

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ ÇELİĞİN ARK SPREY YÖNTEMİ İLE
KAPLANMASI VE PROSES PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Ve Malz. Müh. Taner TERZİ

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet TÜRK

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASLANMAZ ÇELİĞİN ARK SPREY YÖNTEMİ İLE
KAPLANMASI VE PROSES PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Ve Malz. Müh. TANER TERZİ

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Bu tez 22 / 06 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Ahmet TÜRK
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Fevzi YILMAZ
Üye


Doç. Dr.
Ramazan YILMAZ
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmamın titizlikle yönetilmesi ve sonuçlandırılmasında hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan değerli hocam Doç. Dr. Ahmet TÜRK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Engin bilgisi ile beni aydınlatan, bilgisini ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Fatih ÜSTEL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Deneylerimin yapılmasında ve sonuçlarının yorumlanmasında bana her koşulda yardımcı olan çalışma arkadaşlarım ile termal sprey uygulama ve araştırma laboratuvarında çalışan Sayın Ebubekir CEBECİ'ye teşekkür ve Őükranlarımı bir borç bilirim.

Ayrıca bana her zaman her konuda yardımcı olan ve hayat boyu en büyük desteği benden hiç esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Taner TERZİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Termal Püskürtme Yöntemlerinin Prensipleri.....	4
2.3. Termal Püskürtme Kaplamaların Tarihçesi ve Gelişimi.....	6
2.4. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri.....	7
2.4.1. Alev ile tev ve toz püskürtme.....	7
2.4.2. Elektrik ark püskürtme.....	9
2.4.3. Patlama tabancası (detonation-gun).....	10
2.4.4. Yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme (HVOF).....	11
2.4.5. Plazma arkı ile püskürtme.....	12
2.5. Termal Sprey Yöntemlerinin Kullanım Alanları.....	13
2.6. Termal Sprey Yöntemlerinde İş Güvenliği.....	15

BÖLÜM 3.

ELEKTRİK ARK SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ.....	16
3.1. Giriş.....	16
3.2. Elektrik Ark Sprey Prosesi.....	16
3.2.1. Elektrik ark spreyn avantajları.....	18
3.2.2. Elektrik ark spreyn dezavantajları.....	19
3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği.....	19
3.4. Elektrik Ark Sprey İle Üretilen Kaplamalar.....	25
3.5. Elektrik Ark Sprey Kaplama Malzemeleri.....	27
3.6. Elektrik Ark Püskürtme Malzemeleri ve Kullanım Alanları.....	30
3.6.1. Al ve Al alaşımları.....	30
3.6.2. Zn ve Zn alaşımları.....	31
3.6.3. Ni ve Ni alaşımları.....	31
3.6.4. Zn-Al ve Zn-Al alaşımları.....	32
3.7. Elektrik Ark Spreyin Uygulama Alanlarına Örnekler.....	32
3.7.1. Uçak parçalarının tamiratında.....	32
3.7.2. Aşınma.....	33
3.7.3. Korozyondan koruma.....	34
3.7.4. Otomotiv.....	35
3.7.5. Elektriksel uygulamalar.....	36
3.7.6. Parça tamiratında.....	36
3.7.7. Kalıp yapma.....	37
3.7.8. Elektronik devreler.....	37
3.8. Ark Sprey Kullanımında Güvenlik.....	37

BÖLÜM 4.

ELEKTRİK ARK SPREY TEKNOLOJİSİNDE KAPLAMA KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. Püskürtme Mesafesinin Etkisi.....	39
4.3. Püskürtme Gaz Cinsinin Etkisi.....	40
4.4. Püskürtme Gaz Basıncının Etkisi.....	50

4.5. Nozul Ve İkincil Gaz Basıncının Etkisi.....	55
4.6. Amperin Ve Voltajın Etkisi.....	63
4.7. Altlık Sıcaklığının Etkisi.....	67

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMA.....	72
5.1. Deney Amacı Ve İşleyişi.....	72
5.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	72
5.2.1. Altlık malzemesi.....	72
5.2.2. Kaplama teli.....	73
5.3. İncelenen Özellikler.....	73
5.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	74
5.4.1. Kumlama cihazı.....	74
5.4.2. Elektrik ark spreycihazı.....	75
5.4.3. Kesme makinası.....	75
5.4.4. Bakalite alma cihazı.....	75
5.4.5. Otomatik parlatma cihazı.....	75
5.4.6. Optik mikroskop.....	75
5.4.7. Mikro sertlik cihazı.....	76
5.4.8. Taramalı electron mikroskobu (SEM).....	77
5.5. Kaplamaların Üretilmesi.....	77
5.5.1. Altlık yüzeyinin hazırlanması.....	77
5.5.2. Kaplama uygulaması.....	77
5.6. Amper/Voltaj Değişiminin Etkisi.....	79
5.7. Atomize Gaz Basıncı Değişimi.....	79
5.8. Atomize Gaz Cinsinin Değişimi.....	80
5.9. Nozul Değişiminin Etkisi.....	81

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ.....	83
6.1. Giriş.....	83
6.2. Amper/Voltaj Değişimlerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi.....	83

6.3. Atomize Gaz Basıncının Kaplama Özelliklerine Etkisi.....	102
6.4. Atomize Gaz Türünün Kaplama Özelliklerine Etkisi	105
6.5. Nozul Değişiminin Kaplama Özelliklerine Etkisi	114
6.6. Üç Nokta Eğme Testi.....	117
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	119
7.1. Sonuçlar.....	119
7.2. Öneriler.....	119
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	125

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

EAP	: Elektrik ark püskürtme
AP	: Atmosferik plazma püskürtme
HVOF	: Yüksek hızlı oksiyakıt püskürtme
E	: Elastik modülü (GN/m ²)
C/CL	: Kapalı birleşen nozul
CD/OP	: Açık birleşip ayrılan nozul
CD/CL	: Kapalı birleşip ayrılan nozul
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
N ₂	: Azot
CO ₂	: Karbondioksit
MPa	: Megapaskal
GPa	: Gigapaskal

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Termal sprey kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi.....	5
Şekil 2.2.	Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplama kesidinin şematik görüntüsü.....	6
Şekil 2.3.	Termal püskürtme kaplamaların tarihsel gelişimi.....	7
Şekil 2.4.	Tel / çubuk alev püskürtme tabancası.....	8
Şekil 2.5.	Toz alev püskürtme tabancası.....	8
Şekil 2.6.	Elektrik ark püskürtme tabancası.....	9
Şekil 2.7.	Patlamalı tabanca ile püskürtmenin şematik görünümü.....	10
Şekil 2.8.	HVOF ile Kaplamanın Şematik Görünümü.....	11
Şekil 2.9.	Plazma arkı ile püskürtmenin şematik görünümü.....	12
Şekil 3.1.	Elektrik ark spreyin şematik görünümü.....	17
Şekil 3.2.	Sistem gereksinimleri ve elektrik ark sprey sistemi.....	18
Şekil 3.3	Elektrik ark sprey kaplama örneği.....	18
Şekil 3.4.	Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.....	20
Şekil 3.5.	Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi.....	21
Şekil 3.6.	Yayılan ve büzülmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) Anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş.....	23
Şekil 3.7.	Anottan kopan parçacıklar ağza doğru gidiyor.....	24
Şekil 3.8	Katottan püskürme ile dışarı fırlayan partiküller.....	24
Şekil 3.9	Atomize jet akımındaki değişiklikler.....	25
Şekil 3.10	(a)Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplaması kesitinin şematik görüntüsü b) Ark sprey ile püskürtülmüş 13 Cr çelik.....	26
Şekil 3.11	Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi ve tipik şekli.....	29

Şekil 3.12	Uçak motorunun tamir amaçlı kaplanma uygulaması.....	33
Şekil 3.13	Ağır sanayide kullanılan bir silindirin elektrik ark sprey prosesi yardımıyla kaplanması.....	33
Şekil 3.14	Köprü konstrüksiyonunun korozyona karşı kaplanması.....	34
Şekil 3.15	Elektrik ark sprey ile kaplanmış sanayi tüpleri.....	34
Şekil 3.16	Otomobil kaportasının kaplanması.....	35
Şekil 3.17	Varistörün kaplanması.....	35
Şekil 3.18	Parçanın elektrik ark spreyle tamirat uygulaması.....	36
Şekil 3.19	a) İş parçası yüzeyinde kullanım sırasında oluşan aşınma. b) Elektrik ark spreyle kaplanarak tamir edilmiş iş parçası.....	36
Şekil 3.20	Elektrik ark sprey yöntemiyle hızlı prototip kalıp üretimi ve üretilmiş.....	37
Şekil 4.1	Gaz atım hızı ve oksit birikim yüzdesi grafiği, kullanılan güç değerleriyle beraber verilmiştir.....	41
Şekil 4.2	Kaplamalardaki oksit birikiminin farklı gaz basınçlarında ve değişik atomize gaz türünde karşılaştırılması (Güç 3100 W).....	42
Şekil 4.3	a) Her iki gaz içinde sertlik ve oksit birikim yüzdesi grafiği b) GDS değeriyle kaplamadaki karbon yüzdesi (güç 3100 W).....	42
Şekil 4.4	Nitrojenin atım hızı ve oksit birikimine göre young modülü grafiği.....	43
Şekil 4.5	Young modülü – gaz atım hızı grafiği.....	44
Şekil 4.6	Üç gaz akımı hızlarında partikül çapları ve hız arasındaki ilişki...	45
Şekil 4.7	Üç farklı gaz akımı hızı için partikül çapları ve sıcaklık arasındaki ilişki.....	46
Şekil 4.8	a) Gaz akım hızına karşısında partikül hızlarının yayılımı b) Gaz akım hızına göre partikül çaplarının yayılımı.....	46
Şekil 4.9	Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi	47
Şekil 4.10	Eş kaplamalar için iki farklı gaz hızında elde edilen kaplama mikro yapıları.....	48
Şekil 4.11	Gaz akım hızı karşısında oksit içeriği.....	49
Şekil 4.12	Gaz besleme oranına karşın sertliklerin yayılımı.....	50
Şekil 4.13	Atomize gaz olarak hava kullanıldığında kaplama yapıları a) Düşük hızda $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ b) Orta hızda $110 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ c) Yüksek	

	hızda $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$	51
Şekil 4.14	a) Hava atomizasyonunun düşük gaz atım hızındaki partikül görünümü; Ortalama çap $760 \mu\text{m}$ (Güç 3100 W , hava atım hızı $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$) b) Hava atomizasyonunun yüksek gaz atım hızındaki partikül görünümü; Ortalama çap $122 \mu\text{m}$ (Güç 3100 W , hava atım hızı $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$).....	52
Şekil 4.15	Püskürtme hızının mikrosertlik ve oksit içeriğine etkisi.....	52
Şekil 4.16	Püskürtme hızının porozite içeriğine etkisi.....	53
Şekil 4.17	Tel boşanımı esnasında anot ve katotta ergime davranışı.....	54
Şekil 4.18	Al partikül boyut dağılımı a) Gaz Basıncı $0,31 \text{ MPa}$ b) Gaz basıncı $0,45 \text{ MPa}$ c) Gaz Basıncı $0,59 \text{ MPa}$	54
Şekil 4.19	Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı nozul tipleri.....	56
Şekil 4.20	Değişik nozullarda gaz akış şekli a) Düz standart nozul b) CD nozul.....	57
Şekil 4.21	İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı a) Standart nozul b) CD nozul.....	58
Şekil 4.22	Hava şapkasının partikül çaplarına etkisi a) Örtülü olamayan b) Örtülü.....	59
Şekil 4.23	Elektrik ark püskürtmede sisteminde hava, nitrojen ve CO_2 püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriğini veriyor...	61
Şekil 4.24	Değişik uygulamalarla üretilmiş kaplamaların oksit içeriği.....	61
Şekil 4.25	a) Birincil gaz b) Birincil / İkincil gaz.....	62
Şekil 4.26	Atomize gaz basıncı ile partikül hızları arasındaki ilişki.....	63
Şekil 4.27	Farklı voltajlarda ve akımda ile partikül sıcaklığı ilişkisi.....	64
Şekil 4.28	Farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi.....	64
Şekil 4.29	Sol taraf 100 A , sağ taraf 200 A (24 V ve $0,2 \text{ MPa}$ her ikisinde)...	65
Şekil 4.30	Tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi.....	66
Şekil 4.31	Voltajın pürüzlülük ile ilişkisi.....	66
Şekil 4.32	Elektrik ark püskürtme ile 200 A ve $0,4 \text{ MPa}$ 'da üretilen kaplama mikroyapıları.....	67
Şekil 4.33	$25\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın splat formasyonları.....	69

Şekil 4.34	Altlık sıcaklığı ile % verim ilişkisi.....	70
Şekil 4.35	Altlık sıcaklığı ile yapışma mukavemeti ilişkisi.....	71
Şekil 5.1	Kaplamaların yapıldığı numune tutucusu.....	73
Şekil 5.2	Kumlama cihazı.....	74
Şekil 5.3	Elektrik ark püskürtme cihazı.....	75
Şekil 5.4	Optik mikroskop resmi.....	76
Şekil 5.5	Mikro sertlik cihazı.....	76
Şekil 5.6	Kaplamanın manuel uygulanması	78
Şekil 5.7	FAN nozulun önden ve yandan görünüşü.....	81
Şekil 5.8	FOCUS nozulun önden ve yandan görünüşü.....	81
Şekil 5.9	Fine nozulun önden ve yandan görünüşü	82
Şekil 5.10	HV nozulun önden ve yandan görünüşü	82
Şekil 6.1	Elektrik ark sprej sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A.....	84
Şekil 6.2	200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 100x SEM görüntüsü.....	85
Şekil 6.3	200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 1000x SEM görüntüsü.....	86
Şekil 6.4	200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan eds noktaları ve sonuçları.....	87
Şekil 6.5	350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 100x SEM görüntüsü.....	88
Şekil 6.6	350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 1000x SEM görüntüsü.....	89
Şekil 6.7	350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan eds noktaları ve sonuçları.....	90
Şekil 6.8	Elektrik ark sprej sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi...	91
Şekil 6.9	Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi...	92

Şekil 6.10	200A, 2,4 bar atomize gaz basınçta üretilen numunelerin örnek image analiz resimleri.....	92
Şekil 6.11	Elektrik ark sprej sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A.....	93
Şekil 6.12	200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 100x SEM görüntüsü.....	94
Şekil 6.13	200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 1000x SEM görüntüsü.....	95
Şekil 6.14	200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan eds noktaları ve sonuçları.....	96
Şekil 6.15	350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 100x SEM görüntüsü.....	97
Şekil 6.16	350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 1000x SEM görüntüsü.....	98
Şekil 6.17	350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan eds noktaları ve sonuçları.....	99
Şekil 6.18	Elektrik ark sprej sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi.....	100
Şekil 6.19	Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi...	101
Şekil 6.20	200A, 2,4 bar atomize gaz basınçta üretilen numunelerin örnek image analiz resimleri	102
Şekil 6.21	Elektrik ark sprej sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncında ve 14 cm sprej mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 2,4 bar b) 4 bar.....	102
Şekil 6.22	Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm sprej mesafesinden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle mikro sertlik etkileşimi grafiği verilmiştir.....	103

Şekil 6.23	Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % porozite içeriği etkileşimi grafiği verilmiştir.....	104
Şekil 6.24	Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % oksit içeriği etkileşimi grafiği verilmiştir...	105
Şekil 6.25	Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarında mikroyapıları a) 2,4 bar atomize gaz basıncı ve hava atomizasyonu b) 4 bar atomize gaz basıncı ve hava atomizasyonu c) 2,4 bar atomize gaz basıncı ve argon atomizasyonu d) 4 bar atomize gaz basıncı ve argon atomizasyonu.....	106
Şekil 6.26	200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın 150x SEM görüntüsü.....	107
Şekil 6.27	200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın 1000x SEM görüntüsü.....	108
Şekil 6.28	200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın eds görüntüsü.....	109
Şekil 6.29	Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarındaki mikro sertlikleri ve oksit grafiği.....	110
Şekil 6.30	Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basıncındaki porozite içerikleri.....	111
Şekil 6.31	Elektrik ark sprej sistemiyle üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları a) Hava atomizasyonlu b) Argon atomizasyonu.....	112
Şekil 6.32	Elektrik ark sprej sisteminde focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerleri.....	113

Şekil 6.33	Elektrik ark sprej sisteminde focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerleri.....	113
Şekil 6.34	Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) Fine nozul b) Hv nozul c) Fan nozul d) Focus nozul.....	115
Şekil 6.35	Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik üzerine etkisi.....	116
Şekil 6.36	Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların % porozite ve oksit üzerine etkisi.....	117
Şekil 6.37	Üretilen kaplamalara yapılan üç nokta eğme testi resimleri.....	118

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Termal sprej yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanları.....	14
Tablo 3.1.	Elektrik ark sprej prosesinde kullanılan parametreler.....	27
Tablo 3.2.	Çeşitli dolu teller ve uygulama alanları.....	28
Tablo 3.3.	Çeşitli özlü teller ve uygulama alanları.....	29
Tablo 5.1.	Paslanmaz çelik telin bileşimi.....	73
Tablo 5.2.	Paslanmaz çelik tel için seçilen kaplama parametreleri	78
Tablo 5.3.	Elektrik ark püskürtme sistemiyle paslanmaz çelik teli 2,4 bar ve 4 bar atomize gaz basıncında uygulanan amper/voltaj değişim parametreleri.....	79
Tablo 5.4.	Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri.....	80
Tablo 5.5.	Elektrik ark püskürtme sistemiyle atomize gaz cinsi değiştirilerek farklı amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri.....	80
Tablo 5.6.	Mix gazın ikincil gaz olarak kullanılarak üretilen kaplamaların sistem parametreleri.....	81
Tablo 5.7.	Elektrik ark püskürtmede değişik nozul tiplerine uygulanan operasyon parametreleri.....	82
Tablo 6.1.	Elektrik ark sprej sistemi ile iki farklı atomize gaz basıncında ve dört farklı amper/voltaj değişimiyle üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikro sertlik, porozite ve oksit içeriği değerleri.....	84
Tablo 6.2.	Elektrik ark püskürtmede üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların farklı gaz ve atomize gaz basınçlarındaki sertlik, porozite ve oksit değerleri.....	106

Tablo 6.3.	Elektrik ark sprej sisteminde focus nozulu kullanarak ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların serlik, porozite ve oksit değerleri.....	111
Tablo 6.4.	Elektrik ark sprej sisteminde farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerleri.....	114

ÖZET

Anahtar kelimeler: Paslanmaz çelik tel, Kaplama özellikleri

Elektrik ark püskürtme prosesi diğer termal püskürtme uygulamalarına nazaran daha ucuz bir proses olarak kabul edilmektedir. Bu teknikle metalik ve kompozit kaplamalar yüksek hızlarda ve kalitede üretilebilmektedir. Bununla birlikte teknolojik uygulamaların gelişmesi ark sprey prosesinin kalıp üretimi gibi gelişmiş uygulamalarda kullanılmasını da sağlayacaktır.

Üretilen kaplamalarda mikroyapı kalitesi kaplama parametreleri ve püskürtme sistemi kontrolüne önemli ölçüde bağlıdır. Endüstride kullanımı yaygınlaştırmak ve kaplama kalitesini yükseltmek için, kullanılan parametrelerin etkisinin çok iyi araştırılması ve bu değişkenlerin kaplama özelliklerine etkilerinin bilinmesi gereklidir.

Bu çalışmanın hedefi, ark püskürtmeyle paslanmaz çelik tel kaplamaları farklı parametrelerde üretmek ve bu parametre etkilerinin kaplama özelliklerine etkisini araştırmaktır. Çalışma sonunda, paslanmaz çelik tel için uygun kaplama parametreleri belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE PROCESS PARAMETERS IN ARC SPRAY COATING OF STAINLESS STEEL

SUMMARY

Keywords: Stainless steel wire, Coating properties

Twin wire arc spraying is known to be one of the less expensive ways of thermal spraying. Arc spray has been known as a quick and high spraying rate technique to produce metallic and composite coatings. Moreover, the technological development of wire arc spray systems opens other ranges of applications, such as mould spray forming.

Coating microstructure depends very much on spray system and parameters employed. The investigation and improvement of coating properties subjected to different wire arc spray parameters requires the knowledge of coating properties of the industry on high quality coatings.

This work was aimed to investigate the effects of spray parameters on coating characteristics of arc sprayed stainless steel. As a result of these experiments suitable the spray parameters can be determined according to the requirements of the stainless steel coatings.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek; yeni mühendislik özellikleri kazandırmak ya da dekoratif açıdan çekici kılmak, insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından birisi olmuştur. Günümüzde malzeme yüzeylerinin değişmesine yönelik işlemler; “yüzey ve altlık malzemenin tasarımını bir arada ele alan ve bu ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler” olarak tanımlanır. Yüzey mühendisliği teknolojileri iki temel gruba ayrılabilir:

a) Yüzey işlemleri: Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin difüzyonu neticesinde yüzeyde bir bileşik tabakası oluşturulması (nitürleme, karbürleme, borlama vb).

b) Yüzey Kaplamaları: Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması yada çöktürülmesi (metal, alaşım, bileşik, seramik kaplama, boya, cam, beton, emaye kaplama vb).

Genellikle difüzyon yoluyla gerçekleştirilen yüzey işlemleri, altlık malzemesinin termodinamik özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Yüzey kaplamaları ise, altlık malzemesinin termodinamiği ile doğrudan ilgili olmadığı için geniş bir uygulama olanağı sunmaktadır. Böylece oluşturulan malzeme: gerek alt yüzey ve gerekse kaplama malzemeleri açısından çok geniş bir özellik çeşitliliği vermekte, bu ise teknolojik önemi arttırmaktadır.

Yüzey kaplamaları, temel olarak malzemeyi kullanıldığı ortam etkilerinden korumak ve görünümünü iyileştirmek amacıyla uygulanır. Belirli bir uygulama için hangi

kaplama yönteminin seçileceği: genel olarak fonksiyonel gereksinimlere (boyut, şekil, altlık malzemesinin metalürjisi vb.), kaplama malzemesinin kaplama yöntemine uygunluğuna, kaplamanın altlığa istenilen yapışma derecesine ve ekipman tedariki ile maliyetine bağlıdır [1].

Termal sprej prosesi eriyik/yarı eriyik metalik veya metalik olmayan malzemelerin daha önceden hazırlanmış altlık üzerine püskürtmeyle kaplanması prosedir. Alev sprej, elektrik ark sprej, plazma sprej, HVOF sprej ve detonasyon sprej proseslerini içeren termal sprej prosesleri mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda yarım yüzyıldan uzun süredir kabul görmüş ve kullanılmıştır. Birçok durumda ürünler sprej kaplamasız olarak yeterli özelliklere sahip olmadıkları için tasarımcılar sprej kaplama proseslerini üretime koymuştur.

Bu proseslerde malzemeler eritilerek altlığa doğru atomize partiküller olarak püskürtülür. Bu püskürtme sonucu altlık yüzeyine yapışan partiküller çabuk soğur ve porozite, oksit içeren tabakalı bir kaplama oluşturur. Genel olarak her bir proses kullanılarak termal distorsiyon ve bileşim farkı olmadan hemen hemen bütün altlık malzemelerin üzerine çok çeşitli malzemeler biriktirilebilir. Bu teknikler yakıt ve ısıtma metotları ile birbirinden ayrılırlar. Bu farklar bize uygulamalarda bazı avantaj veya dezavantaja neden olur. Proses kaplama özellikleri, ürün maliyeti ve prosesin uygulanabilirliği temel alınarak seçim yapılır [2].

Elektrik ark sprej teknolojisi, termal sprej ailesinin bir üyesi olmakla beraber, termal sprej teknolojileri içinde yüksek birikme oranına sahip kaplamaların üretilebildiği en düşük maliyetli kaplama sistemidir. Bu maliyet ve yüksek birikme avantajlarına sahip olan elektrik ark sprej kaplama uygulamaları endüstride kalın kaplama olarak plastik enjeksiyon kalıplarından, ince kaplama olarak da elektrik devrelerine kadar çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Elektrik ark sprej, muhtelif taban malzeme yüzeyine aşınmaya veya korozyona dayanıklı, metalik esaslı kaplama üretmek için kullanılan bir prosesdir.

Püskürtme oranı çoğunlukla kullanılan tel malzemesinin cinsine ve tel çapına bağlı olarak değişmektedir. Elektrik ark sprej, kaplama malzemesi olarak sadece elektrik

iletkenliği olan ve tel formunda üretilebilen malzemelerin kullanıldığı bir kaplama prosesidir. Elektrik ark sprej sisteminde kullanılan teller genellikle saf veya alaşımlı metalik (demir, bakır, çinko, alüminyum vb.) malzemeler veya seramik esaslı partiküller içeren özlü tellerdir [3].

Temel prensibi tel şeklindeki metallerin püskürtülerek kaplanmasında kullanılan bir yöntem olan ark sprej de, metal teller tabanca içerisine sürülür. Pozitif ve negatif yüklenmiş nozullardan geçen teller birbirleriyle temas edince ark meydana gelir. Ark etkisi ile eriyen metal, basınçlı hava yardımı ile önceden hazırlanmış yüzeylere püskürtülür ve böylece kaplama işlemi gerçekleştirilir [1].

Bizim yapmış olduğumuz bu çalışmada elektrik ark sprej tekniği kullanılarak paslanmaz çelik tel St 37 altlık üzerine püskürtülmüştür. Farklı kaplama parametreleri kullanarak (basınç, amper, volt, nozul, atomize gaz türü) üretilen kaplamaların karakterizasyonu yapılmıştır. Bu çalışmayı yapmamızdaki amaç farklı parametrelerde üretilen kaplamaların mikro yapılarını karakterize etmek ve uygun kaplama parametresini saptamaktır.

BÖLÜM 2. TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

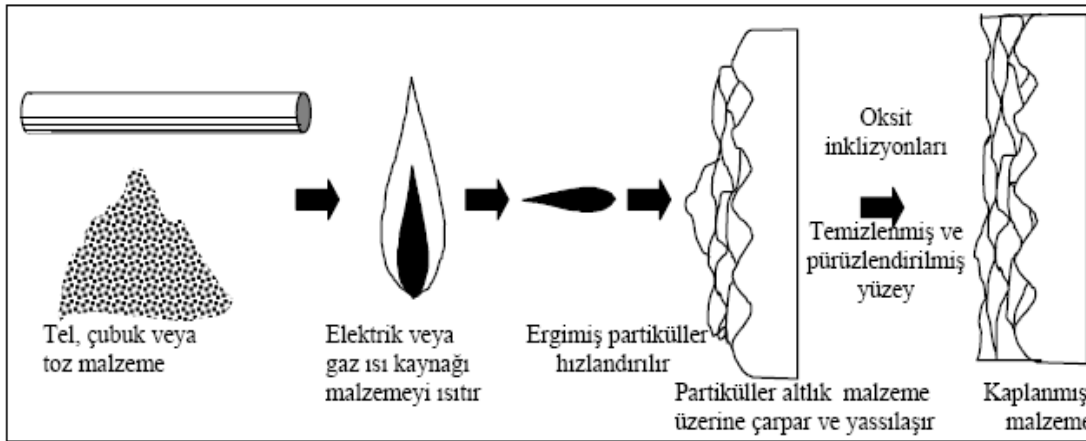
Malzemelerin endüstride verimli olarak kullanılabilmesi için gerekli bazı yüzey özelliklerini: aşınma, ısı direnç, korozyon, elektriksel özellikler ve bunların kombinasyonunu bünyesinde taşıması gerekir. Çoğu zaman aranan bu özelliklerin tek bir malzemede değil birden fazla malzeme kombinasyonlarında gerçekleştiği görülmüştür. Termal püskürtme yöntemleri de malzemelere bu özellikleri kazandırmak için veya istenen özelliği geliştirmek için uygulanan yöntemlerden biridir[4].

Termal püskürtme yöntemleri; aşınmış ve tolerans dışına çıkmış makine parçalarının geri kazanılması, makine parçalarının yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve çelik yapılar için koruyucu kaplamalar elde edilmesi gibi endüstrinin birçok alanında başarılı olarak uygulanmaktadır. Günümüzde metaller, karbürler, oksitler ve camlı metallere kadar geniş bir dağılım aralığındaki çok çeşitli kaplamaların üretimine yönelik pek çok kaplama yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemler; kaplamanın kalitesi, yoğunlaşma verimi, prosesin kompleksliği ve yatırım maliyeti açısından birbirinden farklılıklar göstermektedir[5,6].

2.2. Termal Püskürtme Yöntemlerinin Prensibi

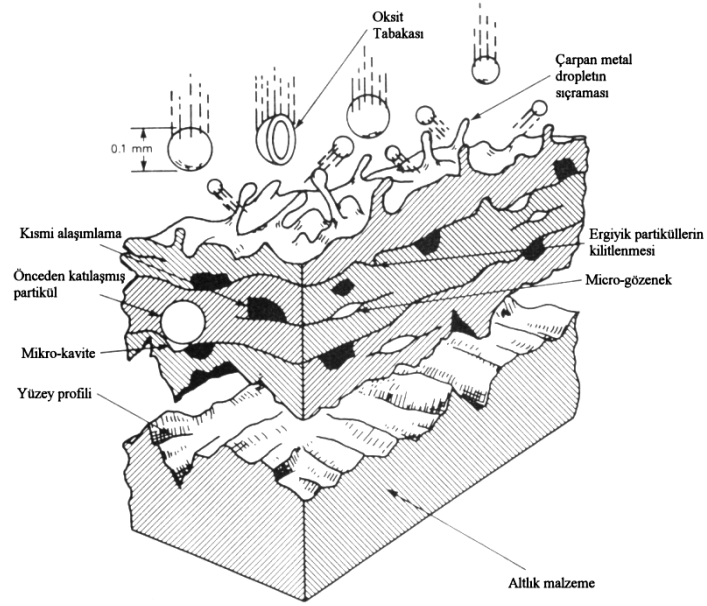
Termal püskürtme; kaplama oluşturmak amacı ile önceden hazırlanmış olan esas metale çok ince metalik veya metalik olmayan malzemeleri çökeltme yöntemi tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Kaplama malzemesi toz, çubuk yada tel biçiminde olabilir. Termal püskürtme torcu, kaplama malzemesini eritmek için gerekli olan sıcaklığı; yanıcı gazlar, elektrik arkı veya plazma arkı ile elde eder.

Ergiyen kaplama malzemesi kaplanacak olan parçanın soğuk olan yüzeyine püskürtülür. Yüzeyle darbe etkisiyle çarpan tanecikler, düzleşmekte ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak katılaşmakta ve birbirleri ile temas haline gelerek tabaka meydana getirmektedirler Şekil 2.1’de ergiyen kaplama malzemesinin esas metal ile adımları gösterilmektedir. Kaplamalar genellikle mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli sınıflarda kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır [7,8].



Şekil 2.1. Termal sprey kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi[9]

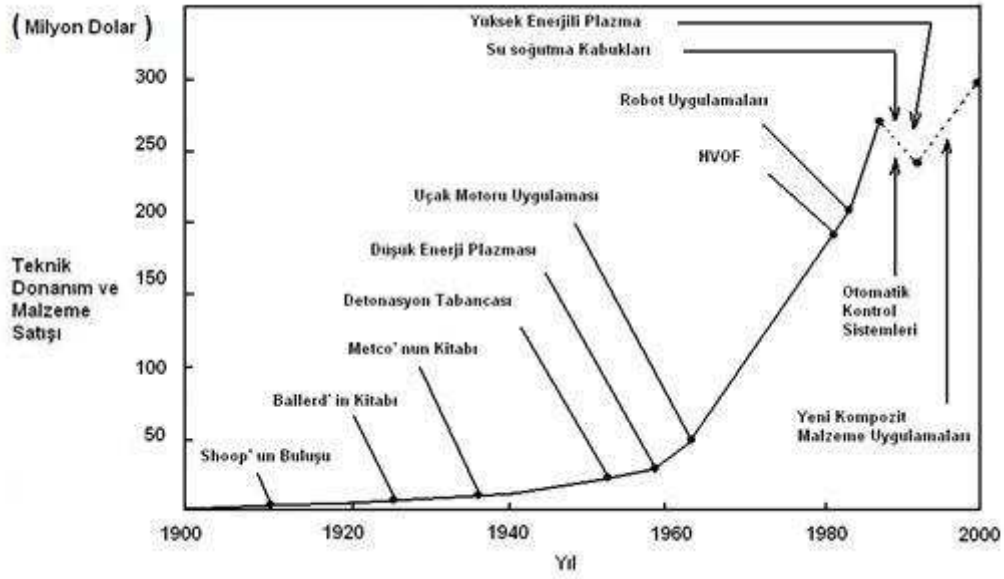
Kaplamanın ana malzemeye yapışması temel olarak mekanik bağlanma kısmen de kimyasal bağlanma etkisi ile olmaktadır. Kuvvetli bir bağ oluşumu için ana malzemenin yüzeyi öncelikle kimyasal olarak temizlenir ve sonrasında kaplanacak yüzeye aşındırıcı partiküller püskürtülerek yüzey pürüzlendirilir. Partiküller pürüzlü yüzeyin hem oyuklarına girerek hem de yüzey pikleri üzerinde büzüşerek katılır. Böylelikle kaplamanın daha kuvvetli olarak altlık malzemeye bağlanması sağlanır. Şekil 2.2’de termal sprey kaplama mikro yapısına ait temel bileşenler gösterilmiştir[10].



Şekil 2.2. Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplama kesitinin şematik görüntüsü[10]

2.3. Termal Püskürtme Kaplamaların Tarihçesi Ve Gelişimi

Termal püskürtme 20. yy.'ın ilk diliminde tamir amacıyla kullanılmaktaydı. 1910 yılında Dr. M.U. Schoop ve arkadaşları, iletken metal tellerini eritmek, atomize etmek ve ana metal üzerine uygulamak için bir elektrik ark yöntemini geliştirmişlerdir. Dr. M.U. Scoop, yüksek basınçta jet içerisindeki gaz ve ergimiş metali esas malzeme yüzeyine göndererek ilk metal püskürtme yönteminin tesisini kurmuştur. Şekil 2.3'de termal püskürtme kaplamaların tarihsel gelişimi verilmiştir[11].



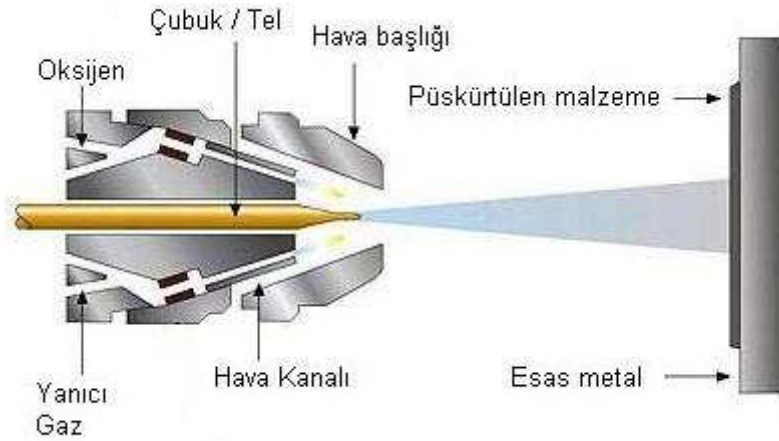
Şekil 2.3. Termal püskürtme kaplamaların tarihsel gelişimi[11]

2.4. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri

2.4.1. Alev ile tel ve toz püskürtme

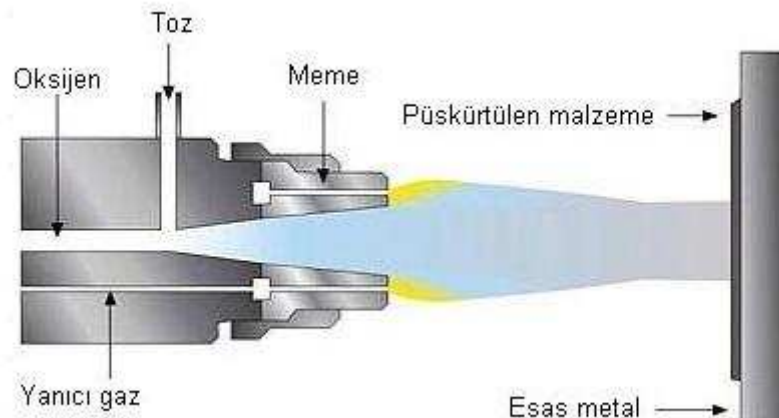
Bu yöntemde kaplama malzemesi tel veya toz halinde beslenerek bir oksijen-gaz aleviyle eritilir. Düşük ergime noktalı malzemeler için propan, çelikler için asetilen ve ince tozların püskürtülmesi halinde hidrojen yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Kullanılan malzemenin tipine göre bu proses, alevle tel veya alevle toz püskürtme tekniği olarak adlandırılır[4].

Alevle tel püskürtme tekniğinde telin hareket hızı, telin ucunun ergimesine yetecek hızda olmalıdır. Memelerden basınçlı hava verilerek erimiş ya da yarı erimiş partiküllerin altlık malzemeye doğru hızlı bir şekilde çarpması/yönelmesi sağlanır. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de alevle tel ve toz püskürtme tabancalarını şematik olarak gösterilmektedir. Alevle tel püskürtme tekniği, alevle toz püskürtme tekniğine göre daha ekonomiktir. Ancak proses kaplama malzemesinin tel olarak üretilme imkanıyla sınırlanmaktadır[4].



Şekil 2.4. Tel / çubuk alev püskürtme tabancasının şematik görüntüsü[12]

Alevle toz püskürtme tekniği, kullanılabilir malzeme imkanının genişletilmesi açısından önemlidir. Böylelikle farklı türden malzemelerin kullanılması mümkün olmuştur. Tozların beslendiği taşıyıcı gaz oksijendir. Bunun yanında yanma bölgesine tozun beslenme oranı çok önemlidir. Toz besleme oranı çok düşük ise tozun buharlaşması sonucunda işlem maliyeti artacak ve yüzey kalitesi bozulacaktır. Toz besleme miktarının yüksek olması durumunda ise toz tamamen ergimeyecek ve bu durum kaplama içerisinde ergimemiş taneciklerin artışına yol açarak çökme verimini düşürecektir. Bunun yanında düşük bağ mukavemeti, yüksek gözeneklilik ve düşük çalışma sıcaklığı sistemin dezavantajlarıdır[4].



Şekil 2.5 Toz alev püskürtme tabancasının şematik görüntüsü[13]

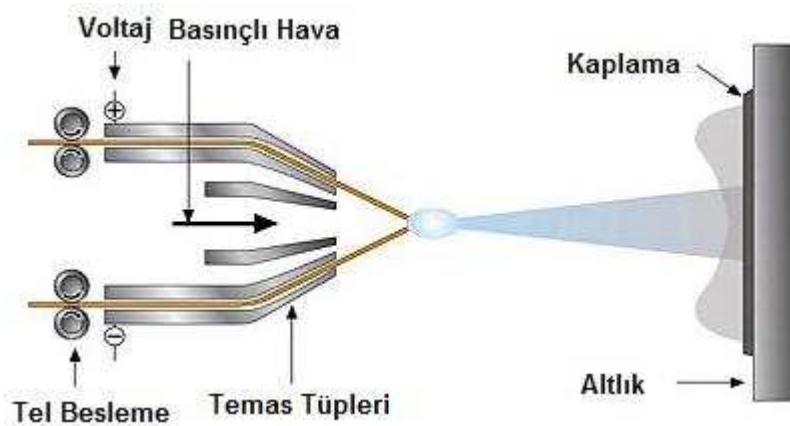
2.4.2. Elektrik ark püskürtme

Bu yöntemde, 4000°C'nin üzerinde bölgesel sıcaklıklar sağlayan iki tel elektrot arasında bir ark oluşturmakta ve burada eriyen malzeme, esas metale bir gaz jeti (genellikle basınçlı hava) ile gönderilmektedir[11].

Bu yöntem ile yüksek birikme oranları elde edilebilir ve otomatik sistemlere uyarlanması da kolaydır. Elektrik ark sprey de tel formunda ve iletken olan teller püskürtülebilir. İletkenliği olmayan seramik esaslı partiküller özlü tel formunda kullanılır[11].

Elektrik ark püskürtme ile korozyona, erozyona ve sürtünmeye dirençli kaplamalar ile makine parçalarının geri kazanılması veya kullanılmış makine parçalarının karakteristiklerinin iyileştirilmesi için yeniden dolgu kaplamaları elde etme olanağı vardır. Şekil 2.6'da elektrik ark püskürtme tabancası şematik olarak görülmektedir[11].

Bu yöntem kullanılarak gerekli tertibatlarla kolaylıkla otomatik sistemlere dönüştürülebilir yöntemin dezavantajlarından birisi fazla miktarda gürültü ve toz açığa çıkarmasıdır. Bunun içinde gerekli önlemler alınarak bu problem ortadan kaldırılabılır[11].

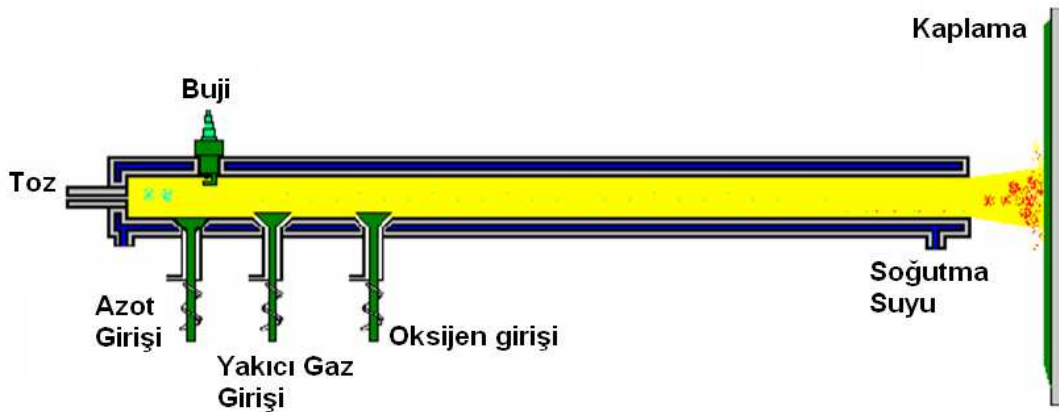


Şekil 2.6. Elektrik ark püskürtme tabancasının şematik görüntüsü[14]

Elektrik ark püskürtme işlemi özellikle büyük malzemeler üzerine kalın kaplamaların yüksek hızlarda biriktirilmesi için uygundur. Tel ergime veriminin çok yüksek oranlarda gerçekleşmesi işlemde yüksek biriktirme hızlarının elde edilmesine imkan sağlamaktadır [11].

2.4.3. Patlama tabancası (detonation-gun)

Bu yöntemde asetilen ve oksijen tepkime gazları ve taşıyıcı gazla (azot) gelen kaplama tozları yanma bölümü içinde karıştırılarak kıvılcım ile şiddetli patlamalar meydana getirilir. Patlama etkisiyle toz parçacıkları ısı ve yüksek kinetik enerjiyle altlık malzeme yüzeyine püskürtülür (Şekil 2.7) [15].



Şekil 2.7. Patlamalı tabanca ile püskürtmenin şematik görünümü [16]

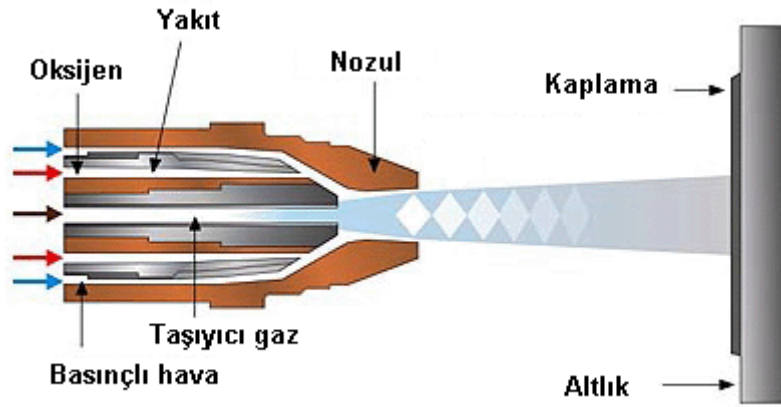
3000°C sıcaklıkta, saniyede 5-10 kere elektrik kıvılcımı ile birbiri ardına patlamalar gerçekleştirilir. Toz parçacıklarının hızının 900 m/s' e çıkabildiği bu yöntemde taneciklerin yüzeye yüksek kinetik enerjiyle çarpması sonucu tabakalar arası yapışıp kaynaşma çok iyidir. Bu yüzden yüksek bağ mukavemetli, yoğun kaplamalar elde edilir. Patlamalı püskürtmenin diğer yöntemlerden farkı kesiksiz yapılamamasıdır [15].

Endüstride çok geniş kullanılmasıyla birlikte asıl kullanım yerleri şiddetli aşınma olan ve korozyon dayanımı istenen alanlardır. Bu yöntemde kaplama malzemesi

olarak tungsten karbür gibi sert ve aşınma dayanımı yüksek malzemeler kolayca kullanılabilir[15].

2.4.4. Yüksek hızlı oksijen – yakıt püskürtme (HVOF)

Bu yöntemin düşük hızda çalışan alevle püskürtme yönteminden temel farkı, oksijen / yakıt gaz karışımının torçun (püskürtme tabancası) içindeki yanma bölümünde yanmasını sağlayarak yüksek gaz basıncı sağlamasıdır. Böylelikle yüksek derecede püskürtme hızı sağlanır (Şekil 2.8). Yanıcı gaz olarak propan ve propilen kullanılır[15].



Şekil 2.8 HVOF ile Kaplamanın Şematik Görünümü [17]

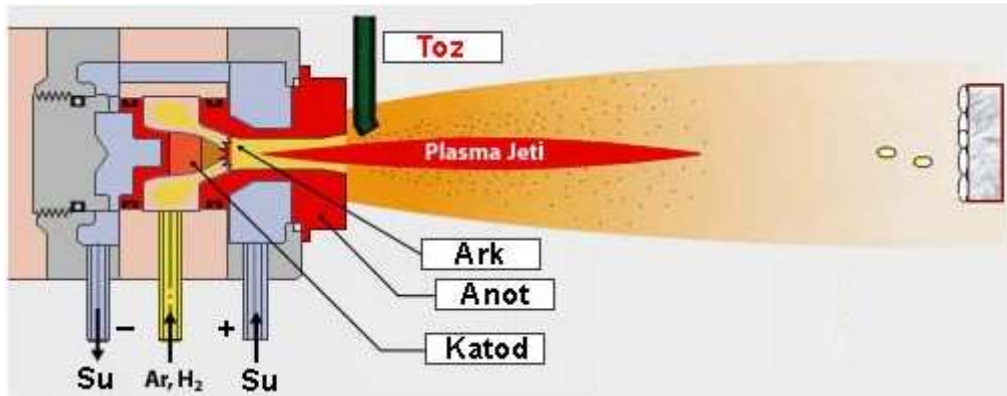
Bu yöntemin uygulama sıcaklığı 3000°C civarındadır. Toz parçacıklarının hızı 600 m/s' e kadar ulaşabilir. 80 MPa' dan fazla bağ mukavemeti ve %1' den az boşluk içeren kaplamalar elde edilebilir. Kaplamanın mikro yapı ve mekanik özellikleri plazma arkı püskürtme yöntemindeki kaplamalara benzemekle birlikte daha yüksek yoğunluğa ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Bunun sebebi; parçacık hızının yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme yönteminde daha yüksek olmasıdır. Sağladığı kaplama özelliklerine göre ekonomik bir yöntemdir ve altlığın daha az ısınması bu yöntemin diğer bir avantajıdır[15].

Esas kullanım alanları abrasiv ve kayma aşınmasını önlemek içindir. Su jeti, kesici aletlerin nozulu, kağıt ve folyo üretim endüstrisinde merdaneler, petrokimya

endüstrisinde valf ve pompalar bu yöntemin uygulama alanlarına örnektir. Özellikle yüksek sıcaklıkta ayrışma gösteren malzemeler için uygun bir yöntemdir. Sert metaller, tungsten karbür, krom karbür, nikel-krom alaşımları paslanmaz çelik, Al-bronz, süper alaşımlar (Inconel, Hastelloy C, Triballoy 800, Stellite) başlıca kaplama malzemesi örnekleridir[15].

2.4.5. Plazma arkı ile püskürtme

Plazma jeti, genellikle argon, azot veya helyum olan soy gazın, nozul içinde oluşturulan bir elektrik akımı ile 20000°C gibi çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması ile elde edilir. Tungsten katot ve bakır anot arasındaki soy gaz, oluşturulan elektrik arkı ile iyonize olarak genişir ve plazma durumuna geçer. Kaplama malzemesi olan tozlar yine bir soy gaz ile plazma jetine enjekte edilir ve malzeme yüzeyine doğru hızla taşınır[15]. Şekil 2.9'da plazma arkı ile püskürtmenin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.9. Plazma arkı ile püskürtmenin şematik görünümü[18]

Toz parçacıklarının hızı 300 m/s'dir. Oldukça yüksek sıcaklık ve tane hızı, bu yöntemle çok daha iyi mikroyapı ve mekanik özellikler sağlar[15].

Alev püskürtme ve elektrik arkı ile püskürtme yöntemlerine göre üretim maliyeti, plazma arkı ile püskürtme yönteminde daha fazla olmasına karşın, üretim koşullarının sağladığı çeşitlilik ve esneklik ve buna ilaveten yöntemin kaplama

malzemesine sağlayabileceği üstün özellikler bu tekniğin endüstride yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur[15].

Plazma arkı ile püskürtme yöntemi aşınma dayanımı, korozyon direnci, elektriksel ve termal yalıtım gibi kaplama özellikleri sağlar. Plazma arkı ile püskürtme yöntemi ile seramikler, sermetler, ısıya dayanıklı alaşımlar ve süper alaşımlar gibi çok yüksek ergime noktalı malzemeler kaplanabilir[15].

Özellikle türbin ve roket motoru parçaları son derece yüksek servis koşulları etkisindedir. Bu alanda var olan mühendislik malzemeleri, koruyucu ısı püskürtme kaplaması yapılmadan yetersiz kalmaktadır. Oksit seramiklerden ve karbürlerden meydana gelen kaplama malzemeleri, alev ve elektrik ark püskürtme işlemleri ile ulaşılan sıcaklıktan daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duyarlar. Plazma arkı ile püskürtme yöntemi de bu gereksinimi karşılamaktadır[15].

2.5. Termal Sprey Yöntemlerinin Kullanım Alanları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan termal spre y yöntemleri olarak; alevle to z ve tel püskürtme, elektrik arkıyla spre y, detanasyon tabancası (patlamalı püskürtme) tekniği, yüksek hızlı oks i-gaz püskürtme sayılabilir. Termal spre y kaplama teknolojisi; başta uçak ve uzay sanayi ile otomotiv sektörü olmak üzere, tekstil, kağıt ve madencilik endüstrilerinde, tıbbi uygulamalarda ve malzeme bilimiyle metalurjide kullanılmaktadır. Tablo 2.1'de termal spre y kaplama yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanlarını karşılaştırmalı olarak vermektedir[4].

Tablo 2.1. Termal sprey yöntemleri, kaplama malzemeleri ve uygulama alanları[4]

Yöntem	Kaplama Malzemeleri	Uygulama Alanları
Alevle Toz Püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Ni-Cr alaşımları, bronzlar, Co alaşımı	Otomotiv: rulman yatakları, mil muyluları, kompresör pistonları, kam milleri, burç ve kovanlar, hidrolik silindir pistonları
Alevle Tel Püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al ve bronz alaşımları	Otomotiv: hidrolik piston mili ve muyluları, kompresör pistonları, piston segmanları
Elektrik Arkı ile Püskürtme	Paslanmaz çelik, Normal çelik, Mo, Zn, Cu, Al ve Bronz alaşımları	Otomotiv: Krank mili, debriyaj baskı plakası, yatak ve shaft aşınma yüzeyleri Kağıt Sanayi: Kurutma silindirleri Matbaa Sanayi: Bakır ve paslanmaz çelik, mürekkep merdaneleri, kağıt tutucu tırnaklar Demir Çelik: Silindir ve rulolar
Patlamalı Püskürtme (Detanasyon Tabancası)	NiCrMo ve NiCr CoCr, Al ₂ O ₃ WC-Co ve Al ₂ O ₃ -TiO ₂	Uçak Sanayi: Gaz türbini motor parçaları Otomotiv: Yataklar Tekstil: Tekstil makina parçaları Matbaa: Merdaneler
HVOF (Yüksek Hızlı Oksi-Gaz Püskürtme)	WC, Cr ₃ C ₂ , NiCrAl, Paslanmaz çelik ve Süper alaşımlar	Uçak Sanayi: Türbin kanatları Kağıt: Sıyırıcı bıçaklar Tekstil: Polimer bıçakları PŞV: Tel çekme makaraları Petrokimya: Salmastra burçları, piston rodları, sürgülü vanalar
Plazma Püskürtme	Paslanmaz çelik ve normal çelik, Seramikler (Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ -Cr ₂ O ₃) Karbürler (WC-Co, Cr ₃ C ₂ -NiCr) Sermetler ve süper alaşımlar	Uçak Sanayi: Yanma odası, türbin kanatları Kağıt: Kurutma silindirleri, salmastra burçları Otomotiv: Yanma odası parçaları Tekstil: Mekikler, iplik klavuzları

2.6. Termal Sprey Yöntemlerinde İş Güvenliği

Isıl püskürtme işleminde görevli personel ve işlemin uygulandığı çevredeki diğer şahıslar sağlık için ve emniyet bakımından bazı tehlikelere maruz kalabilirler. Bu tehlikeler: Elektrik çarpması, gazlar, yangın, toz, duman, ark radyasyonu ve gürültüdür. Isıl püskürtme yapan operatörlerin koruyucu amaçlı elbiseler giymeleri önerilir. Bu elbiseler aleve dayanıklı malzemelerden imal edilirler. Ayrıca bu elbiseler, tozların deriye temasını önlemek için vücudu, özellikle bilekleri ve dizleri sıkı bir şekilde sarmalıdır. Bununla birlikte yakası açık ve gevşek cepler, püskürtme işleminde potansiyel tehlikedir. Koruyucu elbiseler ayakkabıların üzerini kaplayacak şekilde olmalıdır. Normal elbiseliler plazma püskürtme yönteminde yoğun ultraviyole ışınlar karşısında deri yanmalarıyla karşı karşıya kalabilirler. Isıl püskürtme esnasında ortaya çıkan gaz, duman ve tozlara karşı operatörün sağlıklı olarak solunum yapabilmesi için ANSI Z88.2 standartlarına göre seçilen ve "U.S. Bureau Of Mines". (İş Güvenliği ve Sağlık Ulusal Enstitüsü) tarafından onaylanmış solunum cihazları seçilmelidir[4].

Kaynakçı başlığı, elle tutulan koruyucular, yüz maskeleri, koruyucu gözlükler operatörün çalışma esnasında gözlerini, yüzünü ve ensesini korumak için kullandığı ısı püskürtme ekipmanlarıdır. Bu ekipmanlar ultraviyole ışınlarından, kızıl ötesi ışınlardan ve radyasyondan korumak için koruyucu filtre plakaları ile donatılmalıdır. Isıl püskürtme tabancalarından çıkan yüksek yoğunluktaki seslere ve gürültüye karşı koymak için. uygun yumuşak lastik kulak tıkayıcılar kullanılmalıdır. Bu koruma sayesinde gürültü seviyesi 80 desibel'den aşağı sınırlara indirilebilmektedir. Yüksek yoğunluktaki gürültüye karşı etkili olmadığı için pamuk tıkaçları tavsiye edilmemektedir[4].

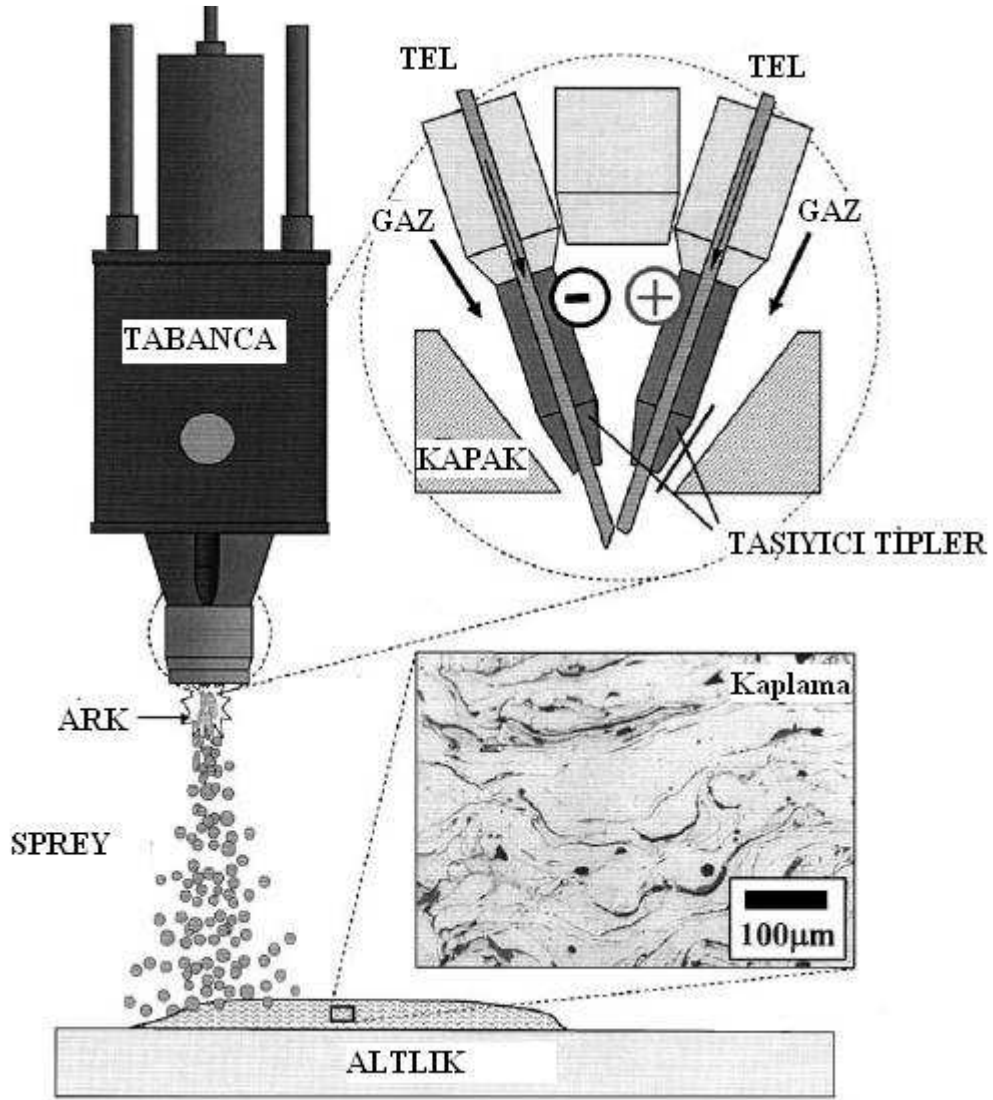
BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

Elektrik ark sprej prosesi nispeten iyi ve yüksek hızda kaplama üretmesi düşük maliyet ve kolay uygulamasından dolayı bütün alanlarda kullanımını artan bir termal sprej teknolojisidir. Elektrik ark sprej prosesi altlık malzemelerin metal kaplanması uygulamalarında ekonomik ve istenilen özellikleri veren bir metottur. Tel besleyici iki metalik teli tabancaya besler. Teller ark ile oluşan alanda erir ve eriyen bu partiküller basınçlı hava ile yüksek birikme ve kalitede malzeme yüzeyinde kaplama oluşturur [2]. Termal sprej prosesleri içerisinde ark sprej malzemesinin erimesi için az enerji harcanan en verimli kaplama proseslerinden biridir ve elektrik ark sprej prosesi yaklaşık 40 yıldır çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır[19].

3.2. Elektrik Ark Sprej Prosesi

Elektrik ark sprej yalnızca altlıkların metalik kaplanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu proseste dışarıdan ısıtma kaynağı yoktur. Isıtma ve ergime iki telin zıt olarak şarj edilmesi ve beslenmesi ile meydana gelir. İki tel arasında kontrollü bir ark oluşur. Tüketilebilir iki tel elektrot makaradan çekilir. Bu elektrotlar arkın ısıtmasına bağlı olarak sıvı damlacıklar oluşturur ve basınçlı gazın etkisiyle püskürtülür. Şekil 3.1.' de görüldüğü gibi[20].



Şekil 3.1. Elektrik ark spreynin şematik görünümü[21-22].

Gazın basıncı ergimiş teli atomize eder ve bu atomize parçacıkların altlık malzemeye ilerlemesini sağlar. Eğer teller farklı malzemeden ise pseudo alaşım kaplaması üretilebilir. Elektriksel olarak iletken ve içinden akım geçen teller erimenin meydana geldiği ark noktasına beslenir. Eriyen malzeme basınçlı havayla sürekli atomize edilerek yüksek kaplama hızı elde edilir. Malzeme bittiğinde kontrollü dağıtıcı teller ile besleme sağlanır. Kontrollü besleme hızı üniform bir ergime için şarttır. İşlem sıcaklığı 4000°C (7230 F)'yi bulur ve partikül hızı $50\text{-}150\text{ m/sn}$ ($140\text{-}540\text{ ft/sn}$) hıza ulaşabilir. Tipik bir elektrik ark spreynin için gerekli ekipmanlar Şekil 3.2.'de gösterilmiştir[20].



Şekil 3.2. Sistem gereksinimleri ve elektrik ark sprej sistemi[20].

Şekil 3.3.' de elektrik ark sprej metodu ile yapılan kaplama sprejini vardır. Kaplama partiküllerin altlık üstünde kümelenmesi ve düzleşmesi ile oluşur. Çarpma anında, partiküldeki ani hız kaybı partikül yüzeyi ve ara yüzeyde bir basınç oluşturur; bu yüksek basınç eriyen malzemenin yana akmasına ve sünek malzemelerin deforme olmasına neden olabilir. Partikül çarpma noktasından dışarı doğru yayılır. Elektrik ark sprej prosesinde eriyen partiküller tabancadan altlığa kadar ki yolda soğurlar[20].



Şekil 3.3. Elektrik ark sprej kaplama örneği[23].

3.2.1. Elektrik ark sprej avantajları

Elektrik ark sprej öğrenmesi ve kullanılması kolay, taşınabilir ve kolayca tamir edilebilir. Bu proses yüksek biriktirme hızına ve genelde düşük hızlı kaplamalardan

daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Ayrıca, plazma sprej kaplamaya göre daha kalın kaplama ve daha az maliyet sağlar. Elektrik ark sprej prosesi altlık malzeme soğuk olduğunda da yüksek püskürtme hızına sahiptir. Bazı büyük uçak motoru üreticileri göstermiştir ki elektrik ark sprej kaplama benzer plazma kaplamalara göre daha yüksek bağ mukavemeti ve daha düşük kalıntı gerilmeye neden olur. Bazı uygulamalarda ark sprej prosesi düşük maliyet ve iyi performans nedeni ile plazmanın yerine kullanılabilir. Elektrik ark sprej için yatırım maliyeti \$15000 iken plazma sprej ekipmanları \$250000 civarındadır. Plazma sprej için işçilik maliyeti; tüketilen malzemeler ve plazma kaplama operasyonu elektrik ark spreje göre 4 kat daha pahalıdır. Elektrik ark sprej uygun zamanda geniş alan kaplamak için düşük maliyetli bir prosestir[20].

3.2.2. Elektrik ark sprejin dezavantajları

Genel olarak elektrik ark sprejin dezavantajları yüksek oranda porozite, oksit ve erimemiş partikül içermesidir. Elektrik ark sprej kaplama diğer proseslere göre daha pürüzlüdür. Elektrik ark sprej prosesi için kullanılan malzemeler iletken katı teller, etrafı metal ile çevrili tozlardan oluşmuş özlü teller ile sınırlıdır. Ayrıca elektrik ark sprej prosesinde damlacıkların asimetrik oluşu ve atomizasyonel kaplamada homojen olmayan bir mikro yapı oluşmuştur. Buda kaplamanın özelliklerini doğrudan etkiler[20].

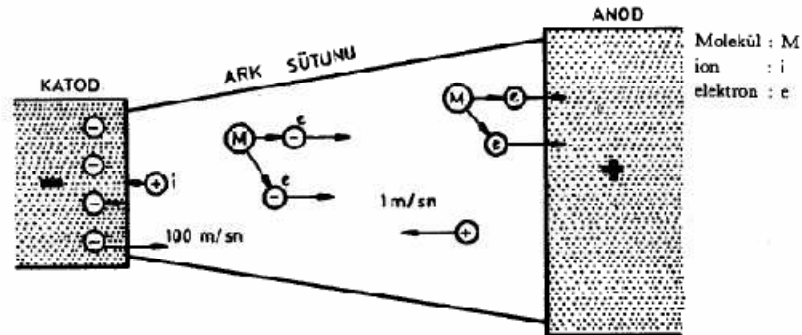
3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği

Elektrik ark püskürtmede ergitme işlemi tellerin (+) ve (-) yük ile yüklenip uçta bir ark oluşturacak şekilde yapılmaktadır. Ergitilen partiküller yüzeye bir püskürtme gazıyla püskürtülüp kaplama yapısı bu şekilde elde edilmektedir.

Ark, iyonlaşmış gaz arasında yer alan, iki elektrot arasındaki elektrik deşarjıdır. Ark üç temel bölümden meydana gelir. Ark sütunu; içinde kararsız gerilim farkı bulunur. Katot ve anot bölgeleri; elektrotların soğutucu etkisinin hızlı gerilim düşmesine götürdüğü bölgelerdir. Ark sütunu şarj dengesine, düşük elektrik alanına ve ısı kaynağı olarak kullanılan yüksek sıcaklığa sahiptir. Elektrik ark sprejde oluşan

elektrik arki iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır[24].

Ark sütunu nötr ve uyarılmış bir gaz atomları karışımıdır. Bu merkez sütunda elektronlar, atomlar ve iyonlar devamlı hareket ederler ve sürekli çarpışma halindedirler. Ark sütununun en sıcak bölümü burası olmakla beraber parçacıkların hareketi en şiddetli durumdadır. Dış bölüm ya da ark alevi bir ölçüde daha soğuktur ve merkezi sütunda ayrılmış gaz moleküllerinin yeniden bileşmesinden ibarettir. Şekil 3.4'te katot ve anot arasında oluşan ark sütunu gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu[25]

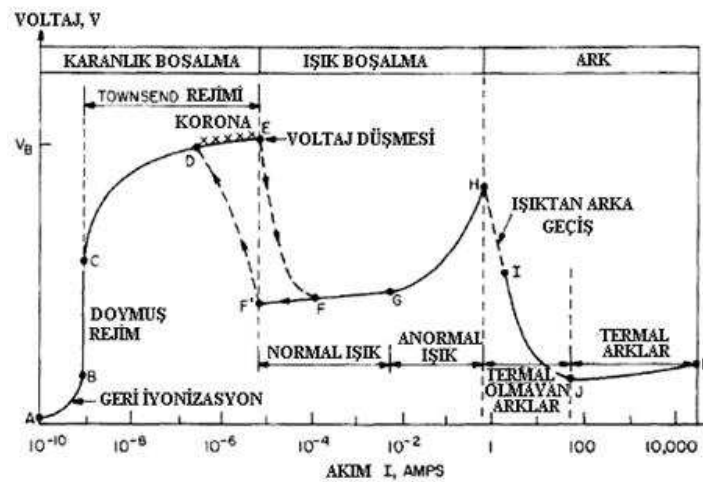
Elektrik ark oluşumu içerisinde katot elektron vermektedir. Katot alanında meydana gelen ısı başlıca, katodun yüzeyine çarpan pozitif iyonlardan kaynaklanmaktadır. Anottaki ısıyı katottan anoda akan elektronlar temin etmektedirler. Sonuç olarak katot, ölçüsü akım şiddetiyle doğru orantılı olarak elektron veren elektrottur. Bu elektronlar, yolları boyunca, moleküllere çarparlar. Enerjileri yeterli ise bu darbe iyon oluşmasına yol açar. İyonlar ise elektrik yüklü moleküllerden başka bir şey değildir.

Elektrik ark oluşumunda kullanılan gazların (argon, helyum, azot, hidrojen) molekülleri bir elektron kaybederek pozitif iyonlar oluştururlar. Böylece, çarpışmadan sonra iki elektrot anoda doğru gider, bu arada pozitif iyon katoda doğru hareket eder ve katot bu şekilde bombardımana uğrar. Buna karşılık oksijen bir elektron yakalayıp anoda doğru giden negatif iyonlar oluşturabilir. Böylece oluşan arklarda üç tip yer değiştirme olayı görülmektedir.

- Esas itibariyle katottan çıkan ve anodu bombardıman eden elektronlar;
- Katoda doğru geri dönen pozitif iyonlar
- Anoda doğru giden negatif iyonlar

Elektronların hızı yaklaşık 100 m/sn, iyonların ise 1 m/sn'dir. Elektronlar iyonlardan daha hızlı olduğundan dolayı akımın büyük bölümü elektronlar tarafından taşınır[25].

Anot ve katot civarında veya elektrotlara yakın bölgelerde (anoda 0,1 mm; katoda 1/10000 mm mertebesinde) ani gerilim düşmeleri meydana gelir (Şekil3.5). Ark sütunu boyunca ise bu düşme kademeli olmaktadır. Bu anodik ve katodik geçiş bölgeleri, buralarda mevcut olan gerilim düşmelerine bağlı olarak yüksek bir ısı yayılımının merkezidir. Aradaki ark sütunu ise elektriksel olarak nötr bir ortam teşkil etmektedir[24]. Düşen bir voltaj-akım oranında EAP prosesi işletimi "termal ark" sınıflandırılması içindedir ve bölgesel termodinamik dengede olduğu düşünülür.



Şekil 3.5. Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi[25]

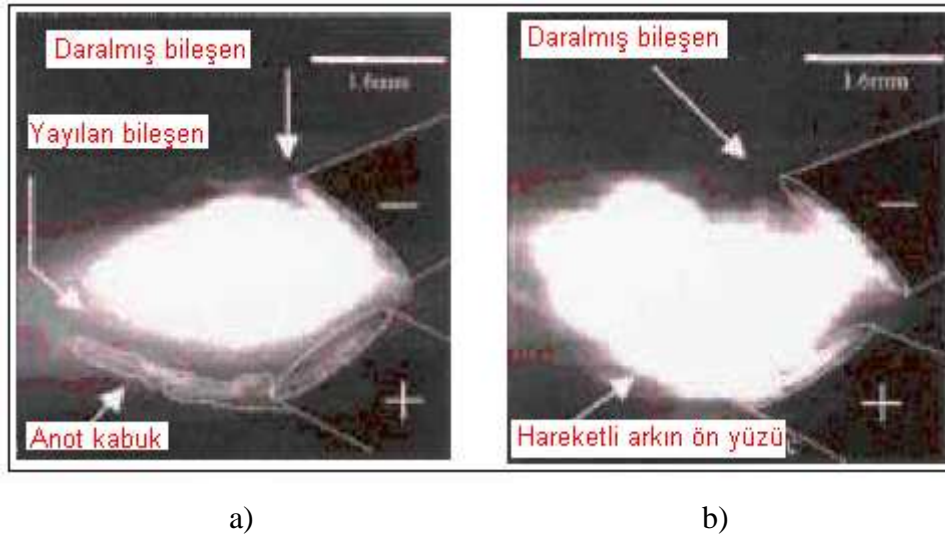
EAP' de oluşan elektrik arki iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz, (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır[25].

Elektrik ark spreynin bu ergime işlemi anot ve katotta aynı şekilde meydana gelmemektedir. Anodun, katottan farklı bir ergime davranışı sergilemesi kendisinin klasik bir özelliğidir. Bu farklılık iki elektrottaki sıcaklık, ergime ve damlacık formasyonunu çok değiştirmektedir. Buda partikül boyutunu, hızını ve yörüngelerini etkiler.

Ark bileşiminde katot büzülme anotta da yayılma belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Anot ve katottaki bu farklı ergime davranışına bağlı olarak ısınma, ergime ve droplet oluşumu iki elektrotta farklı biçimlenmektedir.

Anodun katoda göre daha soğuk olması telin daha yavaş ergimesine neden olur. Bunun sonucu olarak oldukça büyük dropletler meydana gelir. Bazı büyük dropletler atomize gaz ile parçalanırlar ve daha küçük dropletlere ayrılırlar. Bu asimetric ergime davranışı püskürtme paternini ve kaplama yapısını da etkiler.

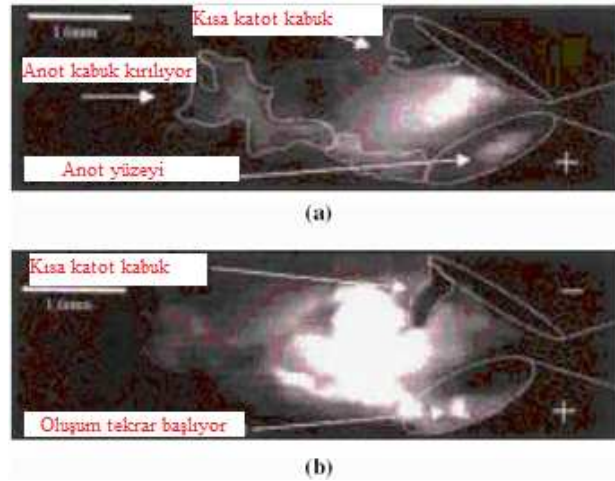
Anotta ergime yavaş olur, sonuçta buda partiküllerin daha büyük olmasını sağlar. Bu kararsız ergime, püskürtme davranışını ve kaplama yapısını etkilemektedir. Katotta ergime daha lokalizedir ve ergimiş partiküller atomize gaz tarafından çok hızlı bir şekilde püskürtülürler. Sonuçta damlacıklar daha küçük olur. Katotta daha yüksek ergime hızı ve daha sıkı yapı, anotta ise daha dağınık bir yapı elde edilir.



Şekil 3.6. Yayılan ve büzülmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) Anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş[26]

Katot pozitif gaz iyonlarının çarpışması ile yüksek derecede ısınır. Bu durum, ısınan yüzeyden elektron gibi elektriksel yüklü parçacıkların serbest kalmasına sebep olur. Katot yüzeyinden elektron aktığı için, onların enerjisinin büyük bir bölümü iyonize gazlara verilir. Bu nedenle anot katottan daha soğuk olmaktadır[25].

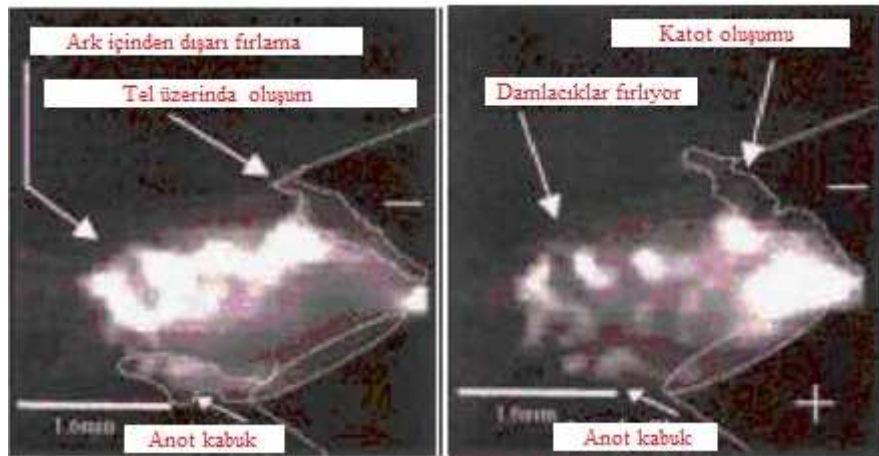
Anotta sıcaklık ile tel yüzeyine vurur ve ergimiş metalden küçük parçacıklar yaratılarak kaplama katmanları oluşturulur. Anottan kopan parçalar atomize gaz ile ağza doğru giderler (Şekil 3.7.). Bu yayılım sürekli devam eder. Anot kabuk durmadan parçalanırken, ark elektrotlar ile belli mesafedeki noktada sürer. Bu dönüşüm davranışı için arktaki dalgalanma hareketi akla gelebilir. Ark söndüğünde de anotta ergime meydana gelebilir ki bu aerodinamik ile olur.



Şekil 3.7. Anottan kopan parçacıklar ağza doğru gidiyor[26]

Katotta metal ayrımında üç farklı mekanizma görülür;

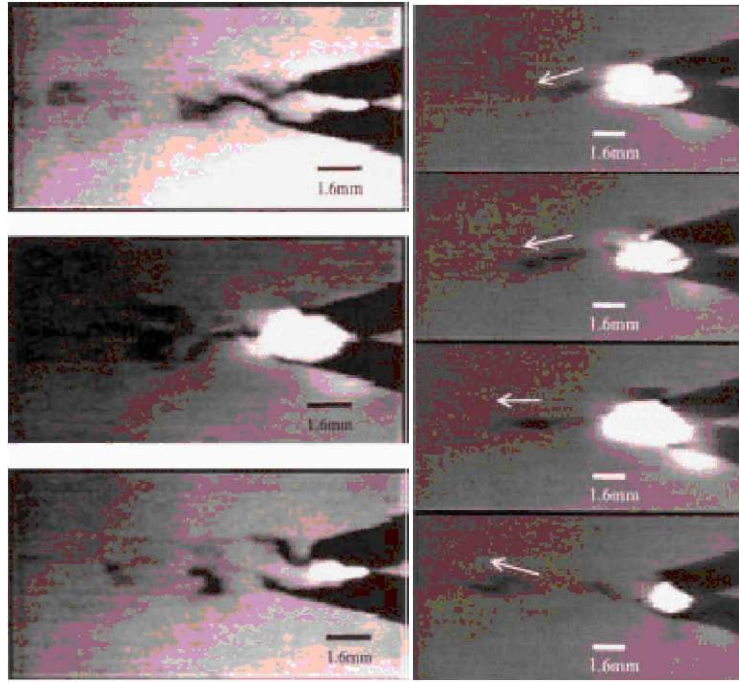
- 1) Katottan jet ile ergimiş partiküller dışarı fırlar (Şekil 3.8)
- 2) Tel çevresinde/sınırında kabuk formundan önce ergime ve parçalanma görülür. Daralan ark katot yüzeyine hareket eder
- 3) Katot ağız kenarından anota benzer biçimde kabuk oluşur. Fakat bu anota göre daha küçük boyutludur.



Şekil 3.8. Katottan püskürme ile dışarı fırlayan partiküller[26]

Ergitilen iki tel ile ark arasındaki ilişki tel boşalmasında akışkan dinamiğinin oluşmasına sebebiyet verir. Buda bir girdap problemi yaratacaktır. Anot ve katodun

jet akışında yarattığı bu dalgalanmalar kaplamada kullanılan parametreler ile doğrudan ilişkilidir. Problem yaratan bu dalgalanmalar tespit edilmiştir ve sayıları vizkozite ile sıcaklığa göre birkaç yüz ile birkaç bin arasında değişmektedir. Şekil 3.9’da jet akışındaki değişim görülebilir.



Şekil 3.9. Atomize jet akımındaki değişiklikler[26]

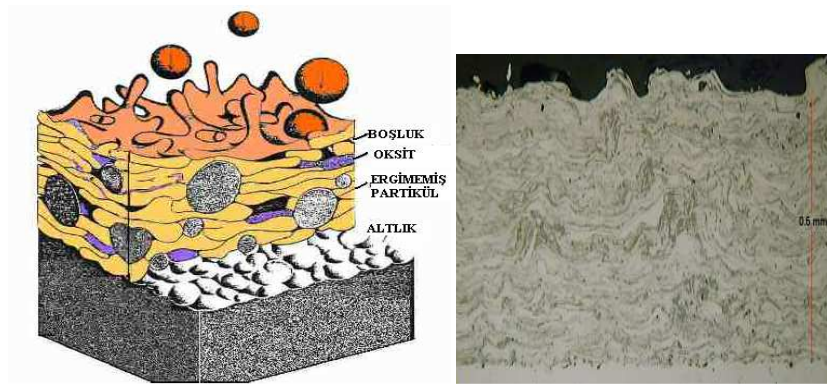
Büyük girdap yapısı anot ve kotot içerisinde oluşmuş görülüyor. Kabuk kritik bir uzunluğa ulaşacak, boyutun artmasıyla da kabuk üzerindeki aerodinamik etkide artacaktır. Buda daha büyük bir girdap akışının gerçekleşmesini sağlayacaktır. Büyük girdap yapılarının oluşumu metal damlacıklarında yörüngeleri etkileyip, kontrollerde zorlanmalara sebebiyet verecektir. Yeni teknikler ve dizaynlar ile büyük girdap akımlarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Böylece daha düşük türbilans yapıları elde edilebilecektir[26].

3.4. Elektrik Ark Sprey İle Üretilen Kaplamalar

Elektrik ark sprej prosesi, yüksek oranda malzeme biriktirilmesi ve iyi bir kaplama yeteneğine sahip olması nedeni ile termal sprej ailesi içerisinde maliyeti daha az olan

proseslerden bir tanesidir[27]. Bu nedenle proses uygulama, plastik enjeksiyonlu kalıplar ve kalın kaplamalardan birçok uygulamalar için gerekli olan ince kaplamalara kadar olan sahalarda kullanılabilir. Sprey oranı genellikle püskürtülen malzeme çeşitlerine ve tel püskürtme mesafesine bağlıdır. Bu proseste çoğunlukla saf veya alaşımlı (demir, bakır, çinko vb.) teller ile seramik içerikli tozlar içeren özlü teller kullanılır.

Elektrik ark sprej kaplama yapısı termal sprej kaplamaya benzer bir şekilde, kaplama malzemesinin ergimesiyle oluşan damlacıkların altlık yüzeyine çarpması ile birlikte deformasyona uğrayıp hızlı bir şekilde katılarak birbiri üzerine birikmesi ile oluşur[28]. Kaplama süresince ergimiş partiküller altlığa ulaşmaya kadar ısı akışına bağlı olarak çok hızlı bir şekilde soğuma gösterirler. Çok hızlı bir şekilde soğuyan bu partiküller sprej parametrelerine bağlı olarak hedef malzeme yüzeyine çarparak burada düz bir levha şeklini alırlar. Bu düz levhalar milyonlarca sıvı damlacığın üst üste birikerek mekanik olarak birbirine bağlanması ile oluşmuştur. Kaplama yapısı, ergimiş metal partiküllerinin yüzeye çapma hızları, deformasyonları ve hızlı katılaşmaları ile biçimlenir. Genelde kaplama uygulaması süresince meydana gelen oksit, porozite, ergimemiş partiküller kaplama içersine girer ve kaplamaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkilere yol açar. Sprej parametrelerine bağlı olarak da bu oksit, porozite ve ergimemiş partikül içerik miktarları değişiklik gösterir [19]. Şekil 3.10'da ark sprej prosesi ile yapılmış 13 Cr'lu çelik kaplama mikroyapısı ve kaplama yapısını etkileyen oksit, porozite, ergimemiş partiküller şematik olarak gösterilmiştir[29].



Şekil 3.10. (a)Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplaması kesitinin şematik görüntüsü b) Ark sprej ile püskürtülmüş 13 Cr'lu çelik[29]

Elektrik ark sprej prosesinde kullanılan sprej parametrelerinin değer aralıkları Tablo 3.1’de verilmiştir. Uzun yıllar boyunca, kaplamaların mikro yapıları üzerine önemli etkileri olan sprej parametreleri üzerinde çalışılmış ve kaplama mikro yapılarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Diğer bir taraftan partikül boyutu, hız, sisteme besleme şekli, kullanılan sprej proses tipleri, atomize gaz basıncı ve gaz tipi, sprej mesafesi, voltaj tel besleme, nozul konfigürasyonu gibi parametrelerin mikro yapı üzerindeki etkileri anlaşılmaaya çalışılmıştır[30]. Bugünlerde daha çok sprej yayınının daraltılmasıyla kaplama kalitesi üzerinde ikincil bir gaz akışının beslenmesini içeren etkiler araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Sonra kaplamaların analiz edilmesi sprej mesafesi ile kaplama mikro yapısındaki porozite düzeyleri ve oksidasyon içeriği hakkında bazı ilişkilere rastlanılmıştır[31].

Tablo 3.1. Elektrik ark sprej prosesinde kullanılan parametreler[24]

Parametre	Özellikler
Ark sıcaklığı	3800-5000°C
Partikül hızı	100-300 m/sn
Sprej Mesafesi	100-250 mm
Elekt. Giriş gücü	6-80 kW
Pulverize hava debisi	Yaklaşık 60 m ³ /s
Kaplama kalınlığı	0,05-0,5 mm
Birikme Miktarı	Al (15 kg/s), Zn (200 kg/s), Çelik (30 kg/s)
Tel çapı	1,6 - 3,2 mm
Kaplanabilir Sprej malzemeleri	Metaller: Al, Zn, Cu, Sn, Mo, Ni Alaşımalar: karbon ve yüksek alaşımlı çelikler Demir dışı Metaller: Pirinç, Bronz, NiAl, NiCr, AlMg
Altlıklar (taban)	Metal, seramik, tahta, plastik, cam

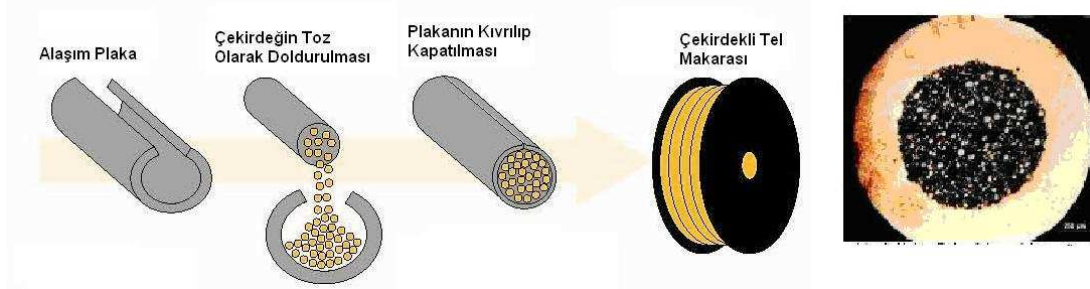
3.5. Elektrik Ark Sprej Kaplama Malzemeleri

Genel olarak elektrik iletkenliğine sahip ve tel olarak imal edilebilen bütün malzemeler çift tel ark sprejde kullanılabilir. Tel besleme prosesleri toz beslemeye göre kolay hammadde temini, proses kontrolü sağladığı için daha ekonomiktir ama kaplama üretirken bazı teknik kısıtlamaları vardır. Bazı beslenemeyen malzemeler telin içine koyularak (Şekil 3.11) özlü tel üretilir ya da dışına ince bir film kaplama olacak şekilde birleştirilerek üretilir. Böylece kullanımı sınırlı olan malzemeler bu

formlarda kullanılabilir. Tel ürünlerin toz sprey kaplama malzemelerinde rastlanan rafta oksitlenme gibi sorunları yoktur. Uygun ambalajlandığında sınırsız raf ömrüne sahiptir. Tablo 3.2 dolu teller ve Tablo 3.3’de özlü tellerin çeşitleri ve uygulama alanları gösterilmiştir[2-20].

Tablo 3.2. Çeşitli dolu teller ve uygulama alanları[23]

Analiz	Açıklama	Kaplama Sertliği (HV 0,3)	Ergime Derecesi (°C)	Özellikler
Zn 99,99	Çinko	25	420	Korozyon Koruma
Zn-Al 85-15	Çinko, Alüminyum	35	450	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon koruma, SO ₂ ’li atmosferlerde yüksek direnç
Al 99,5	Alüminyum	40	660	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon, 800 °C ve yukarısında yüzeyde çelik ile difüzyon bağı oluşturmasına rağmen yüksek direnç, gıda endüstrisindeki kaplamalar
Al Mg 5	Alüminyum Magnezyum	40	630	Deniz suyunda ve düşük alkali çözeltilerde çok iyi koruma, deniz içindeki yapılarda kullanılır.
Zinc 99 min	Çinko-alaşım	40-80	390	Kalıp yapımında kullanılan çinko alaşımı kullanma
Ni-esaslı	Bağ (ara) kaplama	120	1450	Seramik ve çelik kaplamalarda ark sprey için uygun alan arakaplama oluşturulması
8 Mn Si 2	Çelik	200-300	1510	Tamir ve bakım için tormalanabilen orta-sert çelik kaplamalar
X 46 Cr 13	%13 kromlu çelik	350-550	1480	Aşınmaya karşı korumak için genellikle en çok kullanılan metalizasyon kaplaması, sert-aşınma dayanımlı, düşük korozyonlu çelik kaplama
Cr Al 25 5	Yüksek alaşımlı krom alüminyum çeliği	180-250	1500	Çok iyi bağlanma, 900°C üzerindeki sülfür korozyonuna karşı yüksek dayanım,
Mo 99,95	Molibden	Arc 200-600	2650	Alüminyum ve bakırda çok iyi bağ oluşturma
Cu 99,9	Bakır	60-150	1080	İyi elektrik ve termal iletkenlik, kaplamalar parlatılabilir
Cu Sn 7	Kalay-bronz	120-200	1040	Sert, aşınma dayanımlı kalay bronz, sürekli bir şekilde iyi kalite
Cu Zn 37	Pirinç	70	920	Dekoratif kaplamalar
Cu Al 8	Alüminyum-bronz	120-200	1035	Çok iyi bağ oluşturma, yüksek gerilimli rulmanlar için sert, aşınma dayanımlı bronz
Sn 99,9	Kalay	15-25	232	Gıda endüstrisindeki anti-korozif kaplamalar, lehimlenebilen kaplamalar
Sn Sb Cu 7 4	Rulman metali, kalay esaslı	20	265	Rulman metali, kalay esaslı



Şekil 3.11. Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi ve tipik şekli[23]

Tablo 3.3. Çeşitli özlü teller ve uygulama alanları[23]

Analiz	Özellikler	Kaplama Sertliği (HV 0,3)	Uygulamalar
Fe-esaslı B~4,7-Mn~1, 2-Si~1,5-C~1,0	Sürtünme dayanımı, yüksek erozyon dayanımı	850–1000	- Pas kaldırma fanları - Vida kaldırıcıları - Siklon bölümleri - Depolama kutuları
Fe-esaslı Cr~17-Ti~3-Si~1,3- Mn~1	600 °C üzerinde erozyon- termal şok dayanımı	570–850	- Buhar hatları - Akışkan yataklı fırın parçalarında - Güç alan fırınlarında - Buhar koruyucu, ateş tüpleri gibi - Buhar türbin koruyucu kaplamalarında - Yüksek sıcaklık siklonlarında - Egzos gazı fanları
Fe-esaslı Cr~28-Al~6-Mo~3- C~0,2	900 °C üzerinde erozyon ve korozyon dayanımı	270	Pulvarize kömür alev buharında kullanılır.
Fe-esaslı Cr~13-Mo~1,2- C~0,6-Si~1,0- Mn~1,0	Erozyon ve aşınma dayanımı	320	- Kağıt mil kaplamaları - Karıştırıcı kolları ve bıçakları - Kağıt hamuru için vida konveyörlerinde
Fe-esaslı Cr~27-B~2,7-Si~1- Mn~0,8-C~0,1	200 °C üzerinde erozyon ve korozyon dayanımı	500–600	Kurutucu roller (kağıt endüstrisinde)
Ni-esaslı Cr~15-Si~5,0- W~0,9-B~0,5- C~0,04	200 °C üzerinde yüksek korozyon ve aşınma direnci	300–400	- Büyük ekstrüder - Kalıp yapımında (fired material)
Co-esaslı Cr~30-W~12- C~2,5-Ni~2,3- Fe~2,2-Si~1-Mn~1	900 °C üzerinde yüksek aşınma ve korozyon direnci	600–750	- Büyük ekstrüderler - Plastik karıştırıcılar

3.6. Elektrik Ark Püskürtme Malzemeleri Ve Kullanım Alanları

Korozyon, aşınma ve parça kayıplarının endüstride büyük bir mali kayıp yaşattığı aşikârdır. Bu tip kayıpları azaltmak ve kayıpları en az seviyelere indirmek amacıyla termal püskürtme kaplamaların kullanımı gelişmiş ülkelerde oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu uygulama tekniklerinden biri olan elektrik ark sprey yüksek hızlarda ve büyük birikme verimiyle önemli bir kullanım avantajına sahiptir. Bu sayede geniş alanlar çok hızlı bir şekilde kaplanabilmektedir. Herhangi bir ısıtıcı gaz kullanılmadığı için altlık malzemeye ısı girdisi çok az seviyelerdedir[32].

3.6.1. Al ve Al alaşımları

Metalik alüminyum kaplamalar gıda endüstrisinde, deniz içi uygulamalarında korozyon koruma için, ticari alanlarda ve askeri uygulamalarda kullanılan kaplamalardır[35-36]. Alüminyumun korozyon koruma alanı asidik bölgededir. Alüminyum kaplamalar özellikle yüksek sıcaklık korozyonuna karşı dirençlidir. Alüminyum alaşımı olarak AlMg5 alaşım kaplamalar özellikle deniz atmosferine maruz kalan gemilerin ve petrol platformların korozyona karşı korunmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır[33].

Denizcilik ve atmosfer koruması olarak kullanılan alüminyum kaplamaların kullanım ömrünü 20 yıla yakın uzattığı rapor edilmiştir. Alüminyum, korozyon korumasında çelikten daha düşük bir elektrokimyasal potansiyel sergilemektedir. Çevre ile çelik altlık arasında uygulanan kaplama sayesinde Al kaplama galvanik etki sebebiyle koruma sağlayacaktır.

0.08-0.15 mm civarında kaplama olarak uygulanan Al, balık saklama tanklarından gemi zincir kilitlerine, denizcilikte ve deniz endüstrisinde deniz suyuna karşı birçok alanda seal yapılarak veya yapılmadan sıkça kullanılmaktadır.

Kimyasal korozyona karşı yağ arıtım parçalarında, ticari ekipmanlarda ve denizcilikte asidik, yumuşak veya sert su ortamında kullanılmaktadır.

Al kaplamalar 900°C'ye kadar oksidasyona karşı direnç gösterebilmektedirler. Yani çelik ısı parçalarında, buhar panellerinde kullanılan ferritik çeliklerde, otomotiv endüstrisinde termal şoka dayanım ve servis ömrünü artırmak maksadıyla da kullanılmaktadır.

Ayrıca elektrik iletkenliği açısından metal olmayan malzemelerin yüzeylerine uygulanarak biriken statik elektriği dağıtmak ve radyo frekansları veya elektromanyetik etkilere karşı korumak için uygulanmaktadır[32].

3.6.2. Zn ve Zn alaşımları

Metalik çinko ve alaşımları çelik yapılarda korozyon koruması amacıyla kullanılmaktadır. Zn kaplamalar köprüler, bina kolon ve kirişler büyük çelik yapılar, dökme demir boru, su kuleleri, sıvı depolama tankları ve ev ve sanayi tüplerinin kaplanması gibi uygulamalarda başarı bir şekilde kullanılmaktadırlar[33].

Galvanik etki sebebiyle çelik köprülerde sıklıkla kullanılan çinko kaplamalar, korozyon dayanımını oldukça artırmaktadır. Çinkonun oksitlenme potansiyeli oldukça düşüktür. Uygulanan kaplama ile yüzeyde ince bir çinko oksit yapısı havayla etkileşimde olacaktır. Burada çinko oksit tepkime sonucu çinko hidroksit formunu oluşturur. Karbondioksit ve çinko hidroksit tepkimeleri yüzeyde çinko karbonat katmanları meydana getirecek ve koruma sağlanmış olacaktır. Yumuşak ve diğer kaplama malzemelerine nazaran ucuz oluşu avantajlarıdır[34].

3.6.3. Ni ve Ni alaşımları

Nikel ve nikel alaşım kaplamaları deniz atmosferindeki ve desalinasyon alanlarındaki parçaların korozyona karşı koruma sağlanması için uygulanır. Özellikle ark sprey NiCu30Fe kaplamalar indirgeyici ortamlarda ve oksitli akışkanlarda mükemmel korozyon koruma sağlamaktadır.

Ark sprey NiCr 80/20 kaplamalar ıslak ortamdaki korozyon karşı koruma için uygulanan bir diğer nikel alaşım kaplamadır. Mükemmel bir korozyon koruması sağlayan NiCr 80/20 için en iyi sonucu elde etmek için kaplama sırasında atomize gaz olarak argon kullanılması gerekmektedir[33].

3.6.4. Zn-Al ve Zn-Al alaşımları

Çinko ve alüminyum alaşımları ile kanıtlanmış olan bu kaplama çinkoya benzer ve tuzlu ortamlarda alüminyumun koruyuculuk performansı geliştirmiştir. Japonya da yapılan çalışmalarda özellikle %85 ve %15 alüminyum alaşımların kaplamalarda avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Bu kaplamalar çelik köprülerin kaplanmasında başarı ile kullanılmıştır[34].

3.7. Elektrik Ark Spreyin Uygulama Alanlarına Örnekler

Sanayileşmiş ülkelerde her yıl aşınma ve korozyon problemleri yüzünden milyonlarca dolar kaybedilmektedir. Elektrik ark sprey yöntemi ile yapılan çeşitli kaplamalar korozyona ve aşınmaya karşı üstün koruma sağlayan ve son yıllarda hızla yayılan bir yöntemdir. Dünyada gerçekleştirilen bazı uygulamalar aşağıda verilmiştir. Bu uygulamalarda yıllarca hiçbir bakım görmeksizin korozyondan koruma sağlanmıştır. Kaplanmış parçaların kuruma süresi söz konusu olmadığı için direkt kullanıma veya sonraki proseslere verilebilir bu da sanayide üretimin hızını kesmemektedir[35].

3.7.1. Uçak parçalarının tamiratında

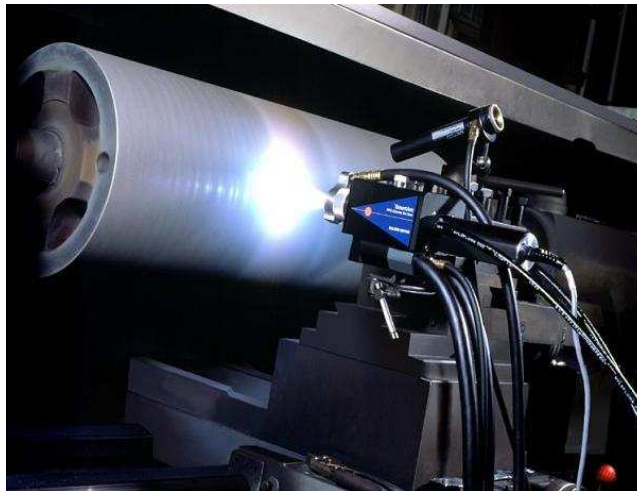
Bir çok uçak motoru üreticisi uçak motorunun tamiratında ve restorasyonunda ark sprey yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca ark sprey kaplamalar yüksek sıcaklıkta aşınma, boyutsal restorasyon ve bağ kaplama olarak uygulanabilir[36]. Şekil 3.12’de uçak motorunun tamir amaçlı kaplama uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.12. Uçak motorunun tamir amaçlı kaplanma uygulaması[36]

3.7.2. Aşınma

Özlu tel teknolojisi ile elektrik ark sprey kaplamalarının kullanım alanları genişlemiştir. Bu yöntem ile içinde karbür bileşimli partiküller bulunan kaplamalar yapılabilir ve bu kaplamalar mükemmel aşınma direnci sağlar[36]. Şekil 3.13'te ağır sanayide kullanılan bir silindirin elektrik ark sprey prosesi yardımıyla kaplanması verilmiştir.



Şekil 3.13. Ağır sanayide kullanılan bir silindirin elektrik ark sprey prosesi yardımıyla kaplanması[37]

3.7.3. Korozyondan koruma

Ark sprej kaplamalar sıklıkla yüksek ve düşük sıcaklıkta korozyondan korunma amaçlı kullanılır. Bu kaplamalar oksidasyon ve ısı dirençleri ile çevrenin korozif etkilerinden korur. Endüstride gerçekleştirilen bazı korozyondan koruma amaçlı kaplama uygulamaları; binalarda beton içi korozyona karşı, köprü ekipmanlarında, tv ve radyo verici kuleleri, yüksek gerilim hattı direkleri, LPG tüp ve tankları, demiryolu sinyalizasyon yapıları, yüksek güçlü arama radarları, yaya üst geçişleri, yol ve köprü parmaklıkları ve bariyerleri, su boru hatları ve depoları, sulama kanal kapakları, galvanizlenmiş yapıların onarımında, sıcak daldırma gibi yöntemlerle metalurjik özelliklerin olumsuz etkileyen bileşenlerin kaplanması kullanılır[36]. Şekil 3.14'te köprü konstrüksiyonunun korozyona karşı kaplanması gösterilmiştir. Şekil 3.15'de ark sprej ile kaplanmış sanayi tüpleri gösterilmiştir.



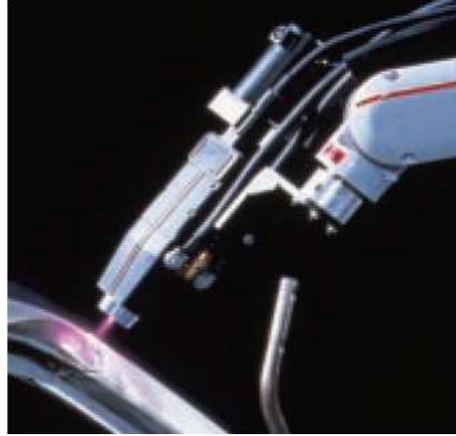
Şekil 3.14. Köprü konstrüksiyonunun korozyona karşı kaplanması[37]



Şekil 3.15. Elektrik ark sprej ile kaplanmış sanayi tüpleri[37]

3.7.4. Otomotiv

Elektrik ark sprej prosesi şase, kaporta ve kaynak dikiş yerlerinin korozyondan korunmasında ve onarılmasında kullanılır[36]. Şekil 3.16'da otomobil kaportasının kaplanması gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Otomobil kaportasının kaplanması[36]

3.7.5. Elektriksel uygulamalar

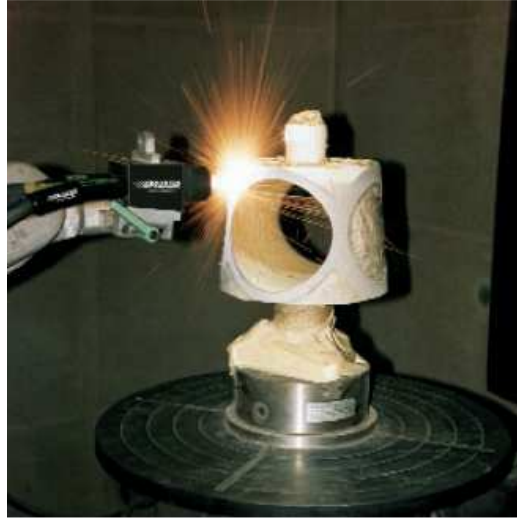
Alüminyum, titanyum, çinko ark spreyle metal kaplanmış malzemeler elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanılır. Alüminyum kaplanmış metal oksit varistörün yüzeyinde elektriksel iletkenlik oluşur[36]. Şekil 3.17'de kaplanmış varistör gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Kaplanmış varistör[36]

3.7.6. Parça tamirâtı

Elektrik ark sprej kaplamaların dövme ve şekillenme kabiliyeti sayesinde kayda değer bağ mukavemeti kaybolmadan ekonomik olarak kalın kaplamalar yapılmasına olanak verir. Bundan dolayı taşıma maliyetinin yüksek olduğu ve parçaların sökülemediği durumlarda ark sprej başvurulan yöntemdir[36]. Şekil 3.18’de parçanın elektrik ark spreyle tamirat uygulaması gösterilmiştir. Şekil 3.19’da a) İş parçası yüzeyinde kullanım sırasında oluşan aşınma b) Elektrik ark spreyle kaplanarak tamir edilmiş iş parçası gösterilmiştir.



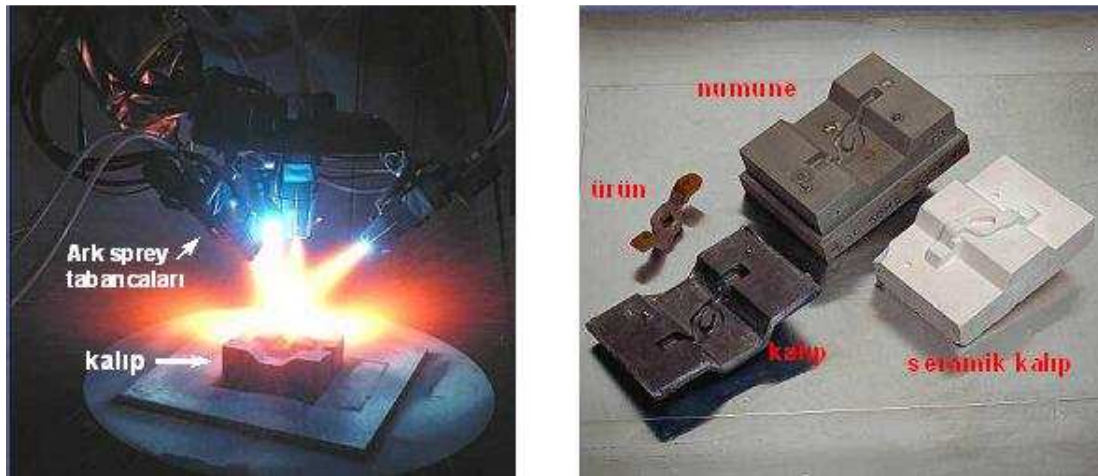
Şekil 3.18. Parçanın elektrik ark spreyle tamirat uygulaması[36]



Şekil 3.19. a) İş parçası yüzeyinde kullanım sırasında oluşan aşınma. b) Elektrik ark spreyle kaplanarak tamir edilmiş iş parçası[37].

3.7.7. Kalıp yapma

Elektrik ark sprej kalıp endüstrisinde kalıbı yaparken kalın kaplama oluşturulmasında kullanılır. Kaplamanın karakteri kalıptan çıkmasına izin verir. Bu proseteki başarı hızlı prototip oluşturmayı sağlar[36]. Şekil 3.20’de elektrik ark sprej yöntemiyle hızlı prototip kalıp üretimi ve üretilmiş kalıplar gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Elektrik ark sprej yöntemiyle hızlı prototip kalıp üretimi ve üretilmiş kalıplar[37]

3.7.8. Elektronik devreler

Elektrik ark sprej kaplamalar hem elektriksel direnç hem de elektriksel yalıtkanlık uygulamalarında kullanılır. Elektronik endüstrisi metalik olmayan malzemelerin lehimlenme özelliklerinden dolayı kalay gibi metaller kaplamada kullanılır[36].

3.8. Ark Sprej Kullanımında Güvenlik

Termal püskürtme için temel tedbirler aslında aynen kaynak ve kesme işlemlerinde alınan önlemler gibidir. Doğal metal tozlarının patlayıcı etkileri için kullanım kılavuzu dikkate alınmalıdır. Kullanımdaki etkiler farklı gereksinimler de içerir;

a) Termal sprej çalışma yerlerinde yeterli havalandırma yapılmalıdır.

- b) Patlayıcı ortam ve termal sprey çalışma yerlerindeki güvenlik düzenli ve eksiksiz tamamlanmalıdır.
- c) Ortamda sprey toplayıcı kolektör bulunmalıdır.
- d) Termal sprey operasyonu sırasında sıcaklıktan korunmak için önlemlerin alınması gereklidir.
- e) İnsani faktörler, kaplama sırasında özellikle Zn buharını teneffüs edilmedi akciğer hastalıklarına yol açabilir. Nikel ve Krom esaslı kaplamalar kanserojen maddeler içerebilir.
- d) Operatör mutlaka, hava motorlu bir başlık kullanmalıdır. Başlık içersinden sürekli hava beslenmelidir.
- e) Diğer bir uygulama, ışık radyasyonuna ve ses izolasyonuna yönelik olarak kesinlikle gözlük, kulaklık ve benzeri koruma malzemelerini kullanmalıdır[34].

BÖLÜM 4. ELEKTRİK ARK SPREY TEKNOLOJİSİNDE KAPLAMA KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

4.1. Giriş

Birçok faktör elektrik ark sprejde partikülün ergimesine etki etmektedir. Bu etkiler düzensiz ark oluşumuna sebebiyet verebilir. Bu etkilerden ikisi atomize püskürtmede inişli çıkışlı ark voltajı ve tellerin ergimiş partikülleridir. Oluşturulan ark enerjisinin partikül tiplerine göre doğru ayarlaması gereklidir.

Atomize partiküllerin kaplama malzeme üzerindeki yolda kinetik enerji oluşumu, atomize gaz jetin özelliklerine ve sprej malzemesine oldukça bağlıdır. Genellikle proses parametreleri ve ark sprej tabancasına uygulanan nozul sistemi, atomize gaz basıncı, atomize gazın cinsi, voltaj akımı, püskürtme mesafesi, tel besleme hızı vs. kaplama yapısını belirler[19].

4.2. Püskürtme Mesafesinin Etkisi

Tavsiye edilen sprej mesafeleri 125 mm ila 200 mm aralığındadır. Genellikle standart olarak Kabul edilen mesafe ise 150 mm dir. Sprej mesafesinin tavsiye edilen aralıkta olması oluşan dropletlerin hava ile temas zamanını azaltacağından oksit içeriği de düşük olacaktır. Sprej mesafesinin artması ile hem oksit oranı artacak hem de dropletlerin hızı düşeceği için yüzeye iyi yapışma ve dağılma olmayacağından porozite içeriği yükselecektir[25].

Artan püskürtme mesafesi ile gaz hızı düşmektedir. Tabanca ağızdaki çıkış hızı 255m.s^{-1} iken 150 mm'lik aksenal bir mesafede gazın hızı 75 m.s^{-1} e düşmektedir. Aksenal mesafeyi 95 mm' ye düşürdüğümüzde gazın hızı yaklaşık 120 m.s^{-1} olmaktadır ve sonra bu hız 135 m.s^{-1} ve 150 m.s^{-1} 'e kadar daha da hızlanmaktadır[38].

4.3. Püskürtme Gaz Cinsinin Etkisi

Elektrik ark püskürtme uygulamalarında ergitilen tel bir atomize gaz ile yüzeye püskürtülür. Fakat uygulamalarda uygulanan gazın cinsi kaplamalarda kaliteyi ve yapıyı oldukça etkilemektedir. Uygulamanın cinsine ve önemine göre atomize gaz türünün seçimi oldukça önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalarda bunun önemini ortaya koymaktadır.

Ark sprey kaplamalarda atomize gaz olarak genelde hava kullanılmaktadır. En büyük avantajı kolay bulunur ve ucuz olmasıdır. Atomize gaz olarak hava kullanan prosesler, oksit içeriği yüksek kaplamalar üretirler. Bu sayede yüksek abrazyon ve aşınma dayanımı sağlarlar. Bununla birlikte oksitli kaplamalar, kaplama özelliklerine zarar verebilir. Çünkü oksitler kaplama-altlık malzeme arasındaki yapışma kuvvetini düşürür. Bu sebeple sert oksitli kaplamaların üretim sürecinde sorunla karşılaşılabilir. Ayrıca hava kullanarak üretilen kaplamalarda bol miktarda porozite bulunmaktadır ve buda uygulamada bazı sorunlara neden olabilir[39].

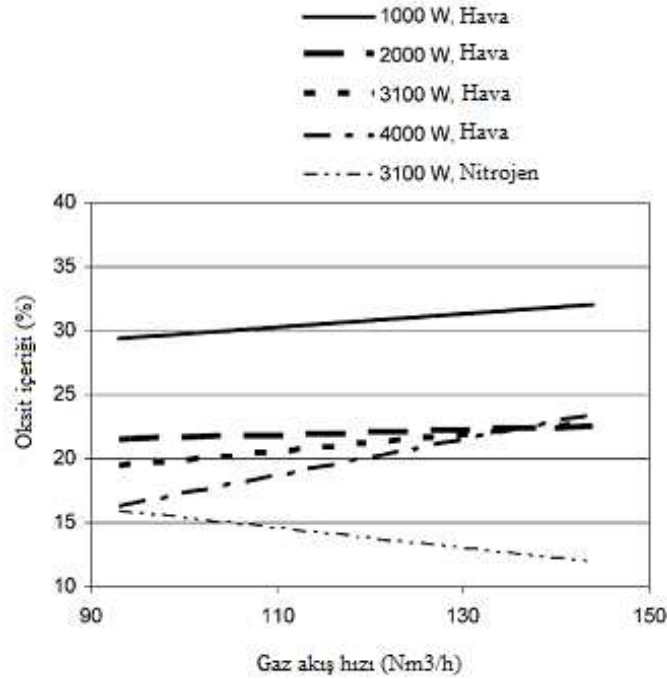
Yapılan çalışmalar, çelik kaplamalarda atomize gaz olarak azot kullanıldığında, oksidasyon yoğunluğunun düzenli bir şekilde azaldığını göstermektedir. Ayrıca, sprey parametre değerlerinin kaplama mikroyapısı, mekanik özellikleri ve sertliğe etki ettiği gösterilmiştir[19].

Yapılan bir çalışmada; kaplamaya atomize gaz olarak hava verilmiş ve değişik püskürtme aralıklarında (tel besleme ve gaz basınçlarında) mikrosertlik, mikroyapı ve young modülü araştırılmıştır. Daha sonra kaplamada atomize gaz olarak azot kullanılarak püskürtme parametrelerinin değerleri değiştirilmiştir. Değişik hız, basınç

ve güçlerde çalışmalar yapılmış, ayrıca ikincil hava gazı da çalışmada değişik basınçlarda kullanılarak etkileri araştırılmıştır.

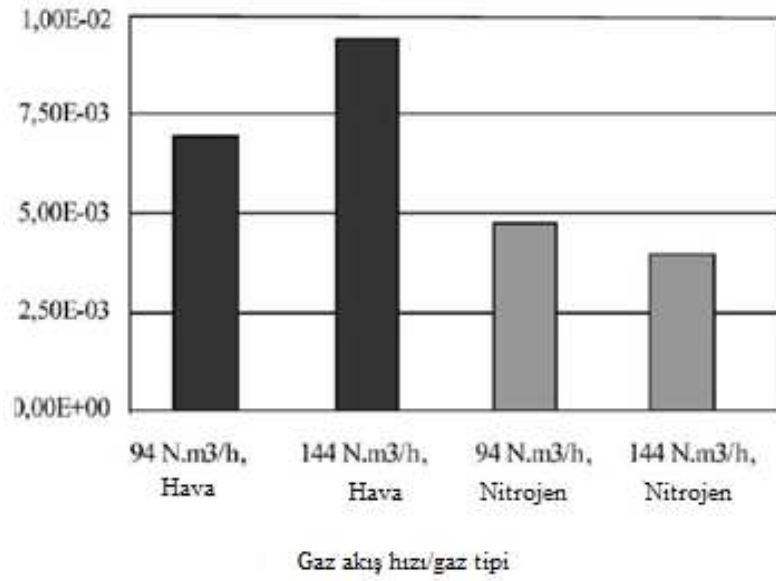
Sprey gaz atım hızının oksit birikimine etkisi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Hava kullanıldığı zaman, gaz akım hızı arttıkça oksit birikimi artmaktadır. Azot kullanıldığında ise tam tersi bir durum izlenmektedir.

Grafikten de görülebildiği gibi nitrojen kullanıldığında gaz basıncının artmasıyla beraber oksit içeriği daha düşük seviyelere doğru ilerlemiştir. Hava kullanıldığında ise gaz basıncıyla beraber oksit birikimi üst seviyelere çıkmıştır.



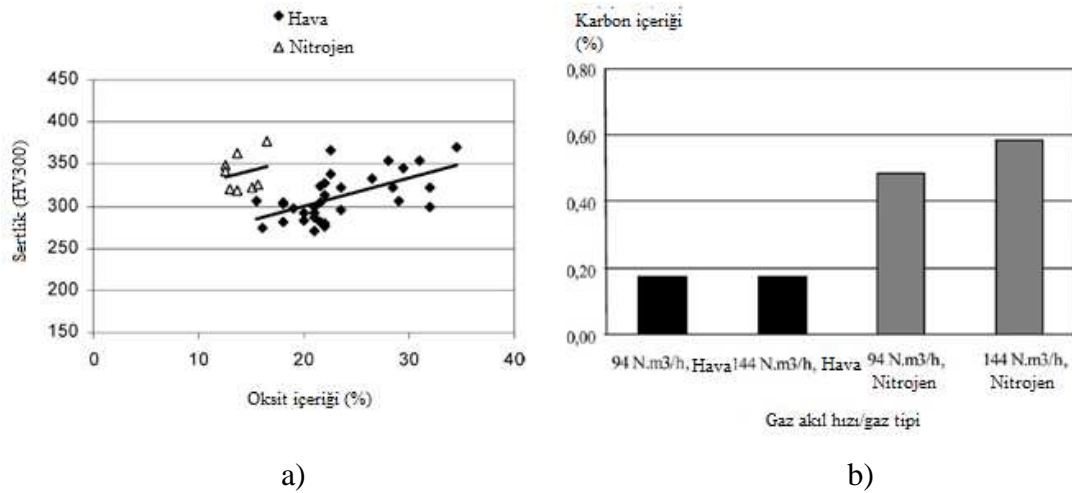
Şekil 4.1. Gaz atım hızı ve oksit birikim yüzdesi grafiği, kullanılan güç değerleriyle beraber verilmiştir[19]

Analiz sonuçlarına göre oksit birikimi her iki gaz basıncına göre de Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kaplamalardaki oksit birikiminin farklı gaz basınçlarında ve değişik atomize gaz türünde karşılaştırılması (Güç 3100 W)[19]

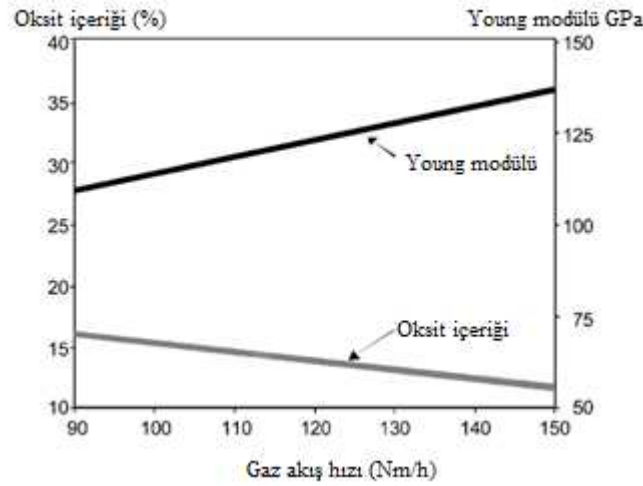
Sertlik ve oksit birikimi değişimi benzer özellikler gösterdiğinden kaplamalardaki oksit birikimi-sertlik arasında bağlantı kurabilmek mümkün olmaktadır. Bu bağlantı Şekil 4.3a'da görülebileceği gibi sürpriz bir sonuç olmamıştır. Her iki püskürtme durumunda da (azot ve hava) sonuçlar görülebilir;



Şekil 4.3. a) Her iki gaz içinde sertlik ve oksit birikim yüzdesi grafiği b) GDS değeriyle kaplamadaki karbon yüzdesi (güç 3100 W)[19]

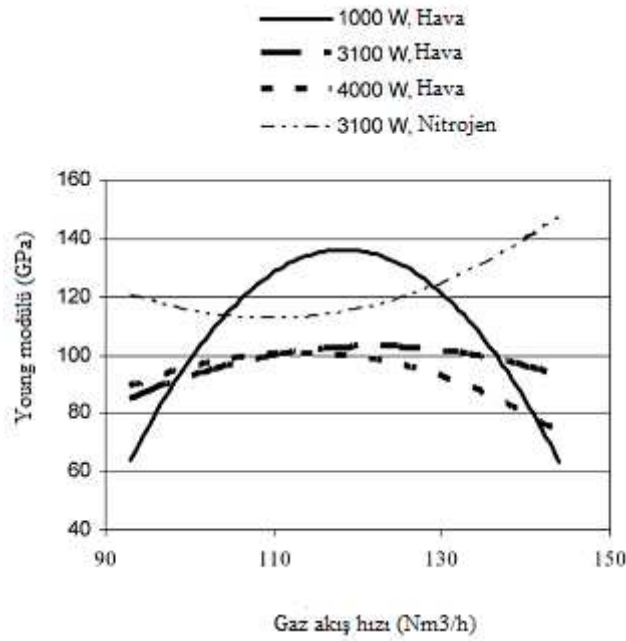
Azot kullanıldığında ise oksitlenme hızı ve sertlik değişmekte, fakat eğilim yaklaşık aynı olmaktadır (Şekil 4.3.). Azot kullanılarak yapılan kaplama ile hava kullanarak yapılan kaplama arasında % 0,2 – 0,5 arasında karbon farkı vardır.

Basınçlı gaz olarak hava kullanıldığında ortalama young modülü 100 ± 10 GPa, nitrojen kullanıldığında ise ortalama young modülü 120 ± 10 GPa olarak ortaya çıkmıştır. Nitrojen akım hızının oksit birikimine karşı young modülü değerleri Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Nitrojenin atım hızı ve oksit birikimine göre young modülü grafiği[19]

Şekil 4.5.'te ise her iki gaz içinde young modül – gaz akım hızının değişik güçlerde davranışı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Young modülü – gaz atım hızı grafiği[19]

Azot kullanıldığında, gaz atım hızı arttıkça young modül bir miktar düşmüş, fakat artış devam ettikçe elastik modül artmıştır.

Hava kullanıldığında ise tam tersine bir durum söz konusudur. Doğrusal olmayan bir eğim gözlemlenmektedir. Young modülü hız arttıkça maksimum değere ulaşmış ($120 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ 'de) ve ilerledikçe tekrar azalmaya başlamıştır. Bu olay büyük olasılıkla iki mekanizmadan kaynaklanmaktadır;

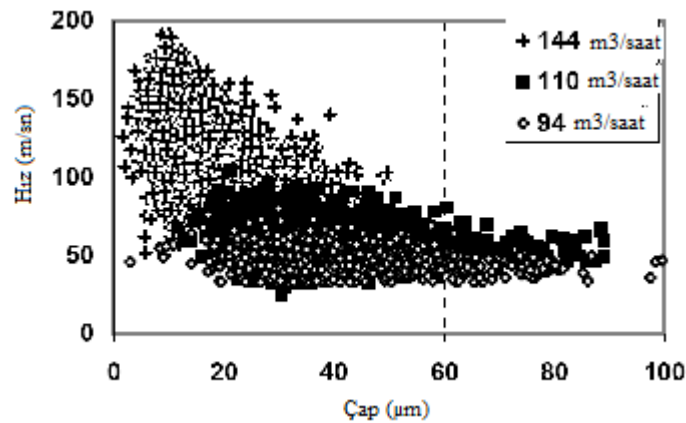
Birincisi, partiküller çok iyi düzleşmiş ve mikro yapı daha homojen bir oluşum meydana getirmiştir. Elektrik ark sprejde yapılan kaplamada yüksek young modülü, yüksek gaz hızlarında yüksek yassı yapı oluşumuyla sağlanabilir. Ayrıca kaplamada homojenlikte sağlanabilir. İkincisi, metal sprej kaplamalardan kaynaklanır. Çünkü kaplamalardaki oksit varlığı, temel bağlarının düşük homojenlikte olmasını sağlamaktadır. Yüksek oksit birikimi, düşük young modülünü getirir.

Atomize gaz olarak hava kullanıldığında yüksek oksit birikimi yaşanmaktadır (Şekil 4.3a. ve Şekil 4.3b.). Bu nedenle havada yüksek atım hızları, kaplamada young modülüne zarar vermektedir.

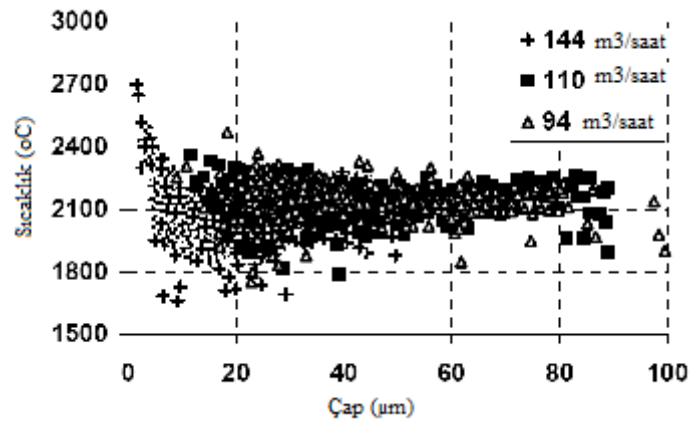
Sonuçta, atomize gaz tipinin oksit birikimine ve dolayısıyla sertlik ve young modülüne etki ettiği çok açıktır. Atomize gaz olarak hava kullanıldığında düşük gaz hızlarında ve atomize gaz olarak nitrojen kullanıldığında yüksek gaz hızlarında düşük oksit birikimi görülmüştür. Ayrıca, her iki gaz tipinde de yüksek oksit birikimi bizi sert bir yapıya götürmektedir. Fakat azot kullanıldığında, kaplamada daha iyi karbon tutmaya izin vermektedir.

Kaplamadaki young modülü, splat kalınlığı ve oksit birikimi sprey parametrelerine göre değişmektedir. Bu en çok young modülüne etki etmektedir. Nitrojenle kullanıldığında yüksek değerler elde edilmiş, fakat hava kullanıldığında da dikkatli seçilen sprey parametrelerinde aynı sonuçlar elde edilebilmektedir[19].

Şekil 4.6. partikül hızı ve partikül çapları arasındaki ilişkiyi ortaya koyarken buna bağlı olarak Şekil 4.7.'de farklı gaz akımı hızları için sıcaklık ve partikül çapları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır[31].



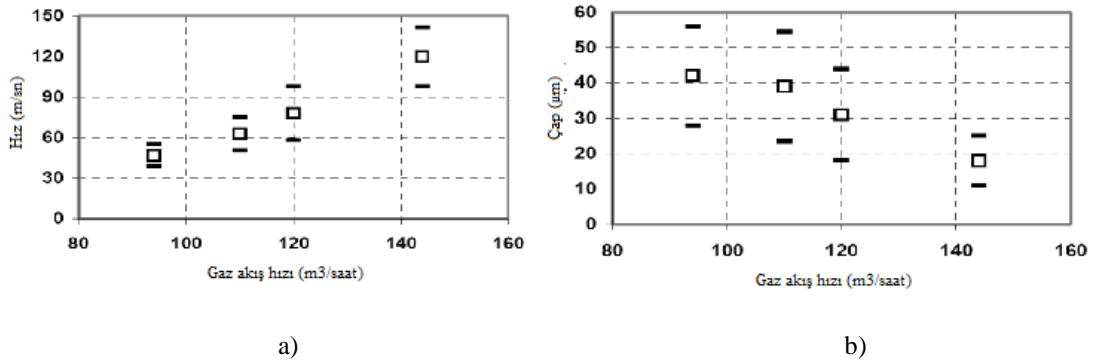
Şekil 4.6. Üç gaz akımı hızlarında partikül çapları ve hız arasındaki ilişki[31]



Şekil 4.7. Üç farklı gaz akımı hızı için partikül çapları ve sıcaklık arasındaki ilişki[31]

Verilmiş olan gaz akış hızları ve hızın artmasıyla birlikte partikül boyutu küçülür. Bu eğilim hava akış hızı artırıldığı zaman da doğrulanmıştır. Diğer bir durumda gaz akımı değiştirilirken tanecik sıcaklığının gelişiminde çok fazla farklılıklar yoktur.

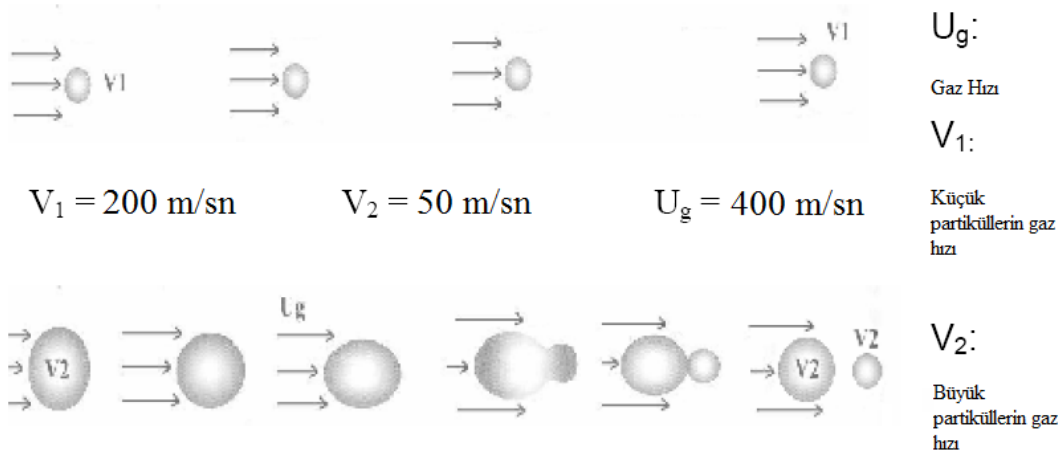
Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b'de, gaz besleme oranları ile hız ve çap arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 4.8. a) Gaz akım hızı karşısında partikül hızlarının yayılımı b) Gaz akım hızına göre partikül çaplarının yayılımı [31]

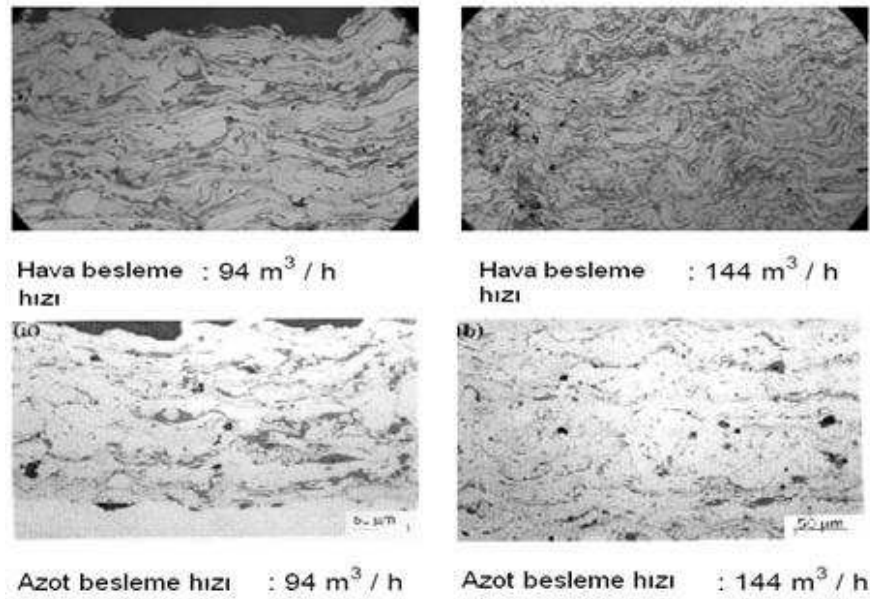
Yapılan bu çalışmada[31], akım oranı artarken hız 40'dan 120 m/s arttığında partikül boyutu da 42 den 17 µm düşüş göstermektedir. Bu da küçük damlacık boyutlarının daha yüksek hızlarda ve akım oranlarında ortaya çıktığını gösterir.

Genel olarak bu süreçte kullanılan proseslerle partiküllerin yayınımları izah edilebilir. Aslında bazı küçük dropletler tellerin uç kısımları elektrik arkıyla ergitilerek doğrudan üretilmiştir. Diğer taraftan bazı damlacıklarda uçuş sırasında birbirlerinden ayrılarak kendisinden daha küçük damlacıkları oluşturmuşlardır. İki partikül davranışının (büyük ve küçük) yüksek hızlı bir gaz akımında şematik olarak görünümü Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi[31]

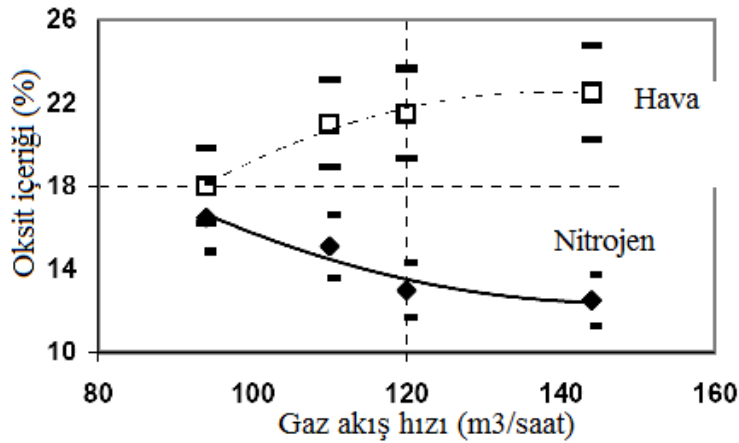
Bazı durumlarda partikül ve püskürtme arasındaki bağıl hız büyük partiküllerin boyutlarını önemli derecede etkiler. Kullanılabilir enerji ile aynı hıza sahip olan orijinal elementlerden daha büyük damlacıklardan daha küçük damlacıkların oluşmasına izin verir. Bu fikir, yüksek gaz akış oranında partiküllerin daha küçük boyutlarda oluştuğu söylenebilir. Şekil 4.10'da farklı gaz ve hızlarında üretilen kaplama mikroyapıları gösterilmiştir.



Şekil 4.10 . Eş kaplamalar için iki farklı gaz hızında elde edilen kaplama mikro yapıları[31]

Kaplamalarda kullanılan herhangi doğal bir gazın akım hızı arttırıldığında daha ince lamelli yapılar meydana gelir. Resimlerin büyütülmesiyle morfolojideki lamellerin boyut ve şekillerinde farklılıklar daha net gözlemlenmiştir. Çünkü kaplamalar partiküllerin altlık üzerine küçük partiküllerin daha yüksek hızlarda ve daha yüksek gaz akım hızı sonucunda püskürtülmüştür. Daha hızlı ergimiş partiküller daha yüksek kinetik enerjiye sahip olduğundan çarpma etkisiyle daha çabuk deforme olup yayılmıştır. Bu durum kaplama kalınlığının ve kaplama morfolojisinin değişmesine neden olur. Sonuç olarak, düşük akım oranlarında biriktirilen kaplamalar homojen olmayan bir yapıya sahip iken daha yüksek akım oranlarında daha ince ve daha düzenli bir yapı oluşur.

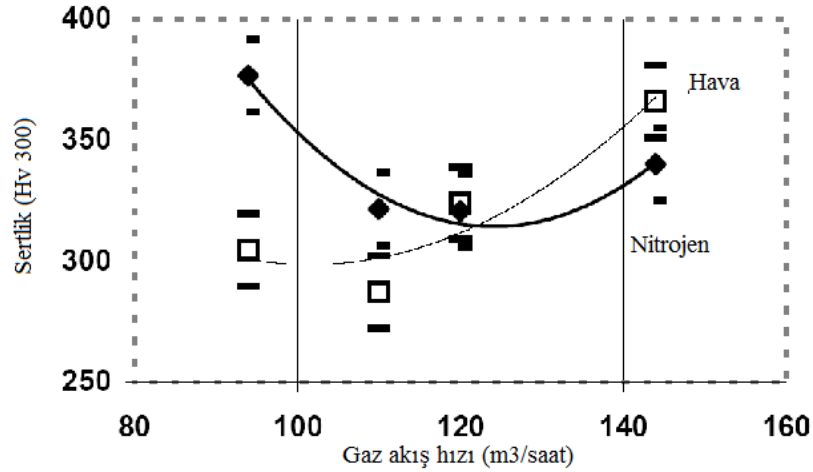
Her numunenin üç farklı bölgesinde bulunan gri alanlarda oksijen bulunduğu belirlenmiştir. Genellikle oksitler jetlerde bulunan partiküllerin toplam yüzeylerine ve jetlerden püskürtme esnasında ortaya çıkan durumlara bağlıdır. Diğer taraftan tel ark sprey prosesinde ergimiş tel malzemeleri oksidasyon için uygundur ve buda püskürtülen kaplamalar içerisinde oksidasyonu göreceli olarak arttırır. Yapılan bu çalışmada basınçlı gaz olarak azot kullanılmış ve hava ile püskürtülen kaplamalarda meydana gelen oksijen miktarları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.11’de gaz akım oranına karşı oksit bileşiminin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Gaz akım hızı karşısında oksit içeriği[31]

Bu iki gaz hızının artması karşısında oksit içeriklerinin yayılımı incelenmiştir. Bu durumda havanın 18 den %22'ye kadar olan değerlerdeki oksijen içeriğindeki artışına karşın, azotlu gazda ise 17 den %12 azalma görülmüştür.

Hava ile püskürtme esnasında, uçan partiküller hava ile çevrenmesi sonucu ergimiş partiküllerin oksidasyonunda önemli bir artış meydana gelmiştir. Daha yüksek gaz akımı sayesinde akım hızının artması ile ergimiş partiküller daha çok hızlanarak damlacıkların parçalanmasına ve daha küçük damlacıklara dönüşmesine neden olur. Bu olay sadece daha yüksek bir çarpma hızında değildir. Ayrıca bir jette daha kısa bir uçuş zamanında da olabilir. Daha küçük damlacıklar daha büyük spesifik yüzey alanlarına sahip olmasından dolayı büyük damlacıklara nazaran oksijenle daha çok tepkimeye girer. Bu kaplamalar daha yüksek oksijen içeriğine sahip olması için daha hızlı hava akımı altında püskürtülmüştür. Azot basıncını arttırdığımızda ters yönde etki daha küçük partiküllere uygulanır. Bu sonuçla daha yüksek azot akımı ile daha düşük oksijenli partiküller üretilir sonuçta azot akımı ergimiş partikülleri hemen hemen oksidasyona karşı korur. Artan azot basıncı ile partikül boyutunun azalmasına rağmen oksijen miktarı tam olarak azalmıştır.



Şekil 4.12. Gaz besleme oranına karşın sertliklerin değışimi[31]

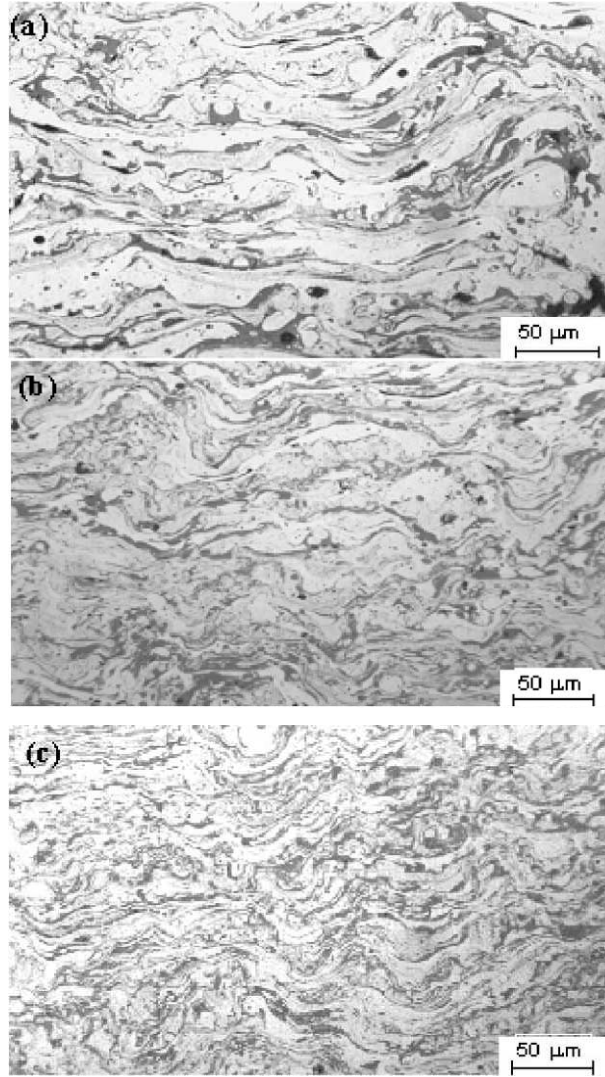
Gaz akım hızı artarken sertlik değeri 300 den 360 Hv bir artış görülmüştür. Daha yüksek hızlarla birlikte meydana gelen oksit içerikleri, beraberinde sertliklerin önemli derecede artmasında rol oynarlar.

Buna karşın azotlu kaplamalar incelendiğinde, sertlikler ilk olarak gaz akım hızındaki artış ile gözlemlenmiştir. Bu olay oksit miktarındaki azalış ile açıklanabilir. İkinci olarak oksit miktarındaki çok az bir azalış sertliği arttırabilir. Bu yayınlar hakkındaki bazı yorumları bulabilmek için SDL analizleri birikimdeki karbon oranının ölçümü için uygulanmıştır. Şekil 4.12.'te üç gaz besleme hızı için zamana karşı karbon şiddeti işaretlenmiştir (94 ve 144 m³/h). En düşük azot besleme hızında karbonun oksit içerikleriyle birlikte daha önemli yapı meydana getirerek kaplamaların sertliğinin artmasına katkıda bulunmuştur. Diğer mukayesede ise diğer akım hızlarında karbon oranları daha düşüktür (122 ve 144 m³/h). Bu nedenle partikül hızındaki artışla daha iyi oksijen koşulları yaratılmakta ve sertliğin daha da arttığı gözlemlenmektedir[31].

4.4. Püskürtme Gaz Basıncının Etkisi

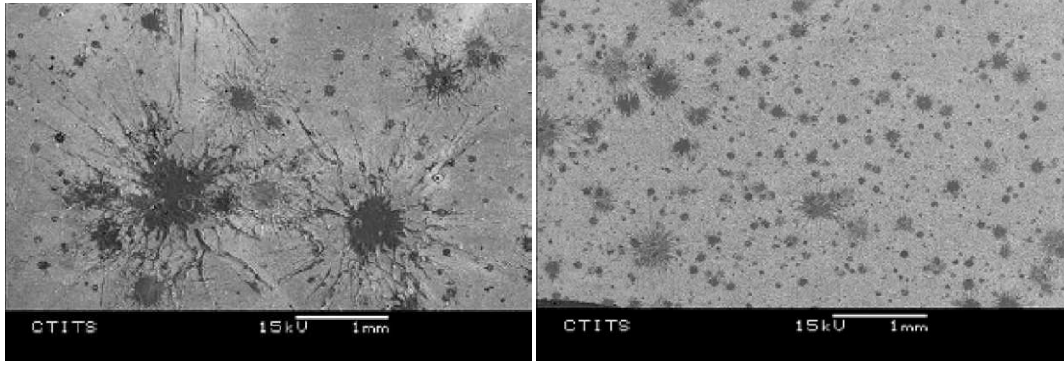
Düşük gaz atım hızlarıyla çalışılmış olan Şekil 4.13 a'da görülebileceği gibi, lamel kalınlığı 10 µm'dan daha kalın olmuştur. lameller, yüksek atım hızlarında ise 5 µm'dan daha ince bir görünüm sergilemiştir (Şekil 4.13c.). Buradan anlaşılmaktadır ki

gaz atım hızı lamel kalınlığını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, toplam gaz atım hızlarının yani birinci veya ikinci gaz basınçlarının, hangi parametrelerde verileceği büyük önem taşır. Bütün kaplama alaşımalarında porozitenin düşük seviyelerde olduğu görülebilmektedir (Şekil 4.13)[19].



Şekil 4.13. Atomize gaz olarak hava kullanıldığında kaplama yapıları a) Düşük hızda $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ b) Orta hızda $110 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ c) Yüksek hızda $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ [19]

Şekil 4.14'de çelik üstüne şiddetle çarpan partiküllerin farklı gaz atım hızlarındaki SEM mikroskobunda görünüşleri verilmiştir.



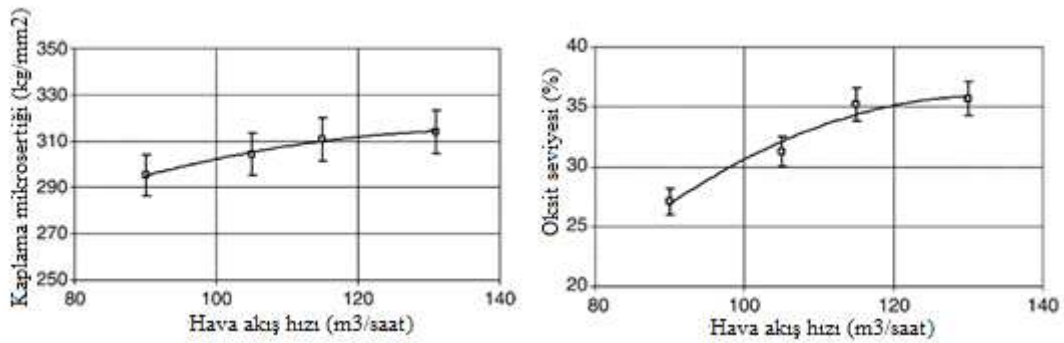
a)

b)

Şekil 4.14. a) Hava atomizasyonunun düşük gaz atomizasyon hızındaki partikül görünümü; Ortalama çap 760 μm (Güç 3100 W, hava atomizasyon hızı $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$) b) Hava atomizasyonunun yüksek gaz atomizasyon hızındaki partikül görünümü; Ortalama çap 122 μm (güç 3100 W, hava atomizasyon hızı $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$)[19]

Gaz atomizasyonunun düşük hızlarda uygulanmasının, çok büyük splat oluşumuna neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir[19].

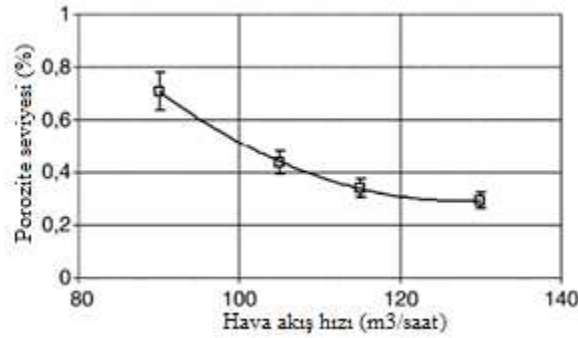
Yüksek püskürtme hızlarında ise kaplamaların daha sert olduğu belirtilmiştir ve bunun sebebi daha küçük partiküller de daha fazla oksit birikiminin bulunmasıdır (Şekil 4.15.)[39].



Şekil 4.15. Püskürtme hızının mikrosertlik ve oksit içeriğine etkisi[39]

Püskürtme sırasında, püskürtülen ergimiş partiküller etrafındaki havayla temas ederek okside olurlar. Artırılan atomize gaz basıncı ile yüksek hızlarda bu temas daha fazla olur. Küçük partiküller, büyük partiküllere nazaran daha fazla oksitlenir. Çünkü daha küçük yüzey alanları vardır. Sonuçta yüksek atomize hava basıncı, yüksek oksit birikimi meydana getirir. Hızlı partiküller yüksek kinetik enerjiyle

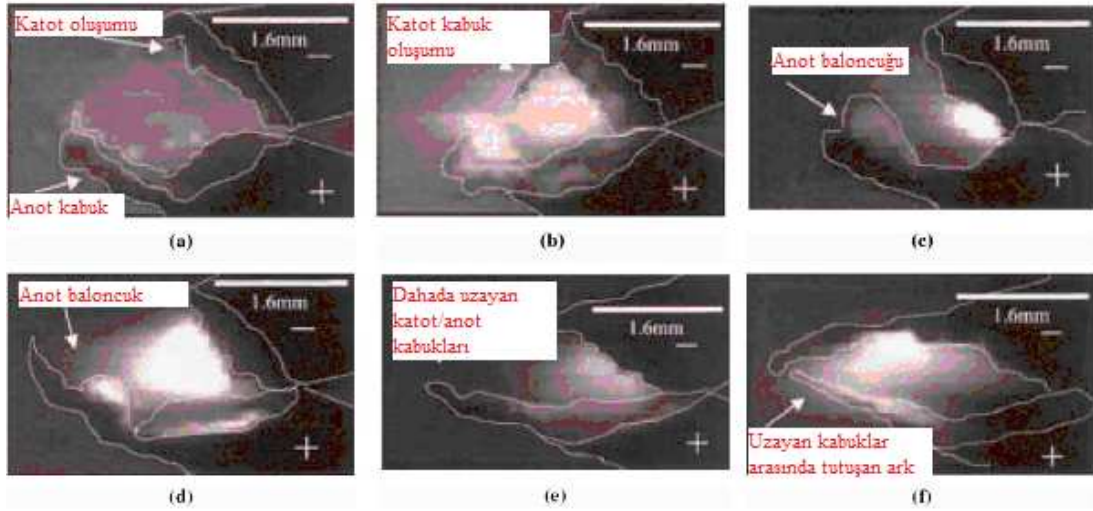
açılırlar. Böylece yoğunluk artar ve porozite azalır. Hız ve partikül sıcaklığı kaplama yapısını belirler[39].



Şekil 4.16. Püskürtme hızının porozite içeriğine etkisi[3]

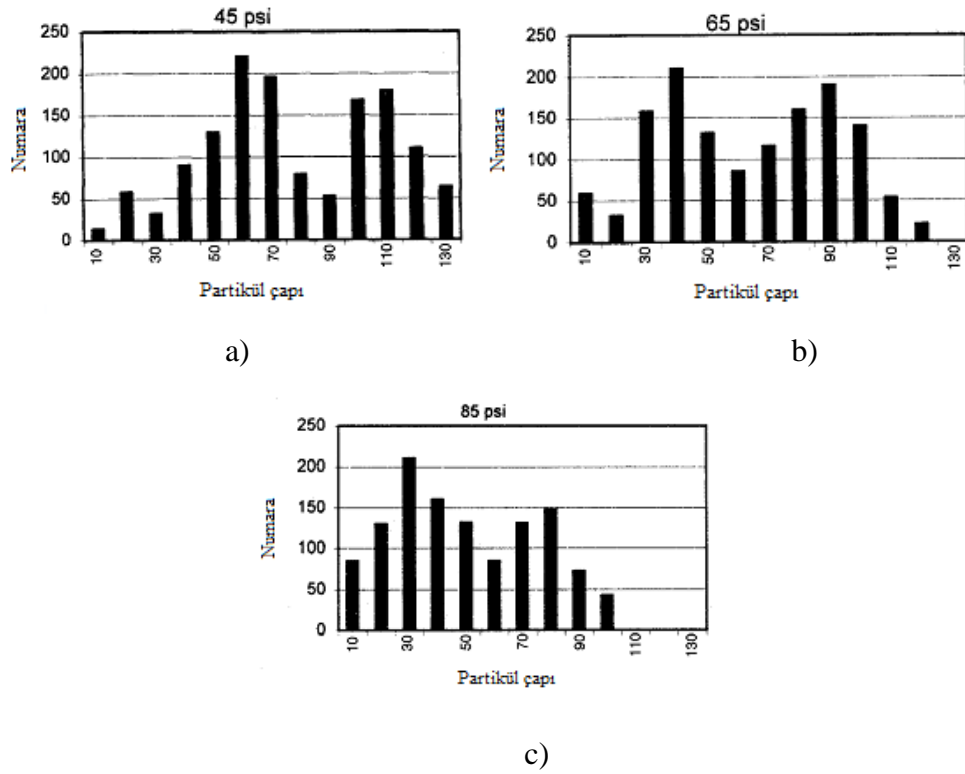
Gaz basıncının bir diğer etkisi anot ve katotta ergime davranışını değiştirmesidir. Anotta, gaz basıncı artırıldığında tel uzamasının sonunda metal aglomeresi meydana gelmektedir (Şekil 4.17 a-c.). Anot ucunda baloncuk bir katman oluşacaktır. Baloncuk büyür ve bir noktada parçalanarak dağılır (Şekil 4.17d.). Ara basınçlarda bu etki en üst seviyededir (345 kPa / 50 psi). Daha yüksek basınçlarda baloncuk oluşumu ve kabuk gerilimi azalır hatta yok olur (Şekil 4.17e., Şekil 4.17f.). Katottaki kabuk daha uzun olmasına rağmen hala anottakinden kısadır. Şekil 4.17a.-Şekil 4.17b. ile Şekil 4.17e.-Şekil 4.17f ile karşılaştırıldığında, basınç artırıldığında ve değişik nozullar ile çalışıldığında (daralan-genişleyen) daha uzun boyutlarda eşit kabuk oluşumu elde edilebileceği söylenebilir.

Düşük gaz basıncında da iki elektrotta ergime mekanizmasının kontrolü yapılabilir. Buda anot kabukta minimum oluşum ve katot kabuk oluşmadan meydana getirilecektir[26].



Şekil 4.17. Tel boşanımı esnasında anot ve katotta ergime davranışı[26]

Yüksek hızlı video grafikler ile hızlı atomize basıncın daha küçük partiküller ürettiği görülebilir. Sonuçlar partikül boyut dağılımı grafiklerinden görülebilir (Şekil 4.18)[39].



Şekil 4.18. Al partikül boyut dağılımı a) Gaz Basıncı 0,31 MPa b) Gaz basıncı 0,45 MPa c) Gaz Basıncı 0,59 MPa[39]

Bilgisayar görüntü analiziyle kaplamalardaki porozite değerleri belirlenmiş ve kaplamalarda 27 ± 4 , 18 ± 4 ve 12 ± 3 porozite değerleri, 0,31-0,45 ve 0,59 MPa gaz basınçlarında elde edilmiştir. Görülebileceği gibi gaz basıncı, porozite için çok önemli bir parametredir. Kaplamalar, partiküllerin üst üste gelmesiyle oluşur. Bu sebeple, yüksek atomize gaz basınçlarında küçük partiküller yüksek çarpma hızlarında kaplamayı oluştururlar. Hızlı ergimiş partiküller yüksek kinetik enerji yayılımları ile çarpmada daha kolay deforme olurlar. Yani artan kaplama yoğunluğu ve azalan porozite meydana getirirler[39].

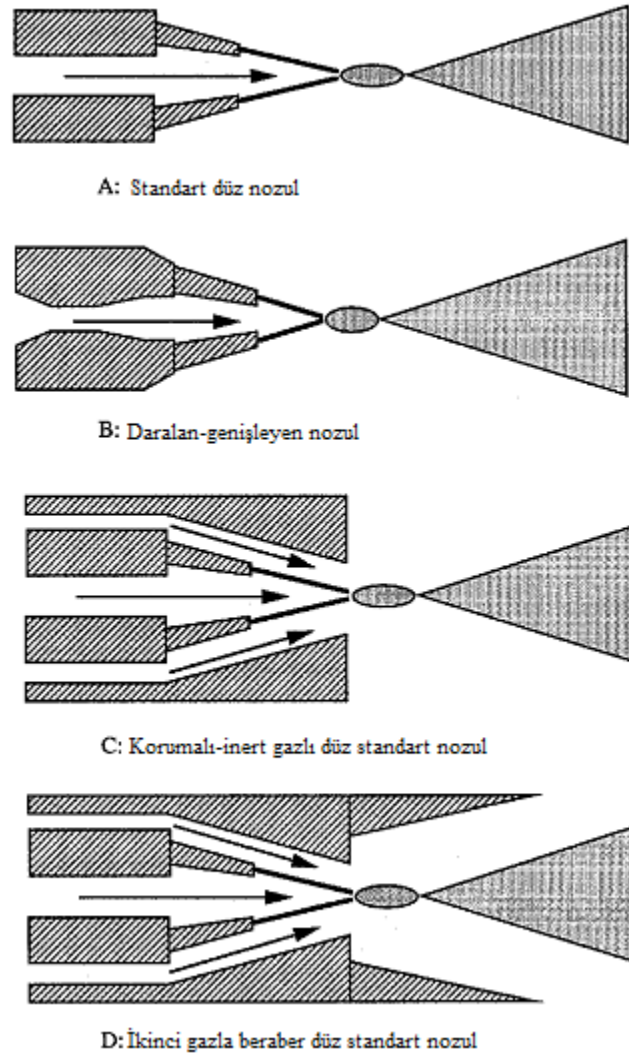
4.5. Nozul Ve İkincil Gaz Basıncının Etkisi

Ark püskürtme sürekli beslenen iki tel arasındaki oluşturulan ark sayesinde ergitilen partiküllerin bir atomize gaz ile yüzeye püskürtülmesi işlemidir. Gaz akımının görevi ergiyen ilk damlacıklarla beraber ergimiş metali ve atomize olmuş partikülleri yüzeye çok hızlı bir şekilde taşımaktır. Yüksek gaz atım hızlarında genellikle küçük damlacık oluşumu gözlenmiştir[39].

Tel ergitmedeki önemli bir gelişmede kapalı nozul sisteminin dizaynıdır. Böylece daha küçük partiküller elde edilir. Buda bize yüksek oksit içeriği sağlar[19].

Çalışmalarda farklı nozul ve kaplama çeşitleri üzerinde oluşan etki, eklenen özelliklerin partikül genişliğindeki etkileri, partikül hızları, kaplama mikroyapısı ve kompozisyonu ile kaplama yapışması incelenmiştir. Ark sprey yönteminde kullanılan çeşitli nozullar şematik olarak Şekil 4.19.'da verilmiştir[39].

Nozullardan Şekil 4.19a. standart nozul, Şekil 4.19b. birleşip ayrılan tip nozuldur. İkincil gaz akışıyla kullanılan nozul Şekil 4.19c. ve yine ikincil gaz akışıyla kullanılan fakat dış ağzı kapalı olan nozul Şekil 4.19d. olarak gösterilmiştir. Bu nozul tiplerinin kaplama yapısına etkisi ve verdiği değişik sonuçlar çeşitli çalışmalarda incelenmiş, bulunan sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçta kaplama yapısının nozula bağlı olarak oldukça değiştiği belirlenmiştir[39].

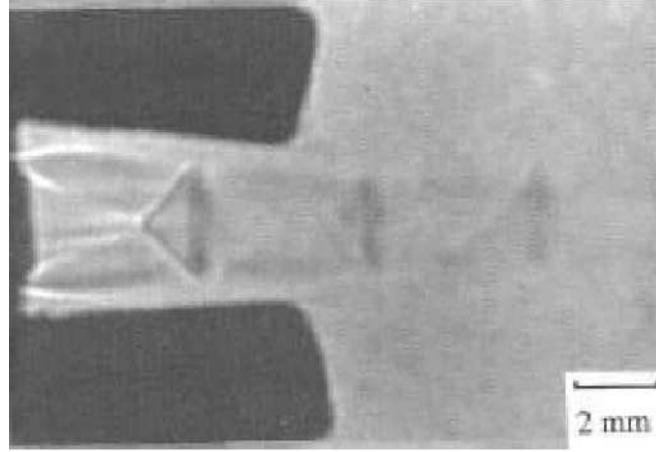


Şekil 4.19. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı nozul tipleri[39]

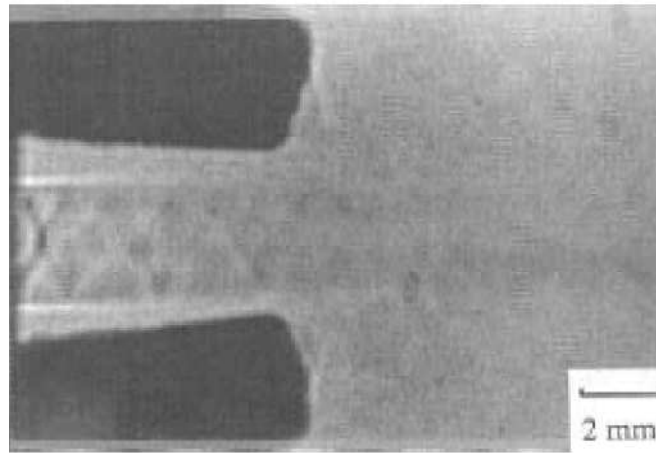
Birleşip-ayrılan tip nozul kullanımı ile çok yüksek hızlarda, yoğun ve yüksek yapışma mukavemetine sahip kaplamalar elde edilebilir. Mükemmel korozyon ve aşınma koruması sağlamak için kaplamanın minimum poroziteli ve yüksek

yoğunlukta olması gerektirir. Standart nozulla üretilen kaplama büyük oranda yüksek porozite ve düşük yapışma mukavemeti gösterecektir[39].

Şekil 4.20'de normal nozul ile CD (birleşip-ayrılan nozul) nozulun gaz akışı görülebilir.



(a)

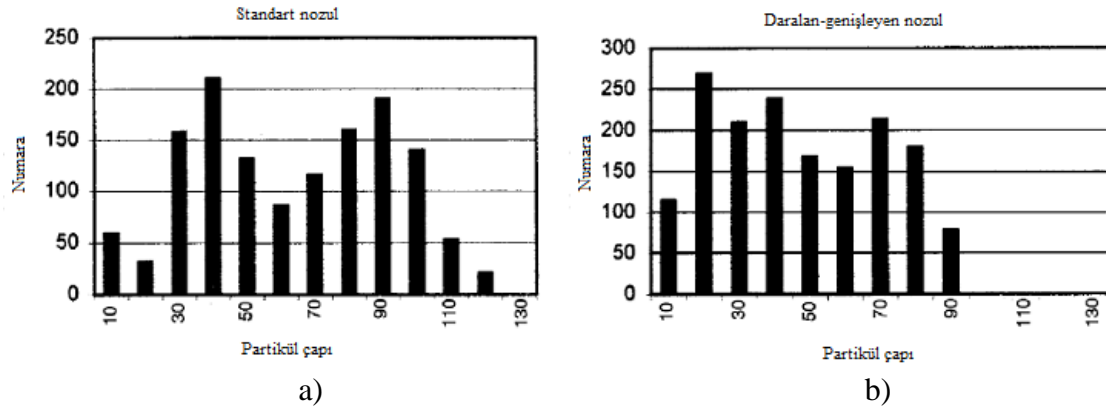


(b)

Şekil 4.20. Değişik nozullarda gaz akış şekli a) düz standart nozul b) CD nozul[39]

Standart nozulda gaz akımı bir şok yapısında ve düzensizdir. Bu sebeple yüksek hızlarda bozunma olur. Sonuçta yavaş şok yapısında olan ve yüksek hızlarda çalışmaya imkân veren CD nozul daha avantajlı görünmektedir. Ergimiş partikülleri altlığa götüren gaz akımı böylece daha uygun bir şekilde meydana getirilecektir.

İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı Şekil 4.21.'de verilmiştir. Açıkça görülebilir ki yüksek atım hızlarında CD nozulla oluşturulan partiküller, standart nozula nazaran daha küçük bir yapı meydana getirmektedirler.



Şekil 4.21. İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı a) Standart nozul b) CD nozul[39]

Partikül hızı ve sıcaklığı kaplama yapısının belirlenmesinde büyük rol oynar. Ergimiş partiküller yüzeyde yuvarlak biçimde yayılırlar. Bununla birlikte, gerçekte partiküller uniform bir şekilde yayılmazlar. Kaplama yüzeyi düz olmaz ve kalınlıklarda farklılık gösterir.

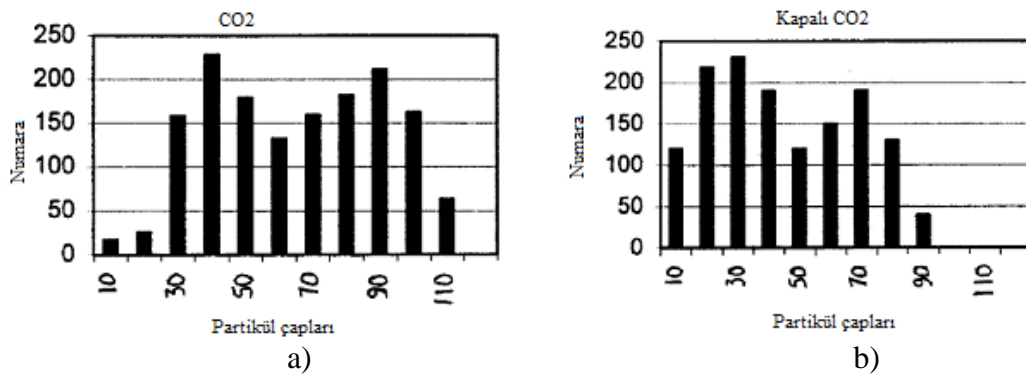
Yüksek hızlarda atomize akım kullanarak yapılan kaplamalarda avantaj açıkça görülebilir. Ark spreyde, tel arkın ucunda yüksek sıcaklıklara ulaşılır. Ayrıca yüksek atomize gaz akış hızlarında, ergimiş partiküller yüksek hızlara ulaşırlar. Çarpışmada hız tek etken değildir. Partikülün sıcaklığında çok önemlidir. CD nozul ile yapılan kaplamalarda yüksek sıcaklık sonucunda düşük viskozite ve yüksek yapışma açısı sağlanarak daha iyi kaplamalar elde edilebilir.

Mikrosertlik, bize abrazif aşınma dayanımı hakkında bilgi verir. Kaplamalarda bulunan fazla porozite miktarı bu dayanımı aşağıya çeker. Sonuçta düşük sertlik görülür. Tam tersine oksit içeriği kaplamanın sertliğini yükseltecektir. Bu sebeple mikrosertlik değerleri geniş alanlarda ölçülür.

Kaplama yoğunluğu ve yapışma mukavemetinin iyi olması için partiküllerin yüksek hızlara ulaştırılması gerekir. Geleneksel ark sprey sistemlerinde bu hız genelde düşüktür ve yapışma mukavemeti ile kaplama yoğunluğu sınırlıdır. İkinci atomize gaz ile yapılan püskürtmelerde daha üniform partikül boyut dağılımı, yüksek partikül hızları ve gelişen kaplama özellikleri elde edilir. Modifiye nozullu ikinci atomize gaz kullanılan teknik Şekil 4.19.c’de görülebilir. Partiküller bu sayede yüksek hızlara ulaşır. İkincil ve birincil atomize gaz ergimiş partikülleri hızla yüzeye ulaştırırlar. İkincil gaz ilavesiyle yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve yüksek yapışma mukavemetli kaplamalar üretilecektir[39].

Ölçülen değerlere göre birincil gaz kullanan nozulda (Şekil 4.19b.) gaz hızı 530 ± 15 m/sn, ikincil gaz ile kullanılan nozulda ise (Şekil 4.19c.) gaz hızı 610 ± 22 m/sn olarak ölçülmüştür. Atomize olarak ikincil gazın kullanılması ergimiş partikülleri hızlandırdığı gibi küçük partikülleride peşinden götürür. Çarpma esnasında ortalama partikül hızı yaklaşık 105 ± 10 m/sn civarındadır. Tek atomize gaz kullanan sistemde ise bu hız 70 ± 8 m/sn ‘dir[39].

Partikül boyut dağılımı, püskürtme dondurma yöntemiyle belirlenmiş ve yapılar SEM mikroskopunda incelenmiştir. Püskürtülen bütün partiküllerin donduğunu varsayarak, CO₂ kullanarak yapılan boyut dağılımı Şekil 4.22’de görülebilir. Küçük partiküllerin yüksek atomizasyon sayesinde oluştuğu buradan anlaşılabilir. Etrafı kapatılarak yapılan kaplamada daha geniş bir boyut dağılımı vardır[39].



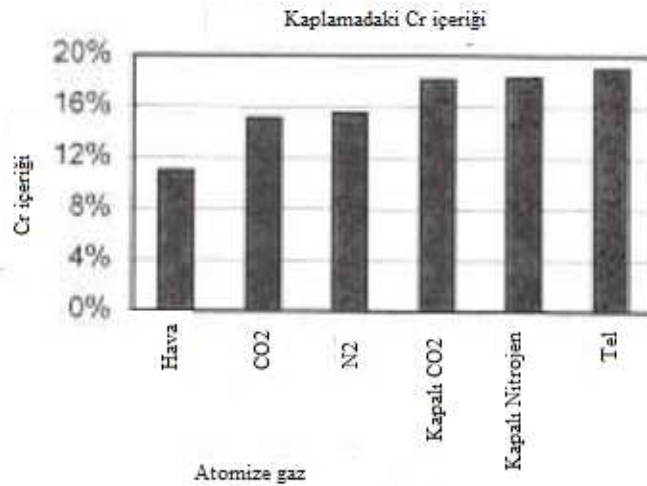
Şekil 4.22. Hava şapkasının partikül çaplarına etkisi a) Örtülü olmayan b) Örtülü[39]

Porozite hava atomizesi kullanıldığında %17±3, CO₂ kullanıldığında %12±2, N₂ kullanıldığında ise %13±2 çıkmaktadır. Örtülü olarak yapılan kaplamalarda CO₂ ile porozite %6±2 çıkarken N₂'ta ise %8±2 çıkmaktadır. Bu iki faktörden kaynaklanabilir:

a) Etrafı kapatılarak (örtülü) yapılan kaplamada düşük oksit birikimi oluşmakta, ayrıca splatların daha üniform oluşu kaplamanın daha yoğun ve az poroziteli olmasını sağlamaktadır.

b) Etrafı çevrilmiş (örtülmüş) ikincil gaz kullanarak yapılan kaplama daha hızlı partiküllerin eldesine olanak verir ve partikülleri daha az soğutur. Kaplama yapısı yüksek hız ve sıcaklık ile yoğun ve porozitesiz olur. Arayüzeyde hata daha az olur ve daha iyi bir kaplama elde edilir.

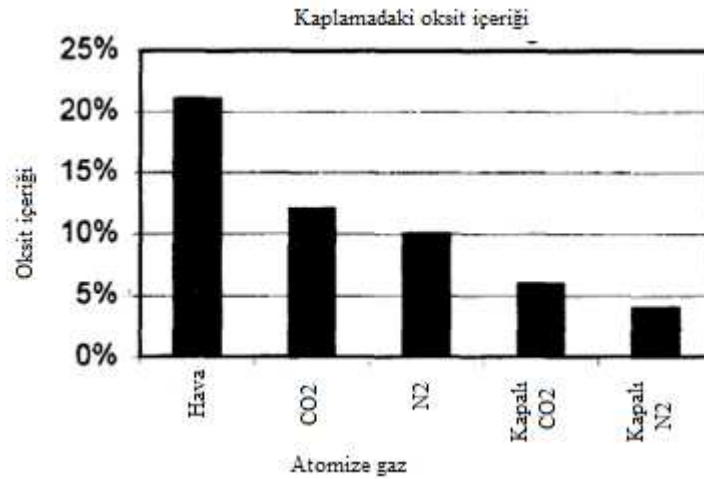
Hava kullanılan kaplamalarda, birçok mikroçatlak oluşumu gözlenmekte ve buda oksitlerin kaplama içerisine iyice yerleşmesini sağlamaktadır. Birçok SEM çalışmasında hava kullanılan kaplamalarda, inert gaz kullanılan kaplamalara nazaran daha çok çatlak olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.23'de AES'de hava, azot ve CO₂ ile püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriğini veriyor.



Şekil 4.23. Elektrik ark püskürtme sisteminde hava, nitrojen ve CO₂ ile püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriği[39]

Sonuçlar gösteriyor ki hava kullanıldığında Cr içeriği düşük olmaktadır. Birikimler kullanılan gaz ve nozula göre %12 ile %19 arasında değişmektedir. Cr_2O_3 yüksek sıcaklıkta oksijenle tepkimeye girip $Cr_2O_3 (s) + 3/2 O_2 (g) \rightarrow 2 Cr_2O_3 (g)$ reaksiyonunu verir. Kaplamada en iyi sonucu ikincil hava kullanan sistemler vermiştir.

Şekil 4.24'de değişik çalışmalarla yapılmış kaplama uygulamalarındaki oksit birikimi gösterilmiştir. Hava kullanımında oksit birikimi çok yüksek çıkmıştır. Azot ise en az oksit birikimini göstermiştir. Kapalı ve ikincil gazla yapılan kaplamalarda hava türbilansı engellendiği için oksit birikimi azdır.

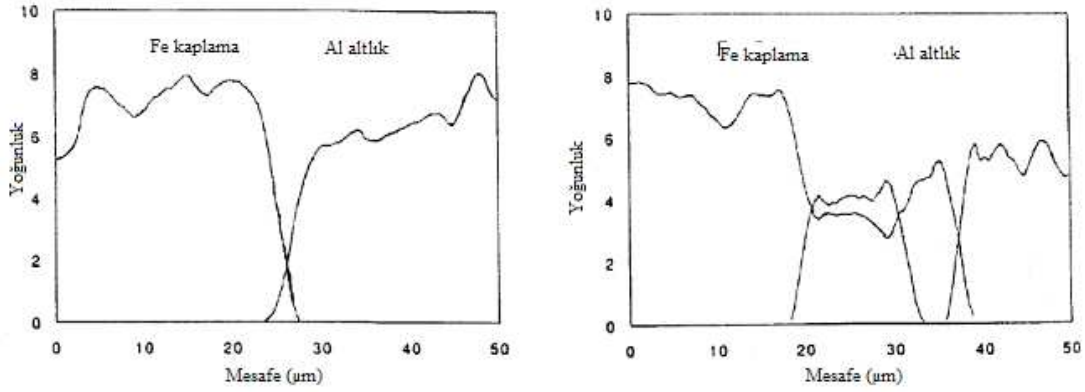


Şekil 4.24. Değişik uygulamalarla üretilmiş kaplamaların oksit içeriği[39]

İkincil gaz kullanarak elde edilen kaplamalar daha yoğun olduğundan bu kaplamaların yapışma mukavemetlerinin de yüksek çıkması gerekmektedir.

Püskürtme kaplamalarda ergimiş partiküller hızla altlığa çarptıkları zaman deforme olur ve çabucak ısılarını kaybederler. Böylece üst üste lamel şeklinde gelen damlacıklarla yapı oluşur. Yapışma kaplama ve altlık yüzey arasında olan önemli bir parametredir. Düşük yapışma mukavemeti, yapılar arasında kötü bağlantı yapar ve bu düşük metalürjik bağ sonucunda yapıda yüksek iç gerilmeler oluşturur.

Deney sonuçları bize ikincil gaz kullanarak yapılan kaplamalarda yapışma mukavemetinin mekanik bağa değil, metalürjik bağada bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 4.25’de kaplama ve arayüzey arasındaki çıkışlar görülebilir[39].



Şekil 4.25. a) Birincil gaz b) Birincil / İkincil gaz[39]

İkincil gaz kullanıldığında ise partiküller çok hızlı ve yüksek sıcaklıkta püskürtüleceği için yüzeye çarptıklarında yüksek deformasyona uğrayacaklardır. Kuvvetli yapışma mukavemeti altlık ile film arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bununla birlikte Al kaplamalarda partiküller arası ısı transferi olabilmektedir. Sonuçta poroz yapı ergimiş partiküllerin yüzeye çarpmasından sonra meydana gelebilir. Ergimiş partiküller birbiri üzerine yapışır ve birikir. Buda metalürjik yapışmaya katkıda bulunur.

İkincil gaz ile üretilen kaplamaların yapışma mukavemetinin daha yüksek çıktığı açıktır. Burada üç tip yapışma mekanizma önemli rol oynar;

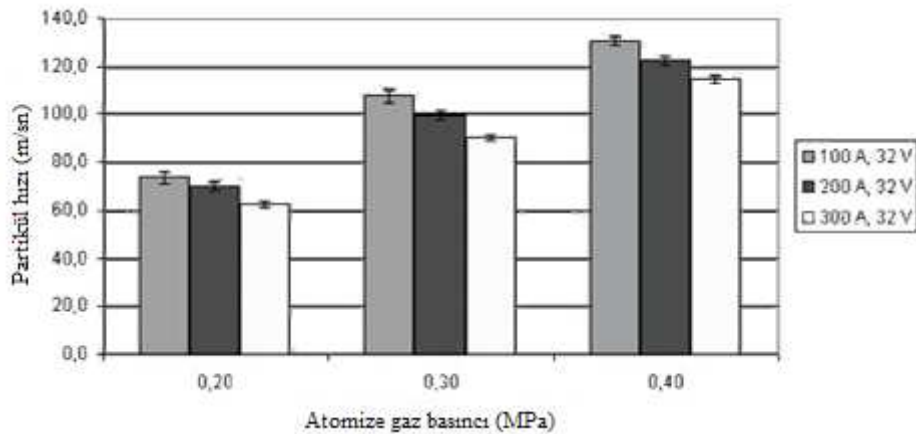
- Fiziksel yapışma; kaplama ve altlık arasında Van Der Waals bağı vardır
- Mekanik yapışma; ergimiş partiküller çok sert bir şekilde yüzeye çarpar ki buda kaplamanın topografisini belirler. Yüksek hız ve sıcaklık ikincil gaz kullanıldığında kaplamanın mekanik yapışmasını kuvvetlendirir.

c) Metalürjik yapışma; ikincil gaz kullanarak metalürjik yapışma, ergime konveksiyonu, interdifüzyon ve intermetalik faz formasyonu sağlanabilir[39].

4.6. Amperin Ve Voltajın Etkisi

Amper ve voltajın ark püskürtmede önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu değerlerdeki artış ve azalma miktarı en önemli etkiyi partikül hızlarında değiştirerek göstermektedir.

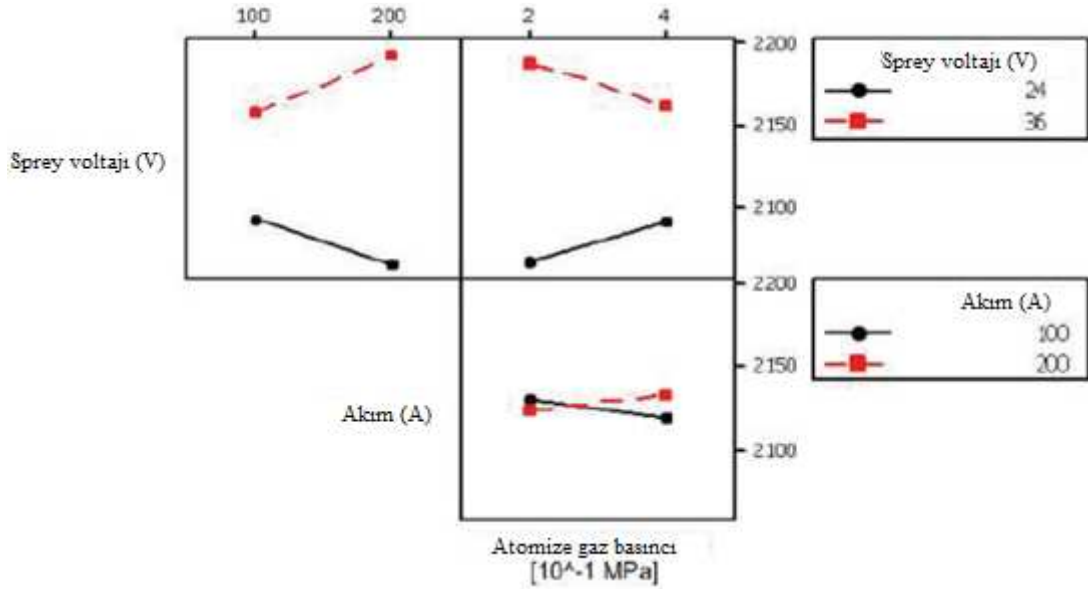
Artırılan akımla partikül hızının azaldığı Şekil 4.26.'da görülebilir. Sebep, akım ile besleme hızı arasındaki ilişkidir. Besleme hızı, yüksek akımlarda artmaktadır ve buda fazla malzemenin ergimesine olanak sağlayıp, ergime akışının değişimine sebebiyet verir ve sonuçta partikül hızı azalır[40].



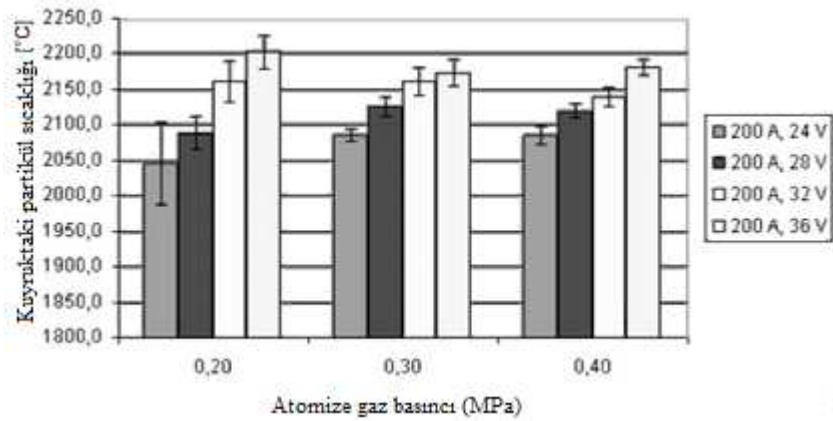
Şekil 4.26. Atomize gaz basıncı ile partikül hızları arasındaki ilişki[40]

Yüksek ark seviyelerinde uzun ark ile sıcaklık artar ve ergime havuzunda vizkozite düşer. Yüksek volaj seviyelerinde partikül hızı hemen hemen sabit kalmıştır.

Yüksek püskürtme voltajıyla uzun arklar oluşacak, bu nedenle de ergime havuzunun sıcaklığı artacaktır. Partikül sıcaklığı yüksek voltajda yüksek, düşük voltajda ise düşüktür. Şekil 4.27.'de bu etki görülebilir. Yine farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi Şekil 4.28'de verilmiştir.



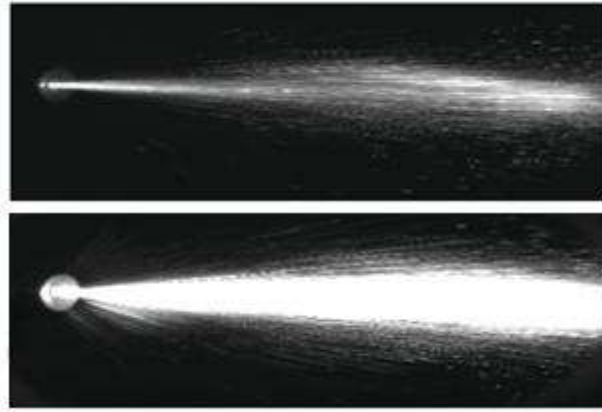
Şekil 4.27. Farklı voltajlarda ve akımda partikül sıcaklığı değişimi[40]



Şekil 4.28. Farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi[40]

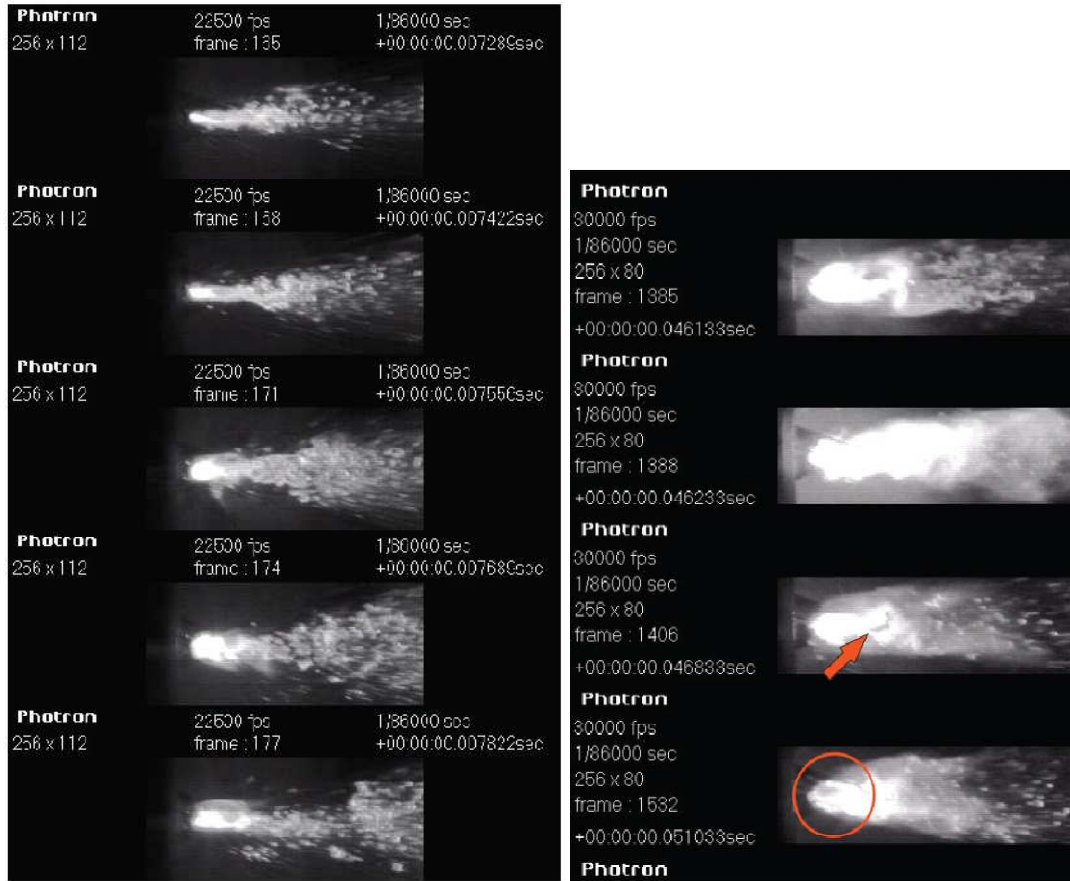
Artan akımla püskürtme genişliği çok artmıştır. Bu ergime miktarının ve tel boşalmasındaki ergime viskozitesinin etkisidir. Atomize gaz basıncı 0,2-0,4 MPa aralığında püskürtme dumanının merkezi farklılaşmıştır. Yüksek voltaj seviyelerinde gaz basıncının önemli bir etkisi olmamıştır, fakat düşük seviyelerde etkisi dikkate alınmalıdır.

Duman boyutunun etkisi (Şekil 4.29.) küçük veya büyük alanlardaki uygulamalarda önemli bir etkiye sahiptir.



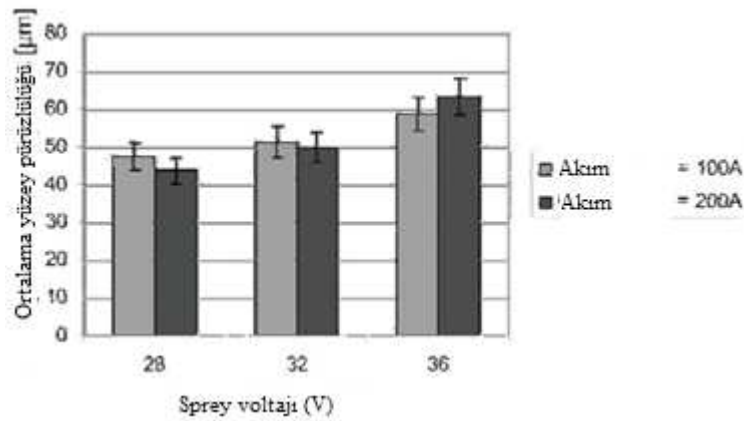
Şekil 4.29. Üst taraf 100 A, alt taraf 200 A (24 V ve 0,2 MPa her ikisinde)[40]

Şekil 4.30'da tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi görülüyor. Sebebi yüksek akımda ve düşük voltaj seviyelerinde ergitmenin olmasıdır. Yüksek akımda ve düşük voltajda yüksek ergitme meydana gelecek ve akışkanda karışıklık meydana getirecektir. Yüksek ergitme miktarı ilkönce arkın önünde olacaktır. Bu nedenle de daha sonra dalgalanma püskürtme başına doğru geri gelecektir. Yüksek voltaj seviyelerinde uzun ark oluşacak (Şekil 4.30.) ve sıcaklıkla ergitme viskozitesi azalacaktır. Bununla beraber arkın hareketi tam olarak gözlenemiyor. Ark voltajının artmasıyla sabit bir oluşum yakalanıyor. Ayrıca küçük partiküllerin oluşumu sağlanmış oluyor[40].



Şekil 4.30. Tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi[40]

Sprey voltajı arttıkça pürüzlülükte artmıştır (Şekil 4.31). Voltaj 28-36 V'ta pürüzlülük %12 artmıştır. Sadece yüksek voltajda, düşük akımda daha düşük porozite çıkmış, diğerlerinde akım artışıyla pürüzlülük düşmüştür.

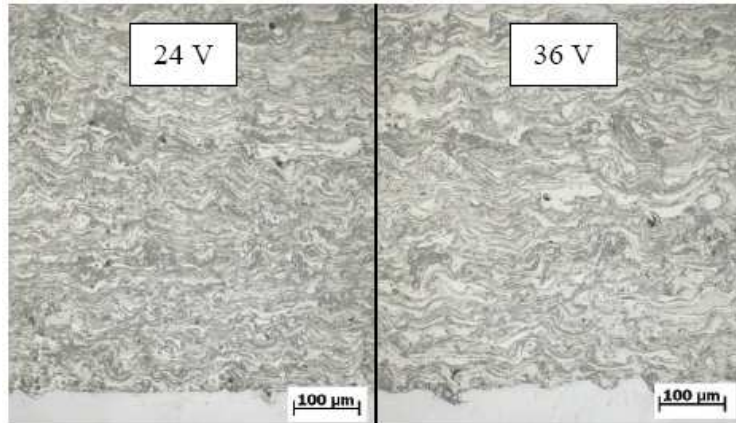


Şekil 4.31. Voltajın pürüzlülük ile ilişkisi[40]

Düşük voltaj ark sıcaklığını düşürecektir. Düşük voltajda artan akım ile ergime sıcaklığı azalır. Sebebi yüksek akımda, yüksek tel besleme hızıdır. Ergiyen tel artacak, kısa arkta partikül sıcaklıkları azalacaktır. Sadece küçük partiküller düşük vizkoziteyle hızlanıp yüzeye saçılacaktır.

Yüksek ark enerjisi ergitme için yeterli seviyelerdedir. Büyük partiküller yüksek bir vizkozite gösterir. Bu partiküller diğerlerine nazaran kısmen atomize olurlar ve bu şekilde yüzeye yapışma gösterirler. Düşük voltaja nazaran daha büyük yapışma mukavemeti gösterir.

Şekil 4.32’de düşük poroziteli mükemmel yapışmış partiküller görülmektedir. Partikül boyutları voltaja bağlıdır. Düşük voltajda yuvarlak partiküller üretilmiştir[40].



Şekil 4.32. Elektrik ark püskürtme ile 200 A ve 0,4 MPa’da üretilen kaplama mikroyapıları[40]

4.7. Altlık Sıcaklığının Etkisi

Termal spreyci kaplamalarda kaplanacak altlık malzemenin belli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Çünkü sıcaklık uygulama sırasında ve sonrasında kaplamanın özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Elektrik ark püskürtmede kaplama partikülleri ark ile ergitilip yüzeye gönderilir. Sonuçta partiküller altlık yüzeye giderken belli bir ısıya sahip olarak gideceklerdir. Yüzeye ulaşır hızla çarpan

partiküller hem deforme olup saçılacaklar, hem de içlerindeki ısıyı çok hızlı bir şekilde altlık malzemeye ileteceklerdir. Bu sebeple kaplama altlığının çok soğuk olması kaplama-altlık arasında bir termal gerilme yaratabilir[41].

Bunu engellemek için termal sprej ile kaplama yapılacak malzemeler teorik olarak yaklaşık 200°C' ye ısıtılır. Yapılan bu tavlama işlemi altlık malzemenin hem kaplama sırasında hem de kaplama sonrasında termal gerilime uğramasını engellemek için yapılmakla beraber, ayrıca parça içerisindeki yağ, kir ve diğer istenmeyen yapıların uzaklaştırılması için yapılmaktadır. Tabii ki tavlama yapılan parçanın ergime sıcaklığının bu sıcaklıklara yakın olmaması mutlaka dikkate alınmalıdır. Aksi durumlarda parçada çatlama, burulma veya yamulma meydana gelebilir[41].

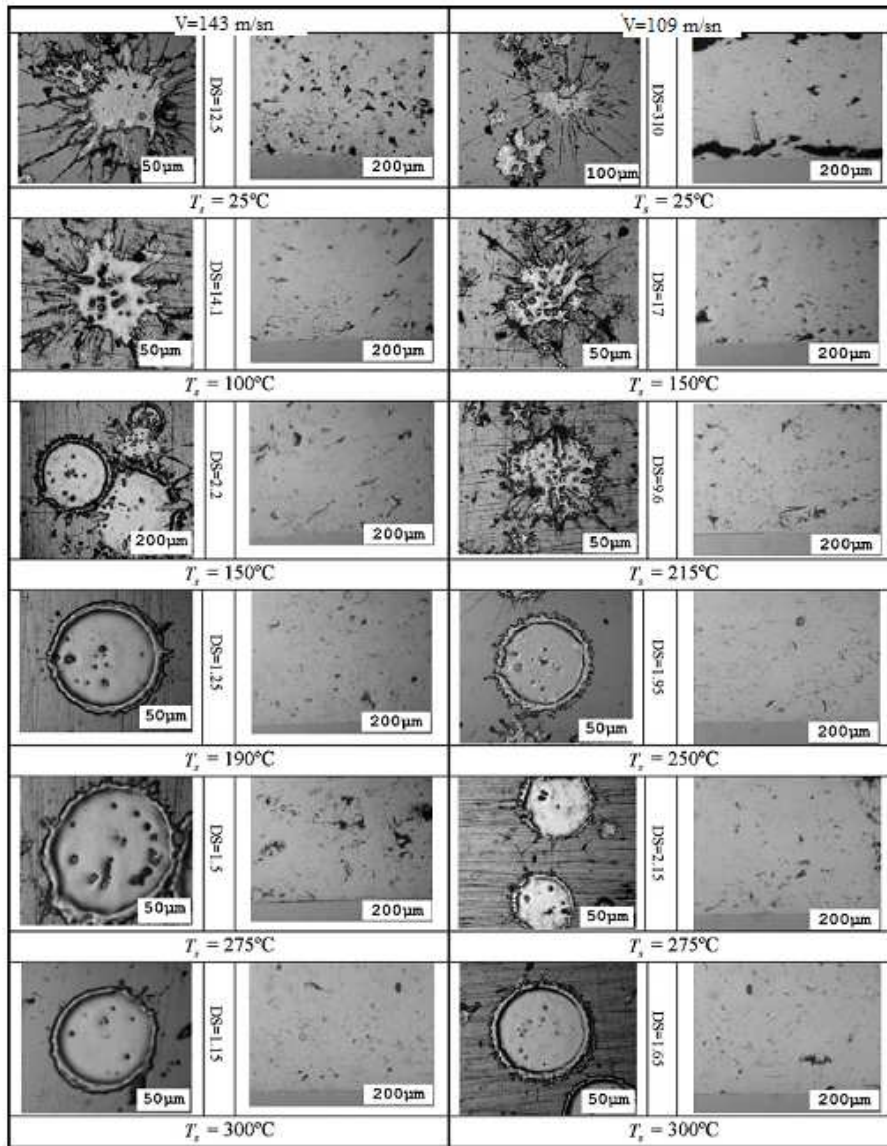
Altlık sıcaklığındaki değişim partiküllerin yüzeye çarptığındaki soğuma hızını ve yapışma mukavemetini değiştirecektir. Ayrıca splatların görünüşü ve katılma şeklide değişime uğrayacaktır.

Yapılan bir çalışmada[41] elektrik ark püskürtme ile farklı sıcaklıklarda ısıtılan (25–450°C) paslanmaz çelik altlık üzerine, farklı püskürtme hızlarda (109–143m/sn) yapılan Al kaplamanın özellikleri incelenmiştir.

Şekil 4.33'de 25 – 300 °C sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın splat formasyonları görülebilir. Yüzey sıcaklığı 100 °C olan splatlar büyük derecede saçılma uğramıştır. Splatların merkezden dışarıya doğru parmak uzantılar şeklinde yapı meydana getirdiği görülebilir. Şekle göre katılma damlanın çevresinde başlamıştır. Splat merkezi ile uzantılar arasındaki boşluklar kaplama içerisindeki porozları meydana getirirler. 25 °C'de de büyük boşluk ve porozlar görülebilir. Düşük yapışma hızlarında boşluklar daha fazladır. Özellikle bu boşluklar altlık-kaplama ara yüzeyinde görülür. Yapışma hızı arttıkça porozların azaldığı görülebilir. Yüksek hızda sıcaklık 100 °C'ye yakınken yuvarlaklaşma ve parmaklaşma azaldığı, hatta yok olduğu görülebilir.

Tam geçiş sıcaklığı 143 m/sn püskürtme hızında $100^{\circ}\text{C} < T_s < 250^{\circ}\text{C}$, düşük püskürtme hızında ise (109 m/sn) $215^{\circ}\text{C} < T_s < 250^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür. Altlık sıcaklığı yükseldiğinde boşluk sayısı azalmış, yoğunluk artmıştır.

Bütün kaplamalarda %5'ten daha az porozite olduğu görülmüştür. Düşük basınçlarda kaplama-altlık ara yüzeyde sık sık boşluk görülmüştür. $T_s > 100^{\circ}\text{C}$ olduğunda bu sayı önemli ölçüde azalmıştır ve bu durum 200°C 'ye kadar devam etmiştir. Fakat 200°C 'den sonra tersi bir etki söz konusu olmuştur ve poroz yapı artmıştır[41].

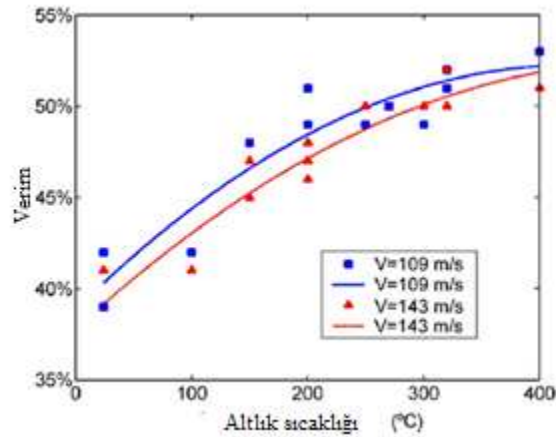


Şekil 4.33. 25 – 300 °C sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın splat formasyonları[41]

500 gr yükü yapılan mikro sertlik testlerinde 109 m/sn hızda ortalama $51,2 \pm 4,2$, 143 m/sn hızda ise ortalama $52,1 \pm 4$ vikers sertlik değeri bulunmuştur.

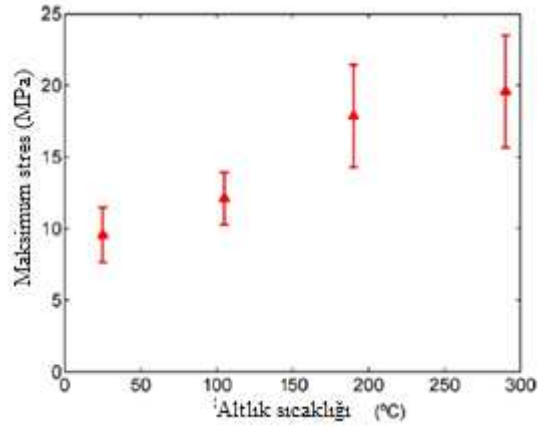
Kaplamanın yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde sıcaklık ve hızın pürüzlüğe etki etmediği görülmüştür ($R_a = 15 \pm 2 \mu\text{m}$).

Birikme verimi altlık sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. Şekil 4.34., birikme veriminin kuponların kaplama öncesi ve sonrası ağırlığını farklı sıcaklıklarda vermiştir. Oda sıcaklığında verim en düşük oranındadır (% 40). Altlık sıcaklığının artmasıyla (max %52 T 300 °C) verim yükselmiştir.



Şekil 4.34. Altlık sıcaklığı ile % verim ilişkisi[41]

Şekil 4.35’de değişik yüzey sıcaklıklarında, 143 m/sn hızda üretilen kaplamaların yapışma mukavemetini vermektedir. Oda sıcaklığındaki kaplamalarda ortalama 9,5 MPa ve 100 °C’de 12,1 MPa olarak artış göstermiştir. 200 °C’de ise yapışma mukavemeti %86 (17,9 MPa) artmıştır.



Şekil 4.35. Altık sıcaklığı ile yapışma mukavemeti ilişkisi[41]

Yapılan araştırmada görüldüğü gibi altık sıcaklığı ark püskürtmede her ne kadar pürüzlük ve sertliği çok fazla etkilemese de yapışma mukavemeti ve yoğunluk açısından önemli bir parametredir. Kaliteli bir kaplama yapısı için altığın belli bir sıcaklığa kadar yükseltip tavlınması, uzun ömürlü-yoğun bir kaplama elde edilmesini sağlayacak ve parça kullanımının ömrünü uzatacaktır[41].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deneyin Amacı

Deneyin amacı östenitik paslanmaz çelik teli farklı işlem parametreleri ve gazları kullanarak kaplamalar üretmek ve bunların kaplama kalitesi üzerine etkisini araştırmaktır. Bu sayede paslanmaz çelik tel için optimum kaplama parametreleri belirlenmiş olacaktır.

Bu amaç doğrultusunda paslanmaz çelik tel kullanarak değişik parametrelerde kaplamalar üretilmiş ve üretilen kaplamaları karakterize etmek için genel olarak aşağıdaki çalışmalar yapılmış ve konuyla ilgili sonuçlar elde edilerek, kaplama özellikleri analiz edilmiştir.

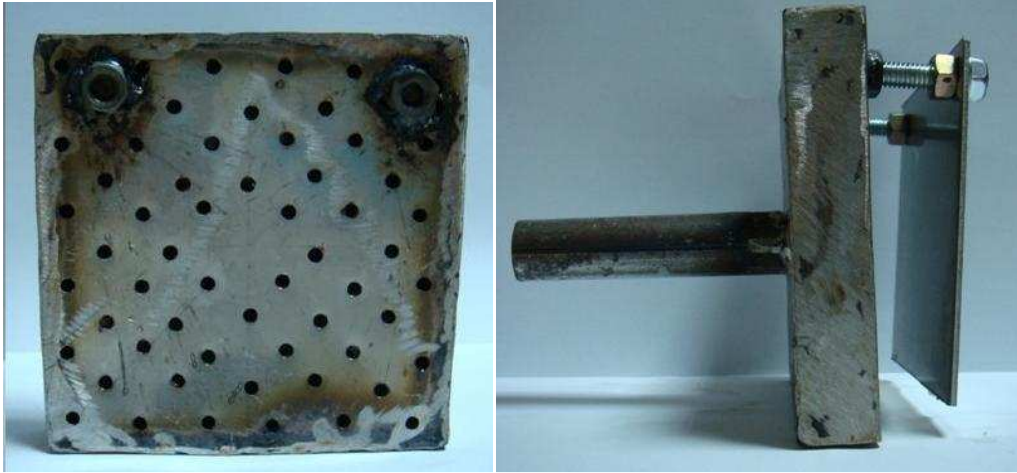
- Metalografik çalışma (hassas kesme, bakalite alma, zımpara ve parlatma vb.)
- Optik mikroskop incelemesi
- İmage analiz (porozite ve oksit oran tayini)
- Mikrosertlik (Hv)
- Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

5.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

5.2.1. Altlık malzemesi

Uygulamalarda altlık malzemesi olarak 3mm kalınlığında St 37 çelik sac kullanılmıştır. 12x12 cm boyutlarındaki altlıklar özel hazırladığımız hava soğutmalı numune tutucusuna civata ile tutturulmuştur. Özel hazırladığımız numune tutucusunu tasarlarken ön taraftaki ufak deliklerden numunenin arka tarafına basınçlı hava

üflemesi ve bu basınçlı havanın numuneyi soğutması düşülmüştür. Bu şekilde numune yüzeyine gelen ergimiş partiküllerin numuneyi aşırı ısıtması engellenmiş olmaktadır. Numunenin aşırı ısınması sonucunda meydana gelen kaplamanın kalkması sorununun önüne geçilmiştir. Numunelerin hazırlama işleminden sonra ise kaplama işlemi manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numune tutucusu Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Kaplamaların yapıldığı numune tutucusu

5.2.2.Kaplama teli

Kaplama üretimi 1.6 mm çapında östenitik paslanmaz çelik tel ile yapılmıştır. Telin kimyasal bileşimi Tablo 5.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Çalışmada kullanılan paslanmaz çelik telin kimyasal bileşimi[42]

Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P+S
67.09	0.025	0.85	1.7	10	20	0.30	0.035

Endüstride bu telin genel uygulamaları korozyondan korumaya yönelik ve parçaların tamiri amaçlıdır.

5.3. İncelenen Özellikler

- Kaplama kalınlığı

- Kaplama sertliği
- Mikroyapı incelemesi
- Porozite ve oksit miktarı

5.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar

- Kumlama cihazı
- Elektrik ark spreyci cihazı
- Kesme makinesi
- Bakalite alma cihazı
- Otomatik Parlatma cihazı
- Optik mikroskop ve image analiz sistemi
- Mikro sertlik cihazı
- Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

5.4.1. Kumlama cihazı

Numunelerin kumlanma işleminde Sapi marka basınçlı kumlama cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.2’de kullanılan kumlama cihazı görölmektedir.



Şekil 5.2. Kumlama cihazı

5.4.2. Elektrik ark sprej cihazı

Kaplama uygulamaları Sulzer Metco Smart Arc elektrik ark sprej cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3' de ark sprej cihazı görülmektedir.



Şekil 5.3. Elektrik ark püskürtme cihazı

5.4.3. Kesme makinesi

Yapılan kaplamalar Struers Labotom 3 marka cihaz ile hassas olarak kesilmiştir.

5.4.4. Bakalite alma cihazı

Numunelerin bakalite alma işlemi Struers Citopress-10 marka bakalite alma cihazı ile yapılmıştır.

5.4.5. Otomatik parlatma cihazı

Bakalite alınan kaplanmış numuneler Struers Tegrapol-21 marka otomatik parlatma cihazı ile zımparalanıp daha sonra parlatılmıştır.

5.4.6. Optik mikroskop

Kaplamaların metalografik incelemesi image analiz sistemine sahip Zeiss AX10 marka optik mikroskop cihazı ile yapılmıştır. Kullanılan optik mikroskop cihazı Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Optik mikroskop resmi

5.4.7. Mikrosertlik cihazı

Yapılan kaplamaların sertlikleri Struers Duramin A300 marka mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür. Metalografik olarak hazırlanmış numunelere her kaplama numunesine 300 gram yükü 15 saniye uygulayarak 10 farklı sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerden en büyük ve en küçük değerler çıkarıldıktan sonra kalan 8 değer aritmetik ortalaması alınarak kaplamanın sertlik değeri belirlenmiştir. Mikro sertlik cihazı Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Mikrosertlik cihazı

5.4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM çalışmaları JEOL JSM 6060LV marka 30 kV'lık cihaz ile yapılmıştır. Üretilen bazı kaplama numunelerine optik mikroskopta çekilen mikroyapıları desteklemek için SEM cihazı ile mikroyapı resimleri çekilmiş ve EDS analizi yapılmıştır.

5.5. Kaplamaların Üretilmesi

5.5.1. Altlık yüzeyinin hazırlanması

Altlık malzemesinin yüzeyinin hazırlanması kaplamanın yapışmasında önemli rol oynamaktadır. Bu sebepten dolayı altlık malzemelerinin yüzeylerinin hazırlanması titizlik ve itina gerektiren bir iştir. Öncelikle malzeme yüzeyindeki yağ, pas ve kirin giderilmesi için altlıklar alkol ve aseton kullanarak silinmiştir. Kumlama işlemi 30–36 gritlik alümina kullanılarak yapılmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğü kumlama tabancasının, numune yüzeyine 90°'lik bir açı ile tutulmasıyla elde edilir. Yüzeyine alümina aşındırıcı kumları basınçla püskürtülerek altlık yüzeyi pürüzlü hale getirilmiştir. Termal spreycaplamalarda yapışma mekanik şekilde gerçekleştiği için kaplanacak yüzeyin tamamının kumlanmış olmasına özen gösterilmiştir.

5.5.2. Kaplama uygulaması

Kaplanacak numuneler özel olarak hazırlanmış olduğumuz numune tutucusuna cıvatalar yardımı ile sabitlenmiş daha sonra ise kumlanmıştır. Kumlama işleminden sonra numune tutucusu mengeneyle sıkıştırılarak sabit durması sağlanmıştır.

Kaplama işlemleri, manuel olarak ve her kaplama parametresi için toplam 20 paso şeklinde yapılmıştır. Kaplamaların üretiminin manuel olması tabaka kalınlığının homojen olamamasına neden olmuştur. Uygulamalarda altlık malzemelerinin sıcaklıkları kontrol edilerek, sıcaklığın 150°C'yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Bunu sağlamak için altlık kaplama sırasında numune tutucusu sayesinde arka tarafından devamlı olarak hava ile soğutulmuştur. Bu soğutmanın yetersiz kalması nedeni ile kaplama 5 paso yapıldıktan sonra yüzeyinden hava jeti ile soğutulmuş ve

soğuma sağlandığında tekrar 5 paso kaplama yapılarak kaplama işlemine devam edilmiştir. Bu işlem 20 paso oluncaya dört kez tekrarlanarak kaplamalar üretilmiştir. Şekil 5.6’ da kaplama uygulaması görülmektedir. Kaplamaların üretilmesinde seçilen parametreler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Paslanmaz çelik tel için seçilen kaplama parametreleri

Özellikler	Parametreler
Akım (amper)	200 – 350 A
Ark Voltaj (volt)	28 – 32 V
Püskürtme Mesafesi	14 cm
Atomize Gaz Basıncı	2.4 – 4 bar



Şekil 5.6. Kaplamanın manuel uygulanması

Kaplama parametrelerine bağlı kalarak farklı koşullarda test numuneleri üretilmiştir. Kaplamalar aşağıdaki özellikler dikkate alınarak incelenmiştir;

- Amper/voltaj değişiminin
- Atomize gaz basıncı değişiminin
- Değişik tipte nozul kullanımının
- Atomize gaz basıncı olarak farklı gaz türü kullanımının kaplama özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

5.6. Amper/voltaj Değişiminin Etkisi

Elektrik ark püskürtme sisteminde amper/voltaj değişimleri cihaz üzerindeki kontrol panosundan ayarlanmış ve kaplama özelliklerine etkisi incelenmiştir. İki farklı (2,4 – 4 bar) atomize gaz basıncı kullanılarak üretilen kaplamaların amper değişimleri Tablo 5.3’te verilmiştir;

Tablo 5.3. Elektrik ark püskürtme sistemiyle paslanmaz çelik teli 2,4 bar ve 4 bar atomize gaz basıncında uygulanan amper/voltaj değişim parametreleri

Nozul Tipi	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaplama Mesafesi (cm)	Atomize Gaz Cinsi
Fine	200	28	14	Hava
	250	29		
	300	30		
	350	32		

5.7. Atomize Gaz Basıncı Değişimi

Elektrik ark püskürtme sisteminde iki farklı atomize gaz basıncı cihaz üzerinde uygulanmış ve kaplama özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İki farklı basınç altında amper/voltaj değişimiyle etkisi de incelenen kaplamaların uygulama parametreleri tablo 5.4’ de verilmiştir;

Tablo 5.4. Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri

Nozul Tipi	Amper (A)	Voltaj (V)	Atomize Gaz Basıncı (bar)	Kaplama Mesafesi (cm)	Atomize Gaz Cinsi
Fine	200	28	2,4	14	Hava
	200	28	4		
	250	29	2,4		
	250	29	4		
	300	30	2,4		
			4		
	350	32	2,4		
			4		

5.8. Atomize Gaz Cinsinin Değişimi

Elektrik ark sprej sisteminde hava ve argon olmak üzere iki farklı atomize gaz cinsi kullanılmıştır. Bu gazlar ile 14 cm kaplama mesafesinden 2,4 - 4 bar basınçta kaplamalar üretilmiş ve gazların kaplama özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen kaplamaların uygulama parametreleri Tablo 5.5’de verilmiştir;

Tablo5.5. Elektrik ark püskürtme sistemiyle atomize gaz cinsi değiştirilerek farklı amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri

Nozul Tipi	Amper (A)	Voltaj (V)	Atomize Gaz Basıncı (bar)	Kaplama Mesafesi (cm)	Atomize Gaz Cinsi
Fine	250	29	2,4	14	Hava
					Argon
			4		Hava
					Argon

Ayrıca Focus nozulda ikincil gaz olarak mix gazı (Ar-%5H) kullanılarak iki farklı (hava ve argon) atomize gaz ile üretilmiş kaplamaların özellikleri incelenmiştir. Üretilen kaplamalara ilişkin parametreler Tablo5.6’ da görülmektedir.

Tablo 5.6. Mix gazın ikincil gaz olarak kullanılarak üretilen kaplamaların sistem parametreleri

Nozul Tipi	Amper (A)	Voltaj (V)	Atomize Gaz Basıncı (bar)	İkincil Gaz Basıncı (bar)	Kaplama mesafesi (cm)	Atomize Gaz Cinsi
Focus	200	28	2,4	1,7	14	Hava
						Argon

5.9. Nozul Değişiminin Etkisi

Elektrik ark püskürtme sisteminde farklı nozul tipleri kullanarak kaplamalar üretilmiş ve üretilen kaplamaların özellikleri incelenmiştir. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da nozul tipleri görülmektedir. Üretilen kaplamalara ilişkin parametreler Tablo 5.7'da verilmiştir;



Şekil 5.7. FAN nozulunun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.8. FOCUS nozulunun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.9. Fine nozulun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.10. HV nozulun önden ve yandan görünüşü.

Tablo 5.7. Elektrik ark püskürtmede değişik nozul tiplerine uygulanan operasyon parametreleri

Nozul Tipi	Amper (A)	Voltaj (V)	Atomize Gaz Basıncı (bar)	İkincil Gaz Basıncı (bar)	Kaplama Mesafesi (cm)	Atomize Gaz Cinsi
Hv	200	28	2,4	-	14	Hava
Fan				1,7		
Focus						

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

6.1. Giriş

Kaplamış olduğumuz deney numunelerine metalografik numune hazırlama işlemleri yapıp daha sonra mikroyapı incelemeleri yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Parametre etkilerinin incelenebilmesi için değişik parametrelerde üretilen kaplamaların mikroyapı resimleri çekilmiş, çekilen mikroyapı resimleri üzerinden kaplamanın içerdiği oksit ve porozitenin yüzde oranını tespit etmek için image analiz yapılmıştır. İmage analizlerden en doğru sonucu almak için dört farklı bölgeden mikroyapı resmi çekilerek analiz yapılmış ve daha sonrasında bunların aritmetik ortalaması alınmıştır.

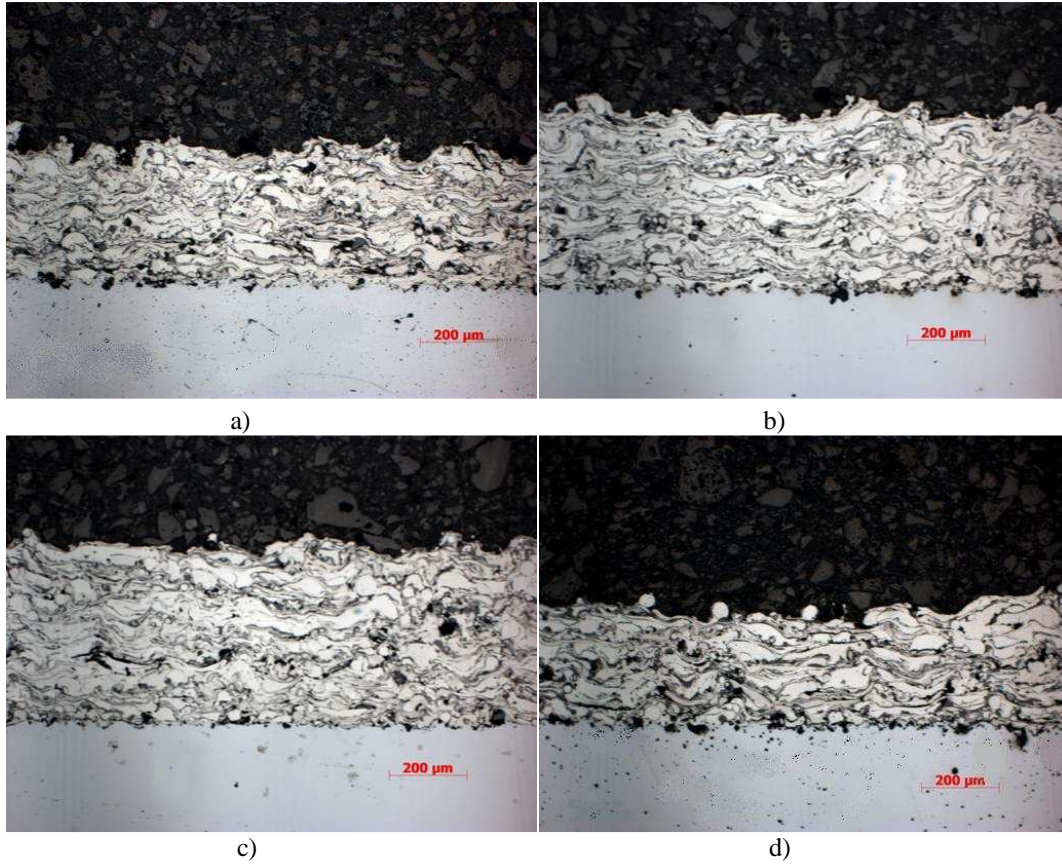
6.2. Amper/Voltaj Değişimlerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi

2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncı ve dört farklı amper/voltaj değeri kullanılarak üretilen kaplamaların bu değişimlere bağlı olarak özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Değişen atomize gaz basıncı ve/veya amper değerinin kaplama kalitesi üzerine etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Kaplama kalitesini anlamaya yönelik alınan mikro sertlik, porozite ve oksit sonuçları Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Elektrik ark spray sistemi ile iki farklı atomize gaz basıncında ve dört farklı amper/voltaj değişimiyle üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikro sertlik, porozite ve oksit içeriği değerleri

Nozul Cinsi	Amper (A) / Voltaj (V)	Basıncı (bar)	Sertlik (Hv)	Porozite (%)	Oksit (%)	Atomize Gaz Cinsi
Fine	200 / 28	2,4	264,8	3,8	17,4	Hava
	250 / 29		260,5	3,9	17,8	
	300 / 30		275,8	4,3	18,3	
	350 / 32		281,8	5,6	19,3	
	200 / 28	4	346	2,4	27,5	
	250 / 29		374	1,9	28,6	
	300 / 30		376,8	1,7	29	
	350 / 32		380	2,1	31,2	

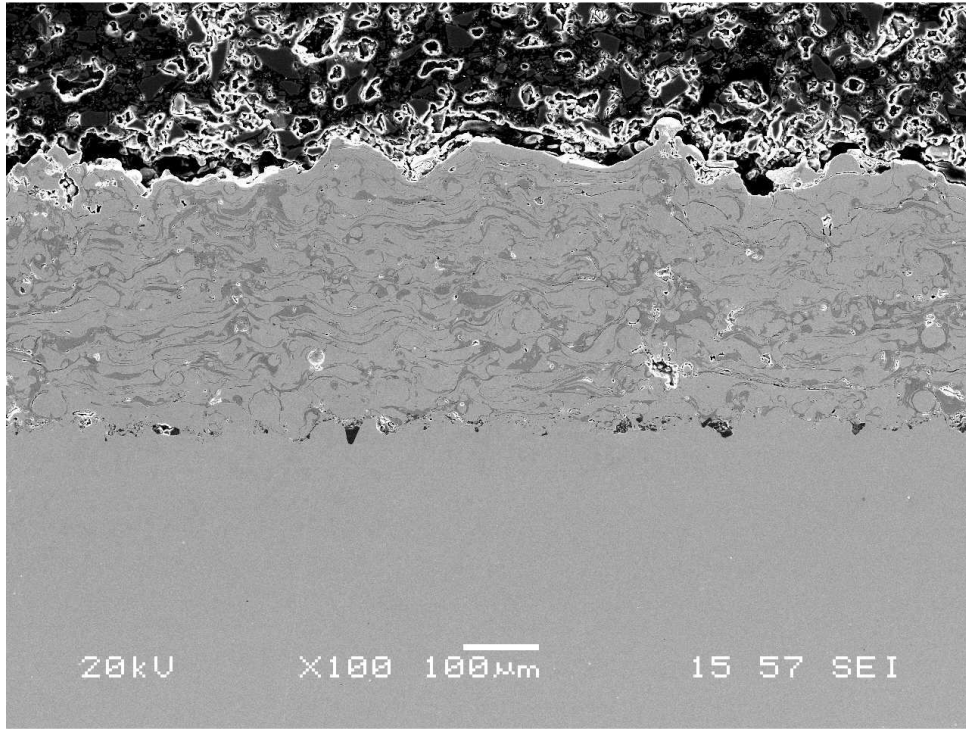
Farklı parametrelerde üretilen kaplamaların mikro yapıları Şekil 6.1.'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Elektrik ark spray sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm spray mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A

Şekil 6.1’deki mikroyapılar incelendiğinde kaplama yapısı amper ve voltajın artması ile daha iyi bir oluşum sergilemiştir. Artan enerjiyle birlikte ark içersindeki sıcaklık artacaktır. Böylece partikül sıcaklığı artacak ve altlığa çarpan partiküller daha iyi bir yayılım gösterecektir. Bu sebeple amper ve voltajın artması ile daha homojen bir yapı elde edilmiştir. Kaplama işleminin manuel yapılması nedeniyle amperin artması ile tel besleme hızının artması ve bunun neticesinde kaplama kalınlığının artması kısmen gözlenebilmektedir. Kaplama mikroyapılarında lamellerin boyutlarının homojen yapı göstermediği görülmektedir. Bunun nedeninin de yine manuel kaplama olduğu söylenebilir. Tabancanın hüzmelerinin her noktada, eşit sürede ve aynı açıda durmaması mikroyapıda düzensizliklere neden olabilmektedir. 350 A değerinde üretilen kaplamada yüksek enerjiden dolayı ark enerjisindeki dalgalanmalar neticesinde üretilen partiküllerde düzensizliğe yol açmış ve kaplama yapısının daha kötü oluşmasına neden olmuştur.

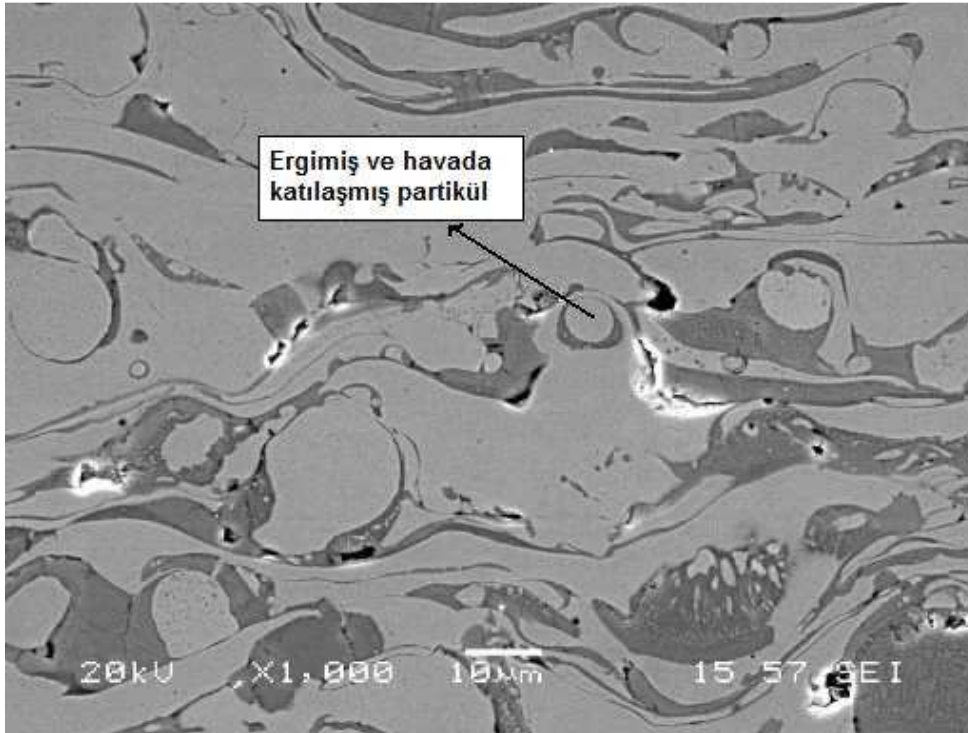
200 A 2,4 bar atomize gaz basıncı ile üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü Şekil 6.2’ de görülebilir.



Şekil 6.2. 200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü

Şekil 6.2' deki SEM görüntüsü incelendiğinde kalınlık genel itibari ile homojenlik göstermektedir. İncelenen görüntüde splatlar arası ayrılma gözlenmemektedir. Bu da kaplamanın iyi olduğunun göstergesidir. Ara yüzeydeki yapışmanın da iyi olduğu ve görüntü itibari ile düşük porozite miktarına sahip olduğu görülmektedir.

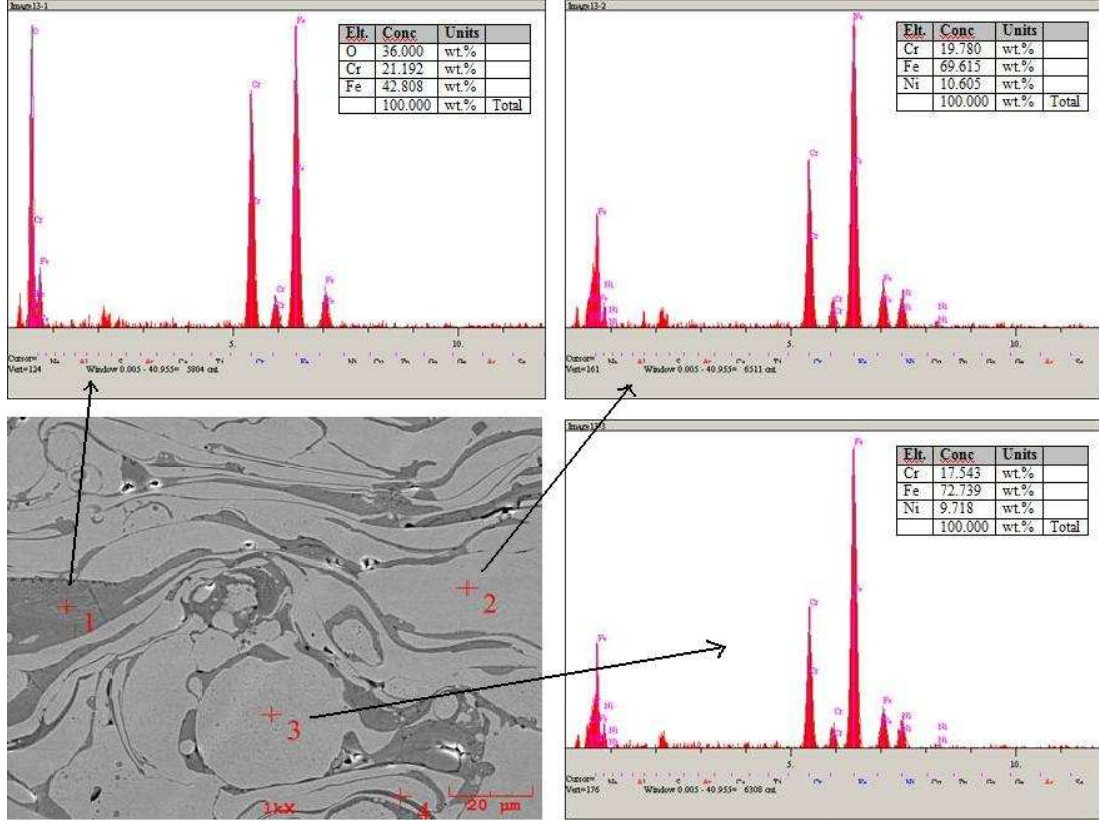
200 A 2,4 bar atomize gaz basıncı ile üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü Şekil 6.3' de görülebilir.



Şekil 6.3. 200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü

Şekil 6.3' te kaplamanın detay görüntüsüne yer verilmiştir. Mikroyapı da açık gri alanlar paslanmaz çelik, koyu gri alanlar ise oksittir. Az miktarda ergimiş ve altlığa ulaşmadan katlaşmış partiküller görülmektedir. Bu yapıların azlığı ergimenin iyi olduğunu söylenebilir. Bazı bölgelerde ise oksite çarpan partiküllerin oksitleri parçaladığı ve içerisine yerleştiği görülmektedir. Mikroyapı da oluşan porozitelerin genelde bir önceki splatın yarattığı gölgelendirme sonucu oluştuğu söylenebilir. Bunun nedeni ise kaplama sırasında spray açısının sabit tutulamamasıdır.

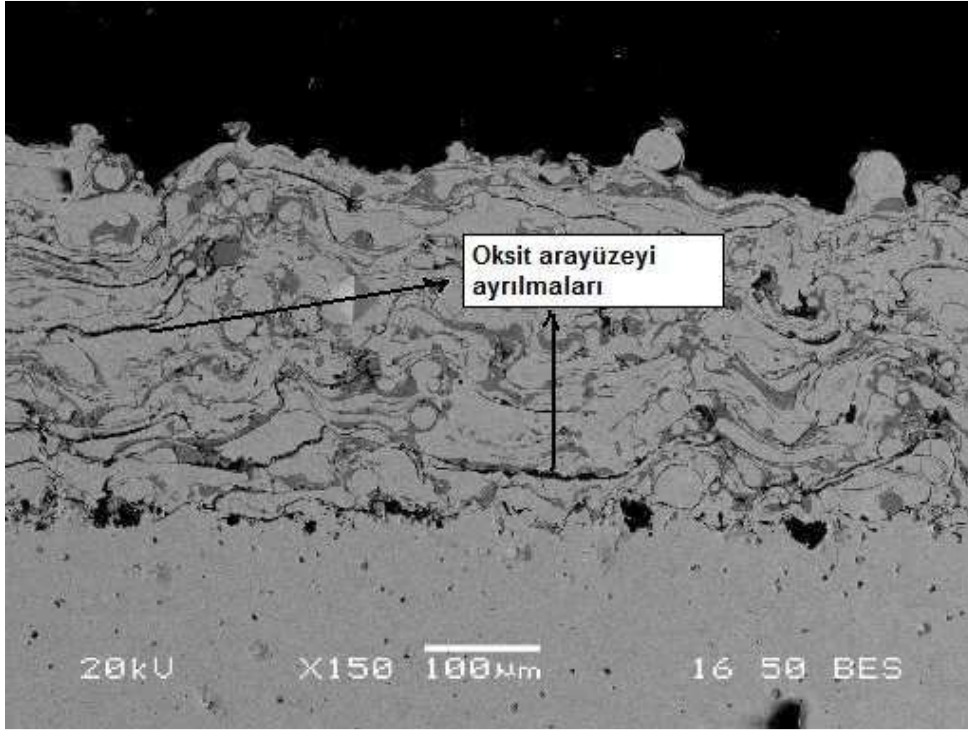
200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları Şekil 6.4' te verilmiştir.



Şekil 6.4. 200A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları

1 nolu bölgeden alınan analizde oksijen çıkması koyu gri alanların oksit olduğunu kanıtlamaktadır. 2 nolu bölgeden alınan analizde oksit çıkmamış ve paslanmaz çeliğin bileşimine yakın değerler vermektedir. 3 nolu bölgeden alınan analiz ergimiş havada katılmış partiküle örnektir ve bu partikül bize kullanılan telin en yakın bileşimini vermektedir. 2 ve 3 nolu bölgedeki değerlerin birbirine yakın çıkması açık gri alanların paslanmaz çelik olduğunu kanıtlamaktadır.

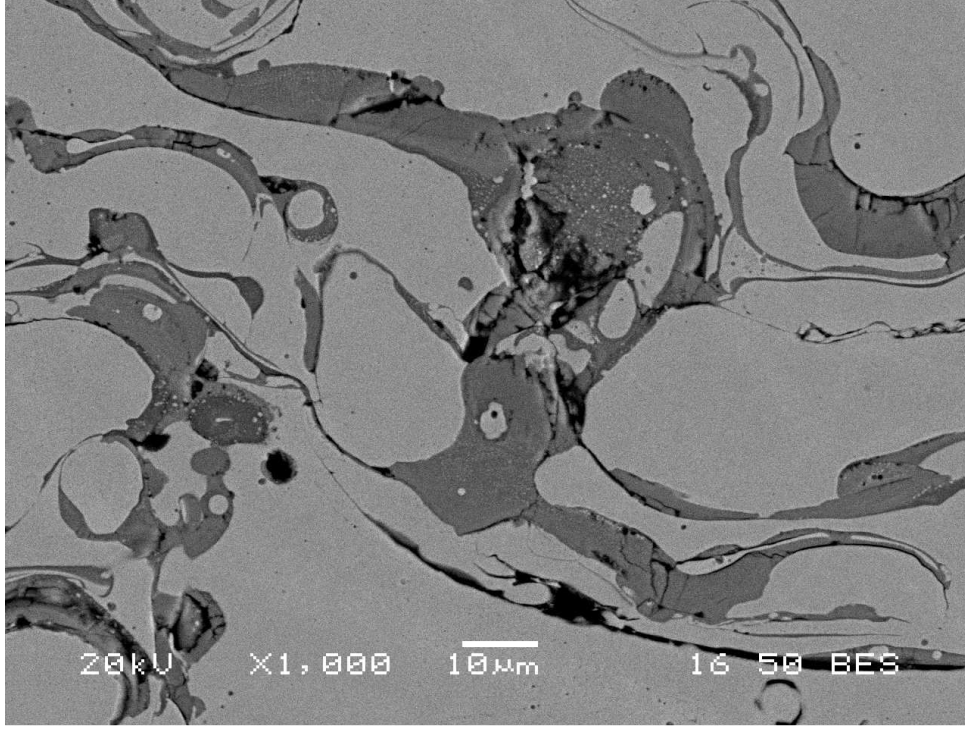
350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü Şekil 6.5' te görülebilir.



Şekil 6.5. 350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü

Yüksek ergitme enerjisinde ergimiş havada katılaşmış partiküllerin ufaklığı ve çokluğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni arkta meydana gelen dalgalanmalardan kaynaklanmaktadır. Oksitlerin gevrek olmasından dolayı oksit ara yüzeylerinde ayrılımlar gözlenmektedir. Genel olarak homojen bir kaplama kalınlığına sahip olduğunu ve kaplamanın altlığa iyi yapıştığını söylemek mümkündür.

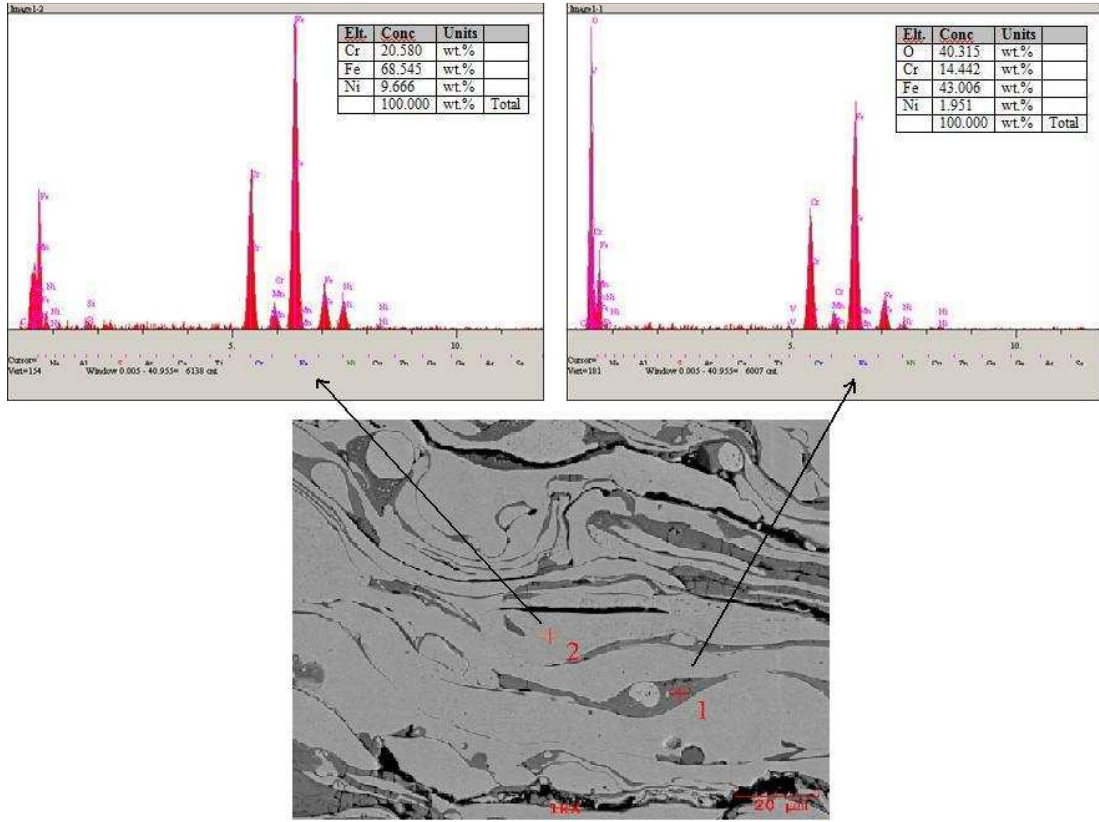
350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü Şekil 6.6' da görülebilir.



Şekil 6.6. 350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü

Şekil 6.6' da oksitler arası ayrılma daha detaylı bir şekilde görülmektedir.

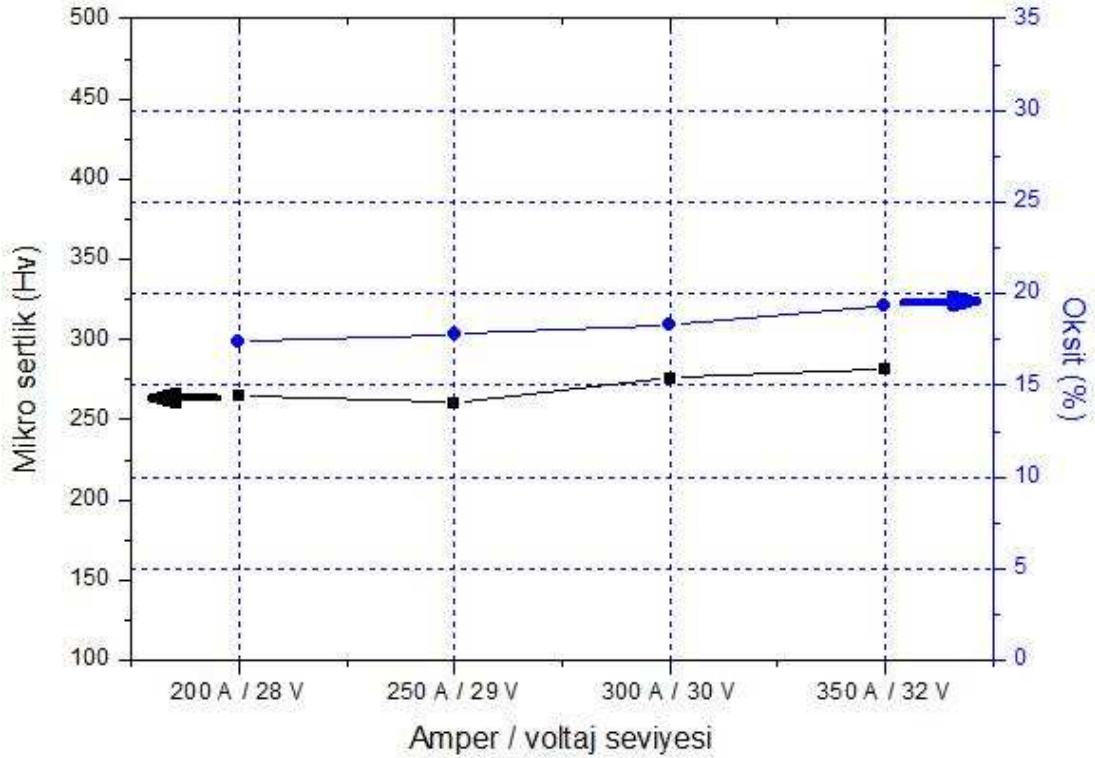
350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları Şekil 6.7 de görülmektedir.



Şekil 6.7. 350A 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları

Şekil 6.7’ de verilen EDS grafiklerinde koyu gri alanların oksit, açık gri alanların ise paslanmaz çelik olduğu belirlenmiştir.

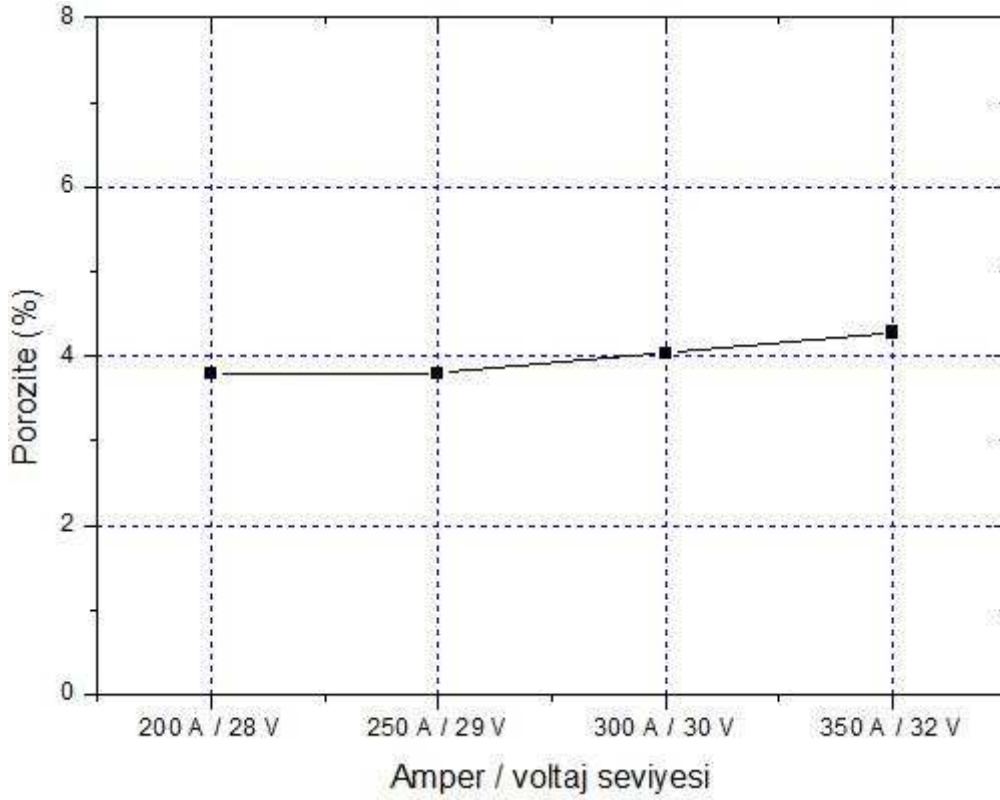
Şekil 6.8’ de 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik ve oksit üzerine etkisini göstermektedir.



Şekil 6.8. Elektrik ark spray sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm spray mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi

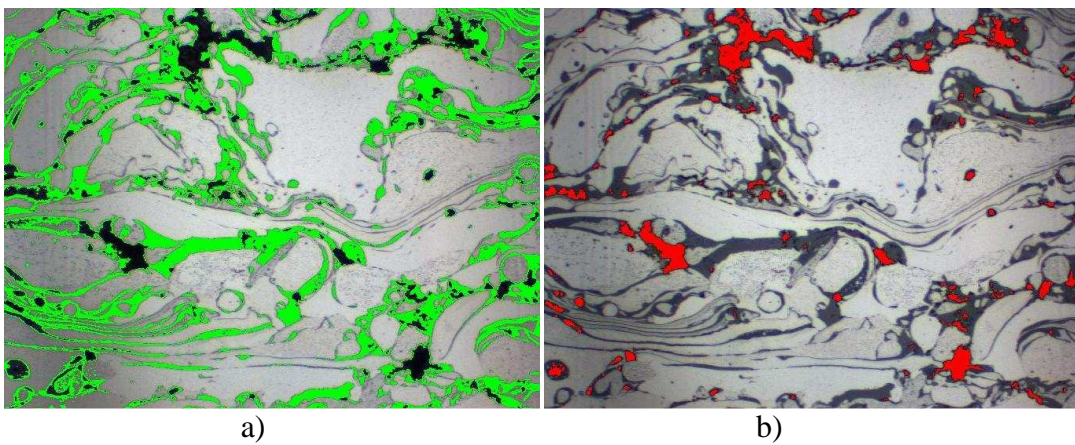
Şekil 6.8 incelendiğinde amper değişimi ile mikro sertlikte önemli bir değişim meydana gelmediği görülmektedir. Bunun nedeni kaplamaların oksit oranlarında birbirlerine yakın çıkması gösterilebilir. Şekil 6.8' deki grafikler birbirlerine paralel ilerlemektedir. Amper değeri arttıkça oksit miktarında bir miktar artış meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni, artan ark enerjisi ile partiküllere yüklenen ısı enerjisi artmakta ve partiküller daha çabuk oksitlenmektedir.

Şekil 6.9'da 2,4 bar basınçta üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper/voltaj değişiminin % porozite miktarlarını göstermektedir.



Şekil 6.9. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi

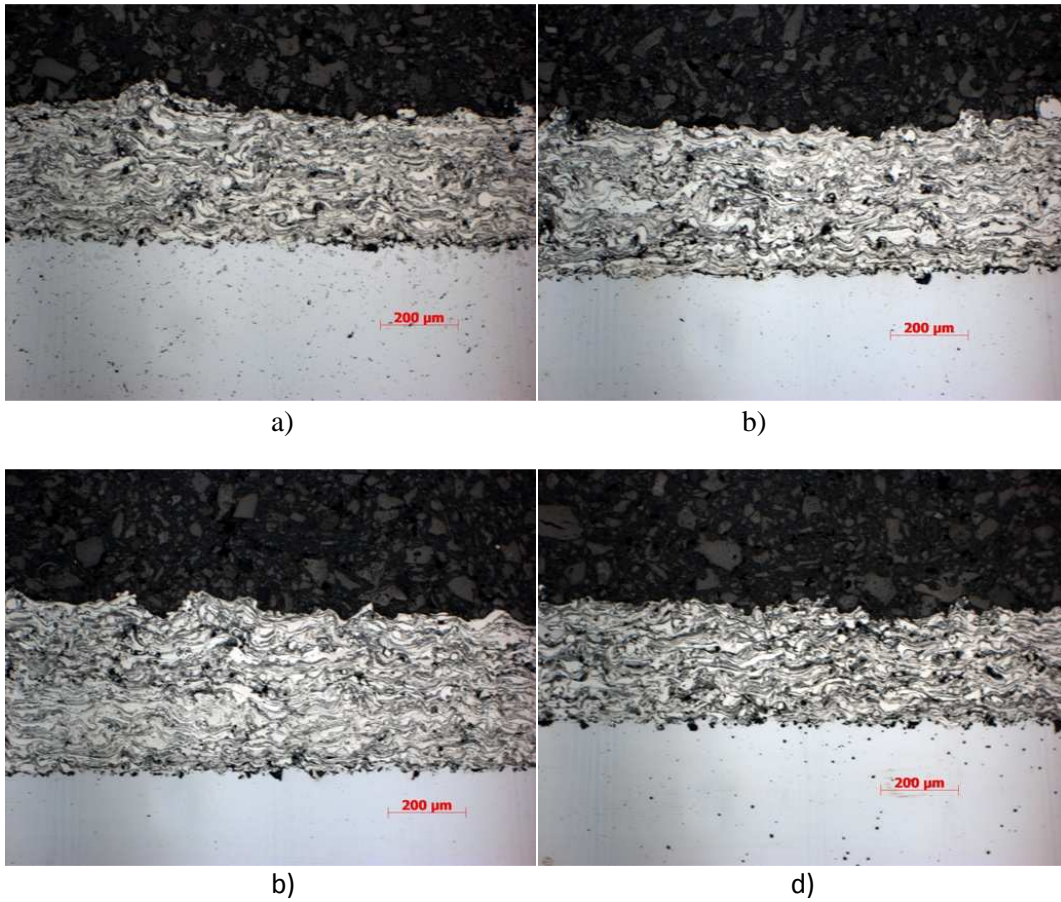
2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri Şekil 6.10'da görülebilir.



Şekil 6.10. 200 A, 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri
a)Oksit b) Porozite

Porozite miktarının amper arttıkça arttığı görülmektedir. Artışın düşük seviyelerde olmasından ötürü, porozitelerdeki artışın nedeni artan ark enerjisi ile ergiyen partiküllerin daha çok saçılması ve yapıda düzensizliklere neden olması söylenebilmektedir. Yüksek bir artış meydana gelseydi bunun birinci öncelikle nedeni atomize gaz basıncı değişmediği için spray açısından kaynaklandığı söylenebilecekti.

Elektrik ark spray sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm spray mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları Şekil 6.11' de gösterilmektedir.

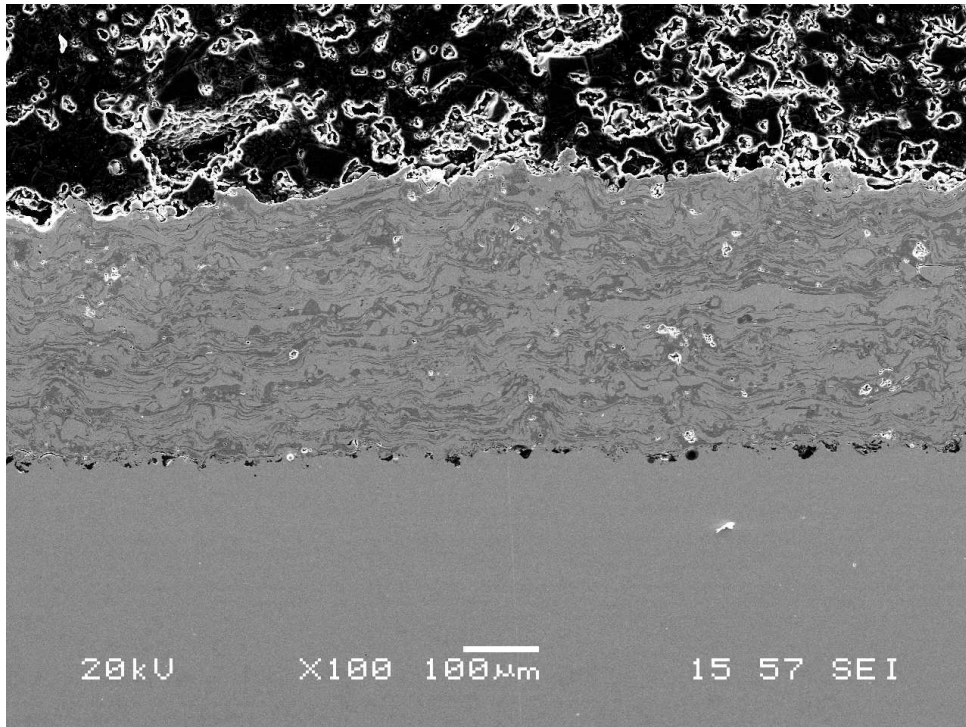


Şekil 6.11. Elektrik ark spray sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm spray mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A

Şekil 6.11'de görülen mikroyapılara bakıldığında 4 bar atomize gaz basıncı ile üretilen kaplamaların 2,4 bardakilere göre çok daha yoğun olduğu görülmektedir.

Bunun nedeni gaz basıncının artması sonucu ergiyen partiküllerin hızı artmış ve daha çok atomize olarak damlacıkların boyutu küçülmüştür. Bunun sonucunda da lamel kalınlıklarını inceldiği gözlenmiştir. Lamellerin incelmesi porozite miktarının düşmesine neden olmuştur. Ergiyen damlacıkların boyutunun küçülmesi sonucu maruz kaldıkları hava miktarı artmış ve daha kolay oksitlenebilen bir ortam oluşmuştur. Bunun sonucunda da 4 bar da üretilen kaplamalar 2,4 barda üretilen kaplamalara göre daha oksitli olmuştur.

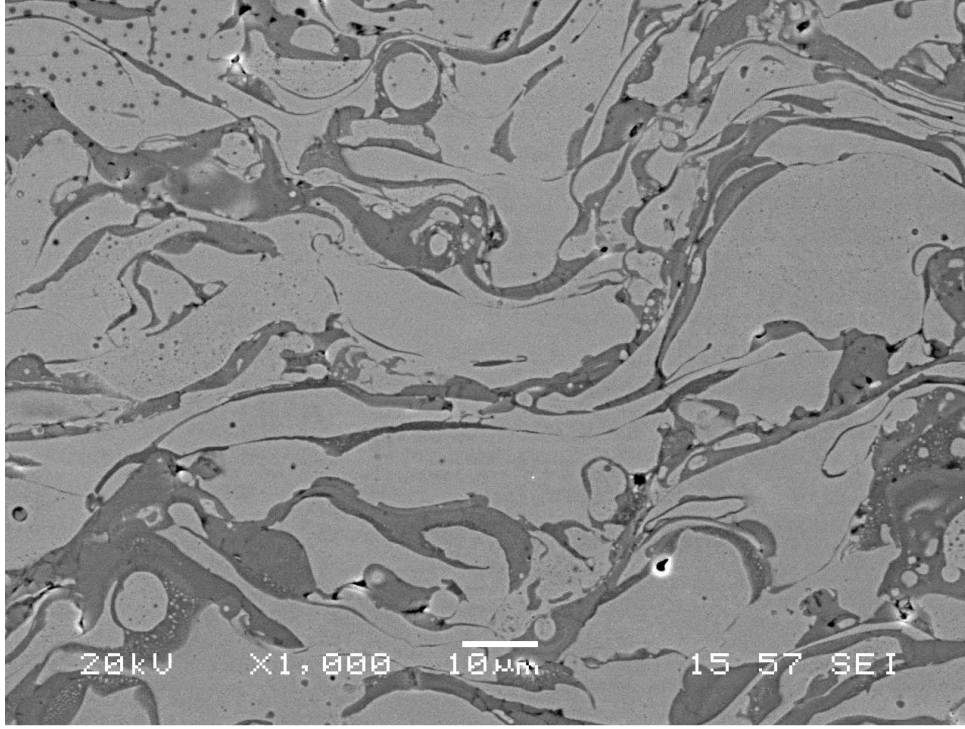
200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın 100x SEM görüntüsü Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12. 200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü

Şekil 6.12’ de gösterilen SEM mikro yapısında lamellerin inceldiği, porozitelerin azaldığı ve oksitlerin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni hava ile daha çok etkileşime girmeleridir. Kaplama homojen kalınlığa ve iyi yapışmış ara yüzeye sahiptir.

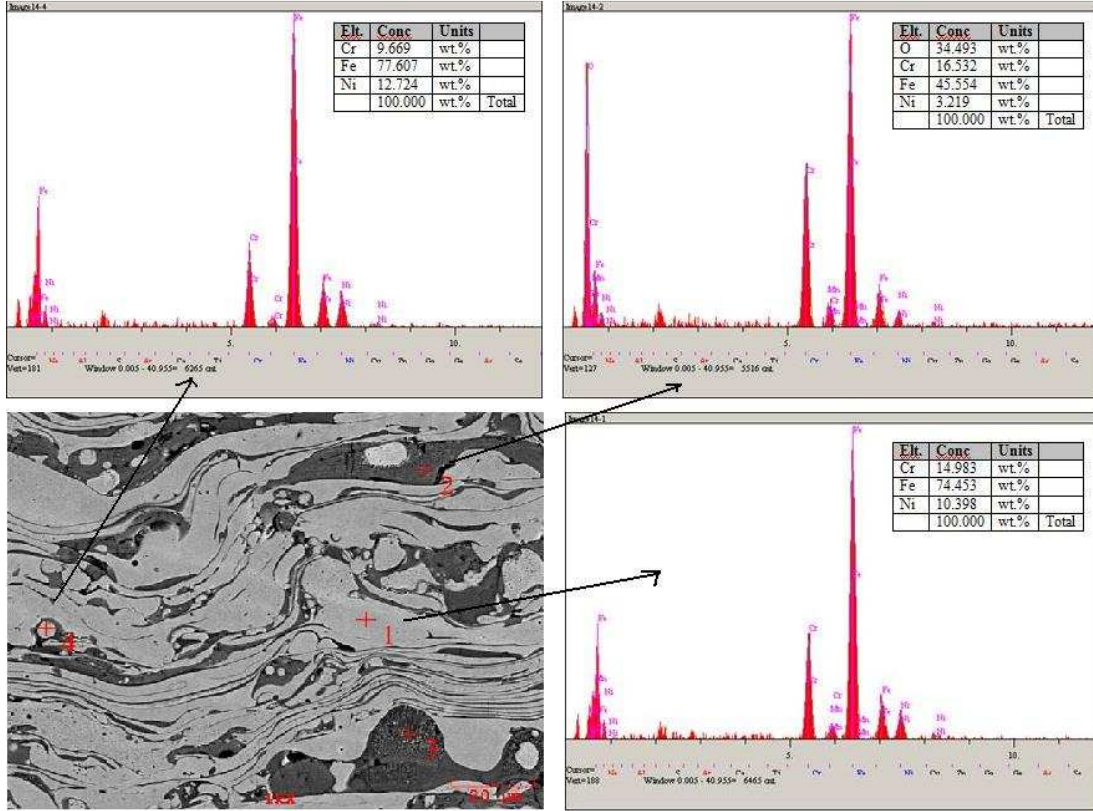
200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü Şekil 6.13’ de gösterilmektedir.



Şekil 6.13. 200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü

Bu mikroyapıda porozitenin azlığı dikkat çekmektedir ve açık gri alanlar paslanmaz çelik, koyu gri alanlar ise oksitlerdir.

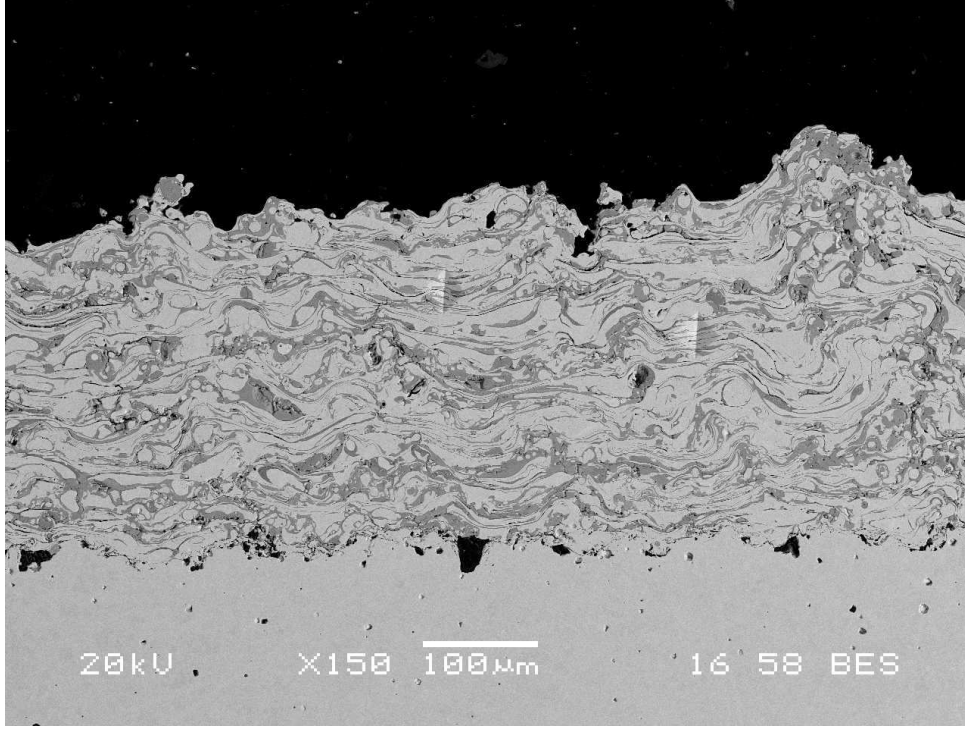
200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları Şekil 6.14' de gösterilmektedir.



Şekil 6.14. 200A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS noktaları ve sonuçları

Şekil 6.14' de verilen EDS çalışmalarında koyu gri alanlardan alınan EDS sonuçlarında oksijen çıkması oksit olduğunu göstermektedir. Açık gri alanlarda oksijen çıkmaması bu bölgelerin paslanmaz çelik olduğunu göstermektedir.

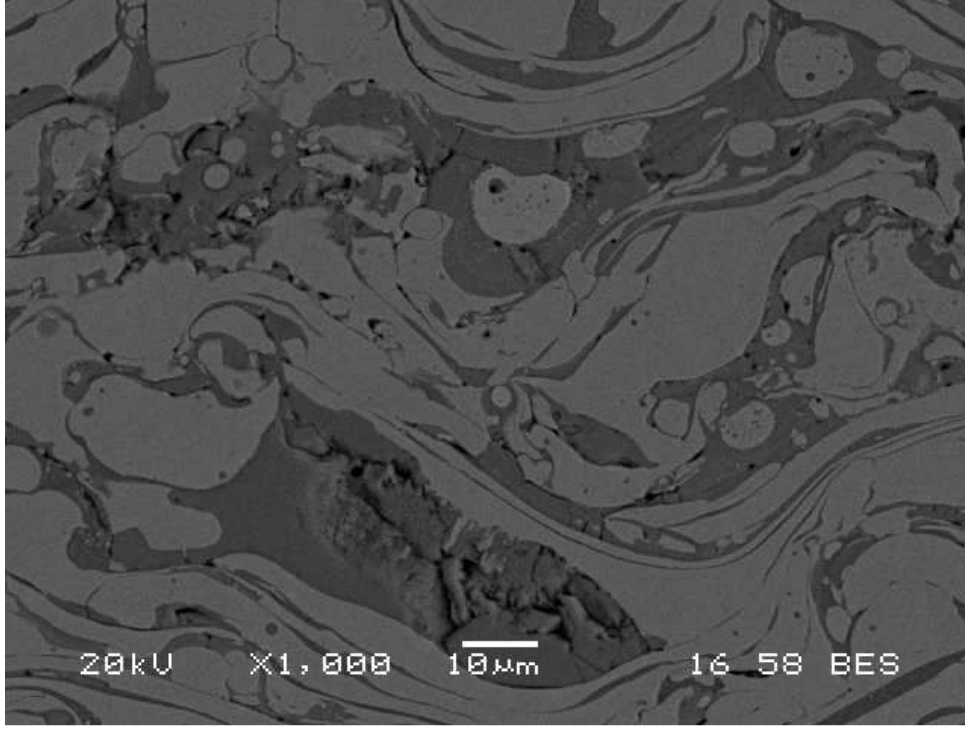
350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü Şekil 6.15' de görülmektedir.



Şekil 6.15. 350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın SEM görüntüsü

Mikroyapı görüntüsü incelendiğinde ince lamelli sık porozitesiz yapı göze çarpmaktadır. Kaplama tabakası homojen kalınlığa sahiptir ve altlık ile iyi bir yapışma göstermiştir.

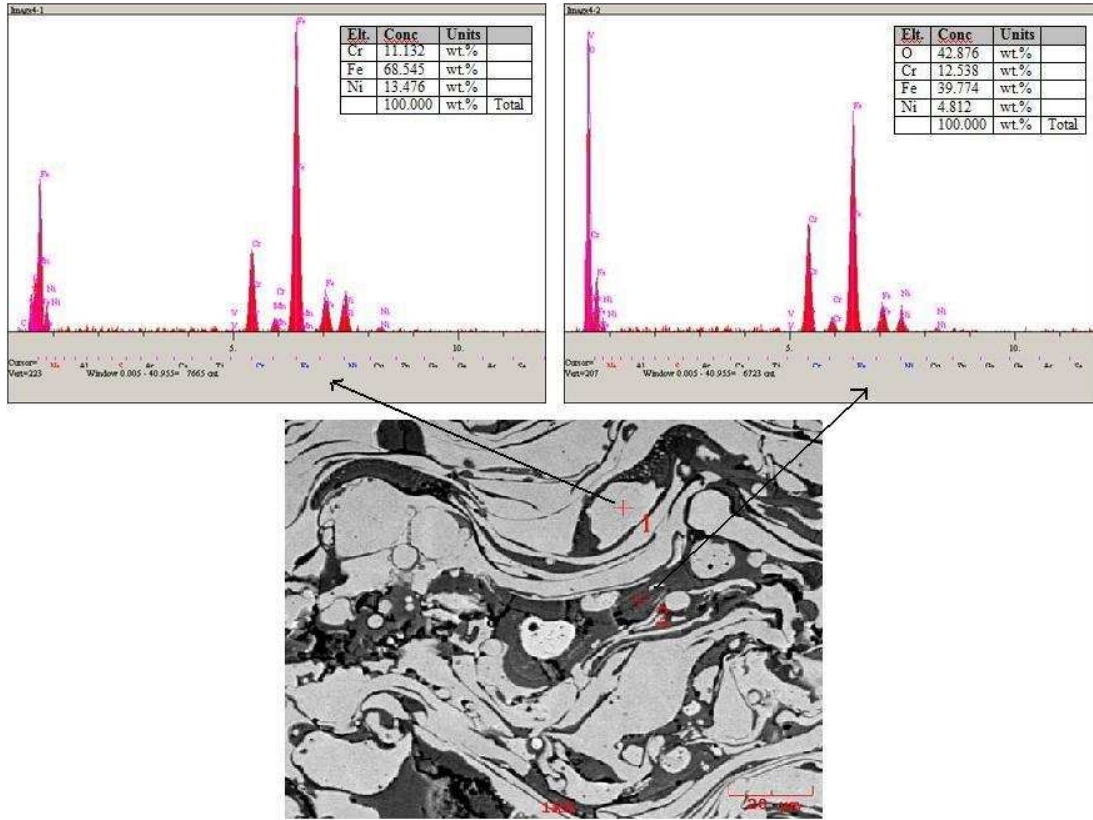
350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü Şekil 6.16' da görülmektedir.



Şekil 6.16. 350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü

Burada elde edilen yapı diğer kaplama mikro yapılarında olan yapılara benzerdir. Açık gri alanlar paslanmaz çelik, koyu gri alanlar ise oksitlerdir.

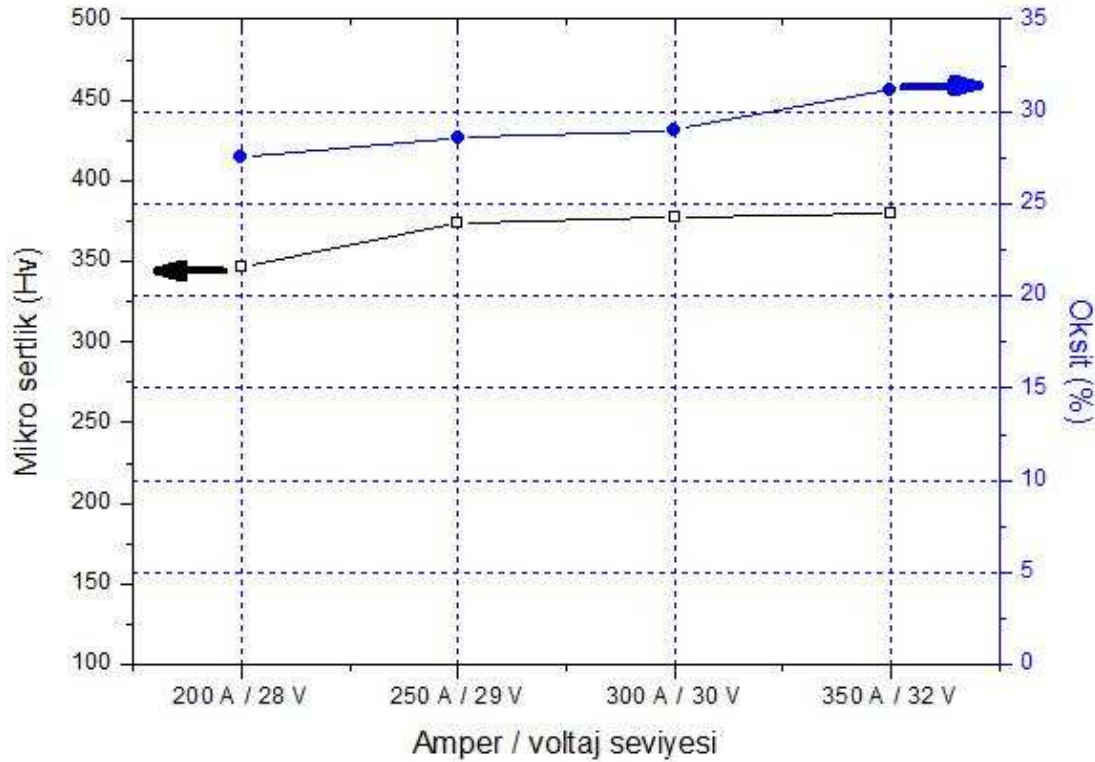
350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS analiz noktaları ve sonuçları Şekil 6.17' de görülmektedir.



Şekil 6.17. 350A 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamadan alınan EDS noktaları ve sonuçları

Şekil 6.17' de verilen EDS sonuçları açık gri alanların paslanmaz çelik, koyu gri alanların oksit olduğunu desteklemektedir.

Elektrik ark sprey sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprey mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik üzerine etkisi Şekil 6.18'de görülmektedir.

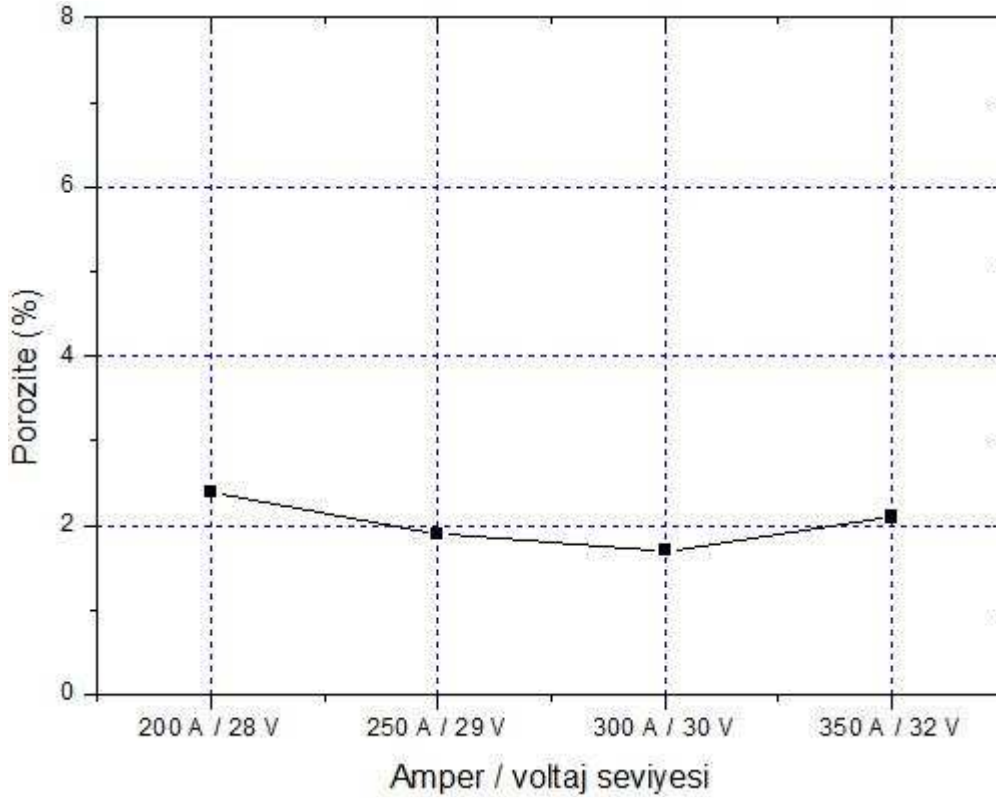


Şekil 6.18. Elektrik ark sprej sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi

Şekil 6.18 incelendiğinde amper değişimi ile sertlikte önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmektedir. Fakat 2,4 bar atomize gaz basıncında elde edilen kaplamalar ile 4 barda üretilenler kıyaslandığında sertliğin 4 barda arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin 4 bar basınçta daha yoğun kaplama elde edilmesi olduğu söylenebilir. Grafikte ki mikrosertlik artışı amper artışı ile meydana gelen oksit artışından kaynaklanmaktadır.

Amper artışı ile oksit miktarında artış meydana gelmiştir, bunun nedeni artan ark enerjisi ile partiküllerin sahip olduğu ısı enerjisi artmış ve daha çok oksitlenmeye sebep olmuştur.

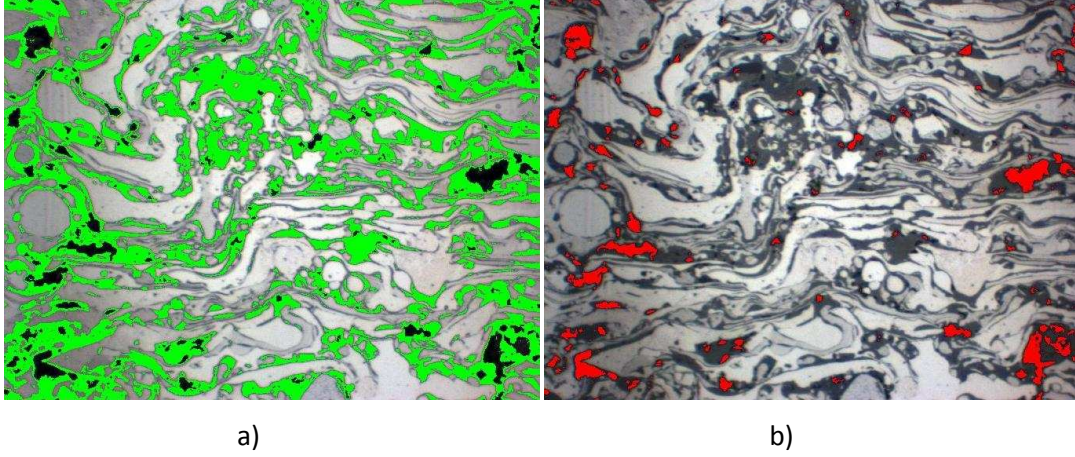
Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi Şekil 6.19'da görülmektedir.



Şekil 6.19. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncı ve 14 cm sprej mesafesinden üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi

Şekil 6.19' daki grafikte 4 barda üretilen kaplamaların amper değişimi ile meydana gelen porozite miktarındaki değişim görülmektedir. Porozitedeki bu değişim artan ark enerjisi ile partiküllerin sıcaklığında artması ve altlık üzerinde daha iyi yayılım göstermesidir.

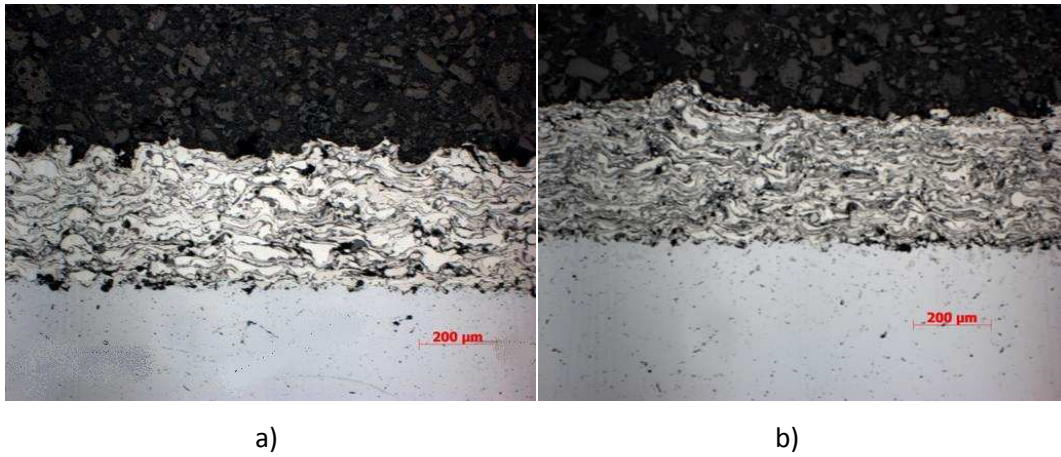
4 bar atomize gaz basınçta üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri Şekil 6.20'de görülebilir.



Şekil 6.20. 200 A, 4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek image analiz resimleri
a)Oksit b) Porozite

6.3. Atomize Gaz Basıncının Kaplama Özelliklerine Etkisi

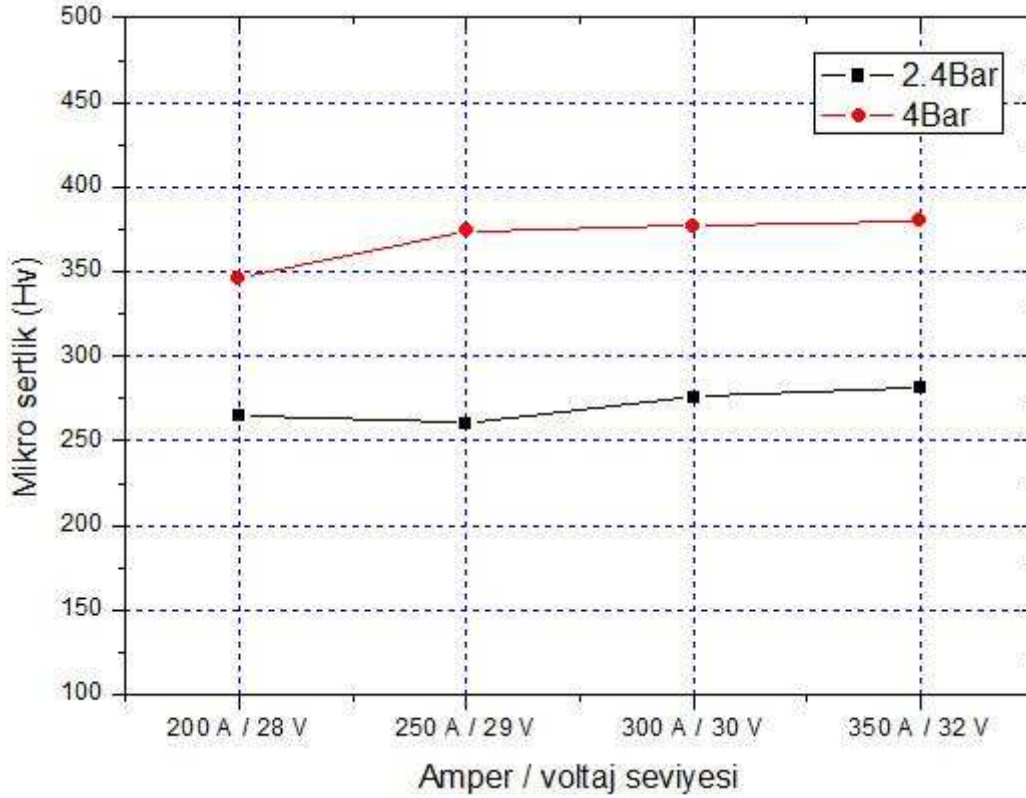
Elektrik ark sprej sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncında ve 14 cm sprej mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları Şekil 6.21’ de görülmektedir.



Şekil 6.21. Elektrik ark sprej sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncında ve 14 cm sprej mesafesi ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) 2,4 bar b) 4 bar

Atomize gaz basıncı artması ile daha yoğun bir kaplama yapısı elde edilmiş ve oksit miktarında artış meydana geldiği gelmiştir.

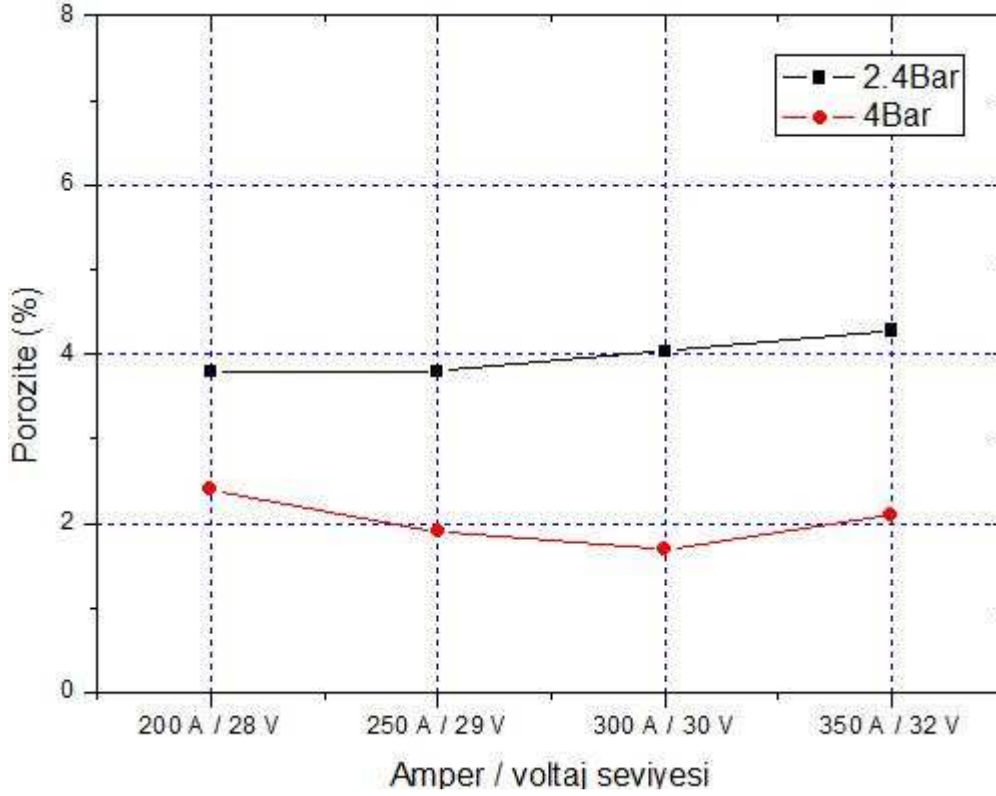
Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm sprej mesafesinden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper artışı ile mikrosertlik değişimi grafiği Şekil 6.22' de verilmiştir



Şekil 6.22. Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm sprej mesafesinden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle mikro sertlik etkileşimi grafiği verilmiştir

Atomize gaz basıncının artması ile sertlik değerlerinde meydana gelen bu artış daha yoğun bir yapı eldesi ve artan oksit miktarının sonucudur. Wang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada da artan atomize gaz basıncı ile kaplamanın mikrosertliğinde artış meydana geldiği ortaya konulmuştur[39].

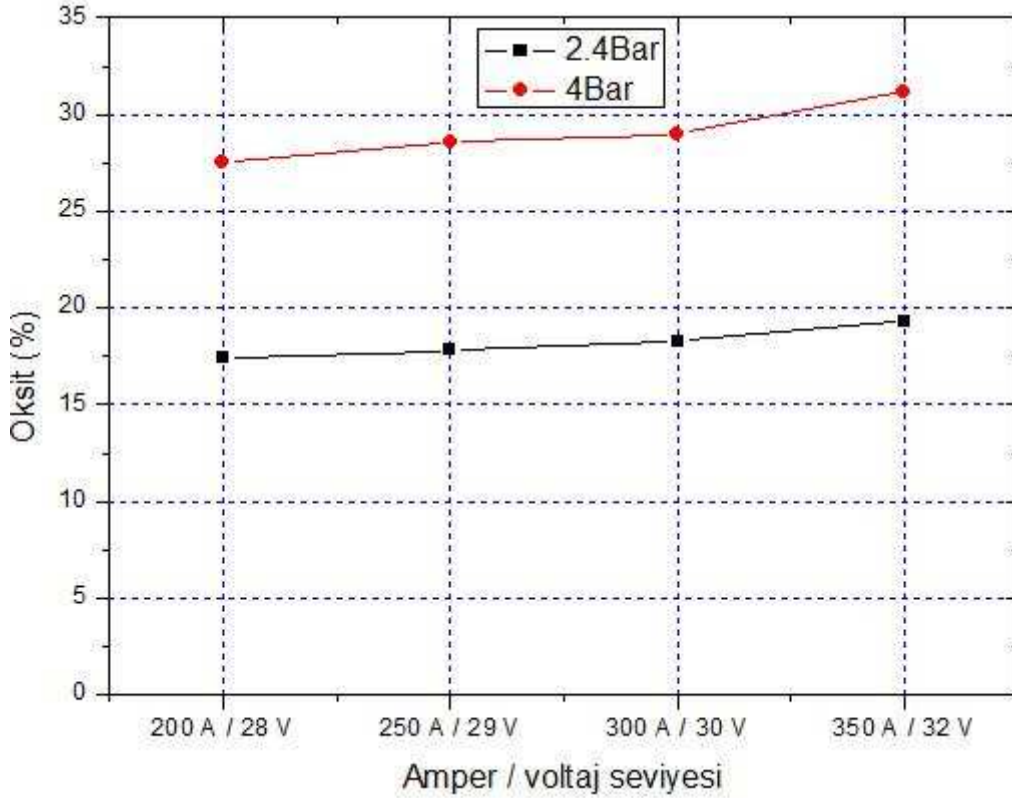
Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % porozite içeriği etkileşimi grafiği Şekil 6.23' de verilmiştir.



Şekil 6.23. Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % porozite içeriği etkileşimi grafiği verilmiştir.

Artan gaz basıncı ile porozite miktarında azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın sebebi, artan basınç miktarı ile lamellerin daha ince yapıya sahip olması ve splatların yüzeyde daha iyi yayılmasıdır.

Elektrik ark sprej sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % oksit içeriği etkileşimi grafiği Şekil 6.24'de verilmiştir.



Şekil 6.24. Elektrik ark sprey sistemiyle 14 cm mesafeden, 2,4 ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen paslanmaz çelik kaplamaların amper değişimiyle % oksit içeriği etkileşimi grafiği verilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında artan bar basıncı ile oksit miktarı artmıştır. Bunun nedeni basınç artışı ile partiküller daha çok havaya maruz kalarak daha çok oksitlenmişlerdir. Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada da bu çalışmaya benzer şekilde, atomize gaz basıncının artması ile oksit miktarının arttığı belirlenmiştir[39].

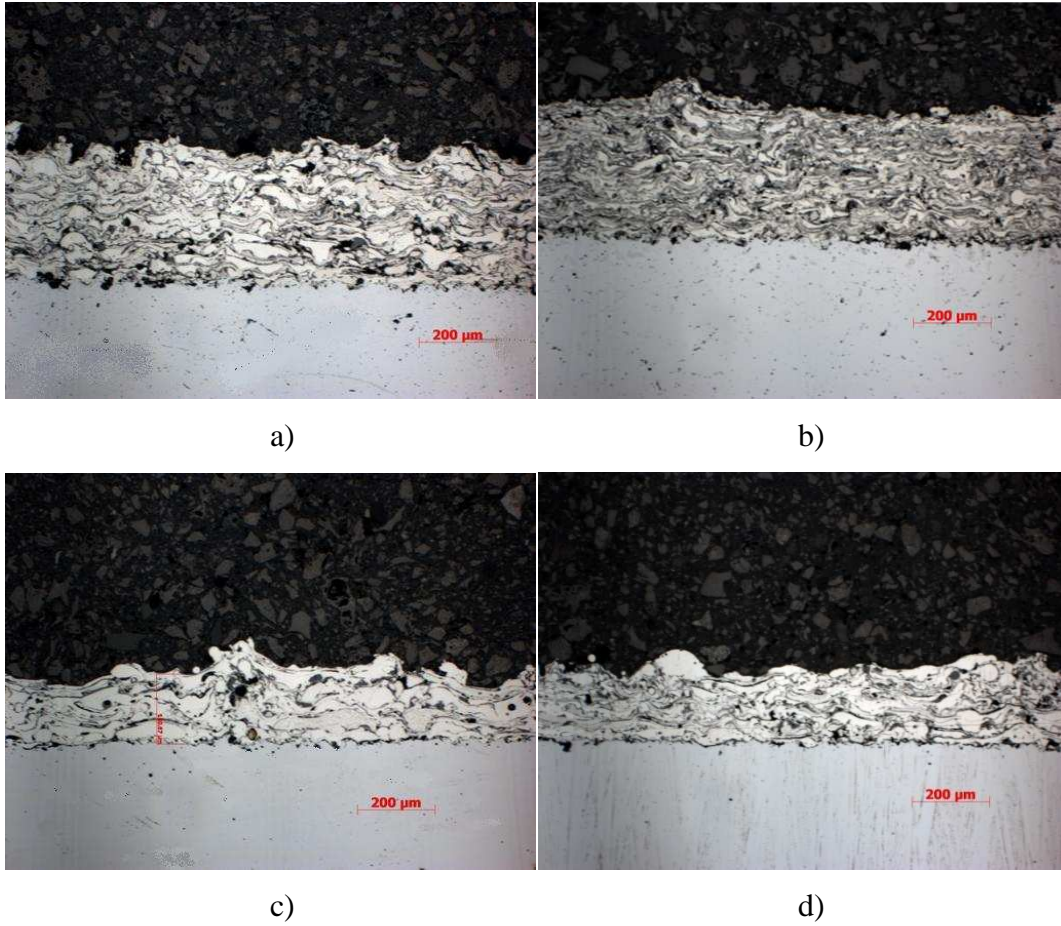
6.4. Atomize Gaz Türünün Kaplama Özelliklerine Etkisi

Elektrik ark püskürtmede üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların farklı gaz ve atomize gaz basınçlarındaki sertlik, porozite ve oksit değerleri Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Elektrik ark püskürtmede üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların farklı gaz ve atomize gaz basınçlarındaki sertlik, porozite ve oksit değerleri

Nozul	Amper (A)/ Voltaj (V)	Basınç (bar)	Atomize Gaz Cinsi	Mesafe (cm)	Sertlik (Hv)	Porozite (%)	Oksit (%)
Fine	200 / 29	2,4	Hava	14	264,8	3,8	17,4
			Argon		166	3,4	8,3
		4	Hava		346	2,4	27,5
			Argon		235	1,9	11,6

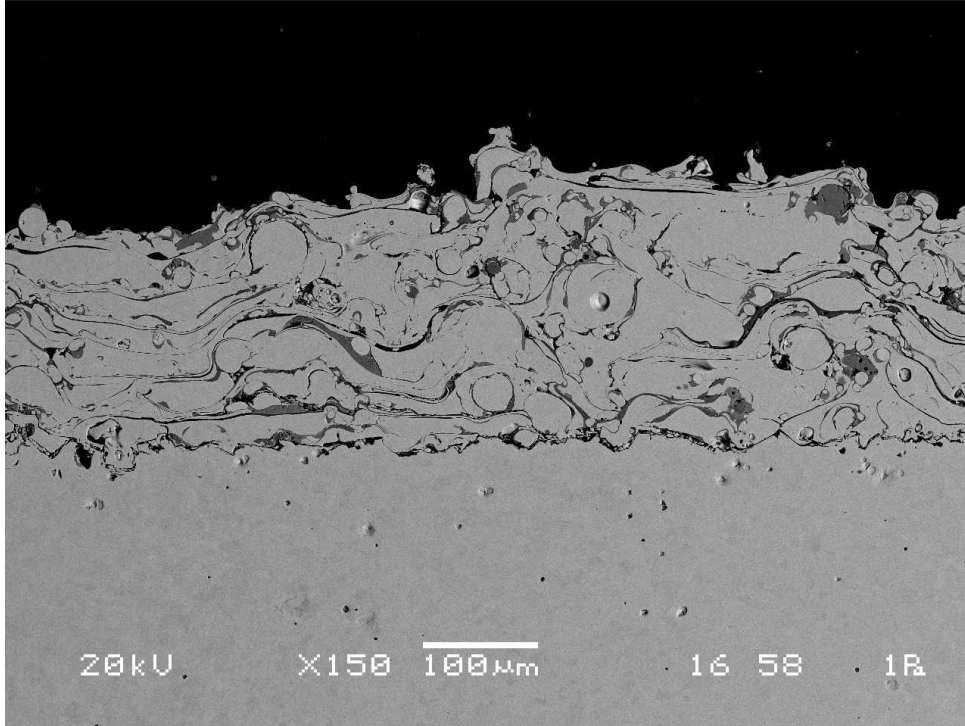
Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarında mikroyapıları Şekil 6.25'te gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarında mikroyapıları a) 2,4 bar atomize gaz basıncı ve hava atomizasyonu b) 4 bar atomize gaz basıncı ve hava atomizasyonu c) 2,4 bar atomize gaz basıncı ve argon atomizasyonu d) 4 bar atomize gaz basıncı ve argon atomizasyonu.

Şekil 6.25 (a ve b)' deki mikro yapıları hava ile üretilmiş ve bunun neticesinde lamellerin daha çok yayıldığı ve daha çok oksitli kaplama üretildiği görülmektedir. Şekil 6.25 (c ve d)' deki mikro yapılarda atomize gaz basıncı olarak Ar kullanılması sonucunda oksit miktarında düşüş meydana gelmiştir, fakat argonun soğutma özelliğinin havadan yüksek olması nedeni ile lameller tam yayılmayıp daha kalın bir görünüm sergilemişlerdir.

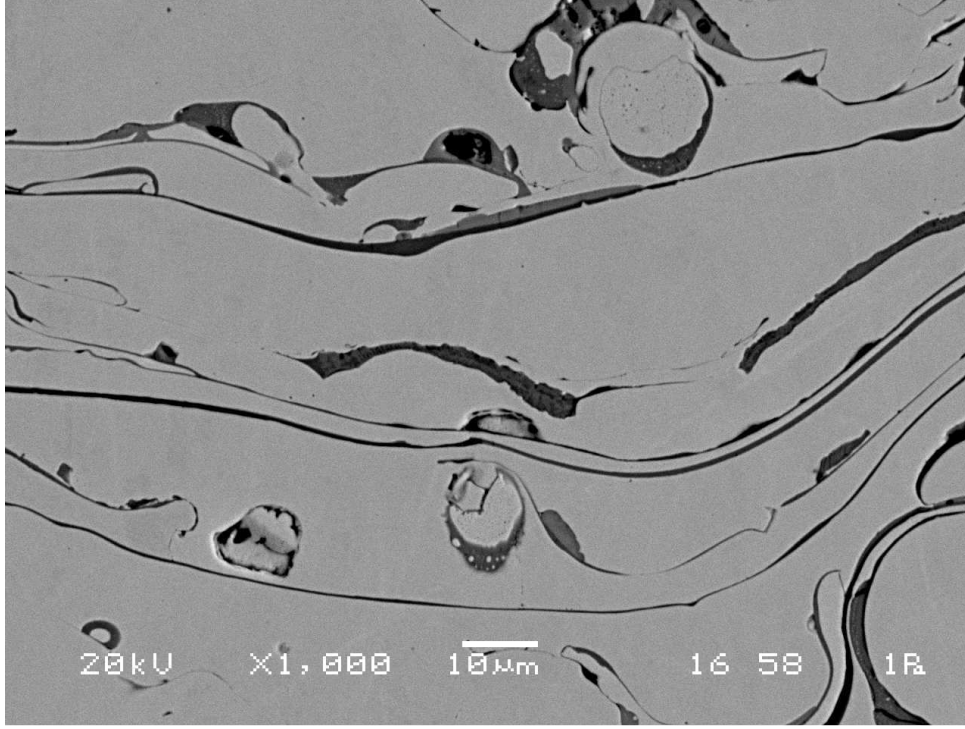
200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın SEM görüntüsü Şekil 6.26' da gösterilmiştir.



Şekil 6.26. 200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın SEM görüntüsü

Şekil 6.26' deki SEM görüntüsüne bakıldığında kaplamanın altlığa iyi yapıştığı ve homojen bir kalınlığa sahip olduğu görülmektedir. Oksit miktarı ise hava ile üretilenlere kıyasla oldukça azdır.

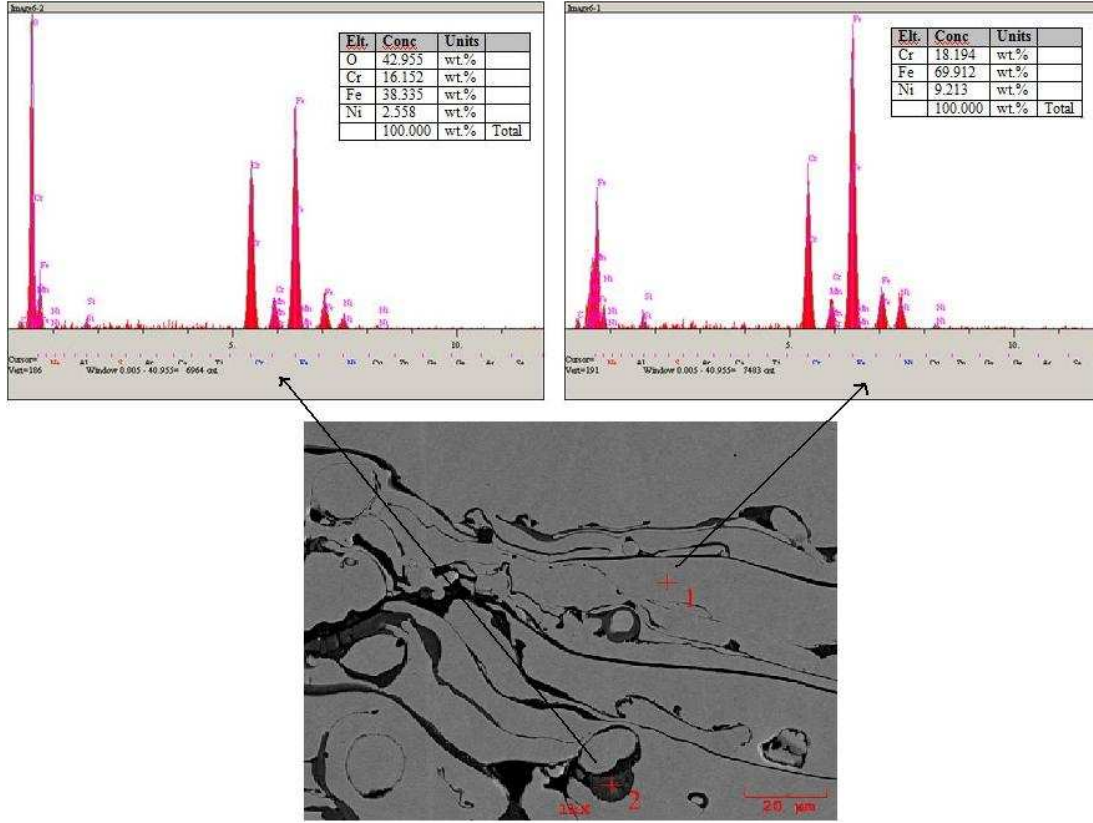
200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü Şekil 6.27' de gösterilmiştir.



Şekil 6.27. 200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüsü

Şekil 6.27' deki SEM görüntüsünde oksit miktarının çok az olduğu göze çarpmaktadır. Kısmen de oksit ara yüzeylerinde ayrılmalar gözlenmektedir. Açık gri alanlar paslanmaz çelik, koyu gri alanlar ise oksitlerdir.

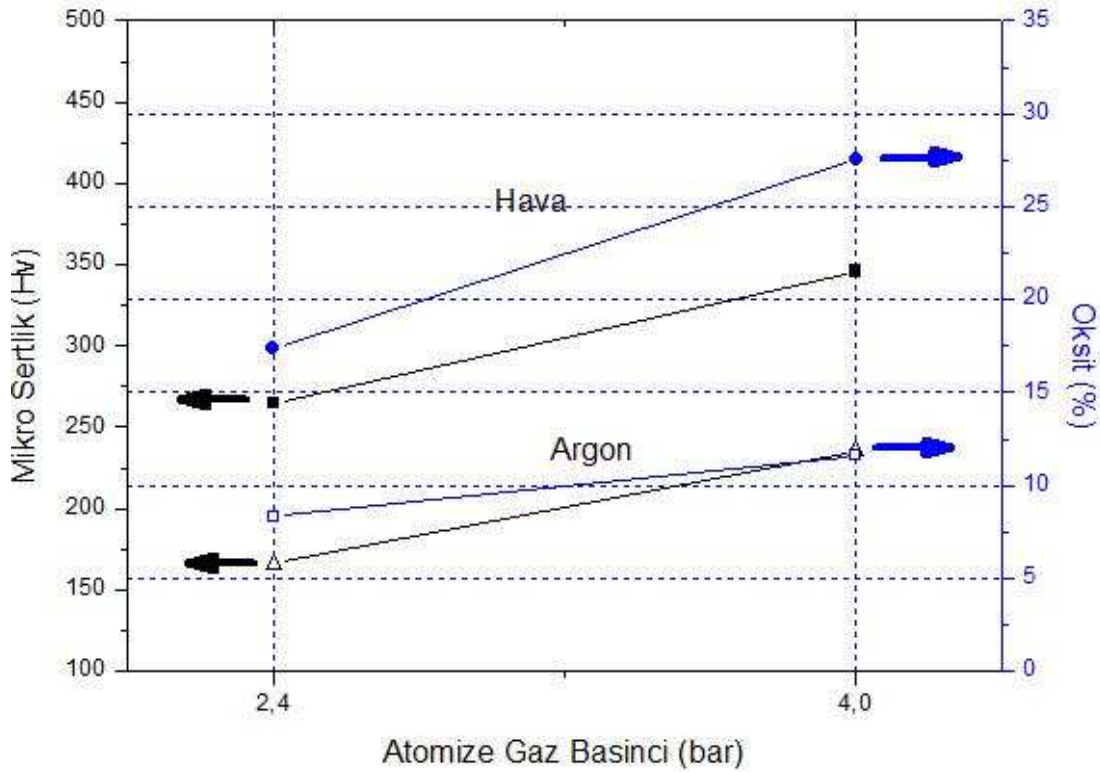
200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın EDS görüntüsü Şekil 6.28' da gösterilmiştir.



Şekil 6.28. 200 A 2,4 bar basınçta argon atomizasyonu ile gerçekleştirilen kaplamanın EDS görüntüsü

Şekil 6.28' deki EDS sonuçlarında açık gri alanların paslanmaz çelik, koyu gri alanların oksit oldukları gösterilmiştir.

Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarındaki mikro sertlikleri Şekil 6.29' da gösterilmiştir.

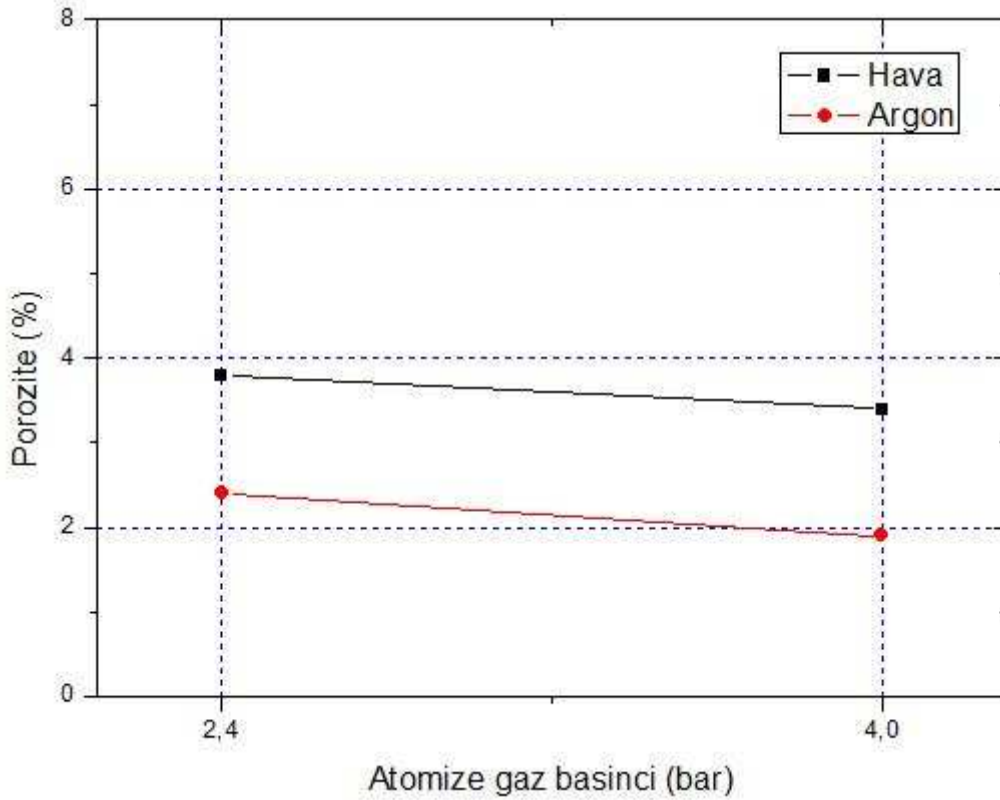


Şekil 6.29. Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basınçlarındaki mikro sertlikleri ve oksit grafiği

Şekil 6.29' de gösterilen grafikte argon ile üretilen kaplamaların mikro sertliğinin hava ya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni argon ile üretilen kaplamaların daha az okside sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.29' de verilen grafikte argon ile üretilen kaplamaların hava ile üretilenlere kıyasla daha az okside sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni argonun inert özelliğe sahip olması ve püskürtme esnasında ark çevresinde inert bir atmosfer oluşturmuştur. Bunun sonucunda da partiküllerin oksitlenmesi en aza indirgenmiştir. Steffens ve arkadaşları atomize gaz basıncı olarak azot kullandıklarında oksidasyon yoğunluğunda düzenli azalmaların meydana geldiğini göstermiştir[19].

Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basıncındaki porozite içerikleri Şekil 6.30' de gösterilmiştir.



Şekil 6.30. Elektrik ark püskürtme ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve basıncındaki porozite içerikleri

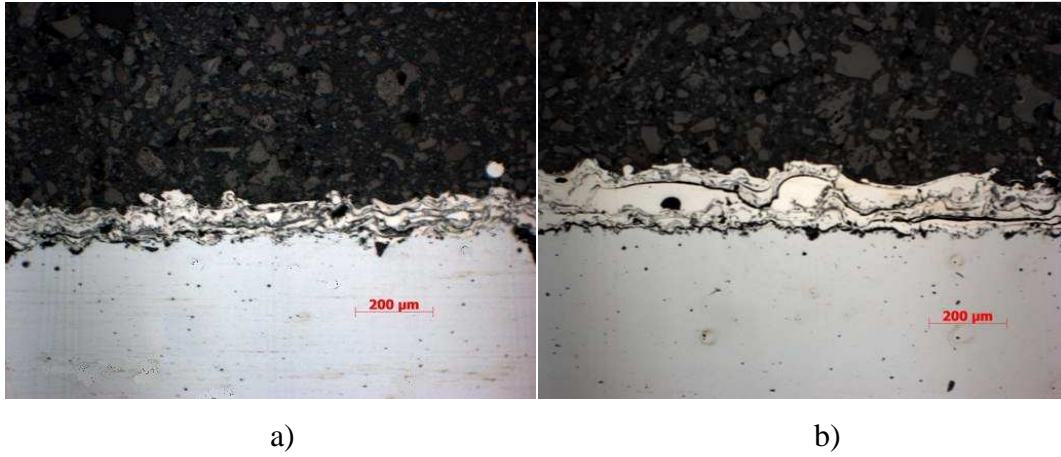
Şekil 6.30' deki grafikte argon ile üretilen kaplamaların porozite oranının hava ile üretilenlere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir.

Elektrik ark sprej sisteminde focus nozulu kullanılarak ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların serlik, porozite ve oksit değerleri Tablo 6.5' te gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Elektrik ark sprej sisteminde focus nozulu kullanılarak ve mix gaz (Ar+%5H) ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların serlik, porozite ve oksit değerleri

Nozul	Amper (A) / Voltaj (V)	Basınc Birinci (bar)	Basınc İkinci (bar)	Mesafe (cm)	Sertlik (Hv)	Porozite (%)	Oksit (%)	Atomize Gaz Cinsi Birinci
Focus	200 / 28	2,4	1,7	14	266,3	6,1	25	Hava
					176,3	2,5	11,8	Argon

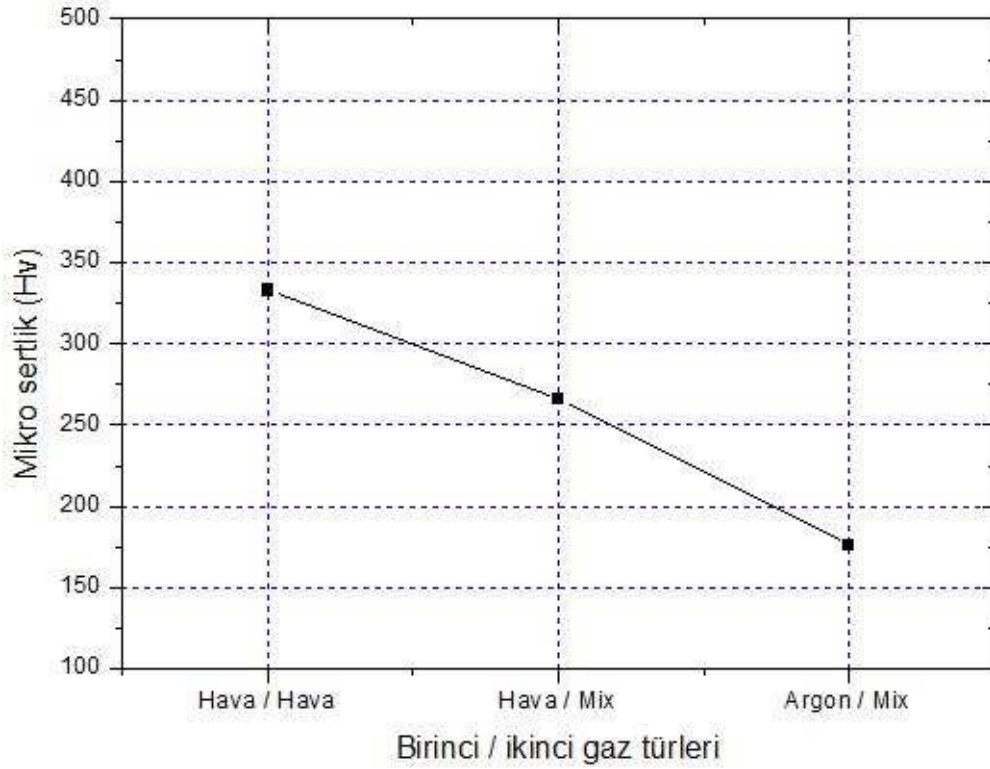
Şekil 6.31 elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen paslanmaz çelik tel kaplamanın focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları görülebilir.



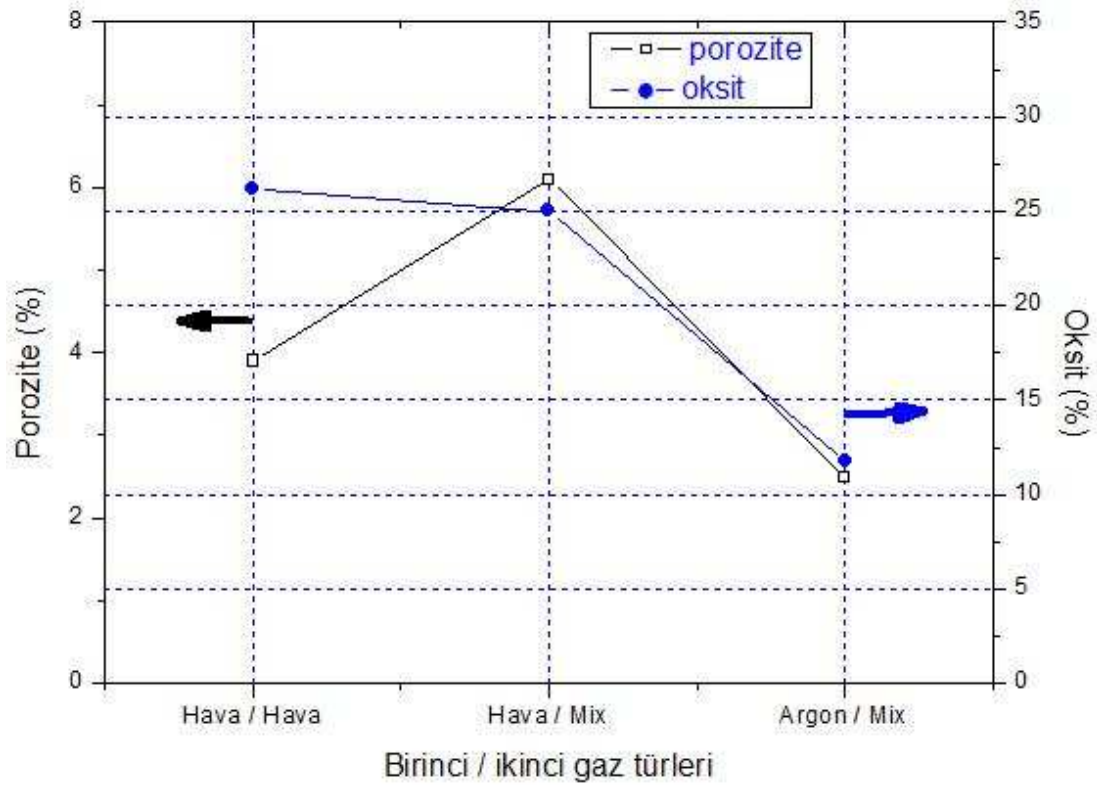
Şekil 6.31. Elektrik ark sprey sistemiyle üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları a) Hava atomizasyonlu b) Argon atomizasyonu

Argon atomizasyonu ile üretilen kaplamanın mikroyapısından da görülebildiği gibi lamel kalınlıkları, hava atomizasyonu ile üretilen kaplamaların lamel kalınlıklarından daha fazladır. Ayrıca her iki kaplamanın da kalınlıkları ince olmuş buda birikme veriminin düşük olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.32 elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerlerini vermektedir. Şekil 6.33 elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerlerini vermektedir.



Şekil 6.32. Elektrik ark sprey sisteminde focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerleri



Şekil 6.33. Elektrik ark sprey sisteminde focus nozulda ve mix gaz ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerleri

Atomize gaz olarak hava, ikicil gaz olarak yine hava kullandığımız kaplama en sert sonucu vermiştir. En düşük sertlik değeri ise atomize gaz olarak argon/ikincil gaz olarak mix gaz kullandığımızda elde edilmiştir. Sertlik değerlerinde gözle görülür bir düşüş meydana gelmiştir. Atomize gaz olarak havanın kullanıldığı her iki kaplamada da oksit oranı yüksek çıkmış fakat ikincil gaz olarak mix gaz kullanıldığında oksitte biraz azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni de mix gazın bileşiminde bulunan argondur. Atomize gaz olarak argon/ikincil gaz olarak mix gazı kullanımında ise oksit miktarı oldukça düşmektedir. Partiküllerin argon gazının sağladığı inert atmosfer sayesinde daha az oksitlenmesi beklenen bir durumdur.

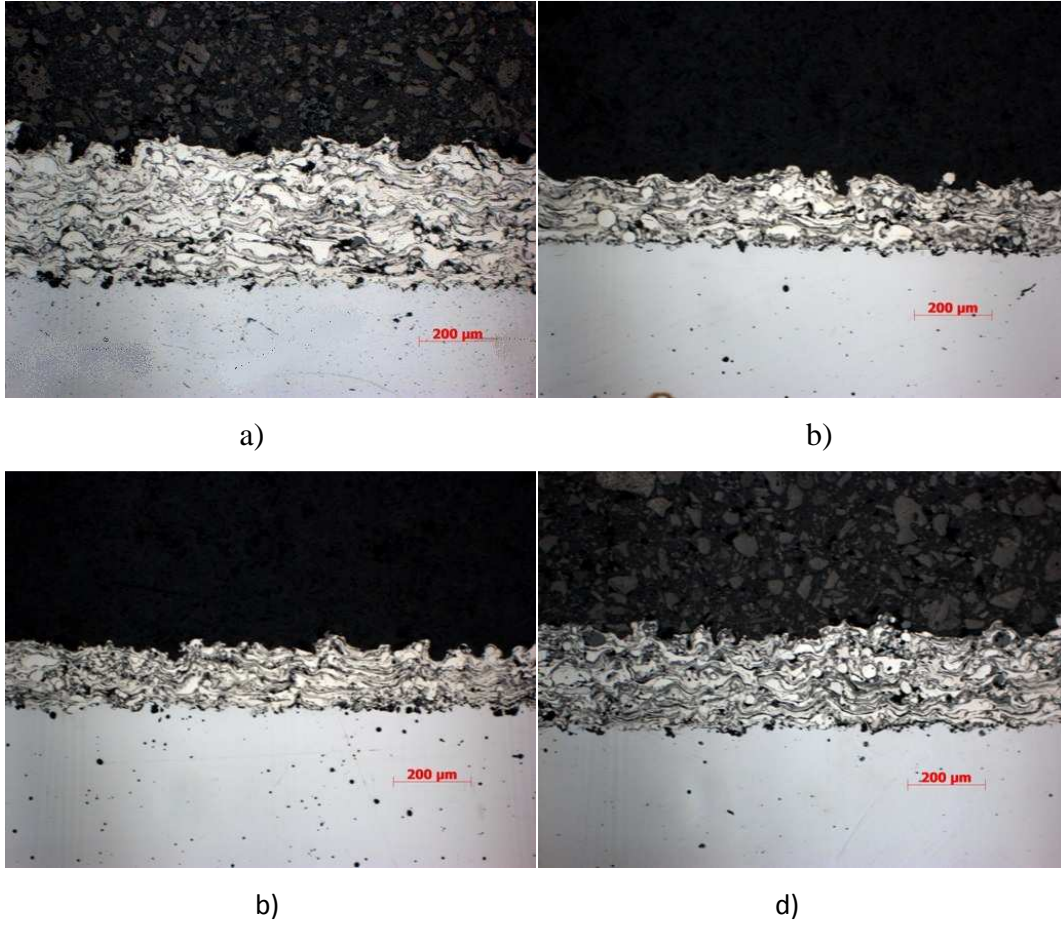
6.5. Nozul Değişiminin Kaplama Özelliklerine Etkisi

Tablo 6.4.'te elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerlerini vermektedir.

Tablo 6.4. Elektrik ark sprej sisteminde farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerleri

Nozul	Amper (A) / Voltaj (V)	Basınç Birinci (bar)	Basınç İkinci (bar)	Sertlik (Hv)	Porozite (%)	Oksit (%)	Atomize Gaz Cinsi
Fine	200 / 28	2,4	-	264,8	3,8	17,4	Hava
Hv	200 / 28	2,4	-	272,3	4,3	20,2	Hava
Fan	200 / 28	2,4	1,7	289,4	3,1	22,1	Hava
Focus	200 / 28	2,4	1,7	333	3,9	26,2	Hava

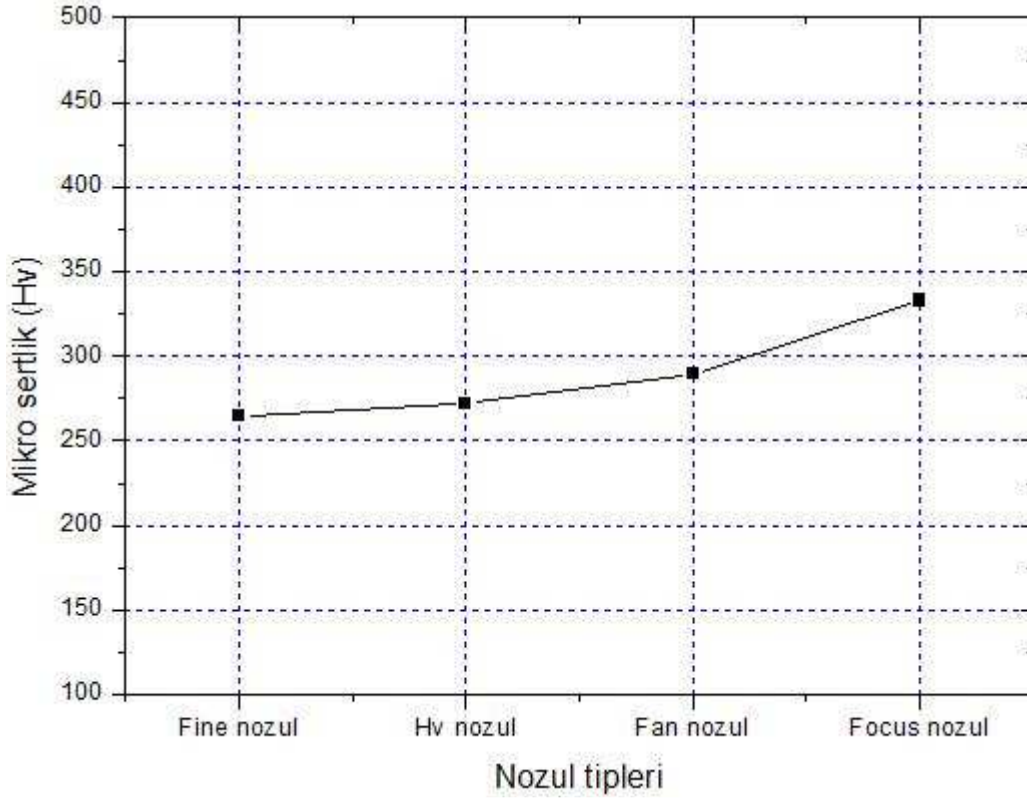
Şekil 6.34'de elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikro yapıları görülebilir.



Şekil 6.34. Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) Fine nozul b) Hv nozul c) Fan nozul d) Focus nozul

Kaplama mikro yapılarına bakıldığında gerek kaplamaların manuel üretilmesi gerekse nozul değişikliklerinden kaynaklanan sebeplerden dolayı mikro yapılarda farklılıklar görülmektedir. Hv nozulda ve Fan nozulda diğerlerine oranla düşük birikme oranı meydana gelmiştir. Bu kaplamalarda istenen kaplama kalitesi tam olarak elde edilememiştir. Focus nozul ile üretilen kaplamanın daha oksitli yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bunun nedeni ise ikincil hava ile birlikte partiküllerin daha çok oksitleyici ortama maruz kalmasıdır.

Şekil 6.35’de elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik değişimleri görülebilir.

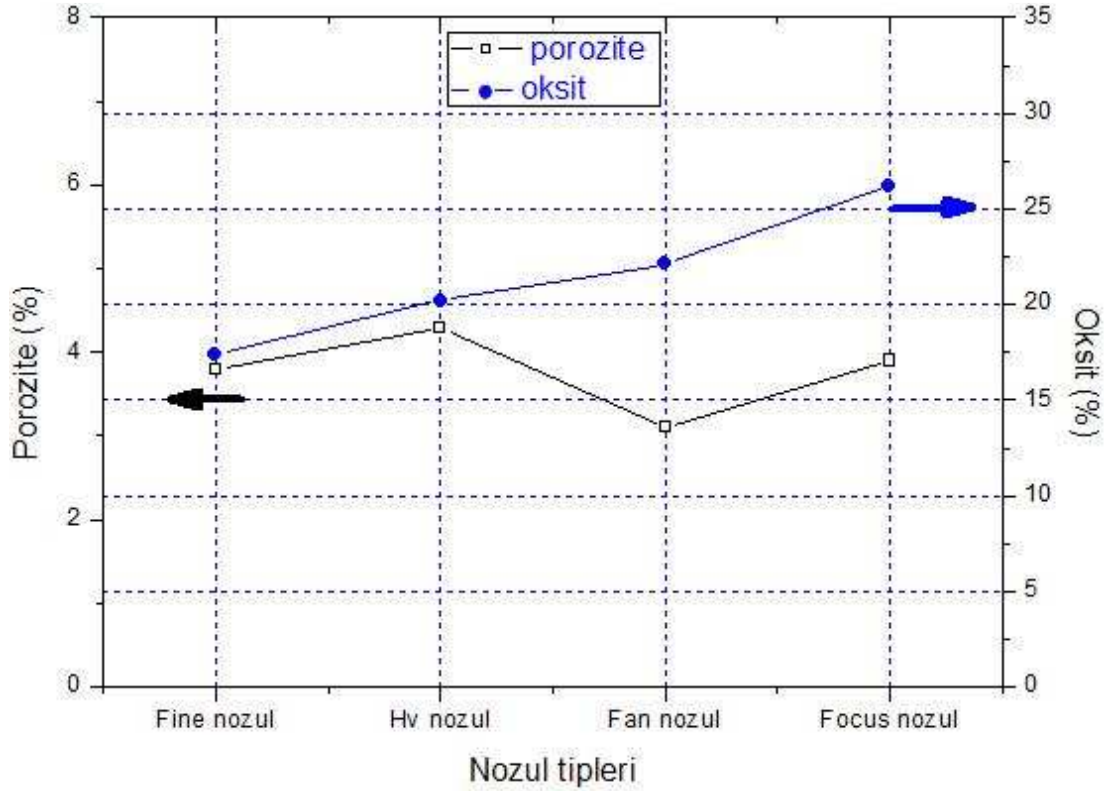


Şekil 6.35. Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların mikrosertlik üzerine etkisi

Nozul tipi değıştikçe kaplamanın mikro setliğinin arttığı görülmektedir. Hv nozuldaki artışın nedeni partiküllerin yüzeye daha hızlı çarpmaları sonucu daha yoğun ve oksitli yapısıdır. Fan nozul ve Focus nozuldaki artış ise ikincil havanın kattığı artı hız ve fazla oksijen miktarı gösterilebilir.

Şekil 6.36'da elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların porozite ve % oksit değışimi verilmiştir.

Wang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, [39] ikincil gaz takviyesi ile üretilen kaplamaların oksit içeriklerinin yüksek olduğu ve sonucunda da mikrosertlik değerlerinin arttığı bulunmuştur.



Şekil 6.36. Elektrik ark sprej sistemiyle farklı nozullar ile üretilen paslanmaz çelik tel kaplamaların % porozite ve oksit üzerine etkisi

Nozul çeşitlerine göre porozite miktarlarında bir miktar değişimler meydana gelmiştir. Hv nozuldaki porozitenin fazla olmasının nedeni sahip olduğu yüksek hız sonucu splatların düzensiz saçılmaları gösterilebilir. Fan ve Focus nozulda ise sahip oldukları ikincil gaz sonucu partikül hızı artmış ve bunun sonucunda da Hv nozuldakine benzer etki göstermiştir.

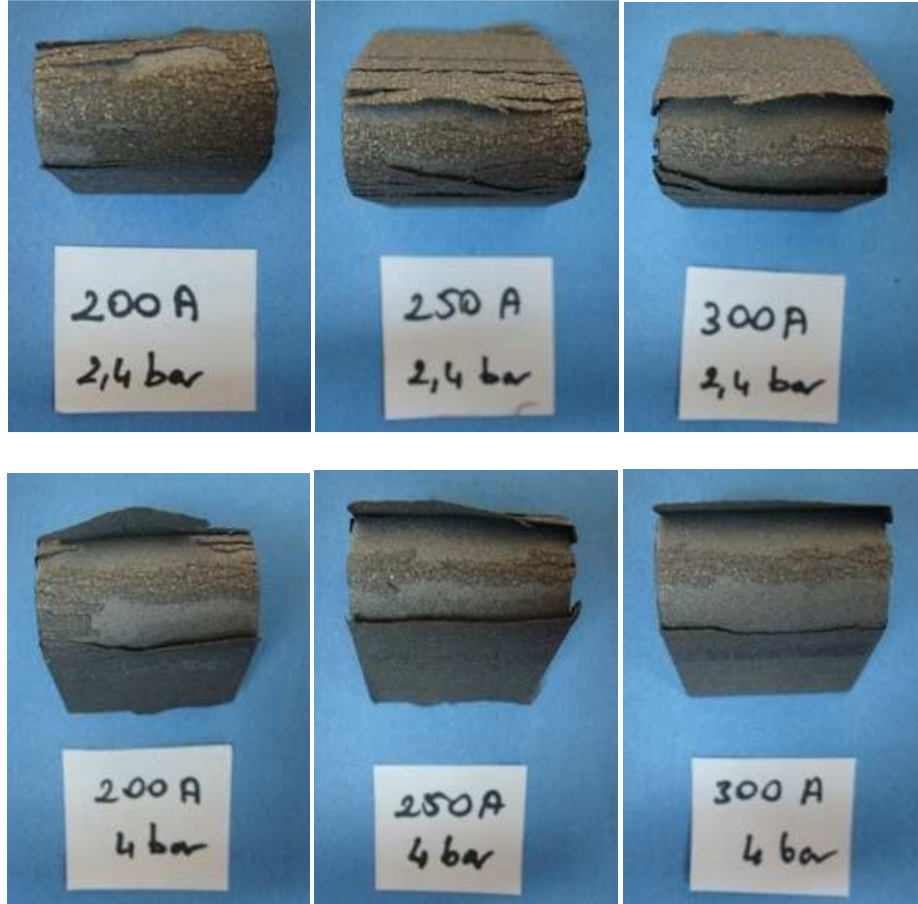
Oksit miktarı nozullara göre artış göstermiştir, bunun nedeni nozul değişimi ile partiküllerin daha çok oksitleyici ortama maruz kalmasıdır.

6.6. Üç Nokta Eğme Testi

Şekil 6.37.' de değişik parametrelerde kaplama yapılmış numunelerin 3 nokta eğme testi sonrasındaki görüntüleri verilmiştir.

Şekil 6.37'deki resimler incelendiğinde en az dökülme 200A 2,4 barda üretilen kaplamada meydana gelmiştir. Bu sonuç bize en yüksek bağ mukavemetine sahip

kaplamanın 200 A 2,4 barda üretilen olduğunu göstermektedir. Yapılan bu deneyler de amperin artması ile dökülmelerin fazlaştığı aynı şekilde artan bar basıncı ile de dökülmelerin daha çok olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin artan oksit miktarı olduğu düşünülmektedir. Kaplamadaki oksit miktarı bağ mukavemetini etkileyen önemli bir parametredir. Testlerden de bunun bu şekilde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.37. Üretilen kaplamalara yapılan üç nokta eğme testi resimleri

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

- Atomize gaz basıncının artması ile daha yüksek mikrosertlik değerine sahip kaplamalar elde edilmiştir.
- Atomize gaz basıncının artmasının porozite oranının düşmesine oksit oranının atmasına neden olduğu belirlenmiştir.
- Düşük oksit içerikli kaplamaların bağ mukavemetinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
- Atomize gaz olarak argon gazının kullanılması kaplamanın oksit oranını önemli ölçüde azaltmaktadır.
- Focus nozulda atomize gaz ve ikincil gazlarda hava kullanılması ile en yüksek mikrosertlik değerine sahip kaplamalar üretilmiştir.
- Fan ve Focus nozulda ikincil gaz olarak argon gazının kullanılması kaplamanın oksit içeriğini azaltmaktadır.

7.2. Öneriler

- Üretilen kaplamaların korozyon performansı incelenebilir
- Argon atomizasyonu ile farklı parametrelerde kaplamalar üretilip korozyon performansı incelenebilir.

- Farklı mesafelerde kaplamalar üretilip mesafenin etkisi araştırılabilir.
- Hv, Fan ve Focus nozul kullanarak farklı parametre değerlerinde kaplamalar üretilip özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, 2006.
- [2] WANG, X., Investigation of two-wire arc spray thesis of Doctor of Philosophy, University of Minesota, March 1996.
- [3] PLANCE, M. P., LIAO, H., CODDET, C., Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions, LERMPS, UTBM – Sevenans, 90010 Belfort Cedex, France, Received 15 April 2003; accepted in revised form 18 July 2003.
- [4] SARIKAYA, Ö., Al - %12 Si Malzemesi Üzerine Plazma Püskürtme Tekniği ile Al – Si – B4C Kaplama, Doktora Tezi, SAÜ Müh. Fak. Metalurji Müh. Böl., 2003.
- [5] ROHATGI, P., Cast Aluminyum Matrix Composites for Automotive Applications, JOM., Vol. 43,pp. 10-15, 1991.
- [6] KEMPTON, K., Where Thermal Spray Coatings are Most Cost Effective Welding Journal, pp. 41-44, 1991.
- [7] VILLAT, M., Functionally Effective Coating Using Plasma Spraying Sulzer Technical Review, 3, pp. 41-45, 1986.
- [8] ANIK, S., Krom ve Krom-Nikelli Ostenitik Çeliklerin farklı püskürtülmesinde tabakaların özellikleri, T.Ü.B.İ.T.A.K.- Metalurji Sempozyumu, 1967
- [9] PAMUK, U., Plazma spreyleneş Cr₃C₂-NiCr ve Al₂O₃-TiO₂ kaplamaların abraziv aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [10] SERTTAŞ, B., Termal Sprey Kaplama Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002
- [11] DAVID, J. R., Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International 2004
- [12] http://www.versa-tech.com.tw/images/thermal/951111_31.jpg Nisan 2009

- [13] http://www.versa-tech.com.tw/images/thermal/951111_35.jpg Nisan 2009
- [14] http://iwsco.co.kr/cgi/image/pimg_0331.gif Nisan 2009
- [15] SUNGUR, M., Isıl Püskürtme Yöntemiyle Oluşturulan Paslanmaz Çelik Kaplamalarda Alev Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 2004.
- [16] www.csun.edu/~bavarian/Courses/FMSE%2520550%2Thermal%20spraying.ppt (Mart 2009)
- [17] http://www.iwsco.co.kr/cgi/image/pimg_0341.gif (Aralık 2008)
- [18] www.obitet.gazi.edu.tr/sunular/42.ppt (Mart 2009)
- [19] STEFFENS, H. D., and NASSENSTEIN, K., Influence of spray velocity on arc-sprayed coating structure, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 8 (3), pp.454-560, September 1999
- [20] TRAN, T., The Influences of Preparation on The Bond Strength of Zinc Twin Wire Ark Spray Coating on Steel San Jose State University, August 2004.
- [21] HUSSARY, N. A., HEBERLEIN, J., in: BERNDT, C. (Ed.), Thermal Spray: Surface Engineering via Applied Research, ASM Int., Ohio, 2000, p. 737.
- [22] NEWBERY, A. P., GRANT, P. S., Large Arc Voltage Fluctuations and Droplet Formation in Electric Arc Spraying, Powder Metal. 46 (3) (2003) 229-235.
- [23] [http://www.praxair.com/praxair.nsf/0/35447e9b607958cd85256c76006af8b2/\\$FILE/WireBrochure.pdf](http://www.praxair.com/praxair.nsf/0/35447e9b607958cd85256c76006af8b2/$FILE/WireBrochure.pdf) (Mart 2009)
- [24] HUSSARY, N., Investigations into the wire arc spraying process, thesis of Doctor of Philosophy, University of Minnesota, May 2003.
- [25] GÜLEÇ, A., Termal Püskürtme Tekniği İle Yüksek Performanslı Zn/Al (85/15) Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2006.
- [26] HUSSARY, N. A., HEBERLEIN J. V. R., Atomization and particle-jet interactions in the wire-arc spraying process, Journal of Thermal Spray Technology, Volume: 10 (4), pp. 604–610, December 2001.
- [27] THORPE, M. L., Thermal spray industry in transition, Advanced Materials and Processes, Vol 143, n05,(1993), 50-60.

- [28] WATANABLE, T., WANG, X., PFENDER, E., HEBERLEIN, J., Correlations between electrode phenomena and coating properties in wire arc spraying, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku Tokyo 152-8552, Japan, Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA.
- [29] www.gordonengland.co.uk/tcs.htm, (Temmuz 2008).
- [30] WATANNABLE, T., WANG, X., HEBERLEIN, J., PFENDER, E., HERWING, W., Voltage and current fluctuations in wire arc spraying as indications for coating properties, Thermal Spray : Practical solutions for engineering problems, Ed C. C. Berndt, pub. ASM Int., Materials Park, Ohio USA, (1996), 577-583, 2005.
- [31] JANDIN, G., M. P., PLANCHE, H., LIAO and C. CODDET, BELFORT, F., Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure for the twin wire arc spray process” to be published 2003.
- [32] GUILLEN, D. P., Oxidation Behavior Of In-Flighth Molten Aluminium Droplets In The Twin-Wire Electric Arc Thermal Spray Process, Doctor Of Philosophy, Idaho State University, May 2005.
- [33] KRUGER, J., KNEPPER, M., Arc spray coating for industrial application, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002.
- [34] CHANG, L., GEORGY, M. E., Metalization of Steel Bridges: Research and Practice, Division of Construction Engineering and Management School of Civil Engineering, Purdue University, May 1999.
- [35] Zincover Firma Kataloğu (Mart 2008).
- [36] [http://www.praxair.com/praxair.nsf/0/09e2b4a5b93dd3cc85256cb700772b24/\\$FILE/ARCbrochure.pdf](http://www.praxair.com/praxair.nsf/0/09e2b4a5b93dd3cc85256cb700772b24/$FILE/ARCbrochure.pdf) (Nisan 2009).
- [37] ÜSTEL, F., Termal Sprey Kaplama Teknolojileri ve Türkiyedeki Potansiyeli, Sunum, World of Industry Fuarı 2007.
- [38] NEWBERY, A. P., RAYMENT, T., GRANT, P. S., A partial image velocimetry investigation of in-flight and deposition behaviour of steel droplets during electric arc sprayforming Department of Materials, University of Oxford, Received 27 January 2004.
- [39] WANG, X., HEBERLEIN, J., PFENDER, E., and GEBERICH, W., Effect of nozzle configuration, gas pressure, and gas type on coating properties in wire arc spray, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 8, pp: 565-575, December 1999.

- [40] WILDEN, J., BERGMANN, J.P., JAHN, S., KNAPP, S., VAN RODIJNEN, F., FISCHER, G., Investigation about the Chrome Steel Wire Arc Spray Process and the Resulting Coating Properties, Thermal Spray 2007: Global Coating Solutions (Ed.) Marple B.R., Hyland M.M., Lau Y.-C., Li C.-J., Lima R.S. and Montavon G. Published by ASM International, Materials Park, Ohio, USA, Copyright 2007.
- [41] ABEDINI, A., POURMOUSA, A., CHANDRA, S., MOSTAGHIMI, J., Effect of substrate temperature on the properties of coatings and splats deposited by wire arc spraying, Centre for Advanced Coatings Technology, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada, 9 July 2006.
- [42] [http://www.askaynak.com/Asp/Urunler/UrunAyrinti.asp?bid=Paslanmaz Çelik MIG Telleri&id=128&imgId=11002](http://www.askaynak.com/Asp/Urunler/UrunAyrinti.asp?bid=Paslanmaz%20Celik%20MIG%20Telleri&id=128&imgId=11002) (Mart 2009).

ÖZGEÇMİŞ

Taner TERZİ, 02.08.1983 de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında Kartal Süleyman Demirel Lisesi, sayısal Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 2007 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD da yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans eğitimi sırasında projelerde asistanlık yaptı.