

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

PLAZMA PÜSKÜRTME VE UYGULAMA ALANLARI

Metalurji ve Malzeme Müh. Hamdi Sezgin TEZEL

**FBE Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME PROGRAMI

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Nurhan CANSEVER

Doç. Dr. Nurhan Cansever
Prof. Dr. Nurullah Gültekin
Prof. Dr. Zehi Gizmecioğlu

128735

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ISIL PÜSKÜRTME NEDİR?.....	2
2.1 Isıl Püskürtme Yöntemleri.....	2
2.1.1 Alevle tel püskürtme	2
2.1.1.1 Özellikleri ve avantajları	2
2.1.1.2 Kullanım alanları	3
2.1.1.3 Teorisi	3
2.1.2 Alevle toz püskürtme	3
2.1.2.1 Özellikleri ve avantajları	4
2.1.2.2 Kullanım alanları	4
2.1.2.3 Teorisi	5
2.1.3 Elektrik-ark tel püskürtme.....	5
2.1.3.1 Özellikleri ve avantajları	5
2.1.3.2 Kullanım alanları	6
2.1.3.3 Teorisi	6
2.1.4 HVOF (Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt) püskürtme.....	7
2.1.4.1 Özellikleri ve avantajları	7
2.1.4.2 Kullanım alanları	8
2.1.4.3 Teorisi	8
2.1.5 Detonasyon ısı püskürtme	9
2.1.6 Kapalı sistem kontrollü atmosfer ısı püskürtme	10
2.1.6.1 Özellikleri ve avantajları	10
2.1.6.2 Kullanım alanları	11
2.1.6.3 Teorisi	11
2.1.7 APS (atmosferik plazma püskürtme).....	12
2.2 Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	13
3. PLAZMA PÜSKÜRTME KAPLAMA PROSESİ.....	16
3.1 Plazma	16

3.2	Plazma Püskürtmenin Tarihçesi	17
3.3	Plazma Püskürtme ile Kaplama Prosesinde Ön İşlemler	18
3.3.1	Temizleme ve yağ alma	18
3.3.2	Yüzey pürüzlülüğü	19
3.3.2.1	Kaba vida diş açma	19
3.3.2.2	Kumlama	19
3.3.3	Kaplama sonrası yüzey işlemleri	21
3.3.3.1	Sızdırmazlık sağlama	21
3.3.3.2	Yüzey bitirme işlemleri	22
3.4	Plazma Püskürtme Kaplama	23
3.5	Plazma Püskürtme İle Kaplama Prosesinde Kullanılan Cihazlar	26
3.5.1	Plazma tabancaları	26
3.5.2	Plazma püskürtme kontrol üniteleri	27
3.5.3	Toz besleme üniteleri	28
3.5.4	Plazma püskürtme ile kaplama prosesinde kullanılan soğutucular	28
3.5.5	Plazma püskürtmede kullanılan gazlar	29
3.6	Kaplama Kalınlığı , Arayüzey ve Bağlanma Mekanizmaları	31
3.7	Astarlanma	37
3.8	Uygulama Sonrası Oluşan Hatalar	38
3.9	Plazma Püskürtmede Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar	43
3.9.1	Püskürtme mesafesi	43
3.9.2	Yüzey hızı	43
3.9.3	Ön Isıtma	43
3.9.4	Soğuma	44
3.10	Plazma Püskürtme Uygulamaları İçin Sağlık ve Güvenlik	44
3.10.1	Toz-duman	44
3.10.2	Gürültü	44
3.10.3	Işık radyasyonu	46
3.11	Plazma Püskürtme Prosesinde Son Gelişmeler	46
4.	UYGULAMA ALANLARI	49
4.1	Plazma Püskürtme Yönteminin Avantajları ve Kullanım Yerleri	49
4.2	Toza Bağlı Olarak Değişen Uygulama Alanları	50
4.2.1	Uçak sanayindeki uygulamalar	51
4.2.2	Otomotiv sanayindeki uygulamalar	51
4.2.3	Biomedikal sanayindeki uygulamalar	52
4.2.4	Korozyondan korunma amaçlı uygulamalar	53
4.2.4.1	Anodik kaplama	54
4.2.4.2	Katodik kaplama	54
4.2.4.3	Nötral kaplama	55
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
5.1	Deneylerde Kullanılan Malzeme	56
5.1.1	Kaplamada kullanılan altlık malzeme	56
5.1.2	Toz malzemeler	57
5.1.2.1	Astar tozlar	57
5.1.2.2	Püskürtme işleminde kullanılan kaplama tozları	57
5.2	Plazma Püskürtme ile Kaplama Yapılması	57
5.2.1	Alt Malzemenin Kaplamaya Hazırlanması	57
5.3	Kaplama İşleminin Uygulanması	58

5.4	Kaplamanın ve Kaplama Sonrası İşlemlerin Gerçekleştirildiği Cihazlar	61
5.5	Kaplanan Numunelerin İncelemeye Alınması.....	66
5.6	Kaplanan Numunelerinin Sertliklerinin İncelenmesi.....	66
5.7	Kaplama Kalınlığı Ölçümü	66
5.8	Yüzey Pürüzlülüğü.....	66
5.9	Optik Mikroskop.....	66
5.10	SEM (Tarama elektron mikroskobu) İncelemeleri	67
6.	DENEY SONUÇLARI	68
6.1	Optik Mikroskop, SEM ve Yüzey Pürüzlülüğü İncelemeleri	68
6.1.1	Magnezyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit.....	68
6.1.2	%8İtriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarlı).....	70
6.1.3	İtriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız).....	73
6.1.4	Alüminyum-oksit (beyaz) (astarlı).....	75
6.1.5	%97 Al ₂ O ₃ -%3 TiO ₂ (astarsız)	78
6.1.6	Kromoksit-Silisyumoksit (astarsız)	80
6.1.7	Hidroksiapatit –[Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂ HA]	82
6.1.8	Alüminyum-oksit (beyaz) (astarsız)	84
6.1.9	%60 Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarlı)	87
6.1.10	%60 Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarsız)	89
6.1.11	%97 Al ₂ O ₃ -%3 TiO ₂ (astarlı)	92
6.2	Mikrosertlik, Kaplama Kalınlığı ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	95
7.	SONUÇLAR.....	97
	KAYNAKLAR.....	99
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
dB	Ses ölçüm birimi
°C	Sıcaklık birimi
°K	Sıcaklık birimi
kW	Güç birimi
l	Uzunluk
Mesh	Tane büyüklüğü birimi
Mpa	Basınç birimi
R _A	Yüzey pürüzlülük birimi
R _b	Sertlik birimi
R _c	Sertlik birimi
R _h	Sertlik birimi
T	Sıcaklık
V	Voltaj



KISALTMA LİSTESİ

APS	Atmospheric Plasma Spraying
CAPS	Controlled Atmospheric Plasma Spraying
DC	Direct Current
HVOF	High Velocity Oxy Fuel
LPPS	Low Pressure Plasma Spraying
LVPS	Low Vacuum Plasma Spraying
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
SEM	Scanning Electron Microscope
Stab.	Stabilize edilmiş
VPS	Vacuum Plasma Spraying



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Alevle tel püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000).....	2
Şekil 2.2 Alevle tel püskürtmede kullanılan cihazlar	3
Şekil 2.3 Alevle toz püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000).....	4
Şekil 2.4 Alevle toz püskürtmede kullanılan cihazlar	5
Şekil 2.5 Elektrik-Ark tel püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000)	6
Şekil 2.6 Elektrik-Ark tel püskürtmede kullanılan cihazlar	7
Şekil 2.7 HVOF püskürtmede kullanılan cihazlar (Sulzer, 2002)	9
Şekil 2.8 Detonasyon püskürtme çizgişekilsel gösterimi (Gordon, 2002).....	10
Şekil 2.9 Kontrollü atmosferde püskürtme sistemi ekipmanları (Sulzer, 2002).....	12
Şekil 3.1 Plazma püskürtme prosesinin yıllara ve ekonomik faktöre bağlı olarak gelişimi	18
Şekil 3.2 Toz partikülün pürüzlülük üzerine etkisi (1)	20
Şekil 3.3 Toz partikülün pürüzlülük üzerine etkisi (2):Toz partikül düz yüzeyde; Mekanik bağlanma daha iyi(Wigren, 1992).....	20
Şekil 3.4 R_A değeri hesabında kullanılan grafiğin çizgişekilsel gösterimi	20
Şekil 3.5 Kumlanmış yüzeyin 3 boyutlu görünümü	21
Şekil 3.6 Yüzey bitirme işlemleri 1.Şaft 2.kumlanmış 3.plazma püskürtülmüş 4. taşlanmış 5.birkaç kere kullanılmış	22
Şekil 3.7 Yaklaşık plazma sıcaklıkları 1. 7800 °C 2. 10000-13400 °C 3. 7800-10000 °C.....	23
Şekil 3.8 Gerçek bir plazma püskürtme tabancası ve proses (Gordon, 2002).....	25
Şekil 3.9 Ergimiş ve yarıergimiş tozlar: Renk değişimleri ergimenin nerede nasıl olduğunu açıklamaktadır. (kırmızı noktalar tam ergimeyi göstermektedir) (Fincke, 2002)25	
Şekil 3.10 Farklı ark modellerinde voltaj durumu	25
Şekil 3.11 Plazma alevi <a>yeni anot, ömrü bitmiş anot	26
Şekil 3.12 Plazma tabancası (80kw)	27
Şekil 3.13 Değişik başlıklar a. 16 çıkışlı başlık b. kontinü başlık (Thomson vd., 1998).....	27
Şekil 3.14 Plazma püskürtme kontrol ünitesi	28
Şekil 3.15 Plazma püskürtme toz besleme ünitesi	28
Şekil 3.16 Plazma püskürtmede kullanılan soğutucu.....	29
Şekil 3.17 Çeşitli gazların sıcaklıkla bağlantılı enerji içerikleri	30
Şekil 3.18 Plazma püskürtme prosesinde yeralan cihazlar	31
Şekil 3.19 Toz kütle akışının kaplama kalınlığına etkisi	31
Şekil 3.20 Disk biçimli splat.....	32
Şekil 3.21 Sıçrama biçimli splat	33
Şekil 3.22 Splatların büyüklüklerinin karşılaştırılması	33
Şekil 3.24 plazma püskürtme kaplamanın çizgişekilsel gösterimi	36
Şekil 3.25 Plazma püskürtülen yüzeyde oluşan gerilimler.....	37
Şekil 3.26 Kaplamanın kesit görünüşü A. Kaplama B. astar C. Alt malzeme (Ray, 2001).....	37
Şekil 3.27 Kalın kaplamalarda görülen segmentasyon çatlakları	38
Şekil 3.29 Plazma püskürtülmüş yapıda oluşan segmentasyon çatlakları	39
Şekil 3.30 Mikroyapının püskürtme esnasındaki sıcaklıkla değişimi	40
Şekil 3.31 Plazma püskürtme esnasında segmentasyon çatlağı başlaması	41
Şekil 3.32 Plazma püskürtme esnasında segmentasyon çatlağı gelişimi (Johner vd., 1992)...	42
Şekil 3.33 Türbinlerde uzaklık ile sıcaklığın türbinlerin çalışma sıcaklığına etkisi	43
Şekil 3.34 Güvenlik için ses seviyeleri	45
Şekil 3.35 Gürültü seviyesi örnekleri (Shimoizumi, 1992).....	45
Şekil 3.36 Triplex II Plazma püskürtme tabancası	47
Şekil 4.1 Türbin kanatlarında susturucu.....	51
Şekil 4.2 Kaplanmış diskin çizgişekilsel gösterimi	52
Şekil 4.3 Plazma püskürtme ile kaplanmış implant	53

Şekil 4.4 Korozyondan korunma prosesi	54
Şekil 5.1 Kullanılan alt malzemenin analizi sonucu oluşturulan grafiksel gösterim	56
Şekil 5.2 Kum püskürtme makinesi (Alüminyum plakalar burada kumlama işlemine tabi tutuldu).....	58
Şekil 5.3 Toza bağlı olarak standartize edilmiş proses verileri	59
Şekil 5.4 Kontrol ünitesi.....	61
Şekil 5.5 Metco MRN 240 tip güç ünitesi	62
Şekil 5.6 Tabanca soğutucusu.....	62
Şekil 5.8 Toz besleme ünitesi (1).....	63
Şekil 5.9 Toz besleme ünitesi (2).....	64
Şekil 5.10 3M 40kW tip plazma tabancası	64
Şekil 5.11 Plazma püskürtmenin yapıldığı ortam ve havalandırma mekanizması	65
Şekil 5.12 Kullanılan gazlar (Ar ve hidrojen)	65
Şekil 6.1 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta görünüşü (astarsız).....	68
Şekil 6.2 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1000X SEM görünüşü (astarsız) ...	69
Şekil 6.3 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1500X SEM görünüşü(astarsız)	69
Şekil 6.4 Magnezyum-oksit stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü	70
Şekil 6.5 %8 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta kesit görünüşü(astarlı)	71
Şekil 6.6 %8 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görünüşü(1).....	71
Şekil 6.7 %8 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görünüşü(2).....	72
Şekil 6.8 İtiryumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarlı)da yüzey pürüzlülüğü	72
Şekil 6.9 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	73
Şekil 6.10 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görünüşü	74
Şekil 6.11 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1500X SEM görünüşü (2).....	74
Şekil 6.12 İtiryumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü	75
Şekil 6.13 Alüminyum-oksit (beyaz) 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı)	76
Şekil 6.14 Alüminyum-oksit (beyaz) 750X SEM görünüşü	76
Şekil 6.15 Alüminyum-oksit (beyaz) 1500X SEM görünüşü.....	77
Şekil 6.16 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarlı)te yüzey pürüzlülüğü	77
Şekil 6.17 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	78
Şekil 6.18 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 750X SEM görünüşü (1).....	79
Şekil 6.19 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 1500X SEM görünüşü.....	79
Şekil 6.20 %97 Al ₂ O ₃ -%3 TiO ₂ (astarsız)te yüzey pürüzlülüğü	80
Şekil 6.21 Kromoksit-Silisyumoksit 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	80
Şekil 6.22 Kromoksit-Silisyumoksit 750X SEM görünüşü	81
Şekil 6.23 Kromoksit-Silisyumoksit 1500X SEM görünüşü	81
Şekil 6.24 Kromoksit-Silisyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü	82
Şekil 6.25 Hidroksiapatit 200X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	82
Şekil 6.26 Hidroksiapatit 750X SEM görünüşü	83
Şekil 6.27 Hidroksiapatit(astarsız) yüzey pürüzlülüğü	84
Şekil 6.28 Alüminyum-oksit (beyaz) 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	85
Şekil 6.29 Alüminyum-oksit(beyaz) 750X SEM görünüşü	85
Şekil 6.30 Alüminyum-oksit (beyaz) 1000X SEM görünüşü.....	86
Şekil 6.31 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarsız)te yüzey pürüzlülüğü	86
Şekil 6.32 %60 Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarlı) 200X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı) ..	87
Şekil 6.33 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarlı) 750X SEM görünüşü	88
Şekil 6.34 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarlı) 1500X SEM görünüşü	88
Şekil 6.35 %60 Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarlı) te yüzey pürüzlülüğü.....	89

Şekil 6.36 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ 200X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız).....	89
Şekil 6.37 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarsız) 750X SEM görünüşü(1).....	90
Şekil 6.38 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarsız) 750X SEM görünüşü(2).....	90
Şekil 6.39 %60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarsız) 1500X SEM görünüşü	91
Şekil 6.40 %60 Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂ (astarsız) te yüzey pürüzlülüğü	92
Şekil 6.41 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı).....	93
Şekil 6.42 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 750X SEM görünüşü	93
Şekil 6.43 %97Al ₂ O ₃ -%3TiO ₂ 1500X SEM görünüşü.....	94
Şekil 6.44 %97 Al ₂ O ₃ -%3 TiO ₂ (astarlı)te yüzey pürüzlülüğü	94
Şekil 6.45 Kaplanan malzemelerin mikrosertliklerinin karşılaştırması	96



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Isıl Püskürtme Yöntemleri Karşılaştırılması	13
Çizelge 3.1 Konvansiyonel-Triplex II plazma sistemlerinin karşılaştırılması	48
Çizelge 4.1 Plazma püskürtme kaplamaların toza bağlı kullanım alanları	50
Çizelge 5.1 Numunelerin özellikleri	60
Çizelge 6.1 Kaplanan yüzeyin kaplama sonrası özelliklerinin karşılaştırılması	95



ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmalarım süresince ilgi ve yardımlarıyla bana destek olan hocam Sayın Doç. Dr. Nurhan CANSEVER' e en içten teşekkürlerimi sunarım. Deney numunelerinin hazırlanması ve kaplanmasıdaki yardımlarından dolayı, SENKRON Metal ve Seramik Kaplama Ltd. Şti. Üretim Müdürü Sayın Yaşar Çelik'e, plazma püskürtme şefi Sayın Yılmaz Çelik'e ve firma sahibi Sayın Turgut Halamoğluna teşekkür ederim. Ayrıca okul içi çalışmalarımda numune hazırlanmasında bana yardımcı olan Uzman Şevki Şahin'e, karşılaşılan problemler hakkında çözüm önerisi sunan Sayın Prof.Dr. Ahmet Topuz hocama ve araştırmalarım konusunda yardımcı olan arkadaşım Ar. Gör. Yük. Müh. Cem Akça'ya teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan aileme de ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Plazma püskürtme, ısı püskürtme yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, APS (Atmosferik plazma püskürtme) araştırılmakla beraber diğer ısı püskürtme yöntemlerine de değinilmiştir. 11 adet plaka şeklinde olan alüminyum alt malzeme, MgO stabilizeli ZrO₂, %8itriumoksit stabilizeli ZrO₂, saf alüminyumoksit, hidroksiapatit, %60Al₂O₃-%40TiO₂, %97Al₂O₃-%3TiO₂, kromoksit-silisyumoksit tozlarıyla, atmosferik plazma püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanmış, daha sonra numunelerin mikro sertlik, yüzey pürüzlülüğü, kaplama kalınlığı ölçülmüş, SEM ve optik mikroskopta yapılar incelenmiştir. Bundan başka 4 adet Ni-Al astarlı alt malzemenin, diğer astarsız alt malzemelerle arayüzey ilişkileri kıyas edilmiştir.

Astarın yapıda olmasının arayüzey bağlantısını artırdığı bulunmuş, astarlı yapılarda segmentasyon çatlakları astara kadar ulaşamamıştır. Püskürtme esnasında işlem koşulları, tozlar için hazırlanan standartlar kullanılarak yaratılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plazma püskürtme, astar, yüzey pürüzlülüğü, APS, segmentasyon çatlakları



ABSTRACT

Plasma spraying is one of the thermal spraying methods. This research is not only based on APS (atmospheric plasma spraying), but also mentioned about the other thermal spraying methods. 11 pieces of sheet-shaped aluminum substrates were coated with different powders as MgO stabilized ZrO₂, Ytria stabilized ZrO₂, pure alumina, hydroxylapatite, %60Al₂O₃-%40TiO₂, %97Al₂O₃-%3TiO₂, Chroma-silica by using plasma spraying method and then measured their micro hardnesses, surface roughnesses, coating thicknesses and investigated their microstructures by using SEM and optical microscope. Moreover, 4 pieces of Al substrates with Ni-Al bond coated interfaces were compared with the other non-bond coated substrates interfaces.

It is discovered that the substrate with bond coat made the coating interface stronger and segmentation cracks could not come into contact with the substrate. On spraying, working conditions were created by using the standarts of powders.

Keywords: Plasma spraying, bond coat, surface roughness, APS, segmentation cracks



1. GİRİŞ

Plazma püskürtme, korozyon atmosfere karşı, kritik öneme sahip parçaların ömrünü uzatmak ve bazı karmaşık şekilli parçaların üretimi için kullanılmakta olan bir ısı püskürtme yöntemidir. Yıllar boyunca plazma püskürtme, bireysel beceriye sahip deneyimli operatörlerin başarısına bağlı olarak gelişmiştir. Ancak daha sonra elde edilen kaplamanın kalitesinin, birçok temel faktöre bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bunlardan bazıları; alev partiküllerinin ısı ve momentum transferi, plazma gücü, toz tane yapısı ve arayüzeyde oluşan bağdır. (Boulos vd., 1993; Barbezat 2002)

Isı püskürtme yöntemleri günden güne çeşitlilik kazanıp, elde edilen kaplamalar üzerindeki etkileşimler değişmektedir. Alevle tel püskürtme, alevle toz püskürtme, elektrik-ark tel püskürtme, HVOF, LPPS, APS, LVPS, VPS, detonasyon gibi çok çeşitli ısı püskürtme sistemleri vardır.

Bu çalışmada, özellikle atmosferik basınçta yapılan plazma püskürtme yöntemi incelenmiş, alüminyum metali üzerine alüminyumoksit (saf), %60alüminyumoksit-%40titanyumoksit, %97alüminyumoksit-%3titanyumoksit, kromoksit-silisyumoksit, %8itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit, magnezyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit ve hidroksiapatit tozları kullanılarak plazma püskürtme ile kaplamalar yapılmış ve kaplama özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, kullanılan ekipman hakkında detaylı bilgiler, uygulama sırasında ve sonrası karşılaşılan problemler ile buna ilişkin çözüm önerileri, verilmiştir. Bunlardan başka uygulama sonrası yapıda görülen hatalar işlenmiş, kaplama ile ana metal arası arayüzey ilişkileri, astarlanma ve yapıya etkisi incelenmiştir. Son bölümde uygulama ile ilgili son gelişmelere değinilmiş, çalışma güvenliğine ilişkin bilgiler verilmiştir.

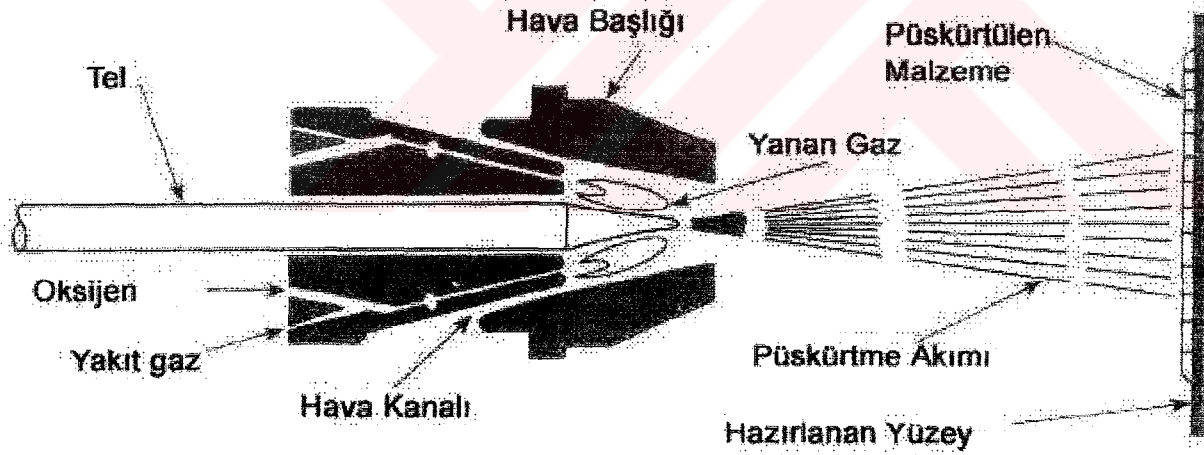
2. ISIL PÜSKÜRTME NEDİR?

Isıl püskürtme kaplamalar, bir alev püskürtme başlığı ile tozu veya teli, ergimiş ya da yarı ergimiş kıvam halinde, uygun gazlar kullanarak, hedef malzemeye püskürtüp, malzemenin yüzeyinde istenen bölgelerin veya tamamının yeni kaplama malzemesi ile değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Kaplama; metalik, seramik, plastik veya herhangi arzu edilen bir bileşimden veya karışımdan olabilir.

2.1 Isıl Püskürtme Yöntemleri

2.1.1 Alevle tel püskürtme

En erken keşfi yapılmış ısı püskürtme yöntemidir ve halen kullanılmaktadır. Düşük maliyeti nedeniyle, karmaşık işlem gerektirmeyen, ısı püskürtme kaplamalar için idealdir. Altyapı sistemlerinin (örneğin köprülerin) korozyon dayanımını artırmak için yapılacak uygulamalarda sıklıkla kullanılır. (Sulzer, 2002) Şekil 2.1' de alevle tel püskürtme prosesinin çizgi şekilsel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.1 Alevle tel püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000)

2.1.1.1 Özellikleri ve avantajları

- a) Maliyette tasarruf
- b) Birden fazla yerde kullanım ve güvenilirlik
- c) İşletme kolaylığı

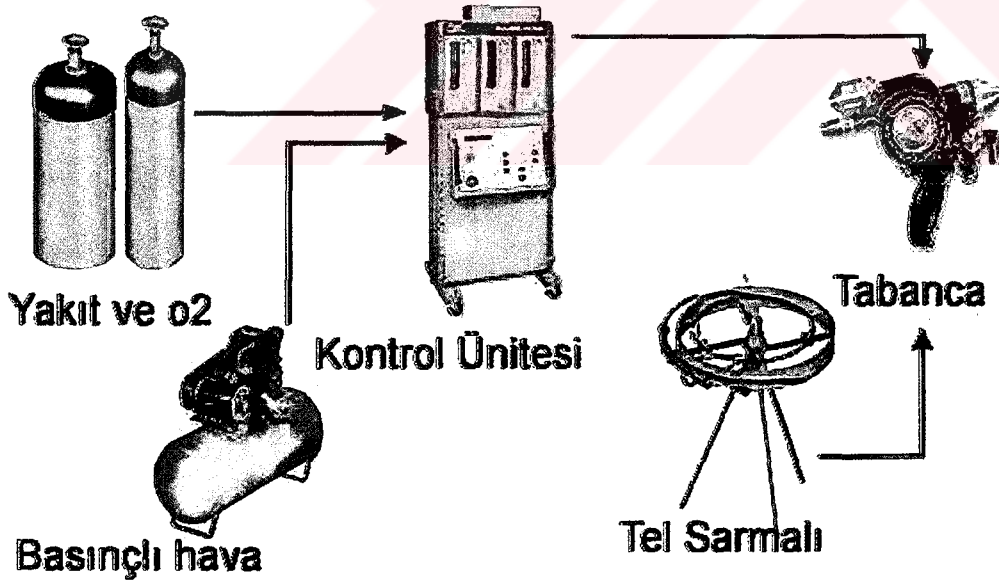
- d) Büyük yapıları minimum teçhizatla kaplama
- e) Otomasyona elverişli
- f) Taşınabilirlik

2.1.1.2 Kullanım alanları

- a) Atmosferik ve yüksek sıcaklık korozyon kontrolü gereken yerlerde
- b) Yeniden inşa operasyonlarında

2.1.1.3 Teorisi

Alevle tel püskürtme prosesi; tel halinde ve ergime sıcaklığı oksii-asetilen alevi sıcaklığı altında olan herhangi bir metalin, kaplanacak yüzeye püskürtülmesi şeklinde tanımlanabilir. Basıncılı hava, alevi çevreler ve telin ergimiş bölgelerini atomize eder. Bu da, ergimiş partiküllerin, hazırlanmış yüzey boyunca püskürtülmesini hızlandırır. Genelde kullanılan yakıt gazlar; asetilen, propan, hidrojenidir. Şekil 2.2' de alevle tel püskürtme prosesinde yer alan cihazlar gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Alevle tel püskürtmede kullanılan cihazlar

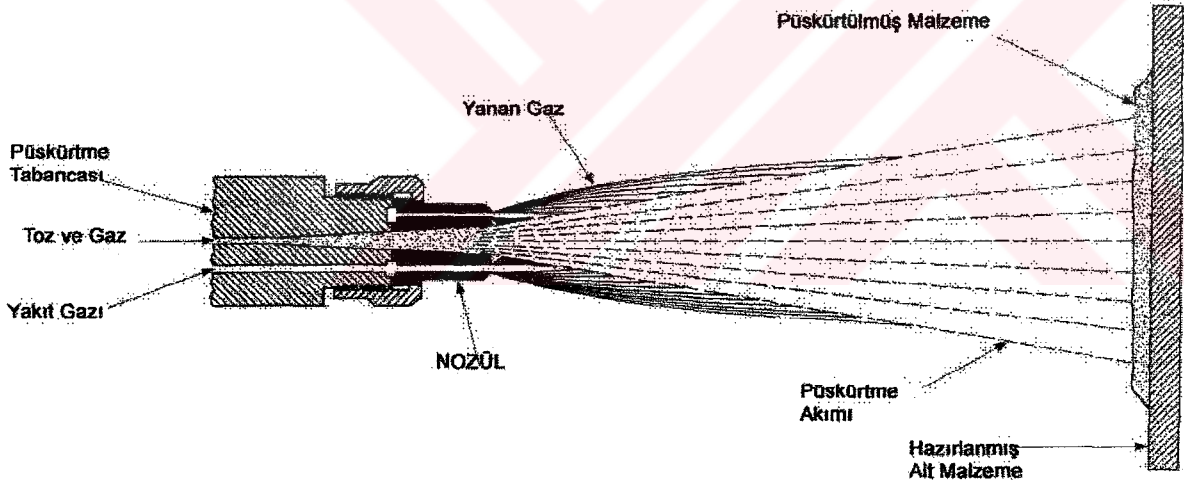
2.1.2 Alevle toz püskürtme

Ekonomik ve güvenilir olduğundan sık kullanılan bir sistemdir. Düşük ilk yatırım maliyeti yüzünden, karmaşık işlem gerektirmeyen, ısı püskürtme sınıfına girer. Şekil 2.3' te alevle toz

püskürtme prosesinin çizgi şekilsel gösterimi yer almaktadır.

2.1.2.1 Özellikleri ve avantajları

- a) Uzun tüketim ömrü ile beraber düşük maliyet
- b) Birden fazla yerde kullanım ve güvenilirlik
- c) İşletme kolaylığı
- d) Nispeten daha düşük operasyonel gürültü
- e) Çok miktarda kaplama malzemesi kullanılabilmesine elverişlilik
- f) Otomasyona elverişli
- g) Taşınabilirlik



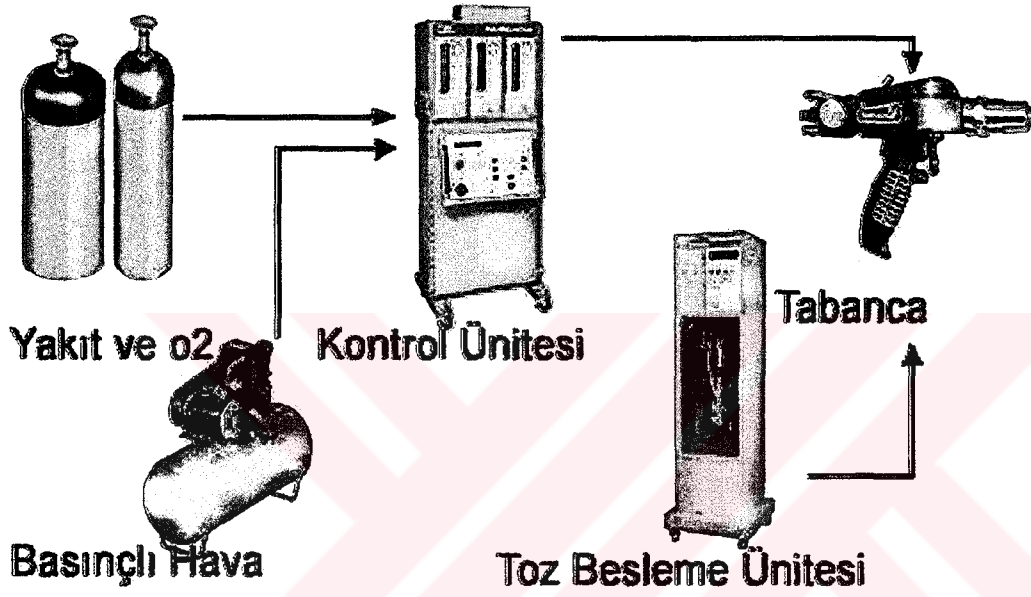
Şekil 2.3 Alevle toz püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000)

2.1.2.2 Kullanım alanları

- a) Yeniden inşa operasyonları
- b) Aşınma dayanımı gerektiren yerler
- c) Kimyasal etkilere karşı dayanım gerektiren yerlerde
- d) Atmosferik ve yüksek sıcaklık korozyon kontrolü gereken yerlerde

2.1.2.3 Teorisi

Alevle toz püskürtme, alevle tel püskürtmeye benzemekle beraber toz halindeki malzemenin ana kaplama malzemesi olarak kullanılmasının avantajlarından yararlanır. Alevle tel püskürtmeye oranla çok daha farklı malzemelerin kullanılmasına izin verir. Kaplanacak toz malzeme devamlı olarak oksî-asetilen alevine tutulur. Taşıyıcı gaz, tozu aleve doğru götürür ve hedef malzemenin yüzeyine doğru püskürtür. Yakıt gazı olarak asetilen ve hidrojen kullanılır. Şekil 2.4' te alevle toz püskürtme prosesinde yer alan cihazlar gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Alevle toz püskürtmede kullanılan cihazlar

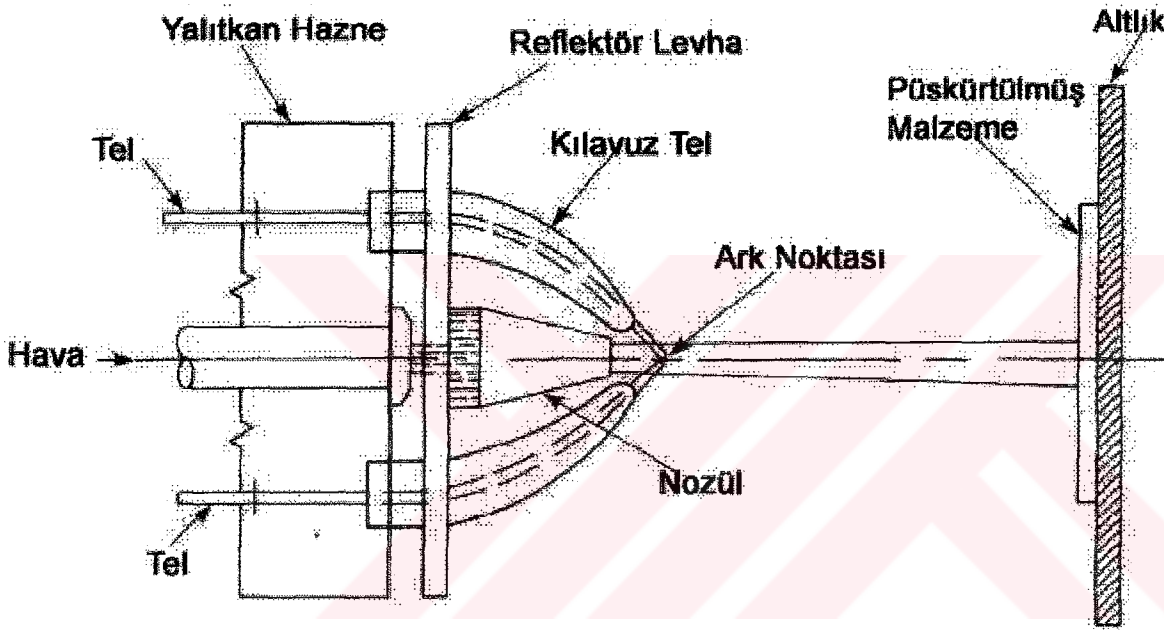
2.1.3 Elektrik-ark tel püskürtme

Olduça basit bir ısı püskürtme yöntemidir. Basitliği, elektrik ve basınçlı havanın kullanımından ve de yakıt gazı gerektirmediğindendir. Bu yüzden hızlı bir sistemdir. Şekil 2.5' te elektrik ark tel püskürtme prosesinin çizgi şekilsel gösterimi yer almaktadır.

2.1.3.1 Özellikleri ve avantajları

- Minimum beceri gerektirmesi
- Çok farklı özellikteki alt malzemelerin kaplanabilmesi
- Yakıt gazı gerektirmemesi
- Otomatik tel yükleme yapılabilmesi

- e) Birden fazla yerde kullanım ve güvenilirlik
- f) İşletme kolaylığı
- g) Büyük tasarımların kaplanabilmesi
- h) Mükemmel kaplama yapışma kuvveti ve yoğunluğu
- i) Otomasyona elverişlilik



Şekil 2.5 Elektrik-Ark tel püskürtme çizgişekilsel gösterimi (ASM, 2000)

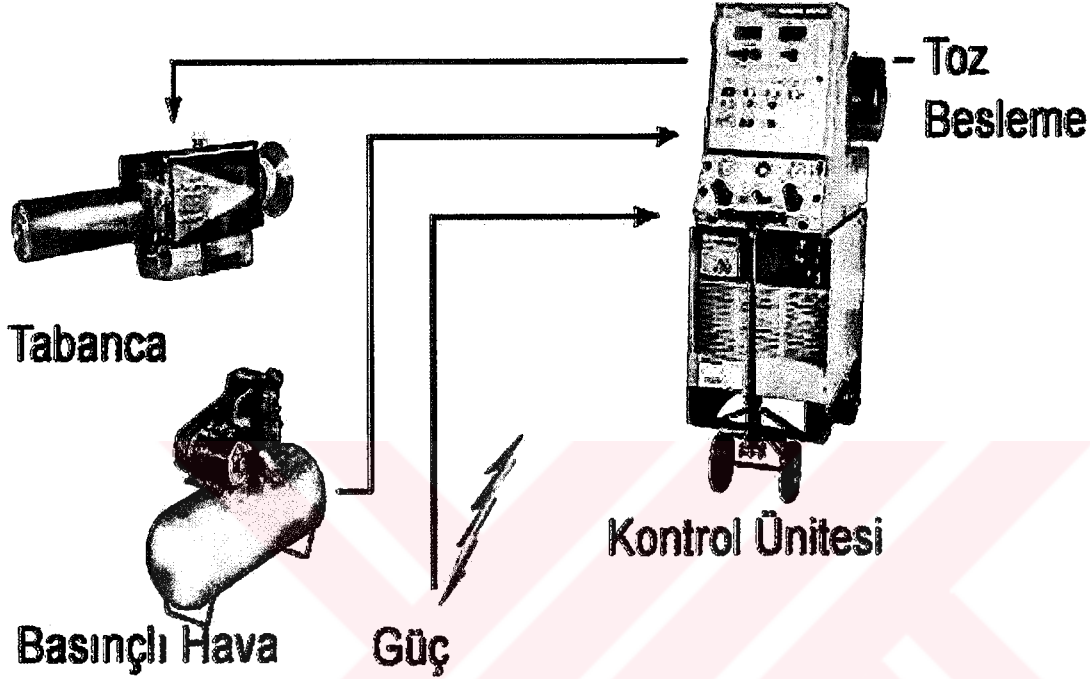
2.1.3.2 Kullanım alanları

- a) Atmosferik ve yüksek sıcaklık korozyon kontrolü gerektiğinde
- b) Yeniden inşa operasyonları
- c) Astarların yapımında
- d) Elektrik iletkenliği olan yerler ve lehim kaplamalarda

2.1.3.3 Teorisi

Tel ark püskürtmede, iki metalik tel kullanılır. İki tel, farklı kutuplarda elektrikle yüklenir ve ark tabancasında eşlenerek kontrollü olarak beslenir. Teller birbirleriyle temas noktasında ergime için yeterli ısıyı oluştururlar. (4000 °C) Basınçlı hava ergimiş malzemeyi atomize

etmek ve hedef malzemeye hızlı bir şekilde göndermek için kullanılır. Tel ark püskürtmede, bir seferdeki yüzeyde oluşturulan kaplamanın ağırlığı, elektrik gücünün ve telin ergime noktasının ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Tel ark püskürtmede yalnızca metalik kaplama yapılabilir. Şekil 2.6' da elektrik ark tel püskürtme prosesinde yer alan cihazlar gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Elektrik-Ark tel püskürtmede kullanılan cihazlar

2.1.4 HVOF (Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt) püskürtme

HVOF; çok kaliteli, sert ve yoğun kaplamalar üreten bir ısı püskürtme yöntemidir. Yöntem, kaplanacak yüzeye mükemmel yapışma sağlanması ve mükemmel aşınma direnci gösterilmesi gereken yerlerde uygulanır.

Son yıllarda yakıt olarak doğal gazın kullanılması, hidrojen yakıtına göre bu sisteme avantajlar sağlamış ve oluşturulan kaplamanın özelliklerinde pozitif biçimde değişmesini gerçekleştirmiştir.

2.1.4.1 Özellikleri ve avantajları

- a) Kaplamada mükemmel yapışma
- b) Düşük oksitli metalik kaplamalar

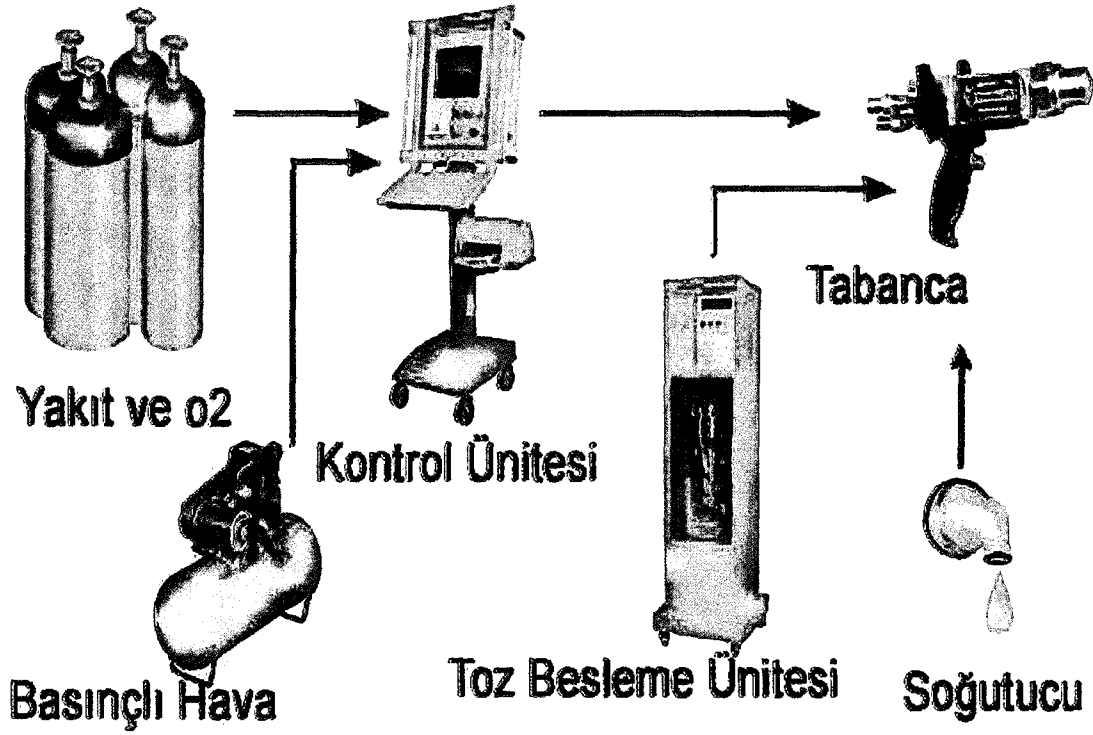
- c) Düşük gözeneklilik
- d) Çok yüksek kaplama kalınlıkları
- e) Optimize edilmiş mikrosertlik
- f) Tahmini kaplama kimyası
- g) Yüzeyin düzgün ve mükemmel bir şekilde işlenebilmesi
- h) Otomasyona elverişli

2.1.4.2 Kullanım alanları

- a) Yeniden inşa operasyonlarında
- b) Aşınma ve erozyona dayanıklılık gerektiren yerlerde
- c) Kavitasyon etkisine dayanıklılık gerektiren yerlerde
- d) Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gerektiren yerlerde
- e) Oksidasyon ve sülfidasyonun kontrollü olması gereken yerlerde
- f) Atmosferik ve yüksek sıcaklık korozyon kontrolünün gerektiği yerlerde kullanılır.

2.1.4.3 Teorisi

Bu proseste oksijen-yakıt karışımı kullanılır. Kullanıcı gereksinimine bağlı olarak; propilen, propan, hidrojen ve doğal gaz yakıt olarak kullanılabilir. Taşıyıcı azot gazının yardımı ile toz halindeki kaplama malzemesi tabancaya taşınır. Oksijen, yakıt gazı ile tabancanın önündeki sifon sistemde karışır. Tamamen karışmış gaz nozülünden dışarı çıkar ve tabancanın dışında tutuşmuş vaziyettedir. Tutuşmuş gaz dairesel bir alev yaratır ve toz halindeki kaplanacak malzemeyi ısıtarak kaplanacak yüzeye doğru püskürtür. HVOF prosesinde, yüksek kinetik enerjinin, toz partiküllerine transferinden dolayı kaplanacak malzeme genellikle tam olarak ergitilmez. Bunun yerine, ergimiş durumdaki toz partikülleri yüzeye temasa geçtiklerinde plastik olarak yassılaşırlar. Sonuçta elde edilen kaplama, iyi ve homojen bir tane yapısına sahip olur. Şekil 2.7’de HVOF prosesinde yer alan cihazlar gösterilmiştir.

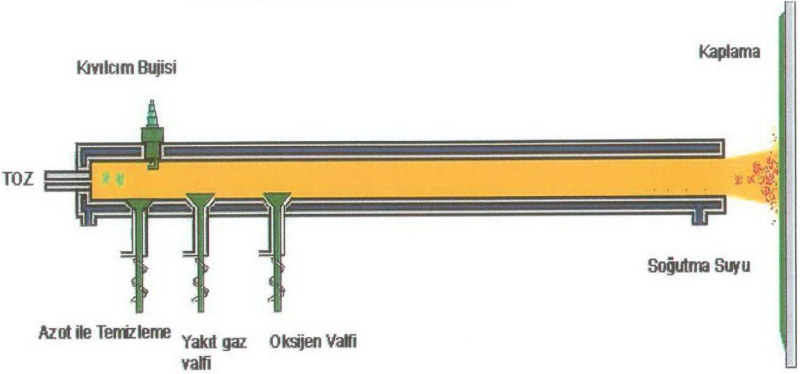


Şekil 2.7 HVOF püskürtmede kullanılan cihazlar (Sulzer, 2002)

2.1.5 Detonasyon ısı püskürtme

Detonasyon tabancası temelde, toz ve gaz giriş valflerinin bulunduğu içinden su geçen uzun bir tüpe benzer. Tüp, oksijen ve yakıt (çoğunlukla asetilen) ile beslenir. Kıvılcımla, gaz karışımı alevlendirilir, detonasyon ısınır ve tozu süpersonik bir hızda tüpe iletir. (Şekil 2.8) Bir miktar azot her detonasyondan sonra tüpü temizlemek için kullanılır. Bu proses bir saniyede çok kez tekrarlanır. Yüksek kinetik enerjili, sıcak toz tanelerinin kaplanacak yüzeye etkileşimleri, çok yoğun ve güçlü bir kaplama meydana gelmesini sağlar.

DETONASYON PÜSKÜRTME



Şekil 2.8 Detonasyon püskürtme çizgişekilsel gösterimi (Gordon, 2002)

2.1.6 Kapalı sistem kontrollü atmosfer ısı püskürtme

Kaplama özelliklerinin çok kritik olduğu veya optimum kaplama kalitesi için başvuru olan yöntemdir. Tam anlamıyla ortam kontrol altında tutulduğu için, kirleticilerden uzak, çok kaliteli kaplamalar elde edilir.

2.1.6.1 Özellikleri ve avantajları

- Mükemmel metalurjik birleşme
- Çok yoğun ve çok ince kaplamalar, ince filmler dahil
- Oksitsiz metalik kaplamalar
- Kaplamanın ve hedef malzemenin kirlenmesinin önlenmesi
- Üniform kaplamalar elde etmek
- Çok kalın kaplamalar
- Düşük operasyonel gürtü
- Geniş kaplama malzemesi seçeneği
- Çevreyle dost işletim

2.1.6.2 Kullanım alanları

- a) Oksidasyon ve sıcak korozyon dayanımı gerektiren yerler
- b) Bio-medikal ve yüksek saflıkta kaplama
- c) Yüksek kaliteli, refrakter metal kaplamalar
- d) Kompozit malzeme üretimi
- e) Fiber destekli kompozit malzeme kaplamalar
- f) Hızlı prototip yapımı
- g) İnce film yapımı
- h) Kimyasal etkilere dayanım istenen yerlerde kullanılır.

2.1.6.3 Teorisi

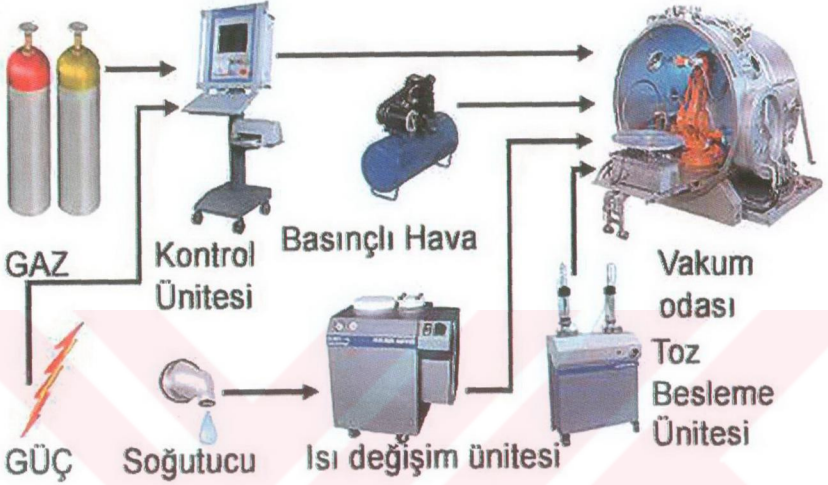
“Kontrollü ortam” püskürtme teknolojisi, önümüzdeki yıllarda, tüm ısı püskürtme yöntemlerinin önüne geçecek görünmektedir. Bu sistemde, püskürtme tabancası bir oda içinde bulunur ve oda tamamıyla kontrol altındadır. Bu durum, kaplamaya, standart atmosferik basınçla yapılan kaplamalara oranla eşsiz özellikler kazandırır. Ortam, vakum ortamına yakın düzeyden (50 mbar’ın altında), 4 bara kadar çıkar.

Kapalı sistem püskürtme teknolojisi, iki özel gruba ayrılır. CAPS (Kontrollü atmosferde plazma püskürtme) prosesi düşük, standart veya yükseltilmiş basınçta, yedek atmosferle tekrar-dolum uygulanarak gerçekleşir. LVPS (Düşük vakumlu plazma püskürtme), LPPS (Düşük basınçlı plazma püskürtme), VPS (Vakum plazma püskürtme) prosesleri ise ya vakum ortamına yakın düzeyde ya da düşük basınçta yedek atmosfer olmaksızın tekrar-dolum uygulanmadan gerçekleştirilir. LVPS, LPPS ve VPS’de kaplama tozları atmosferik ortamın sürtünmesinden etkilenmezler.

Sonuçta atmosferik ortamda gerçekleştirilen kaplamalara oranla birçok avantaj sağlanmış olunur: Birincisi, tabanca ile çalışma parçası arasındaki mesafe önemsizdir. İkincisi, plazma alevi üniform bir kesit oluşturur, nokta çapı çok genişler ve püskürtme proses zamanını düşürür. Aynı zamanda, atmosferik bir ortamın olmamasından dolayı kaplama partiküllerinin soğuması oldukça yavaş olur. APS’de görülen katmansı yapı yerine, daha kristalin bir yapı elde edilir. CAPS sistemler, oldukça esnek biçimde atmosfer seçimine izin verirler. Soy, koruyucu atmosferler reaktif püskürtme malzemelerinin saflığını sağlamakla kalmaz aynı

zamanda hedef malzemenin hızla okside olmasını ve kirlenmesini önlerler.

LVPS ve LPPS sistemler seri üretimler için uygundur. Şekil 2.9 'da kontrollü atmosferde kullanılan cihazlar yer almaktadır.



Şekil 2.9 Kontrollü atmosferde püskürtme sistemi ekipmanları (Sulzer, 2002)

2.1.7 APS (atmosferik plazma püskürtme)

İlerde detaylı olarak anlatılacaktır.

2.2 Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2.1 Isıl Püskürtme Yöntemleri Karşılaştırılması

Kaplama Tipi	Alevle Tel Püskürtme	Alevle Toz Püskürtme	HVOF	Elektrik- Ark Tel Püskürtme	Plazma Püskürtme	VPS, LVPS, LPPS
Gaz Sıcaklığı 10 ³ °C						
Tüm Kaplamalarda	3	3	2-3	-	12-16	10-80
Bağ Kuvveti MPa						
Ferro-Metal	14-28	14-21	48-62	28-41	22-34	100-400
Demirdışı metal	7-34	7-34	48-62	14-28	14-28	400-750
Self-flux alaşımlar	-	83+	62	-	-	-
Seramikler	-	14-32	-	-	21-41	25-55
Karbürler	-	34-48	83+	-	55-69	500-100
Yoğunluk %						
Ferro-Metal	85-90	85-90	95-98	85-95	90-95	97-99
Demirdışı metal	85-90	85-90	95-98	85-95	90-95	97-99
Self-flux alaşımlar	-	100	98	-	-	-
Yoğunluk %						
Seramikler	-	90-95	-	-	90-95	95-98

Karbürler	-	85-90	95-98	-	90-95	95-98
Sertlik						
Ferro-Metal	84Rb-35Rc	80Rb-35Rc	90Rb-45Rc	85Rb-40Rc	80Rb-40Rc	30Rc-50Rc+
Demirdışı metal	95Rh-40Rc	30Rh-20Rc	100Rh-55Rc	40Rc-35Rc	40Rh-50Rc	45Rc-55Rc
Self-flux alaşımlar	-	30-60Rc	50-60Rc	-	-	-
Seramikler	-	40-65Rc	-	-	45-65Rc	50-70+Rc
Karbürler	-	45-55Rc	55-72Rc	-	50-65Rc	50-70+Rc
Geçirgenlik						
Ferro-Metal	Yüksek	Orta	Az	Orta	Orta	Yok
Demirdışı metal	Yüksek	Orta	Az	Orta	Orta	Yok
Self-flux alaşımlar	-	Yok	Az	-	-	
Seramikler	-	Orta	-	-	Az-Orta	Az
Karbürler	-	Orta	Az	-	Az-Orta	Az
Kaplama Kalınlığı Limitleri (mm)						
Ferro-Metal	0.5-2.0	0.5-2.0	0.6-2.5	0.5-2.5	0.4-2.5	0.05-10+

Demirdışı metal	0.5-2.0	0.5-2.0	0.6-2.5	0.5-2.5	0.4-2.5	0.05-10+
Self-flux alaşımlar	-	0.4-2.5	0.4-3.8	-	-	0.1-15+
Seramikler	-	0.4-0.8	-	-	0.4-5.0	0.05-10+
Karbürler	-	0.4-0.8	0.4-5.0	-	0.4-5.0	0.05-10+

3. PLAZMA PÜSKÜRTME KAPLAMA PROSESİ

3.1 Plazma

Plazma, iki elektroda voltaj uygulandığında, bir elektrik akımı iletebilecek kadar yeterli elektron ve iyonlara sahip olan gazdır. Plazmalar, günlük yaşamda floresan ışıkları, sodyum buhar lambaları ve neon ışıklarında kullanılır.

Enerji yüklü elektron, bir atoma çarparsa onu daha yüksek enerjili seviyeye çıkartır. Bu elektron kendiliğinden daha düşük enerji seviyesine düşer ve atom belli dalga boyunda atomun özelliğini belirleyecek şekilde ısıma yapar. Yüksek seviyelerden indirgenen elektronlar atomun özelliğine bağlı olarak bir spektrum verirler. Atomun, dıştaki elektronlarının yükseltgenme ve indirgenmesi görünür bir spektrum oluşturur, (4100 Å 'den 7200 Å'e ya da 3.0 eV'tan 1.7 eV'a) ve bu da plazmanın özelliğini (rengini) belirler. Atom çekirdeğine yakın olan elektronların indirgenmesi, ultraviyole ışımaya ve hafif X ışınlarının oluşmasına sebep olur. Aşağıda, soğuk plazma renkleri görülmektedir.

Argon-menekşe rengi

Oksijen-sarı,beyaz

Azot-kırmızı,sarı

Hidrojen-pembe

Bakır-yeşil

Sodyum-sarı

Civa-mavi-yeşil

Hava-kırmızımsı

Plazma; nötral atomlar ve moleküller, yükseltgenmiş ısıyan zerrecikler, yükseltgenmiş metastabil zerrecikler, elektronlar, nötral moleküler radikaller, iyonize moleküler parçalar ve yeni zerreciklerden oluşur. Bunlara ek olarak foton ışması (görünür ve ultraviyole) oluşabilir. Bu zerreciklerin çoğu, kimyasal olarak, başlangıçtaki gaza göre reaktiftir. Oluşan her zerreciğin durumu bir çok faktöre bağlıdır: Plazma oluşumu, plazma gücü, plazmanın oluşum yeri ve gaz yoğunluğu.

İyonlar ve elektronlar, bir elektrik alana girdiklerinde hızlanırlar. Bu yüksek enerjili iyonlar,

yük-değişim mekanizması ile yüklerini kaybederler. (Yüksek enerjili iyonlar nötralden elektron alır ve düşük enerjili iyon ve yüksek enerjili nötral yaratır) Bu yüksek enerjili nötraller elektrik veya magnetik alandan etkilenmezler. Enerji taşıyan iyonlar ve nötraller gaz zerreciklerinin fiziksel olarak çarpışması sonucu enerjilerini yitirirler. Bu da gaz sıcaklığını artırır.

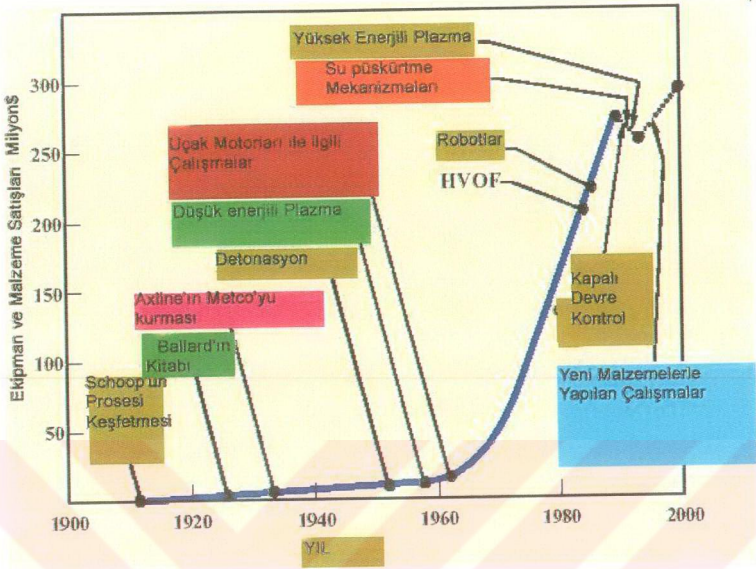
Plazma oluşum bölgesi dışında yüzeye yakın yerler hariç, plazma nötraldir. Bunun anlamı, her santimetrekare başına eşit sayıda elektron ve iyonu bünyesinde barındırmasıdır ve bu yoğunluğa "plazma yoğunluğu" adı verilir. Plazmada tane sıcaklığı 2-3 eV (soğuk plazma)tan binlerce elektronvolta kadar (sıcak veya füzyon plazma) olabilir. (Mattox, 1995)

"Plazma" deyimini, ilk defa 1928 yılında General Elektrik laboratuvarında çalışan Irving Lagmuir tarafından kullanılmıştır. Plazma, uzunca bir süre iyonize gaz olarak kabul edilmiştir. Bugün ise plazma, adi gazlardan üç yönden farklı olan maddenin 4. hali olarak kabul edilmektedir. Bu farklar sırasıyla;

- a) Plazma elektrik yüklü zerrecikler içerir.
- b) Plazmanın elektriksel özellikleri, adi gazlarınkinden farklıdır.
- c) Plazma anizotropiktir. Yani özellikler farklı doğrultularda farklıdır. (Geçkinli, 1992)

3.2 Plazma Püskürtmenin Tarihçesi

Plazma alev makinaları, 1950'lerde, test amaçlı olarak ortaya çıkmıştır. 50'lerin sonunda ve 60'ların hemen başında, refrakter malzemelerin plazma ile püskürtülmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. Son 10 yılda ise bu yöntem çok gelişmiştir. Modelleme ve teşhis etme metodları aynı zamanda büyük gelişme göstermiş ve daha iyi yapıya sahip ve daha iyi simule edilebilen prosesler ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmede, püskürtme hızı ve püskürtme verimliliğinin üretime olan direkt etkisi önemlidir. Fakat ergitme için yeterli enerji seviyesinin kullanılması ve toz akışının hızlandırılması önemli bir faktör olarak görülmemiştir. Ancak gelecekte bu faktörler çok daha büyük önem arzedecektir. Şekil 3.1'de plazma püskürtmenin yıllara göre gelişimi, ekonomik faktörle birlikte yer almaktadır. (Biancianiello ve Ridder, 1998)



Şekil 3.1 Plazma püskürtme prosesinin yıllara ve ekonomik faktöre bağlı olarak gelişimi

3.3 Plazma Püskürtme ile Kaplama Prosesinde Ön İşlemler

Kaplama kalitesinin iyileştirilmesi için, kaplama öncesi alt metal üzerinde gerçekleştirilecek yüzey işlemleri çok önemlidir. Alt malzeme yüzeyinin, yabancı maddelerden, çeşitli yağlardan ve kirliliklerden arındırılmış olması gerekir. Alt metal yüzeyinin pürüzlülüğü de kaplamanın yapışmasını etkileyen diğer önemli bir faktördür. Kaplanacak yüzey, hazırlandıktan hemen sonra kaplanmalı, oksidasyon oluşumu engellenmelidir.

3.3.1 Temizleme ve yağ alma

Püskürtme işleminden önce, yüzeydeki korozyon tabakası, pas, boya ve yağ temizlenmelidir. Yüzeydeki bu tabakalar; sıyırılarak, tel fırça ile fırçalanarak, makinede işlenerek, taşlanarak veya kimyasal işlemle uzaklaştırılabilir.

Yağ alma, kaplanacak yüzeyden sıvıların ve vücut yağ ve terinin sıyırılması için, en güvenli ve en ekonomik yöntemdir. Kaplamaya hazırlanmış yüzey, kaplama işi hemen başlamayacaksa temiz kraft kağıdı ile korunmalıdır. Kaplama ertesi güne yapılacaksa, kaplanacak yüzeyin mutlaka nemden ve yabancı maddelerden korunması gerekir. Bu arada, yüzeyde, yoğunlaşmalar

sebeb olacak kadar sıcaklık değişimlerinde olmamalıdır.

3.3.2 Yüzey pürüzlülüğü

Yağ alma işlemi bittikten sonra, yüzey pürüzlülüğünü optimum değerlere getirmek gerekir. Genelde bu işlem için 3 metod kullanılır. Bunlar kaba vida diş açma, kumlama ve bunların kombinasyonu ile oluşan üçüncü metodtur. İki metodta, yeterli verim alınamaması ve altmetalın çok yıpranması nedeniyle artık tek başına kullanılmamaktadır. Mekanik deformasyonun mümkün olmadığı yerde Ni-Al astarlar kullanılabilir. Ancak bunlar tek başına kumlamadan daha az bağlanma kuvveti gösterirler. Genelde kumlamadan sonra aradaki bağ kuvvetlendirmek için astarlama yapılır. Molibden de astar malzemesi olarak kullanılabilir. Özellikle metal-oksit kaplamalarda kullanılan bir yöntemdir.

3.3.2.1 Kaba vida diş açma

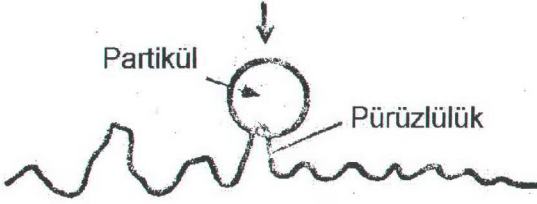
Genelde silindirik yüzeye sahip kalın parçalara uygulanır. Hazırlanan parça tornaya alınır ve bir geçiş uygulanır. İnce yüzeyler için tavsiye edilmez. Bundan sonra yapılan kumlama ile daha yüksek bağ kuvvetleri elde edilir. Kesme sıvısının kullanıldığı durumlarda, yüzeyde bulunan sıvı kumlamadan veya kaplamadan önce mutlaka temizlenmelidir. (ASM, 2000)

3.3.2.2 Kumlama

Yüzeyi kirli altmalzemeler, kaplama hatalarına neden olurlar. Bu nedenle kaplama için kullanılan kumlama ekipmanları, asla; kir, boya ve sıvı ortamları için kullanılmamalıdır. Kumlama için kullanılan hava, temiz ve kuru olmalıdır.

Alüminyumoksit ve soğukta sertleştirilmiş demir, yüzey hazırlama için kullanılan malzemelerdir. Kum büyüklüğü -10 +30 mesh, -14 +40 mesh ve -30 +80 meshtir. Yüzey pürüzlülüğü kum partiküllerinin büyüklüğüne bağlı olduğundan, kum büyüklüğü istenen kaplama kalınlığına bağlı olarak belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü aynı zamanda hava basıncı ile de değiştirilebilir. Kumlama yüzeyde bir basma gerilmesi oluşturur. İnce kesitlerde kumlama esnasında daha dikkatli olunmalıdır, çünkü taneler yüzey üzerinde bozulma yaratabilirler.

Kumlama sonrası en çok karşılaşılan problem yüzeyin tekrar oksitlenmesidir. Ancak Şekil 3.2' de görüldüğü üzere söz konusu bir durum olduğunda bir teoriye göre pik nokta oksit filmini kırar.



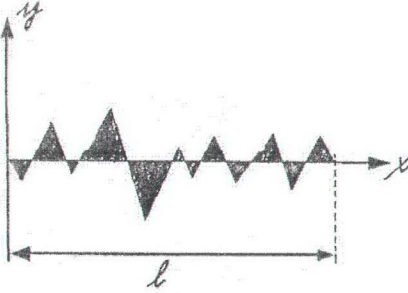
Şekil 3.2 Toz partikülün pürüzlülük üzerine etkisi (1)

Şekil 3.3'de ise partikülün düz yüzeye gelmesi şematize edilmiştir. Bu da mekanik bağlanmayı olumlu yönde etkiler.



Şekil 3.3 Toz partikülün pürüzlülük üzerine etkisi (2): Toz partikül düz yüzeyde; Mekanik bağlanma daha iyi (Wigren, 1992)

Yüzey pürüzlülüğü hesaplanmasında R_A değeri kullanılır. R_A değeri aşağıdaki şekil 3.4 ve denklemde gösterildiği gibi hesaplanır.

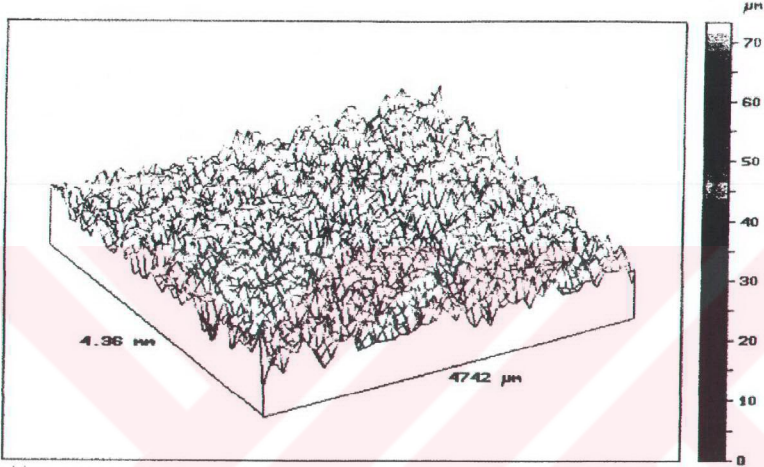


Şekil 3.4 R_A değeri hesabında kullanılan grafiğin çizgişekilsel gösterimi

$R_A = \text{Şekil 3.4'teki taralı alan/L}$

(5.1)

Şekil 3.5 kumlanmış bir yüzeyin pürüzlü yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Kumlanmış yüzeyin 3 boyutlu görünümü

Şekil 3.5'te de görüldüğü gibi plazma püskürtme öncesi yüzeyler kumlama işlemi ile pürüzlendirilirler. Şekilde görülen pürüzlü yüzey izotropiktir, yani her yönde aynı topografiyi gösterir. Yüzey düzensiz bir yapıdadır ve çok miktarda girinti, çıkıntılar içerir. (Griffiths vd., 1997)

3.3.3 Kaplama sonrası yüzey işlemleri

Kaplama sonrasında, kaplama tabakasının koruyuculuğunu arttırmak amacıyla yüzey işlemleri uygulanabilir. Genelde, kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü 5 ila 13 μm arasında değişir. Gözeneklilik ise, kaplanan malzemeye bağlı olarak %2 ila 17 arasında değişir. Püskürtme sonrası yapı son işleme tabi tutulmadan önce mutlaka hidrolik sıvılara ve korozif çözücülere karşı korunmalıdır.

3.3.3.1 Sızdırmazlık sağlama

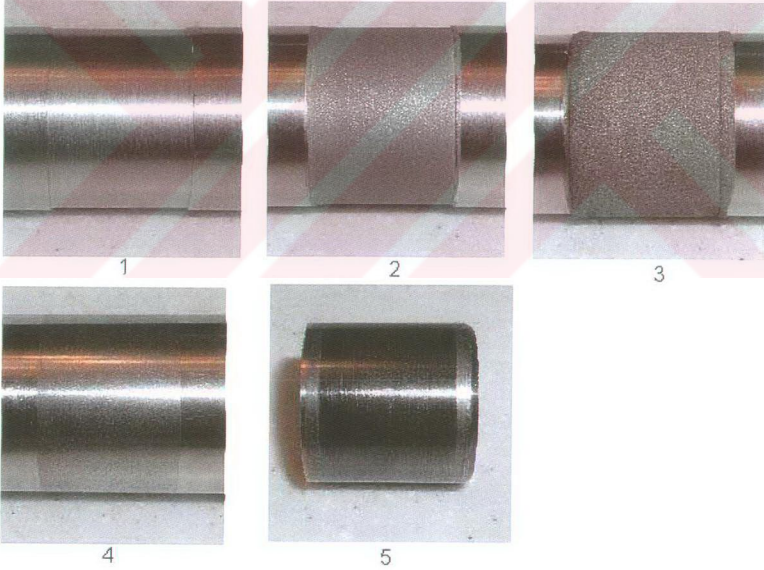
Sızdırmazlığın sağlanması, kaplama sonrası muhtemel gözeneklerin aralarına sızabilecek korozif çözücüler ve hidrolik sıvılara karşı koruma mekanizmasıdır. Yüzey gözenekliliği,

kaplanmış malzemenin son işleme girmesini engelleyen en önemli etkidir. Sızdırmazlık sağlanması ile parça, son işlemlere girebilir hale gelir.

Sızdırmazlığın sağlanması için cilalar, fenolikler ve inorganik maddeler kullanılır. Cilalar düşük servis sıcaklığında sıvıların gözeneklere girmesini engeller. Reçine bazlı sızdırmazlık elemanları 90-260 °C arasında etkin bir koruma sağlar. Silikon bazlı sızdırmazlık elemanları ise bazı askeri uygulamalarda 480 °C' ye kadar, tuz-püskürtme deneyinde etkin koruma sağlamışlardır. Epoksi ve fenolik sızdırmazlık elemanları ise yüksek gözenekliliğin söz konusu olduğu durumlarda kullanılırlar.

3.3.3.2 Yüzey bitirme işlemleri

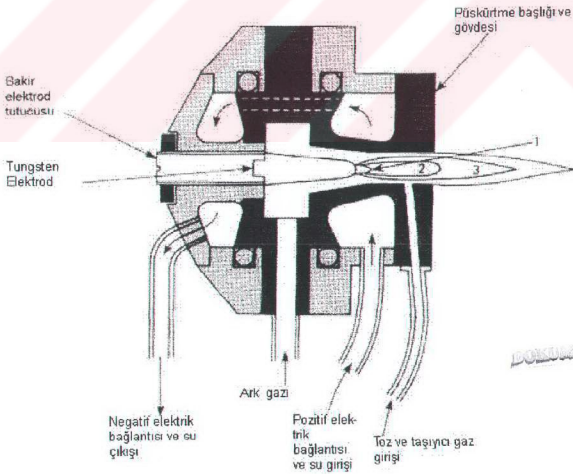
Genelde tornalama, taşlama, lepleme ve cilalama işlemleri uygulanır. Dikkat edilmesi gereken nokta, bu işlemleri alt malzeme, kaplama malzemesinden ayrılmaksızın yapabilmektir. Şekil 3.6' da işlem kademeleri sonucunda oluşan yüzeyler gösterilmektedir. (Bream, 2001)



Şekil 3.6 Yüzey bitirme işlemleri 1.Şaft 2.kumlanmış 3.plazma püskürtülmüş 4. taşlanmış 5.birkaç kere kullanılmış

3.4 Plazma Püskürtme Kaplama

Plazma püskürtme, ısı püskürtme yöntemlerinin en güvenilir olanıdır. Kaplama malzemesi olarak toz kullanıldığından, birçok malzeme plazma püskürtme ile kaplanabilir. En önemli özelliklerinden biri, çok yüksek sıcaklıklara çıktığından, hemen hemen her cins toz malzemenin ergimesidir. Plazma tabancası; bir katot (elektrod), anot (püskürtücü) ve aralarındaki küçük bir odadan ibarettir. Doğru akım (DC) katoda bağlanır, ark ise anoda uygulanır. Aynı anda gaz veya gaz karışımı odalardan içeri verilir. Çok güçlü olan ark, gazı elektronlarına ayırır (iyonizasyon) ve plazma formu oluşmuş olur. Isıl enerji geri çekildiğinde kararlı olmayan plazma eski hali gaza dönüşür ve soğur. Burada bahsedilen sıcaklık 6600 °C ile 16600 °C arasında değişir. Şekil 3.7'de plazma püskürtme prosesinde alevin farklı yerlerindeki sıcaklıklar şematize edilmiştir. Burada söz konusu olan sıcaklık, güneşin yüzey sıcaklığından yüksektir. Kaplama toz malzemesinin, gaza enjeksiyonu sırasında malzeme erir ve hedef alt malzemeye gönderilir. Burada toz malzemenin tabancaya enjeksiyonunu bir başka gaz sağlar. Argon gazı bu taşıma için idealdir.



Şekil 3.7 Yaklaşık plazma sıcaklıkları 1. 7800 °C 2. 10000-13400 °C 3. 7800-10000 °C

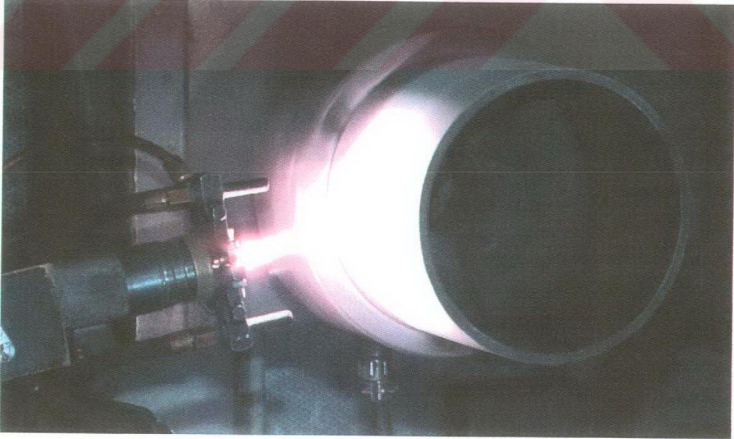
Püskürtme yapılmadan önce toz haznesi mutlaka temizlenmelidir. Bu temizleme işlemi genelde basınçlı hava ile gerçekleştirilir. Kritik öneme sahip parçalarda farklı toz hazneleri

kullanılır. Böylece muhtemel kaplama hatalarından korunmuş olunur.

Tipik plazma gazları; hidrojen, azot, argon ve helyumdur. Bu gazlardan genellikle herhangi ikisi alınarak karışımlar yapılır ve elektroda uygulanan akımla beraber plazma sisteminin ürettiği enerjinin kontrolü gerçekleştirilir. Her gazın akış hızı ve uygulanan akım hesaplanır, tekrarlama işlemleri yapılır ve tahminlerde işin içine katılarak kaplama gerçekleştirilir.

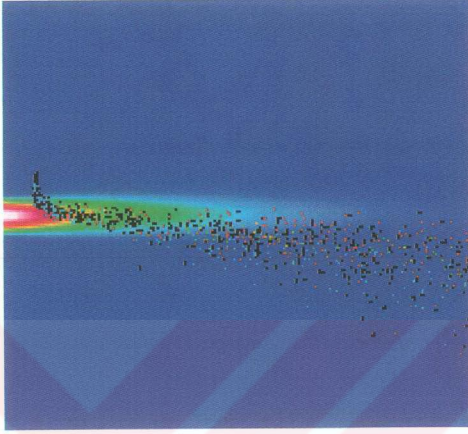
Burada plazma tabancası, bakır anot ve tungsten katottan oluşur ve her ikisi de su ile soğutulur. DC akımı elektrodunun soğutulmuş cidarları, plazmanın dış bölgelerinde plazma sıcaklığını düşürür. Soğuma, iyonlaşmayı ve dolayısıyla dış bölgelerde gazın sıcaklığını düşürür. Soğuma dış bölgelerdeki gazların iletkenliğini azalttığındandeşarjdaki akım, plazmanın daha sıcak merkez bölgesinde yoğunlaşma eğiliminde olur. Bu da, ısıl büzme etkisi yaratarak daha yüksek bir sıcaklık ve iletkenlik oluşumunu sağlar. Merkezdedeşarjın akım yoğunluğu belli bir düzeyi aşınca bir ikinci büzme etkisi işe karışır. Bu da, manyetik büzme olup, burada aynı yönde akan yüklü parçacıklar kendi kendine oluşan manyetik alan tarafından birbirlerini çekerler. Deşarjın bu sıkıştırması, plazmayı daha da yoğun hale getirir. Bundan sonra, hücrede oluşmuş elektromanyetik kuvvetler, yüksek basınçta altında olan plazmayı, yüksek derecede uyarılmış ve çıplak gözle bakılamayacak parlaklıkta parçacıklardan oluşmuş bir uzun hüzme halinde delikten dışarı fırlatır.

Gerçek bir plazma püskürtme tabancası ve proses, Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



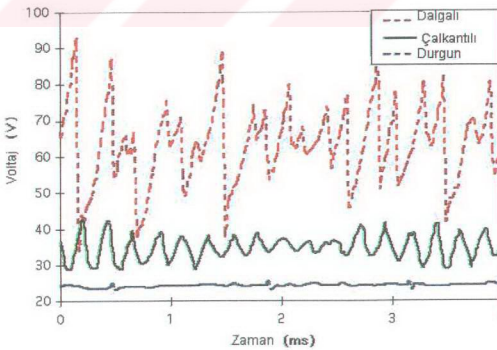
Şekil 3.8 Gerçek bir plazma püskürtme tabancası ve proses (Gordon, 2002)

Plazma püskürtme prosesi esnasında, toz malzemenin bir kısmının ergidiği, bir kısmının ise yarı ergidiği görülmüştür. Bunun nedeni, arkın davranışdır. Ark dalgalanmalarının sebebi ise voltajdaki değişimlerdir. Şekil 3.9’ da ergimiş-yarı ergimiş tozlar gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Ergimiş ve yarıergimiş tozlar: Renk değişimleri ergimenin nerede nasıl olduğunu açıklamaktadır. (kırmızı noktalar tam ergimeyi göstermektedir) (Fincke, 2002)

Ark voltaj analizleri için 3 ayrı model tanımlanmıştır. Bunların özellikleri Şekil 3.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Farklı ark modellerinde voltaj durumu

Voltaj analizi, “Dalgali” konumda olan anodun, aşınmış olduğunu göstermektedir. “Durgun”

durumda olan ise tercih edilen durumu gösterir. “Durgun” konumda olan anot, yeni anottur. Dalgalanma ne kadar az ise, elde edilen kaplama da o oranda iyi olur. Buradan plazma püskürtmede anotun durumunun ne kadar kritik bir öneme sahip olduğunu anlıyoruz.

Bir başka araştırmada plazma püskürtmede alev boyu ve genişliğinin, partikül özelliklerini ve kaplama kalitesini etkilediği anlaşılmıştır. Bu da aynı zamanda anodun aşınma durumu ile yakından ilgilidir. Şekil 3.11 <a>’ da görüldüğü gibi yeni anotta, alev uzun ve dardır. Bunun sonucunda elde edilen kaplama kalitesi iyidir. konumunda ise alev kısa ve geniştir. Bu durum, anodun ömrünün bittiğini göstermekle beraber, bu anotla yapılan kaplamaların kalitesi düşüktür. (Duan vd., 2002)



Şekil 3.11 Plazma alevi <a>yeni anot, ömrü bitmiş anot

3.5 Plazma Püskürtme İle Kaplama Prosesinde Kullanılan Cihazlar

3.5.1 Plazma tabancaları

Plazma tabancalarında en çok aranan özellik, kaç kW güce kadar çıkabildiğidir. 80 kW güce çıkabilen tabancalar mevcuttur. Ayrıca tabancaların hem el ile hem de otomasyon ünitesine bağlı olarak çalışabilmesi istenen bir özelliktir. Tabancalarda diğer bir özellik yüksek hızda toz beslemeye dayanabilmesidir. Şekil 3.12’ de bir plazma tabancası gösterilmektedir.

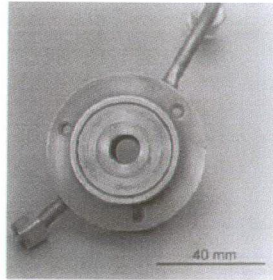


Şekil 3.12 Plazma tabancası (80kw)

Kaplanacak malzemenin durumuna bağılı olarak; başlık, elektrod ve toz girişleri değişebilmektedir. Şekil 3.13' te değişik başlıklar gösterilmiştir.(Sulzer,2002)



(a)



(b)

Şekil 3.13 Değişik başlıklar a. 16 çıkışlı başlık b. kontinü başlık (Thomson vd., 1998)

3.5.2 Plazma püskürtme kontrol üniteleri

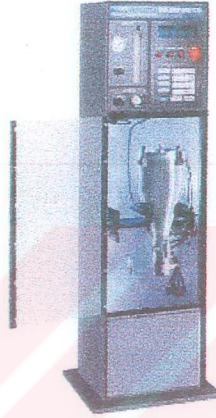
Plazma kontrol üniteleri, tüm plazma prosesinin kontrol edildiği cihazlardır. Bu üniteler, uçak ve biomedikal sanayiinde çoklu plazma tabancaları ile çalışan tüm endüstrilerde gerekli olduğu gibi, klasik konvansiyonel sistemlerde de kullanılırlar. Şekil 3.14' te örnek bir kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.14 Plazma püskürtme kontrol ünitesi

3.5.3 Toz besleme üniteleri

Kullanılacak alana bağlı olarak çeşitli toz besleme üniteleri mevcuttur. Şekil 3.15’ te gösterilen ünite, çok fonksiyonlu, taşıyıcı gaze göre kendini ayarlayabilen ve içindeki mikroçip vasıtasıyla yardımsız, tüm beslemeyi gerçekleştiren ve temizliği kendisi yapabilen gelişmiş bir besleme cihazdır.



Şekil 3.15 Plazma püskürtme toz besleme ünitesi

Toz besleme momentumu çok düşük ise, toz, plazmanın sıcak çekirdek bölgesi ile temasa geçmez. Benzer olarak, toz besleme momentumu çok yüksekse, toz, plazma hüzmesine girmeden yüzeye ulaşır. Her iki durumda da toz tamamen ergimez ve bu olay istenmeyen bir durumdur. (Ang vd., 2000)

3.5.4 Plazma püskürtme ile kaplama prosesinde kullanılan soğutucular

Plazma püskürtmede, kaplama kalitesini direkt olarak etkileyen parametrelerden birisi de tabancanın ne oranda soğutulabildiğidir. Bu nedenle soğutucu cihazının mümkün olduğunca işini iyi yapması gerekir. Şekil 3.16’ da plazma püskürtmede kullanılan soğutucu gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Plazma püskürtmede kullanılan soğutucu

3.5.5 Plazma püskürtmede kullanılan gazlar

Plazma, yüklü parçacıklar içeren, elektrik iletkenliğine sahip gazdır. Gazın atomları yüksek enerji seviyelerine çıktığında, atomlar bir kısım elektronlarını bırakırlar ve iyonize olarak elektrik yüklü partiküller-iyonlar ve elektronlar içeren plazmayı oluştururlar.

Plazma püskürtmede plazmanın oluşumu genelde aşağıdaki gazların ve karışımlarının kullanılması ile oluşturulur:

- *Argon
- *Helyum
- *Azot
- *Hidrojen

Kullanılan gazların oluşturduğu sıcaklıklar 6600-16000 °C arasında değişmektedir. Ancak yüksek sıcaklık her zaman yeteri kadar etkili olmaz. Önemli olan tozu plazma formuna çıkarmaktır. Örneğin 12000 °C' ye çıkartılmış ancak plazma formuna girmemiş He gazı, plazma püskürtme için yeterli enerjiyi sağlayamaz. Oysa 10000 °C' ye çıkartılmış azot gazı plazma formuna ulaşmış olur ve He'a göre 6 kat fazla enerji üretir.

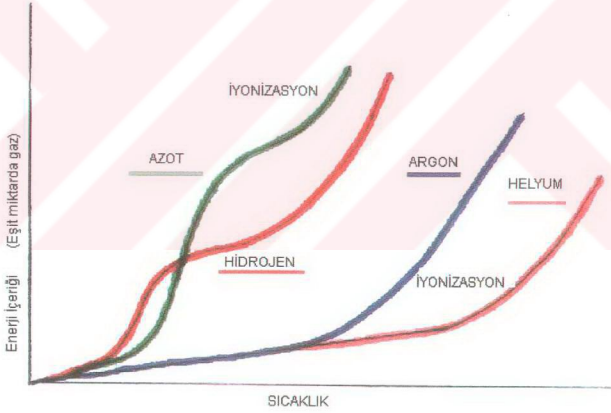
Azot ve hidrojen diatomik gazlardır. Bu plazmalar argon ve helyuma göre daha yüksek enerji içeriğine sahiptirler ve daha yüksek sıcaklıklara çıkarlar. Argon ve helyum ise monoatomik gazlardır. (Atomları molekül oluşturmaz)

Azot; genel amaçlı birincil gaz olup kendi başına veya ikincil hidrojen ile birlikte kullanılır. Ayrıca en ucuz plazma gazıdır. Azot çoğu püskürtme malzemesiyle reaksiyona girmez. Ancak Ti gibi malzemelerle reaksiyona girebilir.

Argon; en çok tercih edilen plazma gazıdır ve enerjisini artırmak için ikincil gazlarla (hidrojen, helyum, azot) birlikte kullanılır. Argon en kolay plazma oluşturan gazdır ve elektrod ve başlığa karşı agresif değildir. Argon soygazdır ve tüm malzemelere karşı soydur.

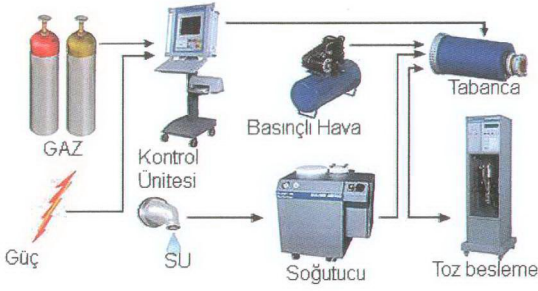
Hidrojen; genelde ikincil gaz olarak kullanılır. Isı transfer özelliklerini anormal bir biçimde etkiler ve antioksidan olarak davranır. Çok az miktardaki H_2 diğer gazlara eklendiğinde plazma karakteristikleri ve enerji seviyeleri oldukça büyük değişiklik geçirir ve bu da plazma voltajının ve enerjisinin kontrolünü sağlamamıza yardımcı olur. %5-25 arasında birincil gaza karıştırılır. Ark voltajını yükseltir.

Helyum, argonla beraber ikincil gaz olarak kullanılır. Helyum soygazdır ve tüm püskürtme malzemelerine karşı soydur. Helyum, ısı transferi özelliklerini geliştirir ve plazma enerjisinin kontrolünde yüksek hassasiyet sağlar. Yüksek kaliteli karbür kaplamaların gerekli olduğu yerlerde, yüksek hızlı plazma püskürtme uygulandığında Helyum kullanılır. Şekil 3.17' de çeşitli gazların sıcaklıkla bağlantılı enerji içerikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Çeşitli gazların sıcaklıkla bağlantılı enerji içerikleri

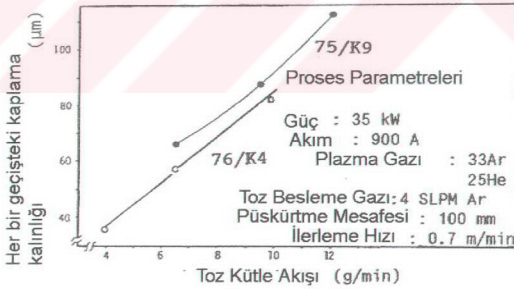
Plazma püskürtme işleminde hernekadar cihazların kalitesi elde edilen kaplamanın kalitesine yoğun biçimde etkisindedir, en az bunun kadar önemli olan bir başka şey; cihazların birbirleriyle olan uyumları ve operatörlerin bu donanımları yeterince kullanım tecrübesidir. Aşağıda çizgişekilsel olarak bir plazma sisteminde varolması gereken cihazlar gösterilmiştir. (Gordon 2002)



Şekil 3.18 Plazma püskürtme prosesinde yer alan cihazlar

3.6 Kaplama Kalınlığı , Arayüzey ve Bağlanma Mekanizmaları

Kaplama kalınlığına etki eden parametreler; toz kütle akışı (Şekil 3.19), toz besleme gazı ve altmalzemenin üzerinden geçiş sayısıdır. Bu parametrelerin herbirinin artması, kaplama kalınlığının artmasına sebep olur. Püskürtme mesafesi ve ilerleme hızı, kaplama kalınlığının artması ile ters orantılıdır. Değişken akım yoğunluğu ise kaplama kalınlığına direk etki yapmaz. Adhezyon, iç gerilmeler ve gözeneklilik, her bir geçişteki kaplamanın kalınlığı ile değişir. (Lugscheider vd., 1993)



Şekil 3.19 Toz kütle akışının kaplama kalınlığına etkisi

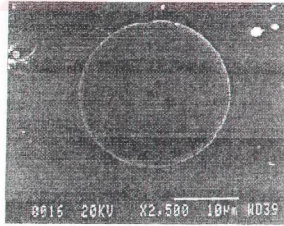
Plazma püskürtme kaplamalar, yassı partiküller ve tabaka yapısından oluşur. Tek bir yassı partikül, kaplamadaki temel birimdir. Plazma püskürtme kaplamaların yapısı, yassı partiküllerin kalınlığına, partiküller arasındaki mikroçatlakların yapısına ve yassı partiküller arasındaki arayüzeyin bağlanma durumuna bağlıdır.

Altmalzemeye, bir damlacık şeklinde püskürtme malzemesinin geldiğini farzederseniz, bu damlacık; yassı partikül, splat veya yassı disk oluşturmak için yayılır. Yassı partikülün yapısı (morfolojisi ve büyüklüğü) ve kalınlığı, damlacığın ergime durumuna, sıcaklığa, hızına ve arayüzey ile etkileşimine bağlıdır. Eğer püskürtülen malzeme tam olarak ergimemişse, ergimemiş malzemenin çekirdeği, orta bölgelere yerleşir ve gerçek olmayan yarıküresel şekil oluşturur.

Plazma püskürtme kaplamalarda, bağlanma kuvvetini farklı özellikler belirler. Bunlar:

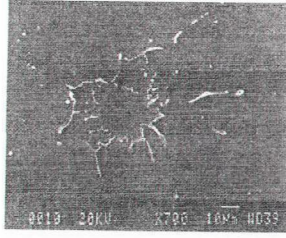
- 1) Püskürtülen malzemenin yüzeyi ıslatabilme özelliği ve splatların morfolojisi, altmalzemenin yüzey sıcaklığının fonksiyonudur.
- 2) Altmalzemeye çarpan partiküllerin kinetik enerjisi, ısı enerjisiye dönüşür ve kısmi plastik deformasyonla beraber, alt malzemede ergimeye sebep olabilir. En iyi bağlanmanın, püskürtülen malzemenin, alt malzeme yüzeyini ergittiği zaman olduğu ortaya çıkmıştır. Burada yayınma, karışma ve elementler arası reaksiyon büyük rol oynar.
- 3) Artık gerilmeler, altmalzeme/kaplama bağlanması için anahtar rol üstlenirler ve arayüzeydeki enerjiyi etkilerler. Bundan başka splatların altmalzeme ile sürekli fiziksel temasları, artık gerilmelerden etkilenir. (Ohmori ve Jiu-Li, 1993; Bartuli vd., 1995)

İki tip splat morfolojisi mevcuttur. Bunlardan birincisi disk şeklindedir ve Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Bu yapının oluşmasına sebep; püskürtme etkisinin damlacığı tüm yönlerde, aynı biçimde, bir merkezden dağıtmasıdır.



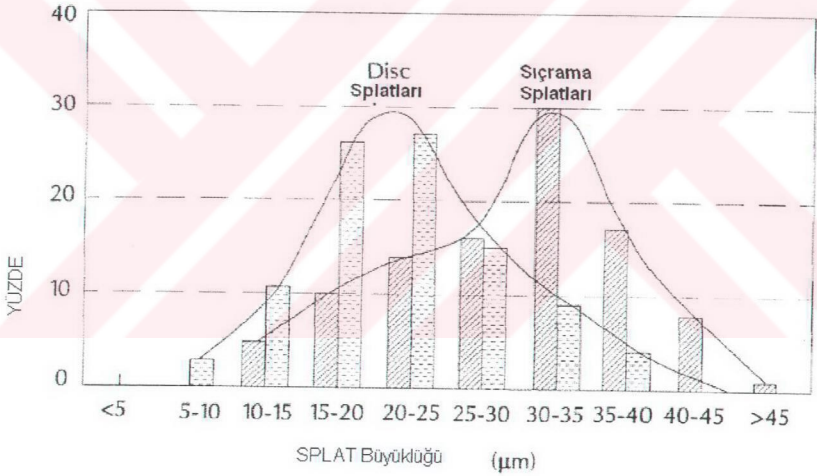
Şekil 3.20 Disk biçimli splat

İkinci tip ise sıçrama biçimli splattır (Şekil 3.21) ve ince levhamsı sıvı yapıda bulunur, kararlı değildir ve çevresini değiştirerek küçük damlacık haline gelir.



Şekil 3.21 Sıçrama biçimli splat

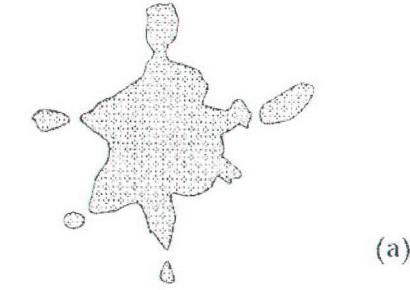
Şekil 3.22' de disk ve sıçrama biçimli splatların büyüklüğünün karşılaştırması yapılmaktadır. Ortalama disk biçimli splatın çapı 18 μm iken, sıçrama biçimli splatın çapı yaklaşık olarak 32 μm 'dir.



Şekil 3.22 Splatların büyüklüklerinin karşılaştırılması

Disk şekilli splatlar, sıçrama şekilli splatlara göre yüzeye daha iyi yapışır. Sıçrama şekillilerde iyi yapışmamanın nedeni, yüzeye gelen küçük damlacıkların yüzeyle teması önlemeleridir. Sıçrama şekilli splatlarda sıçrayan taneler arasındaki boşluklar, daha sonra gelecek ikincil tabakanın yerleşmesi için çok küçük kalır. Bu yüzden de yapışma iyi olmaz ve kaplama kalitesi olumsuz yönde etkilenir. Şekil 3.23'te buna ilişkin örnek gösterilmiştir.

(Damani, 2000; Griffiths vd., 1997)



(b)

Şekil 3.23 Splatların yüzey bağlantısı a) Sıçrama şekilli b) Disk şekilli

Plazma püskürtme kaplamalarda bağlanma mekanizmaları;

a) Mekanik bağlanma veya arayüzeyde birbirine bağlanma

b) Yayınma bağı veya metalurjik bağ

c) Adhesif, kimyasal ve fiziksel bağlanma mekanizmaları (oksit filmleri, vander waals bağları) şeklinde üç grupta toplanabilir.

Bağlanma özelliklerini etkileyen faktörler: Yüzey temizliği, yüzey alanı, yüzey topografisi ve profili, sıcaklık (ısıl enerji), zaman (reaksiyon hızı ve soğuma hızı), hız (kinetik enerji), fiziksel ve kimyasal özellikler, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardır.

Yüzey temizliği ve kumlama, alt malzeme hazırlığı için önemlidir. Bunlar kimyasal ve fiziksel bağlanma için aktif bir yüzey sağlarlar. Yüzey alanı büyüdükçe bağlanma kuvveti de artar. Pürüzlü yüzeyler mekanik bağlanmayı artırır.

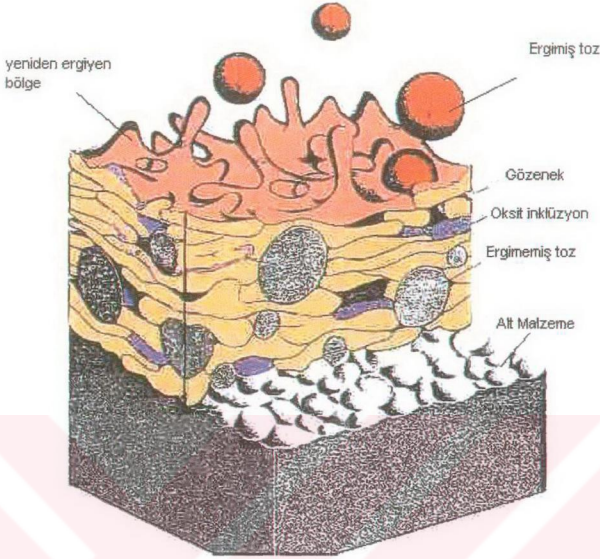
Her partikülün soğuma hızı saniyede 1 milyon °C civarındadır. Isıl ve kinetik enerjideki yükselme, metalurjik bağlanmanın şansını artırır. Molibden, tungsten ve alüminyum metal kompozitleri gibi püskürtme malzemeleri, kendiliğinden bağlanan kaplamalar üretir. Bu malzemeler daha yüksek bağ kuvvetlerine (yayınma ve metalurjik) erişir ve temiz cilalı yüzeylere bağlanabilir.

Molibden ve diğer sığağa dayanıklı metaller, yüksek ergime sıcaklığına sahiptirler ve bundan dolayı yüksek sıcaklık içeriği ve uzun soğuma zamanları sayesinde, altmalzeme ile kaplama malzemesi arasındaki etkileşimi artırırlar.

Yüksek soğuma hızı veya süper soğutma (10^6 °C/s), partiküllerde, döküm veya dövme malzemelerde karşılaşılmayan amorf mikrokristalin ve metastabil fazların oluşmasına neden olur.

Püskürtme esnasında kimyasal etkileşimler (özellikle de oksidasyon) görünür. Metal tozlar kaplanacak yüzeye çarptıklarında, yüzeyi okside ederek oksit filmi oluştururlar. Bu yüzden mikroyapıda; tanesinirleri ve tanede oksit inklüzyonlar görülür. Bazı malzemeler (örneğin Ti) hidrojen ve azot gazlarını absorbe eder ya da onlarla etkileşirler.

Şekil 3.24' te plazma püskürtme kaplamanın çizgişekilsel gösterimi yer almaktadır.

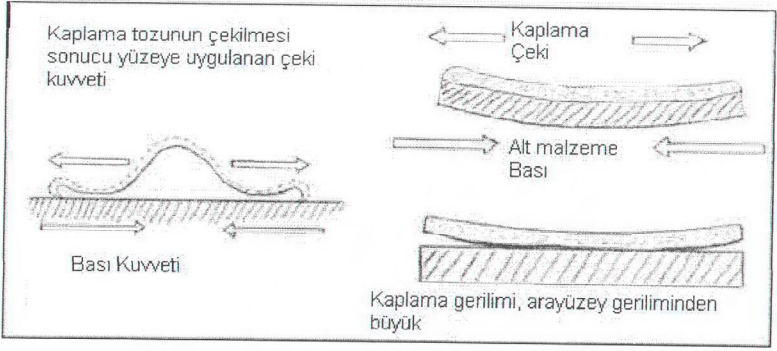


Şekil 3.24 plazma püskürtme kaplamanın çizgişekilsel gösterimi

Plazma püskürtme kaplamalarda gözenek miktarı;

- Düşük çarpma enerjisi (ergimemiş tozlar/düşük hız) (Püskürtme hızı düşük tutulduğunda kaplama sonrası yapıda ergimemiş tozlar görülür.)
- Zerre etkisi (ergimemiş tozlar/püskürtme açısı) (Uygun püskürtme açısı seçilmediğinde kaplama sonrası yapıda ergimemiş tozlar görülür.)
- Çekme ve gerilim boşalma etkisine bağlıdır.

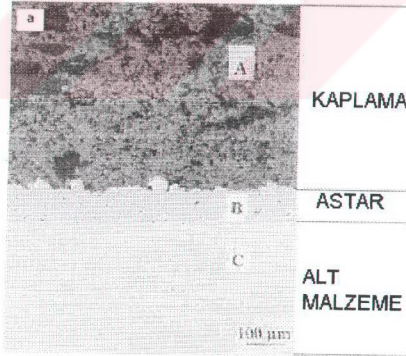
Birçok malzeme, soğuma ve katılaşma sonunda bir miktar çekme gösterir ve küçülür. Toz yüzeye çarptığında çok hızlı soğur ve katılaşır. Bu da tozlar arasında bir çekme gerilmesi ve alt malzeme yüzeyinde bir basma gerilmesi meydana getirir. Kaplama yapıldığında kaplamada bir çekme gerilmesi oluşur. Çekme gerilmesi, bağ mukavemetini veya yapışma mukavemetini geçtiğinde kaplama hataları meydana gelir. Şekil 3.25' te anlatılanlar şematize edilmiştir.



Şekil 3.25 Plazma püskürtülen yüzeyde oluşan gerilimler

3.7 Astarlanma

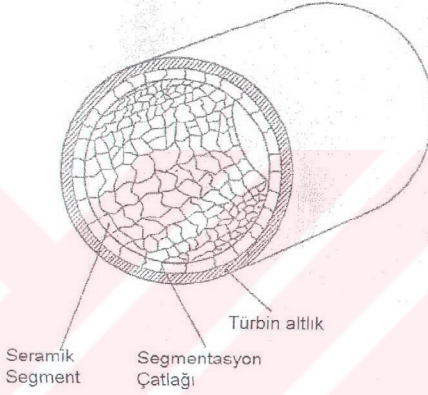
Astar malzemeleri, arayüzeydeki bağlanmayı kolaylaştırmak, kaplamanın ısı şok dayanımını artırmak için kullanılır. Ni-Al, NiCrAlY, NiCoCrAlY sıkça kullanılan astar malzemeleridir. Bir araştırmaya göre astar tabakasının kalınlığı artırıldığında ısı şok dayanımının arttığı görülmüştür. Farklı tür astarların kullanımı arayüzeydeki gerilmeleri farklı yönde etkiler. Şekil 3.26' da kaplamanın kesit görünüşü gösterilmektedir. (Ishiwata vd., 1999)



Şekil 3.26 Kaplamanın kesit görünüşü A. Kaplama B. astar C. Alt malzeme (Ray, 2001)

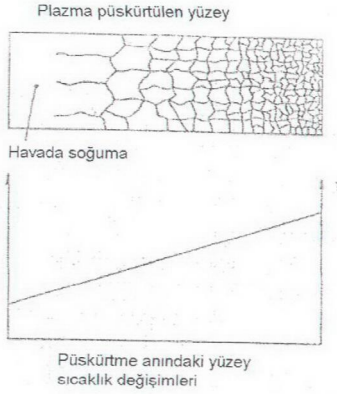
3.8 Uygulama Sonrası Oluşan Hatalar

Plazma püskürtme ile oluşturulan kaplamalarda, uygulama sonrası çeşitli hataların oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.27' de 1 mm kalınlığında NiCoCrAlY astarı uygulanan ve yine 1 mm itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit ile kaplanan türbinde oluşan segmentasyon çatlakları görülmektedir. Segmentasyon çatlakları, kaplamanın yapıldığı altmalzeme yüzeyi ile kaplanan malzemenin sıcaklık farklarının sebep olduğu artık gerilmeler sonucu meydana gelirler. Bu çatlaklar, yapıda sıcaklığa bağlı olarak mikroçatlak şeklinde bulunurlar.



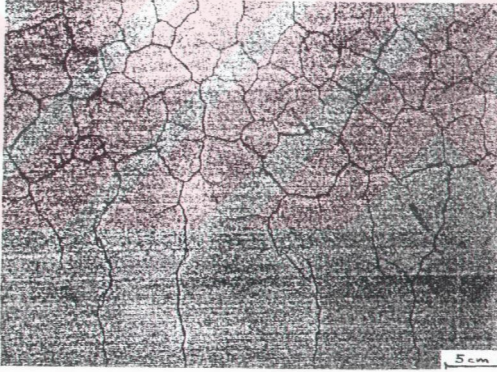
Şekil 3.27 Kalın kaplamalarda görülen segmentasyon çatlakları

Şekil 3.28' de görüldüğü gibi segmentasyon çatlaklarının morfolojisi ile sıcaklık arasında yakın bir ilişki vardır. Sıcaklık arttıkça, mikroçatlaklara doğru yöneliş olmaktadır. Püskürtme ile aynı anda, havada hızlı soğutma yaparak homojen, gözenekli bir yapı elde edilebilir. Bu yapı segmentasyon çatlakları içermez. Ancak sıcaklık arttıkça yapı tekrar mikroçatlaklara doğru yönelir.

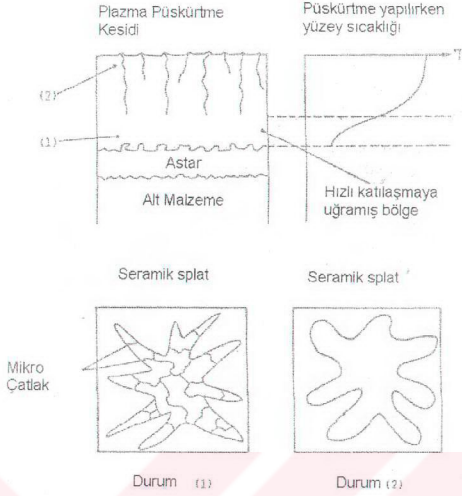


Şekil 3.28 Püskürtme esnasında yüzey sıcaklığının ve segmentasyon çatlaklarının görünümü

Şekil 3.29 ve 3.30'da da görüldüğü gibi astar malzemesinde çatlak yoktur. Onun üzerindeki asıl kaplamada ise yüzeyden bir miktar aşağıya kadar olan, yüksek sıcaklığa maruz kalan bölgelerde çatlaklar oluşmuştur. Hızlı katılaştıran (soğuyan) bölgede ise çatlak oluşumu yoktur.



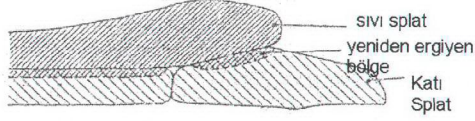
Şekil 3.29 Plazma püskürtülmüş yapıda oluşan segmentasyon çatlakları



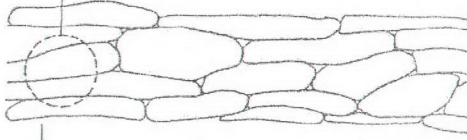
Şekil 3.30 Mikroyapının püskürtme esnasındaki sıcaklıkla değişimi

Şekil 3.31’de görüldüğü gibi plazma püskürtmede kaplamalar, birçok tekil katmandan oluşurlar. Bunlar birbirine sadece mikroyapışmaz aynı zamanda alt tabakalarını da birbirine bağlarlar. Ancak soğumadan sonra, serbest çekilme sadece yüzeye dik olarak gerçekleşir (artık gerilme) ve yüzeyden uzaktır. Soğuma sırasında oluşan çekilme gerilimi kendini her katmandaki segmentasyon çatlağı olarak boşaltır.

Splatların plazma püskürtme esnasındaki mikroyapışması



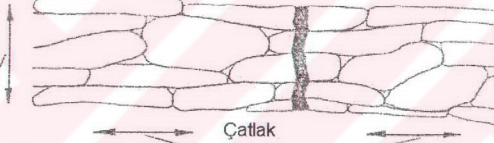
Henüz kaplama yapılmış yüzey



soğuma

Bir segmentasyon çatlığının görünümü

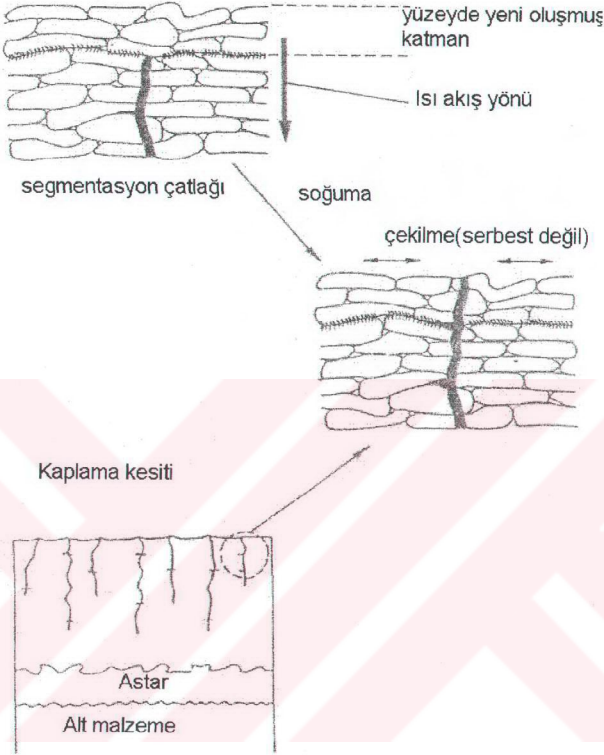
Yüzeye dik çekilme
(serbest)



Yüzeye paralel çekilme (serbest değil)

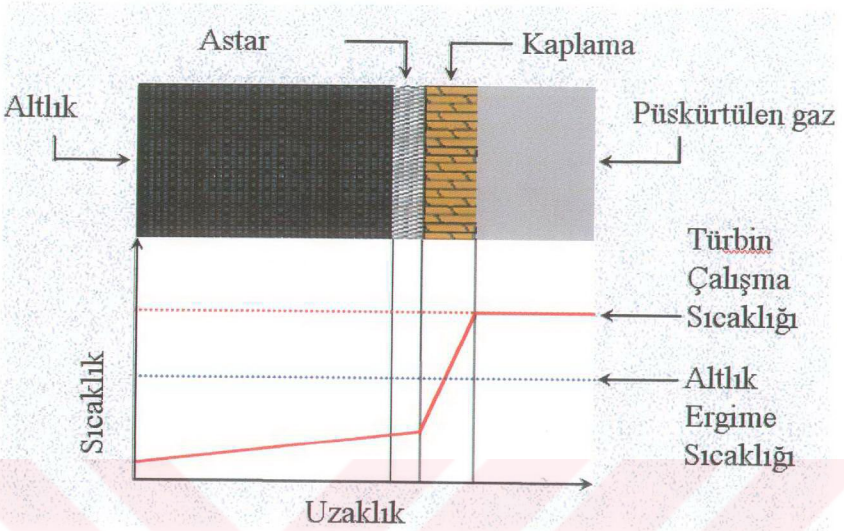
Şekil 3.31 Plazma püskürtme esnasında segmentasyon çatlak başlaması

Oldukça düşük tabanca hareketlerinde Şekil 3.32'deki duruma rastlanabilir.



Şekil 3.32 Plazma püskürtme esnasında segmentasyon çatlaklı gelişimi (Johner vd., 1992)

Şekil 3.33'de görüldüğü gibi sıcaklık alt malzemedan uzaklaştıkça artmaktadır. Burada görüldüğü üzere alt malzeme, türbin çalışma sıcaklığında plazma püskürtme ile kaplanmış durumdadır. Kaplamada sıcaklık yükseldikçe mikroçatlaklar görülecek, düştüğü zaman ise gözeneklilik artacaktır. (Ballard, 2000)



Şekil 3.33 Türbinlerde uzaklık ile sıcaklığın türbinlerin çalışma sıcaklığına etkisi

3.9 Plazma Püskürtmede Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Plazma püskürtmede kaplama sonrası, kaplanan yüzeyde istenen sonuçlara ulaşmak için püskürtme mesafesi, yüzey hızı, ön ısıtma ve soğuma faktörlerine dikkat edilmesi gerekir.

3.9.1 Püskürtme mesafesi

Tabancanın iş parçasına mesafesi önemli olup belli bir uygulamada sabit tutulması gerekir. Tabancanın iş parçasına mesafesi, iş parçası sıcaklığını etkiler. Bu nedenle kaplama işlemi sırasında, tabanca-işparçası mesafesi belirli bir mesafede (genelde 50-150 mm) sabit tutulmalıdır.

3.9.2 Yüzey hızı

Yana hareket hızı genelde her pasoda 0.25 mm'den fazla kaplama yapılmayacak şekilde tutulmalıdır. Ancak bu, parça şekline ve malzemeye bağlı olarak değişir.

3.9.3 Ön Isıtma

Bir çok ana malzemeye, 90-150 °C arası ön ısıtma yapılır. Bu, yüzey yoğunlaşmasının

oluşumunu önler, alt tabakayı genişletir, soğuma sonrası gerilimleri azaltır. Ayrıca malzemedeki nemi de uzaklaştırır. Nemin uzaklaşması için alt malzemenin 38 °C' ye ısıtılması yeterli olur.

3.9.4 Soğuma

Parçanın, kaplamanın ya da herikisinin fazla ısınması fiziksel özelliklerde kayba yolaçar. Bunun için soğutma gereklidir ve havada soğutma uygulanır. Hava temiz ve kuru olmalıdır. Soğutma yapılmadığı takdirde bağlantı zayıflar ve tabakanın ayrılmasına yolaçabilir. Bu yüzden basınçlı hava kullanılır.

3.10 Plazma Püskürtme Uygulamaları İçin Sağlık ve Güvenlik

Plazma püskürtme prosesleri için standartlar, kaynak proseslerinde olduğu gibi OSHA kapsamında belirtilmiştir. Muayene ve bakımlar için, gerekli prosedürlerdeki tehlikeler, kullanılan cihazlarla ilişkilendirilmiştir.

Başlıca tehlikeler;

3.10.1 Toz-duman

Plazma püskürtme işleminde ortaya çıkan toz mutlak olarak filtrelenmelidir. 60m/dk hızında bir hava sirkülasyonu, çalışan personeli korumak için idealdir. Eğer püskürtülen malzeme toksik ise ve operatörlerde mutlaka proses aşaması içinde ise, mutlaka hava temizleme cihazları kullanılmalıdır. (ASM, 2000)

3.10.2 Gürültü

Plazma püskürtme işleminde ses önemli bir problemdir. Ortaya çıkan ses süpersonik olarak 140 dB'in üzerine çıkabilir. Aşağıda gün içinde alınan gürültü seviyeleri gösterilmektedir.

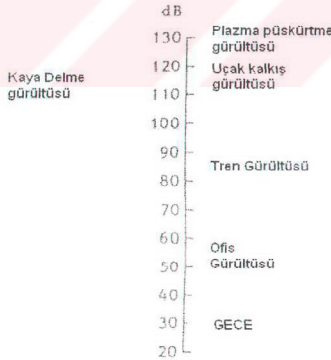
Ses Seviyesi dB(a)	Gün boyunca izin verilen max zaman (saat)
80	16
85	8
90	4
95	2
100	1
105	1/2
110	1/4
115	1/8

(a) 115 dB üzerinde devamlı sese maruz kalınmamalıdır.

Şekil 3.34 Güvenlik için ses seviyeleri

Kulaklık kullanımı bu iş için zorunludur ve hükümlere bağlanmıştır. Çalışan operatörlerin belli zamanlarda kulak muayenesinden geçirilmesi de tavsiye edilmiştir.

Şekil 3.35' te hayatın çeşitli yerlerinde karşılaşılan ses seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.35 Gürültü seviyesi örnekleri (Shimoizumi, 1992)

3.10.3 Işık radyasyonu

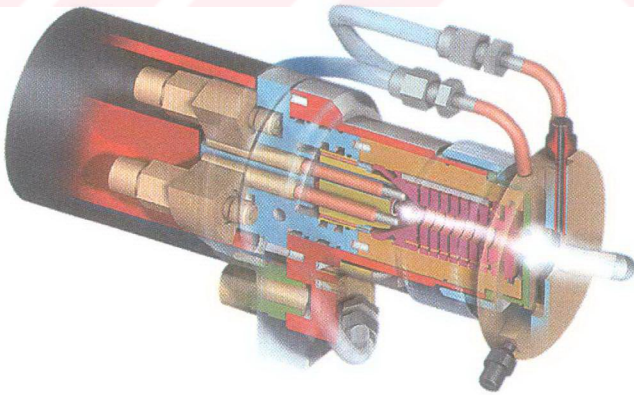
Proses esnasında spektrum, uzak infrared'ten aşırı ultraviyole'ye kadar değişir. Bu yüzden püskürtme yapılırken gerekli deri ve göz korumaları yapılmalıdır. Shade 12 tipi lensler plazma püskürtme prosesinde göz için yeterli korumayı sağlarlar. Prosesi gerçekleştiren operatörlerin mutlaka yanmaya karşı ellerini korumaları gerekir. Yanıklar genelde alt malzemeye çarpan partiküllerin geri dönmesi, sıcak gaz veya ışıktan olabilir. En ciddi yanıklar ultraviyole ışınlarının yarattığı yanıklardır.

3.11 Plazma Püskürtme Prosesinde Son Gelişmeler

Plazma püskürtme işleminde kullanılan tabancalardan farklı olarak ilk defa 1998 yılında Triplex II sistemli tabancalar geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde tükenen parçalarda ömürlerde uzama, kaplama malzemesinde düşük gözeneklilik ve püskürtme hızında büyük artışlar elde edilmiştir.. Bundan başka gürültü de hissedilir oranda düşmüştür.

Konvansiyonel tek katodlu plazma tabancalarında plazma jet, türbülans yaratır. Bu türbülans enjekte edilen tozda üniform olmayan bölgelere sebebiyet verir ki bu da kaplama kalitesini etkiler ve yapışma verimini düşürür. Ark dalgalanmalarını azaltmak, plazmanın kararlılığını artırır ve ergimeyi geliştirir.

Triplex II, yukarıda sözedilen sorunları yok etmek amacıyla ortaya çıkmış bir konstrüksiyon ve yönetim prensibidir. (Şekil 3.36)



Şekil 3.36 Triplex II Plazma püskürtme tabancası

Kararlı bir plazma hüzmesi üretmek için, gelen DC akımı, 3 eşit bölüme ayrılır ve tek katot yerine 3 adet su soğutmalı tungsten katota ulaştırılır. Konvansiyonel plazma başlığında nozül, anot gibi çalışır. Triplex II'de ise tam tersine nozül, ince yüzük serilerinden oluşur. Bu ayarlama, 3 arkın, katot-anot arası mesafeyi, mutlaka katetmesi gerekliliğini ortadan kaldırır. Bu yöntemde 3 ark, gaz akışından dolayı, birbirinden bağımsız olarak davranır. Sistem 250-600A 'de çalışır. Akımın 3 ayrı arka ayrılması, akım yoğunluğunu düşürür ve anot ve katot ömrünü uzatır. Plazma gazı seçimi ve akım seviyeside tabanca ömrünü etkileyen diğer faktörlerdir.

Triplex II sistemi ile, toz besleme hızı ve yüzey yapışma kararlılığında çok önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Konvansiyonel sisteme göre püskürtme zamanı yarıyariya düşmüş, mikroyapı kontrollerinde harcanan zaman 4/5 oranında düşmüştür. Çizelge 3.1'de konvansiyonel plazma sistemi ile Triplex II sisteminin karşılaştırılması yapılmıştır. (Barbezat, 2002)

Çizelge 3.1 Konvansiyonel-Triplex II plazma sistemlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Konvansiyonel sistem		Triplex II sistem	
	Besleme hızı (g/dk)	Verim(%)	Besleme hızı (g/dk)	Verim (%)
Al_2O_3	60	60	150	80
Cr_2O_3	50	45	150	50
$Al_2O_3/13\%TiO_2$	60	70	150	85
$ZrO_2/8Y_2O_3$	80	30	150	50
Ni/5%Al	80	70	200	90

4. UYGULAMA ALANLARI

4.1 Plazma Püskürtme Yönteminin Avantajları ve Kullanım Yerleri

1) Kaplama malzemesi ve altmalzeme birbirinden bağımsız olarak seçilebilmekte ve kombinasyonu sağlanabilmektedir. Plazma püskürtme kaplamaların bileşimi, dizaynı ve özellikleri çok geniş bir aralıkta değiştirilebilmektedir.

2) Kaplanacak malzemenin sıcaklığı, soğutma ile 200 °C' den daha düşük sıcaklıklarda tutulabilmektedir. Bu yolla çok çeşitli avantajlar sağlanır. Alüminyum, kalay çinko alaşımları gibi düşük ergime dereceli alaşımlardan yapılmış parçaların kaplanması mümkündür. Alt malzemenin mikroyapısında değişiklik meydana gelmez.

3) Uygun kalınlıktaki bölgesel kaplamalar veya yüksek gerilime maruz alanlara uygulanabilmektedir.

4) Plazma püskürtme ile hem küçük hem de büyük parçalar kaplanabilmektedir.

5) Plazma püskürtme işlemi parça üretiminde imalat aşamaları arasına kolayca entegre olabilen bir yöntemdir.

Plazma püskürtme aşağıdaki alanlara uygulanabilir:

1) Uçak ve uzay sanayiinde yüksek sıcaklık uygulamaları gerektiren yerlerde, türbin kanatlarında, roket gövdelerinde, patlama odasında pervane platformlarında

2) Termik santrallerde, gaz ve dizel türbinlerde, dizel motorlarında

3) Kağıt endüstrisinde sürtünmeye ve aşınmaya maruz kalan hareketli makine elemanlarında

4) Tekstil endüstrisinde

5) Otomotiv sanayiinde; piston başları, silindir kapakları, kompozit disk frenler, sübaplar ve ısıl izolasyon amacı ile

6) Bio-Medikal uygulamalarında yapay kemik yapımında (hidroksiapatit, Zirkonyumoksit kullanımı)

7) Elektrik santrallerinde yanma kamaraları ve ısıtıcı duvarlarında kullanılmaktadır. (Smith 1997 vd.)

4.2 Toza Bağlı Olarak Değişen Uygulama Alanları

Plazma püskürtme prosesinde kaplama malzemesi olarak çeşitli tozlar kullanılır. Bunun yanında astar olarakta yine toz malzemeler kullanılır. Bu toz malzemelerin herbirinin farklı özellikleri vardır ve kaplama malzemesi olarak kullanıldığında ayrı sektörlere hizmet edebilirler.

Çizelge 4.1'de plazma püskürtme kaplamaların hangi sektörde ve hangi mühendislik ortamında kullanıldığı gösterilmektedir. (Ding vd., 1993)

Çizelge 4.1 Plazma püskürtme kaplamaların toz bağlı kullanım alanları

Kaplama	Mühendislik ortamı	Kullanım Yeri
Al_2O_3 $Al_2O_3 - TiO_2$ Cr_2O_3 $WC-Co$ Cr_3C_2-NiCr	Aşınma	Tekstil endüstrisinde mekanik parçalarda, petrokimyasal ve kağıt yapım cihazlarında
$TiO_2-ZrO_2-Nb_2O_5$	İnfrared radyasyon	Elektrikle ısıtma
ZrO_2 Biocamlar	Biyolojik uyumluluk	Yapay kemik, eklem ve diş kökü yapımı için bioseramik kaplamalarda
ZrO_2 Al_2O_3 ZrO_2 Metal	Düşük ısı yayılımı İyi ısı şok dayanımı	Dizel motorları ve uçak parçalarında ısı koruyucu kaplama olarak
$NiCr$ $NiAl$ $NiCrAlY$ Mo	Yüksek dayanım Alt malzemeye iyi yapışma	Alt malzeme ile kaplanan malzeme arasında bağlanma sağlamak (astar)

4.2.1 Uçak sanayindeki uygulamalar

Gaz türbinlerine, plazma püskürtme kaplamalar uygulanır. Bunun nedeni; parça ömrünü uzatmak, korozyona karşı dayanım sağlamak ve gaz akış sıcaklığını ($T_{yük}$) yükseltmektir. Bu sayede verimde (η) yükselmiş olur. (4.1) eşitliği yardımıyla η verim hesaplanabilir.

$$\eta = 1 - T_{yük} / T_{alt} \quad (4.1)$$

Jet motorlarında türbin kanatlarının titreşimleri, türbin kanatlarının ortasına konacak bir susturucu ile kontrol edilebilir. (Şekil 4.1) WC kaplamaların, arada bulunan susturucuya uygulanması aşınmayı azaltır ancak, ara susturucu tabakada, yorulma sonucunda çatlaklar meydana gelir. Bu tip çatlaklar, kaplama verimini olumsuz etkilemekle beraber, susturucu boyunca sürekli çatlak ilerlemesini teşvik ederler ve ciddi motor arızalarına sebebiyet verirler. Bu hataların sebebi artık gerilmelerdir. (Wigren, 2000)



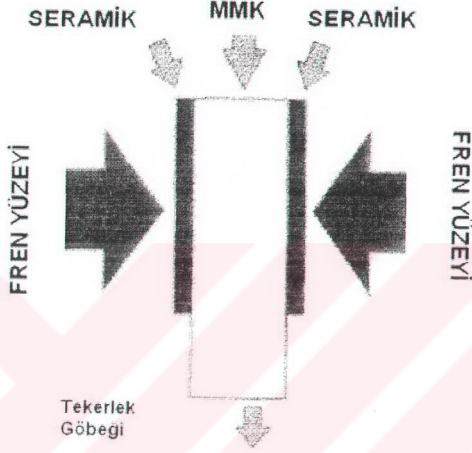
Şekil 4.1 Türbin kanatlarında susturucu

Son yıllarda gaz türbinleri için bir alçak basınç plazma püskürtme (LPPS) prosesi kurulmuştur ve bu proses yüksek sıcaklıkta korozyon atmosfere ve paslanmaya maruz kalan sıcak bölümler, türbin kanatları, kanal kısımları vb. için kullanılmaktadır. (Ishiwata, 1999)

4.2.2 Otomotiv sanayindeki uygulamalar

Plazma püskürtme teknolojisi motorsikletlerde ve 4 tekerli yol araçlarında fren diskleri için uygulanabilir. Bu sayede yükselen verimle beraber fren sisteminde maliyet düşmektedir.

Düşük ağırlığa sahip fren balataları MMC (Metal matriks kompozit) teknolojisini ile üretilirler. Metal matriks kompozit fren diskleri için Şekil 4.2’ deki gibi bir model geliştirilmiştir. Disk takviye edilmiş alüminyum ve magnezyum alaşımları kullanılarak oluşturulmuştur. Özellikle saf alüminyumoksit kaplanarak disklerin ömürleri uzatılabilmiştir. (Harrison, 1998; Allen 1998)



Şekil 4.2 Kaplanmış diskin çizgişekilsel gösterimi

1980’ lerden itibaren dizel motorlarında plazma püskürtme kaplamalar kullanılmaktadır. Bunun nedeni;

- a) yakıt tüketimini ve motor gürültüsünü azaltmak,
- b) motor ömrünü artırmak
- c) çoklu yakıt kabiliyetini kazandırmaktır. (Ramaswamy, 2000)

4.2.3 Biomedikal sanayindeki uygulamalar

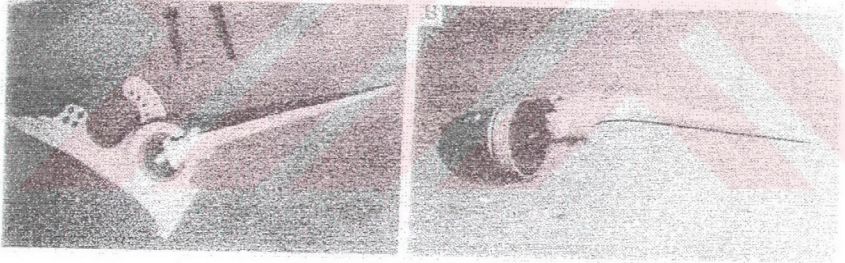
Vücut fonksiyonlarını düzenlemek ve iyileşmeyi kolaylaştırmak için, metaller, polimerler, seramikler ve kompozitlerin kullanılmasıyla yapılan biomedikal implantlarda son zamanlarda artış vardır. Bu implantların malzeme dizaynı çok hassas ve bir o kadarda önemlidir. Ti-6Al-4V alaşımı üzerine kaplanan hidroksiapatit (HA) ortopedik uygulamalarda yaygın bir biçimde kullanılır. Toksik olmayan ve doku dostu olan Ti-6Al-4V ile birleştirilen bioaktif bir malzeme

olan HA, dokuya uyumlu, hafif ve kararlı bir implant olma özelliğini taşır. (Quek vd., 1999; Feng vd., 2000)

Plazma püskürtme ile kalça kemiği protezleri ve omurilik implantları, hidroksiapatit tozu kullanılarak kaplanır. Hidroksiapatit bileşimi $[Ca_{10}(PO_4)_6, (OH)_2, HA]$ gibidir.

Kemik yapısına benzeyen ve implant çevresindeki hızlı kemik formasyonunun oluşmasına yardımcı olan hidroksiapatit içindeki kalsiyum fosfor oranı 1.67' dir. HA osteoiletken ve bioaktif yapısından dolayı ortopedik işlemlerde hayati role sahiptir. HA kemik üzerine yapışmak için kemik yapıştırıcısına ihtiyaç göstermez. Kemik yapıştırıcısı canlı yapıların hızlı bir biçimde patolojik ölümüne neden olur ve böylece protez zayıflar.

Metal alaşımları birçok bio-mekanik özelliklerine rağmen kemikle kötü arayüzey bağlanma etkileşimine sahiptir. Aynı zamanda osteofilik bir malzeme olan HA, kemik dokularının hızlı bir biçimde çoğalmasına imkan verir. Belli bir süre sonra kemik implantla bütünleşir. (Yip vd., 1997) Şekil 4.3' te plazma püskürtme ile kaplanmış implantlar gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Plazma püskürtme ile kaplanmış implant

4.2.4 Korozyondan korunma amaçlı uygulamalar

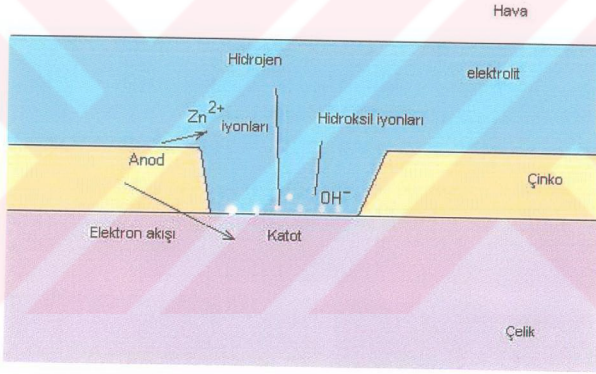
Plazma püskürtme kaplamalar, malzemelerin korozyondan korunması için kullanılırlar ve bu yönden 3 gruba ayrılırlar:

- a) Anodik kaplama
- b) Katodik kaplama
- c) Nötral kaplama

4.2.4.1 Anodik kaplama

Demir ve çelik alt malzemelerin anodik kaplama ile korunması, çinko veya alüminyum alaşımlarıyla gerçekleştirilir. Alt malzemeye plazma püskürtme yöntemi ile anodik kaplama uygulandığında, korozyondan korunma, kurban anot veya katodik koruma ile olur. Alt malzeme katottur ve kaplanan malzeme kurban anottur, yani kaplanan malzeme aşınır.

Plazma püskürtme ile yapılan çinko ve alüminyum kaplamalar, bazen gözenekli olmalarına rağmen alt malzemenin ortamla ilişkisini keserler ve katodik koruma sağlarlar. Kaplamanın boyanması veya organik sızdırmazlık elemanları sürülmesi, gözenekliliği kontrol ederek daha koruyucu bir kaplama meydana gelmesini sağlar. Ancak sızdırmazlık elemanları sürmenin veya boyamanın katodik koruma etkisini düşürdüğü de tartışılmaktadır. Bunun sebebi olarak sızdırmazlık elemanı sürülmesi veya boyamanın kaplama ile ortamın temasını kesmesi gösterilmektedir. Şekil 4.4' te korozyondan korunma prosesi resmedilmiştir.



Şekil 4.4 Korozyondan korunma prosesi

4.2.4.2 Katodik kaplama

Plazma püskürtme katodik kaplamalar, kaplanan malzemenin alt malzeme yüzeyine katodik olarak davranması mekanizmasına dayanır. Paslanmaz çelik veya Ni alaşımlı kaplamalar, çelik alt malzeme karşısında katodiktir. Plazma püskürtme katodik kaplamalar korozyona karşı mükemmel dayanıma sahiptirler. Ancak bu tip kaplamaların, alt malzemeyle, ortamı birbirinden mutlaka tam olarak ayırması gerekir. Eğer alt malzeme korozif ortama maruz kalırsa, alt malzeme anot olur ve korozyon hızlı bir biçimde gelişir. Bu tip kaplamalara genellikle sızdırmazlık elemanı uygulanır.

4.2.4.3 Nötral kaplama

Alüminyumoksit ve kromoksit gibi nötral malzemeler mükemmel korozyon direncine sahiptirler. Genelde nötral malzeme geçirgen olsa bile alt malzeme yüzeyindeki korozyonu hızlandırmaz. (Paslanmaz çelik malzemelerde oksijenin yarattığı çatlak korozyonu hariç; Ni Cr astarlar bunu durdururlar.) Sızdırmazlık elemanları uygulaması burda da geçerlidir.



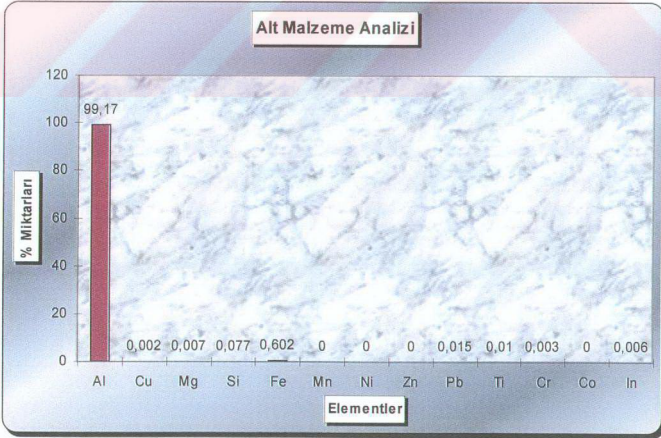
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada plazma püskürtme yöntemiyle kaplama yapılması ve kaplamanın bazı özelliklerinin incelenerek en iyi kaplama özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kaplamalar, SENKRON Metal & Seramik Kaplama Ltd. Şti' nde yaptırılmış olup, kaplama malzemesi de orada mevcut tozları seçerek kullanılmıştır. Kaplamayı, adı geçen firmadaki operatör, tamamen pratik deneyimlerine dayanarak yapmış, bu nedenle bazı numunelerde kaplama kalınlığı, kaplama cinsi gibi parametreler fazla değiştirilememiştir. Bu amaçla 11 adet alüminyum alt malzeme üzerine farklı bileşimdeki tozlar püskürtülülerek, astarlı ve astarsız kaplamalar elde edilmiştir.

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme

5.1.1 Kaplamada kullanılan altlık malzeme

Kaplamada alt malzeme olarak 6x6 cm' lik alüminyum plakalar kullanılmıştır. Alüminyum seçmenin amacı, alüminyum ergime sıcaklığının düşük olması sebebi ile bunun üzerine plazma püskürtme kaplama yapılabilirliğinin araştırılmasıdır. Şekil 5.1' de alt malzeme analizi yer almaktadır. Analiz optik emisyon spektrometresinde yapılmıştır. Elde edilen verilerle, MS Excel ortamında, aşağıdaki grafik çizilmiştir.



Şekil 5.1 Kullanılan alt malzemenin analizi sonucu oluşturulan grafiksel gösterim

5.1.2 Toz malzemeler

5.1.2.1 Astar tozlar

Astar olarak kullanılan toz: Ni-Al toz karışımıdır. Astar kullanma, hem ana metali oksidasyona karşı korur, hem de kaplama tozu ile ana metal arasında manyetik olmayan bir bağ elde edilir.

5.1.2.2 Püskürtme işleminde kullanılan kaplama tozları

Kaplama işleminde 7 farklı toz kullanılmıştır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) MgO stabilizeli Zirkonyumoksit*
- b) %8İtriyumoksit stabilizeli Zirkonyumoksit*
- c) Alüminyumoksit(saf)
- d) %60Alüminyumoksit-%40Titanyumoksit
- e) %97Alüminyumoksit-%3Titanyumoksit
- f) Kromoksit-Silisyumoksit
- g) Hidroksiapatit

* plazma püskürtülmüş Cao, MgO, Y_2O_3 veya CeO_2 stabilizeli Zirkonyumoksit genelde yüksek sıcaklıklarda ısı koruma sağlayan uygulamalarda kullanılır. Stabilizer eklentisi ile ZrO_2 ' in yüksek sıcaklıkta faz dönüşümü yaparak tetragonalden monoklinik faza dönüşmesi engellenir, bu da ısı şok ve korozyon dayanımını artırır. (Ding 1993)

5.2 Plazma Püskürtme ile Kaplama Yapılması

5.2.1 Alt Malzemenin Kaplamaya Hazırlanması

Alüminyum plakalar 6x6 cm olarak kesilmiş ve yüzeyin iyileştirilmesi amacı ile kumlama işlemine tabi tutularak yüzey temizliği tamamlanmıştır. Şekil 5.2' de kumlama yapılan cihaz görülmektedir. Numunelere yağ giderme işlemi yapılmamıştır.



Şekil 5.2 Kum püskürtme makinesi (Alüminyum plakalar burada kumlama işlemine tabi tutuldu)

5.3 Kaplama İşleminin Uygulanması

Yaptığımız çalışmada plazma püskürtme kaplamalar, astarlı ve astarsız olmak üzere iki grupta hazırlanmıştır. Yüzeyi hazırlanan numunelerden 4 adeti önce astar kaplama malzemesi (Ni-Al) ile kaplanmış, daha sonra numuneler soğumaya terk edilmiştir. Bundan sonra her numune için farklı tozlar hazırlanarak, bu tozlar astarlı ve astarsız numuneler üzerine püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Püskürtme mesafeleri 120-150 mm arasında seçilmiştir. Kaplama işleminde tabanca sabit bir hızla sağa-sola hareket ettirilerek malzemenin püskürtülmesi sağlanmıştır. Belli bir süre sonra, numune yüzeyi gözle kontrol edilerek, püskürtme işlemi sona erdirilmiş ve kaplanan numuneler alt taraftan basınçlı hava ile soğutulmuştur.

Püskürtme şartları, Şekil 5.3' deki benzer çizelgelerden yararlanılarak seçilmiştir. Bu çizelgeler, ilgili toz için, kullanım standartlarını belirler.

SPRAYING TABLES

TYPE MBN PLASMA SPRAY GUN
SPRAYING TABLE 3 METRIC SYSTEM
ARGON/HYDROGEN

1	2	3	4		5		6	7	8	9	10	11	12
METCO POWDER NO.	NOZZLE	POWDER PORT	TYPE AMP POWDER FEED UNIT		PLASMA GAS		DC AMPS	DC VOLTS	MM SPRAY DIST.	FEED RATE Kg/Hr	D.E. %	POWDER WEIGHT REQUIRED Kg/m ² (G/min)	COVERAGE d./H/ G./Inch
			FLOW METER	FEED RATE INDICATOR	A	H ₂							
430NS	431	#2	37	98	100	15	500	80-70	100	4.5	55	1.10	4.1
436NS	433	#2	37	50	100	15	400	75-80	100	4.1	60	1.83	2.2
436NS-1	433	#2	37	66	100	15	400	75-80	100-150	4.1	60	1.83	2.2
439, 439NS-2	433	#2	37	84	100	15	400	75-80	125-150	4.5	60	1.60	2.8
439NS(18)	430	#1	37	60	80	15	500	65-70	150	2.7	55	1.75	1.6
440(26)	432	#2	37	100	80	15	500	65-70	100-150	11.3	85	1.12	10.1
441NS	432	#2	37	70	80	15	500	65-70	125	2.9	55	.96	3.0
442(17)(21)	432	#2	37	80	75	10	400	60-70	250	9.3	70	.90	9.4
443, 443NS	432	#2	37	34	80	20	500	75-80	125-150	3.6	65	1.15	3.1
444(26)	432	#2	37	140	80	15	500	65-70	100-150	11.3	65	1.06	10.0
445(26)	432	#2	37	200	80	15	500	65-70	50-75	9.1	70	1.15	9.4
446(21)	432	#1	37	125	80	10	500	55-65	100-150	3.2	75	.42	7.4
447, 447NS	432	#2	37	95	80	15	500	65-70	100-150	11.3	70	1.08	10.0
448(26)	432	#2	37	200	80	15	500	65-70	100-150	9.1	70	.94	9.6
449(26)	432	#2	37	115	80	15	500	65-70	100-160	9.1	70	1.04	8.9
450, 450NS(26)	432	#2	37	45	80	15	500	65-70	100-175	4.1	60	1.23	3.4
450P(26)	432	#2	37	63	60	15	500	65-70	100	4.1	60	1.23	3.3
451(21)	432	#2	37	189	60	15	500	65-70	100-125	6.6	65	1.19	5.7
463	432	#2	37	154	80	15	500	65-70	100-125	4.1	50	1.08	3.8
465	432	#2	37	84	80	15	500	65-70	100-125	4.1	80	1.04	3.9
501	433	#2	37	105	100	15	400	75-80	100-125	3.9	65	1.69	3.0
505(18)(19)	432	#2	37	45	80	15	400	65-70	115	4.5	70	1.17	3.6
601, 601NS(18)	433	#2	60	147	190	5	500	65-75	75-90	4-4.6	65	.27	6.1
605NS(21)	432	#2	37	58	150	5	400	60-70	75-90	3.2	55	.87	3.5
1123(21)	431	#2	37	182	80	10	500	55-60	100-150	5.4	70	1.35	4.0

Continued on following page

Şekil 5.3 Toza bağlı olarak standartize edilmiş proses verileri

Plazma püskürtme ile yapılan kaplama sırasında işlem koşulları Çizelge 5.1'de her kaplama malzemesi için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.1 Numunelerin özellikleri

Numune adı	Alt Malzeme	Kaplam a türü	Gaz karışımı	Akım(D C)	Voltaj(D C)	Taşıyıcı Gaz(Ar)	Akış Debi(sa/kg)
MgO stab. ZrO ₂	Al	Astarsız	80Ar-20H ₂	500A	65-70V	30	60
Y ₂ O ₃ stab. ZrO ₂	Al	Astarlı	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	37	63
Y ₂ O ₃ stab. ZrO ₂	Al	Astarsız	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	37	63
Kromoksit-silisyumoksit	Al	Astarsız	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	37	65
Hidroksiapatit	Al	Astarsız	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	40	70
Alüminyumoksit (beyaz)	Al	Astarsız	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	37	63
Alüminyumoksit (beyaz)	Al	Astarlı	80Ar-15 H ₂	500A	60-70V	37	63
%60Al ₂ O ₃ -%40 TiO ₂	Al	Astarsız	100Ar-15 H ₂	500A	60-70V	50	98

%60Al ₂ O ₃ - 40TiO ₂	Al	Astarlı	100Ar- 15 H ₂	500A	60-70V	50	98
%97Al ₂ O ₃ - %3TiO ₂	Al	Astarsız	80Ar- 20 H ₂	500A	65-70V	37	65
%97Al ₂ O ₃ - %3TiO ₂	Al	Astarlı	80Ar- 20 H ₂	500A	65-70V	37	65

5.4 Kaplamanın ve Kaplama Sonrası İşlemlerin Gerçekleştirildiği Cihazlar

Sistemin tümü, plazma püskürtme tabancası dahil kontrol ünitesinden çalıştırılmıştır. Kontrol ünitesi plazma gaz akışının debisinin, ark akımının, başlama ve durdurma işlevleri ve bazı durumlarda toz besleme ünitesinin çalışmasının ayarına izin verir. Ünitenin başlıca işlevleri :

- 1) Plazma gazı akışının kontrolü
- 2) Ark akımının kontrolü
- 3) Karışım ya da yardımcı gazın kontrolü
- 4) Başlama-durdurma kontrolü
- 5) Toz taşıyıcı gazın kontrolü

Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12' de plazma püskürtme işleminin gerçekleştiği proses elemanları görülmektedir.



Şekil 5.4 Kontrol ünitesi



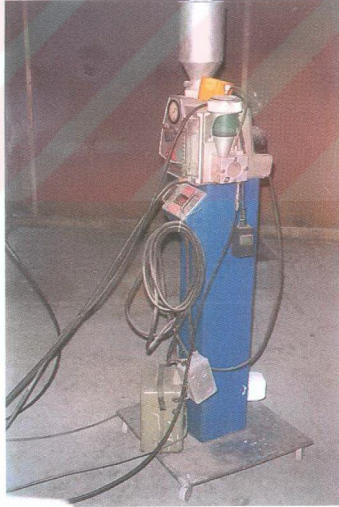
Şekil 5.5 Metco MRN 240 tip güç ünitesi



Şekil 5.6 Tabanca soğutucusu



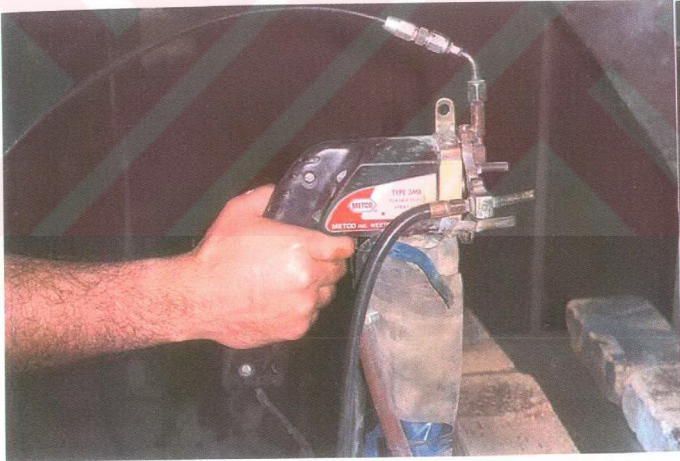
Şekil 5.7 Soğutucu



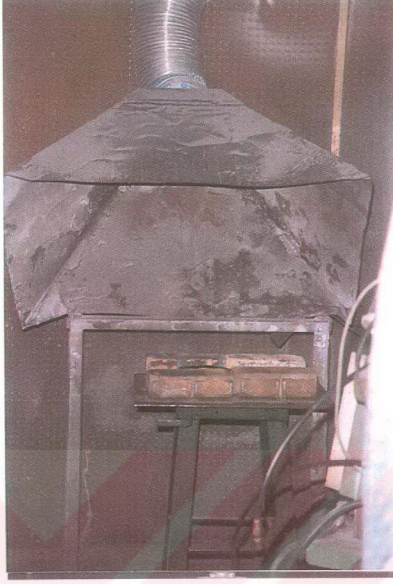
Şekil 5.8 Toz besleme ünitesi (1)



Şekil 5.9 Toz besleme ünitesi (2)



Şekil 5.10 3M 40kW tip plazma tabancası



Şekil 5.11 Plazma püskürtmenin yapıldığı ortam ve havalandırma mekanizması



Şekil 5.12 Kullanılan gazlar (Ar ve hidrojen)

5.5 Kaplanan Numunelerin İncelemeye Alınması

Plazma püskürtme ile yapılan kaplamaların özelliklerinin incelenmesi için, numunelerden herbiri, 1x3 cm boyutlarında 2' şer adet olmak üzere ince testere ile kesilmiştir. Kesilen numunelerden ilki mikrosertlik cihazında ölçüm yapabilmek için kullanılmış, diğeri ise arayüzey ve kalınlık incelemesi için soğuk monte işlemine tabi tutulmuş, daha sonra sırasıyla 120, 180, 220, 400, 600 ve 800'lük zımparalarda zımparalanmıştır. Bundan sonra parlatma işlemine tabi tutulan numune en son olarak HF ile dağlanmış. Kalan numuneler ise elektron mikroskobu için saklanmıştır.

5.6 Kaplanan Numunelerinin Sertliklerinin İncelenmesi

Kaplama yapılmış numuneler, Zewick marka mikrosertlik cihazında 3 ayrı iz derinliği alınarak sertlikleri ölçülmüş, kromoksit-silisyumoksit numunesinin sertliği alınamadığından yüzeyi çok ince altın ile vakumda kaplanarak sertlik alınabilmiştir. Sertlik ölçümlerinde 300g yük 30 sn uygulanmış, bulunan izler a ve b eksenleri olarak alınarak $(a*0.0166)+(b*0.00033)$ denkleminde yerine konulmuş ve çıkan sonuçlar sonucu HV skalasından ilgili sertlik değerleri alınmıştır. Elde edilen sertlik değerleri Çizelge 6.1' de verilmiştir.

5.7 Kaplama Kalınlığı Ölçümü

Kaplama kalınlıkları Olympus marka mikroskopta oküler ve obje mikrometreleri kullanılarak ölçülmüş, herbir numune için 5 farklı ölçüm alınmış, ortalaması alınarak 150x büyütmede 1 skala taksimatı 0.89 μm hesabından kaplama kalınlığı bulunmuştur. Ayrıca astarlı numunelerden de yine 5 farklı ölçüm alınmış, aynı yöntemle astar kaplama kalınlığına ulaşılmıştır. Her bir numunede ölçülen kaplama kalınlıkları Çizelge 6.1' de verilmiştir.

5.8 Yüzey Pürüzlülüğü

Numunelerin yüzey pürüzlülükleri, Mitotuyo Surfrest III cihazı ile tespit edilmiş, herbir numune için 18 ayrı ölçüm alınmıştır. Master olarak, 3 μm ' lik master kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen pürüzlülük değerleri Microsoft Excel programı kullanılarak, grafik ortama taşınmıştır.

5.9 Optik Mikroskop

Daha önce numuneler için soğuk monte uygulanmış, zımparalama, parlatma ve dağlama

işlemleri yapılmıştır. Bu numuneler Leica marka optik mikroskopta incelenmiştir. Arayüzeyde oluşan çatlaklara bakılmış, astarlı ve astarsız numunelerde arayüzeyde bağlanmanın nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

5.10 SEM (Tarama elektron mikroskobu) İncelemeleri

Kaplanan numune yüzeyleri, Jeol marka SEM’ da incelenmiş ve elde edilen görüntüler her bir kaplama ile ilgili olarak sonuçlar bölümünde verilmiştir.



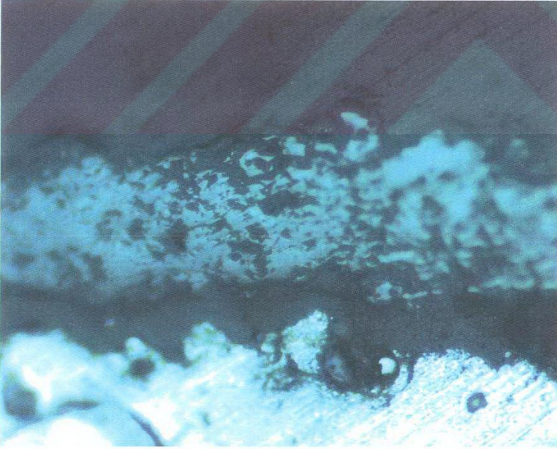
6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Optik Mikroskop, SEM ve Yüzey Pürüzlülüğü İncelemeleri

Plazma püskürtme yöntemi ile, MgO stabilizeli zirkonyumoksit, %8 itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit, alüminyumoksit (saf), %60alüminyumoksit - %40itriyumoksit, %97 alüminyumoksit - %3 titanyumoksit, kromoksit-silisyumoksit, hidroksiapatit ile kaplanan Al numunelerin optik mikroskopta, enine kesitleri incelenmiştir. Dış yüzey görüntüsü ise SEM’ de alınmıştır. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü değerlendirmesi ise, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, MS Excel ortamında grafiklerinin çizilmesi ile yapılmıştır.

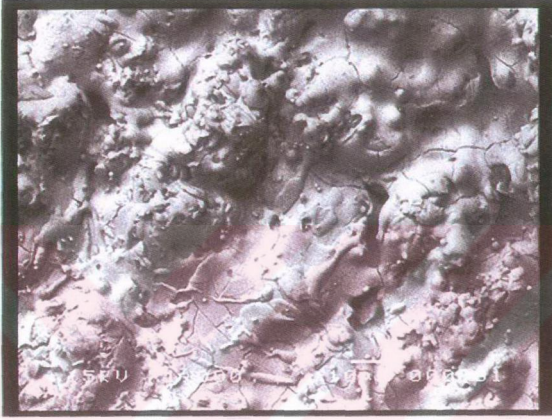
6.1.1 Magnezyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit

MgO stabilizeli zirkonyumoksit tozunun püskürtülmesi ile, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.1’ de verilmiştir. Kaplama, numune astarlanmadan yapıldığından yüzeye tam olarak yapışmamıştır. Şekil 6.1’ de görüldüğü gibi arada kalan siyah bölüm, kaplamanın kalkmış olduğunu, yapışma mukavemetinin az olduğunu göstermektedir. Parlak olarak görülen ve altta kalan kısım ise alt malzemedir. Ayrıca kaplamanın ortasında oksit inklüzyonlar da mevcuttur.



Şekil 6.1 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta görünüşü (astarsız)

Kaplamaların yüzey görüntüsü ise Şekil 6.2 ve 6.3' te farklı büyütmelerle verilmiştir. Kaplamanın bütün yüzeyinde fotoğraflarda görülen mikroçatlaklar mevcuttur. Bu mikroçatlakların, literatürde de belirtildiği gibi segmentasyon çatlağı olduğu tahmin edilmektedir.

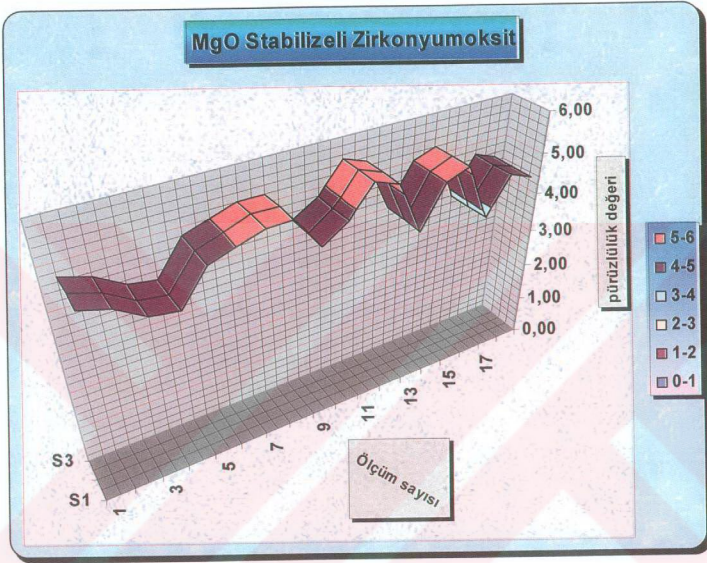


Şekil 6.2 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1000X SEM görünüşü (astarsız)



Şekil 6.3 Magnezyum-oksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1500X SEM görünüşü(astarsız)

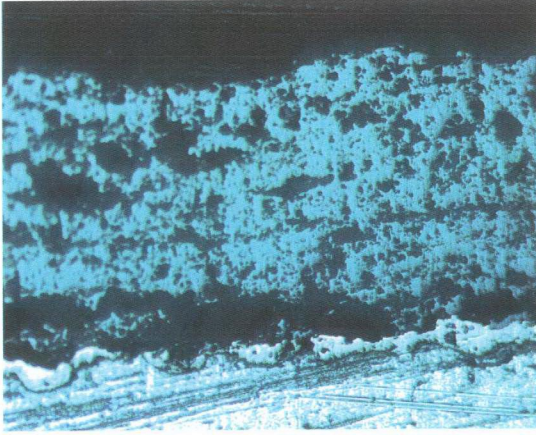
MgO stabilizeli zirkonyumoksit kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri Çizelge 6.1' de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.4' te gösterilmiştir. MgO stab. zirkonyumoksit kaplamalarda, yüzey pürüzlülüğü beklenen sınır ölçüleri arasındadır.



Şekil 6.4 Magnezyum-oksit stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü

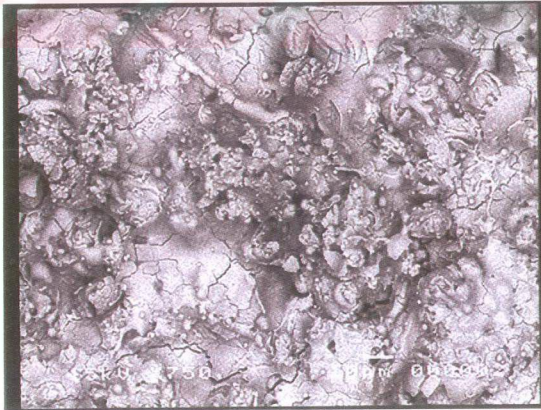
6.1.2 %8İtriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarlı)

Al metali üzerine, %8 itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit tozunun püskürtülmesi ile, oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.5' te verilmiştir. Kaplamadan önce, numune astarlandığından, kaplama yüzeye yapışmıştır. Şekil 6.5' te numunenin enine kesidinde astar (%95Ni/5Al) oldukça belirgin bir biçimde görünmektedir. Astarın varlığı yapışmayı sağlamasına rağmen, arayüzeyde oldukça gözenekli bir yapı elde edilmiştir. Bununla beraber yapıda, oksit inklüzyonlarda bulunmaktadır.

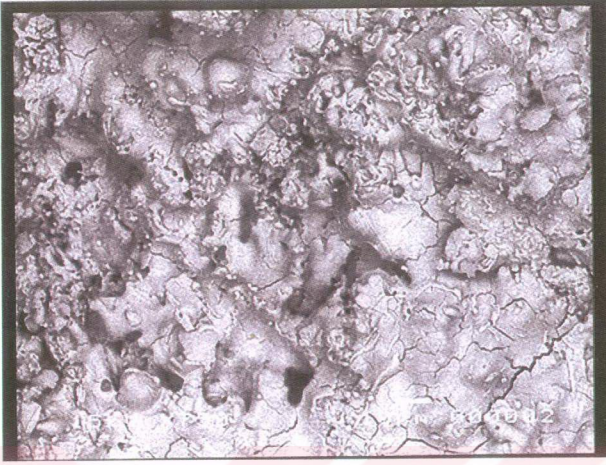


Şekil 6.5 %8 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta kesit görünüşü(astarlı)

Al alt malzeme üzerinde oluşturulan kaplamaların SEM fotoğrafları, Şekil 6.6 ve 6.7' de verilmiştir. Şekillerde, yarı ergimiş tozlar açıkça belli olmaktadır. Bunun sebebi olarak, toz besleme hızındaki alt ve üst optimum değere, yaklaşılamaması gösterilebilir. Toz besleme hızının, olması gerekenden düşük veya yüksek durumda bulunması, kaplamada yarı ergimiş tozların varlığına neden olur.

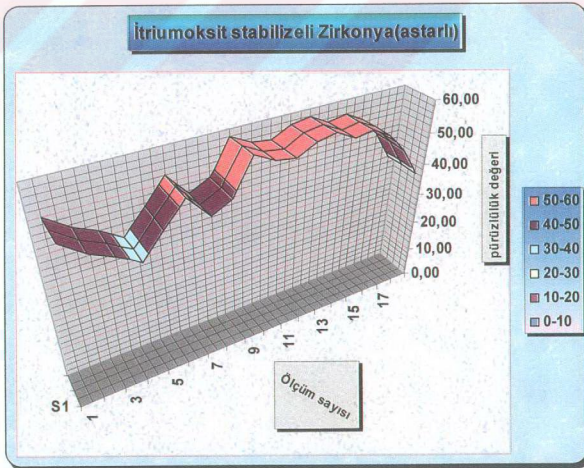


Şekil 6.6 %8 İtiryumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görünüşü(1)



Şekil 6.7 %8 Itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görüntüsü(2)

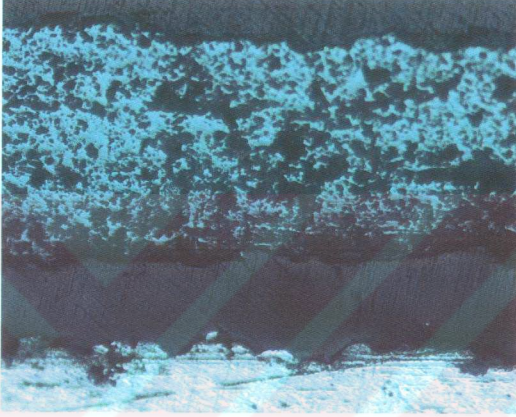
%8 Itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit (astarlı) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.8’ de gösterilmiştir. %8 Itriyumoksit stab. zirkonyumoksit kaplamalarda, yüzey pürüzlülüğü beklenen sınır ölçüleri arasında değildir.



Şekil 6.8 Itriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarlı)da yüzey pürüzlülüğü

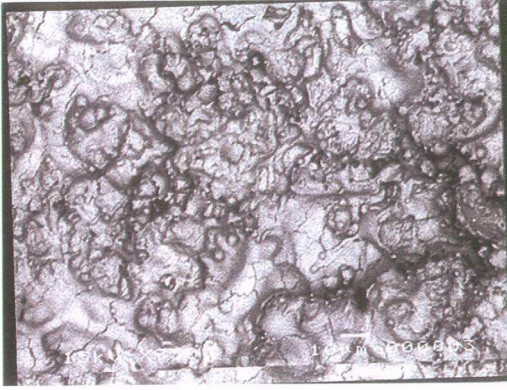
6.1.3 İtriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız)

Püskürtme malzemesi %8 İtriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit tozu olan, ancak astarlama yapılmadan Al alt malzeme üzerinde oluşturulan kaplamanın, enine kesit görüntüsü Şekil 6.9’ da verilmiştir. Numuneye astarlama yapılmadığı için arada kalan siyah bölüm, kaplama üst malzemesinin kaplanacak alt malzemeden ayrıştığını gösteren bölümdür. Ayrıca yapı oldukça gözeneklidir ve yapıda segmentasyon çatlakları, kesit boyunca gözlemlenmemiştir.

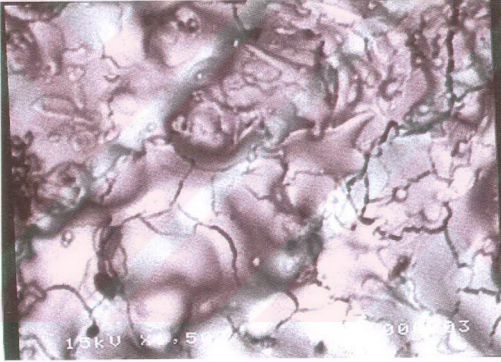


Şekil 6.9 İtriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 200X optik mikroskopta kesit görüntüsü (astarsız)

Kaplamaların SEM görüntüleri, Şekil 6.10 ve 6.11’ de farklı büyütmeyle verilmiştir. Şekillerde, yüzeyde oluşan mikroçatlaklar ve sıçrama şekilli splatlar görünmektedir. Sıçrama tipli splatların oluşumunun nedeni, püskürtme etkisinin, püskürtülen damlacığı, tüm yönlerde aynı biçimde, tek merkezden dağıtamamasıdır.

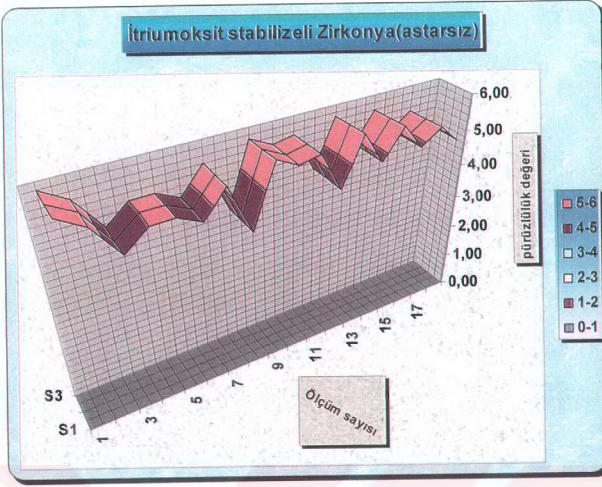


Şekil 6.10 Itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 750X SEM görünüşü



Şekil 6.11 Itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksitin 1500X SEM görünüşü (2)

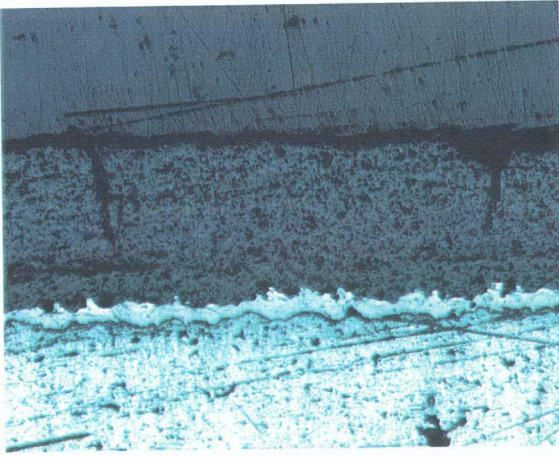
%8 Itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit (astarsız) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri Çizelge 6.1' de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.12' de gösterilmiştir. Şekil 6.12 'te görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.12 İtriyumoksit Stabilizeli Zirkonyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü

6.1.4 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarlı)

Alüminyum-oksit (beyaz) (astarlı) tozunun püskürtülmesi ile, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.13' te verilmiştir. Numunenin enine kesidinde, astar (95Ni/5Al) oldukça belirgin bir biçimde görünmektedir. Gözeneklilik ise, diğer numunlere göre nispeten daha düşüktür. Yüzeyden alt malzemeye doğru sıcaklık düştüğünde segmentasyon çatlaklarının durduğu ve astar tabakasına ulaşamadığı görülmektedir.

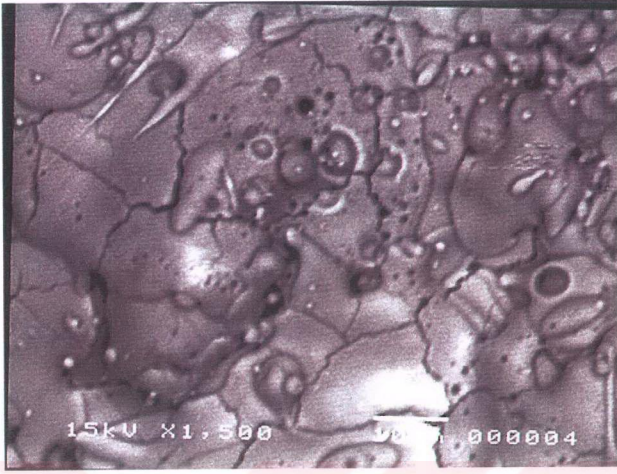


Şekil 6.13 Alüminyum-oksit (beyaz) 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı)

Kaplamaların yüzey görüntüsü, Şekil 6.14 ve 6.15' te farklı büyütmeyle verilmiştir. Şekillerde yüzeyde oluşan mikroçatlaklar görünmektedir. Ayrıca sıçrama şekilli splatların varlığı yapıda bulunmaktadır. Püskürtme etkisinin, püskürtülen damlacığı, tüm yönlerde aynı biçimde, tek merkezden dağıtamaması nedeniyle, yapıda sıçrama biçimli splatlar oluşmuştur.

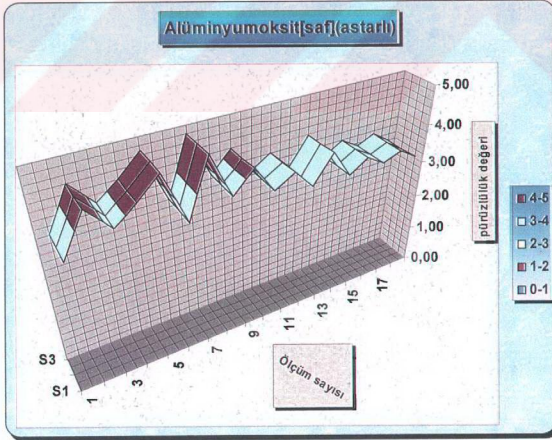


Şekil 6.14 Alüminyum-oksit (beyaz) 750X SEM görünüşü



Şekil 6.15 Alüminyum-oksit (beyaz) 1500X SEM görüntüsü

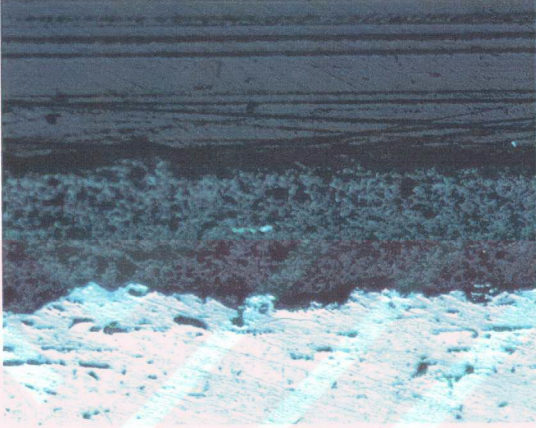
Alüminyum-oksit kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.16’ da gösterilmiştir. Şekil 6.16 ‘de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.16 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarlı)te yüzey pürüzlülüğü

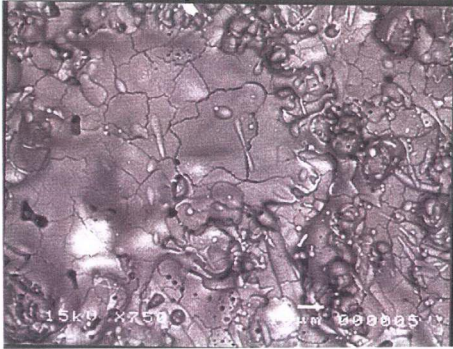
6.1.5 %97 Al₂O₃-%3 TiO₂ (astarsız)

Al metali üzerinde, %97 Al₂O₃-%3 TiO₂ (astarsız) tozunun püskürtülmesi ile, oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.17’ de verilmiştir. Şekil 6.17’de numune astarsız olmasına rağmen yapışmanın tüm arayüzeyde, çok iyi olduğu görülmüştür. Yapıda herhangi bir segmentasyon çatlağı gözlemlenmemiştir.

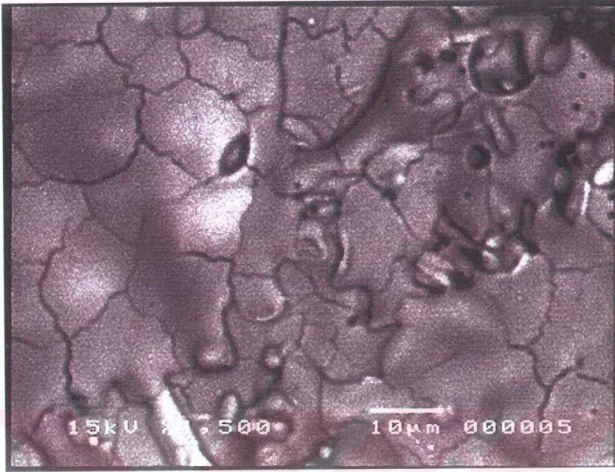


Şekil 6.17 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 50X optik mikroskopta kesit görüntüsü (astarsız)

Al alt malzeme üzerinde oluşturulan kaplamaların, farklı büyütmelerle alınmış SEM fotoğrafları, Şekil 6.18 ve 6.19’ da verilmiştir. SEM fotoğraflarında, üstüste gelmiş yeniden ergiyen katmanlar görülmektedir.

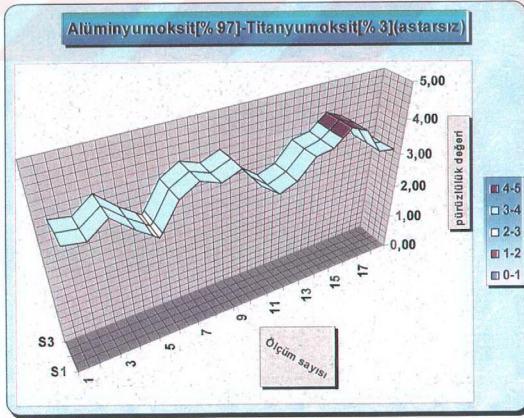


Şekil 6.18 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 750X SEM görüntüsü (1)



Şekil 6.19 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 1500X SEM görünüşü

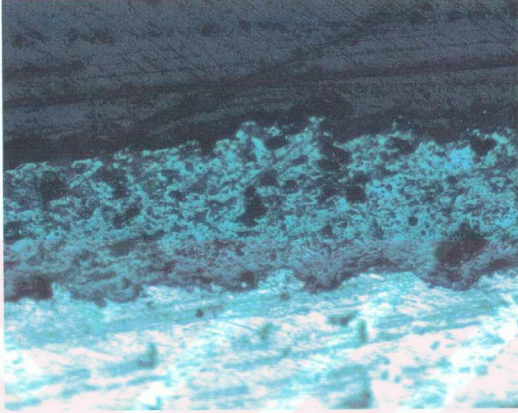
%97Al₂O₃-%3TiO₂ kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1' de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.20' de gösterilmiştir. Şekil 6.20 'de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.20 %97 Al₂O₃-%3 TiO₂ (astarsız)te yüzey pürüzlülüğü

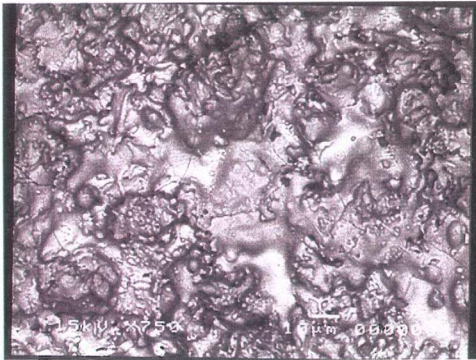
6.1.6 Kromoksit-Silisyumoksit (astarsız)

Kromoksit-Silisyumoksit tozunun püskürtülmesi ile, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.21’ de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, numune astarsız olmasına rağmen, kaplanan üst malzeme, altmalzemeden ayrılmamıştır. Kaplama yapısında, oksit inklüzyonlar olukça yoğun biçimde gözlemlenmiştir.

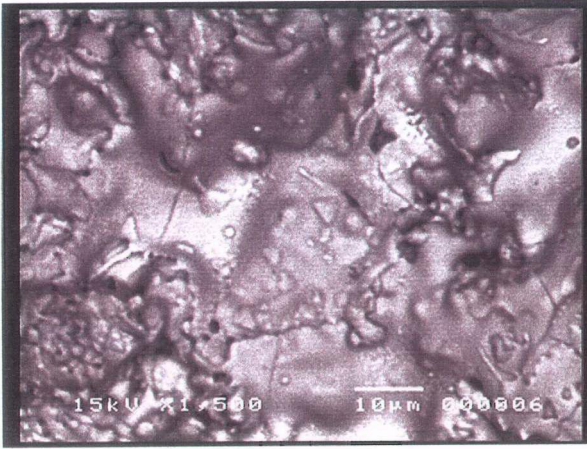


Şekil 6.21 Kromoksit-Silisyumoksit 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarsız)

Kaplamaların yüzey görüntüsü, Şekil 6.22 ve 6.23’ te verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi diğer numunelerin aksine mikroçatlaklar çok az görülmekte olup, yüzeyden merkeze doğru herhangi bir çatlak mekanizması yoktur.

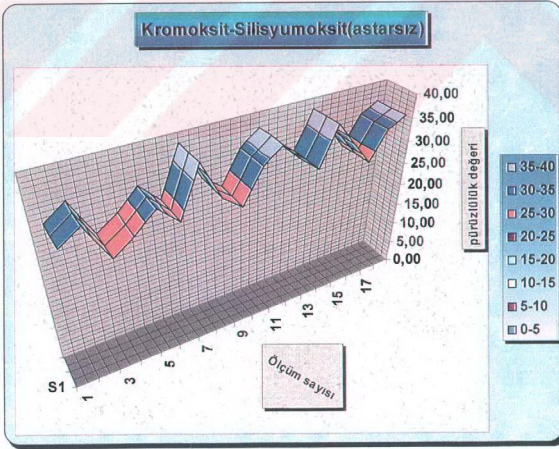


Şekil 6.22 Kromoksit-Silisyumoksit 750X SEM görünüşü



Şekil 6.23 Kromoksit-Silisyumoksit 1500X SEM görünüşü

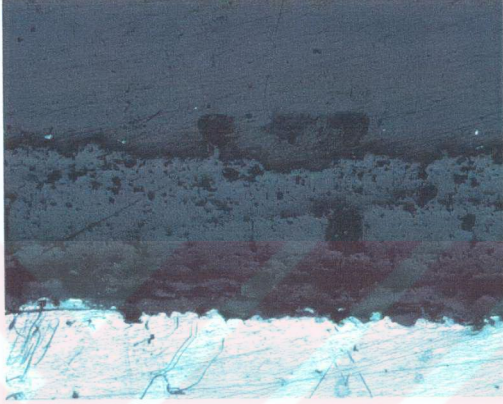
Kromoksit-Silisyumoksit kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.24’ de gösterilmiştir. Şekil 6.24’ de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmamıştır.



Şekil 6.24 Kromoksit-Silisyumoksit (astarsız)da yüzey pürüzlülüğü

6.1.7 Hidroksiapatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2\text{HA}]$

Al metali üzerine, hidroksiapatit tozunun püskürtülmesi ile, oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.25’ te verilmiştir. Hidroksiapatit kaplama malzemesi, alt malzemeye yapışmıştır, ancak kaplamanın ortasında alt malzeme yüzeyine paralel çatlak oluşumu söz konusudur.



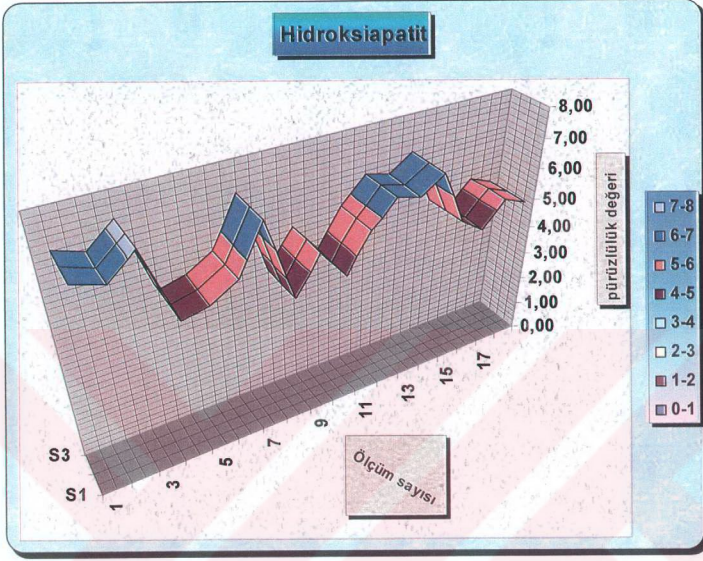
Şekil 6.25 Hidroksiapatit 200X optik mikroskopta kesit görüntüsü (astarsız)

Kaplamaların yüzey görüntüsü, Şekil 6.26’ da gösterilmiştir. Yapıda disk şekilli splatların varlığı tespit edilmiştir. Disk şekilli splatların oluşumunun nedeni, püskürtme etkisinin, püskürtülen damlacığı, tüm yönlerde aynı biçimde, tek merkezden dağıtmasıdır.



Şekil 6.26 Hidroksiapatit 750X SEM görüntüsü

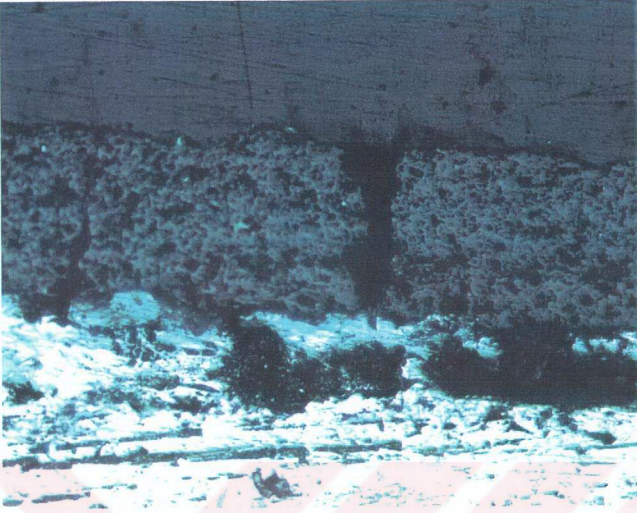
Hidroksiapatit kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.27’ de gösterilmiştir. Şekil 6.27’ de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.27 Hidroksiapatit(astarsız) yüzey pürüzlülüğü

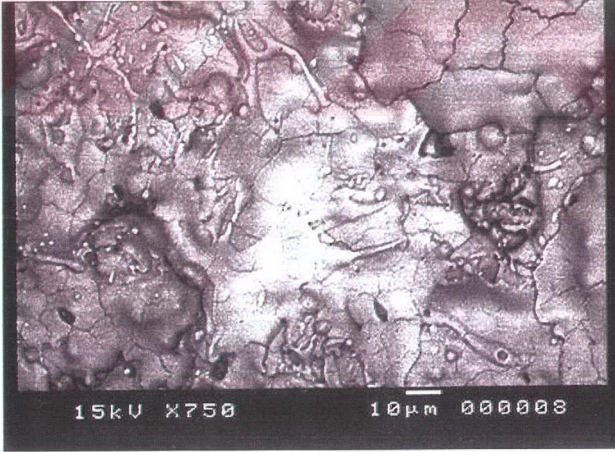
6.1.8 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarsız)

Püskürtme malzemesi Alüminyum-oksit (beyaz) tozu olan, ancak astarlama yapılmaksızın, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.28’ de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, numunede, segmentasyon çatlağı oluşmuş ve alt malzemeye kadar bu çatlak ulaşmıştır. Numune astar olmaksızın yüzeye yapıştığı halde, çatlağın oluşma sebebi, artık gerilmeler olarak tahmin edilmiştir. Özellikle türbin kanatlarında bu tip çatlak mekanizmalarını önlemek için astarlama yapılır.



Şekil 6.28 Alüminyum-oksit (beyaz) 50X optik mikroskopta kesit görüntüsü (astarsız)

Kaplamaların yüzey görüntüsü, Şekil 6.29 ve 6.30' da farklı büyütmelerle verilmiştir. Yapıda sıçrama şekilli splatlar görünmektedir. Sıçrama şekilli splatların çapları oldukça büyüktür.

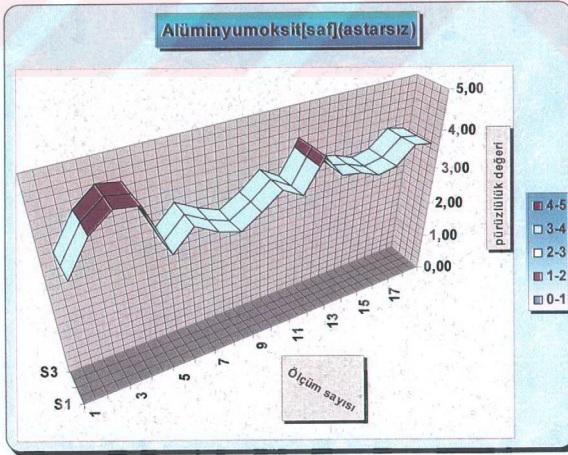


Şekil 6.29 Alüminyum-oksit(beyaz) 750X SEM görüntüsü



Şekil 6.30 Alüminyum-oksit (beyaz) 1000X SEM görünüşü

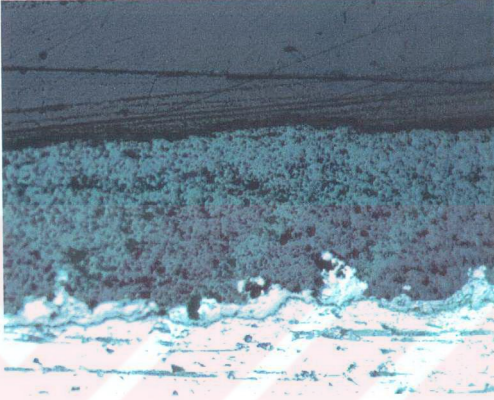
Alüminyum-oksit (beyaz) (astarsız) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.31’ de gösterilmiştir. Şekil 6.31’ de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.31 Alüminyum-oksit (beyaz) (astarsız)te yüzey pürüzlülüğü

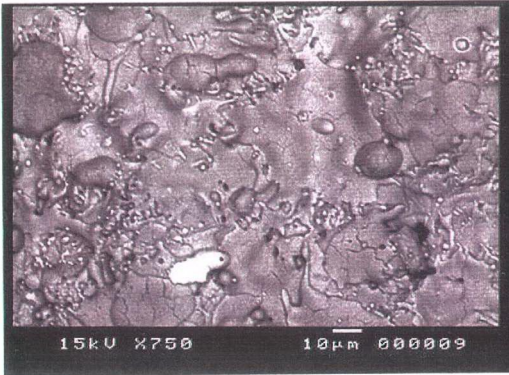
6.1.9 %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı)

Al metali üzerine, %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) tozunun püskürtülmesi ile, oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.32' de verilmiştir. Kaplama yapılmadan önce astarlama işlemi yapılmıştır. Astar arayüzeydeki bağ mukavemetini arttırmış ve kaplamanın alt malzemeye tam olarak yapışmasına neden olmuştur. Herhangi bir çatlak mekanizması gelişmemiştir.

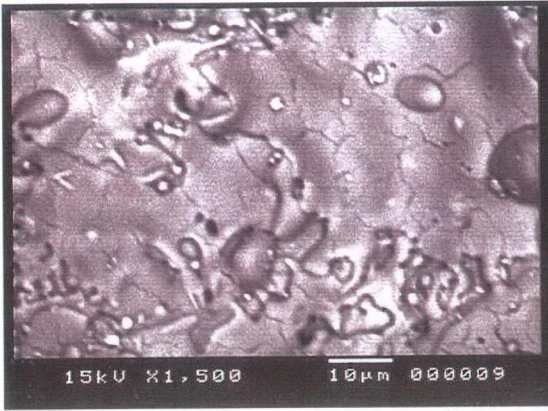


Şekil 6.32 %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) 200X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı)

Kaplamaların SEM görüntüsü, Şekil 6.33 ve 6.34' te farklı büyütmelerle verilmiştir. Yapıda, disk şekilli splatlar ve mikroçatlaklar görülmektedir.

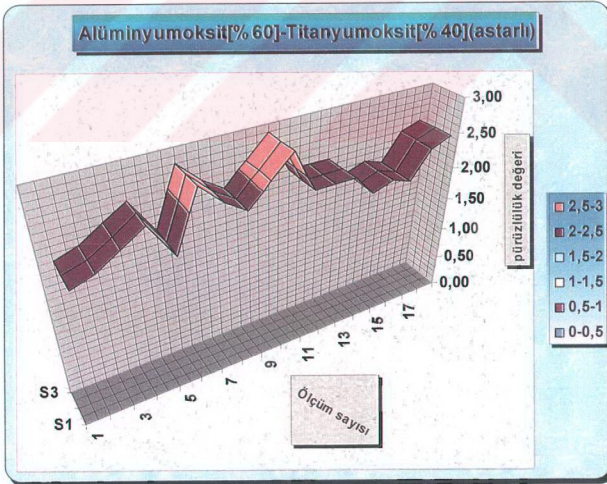


Şekil 6.33 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) 750X SEM görünüşü



Şekil 6.34 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) 1500X SEM görünüşü

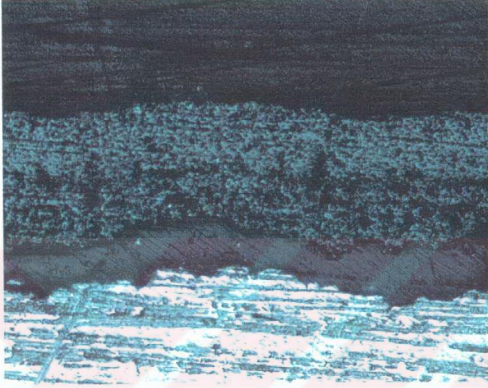
%60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1' de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.35' te gösterilmiştir. Şekil 6.35' te görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.35 %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarlı) te yüzey pürüzlülüğü

6.1.10 %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız)

%60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız) tozunun püskürtülmesi ile, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.36' da verilmiştir. Şekil 6.36' da, astarsız numunenin yüzeyinden, kaplamanın kalktığı açıkça görülmektedir. Öte yandan yapı oldukça gözeneklidir ancak kesitte alt malzemeye ulaşan bir segmentasyon çatlaklığı yoktur.

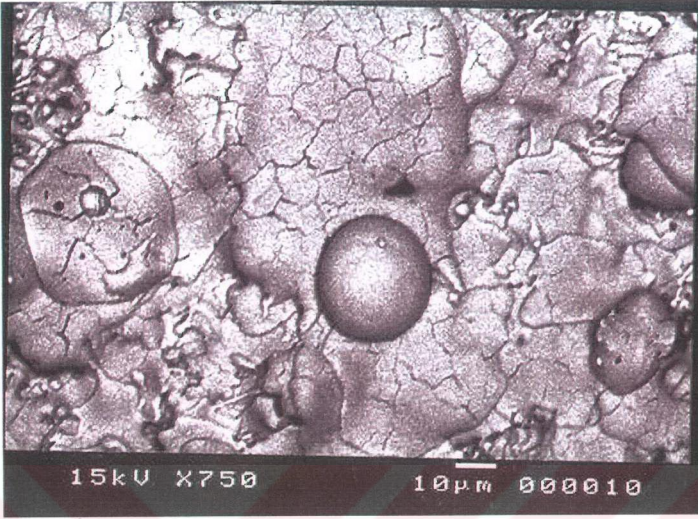


Şekil 6.36 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ 200X optik mikroskopta kesit görüntüsü (astarsız)

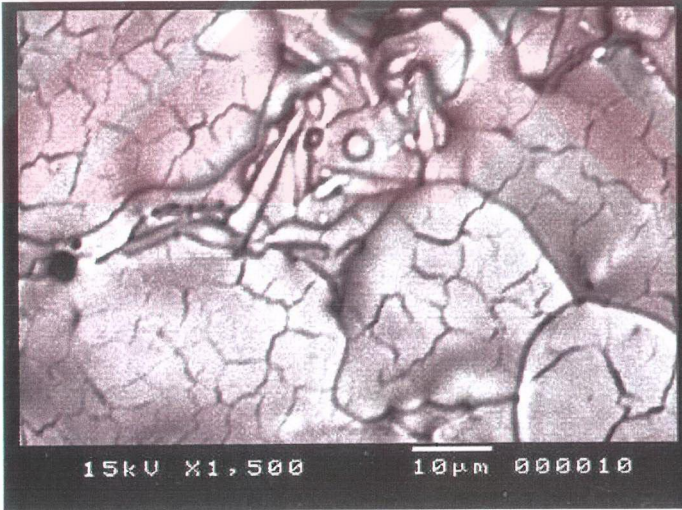
Kaplamaların SEM' de alınan yüzey görüntüsü, Şekil 6.37, 6.38 ve 6.39' da farklı büyütmelerle verilmiştir. Kaplamanın yüzeyinde disk şekilli splatların varlığı görülmektedir. Şekil 6.39' da disk şekilli splat numune fotoğrafının ortasındadır. Öte yandan Şekil 6.37 ve 6.39' da yeniden ergimiş splatlar görülmektedir.



Şekil 6.37 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız) 750X SEM görünüşü(1)



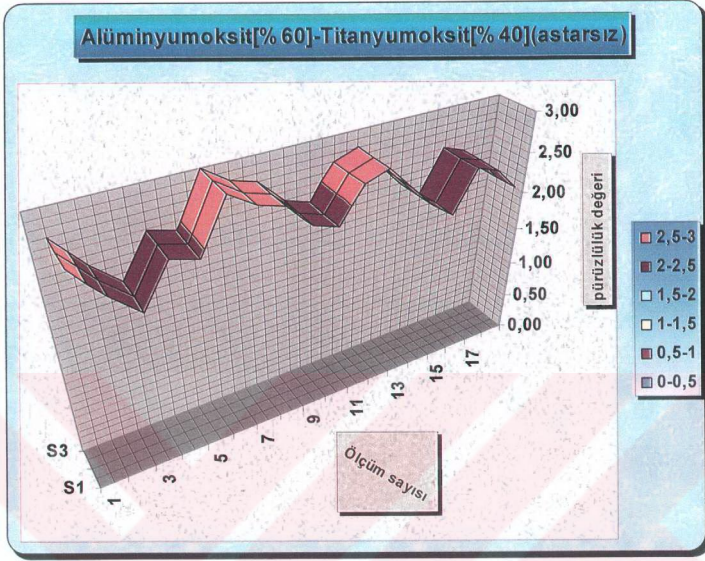
Şekil 6.38 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız) 750X SEM görünüşü(2)



Şekil 6.39 %60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız) 1500X SEM görünüşü

%60Al₂O₃-%40 TiO₂ (astarsız) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1' de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.40' ta

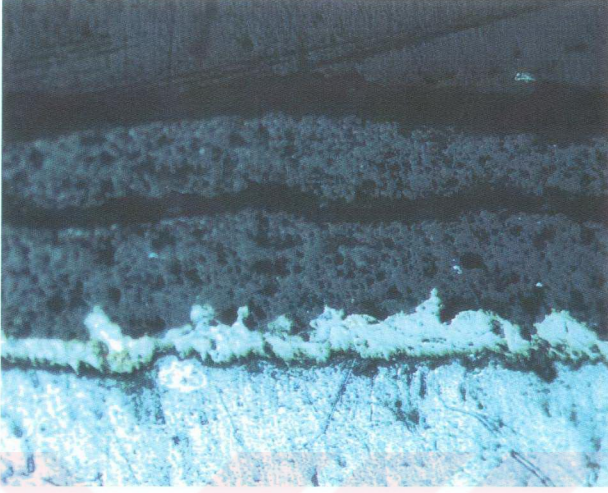
gösterilmiştir. Şekil 6.40' ta görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.40 %60 Al_2O_3 -%40 TiO_2 (astarsız) te yüzey pürüzlülüğü

6.1.11 %97 Al_2O_3 -%3 TiO_2 (astarlı)

%97 Al_2O_3 -%3 TiO_2 (astarlı) tozunun püskürtülmesi ile, Al metali üzerinde oluşturulan kaplamanın enine kesit görüntüsü Şekil 6.41' de verilmiştir. Şekilde yapıda görülen astar bağ mukavemetini artırmış, yüzeyden kopmalar oluşmamıştır. Ayrıca kaplama sonrası yapılan ikincil kaplama, yüzeyde birincil kaplama sonrası oluşan çok ince oksit tabakası yüzünden, birincil kaplamadan ayrılmıştır. Kaplama üst yapısında da benzer şekilde oksit tabakası görülmektedir.

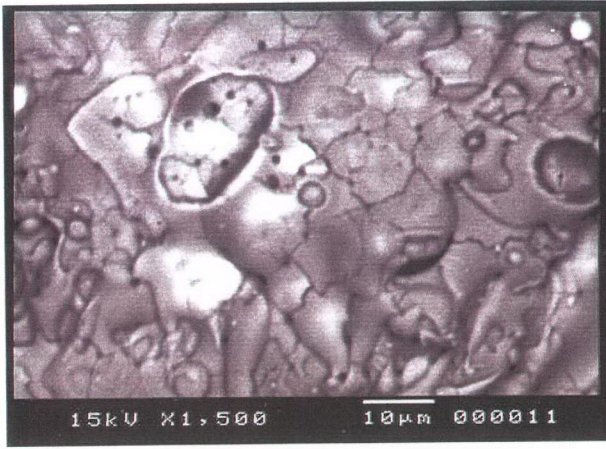


Şekil 6.41 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 50X optik mikroskopta kesit görünüşü (astarlı)

Kaplamaların yüzey görüntüsü, Şekil 6.42 ve 6.43' te farklı büyütmelerle verilmiştir. Şekillerde disk ve sıçrama biçimli splatların varlığı beraberce görülmektedir. Buna neden olarak, arkın dalgalanması gösterilebilir.

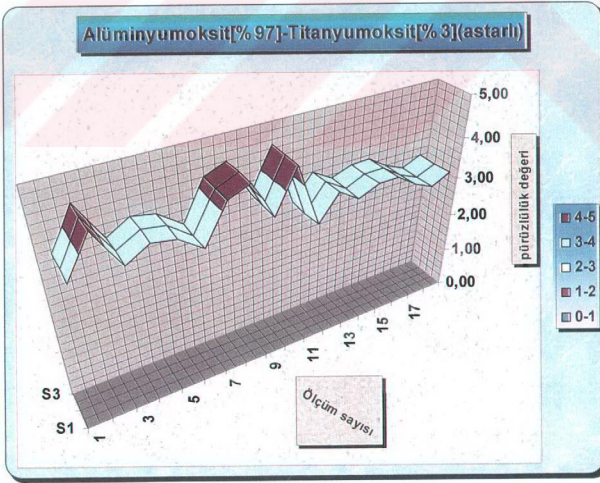


Şekil 6.42 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 750X SEM görünüşü



Şekil 6.43 %97Al₂O₃-%3TiO₂ 1500X SEM görünüşü

%97Al₂O₃-%3TiO₂ (astarlı) kaplamalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri, Çizelge 6.1’ de verilmiş olup, bu değerler MS Excel programı ile grafik olarak Şekil 6.44’ te gösterilmiştir. Şekil 6.44’ te görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü beklenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 6.44 %97 Al₂O₃-%3 TiO₂ (astarlı)te yüzey pürüzlülüğü

6.2 Mikrosertlik, Kaplama Kalınlığı ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

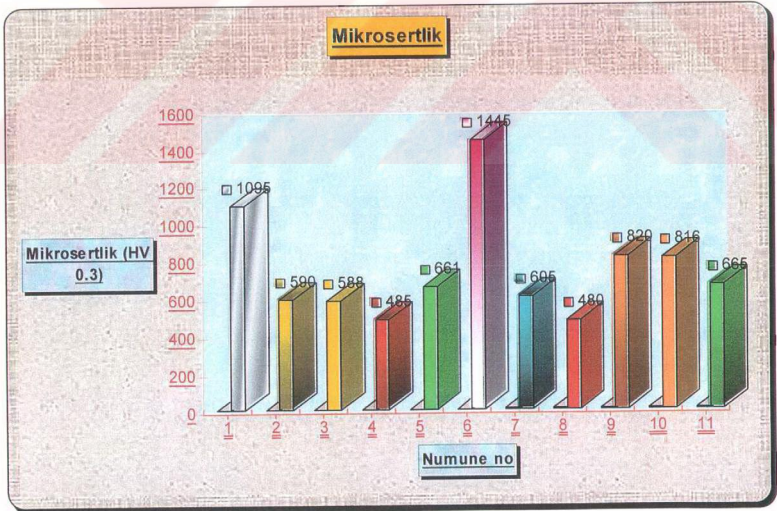
Çizelge 6.1'de 11 adet numunede kaplama işlemi sonrası ölçülen mikrosertlik, kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. En yüksek sertlik değeri, kromoksit-silisyumoksit kaplamada elde edilmiştir. En yüksek kaplama kalınlığı ise, %97 Al_2O_3 -%3 TiO_2 'de bulunmuştur. Yüzey pürüzlülük değerleri açısından 2 ve 6 numaralı numuneler hariç, pürüzlülük değerleri beklenen sınırlar içerisinde kalmıştır.

Çizelge 6.1 Kaplanan yüzeyin kaplama sonrası özelliklerinin karşılaştırılması

Numune no	Numune adı	Kaplama türü	Sertlik HV	Kaplama kalınlığı μm		Yüzey pürüzlülüğü Ra
				Üst kaplama	Astar	
2	Y_2O_3 Stab. ZrO_2	Astarlı	590	420.8	36.8	43.3
3	Y_2O_3 Stab. ZrO_2	Astarsız	588	373	-	4.6
4	Alüminyumoksit (saf)	Astarlı	485	396.4	58.91	3.81
8	Alüminyumoksit (saf)	Astarsız	480	258.99	-	3.5
9	%60 Al_2O_3 -%40 TiO_2	Astarlı	820	263.44	46.63	2.3
10	%60 Al_2O_3 -%40	Astarsız	816	213.6	-	2.46

	TiO ₂					
11	%97Al ₂ O ₃ - %3TiO ₂	Astarlı	665	260.77	83.66	3.69
5	%97Al ₂ O ₃ - %3TiO ₂	Astarsız	661	175.58	-	3.55
1	MgO Stab. ZrO ₂	Astarsız	1095	73.87	-	4.8
6	Kromoksit- Silisyumoksit	Astarsız	1445	125.49	-	31.5
7	Hidroksiapatit	Astarsız	605	435.21	-	4.63

Şekil 6.45' te, bulunan mikrosertlik değerleri MS Excel kullanılarak grafik ortamına taşınmıştır.



Şekil 6.45 Kaplanan malzemelerin mikrosertliklerinin karşılaştırması

7. SONUÇLAR

Plazma püskürtme yöntemi ile elde edilen kaplamalarda, mikroyapıların optik mikroskopla incelenmesinde, çok ince cidarlı alüminyum alt malzemenin, büyük fiziksel değişim geçirecek kadar plastik deformasyona maruz kalmadığı gözlemlenmiştir. Bu da plazma püskürtmenin düşük sıcaklıkta ergiyen alt malzemelere de uygulanabilirliğinin delilidir. Ayrıca kullanılan tozların ergime sıcaklığı çok yüksek olmasına rağmen plazma püskürtme ile kaplanabilirliği ve kaplama sonrası yapının, özellikle astarlı numunelerde yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür.

Hazırlanan numunelerden, astarlı %8 itriyumoksit stabilizeli zirkonyumoksit, astarlı %97Al₂O₃-%3TiO₂, astarlı %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ ve astarlı alüminyum-oksit (beyaz) ile astarsız kromoksit-silisyumoksit, astarsız hidroksiapatit, astarsız %97Al₂O₃-%3TiO₂ ve astarsız alüminyum-oksit (beyaz), Al alt malzemeye yapışmıştır. Hem astarlı hem de astarsız alüminyum-oksit (beyaz) kaplamada segmentasyon çatlığının varlığı görülmüş, ancak astarsız numunede çatlak arayüzeye kadar inerken, astarlı numunede astarın varlığı, çatlığın ilerlemesini durdurmuştur. Astarın bu özelliği, türbin kanatlarında da astarlamanın gerekliliğini ortaya koyar. Tüm numunelerde, seçilen püskürtme yöntemi nedeniyle bir miktar oksit inklüzyon oluşumu gözlemlenmiş, astarlı alüminyum-oksit (beyaz) ve astarlı %60 Al₂O₃-%40 TiO₂ 'te bu inklüzyonların varlığı, diğer numunelere oranla daha az olarak tespit edilmiştir. İşlemin gerçekleştirildiği atmosferik plazma püskürtme (APS) yönteminde püskürtme işlemi havada yapıldığından, bu tip inklüzyonların yapıda bulunması ve hemen hemen tüm numunelerde görülen ve numuneden numuneye dağılımında ve büyüklüğünde değişiklik gösteren gözeneklerin varlığı kaçınılmazdır. Kaplanan malzemenin alt malzemeden kopmaması için, alt malzemenin daha iyi soğutulması gerekliliği ortadadır. Özellikle astarsız numunelerde görülen bu durumun düzeltilmesi için, alt malzemenin daha iyi soğutulmasının, arayüzeyde oluşan artık gerilmelerin oluşumunu önleyici bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. Astarlı %97Al₂O₃-%3TiO₂ numunesinde çift kat kaplama yapılmıştır. Ancak numune, birinci kat kaplamadan sonra derhal oksitlendiğinden, yapılan ikinci kat kaplama bu filmin üzerine gelmiştir ve birinci kat kaplamanın ikinci kat kaplamadan ayrılmasına neden olmuştur. Öte yandan özellikle SEM fotoğraflarında yapıda daha önce anlatılan mikroçatlakların varlığı gözlemlenmiştir. Bazı numunelerde yarı ergimiş tozların varlığı saptanmış, bazı numunelerde ise disk ve sıçrama şekilli, değişik splat morfolojilerine sahip yapılar rastlanılmıştır.

Farklı bileşimde tozlar kullanılarak yapılan plazma püskürtme kaplamaların sertlikleri, her

bileşimde farklılık göstermiş ancak aynı bileşimdeki astarlı ve astarsız numuneler arasında çok büyük farklılıklar bulunmamıştır. Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi kromoksit-silisyumoksit kaplama malzemesinin (no:6) sertliği, en yüksek mikrosertlik değeri olarak bulunmuştur. Elde edilen sertlik değerlerinin, referanslarla (Gordon England, 2002) uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Astarlı ve astarsız numuneler arasında yapılan sertlik kıyaslamalarında, astarlı numunelerin astarsızlara oranla çok az daha sert olduğu bulunmuş, ne varki hata paylarında dikkate alınarak önemsenmemiştir. Öte yandan Alüminyumoksit bazlı kaplamalarda TiO_2 artırıldığında sertliğinde aynı oranda arttığı görülmüştür.

Kromoksit-silisyumoksit (no:6) ve astarlı İtiryumoksit stabilizeli Zirkonyumoksit (no:2) numuneleri hariç, bulunan yüzey pürüzlülükleri kabul edilebilir sınırlarda kalmıştır. Her numuneden alınan 18 farklı ölçüm, MS Excel programı ile grafiksel ortama taşınmış ve numunelerin görsel olarak pürüzlülükleri ortaya çıkarılmıştır.

Kaplamayı gerçekleştiren operatör, kaplama işlemini kendi tecrübeleriyle elle gerçekleştirdiği için, kaplama kalınlığı, numunelerde farklılık göstermiş, bu durum kalınlık ölçüm değerlerinde açık olarak görülmüştür.

Plazma püskürtme yöntemi ile kaplanan 11 numunenin içinde, astarlı %60 Al_2O_3 -%40 TiO_2 , altmalzeme-kaplama malzemesi arayüzeyinin, diğer numunelerinkinden daha iyi olması, segmentasyon çatlağı içermemesi, düşük gözeneklilik ve yüzey pürüzlülüğü ile en başarılı kaplamadır.

KAYNAKLAR

- Allen, A., (1998), "Coating System Drives Engine-Block Design", Design News, April 20, Archives
- Ang, C.B., Ng, H.W., Yu, S.C.M. ve Lam, Y.C., (2000), "A Propose Process Control Chart for DC Plasma Spraying Process", Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol 20, No:3, 325-342
- ASM Handbook 5, (2000), "Surface Cleaning".
- Ballard, J.D., Schadler, L.S., Lewis, C. ve Davenport, J. (2000), "Phase Transition in Thermal Barrier Coatings", Report, Rensselaer Poytechnic Institute.
- Barbezat, G., (2002a), "The Evolution of the plasma spraying technology during the last ten years", Tech Report, Sulzer METCO AG, Wohlen, Switzerland.
- Barbezat, G., (2002b), "A New Era in Plasma Technology", Sulzer Technical Review, 1/2002, Switzerland.
- Bartuli, C., Bertamini, L., Matera ve S., Sturlese, S., (1995), "Investigation of the Formation of an Amorphous Film at the ZrO_2 - Y_2O_3 /NiCoCrAlY Interface of Thermal Barrier Coatings Produced by Plasma Spaying", Material Science & Engineering, A199:229-237.
- Biancaniello, F.S. ve Ridder, S.D., (1998), "Thermal Spray Coatings Workshop: Sensors, Modeling and Control Strategies", Tech Report, National Institute of Standarts and Technology.
- Boulos, M.I., Fauchais, P., Vardelle, A. ve Pfender, E., (1993), "Fundamentals of Plasma Particle Momentum and Heat Transfer", Plasma Spraying Technology and Applications, Singapore.
- Bream, B., (2000), "Performance and Durability of High Temperature Oil-Free Turbomachinery", NASA/TM-2000-209187/REV1.
- Damani, R.J., ve Wanner, A., (2000), "Microstructure and Elastic Properties of Plasma-Sprayed Alumina", Journal of Materials Science, 35, 4307-4318
- Ding, C., Tong, Z. ve Yan, D., (1993), "Properties and Applications of Plasma Sprayed Ceramic Coatings", Shangai Institute of Ceramics, Plasma Spraying Technology and Applications, Singapore.
- Duan, Z., Schein, J. ve Heberlein, J., (2002), "Investigation of Plasma Instabilities in a Spray Torch", University of Minnesota, NSF/INT-9415715.
- Feng, C.F., Khor, K.A., Liu, E.J. ve Cheang, P., (2000), "Phase Transformations in Plasma Sprayed Hydroxyapatite Coatings", Scripta Materialia, 42, 103-109
- Fincke, J. ve Farrel, H., (2002), "Thermal Spray Processing of Materials", MRS Bulletin, Special Edition.
- Geçkinli, E., (1992), "İleri Teknoloji Malzemeleri", İstanbul.
- Gordon England, (2002), "Detonation Thermal Spray Process".
- Gordon England, (2002), "Plasma Thermal Spray Process".

Gordon England, (2002), "Plasma Flame Theory".

Griffiths, B.J., Gawne, D.T ve Dong, G., (1997), "The Role of GritBlasting in the Production of High-Adhesion Plasma Sprayed Alumina Coatings", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol 211 Part B

Harrison K. ve Dorfman M., (1998), "Thermally Sprayed Coatings for Lightweight Brake Rotors", Society of Automotive Engineers, Inc, 99PC-98

Ishiwata Y. ve Saitoh, M., (1999), "Influence of High-Temperature Protective Coatings on the Mechanical Properties of Nickel-Based Superalloys", Journal of Materials Science, 34:3957-3966.

Johner, G., Wilms, V., Schweitzer, K.K., ve Adam, P., (1992), "Experimental and Theoretical Aspects of Thick Thermal Barrier Coatings for Turbine Applications", Thermal Spray International Advances in Coatings Technology, 1992, 155-166.

Lugsheider, E., Oberlander, B.C. ve Rouhaghdam, A.S., (1993), "Optimising the APS-Process Parameters for New Ni-Hardfacing Alloys Using a Mathematical Model", Plasma Spraying Technology and Applications, Singapore.

Mattox, D.M., 1995, "Plasma Technology: Plasma Chemistry", Educational Guide to Vacuum Deposition Technology", SVC Publications 1995.

Ohmori, A., Li, C.-J., (1993), "The Structure of Thermally Sprayed Ceramic Coatings and Its Dominant Effect on the Coating Properties", Plasma Spraying Technology and Applications, Singapore.

Pfender, E., (1987), "Fundamental Studies Associated with the Plasma Spray Process", Thermal Spray Advances in Coatings Technology Proceedings of the National Thermal Spray Conference, September, Orlando, Florida, USA.

Quek, C.H., Khor, K.A. ve Cheang, P., (1999), "Influence of Processing Parameters in the Plasma Spraying of Hydroxyapatite/Ti6Al4V Composite Coatings", Journal of Materials Processing Technology, 89-90, 550-555

Ramaswamy, P., Seetharamu, S., Varma, K.B.R., Raman, N. ve Rao, K.J., (2000), "Thermomechanical fatigue characterization of zirconia and mullite thermal barrier coatings on diesel engine components: effect of coatings on engine performance", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol214 Part C

Ray, A.K., Roy, N. ve Godiwalla, K.M., (2001), "Crack Propagation Studies and Bond Coat Properties in Thermal Barrier Coatings Under Bending", Bulletin Materials Scientist, Vol 24, No 2, 203-209.

Shimoizumi, M., Saitho, H., Tateno, H., Itoh, T. Ve Nagasaka, H., (1992), "The Effects of a New Plasma Spraying System On Coating Compositions Using Various Gases", Thermal Spray International Advances in Coatings Technology, 1992, 209-212.

Smith, A., (2002), "Advantageous of Plasma Spray Process", Plasma Processing vol5, 56-64.

SulzerMetco 2002 Internet Sayfaları www.sulzermetco.com ve www.sulzer.ch.

Thomson, I., Pershin, V., Mostaghimi, J. ve Chandra, S., (2001) Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol21, No1, 65-81.

Wigren, J., (1992), "Grit-Blasting As Surface Preparation Before Plasma Spraying", Thermal Spray International Advances in Coatings Technology, 1992, 99-104.

Wigren, J., (2000), "Tungsten Carbide Coatings on Jet Engine Components", Sulzer Technical Review, 36-39

Yip, C.S., Khor, K.A., Loh, N.L. ve Cheang, P., (1997), "Thermal Spraying of Ti-6Al-4V/Hydroxyapatite Composites Coatings: Powder Processing and Post-Spray Treatment", Journal of Materials Processing Technology, 65, 73-79



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	04.06.1974	
Doğum yeri	Trabzon	
Lise	1988-1991	Suadiye Lisesi
Lisans	1992-1999	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Metalurji Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

1998-1999	LMA LTD ŞTİ.
1999-2000	Teknet