, propan, mapp gazı ve oksijen-hidrojen yaygın olarak kullanılan alev sprej gazlarıdır. Oksi-asetilen alevi kullanılarak 2760°C yanma alevi üretilir. Kaplama malzemeleri sıkıştırılmış hava akımı yardımı ile parça

üzerine çarpar. Sıkıştırılmış hava soğutma sağlar ve parça sıcaklığının 200°C 'nin altında kalmasına yardımcı olur. Genelde, tabancayı işleme uyarlamak için gereken, nozul ve hava yönlendiricinin değiştirilmesidir. Şekil 4.1'de toz sprej tabancası kesiti gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Toz alev sprej tabancası kesiti

Alev sıcaklığı ve özellikleri, oksijen ve gaz yakıt oranlarına bağlı olarak değişir. Alev sprej işlemi; düşük maliyet, yüksek kaplama hızı ve verimlilik, kolay ve ucuz bakım ile karakterize edilir. Genelde alev sprej kaplamalarda daha zayıf bağ kuvveti, yüksek gözeneklilik, daha dar çalışma sıcaklığı aralığı, elektrik-ark ve plazma-ark spreje göre ana malzemeye daha fazla ısı iletimi gözlenir. Bunlara rağmen alev sprej işlemi endüstriyel aşamada, tolerans dışı kalmış veya aşınmış parçaların kullanılabilir hale getirilmesinde yaygın olarak kullanılır.

4.1.1 Toz alev spreji

Toz alev spreji, metal ve diğer malzemelerin toz halinde uygulanmasını içeren bir alev sprej işlemidir. Toz malzemeler sprej tabancasının üstündeki bir besleme kutusunda durur. Bu tozlar oksijen (yada hidrojen) gaz karışımı ile

havada tutuldukları yere beslenirler ve tabanca nozuluna taşınırlar. Püskürtme işlemi esnasında ana malzemeye taşınan yüksek ısı nedeniyle kaplamada oksitlenme veya gerilmeler oluşabilir.

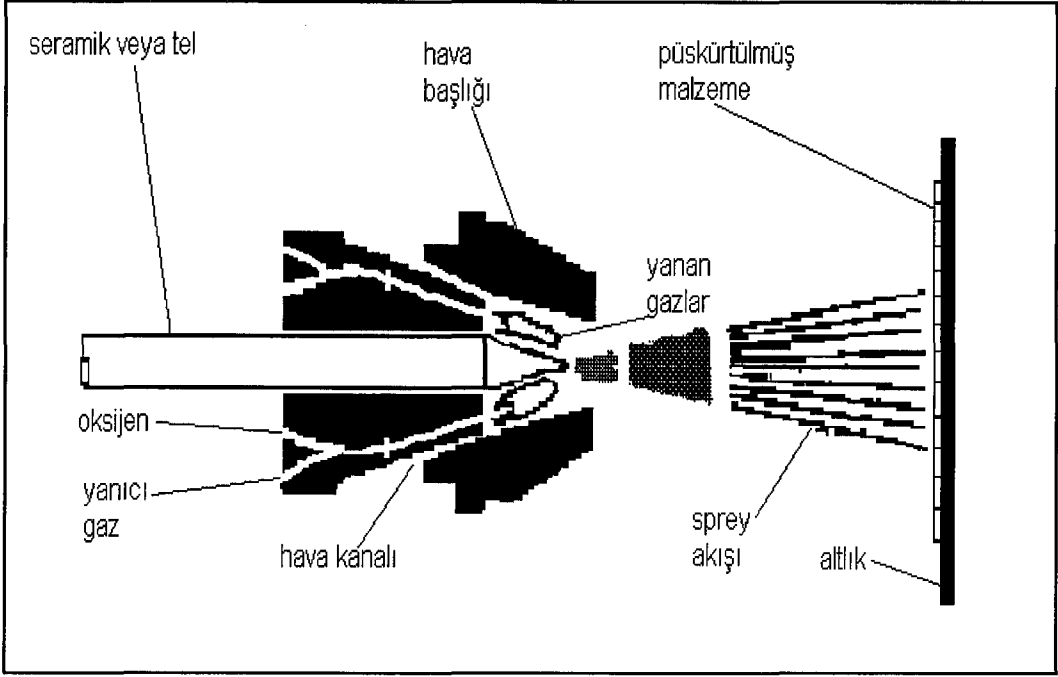
Düşük miktarlarda bor ve silisyum (% 1.0 - 1.5) içeren demir yada nikel esaslı metaller metalik malzeme üstüne kaplanırlar ve ani olarak erirler. Bu kaplamalar sertliği 20 – 68 Rc arası bir değere çıkarırlar. Eritme işlemi sonucunda genelde, korozif sıvıları sızdırmayan, tamamen metalürjik bağa sahip kaplama oluşur.

Alev sprejde ergime sıcaklığı 2760°C üzerinde olan kaplama malzemeleri (karbür ve nitrür bileşikleri), oksii-asetilen alevinde ergitilemediğinden kullanılmaz. Alev sprejde kaplama tabakasının özellikleri; kaplama malzemesi özelliklerinden başka, yanıcı gaz\oksijen oranı, yanıcı gazın kimyasal bileşimi ve tozların (tabancaya) besleme hızına bağlıdır. Alev spreyle üretilen kaplamalar baloncuklu bir mikro yapı gösterir [12,13].

4.1.2 Tel alev spreji

Tel veya metal sprejde alev sadece tel malzemeyi ergitmek için kullanılır. Ergimiş malzemeyi parçalara ayırmak ve çalışma parçasının üstüne göndermek için alevi çevreleyen bir hava akımı kullanılır. Tel sprej geniş bir aralıkta değişen metal ve seramik kaplamaların uygulanmasında hızlı ve ucuz bir metottur.

Tel alev sprej, tel halinde üretilmiş ve ergime sıcaklığı oksii-asetilen alev sıcaklığının altında olan herhangi bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtülmesi esasına dayanır. Kaplanacak metal tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenir. Tel nozul içinden geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımıyla ergitilir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kaplanacak yüzeye püskürtülür. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ergitilmesini sağlamasıdır. Kaplanan yüzeyin sıcaklığı 95 – 200 °C arasında değişmektedir. Tel alev sprejde kullanılan teller yüzlerce metre uzunlukta olabilir ve bu açıdan teknik, sürekli sistem olarak değerlendirilir [18]. Şekil 4.2’de tel ve çubuk sprej, tabanca kesiti görülmektedir.



Şekil 4.2. Tel ve çubuk alev sprej tabancası kesiti

Bu teknikte kullanılan kaplama malzemeleri molibden, paslanmaz çelik, karbon çelikleri, Zn, Cu, Al ve bronz alaşımlarıdır. Alev tel sprej, her türlü yataklarda, şaft ve millerin aşınan yüzeylerinde, debriyaj baskı plakaları, piston segmanları ve hidrolik piston millerinin kaplanmasında kullanılır [10].

4.1.3 Çubuk alev spreji

Çubuk sprejde genelde 6mm çapında çubuk kullanılır ve dört dakikada 385-420 cm² arası bir alan kaplanabilir. Daha geniş çaplarda çubuk kullanımı ile daha yüksek kaplama hızlarına erişilebilir. Bu işlem genelde alümina, alüminatitanyum oksit ve krom oksit gibi seramik malzemelerin kaplanmasında kullanılır.

4.1.4 Patlamalı tabanca spreji

Çok yüksek parçacık hızları ve yüksek sıcaklık elde edebilmek için oksasetilen gaz karışımının kontrollü bir şekilde patlatılması, patlamalı tabanca spreji yönteminde kullanılır. Bu işlemde oksijen ve asetilen yanma odasına beslenir. Kaplama malzemesi gazlara ilave edilir ve gazla karışık toz, ateşleme bujisi ile

tutuşturulur. Toz parçacıklar, patlama ile plastik hale getirilirler ve yaklaşık olarak 790 m/sn hıza ulaştırılırlar. Her bir parçacığın sahip olduğu yüksek kinetik enerji, çalışma yüzeyine çarpma ile ilave ısıya dönüşür. Böylece kuvvetli bağ elde edilir.

Volfram-karbür, alümina ve krom karbür gibi çeşitli kaplamalar patlamalı tabanca sprej ile uygulanabilir. Kaplama tekniğinin yüksek hızda olmasından dolayı, bu işlem metalik ana malzemelerle sınırlandırılmıştır. Plastik, grafit ve seramik gibi metal dışı yüzeyler yüksek hızdaki parçacıklar tarafından aşındırılabilir.

Bu teknikte üretilen kaplamalar, yoğun, sert ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir. İş parçasının az ısınması ve karbürler gibi ergime sıcaklığının yüksek olduğu malzemelerin kaplanması prosesin avantajıdır. Buna karşılık düşük biriktirme hızı, kullanışlı olmaması ve pahalı bir proses olması tekniğin dezavantajlarıdır [15].

Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor parçacıklarının korunmasında, tekstil makine parçaları, kağıt ve plastik sanayiinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda patlama tabancası tekniği kullanılmaktadır [16].

4.1.5 Yüksek hızlı oksijen-asetilen sprej

Yüksek hızlı oksijen-asetilen sprej veya yüksek hızlı alev sprej olarak da bilinen HVOF termal sprej ailesinin en yeni üyesi olarak sayılabilir. HVOF süpersonik hızlara sahip partiküllerin ısıtılıp, ergitildiği ve kaplamaların yapıldığı bir prosesdir. Bu sistemde kaplama kaliteleri oldukça yüksektir ve bu özellik HVOF'u en popüler kaplama prosesi yapmaktadır [8].

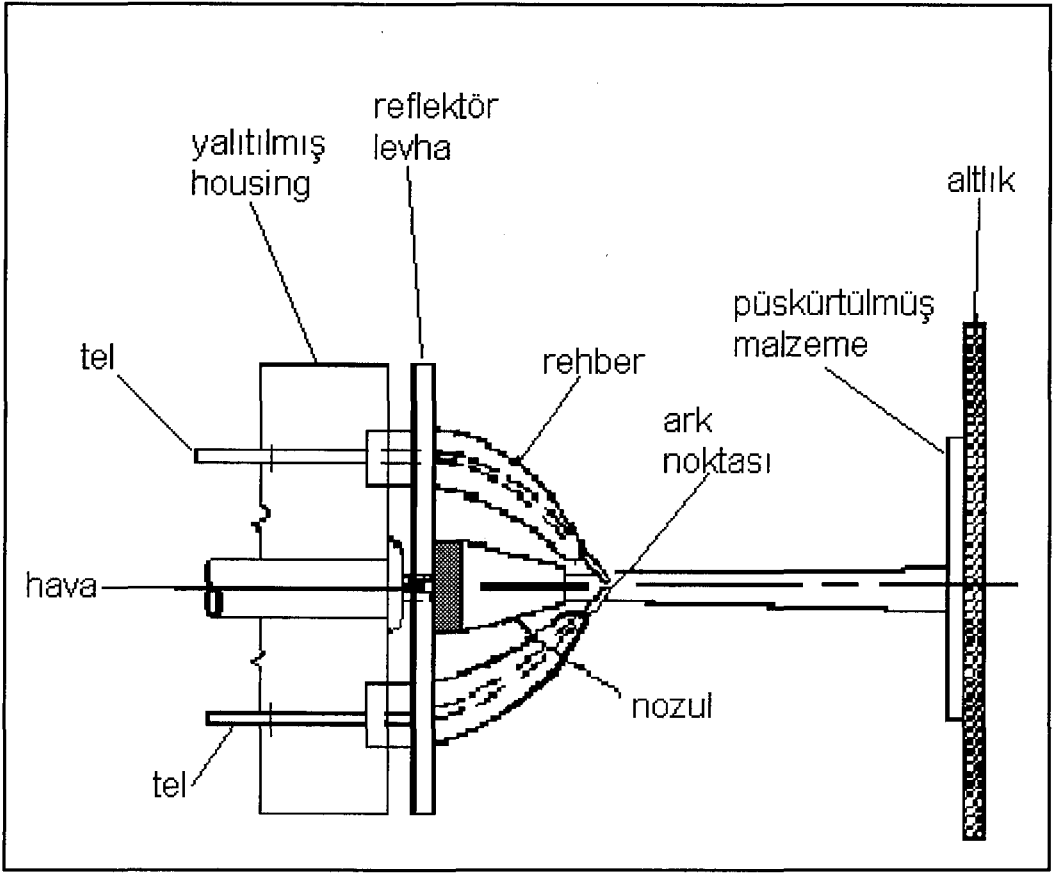
Bu teknikte yanma odasında yanıcı gazlar (propan, propilen, hidrojen ve metil-asetilen) oksijen ile sürekli yanar. Yanıcı gazların ve taşıyıcı azot gazının basıncı 10^5 ila $5 \cdot 10^5$ Pa arasında değişmektedir. Alev sıcaklığı 2500-3000 °C civarındadır. Kaplama tabakasının özellikleri, kullanılan yanıcı gazların bileşimine, basıncına ve sprej tabancasının dizaynına önemli ölçüde bağlıdır [19,20].

HVOF' la üretilen kaplamalar; yüksek yoğunluk, yüksek sertlik ve altlığa iyi yapışma ile karakterize edilebilir. Toz formundaki karbür malzemeleri olan volfram-karbür, krom-karbür, süper alaşımlar (Inconel, Hastelloy C, Triballoy 800), Al, bronz, paslanmaz çelik, Ni-Cr alaşımları kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. HVOF' un başlıca kullanım alanları olarak; başta uçak ve uzay endüstrisinde türbin bıçaklarının kaplanması, jet motorları, kağıt endüstrisinde kurutma silindirleri, tekstil elemanları, tel çekme makaraları, sıyıcı bıçaklar gibi örnekler sayılabilir [14].

4.2 Elektrik-Ark Spreyi

Elektrik-ark işlemlerinde tel şeklindeki metal kullanılır. Bu işlem diğer termal sprey işlemlerine göre farklılık gösterir, çünkü gaz alevi yada elektrikle uyarılmış plazma gibi harici ısı kaynakları kullanılmamaktadır. Sprey malzemesine karşılık gelen zıt yüklenmiş iki tel beraber beslendiklerinde, kesişme noktalarında meydana gelen kontrollü ark ile ısıtma ve ergitme meydana gelir. Ergimiş metal, zerreciklere ayrıştırılır ve gaz veya sıkıştırılmış hava akımı ile ana malzeme üzerine püskürtülür. Bu işlemle, sprey malzemesine bağlı olarak 2200-5550°C'lık ısı oluşturulabilir. Tipik bir elektrik-ark cihazı Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Diğer termal sprey işlemlerine göre elektrik-ark sprey pek çok avantaj arz eder. Genelde bu işlemle daha yüksek bağ kuvveti elde edilir, bazı malzemeler için bu değer 69 MPa'dan fazladır. Bazı nikel esaslı alaşımlarda 55 kg/saat kaplama malzemesi kullanım hızlarına ulaşılmıştır. Ana malzemenin alevle temas etmemesinden dolayı diğer işlemlere göre ana malzeme sıcaklığı düşüktür. Diğer işlemlere göre kullanılması en ucuz olan işlemdir ve elektrik gücü ihtiyacı azdır. Birkaç istisna dışında pahalı gaz ihtiyacı (örneğin argon) yoktur ve farklı teller kullanılarak pseudo-alaşımlar kaplanabilir. Bu yöntemle diğerlerine göre çok daha ucuz kaplama yapılabilir.



Şekil 4.3. Elektrik-ark cihazı

Elektrik-ark işlemi esnek, 1.5 mm çapta iletken telle sınırlandırılmıştır. Bu yüzden oksit, nitrür ve karbürlerin kaplama malzemesi olarak kullanımı mümkün değildir.

Kullanılan başlıca tel alaşımları şunlardır, paslanmaz çelikler, Mo, Cu, Al, Zn, ve bronz alaşımlarıdır. Ayrıca kısmen seramik katkıli kompozit tellerin de elektrik ark spreyle kullanılması söz konusudur. Teknik geniş hacimde ve düşük maliyetli uygulamalarda (korozyona karşı Zn kaplama gibi) uygulanabilir. Elektrik ark spreyle uygulamaları, alev tel spreyle benzer sahalardadır (kağıt endüstrisinde kurutma silindri, mürekkep merdaneleri, her türlü yatak ve şaft milleri gibi) [14].

4.3 Plazma Sprey Teknikleri

Seramik kaplamalar çok fazla metot ile oluşturulabilir. Plazma sprej teknikleri 1950'lerden beri metaller üzerine metal alaşımlar ve seramik kaplama amacıyla kullanılmaktadır. Plazma sprej kaplama yapımında kullanılan başlıca teknikler aşağıda sunulmuştur.

4.3.1 Plazma-ark sprej

Plazma-ark sprej, aşınma veya ısı şoka karşı malzemenin direncini artırmak için yıllardır malzemeleri kaplamada (ya da malzemenin parçası olarak) kullanılmaktadır.

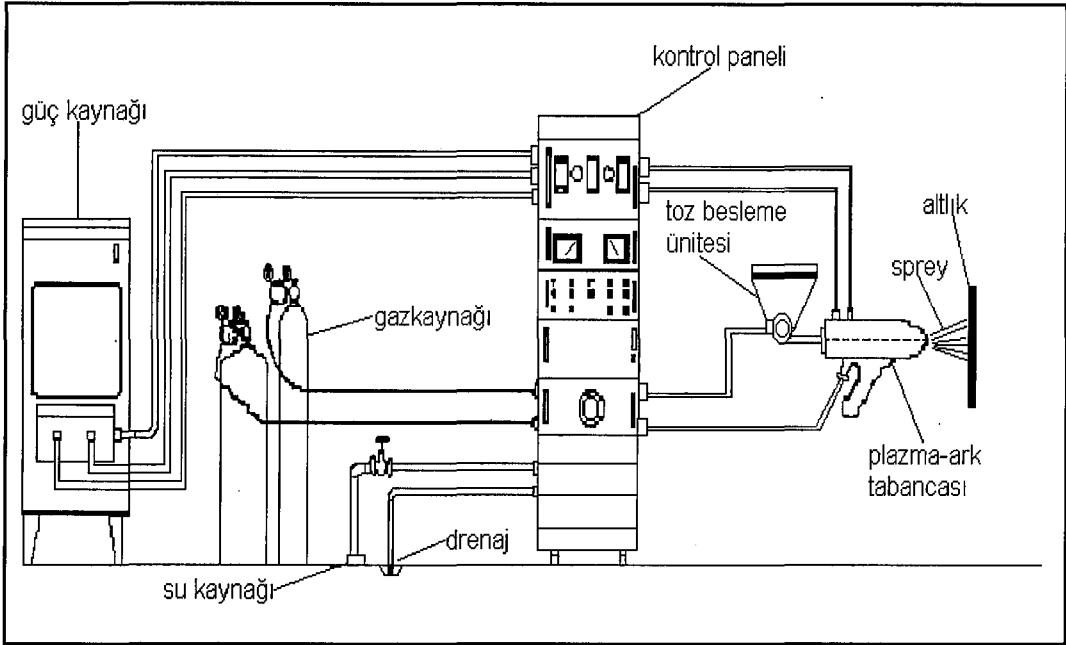
Bu kaplamalar ana malzemenin yüzey karakteristiklerini geliştirir. Bununla birlikte özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmalarını ve geliştirilmelerini engelleyen dezavantajlara (gözeneklilik , oksit içermesi, zayıf yapışma) sahiptir. Yüksek sıcaklık oksitlenme testleri, atmosfer kontrollü plazma spreji yapılmış M, Cr, Al, Y kaplamalarının ömrünün termal buharlaşma ile elde edilen kaplamanın yarı ömrüne sahip olduğunu göstermiştir [12]. Uygun ön işlemler, kaplamanın oksitlenmeye ve korozyona karşı direncini artırmada kullanılabilir. Kaplamaların basit alaşımlardan yapılması durumunda püskürtülecek tozun oksitlenmesi silikon ve bor ilavesi ile yavaşlatılabilir [2].

Plazma-ark sprej işlemi, pek çok alev sprej işlemine göre daha yüksek sıcaklık ve daha yüksek parçacık hızı sağlar. Plazma-ark sprejde, plazma sıcaklığı 16000°C kadar ulaşabilir. Plazma-ark sprej kaplamalarda daha yüksek kaplama yoğunluğu ve bağ kuvveti gözlenir. İç ark gazlarına bağlı olarak metal kaplamanın oksit içeriği düşüktür.

Maddenin dördüncü hali olarak düşünülebilen plazma, eşit oranda serbest elektron ve pozitif iyon içeren sıkıştırılmış gazdır. Plazma-ark tabancası plazmanın olduğu yerde, bir tarafı açık oda içeren, su ile soğutulan bir cihazdır. Temel ark gazı (genelde argon yada nitrojen) odaya girer ve yüksek frekanslı ark starterinden gelen elektrik deşarjı ile iyonlaştırılır. Deşarj olayı bir kere başladığında, plazma 30 ile 80 V arası potansiyelle birlikte 2000 A'e kadar doğru

akımı iletebilir. Yüksek enerjili tabancalar 80 kW 'a kadar tasarlanmıştır ve bu tabancalarda 2 Mach'dan fazla püskürtme hızı elde edilebilir.

Plazma direnç ile ısıtılır ve plazmadan daha fazla akım geçirilerek daha yüksek sıcaklığa ulaşılır. Daha yüksek sıcaklığa çıkabilmek için ikincil gazlar (helyum, nitrojen, hidrojen) plazmaya ilave edilir. Bu gazlar ark gazı karışımının iyonlaşma potansiyelini ve düşük güç seviyelerinde daha yüksek sıcaklık üreten plazmanın ısı içeriğini artırırlar.



Şekil 4.4. Plazma-ark sistemi

Şekil 4.4.'de temel plazma-ark sistemi görülmektedir. Güç seviyesi, ark gazlarının basıncı ve akışı, taşıyıcı gazların ve tozun akış hızı sistem panelinden kontrol edilir. Sprey tabancasının konumu ve çalışma mesafesi önceden belirlenir. Çalışma parçasının hareketi yarı yada tam otomatik bir cihaz ile kontrol edilir. Ana malzeme sıcaklığı ön ısıtma yada sıcaklık akışının sınırlandırılması ile kontrol edilebilir.

4.3.2 İletimli plazma-ark sprej

Plazma-ark sprej, ana malzeme yüzeyinin ısıtma ve ergitme özelliği iletimli ark sistemi ile kazandırılır. Bu işlemde, ana malzeme ile plazma arasında

ikinci bir akım oluşturulur. Yüzey erimesi ve nüfuz etme derinliği ikinci ark akımı ile kontrol edilir. İletimli plazma ark spreyinde ikinci akım ile direk ısıtmadan dolayı metalurjik bağ, yüksek yoğunluklu kaplama, yüksek kaplama hızı ve her bir püskürtme pasosu için daha fazla kalınlık gibi pek çok avantaj sağlanır. 9 kg/saat toz besleme hızında, her bir pasoda 32 mm 'ye kadar bir genişlik ve 0.50-6.35 mm arası bir kaplama kalınlığı elde edilebilir. İletimsiz plazma-ark işlemine göre daha az elektrik enerjisi gerekir. Örneğin % 88 WC + % 12 Co malzemeyi 0.30 mm kalınlık ve 9.50 mm genişlikte kaplamak için iletimsiz plazma-ark işlemi için 24 pasoda 40 ile 60 kW arası enerji gerekir. Aynı malzeme iletimli ark işlemi ile bir pasoda 2.5 kW enerji harcanarak kaplanabilir.

Isıtma yöntemi ve ısı transferi yardımıyla iletimli ark işleminde, geniş ve büyük boyuttaki toz malzeme kullanımından doğan problemler giderilebilir.

Uygulamalar için bazı sınırlamalar düşünülmelidir. Çünkü ana malzemenin ısıtılması, işlemin bir parçasıdır ve mikro yapıdaki bazı değişiklikler kaçınılmazdır. Uygulamalar elektrik iletkenlik ve deformasyonlara dayanıklı ana malzeme ile sınırlandırılmıştır. İletimli plazma-ark işlemi valf yastıklarının, ziraat makinelerinin, madencilik makinelerinin sert metal kaplanmasında kullanılır.

4.3.3 Düşük Basıncılı Plazma Spreyi

Atmosfer plazma spreyinin birçok dezavantajı kısmen vakumlu veya asal gaz basınçlı odalar kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Düşük basınç, çok yüksek tanecik ve gaz hızlarının (3 Mach'ın üzerinde) elde edilmesini sağlar. Tanecik ısıtma işlemi ile birleştirilince, erimemiş gözle görülmeyecek kadar küçük tanecikli ve yüksek kaplama yoğunluklu bir kaplama üretilir. Oksidin olmayışı kaplama yapışmasını ve tanecikler arasındaki çekimi artırır . Vakum plazma tabancasının parçanın temizlenmesi ve ısıtılması amacıyla kullanılmasına imkan sağlar [6].

Bu yöntemle elde edilen yüzey pürüzlülüğü genellikle kabul edilebilir seviyededir. Bu pürüzlülük kaplamanın kimyasal karışımı ve başlangıç tozunun tanecik boyutuna bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için genel tesviye teknikleri kullanılır [2].

Özellikle uçak motoru sanayindeki kaplama endüstrisinde asal atmosferde ve/veya düşük basınçlı odada yapılan termal sprey işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçak motorları yüksek sıcaklıkta çalıştıklarından yüksek sıcaklığa dayanıklı kaplama kullanılmalıdır. Pahalı bileşenlerin ömrünü uzatmak ve korumak için, yüksek sıcaklık uygulamalarına has kaplama alaşımları geliştirilmiştir. Kompleks Ni-Co-Cr-Al-Y ve diğer MCr-Al-Y tipi alaşımlar için yüksek sıcaklıkta çalışan jet motor parçalarında, asal atmosfer ve düşük basınçlı plazma sprey sistemlerinin etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Her bir işlem benzer özellikler göstermesine rağmen yaygın olarak fiziksel özelliklerde farklılık gözlenir.

Asal atmosfer spreyi iki amaç için kullanılır:

- Tehlikeli malzemeleri kaplamak,
- Açık hava spreyi sırasında oluşabilecek oksitleri sınırlamak.

Tehlikeli malzemeler zehirli ve yanıcı olmak üzere iki grupta toplanır. Zehirli malzemeler berilyum ve alaşımlarını, yanıcı malzemeler ise magnezyum, titanyum, lityum, sodyum ve zirkonyum içerir (bu malzemeler plazma prosesi ile ayrıştırıldıklarında veya saflaştırıldıklarında aniden yanabilirler). Bir asal oda spreyi; su soğutmalı kutu, eldiven, havalandırma filtresi, plazma sistemi, iş parçası kullanma aparatı, vakum pompa sistemi, asal gaz doldurma manifoldunu içerir. Genelde, odanın basıncı 0.01-0.001 Pa'a düşürüldüğünde yüksek saflıktaki kuru argon odaya doldurulur. Asal gaz odasında oksijen 30ppm'in altında olmalıdır. Optimum fiziksel özelliklere sahip kaplama elde edebilmek için sprey malzemesi orijinal bileşimini korumalıdır. Düşük basınçlı plazma sprejde bağ kuvveti yüksektir çünkü yüksek ana malzeme sıcaklığı kaplamanın ana malzemeye difüzyonunu mümkün kılar. Kapalı sistemler, toz ve gürültü gibi çevresel problemleri azaltır. Ana malzeme üzerindeki plazmanın sıcaklığı toz parçacıklarının ergime sıcaklığına ulaştığında optimum sprey koşulları oluşur. Ama optimum sprey koşulları sprey malzemesinin parça boyutu ve bileşimi ile değişir [13].

5 JET MOTORU EGZOZ FLAPLARINDA KARŞILAŞILAN KAPLAMA PROBLEMLERİ

Jet motorları genellikle 1100 °C sıcaklık altında binlerce saat çalışır. Kompresör ve fanlar oldukça yüksek hızlarla dönmektedir. Bu ise pale köklerinde oldukça yüksek çekme gerilmelerine sebep olmaktadır. Türbin ve kompresör pale köklerindeki gerilme seviyesi 827 MPa civarındadır. Acil motor kapama durumunda olduğu gibi ani motor çalışma durumu, farklı ısıl genleşmeleri, titreşimden kaynaklanan kuvvetler motorun maruz kaldığı diğer olumsuz şartlardır.

Kaplamaların bozulmaları genellikle aşınma şeklinde gerçekleşir ve motor verimini düşüren ve parçanın korozyon olmasına yol açan bir etkidir. Bozulmanın başlıca iki temel sebebi vardır. Birincisi, motor kompresör girişinde hava devir cihazlarıyla veya filtreler ile dışarı atılmayan toz tanecikleridir. Bozulmanın ikinci sebebi, motorun küçük boyutu ve çok çeşitli yakıt kullanılabilmesidir. Uzun çalışma şartları boyunca dizel gibi ağır yakıtların kullanılması motor parçaları üzerinde karbon taneciklerinin birikmesine yol açar. Bu karbon tanecikleri neticede kırılır ve erozyona sebep olur. Mevcut kaplamanın gözenekli ve homojen olmayan yapısı nedeniyle, belirli işletim sürelerinin ardından, kaplamada çatlak oluşumu, soyulma ve bozulma gibi sorunlar yaşanmaktadır.

Çalışmada motor egzoz flaplarında kullanılan kaplamalarda karşılaşılan çatlak oluşumu ve soyulma gibi problemlerin giderilmesi amaçlanmıştır. Motor egzoz flaplarında kullanılan METCO 210B-NS toz karışımındaki SiC miktarı ağırlıkça % 0 ila % 15 arasında değiştirilmiştir. METCO 210B-NS tozu ve silisyum karbür tozlarının karışımları, METCO 3 MB torch kullanılarak plazma sprej yöntemi ile titanyum alaşımı test kuponları üzerine kaplanmıştır. Kaplanmış kuponlar üzerinde, silisyum karbürün, kaplama yapışma mukavemeti ve ısı-yalıtım direnci üzerine olan etkisi araştırılmıştır. İlerleyen bölümlerde karışımların hazırlanışı, kaplama prosesi, kaplama kabul kriterleri ve uygulanan deneyler hakkında detay bilgi verilmektedir.

6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Termal Sprey Kaplama Uygulaması

Plazma sprej termal bariyer kaplamalar, Ca-PZS, (METCO 201BS-NS, 53 _ 10 mikron) ve beta-silisyum karbür, (H.C. Starck SiC-B10, 0.6 mikron) tozlarının ağırlıkça yedi farklı kombinasyonunun kullanıldığı, Çizelge 6.1.'de görülen toz karışımları ile gerçekleştirilmiştir. Toz karışımlar, aseton içerisinde homojen olarak dağıtıldıktan ve asetonun bünyeden atılmasından sonra, kullanım öncesinde, 100 °C 'da iki saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan tozun nemlenmemesi için açık havada veya oda sıcaklığında 1 saatten fazla kalmaması gereklidir.

Termal sprej kaplamanın uygun yapışması hazırlanan yüzeyin temizliğine bağlıdır. Parça uygun şekilde temizlenmemiş ise kaplama ayrılabilir. Kaplama öncesinde hazırlanan test kuponları üzerindeki pislik ve kalıntıların temizlenmesi için özel tanecik püskürtme teçhizatı kullanılarak kuru aşındırıcı parçalar kaplanacak yüzey üzerine püskürtülmüştür. Temizlik amacıyla genellikle MIL-A-21380, tip I, grit 25 - 150 tanecikleri kullanılmaktadır. 0.2 – 0.6 MPa püskürtme basıncı, 40 – 90 derece püskürtme açısı ile nozul parçadan 15 – 23 cm mesafede tutularak püskürtme yapılmıştır. Bu işlemden sonra kirlenmeyi önlemek amacıyla parçaya pamuk eldiven ile dokunulmalı ve kaplama işlemi hemen yapılmalıdır.

Kaplama esnasında kaplanacak parçada mevcut nem ısınarak genişmekte ve kaplamada boşluklarının oluşması veya çatlamlar gibi problemlere sebep olmaktadır. Bu sebeple hazırlanan test kuponları sprej sabitleyicisine bağlanıp 100 °C sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tutulmuştur . Sıcaklık yüzeye temas eden pirometre ile ölçülmüştür. Bu ön ısıtma işlemi plâzma tabancası ile yapılmıştır. Sprej esnasında parça sıcaklığının 120 °C'yi geçmemesine dikkat edilmiştir.

Kaplama süreci, METCO 3MB tipi tabanca (500 A-60 V) ile Ar-H₂ (0.7 – 0.34 MPa) gaz ortamında, kaplanacak yüzeye 10 cm uzaklıktan, 90° sprej açısında ve 2.75 kg/saat'lik sprej parametreleri kullanılarak, üç paso olarak

gerçekleştirilmiştir. Test kuponu yüzeyinde ortalama 150 µm kaplama kalınlığı elde edilmiştir.

Mekanik özelliklere ilişkin değerler, plazma sprej kaplamaların, çekme ve eğilme testlerine gösterdikleri tepkilerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi üzerinde yürütülmüştür.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan karışımlar

| Bileşenler | Kaplama No. (% ağırlık) | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|------|----|------|----|------|----|
| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
| METCO 201B-NS | 100 | 97,5 | 95 | 92,5 | 90 | 87,5 | 85 |
| Silisyum Karbür | 0 | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 |

6.2 Kaplama Kabul Kriterleri ve Uygulanan Testler

Burada ele alınan test metotları termal sprej kaplamanın kalite kontrolü ve hazırlanan karışımların testlere verdiği tepkilerin karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Her metot için kabul ve ret kriterleri sunulmuştur[22].

Doğrulama için kullanılan testler aşağıdaki gibidir :

1. Göz Kontrolü
2. Çekme-Yapışma Testi
3. Eğilme Testi
4. Isı-Yalıtım testi

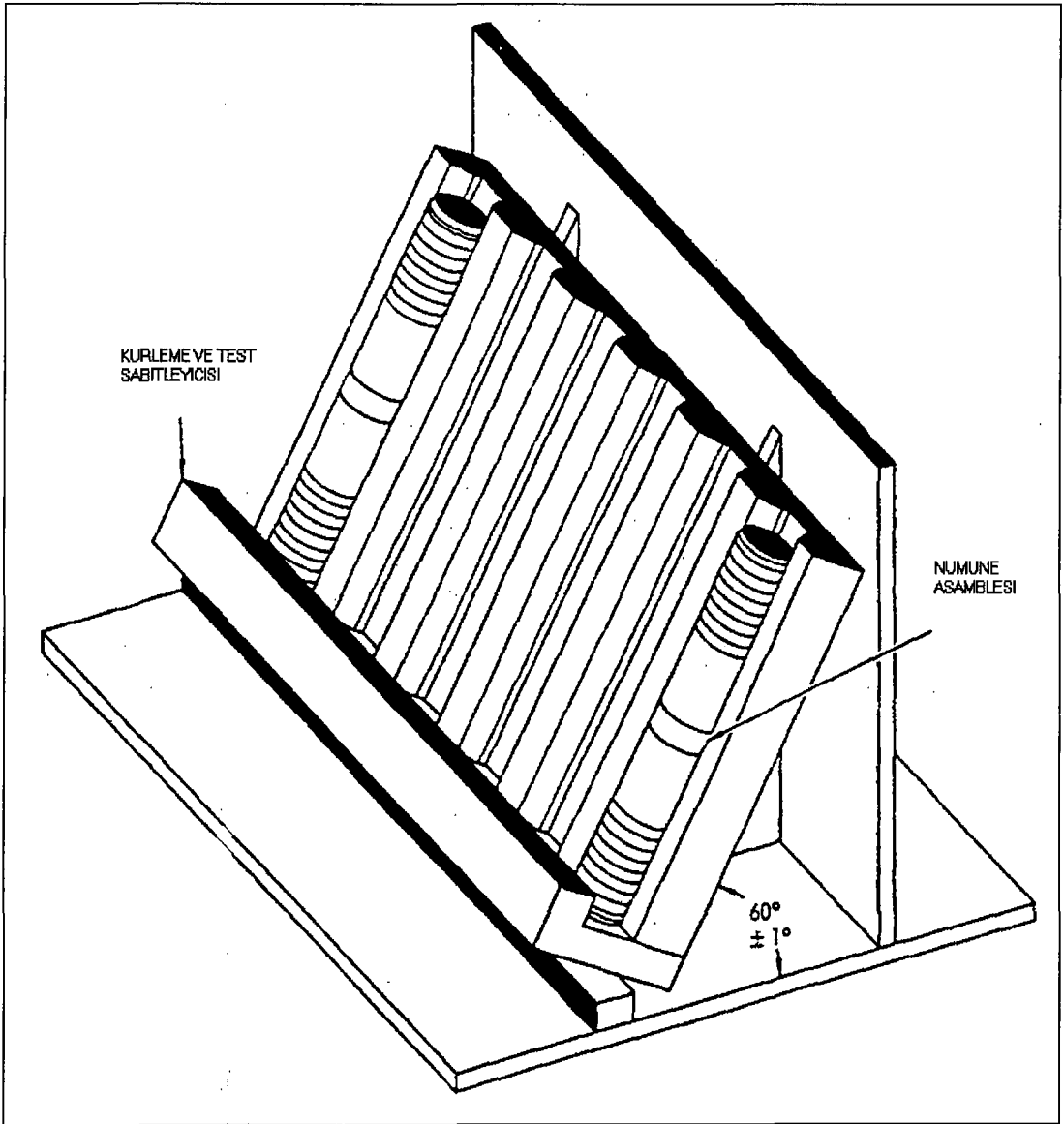
6.2.1 Göz Kontrolü

- a. Kaplamada herhangi bir yağ belirtisinin bulunması kaplamanın reddine sebeptir.
- b. Yüzey kabarmalar, pürüzler,dalgalanmalar, cipler, boşluklar, çatlaklar gibi yüzey kusurları yönüyle değerlendirilir.

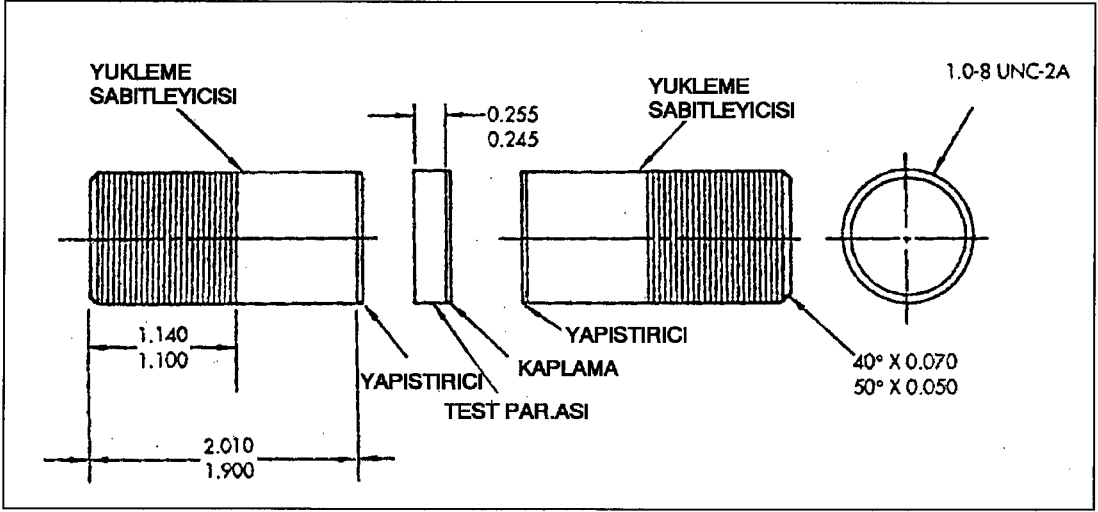
- c. Parça üzerinde üç farklı yerde kaplama kalınlığı ölçülür, bu mümkün olmaz ise test numunesi ölçüm için kullanılır.

6.2.2 Çekme-Yapışma Testi

Test parçaları, çekme-yapışma testi kütleme sabitleyicisi ve termal spreycaplaması yapışma mukavemeti numune asamblesi Şekil 6.1 ve 6.2'de gösterilen standart ta hazırlanmıştır.



Şekil 6.1. Çekme-yapışma testi kütleme sabitleyicisi [21]



Şekil 6.2. Çekme gerilmesi test asamblesi şematik gösterimi [21]

Çizelge 6.2. Alternatif test numunesi malzemeleri

| Kaplanmış malzeme | Test parça malzemesi | Alternatif test parça malzemesi |
|-------------------------------------|---|--|
| Demir alaşımları | AMS 5613 ,410 Çelik | AMS 5504 , 410 Çelik |
| Nikel ve kobalt alaşımları | AMS 5663 , Inco 718 veya AMS5754 ,Hast X | AMS 5596 ,Inco 718 veya AMS 5536 , Hast X |
| Titanyum alaşımları | AMS 4928 ,Ti –6-4 | AMS 4911 , Ti –6-4 |
| Alüminyum veya magnezyum alaşımları | AMS 4117 , 6061 Alüminyum | AMS 4027 , 6061 Alüminyum |

Yapışma testi için egzoz flap malzemesi ve ısıl işlem durumu ile aynı test parçası kullanılmıştır. Çizelge 6.2’de kullanılabilir diğer alternatif test parça malzemeleri yer almaktadır. Bu çalışmada her karışım için 3 test parçası kullanılmıştır. Temizleme ve yüzey hazırlama işlemleri test parçasına da uygulanıp, test parçası maskelenmiştir. 25.4 mm çapındaki test kuponları üzerine yaklaşık 150 – 200 µm kaplanmıştır.

Test parçaları yapışma yüklem sabitleyicisine genellikle aşağıda verilen yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılmakta olup bu çalışmada 3 numaralı yapıştırıcı kullanılmıştır. Fazla yapıştırıcı, temizlenip parça kürlenmiştir. Kürlenme sıcaklığı

ve zamanı yapıştırıcı cinsine bağlıdır(Çizelge 6.3). Yapışma esnasında basınç uygulanmasına gerek yoktur.

Çizelge 6.3. Yapıştırıcı uygulama parametreleri

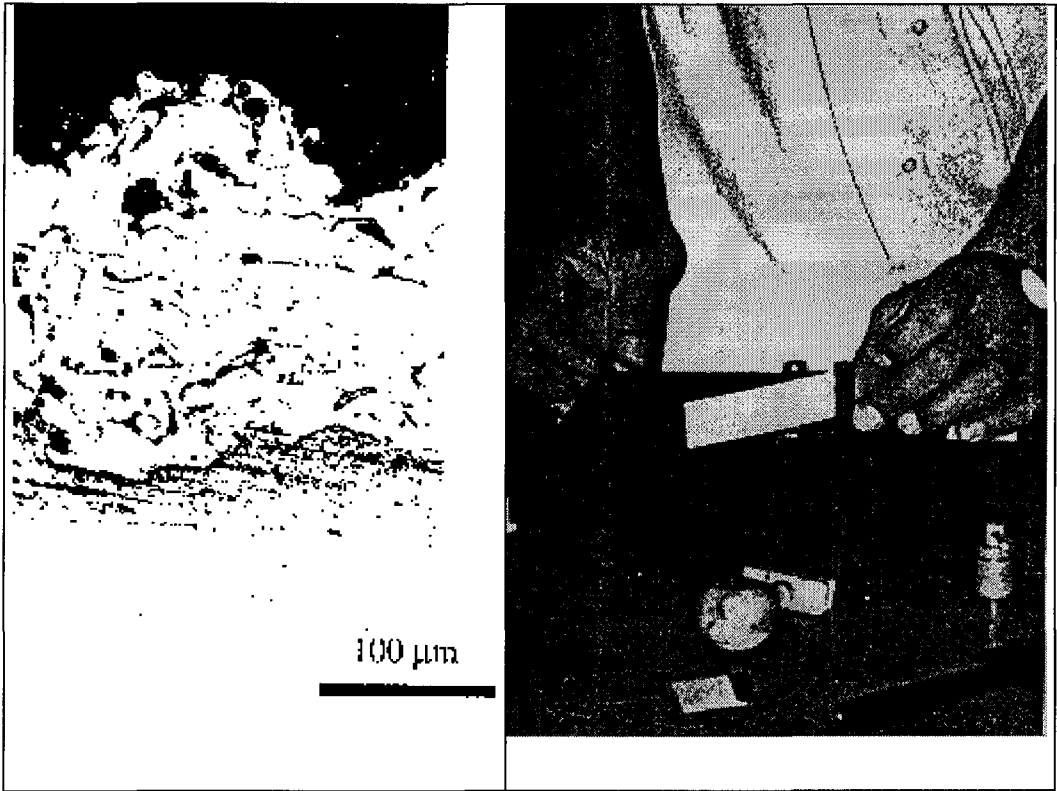
| Yapıştırıcı Tipi | Uygulanan Basınç | Kürleme Sıcaklığı | Kürleme Süresi |
|---|------------------|-------------------|----------------|
| MMM-A-132 (FM –1000 film yapıştırıcı) | 0.13 – 0.2 MPa | 165- 200 °C | 2 - 4 |
| Epoxy paste EC- 2086 | Yeterli basınç | 165-200 °C | 2 - 4 |
| Epoxy paste EC-2214 | Yeterli basınç | 120-145 °C | 2 - 4 |

Test parçasını iki yükleme sabitleyicisi arasında hizalamak amacıyla asamble sabitleyicisi kullanılmaktadır. Kürleme işleminden sonra test numunesi oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonrası kalıntı yapıştırıcılar 180 grit'lik zımpara ile temizlenmiştir. Yükleme sabitleyicileri ile test parçasının yapışmasında merkezden sapma olup olmadığı kontrol edilmektedir.

Test parçası standart bağlayıcılar kullanılarak INSTRON test makinesine bağlanmıştır. Test esnasında burulma veya eğilme uygulanmaksızın 1.25 mm/dak sabit yer değiştirme oranında çekme yükü kırılma oluşuncaya kadar artırılmıştır. Her üç test numunesi için kırılma noktası işaretlenip kırılma yükü kaplama alanına bölünerek elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak kaplamanın çekme (yapışma) mukavemeti hesaplanmıştır . 16 X büyütmeli mikroskop altında kırılma yüzeyinde yapıştırıcı mevcudiyeti kontrol edilmiştir . Kaplama boyunca herhangi bir bölgede tamamıyla yapıştırıcı nüfuz ettiğinde test başarısız kabul edilmiştir.

6.2.3 Eğilme Testi

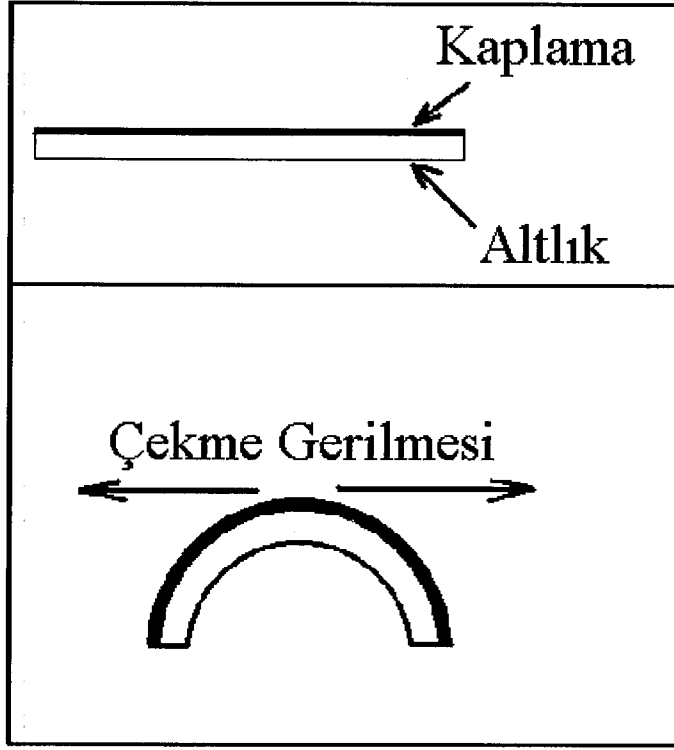
Kaplamaların yüzey bükülme özelliklerini kalitatif olarak saptamak üzere eğilme testleri uygulanmıştır. Eğilme testi için, yaklaşık 150-200 µm kalınlığında (Şekil 6.3a) kaplanmış, 7.5x2.5x0.15 cm boyutundaki test kuponları, Şekil 6.3b’de görüldüğü gibi 2 cm çapındaki çubuk etrafında 180° bükülmüştür. Eğilme yüzeylerinin 16 X büyütmeli mikroskop ile fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 6.3. a) Kaplama kesiti

b) Eğilme testi uygulaması

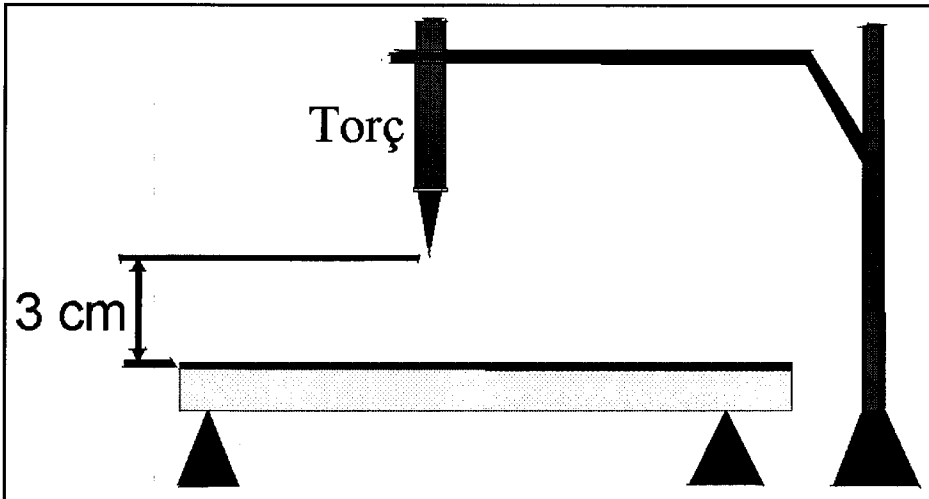
Şekil 6.4’te test numunesine eğilme yükü uygulanmasına rağmen kaplama üzerinde çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Dolayısıyla eğilme testi numune üzerinde yer alan kaplama için çekme testi olarak değerlendirilebilir. Numunenin kaplanmış eğilme yüzeyi çatlama, soyulma ve pullanma gibi gözlenebilir kriterler açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 6.4. Kaplama eğilme testi

6.2.4 Isı-Yalıtım Direnç Testi

Bu çalışmada, % 5 silisyum karbür katkılı ve katkısız karışımlar ile kaplanan 10*10*1 mm boyutundaki levhaların kaplama yüzeyine asetilen alevi 3 cm mesafeden 3 dakika süre ile uygulanmıştır (Şekil 6.5). Kaplama yüzeylerinde ve ana malzemede meydana gelen değişiklikler irdelenmiştir.

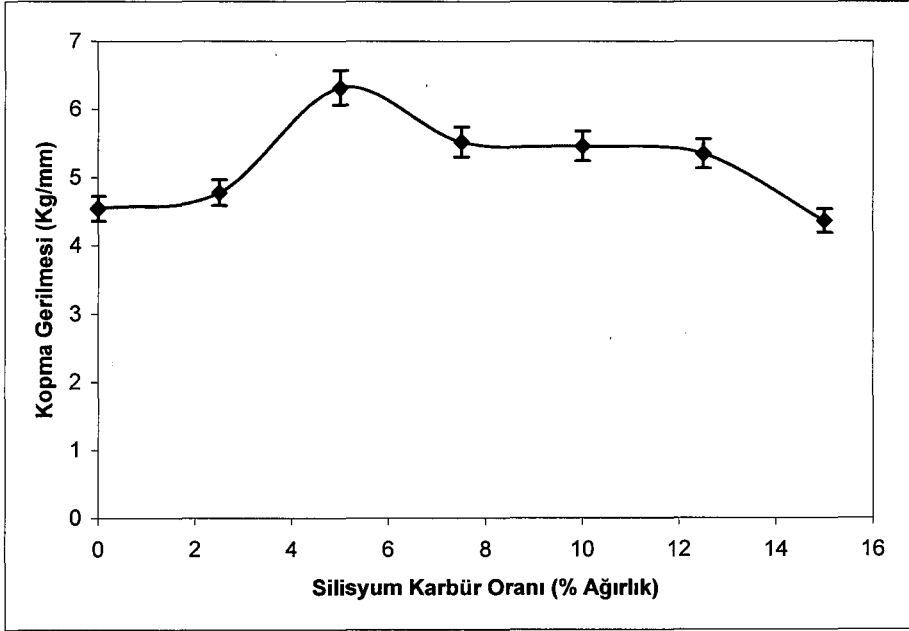


Şekil 6.5. Isı-Yalıtım Direnç Testi

7 SONUÇLAR VE YORUM

Çekme ve eğilme testleri sonucunda, silisyum karbür katkılı Ca-PSZ plazma sprey kaplamaların performansının silisyum karbür miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Şekil 7.1’de silisyum karbürün farklı ağırlık oranları için çekme gerilmesindeki, diğer bir deyişle yapışma mukavemetindeki, değişim görülmektedir. Şekil 7.2’de eğilme yüzeylerinde oluşan çatlak görünümü verilmiştir.

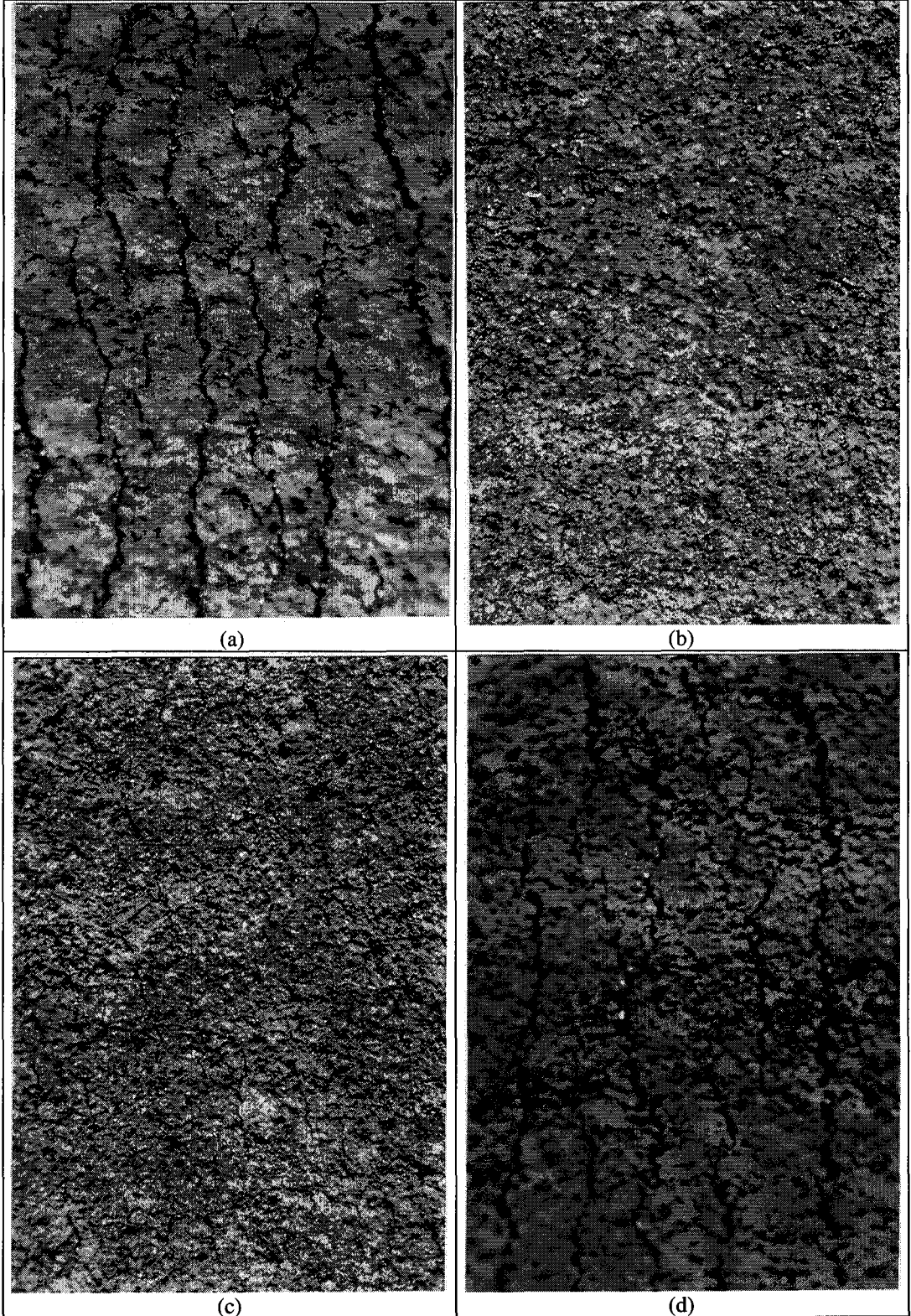
Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, plazma sprey %5 silisyum karbür katkılı kısmen stabilize edilmiş zirkonya kaplama (K2), katkısız kaplamaya (K1) göre, % 40 daha yüksek çekme-yapışma mukavemet değeri sergilemiştir. Buna karşılık, % 5 in üzerindeki katkı oranlarında, kaplama performansının giderek düştüğü ve % 15 katkı oranında, katkısız kaplamanın yapışma mukavemet seviyelerine indiği kaydedilmiştir.



Şekil 7.1. SiC katkı oranına bağlı olarak çekme gerilmesinin değişimi

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi, %5 silisyum karbür katkılı kaplamanın eğilme yüzeyinde çatlakla rastlanmazken (Şekil 7.2b), % 10 katkı oranında mikro ölçülerde çatlak oluşumu meydana gelmiş (Şekil 7.2c) ve son olarak % 15 katkı oranı için, yüzeyde pullanma ve soyulmaya varan çatlaklar oluşmuştur (Şekil

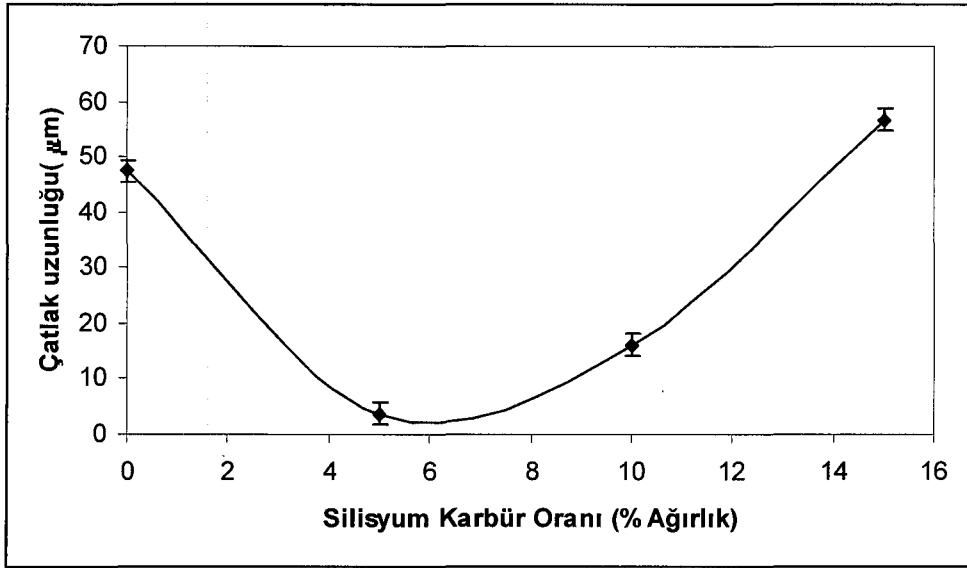
7.2d). Öte yandan, katkısız kaplama eğilme yüzeyinin (Şekil 7.2a), % 15 katkılı kaplama yüzeyine benzer bir topografyaya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 7.2. Kaplama eğilme yüzeyleri

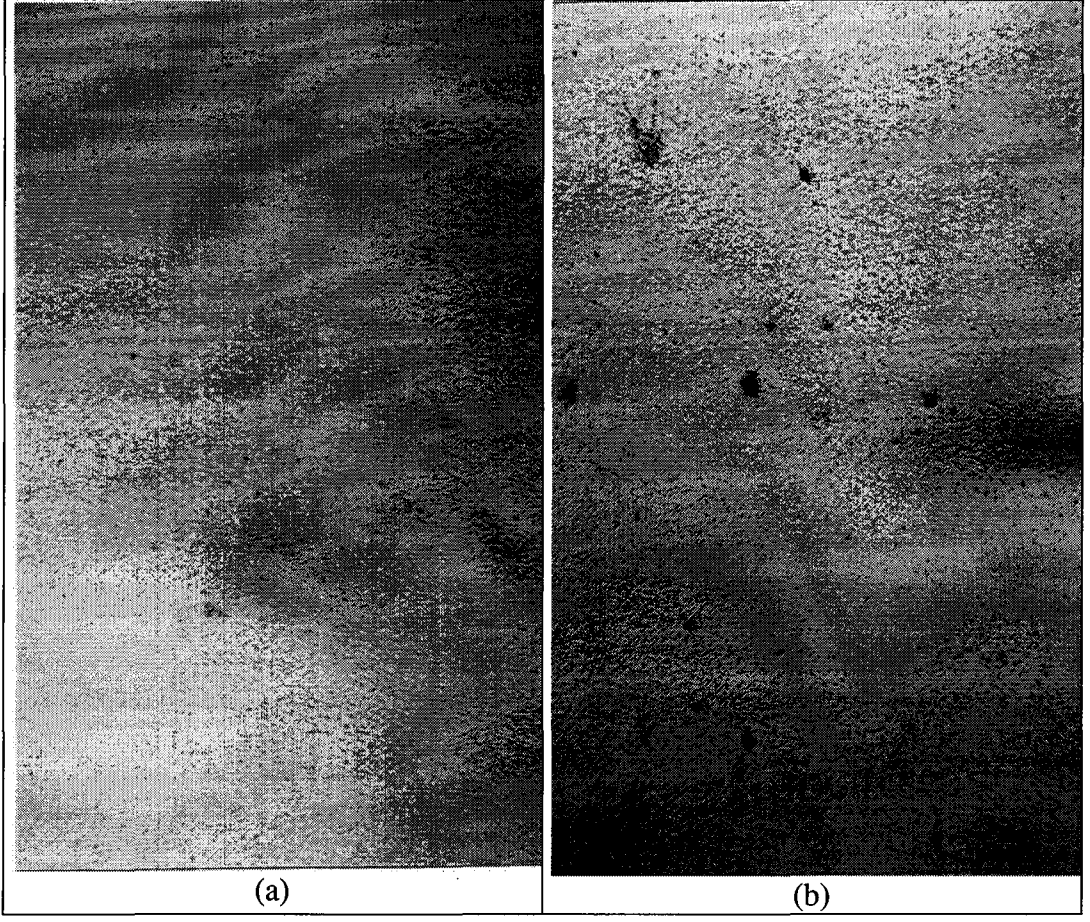
Karışımında yer alan SiC ağırlık oranına bağlı olarak çatlak uzunluğu değişimi Şekil 7.3'de verilmiştir.

Çekme ve eğilme deney sonuçları, mekanik özellikler açısından uygun kaplama kompozisyonu için silisyum karbür katkı miktarının % 5 civarında optimize edilebileceği yönündedir. Eğilme deneyi süresince kaplama yüzeyi çekme gerilmelerine maruz kaldığından, bir anlamda, çekme ve eğilme deneyleri birbirini tamamlar özelliklerdir. Her iki deney sonuçlarının da, benzer biçimde, birbirini destekliyor olması anlamlı bulunmuştur.



Şekil 7.3. SiC katkı oranına bağlı olarak çatlak bant uzunluğunun değişimi

Kaplamanın ısı özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda silisyum karbürün yüksek ısı iletkenliğe sahip olması sebebiyle, karışımında yer alan silisyum karbür oranının artması ile kaplamanın ve ana malzemenin uygulanan alevden daha fazla hasar gördüğü tespit edilmiş olup, karışıma ağırlıkça %5 silisyum karbür ilavesinin katkısız kaplamaya eşdeğer ısı-yalıtım özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir. Şekil 7.4'de sırasıyla ağırlıkça %5 SiC katkılı ve katkısız kaplama için ısı-yalıtım testi sonucunda kaplama yüzeylerinin görünümü yer almaktadır.



Şekil 7.4. Isı-yalıtım Testi sonunda kaplama yüzeyleri

Kullanılan karışıma ağırlıkça %5 silisyum karbür ilavesinin kaplama yapışma mukavemetinde iyileşme sağladığı ve kaplama ısıl özellikleri yönüyle olumsuz etkiye neden olmadığı gözlenmiştir.

8 ÇALIŞMANIN UYGULAMADAKİ ÖNEMİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada jet motoru egzoz flaplarının kaplanmasında karşılaşılan çatlak oluşumu, soyulma ve pullanma problemlerini gidermek amacıyla kullanılan karışımın iyileştirilmesine çalışılmıştır. Kaplama malzemesinde ağırlıkça % 5 SiC ilavesini ısı-yalıtım özelliği bakımında mevcut kaplama ile eşdeğerken yapışma mukavemetinde iyileşme gözlenmiştir. Mevcut durumda kaplamada söz konusu problemlerle karşılaşıldığında, flap üzerindeki kaplama sökülme ve yeni kaplama atılmaktadır. Mevcut kaplamanın sökülmesi, mekanik aşındırma yöntemleri ile gerçekleştirildiğinden zahmetli ve altlığada zarar veren bir işlemdir. Çalışmanın uygulamaya geçirilmesi durumunda, egzoz flaplarının kaplamadan kaynaklanan bakım ihtiyacı azalacaktır. Egzoz flaplarında karşılaşılan problem miktarı azalacağından jet motorunun bakım süresi kısalabilecektir. Bu ise uçaklarda maliyetin yönüyle önemli olan, uçakların yerde kalma sürelerinin minimuma indirme çalışmalarına önemli bir katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, hazırlanan karışımla oluşturulan kaplamanın yapışma mukavemeti ve ısı-yalıtım direncinin incelenmesi ile sınırlandırılmış olup, konunun daha detaylı incelenmek istenmesi veya uygulama öncesinde aşağıda belirtilen testlerin dikkate alınması havacılığın hata affetmeyen bir bilim dalı olması sebebiyle önem arz etmektedir.

1. Yüzeysel sertliği ve aşınma direnci,
2. Kimyasal ortamlarda aşınma,
3. Isıl genleşme,
4. Isıl yorulma,
5. Periyodik ısı şok testleri,

Bu testler ve testlerin uygulama prosedürleri Referans [23] ve [24]'te ele alınmıştır.

10. KAYNAKLAR

1. BROOKS, A. Ve Bellin A.I. AGARD-CP-276,2-1(1976).
2. KANTZ,R.N ve Leonoe, E.M., AGARD-CP-276,2-1(1976).
3. VURAL, M., Zeytin, S. Ve Üçışık, A.H., II. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Türk Seramik derneği, V-2,238 (1994).
4. HODGE, P.E., Miller, R.A. ve Gedwill, M.A., Thin Solid Films, 73,447 (1980).
5. CHEN, H.C., Pfender,E. Ve Heberlein, J., Thin Solid Films, 315,159 (1998).
6. R.F.BUNSHAH, J. Vac. Sci. Technol. B, 2,789,(1984).
7. D.G.BHAT ve P.F. Werner, J. Of Metals, Feb. 1986.
8. J.E. SUNDGREN, J.Vac.Sci. Technol. A,3,614,(1985).
9. D.P. MONAGHAN ve D.G. Teer, Finishing.
10. SWARAJ Paul " Surface Coating ", ISBN: 0-471-9518-2 , (1996)
11. American Society for Metals, Metals Handbook, 9th Edition, Volume 5, Surface Cleaning, Finishing and Coating, syf:532-545.
12. C. DURET, A. Davin, G. Marijnessen " Recent approach to the development of corrosion resistant cotaings ". R Bruntataud, " High temperature alloys for gas turbines " (1982).
13. WICK C., Veilleux R.F, Tool and Manufacturing Engineer Handbook., 4th Edition, Volume 3, Chapter 22, syf:1-11.
14. INGLAM H.S., Shepard A.P., Metco Flame Spray Handbook: Powder Process, Newyork (1967).
15. STEINE T.H., 'Das thermische spritzen und dessen Anwendungen', Technica 11/95.
16. KHARLAMOV, Y.A., " Materials Engineering Forum Detanation Spraying of Proctektive Coatings ", Voroshilavgrad Machine Building Institute,
17. ESCHAUER H., Lugscheider E., "Fortschritte beim thermischen Spritzen", Metall, Marz, (1985).
18. FATİH Üstel, Nil Toplan ve Fevzi Yılmaz; Termal Sprey Kaplama Teknikleri, IV. Seramik Kongresi, Eskişehir).Voroshilavgrad, U.S.S.R. 9 Sept. 1986.

19. STEINE T.H., " Das thermische spritzen und dessen Anwendungen ", Technica 11/95.
20. KOY A., " Jet Kote Applications for Corrosion Protection ", Thermal Spray: Advances in Coatings Technology, National Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, U.S.A. 14-17 September 1987.
21. T.O.2J-F110-3-6 SWP 003 21 "Application of Thermal-sprey coatings repair "
22. T.O. 2J-F110-3-6 SWP 003 22 " Coating test "
23. Thermal Spray Handbook, Amer. Weld. Soc. , Miami, FL (1985)
24. BERDT, C. C., " Determination of Materials Properties of Ceramic Coatings Adhesive in Thermal Spraying" , syf : 149 – 158, Pergamon Press, Newyork (1986)

