



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLAZMA VE ALEV PÜSKÜRTME TEKNİĞİYLE
 Al_2O_3 -%13 TiO_2 VE Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2
SERAMİK KAPLANAN MALZEMELERİN
ÖZELLİKLERİ

Metalurji Yük. Müh. Serdar SALMAN

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Programında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 6 Ekim 1995
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emel GEÇKİNLİ (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Adnan TEKİN (İ.T.Ü.)

İstanbul, Ekim 1995

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
SUMMARY	v
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEY TEKNİKLERİ	4
2.1. Yüzey Teknikleri Hakkında Genel Bilgiler	4
2.2. Yüzey Kaplamaları	4
2.2.1. Metalik Kaplamalar	8
2.2.2. Metalik Olmayan Kaplamalar	9
3. METAL YÜZEYLERİNİN SERAMİKLE KAPLANMASI	11
3.1. Seramik Malzemeler	11
3.2. Seramik Kaplama Malzemeleri	14
3.2.1. Seramik Kaplama Malzemelerinin Üretimi	19
3.2.1.1. Sol-jel Yöntemi	19
3.2.1.2. Solüsyon Yöntemleri	20
3.2.1.3. Buhar-buhar Reaksiyonu Yöntemleri	20
3.2.1.4. Buhar-katı Reaksiyonu Yöntemleri	20
3.2.1.5. Kimyasal Buhar Çökmesi Yöntemi	20
3.2.1.6. Fiziksel Buhar Çökmesi Yöntemi	21
3.2.1.7. Zirkonya Tozlarının Yaş Kimya Yöntemi	21
3.2.1.8. Zirkondan Zirkonya Üretimi Yöntemi	22
3.2.1.9. Seramik Tozlarının Yüksek Sıcaklık İşlemleriyle Üretimi	23
3.3. Seramik Kaplama Teknikleri	24
3.3.1. PVD Tekniği	28
3.3.2. CVD Tekniği	30
3.3.3. Sol-jel Tekniği	32
3.3.4. Detonasyon Tabancası Tekniği	33
3.3.5. Plazma Püskürtme Tekniği	36
3.3.6. Alevle Püskürtme Tekniği	41
3.3.7. Diğer Bazı Seramik Kaplama Teknikleri	44
3.4. Isıl Püskürtme Teknikleriyle Yapılan Kaplamaların Özellikleri	49

3.4.1.	Isıl Püskürtme İle Kaplanacak Yüzeylerin Hazırlanması	52
3.4.2.	Isıl Püskürtme İle Yapılan Seramik Kaplamaların Teşekkülü	55
3.5.	Isıl Püskürtme Teknikleriyle Yapılan Seramik Kaplamaların Uygulama Alanları	59
4.	DENEYSEL SERAMİK KAPLAMA ÇALIŞMALARI	64
4.1	Seramik Kaplama İşleminde Kullanılan Tozların ve Kaplanacak Malzemenin Karakterizasyonu	64
4.2.	Seramik Kaplama İşlemi Öncesi Yapılan Hazırlık	67
4.3	Seramik Kaplama İşlemleri	67
5.	SERAMİK KAPLAMALARA UYGULANAN DENEYLER VE SONUÇLARI	71
5.1.	Seramik Kaplamalara Bağ Mukavemeti Deneylerinin Uygulanması ve Sonuçlar	73
5.2.	Seramik Kaplamalara Mikrosertlik Deneylerinin Uygulanması ve Sonuçlar	100
5.3.	Seramik Kaplamalara Aşınma Deneylerinin Uygulanması ve Sonuçlar	102
5.4.	Seramik Kaplamaların SEM Mikroyapı ve Mikroanaliz Sonuçları	104
5.5.	Seramik Kaplamalarda X-Işınları İncelemeleri	112
5.6.	Seramik Kaplamaların Servis Şartlarındaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi ve Sonuçlar.	115
6.	TARTIŞMA	121
7.	SONUÇLAR	130
	KAYNAKLAR	132
	ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Doktora tezimi yöneten, kıymetli fikir ve teklifleri ile çalışmalarımı yönlendiren Sayın hocam Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU' na teşekkür ederim.

Doktora tezimdeki deneysel çalışmalarında gerekli imkânların sağlanmasına yardımcı olan X-Işınları çalışmalarımıla bizzat ilgilenen Sayın hocam Prof. Dr. Mehmet KOZ' a teşekkür ederim.

Tezimin servis şartları ile ilgili uygulamaları için gerekli tavsiyelerde bulunan, yol gösteren, imkânlar sağlayan Sayın hocam Prof. Dr. Ruşen GEZİCİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin uygulama safhasında beraber çalışmalar yaptığım Öğr. Gör. Ramazan SAMUR' a tezimin yazılması ve bilgisayarla ilgili gerekli düzeltmelerin yapılmasında bana yardımcı olan kıymetli kardeşim Öğr. Gör. Erbil AKBAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Bir kısım deneylerin yapılmasında imkânlar sağlayan OTOSAN A.Ş. Genel Müdürü Sayın Ali İhsan İLKBAHAR bey ve tüm kalite kontrol laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

SEM, X-Işınları çalışmalarında imkânlarından faydalandığım İ.T.Ü. Metalurji Müh. Bölümü çalışanlarına, Sayın hocam Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI' ya teşekkür ederim.

Seramik kaplama uygulamaları yaptığım SENKRON LTD. Şirketi çalışanlarına ve bir kısım seramik kaplama uygulamaları konusunda, yardımlarını gördüğüm KOBATEK A.Ş. çalışanlarına ve Sayın Kemal DEMİRCİ' ye teşekkür ederim.

Servis şartlarında yaptığım uygulamalar için imkan sağlayan Altınyıldız Tekstil Fabrikasının yetkililerine başta Teks. Yük. Müh. Hadi KARASU Bey olmak üzere teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezime manevi katkılarından dolayı değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Burhanettin CAN' a ve Prof. Dr. Mete DOĞRUER' e teşekkür ederim.

Elemanı olmaktan her zaman mutlu olduğum Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi' ndeki hocalarıma mesai arkadaşlarıma dilek ve temenni ile de olsa verdikleri manevi yardımları için içtenlikle teşekkür ederim.

Evladı olmaktan gurur duyduğum babama her türlü yardımı için teşekkür eder, saygıyla ellerinden öperim.

Eşiime, tezim sırasında katlandığı sıkıntılar ve gösterdiği sabır için teşekkür ederim.

Sağlığında hayır dualarını esirgemeyen, kısa süre önce kaybettiğim Anacığımı rahmetle anıyorum.

ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel bir problemin çözümü amaçlanmıştır. Tekstil sanayiinde kullanılan aşınmaya maruz parçalardan ön büküm makinasının galet kasnakları, aşınma ömrünün artırılması amacıyla 2 tip seramik kaplama malzemesiyle kaplanmıştır.

Laboratuvar şartlarında yapılan çalışmalarda; alev püskürtme ve plazma püskürtme teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler kullanılarak NiAl ara bağlayıcı varken ve olmaksızın yapılan 2 tip seramik (Al_2O_3 -%13TiO₂ veya Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂) kaplamaya bağ mukavemeti, aşınma, mikrosertlik deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca seramik kaplamalar X-ışınları incelemeleri ile SEM (tarama elektron mikroskop) mikroyapı ve mikroanaliz incelemeleri yapılarak değerlendirilmiştir.

Laboratuvar şartlarında en uygun kaplama tekniği, en uygun seramik kaplama; servis şartlarında çalışan aşınmaya maruz tekstil makina parçaları için belirlenmiştir. Optimum şartlar elde edilen seramik kaplamalardan oldukça verimli sonuçlar alınmıştır. Bu optimum şartlar; plazma püskürtme tekniği kullanılarak NiAl ara bağlayıcı (optimum kaplama kalınlığı 150µm civarında) artı Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplama (optimum kaplama kalınlığı 200µm civarında) ile elde edilmiştir.

Tekstil sanayiine tanıtılan seramik kaplama teknikleri ile; aşınmaya maruz metal yüzeyler kaplanmaktadır ve bu teknikler sayesinde metal malzeme kaybı azalmakta, iş akışı sık kesilmemekte, ithal edilmek zorunda kalınan bazı elemanların sayısı azaltılarak ekonomiye faydalı girdiler sağlanabilmektedir.

SUMMARY

In this study, the solution of an industrial problem is aimed. Some parts of textile industry machines to wear in this study are gallet rollers. These parts have been covered by two types of ceramic coatings to improve wear lifelimit.

In the studies in laboratory conditions, flame spray and plasma spray techniques have been used. By using these techniques, two types of ceramic coatings (Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$ or Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$) with or without NiAl bonding coat have been subjected to bonding strength, wear and microhardness experiments. In addition, ceramic coatings are evaluated by X-ray, SEM (Scanning Electron Microscope) microstructure and microanalysis examinations.

The most suitable coating technique and ceramic coating have been determined in laboratory conditions for these textile machine parts exposed to wear and working in service conditions. These optimum conditions; By using plasma spraying techniques, NiAl bonding coat (approximately optimum bonding coat thickness is $150\mu\text{m}$) plus Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ ceramic coating (approximately optimum ceramic coating thickness is $200\mu\text{m}$) are obtained.

Quite profitable results have been obtained from the ceramic coatings produced in optimum conditions. By introducing ceramic coating techniques to the textile industry, surfaces exposed to wear are coated. By employing these techniques, metallic material erosion is reduced, working speed is not interrupted and the number of imported parts are reduced and this helps the economy.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle beraber birçok endüstri alanında kullanılacak ileri teknoloji malzemelerine olan talepler artmaktadır. Mevcut malzeme özelliklerinin istenen şartlara göre modifiye edilme gerekliliği yeni yöntem ve malzeme gruplarını ortaya çıkarmaktadır. Birçok teknik alanda kullanılan malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi, bu malzemelerden optimum çalışmayı elde etmek ve bunu arttırmak, özelliklerinin çevresel etkilere karşı korunabilmesi için yüzey işlemleri ve/veya yüzey kaplamaları tatbik edilmektedir [1,2].

Yüzey kaplama tekniklerinin geniş bir sınıflandırması vardır. Bu sınıflandırma içerisinde yüzey kaplama tekniklerinden olan seramik kaplama uygulamalarının son yıllarda teknolojiadaki paralel gelişmelerle kullanım sahası artmaya devam etmektedir [2].

Yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, düşük ısıl iletkenlik, elektrik yalıtkanlığı ve yüksek ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklere sahip seramiklerle; plastik olarak şekillendirilebilen ve tokluk özelliğine sahip metallerin kombinasyonuyla optimum özellikli malzemelerin elde edilmesi bu yeni yöntem ve malzeme gruplarının gelişmesine iyi bir örnektir [1,2].

Metal yüzeylere seramiklerin kaplanması suretiyle seramiklerin üstün özelliklerinden yararlanmak mümkündür. Metal yüzeylere seramik kaplama teknikleri çeşitlidir. Bu tekniklerden en çok kullanılanları ısıl püskürtme teknikleri olarak bilinen alev püskürtme (FS), plazma püskürtme (PS) ve detonasyon tekniğidir (DG). Isıl püskürtme tekniklerinden başka fiziksel buhar çöktürme (PVD), kimyasal buhar çöktürme (CVD), sol-jel tekniği (SG) gibi seramik kaplama teknikleride yaygın olarak kullanılmaktadır [2,3,4,5].

Isıl püskürtme yoluyla seramik kaplamalar pek çok endüstri dalında yaygınlaşmıştır. Kullanım alanları olarak; uçak motorları ve uzay araçları, kesici takımlar, otomotiv dizel ve türbin motorları, ısı değiştiriciler, tekstil endüstrisinde aşınan parçalar ve farklı bir uygulama alanı olan tıp ve dişçilikte implant malzemeler sayılabilir [5,6,7,8,9,10,11,12,13].

Seramik kaplanmış malzemelerin ekonomikliğinin incelenmesi ile ilgili yapılan bir araştırmada [3]; Türkiye'de otomotiv ve tekstil endüstrisinde seramik kaplama uygulamaları sonucunda elde edilen tasarruflar hesaplanmıştır. Ülkemiz ekonomisine yapılan katkıları incelendiğinde, mesela otomotiv endüstrisinde sadece otobüs pistonlarının ısıl bariyer amaçlı seramik kaplanması sonucu yakıttan yılda

180.000.000 Amerikan doları tasarruf sağlanacağı gibi, % 50'lere varan emisyon azalması ile çevre sağlığına büyük katkıda bulunabileceği aşıkardır. Yurdumuzun önemli bir endüstri kolu olan tekstil endüstrisinde ise aşınmaya direnç amaçlı seramik kaplanmış galet kasnakları, iplik klavuzları, barabanlar ve sevk silindiri gibi parçaların ekonomimize katkısı yılda 16.000.000 Amerikan doları olarak hesap edilmiştir [3]. Seramik kaplama uygulamalarında başlangıç kaplama malzemesi toz formundadır. Kullanım amacına bağlı olarak çeşitli stokiometriye sahip oksit, karbür, nitrür ve borür bileşiklerinin tozları veya bunların karışımları seramik kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır [8,14].

Bu çalışmada plazma püskürtme ve alev püskürtme yöntemleri kullanılmıştır. Özellikle aşınmaya dayanım amaçlı Al_2O_3 - %13 TiO_2 ve Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik tozları uygun bulunmuştur [15,16,17,18].

Seramik kaplamaların belki de en yaygın uygulama alanı aşınmaya maruz elemanların ömrünün artırılmasıdır. Bu yolla metal malzeme kaybı azalmakta, iş akışı sık kesilmemekte, ithal edilmek zorunda kalınan bazı elemanların sayısı azaltularak ekonomiye faydalı girdiler sağlanabilmektedir.

Aşınmaya direnç amaçlı seramik kaplamalar özellikle yurdumuzda en gelişmiş endüstri kollarından olan tekstil endüstrisi için oldukça önemlidir.

Endüstriyel bir problemin çözümüne yönelik bu çalışmada Altınyıldız Tekstil fabrikasında aşınmaya maruz metal yüzeyler tesbit edilmiştir. Döviz ödenmek suretiyle aşınınca değiştirilmek zorunda kalınan parçalardan galet kasnakları seçilmiştir.

Laboratuvar ve servis koşullarında yapılacak deneylerden optimum şartlar belirlenecektir. Isıl püskürtme yöntemleriyle seramiklerin metalik malzeme yüzeylerine kaplanmasında birçok parametre rol oynamaktadır. Bu parametreler doğrudan doğruya veya dolaylı olarak kaplama kalitesine ve özelliklerine etki etmektedir.

Isıl püskürtme ile seramik kaplama kalite ve özelliklerini etkileyecek ana parametreler arasında seramik ve ara bağlayıcı cinsine bağlı olanlar, püskürtme cihazı, seramik kaplama tekniği, seramik ve ara bağlayıcı toz morfolojisi ile ilgili olanlar sayılabilecek en belli başlılarındandır. Kullanılan parametrelerle optimum şartları sağlamak laboratuvar ve servis şartlarında elde edilecek deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle mümkün olmaktadır [11].

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde yüzey teknikleri genel hatlarıyla verilmiştir. Üçüncü bölümünde

yüzey tekniklerinin bir sınıfı olan yüzey kaplamalarından seramik kaplamalar ve seramik kaplama teknikleri, seramik malzemeler, seramik kaplama malzemelerinin üretimi, seramik kaplamaların uygulanması ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar tanıtılmıştır. Beşinci bölümde tatbik edilen deneylerin sonuçları; grafikler, fotoğraflar ve sayısal veriler şeklinde elde edilmiştir. Altıncı bölüm elde edilen deney sonuçlarının literatürle mukayesesinin de yapıldığı tartışma bölümü olup, yedinci bölüm ise bu deney sonuçlarının yorumlarına dayanarak ve servis şartlarındaki performanslarının da dikkate alınmasıyla genel sonuçlar çıkarılmıştır.

BÖLÜM 2

YÜZEY TEKNİKLERİ:

2.1. Yüzey Teknikleri Hakkında Genel Bilgiler:

Birçok teknik sahada kullanılan elemanlardan optimum çalışmayı elde etmek ve bunu arttırmak için yüzey işlemleri ve/veya kaplamaları tatbik edilir. Metal ve alaşımlarına veya dışındaki diğer malzemelere uygulanan yüzey tekniklerinin amacı çok çeşitlidir. Bu amaçlardan başlıcaları aşınmaya, korozyona, ısıl etkilere ve benzeri dış etkilere karşı malzemeyi korumaktır [1].

Yüzey teknikleri Tablo 2.1' de görüldüğü gibi yüzey işlemleri ve yüzey kaplamaları adı altında iki grupta incelenebilir[2].

2.2. Yüzey Kaplamaları:

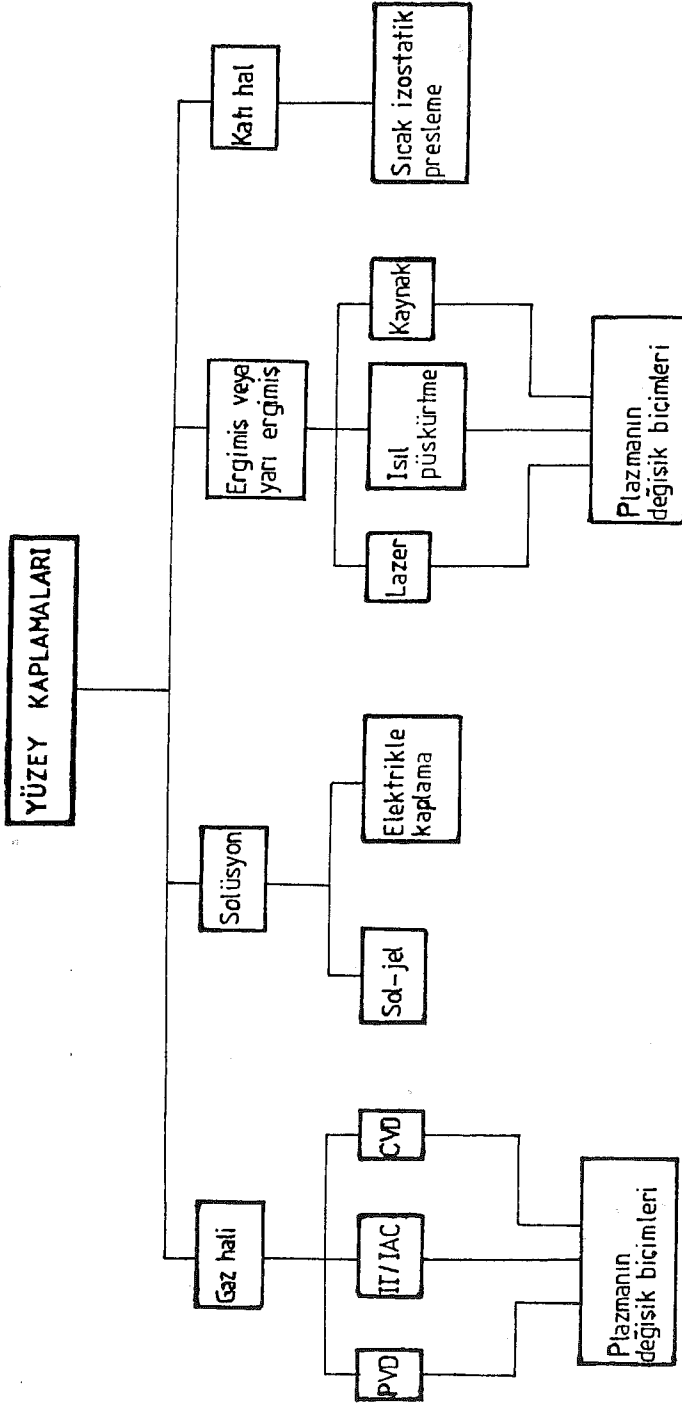
Yüzey tekniklerinin önemli bir grubu olan yüzey kaplamaları kullanılan malzeme cinsine göre belli başlı 2 sınıfa ayrılır. Bunlar;

- Metalik kaplamalar,
- Metalik olmayan kaplamalar dır.

Metalik olmayan kaplamalar yine kendi arasında 2 gruba ayrılır. Bunlar,

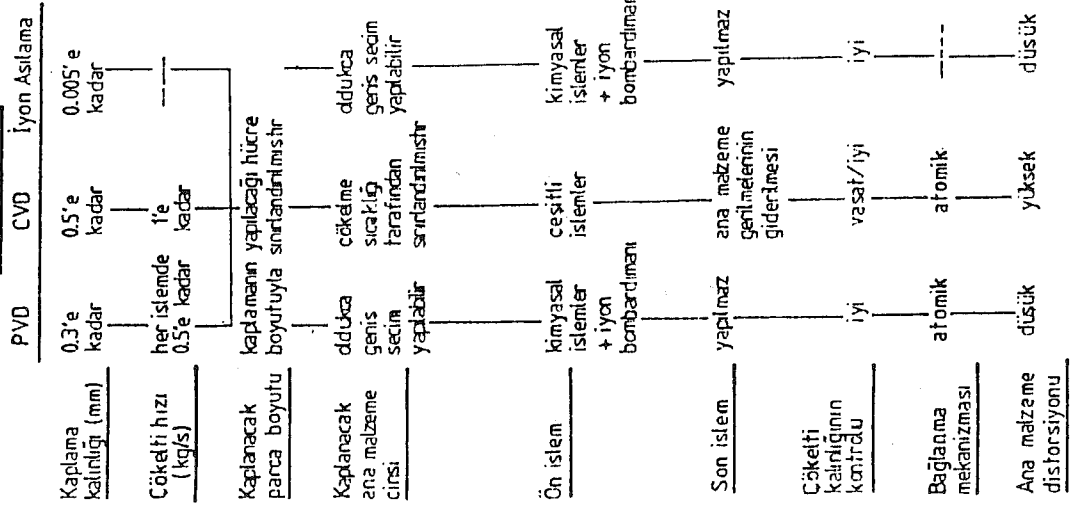
- Anorganik kaplamalar,
- Organik kaplamalar dır [3,4].

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi yüzey kaplamaları uygulanan yöntemler açısından birçok gruba ayrılmaktadır. Yüzey kaplamaları kullanılan kaplama malzemesinin fiziksel durumuna göre de sınıflandırılabilir. Şekil 2.1 kaplama malzemesinin fiziksel durumuna göre sınıflandırılmasını göstermektedir. Şekil 2.2' de ise yüzey kaplama tekniklerinin değişik yönleriyle karşılaştırılması gösterilmektedir [2].

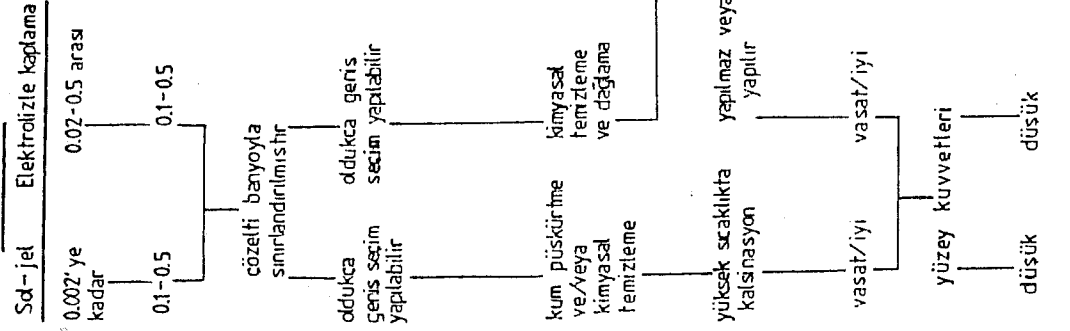


Şekil 2.1 Yüzey kaplama tekniklerinin kullanılan kaplama malzemesinin fiziksel durumuna göre sınıflandırılması [2].

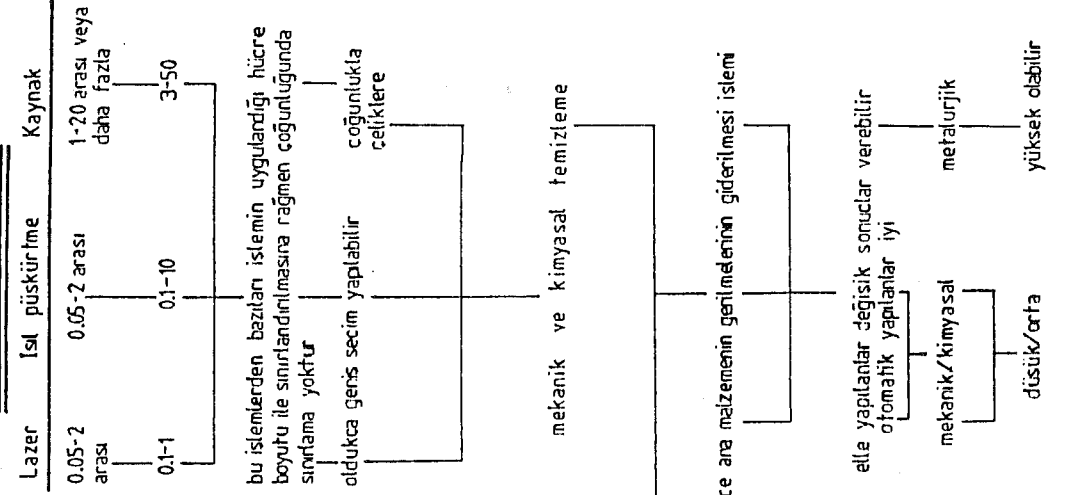
GAZ (BUHAR) FAZI



SIVI FAZ



ERGİMİS, YARI-SIVI FAZ



Şekil 2.2 Yüzey kaplama tekniklerinin karşılaştırılması [2].

2.2.1. Metalik Kaplamalar:

Metal ve alaşımlarının yüzeylerini başta korozyon olmak üzere diğer dış etkenlerden korumak üzere yapılan metal kaplamaları elektrokimyasal davranışları bakımından;

- Soy kaplamalar
- Aktif kaplamalar

olmak üzere 2 ayrı sınıfa ayırmak mümkündür. Soy kaplamalar galvanik diziye göre, kaplanacak metallere daha soy olan metalleri kapsar. Mesela çeliğe göre Ag, Cu, Sn, Pb, Ni ve Cr pasif tutumları nedeniyle soy kaplamalardır. Zn ve Cd ise aktif kaplamalardır. Soy kaplamaların koruma yeteneği metal ile ortam arasında etkili bir engel oluşturmasına bağlıdır. Kaplama; boşluk veya çatlak türünden hatalar ihtiva ederse korozyonun o noktalarda yerleşmesi ve metallerin kaplama altında korozyona uğraması engellenemez. O halde soy kaplamaların başarı ile kullanılması boşluksuz uygulanabilmelerine bağlıdır. Aktif kaplamalarda bu tür hatalar olsada önemli değildir. Çünkü bu kaplamalarda kaplama metali kaplanan metalden daha aktiftir ve dış etkenlerden zaten aşınır. Yüzeydeki aktif kaplama aşınırken esas metal yüzeyi korunmuş olur.

Metal kaplamalar çeşitli yöntemlerle uygulanabilir. Bu yöntemler başlıca 4 grup altında toplanabilir;

- Fiziksel yöntemler,
- Mekanik yöntemler,
- Kimyasal yöntemler,
- Elektrokimyasal yöntemler.

Fiziksel yöntemlerle metal kaplamaları şöyle sıralayabiliriz;

- Sıcak daldırma,
 - Yayınma ile kaplama,
 - Vakum kaplama,
 - Katodik saçınım,
 - İyon kaplama,
 - İyon aşılama.

Mekanik yöntemlerle metal kaplamanın en belli başlıları şunlardır;

- Metal giydirmeye (cladding),
- Sıcak püskürtme.

Kimyasal yöntemlerden faydalanarak yapılan metalik kaplamalar şunlardır;

- Yüksek sıcaklıkta uygulanan yöntemler;
 - değişimle,
 - kimyasal indirgeme ile,
 - ısıl ayrışım ile.
- Düşük sıcaklıkta uygulanan yöntemler;
 - kimyasal indirgeme;
 - sementasyon,
 - akımsız kaplama.

Elektrokimyasal yöntemler elektrokaplama adı ile de anılan metal kaplama yöntemlerinden birisidir.

Bu sıralama özellikle "fiziksel-mekanik" açısından mutlak değildir. Elde edilen kaplamanın mekanik olarak alt yüzeye kenetlenmesi olayı yalnız sıcak püskürtmede değil; vakum, iyon kaplama ve katodik saçınım yöntemlerinde de mevcuttur. Sıcak püskürtülen alüminyum ise, ısıl işlem uygulaması ile, kaplanan metale yayınarak mekanik değil fiziksel bir bağ da oluşturabilir. Yayınma ile bağın kuvvetlenmesi metal giydirmede de mevcuttur. Ayrıca düşük sıcaklıkta elde edilen kimyasal kaplamaların temelinde elektrokimyasal indirgeme reaksiyonları yatmaktadır [3,4,5].

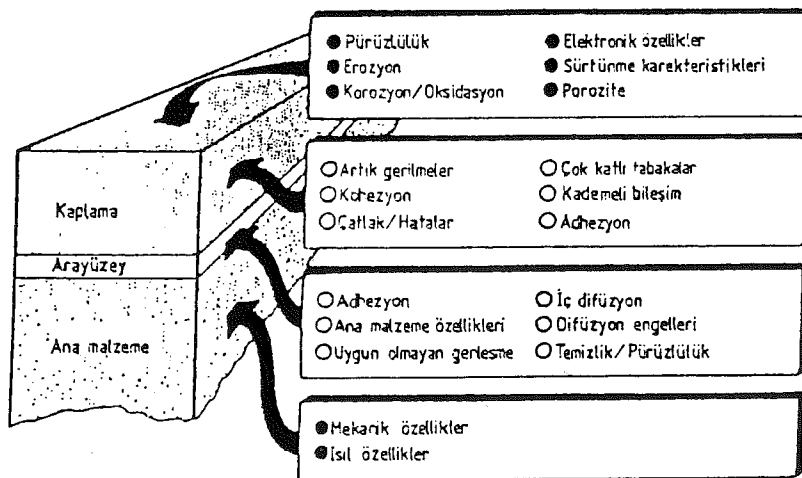
2.2.2. Metalik Olmayan Kaplamalar:

Metalik olmayan kaplamalar 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar organik ve anorganik kaplamalardır. Kimyasal reaksiyon sonucu metal yüzeyinde oluşturulan oksit, tuz, emaye ve beton kaplamalar anorganik kaplamalar sınıfına girmektedir. Çeliğin sıcak bazik çözeltilere daldırılmasıyla yüzeyinde bir oksit tabakasının oluşturulması, alüminyumun seyreltik sülfürik asit içerisinde anodik olarak oksitlenmesiyle yüzeyinin Al_2O_3 kaplanması yine çelik parçaların asidik Mn veya Zn ortafosfat çözeltilerine daldırılarak yüzeylerinin bir fosfat tabakasıyla örtülmesi, çinko parçalarının asidik sodyumkromat çözeltisine çok kısa süreli olarak daldırılmasıyla kromatla kaplanması anorganik kaplamalara örnek teşkil eden bazı kaplamalardır.

Anorganik kaplamaların diğer bir türünde emaye kaplamalardır. Bir oksit bileşiminden oluşan, oda sıcaklığında gevrekleşen, sıcaklığın artmasıyla önce yumuşayan, sonra sıvılaşıp cam yapısındaki kaplamalara emaye adı verilmektedir. Emaye kaplamalar; yağ elektrostatik püskürtme, elektroforatik daldırma, elektrostatik toz püskürtme gibi yöntemlerle uygulanır. Bunlardan bilhassa, elektrostatik toz püskürtme sistemi son yıllarda kullanılmaya başlanmış olup, bu teknikle daha yüksek otomasyona ulaşmak mümkün olmuştur. Hammaddenin yüzeye uygulanmasından sonra 800 C° civarında pişirme

Anorganik kaplamaların önemli bir bölümünü de seramik kaplamalar oluşturur. Bu kaplamalar oksitler, silikatlar, karbürler, borürler ve nitrürler gibi seramik esaslı malzemelerin ısı püskürtme teknikleri (alev, plazma, detonasyon), PVD, CVD gibi tekniklerle metal yüzeyine uygulanması ile elde edilir. Bu konuda bilhassa alevle püskürtme, plazma püskürtme tekniklerinin en çok uygulanan teknikler olduğu söylenebilir. Ayrıca en çok kullanılan seramik kaplama malzemeleri de metal oksitlerdir. Bunlar özellikle aşınma direnci, korozyon direnci, ısıl bariyer gibi bazı özelliklerinin iyi olmalarından dolayı tercih edilir [6,7,8].

Metalik olmayan kaplamaların diğer bir kolu olan organik kaplamaların en önemli temsilcisi boyalardır. Boyalar pigment adı verilen çok ince parçacıklarla bunları askıda tutan uygun özellikteki taşıyıcıların karışımından oluşurlar. Genel olarak boyalar; güzelleştirme boyaları, tanıma boyaları, koruyucu ve tecrit edici boyalar olmak üzere çeşitli tiplerde imal edilirler. Genellikle metal oksitlerden ibaret olan ve pigment adı verilen renkli maddeler boyanan metalin yüzeyi ile reaksiyona girerek yüzeye tutunur ve sağlam tabakalar oluştururlar. Boyanın sıvı kısmında genellikle alkid reçinesi, tiner ve kobalt naftanat bulunur. Boya ve benzeri kaplama malzemeleri ile korozyon kontrolü çok yaygın bir yöntemdir bu uygulamanın çok yaygın olmasının başlıca nedenleri; uygulama kolaylığı, maliyetinin düşük olması, koruyuculuk özelliği yanında dekoratif özelliğininde olması sayılabilir [4]. Gerek metalik, gerekse metalik olmayan kaplama yöntemlerinde kaplama artı ana malzemeden oluşan kompozit sistemin özelliklerini bilmek gerekir. Kaplama uygulamalarında optimum performans için bu kompozit sistemi iyi kontrol etmek lazımdır. Şekil 2.3' de bu kompozit sistemin görünüşü verilmektedir [2].



Şekil 2.3 Herhangi bir kaplama uygulamasında optimum performansı elde etmek için kontrol edilebilen kaplama-ana malzemeden oluşan kompozit sistemin özellikleri [2].

BÖLÜM 3

METAL YÜZEYLERİNİN SERAMİKLE KAPLANMASI:

3.1. Seramik Malzemeler:

Seramik kelimesi, Yunanca pişirilmiş eşya anlamına gelen "keramos" kelimesinden gelmektedir. Seramik üretimi eski çağlardan beri gerçekleştirilmekte olup arkeolojik buluntular seramik üretiminin M.Ö.6500 yıllarına kadar dayanmakta olduğunu ortaya çıkarmıştır [14].

Seramik üretimi eski çağlardan beri yapılmasına rağmen günümüzde klasik seramiklerin üretiminde gerek miktar ve gerekse kalite bakımından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Seramik teknolojisi özellikle son çeyrek asır içerisinde önemli gelişmeler katetmektedir. Farklı bileşimde kristal ve cam yapıları içermekte olan seramik malzemeler genellikle porozite ihtiva etmektedir. Bu farklı yapı bileşenlerin miktar ve dağılımları üzerinde yapılan çalışmalar dolayısıyla seramik malzemelerin mikro yapısı ile ilgili çalışmaları yoğunlaştırmıştır [14,15,16] .

Daha net bir tanımlamayla seramikler metal ve ametal elemanlardan oluşan inorganik bileşiklerdir. Seramik bileşikler genellikle iyonsal bağa, bazıları iyonsal bağla kovalent bağın karışımına sahiptirler. Gerek iyon gerekse kovalent bağlanma nedeniyle serbest elektronların olmayışı sonucunda seramik malzemeler, metalik ve plastiklere nazaran değişik özelliklere sahiptir. Böylece ilk seramik çanağı tesadüfen elde eden insan, her geçen gün yeni üstünlükler ilavesiyle seramiğin kullanım yerlerini, özellikle son çeyrek yüzyılda artırmış ve 21. asrın en etkin malzemelerinden biri olmaya aday gösterilir hale getirmiştir [15,16].

Seramiklerin son çeyrek yüzyılda gelişmesi de göz önüne alınırsa seramik malzemeler 2 grupta toplanabilir [14,15]:

- Geleneksel Seramikler
- İleri Seramikler (ileri teknoloji seramikleri)

Bunlar da kendi aralarında şu şekilde gruplandırılabilir;

- Geleneksel Seramikler
 - Porselen esaslı malzemeler
 - Cam
 - Çimento
 - Refrakterler

- İleri Seramikler

- Optik seramikler (fiber optikler, lazer seramikler)
- Elektronik seramikler (ferritler, kapasitörler, süper iletkenler, yarı iletkenler, piezo elektrikler)
- Yüksek mukavemetli malzemeler (kesici uçlar)
- Termomekanik malzemeler
- Yapısal seramikler

Bir başka gruplandırma ise seramiğin kullanıldığı yerler nazarı itibare alınmıştır;

- Yapı Seramikleri: Tuğla, kiremit, duvar kaplama plakaları, yer kaplama plakaları, sağlık gereçleri (lavabo, cviye v.b.), su boruları, kanalizasyon boruları, baca boruları.
- Ev Eşyası Seramikleri: Saksı, çanak, çömleç, süs eşyası (vazo, biblo, heykel), sofr seramiği (tabak, kase, fincan, çaydanlık v.b.), ateşe dayanıklı pişirme kapları.
- Elektrik Malzemesi Seramikler: Şalter parçaları, sigorta parçaları, alçak gerilim izalatörleri, yüksek gerilim izalatörleri, yalıtım seramikleri (boncuk, boru v.b.), ateşleme buji seramikleri.
- Elektronik Malzemesi Seramikler: Manyetik seramikler, dielektrik seramikler, piezoelektrik seramikler.
- Refrakter Seramikler: Ateş tuğlası, silika tuğla, bazik tuğla, karbon tuğla, grafit, silisyum karbür, refrakter harçlar, ateş çimentosu, oksit refrakterler, seramik clyafılar.
- Aşındırıcı Seramikler: Zımpara taşları, zımpara tozları, sentetik elmas.
- Bio Seramikler (Tıp): Seramik kemikler, seramik protezler, seramik dişler.
- Nükleer Seramikler: Nükleer yakıt sistem seramikleri, radyasyona karşı ağır betonlar.
- Mekanik Seramikler: Piston, yatak, motor gövdesi.
- Ser-met 'ler (Seramik metal karışımı parçalardır).
- Uzay Araçları Seramikleri: Isı ve sürtünmeye dayanıklı kılıflar, uçuş pist platformları.
- Süper İletken Seramikler: Enerji iletimi sistemleri.

Günümüzde seramik malzemelere ilginin artmasının başlıca nedenleri aşağıdaki özelliklerinden ileri gelmektedir;

- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık,
- Kimyasal kararlılığının yüksek olması;
- Çok sert olmaları,
- Metallerden hafif olmaları (% 40 mertebesine varan),
- Hammadde olarak tabiatla bol miktarda bulunmaları ve genellikle metallere kıyasla daha ucuz olmaları,
- Pahalı ve stratejik metallere ihtiyaç göstermemesi.
- Erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,

- Sürtünme katsayılarının düşük olması,
- Isı iletkenlik katsayılarının düşük olması,
- Basma kuvvetlerinin yüksek olması.

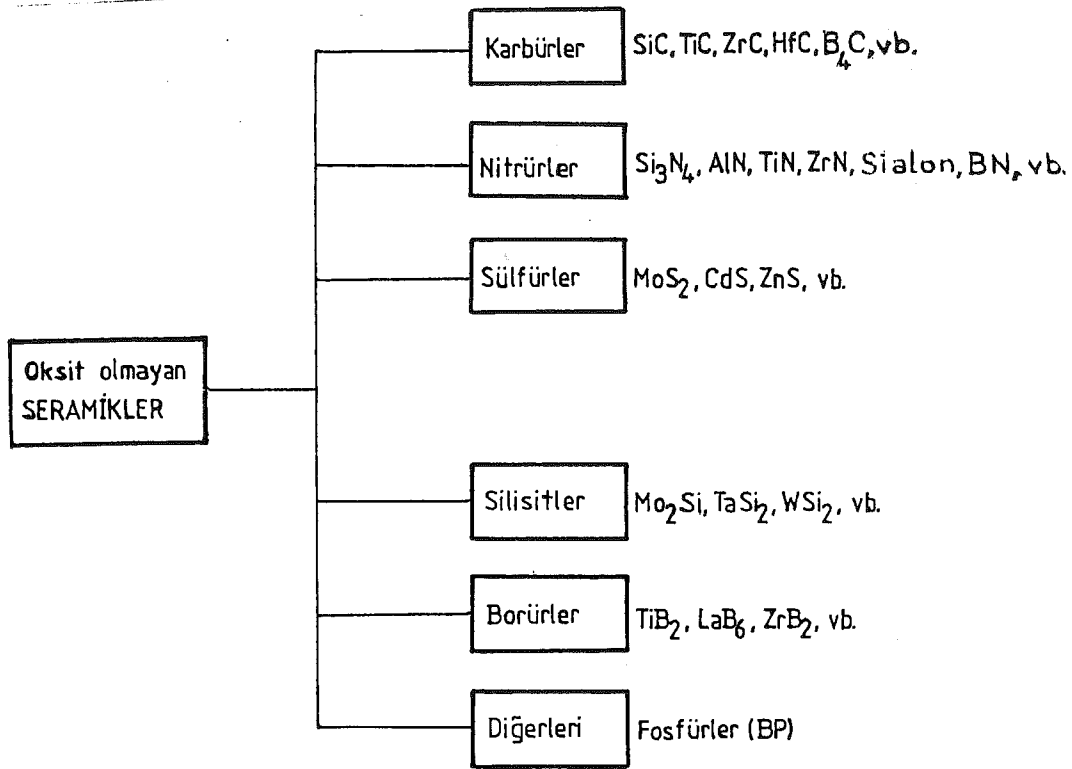
Seramik üretiminin geçmişi eski çağlara dayanmasına rağmen, seramik endüstrisinde gelişmeler tarih boyunca devam etmiştir. Geleneksel seramiklerin üretimi gerek miktar, gerekse satış açısından önemli bir hacim tutmakla beraber son çeyrek asırda yeni seramikler geliştirilmiştir. Süper özelliklere sahip bu seramikler "İleri seramikler", "İleri teknoloji seramikleri", "İnce seramikler", "Süper seramikler", "Mühendislik seramikleri", gibi isimlerle anılmaktadır. Fakat en yaygın olarak "İleri teknoloji seramikleri" terimi kullanılmaktadır. Bu seramikler çeşitli endüstri dallarının temel taşlarından birini teşkil etmektedir.

İleri teknoloji seramikleri, geleneksel seramiklerden ayıran başlıca farklılıklar; hammadde, üretim yöntemleri ve mikroyapı açısındandır. Geleneksel seramikler, doğal ham maddelerden üretilirken, ileri teknoloji seramiklerin ham maddesi sentezleme yoluyla yapay olarak hazırlanmaktadır. Bunun sebebi, yapay ham maddelerin istenmeyen maddelerden arındırılmış olarak çok saf halde ve istenilen fiziksel özelliklerde üretilmeleridir. Yapay ham maddelerin üretiminde de çoğu kez ileri teknoloji yöntemleri kullanılmaktadır. İleri teknoloji seramikleri geleneksel seramiklerden ayıran önemli diğer bir özellikte, ileri teknoloji seramiklerin pudra halinde çok ince tozlardan üretilmesidir. Dolayısıyla, ileri teknoloji seramiklerin mekanik özellikleri geleneksel seramiklerden çok üstündür. İleri teknoloji seramikleri oksit esaslı ve oksit esaslı olmayan seramikler olmak üzere iki ayrı grupta toplanmaktadır [14].

En çok bilinen oksit seramikler;

- Al_2O_3 (Alümina)
- ZrO_2 (Zirkonya)
- MgO (Magnezya)
- BeO (Berilya)
- Cr_2O_3 (Kromoksit)

Belli başlı oksit olmayan seramikler ise Şekil 3.1' de gösterilmiştir [14].



Şekil 3.1 Oksit Olmayan Seramikler [14].

3.2. Seramik Kaplama Malzemeleri :

Seramik kaplama malzemeleri makina parçalarının daha yüksek mukavemete ihtiyaç gösterdiği, daha yüksek sıcaklıkta çalışmalarının gerek olduğu ve yine korozyon dayanımlarının daha yüksek olması gerektiği yerlerde geliştirilmiştir. Halen üzerinde çalışmalar yapılmakta olan seramik kaplama malzemelerinin kullanımlarında temel ihtiyaç tamamen seramikten yapılmış malzemelerin mekanik özellikleri dolayısıyla da kullanım zorluklarından doğmuştur. İşte seramik malzemelerin kütleli olarak kullanımlarındaki bu dezavantajlar nedeniyle ortaya çıkan seramik kaplamalardan son derece olumlu sonuçlar alınmaktadır. Metalik malzemeler üzerine yapılan seramik kaplamalar parça ömrü açısından da ekonomik giderlerde azalmayı sağlamaktadırlar [3,5,11].

Değişik kaplama teknikleri kullanılarak Ti, V, Zr, Hf, Nb ve Ta 'ın nitrür ve karbonitrürlerini ihtiva eden sert kaplamalar, çeşitli oksit esaslı seramik kaplamalar, feldspat, boraks, kuvars ihtiva eden kaplamalar metaller üzerine uygulanabilmektedir [5,18]. Kullanılan kaplama teknikleri değişik amaçlara hitap etmektedir. En çok kullanılan seramik kaplama tekniği toz halindeki seramik malzemelerin püskürtme

usulleriyle metal yüzeyine tutturulmasıdır. Ergiyebilen herhangi bir malzeme ark, alev veya detonasyon teknikleriyle püskürtülebilir. Plazma yönteminde sıcaklığın önemi olmamasına rağmen çalışma atmosferi önemlidir [8].

Seramik kaplamaların yüksek sıcaklıkta kullanımlarını cazip kılan en önemli unsur yüksek ergime noktalarına sahip olmalarıdır. Gevrek özellikte olmaları birçok açıdan kullanımlarını sınırlamaktadır. Seramikler belirli mekanik ve ısı şok koşullarında da yeterli performans vermemektedirler. Darbeli yüklerde yetersiz olan bu seramik kaplamaların darbesiz aşınma koşullarındaki davranışları ümit vericidir. Fakat seramik kaplama üzerine uygulanan yükte bunu sınırlamaktadır. Seramik kaplamalar çok iyi korozyon direncine ve düşük ısı iletkenliğe sahiptir [4,8].

Genelde 1000°C üzerindeki kullanım şartlarında seramik malzemelerin mukavemetleri, sürtünme ve oksidasyon dirençleri süper alaşımlardan daha iyidir. Seramik malzemelerin bir kısmında görülebilen yüksek sıcaklıkta faz değişimi, ısı genleşmelerin yüksek olması nedeniyle ortaya çıkabilecek negatiflikleri; belirli ilaveler veya çeşitli tip kaplamalar ile ortadan kaldırma çalışmaları yapılmaktadır [19].

Seramik kaplamaların toz halindeki üretimi ve tüketimi kolay olduğundan bu şekilde kullanımı çok yaygındır. Seramik tozlar oksit, karbür, nitrür, borür formunda olduğu gibi karışık formda da olabilmektedir. En çok kullanılan seramik tozlar oksit ve karbür formunda olanlardır. Oksit formundaki seramik tozlara kıyasla borürler, nitrürler ve karbürler zor ergirler. Bu sebepten dolayı oksit formundaki tozların ısı püskürtme teknikleriyle kullanımı yaygındır. Ergime sıcaklıkları yüksek olan borür, nitrür, karbür formundaki seramikleri bir metal ile kaplamak mümkündür. Metal, seramiğin dekompoze olmasını önler ve seramik partiküllerini birbirine bağlar. Fakat böyle bir kaplamanın mekanik özellikleri zayıf olmaktadır. Çünkü kaplama metalik matrikste ergimemiş seramik partikülleri ihtiva eder.

Karbürler oksitlerden sonra en çok kullanılan seramik kaplama malzemelerdir. Kolay ergimeyen bazı karbürler PVD veya CVD teknikleriyle kaplanabilir. Ergiyebilen karbürler ise detonasyon, alevle püskürtme, plazma püskürtme teknikleriyle kaplanarak kullanılabilirler.

Karbür bileşimindeki seramik kaplama malzemelerinden krom karbür, tungsten karbür ve bu karbürlerin değişik kompozisyonları seramik kaplama tekniklerinde kullanılan en önemli karbürlerdir. Karbürlerin çoğu yüksek sıcaklıklarda oksijen ile temas ederse bozunur. Fakat karbürleride eritmek için yüksek sıcaklığa çıkmak şart olduğundan ortam vakum altında veya kontrollü bir atmosfer altında olmalıdır. Bu nedenlerle plazma püskürtme tekniği kullanılarak karbür püskürtülmesinde bu özelliklere dikkat edilir.

Oksit esaslı seramik malzemeler en çok kullanılan seramik kaplama malzemeleridir. Özellikle de zirkonya, alümina, kromoksit ve titanyumoksit, oksit esaslı seramik kaplama malzemelerinin önde gelenlerindedir [8].

Zirkonya (ZrO_2) kullanım yerleri ve kendine has malzeme özellikleri bakımından oldukça ilgi çekicidir. Zirkonya'nın en önemli koruyucu özelliği yüksek sıcaklıklardaki koruyucu özelliğidir. Zirkonya'nın seramik kaplama malzemesi olarak kullanıldığından beri bu özelliği ön plana çıkmıştır. Zirkonya ısıl püskürtme tekniklerinin bir çoğuyla metallerin yüzeyine kaplanabilir. Bu kaplamaların yoğunluğu gözenek ihtivasından dolayı düşüktür. Zirkonya ihtiva eden seramiklerin ergime noktası yüksektir. Asidik kimyasal maddelere dirençlidirler, korozyon ve erozyon dirençleri iyidir. Isıl şoka dayanıklıdırlar. Zirkonya yer kabuğunda % 0.2-0.3 oranında bulunur. Mineral olarakta Baddeleyit (ZrO_2) ve Zirkon ($ZrO_2.SiO_2$) şeklinde bulunur.

Zirkonya (ZrO_2) üç farklı kristal yapıya sahiptir. Bu kristal yapılar; monoklinik, tetragonal ve kübiktir. Zirkonya $1170^{\circ}C$ 'ye kadar monoklinik yapıdadır. Bu sıcaklığın üzerinde monoklinik yapı tetragonal yapıya dönüşür. Tetragonal yapı ise $1170-2370^{\circ}C$ 'ler arasında kararlıdır. Bu sıcaklıktan sonra ($2370^{\circ}C$) kübik yapı meydana gelir. Zirkonyanın ergime noktası $2710^{\circ}C$ 'dir. Zirkonya diğer oksitlerle kıyaslandığında mesela alüminanın sahip olamadığı 3 temel özellik gösterir. Birincisi ergime noktası alüminadan yaklaşık $500^{\circ}C$ daha fazla olduğundan refrakterlik özelliği daha iyidir. İkincisi metallere karşı düşük sürtünme katsayısından dolayı iyi yüzey işlemi verir. Üçüncüsünde $500^{\circ}C$ 'nin üstündeki sıcaklıklarda oksijen iyon iletkeni olarak kullanılabilir. Bunların yanında zirkonya alüminanın kullanılmasının yeterli olduğu yerlerde daha iyi özelliklerine rağmen maliyeti nedeniyle kullanılmaz [20,21].

Daha önce belirtildiği gibi zirkonya farklı stabil olmayan fazlara sahiptir. Faz dönüşümü sırasında hacimsel değişimler neticesinde zirkonya deforme olur. Faz dönüşümleriyle ortaya çıkan bu negatif durum önlenabilir. Bunun için CaO , MgO , Y_2O_3 veya bunların kombinasyonları şeklinde stabilize edici oksit ilavesiyle kübik fazın oda sıcaklığında kararlı olması sağlanır. Bu ilave edilen stabilizörler toprak alkali ve nadir elementlerin oksitleridir [14,21].

Konvensiyonel toz presleme ve sinterleme işlemleriyle üretilen bu malzemeler tamamen stabilize edilmiş malzemeler olarak adlandırılır. Özellikle $800-1100^{\circ}C$ sıcaklıklar arasında tamamen stabilize olmuş malzemelerdeki stabilizörlerin yavaşça bozulabilmeleri yüzünden yüksek sıcaklıklarda uzun süreli tamamen stabilize hal garanti değildir. Mesela literatüre göre sadece MgO ile stabil hale getirilen malzemeler kolaylıkla destabilize olmaktadır [21].

Tamamen stabilize olmuş malzemeler oksijen problemlerinin (gaz-buhar atmosferinde oksijen kısmi basıncını kayıt eden aletler), küçük devrelerin ve benzeri malzemelerin üretilmesinde ve yüksek sıcaklıkta hava atmosferinde işlem gören ısıtma elemanlarında kullanılırlar. Tamamen stabilize edilmiş zirkonyanın mekanik özellikleri zayıf olduğundan mekanik özellikleri daha iyi olan kısmen stabilize edilmiş zirkonyalar kullanılmaktadır [14,21].

Yeterli stabilizör ihtiva etmeyen, tamamen stabilize etmek için etkili olmayan malzemeler kısmen stabilize malzemeler olarak bilinir. Oda sıcaklığında matriks malzeme stabil kübik yapıdadır, geri kalan taneler çökelti faz halinde monoklinik yapıda zirkonyadır. Stabil olmayan monoklinik yapının çökertilmesi soğutma sırasında tane sınırlarında önemli ölçüde iç çatlaklara neden olur, malzeme tamamen stabilize olmuş forma nazaran zayıf davranış gösterir, fakat ısıl şok direnci daha iyidir. ZrO_2 yüksek ısıl genleşme katsayısına ve düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu durum tamamen stabilize olmuş ZrO_2 malzemeye zayıf ısıl şok direnci verir [21,22].

Kısmen stabilize olmuş ZrO_2 malzemelerin tokluğunun geliştirilmesi çalışmaları ticari boyutlarda devam etmektedir. Tokluk çok iyi sıcaklık kontrolü yapılmış atmosferde 1300-1400°C' ler arasındaki kübik faz içerisine çok ince tetragonal fazların çökertilmesi esasına dayanır, yapı stabildir. Takip eden soğutma işlemi ince boyuttaki çökeltilerin monoklinik yapıya dönüşümünü önler. Bununla beraber, serbest yüzeylerin komşuluğunda (çatlak oluşumu gösterebilecek) dönüşüm hacim artışına neden olabilir ve bu yerlerde yüzeyler basınç altındadır. Sonuç olarak çatlağın oluşumuna sebep olmak daha zordur. Malzeme, sinterlenmiş haldeki tamamen stabilize ve kısmen stabilize haldekilerle karşılaştırıldığında nispeten daha tok ve dayanıklı gözükür. Bu şekilde mukavemellendirilmiş zirkonya malzemelerin darbe dirençlerine karşı dayanımları yüksektir.

Son zamanlarda tetragonal zirkonya polikristali (t.z.p.) bilinen malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemeler çok ince başlangıç toz boyutundaki zirkonyanın sıcak preslenmesi veya sinterlenmesiyle üretilir, çok ince mikron altı tane boyutlarının varlığı soğutma sonucu monoklinik yapıya faz dönüşümüne uğramaz. Tokluk ve mukavemet optimal yaşlandırılmış kısmen stabilize edilmiş (p.s.z.) zirkonyada yapıldığı gibi yükseltilir ve mukavemet ise 10^6 kPa değerlerine kadar çıkabilir. Her şeye rağmen bu tip malzeme yüksek oranda metastabildir. Özellikle yükselen sıcaklıklarda ve nem mevcudiyetinde yüzeyde kontrolsüz destabilizasyon eğilimi vardır. Mevcut araştırmalar stabilitenin artırılmasındaki metodlarda olduğu gibi yüzey kompozisyonunun değiştirilmesiyle dönüşümün önlenmesini amaçlamaktadır. Açık olarak malzemenin yaygın kullanımından önce güvenilir davranışı için demostre edilmeye gerek olacaktır. Aşağıda Tablo 3.1'de çeşitli tipteki zirkonya seramiklerin tipik stabilizör ihtivaları özellenmektedir [21].

Tablo 3.1. Çeşitli cinsteki zirkonya seramiklerin tipik stabilizör ihtivaları [21].*

Malzeme Cinsi	Stabilizör Tipi, %mol			Karışık ②
	CaO	MgO	Y ₂ O ₃	
Tamamen stabilize edilmiş ①	10-15	12-26	6-9	Uygun kombinasyonlarda
Kısmen stabilize edilmiş (p.z.s)	4-8	5-8	2-5	Mesela 2-5 MgO artı 2-5 CaO
Toklaştırılmış, kısmen stabilize edilmiş	5-9	7-9	2-4	Uygun kombinasyonlarda
Tetragonal zirkonya polikristali (t.z.p)	0-2	0-2	0-1	Uygun kombinasyonlarda

Alümina oksit esaslı seramik kaplama malzemelerinin en önemlilerindedir. Alüminanın bilimsel keşfi geçen yüzyıla dayanır. Ticari kullanımı ise 1920'ler den sonra başlamıştır. İlk ticari kullanımı buji ve laboratuvar malzemeleridir. Bugün seramik kaplama malzemesi olarak kullanılmakta olan alümina, bunun yanı sıra yüksek sıcaklık fırınlarında refrakter malzemesi, tekstil endüstrisinde iplik klavuzu olarak, elektronik endüstrisinde, zırh yapımında, tıpta implant ve protezlerde kullanılmaktadır [5,19]. Ergime noktası 2000°C ±30 olan alümina vasat sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden birisidir. Kullanımındaki sınırlama diğer oksitlere nazaran düşük ergime sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Alümina bol bulunan bir hammaddedir [18].

Saf alümina, düşük sıcaklıklarda birkaç formda bulunur. Bu yapılar zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak 750-1200°C arasında α-alüminaya dönüşür. 1600°C'nin üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır. Alüminanın α-fazına dönüşümü tersinir değildir [5,19].

Krom oksit yeşil renkli stokiometrik bir oksit (Cr₂O₃) olmasına rağmen genellikle Cr₂O_{3-x} şeklinde hipostokiometrik şekilde bulunur. Hipostokiometrik tabakalar metalik bir karakter taşır ve korozyon dirençleri zayıftır. Buna karşılık kromoksit kaplamalar çok serttir, aşınma dirençleri çok yüksektir ve gözeneklilikleri çok düşüktür. Püskürtülerek gerçekleştirilen kromoksit kaplamalarda metastabil fazlar meydana gelmez [5].

*Not (1); Düşük miktarlardaki stabilizörlerde kübik yapıya ulaşmak için yüksek fırın ile pişirme sıcaklığı istenir ve 700-1000°C'ler arasında daha az stabil olma eğilimi vardır.

*Not (2); Y₂O₃ pahalıdır ve yalnız çok kıymetli ürünlerde kullanılır. Böylece mümkün olan yerlerde MgO ve CaO kullanmaya eğilim vardır. Y₂O₃ ihtiva eden malzemeler CaO veya MgO ihtiva eden malzemelere kıyasla yüksek sıcaklıklarda daha zor destabilize olmaktadır.

3.2.1 Seramik kaplama malzemelerinin üretimi :

Geleneksel seramik endüstrisinde kullanılan hammaddeler karıştırma, kalsinasyon ve öğütme işlemlerini kapsar. Modern seramiklerin üretiminde çok ince ve homojen tozlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle, gerek laboratuvar ve gerekse endüstriyel uygulamalar için çeşitli toz üretme yöntemleri mevcuttur. Seramik kaplama tozlarının özellikleri, seramik üretiminin en önemli faktörlerindedir. Optimum tozun homojen, saf, boyutunun ise mikronun altında ve dar bir dağılım aralığına sahip olması gerekir.

Seramik kaplama malzemelerinin üretim prosesleri arasında belli başlıları; düşük sıcaklık yöntemleri (kimyasal veya kolloidal işlemleri ihtiva eder) ve yüksek sıcaklık yöntemleri (buhar fazı veya egzotermik reaksiyonları kapsar) olarak bilinmektedir. Düşük sıcaklıkta toz üretimine imkan veren kolloidal veya kimyasal yöntemler Sol-jel'den, katuların uçurularak parçalanmasına kadar değişir [14].

3.2.1.1 Sol-jel yöntemi :

Yönteme adını veren terimler şöyle açıklanmaktadır; Sol: Bir katının bir sıvı, bir katı veya bir gazdaki dağılımıdır. Jel: Bir katının bir sıvıdaki dağılımına kolloidal sistem, bu kolloidal sistemin katılaşmasına yani katılaştığında aldığı duruma jel denir [23].

Bu yöntemde bir veya bir kaç bileşenin sol (veya jel) yapıcı özelliğe sahip olması gerekmektedir. Empüritelere dikkatlice kontrol edildiği belirli bileşimlerde sol (veya jel) yapıcıların eldesi için başlıca iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde hammaddeler kolloidal partiküller halinde kullanılır. Mesela tabii kolloidal olarak bilinen kil gibi. Benzer yöntem, inorganik bileşiklerin çözelti içerisinde hidroliz / çökelme ile oksit kolloidal halinde sentezidir. İkinci yöntemde ise metalik veya metalik olmayan alkoksitlerin veya çeşitli alkoksit veya metal-organik bileşiklerin genellikle alkol veya hegzan çözeltisinde, hidroliz / polikondensasyon sonucu polimerize bir yapıya dönüşmesine dayanır. Elde edilen ürün ince film veya toz halinde kurutulur.

Sol-jel yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Yöntemin kimyasal yönü kontrol edilebilir,
- Ham maddelere kıyasla daha iyi homojenlik sağlanır,
- Toz boyutu mikronun altında elde edilir,
- Üretim için düşük sıcaklıkların yeterli olmasından dolayı: enerji tasarrufu sağlanır, uçma kayıpları en aza iner, bulunduğu kapla reaksiyona girmez,
- Yeni malzemeler ve özellikler elde edilebilir,

- Hava kirliliğine neden olmaz.
- Sol-jel yönteminin dezavantajları ise şunlardır;
- Üretilen tozların üretim maliyeti yüksektir,
- Bu proseste büzülme miktarı yüksektir,
- Yapı ince gözeneklidir,
- Yapıda işlem sonrası kalıntı hidroksil, kalıntı karbon yer alabilir,
- Organik çözeltiler sağlığa zararlıdır,
- İşlem süresi uzundur [14].

3.2.1.2 Solüsyon yöntemleri :

Bileşim kontrolü, homojenlik ve yüksek safiyet sağlanması bu yöntemin en belli başlı avantajlarından. Bu yöntemde çözücünün uzaklaştırılmasına göre iki farklı uygulama vardır. Bunlar; çözücünün buharlaştırılması ve çökeltme-filtrasyon yöntemleridir. Her iki yöntemde de solüsyonun hazırlanması gerekir. Bu yöntemde, başlangıçta kullanılan tuzların seçiminde, her iki tuzun karakterinin birbiri ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin baryum ferrit, baryum ve demirin nitratlarından üretilebilir ve her ikisi de suda çözünür. Bunun yanında demir sülfat ve baryum nitrat çözeltileri, baryum sülfat çöktürmeden birbiri ile karıştırılamaz [14].

3.2.1.3 Buhar-buhar reaksiyonu yöntemi :

Seramik tozlarının bir kısmı minimum iki bileşen ihtiva eden gaz fazı reaksiyonları sonucu üretilebilmektedir. Bu yöntemde kolayca buharlaşabilen metal klorürler plazma içerisinde amonyakla, metan ile reaksiyona girerek karbürleri ve nitürleri meydana getirirler. Plazma içinde halojen bileşiklerinin oksijenle reaksiyonu sonucu, bunun yanında metal klorürlerin su buharı ile reaksiyonu sonucu ile de oksitler üretilebilmektedir [14].

3.2.1.4 Buhar-katı reaksiyonu yöntemi :

Bu yöntemde metal tozlarının oksitlenmesi sonucu oksitler oluşur. Mesela bu yöntemde kaolen, metakaolen'e ayrışıp amonyak ile reaksiyona girdiğinde sialon elde edilir. Ekonomik bir yöntemdir [14].

3.2.1.5 Kimyasal buhar çökmesi yöntemi :

Kimyasal buhar çökmesi (CVD) yönteminde gaz halindeki reaksiyon bileşenleri katı halde, taban

üzerine çökeler. Bu yöntemde morfoloji ve mikroyapı çöktürme koşullarına ve çöktürülecek alana bağlı olarak tek-kristalden amorf yapıya ve epitaksi filmlere kadar değişmektedir.

Kimyasal buhar çökeltmesi yöntemi nispeten düşük sıcaklık işlemi olup, nihai ürün safır ve taban üzerine homojen çöktürmenin sağlanması mümkündür. Bu yöntemin dezavantajı yüksek buhar basıncının teminidir. Reaksiyon bileşenlerinin taban malzemesinde etki edebilirliği diğer bir dezavantajdır [14,24,25].

3.2.1.6 Fiziksel buhar çökeltmesi yöntemi :

Kimyasal buhar çökeltmesi yöntemi 1000°C'nin üzerinde uygulandığından bu sıcaklığın üzerinde yapısı değişebilen malzemelerde kullanılmaz. Fiziksel buhar çökeltmesi (PVD) yöntemi ise yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymadığından uygundur. Bu yöntemde kimyasal reaksiyon söz konusu değildir. Kaplama malzemesinin üretimi ve aynı anda kaplanması vakum altında olur [14,22].

3.2.1.7 Zirkonya tozlarının yaş kimya yöntemi :

Bu yöntem sinterleşme yeteneği yüksek ve homojen seramik tozlarının üretimi amacıyla uygulanmaktadır. Sinterleşme yeteneğini arttıran topaklaştırmanın kontrolü bu yöntem sayesinde sağlanabilmektedir.

ZrO₂ tozlarının hazırlanmasında literatürde belirtilen belli başlı yöntemler şunlardır [24];

- Sıcak kerozin sentezi,
- Sitrat sentezi,
- Sol²-jel mikro küre sentezi,
- Peroksit sentezi,
- Aseton-toluen sentezi,
- Alkoksit sentezi,
- Klorür sentezi'dir.

Sıcak kerozin sentezinde %17 Y₂O₃ içeren ZrO₂'yi elde etmek için kerozin içerisinde Zr(SO₄)₂.4H₂O ile Y(NO₃)₃ emülsiyon haline getirilir. Bu emülsiyon 170°C'de sıcak kerosene ilave edilir, su ayrılır, filtre edilip kurutulur ve son olarakta 600°C'de oksijen atmosferinde 4 saat kalsine edilir. Elde edilen seramik toz boyutu 2-20 mikrometre arasındadır.

Sitrat sentezinde ise ZrOCl₂.8H₂O nitrik asit içerisinde çözündürülür. Y₂O₃ veya Gd'un oksiti ilave edildikten sonra ürünün tamamen klor iyonlarından arınmasına kadar amonyakla çöktürme, su ile

yıkama, filtre etme ve yeniden nitrik asitle critme işlemleri uygulanır. pH 6-7.5 arasına gelene kadar amonyak ilavesi yapılır. İşlem sonunda 1 mol metale karşılık 2 mol sitrik asit ilave edilerek kompleks bir yapı elde edilir. Bu yapının suyu uçurulup termolizör diye ifade edilen 3 zonlu düşey fırına beslenir. Fırın içerisinde egzotermik reaksiyonlara uğrar. Elde edilen stabilize zirkonya havada ve 650°C'de kalsine edilir.

Sol-jel mikro küre sentezi ile elde edilen tozların mükemmel küre şeklinde morfolojileri vardır. Tozların çapı 1-20 mikrometre arasındadır. Bu yöntem aslında nükleer yakıtlar için geliştirilmiş olup daha sonra stabilize ZrO₂ tozlarının üretimine uyarlanmıştır.

Peroksit sentezi %17 Y₂O₃'lu ZrO₂'nin üretimi için kullanılan bu yöntemde Y(NO₃)₃ ve ZrOCl₂ çözeltisi 40°C'de ısıtılır. Daha sonra çözelti 1 mol metale karşı 1.1 mol oranında hidrojen peroksitle katılır. Karışım amonyak çözeltisine katılarak pH 8.5-9.5 arasına getirilir. Çökelti filtre edilir, su ile yıkanır, kurutulur ve 600°C'de 2 saat süre ile kalsine edilir.

Aseton-toluen sentezinde de %17 Y₂O₃'lu ZrO₂'nin üretimi yapılır. Bu yöntemde jel nitrik asit içerisinde karıştırılmış metal çözeltisinden amonyakla çöktürülerek elde edilmektedir. Amonyum tuzlarını uzaklaştırmak maksadıyla su ile yıkanır, aseton ile çalkalanır, serbest haldeki suyu uzaklaştırmak için de toluenle yıkanır. Elde edilen ürün filtre edilir, tolueni yapıdan uzaklaştırmak için asetonla yıkanır. Nihai ürün kurutulup, öğütülür ve 650°C de kalsine edilir.

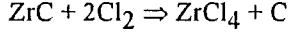
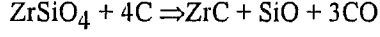
Alkoksit sentezi %17 Y₂O₃'lu ZrO₂'nin üretimi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Üretilen tozların çok ince olması ve topaklaşmaya uğramaması için kurutmadan önce çökelmiş jeldeki serbest suyun yapıdan uzaklaştırılması gerekmektedir.

Klorür sentezi alkoksit sentezinin uzun zaman alması nedeniyle geliştirilmiştir. 1979 yılında %12 Y₂O₃'lu ZrO₂'nin üretimi için, ZrCl₄ ve YCl₃'den başlayarak çöktürme yöntemi ile jel oluşumu denenmiştir. Kurutma ve kalsinasyondan önce çökeltinin alkolde yıkanmasının topaklaşmayı azaltarak sinterleşmeyi geliştirdiği bulunmuştur. %17 Y₂O₃'lu ZrO₂'nin üretimi içinde uygulanmış ve 1220°C'de sinterlenmesiyle %98 yoğunluk elde edilmiştir [14,24].

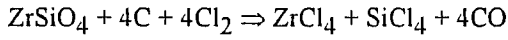
3.2.1.8 Zirkondan zirkonya üretimi yöntemi :

Zirkon kimyasal etkilere karşı oldukça dayanıklıdır. Zirkonu kimyasal olarak parçalamak ve zirkonyumu silisyumdan ayırmak için 3 proses geliştirilmiştir. Bu prosesler şöyledir;

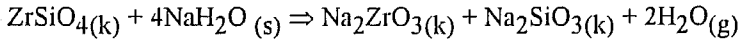
1) Karbonla zirkonun ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) klorinasyonu: İçi grafit kaplı ark fırınında $1800^\circ C$ 'de zirkonun karbon ile reaksiyona girmesiyle ZrC elde edilir, $1800^\circ C$ 'de buhar halindeki SiO damutularak uzaklaştırılır ve $500^\circ C$ 'de ZrC klorlanarak $ZrCl_4$ elde edilir. Reaksiyonlar şöyledir [14,26,27];



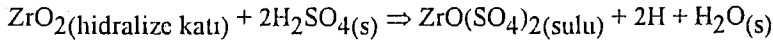
Eğer zirkon karbon karışımı $1200^\circ C$ 'de klorlanırsa reaksiyon tek kademeye iner;



2) Alkali çözündürme: $318^\circ C$ 'de çözünen $NaOH$, $550^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda zirkon ile hızlı bir reaksiyona girer [14];

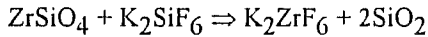


Su liçi uygulanarak Na_2SiO_3 ve reaksiyona girmeyen $NaOH$ çözülerek uzaklaştırılır, Na_2ZrO_3 'de hidralize katı özelliğinde ZrO_2 haline dönüştürülür. Daha sonra asit liçi yapılır ;



Asit liçi H_2SO_4 dışında HNO_3 veya HCl ile de yapılır. Elde edilen zirkonyumlu çözelti çöktürme ve $850^\circ C$ 'de kalsinasyona tabi tutulup ZrO_2 elde edilir.

3) Flüosilikat çözündürme prosesi: 200 mesh boyutlarına kadar öğütülmüş zirkon K_2SiF_6 ve KCl (katalizör) ile karıştırılarak $650-700^\circ C$ 'de sinterlenir. Reaksiyon şöyledir [14,22,24];



Sinterlenmiş yapı %1'lik HCl ile 7 saat $85-90^\circ C$ arasında liç yapılır. K_2ZrF_6 kristallerine çöktürme ve kalsinasyon işlemleri uygulanır. $850^\circ C$ 'de 2.5 saat kalsine edilerek ZrO_2 elde edilir [24].

3.2.1.9 Seramik tozlarının yüksek sıcaklık işlemleriyle üretimi :

Karbür, nitür, borür gibi oksit olmayan seramik tozlarının üretimi yüksek sıcaklıkta sistemden gaz geçirilerek yapılır. Isıl dekompozisyon gaz reaksiyonu yöntemi ile Si_3N_4 ve AlN gibi nitürler üretilmektedir.

Buhar-faz reaksiyonları ile nitrür ve oksit tozları oluşturulabilir. Plazma ile sağlanan yüksek sıcaklıktaki gaz ile reaksiyon gerçekleşir. Gazın ani soğuması süper ince, çok saf toz meydana gelmesini sağlar.

Lazer kullanarak üretimde reaksiyon zonu çok dar ve çok belirgindir. Lazer yönteminde yüksek sıcaklık nedeniyle kısa sürede üretim yapılabilir. Tozun bileşimi, boyutu ve boyut dağılımı çok hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Si_3N_4 , B_4C , Al_2O_3 ve TiB_2 gibi seramik tozları lazer yöntemiyle üretilebilmektedir.

Kendi kendine yayılmalı yüksek sıcaklık sentezi (SHS) veya yanma sentezi yönteminde sağlanan sıcaklık $2500^\circ C$ 'nin üzerinde olabilmektedir. Reaksiyon, sistemde yer alan bileşenlerin meydana getirdiği egzotermik reaksiyondur. Isı veren reaksiyon olduğundan yüksek sıcaklık fırınına gerek yoktur. İşlem süresi saniyelerle ifade edilecek kadar kısadır. SHS yöntemiyle üretilen ürünler işlem esnasında sıcaklığın etkisiyle meydana gelen buharlaşma nedeniyle safır. SHS yöntemi basit ve az enerjiye gereksinim duyan bir yöntemdir. Birçok borür, nitrür, karbür, silisit, karbonitrür gibi seramik ürünler SHS yöntemi ile üretilebilmektedir [14].

3.3 Seramik Kaplama Teknikleri :

Yüzyıllardır insanlar kullandıkları malzemelerin yüzey özelliklerini kaplamayla veya diğer yöntemlerle değiştirmeye ve geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmenin temel amaçları;

- Yüzeye sertlik, aşınma ve sürtünme direnci, elektriksel iletkenlik veya yalıtkanlık gibi farklı mühendislik özellikler kazandırmak,
- Yüzeyin korozyon direncini arttırmak,
- Yüzeye dekoratif çekicilik kazandırmaktır [28,29,30].

Metalik malzemelerin üzerine seramik kaplama teknikleri 1970'li yıllardan itibaren oldukça önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bunun nedeni gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan metal ve alaşımlarının değişik ortamlarda yüksek performans gösterebilmelerinin istenmesindedir. Metalik malzemenin seramik ile kaplanmasıyla performanslarının artışı başlıca şu özelliklerinin geliştirilmesiyle olmuştur;

- Aşınmaya karşı direnç,
- Korozyona ve oksidasyona karşı direnç,
- Isı iletimlerinin düşük oluşu [28].

Son yıllarda ileri seramiklerin yüksek iyonik ve kovalent bağ enerjilerine dayanan üstün özelliklerinin

birleştirilmesiyle yeni seramikler üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu yüksek iyonik ve kovalent bağlarından dolayı ileri seramikler iyi refrakterlik, kimyasal kararlılık, sertlik, mekanik mukavemet ve sürtünme direnci gibi özelliklere sahiptir. İleri seramikler plastiklerin kullanılmadığı yüksek sıcaklıklarda, metal ve alaşımlarının korozyon veya yumuşama nedeniyle performanslarının yetersiz olduğu yüksek sıcaklıklarda özellikle rahatlıkla kullanılabilirler. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında maliyet/performans özellikleride dikkate alınarak seramiklere doğru ilgi artmaktadır. Seramik malzemeler gerek kendi başlarına, gerekse diğer malzemelerle yaptığı kompozitler veya kaplamalar şeklinde kullanılmaktadırlar [1].

Çeşitli refrakter seramiklerin üretim kolaylığına karşın konvansiyonel üretim prosesleriyle yoğun (daha az poroziteli) yapı eldesi zordur veya mümkün değildir. Üniform olmayan şekilli malzemelerin minimum nihai işleme veya nihai işleme gerek olmadan da uygulama kolaylığı değişik kaplama prosesleriyle mümkündür. Pahalı ve stratejik malzemeler kullanıldığında bu malzemelerin dikkatlice daha az miktarda kullanımında kaplama prosesleriyle mümkündür. Bu şartlar göz önüne alındığında kaplamaların ekonomik olarak uygun olması avantajı vardır [1,28].

Metallerin yüzeylerinin seramikle kaplanmasında kullanılan teknikler çok çeşitlidir. Bunlardan belli başlı olanları şöyledir: Fiziksel buhar çöktürme (PVD), kimyasal buhar çöktürme (CVD), sol-jel (SG), plazma püskürtme (PS), alevle püskürtme (FS), sıcak izostatik presleme ile kaplama (HIP), detonasyon tabancası (DG) [2,8].

Yukarıdaki seramik kaplama teknikleri çeşitli seramik kaplamaları uygulama alanlarına göre kullanılmaktadırlar. Seramik kaplamalar ve bazı uygulama alanları Tablo 3.2'de verilmiştir [8,12,13,30].

Sert seramik kaplama yüzeylerinin aşınmasına ve erozyonuna birçok faktör tesir eder. Statik yüklere maruz kalan metal yüzeylere aşınma direnci göstermesi amacıyla kullanılan seramik kaplamaların dinamik yükler altındaki metal yüzeylere kullanılmasıyla ilgili çalışmalar devam etmektedir. Pistonlar, valfler, matkaplar, klavuzlar üzerine TiN, TiC, Ti(CN), TiB₂ gibi kaplamalar uygulanmaktadır [20,31,32,33].

Tablo 3.2 Seramik kaplamalar ve uygulama alanları [8,12,13,30].

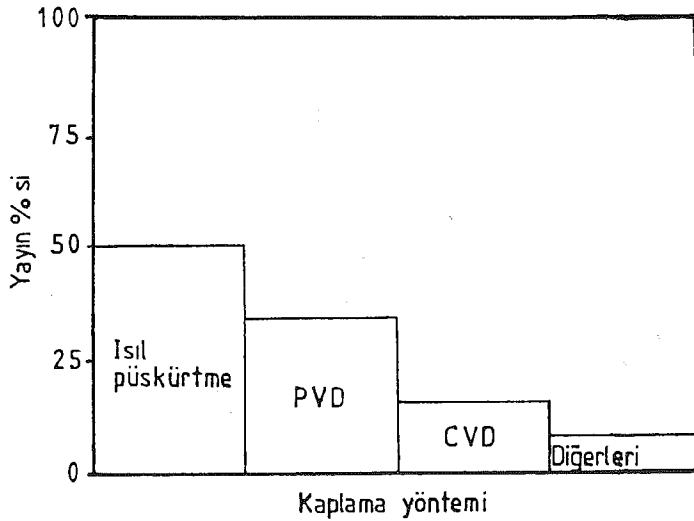
Uygulama Alanı	Seramik Kaplama Malzemeleri
Aşınma direnci	TiC, TiN, Ti(CN), ZrN, TaN, TaC, BC, WC-TiC-TaC, ZrB ₂ , Si ₃ N ₄ , HfB ₂ , TiZrB, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , NiO+CaF ₂ /SrF ₂ , Cr ₃ C ₂ , Cr ₇ C ₃ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ -TiO ₂ , WC-Co, (Ti,Al)N
Erozyon direnci	TaN, Cr ₃ C ₂ , WTiC ₂ , Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂ , Cr ₂ O ₃ , NiOCaF ₂ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , NiCaF ₂
Karbürizasyon direnci	NbB ₂ , TaB ₂
Korozyon direnci	ZrO ₂ , Cr ₂ O ₃ , MgO, BeO, ZrB ₂ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ -TiO ₂ , VSi ₂ , HfC, MoSi ₂ , ZrO ₂ /MoSi ₂ , ZrSi ₂ /ZrSi, HfB ₂ , CeO ₂ , WC-Co, NbSi ₂ , TiSi ₂ , CrSi ₂ , TiB ₂
Difüzyon direnci	TiC, TiN, Ti(CN), TiB ₂ , ZrB ₂ , SiC

Isıl püskürtme ve CVD seramik kaplama teknikleri özellikle korozyon direnci için geliştirilmektedir [8]. Al₂O₃ / Cr₂O₃ karışımının plazma püskürtme ile kaplanması suretiyle korozif / erozif sıvılarda çalışan pistonlu pompalar korunur [30]. CVD ile oluşturulan SiO₂ ve TiO₂ filmler Fe-Ni-Cr alaşımları korumak için geliştirilmektedir; 30 Mikrometre kalınlığında CVD ile oluşturulan silika film oksidasyona, karbürizasyona ve 1000°C'ye kadar karbonun katalitik çözünmesine karşı Fe-Ni-Cr alaşımını koruyabilir; CVD ile oluşturulan TiB₂ filmler alüminyum redüksiyon hücrelerindeki grafit katotları korozyondan korunmak için kullanılmaktadır; Yüksek refrakterlikteki TiN, TiB₂, ve ZrB₂ gibi seramikler yüksek sıcaklıkta metaller için uygun birer difüzyon engelleyicidirler; CVD ile oluşturulan SiC çökelti nükleer fizyon teknolojisinde gaz difüzyon engelleyici olarak ve sıcak korozyonun önlenmesini sağlarlar [8,30].

Plazma püskürtmeyle seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptir ve dizel motorlarında dahil erozyon ve aşınma dirençli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber alevle püskürtmedeki kadar olmasada poroziteler nedeniyle plazma püskürtmeyle oluşturulan seramik kaplamalar korozyon için yetersiz kalabilmektedir [34]. Mesela CVD ile oluşturulan Ti(C,N) kaplamaların kompresör kanatlarındaki korozyon ömrü plazma püskürtme ile kaplanan malzemelerden daha iyidir [1,8].

Borürlerin, oksitlerin, nitrürlerin, karbürlerin büyük bir kısmı miller, kesme takımları, enjeksiyon döküm kalıpları, kompresör kanatları, nozullar, valfler ve pompa elemanları, contalar, tıbbi özellikteki cerrahi aletler ve protezler gibi aşınma uygulamaları için kullanılırlar. Sert CVD kaplamalar genellikle diğer kaplamalara ve demir esaslı malzemelere nazaran düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve aşınmayı büyük miktarda azaltırlar. Mesela TiC'e karşı çalışan Al_2O_3 , TiC'e karşı çalışan çelik ve SiC'e karşı çalışan TiC çok düşük sürtünme ve düşük aşınma çiftleridirler. Diğer iyi çiftler ya TiC, TiN yada Al_2O_3 ile ilgilidir. TiC oldukça yüksek sıcaklıklarda helyum içinde düşük sürtünme göstermektedir. CVD kaplamaların mikroyapılarının kontrolü bu kaplamaların hacim seramiklerden çok daha iyi sürtünme ve erozyon davranışına sahip olduğunu gösterir. Bu özellik SiC, TiB_2 ve $W-W_3C$ gibi seramik kaplamalarda oldukça belirgindir [1].

Isıl bariyer amaçlı seramik kaplamalarda ısıl genleşme, ısıl iletkenlik, aşınma, sürtünme ve korozyon direnci gibi temel malzeme özellikleri oldukça önemlidir. Isıl püskürtme teknikleri (alevle püskürtme, plazma püskürtme gibi) ile oluşturulan ısıl bariyer ve korozyona direnç amaçlı seramik kaplamalarda karşılaşılan en büyük problem gerek sıcaklık değişimleri, gerekse yüksek sıcaklık nedeniyle ortaya çıkan seramik kaplama-kaplanacak metalin uyumu ile ilgilidir. Uyumsuzluğu ortaya çıkaran nedenlerden en belli başlıları ısıl genleşme katsayılarının ve ısıl iletkenliklerinin farklı olması sonucu seramiğin metal üzerine yapışma (bağlanma) problemidir [35]. Çözüm olarak kaplama malzemesi-kaplanacak metal arasında ara tabaka olarak kullanılacak malzemelerin her ikisinde ısıl özelliklerine yakın özellikte yani her ikisinde özellik olarak ortasında olması ve yeni kaplama tekniklerinin geliştirilmesi sayılabilir [35,36]. En çok kullanılan seramik kaplama tekniklerinin başında ısıl püskürtme teknikleri gelmektedir. Isıl püskürtme tekniklerini PVD ve CVD teknikleri izlemektedir. Şekil 3.2 seramik kaplama teknikleriyle ilgili son 20 yılda yapılan yayınları göstermektedir [5,10].



Şekil 3.2 Son 20 yıldaki seramik kaplama teknikleriyle ilgili yayın % si [5,10].

3.3.1 Fiziksel buhar çöktürme (PVD - Physical Vapor Deposition) 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 - nitrit, karbür, oksit, oksinitrit ve karbonitritleri gibi) kaplanması mümkün olmaktadır [8,37,38].

Fiziksel buhar çöktürme belli başlı 3 tekniği kapsamaktadır [21];

- 1) Buharlaştırma (evaporation),
- 2) Sıçratma (sputtering),
- 3) İyon kaplama (ion plating).

Buharlaştırma yöntemi, PVD yöntemleri içerisinde en eskisi ve en kolay uygulanamıdır. Yöntemin esası oldukça basittir. Vakum altında ısı olarak veya elektron demeti ile ısıtılarak ergitilen malzeme buharlaşarak kaplanacak malzemenin üzerine çöker. Buharlaşan malzemenin buhar fazındaki atomlarının enerjisi oldukça düşüktür (0.2 - 0.6 eV). Bu nedenle kaplama yoğunluğu düşüktür ve kaplanacak malzemeye yapışması zayıftır.

Sıçratma yöntemi, kaplama malzemesinin enerji yüklü parçacıklarla (genellikle iyonlarla) bombardımanı sonucu sıçratılan atomların, kaplanacak metal yüzeyine birikmesi esasına dayanır. Bu yöntemde atomların enerjileri 4-20 eV civarındadır.

İyon kaplama yönteminin diğer yöntemlerden temel farkı kaplanacak malzeme atomlarının iyonize edilmesi ve kaplanacak malzemeye uygulanan potansiyel sayesinde (BIAS voltajı) hızlandırılmalarıdır. İyonize olan atomların kaplanacak malzeme yüzeyine doğru hızlandırılıp çarptırılmaları ile aynı zamanda malzemenin ısıtılması ve temizlenmesi sağlanır. Isıtma özellikle kaplamanın yüzeye yapışma özelliğini geliştirir. İyon kaplama yöntemi PVD teknikleri içerisinde en yüksek enerjili parçacıkların kaplama işleminde kullanıldıkları (70 - 80 eV) en hızlı ve en yoğun kaplama tabakası elde edilen yöntemdir [36,37,38].

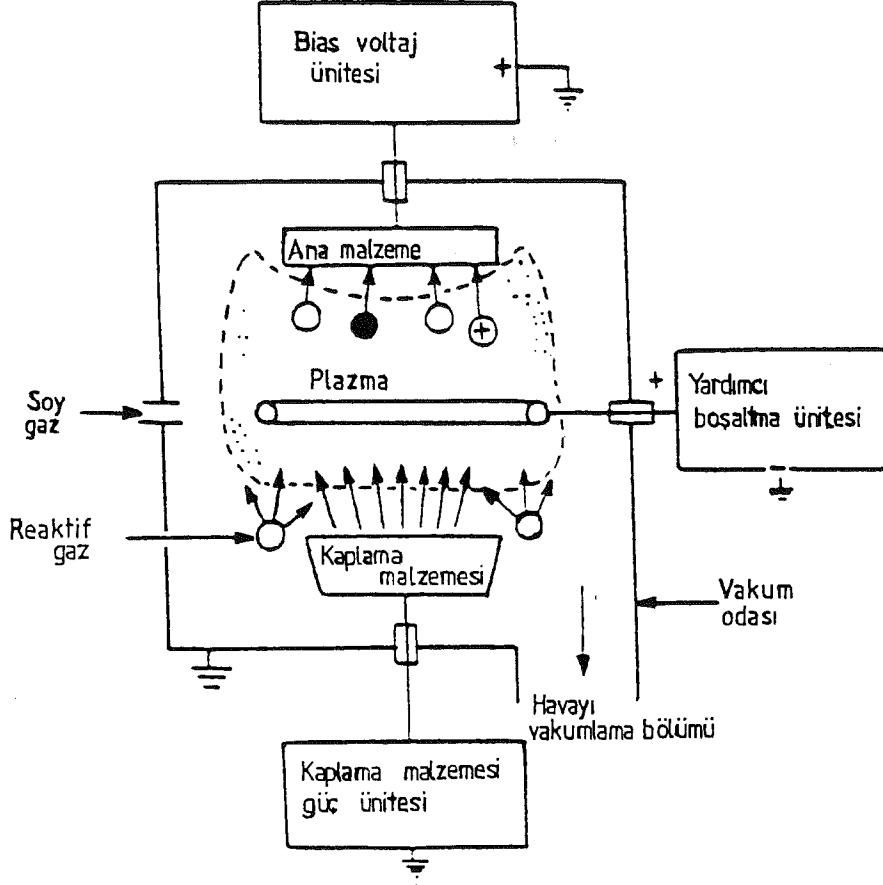
PVD tekniğine sert ince film tekniği de denmesinin nedeni kaplama tabaka kalınlığının 1-5 mikrometre arasında yapılması ve bu kalınlıklarda tabakaların bazı fiziksel özelliklerinin kaplanacak malzemenin fiziksel özelliklerini almasıdır. Mesela kaplama malzemesinin ısı genleşme katsayısı kaplanan çeliğin ısı genleşme katsayısını almaktadır [36,37,38].

PVD tekniği ile TiN (titanyum nitrür), TiC (titanyum karbür), TiO₂ (titanyum oksit), ZrN (zirkonyum nitrür), ZrC (zirkonyum karbür), CrN (krom nitrür), CrC (krom karbür), AlN (alüminyum nitrür), Al₂O₃ (alüminyum oksit), Ti(CN) (titanyum karbonitrür), (TiAl)N (titan alüminyum nitrür) gibi kaplamalar yapılabilmektedir [8,38,39,40].

PVD tekniği; CVD, plazma püskürtme gibi önemli yöntemlerle kıyaslandığında Şu avantajları sayılabilir [39];

- 1) Bu yöntemle 200-500°C sıcaklık aralıklarında kaplama yapmak mümkün olduğundan kaplanacak malzemede sertlik kaybı, ölçülerin değişmesi gibi mekanik değer kayıpları olmaz.
- 2) Çökeltinin kompozisyonu çok yönlüdür. Hemen, hemen birçok metal, alaşım, refrakter veya intermetalik bileşenler, bazı polimerik tip malzemeler ve onların karışımları kolaylıkla çökertilebilir. Bu yönüyle diğer çökeltme prosesleriyle kıyaslandığında PVD prosesi oldukça iyidir.
- 3) Bu yöntemle kaplanacak malzemelerin sıcaklıklarının çok geniş limitlerde olabilmesi mümkündür.
- 4) Çökeltiler çok yüksek saflıktadır.
- 5) Kaplanacak malzemeye kaplamanın mükemmel bağlanması PVD yöntemiyle mümkündür.
- 6) Mükemmel yüzey işlemleri verdiğiinden taşlama ve parlatma işlemlerini minimuma indirir veya elimine eder.

Şekil 3.3 PVD sisteminin genel halini göstermektedir. Burada 3 aşama bulunmaktadır. Buharın buhar kaynağından sisteme gelişi, buharın kaplanacak malzeme üzerine hareketi ve buharın kaplanacak malzeme üzerinde yoğunlaşmasıdır [39,41].



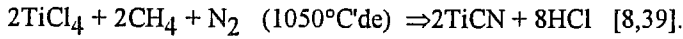
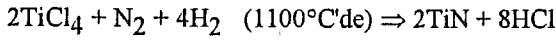
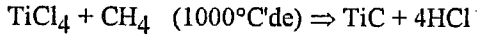
Şekil 3.3 PVD sisteminin şematik görünüşü [41].

3.3.2 Kimyasal buhar çöktürme (CVD - Chemical Vapor Deposition) tekniği :

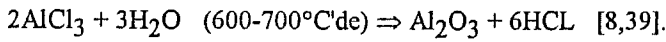
Kimyasal buhar çöktürme tekniği gaz karbürizasyonuna ve karbonitrürasyona benzer. Bu teknikte buhar fazında kararlı katı reaksiyon ürünleri kimyasal çözünme veya kimyasal reaksiyonla kaplanacak malzeme üzerinde çekirdeklenir ve gelişir [8]. Reaksiyon ve reaksiyon ürünlerinin bir çoğu 700-1200°C gibi yüksek (PVD'ye göre) sıcaklıklarda gerçekleşir [39].

CVD tekniğiyle TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃, Cr₇C₃ gibi kaplamalar 1-10 mikrometre kaplama kalınlıkları en çok uygulananlarıdır. Bu ince film kaplama tekniğinde TiCl₄'ün reaktif gaz atmosferinde H₂, N₂, CH₄, CO gibi gazlarla işlem odasına gönderilmesi sonucu işlem odasında kaplanacak malzeme üzerinde çözünüp çökmesiyle kaplama gerçekleşir. Serbest kalan gazlarda işlem odasından uzaklaştırılır.

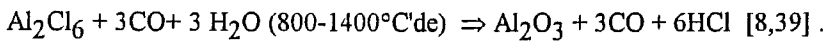
CVD'de kullanılan reaktif atmosferler kloridler, floridler, bromitler, karboniller, organometalik bileşenler, hidritler ve hidrokarbonlardır. Reaktif atmosfer kaplanacak malzemeye ulaşmaya kadar kararlıdır. Kaplanacak malzemede reaksiyon reaktifin yeterince değişimiyle oluşur. Gaz atmosferi sağlamak için bazen reaktifi ısıtmak gerekir. Hidrojende çoğunlukla indirgen madde olarak dahil edilir. Reaksiyonlardan bazılarının meydana gelişi şöyledir;



Mesela Al_2O_3 kaplamanın oluşmasında Al (safılığı çok yüksek) talaşlarının önce HCl ile reaksiyona girmeleriyle AlCl_3 oluşturmaları ve aşağıdaki reaksiyonlarda nihai ürün eldesi mümkündür;



veya Al_2Cl_6 oluşumundan da gidilerek şu reaksiyonlar meydana gelebilir;



CVD tekniğinde kaplama malzemesinin, kaplanacak malzemenin sıcaklık ve basınçla ilgili kimyasal, mekanik ve fiziksel özelliklerinin uyumu önemlidir. Kullanılan basınç düşük veya yüksek basınç şeklinde olmakta değeride 1-1000 mbar değerlerinde olduğu gibi 10^{-4} - 10^{-1} mbar değerlerinde de olabilmektedir. CVD tekniğinde sıcaklık aralığı (çeşitli kaplamalar göz önüne alındığında) genelde 700-1200°C olarak literatürde verilmesine rağmen son zamanlarda 300-600°C sıcaklıklar arasında W_2C gibi kaplamalar çelik malzeme üzerine kaplanmaktadır. Fakat bunların özellikleri TiC kadar iyi değildir [39,41,42].

Bu yöntemde tek kademeli kaplama yapılacağı gibi kullanım yerine göre çok kademeli kaplamalarda yapılabilmektedir. Sadece aşınma dirençli veya korozyon dirençli kaplamaların yanı sıra çok kademeli olarak aşınma artı korozyon dirençli kaplamalarda elde edilebilmektedir [41].

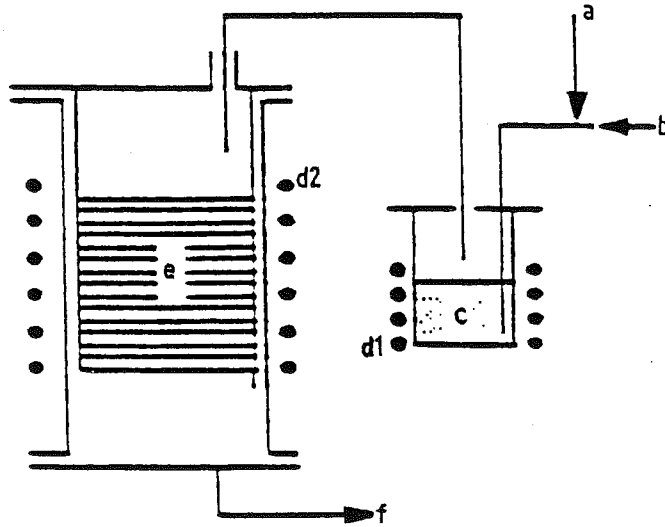
CVD yönteminin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz [39];

- 1) Kaplama malzemelerinin çökeltilmesi onların 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) Girintülü çıkıntılı parçalar üzerine çökeltme için en iyi methoddur. (Bu yönüyle PVD'den üstündür)
- 6) Atmosferik basınçta işlemler mümkündür.
- 7) Genellikle iyi bağlantı verir.

CVD yönteminin dezavantajları ise şöyledir [39];

- 1) Bazı reaktiflerin maliyeti yüksektir.
- 2) Kapalı sistemde gerekli olan birçok reaktifin korozyona, zehire veya neme hassas karakteristikte olması.
- 3) Düşük sıcaklıktaki işlemler için reaktiflerin kıtlığı (570°C'den düşük sıcaklıklarda).

Aşağıdaki 3.4 Şekli CVD ile TiN kaplamanın şematik diyagramını göstermektedir [8].



Şekil 3.4 CVD ile TiN kaplamanın şematik diyagramı: a = hidrojen, b = nitrojen, c = $TiCl_4$, d1 = 25-50°C sıcaklıklar arasında ısı veren fırın, d2 = 900-1000°C sıcaklıklar arasında ısı veren fırın, e = karbür raflar, f = HCl çıkışı [8].

3.3.3 Sol-jel tekniği :

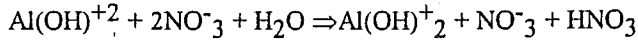
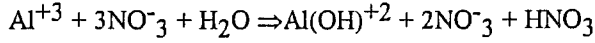
Sol-jel seramik kaplama prosesinde 4 kademe mevcuttur [8,43];

- 1) Sol'un hazırlanması.
- 2) Kaplanacak yüzeye solun tatbik edilmesi (mesela püskürterek).
- 3) Jel oluşumu için solun kurutulması.
- 4) Kuvvetli bir bağlanma özelliğine sahip bir kaplama eldesi için pişirme işlemi.

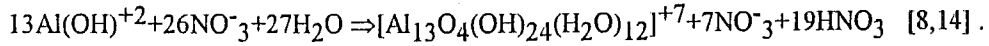
Sol hazırlamada iki yol vardır. Birinci yol hidroliz ve hidrolizi takip eden polimerizasyondur. İkinci yol ise çökeltme ve onu takip eden peptizasyon işlemidir. Silikanın, zirkonyanın, titanyumoksitin, seryumoksitin, alüminanın solları yanında Si_3N_4 , AlN gibi nitrürlü sollarla hazırlanabilmektedir. Aşağıdaki reaksiyonlar hidro alümina solun oluşumunu göstermektedir ;

1.yol;

Hidroliz :

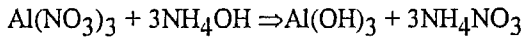


Polimerizasyon

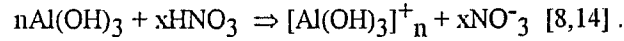


2.yol;

Çökeltme



Peptizasyon



Elde edilen solun kaplanacak malzemeye uygulanması kaplanacak malzemenin sola daldırılması, kaplanacak malzemeye solun püskürtülmesi gibi tekniklerle olur. Solun uygulanacağı malzeme yüzeyi solun uygulama şeklini belirler. Kaplanacak malzeme yüzeyi temiz, yüzey işlemi görmüş olmalıdır.

Soldan jelle dönüşüme dikkat edilmelidir. Kurutma hızı yavaş olmalıdır. Hızlı kurutmalarda jel çatlama oluşabilir. Bu durumda işlem reversibl olduğundan jelden sola dönüşüm için su gibi ilaveler yapmak gerekebilir. Solun kaplanacak malzemeye uygulanması ve jel oluşumu için kurutulmasından sonra iyi bir kaplama eldesi için jel yüksek sıcaklıklara (440-1200°C) pişirilir. Sinterleşmenin oluşması için gerekli olan bu yüksek sıcaklığa çıkarma süresi kısa olmalıdır. Genellikle bu süre 15 dakikadır. Tek kademede sol uygulanması solun viskozite, plastiklik, elastiklik gibi akışkanlık özelliklerinin ve ilave edilen katkıların kontrolüyle kaplama kalınlığı 0.1-2 mikrometre arasında değişir [8,14,43].

3.3.4 Detonasyon tabancası (DG - Detonation Gun) tekniği :

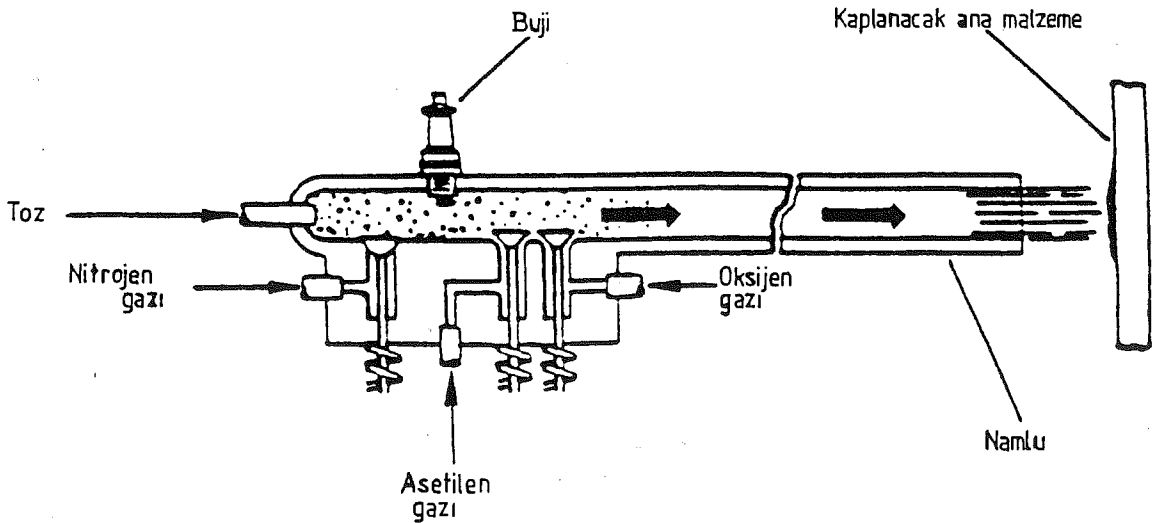
Bir ısıl püskürtme tekniği olan detonasyon tabancası tekniğinde kaplanacak toz taneleri yanma odasında oksijen asetilen karışımının infilak ettirilmesi ile ergime sıcaklığına kadar ısınır ve kaplanacak malzeme üzerine sevk ettirilerek kaplama yapılır [8,44].

Literatürde D-gun tekniği adıyla anılan tekniğin hızı 900 m/sn'ye kadar çıkar. Sıcaklık 4000°C'ye kadar çıkabilir ve oksiasetilen karışımıyla oluşan infilak saniyede 4-8 kez tekrarlanır [8,45]. Her infilak arasında N_2 ile temizlenir. Yüksek sıcaklıklara çıkmak söz konusu olduğundan su soğutma sistemide bulunur [8]. Detonasyon tabancasının şematik bir görünüşü Şekil 3.5'de verilmiştir [44,45].

Detonasyon tabancası belli iç çapa sahip uzun bir borunun geliştirilmiş halidir. Union Carbide şirketi 1983 yılında 2.5 cm iç çapında 1 m uzunluğunda su soğutmalı bir namluyu geliştirmişti. D-gun tekniği 1960'lı yıllardan itibaren halen gelişme içindedir. Her bir detonasyonda 25 mm'lik dairesel bir kaplama oluşur ve bu kaplamaların kalınlığı birkaç mikron olup üst üste bindirmeyle optimum kalınlığa ulaşılır [8,44,45].

Detonasyon tabancası tekniğinin belli başlı avantajları şöyle sıralanabilir [8];

- 1) Detonasyon tabancasının dizaynı basit ve servis ömrü uzundur.
- 2) Düşük poroziteli ve yüksek bağ mukavemetli kaplama elde edilebilir.
- 3) Sıcaklık oranlarıyla toz hızı geniş imkanlarla sahiptir ve bunlar değiştirilebilir.
- 4) Isıl çevrimlerinin birkaç tane kontrolü sebebiyle diğer ısıl püskürtme metodlarına benzemez.
- 5) Detonasyon tabancası metodu kaplama kalınlığını arttırmaya imkan verir.

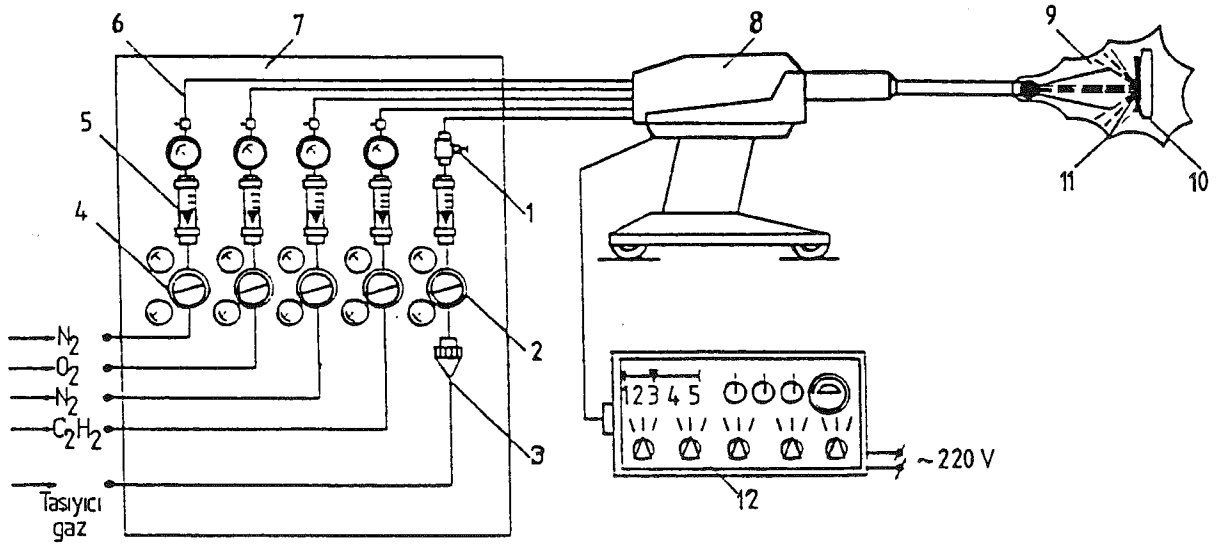


Şekil 3.5 Detonasyon tabancasının şematik görünüşü [44,45].

Bu tekniğin sınırlamaları;

- 1) Periyoda, çevirime sahip bir proses olduğundan stabilizasyonu ve kaplama ürünlerinin izlenmesini engeller.
- 2) Yüksek oranda ses oluşturduğundan çevre yalıtımına ve kullanan personelin güvenliğini sağlayıcı önlemlere gerek vardır.
- 3) Detonasyon ürünleri kompleks, çok sayıda parça ve elemanlarıyla reaktiftir. CO_2 , CO , H_2O , H_2 , O_2 , N_2 , gazları ve OH , H , O , NO , N gibi kökleri ve atomları ve diğer gazları oluşturur. Bu durum üretimle ilgili sınır değerleri ve ölçüm ayarlarını etkiler.
- 4) Kaplanacak parçaların distorsiyona uğrama ihtimali fazladır. Kaplamanın gerçekleştirilmesi için kaplanacak malzemenin, infilakla tozların çarpmasına karşı yeterince dayanıklı olması lazımdır.

Son yıllarda otomatik olarak çalışan detonasyon tabancaları geliştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde böyle bir tabancanın sistematik diyagramı görülmektedir [44,45].

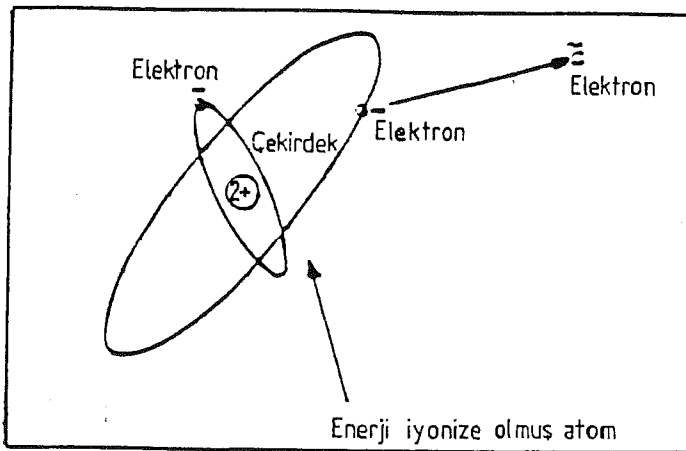


Şekil 3.6 Otomatik detonasyon tabancası ve ekipmanlarının şematik diyagramı; 1) Gaz musluğu, 2) Regülatör, 3) Filtre, 4) Basınç azaltma ventili, 5) Rotametre, 6) Temizleme, 7) Çok kanallı gaz kontrol ünitesi, 8) Detonasyon tabancası, 9) Namlu alevi, 10) Kaplanacak iş parçası, 11) Kaplama, 12) Otomatik kontrol sistemi [44,45].

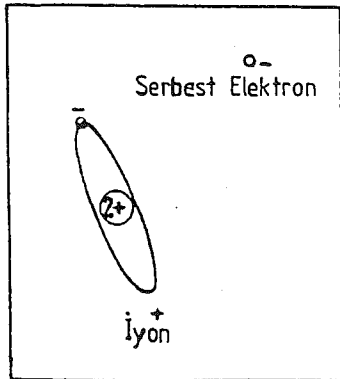
3.3.5 Plazma püskürtme tekniği :

Bu tekniğe adını veren plazma, malzemenin buharının normal gaz halinden daha yüksek bir enerji seviyesine yükseldiği hali ifade eder. Normal (adi) gazlar ayrı moleküllerden ibarettir. Plazmada parçalanmış ve ayrılmış aynı gazlardan oluşur; öyle ki, elektriksel olarak yüklü partiküllerinin bir kısmı ayrılmıştır. Adi gazlar ısıtıldıklarında klasik fizik ve termodinamik kanunlarını takip ederler; plazma bu eski klasik kanunlara uymaz ve bundan dolayı maddenin dördüncü hali olarak vasıflandırılır [46,47].

Atomik seviyede, plazma çekirdeğinde 2 pozitif yükü ve yörüngesinde 2 negatif yükü (elektron) olan nötr bir atomun elektronlarından birinin yeterince yüksek bir enerji ile yörüngeden atılıp atomun pozitif yüklü bir iyon haline geçmesiyle ilgilidir. Böylece biri iyonize edilmiş atom ve diğeri serbest elektronlardan ibaret iki partikül elde edilmiş olur. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmektedir[46].



Şekil 3.7 Nötr atomun şematik görünüşü [46].



Şekil 3.8 Bir elektronu koparılmış atomun şematik görünüşü [46].

Nötr bir atomdan bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli enerji ise iyonizasyon enerjisi olarak adlandırılır. Plazma pozitif yüklü iyonlarla negatif yüklü elektronlardan ibaret bir gazdır ve elektriksel olarak nötrdür. Aşağıdaki gazlara göre plazma 2 büyük avantaj sağlar;

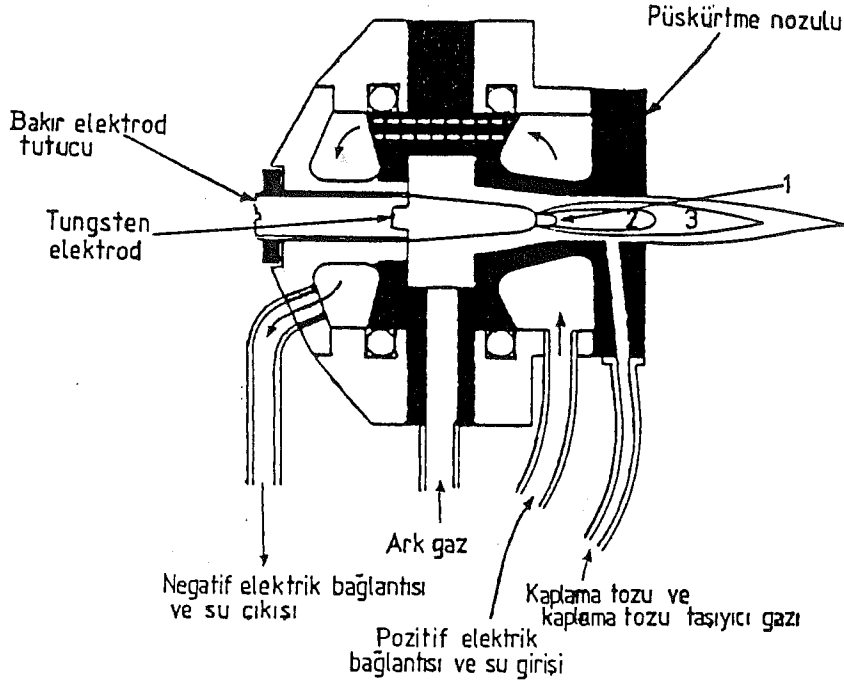
- a) Daha yüksek sıcaklık.
- b) Diğer cisimlerle daha iyi ısı transferi.

Kısaca; kaplama malzemesinin plazma gazı içersinden geçirilerek ergimiş halde kaplanacak malzeme (substrate) üzerine püskürtülmesi plazma püskürtme tekniği adını alır. Plazma püskürtme tekniğinde, kaplanacak toz bir gaz eşliğinde gönderilmektedir.

Plazma püskürtme tekniğinin ortaya çıkışı 1950'li yılların sonlarına doğru başlamıştır. Isıl püskürtme endüstrisinin gelişimi 1950'nin sonlarına doğru yavaş fakat istikrarlıydı. 1957'ye gelindiğinde Thermal Dynamics ve Giannini Scientific adlı Amerikan şirketlerinin plazma püskürtme tabancalarını ısı püskürtme endüstrisi ile tanıştırmaları ısı püskürtme endüstrilerinin gelişiminde hızlandırdı. Metco şirketi 1960'da plazma püskürtme tekniğiyle ilgili Thermal Dynamics'de bulunanın benzeri bir üniteyi kurdu. Mesela NASA 1960'lı yılların başında 100'ün üzerinde plazma püskürtme sistemi satın almıştı. Plazma püskürtme alanında teknolojik gelişmeler halen devam etmektedir [47,48].

Plazma püskürtme tekniğinde elektrodlar arasında oluşturulan ark içinden geçirilen inert bir gaza enerji depolanır [46].

Enerji depolanmış gazın entalpisi yanma olayından tamamen bağımsız olup 10^9 KJ/kg değerine ulaşır (Bu entalpi değeri alev için 10^7 KJ/kg idi.) [5,8,46]. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi plazma ark tabancasının açık ucunda plazma oluşur [39].

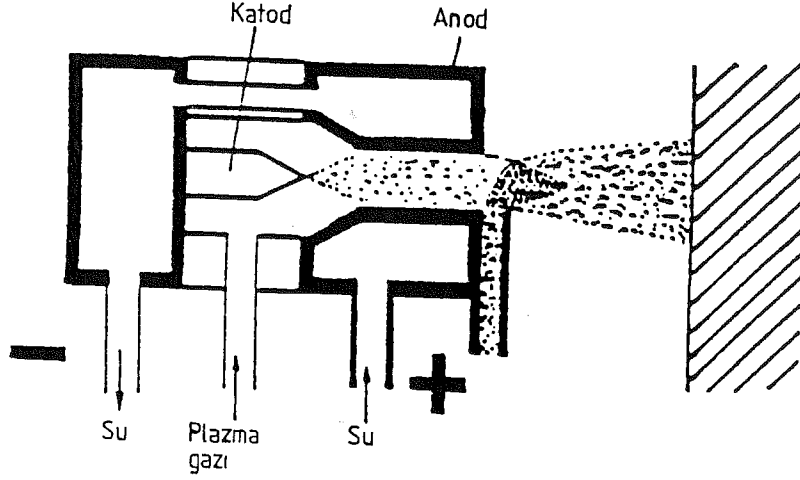


Şkil 3.9 Plazma ark püskürtme tabancası. (Yaklaşık plazma sıcaklıkları; 1)7800°C, 2)10000-13400°C, 3)7800-10000°C) [39].

Primer ark gazı genellikle argon veya nitrojendir. Tabancadaki odacığa gelen yüksek frekanstaki elektrik akımıyla iyonize olur. Plazma 2000 A'lık doğru akım ve 30 ile 80 V arasındaki doğru akım potansiyellerini iletebilir. Standart plazma tabancaları 40 kW değerlerine kadar ulaşmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen yüksek enerjili tabancalar ile 80 kW değerlerine ulaşılmıştır [39].

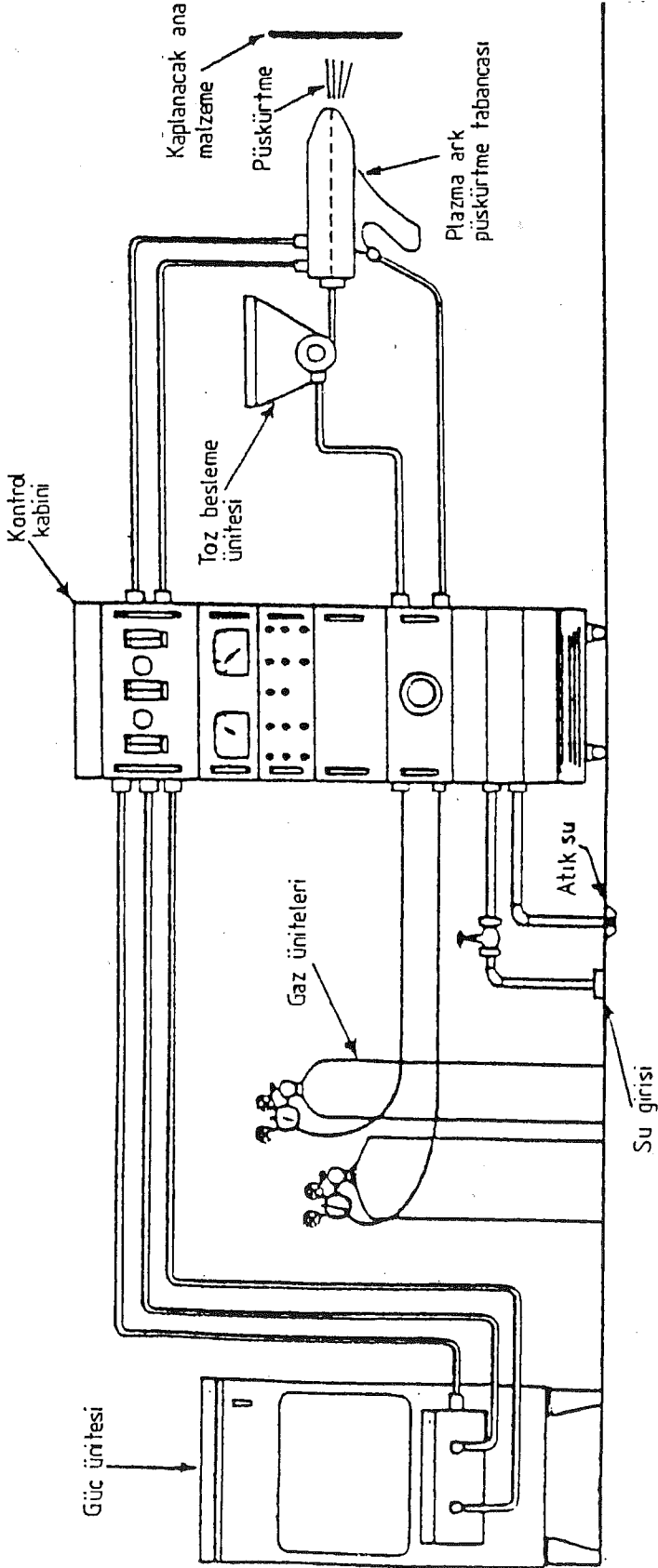
Plazma püskürtme tabancasında katod tungsten elektrod, anod ise elektrolitik bakırdır. Anod su ile soğutulmaktadır. Şkil 3.10'da görüldüğü gibi oluşturulan plazmaya karıştırılan seramik toz ergiyerek kaplanacak malzeme yüzeyine yüksek bir hızla püskürtülmektedir [5].

Güç seviyesi, ark gazlarının basıncı ve akışı, kaplama malzemesi olan tozların akışı ve oranı, taşıyıcı gazlar, sistemin kontrol kabininden kontrol edilir. Püskürtme tabancası pozisyonu, tabanca ile kaplanacak iş parçası uzaklığı genellikle ayarlanır. Kaplanacak iş parçasının hareketi otomatik veya yarı otomatik tezgahlarda kontrol edilir [39].



Şekil 3.10 Plazma püskürtme tabancasıyla seramik tozların püskürtülmesinin şematik görünüşü [46].

Plazma dirençle ısıtıldığı için tek atomlu gazlarda daha yüksek sıcaklıklara plazma tabancasından daha yüksek akım geçişiyle çıkarılır. Daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için nitrojen, helyum ve hidrojen gibi sekonder gazlar plazma tabancasının odacığına eklenir. Bu gazlar ark gaz karışımının iyonizasyon potansiyelini yükseltir, düşük güç seviyelerinde plazma sıcaklığının artışıyla yüksek sıcaklıklar elde edilir. Şekil 3.11'de basit plazma ark püskürtme sistemi görülmektedir [39,46].



Şekil 3.11 Plazma ark püskürtme sistemi [39].

Yukarıda bahsi geçen konvansiyonel (plazma ark püskürtme tekniği) plazma püskürtme tekniğinde plazma sıcaklığı 5500°C'yi ve ergiyik toz partiküllerininde kaplanacak yüzeye çarpma hızı 240 m/sn'yi geçer [45].

3.3.6 Alevle püskürtme tekniği :

Alevle püskürtme tabancasıyla seramikler püskürtüldüğü gibi çeşitli alaşımlar, metaller, sermetler ve oksidasyona dirençli alaşımlarda püskürtülebilmektedir [47,48,49].

Seramik malzeme toz veya çubuk şeklinde alevin içinden geçirilir. Böylece seramik ergiyerek kaplanacak yüzeye püskürtülür [5,8]. Tel formunda metal malzemelerde alevle püskürtme tekniğinde ergitilerek püskürtülebilmektedir. Yakıcı gaz olan oksijenin yanında kullanılan yanıcı gazlar asetilen, propan veya hidrojenidir. Bu gaz karışımları ile ilgili bilgiler Tablo 3.3'de geniş olarak verilmektedir [39,47].

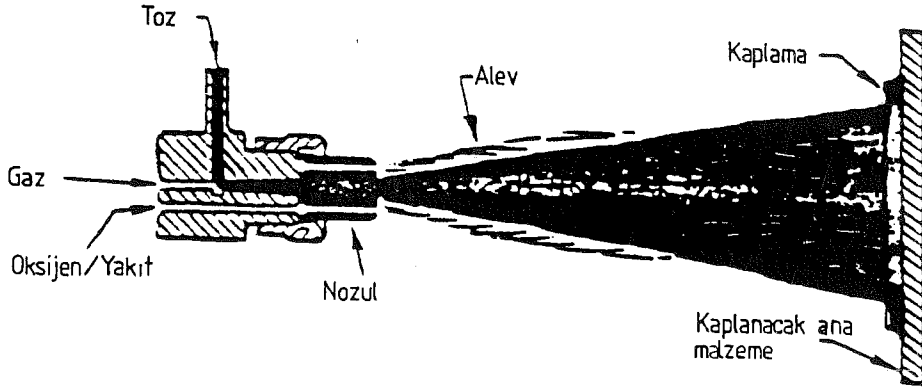
Tablo 3.3 Alevle püskürtme gazları [39,47].

Gaz Karışımı	Alev Sıcaklığı (°C)	Isı Değeri (kJ/m ³)	Tutuşma Hızı (cm/sn)	Alev Verimi (kJ/cm)
Oksijen - asetilen	3200	56430	1350	45
Oksijen - hidrojen	2650	10740	890	11
Oksijen - propan	2850	93423	370	14

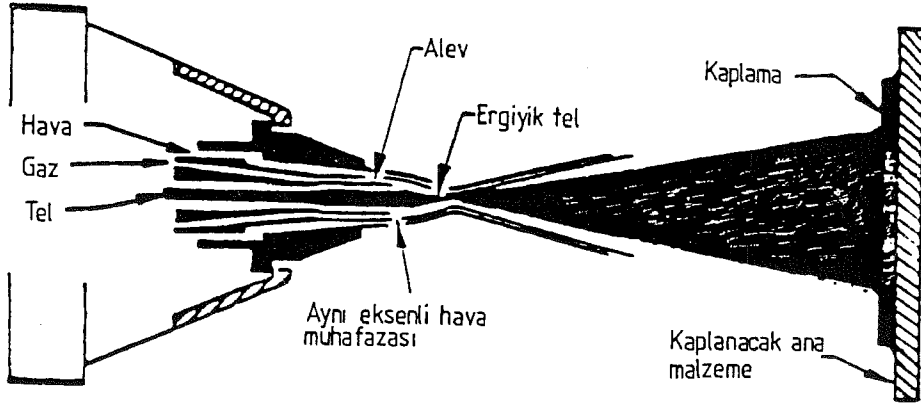
Gaz değişiminde alevle püskürtme tabancasının değişimine gerek yoktur. Kaplama malzemesini ergitmek için kullanılan ısı kaynakları (Tablo 3.3'de verilen gaz karışımları) sayesinde ergiyen püskürtme taneciklerinin hızları 30-150 m/sn arasındadır [48].

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de toz ve tel ile çalışan sistemlerin şematik diyagramları görülmektedir [8,39,45]. Tel püskürtmede püskürtme malzemesi tel şeklinde imal edilmektedir. Bu yöntem metalik olan püskürtme malzemesiyle metalik kaplamalar için kullanılabilir. Verim kullanılan tel püskürtme malzemesine bağlı olarak 15 kg/saat değerlerine kadar çıkar [48].

Alevle toz püskürtme yöntemi başta seramikler olmak üzere, metaller ve sermetlerin (metal + seramik oksit karışımı) kaplama malzemesi olarak püskürtülmesine uygundur [39,48].

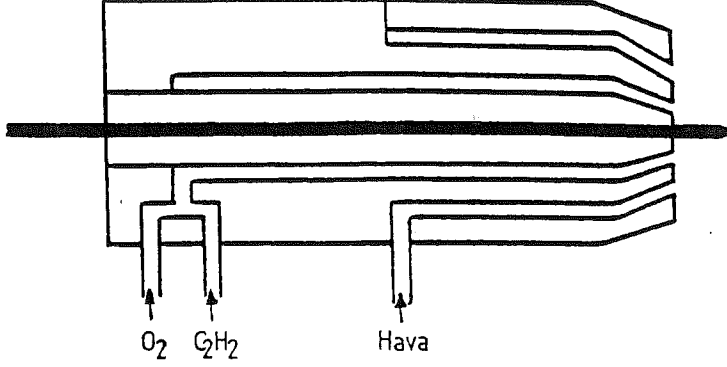


Şekil 3.12 Toz ile çalışan alev püskürtme sisteminin şematik diyagramı [45].



Şekil 3.13 Tel ile çalışan alev püskürtme sisteminin şematik diyagramı [45].

Toz alev püskürtme yönteminde püskürtme verimi 7 kg/saat'dir [48]. Bunlara ilaveten Şekil 3.14'de gösterilen püskürtme malzemesi olarak çubuklarda kullanılmaktadır. Çubuk seramik malzemeleride üretmek ve püskürtmek mümkündür. Bu sistemde yanıcı ve yakıcı gaz karışımı dairesel olarak çubuğun etrafına etki eder. Çubuğun hızı otomatik olarak ayarlıdır. Çubuğun ucunda sürekli bir kaç mm'lik kısmı eriyerek basınçlı hava artı alevin etkisi ile bu eriyik damlacık atomize şekilde kaplanacak malzeme yüzeyine püskürtülür. Sistem olarak çubuklu alev püskürtme yöntemi tüm çubuğun eriyerek ziyan olmaması açısından toz püskürtme yönteminden üstündür. Fakat her püskürtme malzemesinin çubuk formunda elde edilememesi dezavantajı da vardır [8].

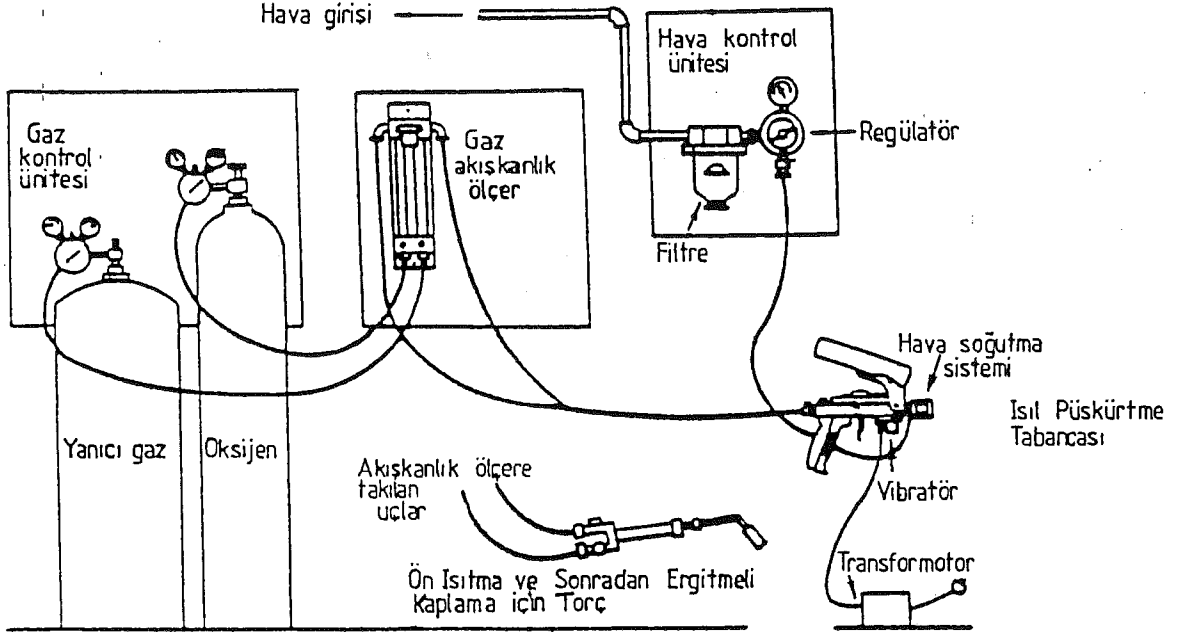


Şekil 3.14 Çubuk ile çalışan alev püskürtme sisteminin şematik diyagramı [8].

Alevle toz püskürtme tekniği soğuk ve sıcak olmak üzere 2 şekilde yapılır. Soğuk püskürtme tekniğinde kaplanacak malzeme sıcaklığı 200°C 'yi geçmez. Bu nedenle malzemede metalurjik dönüşümlere ve distorsiyona 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 ve difüzyon yolu ile kaplanacak malzemeye bağlanma sağlanır [5,8].

Kaplamanın iyi kalitede olması için seramik tozları alevin merkez kısmı içinden yol alarak kaplanacak yüzeye gelmelidir. Taneciklerin bu tip yörünge izlemesi en iyi ısı transferinide sağlar. Ancak bazı tanecikler alevin dış kısmından gidebilir. Dış kısmından giden taneciklerin hızı ve sıcaklığı alevin merkezinden gidenlere kıyasla daha düşüktür. Bu sebeple kaplamanın yapı ve gözeneklilik özellikleri alev ve kaplanacak yüzey hareket ettirilmediği takdirde üniform olmaz [5].

Tel, toz veya çubuk olsun alevle püskürtme tekniği düşük sermayeli yatırım, yüksek çöktürme oranı ve verimliliği, kullanılma kolaylığı, düşük bakım maliyeti ile karakterize edilir [39]. Şekil 3.15 'de bir alevle püskürtme tesisatı görülmektedir [47].



Şekil 3.15 Alevle püskürtme tesisi [47].

3.3.7 Diğer bazı seramik kaplama teknikleri:

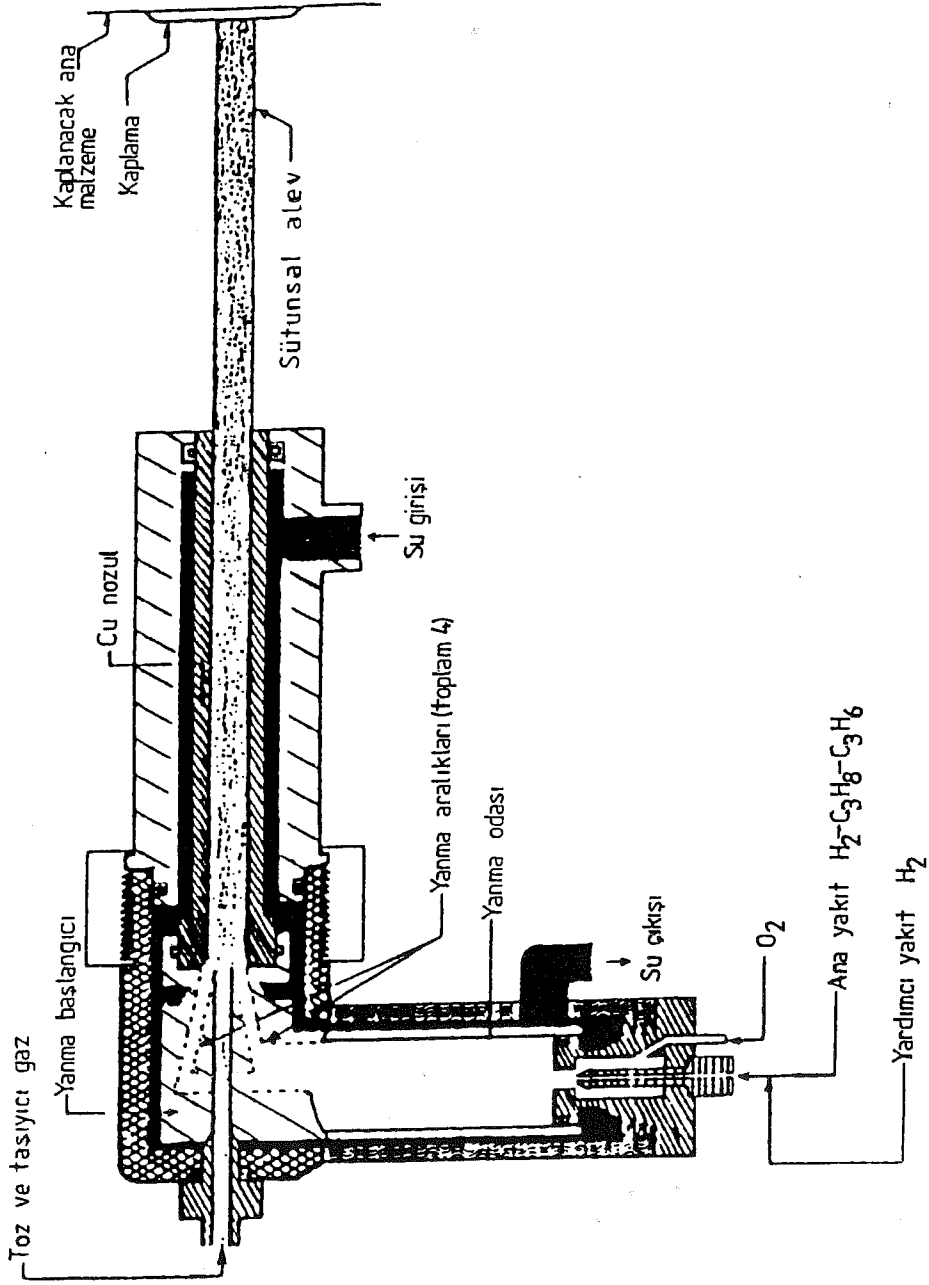
Yüzey tekniklerinden biri olan seramiklerin ısı püskürtülmesi diğer yüzey tekniklerine göre avantajları nedeniyle çeşitli sahalarda artarak gelişmektedir. Kaynak tekniğinde olduğu gibi ısı püskürtme tekniğinde birçok bilimsel alanla ilişkilidir. Bu nedenle, yeni tekniklerde, cihazlarda ve malzemelerdeki son zamanlardaki gelişmeler bazı seramik kaplama tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu teknikler hala gelişmelerini sürdürmektedirler.

Bu tekniklerden bilinenleri jet kote (HVOF) veya hipersonik püskürtme, lazer ısı püskürtme, düşük basınçta plazma püskürtme (vakum altında plazma püskürtme), ileri plazma püskürtme sistemi, gaz tünel plazma püskürtme sayılabilir [50,51,52,53,54,55,56,57].

Jet kote hipersonik püskürtme veya HVOF (High Velocity Oxy Fuel) diye de anılır. Jet kote prosesi 1982 yılında Jim Browning tarafından geliştirilmiştir [48].

Bu sistemde yanma odasında yanıcı gaz oksijenle yanarak yüksek basınç altında alev oluşturur. Yanıcı gazlar olarak bilinen hidrojen, propilen, propan, metilasetilen-propadien kullanılır. Püskürtülecek tozlar jet içine nitrojen gazı ile taşınır. Kullanılan nozulun boyunun uzun oluşu dar ve homojen bir alev sağlar. Jet kote yönteminin diğer avantajları da yüksek kinetik enerjili partüküllerin (taneciklerin) püskürtülebilmesi ve çok aşırı olamayan yanma sıcaklığı sayılabilir. Şekil 3.16'da jet-kote tabancasının enine kesiti görülmektedir [50,52].

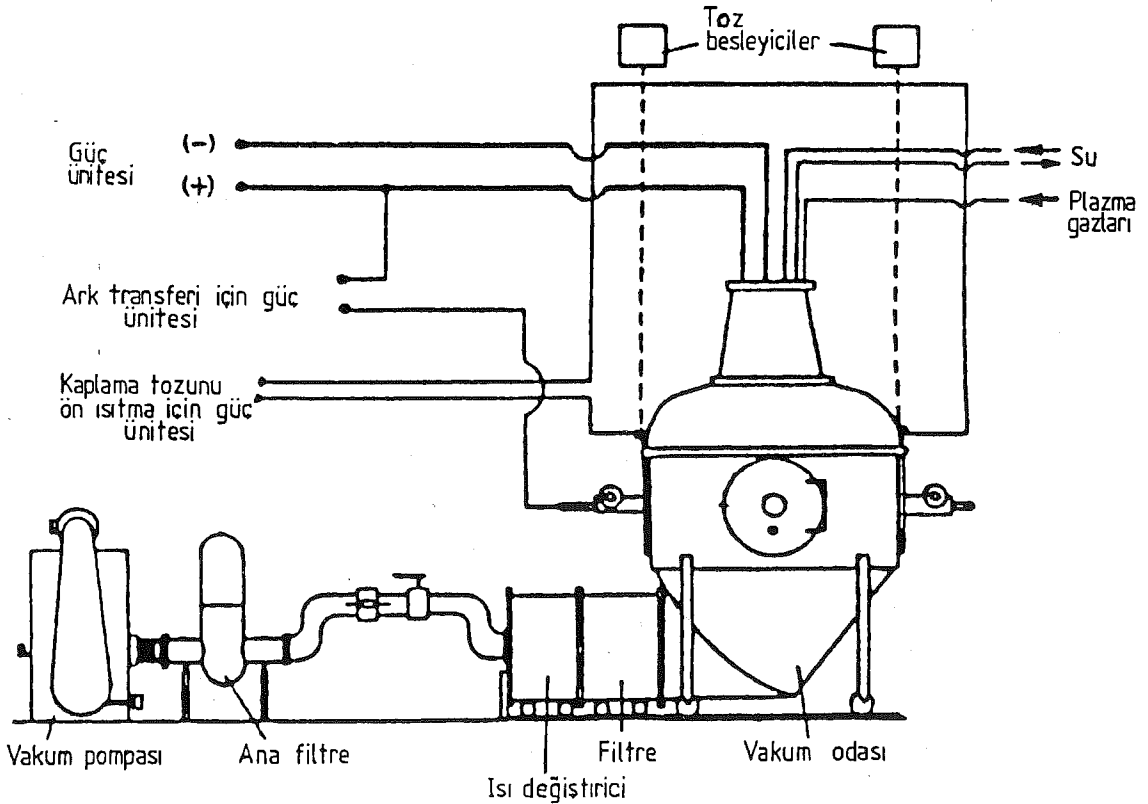
Lazer ışını metal ve seramiklerin ısı püskürtülebilmesi için kolaylıkla uygulanabilmektedir. Lazer ısı püskürtme olarak bilinen bu metod da lazer ışınının yüksek enerji yoğunluğundan istifade edilir. Püskürtülecek kaplama malzemesi yüksek sıcaklığa kolaylıkla ısıtılır ve etkili bir şekilde ergitilir. Fakat bu proses hala deneme safhasındadır [52,53,54].



Şekil 3.16 Jet-kote tabancasının enine kesiti [50,52].

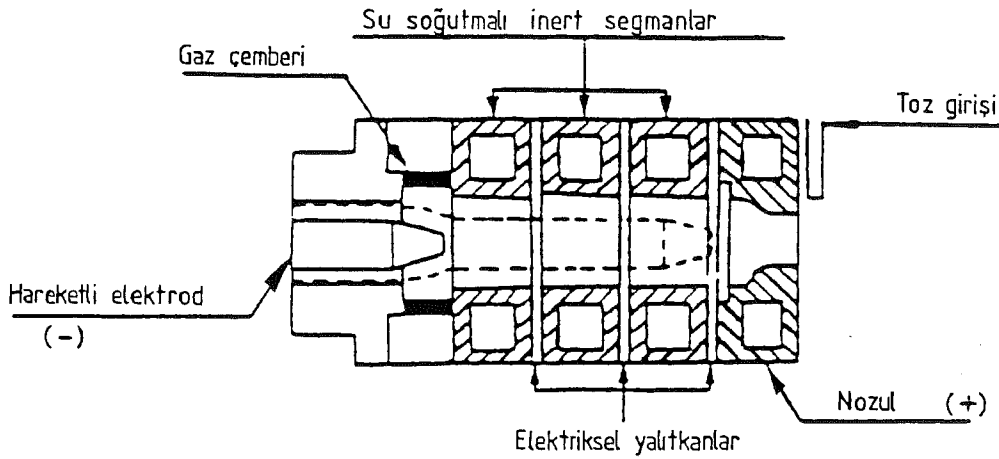
Vakum altında plazma püskürtme düşük basınçta plazma püskürtme (LPPS = Low Pressure Plasma Spraying) diye de ifade edilmektedir [39]. Bu teknik oksijen affinitesi yüksek malzemelerin kaplanmasında kullanılır. Elde edilen mekanik özellikler oldukça iyidir [56]. Kısaca VPS (Vacuum Plasma Spraying)'de denilen vakum plazma püskürtme sisteminde püskürtme basıncı 20-100 mbar arasındadır. Bundan dolayı normal plazma ile püskürtme de alev uzunluğu 2-4 cm iken VPS'de 20-30 cm'ye kadar çıkar. VPS'deki alev hızı normal plazmanın 2-3 misli arasındadır [57].

Bu metotta kaplamaların adhezyon mukavemeti ve homojenitesi tanecik (partikül) hızı artırılarak yükseltilir. Bunu ise son yıllarda geliştirilen VPS sistemi ile yaklaşık 600 m/sn değerlerine çıkarmak mümkün olmuştur [53,55]. Şekil 3.17 VPS sistemini göstermektedir [53].



Şekil 3.17 Vakum plazma püskürtme sistemi [53].

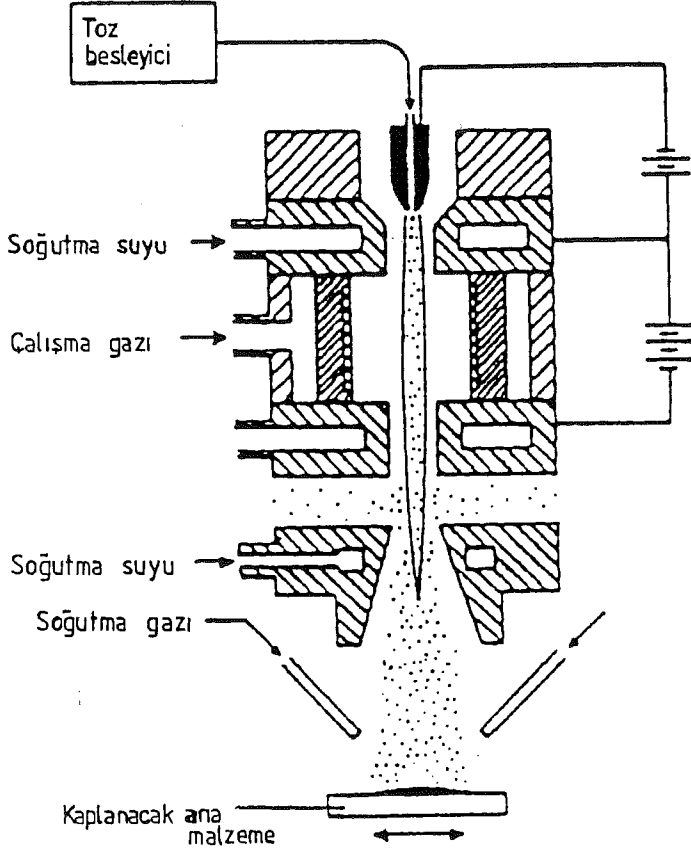
İleri plazma püskürtme sistemleri APGS (Advanced Plasma Gun Systems) kısaltmasıyla da kullanılabilir. Plazma püskürtme sistemleri ailesinin ileri bir üyesi olan bu sistemde devam eden gelişmelerle yüksek kalitede kaplamalar elde etmek mümkündür. Bu sistemde bilinen plazma püskürtme tabancalarına kıyasla ark voltajının kontrolü ve ark uzunluğu istenilen şekilde sağlanmaktadır. Argon gazı ile çalışmak yeterli olduğundan nitrojen ve hidrojen gazlarının kullanımıyla ortaya çıkabilecek gevreklik ihtimalleri bu sistemle elimine edilmektedir. Şekil 3.18 Bir ileri plazma tabancasını göstermektedir [56].



Şekil 3.18 İleri plazma püskürtme tabancası [56].

Konvensiyonel plazma püskürtme aparatlarında püskürtme sırasında toz eksen doğrultusunda torçun katodundan doğru gelmektedir. Tozun torçun içinde birikim oluşturma meyili vardır. Bu da püskürtülecek tozların hızlanmasını ve etkili bir ergime elde edilmesini zorlaştırır. Şekil 3.19'da gösterildiği gibi tünel tip plazma püskürtme aparatında torçun merkezinde bulunan elektrodun (delik elektrod) eksen boyunca delinmiş kısmındaki delikten tozun geçişi çok kolaydır. Etkili ısıtma ve püskürtülecek tozların hızlandırılması bu metotta sağlanır. Yüksek kalitede kaplama elde etmek mümkündür. Mesela gaz tünel plazma püskürtme tekniğiyle Al_2O_3 kaplama malzemesi püskürtüldüğünde 40 kW'lık güç değerindeki cihazdan 1200 HV sertlik değeri elde edilmiş olup, porozite daha azdır. Oysa yine 40 kW güç değerindeki konvensiyonel plazma püskürtme cihazında sertlik değeri 800 HV seviyelerine ancak ulaşabilmektedir ve kaplama yapısında daha porozitelidir [52,53].

Diğer seramik kaplama teknikleri başlığı altında izah edilen bu teknikler genelde alev püskürtme ve plazma püskürtme tekniklerinden modifiye edilerek ortaya çıkan yeni tekniklerdir.



Şekil 3.19 Tünel tip plazma püskürtme tabancası [53].

3.4 Isıl Püskürtme Teknikleriyle Yapılan Seramik Kaplamaların Özellikleri :

Yüzey işlem tekniklerinden biri olan ısıl püskürtme tekniği ile seramikler, metaller, plastikler, sermetler gibi değişik kimyasal ve fiziksel özellikte kaplama malzemeleri; başta metaller üzerine olmak üzere çeşitli malzemeler üzerine kaplanabilmektedir [52].

Isıl püskürtme ile ilgili bilinen en eski bilgi erimiş metalin hızla dönen bir çarka dökülmesiyle atomizasyon oluşumudur. Bu metod metal püskürtme yoluyla kaplamadan ziyade metal tozlarının yapımı için ilk girişimlendendi. İsviçre'nin Zürih şehrinde M.U. Schoop isimli bir bilim adamı atomize tanelerin buharlarıyla kaplama oluşturulabileceğini düşünmüştü. Schoop'a bu fikir oğluyla beraber oyun oynarken, oğlunun oyuncak topuyla tuğla duvara küçük ateş gülleleri atarken gelmişti.

İlk toz püskürtme prosesi Schoop tarafından 1910'da geliştirildi. İlk tel püskürtme aparatıda 1912 yılında yapıldı. Ticari olarak metal püskürtme Almanya'da ve daha sonra Fransa'da üretime geçti. 1924 yıllarında Larry Kunkler isimli bir Amerika'lının sahip olduğu Kaliforniya'nın Los Angeles şehrinde bulunan Metallizing Co. of America adlı şirket Alman malı cihaz ithal etti. 1928'e gelindiğinde Kunkler'in şirketi kendi cihazlarını yapmaya başlamıştı. 1940 yılından itibaren Metallizing Co. of America bu alanda en büyük olmuştu. 1940 yıllarındaki yayınlara bakıldığında şirketin 20 bölgede bürosu, 3 servis ve depo merkezi, 23 satış elemanı A.B.D.'nin birçok bölgesine dağılmıştı. 7000'den fazla ısı püskürtme tabancası da üretilmişti. 1951 yılında Larry'in yerine kardeşi Robert Kunkler şirketin başına geçti. 1959'da şirketin satış müdürü Vernon Cook şirketi satın aldı. Bu arada 1957 yılında şirketin adı METCO olarak değişmişti.

Kaplama, özellikle metal kaplama konusunda basılan ilk kitap 1926 yılında Turner ve Budgen'e aitti. 1939 yılında Rollasan ve Budgen bu kitabı tekrar düzenlediler. Ballard 1963 yılında seramik kaplamayı da ihtiva eden geniş bir kitap yazdı. Daha sonraki yıllarda bunları diğerleri izledi [45].

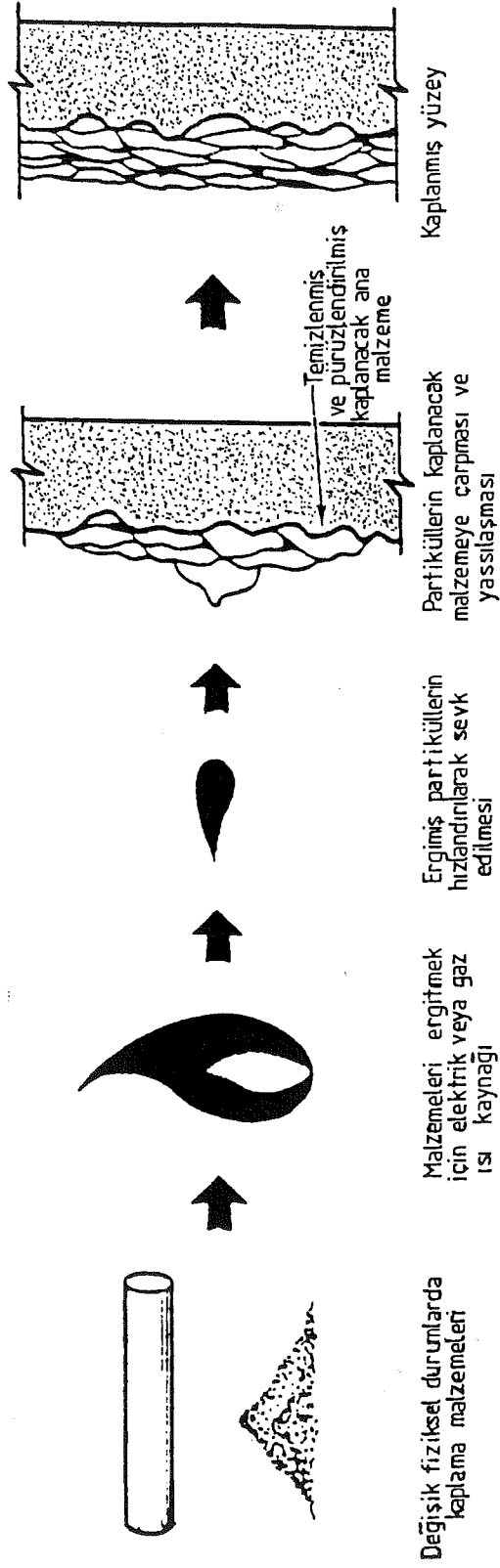
Ark püskürtme alanında ilklerden olan Alman O.S.U. şirketi ve bir Amerikan şirketi olan TAFE'da ısı püskürtme alanında diğer önemli şirketlerdendir [35].

Isıl püskürtmede; bir cihaz vasıtasıyla kaplama malzemesinin (mesela seramik) ısıtılması, ergitilmesi, oluşan ergiyik partiküllerinin hızlandırılması ve kaplanacak malzeme yüzeyine (substrate) sevk edilerek kaplanması olayı meydana getirilir [5].

Isıl püskürtme prosesinin yukarıdaki açıklaması da göz önüne alınarak şematik olarak Şekil 3.20 'deki gibi gösterilebilir [48].

Seramik kaplama soğuk bir prosestir. Yani kaplanacak malzemeye ayrıca ısı vermek gerekmez. Dolayısıyla ergime sıcaklıkları düşük olan mesela alüminyum gibi metal yüzeylere de ergime sıcaklıkları yüksek olan seramikleri kaplamak mümkündür [5,49].

Isıl püskürtme ile koruyucu seramik kaplama işlemi; kaplanacak yüzeylerin hazırlanması, yüzeylerin kaplanması ve kaplama sonrası yapılan çalışmaları kapsar.



Şekil 3.20 Isıl püskürtme süreci [48].

3.4.1 Isıl püskürtme ile kaplanacak yüzeylerin hazırlanması :

Isıl püskürtme ile seramik kaplama öncesi yüzey hazırlanmalı yani pürüzlendirilmelidir. Fakat yüzey hazırlama öncesi yüzey temizleme gerekebilir. Yağ, boya gibi yabancı maddeler kaplanacak yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Hatta kaplanacak yüzeye yakın yüzeylerden dahi bu yabancı maddelerin uzaklaştırılması gerekir. Çünkü kaplanacak malzemenin ısınması neticesinde bu yabancı maddeler kaplanacak alana girebilir [58,59].

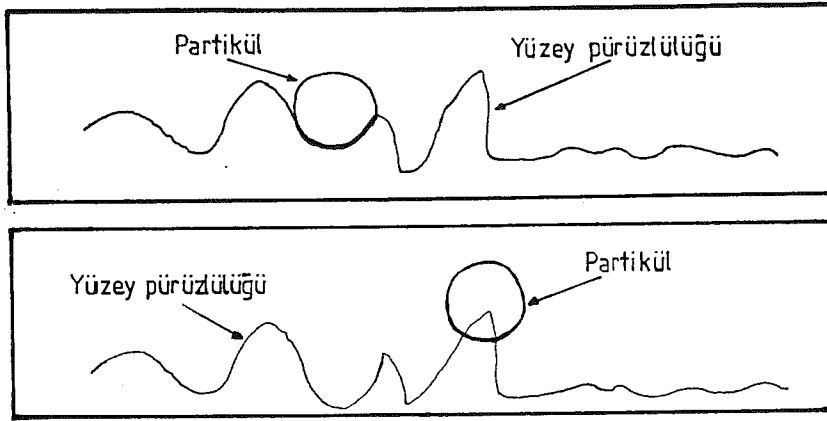
Yüzey pürüzlendirme tipi ve pürüzlendirme derecesi uygulanan kaplama tipine ve kalınlığına ve servis koşullarına bağlıdır. Seramik kaplama yüzeye mekanik bağlanma ile tutunacağından yüzey yeterince pürüzlü hale getirilmelidir. Kaplanacak yüzeyin pürüzlendirilmesi kum püskürtme, yüzeyin torna v.b. makinelerle diş açarak, tığ çekerek, tırtıl çekerek, V kanalı açarak ve ara bağlayıcı tabaka oluşturarak pürüzlendirilmesi sayılabilir [49,58,59,60,61].

Kum püskürterek yüzey pürüzlendirme bir kaç değişkene bağlıdır. Bu değişkenler kumun tane boyutu ve tipi, kum püskürtme ekipmanı, hava basıncı ve yüzeyin sertliğidir. Mesela sertleştirilmiş demir tanelerin pürüzlendirme amacıyla kullanımı ile bu malzemelerin büyük özgül ağırlıklarından dolayı yüksek oranda yüzey pürüzlendirme yapmak mümkündür. 50 HRC sertliğine yakın yüzeylerde demir taneler kullanılabilir. Fakat 40 HRC sertliğinin üstündeki yüzeylere alümina aşındırıcı en iyi sonucu vermektedir. Kuvvetli bağlanma ve bunu sağlayacak yüzey pürüzlülük derecesi için iş parçası 30 HRC veya daha alt değerlere sertlik elde edilene kadar tavlınır. Çelik taneler eğer temiz ve yağdan arınmışsa tekrar, tekrar kullanılabilir. Fakat iyice deforme olduğunda yani yüzey pürüzlendirme görevi yapamaz hale geldiğinde atılır. Silika kum, ince çakmaktaşı 30 HRC sertliğe kadar malzeme yüzeylerine uygulanabilir. Yüzeyde orta düzeyde pürüzlendirme sağlar [49].

Yüzey hazırlamada kullanılan aşındırıcıların tane iriliği pürüzlülüğünden daha büyüktür. Fakat sertlik gibi faktörler eşittir. Alümina aşındırıcıların tane iriliği 16-44 mesh, silika kum, küçük ufalanmış çakmaktaşıları 12-40 mesh boyutları arasındadır. Kum püskürtme ekipmanları emmeli besleme yapan tip ise 75 psi değerlerine ulaşmaktadır, basınçlı beslemeli kum püskürtmedeki basınç yaklaşık 35 psi değerlerindedir. Eğer, 50-65 arasındaki yüksek HRC sertliklerindeki yüzeylere kum püskürtülüyorsa, kullanılan en yüksek basınçla maksimum pürüzlülük elde edilir. Maksimum pürüzlülük elde etmek için kullanılan kumların parçalanıp daha küçük boyutlara gelmeleri durumlarında bu kumlar daha az pürüzlülük isteyen yerlerde kullanılabilir. Kum püskürtme basıncı alümina aşındırıcılar için 20-40 psi (hortum basıncı da denebilir), sertleştirilmiş demir bilyalar için 40-45 psi arasındadır [49,60,61,62,63].

Kullanılan hortum basıncı 120 psi değerlerine kadar çıkabilmektedir. Tam basınç kullanımı ihtiyaç duyulandan daha kaba yüzey verir, ekonomik olanı hava basıncını azaltmak yerine aşındırıcı kum boyutunu düşürmektir. Daha ince kum aynı zaman süresince daha iri kumdan daha fazla alanı pürüzlendirir. Basıncı azaltmak kumların aşırı parçalanmasını ve ince parçaların pürüzlendirilmesinde ince parçaların bükülme meylini önler [49].

Kum püskürtmede kum püskürtme tabancası 2600 mm²lik bir alandan küçük olmayacak şekilde mat, pürüzlü, temiz bir yüzey alanı elde etmek amacıyla yüzeyden yaklaşık 230 mm uzaklıkta ve dikey pozisyonda tutulmalıdır. Kumlama ile yüzey pürüzlendirmede yüzey topoğrafyası da mekanik bağlanma mukavemeti için oldukça önemlidir. Yüzey topoğrafyası pürüzsüz dalgali olmamalı ve keskin değişimli (pikli) olmalıdır. Şekil 3.21'de iyi mekanik bağlanma için pürüzlülük tipleri verilmektedir [60,61,62].

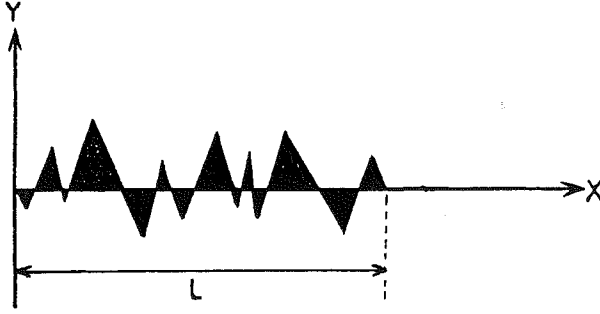


Şekil 3.21 Kuvvetli mekanik bağlanma için yüzey pürüzlülük tipleri [59,60,62].

Yüzey pürüzlülüğü standart ekipmanlardan biri olan perthometer ile ölçülebilir. Yüzey pürüzlülük değeri Ra'nın ölçümünde standart sapma 0.15 mikrometredir. Şekil 3.22'de görüldüğü gibi Ra teorik olarak belirlenir. Teorik olarak;

$$Ra = \int_0^L 1/L |Y| dX$$

Kum püskürtülerek yüzey hazırlandıktan sonra kaplama yapılana kadar geçecek süre için maksimum 4 saat tavsiye edilmiştir [59].



Şekil 3.22 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullanılan method. $R_a = \text{taralı alan} / L$ [60].

Makina yardımıyla yüzey hazırlama işlemleri diş açma, tırtıl çekme, tıg çekme, V kanalı açmak gibi işlemleri kapsar. Uç kısımları yuvarlatılmış negatif tarak takımı kullanarak 1-0.8 mm arasında vida adımlı 60°'lik vida dişi açarak yüzey pürüzlendirmek mümkündür. Vida dişi açmak veya 1.1 mm genişliğinde 0.6 mm derinliğinde yiv açmak da mümkündür. Dökme demirlerin yüzeyine 2.1-1.8 mm arasında vida adımı diş açılmalıdır, diğer metallere 1.6 mm vida adımı yeterlidir [59,62,63].

Bazı malzemeler başarılı bir pürüzlülük için oldukça serttir veya deformasyona sebebiyet verecek pürüzlülük için rijitlikten yoksundur. Bu durumlarda ara bağlayıcı kaplamalar uygulanabilir. Özellikle ara bağlayıcı kaplamalar kaplanacak malzemeyle yeterli ilgiyi, kuvvetli atomlararası fiziksel veya difüzyon bağlarıyla oluştururlar [59].

Metco'nun ürettiği Metco 404 nikel alüminat birçok uygulamada ideal bağlanmayı sağlar. Metco 404 ekzotermik olarak reaksiyona girerek bir bağlantı kurar. Bağ kuvvetli ve sağlamdır. Uygulama öncesi yüzey iyice temizlenmelidir. 100-150 mikrometre arası kalınlık optimum bağlanma için uygundur. Metco'nun ürünü olan diğer bir ara bağlayıcı sprabond tel kaplamalardır. Bu ürün saf molibdendir. Bu ürün de yüzey hazırlaması zor olan çok sert çelik yüzeylere Metco 404 gibi uygulanabilmektedir. Sprabond tel Metco 404'e nazaran korozif ortamlara dayanıklı bir ara bağlayıcıdır. Her iki ara bağlayıcı sonraki seramik kaplama tabakasının yapışabilmesi için pürüzlü yüzey oluşturur [49].

Kum püskürtme ile beraber ara bağlayıcı kullanma veya makina ile yüzey işleyerek pürüzlendirmeye ilaveten ara bağlayıcı kullanılması şeklinde uygulamalar oldukça yaygındır [59,60,61,63].

3.4.2 Isıl püskürtme ile yapılan seramik kaplamaların teşekkülü :

Isıl püskürtme ; plazma püskürtme, alev püskürtme, detonasyon tabancası gibi bir cihaz yardımıyla seramik kaplama malzemelerinin ergitilerek hızlandırılması ve kaplanacak malzeme yüzeyine (substrate) sevk edilmesidir [8,64].

Isıl püskürtme ile seramik kaplama öncesi yüzey hazırlama işlemi yapılmalıdır. Önceki konuda belirtildiği gibi yüzey temizlenmeli ve seramik kaplama da geçerli bağlanma mekanizması için pürüzlendirilmelidir [8,48,58].

Seramik kaplama prosesi soğuk bir prosesdir. Yani kaplanacak malzeme ısıtılmaz. Çünkü bağlanma mekanizması mekaniktir. Püskürtülen ergiyik seramik taneciklerin kaplanacak malzeme yüzeyine değmeleri ile ortaya çıkan büzülme sonucu yüzey ile bir gerilme oluşur. Böylelikle tutunma imkanları ortaya çıkar. Yüzey pürüzlendirilerek meydana getirilen pürüz tepeleri ile büzülme kuvvetinden ötürü tutunabilir hale gelirler [8,48].

Seramik kaplama malzemesinin ergiyik hale geçip kaplanacak malzeme yüzeyine çarpana kadar ergiyik halini koruması gerekir. Zira zayıf kaplama çökeltisi-kaplanacak malzeme (substrate) bağı termomekanik yük altında çökeltinin pul pul dökülmesiyle sonuçlanacak korozyon tipi hatalar oluşturabilir.

Seramik kaplama ve kaplanacak yüzey arasındaki bağlanmada yani adhezyonda 3 temel kategoriden biri olan mekanik bağlanma (mekanik kilitleme) mekanizması daha hakimdir. Bu 3 temel kategori; mekanik bağlanma, metalurjik bağlanma ve fiziksel bağlanmadır.

Mekanik bağlanmada ergimiş partiküllerin pürüzlendirilmiş yüzeye çarpışıyla yüzey topoğrafisinin çıkıntıları ve kaplama çökeltisi arasındaki mekanik kilitlemeyle bağlanma olduğu kabul edilir. Metalurjik bağlanma ise kaplanacak yüzey ile kaplama malzemesi arasındaki difüzyon ile veya kaplanacak yüzey ve kaplama malzemesi arasındaki ara bileşenlerle meydana gelir. Fiziksel bağlanma mekanizması ise 3. tip bağlanma mekanizmasıdır. Burada kaplama çökeltisi ve kaplanacak malzemeler arasındaki Van der Waals kuvvetlerinin hareketi ile bağlanma oluşur. Moleküller ve atomlar arası çekme kuvvetlerinden kaynaklanan bağ kuvvetleri fiziksel bağlanmanın temelidir [48,58].

Seramik kaplama ve kaplanacak malzeme (substrate) arasındaki bağlanmada genelde 2 veya daha fazla bağlanma mekanizmasının aynı anda çalışması söz konusu olabilir. Fakat hakim olan mekanik bağlanma (mekanik kilitleme) mekanizmasıdır [49,58].

Seramik yüzey kaplaması tane tane oluşturulur ve sonuçta tabakalı bir yapı meydana gelir. Isı transferi hesaplarından çıkan sonuçlara göre ergiyik partiküllerin donması birkaç mikrosaniyede olur. Tamamen katılma ve soğuma ise sadece 100 mikrosaniyede gerçekleşir. Bağlanma mekanizmasının mekanik bağlanma oluşunun bir kanıtı da bu hesaplardır [8].

Seramik kaplamalar sonucu gözenekli bir yapı oluşur. Eğer gözeneklilik yüksek ise (% 20'ler civarında) bu ısı bariyer amaçlı seramik kaplamalar için arzu edilen bir özellik olmasına rağmen genellikle seramik kaplamaların mukavemetini azaltan bir yönü de bulunmaktadır. Çünkü seramik kaplama malzemesi ile kaplanacak metal yüzey arasındaki bağlanma gözeneklilik nedeniyle azalmaktadır. Seramik kaplamanın püskürtme şartlarına bağlı olarak gözeneklilik miktarı % 3 civarlarına inebilmektedir. Yoğun yani gözeneklilik miktarı düşük seviyede kaplama eldesi seramik kaplama malzemelerinin ergiyik halde kalma süresine, ergiyik partiküllerinin hızlarına, ergiyik partiküllerin yörüngesi gibi şartlara bağlıdır [8,58,65].

Seramik kaplama uygulamalarında seramik tozların sabit hızda üniform dağılımı için toz besleyici de diğer parametreler kadar önemlidir. Seramik kaplama tozlarının kaplanacak metal yüzey üzerine otomatik veya yarı otomatik bir yöntemle püskürtülebilmesi elle yapılan seramik kaplamalardaki kaplama parametrelerinin kontrol zayıflığını minimuma indirecektir [8,65].

Kaplama, kaplanacak malzeme yüzeyine dik bir şekilde tutulan püskürtme tabancası ile yapılmalıdır. Çünkü kaplamanın yapısı tabanca ile kaplama yüzeyi arasındaki açıya bağlıdır. Tabanca ile kaplanacak metal yüzeyi arasındaki açı 45°'den az olmamalıdır. Açığı 45° gibi küçük değerlere indirmek seramik ergiyik partiküllerindeki hız artışına bağlıdır. Eğer partiküller iyi ergimişse ve partikül hızları 20-150 m/sn arasında ise açı 60°'ye kadar düşebilir. Püskürtme hızı yüksek olan detonasyon tabancası ile yapılan kaplamalarda kaplanacak malzeme ile tabanca arasındaki açı 45°'ye kadar inebilmektedir. Püskürtme tabancası ile kaplanacak yüzey arasındaki bu açı ilişkisi, özellikle dar açılı karışık şekilli parçaların kaplanmasında problemlere neden olmaktadır [8,58,59].

Isıl püskürtme ile kaplama başladıktan sonra tamamiyle kaplama kalınlığı elde edilinceye kadar işlem kesilmemelidir. Fakat ana malzemenin özelliklerine zıt etki yapabilecek veya kaplamanın verimine zıt etki yapabilecek aşırı ısınmadan kaçınmak için tedbirler alınmalıdır. Şayet püskürtmenin aniden durdurulması kaçınılmazsa iş parçasının sıcaklığının düşmesinden kaçınılması gerekir. Kaplamanın uygulanması sırasında püskürtmeyle kaplamanın kirlenmesinden her an kaçınılmalıdır [59].

Eğer seramik kaplanması istenmeyen yüzeyler varsa bu koruyucu macun, maske, bant tipi maddelerle kapatılmalıdır [9,59].

Çeşitli ısı püskürtme yöntemlerinin birbirlerinden farklı, kullanılan tekniği karakterize eden özellikleri vardır. Tablo 3.4'de çeşitli ısı püskürtme tekniklerinin karakteristik özellikleri görülmektedir. Isı püskürtme ile yapılan seramik kaplamalar kullanılan seramik malzeme ve yöntemine bağlı olarak belli oranlarda yüzey pürüzlülük değerlerine sahiptirler. Özellikle seramik kaplı yüzeylerdeki aşınma davranışı için pürüzlülük değerleri etkili olabilir [45].

Son yüzey işlemleri (finishing) yüzey pürüzlülük değerlerini azaltmak için kullanılır. Genelde seramik kaplamalarda Ra (ortalama pürüzlülük) 2.5 mikrometreyi aşar. Yeterli kalitede birçok kaplama 5 mikrometreyi aşan Ra değerlerine sahiptir.

Son yüzey işlemlerinde şu noktalara dikkat etmek gerekir ;

- 1) Aşırı miktarda yüksek birim basıncı veya ani yüklemekten kaçınılmalıdır.
- 2) Aşırı bölgesel ısı değişiminden kaçınılmalıdır. (Genellikle (1) ile bağlantılıdır.)

(1) ve (2) şartlarını minimize etmek için son yüzey işleminde veya diğer adıyla bitirme işleminde kullanılan kesme araçları kaplamadan daha sert olmalıdır. Doğal veya sentetik elmas ideal bir araçtır, fakat birçok amaç için çoğu kaplamadan daha sert olan özellikle silisyum karbür gibi yapay aşındırıcı malzemeler kullanılabilir. Aşındırıcı kalemler hatta elmas kullanımı aşırı miktarda fazla birim basınca sebebiyet vererek kaplamanın derinliklerine doğru mekanik hasara neden olabilir. Bu nedenle bu metodu kullanırken dikkat gereklidir.

Boyutsal doğruluğun çok önemli olmadığı yerlerde daha az hassasiyette bez veya kağıt üzerinde silisyum karbür aşındırıcı kullanılmaktadır.

Hassas yüzey bitirme işlemlerinde elmas aşındırıcı soğutma sıvısıyla beraber kullanılmaktadır. Fakat soğutma sıvısının korozif özellikte olmaması gereklidir [59].

Tablo 3.4 Çeşitli ısı püskürtme tekniklerinin özellikleri [45]

Isıl Püskürtme Teknikleri	Gaz akışı (m ³ /s)	Alev veya plazma sıcaklığı (°C)	Partiküllerin etrafındaki atmosfer	Partikül çarpma hızı (m/sn)	Relatif adhezyon mukavemeti (1/min)	Koheziv mukavemet	Oksit %'si	Relatif teknik (1/min.)	Maksimum püskürtme oranı (kg/s)	Güç (kW)	Ergime enerjisi (kW/kg)
Alevle toz püskürtme	11	2200	CO, CO ₂ , H ₂ O	30	3	Düşük	6	3	7	25-75	11-22
Alevle tel püskürtme	71	2800	N ₂ , CO ₂ , CO, H ₂ O	180	4	Orta	4	3	9	50-100	11-22
Ar-ka tel püskürtme	71	5500	N ₂ , O ₂	240	6	Yüksek	0.5-3	1	16	4-6	0.2-0.4
Konvensiyonel plazma püskürtme	4.2	5500	N ₂ , Ar, H ₂ , O ₂	240	6	Yüksek	0.5-1	5	5	30-80	13-22
Detonasyon tabancası	11	3500	N ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O	910	8	Cok yüksek	0.1	16	1	100-270	220
Yüksek hızda oksijen yakıtlı püskürtme (HVDF)	28-57	3100	CO, N ₂ , H ₂ O, CO ₂	610-1060	8	Cok yüksek	0.2	5	14	100-270	22-200
Yüksek enerjili plazma püskürtme	17-28	6300	Ar, N ₂ , H ₂ , O ₂	240-1220	8	Cok yüksek	0.1	4	23	100-250	9-13
Vakum plazma püskürtme	0.4	8300	Ar, He	240-610	9	Cok yüksek	ppm seviyesinde	10	10	50-100	11-22

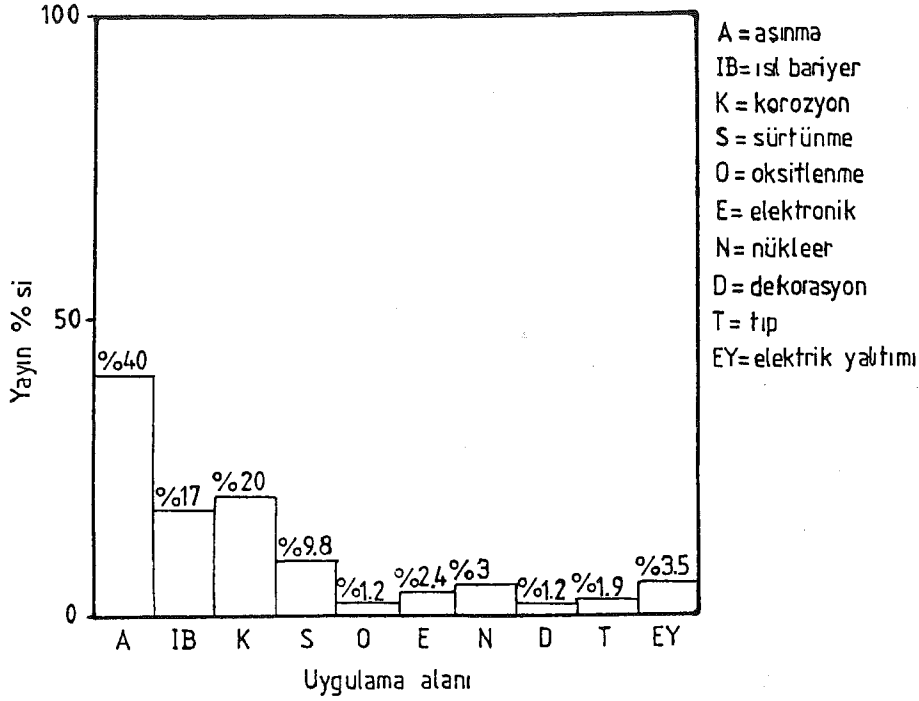
3.5 Isıl Püskürtme Teknikleriyle Yapılan Seramik Kaplamaların Uygulama Alanları :

Malzeme yüzeyini seramik gibi bir başka malzeme ile kaplamak temel olarak malzemeye 3 amaçtan birini yada birkaçını kazandırmak için yapılır. Bunlar;

- 1) Fonksiyonel kaplamalar; Kullanılan malzemeye yeni mühendislik nitelikleri kazandırır. Bunlar aşınmaya, sürtünmeye direnç, sertlik, elektrik iletkenliği, ısı yalıtkanlık v.b. olabilir.
- 2) Koruyucu kaplamalar; Kaplama malzemesi, kaplandığı yüzeyi ortamın zararlı etkisinden korur. Buna korozyon direncini artırıcı kaplamalar da denebilir. Gerek yüksek sıcaklık oksidasyonu ve gerekse sulu ve organik sıvıların korozyonunun azaltılması veya engellenmesi buna örnektir.
- 3) Dekoratif kaplamalar; Malzemeye bir başka malzemenin çekiciliğini kazandırarak onun albenisini arttırmak esas amaçtır. Kaplama yolu ile malzemenin cazibesi artırılarak kaplanan malzemenin bu açıdan zayıflıkları giderilmiş olur [41,62].

Seramik malzemelerin fazla bir işlem yapmadan şekillenebilmesine rağmen neden metallerin üzerine kaplanarak kullanıldıkları sorusuna şu cevapları vermek yerinde olacaktır; Bazı seramik kütlelerin elde edilme imkansızlığı, fiyatların yüksek olması, mekanik özelliklerinin iyi olmamasıdır. Aşınma problemi üzerinde birçok araştırma sonucu seramiklerin aşınmaya dayanımlı olduğu bulunmuştur. Korozyon dirençli kaplamalar oksijen geçişini engeller ve oksijen için bir difüzyon bariyeri niteliği taşır [8].

Şekil 3.23 ısı püskürtme teknikleriyle gerçekleştirilen seramik kaplamaların uygulama alanlarıyla ilgili 1989 yılına kadar yapılan yayınları göstermektedir [5,9,10].



Şekil 3.23 Isıl püskürtme ile yapılan seramik kaplamaların değişik uygulama alanlarıyla ilgili çalışmalar [5,9,10].

Şekilden de anlaşılacağı gibi ısıl püskürtme ile seramik kaplamalar en fazla aşınmaya direnç isteyen alanlarda kullanılmaktadır. Bunu sırasıyla korozyona karşı koruma ve ısıl bariyer amaçlı seramik kaplamayla ilgili çalışmalar izlemektedir [8].

Korozyona dayanım amacıyla uygulanan seramik kaplamaların gözeneksiz olması gerekir. Kullanıldığı ortama karşı da inert olması istenir. Korozyonun yüksek sıcaklıkta oluşumu ile ortaya çıkan oksidasyonun püskürtme teknikleri yardımıyla etkisi minimuma indirilebilir. Yapılan seramik kaplamalar sayesinde oksijen geçişi engellenir. Yani oksijen için difüzyon bariyeri niteliği taşıyan seramik kaplamalar oksidasyonu önler [5,8].

Seramik kaplamaların ısıl bariyer amaçlı kullanımı adyobatik motorlarda uygulanabilirliğini ortaya çıkarmıştır. Adyobatik motorlarda 1980'li yılların başlarından itibaren çalışmaları artırmıştır. Önce gaz türbin kanatları ile başlayan çalışmaları bugün piston kafaları, silindir gömlekleri, supaplar, silindir kafa yüzeyleri, egzoz portu, manifoldlar, turboşarj elemanları olmak üzere birçok motor elemanında seramik kaplama uygulamaları yapılmaktadır. Seramiklerin ısı yalıtımlığı özelliğinden dolayı soğutma sistemi güçlendirilmekte ve hatta tamamının kaldırılması düşünülmektedir. Bu ise motoru hafifletmekte ve maliyeti azaltmaktadır. Dolayısıyla soğutma sistemi arızaları azalmakta ve tamamen ortadan kalkmaktadır [10,12,34].

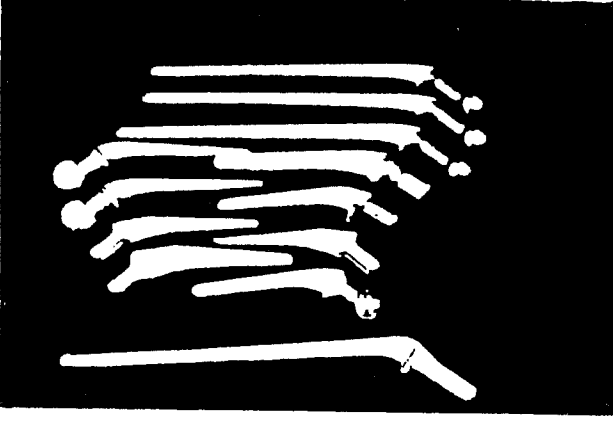
Kompresör kanatlarındaki oyuklaşma korozyonuna direnç için; vantilatör kanatlarının, statör kanatlarının aşınmaya karşı korunmasında ısı püskürtmeyle kaplama teknikleri uygulanmaktadır; yine kompresör kanatlarının erozyona karşı korunmasında PVD kaplama tekniği de kullanılmakta; türbin kanatlarının oksidasyondan ve korozyondan korunması için ısı püskürtme, PVD kaplama teknikleri; yanma odalarının ısı izolasyonu için ısı püskürtme, PVD kaplama yöntemlerinin uygulanması gibi uçak motorlarındaki seramik kaplama uygulamaları sayılabilir [12].

Doğal gaz çevrim santrallerinde (mesela Trakya doğal gaz çevrim santrali/Lüleburgaz-Hamitabat köyü) yanma odaları ve sıcak gazı türbine yönlendiren serbest geçmeli parçaların geçme noktaları da seramikle ısı bariyer amaçlı kaplanabilmektedir [66].

Seramik kaplamalar tıp ve dişçilik alanında dahi kullanılmaktadır. Japonya'da implant malzemelerin metalik kısımlarının yani takma dişlerin metalik tesbit vida kısımlarının plazma püskürtme tekniği kullanılarak seramikle kaplanması ve böylece çene kemiğine kaynaması sağlanmıştır. Zira kemik ve seramiğin aynı hammadde özelliklerini de taşıması yararlanan bir noktadır, diğeri ise seramik kaplamanın pürüzlülüğü ve bu suretle yüzey alanını artırması takma diş kökünün çene kemiği ile bağlantı alanını artırmaktadır [13,67].

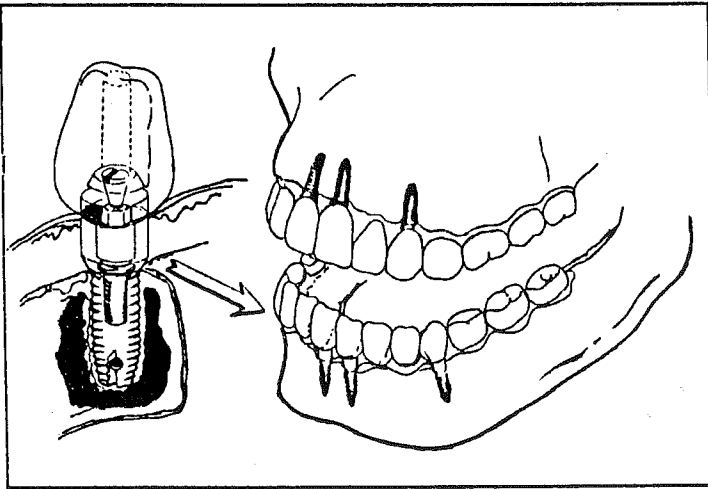
Plazma püskürtme ile oksit seramik kaplamalar yapay kemikler ve birleştirme malzemeleri üzerine uygulanabilmektedir. Bu kaplamaların en büyük avantajı biyolojik olarak yapıyla uyumları ve kimyasal olarak reaksiyona girmemeleridir. Önce köpekler ve tavşanlar üzerinde denemelerden başarılı sonuçlar alınmıştır. 1979'dan beri insanlar üzerine uygulama çalışmaları devam etmektedir, Şekil 3.24'de seramik kaplanmış yapay kemikler ve birleştirme malzemeleri görülmektedir [13,67,68].

Tekstil sanayiinde, bakır tel çekme sanayiinde aşınmaya maruz birçok parçaların seramikle kaplanması da yapılmaktadır. Tekstil sanayiinde; sarım makinaları, iplik yönlendiricileri, domuz kuyrukları gibi parçalar sayılabilir. Bakır tel çekme makaraları da en bariz örneklerdendir [69].

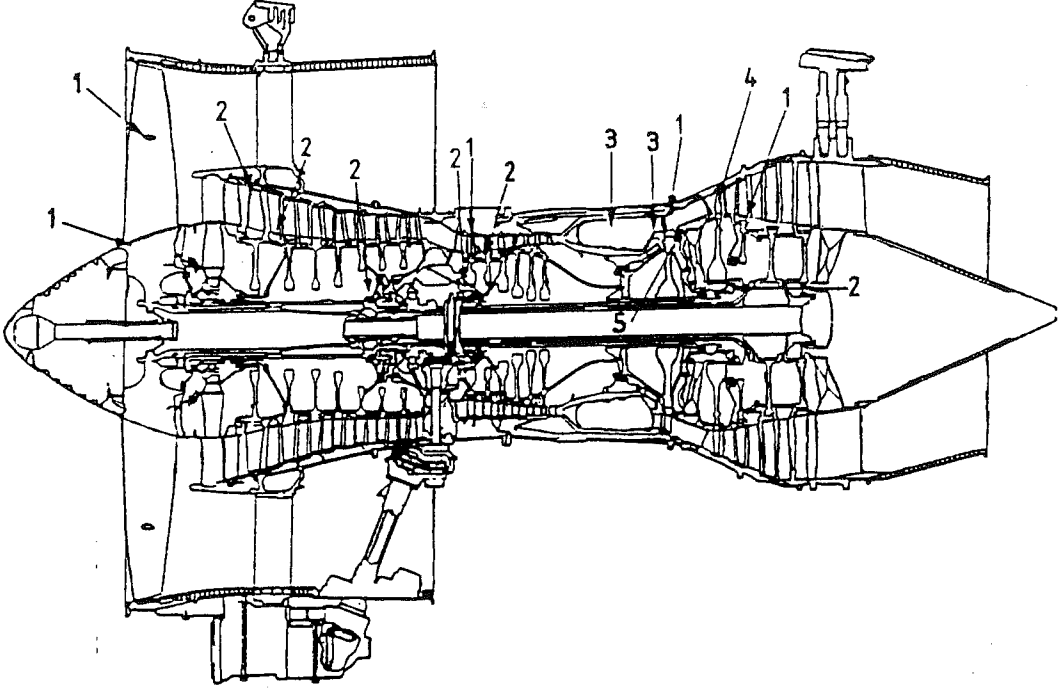


Şekil 3.24 Seramikle kaplanmış yapay kemikler ve birleştirme malzemeleri [67].

Isıl püskürtme ile yapılan seramik kaplama uygulamaları yukardaki bilgilerden de anlaşılacağı gibi geniş bir alana hitap etmektedir. İlginç ve farklı uygulama alanlarını göstermesi bakımından Şekil 3.25 ve Şekil 3.26 verilmiştir [12,67].



Şekil 3.25 Takma dişlerin metalik tesbit vida kısımlarının seramikle kaplanması sonucu çene kemiği içindeki görüntüsü [67].



Şekil 3.26 Uçak motorlarında ısı püskürtme ile seramik kaplama uygulamaları: 1) Ventilator kanat tutucuları, statör kanatları gibi bölgelerin aşınmaya direnç amaçlı kaplanması. 2) Sızdırmazlık ve aşınma amaçlı kaplamalar. 3) Yanma odaları gibi bölgelerin ısı bariyer amaçlı kaplanması. 4) Türbin kanatları, türbin vanaları gibi bölgelerin korozyondan korunma amaçlı kaplanması. 5) Gaz sızdırmazlık amaçlı kaplamalar [12].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR:

Deneylere başlamadan önce yapılan literatür çalışmalarında, uygun ara bağlayıcı toz, seramik kaplama tozları, kaplama teknikleri, deney donanımları, kaplamaya uygun malzemeler tesbit edilerek hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda tek tip bir ara bağlayıcı, 2 farklı seramik kaplama tozu ve yine tek tip bir kaplanacak malzeme (substrate) kullanılmıştır. Kaplanacak malzeme veya diğer bir tabirle altlık malzeme çelik esaslıdır. Kaplama tekniği olarak plazma ve alevle püskürtme teknikleri uygulanmıştır.

Seramik toz ile kaplanmış çelik esaslı malzemelere standartlara uygun olarak bağ mukavemeti, aşınma testleri ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Tarama Elektron Mikroskop (SEM) ve optik mikroskop kullanılarak kaplamadan önce ve sonra değişik bölgelerden fotoğraflar alınmıştır. Kaplanmış malzemeler üzerinde X-ışınları faz incelemeleri ve yine Tarama Elektron Mikroskop (SEM) vasıtasıyla analizler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan seramik kaplamalar servis şartlarında da denenmektedir.

4.1. Seramik kaplama işleminde kullanılan tozların ve kaplanacak malzemenin karakterizasyonu:

Deneylerde kullanılan kaplama tozları NiAl ara bağlayıcı toz, Al_2O_3 -%13 TiO_2 ve Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik tozlardır. Kaplanacak malzeme (substrate) olarak SAE 1020 karbon çeliği kullanılmıştır.

Kaplanacak malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de kullanılan tozların özellikleride Tablo 4.2'de verilmiştir.

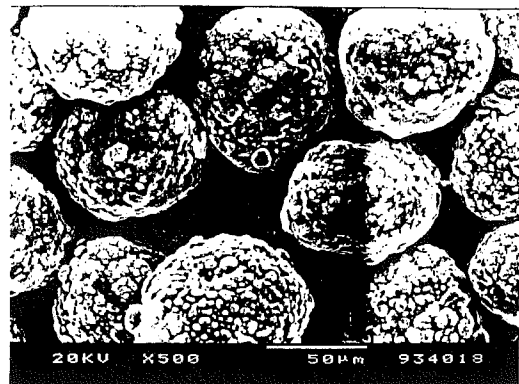
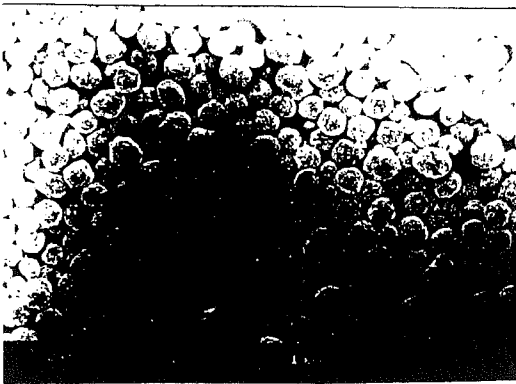
Tablo 4.1 Kaplanacak malzemenin kimyasal bileşimi [71].

Malzeme Cinsi	% Bileşenler			
	C	Mn	P (max.)	S (max.)
SAE/AISI 1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050

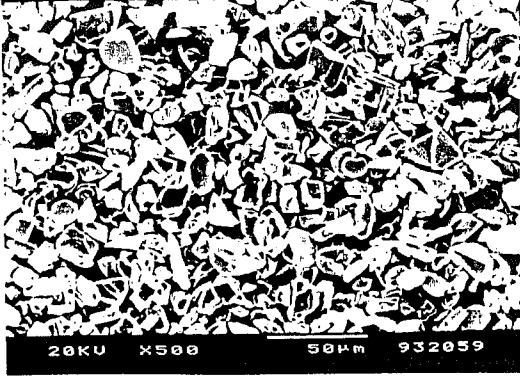
Tablo 4.2 Ara bağlayıcı ve seramik toz özellikleri [18,70].

Kullanılan Tozlar	NiAl ara bağlayıcı	Seramik Toz 1	Seramik Toz 2
Kimyasal kompozisyon	%95Ni %5Al	%92Cr ₂ O ₃ %5SiO ₂ %3TiO ₂	%87Al ₂ O ₃ %13TiO ₂
Toz boyut dağılımı	-44+125 μm	-53+15 μm	-325+5 μm
Ergime sıcaklığı (°C)	1650	2435	2010
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.42	4.8	3.4
Toz morfolojisi	küresel	düzensiz	köseli

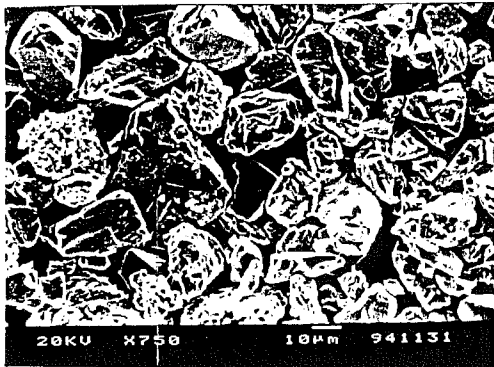
Tozların tane morfolojileri Tarama Elektron Mikroskop (SEM) ile yapılan çalışmalarda fotoğrafları alınarak tesbit edilmiştir. Ara bağlayıcı olarak kullanılan NiAl toz küresel şekilli olup topaklaştırma seramik tozlardan Al₂O₃-%13TiO₂ köşeli şekilli ve Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ seramik toz ise düzensiz şekilli olup öğütme metodlarıyla üretilmişlerdir [71]. Şekil 4.1'de sırasıyla ara bağlayıcı tozun, Al₂O₃-%13TiO₂ ve Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ seramik tozların düşük ve yüksek büyütme morfolojileri görülmektedir.



a) NiAl ara bağlayıcı toz morfolojileri; ilk fotoğraf düşük büyütme, ikinci fotoğraf yüksek büyütmedir.



b) Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik toz morfolojileri: ilk fotoğraf düşük büyütme, ikinci fotoğraf yüksek büyütmedir.



c) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik toz morfolojileri: ilk fotoğraf düşük büyütme, ikinci fotoğraf yüksek büyütmedir.

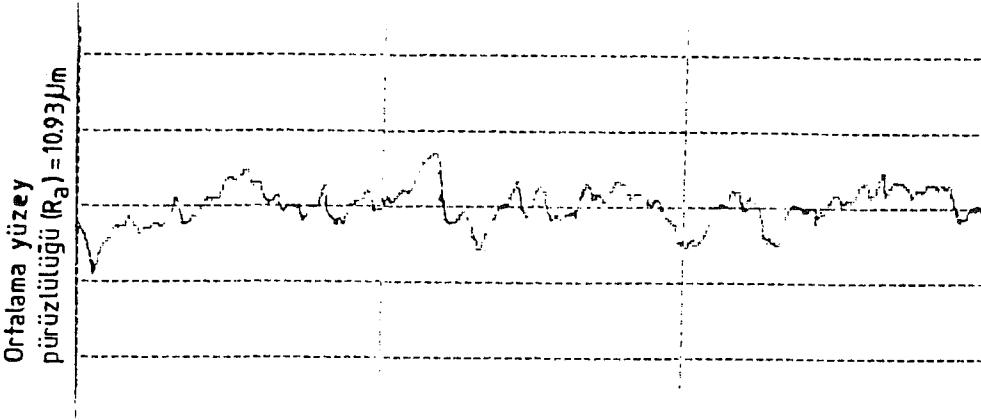
Şekil 4.1 Ara bağlayıcı ve seramik tozların düşük ve yüksek büyütmedeki toz morfolojileri.

4.2 Seramik kaplama işlemi öncesi yapılan hazırlık:

Kaplanacak malzeme (substrate) olarak kullanılan SAE/AISI 1020 çeliğinin kumlamadan önce ve sonra yüzeylerinin yağ, kir, pislik gibi istenmeyen katışiklardan temizlenmesi maksadıyla triklor etilen ve aseton gibi kimyasal maddeler kullanılmıştır.

Seramik kaplama yapılacak yüzeylerin temizlenmesi işleminden sonra seramik kaplamanın metalik malzemeye uygun şekilde bağlanması için metalik malzemelerin pürüzlendirilmesi gerekir. Literatüre uygun şekilde pürüzlendirme yüzeye kum püskürterek yapılmıştır. Kullanılan kum kaplanacak çelik malzememize göre seçilmiş olup alüminadır [61].

Kumlanmış yüzeyden pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surfest 201 perthometer yüzey pürüzlülük ölçme cihazıyla alınmış olup Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Kumlanmış kaplanacak malzemenin yüzey pürüzlülüğü.

4.3 Seramik kaplama işlemleri:

Metalik yüzeylere seramik kaplama işlemi için 3.bölümde de bahsedildiği gibi birçok teknik bulunmaktadır. Deneysel çalışmalarda, bu tekniklerden en yaygın ve kolay kullanıma sahip, Türkiye'de de uygulama imkanı olan diğer avantajları da önceki bölümlerde verilmiş olan, Plazma ve Alevle püskürtme teknikleri kullanılmıştır. Kaplama işleminde kullanılan parametreler sırasıyla plazma püskürtme ve alevle püskürtme teknikleri için Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de verilmiştir [52,58,72].

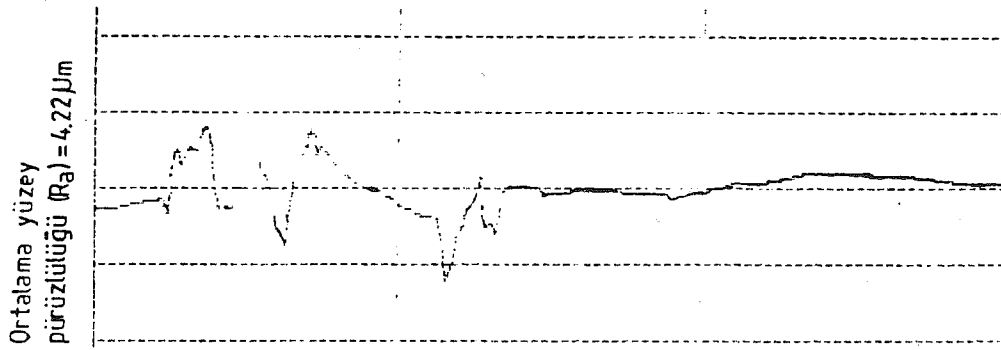
Tablo 4.3 Plazma püskürtme parametreleri [52,58,72].

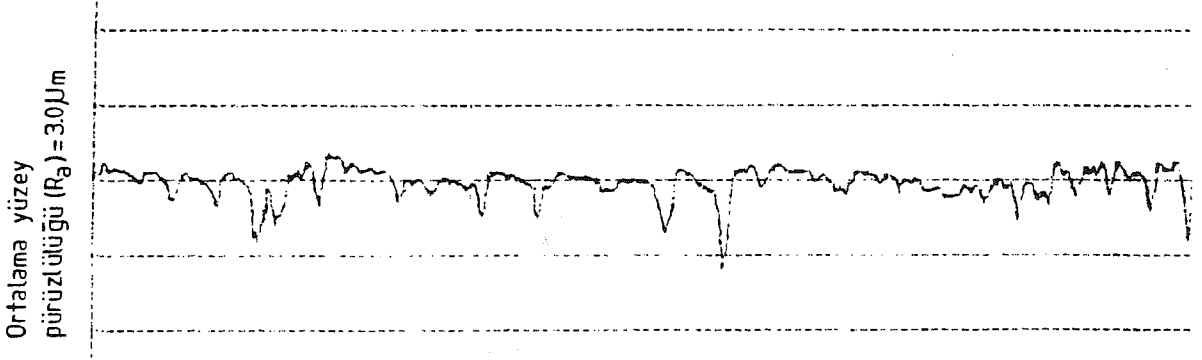
Kaplama Malzemesi	$Al_2O_3\%13TiO_2$	$Cr_2O_3\%5SiO_2\%3TiO_2$
Kaplanacak Ana Malzeme	SAE 1020 çelik	SAE 1020 çelik
Plazma Tipi	Ar+H ₂	Ar+H ₂
Argon Akış Hızı (lt/dk)	44	44
Hidrojen Akış Hızı (lt/dk)	15	15
Nitrojen Akış Hızı (lt/dk)	---	---
Plazma Akımı (A)	500	500
Ark Voltajı (V)	60-70	60-70
Plazma Tabancası Tipi	METCO 3MB	METCO 3MB
Nozul ve Elektrod	W katod-Cu anod	W katod-Cu anod
Nozul Çapı (mm)	8	8
Enjektör Mesafesi (mm)	100	100
Enjektör Açısı	90°	90°
Toz Besleme Oranı (gr/dk)	42	42
Toz Taşıyıcı Gaz (lt/dk)	6	6

Tablo 4.4 Alevle püskürtme parametreleri [52,58,72].

Kaplama Malzemesi	$Al_2O_3\%13TiO_2$	$Cr_2O_3\%5SiO_2\%3TiO_2$
Kaplanacak Ana Malzeme	SAE 1020 celik	SAE 1020 celik
Püskürtme Tabancası Tipi	DUROMET 560	DUROMET 560
Püskürtme Nozul Tipi	MG-C 26	MG-C 26
Püskürtme Mesafesi (mm)	50-75	50-75
Püskürtme Açısı	90°	90°
Oksijen Basıncı (bar)	1.7-2.1	1.7-2.1
Asetilen Basıncı (bar)	1.1	1.1
Hava Basıncı (bar)	4.8-4.9	4.8-4.9
Oksijen Akış Hızı (m^3/s)	1.7	1.7
Asetilen Akış Hızı (m^3/s)	0.93-1.4	0.93-1.4
Püskürtme Hızı (kg/s)	0.7-0.9	0.7-0.9

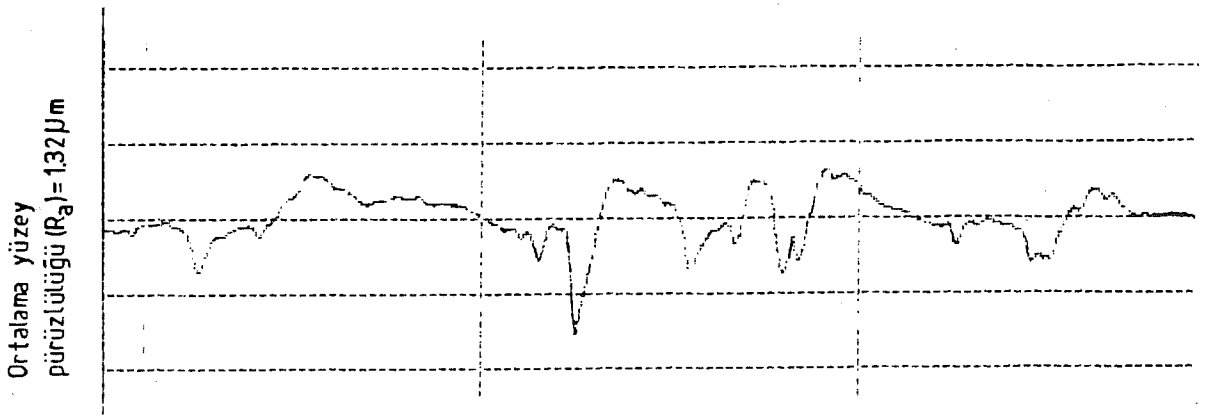
Alev ve Plazma püskürtme tekniği ile seramik kaplamadan sonra yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surfest 201 perthometer yüzey pürüzlülük ölçme cihazıyla ölçülerek Şekil 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

a) $Al_2O_3\%13TiO_2$ seramik kaplamanın yüzey pürüzlülük grafiği.

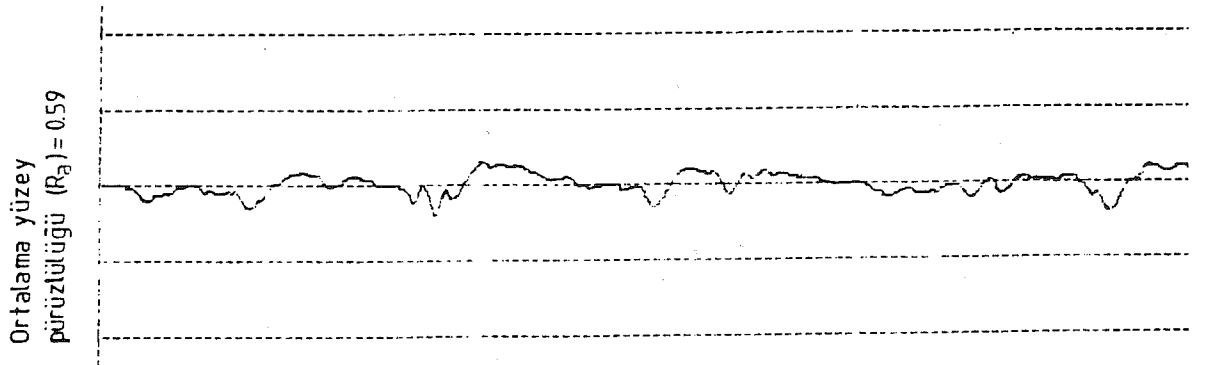


b) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın yüzey pürüzlülük grafiği.

Şekil 4.3 Alev püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamaların yüzey pürüzlülük grafikleri.



a) Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın yüzey pürüzlülük grafiği.



b) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın yüzey pürüzlülük grafiği.

Şekil 4.4 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamaların yüzey pürüzlülük grafikleri.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI:

Kaplamalar ara bağlayıcı ile ve ara bağlayıcı olmaksızın yapılmıştır. Kullanılan 2 tip seramik toz yanında yine 2 değişik seramik kaplama tekniği ile uygulamalar yapılmıştır. Elde edilen kaplamalar farklı kalınlıklardadır. Kaplama kalınlıkları mikrometre hassasiyetinde Elcometer 300 tip kalınlık ölçme cihazıyla ölçülmüştür.

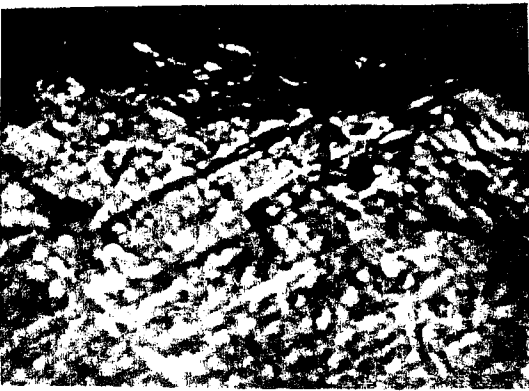
Kaplamaların enine kesitten optik mikroskop vasıtasıyla fotoğrafları alınmıştır. Şekil 5.1'de alevle püskürtme tekniği ile yapılan kaplamaların, Şekil 5.2'de plazma püskürtme tekniği ile yapılan kaplamaların enine kesit fotoğrafları görülmektedir.



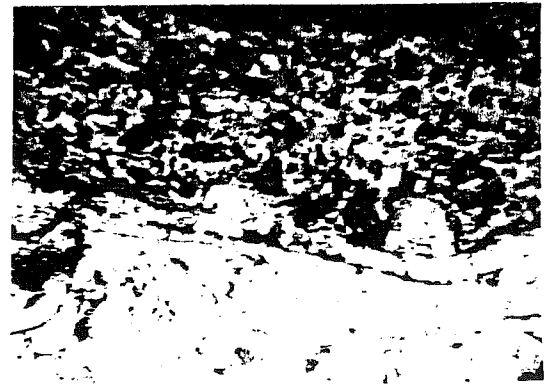
a) NiAl ara bağlayıcı (üstteki kısım), (400X).



b) Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım).



c) NiAl ara bağlayıcı (ortadaki açık renkli kısım) + Al_2O_3 -%13 TiO_2 (üstteki koyu renkli kısım), (400X).



d) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım), (100X).

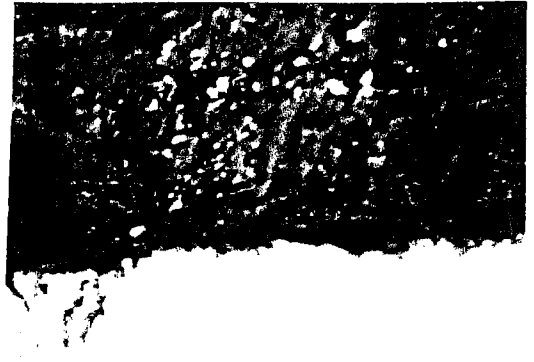


e) NiAl ara bağlayıcı (ortadaki açık renkli kısım) + Cr_2O_3 - %5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım), (400X).

Şekil 5.1 Alevle püskürtme tekniği ile yapılan kaplamaların enine kesit fotoğrafları.



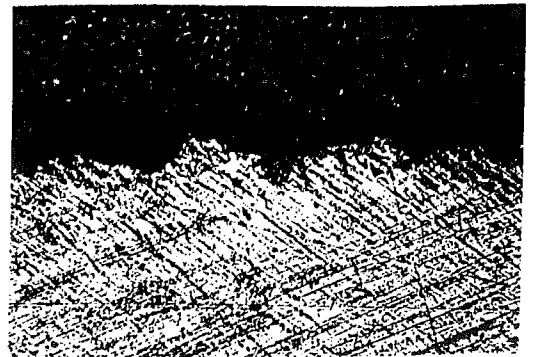
a) NiAl arabağlayıcı (üstteki kısım), (400X).



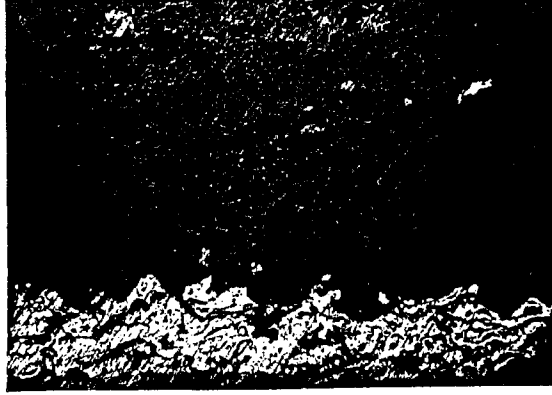
b) Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım), (400X).



c) NiAl arabağlayıcı (ortadaki açık renkli kısım) + Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplama(üstteki koyu renkli kısım), (400X).



d) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım), (100X).



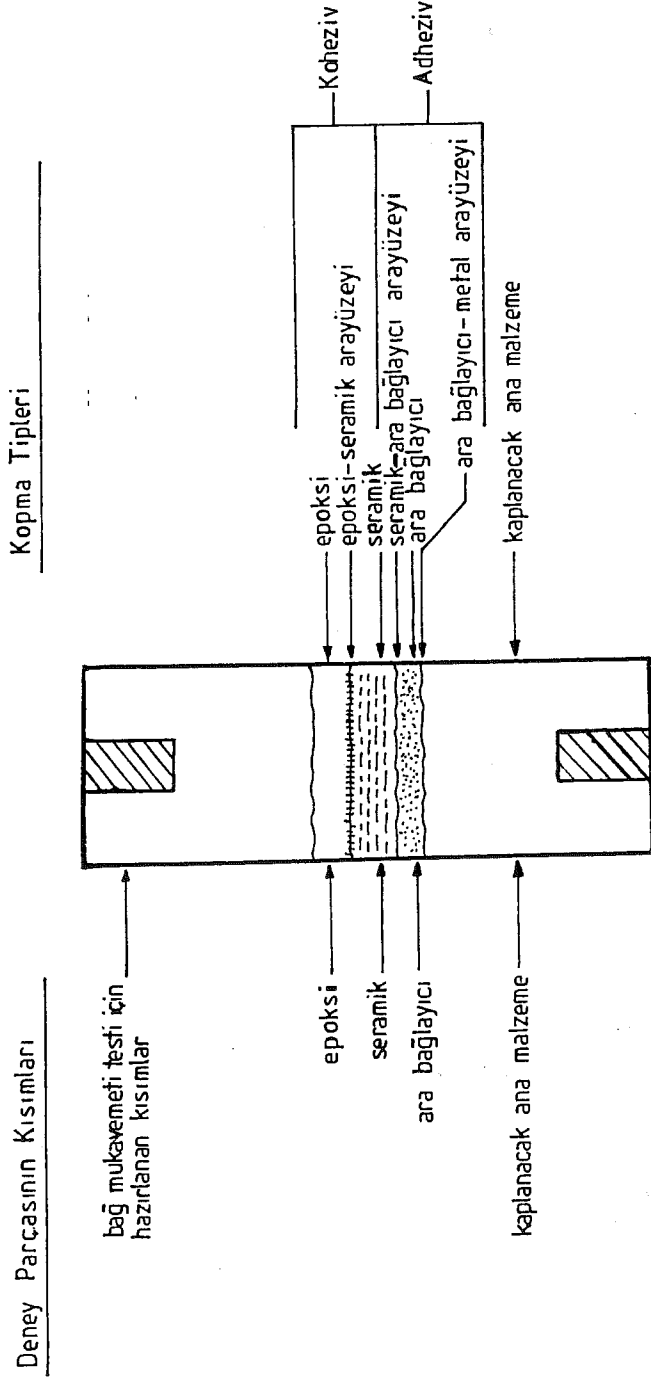
e) NiAl ara bağlayıcı (ortadaki açık renkli kısım) + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplama (üstteki koyu renkli kısım), (400X).

Şekil 5.2 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan kaplamaların enine kesit fotoğrafları.

5.1 Seramik kaplamalara uygulanan bağ mukavemeti deneyi:

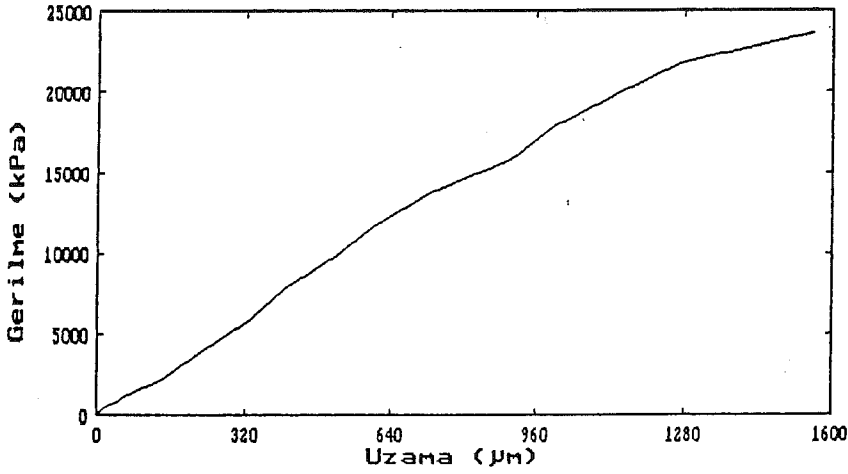
Isıl püskürtme teknikleriyle yapılan seramik kaplamaların bağ mukavemetlerinin ölçümünde bir tür çekme testi olan ASTM C-633 test yöntemi kullanılır. Alevle püskürtme tekniği için geliştirilmiş olan bu yöntem plazma püskürtme ile seramik kaplamaların bağ mukavemetlerinin tesbitinde de kullanılmaktadır. Bu yöntem vasıtasıyla alevle ve plazma ile seramik kaplamaların adhesif veya kohesif bağ mukavemetlerini ölçmek mümkündür [73]. Hatta bu yöntem dış hekimliği alanındaki deneysel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [73,74,75].

ASTM C-633 standardına göre hazırlanan deney düzeneği ve deney numuneleri Instron Universal deney cihazı kullanılarak test edilmişlerdir. Seramik kaplanmış numunenin diğer kaplanmamış numuneye yapıştırılması gereklidir. Bu amaçla seramik kaplamaların bağ mukavemeti veya diğer bir tabirle yapışma mukavemetinin çok daha üstünde mukavemet değerlerini ihtiva eden yapıştırıcı kullanılmıştır. Epoksi-Osmosis KL 674 ve Araldite AW 106-HV 9534 (Ciba-Geigy) isimli yapıştırıcılar ile yapılan deneylerde Araldite AW tip yapıştırıcıda karar kılınmıştır. Bu yapıştırıcı numuneler arasına sürüldükten sonra numuneler mengene ile sıkılıp yapıştırıcının sertleşmesi için 80°C'de 1-2 saat bekledikten sonra deneyler oda sıcaklığında tatbik edilmiştir. Deney sırasında çekme hızı standarda bağlı olarak 0.2 mm/dk seçilmiştir. Deney parçasının şematik görünüşü ve bu görüntü üzerinde kopma tipleri Şekil 5.3'te verilmiştir.

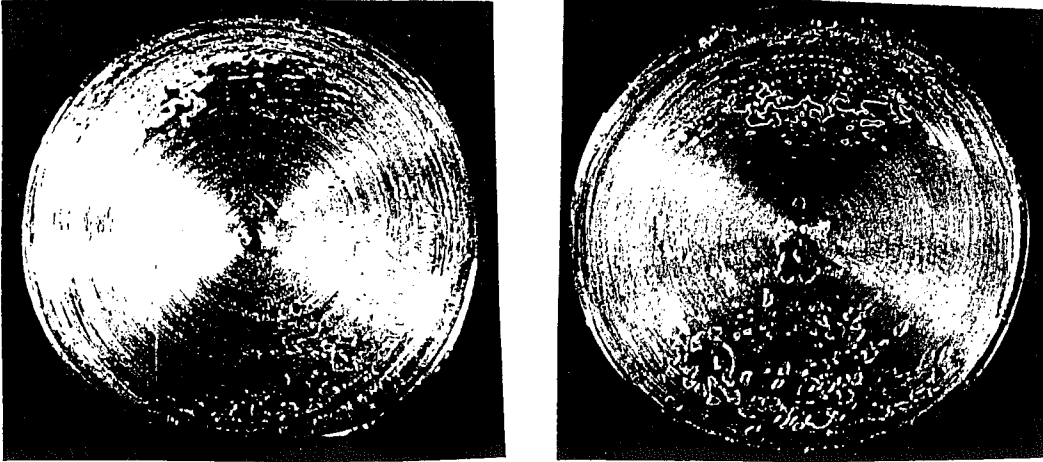


Şekil 5.3 Kaplama uygulanmış bağ mukavemeti deney numunesinin şematik görünüşü [65].

Kaplamanın bağ mukavemetinin ölçümünden önce yapıştırıcının bağ mukavemeti ölçülmüştür. Yapıştırıcının bağ mukavemeti grafiği ve kopma tipini gösteren fotoğrafı alınmıştır. Şekil 5.4 Yapıştırıcının bağ mukavemeti grafiğini, 5.5'de kopma yüzeyini gösterir fotoğrafıdır.



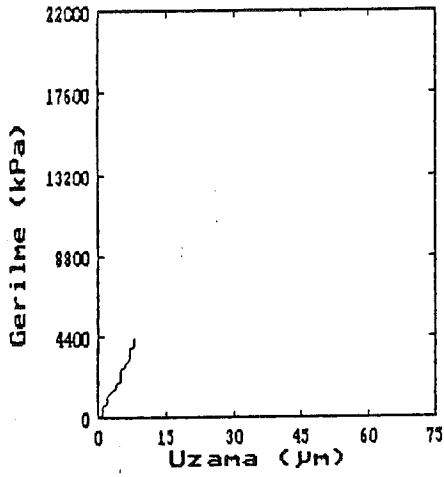
Şekil 5.4 Kullanılan yapıştırıcının bağ mukavemeti grafiği.



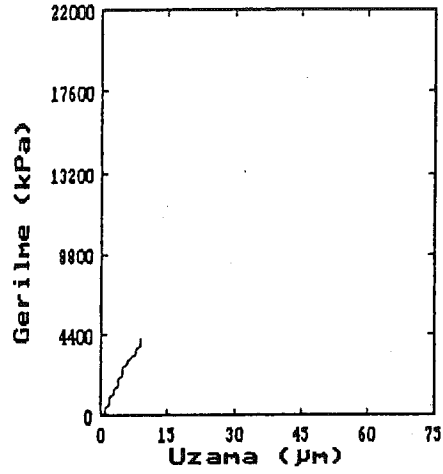
Şekil 5.5 Yapıştırıcının kopma yüzeyini gösteren fotoğraf.

Alev ve plazma püskürtme tekniği ile ara bağlayıcı kullanmadan ve ara bağlayıcı kullanarak bağ mukavemeti deneyi yapılacak numuneler üzerine kaplamalar uygulanmıştır. Değişik kalınlıklarda ve özelliklerde yapılan kaplamalar bağ mukavemeti deneyine tabi tutulmuş ve grafikleri ile kopma yüzey fotoğrafları alınmıştır. Bağ mukavemeti deneyindeki her grafik için en az 5 deney yapılarak ortalamaları alınmıştır [73].

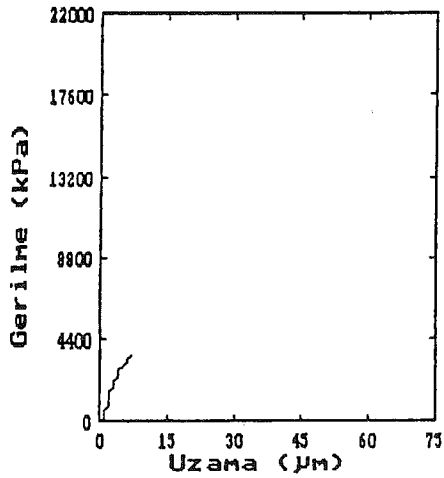
Şekil 5.6 alev püskürtme yöntemi ile yapılan ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafiklerini, Şekil 5.7 alev püskürtme yöntemi ile yapılan ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafiklerini, Şekil 5.8 alev püskürtme yöntemi ile yapılan NiAl ara bağlayıcı+ Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafiklerini, Şekil 5.9 alev püskürtme yöntemi ile yapılan NiAl ara bağlayıcı+ Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafiklerini vermektedir.



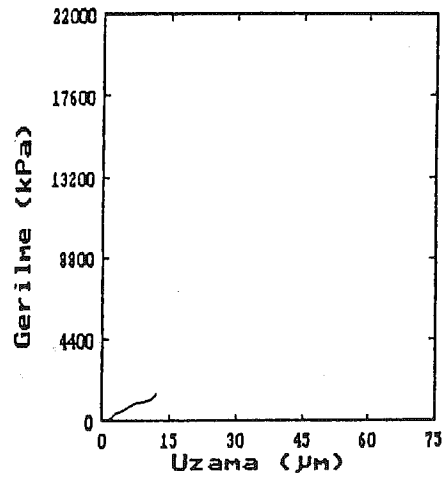
a) 180 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamının bağ mukavemeti grafiği.



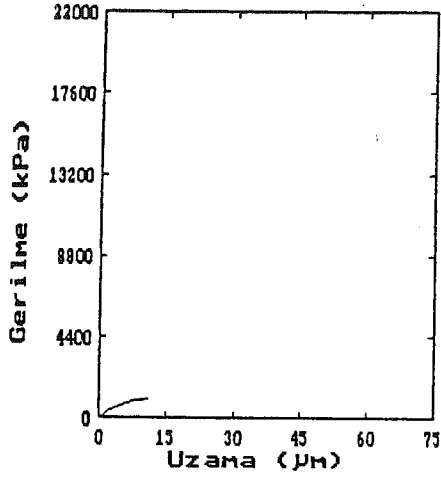
b) 220 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamının bağ mukavemeti grafiği.



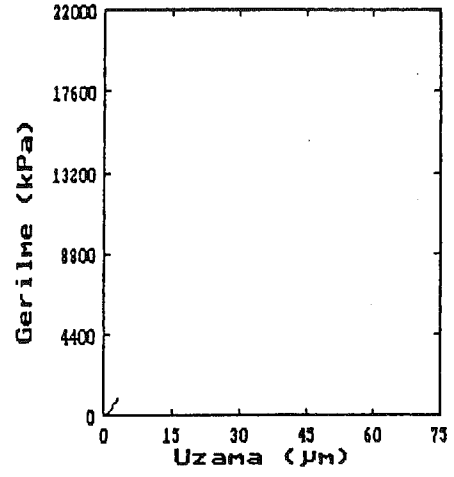
c) 240 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamının bağ mukavemeti grafiği.



d) 340 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamının bağ mukavemeti grafiği.

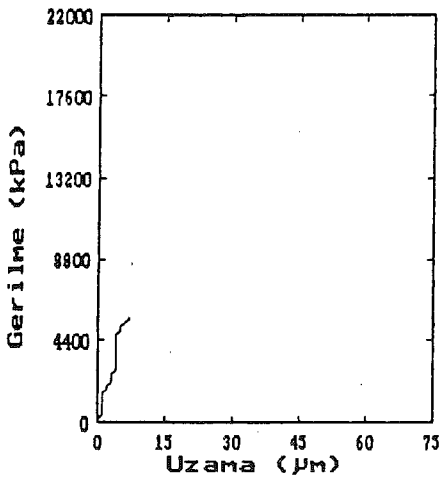


e) 350µm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

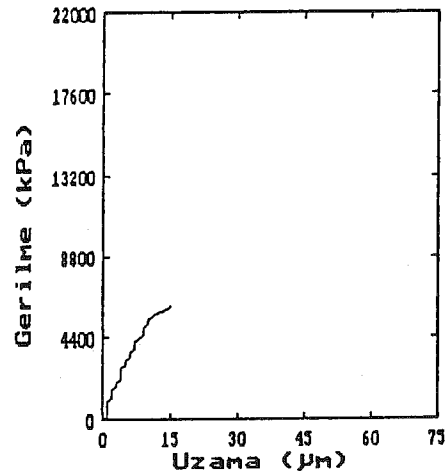


f) 480µm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

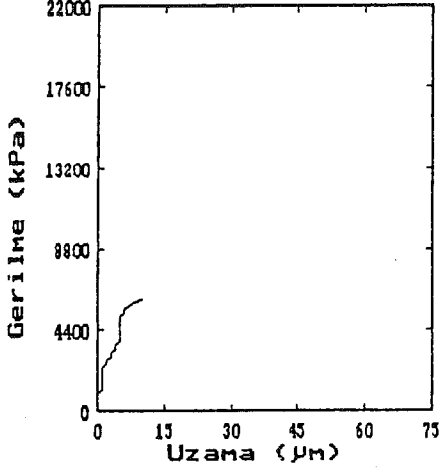
Şekil 5.6 Alev püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



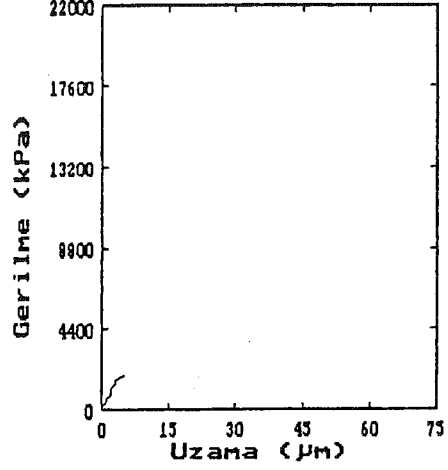
a) 165µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



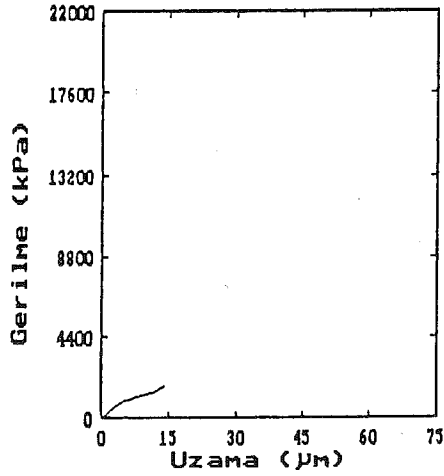
b) 200µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



c) 220μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

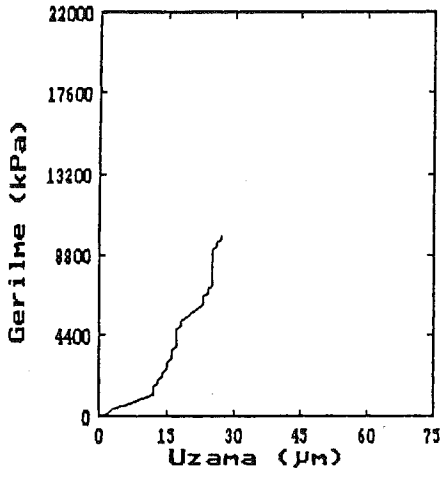


d) 300μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

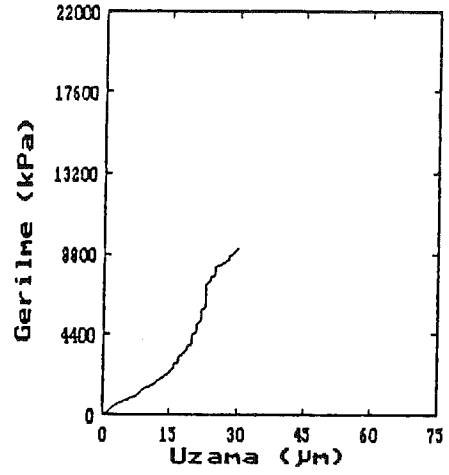


e) 510μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

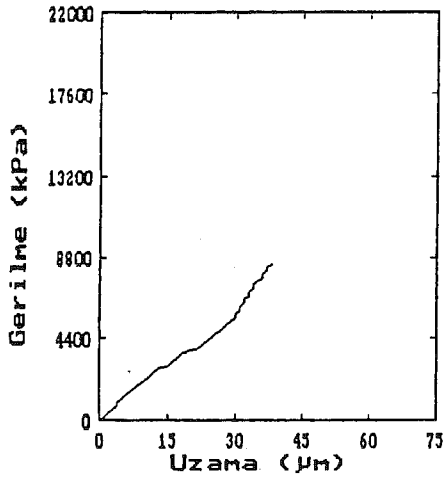
Şekil 5.7 Alev püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



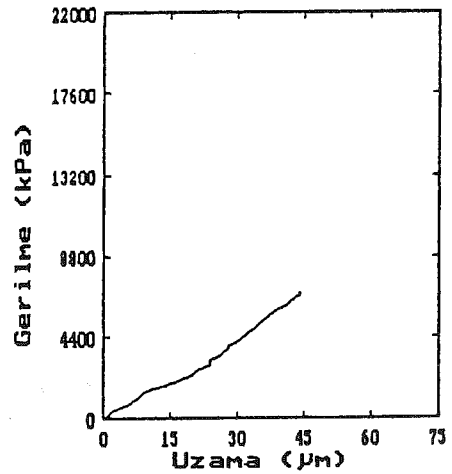
a) NiAl ara bağlayıcı + 110µm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



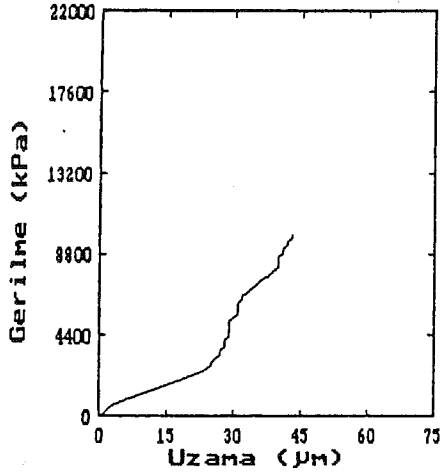
b) NiAl ara bağlayıcı + 130µm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



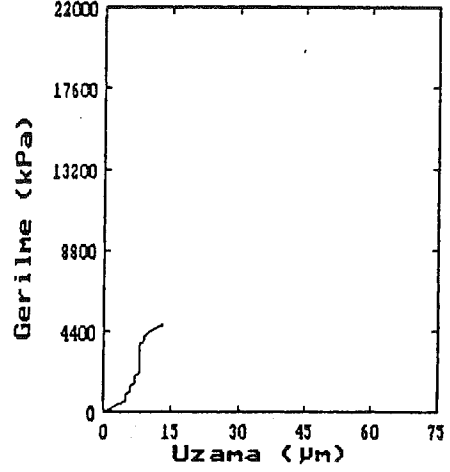
c) NiAl ara bağlayıcı + 160µm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



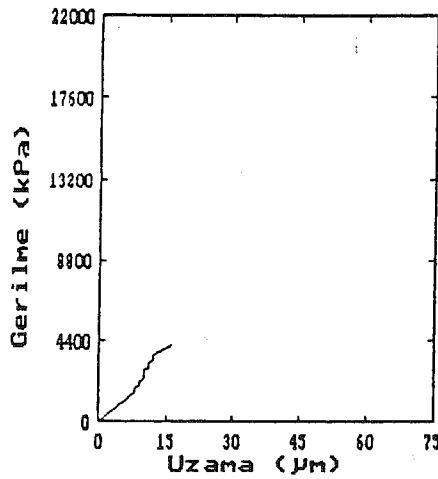
d) NiAl ara bağlayıcı + 200µm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



e) NiAl ara bağlayıcı + 250 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

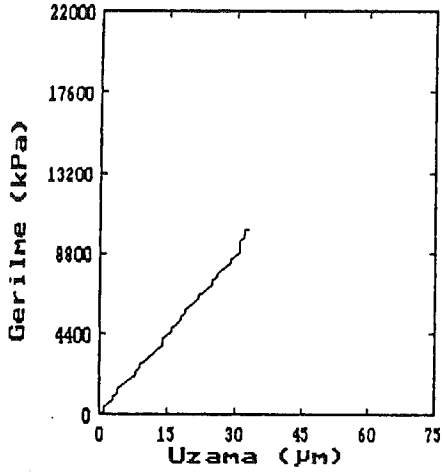


f) NiAl ara bağlayıcı + 320 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

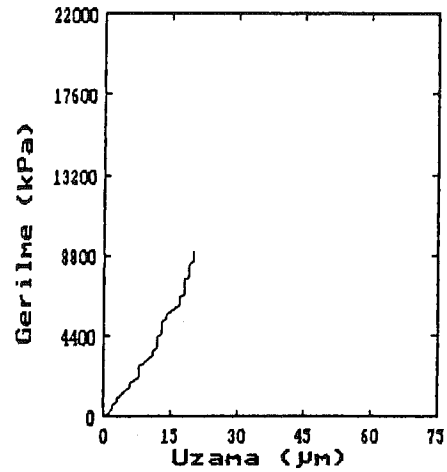


g) NiAl ara bağlayıcı + 480 μm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

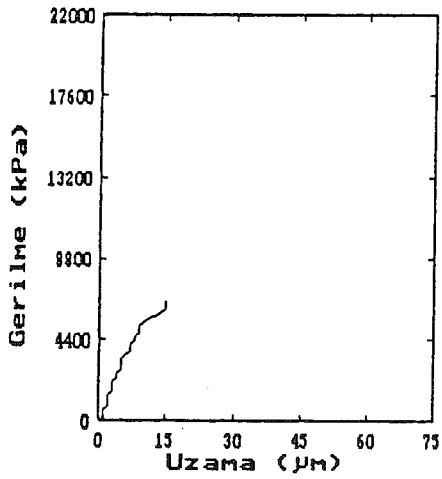
Şekil 5.8 Alev püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



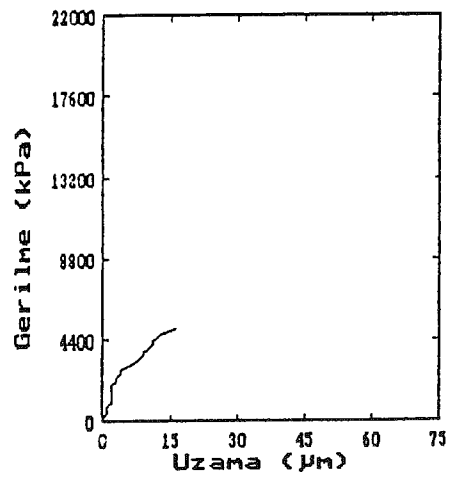
a) NiAl ara bağlayıcı + 140 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



b) NiAl ara bağlayıcı + 215 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



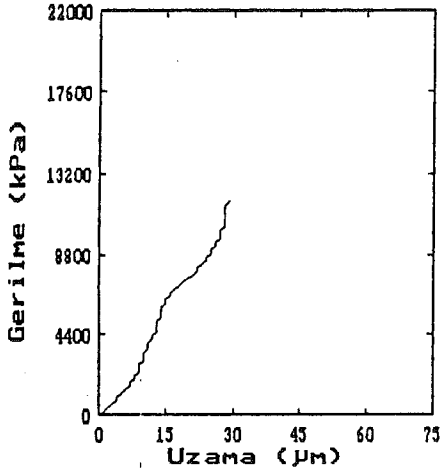
c) NiAl ara bağlayıcı + 310 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



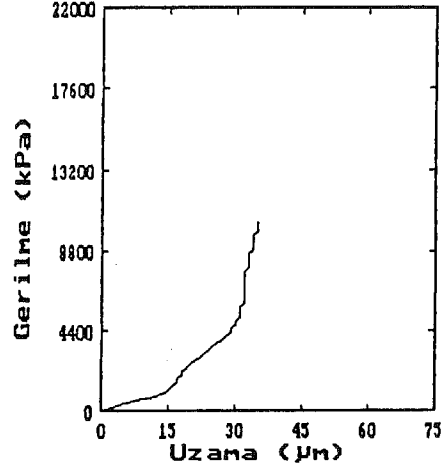
d) NiAl ara bağlayıcı + 465 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

Şekil 5.9 Alev püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.

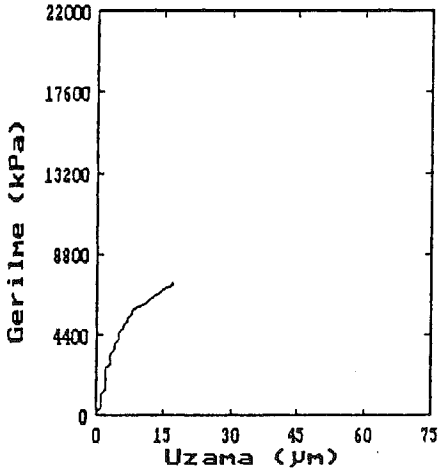
Alevle püskürtme tekniği ile yapılan kaplamalardan sonra plazma püskürtme tekniği ile kaplamalar yapılmış ve bağ mukavemetleri grafikleri alınmıştır. Sırasıyla Şekil 5.10'da ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13TiO₂ Şekil 5.11'de ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂, Şekil 5.12'de NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13TiO₂, Şekil 5.13'de NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamaların bağ mukavemetleri grafikleri verilmiştir.



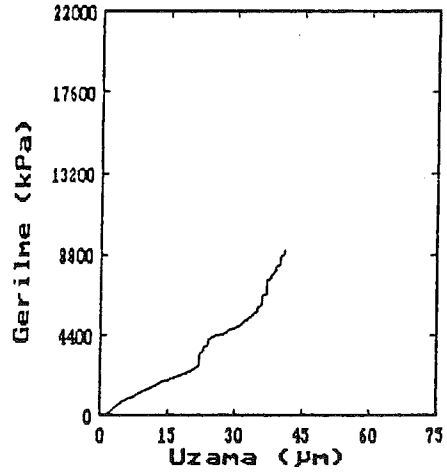
a) 165μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



b) 260μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

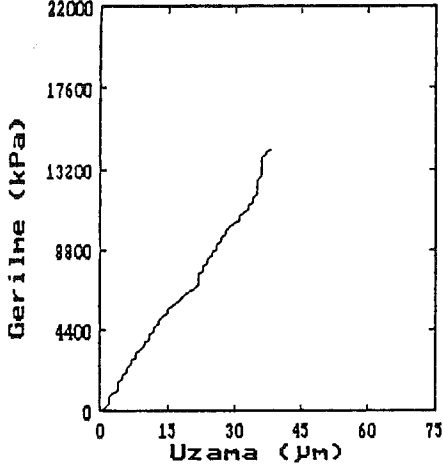


c) 305μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ kaplamanın seramik bağ mukavemeti grafiği.

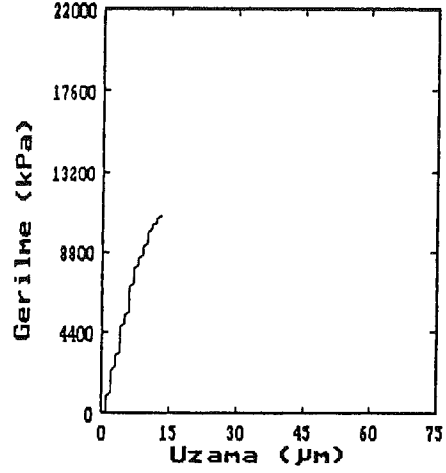


d) 480μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

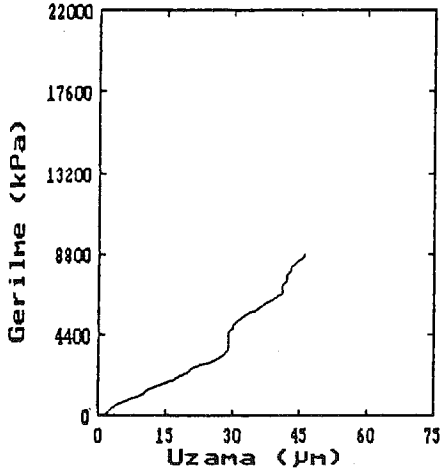
Şekil 5.10 Plazma püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



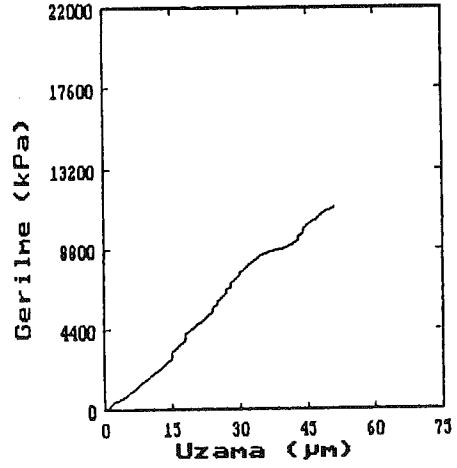
a) 180 μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



b) 250 μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

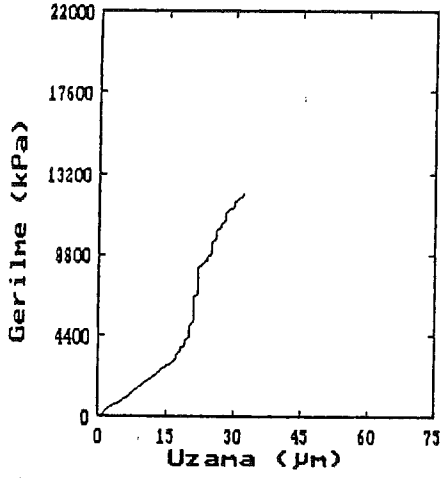


c) 315 μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

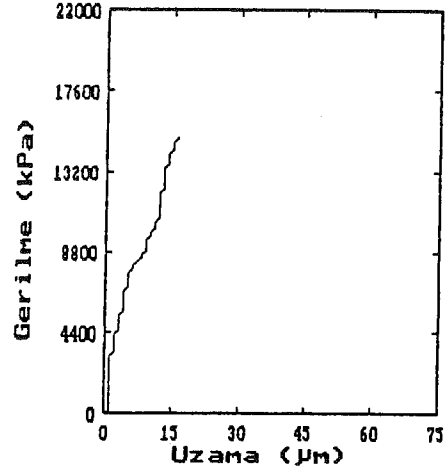


d) 480 μm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

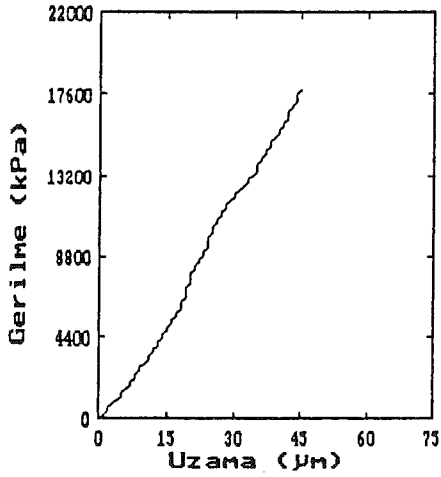
Şekil 5.11 Plazma püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



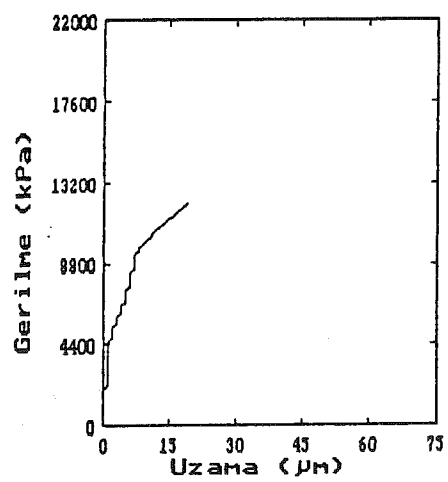
a) NiAl ara bağlayıcı + 90μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



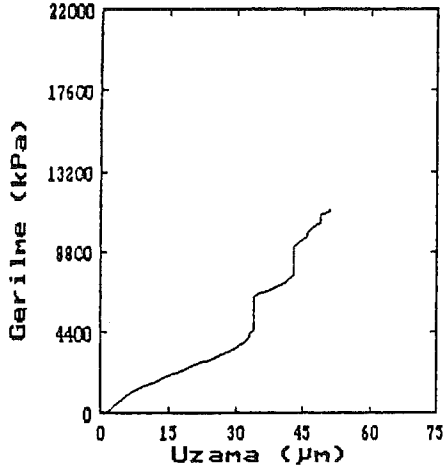
b) NiAl ara bağlayıcı + 150μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



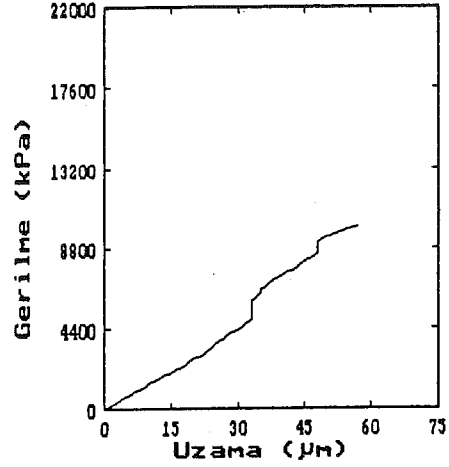
c) NiAl ara bağlayıcı + 180μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



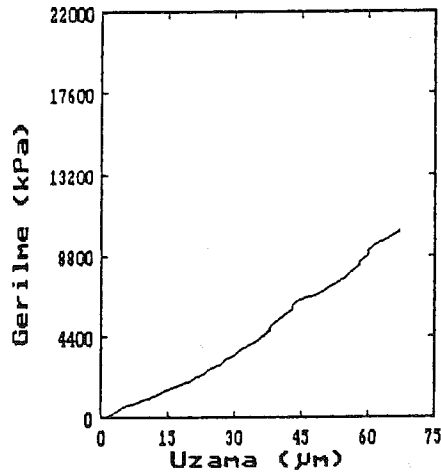
d) NiAl ara bağlayıcı + 200μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



e) NiAl ara bağlayıcı + 340μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

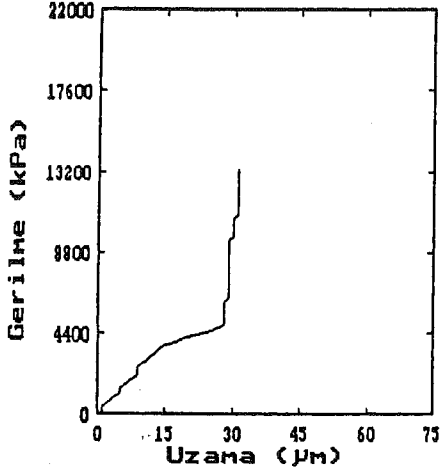


f) NiAl ara bağlayıcı + 460μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

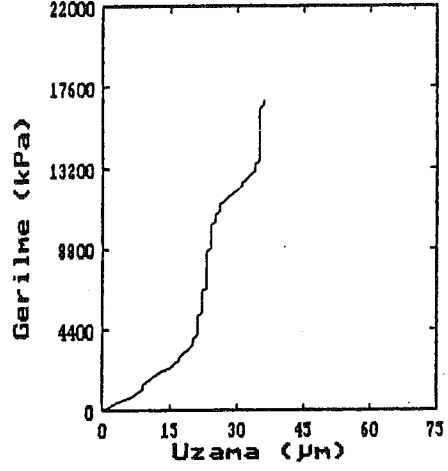


g) NiAl ara bağlayıcı + 480μm kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

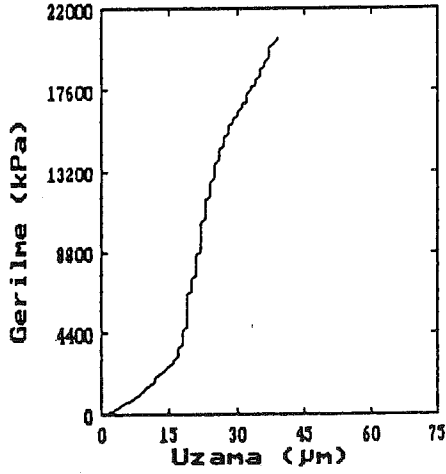
Şekil 5.12 Plazma püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.



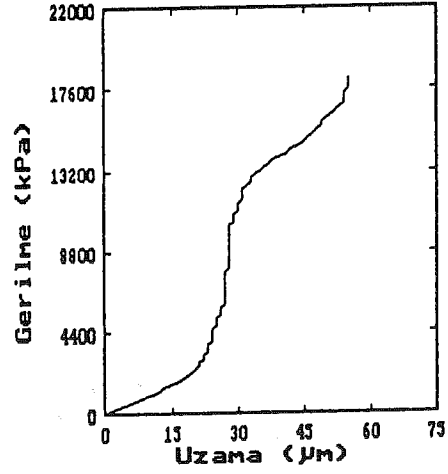
a) NiAl ara bağlayıcı + 100µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



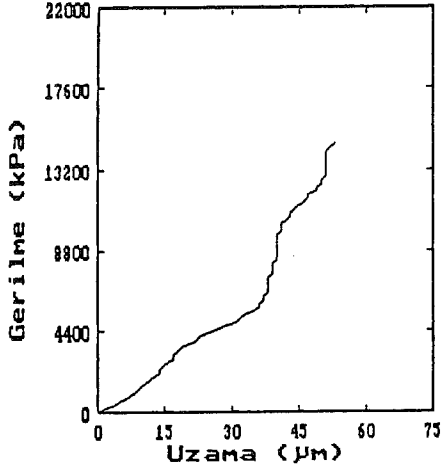
b) NiAl ara bağlayıcı + 140µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



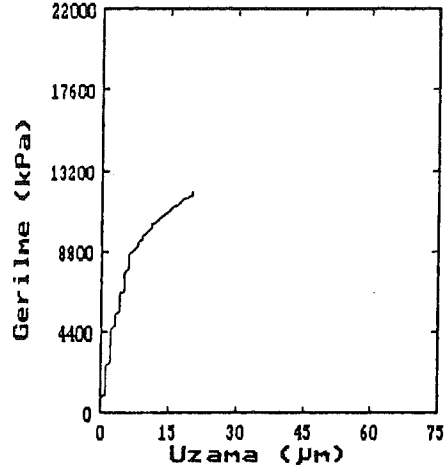
c) NiAl ara bağlayıcı + 210µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



d) NiAl ara bağlayıcı + 260µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.



e) NiAl ara bağlayıcı + 320 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

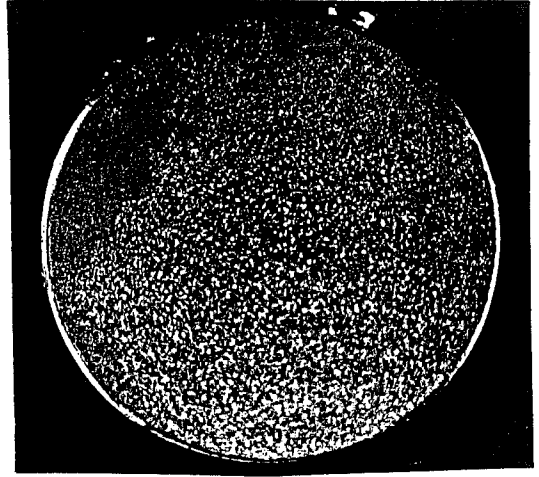
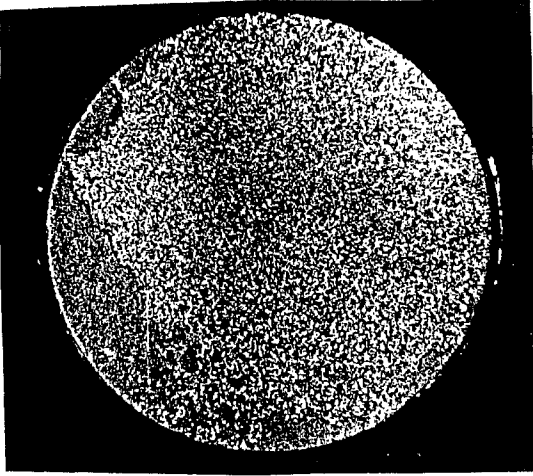


f) NiAl ara bağlayıcı + 460 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti grafiği.

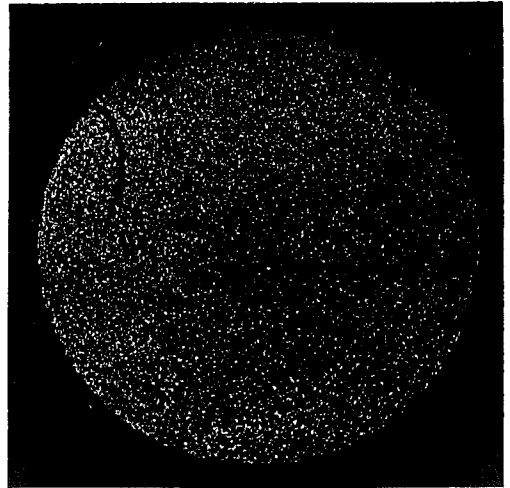
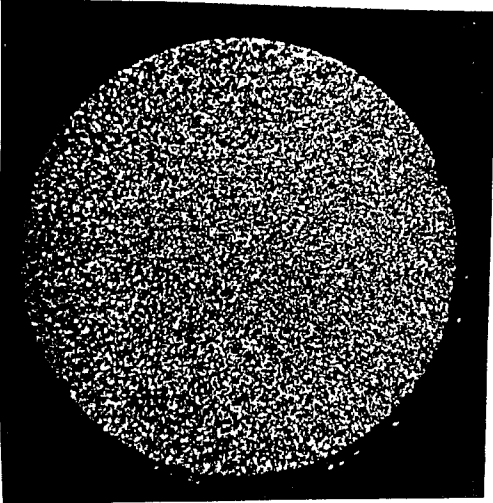
Şekil 5.13 Plazma püskürtme tekniği ile değişik kalınlıklarda yapılan NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların bağ mukavemeti grafikleri.

Isıl püskürtme tekniklerinden alev ve plazma püskürtme tekniği kullanılarak kaplanan numunelerin bağ mukavemeti deneyi sonrası bir kısmından kopma yüzey fotoğrafları alınmıştır. Bu fotoğraflar grafiklerle beraber kopma tiplerini belirlemede bir kriter olarak kullanılmıştır [65].

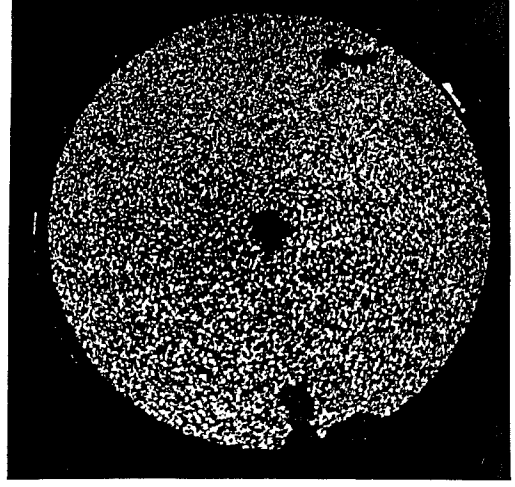
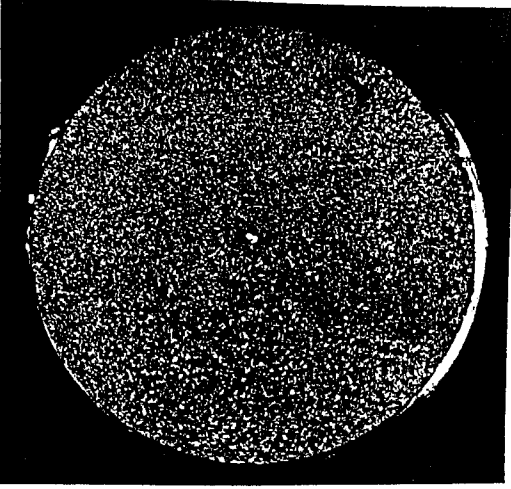
Şekil 5.14 alev püskürtme yöntemi ile, Şekil 5.15'de plazma püskürtme yöntemi ile kaplanan numunelerin bağ mukavemeti deneyleri sonrasındaki yüzey görüntüleridir.



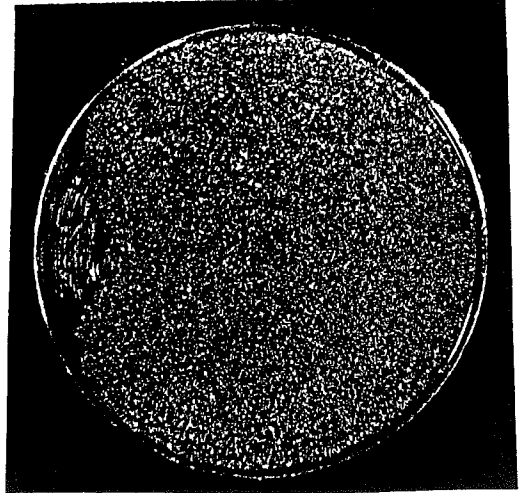
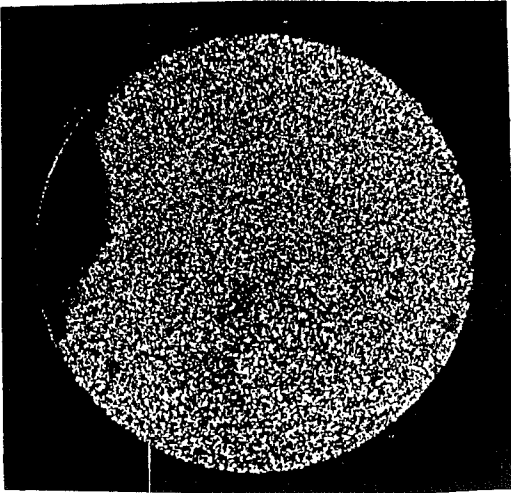
a) NiAl ara bağlayıcı + 200 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



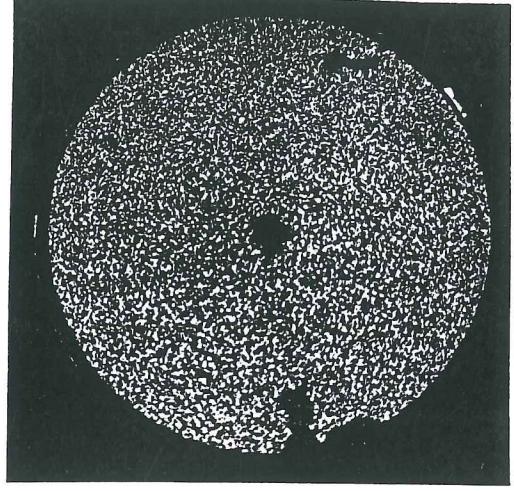
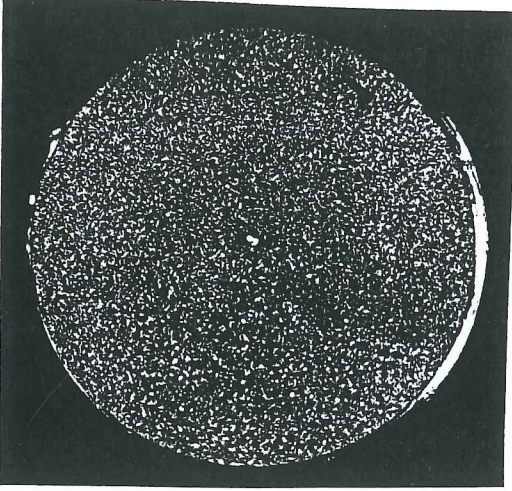
b) 350 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



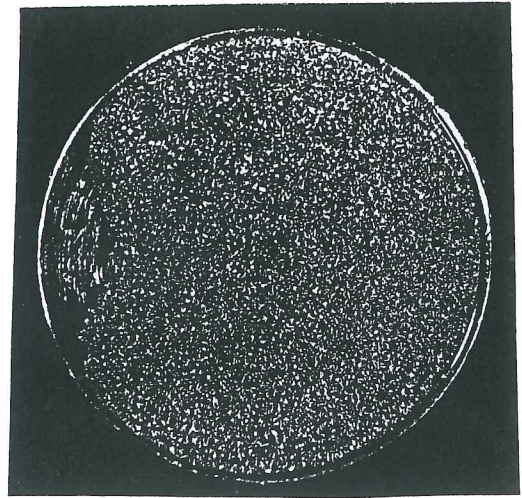
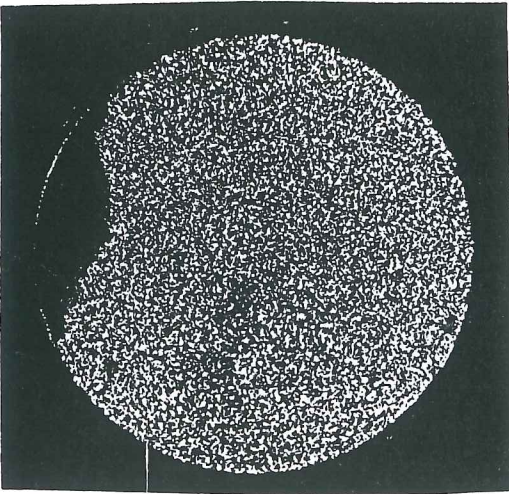
c) NiAl ara bağlayıcı + 160 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



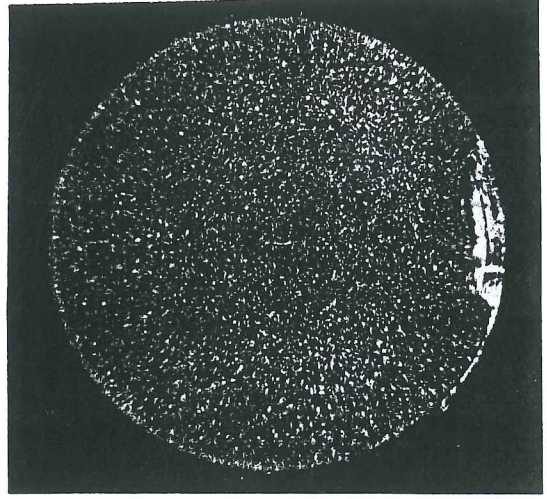
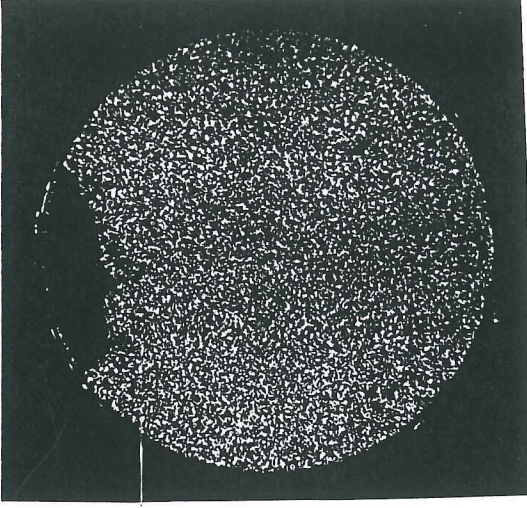
d) 200 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



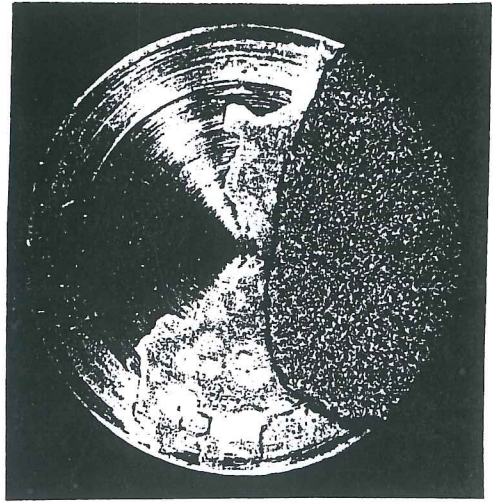
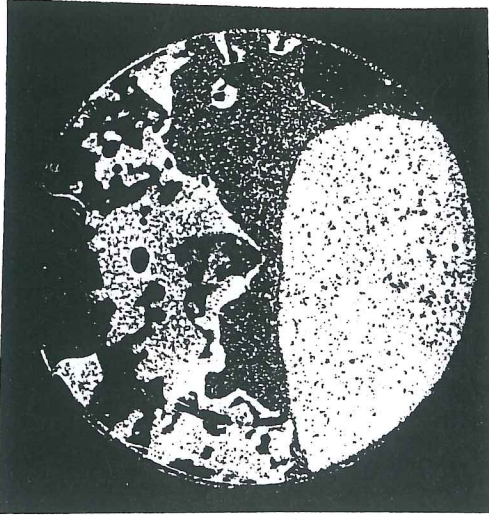
c) NiAl ara bağlayıcı + 160 μ m kalınlığında Al₂O₃-%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



d) 200 μ m kalınlığında Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.

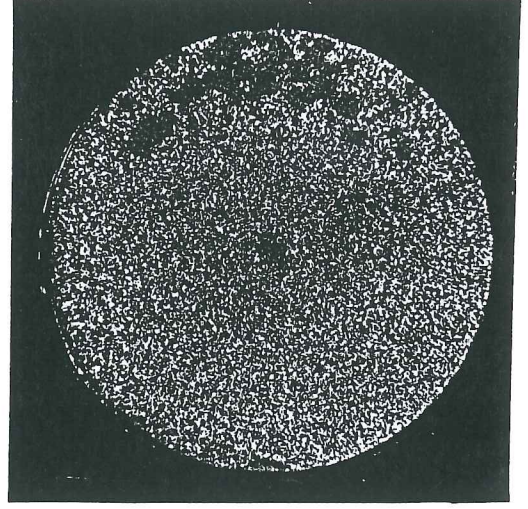
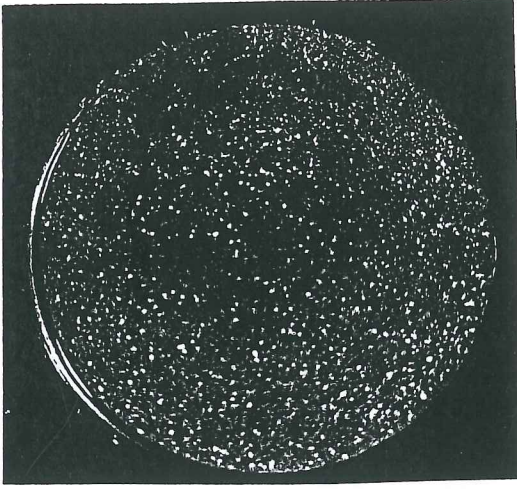


e) 480µm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.

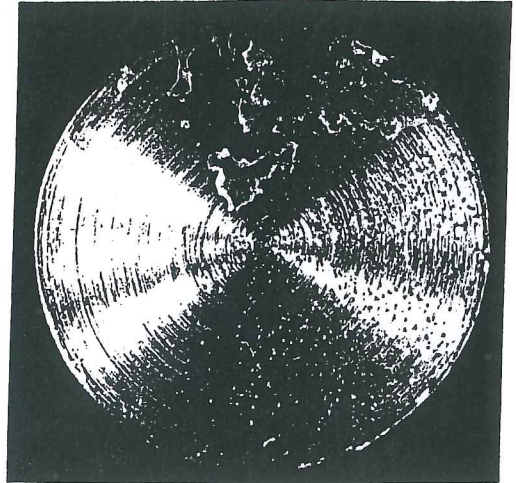
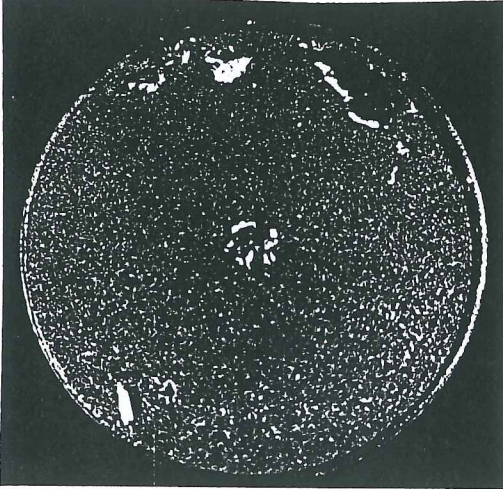


f) 510µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.

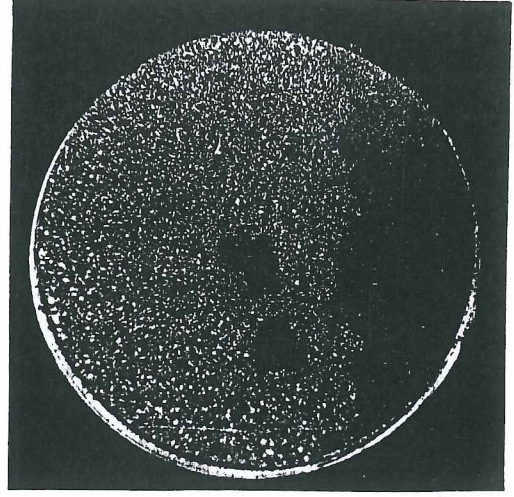
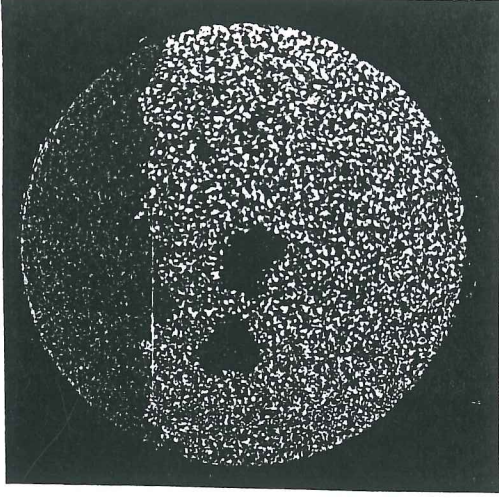
Şkil 5.14 Alev püskürtme tekniği ile yapılan değişik tipte kaplamaların bağ mukavemeti deneyleri sonrasındaki yüzey fotoğrafları.



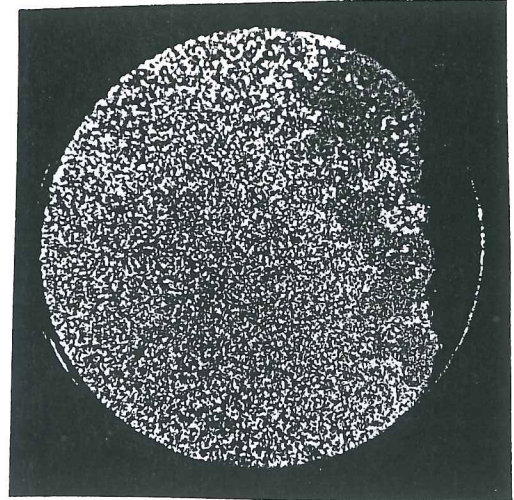
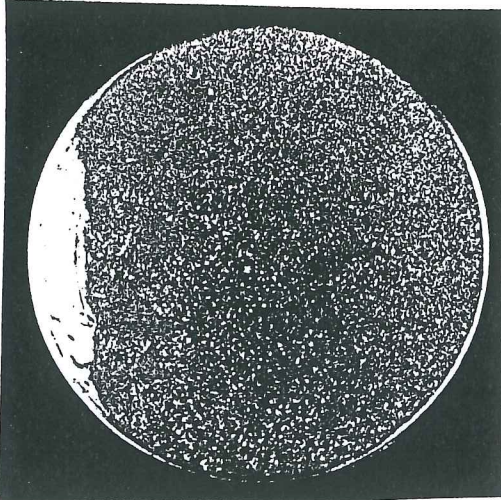
a) 165µm kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



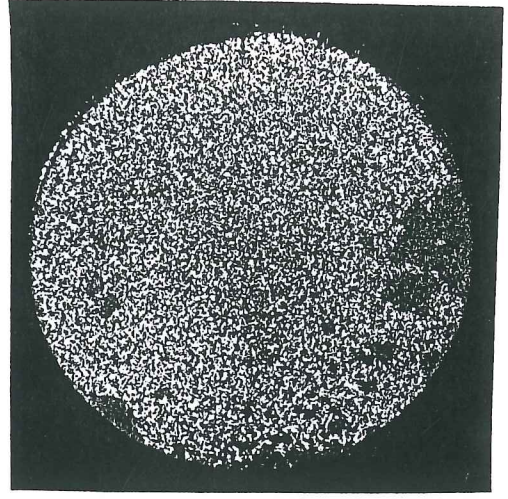
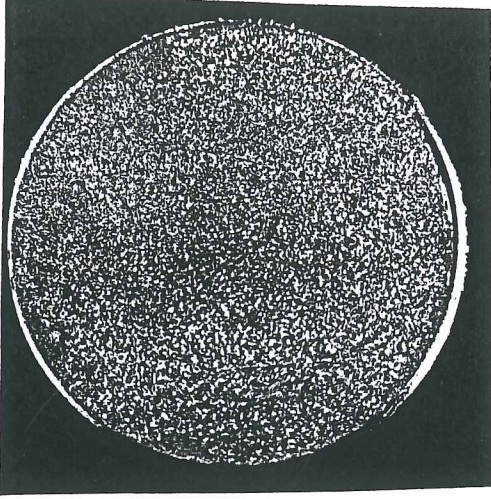
b) NiAl ara bağlayıcı + 320µm kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



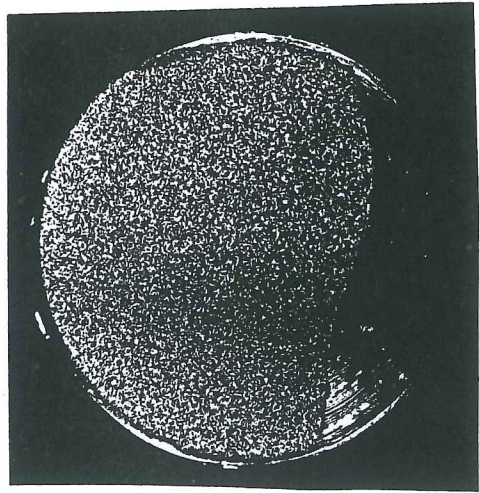
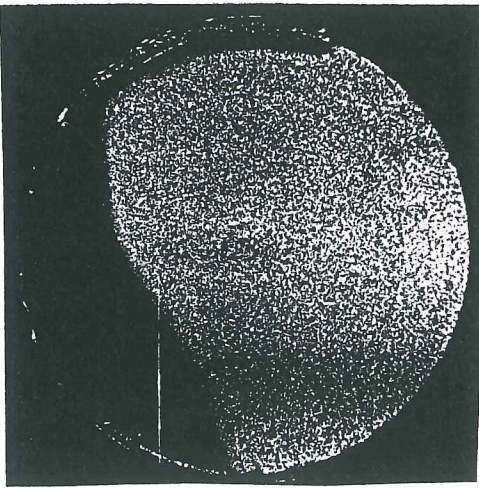
c) NiAl ara bağlayıcı + 210 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



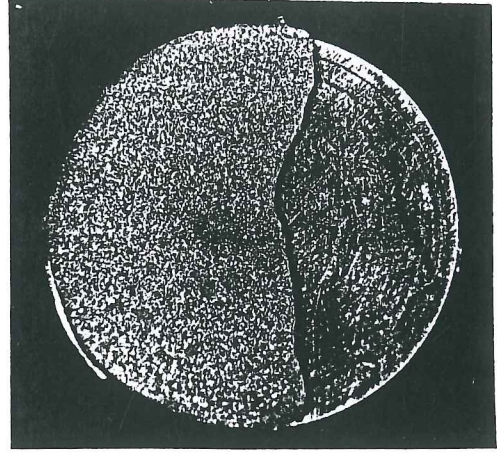
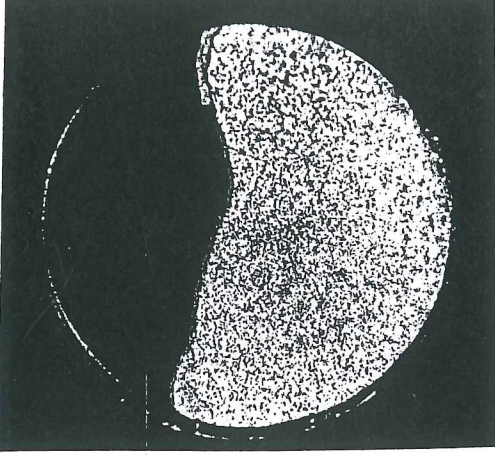
d) NiAl ara bağlayıcı + 150 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



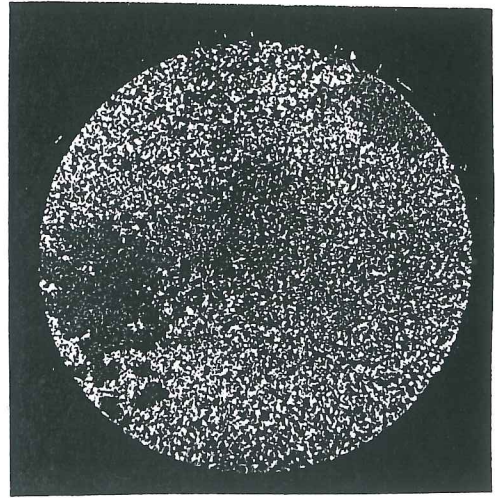
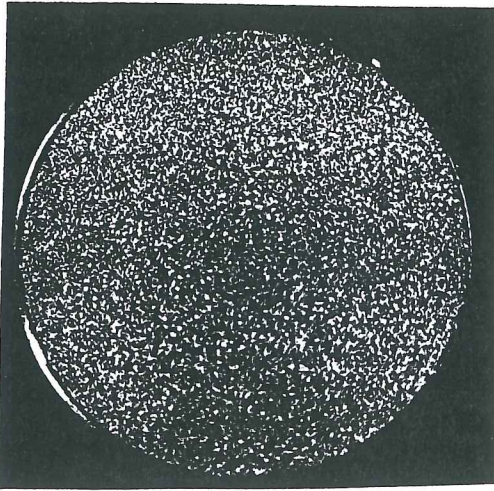
e) 180 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



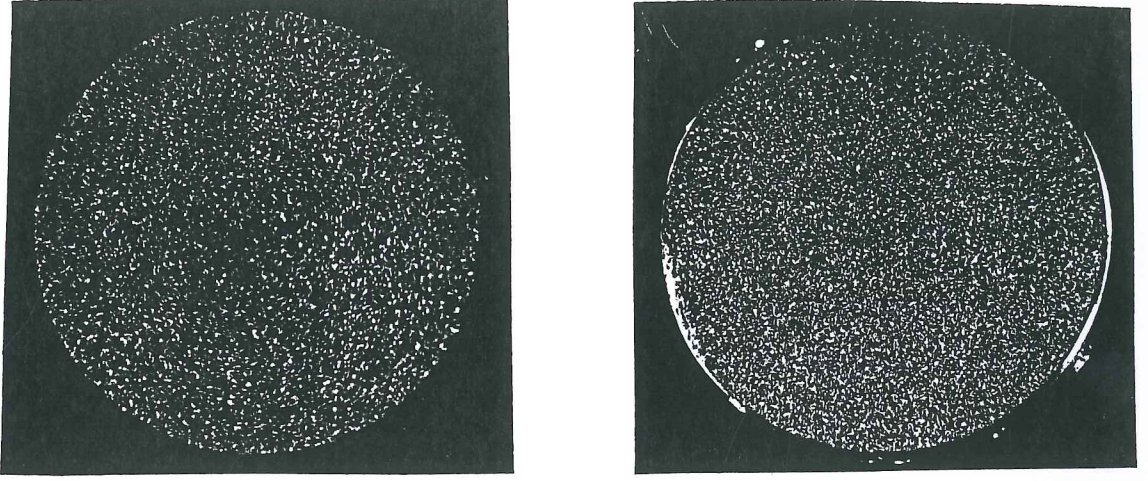
f) NiAl ara bağlayıcı + 460 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



g) NiAl ara bağlayıcı + 200 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.



h) NiAl ara bağlayıcı + 180 μ m kalınlığında Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.

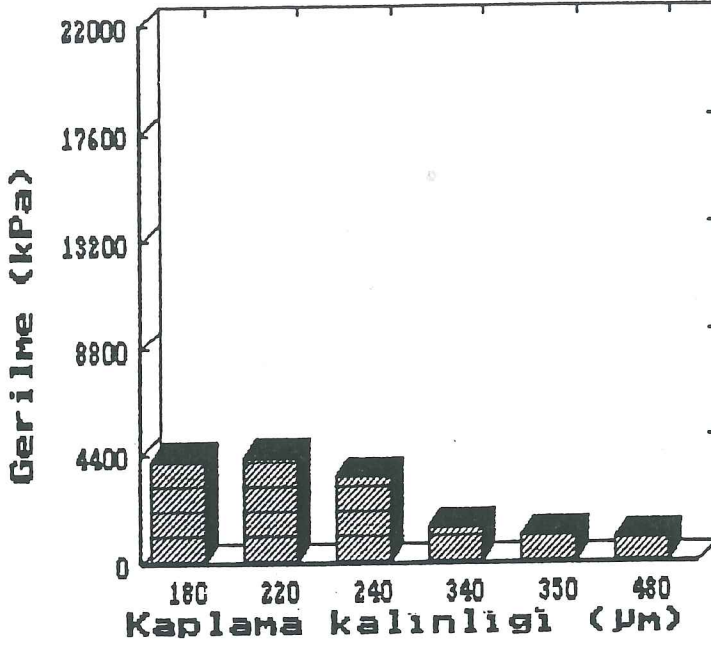


i) 250 μ m kalınlığında Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın bağ mukavemeti deneyi sonrası yüzey fotoğrafı.

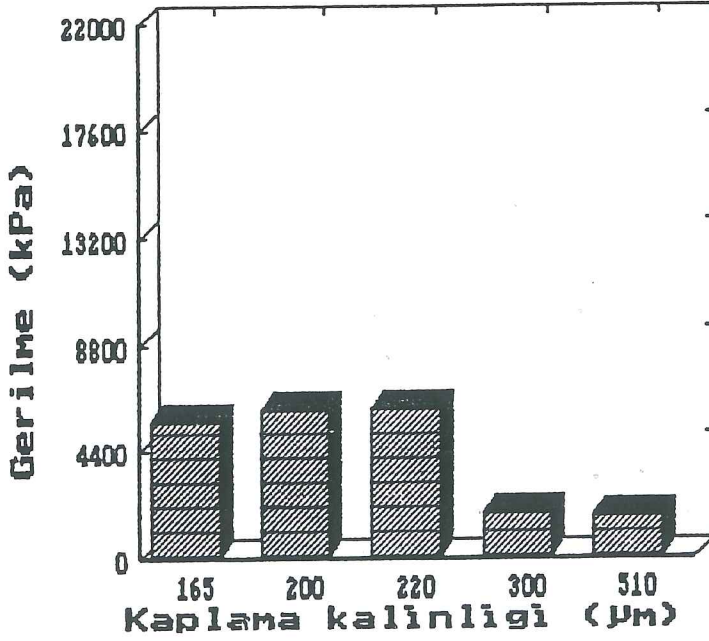
Şekil 5.15 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan değişik tipte kaplamaların bağ mukavemeti deneyleri sonrasındaki yüzey fotoğrafları.

Seramik kaplamalara uygulanan bağ mukavemeti testleri sonucunda seramik kaplama kalınlığına bağlı olan mukavemet değerleri de elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak alev püskürtme ve plazma püskürtme teknikleri ile yapılan seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet grafikleri literatüre uygun olarak çıkartılmıştır [65,73].

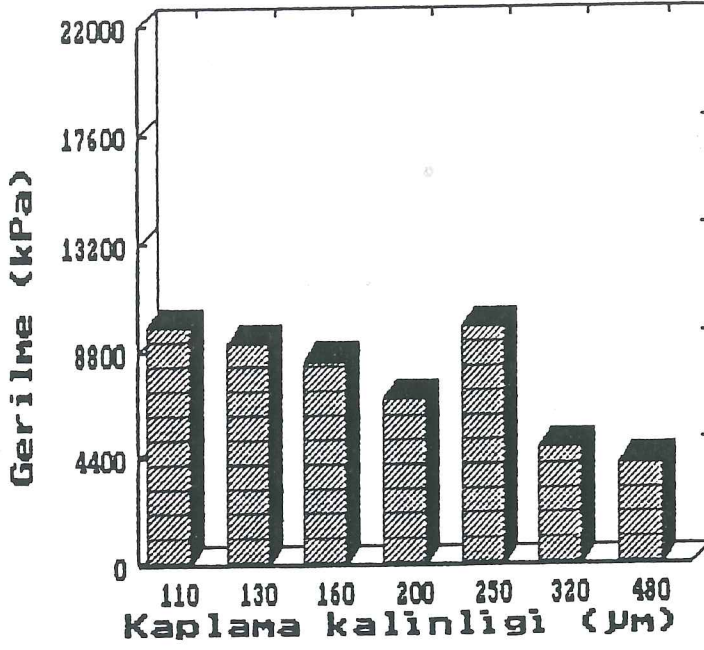
Seramik kaplama kalınlığına bağlı mukavemet değerleri Şekil 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 'de verilmiştir.



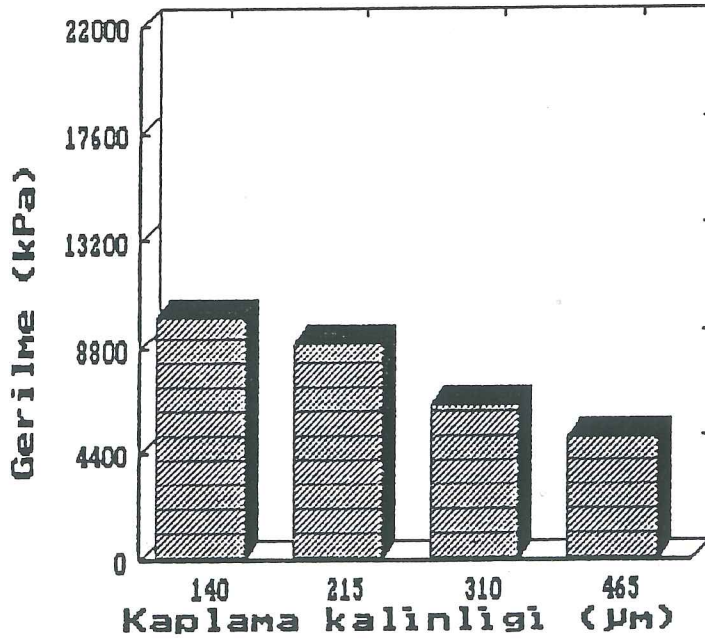
Şekil 5.16 Alev püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



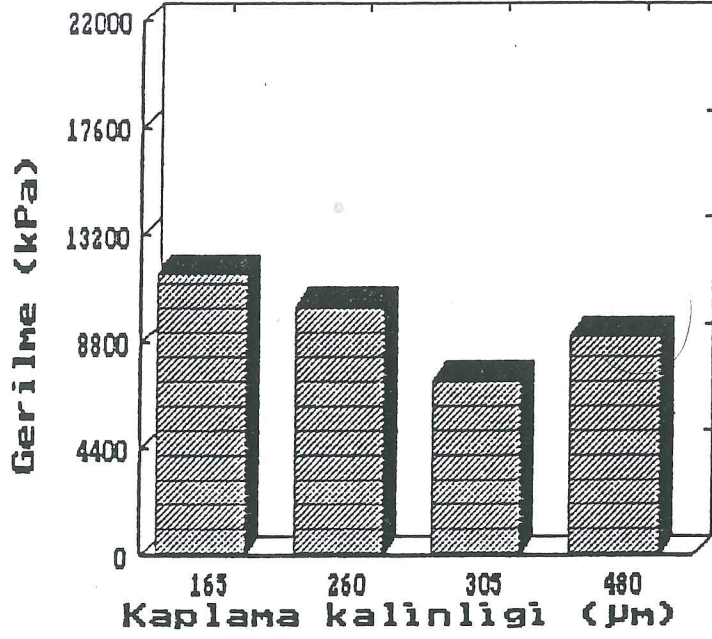
Şekil 5.17 Alev püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



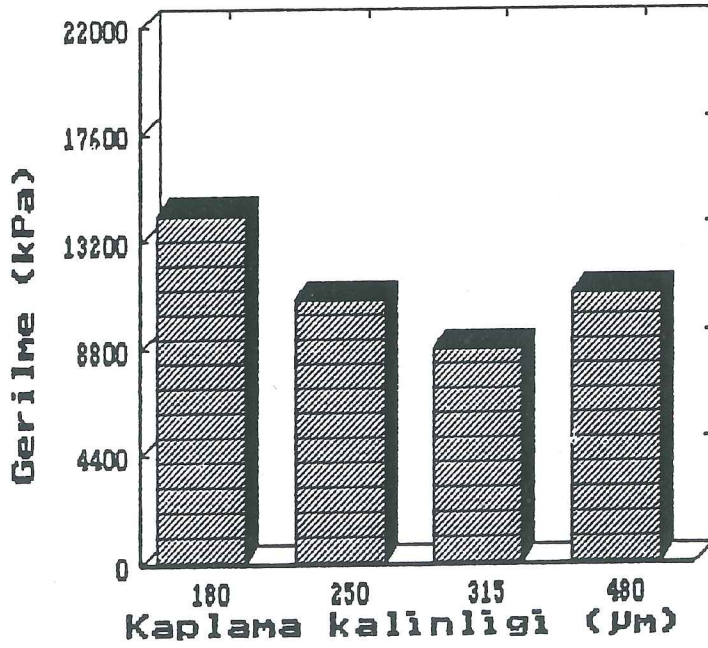
Şekil 5.18 Alev püskürtme tekniği ile yapılan NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



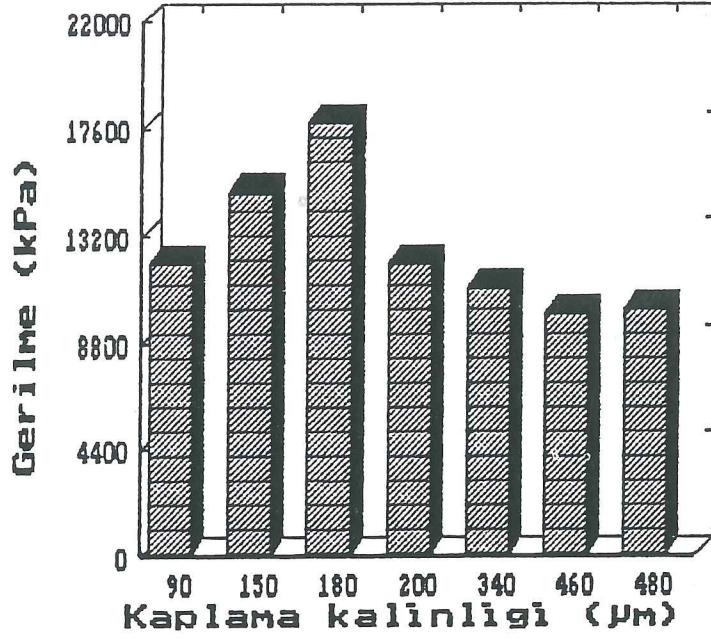
Şekil 5.19 Alev püskürtme tekniği ile yapılan NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



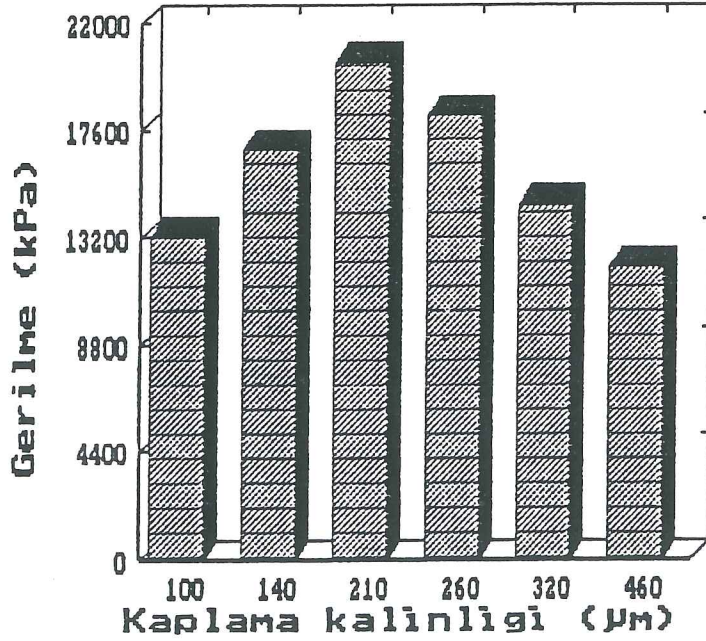
Şekil 5.20 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



Şekil 5.21 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri



Şekil 5.22 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.



Şekil 5.23 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların kalınlığa bağlı mukavemet değerleri.

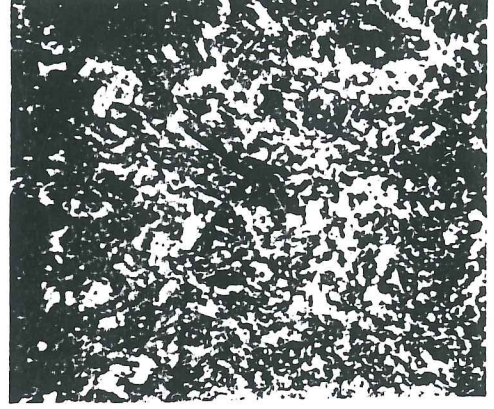
5.2 Seramik kaplamalara uygulanan mikrosertlik deneyleri:

Mikrosertlik deneyi için seramik kaplanmış numuneler metalografik olarak hazırlanmış ve bakalite alındıktan sonra Shumadzu mikrosertlik cihazıyla 100 gr'lık yükler 15 sn süre tatbik edilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her kaplamadan en az 10 ölçüm yapılarak ortalama değerleri bulunmuştur [76]. Tablo 5.1 kaplamaların kaplama metodu ve kaplama cinsine göre sertlik değerlerini vermektedir.

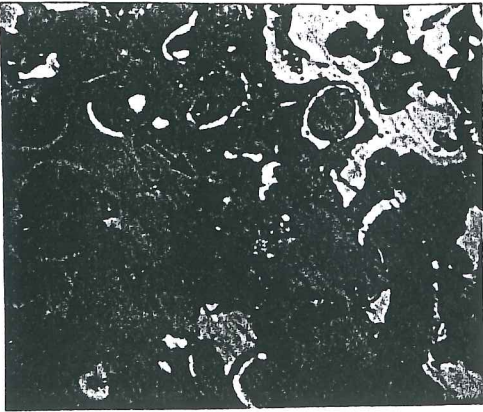
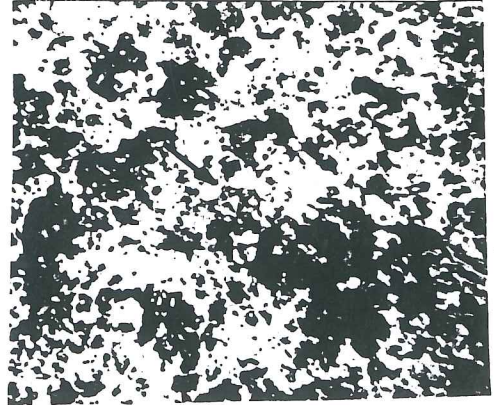
Tablo 5.1 Kullanılan seramik kaplamaların sertlik değerleri.

Kaplama Cinsi	Kaplama Metodu	Sertlik (HV _{0.1})
Al ₂ O ₃ %13TiO ₂	Alevle	907
Cr ₂ O ₃ %5SiO ₂ %3TiO ₂	Alevle	1365
Al ₂ O ₃ %13TiO ₂	Plazmayla	1003
Cr ₂ O ₃ %5SiO ₂ %3TiO ₂	Plazmayla	1533

Sırasıyla Şekil 5.24'de Alev püskürtme ile Şekil 5.25'de ise plazma püskürtme ile elde edilen seramik kaplamaların mikrosertlik değeri için meydana getirilen izlerin fotoğrafları görülmektedir.

a) Al_2O_3 -%13 TiO_2 b) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2

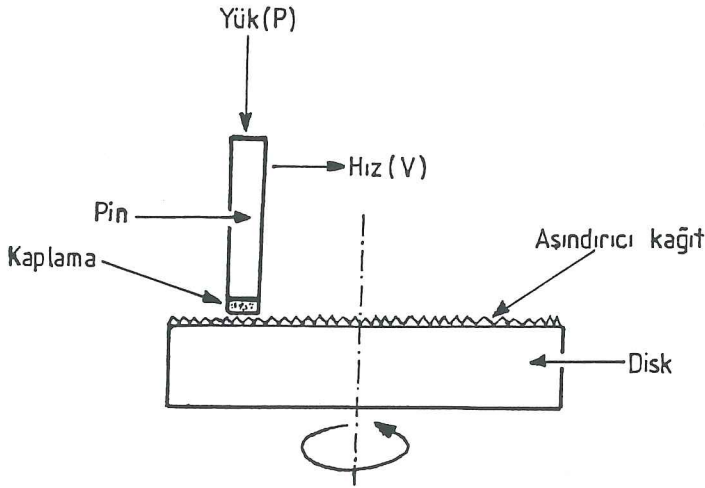
Şekil 5.24 Alev püskürtme ile elde edilen seramik kaplamalardaki mikrosertlik izleri.

a) Al_2O_3 -%13 TiO_2 b) Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2

Şekil 5.25 Plazma püskürtme ile elde edilen seramik kaplamalardaki mikrosertlik izleri.

5.3 Seramik kaplamalara aşınma deneylerinin uygulanması ve sonuçlar:

Aşınma deneyleri için ASTM standartında verilen pin-on-disk testi uygulanmıştır [77]. Aşınma deneylerinde Şekil 5.26'da şematik olarak gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır [77,78]. Dairesel olarak 1200 numara SiC zımpara kağıdı düzenekte gösterilen döner disk üzerine yerleştirilmiştir [78,79].



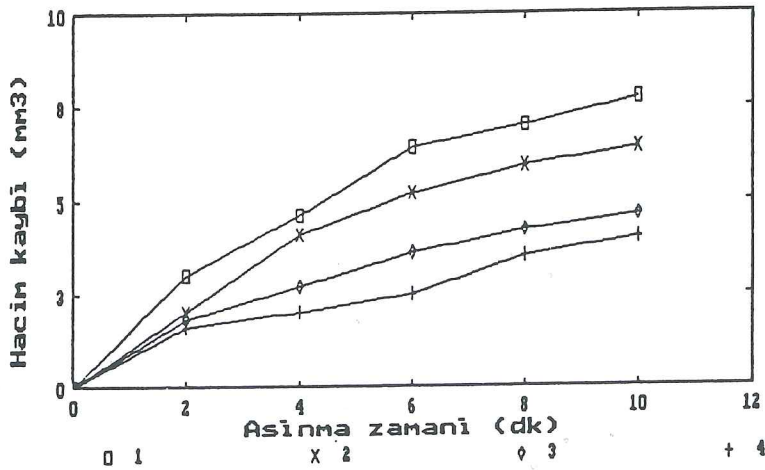
Şekil 5.26 Aşınma deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Deney numunelerinin boyutları standartlara göre 2-10 mm çap ve 30-100 mm yükseklikler arasında değişmektedir [77]. Aşınma deneyi için deney koşulları Tablo 5.2'de verilmiştir. Aşınma deney koşulları Tablo 5.2'de verilen pin-on-disk ile aşınma deneyinde, aşınmada ağırlık kaybı hacim kaybına çevrilmiş ve zamana bağlı olarak aşınma deney sonuçları elde edilmiştir [11,78,80].

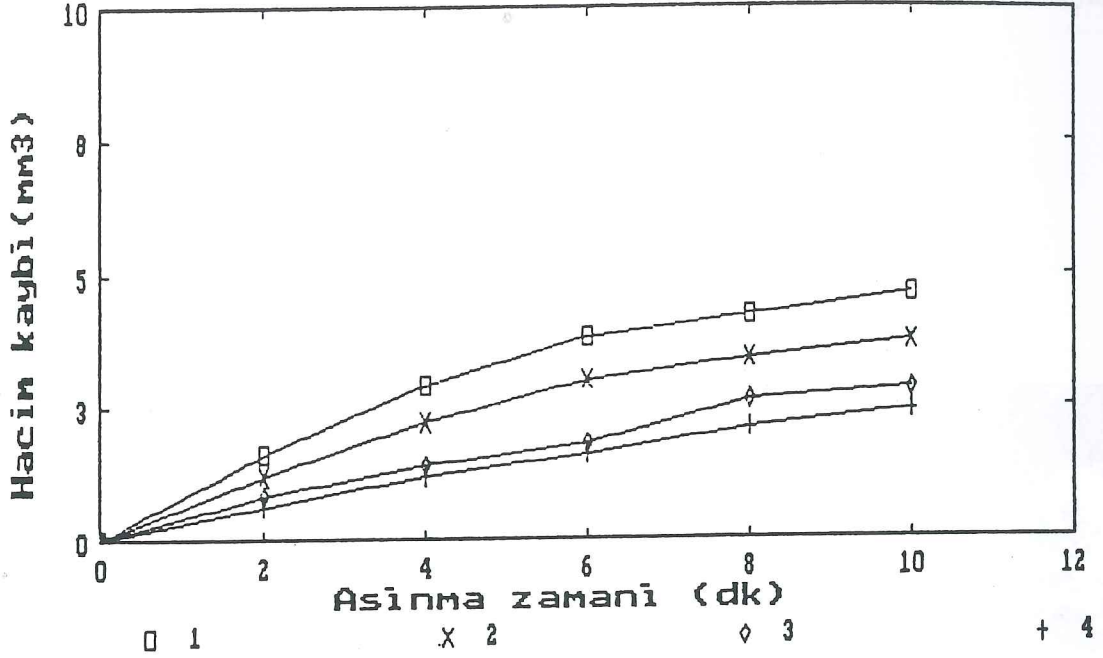
Aşınma deney sonuçları alev ve plazma ile püskürtme teknikleri için ayrı, ayrı alınmıştır. Deneylerde seramik malzeme ara bağlayıcı varken ve olmaksızın malzeme yüzeyine kaplanmıştır. Kullanılan seramik kaplama malzemeleri Al_2O_3 -%13TiO₂ ve Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂'dir. Şekil 5.27 ve 5.28 sırasıyla alev ve plazma ile elde edilen değişik kaplamaların aşınma davranışları kütle kaybı cinsinden verilmiştir. Şekiller incelendiğinde plazma püskürtme tekniği kullanılarak yapılan kaplamaların aşınma davranışını veren 5.28 şeklindeki aşınma grafikleri aşınmanın daha az olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.2 Aşınma deney koşulları.

Ortam	Hava	Hava	Hava	Hava	Hava
Sıcaklık (°C)	22	22	22	22	22
Aşındırıcı SiC Numarası	1200	1200	1200	1200	1200
Uygulanan Yük (kg)	0.218	0.218	0.218	0.218	0.218
Uygulama Süresi (dk)	2	4	6	8	10
Disk Hızı (dev/dk)	55	55	55	55	55
Aşınma Mesafesi (m)	66	132	198	264	330
Kaplanan Ara bağlayıcı (NiAl) Kalınlığı (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Kaplanan Seramik Malzeme Kalınlığı (mm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Kaplanan Malzeme Çapı (mm)	8	8	8	8	8
Kaplanan Malzeme Boyu (mm)	34	34	34	34	34



Şekil 5.27 Alev püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamaların zamana bağlı olarak değişen hacim kaybı cinsinden aşınma davranışları: 1)nolu eğri ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13TiO₂, 2)nolu eğri ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂, 3)nolu eğri NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13TiO₂, 4)nolu eğri NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamalardır.

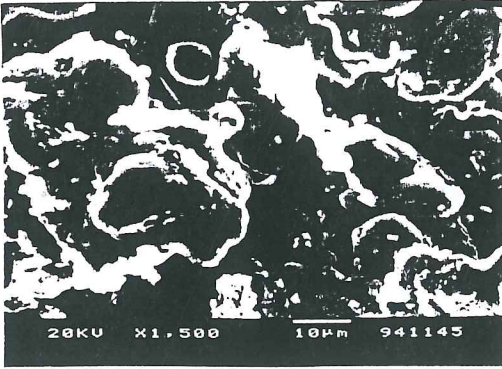


Şekil 5.28 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamaların zamana bağlı olarak değişen hacim kaybı cinsinden aşınma davranışları: 1)nolu eğri ara bağlayıcısız Al_2O_3 -%13 TiO_2 , 2)nolu eğri ara bağlayıcısız Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 , 3)nolu eğri NiAl ara bağlayıcı + Al_2O_3 -%13 TiO_2 , 4)nolu eğri NiAl ara bağlayıcı + Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamalardır.

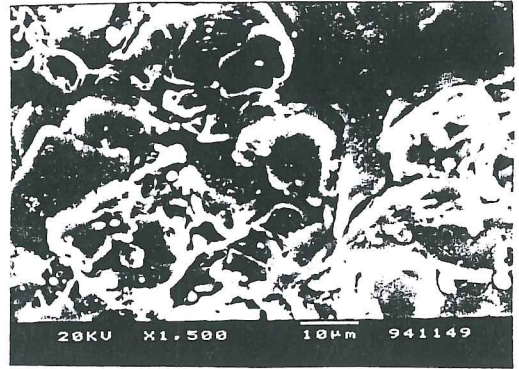
5.4 Seramik kaplamaların SEM (tarama elektron mikroskop) mikroyapı ve mikroanaliz sonuçları:

Kullanılan her 2 tip seramik kaplamanın (Al_2O_3 -%13 TiO_2 ve Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2) aşınma deneyinden önceki ve aşınmaya deneyine tabi tutulan yüzeylerinden SEM mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Ayrıca her 2 kaplamanın mikroanaliz sonuçları grafik halinde elemental seviyede çıkarılmıştır. SEM mikroyapı fotoğrafları bu çalışmada kullanılan 2 değişik kaplama tekniği olan alev ve plazma püskürtme teknikleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Sırasıyla alev püskürtme tekniği ile elde edilen kaplamaların aşınmadan önceki ve aşınmadan sonraki SEM yüzey fotoğrafları Şekil 5.29 ve 5.30'da, plazma püskürtme tekniği ile elde edilen kaplamaların aşınmadan önceki ve sonraki fotoğrafları 5.31 ve 5.32'de gösterilmiştir. Şekil 5.29a'da alev püskürtme tekniği ile yapılan Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik

kaplamanın aşınma deneyi yapılmadan önce yüzeyinden alınan SEM mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraftan da görüldüğü gibi porozitelere ve orjinal (ergimemiş toz taneleri) tane boyut ve şekillerine sahip kaplamaları ihtiva etmektedir. Aynı zamanda mikroçatlaklar da seramik kaplama üzerinde dağılmıştır. Dolayısıyla kaplama yüzey morfolojisi düzensiz bir görünüm vermektedir. 5.29b Şekli ise aynı seramik kaplamanın aşınma deneyinden sonraki görüntüsünü vermektedir. Şekilden görüldüğü gibi yüzeydeki orjinal görünümlü taneler aşınma sonrası yüzeyden uzaklaşmış matrikste mikroçatlak boyutları daha belirginleşmiştir. Aşınan yüzey altında dahi ergimemiş oluşumlar görülebilmektedir.



a)

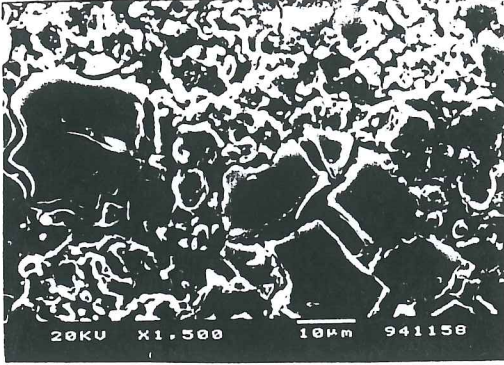


b)

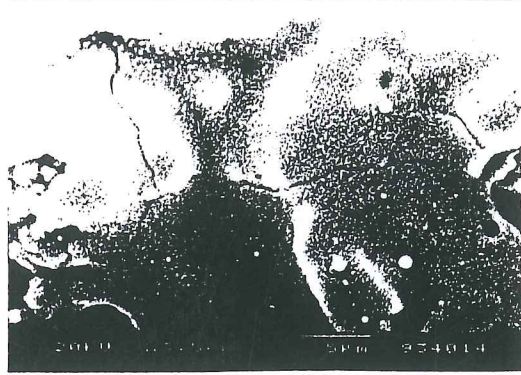
Şekil 5.29 Alev püskürtme tekniği ile yapılan Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların SEM yüzey fotoğrafları: a) Aşınmadan önce, b) Aşınmadan sonra.

Alev püskürtme tekniği kullanılarak yapılan Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın aşınma deney öncesi SEM yüzey fotoğrafı Şekil 5.30a'da verilmiştir. Seramik kaplama yüzeyinde oldukça fazla orjinal toz boyut ve şekillerine sahip tanecikler bulunmaktadır. Kısmen poroziteli ve mikroçatlaklı görüntüde, kaplama yüzeyi düzensiz dağılımlıdır.

Aynı kaplamanın aşınma sonrası görüntüsü Şekil 5.30b'de verilmiştir. Aşınma öncesi görüntüye nazaran daha yüksek büyütme ile verilen fotoğrafta geniş matriks kaplama yüzeyleri düzlemselleşmiştir. Yüzey mikroçatlak ve yer, yer poroziteler ihtiva etmektedir. Aşınma öncesi durumuna nazaran yüzey topografyası göreceli olarak daha düzgündür.



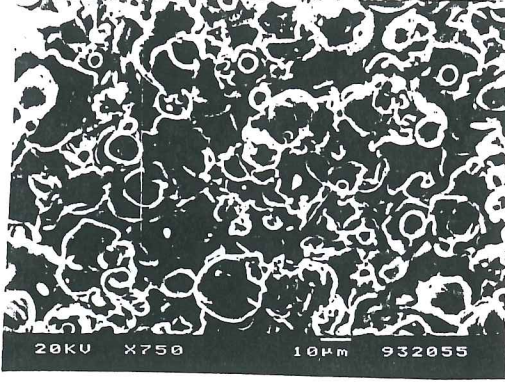
a)



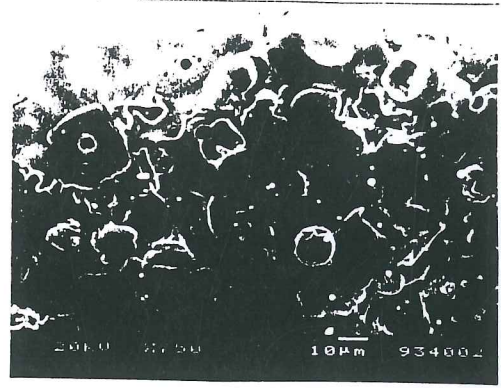
b)

Şekil 5.30 Alev püskürtme tekniği ile yapılan Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların SEM yüzey fotoğrafları: a) Aşınmadan önce, b) Aşınmadan sonra.

Plazma püskürtme ile yapılan Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların aşınma öncesi yüzey fotoğrafı Şekil 5.31a'da verilmiştir. Üst üste binmiş tabakalı kaplama görüntüsünde porozite miktarının fazla olmasına karşılık orjinal tane boyutu ve şeklini hatırlatacak taneçikler görülmektedir. Mikroçatlaklar oldukça az miktardadır. 5.31b Şekli ise 5.31a şeklinin aşınmadan sonraki halini vermektedir. Aşınmadan önceki haline nazaran yüzey morfolojisi daha net bir topoğrafya vermektedir. Poroziteler aşınmadan önceki haline nazaran az miktarda da olsa bulunmaktadır. Aşınma öncesi düzensiz küçük partiküller aşınma sonrası yapıdan uzaklaşmıştır.



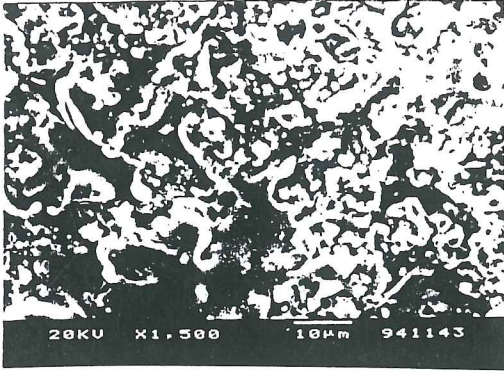
a)



b)

Şekil 5.31 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamaların SEM yüzey fotoğrafları: a) Aşınmadan önce, b) Aşınmadan sonra.

Plazma püskürtme tekniği ile yapılan diğer tip (Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2) seramik kaplamanın aşınma öncesi Şekli 5.32a'da verilmiştir. Yapı düzensiz dağılımlı taneçikler ihtiva etmektedir. Poroziteler değişik boyutta yüzey morfolojisi vermektedir. Bunun yanında mikroçatlaklara rastlanamamıştır. Şekil 5.32b plazma püskürtme tekniği ile yapılan Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın aşınma deneyi sonrası daha yüksek büyütmedeki yüzey mikroyapı görüntüsünü vermektedir. Geniş matriks düzlem üzerinde düzensiz dağılımlı taneçikler ortadan kalkmıştır. Poroziteler kısmen görülmektedir. Kaplama yüzey topoğrafyası aşınma öncesi durumuna nazaran daha düzgündür. Mikroçatlaklara rastlanamamıştır.



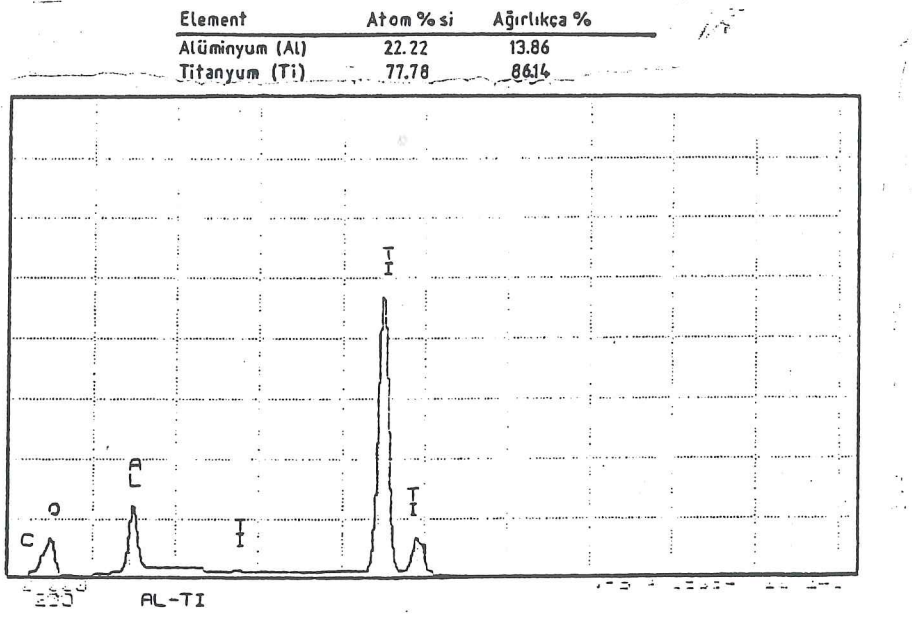
a)



b)

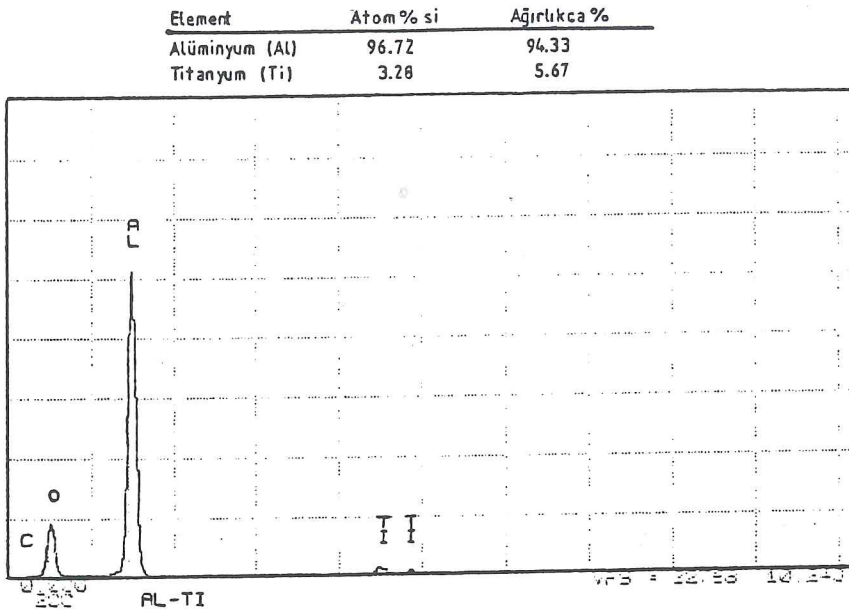
Şekil 5.32 Plazma püskürtme tekniği ile yapılan Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamaların SEM yüzey fotoğrafları:a) Aşınmadan önce, b) Aşınmadan sonra.

SEM (tarama elektron mikroskobu) ile yapılan mikroyapı incelemeleriyle beraber mikroanalizler yapılmıştır. Elementel seviyede analiz yapılarak fotoğraflarla da ilişkilendirilmiştir. Şekil 5.33'de verilen analiz Şekil 5.31b'de verilen fotoğraftaki görüntüden alınmıştır. Matrikste açık renkli (beyaz ve beyaza yakın yuvarlak şekilli) bölgeler analizden de anlaşılacağı gibi titanyum elementidir. Bu titanyum elementinin kaplamadaki bileşik hali TiO_2 'dir.



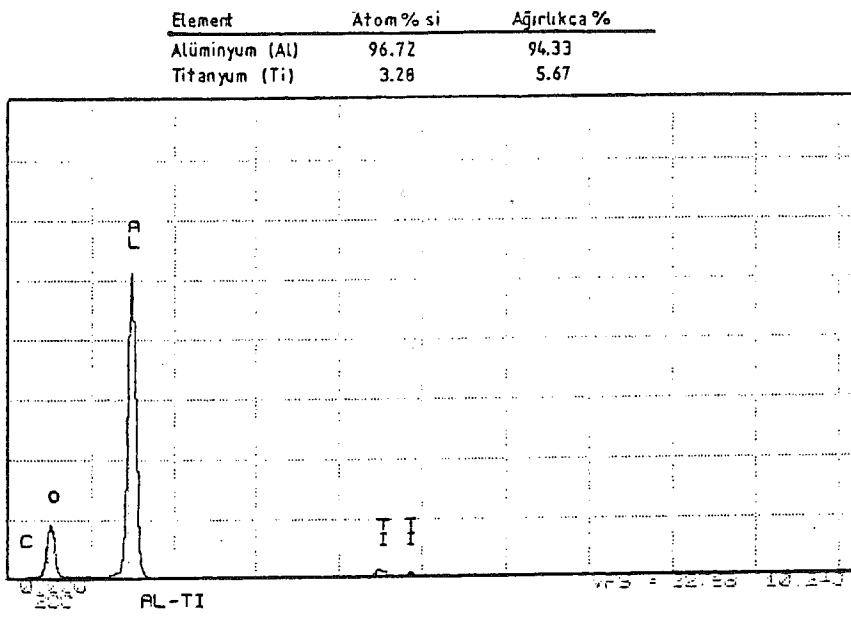
Şekil 5.33 SEM ile Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın Ti'ca zengin bölgesinden alınan analiz.

Şekil 5.34 ise Al_2O_3 'den alınma analiz sonucudur. Matriks diye de ifade edilen şekildeki koyu renkli bölgelerden alınan bu analiz için Şekil 5.29a'daki fotoğrafın görüntülediği kaplama esas alınmıştır.



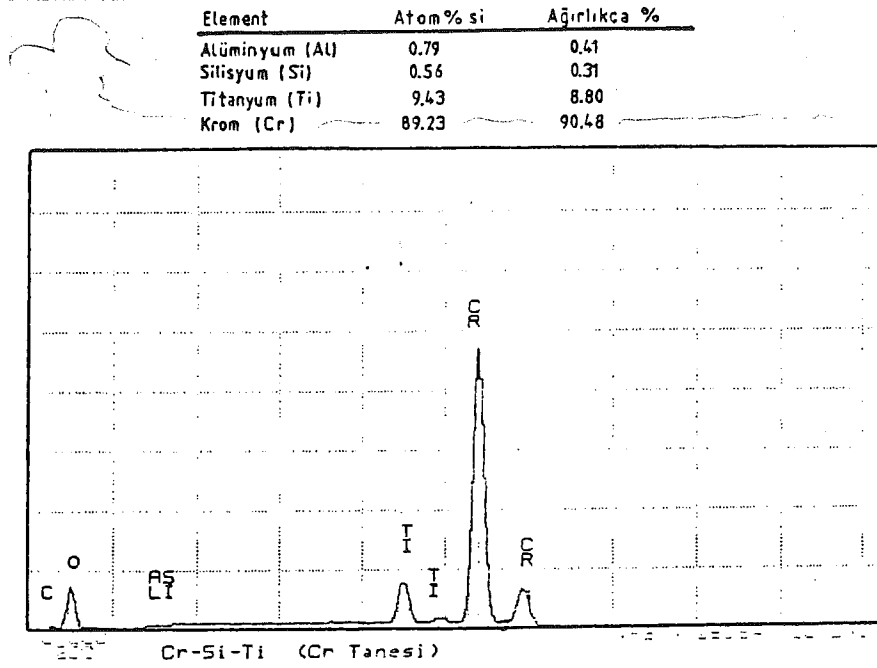
Şekil 5.34 SEM ile Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın Al'ca zengin bölgesinden alınan mikroanaliz.

Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 ile yapılan kaplamaların analizi sırasıyla Şekil 5.35 ve 5.36'de verilmiştir. Şekil 5.35'deki analiz Cr miktarı zengin bölgede yapılmıştır. Bileşik hali Cr_2O_3 SEM analizinde sadece Cr olarak değerlendirilmektedir. 5.36 Şekli ise Si miktarı yüksek bölgeden alınmıştır. Şekil 5.36'de verilen analiz sonucunda eser miktarda Na, Al, Ca, Mg ve Fe tesbit edilmiştir. Şekil 5.32'deki fotoğrafta görülen kaplamadan alınan analizde Si bölgesi sağ orta taraftaki koyu renkli bölgedir. Eser miktardaki elementler de aynı bölgeden alınmıştır. Si burdaki kaplama içinde SiO_2 halindedir.

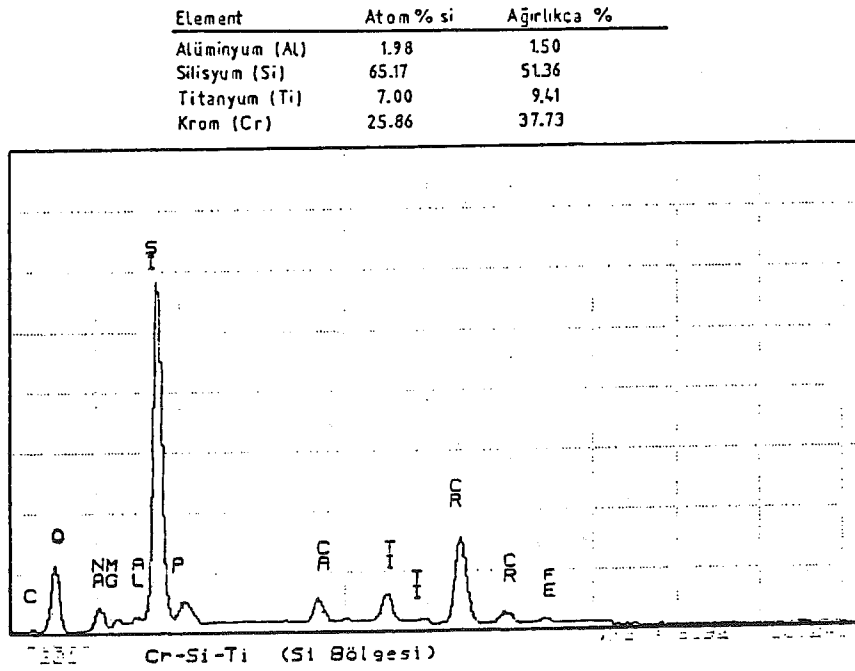


Şekil 5.34 SEM ile Al_2O_3 -%13 TiO_2 seramik kaplamanın Al'ca zengin bölgesinden alınan mikroanaliz.

Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 ile yapılan kaplamaların analizi sırasıyla Şekil 5.35 ve 5.36'de verilmiştir. Şekil 5.35'deki analiz Cr miktarı zengin bölgede yapılmıştır. Bileşik hali Cr_2O_3 SEM analizinde sadece Cr olarak değerlendirilmektedir. 5.36 Şekli ise Si miktarı yüksek bölgeden alınmıştır. Şekil 5.36'de verilen analiz sonucunda eser miktarda Na, Al, Ca, Mg ve Fe tesbit edilmiştir. Şekil 5.32'deki fotoğrafta görülen kaplamadan alınan analizde Si bölgesi sağ orta taraftaki koyu renkli bölgedir. Eser miktardaki elementler de aynı bölgeden alınmıştır. Si burdaki kaplama içinde SiO_2 halindedir.



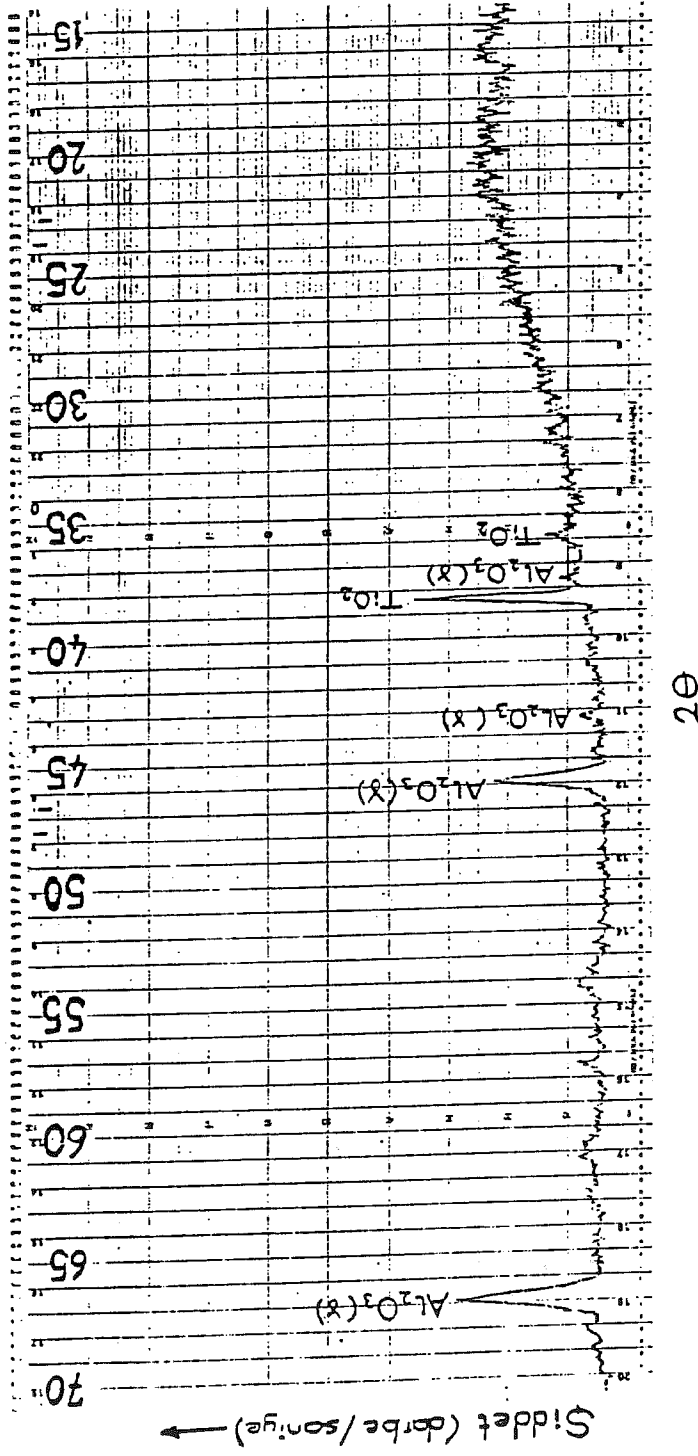
Şekil 5.35 SEM ile Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın Cr'ca zengin bölgesinden alınan mikroanaliz.



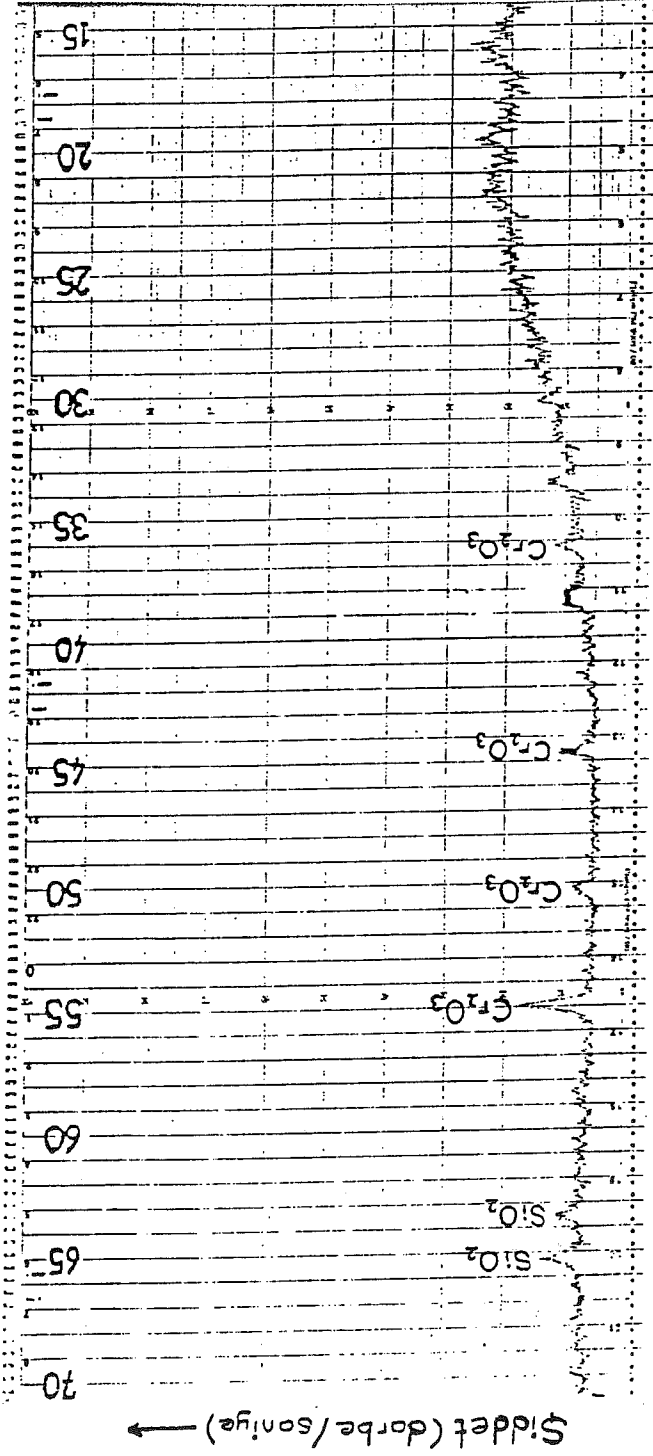
Şekil 5.36 SEM ile Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamanın Si'ca zengin bölgesinden alınan mikroanaliz.

5.5 Seramik kaplamalarda X-ışınları incelemeleri:

Deneylerde 2 tip seramik kaplama tekniği kullanılmıştır. Plazma püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamalardan elde edilen bağ mukavemeti, aşınma ve mikrosertlik deney sonuçları alevle püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamalara uygulanan deney sonuçlarından daha üstündür. Bu nedenle X-ışınları incelemeleri plazma püskürtme tekniği ile uygulanan seramik kaplamalar üzerinde yapılmıştır. Kullanılan 2 tip seramik kaplama tozundan (Al_2O_3 -%13 TiO_2 ve Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2) plazma püskürtme tekniği ile uygulanan seramik kaplamalardan; alınan X-ışınları difraksiyon paternleri Şekil 5.37 ve 5.38'de verilmiştir. Şekil 5.37 Al_2O_3 -%13 TiO_2 ve Şekil 5.38'de Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 seramik kaplamalar yapıldıktan sonraki kaplama yüzeyinden alınan X-ışınları difraksiyon paternlerini göstermektedir. Bu X-ışınları difraksiyon paternlerinin incelenmesi sonucu Al_2O_3 -%13 TiO_2 'daki α - Al_2O_3 'nın γ - Al_2O_3 'ya dönüştüğü tesbit edilmiştir. Bu faz dönüşümü literatüre uygundur [5,21]. Diğer seramik kaplama tozu olan Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 ile yapılan kaplamalarda herhangi bir faz dönüşümüne rastlanmamıştır.



Şekil 5.37 Al_2O_3 -13% TiO_2 seramik malzemenin kaplama yapıldıktan sonra X-ışınları difraksiyon paterni.

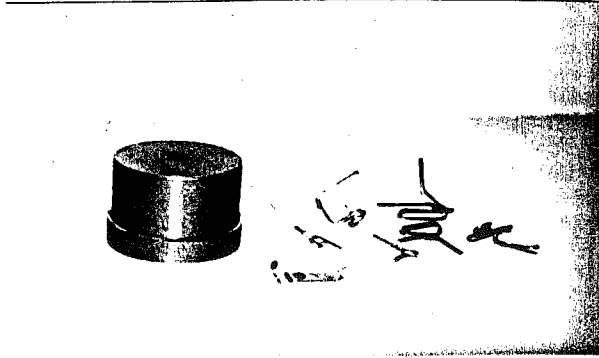


Şekil 5.38 Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ seramik malzemenin kaplama yapıldıktan sonra X-ışınları difraksiyon paterni.

5.6 Seramik Kaplamaların Servis Şartlarındaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi ve Sonuçlar:

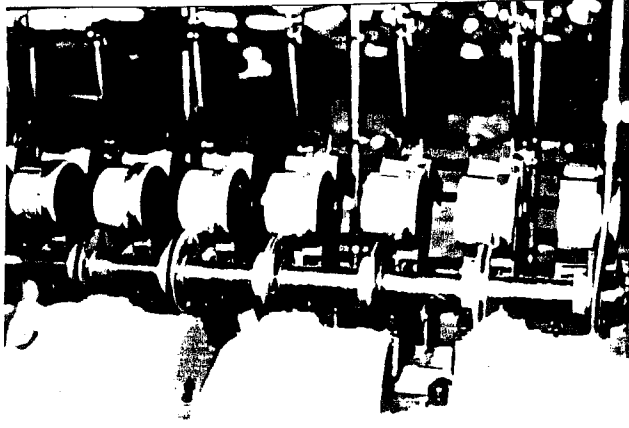
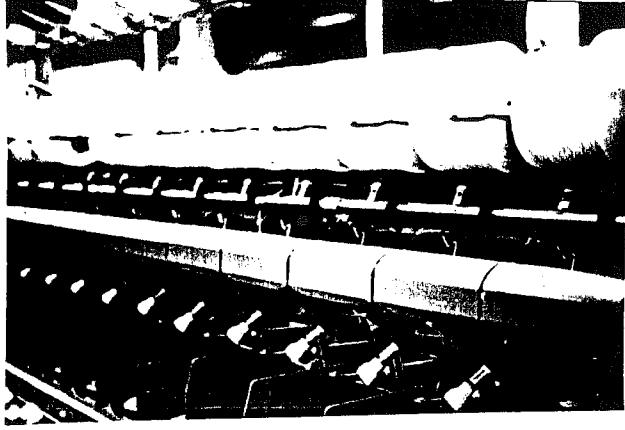
Servis şartlarında aşınma özelliklerinin incelenmesinde tekstil endüstrisi için karar verilmiştir. Yurdumuzun önemli bir endüstrisini teşkil etmesi ve tekstil endüstrisinde aşınmaya maruz elemanların olması böyle bir karar için etkili olmuştur.

Altınıyıldız Tekstil fabrikasında özellikle ipliklerin geçtiği ve aşınmaya maruz kalan ön büküm galet kasnakları, domuz kuyrukları (tekstilde teknik literatüre geçmiş bir parça ismi), iplik klavuzları, barabanlar, sevk silindirleri tesbit edilmiştir. Şekil 5.39'da aşınmaya maruz parçaların fotoğrafları bir arada görülmektedir. Şekil 5.40'da ise aynı parçaların servis şartlarındaki (seramik kaplama uygulanmamış) fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.39 Seramik kaplama uygulanmamış aşınmaya maruz tekstil parçalarından bir grup.

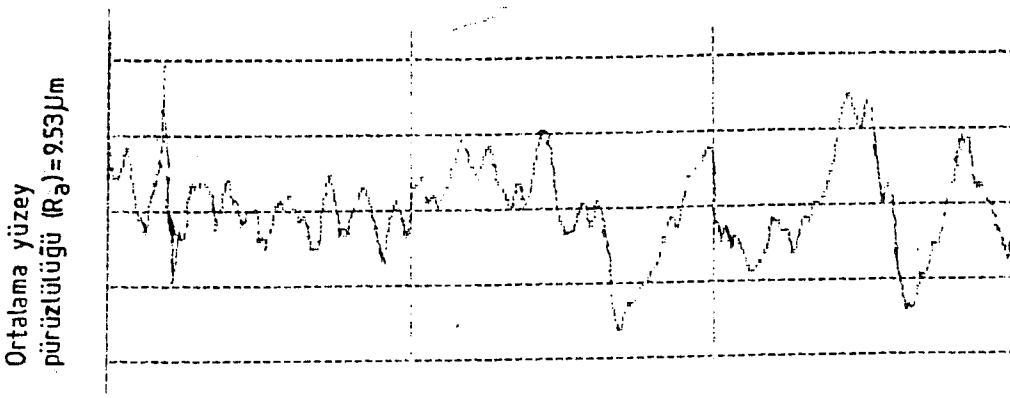
Bu tekstil parçalarından özellikle ekonomik değeri fazla olan galet kasnakları tercih edilmiştir. İpliği yönlendirmesi ve ipliği itme ve çekmeye karşı regülatör görevi görmesi bu parçaların önemini artırmaktadır. Galet kasnakları yüzeylerinde üzerinden geçen ipliğin sebep olduğu aşınmayı önlemek amacıyla seramikle kaplanmasına karar verilmiştir. İki tür seramik kaplama tekniği olan alevle püskürtme ve plazma püskürtme teknikleri kullanılarak iki tip seramik malzeme Al_2O_3 -%13TiO₂ ve Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ galet kasnakları yüzeyine kaplanmıştır. Laboratuvar şartlarındaki deneyler sonucu elde edilen optimum kaplama parametrelerinde kaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5.40 Sramik kaplama uygulanmamış servis şartlarında aşınmaya maruz tekstil parçaları (en üstte iplik klavuzları, ortada galet kasnakları, en alttaki fotoğraf ise barabanlardır).

Laboratuvar şartlarında optimum kaplama parametreleri deneylerle tesbit edilmiştir. Kaplama kalınlığı açısından ara bağlayıcı kaplama kalınlığının 150 μm , seramik kaplama kalınlığının ise 200 μm civarında olduğu kalınlıklar optimum kaplama kalınlıklarıdır. Püskürtme parametreleri Tablo 4.3 ve 4.4 ile aynıdır.

Seramik kaplama yapılmadan önce galet kasnaklarının aşınan yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Şekil 5.41'de görüldüğü gibi seramik kaplamadan önce yüzey pürüzlülük değeri oldukça yüksektir (ortalama pürüzlülüğü yani $R_a = 9.53 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür). Ölçümler Mitutoyo Surfest 201 perthometer yüzey pürüzlülük ölçme cihazıyla yapılmıştır.



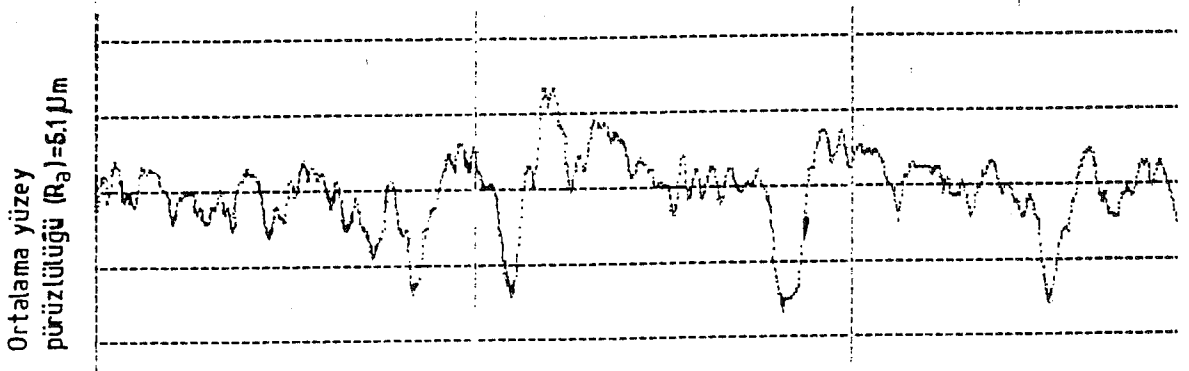
Şekil 5.41 Aşınmaya maruz kalmış galet kasnaklarından alınan ortalama yüzey pürüzlülük grafiği.

Altınyıldız tekstil fabrikasına dört adet galet kasnağı ikişer gurup halinde kaplanmış ve 12 Ekim 1993 ve 18 Ekim 1993 tarihlerinde servise konmuştur. Şekil 5.42 seramik kaplanmış galet kasnaklarının servis şartlarındaki fotoğrafı görülmektedir.

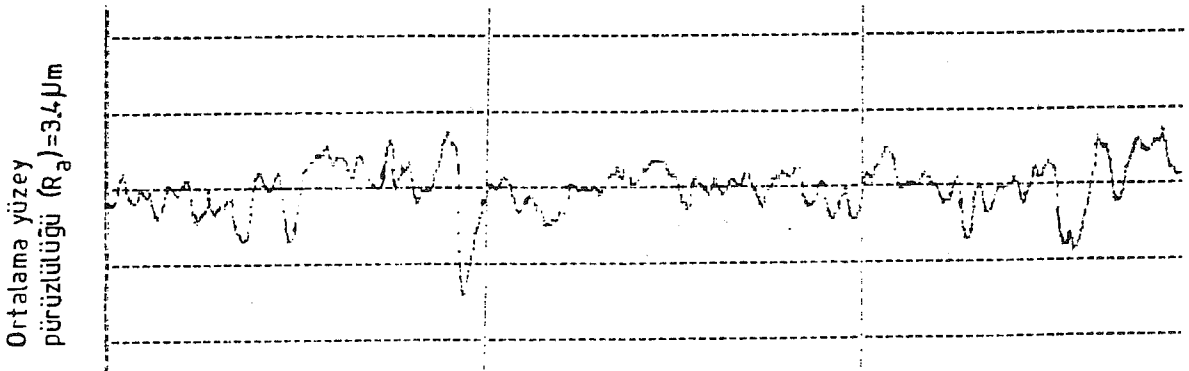


Şekil 5.42 Servis şartlarında seramik kaplanmış galet kasnaklarının görüntüsü (sağdaki dört parça).

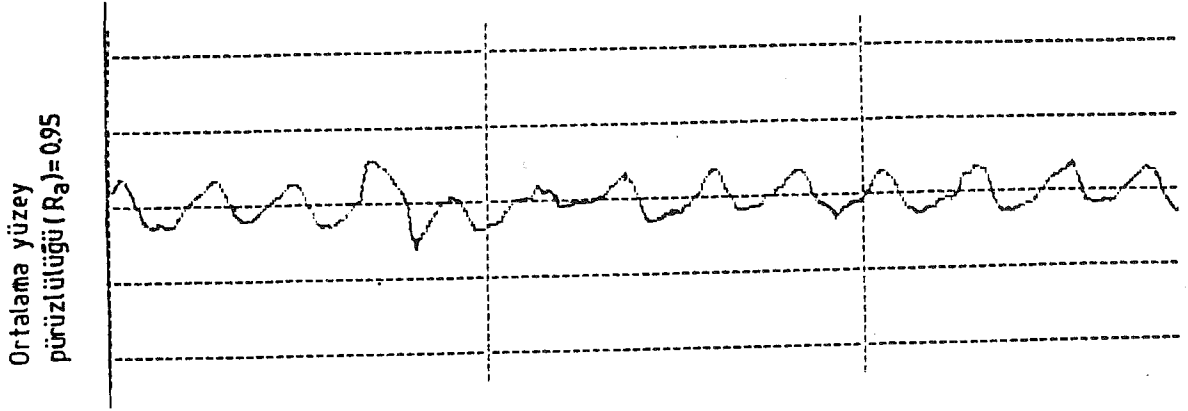
Alev ve plazma püskürtme teknikleriyle yapılan kaplamalar gösterim kolaylığı açısından belli kısaltmalarla ifade edilmiştir. Alev püskürtme tekniği ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için AA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için AC kısaltmaları; Plazma püskürtme ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için PA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için PC kısaltmaları uygun görülmüştür. Kaplama öncesi yapılan ağırlık ölçümlerinde AA 390.024 gr, AC 389.033 gr, PA 387.964 gr, PC 391.008 gr olarak ölçülmüştür. Servis şartlarına konmadan önce galet kasnaklarından alınan yüzey pürüzlülük değerleri ise AA için Şekil 5.43'de ($R_a = 5.1\mu m$), AC için Şekil 5.44'de ($R_a = 3.4\mu m$), PA için Şekil 5.45'de ($R_a = 0.95\mu m$) ve PC için Şekil 5.46'da ($R_a = 0.21\mu m$) verilmiştir.



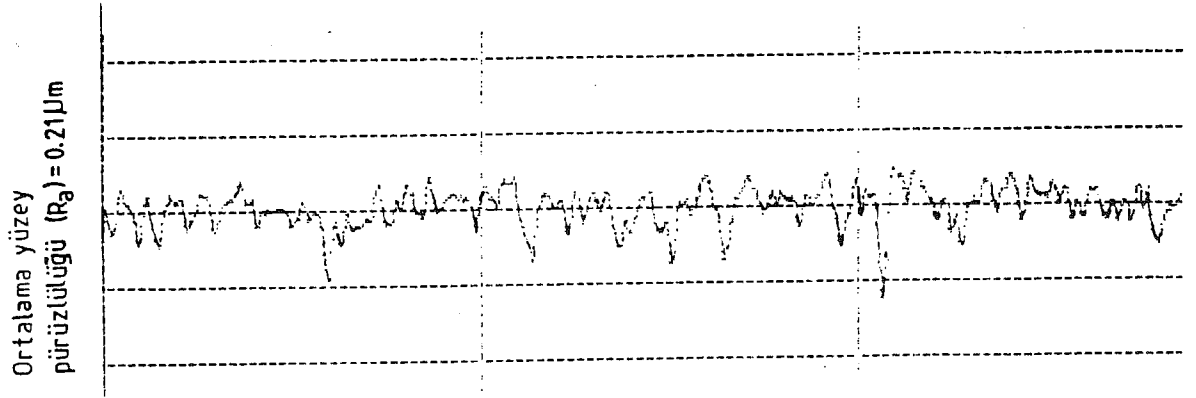
Şekil 5.43 Alev püskürtme tekniği ile Al_2O_3 -%13 TiO_2 kaplanan galet kasnaklarının ortalama yüzey pürüzlülük grafiği.



Şekil 5.44 Alev püskürtme tekniği ile Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 kaplanan galet kasnaklarının ortalama yüzey pürüzlülük grafiği.



Şekil 5.45 Plazma püskürtme tekniği ile Al_2O_3 -%13 TiO_2 kaplanan galet kasnaklarının ortalama yüzey pürüzlülük grafiği.



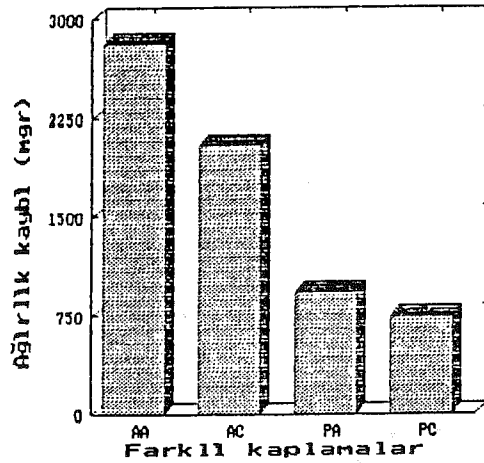
Şekil 5.46 Plazma püskürtme tekniği ile Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 kaplanan galet kasnaklarının ortalama yüzey pürüzlülük grafiği.

Seramik kaplanmış galet kasnaklarından belli periyotlarda aşınma nedeniyle ağırlık ölçüm değerleri alınmıştır. Tablo 5.3 ağırlık ölçüm zamanlarını ve miligram (mgr) cinsinden ağırlık değerlerini vermektedir.

Tablo 5.3 Seramik kaplanmış galet kasnaklarının servis şartlarında belirli periyotlarda alınan ağırlık mgr cinsinden ölçülmüştür. Alev püskürtme tekniği ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için AA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için AC kısaltmaları; Plazma püskürtme ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için PA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için PC kısaltmaları kullanılmıştır.

Ölçüm Tarihleri	Kaplama Tipleri			
	AA	AC	PA	PC
Servise konmadan yapılan ilk ölçüm	419434 mgr	426348 mgr	423676 mgr	431885 mgr
Serviste üç ay sonraki ölçüm	417721 mgr	425136 mgr	422989 mgr	431329 mgr
Serviste altı ay sonraki ölçüm	417116 mgr	424724 mgr	422795 mgr	431173 mgr
Serviste dokuz ay sonraki ölçüm	416841 mgr	424483 mgr	422772 mgr	431159 mgr
Serviste oniki ay sonraki ölçüm	416659 mgr	424331 mgr	422756 mgr	431148 mgr
Serviste ondört ay sonraki ölçüm	416627 mgr	424305 mgr	422718 mgr	431143 mgr

Ölçümlere dayanarak toplam ondört aylık süre zarfında servis şartlarındaki seramik kaplanmış galet kasnaklarının toplam ağırlık kayıpları farklı tipte kaplamalar cinsinden Şekil 5.47'de verilmiştir.



Şekil 5.47 Farklı tipte ve farklı tekniklerle seramik kaplanmış galet kasnaklarının yaklaşık ondört ay sonunda servis şartlarındaki toplam ağırlık kayıpları mukayesesi. Alev püskürtme tekniği ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için AA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için AC kısaltmaları; Plazma püskürtme ile kaplanan Al_2O_3 -%13 TiO_2 için PA, Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 için PC kısaltmaları kullanılmıştır.

BÖLÜM 6

TARTIŞMA

Seramik kaplama işlemleri, seramik kaplama işlemleri öncesi yapılan hazırlıklar ve seramik kaplama tozları ile kaplanacak malzemenin karakterizasyonu 4. bölümde yapılmıştır. Elde edilen veriler 5. bölümde seramik kaplamalara uygulanan deneylerin sonuçları için ayrı birer değerlendirme niteliğinde olacaktır.

Seramik kaplamalara uygulanan deneysel çalışmaları kapsayan 5.bölüm; bağ mukavemeti, mikrosertlik, aşınma deneylerini ve SEM (taramalı elektron mikroskop), X-ışınları incelemeleri ile seramik kaplamaların servis şartlarındaki aşınma özelliklerinin incelenmesi olmak üzere altı alt bölümü ihtiva etmektedir.

Bağ mukavemeti deneyi için standarda göre hazırlanan numuneler çekme yükü altında koparılmaya kadar çekilmiştir. Seramik kaplanmış numunelerin deneye tabi tutulmadan önce kullanılan yapıştırıcının seramik kaplamaların bağ mukavemeti (veya bağlanma mukavemeti diye de ifade edilebilir) değerlerinden çok daha yüksek değere sahip olması gerekir. Aksi takdirde kopmalar düşük bağ mukavemeti değerlerine sahip yapıştırıcıdan (epoksi veya araldite tip) olabilir. Kullanılan yapıştırıcı deneye tabi tutulmuş ve Şekil 5.4'de gösterilen grafik elde edilmiştir. Şekil 5.4'den görüldüğü gibi maksimum gerilme değeri 25000 kPa civarındadır. Seramik kaplamalara uygulanan bağ mukavemeti öncesi Şekil 5.3'de deney numunesinin şematik görünüşünde deney parçasının kısımları ve kopma tipleri verilmiştir. Zira bu kopma tipleri seramik kaplanmış numunelerin deney sonrası bağ mukavemeti grafiklerinin ve kopma yüzey fotoğraflarının değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. Sırasıyla şekil ve tablolar incelendiğinde Şekil 5.5 kullanılan yapıştırıcının kopma yüzey fotoğrafını vermektedir. Sadece yapıştırıcı kullanılarak gerçekleştirilen bu deneyde yapıştırıcının Şekil 5.3'de verilen kopma tipleriyle değerlendirmek doğru değildir. 5.5 Şekli sadece yapıştırıcı kullanımı halinde kopma yüzey görüntüsü için verilmiştir.

Deneylerde seramik kaplama tekniği olarak alev püskürtme ve plazma püskürtme teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan 2 değişik tip seramik kaplama tozu (Al_2O_3 -%13TiO₂ ve Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂) NiAl ara bağlayıcı olmaksızın ve NiAl ara bağlayıcı varken uygulanmıştır. Bu iki tozun seçilme nedeni aşınmaya dayanım amaçlı yeni geliştirilmekte olan tozlar olmasından dolayıdır. Yapılan kaplamalar değişik kaplama kalınlıklarına sahiptir. Kullanılan seramik kaplama tozlarının ve NiAl ara bağlayıcının toz morfolojilerini gösterir SEM ile çekilmiş fotoğraflar Şekil 4.1'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de seramik kaplama yapılmadan ve seramik kaplanmış halde yüzey pürüzlülük değerleri (ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra ile ifade edilmiştir) verilmiştir.

5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13'de verilmiştir. Deneyden sonraki kopma yüzey fotoğrafları Şekil 5.14 ve 5.15'de verilmiştir. Şekil 5.3 kopma tiplerinin değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. Şekil 5.6 alev püskürtme tekniği ile ara bağlayıcı kullanmadan yapılan Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın Gerilme (kPa) - Uzama (µm) grafiklerini vermektedir. Değişik kalınlıklarda yapılan kaplamalardan alınan gerilme değerlerinde 220 µm kaplama kalınlığındaki "b" grafiği en yüksek gerilme değerini vermiştir. Yani malzeme bu değerde kopmuştur. Buna karşın "f" grafiği en düşük gerilme değerindedir. Şekil 5.7 Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamanın yine alev püskürtme tekniği kullanılarak ve ara bağlayıcı olmaksızın elde edilen grafiklerini vermektedir. Burada da "b" ve "c" grafikleri en yüksek gerilme değerlerine sahip iken "e" grafiği en düşük gerilme değerindedir. Kaplama kalınlıkları "b" için 200 µm, "c" için 220 µm, "e" için 510 µm olarak uygulanmıştır.

Şekil 5.8 ise Şekil 5.6'daki uygulamanın ara bağlayıcı ile yapılması halinde elde edilen grafiklerdir. Şekil 5.8 "a ve e" grafikleri en yüksek gerilme değerlerini iltiva etmektedir. "a ve e" grafikleri 110 µm ve 250 µm kaplama kalınlıklarına sahiptir. Şekil 5.9 Şekil 5.7'nin ara bağlayıcı varken elde edilen grafikleridir. Şekil 5.9a grafiği 140 µm 5.9b grafiği 215 µm seramik kaplama kalınlıklarıyla en yüksek gerilme değerlerinde kopma gösteren kaplamalardır. 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13 şekilleri yukarıdaki kaplamaların plazma püskürtme tekniği kullanılarak elde edildiği grafiklerdir.

Ara bağlayıcı olmaksızın plazma püskürtme tekniğiyle kaplanan Al_2O_3 -%13TiO₂ seramik kaplamanın en yüksek gerilme değerleri 5.10a grafiğinde elde edilmiştir. 5.11 şeklinde ise en yüksek gerilme değeri "a" grafiğinde elde edilmiş olup kaplama kalınlığı 180 µm'dir. Plazma püskürtme tekniği ile ara bağlayıcı seramik kaplamalar Al_2O_3 -%13TiO₂ için 5.12 Şekli, Cr₂O₃-%5SiO₂-%3TiO₂ için ise 5.13 Şekli elde edilmiştir. Şekil 5.12c grafiği ve Şekil 5.13c grafiği en yüksek gerilme değerlerinin elde edildiği grafikler olmuştur. Tüm şekillerde en yüksek kopma gerilmesi gösteren grafikler 200 µm civarındaki seramik kaplama kalınlıklarına sahip grafiklerdir. Kaplama kalınlıkları açısından literatüre uygunluk göstermektedir [65,73,74].

Kopma yüzey fotoğrafları 5.14 ve 5.15 Şekillerinde verilmiştir. Bağ mukavemeti deneyleri sonrası alınan bir kısım kopma yüzey fotoğraflarından 5.14 Şekli alev püskürtme tekniği ile elde edilenleri vermektedir. 5.14 "a,b,c,f" kohezif kopmalar; 5.14 "d,e" adhezif kopmalar olarak tesbit edilmiştir. 5.15 Şeklinde gösterilen yüzey kopma tiplerinden "a,b,c,e,h" kohezif kopmalar; 5.15 "d,f,g,i" adhezif kopmalar olarak tesbit edilmiştir. Kopma tiplerinin belirlenmesinde Şekil 5.3'de verilen şematik görünüş esas alınmıştır. Seramik kaplama kalınlıkları da dikkate alınarak Şekil 5.6'dan 5.13'e kadarki Gerilme-Uzama diyagramları incelendiğinde kohezif kopma gösteren deneylerdeki uzama miktarlarının adhezif kopmadaki uzama miktarlarından daha yüksek olduğu tesbit edilmiştir.

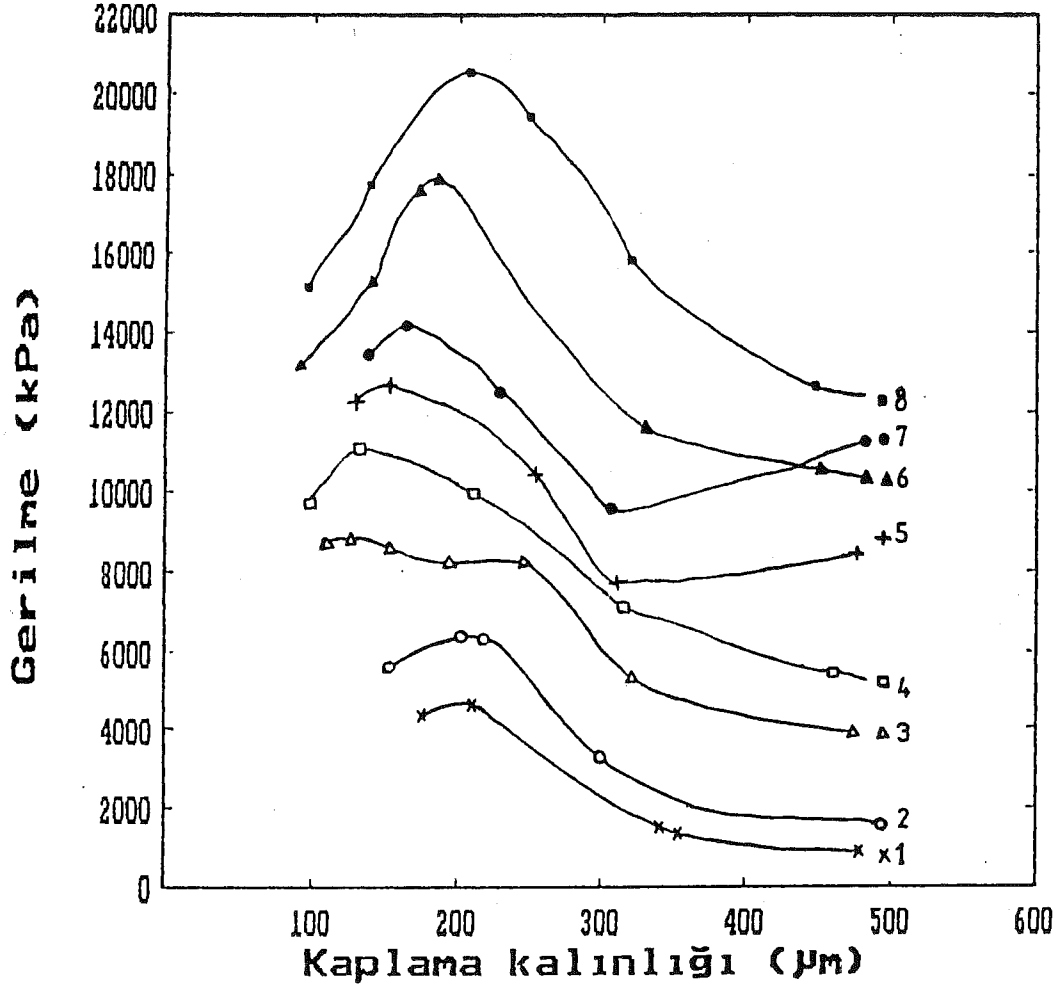
kopmadaki uzama miktarlarından daha yüksek olduğu tesbit edilmiştir.

Plazma püskürtme tekniği kullanılarak Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2 ile yapılan seramik kaplamalarda daha iyi sonuçlar alınmıştır. Özellikle ara bağlayıcı kullanılarak yapılan seramik kaplamalarda 200 μm civarında seramik kaplama kalınlığına sahip olanlar en yüksek bağ mukavemeti davranışı (en yüksek gerilme şeklinde değerlendirilebilir) göstermişlerdir. Kaplama kalınlığının artmasıyla bağ mukavemetinin ani düşüşü de genel olarak gözlemlenen bir durumdur. Bağ mukavemetindeki bu ani düşüş; tabakalar arasındaki büzülme gerilmelerinin hızlı bir artışı ile açıklanabilir.

Çekoslovak yazarlarının [81,82] ve diğer yazarların [83] seramik kaplamalarla ilgili deneysel olarak buldukları bağ mukavemeti değerleri büyük farklılıklar ihtiva etmektedir. Bağ mukavemeti açısından alevle püskürtmeye kıyasla plazma püskürtmeyle yapılan kaplamaların en yüksek bağ mukavemetine ulaştığı değerleri literatür ve bu alanda yapılan çalışmalar doğrulamaktadır [64,65].

Literatürde seramik kaplama ile metalik yüzeyler arasındaki bağlanma prensibi deneysel sonuçların yetersizliği yüzünden tam olarak aydınlatılamamıştır. Seramik kaplamaların bağ mukavemeti değerleri, metalik kaplamaların bağ mukavemeti değerlerinden oldukça düşüktür. Meyer'e göre [83] seramik kaplamaların maksimum bağ mukavemeti değerleri 5900 kPa civarındadır. Grisaffe Al_2O_3 -%2.5 TiO_2 seramik kaplamalar üzerinde yaptığı çalışmada maksimum bağ mukavemeti değerinin 3920 kPa olduğunu bulmuştur [84]. Başka bir yazar [85] saf alüminadan elde edilen bağ mukavemeti değerlerinin stabilize edilmiş alüminadan elde edilen değerlerden daha az olduğunu deneysel olarak gözlemiştir. Ara bağlayıcı olmadan yapılan seramik kaplamalarda bağ mukavemeti değerleri ara bağlayıcı varken yapılan seramik kaplamalardan düşüktür. Bunu NiAl ara bağlayıcı ile alt yüzey ana malzeme ve üst yüzey seramik kaplama arasındaki adhezyonun kuvvetli olması şeklinde açıklayan görüşler vardır [10,35,75]. Kaplama işlemi sırasında Ni ve Al arasında oluşan ekzotermik reaksiyon sonucu ortaya çıkan ilave enerjinin kaplama mekanizmasına ilave mukavemet olduğunda ileri sürülmüştür [81,86].

Şekil 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22 ve 5.23 seramik kaplamaların kalınlığa karşı bağlanma gerilme değerlerini gösteren diyagramları vermektedirler. Şekiller incelendiğinde en yüksek bağ mukavemeti değerleri; ara bağlayıcı kullanılarak plazma püskürtme tekniğiyle yapılan Şekil 5.22 ve 5.23'deki kaplamalardan elde edilmiştir. Bu kaplamalar için 200 μm civarındaki seramik kaplama kalınlığı optimum sonucu vermiştir. Diğer şekiller incelendiğinde (5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21) elde edilen bağ mukavemeti değerlerinde aynı uyum tesbit edilememiştir. Şekil 5.18 'deki 250 μm 'lik kaplamadaki sapma; alevle püskürtme tekniğiyle uygulamadan dolayı ortaya çıkan uyumsuzluk için bir örnektir. Bu şekiller Şekil 6.1'de mukayeseli olarak verilmektedir.



Şekil 6.1 Değişik kaplama teknikleri ile yapılan farklı kaplamaların kaplama kalınlığına bağlı gerilme (bağ mukavemeti) değerleri ; 1 nolu eğri ara bağlayıcısız alev püskürtme tekniğiyle yapılan Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$, 2 nolu eğri ara bağlayıcısız alev püskürtme tekniğiyle yapılan Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$, 3 nolu eğri alev püskürtme tekniğiyle yapılan ara bağlayıcı + Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$, 4 nolu eğri alev püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcı + Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$, 5 nolu eğri ara bağlayıcısız plazma püskürtme tekniğiyle yapılan Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$, 6 nolu eğri plazma püskürtme tekniğiyle yapılan ara bağlayıcı + Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$, 7 nolu eğri ara bağlayıcısız plazma püskürtme tekniğiyle yapılan Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$, 8 nolu eğri plazma püskürtme tekniği ile yapılan ara bağlayıcı + Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ seramik kaplamalardır.

Seramik kaplamalara uygulanan mikrosertlik deneyleri sonucunda Tablo 5.1'de gösterilen değerler alınmıştır. Özellikle Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ seramik kaplamayla elde edilen mikrosertlik değerleri her 2 kaplama tekniği (alev ve plazma püskürtme) için de yüksektir. Sırasıyla 5.24 Şekli alev püskürtme ile, 5.25 Şekli ise plazma püskürtme ile elde edilen sertlik değerlerinin mikrosertlik izlerini gösteren fotoğraflardır. Plazma püskürtme tekniği uygulanan kaplamaların mikrosertlik değerleri alevle püskürtme ile yapılan kaplamalardan yüksek çıkmıştır. Alevle püskürtme tekniğine nazaran daha yoğun kaplamaların elde edildiği plazma püskürtme tekniğinin üstünlüğünü ispatlayan bu yaklaşımda literatürlere uygundur [8].

Kullanılan 2 tip seramik kaplamaya pin-on-disk tabir edilen aşınma deneyi uygulanmıştır. Şekil 5.26'da bu deneyin şematik görünüşü verilmektedir. Tablo 5.2'de görüldüğü gibi aşınma deney koşulları aynıdır. Ağırlık kaybı olarak belirlenen aşınma davranışları standarda uygun olarak hacim kaybına çevrilmiştir. Grafikler zamana bağlı hacim kaybı olarak çıkartılmıştır. Şekil 5.27 alev püskürtme, 5.28 ise plazma püskürtme tekniğiyle yapılan seramik kaplamaların zamana bağlı olarak değişen hacim kayıpları cinsinden aşınma davranışlarını vermektedir. 5.27 Şekli incelendiğinde ara bağlayıcılı seramik kaplamalar en iyi aşınma davranışını vermekte, özellikle Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ seramik kaplama en az aşınan seramik kaplama olarak görülmektedir.

Plazma püskürtme tekniği ile elde edilen seramik kaplamaların aşınma davranışlarını gösteren 5.28 Şekli aşınma davranışı açısından 5.27'den daha iyi sonuç vermiştir. 5.28 Şeklinde de özellikle ara bağlayıcılı Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ seramik kaplama en iyi aşınma davranışı göstermiştir.

SEM (tarama elektron mikroskop) ile yapılan mikroyapı inceleme sonuçları Şekil 5.29, 5.30, 5.31 ve 5.32'de verilmiştir. Aşınmadan önce ve aşınmadan sonra her 2 kaplama tekniği ve her 2 seramik kaplama için ayrı ayrı mikroyapı fotoğrafları elde edilmiştir. Alev püskürtme tekniği ile elde edilen Al_2O_3 - $\%13\text{TiO}_2$ seramik kaplamanın aşınma deneyinden önceki SEM mikroyapı fotoğrafı Şekil 5.29'a da görülmektedir. 5.29'daki fotoğraf poroziteler ve orjinal ergimemiş toz tane boyut ve şekillerine sahip kaplamaları ihtiva etmektedir. Mikro çatlaklar da seramik kaplamalar üzerinde dağılmıştır. Düzensiz bir görünüm veren kaplama yüzey morfolojisinde aşınma deneyinden sonra mikroçatlaklar belirginleşmiş ve orjinal görünümlü taneler aşınma deneyi sonrası yüzeyden uzaklaşmıştır. Aşınan yüzeyler altında ergimemiş oluşumlar da görülebilmektedir. 5.30 Şekli incelendiğinde alev püskürtme tekniği ile Cr_2O_3 - $\%5\text{SiO}_2$ - $\%3\text{TiO}_2$ seramik kaplamanın aşınma deneyi öncesi (5.30a) ve aşınma deneyi sonrası (5.30b) SEM yüzey mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Aşınma deneyi öncesi kısmen poroziteli ve mikroçatlaklı görüntüde ve orjinal toz boyutuna sahip tanecikler kaplama yüzeyinde görülmektedir. Aynı kaplamanın aşınma deney sonrası görüntüsü ise aşınma öncesi görüntüsüne nazaran geniş matriks kaplama

yüzeylerinde düzlemselleşme olmuştur. Yüzey mikroçatlaklar ve yer yer poroziteler ihtiva etmektedir.

Şekil 5.29 ve 5.30 alev püskürtme teknikleri ile elde edilen kaplamaların SEM mikroyapı fotoğrafları olup ergimemiş tanecikler ihtiva etmektedir. Dolayısıyla alev püskürtme ile yapılan 2 tip seramik kaplamada da ergime yeterli olmamaktadır. Plazma püskürtme tekniği ile yapılan kaplamaların SEM mikroyapı fotoğrafları Al_2O_3 -%13TiO₂ için Şekil 5.31'de, Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ için Şekil 5.32'de verilmiştir. Şekil 5.31a'da aşınmadan önceki yüzey morfolojisi üst üste binmiş tabakalı görüntü vermekte, poroziteler görülmesine rağmen orjinal toz boyut ve şekillerine rastlanmamıştır. Yani ergime yeterince olmuştur. Mikroçatlaklar az miktarda olsa da mevcuttur. Aşınmadan sonraki halini gösteren 5.31b Şekli ise aşınmadan önceki düzensiz küçük partiküllerin yapıdan uzaklaştığı yüzey morfolojisi olarak net bir topoğrafya vermektedir. 5.32a Şekli aşınmadan önceki düzensiz dağılımlı tanecikleri ihtiva eden fakat mikroçatlaklara rastlanmamış bir yapıyı göstermektedir. Yapıda poroziteler kısmen de olsa mevcuttur. 5.32b Şekli aşınmadan sonraki yüksek büyütmedeki yüzey mikroyapı görüntüsünü vermektedir. Geniş matriks düzlem üzerinde düzensiz dağılımlı tanecikler ortadan kalkmıştır. Poroziteler kısmen görülmektedir. Aşınmadan sonraki görüntüsünde de mikroçatlaklara rastlanamamıştır.

Şekil 5.1 ve 5.2'deki kesit fotoğrafları düşük büyütmede olmasına rağmen 5.29, 5.30, 5.31 ve 5.32 Şekillerine paralellik teşkil edecek şekilde mikroyapı görüntüsü vermektedir. Alev püskürtme tekniği ile yapılan seramik kaplamaların (Şekil 5.1) enine kesit fotoğrafları, plazma püskürtme tekniği ile yapılanlarla karşılaştırıldığında, porozitelere ve mikroçatlaklara sahiptir. Bu da SEM mikroyapı fotoğraflarındaki aşınma öncesi görüntülere uygunluk teşkil etmektedir. SEM mikroanaliz sonuçları Şekil 5.33, 5.34, 5.35 ve 5.36'da verilmiştir. Elementel seviyede yapılan analiz sonuçları seramik kaplama malzemelerinin bileşik halini ortaya çıkartacak şekilde belirlenmiştir.

Seramik kaplama tekniklerinden alevle püskürtme ve plazma püskürtme tekniklerinin kullanıldığı bu çalışmada; aynı seramik kaplama malzemeleri için plazma püskürtme tekniğiyle elde edilen deneysel sonuçlar alevle püskürtme tekniğiyle elde edilenlerden daha üstündür. Bu nedenle X-ışınları incelemeleri plazma püskürtme tekniğiyle elde edilen kaplamalar üzerinde yapılmıştır. X-ışınları difraksiyon paternleri Şekil 5.37 ve 5.38'de verilmiştir. Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ ile yapılan seramik kaplamalarda bir faz dönüşümü olmadığı Şekil 5.38'den alınan difraksiyon paternlerinden de görülmektedir. Al_2O_3 -%13TiO₂ ile yapılan seramik kaplamada ise $\alpha - Al_2O_3$ 'nın $\gamma - Al_2O_3$ 'ya dönüştüğü Şekil 5.37'de tesbit edilmiştir. Bu faz dönüşümü literatüre uygundur [18,30]. Diğer seramik kaplama tozu olan Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ ile yapılan kaplamalarda herhangi bir faz dönüşümü olmamıştır. Yapılan çalışmaların laboratuvar çalışması olmaktan çıkarılıp endüstriyel bir problemi çözmek amacı hedeflenmiştir. Bu amaçla endüstriyel kuruluşlar ile irtibat kurulmuş ve seramik kaplama konusu tanıtılmıştır.

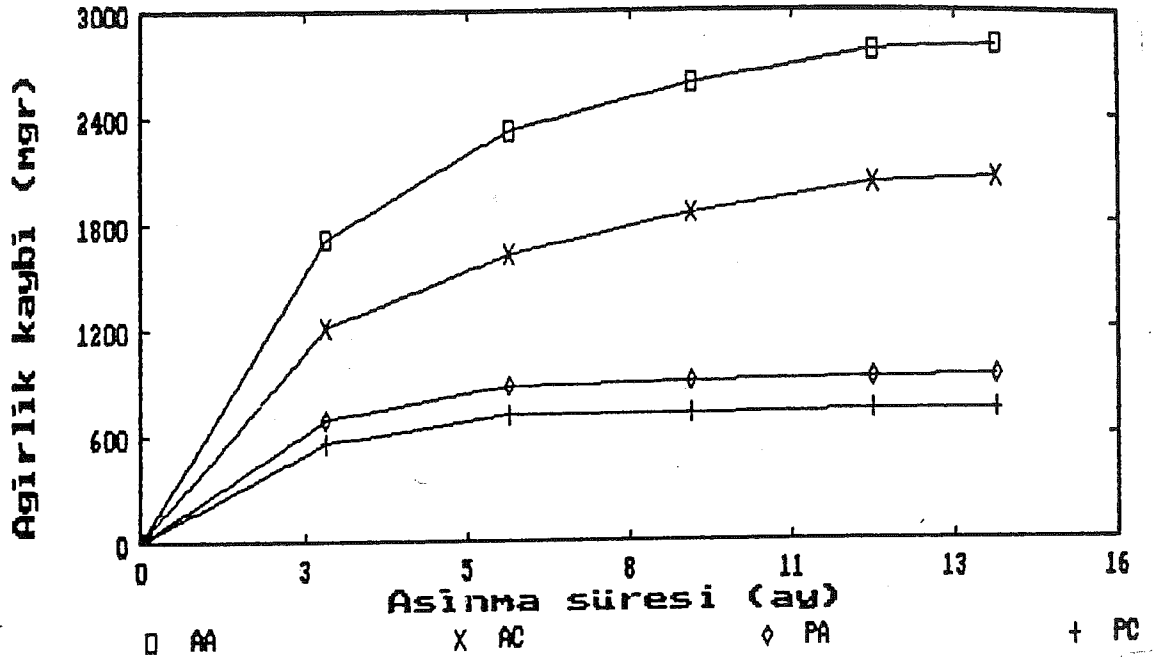
Altınyıldız Tekstil fabrikasında özellikle ipliklerin geçtiği ve aşınmaya maruz kalan ön büküm galet kasnakları, domuz kuyrukları (tekstilde teknik literatüre geçmiş bir parça ismi), iplik klavuzları, barabanlar, sevk silindirleri tesbit edilmiştir. Şekil 5.39'da servis şartlarında (seramik kaplama uygulanmamış) aşınmaya maruz parçaların fotoğrafları görülmektedir. Şekil 5.40'da aynı parçaların bir aradaki fotoğrafı (seramik kaplama uygulanmamış) görülmektedir.

Bu tekstil parçalarından özellikle ekonomik değeri fazla olan galet kasnakları tercih edilmiştir. İpliği itme ve çekmeye karşı regülatör görevi görmesi ve yüzeyinin aşınması neticesinde neden olabileceği kopuş sayısı, tüylenme gibi gidercek artan katma değer hatalarından dolayı yüzeylerinin seramik kaplanması yoluna gidilmiştir. 12 Ekim 1993 ve 18 Ekim 1993 tarihlerinde Altınyıldız Tekstil fabrikasına ikişer gurup halinde seramik kaplanmış galet kasnakları takılmıştır. Bu suretle servis şartlarında da 2 tip seramik kaplamanın aşınma davranışlarını incelemek mümkün olmuştur. Servis şartlarındaki galet kasnaklarına seramik kaplamalar plazma ve alev püskürtme teknikleri kullanılarak ara bağlayıcı (NiAl) + seramik kaplamalar (Al_2O_3 -%13TiO₂ veya Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂) şeklinde uygulanmıştır.

Servis şartlarında kaplanan galet kasnaklarının ağırlık kayıpları da belli periyotlarla ölçülmüştür. Alev püskürtme ve plazma püskürtme ile yapılan kaplamalar gösterim kolaylığı açısından belli kısaltmalarla ifade edilmiştir. Alev püskürtme tekniği ile kaplanan Al_2O_3 -%13TiO₂ için AA, Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ için AC kısaltmaları; Plazma püskürtme ile kaplanan Al_2O_3 -%13TiO₂ için PA, Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ için PC kısaltmaları kullanılmıştır.

Kaplama öncesi yapılan ağırlık ölçümlerinde AA 390.024 gr, AC 389.033 gr, PA 387.964 gr, PC 391.008 gr olarak ölçülmüştür. 12 Ekim 1993 tarihinde kaplanan AA için 419.434 gr, AC için 426.348 gr ve 18 Ekim 1993 tarihinde kaplanan PA için 423.676 gr, PC için 431.885 gr ölçüm değerleri alınmıştır.

12 Ekim ve 18 Ekim 1993 tarihlerinde servise konulan parçalar yaklaşık üçer aylık periyotlarla ölçülmüştür. Tablo 5.3 belirli zamanlarda alınan ağırlık ölçümlerini göstermektedir. 5.47 Şekli servis şartlarında zamana bağlı olarak değişen aşınma davranışlarını farklı kaplamalar için vermektedir. 5.47 Şeklindeki grafikler laboratuvar şartlarındaki aşınma davranışlarını gösteren 5.27 Şeklindeki grafiklerle uyumludur. Yani plazma püskürtme tekniği ile yapılan Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplamalar en iyi aşınmaya direnç sonuçlarını vermiştir. 5.47 Şeklinin bir diğer ifadesi Şekil 6.2 ile verilmektedir. Servis şartlarında farklı kaplamalar için aşınma süresine bağlı olarak değişen ağırlık kaybı cinsinden aşınma davranışını veren 6.2 Şekli ile; uygun kaplama tekniği ve uygun kaplama açıkça görülmektedir.



Şekil 6.2 Seramik kaplanmış galet kasnaklarının servis şartlarında aşınma süresine bağlı olarak değişen ağırlık kaybı cinsinden aşınma davranışı. Burada alev püskürtme tekniği ile kaplanan Al_2O_3 -%13TiO₂ için AA, Cr_2O_3 -%5SiO₂- %3TiO₂ için AC kısaltmaları; Plazma püskürtme ile kaplanan Al_2O_3 -%13TiO₂ için PA, Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ için PC kısaltmaları kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülük grafiklerini gösteren 5.41, 5.43, 5.44, 5.45 ve 5.46 Şekilleri incelendiğinde aşınma davranışındaki sonuçları ve dolayısıyla ipliğin tüylenmesi sonucu iplik kalitesinin bozulmasını açıklar nitelikte ortalama yüzey pürüzlülük değerleri vermektedirler. Mesela 5.41 şekli seramik kaplanmamış ve aşınmaya maruz galet kasnaklarından alınan yüzey pürüzlülük değeri olup ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) cinsinden oldukça yüksektir: 9.53µm. Halbuki seramik kaplanmış ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini veren 5.43, 5.44, 5.45 ve 5.46 Şekilleri incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü aşikardır. Özellikle plazma püskürtme ile Cr_2O_3 -%5SiO₂-%3TiO₂ seramik kaplanmış galet kasnakları en düşük pürüzlülük değerine sahiptir. Bu sonuçlar hem aşınma davranışı hemde iplik yüzey kalitesi için ayrı birer kriterdirler. Laboratuvar şartları için ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerini gösteren 4.3 ve 4.4 Şekillerinde paralellik göstermektedirler.

Halen servis şartlarında bulunan parçalar çalışmakta olup herhangi bir olumsuz netice vermemiştir. Servis şartlarındaki galet kasnaklarının seramik kaplanmış hali Şekil 5.42'de görülmektedir. Mesela aşınma nedeniyle bir-iki ay arasında değiştirilebilen galet kasnaklarının biri için ödenen döviz 20 Mark olarak

hesap edilmiştir. Bir adet galet kasnağının seramik kaplama maliyeti 80 Mark olup ondört aydır kullanılmaktadır. Altıyıldız Tekstil Fabrikasında yüzyirmi adet galet kasnağının çalıştığı düşünüldüğünde ortaya çıkan rakam küçük değildir. Mesela bir adet galet kasnağı seramik kaplama yapılmadan önce, iki ay dayansın (maksimum dayanma süresi esas alındı) oysa seramik kaplanmış galet kasnağı ondört aydır kullanılmaktadır. Seramik kaplanmış galet kasnağının ömrü ondört ay olarak dahi alınsa yine karlılık söz konusudur. Yüzyirmi galet kasnağı seramik kaplanmadığı takdirde ondört ayda da yedi defa değiştirilecek ve 1680 galet kasnağı almak gerekecek ve ödenecek döviz için $20 \text{ Mark} \times 1680 = 33600 \text{ Mark}$ civarında bir rakam ortaya çıkacaktır. Seramik kaplanmış galet kasnaklarına ise bir defa da $80 \text{ Mark} \times 20 = 9600 \text{ Mark}$ civarında bir yatırım yapmak yeterli olacaktır. Aradaki maliyet farkı yaklaşık 20000 Mark'dan fazladır. Fakat seramik kaplanmış galet kasnaklarının hali hazırda çalışmakta olduğu da dikkate alınırsa bu tasarruf her geçen gün artmaktadır.

Ayrıca iplikteki tüylenme diye ifade edilen hata iplik kalitesine daha sonra kumaş benzeri son ürün kalitesine etki ederek katma hata olarak ortaya çıkmaktadır. Oysa seramik kaplanmış galet kasnaklarından elde edilen iplik kalitesi oldukça memnuniyet vericidir.

7) Laboratuvar şartlarında aşınma deneyi pin-on-disk yöntemi ile yapılmıştır. Seramik püskürtme tekniği açısından plazma püskürtme tekniği ile yapılan kaplamalar yüksek aşınma direnci vermiştir. Özellikle ara bağlayıcı seramik kaplamalardan daha yüksek aşınma direnci değerleri alınmıştır. Bu aşınma sonuçları bağ mukavemeti değerlerini destekler niteliktedir. Çünkü yüksek bağ mukavemeti değerleri veren kaplamalar aynı zamanda yüksek aşınma direnci değerlerini de vermiştir.

8) Servis şartlarında aşınmaya maruz kaplamalardan laboratuvar şartlarında elde edilen aşınma dirençlerine benzer sonuçlar alınmıştır. İlk üç ayda ağırlık kaybı diğer aylara kıyasla göreceli olarak daha yüksek çıkmıştır. Özellikle alev püskürtme tekniği ile yapılan kaplamalarda aşınma direnci daha düşüktür. Takip eden üçer aylık periyotlarda aşınma hızı azalmıştır. Plazma püskürtme tekniği ile yapılan kaplamalarda aşınma direnci alev püskürtme tekniği ile yapılanlardan daha yüksektir. SEM (taramalı elektronik mikroskopu) çalışmaları da bu açıklamaları pekiştirmektedir.

9) Taramalı elektronik mikroskopu (SEM) ile alınan aşınma öncesi ve aşınma sonrası seramik kaplama yüzey fotoğrafları; aşınma dirençlerinin hangi kaplama tekniğinde ne tip bir kaplama ile daha yüksek çıktığını gösterebilecek niteliktedir. Alevle püskürtme tekniği ile yapılan her iki tip seramik kaplamaların aşınma deney öncesi yüzey fotoğraflarında orjinal toz boyutuna yakın yani ergimemiş toz taneleri, poroziteler plazma püskürtme tekniğine kıyasla daha fazla görülebilmektedir. Aşınma deney sonrasındaki yüzey fotoğrafları da plazma püskürtme tekniği ile yapılan her iki tip kaplama için daha az mikroçatlak görüntüsü vermektedir.

10) Endüstriyel bir problemin çözümüne yönelik bu çalışmada Altınyıldız Tekstil Fabrikasında aşınmaya maruz metal yüzeyler iki tip seramik kaplama malzemesiyle (Al_2O_3 -%13 TiO_2 ve Cr_2O_3 -%5 SiO_2 -%3 TiO_2) kaplanmıştır. Plazma püskürtme tekniği kullanılarak yapılan kaplamalar aşınmaya maruz galet kasnaklarına tatbik edilmiştir. Üzerinden iplik geçen ve bir nevi ipliği yönlendirici görevi gören bu galet kasnakları aşındıkça döviz ödenmek suretiyle ithal edilmekteydi. Seramik kaplanarak aşınma ömrü uzatılan galet kasnakları kaplamadan önce aşınma nedeniyle ayda bir değiştirilmek zorundaydı, 12 Ekim 1994 ve 18 Ekim 1994 tarihlerinde servise konan seramik kaplanmış galet kasnakları üzerinden geçen iplik kalitesini bozmadan halen verimli olarak çalışmaktadır.

11) Endüstriyel alana tanıtılan bu yöntem sayesinde metal malzeme kaybı azalmıştır, iş akışı sık sık kesilmemektedir, ithal edilmek zorunda kalınan bu tür elemanların (galet kasnağı gibi aşınmaya maruz elemanlar) sayısı azaltularak ekonomimize faydalı girdiler sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR:

- 1) Strafford, K.N., Datta, P.K., Gray, J.S., *Surface Engineering Practice Processes, Fundamentals and Application and Wear*, 19-21, West Sussex, England, 1990
- 2) Rickerby, D.S., Matthews, A., *Advanced Surface Coatings: a Handbook of Surface Engineering*, New York, U.S.A. 1991, s.4-13.
- 3) Çelik, E., Soykan, Ş., Avcı, E., "Seramik Kaplanmış Malzemelerin Ekonomikliğinin İncelenmesi", II. Uluslararası Seramik Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 24-28 Ekim 1994, sayfa 419-429.
- 4) Çakır, A.F., "Korozyondan Korunmada Metalik Kaplamalar", 1.Korozyon Sempozyumu, ODTÜ, Ankara, 1988, s.223-247.
- 5) Çevik, İ., "Zirkonya Esaslı Seramik Kaplamanın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi", Doktora tezi, İ.T.Ü., İstanbul, 1990.
- 6) Doruk, M., "Genel Korozyon", SEGEM, Yayın No:53, Ankara, 1979.
- 7) Steffons, H.D., Gramlich, M., Nassenstein, K., "Thermal Spraying", Second ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference and Exhibition in Europe, Dortmund, Germany, 1993, s.25.
- 8) Hocking, M.G., Vasantasree, V., Sidky, P.S., *Metallic and Ceramic Coatings: Production High Temperature and Applications*, London, 1989.
- 9) Chagnon, P., Fauchais, P., "Thermal Spraying of Ceramics", *Ceramics International*, 10, 4, 1984, s.119-131.
- 10) Çelik, H.A., "Bir dizel motorunda seramik kaplamanın performans etkilerinin incelenmesi", Doktora tezi, M.Ü., İstanbul, 1991.
- 11) Salman, S., Samur, R., Kaya, A.A., "İki Tür Seramik Kaplamanın Laboratuvar ve Servis Koşullarındaki Aşınma Davranışının İncelenmesi", II. Uluslararası Seramik Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 24-28 Ekim 1994, s.430-441.
- 12) Rhys-Jones, T.N., *The Use of Thermally Sprayed Coatings for Compressor and Turbine Applications in Aero Engines: Surface and Coatings Technology*, Bristol, England, 10 March, 1990.
- 13) Ohtori, Y., Magome, M., İmanishi, K., "Advances in thermal spraying, Clinical cases of the artificial root of teeth applying plasma coating", 13th ITSC, 1986.
- 14) Geçkinli, E.A., *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İ.T.Ü., 1992.
- 15) Toy, Ç., *Seramik I-II*, İ.T.Ü., 1992.
- 16) Toydemir, N., *Seramik*, İ.T.Ü., 1991.
- 17) Erdinç, Ş.Ş., *Seramik ders notları*, İ.T.Ü., 1982.
- 18) METCO Technical Bulletin, "Powder", New York, 15 October 1983.
- 19) Filmer, L.H., Hochstrasser, J., Nicoll, A.R., Rangaswamy, S., "Plasma Spray Deposition of Alumina-Based Ceramic Coatings", *Ceramic Bulletin*, Vol 69, New York, U.S.A., 1990, s.1955-1958.

- 20) Biselli, C., Chollet, L., "Young's Modulus of TiN and TiC Coatings", *Mechanics of Coatings*, Lyon, France, 1989, s.217-223.
- 21) Morrell, R., *Handbook of Properties of Technical and Engineering Ceramics: Part I An Introduction for the Engineer and Designer*, National Physical Laboratory, London, England, May 1985.
- 22) Heuer, A.H., Hobbs, L.W., *Advances in Ceramics Vol. 3, "Science and Technology of Zirconia"*, The American Ceramic Society, Columbus, Ohio, 1981.
- 23) Berkem, A.R., Baykut, S., "Fizikokimya", İstanbul Üniversitesi, 1980.
- 24) Van de Graaf, M.A.C.G., Burggroof, A.J., "Wet Chemical Preparation of Zirconia Powders", Vol 12, The American Ceramic Society, Columbus, Ohio, 1983.
- 25) Hori, S., Yoshimura, M., Soniya, S., "Al₂O₃-ZrO₂ Ceramics Prepared from CVD Powders", Vol 12, The American Ceramic Society, Columbus, Ohio, 1983.
- 26) Yamagata, K., Nomura, T., Tabioka, M., "The Improvement of the PVD Coated Cemented Carbide Insert", 12. International Plansee Seminar 89-High Temperature and Wear Resistant Materials in World of Changing Technology, Tirol, Austria, 8-12 May 1989.
- 27) Farnworth, F., Jones, S.L., Mc Alpine, I., "The Production, Properties and Uses of Zirconium Chemicals", ed. Thompson, R., Royal Soc. of Chemistry, London, 1980, s.249.
- 28) Fernie, J., "Solving the Problems of Ceramic Joining Technology", *Ceramic Industries International*, Abington, Cambridge, 1991, s.10-11.
- 29) Cashon, E.P., "Tribology International", June, 1975, s.111.
- 30) Strafford, K.N., Datta, P.K., Govgan, C.G., *Coatings and Surface Treatment for Corrosion and Wear Resistance*, Birmingham, England, 1984.
- 31) METCO Technical Bulletin, "Powder", New York, 15 April 1982.
- 32) METCO Incorporation, "The Guide to Metco Coatings", New York, 1979.
- 33) KARAGÖZ, Ş., Tokmanoğlu, K., Ertürk, E., "İnce Film Teknolojisi", Titanit-Opaş Seminerleri, 25 Eylül 1990, İstanbul.
- 34) Morrell, P., "Thermal Properties of Ceramic Thermal Barrier Coatings for Aero Engine Applications", Master of Science, The Victoria University of Manchester, England, October 1982.
- 35) Unger, R.H., "Comparison of Thermal Spray Bond Coats", National Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, U.S.A., 14-17 September 1987, s.365-370.
- 36) Mack, M., *Surface Technology-Wear Protection*, Verlag Moderne Industrie AG. Co., Germany, 1990.
- 37) Çakır, A.F., Ürgen, M., Eryılmaz, O.L., Tokmanoğlu, K., "Nitrür Esashi İnce Film Kaplanmış Malzemelerin Korozyon Özellikleri", Opaş-İTÜ, İstanbul, 1992.
- 38) Ürgen, M., Çakır, A.F., Eryılmaz, O.L., Tokmanoğlu

- 39) Wood, W.G., *Metals Handbook: Surface Cleaning, Finishing and Coating*, 9th Ed. V:5, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, U.S.A., 1982.
- 40) Alexander, C.H., Baer, C.A., Bergman, C., *Materials finishing and coating, Tool and manufacturing engineers handbook*, Fourth edition, Volume 3, Society of manufacturing engineers, U.S.A., 1985
- 41) Çakır, A.F., "Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile yüzey kaplama", *Metalurji dergisi*, Sayı 86, İstanbul, Ekim, 1993, s.14-30.
- 42) Buljan, T.S., Sarin, V.K., "Coated Ceramic Cutting Tools", High Productivity Machining Conference, Waltham, MA, USA, 1985.
- 43) Hay, R.S., Hermes, E.E., "Sol-gel Coatings on Continuous Ceramic Fibers", 14 th Annual Conference on Composites and Advanced Ceramic Materials, Cocoa Beach, FL, USA, 14-17 January 1990.
- 44) Kharlamov, Y.A., "Materials Engineering Forum Detonation Spraying of Protective Coatings", Voroshilavgrad Machine Building Institute, Voroshilovgrad, U.S.S.R., 9 September 1986.
- 45) Thorpe, L.M., "Thermal Spraying Becomes a Design Tool", *Machine Design*, Vol 55, October-December 1983, s.69-77.
- 46) Avcı, E., Üçışık, A.H., Zeytin, S., Demirci, M., "Plazma Sprey Yöntemiyle Metallerin Seramik Kaplanması", 4. Uluslararası Seramik Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul, 10-14 Aralık 1990.
- 47) Thorpe, L.M., "Thermal Spray Industry in Transition", *Advanced Materials and Processes*, Vol 143, May 1993.
- 48) Ingram, H.S., Shepard, A.P., *Metco Flame Spray Handbook: Powder Process*, New York, 1967.
- 49) Askaynak, "Termik Püskürtme Notları", İstanbul, 1991.
- 50) Kay, 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.
- 51) Kreyc, H., Fandrich, D., Müller, H.H., Reiners, G., "Microstructure and Bond Strength of WC-Co Coatings Deposited by Hypersonic Flame Spraying (Jet Kote Process)", *Advances in Thermal Spraying ITSC 86*, Montreal Canada, 8-12 September 1986.
- 52) Rao, K.V., Somerville, D.A., Lee, D.A., "Properties and Characterization of Coatings Made Using Jet Kote Thermal Spray Technique, *Advances in Thermal Spraying, ITSC 86*, Montreal, Canada, 8-12 September 1986.
- 53) Arata, Y., "New Technology for Processing and Evaluating Thermal Sprayed Coatings", *Advances in Coating Technology*, National Thermal Spray Conference, U.S.A., September, 1987.
- 54) Steffens, H.D., "Spray and Detonation Gun Technologies", *Laser-assisted Techniques, Coatings for High Temperature Applications*, Dortmund, 1984.
- 55) Chon, T., Bancke, G.A., Herman, H., Gruner, H., "Vacuum Plasma Sprayed Composite Coatings: Properties and Microstructures, *Thermal Spray: Advances in Coatings Technology*, National Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, U.S.A., 14-17 September 1987.

- 56) Sampath, S., Herman, H., "Microstructure of Vacuum Plasma Sprayed Coatings", Thermal Spray Conference, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 24-27 October, 1988.
- 57) Bernecki, T., "New Plasma Gun Technology", Thermal Spray: Advances in Coatings Technology, National Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, U.S.A., 14-17 September, 1987.
- 58) BS 4495, British Standards Institution, "Recommendations for the flame spraying of ceramic and cermet coatings", 1969.
- 59) Nicoll, A.R., "Protective coatings and their processing thermal spray", High temperature materials and coatings, Finland, 24-29 June, 1984.
- 60) James, D.H., "A review of experimental findings in surface preparation for thermal spraying", First international conference on impact treatment processes, Cranfield, U.K., 5-8 September, 1983.
- 61) Wigren, J., "Technical note : Grit blasting as surface preparation before plasma spraying", National thermal spray conference and exposition, Orlando, FL, U.S.A., 14-17 September, 1987.
- 62) Houben, J.M., "Future developments in thermal spraying", Thermal spray coatings, 1984, ASM International, California, USA, s.1-19.
- 63) Wigren, J., "Grit blasting as surface preparation before plasma spraying", Proceedings of the National Thermal Spray Conference, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 1988, s.99-104.
- 64) Demirci, M., "Plazma sprej kaplamalarda bazı malzeme parametrelerinin bağlanma mukavemetine etkileri", Yüksek lisans tezi, Marmara Ün., İstanbul, 1994.
- 65) Berndt, C.C., "Determination of Material Properties of Ceramic Coatings", Department of Materials Engineering, Monash University, Clayton, Victoria, Australia, 1985.
- 66) T.E.K. 6X100 MW Trakya doğal gaz kombine çevrim santrali tanıtım dergisi.
- 67) Howes, P.C., Miller, J., "Computerized plasma control for applying medical-quality coatings", Industrial heating, August, 1993.
- 68) Salman, S., "Seramik kaplamalar", Teknik & Eğitim dergisi, İstanbul, Ocak-Şubat, 1993.
- 69) Chuanxian, D., Bingtang, H., "Plasma sprayed oxide coatings - New biological implant materials", Advances in coatings technology - National thermal spray conference, U.S.A., 14-17 September, 1987.
- 70) Hermanek, F.J., Nicoll, A.R., "Manufacturing Methods for Plasma Spray Powders and the Resulting Coating Quality", Technical Publication Plasma Technik AG, Wohlen, Switzerland, 1981.
- 71) Unterweiser, P.M., Boyer, H.E., Kubbs, J.J., "Heat treaters guide standart practices and procedures for steels", ASM Metals Park, Ohio, 1982.
- 72) Matejka, D., "Zvaranie: 2", 1980, s.53.
- 73) ASTM C 633-79 "Standart Test Method for Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings".

- 74) Diaz,A.M., Williams,V.D. and Aquilino,S.A., "The effect of film thickness on the tensile bond strength of a prosthodontic adhesive", *The Journal of Prosthetic dentistry*, Volume 66, Number 5, November 1991, s.614-618.
- 75) Gates,W.D., Diaz,A.M., Aquilino,S.A., "Comparison of the adhesive strength of a BIS-GMA cement to tin-plated and non-tin-plated alloys", *The Journal of Prosthetic dentistry*, Volume 69, Number 1, January 1993, s.12-16.
- 76)ASTM E 384-89 "*Standart Test Method for Microhardness of Materials*".
- 77) ASTM G 99-90 "*Standart Test Method for Wear Testing with a Pin-On-Disk Apparatus*".
- 78) Barbezat,G., Nicoll,A.R., Sickinger, A., "Abrasion, erosion and scuffing resistance of carbide and oxide ceramic thermal sprayed coatings for different applications", *Wear*: 162-164, 1993, s. 529-537.
- 79) Yılmaz,M., Altıntaş,S., "Parçacık SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özellikleri", 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme kongresi, 1993, Ankara.
- 80) Gansert,D., Bancke,G., Herman,H., "Fare-Gun formed wear resistant coatings", Department of Materials Science & Engineering, State Universty of New York, 1989, USA.
- 81) Ambroz, A., Kaspar,J., "*Zvaranie: 10*", 1982, s.363.
- 82) Matting, A., Delventhal, B., "*Metaloberflache: 20*", 1966, s.424.
- 83) Meyer, H., "Das Flamm und Plasmaspritzen von keramischen Werkstoffen", In: *Thermische Spritzverfahren*, Saarbrücken, 1963, s.34.
- 84) Grisaffe, S.J., "Analysis of Shear Bond Strenth of Plasmasprayed Alumina Coatings on Stainless Steel", (Report), Cleveland, NASA, 1965.
- 85) Eichhorn, F., Metzler, J., "*Metaloberflache: 22*", 1968, s.225.
- 86) Ingham, H.S., Shepard, A.P., "*Metco Flame Spray Handbook*", Metco Inc., New York, 1965.

ÖZGEÇMİŞ

GENEL BİLGİLER

Adı soyadı : Serdar SALMAN
Doğum yılı : 25-05-1962
Doğum yeri : İstanbul
Medeni hali : Evli
Askerlik hizmeti : Nisan 1987-Ağustos 1988 (Polatlı ve Burdur)

AKADEMİK FAALİYETLERİ

1980 - 1984 : İTÜ Sakarya Müh. Fak. Metalurji Böl. (Lisans - Bakırın hidrometalurjik değerlendirilmesi)
1985 - 1987 : Yıldız Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans - Kaynak işlemi sonucunda oluşan artık gerilmeler ve ölçülmesi)
1989 - : Yıldız Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktoraya başlangıç)

EĞİTİM FAALİYETLERİ

1985 - 1992 : Araştırma Görevlisi (Marmara Üniversitesi -Teknik Eğitim Fakültesi)
1992 - : Öğretim Görevlisi (Marmara Üniversitesi - Teknik Eğitim Fakültesi)

KATILDIĞI KURS, SEMİNER, KONFERANSLAR ve YAYINLARI

1985 - : Seminer, Malzemelerde yaşlanma problemi, Marmara Ün., İst.
1987 - : Seminer, Malzemelerde yorulma davranışı, Yıldız Ün., İst.
1986 - 1989 : Katılımcı, İleri seviyede kaynak kursları (Tozaltı, Gazaltı, Sert dolgu, Koruyucu bakım kaynak kursu, Kaynak makinaları bakım kursu, Sert ve yumuşak lehim kursu, Tahribatsız muayene kursu), Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Mak. Fab., İst.
1991 - : Öğretim elemanı geliştirme programı (9 ay) Huddersfield / İNGİLTERE
1993 - : Makale, Metal yüzeylerde seramik kaplamalar, Teknik & Eğitim dergisi, Ocak-Şubat 1993, İst.
1994 : Bildiri, Zirkonya esaslı termal bariyer kaplamaların termo-mekanik özellikleri, I. Havacılık sempozyumu, 9-10 Haziran 1994, Hava Harp Okulu, Yeşilyurt / İst.
1994 - 1995 : Kursta konuşmacı, Çelik malzeme standartları ve seçimi, KOSGEB'e bağlı muhtelif şehir ve bölgelerde.
1995 - : Bildiri, İki tür seramik kaplamanın laboratuvar ve servis şartlarındaki aşınma davranışının incelenmesi, II. Uluslararası seramik kongresi, 24-28 Ekim 1994, İTÜ, İst.
1995 - : Bildiri, İki değişik kaplama tekniğiyle yapılan zirkonya esaslı seramik kaplamaların termal şok özelliklerinin incelenmesi, I. Uluslararası havacılık ve ileri teknolojiler sempozyumu, 8-10 Mart 1995, İTÜ, İst.
1995 - : Bildiri, Seramik kaplamalarda servis öncesi mikroçatlaklar, 6. Denizli Malzeme sempozyumu, 12-14 Nisan 1995, Pamukkale Ün., Denizli.
1995 - : Bildiri, Kaynak işlemi sonucunda oluşan artık gerilmelere değişik bir ölçme yöntemi ile yaklaşım, 6. Denizli Malzeme sempozyumu, 12-14 Nisan 1995, Pamukkale Ün., Denizli.
1995 : Bildiri, Seramik kaplamalarda bağ mukavemeti üzerine deneysel gözlemler, 8. Uluslararası Metalurji ve malzeme kongresi, 6-9 Haziran 1995, İst. (Kabul edildi, sunulacak)