

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

**ARK SPREY TEKNOLOJİSİ İLE ŞEKİLLİ PARÇA
ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met.Müh. Eren YÜKSEK

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet TÜRK

Ağustos 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ARK SPREY TEKNOLOJİSİ İLE ŞEKİLLİ PARÇA
ÜRETİMİ

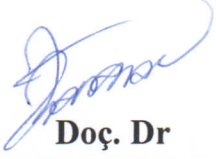
YÜKSEK LİSANS TEZİ

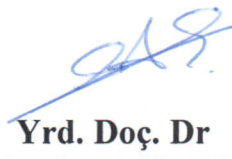
Met.Müh. Eren YÜKSEK

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH

Bu tez 07 / 08 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Ahmet TÜRK
Jüri Başkanı


Doç. Dr
Ramazan YILMAZ
Üye


Yrd. Doç. Dr
Serdar ASLAN
Üye

TEŞEKKÜR

Çalıőmanın 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 plazma laboratuvarında çalışan teknisyen Sayın Ebubekir CEBECİ'ye teşekkür ve şükranlarımı bir borç bilirim.

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

AĞUSTOS 2008

EREN YÜKSEK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x ii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

TERMAL SPREY KAPLAMALAR.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Termal Spreyin Tarihçesi.....	4
2.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri.....	5
2.3.1. Alev püskürtme yöntemi.....	6
2.3.1.1. Tel alev püskürtme yöntemi.....	6
2.3.1.2. Toz alev püskürtme yöntemi.....	7
2.3.2. Ark sprej kaplama yöntemi.....	7
2.3.3. Plazma kaplama yöntemi.....	8
2.3.4. Yüksek hızlı oksijeni-yakıt tekniği (HVOF).....	9
2.3.5. Detonasyon tabancası (D-Gun).....	10
2.3.6. Soğuk Sprej Kaplama Yöntemi (Cold Spray).....	11
2.3.6.1. Soğuk sprej prosesinin avantajları.....	13
2.3.6.2. Soğuk sprej dezavantajları.....	13
2.4. Termal Sprej Kaplamalar Mikroyapısı.....	14

BÖLÜM 3.

ELEKTRİK ARK SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ.....	17
3.1. Giriş.....	17
3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi.....	18
3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özellikleri.....	20
3.4. Ark Spreyin Avantajları.....	23
3.5. Ark Spreyin Dezavantajları.....	23
3.6. EAS Kaplamalar ve Kaplamalara Etki Eden Faktörler.....	24
3.6.1. Atomize gaz basıncının etkisi.....	26
3.6.2. Voltaj etkisi.....	29
3.6.3. Tel besleme hızının etkisi.....	31
3.6.4. Sprey mesafesinin etkisi.....	32
3.7. Elektrik Ark Sprey Kaplama Malzemeleri.....	33
3.8. EAS Kaplama Malzemeleri ve Kullanım Alanları.....	35
3.8.1. Zn ve Zn alaşımları.....	36
3.8.2. Al ve Al alaşımları.....	37
3.8.3. Zn/Al ve Zn/Al alaşımları.....	37
3.8.4. Ni ve Ni alaşımları.....	37
3.9. Ark Sprey Kullanımında Güvenlik.....	40

BÖLÜM 4.

HIZLI KATILAŞMA PROSESİ İLE PARÇALARA ŞEKİL VERME.....	41
4.1. Giriş.....	41
4.2. Tarihsel Gelişim.....	41
4.3. Prototiplemenin Kavramı.....	42
4.4. Modellerin Üretimi.....	43
4.5. Proses Tanımlama.....	45
4.6. RSP İşlemelerinin Çalışma Prosesleri.....	46
4.7. RSP İle İşlemelerin Yararları.....	47
4.8. RSP Teknolojisi.....	48

BÖLÜM 5.

ELEKTRİK ARK SPREY PROSESİ İLE ŞEKİLLİ PARÇA ÜRETİMİ.....	50
5.1. Giriş.....	50
5.2. Ark Sprey İle Şekilli Parça Üretimi.....	52
5.3. Ark Sprey İşlemeler İçin Kullanılan Parametre Aralıkları.....	53
5.3.1. Ark voltajı.....	53
5.3.2. Ark akımı.....	53
5.3.3. Tel besleme oranı.....	53
5.3.4. Atomize gaz basıncı.....	53
5.3.5. Sprey mesafesinin etkisi.....	54
5.4. Püskürtme İçin Model Hazırlama.....	54
5.5. Ark Sprey Prosesi İle İşleme.....	54
5.6. Ark Spreyle Kalıp Üretiminde Kullanılan Kaplama Malzemeleri....	56
5.7. Destekleme Sistemleri.....	58
5.8. Blok Takviyeler.....	58
5.9. Ark Sprey İle İşlemenin Avantajları.....	59
5.10. Ark Sprey İle İşlemenin Dezavantajları.....	59
5.11. Gelişimler.....	60
5.11.1. Nozul modifikasyonu;dizayn ve optimizasyonu.....	62
5.11.2. Tabanca kümesinin optimizasyonu.....	63
5.11.3. Nozul dizaynının optimizasyonu.....	64

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	67
6.1. Modeller İçin Malzemelerin Seçimi.....	67
6.2. Modelin Tanımlanması.....	67
6.3. Püskürtme Öncesi Model Üzerinde Yapılan İşlemler.....	68
6.4. Kaplama/Püskürtme İşlemi.....	70
6.5. Destekleme İşlemi.....	72
6.6. Mikroyapısal Çalışmalar.....	74
6.7. Deney Prosedürü.....	74

6.7.1. Numune hazırlama.....	74
6.7.2. Metalografik çalışmalar.....	74
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	76
7.1. Sertlik Ölçümleri.....	76
7.2. Kalınlık Değişimi.....	77
7.3. Kaplamanın Yüzey Pürüzlülüğü.....	79
7.4. Mikroyapısal Kusurların Başlamasına Neden Olan Etkilerin Analizi.....	80
7.5. Isıtılan Altlık Modelin Kaplama Mikroyapısına Etkisi.....	81
7.6. Kaplamalarla İlgili SEM Çalışmaları.....	83
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
8.1. Sonuçlar.....	89
8.2. Öneriler.....	90
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

R	: Numune çapı
MMA	: Metil metal akrilat
OCD	: Dışa doğru yayınım mesafesi
EAS	: Elektrik ark sprey
A	: Amper
V	: Volt
RP	: Hızlı prototip
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
HVOF	: Yüksek hızlı oksî-yakıt
He	: Helyum
N	: Azot
DC	: Doğru akım
TBH	: Tel besleme hızı
U_g	: Gaz hızı
V_1	: Küçük bir partikülün hızı
V_2	: Büyük bir partikülün hızı
SOD	: Algılama mesafesi
GA	: Tabanca açısı
RSP	: Hızlı katılma prosesi
DOE	: Enerji bölümü
3-D	: Üç boyutlu
SLA	: Stereolitografi araçlar
CAD	: Bilgisayar desyekli resim
PVA	: Polivinil alkol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Başlıca proses şekilleri ve termal sprey kaplamalarının genel olarak görünümü.....	5
Şekil 2.2.	Soğuk sprey prosesinin şematik olarak görünümü.....	12
Şekil 2.3.	Soğuk sprey prosesleri ile kaplanan bazı ticari araç ve gereçler....	14
Şekil 2.4.	Tipik bir termal sprey biriktirme prosesinin şematik olarak görünümü.....	15
Şekil 2.5.	(a) Çarpmanın etkisiyle partikülün yüzeyde levha şeklini alması (b) Kaplama mikro yapısı.....	16
Şekil 3.1.	Elektrik ark püskürtme prosesi.....	18
Şekil 3.2.	Elektrik ark sisteminin bileşenleri.....	19
Şekil 3.3.	Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.....	21
Şekil 3.4.	a) Tel elektrotların asimetric ergime davranışlarının gösterilmesi ilk olarak 1966'da Steffens tarafından yapılmıştır. (b) Her iki elektrotun levhasal formlarının stroboskopi (strobe) fotoğrafları.....	22
Şekil 3.5.	a) Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplaması kesitinin şematik görüntüsü b) Ark sprey ile püskürtülmüş 13 Cr çelik.....	25
Şekil 3.6.	Atomize gaz basıncının ortalama Al partikülü üzerindeki etkileri a) hız ve b) sıcaklık.....	27
Şekil 3.7.	Benzer kaplamalar için iki farklı gaz ve hızlarda elde edilen kaplama mikroyapıları.....	28
Şekil 3.8.	Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi	28
Şekil 3.9.	Ortalama Al partikül çapları üzerinde gaz basıncının etkisi.....	29
Şekil 3.10.	Akım tüketimi üzerindeki voltajın etkisi.....	30
Şekil 3.11.	Artan voltaja bağlı olarak Al partikül sıcaklıklarının artması.....	30

Şekil 3.12.	Ortalama Al partikül a) çap ve b) hızı üzerinde voltajın etkisi.....	30
Şekil 3.13.	Güç kaynağından ark tarafından tüketilen akım üzerinde tel besleme hızının etkisi.....	31
Şekil 3.14.	Sabit voltaj ve basınçta tel besleme hızının sisteme giren elektriksel güç ile lineer fonksiyonunun gösterilmesi.....	31
Şekil 3.15.	Tel beslemenin Al partikül hızı üzerindeki etkisi.....	32
Şekil 3.16.	Tel besleme hızının ortalama a) partikül çapları ve b) sıcaklıklar üzerinde etkileri.....	32
Şekil 3.17.	Sprey mesafesinin ortalama a)Al partikül çapı ve b) hız.....	33
Şekil 3.18.	Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi ve tipik şekli.....	34
Şekil 3.19.	Son üç yıla ait yüksek verimli ark sprej uygulama örnekleri.....	40
Şekil 4.1.	Prototiplenmiş ve kırılmış seramik parçalar.....	43
Şekil 4.2.	Hızlı katılma ile işleme prosesleri ile üretim aşamaları.....	44
Şekil 4.3.	Hızlı katılma ile işleme prosesinin şematik görünümü.....	45
Şekil 4.4.	RSP Beta işleme makinesi.....	46
Şekil 4.5.	Kalıpların CAD modelleri ve RSP ile işlenmiş kalıp.....	46
Şekil 5.1.	Püskürtme ile metal işleme yönteminin hızlı işleme ile kalıp üretimindeki yeri.....	50
Şekil 5.2.	Ark sprej prosesinin tipik görünümü.....	52
Şekil 5.3.	Kullanılan ark sprej hızlı işleme sistemleri içersindeki kapalı döngüsü.....	55
Şekil 5.4.	Ark sprej kalıp üretim uygulamasının işlem kademeleri.....	56
Şekil 5.5.	Model üzerine yapılan a) Zn ve b) Çelik kaplamalar.....	57
Şekil 5.6.	Ark sprej ile ayakkabı kalıbı üretiminde meydana gelen termal çatlaklar.....	60
Şekil 5.7.	Kümülatif tabanca sistemi ve uygulaması.....	61
Şekil 5.8.	Kullanılan tipik bir koruyucu gaz konsepti ve önerilen nozul aparatlarının dizaynı.....	62
Şekil 5.9.	Kaplamanın merkezden dışa doğru mikroyapısal değişimi.....	63
Şekil 5.10.	Merkezden dışa doğru püskürtülen kaplamalar üzerinde oksitli bölge ve porozitedeki değişimler.....	63
Şekil 5.11.	Spreyle biçimlendirilmiş çelik kabuklarında kümelenmiş tabanca faktörünün formasyon üzerinde ölçülmüş olan etkilerin grafiği....	64

Şekil 5.12.	Uçan partiküllerin ark sprej yayınımları ile (plume) radyal yön boyunca hız ve sıcaklık profilleri ve nozul modifikasyonunun bu uçan partiküller üzerinde etkileri.....	65
Şekil 5.13.	Sprej yayınımları süresince uçan partiküllerin sıcaklıklarındaki değişim.....	66
Şekil 5.14.	Ark sprej ile şekil verilmiş çelik kabuklarının kusurlu morfolojilerinin optik mikroskopla gösterilmesi.....	66
Şekil 6.1.	Kaplama öncesi seçilen alüminyum model.....	68
Şekil 6.2.	Parçayı sabitlemek için hazırlanmış ytonglu düzenek.....	69
Şekil 6.3.	Parçayı ısıtmak için dizayn edilen elektrikli düzenek.....	69
Şekil 6.4.	Kullanılan elektrik ark sprej cihazı.....	70
Şekil 6.5.	200-300 °C ısıtılmış modelin a) Kaplama işlemi b) Kaplama sonrası görünümü.....	71
Şekil 6.6.	Kaplamanın çerçeveselenmesi ve Al epoksi ile desteklenmesi.....	72
Şekil 6.7.	Orijinal model ve üretilmiş prototipinin fotografik görünümü.....	73
Şekil 6.8.	Üretilen modelin farklı bölgelerinden inceleme için numunelerin alınması.....	74
Şekil 7.1.	Üretilen prototip modellerin farklı bölgelerinden alınan sertlik ölçümleri.....	76
Şekil 7.2.	Kaplamalarda merkezden dışa doğru yayınımlar.....	77
Şekil 7.3.	Oda sıcaklığında üretilen kaplamanın merkezden dışa doğru yayınımları.....	78
Şekil 7.4.	Oda sıcaklığında üretilen kaplamanın merkezden sağa ve sola kaplama kalınlığının değişimi.....	78
Şekil 7.5.	Modelin a) oda sıcaklığında b) 200-300 °C'de kaplama sonrası pürüzlülük değerleri.....	80
Şekil 7.6.	Oda sıcaklığında üretilen prototipin merkezden sola doğru optik görünümü.....	80
Şekil 7.7.	Üretilen kaplamalardan elde edilen tipik optik görünümler.....	82
Şekil 7.8.	a) Oda sıcaklığında ve b) 200-300 °C altlık sıcaklığında üretilen kaplamalardan elde edilen optik görünümler.....	82

Şekil 7.9.	a) Oda sıcaklığında ve b) 200-300 °C model üzerinde biriktirilen Zn kaplamaların SEM görüntüleri.....	83
Şekil 7.10.	Tüm kesit boyunca alınan şekilsel SEM görünümü.....	84
Şekil 7.11.	Oda sıcaklığında 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi.....	85
Şekil 7.12.	Oda sıcaklığında 2 numaralı köşe numunesinden alınan EDS analizi.....	85
Şekil 7.13.	Oda sıcaklığında 3 numaralı merkez numunesinden alınan EDS analizi.....	86
Şekil 7.14.	200-300 °C'de 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi.....	87
Şekil 7.15.	200-300 °C'de 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi.....	88
Şekil 7.16.	200-300 °C'de 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi.....	87

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Elektirik ark sprey prosesinde kullanılan parametreler.....	26
Tablo 3.2.	Endüstriyel uygulamalar için bazı teller ve özellikleri.....	34
Tablo 3.3.	Elektirik ark sprey ile özlü tel kaplamalar ve uygulama alanları....	35
Tablo 4.1.	RSP işlemleri için gerekli proses zamanları.....	44
Tablo 6.1.	Üretimde kullanılan parametreler.....	71
Tablo 7.1.	Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	79

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ark sprey metal işleme, Hızlı prototip, Hızlı işleme

Elektrik ark püskürtme prosesi metalik malzemelerin altlık yüzeyine biriktirilmesi olayıdır. Ark sprey metal işleme, ticari olarak çeşitli proseslerin üretiminde kullanılan kalıplar için hızlı bir üretim metodudur. Kısa süreli üretimler ve prototipler için hızlı ve ucuz bir üretim metodudur.

Bu çalışmada elektrik ark sprey prosesleri ile kalın çinko kaplamalar üretilmiştir. Başlangıçta 0,5 mm kalınlığında kaplama uygulanmış ve daha sonra kaplama birikiminin daha hızlı artması için akım değeri arttırılmıştır. Modeli kopyalamak için kabuk kalınlığı 1,7-2,1mm'ye kadar çıkmıştır. Daha sonra kaplanmış numuneler optik mikroskop, SEM, EDS analizleri ile incelenmiştir. Ark sprey ile üretilen Zn kabuklarının özelliklerinin geliştirilip mikro yapısal kusurlarının azalması için değişik sprey parametreleri, altlığın ısıtılması gibi farklı teknikler kullanılmıştır.

RAPID PROTOTYPE MOULD PRODUCING BY ARC SPRAY TECHNOLOGY

SUMMARY

Key Words: Arc spray metal tooling; Rapid prototyping (RP), Rapid tooling (RT)

Electric arc spraying is a process of depositing metallic materials on a substrate. Arc spray metal tooling has been used commercially for sometime as a rapid method of producing moulds for use in a variety of manufacturing processes. It is a relatively fast and cheap method of producing tooling for prototyping and short-run manufacturing.

In this study, zinc coatings were produced with electric arc spray process. Once about 0.5 mm of metal has been applied, the current on the spraying machine can be increased to deposit material more rapidly. The shell is usually sprayed to a thickness of 1–2 mm using fine atomising pressures to replicate the pattern. Than coated samples were investigated optical microscopy, SEM, and EDS analysis. In order to improve the properties of arc spray formed Zn shells by reducing temperature of substrates and various removal molds. microstructural defects, used the different technics, such as spray parameters.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve bu özelliklerin çevresel etkilere karşı korunabilmesi için yüzeyinin koruyucu bir tabaka ile kaplanması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu sayede malzemeler erozyon, korozyon ve oksidasyon gibi zararlı etkilerden korunmuş olur. Ayrıca malzemelerin üretiminde kullanılan hammadde rezervlerinin azalması ve fiyatlardaki artış ile ortaya çıkan maliyet artışları ile aşınma ve korozyonun sebep olduğu ekonomik kayıpların çok büyük boyutlarda olmasından dolayı malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde çeşitli kaplama yöntemleri önem kazanmıştır. Elektrik ark sprej yöntemi bu amaçla kullanılan termal sprej ailesinin bir üyesidir. Termal sprej kaplama bu yöntemlerden bir tanesidir. Termal sprej kaplama teknolojileri bir çok alt gruptan meydana gelir. Sınıflandırma, kaplama malzemelerini eritmekte kullanılan enerji kaynağına ve kaplamanın uygulandığı ortama göre yapılır. Bu teknikler; ark sprej, alev sprej plazma sprej, HVOF, detonasyon ve soğuk sprej olarak gruplara ayrılırlar.

Elektrik ark sprej, kaplama malzemesi olarak sadece elektrik iletkenliği olan ve tel formunda üretilebilen malzemelerin kullanıldığı bir kaplama prosesidir. Uygulamalarda kullanılan teller genellikle saf veya alaşımlı metalik (demir, bakır, çinko, alüminyum vb.) malzemeler veya seramik (oksit veya karbür) esaslı partiküller içeren özlü tellerdir. Bu sistem kalın kaplama üretimine imkan sağlayan en önemli teknolojilerin başında gelmektedir. Teknoloji, yüzeyde mikron seviyesinden mm derecesine kadar tabaka oluşturmaya imkan sağlar ve çok geniş bir yelpazede üretim imkanı sunar. Bu teknoloji ile kalın kaplamaların üretilebilmesi kalıp üretimi için kullanılma fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu sayede uzun çalışmalar sonucunda hızlı olarak prototip kalıp üretimi bu teknoloji yardımıyla başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Kalıp ve model üretmek için ark sprej prosesinden faydalanılır. Ark sprej ile prototip kalıp üretimi diğeri işlem proseslerine göre daha hızlı bir üretim metotudur. Geleneksel kalıp hazırlama metodlarına göre, çok daha düşük maliyet ve daha kısa üretim zamanına sahiptir. Bu süreçte, ana bir model üzerine ergimiş metal malzemeleri arzu edilen kalınlıklar elde edilinceye kadar biriktirilirler. Metal kabuk biriktirildikten sonra arkası reçine ile doldurulur ve diğeri işlem adımları uygulanarak modelin prototipi üretilir.

Ark sprej işlemleri ile şekil verme geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu uygulamalar başta enjeksiyon kalıpları, ısı formlarında, metal kabuk formlarını içeren uygulamalar olarak göze çarpar. Seri üretime veya hızlı değişen üretimlere bakılmaksızın ark sprej işleme süreci zaman ve maliyetin kurtarılması açısından ilgi görmüştür ve özellikle de deneme kalıp üretimi yapımında (basit ve hızlı prototip kalıp üretimi) kullanılması ilgi çekiciliğini son zamanlarda daha da arttırmıştır.

BÖLÜM 2. TERMAL SPREY KAPLAMALAR

2.1. Giriş

Termal sprej kaplama teknolojisi, mevcut kaplama teknolojileri arasında kendisine en yaygın endüstriyel kullanım alanı bulmuş bir teknolojidir ve çok sayıda farklı yöntemin oluşturduğu kaplama teknolojisi ailesinin genel bir adıdır. Termal sprej kaplama içerisinde özellikle alev ve elektrik ark sprej gibi düşük maliyetli prosesler olarak göze çarpar [1]. Teknoloji yüzeyde mikron seviyesinden mm derecesine kadar tabaka oluşturmaya imkân sağlar ve çok geniş bir yelpazede üretim imkânı sunar [2].

Termal sprej kaplama teknolojisinin genel amacı malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi veya bu özelliklerin çevresel etkilere karşı korunabilmesi için malzemelerin yüzeylerinin koruyucu bir tabaka ile kaplanması esasına dayanmaktadır. Bu teknoloji plazma, alev, ve elektrik arkı gibi enerji kaynakları kullanılarak tel, toz veya solüsyon formundaki kaplama malzemelerinin ergitilerek önceden hazırlanmış iş parçası yüzeyine proses hızlı bir şekilde püskürtülmesi olayıdır. Ergimiş veya yarı ergimiş toz ve metal damlacıkların altlık malzeme yüzeyine çarpmasıyla damlacıklar yayınır ve üst üste birikerek ara yüzeyde mekanik bir bağlanma meydana getirirler. Bu bağlanmalar sonucunda altlık malzeme yüzeyinde bir tabaka oluşur. Oluşan bu tabaka kaplama tabakası olarak bilinir ve genel olarak lamelli bir yapıya sahiptir. Bu lamelli yapılar kullanılan sprej yöntemine, sprej parametrelerine ve kullanılan malzeme çeşidine göre farklılıklar gösterebilirler [3].

2.2. Termal Spreyin Tarihçesi

Termal sprej kaplama teknolojisinin temelleri 1900'lü yılların başında yaşayan Dr.M. Schoop tarafından atılmıştır. Dr.M. Schoop ilk olarak sıvı kurşunu oyuncak bir top yüzeyine püskürtmüş ve kurşunun bütün yüzeye yayınarak yapıştığını görmüştür. Dr. Schoop ve çalışma arkadaşları patentli olan termal püskürtme sisteminin püskürtme ekipmanını ilk olarak üretildiği Almanya'ya satmışlardır. Bu patent daha sonra Fransa'ya satılmıştır. Daha sonra 1920'li yılların başlarında ise termal püskürtme sistemleri Avrupa'nın birçok ülkesine ve Amerika'ya satılmıştır. Toplam kaplama pazarının (30 milyar dolar) yaklaşık %15 i tescil edilmiş olup çevresel basınçlara ve akımlara uygun kaplama operasyonlarının 5000'den fazlası Kuzey Amerika'da yapılmıştır. Termal sprej kaplama teknolojisi, kaplama tozları çeşidinin artmasıyla da en hızlı büyüyen pazarlar içerisinde yerini almıştır [Zimoch, 2000].

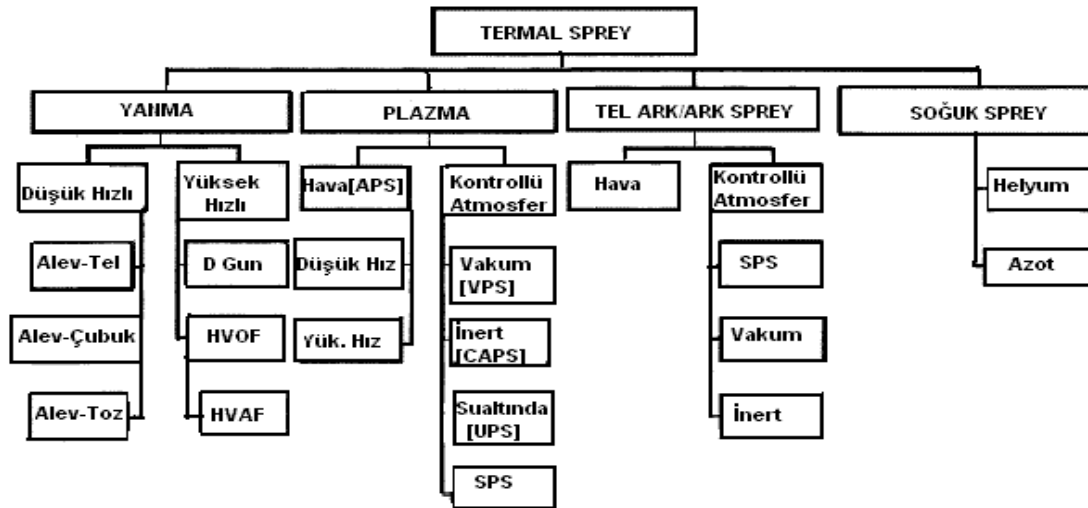
Buradan esinlenerek kaplama proseslerinin icat edilmesi ve kaplama uygulamalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlanmıştır. 1900'lü yılların başından günümüze kadar hammadde fiyatlarındaki artışlar, daha iyi performans beklentileri, aşınma ve korozyon gibi etkilerin yanı sıra teknolojide meydana gelen hızlı değişimler, malzemelerin özelliklerinin her zamankinden daha yüksek özellikte performans göstermelerini zorunlu kılmıştır. Artık birçok işletmede tamir, bakım veya yeni malzeme maliyetlerinden ziyade üretim kaybına yönelik maliyetler ön plana çıkmaktadır. Günümüzde artık kullanıcıların hemen hemen hepsi hizmet sektörlerinden malzeme performansları için garantili kullanım ömrü talep etmeleri üreticileri daha teknolojik çalışmalara sevk etmektedir. Bu durum, malzemelerin kullanım sınırlarını ve malzeme üreticilerini daha da zorlamaktadır. Bu nedenle artık tek bir malzeme kullanımı devamlı yükselen talepleri karşılama konusunda yetersiz kalacağından uygulamalar mono – multi sistemlere geçiş göstermesi kaçınılmaz olmuştur [4].

Dünyada kaplama tozlarının pazarı 2002'de 3,3 milyar dolar olarak hesaplanmış ve Avrupa ve Pasifik Asya'nın bu pazarlarda önemli bir yere sahiptir. AB Pazar payı

yaklaşık 1,5 milyar dolar mertebesinde olup bunun %23 malzeme ve donanım, %77'i ise kaplama maliyetinden oluşmaktadır [5].

2.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri

Termal sprey prosesleri kullanılan enerji kaynakları (yanma, elektrik, gaz ve dinamik olarak), besleme malzemesi (toz, tel veya çubuk) ve çevreyi saran (hava, düşük basınç, vakum, inert gaz veya sualtı) etkilere göre çeşitli gruplara ayrılmıştır. Çeşitli termal sprey proseslerinin termo-kinetik karakteristiklerini anlamak için proses seçim süreçleri önem arz etmektedir. Şekil 2.1'de termal sprey ailesinin genel olarak sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Başlıca proses şekilleri ve termal sprey kaplamalarının genel olarak görünümü [Knight tarafından 2002 Smith'ten modifiyeli 1992] [6].

Termal sprey ailesini meydana getiren teknolojiler, farklı enerji kaynaklarının yanı sıra bu enerji kaynaklarının kullanıldığı ve yapıldığı ortamlara göre de farklı alt gruplar altında sıralanırlar. Burada yanma, düşük hızlarda alev enerjisi ile yüksek hızlarda ise detonasyon (D-Gun), yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF), yüksek hızlı asetilen yakıt (HVOF) ile gerçekleşir. Plazma kaynağı ise düşük ve yüksek hızlı olarak atmosferik ortamlarda (APS), kontrollü atmosferde, vakum ortamında, sualtında, inert ortamlarda ve spark plazma ortamlarında (SPS) kullanılırlar. Ark enerjisi atmosferik ortamda, kontrollü atmosfer koşullarında, spark plazma, vakum

ve inert ortamlarda kullanılır. Son olarak ise soğuk sprej, helyum ve azot sistemleri içeren ortamlarda kullanılmaktadır [6].

Uygulama gereksinimlerine bağı olarak püskürtme kaplaması üretmek için günümüzde çeşitli termal püskürtme yöntemi kullanılmaktadır. En popüler olan altı termal püskürtme sistemi; alev sprej, ark sprej, plazma sprej, HVOF, detonasyon ve soğuk sprej prosesleri olarak göze çarpmaktadır.

2.3.1. Alev püskürtme yöntemi

Alev püskürtme, termal püskürtme işlemleri arasında en basit ve en ucuz olan proseslerin başında gelmektedir. Alev püskürtmede kaplama malzemesini eritmek için ısı kaynağı olarak yanabilir bir gaz kullanır. Bu yöntemle kaplama malzemesi tel veya toz halde beslenerek oksit-asetilen aleviyle ertilir. Düşük ergime noktalı malzemeler için propan, çelikler için asetilen ve ince tozların püskürtülmesinde hidrojen yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Alev püskürtme ile kaplama tekniğinde genel olarak asetilen, propan, metil-asetilen-propadien (MAPP) gazı ve hidrojen, oksijenle beraber genel olarak kullanılan alev püskürtme gazlarıdır. Oksijen ile kullanılan bu gazların kullanım sıcaklıkları birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Alev sıcaklığı 3000°C civarındadır ve erimiş damlalar 2000°C'nin üzerinde olup yaklaşık 100 m/sn hızla altlığa çarpmaktadır. Alev ile püskürtme yöntemi ile 25-30 MPa bağı mukavemeti, %10-15 arasında poroziteli kaplamalar elde edilir. Normal şartlar altında da kaplamalar yaklaşık olarak %15 oksit içeriğine sahiptir. Alev püskürtme kaplama tekniğı kaplanacak malzemenin cinsine bağı olarak hem tel hem de toz olarak kullanılabilir [7].

2.3.1.1. Tel alev püskürtme yöntemi

Tel alev püskürtme tekniğı; tel halinde üretilmiş ve ergime sıcaklığı oksit-asetilen alev sıcaklığının altında olan herhangi bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtülmesi olayıdır. Kaplanacak metal tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenmektedir. Tel nozul içinden geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımı ile ertilmektedir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek

kaplanacak yüzeye püskürtülmektedir. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ergitilmesini sağlamaktır. Kaplama uygulandıktan sonra yüzeyin sıcaklığı 95 - 200°C arasında değişmektedir [7].

2.3.1.2. Toz alev püskürtme yöntemi

Toz alev püskürtme prosesinde toz malzeme alev sprej tabancasının üzerindeki bir besleyiciden yerçekiminin etkisiyle beslenmekte ve bir taşıyıcı gazın yardımı ile toplanıp ergitilmek üzere tabancanın nozuluna taşınmaktadır. Burada ergitilen tozlar kaplamayı oluşturmak üzere ana malzeme üzerine gönderilmektedir. Bu yöntem genellikle seramik tozlarının kullanılması için uygundur. Bunun yanında oksidasyona karşı dirençli metal ve alaşımlar da bu yöntem ile püskürtülebilmektedir. Alümina, zirkonya, alümina-titanya, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar gibi malzemeler bu yöntem kullanılarak püskürtülebilir [8].

2.3.2. Ark sprej kaplama yöntemi

Bu proseste gaz alevi veya elektrikle elde edilen plazma gibi harici ısı kaynakları olmadığından diğer termal püskürtme proseslerinden farklılık göstermektedir. Elektriksel olarak zıt yüklenmiş, püskürtme malzemelerini içeren iki tel kesişme bölgesinde kontrollü bir ark oluşturmak üzere bir araya getirilir böylece teller kesişme bölgesinde ısınır ve buna bağlı olarak ergime meydana gelir. Tel uçlarındaki ergiyik metal, sıkıştırılmış hava veya diğer gazların akımı tarafından atomize edilir ve hazırlanmış altlık malzeme üzerine püskürtülür. Ergime hızı ve elektrotlar arası voltaj, ark mesafesini ve tellerin ucundan ayrılan atomize dropletlerin boyut dağılımını belirler ve dolayısıyla da nihai kaplama mikroyapısını etkiler.

Elektrik ark prosesi çoğu durumda diğer proseslerden daha az işleme maliyetine sahiptir. Elektriksel güç gereksinimleri düşüktür ve birkaç istisna hariç argon gibi pahalı gazlara ihtiyaç yoktur. Elektrik-ark prosesinde çoğunlukla göreceli olarak sünek, elektriksel olarak iletken ve 1.5 mm çaplı teller kullanılmaktadır. Bu nedenle karbürlerin, nitrürlerin ve oksitlerin elektrik-ark ile püskürtülmesi pratik değildir. Bununla birlikte özlü tellerin gelişimi karbür veya oksit içeren bazı kompozit

kaplamaların termal püskürtmesine izin vermektedir. Elektrik-ark kaplamalar, korozyon dirençli çinko kaplamalar gibi düşük maliyetli ve büyük hacimli uygulamalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Çok nadir bir uygulama olarak, bazı üreticilerden sağlanabilen ince püskürtme yapıları kullanılarak metal yüzeyli kalıplar yapılabilir.

2.3.3. Plazma kaplama yöntemi

Kaplama teknolojisinde iş parçası yüzeyine biriktirilmek istenen metalik, seramik, karbür, oksit, plastik veya kompozit karakterli tozların bir plazma enerjisinde ergitilmesi esastır. Plazma, prosesin temel enerji kaynağıdır. Plazma bilinen en genel tanımıyla maddenin dördüncü hali olarak belirtilmektedir. Plazmada gaz halinden farklı olarak serbest hareket eden elektron ve iyonlar bulunmaktadır. Plazma oluşumunda atomlardan elektronların ayrılabilmesi için çok yüksek enerjiye gereksinimi vardır. Bu enerji termal, elektriksel ve ışık orijinli lazer olarak elde edilebilir. Elde edilen plazmanın iletken olması ile birlikte elektrik alan veya manyetik bir alan içerisinde ivmelendirilerek hareketi kontrol edilebilmektedir [9,10]. Plazma sprey prosesinde, suni bir plazma oluşturularak yüksek sıcaklığa ulaşılır. Plazma, kaplama tabancası içerisinde su soğutmalı bakır anot ile toryumlu katot arasında oluşturulan yüksek voltaj arkı (doğru akım) içerisinde plazma gazları olarak nitelendirilen Ar, H₂, N₂ ve He gazının geçirilmesiyle elde edilir. Plazma gazlarının elektrik arkı içerisinde nötr durumları bozulur, disosiyasyon, iyonizasyon ve rekombinasyon olayları sonucu 20.000°K'e kadar çıkan yüksek sıcaklık meydana gelir. Isınan gazlar, radyal ve aksenal olarak genişir, partikül hızını arttıran süpersonik genişmeye, gazların dar boğazlı bir nozul içerisinde geçirilmesiyle ulaşılır. Kaplama tozları, plazma hüzmesinin içerisine taşıyıcı Ar gazı yardımıyla beslenir. İyonize gaz içerisinde ergiyen tozlar, çok hızlı bir şekilde önceden hazırlanmış altlığın/iş parçasının yüzeyine püskürtülür. Yüzeye çarpan ergimiş veya yarı ergimiş tozlar/partiküller yassılaşıır, lamelli bir hal alır ve çok ani soğuma sonucu (10⁻⁶°C/sn) katılaşıır.

Sabit bir ergime noktasına sahip tüm malzemelerin kaplamada kullanılabilmesi, her türlü malzemenin kaplanabilir olması, prosesin mükemmel otomizasyona imkân vermesi, esnek, iyi tekrarlanabilir, yüksek hassasiyette ve kalite standartlarında kaplama üretimini mümkün kılması, diğer ince film yöntemlerine göre uygun yatırım ve işletme maliyetleri ve her büyüklükte ve geometrideki iş parçalarının kaplanabilir olması bu prosesin avantajlarıdır [9,11].

2.3.4. Yüksek hızlı oksit-yakıt tekniği (HVOF)

Yüksek hızlı oksit-yakıt püskürtme yöntemi, yüzey modifikasyon tekniklerindeki önemli gelişmelerden birisidir. Yüksek hız yakıt yönteminde propan veya hidrojen gibi yanıcı gazlar yüksek basınçta yanma odasına gönderilir ve yakılır, bu basıncın etkisiyle partiküller yüksek hızda (ses hızının üzerinde) altlık malzeme üzerine gönderilirler. Özellikle ergime sıcaklığı 3000 °K' in altındaki toz malzemeleri bu yöntemle kaplama malzemesi olarak kullanılır. HVOF sistemi diğer termal kaplama sistemleriyle kıyaslandığında bir takım avantajlara sahiptir. Bu kaplama yönteminde alev hızı diğer termal spreycaplamalarındakine oranla oldukça yüksektir. 1500 m/sn' lik süpersonik seviyedeki çok yüksek alev hızı ile bu yöntemle hazırlanan kaplamalar diğer sistemlerle oluşturulmuş kaplamalara göre bir takım üstün özelliklere sahiptir. Plazma gazları olarak bu sistemde H₂ ve O₂ gazlarının yanında taşıyıcı gaz olarak ta N₂ gazı kullanılır. Çok yüksek alev hızı sonucu yüzeyde oluşan kaplama tabakaları çok düşük gözenek oranıyla oldukça yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Bu yüksek yoğunluğa bağlı olarak da kaplamaların bağ mukavemeti ve sertlikleri de oldukça yüksek seviyelerdedir. Ayrıca kaplama yapısının oksit içeriği oldukça düşük seviyelerdedir. Ancak tüm bu olumlu özelliklerin yanında HVOF sistemi diğer termal kaplama sistemleriyle karşılaştırıldığında proses maliyetinin daha yüksek olduğu bir yöntemdir [12].

Bütün bu özelliklerin yanında bu prosesin önemli sınırlamaları da vardır. Bu yöntemde alevin uzun mesafelere kadar etkili olması ana malzeme yüzeyinin kimyasal kompozisyonunu değiştirmekte, termal deformasyonlara neden olmakta ve ince numunelerin veya plastikler gibi kolay eriyen malzemelerin kaplanmasını sınırlamaktadır. Buna ilave olarak nozul ve tabanca namlusunun yüksek sıcaklığa

maruz kalması nedeniyle iyi bir soğutma gerektirir, bu da donanımın maliyetini yükseltir. Ayrıca yüksek basınçtan dolayı donanımın bakım masrafları da yüksektir. HVOF teçhizatının farklı geometri, soğutma sistemi, yakıt ve toz enjeksiyon sistemlerine sahip çeşitli türleri bulunmaktadır. Bununla birlikte toz ivmelendirilmesi ve ısıtma sistemleri birbirine benzerdir. Yüksek gaz basıncının etkisiyle radyal ve aksel olarak hareketlenen toz ve sıcak gaz akışı tabancanın çok ısınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek basınçlı su sirkülasyonu ile tabanca namlusunun soğutulması gerekmektedir [12].

HVOF termal kaplama yöntemi özellikle aşınma ve erozyon direnci istenen malzemelerin kaplanması için yaygın olarak kullanılır. Bu doğrultuda özellikle WC, Cr_xC_x ve süper alaşım kaplamalar bu yöntemle yaygın olarak üretilir. Karbür esaslı kaplamalar endüstriyel alanda önemli bir kullanım alanına sahiptir. Bu yüzden karbür esaslı malzemelerin kaplamalarının oluşturulmasında HVOF sistemi yaygın olarak kullanılır. HVOF kaplama teknolojisi endüstride birçok kullanım alanı bulmuştur. Bunların başlıcaları; uçakların türbin kanatçıkları, uzay ve uçak sanayinde, otomotiv sektöründe, kayıt endüstrisinde, aşınmaya maruz kalan şaftlarda, kimyasal rafineli tesislerin kazanlarında, nükleer reaktörlerde, tıbbi implant uygulamalarında başarıyla uygulanmaktadır [12].

2.3.5. Detonasyon tabancası (Detonation Gun)

Detonasyon tabancası prosesinde oksijen ve asetilen karışımı, bir toz kümesi ile birlikte namlunun içine beslenir ve bir kıvılcım ile patlatılır. Namludan çıkan yüksek sıcaklık ve basınçtaki patlama dalgası toz partiküllerini ergime noktalarına veya üzerine ısıtıp yaklaşık 800 m/s'lik bir hıza çıkarır. Yakıt gazı ve diğer bazı parametrelerin değiştiği super D-Gun prosesi tozları yaklaşık 1000 m/s'lik hızlara ulaştırır. Bu devirsel çalışan bir prosesdir ve her patlamadan sonra namlu azot ile temizlenir ve bu çevrim saniyede yaklaşık on defa tekrarlanır. Diğer termal püskürtme proseslerindeki gibi sürekli bir kaplama oluşumu yerine her bir patlamayla yaklaşık 25 mm çapında ve birkaç mikrometre kalınlığında bir kaplama dairesi çöktürülmektedir. Pek çok tabakada kaplama daireleri hassas bir biçimde üst üste bindirilerek üniform bir kaplama kalınlığı elde edilir. Tipik kaplama kalınlığı

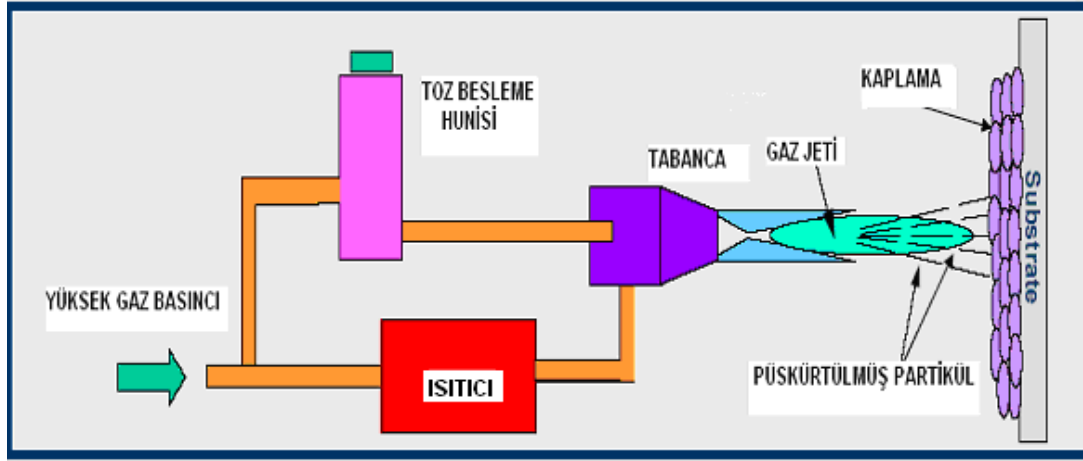
0.05 -0.50 mm aralığındadır fakat daha ince ve çok daha kalın kaplamalar da elde edilebilir [12].

Detonasyon ile oluşturulan gürültü seviyesi çok yüksektir ve yaklaşık olarak 150 db civarındadır. Bu nedenle detonasyon tabancası ses yalıtımlı ortamlarda tutulmakta ve operatör tarafından uzaktan kontrol edilmektedir. Ayrıca detonasyonun etkisiyle valflerde oluşabilecek sıcak gaz korozyonundan korunmak için yanma odasına azot gazı verilmektedir [12].

Kaplamaların müthiş yapışma mukavemeti, çok yoğun kaplamalar ile %1'den daha düşük porozite miktarı içermesi, kaplama ayarlanmasının kolay gerçekleşmesi, yüksek verim, kaplama karakteristikleri, sertlik, aşınma ve korozyon direncinin diğer proseslere nazaran çok daha iyi olması, proseslerin çok yönlülüğü, kaplamaların çeşitliliğinin sağlanabilmesi kolay bir şekilde otomatik hale getirilebilmesi, düşük altlık sıcaklıklı hassas parçalara kaplanabilmesine imkân sağlaması ve daha az zaman gereksinimi bu kaplama uygulamalarının avantajlarından [12].

2.3.6. Soğuk sprej (Cold Sprej) kaplama yöntemi

Rusya Akademi Bilimlerinden Dr Antolli Papyrin ve meslektaşları bu prosesi ilk olarak 1980'li yılların ortasında ortaya çıkarıp kanıtlamışlardır. Soğuk sprej prosesi yüksek kinetik enerjili kaplama proseslerinin geliştirilmesinde ileri bir adımdır. Diğer termal sprej metotları ile aynı prensiptedir, azalan partikül sıcaklıkları ve artan partikül hızlarının içerdiği trendi izlemektedir; ama diğer termal sprej proseslerin tanımlarına uygun olup olmadığı daha ileri düzeyde tartışılması gereken bir konudur. Şekil 2.2'de şematik bir soğuk sprej prosesi gösterilmektedir [13].



Şekil 2.2. Soğuk spreynin şematik olarak görünümü [14]

Temel olarak soğuk spreynin proseslerinde enerji depoları ve toz partiküllerini ileriye itmek için yüksek basınçlı gaz (yaklaşık 500 psi [3.5 MPa]) sistemleri kullanılır. Sprey mesafesi 5-25 mm arasında değişmektedir. Basınçlı gaz (genellikle He) ısısal bir gaz sistemi yoluyla ünite boyunca tabanca da özellikle larva tipinde tasarlanmış nozullardan çok yüksek hızlarda çıkmaktadır. Bu gaz aynı zamanda yüksek hızlı gaz jetlerine besleyiciden yüksek basınçta toz beslenmesini sağlar. Bu sistem sayesinde toz partikülleri, çok yüksek (500-1500m/s) hızlarda hareket edebilme yeteneğine sahiptir. Toz partiküllerinin hızlandırılmış ve normal ısıda, belirlenmiş hız ve sıcaklıklarda altlık üzerine çarpmasıyla deforme olup birbirlerine bağlanmalarıyla kaplamalar oluşur. Partikül hızının artmasıyla daha yoğun yapı elde edilmektedir. Partikül boyutları yaklaşık olarak (1-50 μm) arasında değişmektedir. İstenilen kaplamaları oluşturmak için diğer prosesler gibi; partikül boyutları, kalınlık, sıcaklık ve hız önemli kriterlerdir [13].

Bu süreçte uygulanan spreynin malzemeleri için oksidasyon yok denecek kadar azdır. Bu yüzden yüzeyler genelde temizdir ve partiküller yüzeye çökerek yapışmaktadırlar. Diğer bir taraftan ergime yoktur ve özellikler düşük sıcaklık etkisindedirler ve bu düşük sıcaklığın da düşmesiyle büzülme meydana gelir ve bunun yanında partiküllerin yüzeye çok hızlı bir şekilde çarpması sırasında da kaplamalarda yüksek gerilimler meydana gelmektedir. Diğer termal spreynin proseslerinde olduğu gibi katı-sıvı etkileşim reaksiyonları da yoktur. Düşük sıcaklıklar aynı zamanda orijinal toz kimyasının ve şeklinin korunmasına yardımcı

olur. Altlık ve partiküllerin plastik deformasyonuna neden olacak enerjinin de bulunması gereklidir.

Şu anda kaplamalar, alüminyum, paslanmaz çelik, bakır, titanyum ve alaşımlar gibi yumuşak malzemeler ile sınırlıdır. Seramikler gibi sert ve kırılğan malzemeler saf formda püskürtülemeyebilir. Bu yüzden bu malzemeler yumuşak matris şeklindeki bir kompozitle uygulanabilir. Bu proses için altlık malzemeleri de çok önemlidir. Altlığın hızlı partiküllerin etkilerine karşı dayanıklı olması istenir. Bu yüzden yumuşak altlıkların kullanılması tercih edilir [13].

Soğuk sprej prosesinin geliştirilmesine günümüzde hala araştırmalar devam etmektedir ve şu anda sadece ticari araç ve gereçlerde kullanılmaktadır [13].

2.3.6.1. Soğuk sprej prosesinin avantajları

- a) Düşük proses sıcaklığı, ergimiş yoğun partikül içermemesi
- b) Kompozisyon kaybı az/partikül şekilleri
- c) Çok düşük oksidasyon
- d) Yüksek sertlik ve soğuk çalışılmış mikro yapı
- e) Kaplamalarda düşük kusur
- f) Ekipmanların çalışması için daha düşük ısı girişi
- g) Yakıt gazı ve yüksek elektriksel ısıya ihtiyaç yok
- h) Koruma gereksinimi az [13].

2.3.6.2. Soğuk sprejin dezavantajları

- a) Seramikler gibi sert ve kırılğan malzemelerin kaplanamaması
- b) Kaplanabilecek altlık malzemelerin sınırlı olması
- c) Yüksek miktarda gaz beslemeye bağlı olarak tüketimin yüksek olması
- d) Geri dönüşüm sağlanmadıkça He gazının çok pahalı olması
- e) Kaplama performansı ve bilgi birikiminin günümüzde yeterli seviyede olmaması, hala geliştirilmeye çalışılması [13].

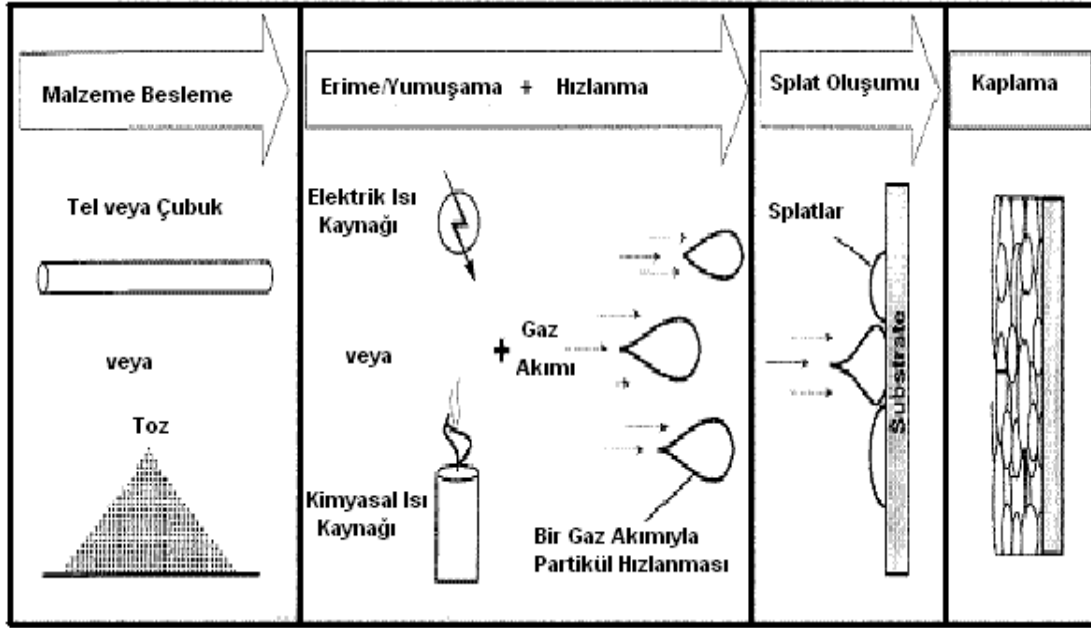
Soğuk spreyn kaplaması endüstride korozyondan korunma amaçlı ve az oksit istenen parçalarda, elektriksel ve termal uygulamalarda ve kaplamaların saf ve temiz olması nedeniyle askeri uygulamalarda da kullanılmaktadır. Şekil 2.3’de soğuk spreyn tipik bazı uygulamaları gösterilmiştir [13].



Şekil 2.3. Soğuk spreyn prosesleri ile kaplanan bazı ticari araç ve gereçler [15].

2.4. Termal Sprey Kaplamaların Mikroyapısı

Termal püskürtme yöntemi ile kaplama, hazırlanmış bir yüzeye ergimiş veya yarı ergimiş malzemelerin biriktirilmesidir. Şekil 2.4’de bu olay için tasarlanmış şematik bir görünüm gösterilmektedir. Termal püskürtme prosesinde kullanılan malzemeler toz, tel ve çubuk şeklinde olmak üzere üç formda bulunmaktadır. Bu formlardaki malzemelerin ergime sıcaklığı proses sıcaklığından düşük oldukları için ergimiş fazda ayrışmadıkları sürece bu yöntem ile kaplama yapılabilmektedir. Termal püskürtme prosesine beslenen malzemelerin ergimesi ya organik yakıt ya da elektrik arkından sağlanmaktadır. Ergimiş partiküller tabanca nozulundan geçerek tabancanın ucundan altlığa yüksek gaz basıncı ile gönderilirler [16].

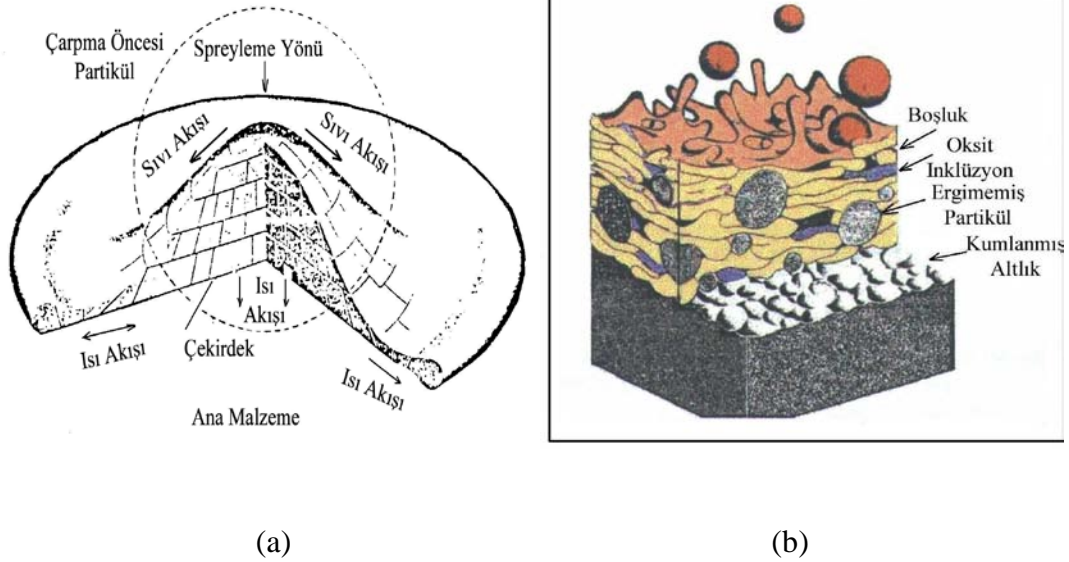


Şekil 2.4. Tipik bir termal sprey biriktirme prosesinin şematik olarak görünümü [3].

Kaplama formları, partiküllerin uçuş sonrası altlık üzerinde çarparak düzleşmesi esasına dayanır. Yüksek hız ile yüzeye çarpmalarda ergimiş partiküller yüzeyde ince levha şeklini alırlar. Altlığa ısı akışına bağlı olarak çok hızlı şekilde soğuyan bu levhasal yapılar ani olarak katılaşırlar ve deforme olurlar. Bu levhalar başarılı bir şekilde birbirleri üzerine tutunarak birikirse ince bir kaplama yapısı oluşmuş olur. Altlık yüzeyine akış paterni ve damlacıkların düzensiz halleri ara bağlanma mekanizmasını meydana getirir ve partiküller birbirine bağlanır. Termal püskürtme prosesinde kaplama yapısındaki empüritelere birlikte biçimlenir. Bu kaplamalar genellikle dört temel bileşenden meydana gelirler. Bunlar; porozite, oksit inklüzyonları, ergimiş partiküller ve ergimemiş partiküllerdir. Bu tipik bileşenler ve kaplama yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir [16].

Çarpma esnasında partiküllerin ani yavaşlaması ve basıncın artırılması ile buna bağlı olarak partikül yüzeyleri ve ara yüzeyde erimiş malzeme gruplarının uniform olmaması ve yumuşak malzeme gruplarına zarar verme gibi tehlikeli bir durumu söz konusudur. Bu nedenle kaplanacak malzemeye göre proses seçimleri önem arz etmektedir. Partiküller çarpma yerlerinden dışa doğru bir yayılma gösterirler ve böylece bir splat formu meydana getirirler [17]. Şekil 2.5a'da ergimiş partiküllerin yüzeye çarpmasıyla levha şeklini alması ve

püskürtme sonrası Şekil 2.5b’de ise kaplama yapısı gösterilmektedir. Ark spray prosesinde tabancadan çıkan ergimiş partiküller altlığa ulaşıncaya kadar hem soğuma hem de oksitlenme gösterirler [3].



Şekil 2.5. (a) Çarpmanın etkisiyle partikülün yüzeyde levha şeklini alması (b) Kaplama mikro yapısı [16]

Termal püskürtme kaplamalarında ergimiş partiküllerin birikmesi, önceden hazırlanmış yüzeye yapışıp soğumuş partiküllerin üstüne diğer gelen partiküllerin çarpıp levhasal bir şekilde birbirine tutunup bağlanması gereklidir. Bu bağlanma mekanizması yüzeye çarpan ergimiş partiküller arasında mekanik kilitleme olarak adlandırılır. Bu kilitlemeler ile partiküller kaplama yapısının meydana getirirler [16].

BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

Elektrik ark sprej teknolojisi, termal sprej ailesinin bir üyesi olmakla beraber söz konusu kaplama tekniği, termal sprej prosesleri arasında en ekonomik olanıdır. Elektrik ark sprej muhtelif taban malzeme yüzeyine aşınmaya ve korozyona dirençli, metalik esaslı kaplama yapmak için kullanılan bir prosestir. Elektrik ark sprej kaplama teknolojisi yatırım maliyetinin düşük olması ve geniş bir yelpazede kaplama üretebilmeye izin vermesi açısından caziptir. Üretilen kaplamalar, klasik çinko kaplamaya alternatif korozyon amaçlı uygulamalardan, aşınmaya maruz kalan parçaların tekrar kullanılabilir hale getirilmesine kadar birçok değişik uygulamalara kadar kullanılmaktadır [18,19].

Elektrik ark sprejde kaplama malzemesi olarak sadece elektrik iletkenliği olan ve tel formunda üretilen malzemeler kullanılabilir. Uygulamalarda kullanılan teller genellikle saf veya alaşımli metalik (demir, bakır, çinko, alüminyum vb.) malzemeler veya seramik (oksit veya karbür) esaslı partiküller içeren özlü tellerdir.

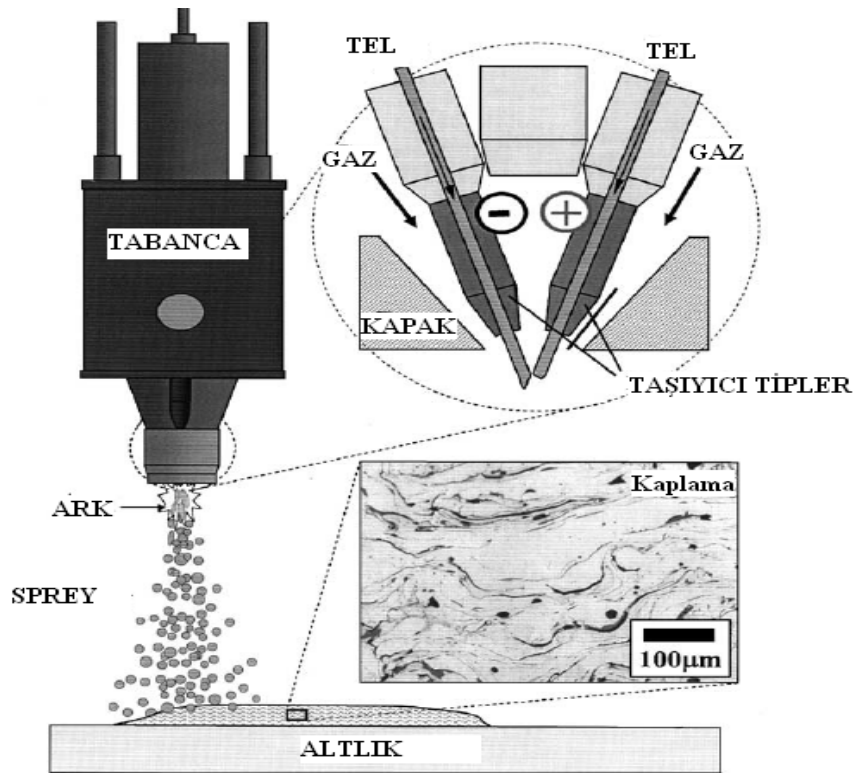
Elektrik ark sprej diğer termal sprej yöntemlerine göre birçok avantajlara sahiptir. Bu avantajlar; yüksek püskürtme oranı ve yüksek verimlilik, kontrol parametrelerinin az sayıda olmasına bağlı olarak kolay kullanım, düşük yatırım ve işletim maliyeti, uygulamada altlığın deforme olmaması, elektrotlar için su soğutmaya ihtiyaç duyulmaması buna bağlı olarak da kullanımının kolay olması ve yüksek kalitede kaplama üretilmesi olarak gösterilebilir [20].

Gelişmiş ülkelerde ve özellikle Avrupa'da bu kaplama teknoloji 1900'lü yılların başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan araştırmalarda elektrik ark sprej teknolojisinin 2000 yılındaki termal püskürtme uygulamalarının yaklaşık

%15'lik kısmı bu proses ile gerçekleştirilmiş olup başka bir araştırmada Yeni Zelanda'daki termal püskürtme uygulamaların yaklaşık %35'inin yine elektrik ark sprey tarafından uygulanmakta olduğu tespit edilmiştir [21].

3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi

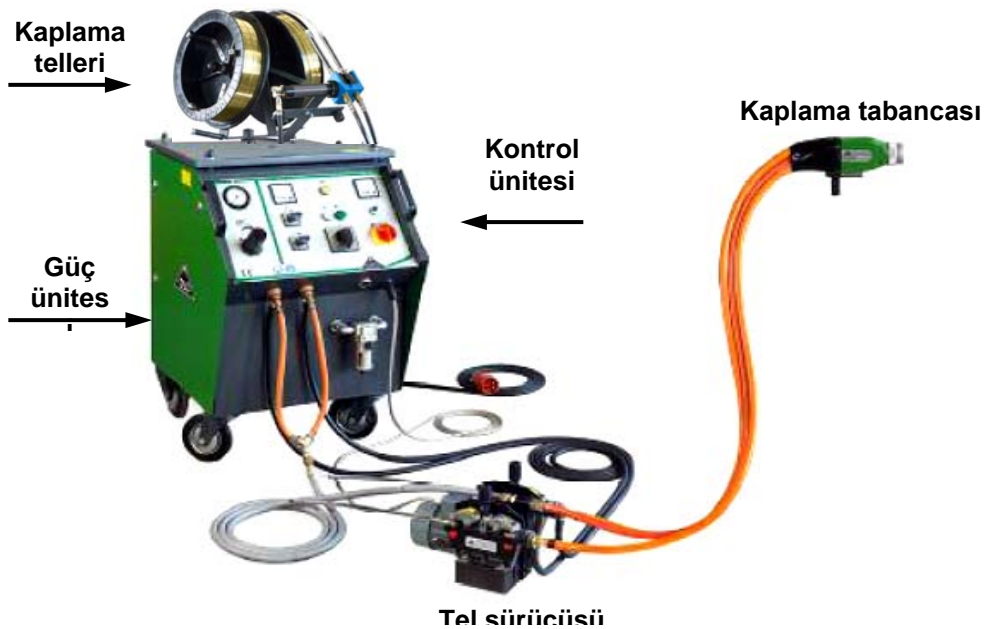
Ark sprey kaplama teknolojisi yalnızca altlığa metalik kaplamalar yapmak için geliştirilmiş olan iyi bir prostedir. Şekil 3.1'de tipik bir elektrik ark sprey prosesinin şematik bir görünümü gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Elektrik ark püskürtme süreci [22-23]

Bu prosede uygulama süreci esnasında DC elektrik güç sağlayıcı sistemin dışında başka hiç bir ısı kaynağı yoktur. Bu prosesin temel esası iki zıt kutuplu olan tellerin birlikte beslenirken iki farklı elektrot yardımıyla (anot ve katot) ergimesi esasına dayanmaktadır. Harcanabilir elektrotlardan meydana gelen teller tabancaya sarılı olan makaralardan çekilir veya itilir. Bu tellerin kesişmesine bağlı olarak kontrollü bir ark meydana gelir [24]. Teller güç ünitesine bağlı olarak tabancanın baş kısmına kadar çekilip getirilir, burada

oluşan ark ısısı tarafından sıvı damlacıklar meydana gelir. Oluşan bu sıvı damlacıklar da sıkıştırılan gaz veya hava yardımı ile önceden hazırlanmış olan altlık yüzeyine püskürtülür. Gazın sıkıştırması ergimiş olan telin atomizasyona uğramasını sağlar ve oluşan damlacıkların altlığa ulaştırılmasında nihai bir etken olarak göze çarpar. Eğer bu proseslerde kullanılan malzeme telleri farklı malzemelerdence, alaşımli kaplamalarda üretilebilir bu durumda sistemin önemli avantajları arasında yer almaktadır [9]. Elektrik ark sprej prosesi ile kaplanacak tellerin elektrik iletkenliğine sahip olması gerekli şartlardan bir tanesidir. Dolayısıyla bu iki akım taşıyıcı ve elektrik iletkenliğine sahip olan teller proses içersine beslenir ve içerde ortak bir ark noktasında birleşip burada ergime meydana getirirler [25]. Elektrik ark sprej prosesinde kullanılacak malzemeler taşınabilir olmalıdır ve buna ek olarak da beslenecek malzemelerin kontrollü olarak beslenmesi gereklidir [26]. Böylece besleme yerlerinde tellerin kontrollü olarak kararlı bir şekilde ergimesi sağlanmış olur. Bu proses için operasyon sıcaklığı 4000-5000°C ve partikül hızı 50-150 m/s arasında değişmektedir [1]. Tipik bir ince telli ark sprej sistemi için gereksinimler ve ark sprej prosesinin Şekil 3.2’de tipik bir örneği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elektrik ark sisteminin bileşenleri (kaynak OSU)

Elektrik ark ile yapılan kaplama formları partiküllerin uçuş sonrası altlık üzerine çarparak düzleşmesi esasına dayanır. Çarpma sırasında, partiküllerin ani yavaşlaması ve basıncın artırılması ile partikül yüzeyleri ve ara yüzeyde; bazı ergimiş malzeme bölgelerinin homojen olmaması ve yumuşak malzeme gruplarına zarar verme gibi bir etkide bu proseste görülebilir. Partiküller çarpma yerlerinden dışa doğru bir yayılma gösterirler ve bir splat formu oluştururlar [17]. Ark sprey prosesinde tabancadan çıkan ergimiş partiküller altlık yörüngesi boyunca soğuma gösterir [16].

Ayrıca bu sistemleri tabancaya ulaştıran kablo ve hortum sistemi mevcuttur. Güç kaynağı ve temas nozul sistem arasındaki bağlantı kabloları tran, enerji sferini mümkün olduğunca yüksek bir şekilde ve bir dirence uğramadan iletecek yol olarak tasarlanmıştır. Diğer bir taraftan bu proses için kullanılacak basınçlı gaz sistemleri de bulunmalıdır.

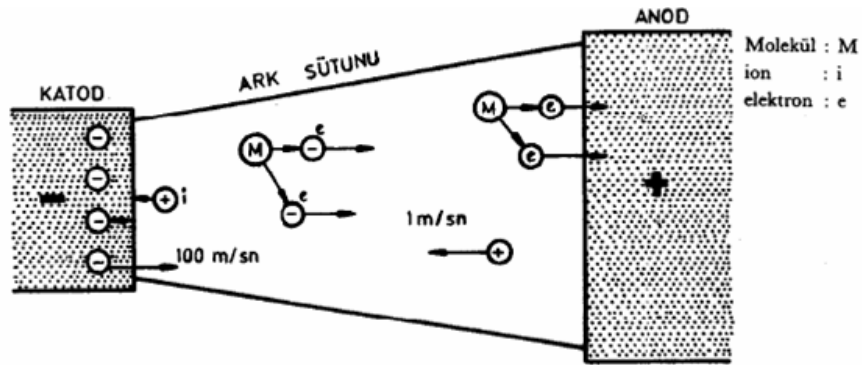
Yüksek sprey oranına ek olarak ark sprey prosesinin diğer bir avantajı altlıkla kaplama arasında yüksek adezyon ve güçlü ara partikül kohezyon mukavemeti sağlanabilir. Yüksek sıcaklıktaki elektrik ark içindeki ergimiş metal partikülleri tam olarak ergirler. Böylelikle bu yüksek derecede ısınmış partiküller uygun şekilde temizlenip pürüzlendirilmiş yüzeye tutunmaları çok iyi olup sağlam bir kaplama yapısı meydana gelir [27,28].

3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği

Elektrik ark spreyn kalbi iki elektrot arasındaki ark ve bu arkın iki telin ergitilmesi için ısı kaynağı olarak kullanılmasıdır. Elektrik arkı, kolaylıkla elde edilebilen yüksek şiddetli bir enerji kaynağı olması itibarıyla en önemli ısı kaynaklarından biridir [28].

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 spreyde oluşan elektrik arkı 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 [20].

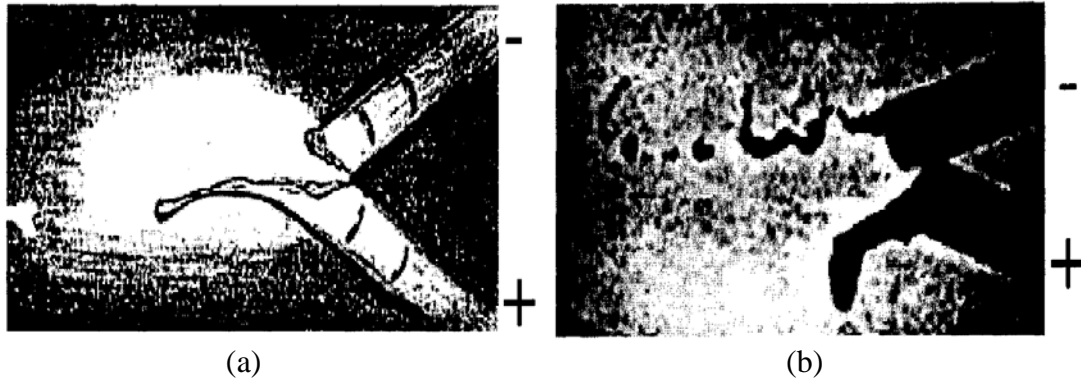


Şekil 3.3. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu [29]

Ark sütunu nötr ve uyarılmış bir gaz atomları karışımıdır. Şekil 3.3’de katot ve anot arasında oluşan ark sütunu gösterilmektedir. 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 birleşmesinden ibarettir [29].

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 katotta doğru hareket eder ve katot bu şekilde bombardımana uğrar. Buna karşılık oksijen bir elektron yakalayıp anoda doğru giden negatif iyonlar oluşturabilir. Bu durumda üç tip yer değiştirme olayı görünmektedir. Bunlar katottan çıkan ve anodu bombardıman eden elektronlar, katoda doğru geri dönen pozitif iyonlar ve anoda doğru giden negatif iyonlardır.

Anodun katottan farklı ısınması asimetrik bir ergime davranışının oluşmasına neden olur. Bu durumda tellerin ergime davranışları farklılık gösterebilir. Şekil 3.4a ve 3.4b’de tel elektrotların farklı asimetrik ergime davranışları gösterilmiştir [30,31]. Bu durum elektrik ark ergitmenin baskın bir özelliğidir. 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 asimetrik ergime davranışı püskürtme paternini ve kaplama yapısını da etkiler. Katotta çok sınırlanmış olmuş bir ergime görülür ve bunun neticesinde oluşan dropletler daha küçüktür. Bu küçük dropletler hemen atomize gaz ile katot uçtan bölünerek ayrılırlar. Böylelikle katot yüksek ergime oranına sahiptir [32].



Şekil 3.4. (a) Tel elektrotların asimetrik ergime davranışlarının gösterilmesi ilk olarak 1966’da Steffens tarafından yapılmıştır [30]. (b) Her iki elektrotun levhasal formlarının stroboskopi (strobe) fotoğrafları 1995’de Wang tarafından ölçülmüştür [31]

Elektrik ark oluşumu içerisinde katot elektron vermektedir. Katot alanında meydana gelen ısı başlıca, katodun yüzeyine çarpan pozitif iyonlardan kaynaklanmaktadır. Katot pozitif gaz iyonlarının çarpışması ile yüksek derecede ısınır. Bu durum, ısınan yüzeyden elektron gibi elektriksiz 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. Anot daha soğuk olduğu için ergime oranı düşüktür ve katotta oluşan partiküllerden daha büyük partiküller oluşur [33].

3.4. Ark Spreyin Avantajları

Ark sprej prosesi kontrol parametrelerinin az olması nedeni ile basit bir kullanıma sahiptir. Bunun yanında bu prosesin kolay öğrenilebilir ve taşınabilir olması avantajdır. Aynı zamanda bu prosesin korunması da kolaydır. Ark sprej prosesi ile yapılan kaplamalar ayrıca yüksek oranlarda birikme veriminin yanı sıra genelde düşük hızla oluşturulan kaplama kompozisyonları bile yüksek yapışma mukavemetine sahiptir. Ark sprej prosesinde kullanılan sprej malzemeleri yüksek oranlarda altlık yüzeyinde birikir ve geniş boyutlu parçalar için bu prosesin kullanımı uygunluk gösterir. Ayrıca bu prosesin önemli havacılık motorlarının üretimlerinde kullanılan kaplama yöntemlerini içermesi de bir avantaj olarak görünmektedir. Ark kaplamaları daha yüksek yapışma mukavemeti, düşük kalıntı stresler ve yoğun kaplamalar bakımından plazma spreyle bir benzerlik gösterir. Ark sprej prosesleri bazı durumlarda düşük maliyet ve performans geliştirme açısından plazma sprejin yerini alabilir [1]. Plazma sprej ve ark sprej maliyetleri açısından yaklaşık \$15,000 ila \$250,000'dır. Laboratuvar, operasyon ve kullanım maliyeti açısından ark sprej prosesi plazma spreje nazaran yaklaşık dört kat daha azdır. Tel ark sprej prosesinin maliyetinin düşük olması ve geniş imkânda kullanıma açık olması da en büyük avantajdır.

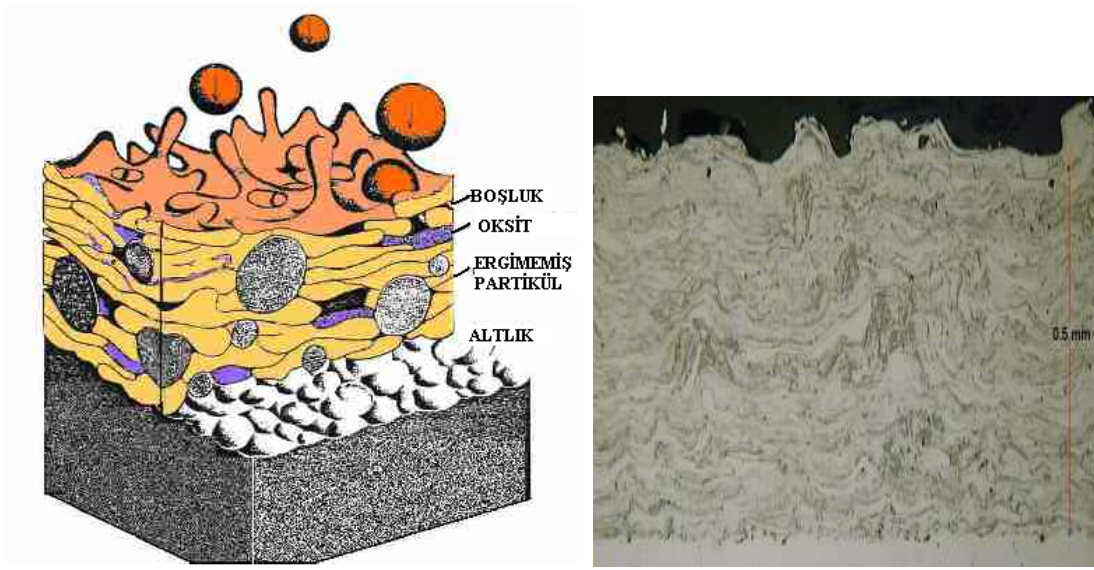
3.5. Ark Spreyin Dezavantajları

Ark sprejin dezavantajları, kaplama yapılarında yüksek oranlarda porozite, oksit ve ön ergimiş partiküllerin bulunmasıdır. Ark sprej kaplamalarında genelde diğer proseslerden daha pürüzlü yapılar elde edilir. Ark prosesi tarafından kaplamalarda kullanılan malzemeler sınırlıdır ve uygulanabilecek kaplamalar için malzemelerin iletken olması ve tel şekline getirilebilmesi gerekmektedir [1]. Ayrıca tel ark sprej prosesinde şu olaylar tanımlanmıştır; droplet formasyonunun asimetrik olması, kaplama mikroyapılarının homojen olamaması atomizasyon sonuçlarının kararlı olmaması ve prosesin kaplama özelliği diğer proseslere nazaran daha zayıf olması gibi dezavantajları içermektedir [21].

3.6. EAS Kaplamalar ve Kaplamalara Etki Eden Faktörler

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 [34]. Bu nedenle prosesin uygulama alanları, plastik enjeksiyonlu kalıplar ve kalın kaplamalardan birçok uygulamalar için gerekli olan ince kaplamalara kadar olan sahalarda uygulanabilir. Sprej oranı genellikle püskürtülen malzeme çeşitlerine ve tel püskürtme mesafesine bağlıdır. Bu süreçte malzemeler çoğunlukla saf veya metalik alaşımlı teller (demir, bakır, çinko vb.) veya seramik içerikli tozlar içeren özlü teller kullanılarak [Örnek olarak WC/Co] püskürtülür.

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 [29]. 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 partiküllerin içerik miktarları değişiklik gösterir [35]. Şekil 3.5’de ark sprej prosesi ile yapılmış 13 Cr çelik kaplama mikroyapısı ve kaplama yapısını etkileyen oksit, porozite, ön ergimiş partiküller şematik olarak gösterilmiştir [36].



Şekil 3.5.(a)Kaplama yapısını etkileyen parametreleri gösteren bir termal püskürtme kaplaması kesitinin şematik görüntüsü b) Ark spray ile püskürtülmüş 13 Cr çeliğin mikro yapısı [36]

Elektrik ark spray prosesinde kullanılan spray parametrelerinin değer aralıkları Tablo 3.1’de verilmiştir. Uzun yıllar boyunca, kaplamaların mikro yapıları üzerine önemli etkileri olan spray parametreleri üzerinde çalışılmış ve kaplama mikro yapılarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Diğer bir taraftan partikül boyutu, hız, sisteme besleme şekli, kullanılan spray proses tipleri, atomize gaz basıncı ve gaz tipi, spray mesafesi, voltaj, tel besleme, nozul konfigürasyonu gibi parametrelerin mikro yapı üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır [37]. Bugünlerde daha çok spray yayınının daraltılmasıyla kaplama kalitesi üzerinde ikincil bir gaz akışının beslenmesini içeren etkiler araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Sonra kaplamaların analiz edilmesi spray mesafesi ve kaplama mikro yapısı arasında porozite düzeyleri ve oksidasyon içeriği hakkında bazı ilişkilere rastlanılmıştır [38].

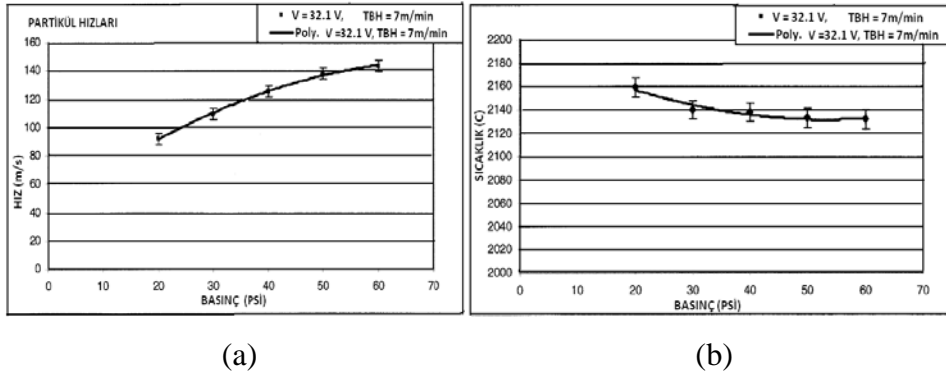
Tablo 3.1. Elektrik ark sprey prosesinde kullanılan parametreler [20]

Parametre	Özellikler
Ark sıcaklığı	3800-5000°C
Partikül hızı	100-300 m/sn
Sprey 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 Sprey 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

3.6.1. Atomize gaz basıncının etkisi

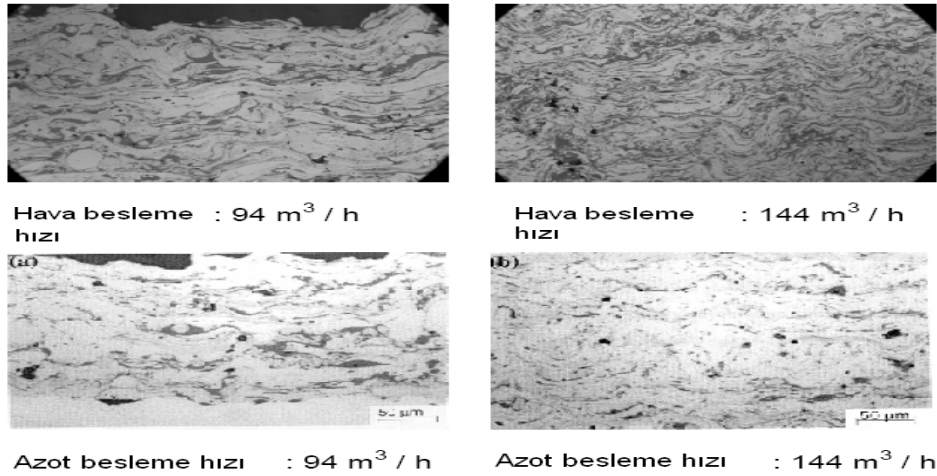
Atomize gaz basıncı, partiküller üzerinde ve buna bağlı olarak da kaplama morfolojilerinin değişimlerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek hızlı gazlar, tel ark sprey tabancası içerisinde ergimiş olan telleri parçalara ayırmak ve dropletleri meydana getirmek için kullanılır. Meydana gelen parçalanmalar genelde atomize bir şekilde gerçekleşir. Atomize gaz basıncı olarak genelde hava kullanılır ve bu hava basıncı aynı zamanda su buharını gidermek ve altlık malzemenin yüzeyini temizlemek için de kullanılabilir. Ark sprey prosesinde hava dışında diğer gazlar (Azot ve Helyum) maliyetlerinden dolayı genelde kullanılmazlar. Fakat bazı önemli uygulamalar için bu gazların da kullanımı söz konusudur. Her şeye rağmen kullanılan gaz çeşitleri ve atomize gaz basınçlarının uçan partiküller üzerinde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Yüksek gaz basıncı, partiküllerin nozuldan yüksek hızlarda çıkmasını sağlar. Atomize gaz basıncı partiküllerin birbirinden ayrılmasında birinci faktör olarak görev yapmaktadır [39].

Basıncı gaz hızlarının uçan partiküllerin, karakteristikleri, boyutları, altlığa çarpma hızları ve sıcaklıkları üzerinde de önemli etkileri vardır. Şekil 3.6'da atomize gaz basıncının ortalama alüminyum partikülü üzerindeki hızı ve sıcaklıkları üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Mevcut olan ortalama partikül hızındaki artışa bağlı olarak atomize gaz basıncının da arttığı gözlemlenmiştir. Gaz basıncının artması gazların nozuldan daha hızlı çıkmasını sağlar. Daha hızlı gaz momentine sahip olan gaz sistemlerinde aynı zamanda dropletlerin yayılım özelliği daha hızlı olmaktadır [39].



Şekil 3.6. Atomize gaz basıncının ortalama Al partikülü üzerindeki etkileri a) hız ve b) sıcaklık [39].

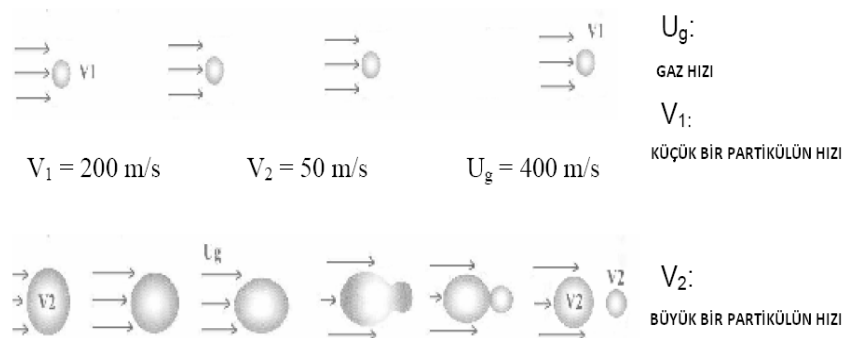
Kaplamalarda kullanılan herhangi doğal bir gazın akım hızı arttırıldığında daha ince lamelli yapılar meydana gelir. Bunun nedeni altlık üzerine küçük partiküllerin daha yüksek hızlarda ve daha yüksek gaz akım hızı sonucunda püskürtülmüş olmasıdır. Daha hızlı ergimiş partiküller daha yüksek kinetik enerjiye sahiptir çarpma etkisiyle daha çabuk deforme olup yayılmıştır. Bu olayda kaplama kalınlığının ve kaplama morfolojisinin değişmesine neden olmuştur. Buradan sonuç olarak düşük akım oranlarında biriktirilen kaplamalar homojen olmayan bir yapıya sahiptir ve daha yüksek akım oranlarında daha ince ve daha düzenli bir yapı oluşur. Şekil 3.7'de 100A' lik bir akım ve 30 V bir voltaj parametresi ayarlanarak ark sprey tabancası kullanılmıştır. Tel olarak da 1.6 mm çapta (0.80 C) karbonlu çelik tel kullanılarak dört farklı hava besleme oranlarında (94; 110; 122; 144 m³/h) kaplama örneği yapılarak gösterilmiştir [40].



Şekil 3.7. Benzer kaplamalar için iki farklı gaz ve hızlarda elde edilen kaplama mikroyapıları [40]

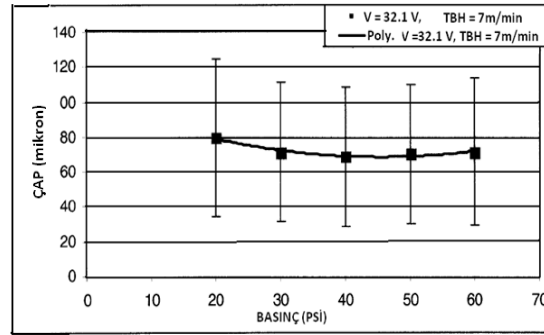
Ortalama partikül sıcaklıkları irdelenecek olursa da gaz basıncındaki artışın önemsizmeyecek derece partikül sıcaklıkları üzerinde azalmaya sebebiyet verdiği anlaşılmıştır. Azaltılan sıcaklık okumasının nedeni olarak, daha yüksek hava basıncı türbülansı üretmek ve yüksek hava akımı sonucu partiküllerin ısı kaybındaki artış olarak atfedilebilir [39].

Atomize gaz basıncı ortalama partikül çapında da değişime sebebiyet vermektedir. Aslında bazı küçük dropletler tellerin uç kısımları elektrik arkıyla ergitilerek doğrudan üretilir. Diğer taraftan bazı büyük damlacıklar uçuş sırasında birbirlerinden ayrılarak kendisinden daha küçük damlacıkların oluşmasını sağlarlar [41]. İki partikül davranışının (büyük ve küçük) yüksek hızlı bir gaz akımında şematik olarak görünümü Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi [40]

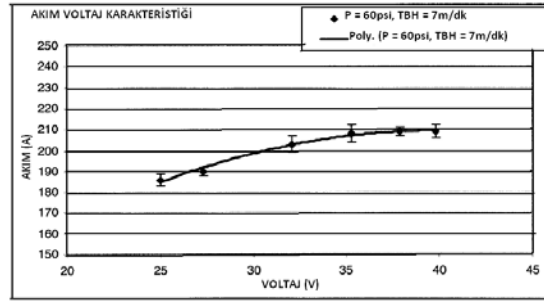
Bazı durumlarda partikül ve püskürtme arasındaki bağıl hız, büyük partikül çaplarını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Kullanılabilir enerji ile aynı hıza sahip olan orijinal daha büyük damlacıklardan daha küçük damlacıkların oluşmasına izin verdiği anlaşılmıştır. Bu fikir, yüksek gaz akış oranında, hız dağılımı ile küçük taneciğin oluşumunun belli bir seviyeye kadar doğru orantılı gittiğini gösterir. Şekil 3.9’ da atomize gaz basıncı fonksiyonunun ortama Al partikül çapına etkisi gösterilmiştir. Standart sapmalardaki her bir ölçüm için hata çubukları kullanılmıştır. Bu sonuçlardan hava basıncı gibi etkilerin partikül boyutları ve çarpma etkisi ile sınırlandırılmasının yanlış olduğu anlaşılmaktadır [39].



Şekil 3.9. Ortalama Al partikül çapları üzerinde gaz basıncının etkisi. Hata çubukları ayarlanan basınçta ortalama partikül boyutları için standart sapmaları temsil eder [39]

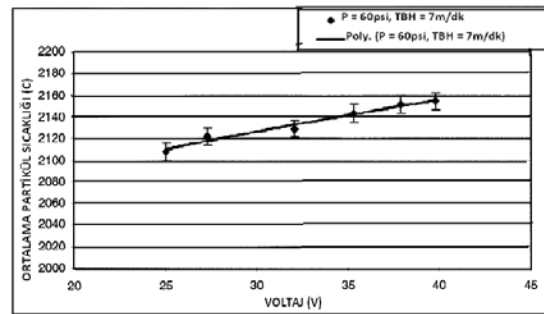
3.6.2. Voltaj etkisi

Uçan partiküller üzerinde voltaj parametrelerinin önemli etkilerinin de olduğu bilinmektedir. Şekil 3.10’da verilen grafik voltaj değişiminin akım üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Grafikte 185 amperden 209 ampere kadar artışa rağmen voltaj da 25’den 40 volta kadar artış gösterir ve akım tüketimindeki sıçramalara rağmen düşük voltaj parametreleri ölçülmüştür. Burada 30 voltun üzerindeki voltajlardaki akım tüketiminde çok az değişimler vardır. Daha sonradan voltaj 30-40 volt arasında ise kullanılan gücün miktarında da çok az değişim söz konusudur [39].

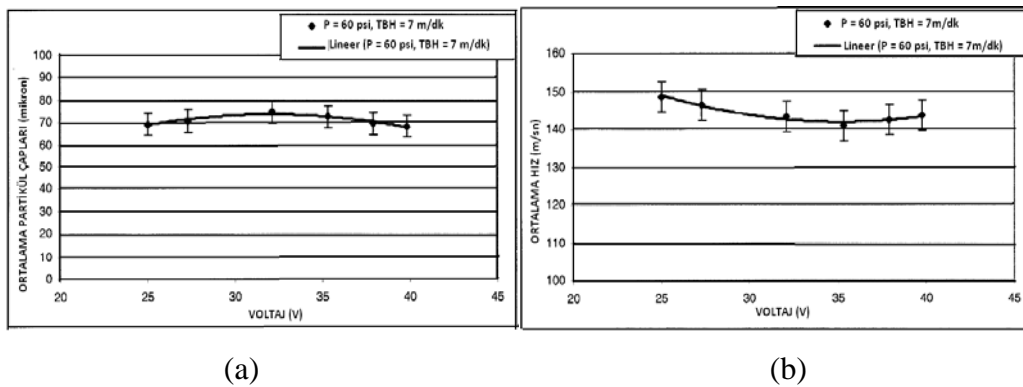


Şekil 3.10. Akım tüketimi üzerindeki voltajın etkisi [39]

Voltaj artışının alüminyum partikül boyutu, hızı ve partikül sıcaklıkları üzerinde etkileri Şekil 3.11 ve 3.12’de gösterilmiştir. Partikül sıcaklığı ve voltaj arasındaki pozitif etkileşimler ise Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Partikül sıcaklığı ve voltaj parametreleri arasında bir bağıntı olduğu görülür. Diğer bir deyişle değişik voltaj uygulamalarının partikül hızı veya boyutu üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı Şekil 3.12 (a) ve (b)’de gözlemlenmiştir [43].



Şekil 3.11. Artan voltaja bağlı olarak Al partikül sıcaklığının artması [39]



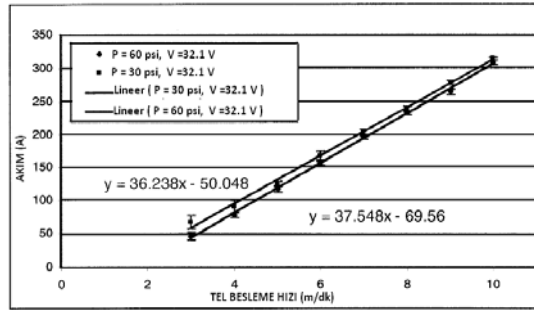
(a)

(b)

Şekil 3.12. Ortalama Al partikül a) çap ve b) hızı üzerinde voltajın etkisi [39]

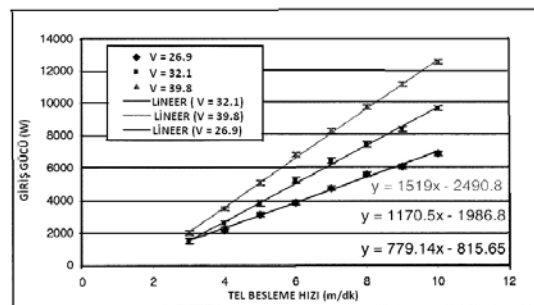
3.6.3. Tel besleme hızının etkisi

Akım ve tel besleme hızı arasında bağıntı, yapılan araştırmalarla kanıtlanmaya çalışılmıştır. Şekil 3.13'de tel besleme hızı ile akım fonksiyonunun bir grafiği verilmiştir. Her koşulda akımda meydana gelen kararsızlıklar hata çubuklarında gösterilmiştir. Buna örnek olarak 2 ve 3 amperlerde olan kararsızlıklar akım grafiğine bakılarak anlaşılabilir. Sabit voltajda akım kaplama birikiminin daha da artmasını sağlar ve buna bağlı olarak da kaplama kalınlığı da artar. Sabit voltajda atomize gaz basıncındaki azalması ile akım tüketiminde de hafif bir azalma ölçülmüştür [39].



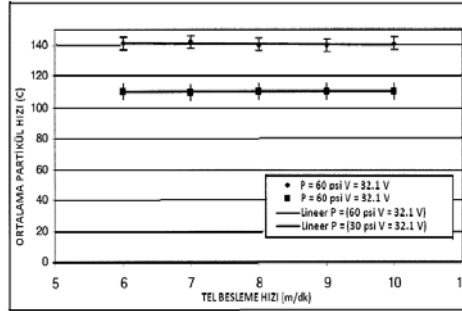
Şekil 3.13. Güç kaynağından ark tarafından tüketilen akım üzerinde tel besleme hızının etkisi [39]

Tel ark sprey prosesinde partiküllerin hareketlenmesi için akım ve voltaj gereklidir ve bu enerjiler prosesdeki elektriksel güçten temin edilir. Şekil 3.14'de çeşitli voltaj parametreleri için tel besleme hızının fonksiyonu ve sisteme giren gücün şematik görünümü verilmiştir. Voltajın artmasına bağlı olarak sisteme giren gücünde artması söz konusudur [39].

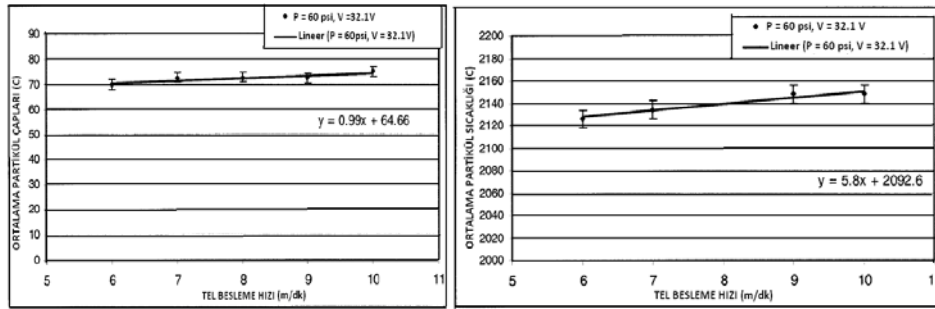


Şekil 3.14. Sabit voltaj ve basınçta tel besleme hızının sisteme giren elektriksel güç ile lineer fonksiyonunun gösterilmesi [39]

Tel besleme hızının, Al partikül hızı, sıcaklık ve ortalama Al partikül çapları üzerindeki etkileri de ayrıca araştırılmıştır. Şekil 3.15 ve 3.16'da tel besleme hızının bu üç parametre üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Tel besleme hızındaki artış bu üç parametre üzerinde çok az artışa neden olduğu gözlemlenmiştir [39].



Şekil 3.15. Tel beslemenin Al partikül hızı üzerindeki etkisi [39]



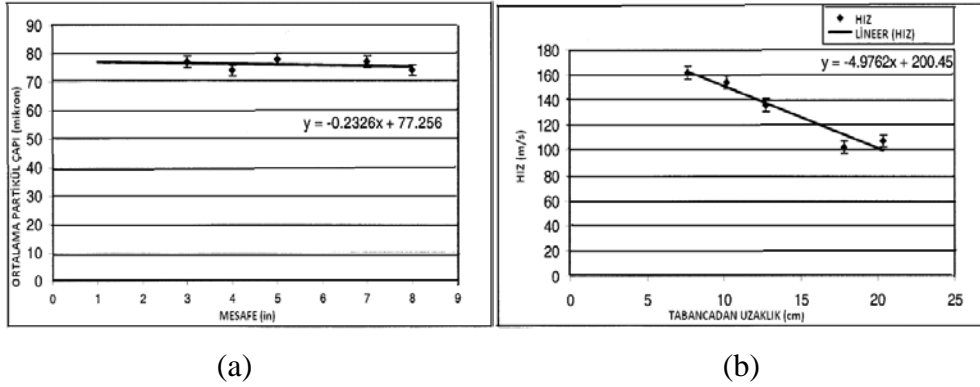
(a)

(b)

Şekil 3.16. Tel besleme hızının ortalama a) Partikül çapları ve b) sıcaklıklar üzerindeki etkileri [39]

3.6.4. Sprey mesafesinin etkisi

Sprey mesafesinin Al partikül çapı üzerine herhangi bir etkisi yoktur. Bu olay Şekil 3.17 (a)'da açıkça görülmektedir. Aynı şey partikül sıcaklığı içinde söylenebilir yani sprej mesafesinin ortalama Al partikül sıcaklıkları üzerinde de çok fazla etkisi yoktur. Fakat sprej mesafesinin hıza önemli etkisinin olduğu Şekil 3.17 (b)'ye bakılarak anlaşılabilir. Sprej mesafesinin artmasıyla ortalama Al partikül hızında önemli bir azalış söz konusudur. Bu olay her bir Al partikülün kinetik enerji kayıplarına bağlanabilir. Ark sprej prosesi için ideal sprej mesafesi 15-20 cm olarak bilinmektedir [39].



Şekil 3.17. Sprey mesafesinin ortalama a) Al partikül çapı ve b) hızı üzerindeki etkisi [39].

3.7. Elektrik Ark Sprey Kaplama Malzemeleri

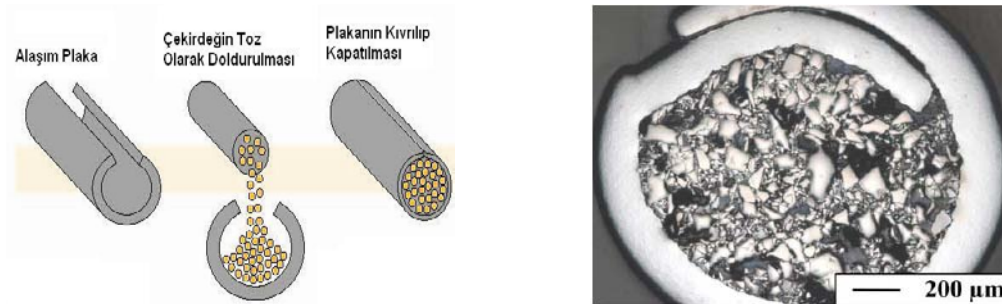
Genel olarak metalik esaslı teller bu proses yardımı ile kaplanmaktadır. Kaplama uygulaması için tellerin iletken özellikler göstermesi gerekmektedir. Tel besleme proseslerinin toz beslemeye göre kolay hammadde temini, proses kontrolü sağladığı için daha ekonomiktir. Aynı zamanda daha fazla birikme göstermesi de kaplamalar için maliyet açısından da önem arz etmektedir [42].

Endüstriyel alanda kaplamalar için kullanılacak tel malzemeleri kullanım yeri ve amacına göre değişiklik gösterirler. Tablo 3.2’de bazı tel malzemeleri ve kullanım yerleri verilmektedir.

Tablo 3. 2. Endüstriyel uygulamalar için bazı teller ve özellikleri [42]

Zn	Korozyon koruma
Zn/Al 85/15	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon koruma,SO ₂ 'li ortamlarda yüksek direnç
Al	Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon koruma, 800 °C ve yukarısındaki yüksek sıcaklık korozyon dayanımı
AlMg5	Deniz atmosferinde korozyon dayanımı
NiTi	Mükemmel bağ tabakası kaplaması
% 13 Cr'lu çelik	Aşınma dayanımı, zayıf korozyon direnci
FeCrAl	Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı
Mo	Kazımalı korozyona karşı dayanım
NiCr 80/20	Korozyon dirençli kaplamalar ve seramik üst kaplama için ara tabaka kaplaması

Bunun yanında bazı beslenemeyen malzemeler, uygun olan tel içerisine koyularak dışına ince bir kaplama olacak şekilde kaplanıp birleştirilerek üretilir. Üretilen bu tellere özlü teller denilmektedir. Şekil 3.18'de üretilen özlü bir telin şematik görünümü ve üretilmiş özlü tel gösterilmektedir. Böylece kullanımı sınırlı olan malzeme formları da kaplama uygulamalarına uygun hale getirilir. Tablo 3.3'de tellerin içinde bulunan bazı öz malzemeleri ve genel uygulama verilmektedir [42].



Şekil 3.18. Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi ve tipik şekli [42]

Tablo 3. 3. Elektrik ark sprey ile özlü tel kaplamalar ve uygulama alanları [42]

Özlü tel	Uygulamalar
FeCrMnSi	Kuru atmosferde yüksek aşınma dirençli kaplamalar
FeCrBSi	Aşınma dirençli kaplamalar, iyi korozyon dayanımı ve bağ mukavemeti
FeCrBSi-WCCoCr	Mükemmel aşınma dayanımı, iyi korozyon dayanımı ve bağ mukavemeti
FeCrSi	Aşınma ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900 °C üstü)
NiCr 50/50	Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900 °C üstü)
NiBSi-WC	Yüksek abrasif aşınma dayanımlı kaplamalar, iyi korozyon direnci
NiCrBSi	Islak atmosferde yüksek korozyon direnci, iyi aşınma dayanımı

3.8. EAS Kaplama Malzemeleri ve Kullanım Alanları

İstenilen amaca uygun olarak kaplama malzemelerinin seçiminin doğru olup olmadığını bilmek önemlidir. Tarih boyunca termal sprey kaplama sistemlerinde saf Zn, Al ve Zn/Al alaşımları, çelik yapıların korozyon eğilimini kapsayan uygulamalar için kullanılmıştır. Metalik kaplamalar genellikle yüksek aşınma gerektiren yerlerde kullanılmaktadır [43].

Çok çeşitli makine bileşenleri ve onların onarımı ve yenileme boyutları için tel ark sprey prosesleri belirli ölçülerde kullanılabilir. Ark sprey tekniği ayrıca Zn ve Al gibi malzeme gruplarının spreylerini oluşturmak için bir köprü olarak kullanılır. Bu nedenle Zn ve Al gibi malzemeler çelikler üzerinde uygulanarak altlık malzemesinin korozyona dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu uygulama ile birlikte köprülerde ve inşaatlarda kullanılan karbon çeliklerinde de paslanma önlenmiş olur. Ayrıca Zn ve Al'nin oksitleri olan ZnO ve Al₂O₃ farklı bir durum daha arz eder. Bu iki malzeme formlarının oksitleri çok ince oksit katmanları içerir ve meydana

gelecek fazla oksit birikimlerini engellerler. Tel ark sprey prosesi aynı zamanda uçak türbin endüstrilerinde sıcaklık korozyonuna karşı da kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu kaplamalar medikal cihaz uygulamalarının geliştirilmesinde, titanyum tel spreyi, inert çevre ortamlarında ve hızlı prototip kalıp üretiminde de kullanılır. İnert Ti kaplamalar ortopedik ve diş implantlarında çok kaba ve gözenekli olarak uygulanır. Bu kaplamada implantlar ile kemik arasında kaplamalardaki porozitelerin büyümesine izin vermesi kemik ve implantlar arasındaki çok güçlü bir kriterdir ve bu durumda anlaşılabilirlik söz konusudur. Diğer uygulamalar otomobil, dizel parçaları, düşük karbonlu çelikler ve diğer tipteki korozyon ve korozyona dirençli alaşımlar ve piston uygulamalarındaki halkalar için kullanılır. Bakır bazlı tellerde arabalar için uygunluk arz etmektedir. Elektronik endüstride; Al, Ti, Zn ve diğer malzemeler elektrik iletkenliği için kullanılır. Örnek olarak metal oksit varistorleri üzerindeki alüminyum kaplamalarda yüzeyde elektrik iletkenliği yaratır. Ti kaplamalar sıklıkla nanokompozitler üzerine uygulanır çünkü nanokompozit ve Ti arasındaki uyum kabiliyeti çok iyi olarak kabul edilir [1].

3.8.1. Zn ve Zn alaşımları

Zn uzun süre, Zn ve çelik yüzeyleri arasında meydana gelen galvanik etki nedeniyle korozyon korumasını sağlamada ve korozyona maruz kalma eğilimi yüksek olan ürünlerin bu eğilimini en aza indirme de kullanılır. Çinkonun düşük oksitlenme potansiyeline sahip olması, çeliğin paslanmasını engeller ve kullanım ömrünün artmasını sağlamaktadır. Tepkimeli bir malzeme olan çinko, koruyucu bir korozyon film formunu kolayca meydana getirir. Çok ince katmanlı çinko oksit formları hava ile etkileşim içindedir. Atmosferik ortamda bulunan neme maruz kalan bu çinko oksitler tepkimelerle çinko hidroksit formunu oluşturur. Proseslerde kuruma süresince karbondioksit ile çinko hidroksit tepkimeleri yüzey üzerinde çözünmez çinko karbonat katmanları meydana getirir ve bu da mükemmel yakın koruma sağlar. Çinkonun yumuşak olması, üniform ölçüme yardımcı olur ve yüzey kusur toleranslarının artışı sağlamaktadır [44]. Çinko metali diğer metallerle karşılaştırıldığında düşük maliyeti ile avantaj sunar. Aynı zamanda çinko, yumuşak

malzeme olması ve düşük ergime sıcaklığı nedeni ile kalıp üretimi için uygundur [43].

3.8.2. Al ve Al alaşımları

Kaplamaların yüzeyleri üzerinde inert alüminyum oksit katmanlarının formasyonları tarafından çeliklerde korozyon için bariyer görevi yapmaktadır. Ne zaman hasar olursa bu kaplamalar kendini düzeltir. Çinko gibi, Al çelik yüzeyleri arasında meydana gelen galvanik etki nedeniyle korozyon korumasını sağlamada ve korozyona maruz kalma eğilimi yüksek olan ürünlerin bu eğilimini en aza indirme de kullanılır. Deniz atmosferi koşullarında Al korozyon direnci Zn gibi değildir. Alüminyum çinkoya nazaran deniz ortamlarında daha iyi korozyon direnci gösterir [43].

3.8.3. 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 [43].

3.8.4. Ni ve Ni alaşımları

Nikel ve nikel alaşım kaplamaları deniz atmosferindeki ve desalinasyon alanlarındaki komponentlerin korozyona karşı koruma sağlanması için uygulanır. Özellikle ark sprey NiCu30Fe kaplamalar indirgeyici ortamlarda ve oksitli akışkanlarda mükemmel korozyon koruma sağlamaktadır [45].

Genel olarak ark sprey prosesinde kullanılan kaplama tipleri yukarıda verilmiştir. Elektrik ark sprey kaplama teknolojisine ait bazı uygulama alanları aşağıda örneklenmiştir [46,47].

Şekil 3.19. Son üç yıla ait yüksek verimli ark spray uygulama örnekleri verilmiştir.

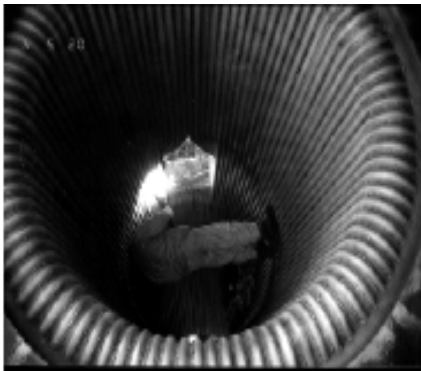
- (a). Lamba modellerinin yüzeyinin çinko ile kaplanması
- (b). Fan türbinlerinin kaplanması
- (c). Duman bacalarında
- (d). Uçuş valflerinde
- (e). Kazıcı krank mil boyutlarının iyileştirilmesinde
- (f). Çalışan parçaların yüzeylerinin metalizasyonunda
- (g). Köprülerin korozyona karşı kaplanması
- (i). Yazıcı rollerin kaplanmasında
- (j). Elektromanyetik bariyer kaplamalar
- (h). Kazan (kaynatma) borularında korozyon ve erozyonu engellemek için
- (k). Ekonomik kalıp hazırlama



(a) Lamba modellerinin yüzeyinin Zn kaplanması



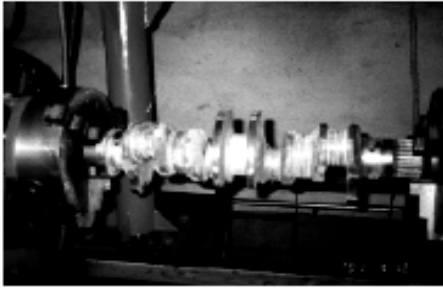
(b) Fan türbinlerinin kaplanması



(c) Duman bacalarında



(d) Uçuş valflerinde



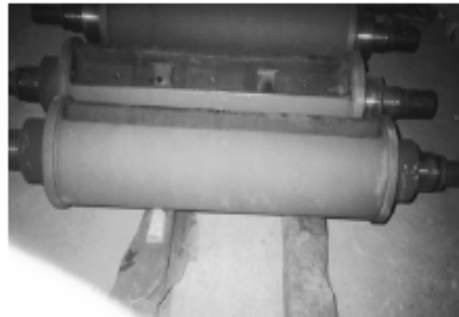
(e) Krank millerinde



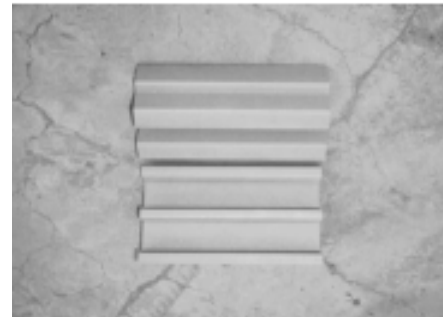
(f) Çalışan parça yüzeylerine



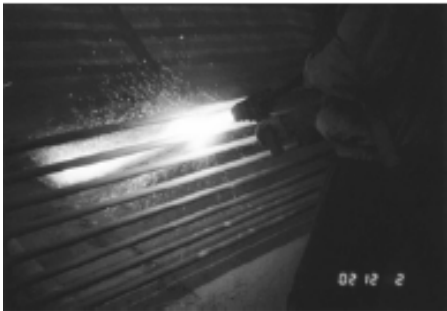
(g) Köprü borularının korozyona karşı kaplanması



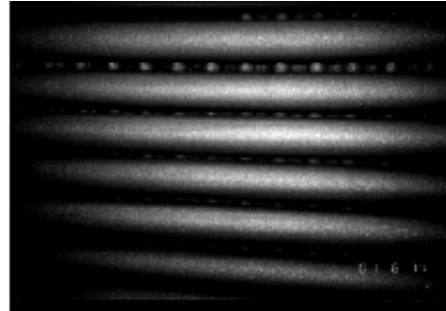
(i) Yazıcı rollerin kaplanması



(j) Elektromanyetik bariyer kaplanması



(h) Kazan (kaynatma) borularında korozyon ve erozyonu engellemek için





(k) Ekonomik kalıp hazırlamada

Şekil 3.19. Son üç yıla ait yüksek verimli ark sprey uygulama örnekleri [46, 47]

3.9. Ark Sprey 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 sprey çalışma yerlerinde yeterli havalandırma yapılmalıdır.
- b) Patlayıcı ortam ve termal sprey çalışma yerlerindeki güvenlik düzenli ve eksiksiz tamamlanmalıdır.
- c) Ortamda sprey toplayıcı kolektörler bulunmalıdır.
- d) Termal sprey operasyonu sırasında sıcaklıktan korunmak için önlemlerin alınması gereklidir.
- e) İnsani faktörler, kaplama sırasında özellikle Zn buharını tenefüs edilmesi, akciğer hastalıklarına yol açabilir. Nikel ve Krom esaslı kaplamalar kanserojen maddeler içerebilir.
- f) Operatör mutlaka, hava motorlu bir başlık kullanmalıdır. Başlık içersinden sürekli hava beslenmelidir.
- g) Diğer bir uygulama, ışık radyasyonuna ve ses izolasyonuna yönelik olarak keskinlikler gözlük kulaklı ve benzeri koruma malzemelerini kullanılmalıdır [48].

BÖLÜM 4. HIZLI KATIŁAŐMA PROSESİ İLE PARÇALARA ŐEKİL VERME

4.1. Giriş

Hızlı katılaşma prosesini kullanmadaki asıl amaç gerekli olan zaman ve maliyetin azaltılması esasına dayanmaktadır. Hızlı katılaşma prosesi ile işlemelerin uygulaması basittir. Bunlar; bilgisayar ortamında çizilmiş 3D’li CAD modelleri üzerine püskürtme yardımı ile birikim sağlanarak parçanın uygun bir şekilde iőlenip hazır hale getirilmesi olayını kapsar [49].

4.2. Tarihsel Gelişim

Hızlı katılaşma prosesi (RPS) enerji bölümü olan U.S. yardımlarıyla çevresel laboratuarlarda ve Idaho uluslararası mühendisliklerindeki araştırmalarla geliştirilmiőtir. Proses için baőlangıç patenti 1990’da yazılmıőtır ve bu temel icat ile akıcı bir gaz yardımının etkisi ile ergiyen veya birbirinden ayrılan küçük dropletlerin oluşması sağlanmıştır. Bu buluşun geniş alanlarda çeőtitli uygulamaları mümkündür. Enerji bölümünün (Department of Energy (DOE)) genel bir bakıőıyla enerji kullanımının azalması, operasyon üniteleri, zaman, enerji ve para bakımından hızlı katılaşma prosesinin kullanımı ile üretilen parçaların çok avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

Proses üzerindeki çalışmalar sayesinde diğer patent 1995 de alınmıştır. İnce bir boru içersinde akıőkan enjeksiyonlu basınç kullanılması, esnek operasyon gerçelerinin geliştirilmesi ve sprejde daha kararlı droplet boyut dağılımlarının elde edilmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak da dropletlerin soğumalarında artış ve kontroller kararlı hale getirilmiştir ve böylece metal birikimlerinde malzeme ve mikro yapılarıdaki özelliklerin gelişmesi sağlanmıştır.

Püskürtme ile biriktirilen metallerin tane yapılarının iyi olması ve bu metal birikimi sayesinde karmaşık şekilli parçaların kopyasının yapılabilmesi, bu prosesin parça üretiminde de kullanılma fikrini ortaya koymuştur. İşleme ile şekil vererek üretim güncel proses uygulamalarına eklenen patentlerle düzenlenmiştir. Başlangıçtaki sorun daha az maliyetli ve daha hızlı parça üretimi için başka bir metoda ihtiyaç olup olmadığı olmuştur [49].

Enerji bölümü (DOE) bu süreci başlatmıştır ve hızlı katılma prosesi içerisindeki araştırmalarla bu süreç devam etmiştir. Hızlı katılma prosesi ile işleme prosesi yardımı ile kalıp parçaların üretimlerinde %30 gibi zaman ve maliyet azaltılabilmektedir ve ayrıca bu proses kullanılarak üretilen parçaların ömürlerinde de bir artış olmaktadır. Hızlı katılma proseslerinde yüksek oranda üretim yapmak için değişik özelliklerde malzeme ve prosesler kullanılabilir [49].

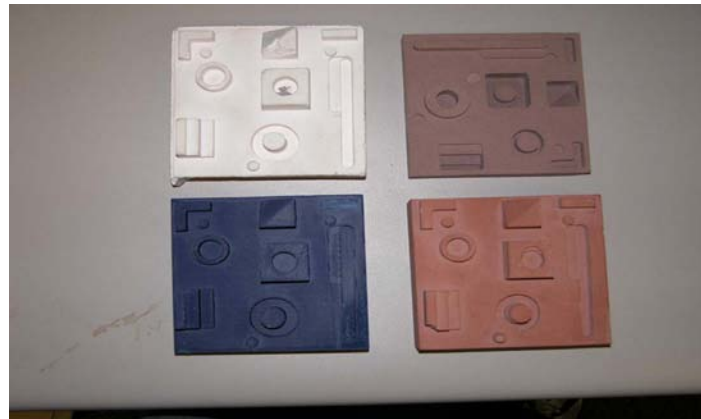
4.3. Prototiplemenin Kavramı

Prototip bir ürünün fiziksel bir temsilidir ve ürün geliştirme süresince bir veya daha fazla sorunun çözümünde kullanılır. Prototiple görülebilen taslak düzeni ve ürünün görünümünü birbiriyle bağdaştırma da ürünün; deneysel prototip araştırmalarına izin verme, en uygun hale getirme ve mekanik özelliklerin prototip süresince uygun olması önem arz eder. Prototipler proses dizaynlarına yardımcı olurlar. Prototiplerin basit olarak ölçümleri 3-D gibi, modellemeleri, test uygulamaları gözle görünür bir şekilde incelenebilir. Modellemeler ve bir ürünün benzer performansları için iki seçenek mevcuttur: analitik modeller ve fiziksel modeller. Gelişmenin üretim öncesi evreleri süresince, ürün için tüm modeller doğada sadece analitik olamaz. Beklenilmeyen etkiler her zaman bir ürünün fiziksel gerçekliğinde keşfedilir. Analitik modellerin açık ve gerçeğe uygun olmasında, kesinlik, gelişme zamanı, model amacı gibi birçok sebep arz etmektedir [49].

Bilgisayar destekli tasarım verileri (CAD) ile modeller fiziksel olarak otomatik olarak yapılabilir ve bu teknoloji sınıfları için hızlı prototip terimlerinden faydalanılır. Üç boyutlu yazıcılar dizayn edilen prototiplerin hızlı bir şekilde üretimine izin verir. Bu modeller çok sayıda kullanıma sahiptirler. Buna ek olarak

prototipler dizayn testleri içinde kullanılabilirler. Tasarımcılar, prototiplerden daha hızlı ve daha az maliyetli oldukları için faydalanmışlardır.

Küçük üretim çalışmaları ve karmaşık parçalar için, hızlı prototip sıklıkla kullanılan en iyi üretim proseslerindedir. Elbette “hızlı” göreceli bir terimdir. Prototiplerin çoğunda parçaların üretimi için 3-72 saat dilimine ihtiyaç duyulur tabi ki bu parçanın karmaşık şekline ve boyutlarına da bağlıdır. Bu olay yavaş gibi görünür fakat geleneksel yollarla üretilen prototiplerin ihtiyaç duyduğu aylar ve haftalardan çok daha kısadır. Böylece fazla zamandan kurtulmuş olunur ve pazara daha hızlı ve ucuz üretimler getirilir. Şekil 4.1’de prototiplenmiş ve kırılmış seramik parça örnekleri verilmiştir [49].



Şekil 4. 1. Prototiplenmiş ve kırılmış seramik parçalar [49].

4.4. Modellerin Üretimi

Model üretiminde birçok yol geliştirilmiş olup bunlardan bazıları; steriografi (SLA) ,eriterek biriktirme, seçici lazer sinterleyiciler, hassas döküm, savurmalı döküm vb. yöntemler model üretiminde kullanılırlar. Örnek olarak steriografi(SLA) prosesinin kullanımı, maliyetli ve zaman alan bir süreçtir. ABD'de Idaho National Engineering and Environmental Laboratory tarafından geliştirilen RSP (Rapid Solidification Process – hızlı katılaşma prosesi) hızlı kalıplama tekniği ile seramik bir model üzerine nitrojen gazı bulunan bir oda içinde ergimiş metal püskürtülerek kalıp imal

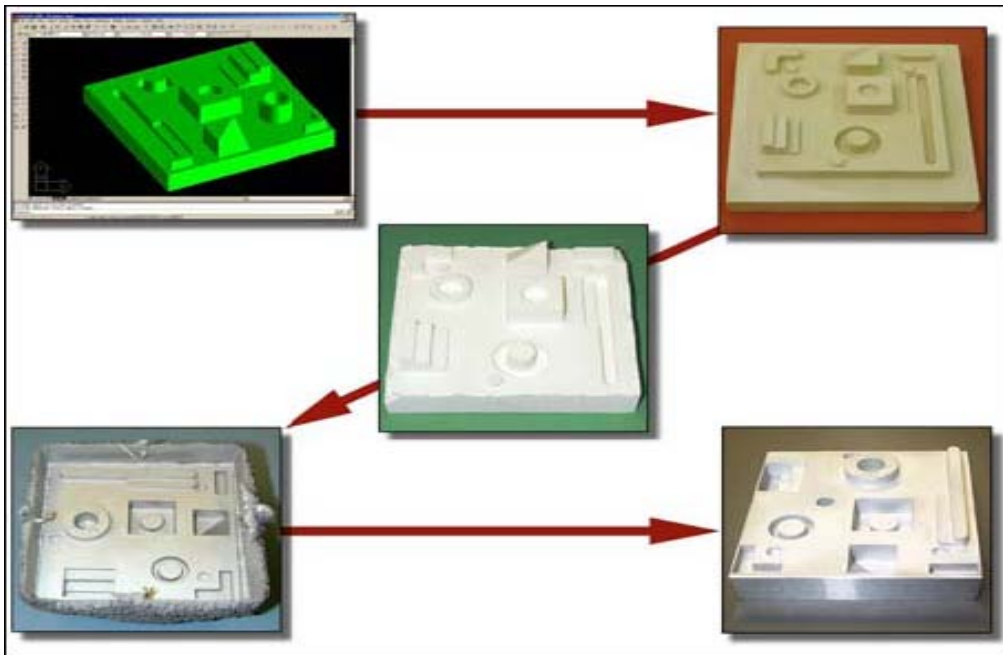
edilmiştir. Daha çok alüminyum enjeksiyon kalıpları imalatına uygun olan bu teknik ile parmak izi dahil model üzerindeki en küçük detaylar kopyalanabilmektedir [49].

Toplam hızlı katılma prosesi ile işleme şu anda yaklaşık 5 gün alır. SLA ile modellerin üretimi iki gün yani toplam zamanın %33 gibi bir zaman dilimini tüketmektedir. SLA prosesi ayrıca başlangıçtaki parça maliyetinin %40'ını sayar. Bu detaylara Tablo 4.1'de yer verilmiştir [49].

Tablo 4.1. Hızlı katılma işlemleri için gerekli proses zamanları [49]

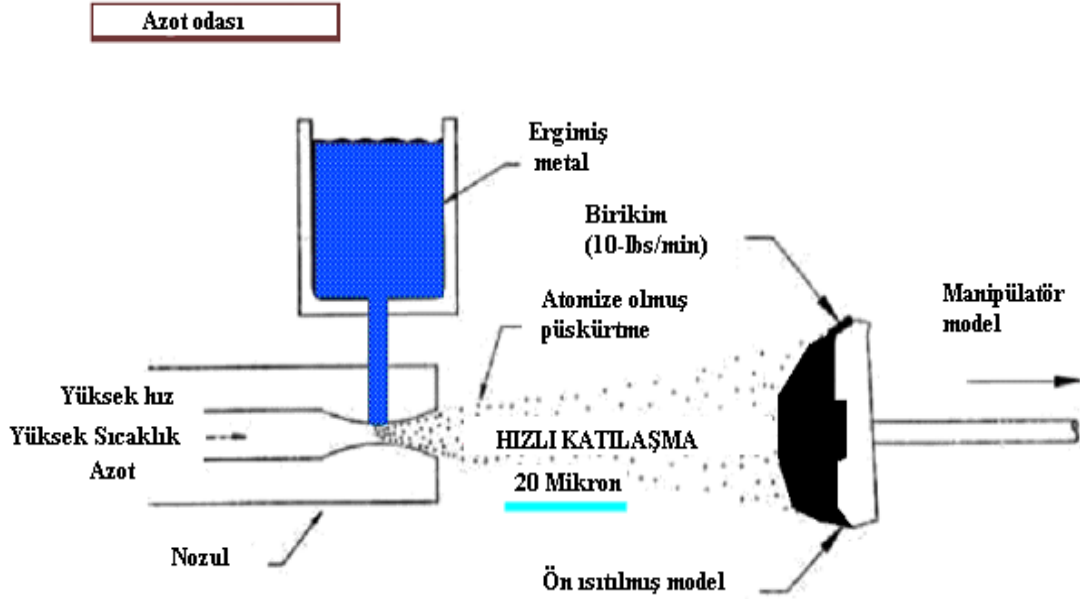
SLA Model	2 gün
Seramik model dökümünün hazırlanması	2 gün
Hızlı katılma prosesi ile püskürtülen parça	2 saat
Parçanın uygun hale getirilmesi (son işlem)	1 gün

Hızlı prototipleme işlemiyle model üretimi için şu anda en ekonomik yol püskürtme ile kalıp üretimidir. Bu işlemin uygulama aşamaları Şekil 4.2'de şematik olarak gösterilmiştir [49].



Şekil 4.2. Hızlı katılma ile işleme prosesleri ile üretim aşamaları [49]

4.5. Proses Tanımlama



Şekil 4. 3. Hızlı katılaşma ile işleme prosesinin şematik görünümü [49]

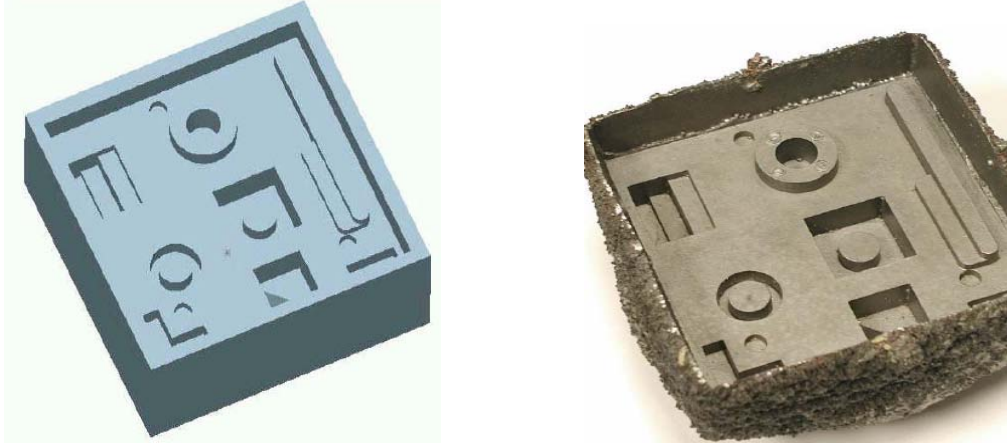
Hızlı işleme prosesi ile işleme Şekil 4.3'de şematik olarak resimlendirilmiştir. Başlangıçta bir parçanın CAD modeliyle eksiklikleri ayarlanmıştır. Stereografi (veya sert modellerin üretimi için diğer herhangi metotlar tarafından bir ana model üretilir. Daha sonra ısıl işlemle kalıp dökülür. Bu kalıp daha sonra RSP makinesine yerleştirilir ve ergimiş metallerle püskürtme işlemi yapılır. Püskürtülmüş parçalar daha sonra kalıbın içersine uygun olarak ayarlanır.

Bu proses Ohio da işleme uygulamaları için dünya çapında ticari amaçlı olarak seçkin bir lisansa sahip olmuştur. Bu olayı yapmak için beta makineleri üretilmiştir. Beta makinesi Şekil 4.4'de şematik olarak resimlendirilmiştir ve bu makineler sayesinde 4inc-7inc kalınlıklarında parçalar üretilebilir. Bu ölçü boyutlarına sahip çok sayıda parça vardır ve bunların üretiminde bu yöntemlerin kullanılması ile maliyetten büyük bir kazanç sağlanmıştır [49].



Şekil 4. 4. RSP Beta işleme makinesi [49]

Kalıpların CAD modelleri bitirilmiş ve daha sonra modelleme işlemine başlanmıştır. Şekil 4.5’de kalıbın biten bir modeli ile RSP tarafından üretilmiş bir kalıp gösterilmektedir.



Şekil 4. 5. Kalıpların CAD modelleri ve RSP ile işlenmiş kalıp [49]

4.6. RSP İşlemelerinin Çalışma Prosesleri

RSP işlemlerde spray form teknolojileri kullanılarak kalıp üretimleri için uygun hale getirilmiştir. Tek bir adımda proses süresince net şekilli malzemeler RSP de birleştirilmiştir. Bu uygulama için CAD tarafından modeli çizilerek stereografi gibi

uygun bir hızlı prototip teknolojisi kullanılarak işlenmiş modelin döndürülmesi gereklidir. Bu olayı daha sonra model üzerine spreyci tarafından uygulanan parçalarının kalın olarak biriktirilmesi izler ve böylece istenilen veya arzu edilen şekil de elde edilmiş olur. Daha sonra modelden ayrılan metal bloklar oda sıcaklığında soğutulur ve uygun olan bir ortamda beklemeye alınır. Bu dönüşümde yaklaşık 5 güne ihtiyaç vardır ve diğer işleme yöntemlerine göre önemli bir azalma söz konusudur [49].

Bu proses üç boyutlu bir model şekli üzerine ergimiş metal püskürtülmesi ve kalıbın içersinin tamamen doldurulması esasını gerektirir. Bu hızlı katılma süreci, geleneksel metotlarda üretim adımlarının çoğunluğunu saf dışı etmektedir. Model üzerine erimiş metalin küçük damlacıklarını püskürtülür. Damlacıkların yüzey alanı büyüktür ve saniye başına 100-100,000 derece arasında soğuma gösterir. Bu kadar hızlı soğuma oranı, alaşımın olağandışı yararlı karakteristikleriyle sonuçlanır. Bu olay sayesinde çok yararlı mikroyapılar meydana gelir. RSP ile üretilen kalıplar işleme ile üretilen kalıplara göre %20 daha uzun ömre sahiptirler. Bir sıvı bileşiminin hızlı katılması sonucunda, dropletler veya sıvı çamur katılarak model parçası kaplanır. Bu sıvı çamurlar model üzerine çarpar ve dropletlerin birbirine bağlanmasını sağlar. Püskürtme modellerin üzerine biriktikten sonra model çıkartılır ve bu birikimler temel standart kalıplara uygun ayarlanır. Prototip gelişiminde, dizayn edilen kalıplar başlangıçta birkaç gün test edilir. Kalıplar için değişiklikler pahalı olmadan ve çabuk bir şekilde birleştirilir. Eğer testler memnun edici ise başka adımlar eklenmeksizin doğrudan üretime geçilebilir [49].

4.7. RSP İle İşlemenin Yararları

Bilgisayarda katı modeller yapıldıktan sonra birkaç gün içerisinde RSP işlemleri ile parçalar üretilebilir. Bu prosesin avantajları;

- a) Gerekli olan çok küçük boşluklara püskürtme yapılabilir veya işlem sonu makine kullanımı, parlatma veya kazıyarak oyma işlemlerine ihtiyaç yoktur.

- b) Genellikle işlemlerde alaşımlar kullanılmıştır ve özel çelik malzemelerinde testi iyi sonuçlar vermiştir
- c) Üretim süreci diğer prosesler ile üretim zamanına göre çok daha azdır.
- d) Standart makinelerle ileri düzeyde parçaların ömrü RPS prosesi ile üretilen parçaların ömründen %25 daha azdır.
- e) Proses istenilen derecede tekrarlanabilir ve multi derecede boşluklar için ideal bir prosestir çünkü hızlı prototip adımlarına ihtiyaç yoktur. Bu prosesin kullanımında ki başlıca nedenlerden bir tanesi de çok fazla maliyet içermemesidir [49].

4.8. RSP Teknolojisi

RSP ile işleme tamamen püskürtme ile biçim verme teknolojisidir ve kalıpların üretimi için INEEL laboratuvarında Dr.Kevin McHugh tarafından geliştirilmiş bir prosestir. Genel olarak CAD dosyası tarafından dizayn edilen kalıbın uygun hızlı prototip teknolojisi kullanılarak işlenmesi olayını kapsar. Model için seramik kullanılacak ise uygulanacak seramiğin atılabilir olması gerekmektedir. Ergimiş silika veya alümina da kullanılabilir. Arzu edilen şekli elde edebilmek için seramik model üzerine kaplanacak malzeme sprey formu ile kalın olarak biriktirilir. Daha sonra modelden ayrılan yapı oda sıcaklığında soğuması beklenir. Bu birikimler istenilen kalınlığa 500-Ib/hr gibi çok yüksek hızlarda gerçekleştirilir [49].

Prototipler için kalıplar üretilmiştir ve bu kalıpların üretimindeki başka yöntemlerde kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyonlu kalıplar, seramik kalıba döküm ve demir dövme prosesleri gibi.

Hızlı prototiplendirme de bir numaralı yaklaşım tamamen ticari uygulamalar içindir ve maliyet, üretimde doğruluk ve işlem sonu yüzey özellikleri de bu prosesin tercih sebeplerindedir.

Sprey ile biçim verme RSP işleme proseslerinin kalbidir. Yüksek hızlı gaz jetleri kullanılarak ergimiş dropletlerin atomize olarak çok küçük dropletler şeklinde

yayılması olayını kapsar. Model üzerinde seri olarak biriktirilen dropletler aerodinamik açıdan yüzeyde gerilim oluştururlar.

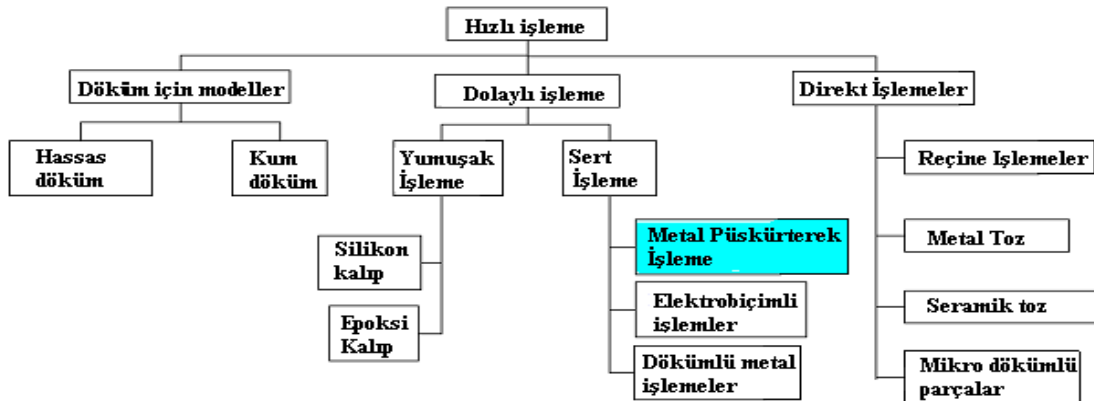
Dropletlerin ayrılma mesafesi, atomize edici gaz tipi, soğuması ve seramik parça modeli ve partikül boyutundaki değişimlere yüksek oranda bağlılık gösterir. Sonuç olarak, sıvının birleşmesi, katı ve seramik damlacık darbesi ve oluşan birikim formları bir arada uygun yapı oluşturması bu olaylarda önem arz etmektedir.

Birikimlerin yüksek soğuma hızı atomik difüzyonu engeller, bu yüzden metal dökümü için farklılık gözetmektedir ve metal ve seramik parça modellerinin erozif etkileşiminin etkisi engellenerek bu etkinin en aza indirgenmesi sağlanmıştır [49].

BÖLÜM 5. ELEKTRİK ARK SPREY PROSESİ İLE ŞEKİLLİ PARÇA ÜRETİMİ

5.1. Giriş

Ürün tasarımlarındaki hızlı değişikliklerle başa çıkabilmek için devamlı olarak ürün fiyatlarının azaltılması ve diğer bir yandan da rekabetçi ve kazançlı girişimlerde bulunulması gereklidir. Esnek üretim sistemlerinde olduğu gibi, ileri imalat teknolojilerinde yüksek maliyet gereksinimlerinden kaçınarak farklı üretimlerin yapılabilmesi mümkündür. Fakat yeni ürünler için parçalara şekil vererek dizayn ve üretim işlemlerindeki gelişimlerde fiyatları aşağıda tutmak oldukça zordur. Bu yüzden rekabetçi bir pazarda ürün geliştirmede zamanı ve fiyatı azaltmak için yeni teknolojiler gereklidir. Bu teknolojilerden bir tanesi de ark sprey teknolojisi kullanılarak şekilli parça üretimidir [50]. Günümüzde hızlı prototip kalıp üretiminde uygulanan bir çok yol vardır. Ark sprey ile şekil verme bu prosesler arasında en ekonomik olanıdır ve seri üretim yapılabilmesine imkan sağlayan bir proses olarak göze çarpar. Püskürtme ile şekil verme hızlı prototip kalıp üretimi arasında kendisine dolaylı ve sert işleme kademesi olarak yer bulmuştur. Püskürtme ile şekil verme işleminin hızlı işleme yöntemlerindeki yeri aşağıdaki Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. Püskürtme ile metal işleme yönteminin hızlı işleme ile kalıp üretimindeki yeri.

Ark spreyle metal işleme 1970'de gelişmeye başlamıştır. Bu proses kullanılmadan önce spreyle şekil işleminde çoğunlukla düşük ergime noktasına sahip spreyle tabancalarından (alev spreyle) faydalanılmıştır. Ark spreyle bu proseslere nazaran daha iyi özellikler sunmaktadır. Ark spreyle prosesinde alev spreyle nazaran daha sert metaller kullanılır (bronzlar ve çelikler gibi). Diğer bir taraftan ark spreyle prosesinin daha yüksek birikme oranı ve termal verimliliğe sahip olması da bu proses için yüksek avantaj sunar [51].

Ticari olarak kullanım için üretilen metal püskürtme ile şekil verme olayı günümüzde de halen devam etmektedir. Metal püskürtme ile işleme yeni olmamasına rağmen, hızlı prototip üretiminde kullanılabilir olması bu procese olan ilgiyi daha da arttırmıştır [52, 53].

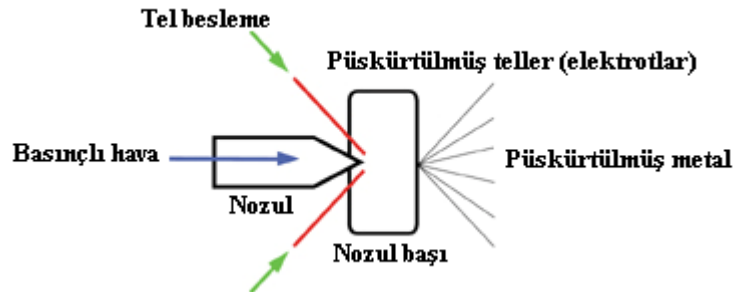
Son zamanlarda ark spreyle şekil verme, hızlı işleme alanlarında seri üretim ve geniş parçaların dökümü için önemli bir potansiyel oluşturmuştur. Ark spreyle şekil verme proseslerinde, ana bir altlık üzerine metal teller ergitilip püskürtülür ve kalın metal kabuklu bir yapı bu altlık üzerinde oluşturulmuş olur. Daha sonra bu yapının üstü uygun olan malzemelerle doldurulduktan sonra kalıplar ve parçalar kullanılabilir. Yüksek verimlilik, üretimin fazla zaman almaması ve düşük operasyon maliyetlerinden dolayı ark spreyle ile şekil verme büyük bir avantaj sunmaktadır. Buna ek olarak da malzeme seçimi ve boyut sınırlamaları da ark spreyle diğer yararlı özelliklerindedir [54].

Ark spreyle ile metal işleme hızlı bir üretim olması ve çeşitli üretim proseslerinin kullanılması ile kalıp üretimlerinde ticari olarak; vakumla biçimlendirme, polikarbonat, naylon, ABS, poliestere, polipropilen içeren geniş malzeme grupları ve basınçlı kalıplar, enjeksiyon kalıpları ve kimyasal enjeksiyon kalıplarında uygulanabilir olması bu prosesin önemini ortaya koymaktadır [55].

5.2. Ark Sprey İle Şekilli Parça Üretimi

Ark sprej sistemi, düşük voltajlı d.c. güç besleme ünitesi, basınçlı hava akışını düzenlemek için bir konsol, sprej tabancası ve tel besleme ünitesinden oluşmaktadır [53]. Bu sprej tabancası kolay bir şekilde manuel olarak veya bir robot tarafından uygulanabilmektedir. Teller besleme ünitesinden sprej tabancasının içersine iki makara vasıtası ile beslenir ve operasyon için parametreler girilerek kaplamalar yapılır. Ark sprej prosesinin tipik bir görünümü aşağıda Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

Metal püskürtme proseslerinde, hava sürücü roller bulunur ve elektriksel olarak izole edilmiş teller tabancanın içersine çekilir; Teller tabancanın önünde bir ark formu oluşturması için kesitirilmektedir. Teller oluşan ark ile ergir ve ergimiş malzemeler atomize jetler yardımı ile damlacık şeklini alır ve püskürtülerek metalik bir kabuk şekline dönüşürler.



Şekil 5. 2. Ark sprej prosesinin tipik görünümü [53].

İşlem hazırlamak için en popüler proses; çelik, Zn ve alaşımlarının uygulandığı elektrik ark sprej prosesidir. Zn alaşımları 422 °C ergir ve nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlardır. Bu malzemeler stereografik modellerin üstüne püskürtme için uygundur. Hatta bu malzemeler wax, alçı ve hatta düz oduna bile problemsiz bir şekilde püskürtülebilir [52,53]. Çelik malzemesinin ise ergime noktası oldukça yüksektir ve bu nedenle kalıntı gerilimleri, termal çatlaklar gibi etkilere maruz kalma olasılığı Zn alaşımlarına nazaran daha yüksektir. Fakat gelişen teknoloji ile de çelik malzemesinin de problemsiz bir şekilde püskürtülmesi sağlanmıştır.

5.3. Ark Sprey İşlemler İçin Kullanılan Parametre Aralıkları

Ark spreyde kaplama kalitesini etkileyen en önemli faktör kaplama parametreleridir. Bu parametreler kaplama mikro yapısındaki oksit ve poroziteler açısından önem arz etmektedir. Ark spreyle kalıp üretiminde bu parametreler oluşan kaplama kabuğunun özelliklerine doğrudan etki eder. Bu yüzden kaplama parametrelerinin bilinmesi kaplama için önem arz etmektedir. Püskürtülmüş kabukların özelliklerini etkileyen bazı parametreler ve bu parametrelerin aralıkları aşağıda verilmiştir [51].

5.3.1. Ark voltajı

Ark voltajı her bir partikül içindeki ısı miktarına etki eder ve tellerden uçucu elementleri patlamaya hazır hale getirir. Bu nedenle püskürtülmüş kabukların bileşimleri orijinal tellerdekinden farklı olabilir (19-21V genelde tavsiye edilen voltaj değeridir) [51].

5.3.2. Ark akımı

Akım malzeme birikimlerini belirler. Aynı zamanda akımın artışı modeller için ısı miktarı ve birikme oranının da artmasını sağlar (100 A tipik uygulamadır) [51].

5.3.3. Tel besleme oranı

Tel besleme oranları ark akımına bağlanmamıştır bu yüzden eğer ark akımı değiştirilirse ark spre ekipmanlarının da otomatik olarak ayarlanması gerekmektedir. Tel besleme oranı akım ile uygunluk göstermelidir [51].

5.3.4. Atomize gaz basıncı

Atomize gaz basıncı partiküllerin boyutlarını etkilemektedir. Atomize gaz basıncındaki artış partiküllerin boyutlarında azalışa neden olur. Partikül boyutları ayrıca nozul konfigürasyonları tarafından da etkilenir [51].

5.3.5. Sprey mesafesinin etkisi

Sprey mesafesi tabancanın baş kısmı ile model arasındaki mesafedir. Tipik olarak sprej mesafesi yaklaşık olarak 200mm'dir. Bu olay özellikle aşırı oluşan ısıdan kurtulmak ve aşırı termal stresleri engellemede önemlidir [51].

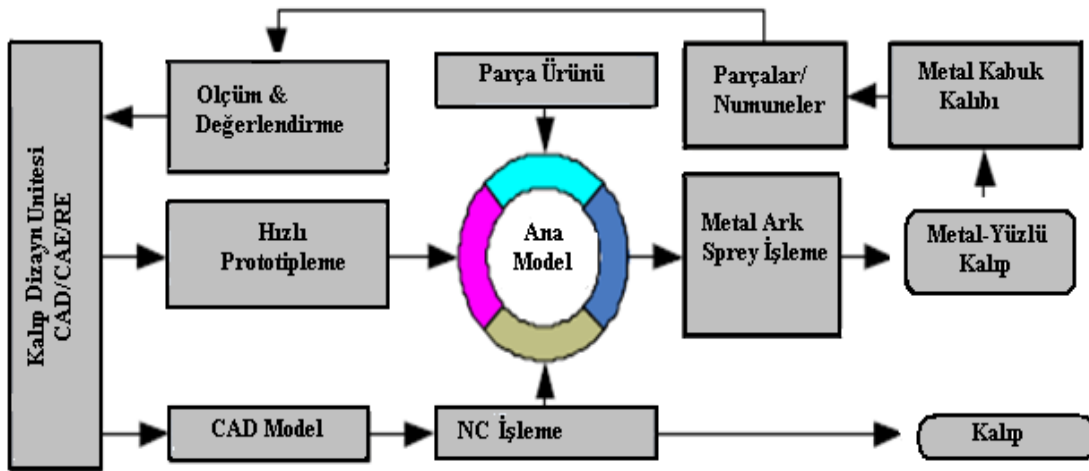
5.4. Püskürtme Öncesi Model Hazırlama

Modelin yüzeyi püskürtmeden önce düzgün ve pürüzsüz bir şekilde püskürtmeye uygun hale getirilmelidir. Püskürtülmüş kabuklarda yüzey kusurlarını gidermek için model üzerinde bazı işlemlerin yapılmasına da ihtiyaç duyulabilir. Eğer bu işlemler yapılmazsa kabuklar model biçimlerinin olumsuz bir kopyası olabilir. Parçaların yüzey kabuk formları bu nedenle iyi bir yüzeye sahip olmak zorundadır. Kullanılacak model kaplama özelliklerine uygunluk göstermelidir. Diğer taraftan modelin işlenebilirliği kolay olmalı ve üretim maliyetininse buna bağlı olarak düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle genel olarak; seramikler, plastikler, hatta düzgün yüzeye sahip olan ahşap bile püskürtme modeli olarak kullanılabilir. Genel olarak püskürtme yapmadan hemen önce model ayırma çizgilerine, kalıp ayırıcı (polivinil alkol (PVA) metil metil akrilat reçineleri) malzemeler püskürtülür. PVA partiküllerin modele çarparak yapışmasını sağlar. Bu olay ayrıca parçalarda bütün işlemler bitirdikten sonra model ve kalıbın birbirinden kolay bir şekilde ayrılmasını sağlar [51].

5.5. Ark Sprej Prosesi İle İşleme

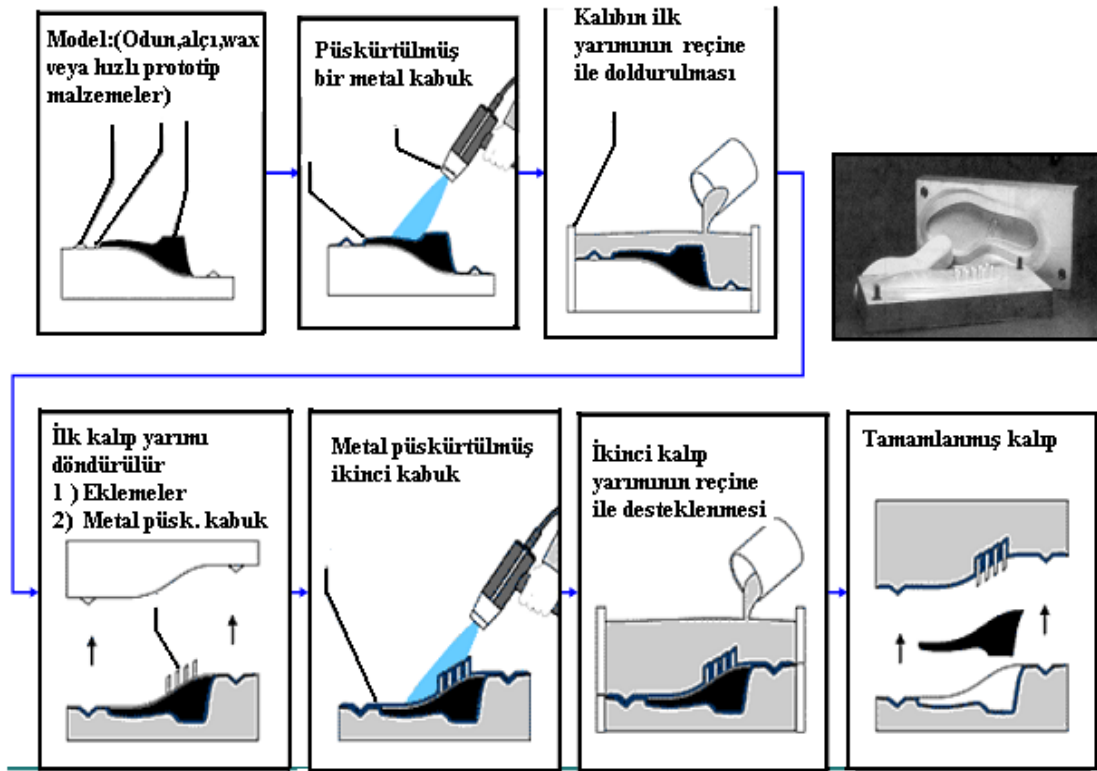
Ark sprej ile işleme, kalıp hazırlama metodunun "kopyasını yapma" olayıdır. Öncelikle fiziksel bir ana model önceden hazırlanmış olmalıdır. Gerçek üretim parçaları hızlı prototiplerden veya düşük maliyetli kolay işlenebilir malzemelerden (odun, alçı vb.) meydana gelmelidir [56].

Genel olarak ark sprej, kalıp deneme üretimlerinde veya kısa zamanlı küçük olan çoklu üretimlerde kullanılır. Ark sprej kullanımının hızlı işleme sistemleri üzerindeki kapalı döngüsü Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5. 3. Kullanılan ark spreyn hızlı işleme sistemleri içerisindeki kapalı döngüsü [56]

Öncelikle kaplama için uygun fiziksel model seçimi gerekir. Daha sonra model üzerine ark sprej tabancası ile ergimiş partiküller arzu edilen kalınlığa ulaşmaya kadar (kaplama kalınlığı) püskürtülmelidir. Genel olarak kaplama kalınlığı 1,5-2 mm aralığında değişmektedir. Püskürtülmüş kaplama modelin tersidir ve modelin doğru olarak kopyasının üretildiğinin kanıtı olarak tabir edilir. Kaplamadan sonra model uygun malzemeler ile desteklenir. Son işlem olarak, metal kaplamaların sonu uygun olan malzemelerle çerçevesizdir. Epoksi reçineler ve metal tozları ile gelişmiş destekleme sistemlerinden oluşan karışımlarla kaplamanın arkası doldurulur. Bu takviyeler basınçlı döküm kalıplarına karşı koyabilmek için mutlak yapılmalıdır. Epoksi ve kaplama malzemesinin termal genişleme katsayılarının birbirlerine yakın olması istenir. Bu olay termal genişmeler ve boyutsal hataları önlemek açısından önemlidir [56]. Diğer proses adımlarını tamamladıktan sonra da model çıkarılır ve istenilen döküm kalıbı elde edilmiş olur. Ark sprej işleme prosesinin uygulama pratiği Şekil 5.4'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. 4. Ark spreyle kalıp üretim uygulamasının işlem kademeleri

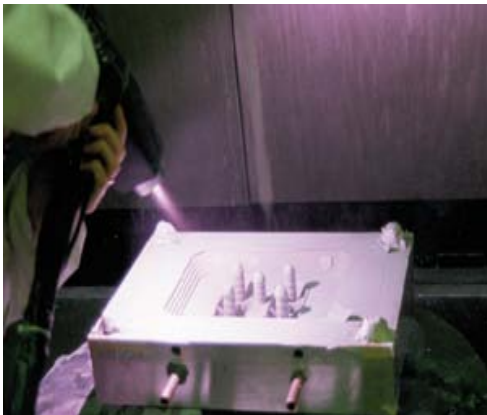
5.6. Ark Spreyle Kalıp Üretiminde Kullanılan Kaplama Malzemeleri

Ark spreyle prosesi yardımı ile birçok kaplama (Zn ve alaşımları, Al, Çelik vb) yapılabilmektedir. Her kaplama malzemesi kendine has özellikler içerir. Bu yüzden kaplamaların özellikleri kaplanılacak malzemelere göre değişiklikler göstermektedir. Ark spreyle ile şimdiye kadar yalnızca çinko ve alaşımlarından prototip kalıplar hazırlamak için faydalanılmıştır [57]. Çinko alaşımları 422 °C ergir ve nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlardır. Ergime sıcaklığının düşük olması nedeniyle Zn ve alaşımlarından üretilen prototipler birçok döküm malzemeleri için uygunluk göstermezler. Bu yüzden daha uygun malzeme arayışları içersine girilmiştir.

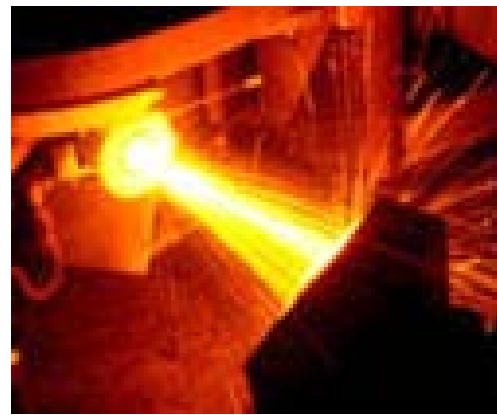
Son zamanlarda ark spreyle şekil verme prosesinde çalışmalar çelik üzerine yoğunlaşmıştır. Çelik gibi mühendislik malzemelerinin ark ile püskürtülmesi süresince kalıntı gerilimlerine sebebiyet vermesi de bu malzeme başta çekici kılmanıştır. Çünkü bu gerilimler parçaların üretiminde boyutsal hatalara sebebiyet

verebilmektedir. Son zamanlarda ark püskürtme süresince artan bu gerilimleri minimuma indirmek için metal kabuk sıcaklıklarının dikkatli kontrolü sağlanmıştır. Ark sprej ile şekil verilmiş çelik parçaların özelliklerinin geliştirilmesi için parametreler, nozullar ve atomize gazların mikroyapı üzerindeki etkileri incelenerek arzu edilen mikro yapılar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu olay FORD MOTOR şirketi ile çelik parçaların ark sprej püskürtme tekniği ile üretim uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır [58,59].

Ford şirketi 1990 yılında, püskürtme ile şekil verme teknolojisini ilk bulan İngiltere'deki Sprayform Holdings Firması'nı bünyesine katarak bu teknolojiyi daha da geliştirmeye başlamıştır. Ford bu teknolojiyle çok başarılı uygulamalar yaptıktan sonra artık kendisi geliştirmeye devam etmek yerine lisans vermeye başlamıştır. İlk lisans Praxair Surface Technologies (Indianapolis, IN firmasına) verilmiştir. Bu firmanın bir yan kuruluşu olan Tafa Inc. (Concord, NH) bir süre sonra Almanya tabanlı bir firma ile işbirliği içinde düşük ergime sıcaklığına sahip bir metal sprej teknolojisini de pazarlamıştır. Daha sonra 2001 yılında aynı teknoloji The American Tooling Center (Grass Lake, MI) ve Ceradyne (Costa Mesa, CA firmalarına da lisanslanmıştır. Daha çok alüminyum enjeksiyon kalıpları imalatına uygun olan bu teknik ile parmak izi dahil model üzerindeki en küçük detaylar dahi kopyalanabilmektedir. Şekil 5.5'de Zn ve çeliğin ark sprej prosesi ile model üzerine püskürtülmesi olayının şematik bir görünümü mevcuttur [60].



(a)



(b)

Şekil 5. 5. Model üzerine yapılan a) Zn ve b) Çelik kaplamalar [61]

5.7. Destekleme Sistemleri (BACKING SYSTEM)

Püskürtülen metal kabuklarını güçlendirmek için güçlü destek sistemlerine ihtiyaç duyulur. Bu destekleme sistemleri enjeksiyon basınçlarına ve sıcaklıklara dayanmakla beraber aynı zamanda kabuk ile uyum göstermelidir. Diğer bir deyişle destekleme malzemesi ile püskürtülen malzemenin genleşme katsayıları birbirlerine yakın olmalıdır. Aynı zamanda desteklenen malzeme ile püskürtülen kabuk arasında çok iyi bir yapışma söz konusu olmalıdır. Tipik olarak metal doldurulmuş reçineler destekleme sistemleri olarak kullanılırlar [51].

Uygun malzeme seçimi ile destekleme, parçaların ömrü ve mukavemeti açısından çok önemlidir. Pek çok destekleme malzemeleri ve teknikleri vardır. Alüminyum doldurulmuş reçine ile alüminyum doldurulmuş metil metil akrilat reçineleri, dökümlü parçalar ve enjeksiyonlu kalıplar için çok popüler destekleyici malzemelerdir. Ayrıca bazı polimer malzemeler, doldurulmuş karbon plastikler veya diğer kompozit malzemeler düşük basınçlı uygulamalar için destekleyici sistem olarak kullanılabilir. En fazla ortak destekleme malzemeleri metil metil akrilit reçineleri (MMA) ve %85 alüminyum bezelyeleri şeklinde olan alüminyum toz yapılarıdır. Doldurulmuş alüminyum reçinelerin çalışma sıcaklığı alüminyum içerik miktarına bağlı olarak 250 °C gibi yüksek sıcaklıklara kadar çıkabilmektedir. Alüminyum reçineleri iyi sıkıştırma direncine sahiptir ve maliyeti pek yoktur. Bu sistemler, püskürtülmüş kabuklar ile termal genleşme katsayısı, ısı transferi, büzülme açısından da benzerlik göstermesi de önem arz etmektedir [51].

5.8. Blok Takviyeler

Enjeksiyon kalıplama süresince yüksek basınçtan dolayı üretilen malzemenin etrafı çok fazla zorlanmaktadır. Alüminyum epoksileri bu yüksek zorlamalara karşı çok fazla dayanıklı değildir ve üretilen Al epoksiler genelde akıcı bir haldedir bu nedenle bu parçalarda kalıpların mukavemetini arttırmak ve epoksiyi kaplama üstünde tutmak için alüminyum blokla işlemeye ihtiyaç vardır. Alüminyumun termal genleşme katsayısının alüminyum epoksi ile benzer olması bu kullanım için bir avantaj sunmaktadır. Bu uyum sayesinde termal stresler engellenmiş olur. Fakat yine de

kalıplarda termal streslerin önlenmesine yönelik farklı malzeme gruplarına yönelik çalışmalar devam etmektedir [51].

5.9. Ark Sprey İle İşlemenin Avantajlar

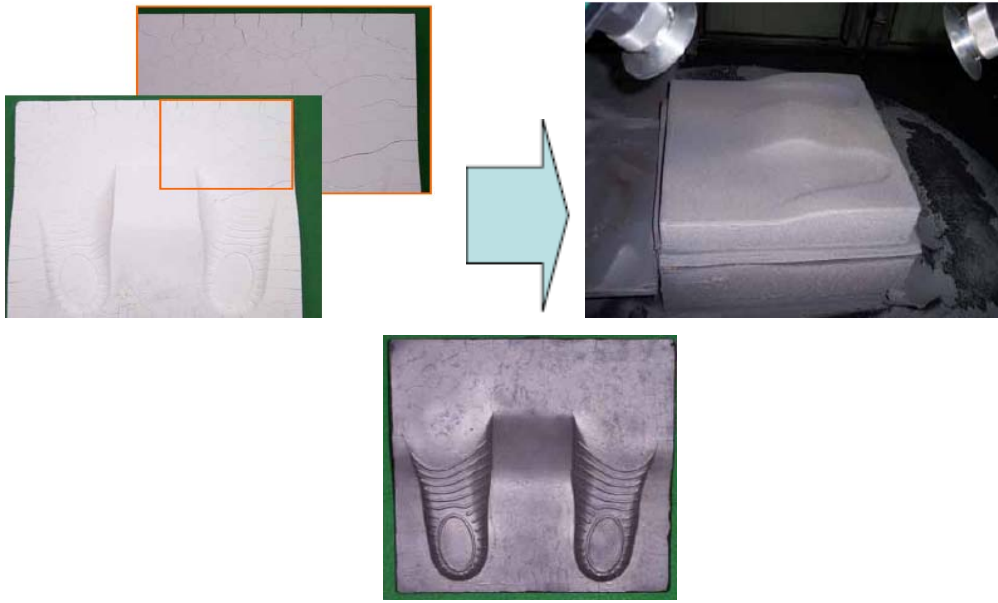
Elektrik ark sprej ile kalıp üretim yönteminin geleneksel kalıp işleme yöntemine göre maliyeti %50 daha azdır, üretim zamanı genel üretime nazaran yaklaşık %35 daha düşüktür. Kolay çoğaltılabilir olması ve hoş bir yapıya sahip olması nedeniyle de avantaj sunmaktadır [52,53].

Ark sprej metal işleme sisteminin diğer avantajları modeller üzerine düşük ergimeli alaşımların püskürtülmesine izin vermesidir ve püskürtme esnasında malzemelerin aşırı ısıya sahip olmamalarıdır. RP olarak üretilen modellerin yüzeylerine zarar vermemeleri de bu yöntemin avantajları arasında gösterilebilir [51].

5.10. Ark Sprej İle İşlemenin Dezavantajları

Bütün metal püskürtme sistemlerinde de olduğu gibi püskürtme yapılacak parça geometrilerinde bazı sıkıntılar olabilir. Bunun nedeni tabancanın ön kısmının parçanın her bölgesini görmemesinden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak küçük delikler için araya girme problemi vardır. Ark ile püskürtülen Zn alaşım partiküllerinin parça ömrüne zarar verebilecek olması da sınırlamalar arasında gösterilebilir. Kalıp malzemesi, parça boyu ve geometriler gibi bileşenlerin üretiminin prosese bağlı olması da bir dezavantaj sunmaktadır [52,53].

Ark sprej ile şekil verme esnasında aşırı gerilimlerden dolayı kaplamaların yüzeyinde çatlamlar meydana gelmektedir. Oluşan bu çatlaklar nedeni kullanılan kaplama malzemesi, altlık, parça geometrisine bağlı olarak ve kaplama parametreleri gibi faktörlerin yanlış uygulanmasından kaynaklanır. Bu kusur prototip olarak üretilen kalıbın ömründe azalmaya sebebiyet verir. Şekil 5.6'da tipik bir ayakkabı kalıbının prototipini üretmek için uygulanan bir kaplama örneği ve bu kaplama yüzeyinde meydana gelen çatlaklar gösterilmektedir.



Şekil 5. 6. Ark sprej ile ayakkabı kalıbı üretiminde meydana gelen termal çatlaklar

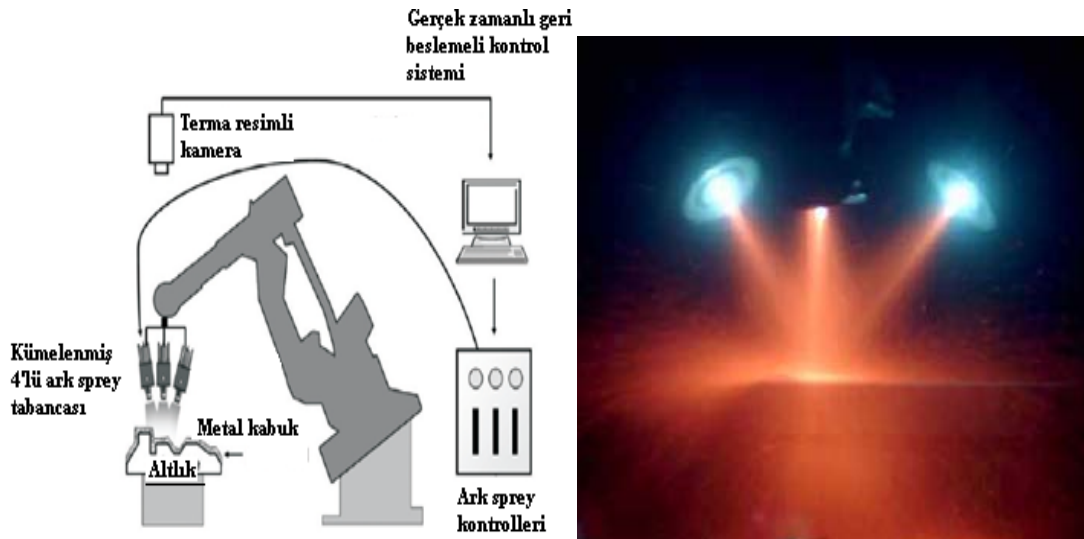
Ark sprej ile şekil verilmiş çelik kabuklu parçaların uygulamalarında boyutsal hatalar olma olasılığının yüksek olması da bir dezavantajdır. Sprej form parametre özelliklerinin geliştirilmesi kaplama kabukları için en önemli özelliklerden bir tanesidir; çünkü bu olay mekanik özelliklerin çoğunu etkilemektedir. Ark sprej prosesi, çok yüksek sıcaklığa sahip olan erimiş metal dropletlerini bir altlık üzerine birikmesini sağlar ve bu altlık üzerinde oluşan yapılarda oksit ve porlar gibi mikro yapısal kusurlardan kaçınılamaz. Bu kusurlar kabuklarda da ihtiva ederler ve sprej ile şekil verilmiş parçalarda tüm özelliklerin bozulmasındaki başlıca nedenlerdendir. Kaplama mikro yapısında oksit ve porlardan oluşan bu kusurlar da bir dezavantaj sunmaktadır [51,53].

5.11. Gelişimler

Püskürtme ile şekil vermede pratik çalışmalar günümüzde de halen devam etmektedir. Hata modlarının belirlenmesi, kabuk kalınlıklarının optimize olması, destek sistemleri ve temel dizaynlar ayarlanarak bu sistemlerin her geçen gün gelişimi sağlanmaktadır. Son yıllarda çelik püskürtme olayının gelişmesi prototip kalıp için büyük bir avantaj olmuştur. Bunun nedeni çelik malzemesinin çinko malzemesine nazaran çok daha fazla dayanıklı olması ve bu malzeme ile üretilen

kalıpların çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmesidir. Sonuç olarak bu proses ile üretilen kalıplar döküm için çok daha uygun özellikler göstermektedir [52,53].

Kabuk formlarını oluşturmak için hem manuel olarak elle kullanılan tabanca sistemleri hem de bir robot tarafından kullanılan kümelenmiş (çoklu tabanca) tabanca sistemleri kullanılmaktadır. Genel olarak bu kümelenme endüstriyel robotlarında dörtlü tabanca sistemi olarak yapılmaktadır. Şekil 5.7’de Smartarc, MetcoInc, Westbury, NY markalı dörtlü tabanca sisteminden oluşan tipik bir endüstriyel tabanca ve kaplama uygulaması gösterilmiştir. Kümülatif tabancalar sayesinde hem hızlı hem de kararlı kaplamalar yapılabilmektedir [54].

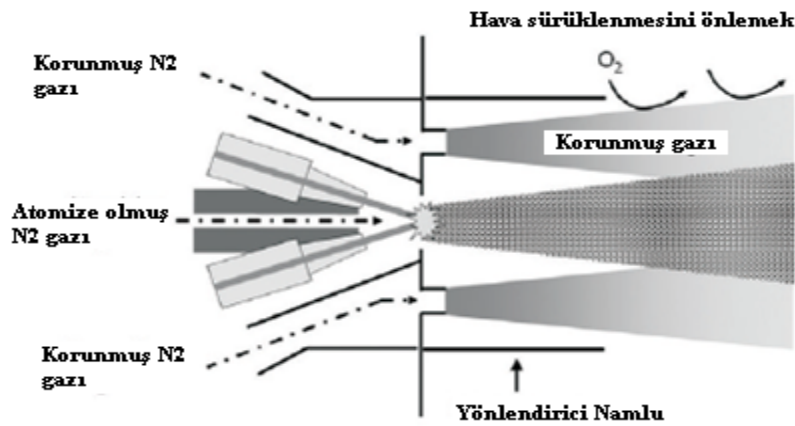


Şekil 5. 7. Kümülatif tabanca sistemi ve uygulaması [54]

Ark sprey ile çeliklere şekil verme işleminde oluşan çelik kabuklarının özelliklerinin geliştirilmesi için birçok pratik çalışma yapılmıştır. Genel olarak gelişen teknoloji ile kaplama mikro yapılarını etkileyen birçok parametre özelliklerinin optimize edilmesi bu özelliklerin geliştirilmesine etken olmuştur. Başta kullanılan nozulların modifiye edilmesi olmak üzere birçok etki optimize edilerek kaplama kusurlarındaki etkilerin azalması sağlanmıştır [54].

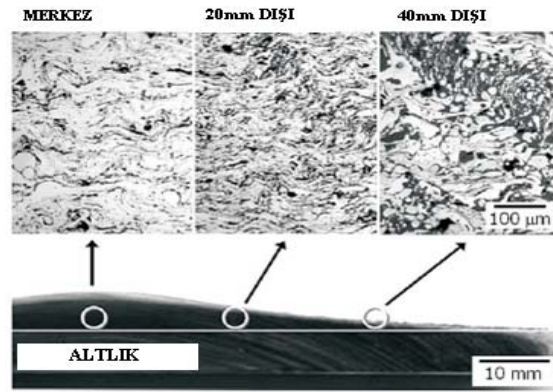
5.11.1. Nozul modifikasyonu; dizayn ve optimizasyon

Ark sprey ile biçimlenmiş olan çelik kabuklarının oluşum süresinde partikülleri çevreleyen hava, oksidasyonun oluşumuna neden olmakla beraber kaplamaların formasyonlarını etkileyen kritik kusurların başında gelmektedir. Oluşan bu yapılara kullanılan basınçlı gazların da etkisi büyüktür. Genel olarak maliyetinin düşük olması nedeniyle kaplamalarda basınçlı gaz olarak hava kullanımı tercih edilir. Fakat kullanılan bu hava ile yapılan kaplamalarda oksit ve porozite varlığı çok olmaktadır. İnert olan bir gaz (Azot, Helyum) kullanımı ile bu oksidasyon belirli düzeyde önlenir. Bunu yapmak için ark sprey ekimanları olan nozulların modifiyesi yapılabilir ve aynı zamanda tel uçlarından altlığa uçuş yolu olan bölgede nitrojen gazının yönlü bir akışı ile bu etkilerin azalması sağlanabilir. Şekil 5.8’de bu örneğe uygun nozul ve aparatlarının şematik bir dizaynı verilmiştir. Nitrojen gaz besleme çizgilerine ek olarak yol gösterici namlular ve ark tiplerini çevreleyen farklı deliklerde gösterilmiştir. Nozul modifikasyonunun ilk adımı tabanca kümesinin nozul dizaynlarının ayarlanarak optimize edilmesi gerekmektedir [54].

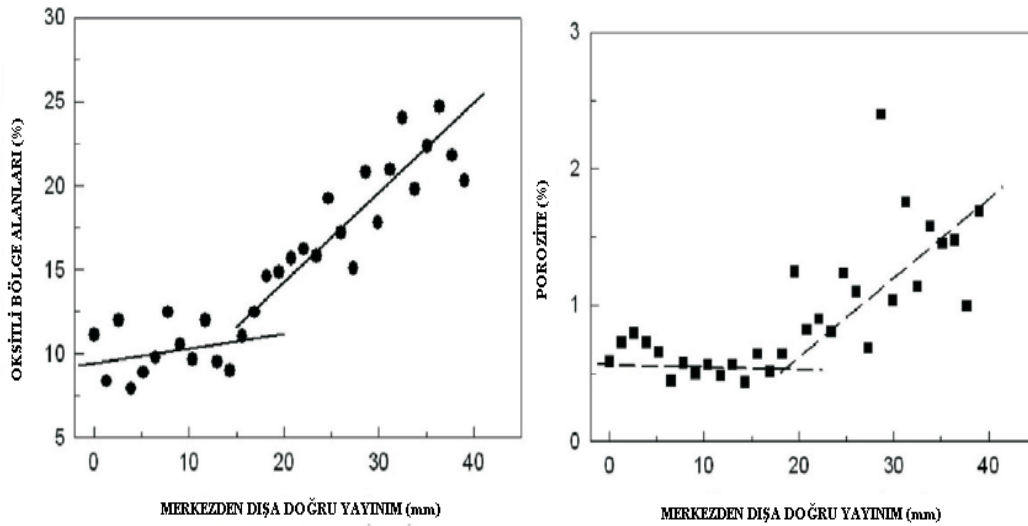


Şekil 5. 8. Kullanılan tipik bir koruyucu gaz konsepti ve önerilen nozul aparatlarının dizaynı [54]

Genel olarak uçan partiküllerin radyal yön boyunca hareketi de oksit ve porozite açısından önem arz etmektedir. Uçan partiküllerde Şekil 5.9’da da anlaşılacağı gibi ergiyen kaplama tozlarına hava teması en fazla merkezin dışından olmaktadır. Buna bağlı olarak ta üretilen kaplama mikroyapısının Şekil 5.10’da gösterilen grafik gibi olması beklenir.



Şekil 5. 9. Kaplamanın merkezden dışa doğru mikroyapısal değişimi [54].

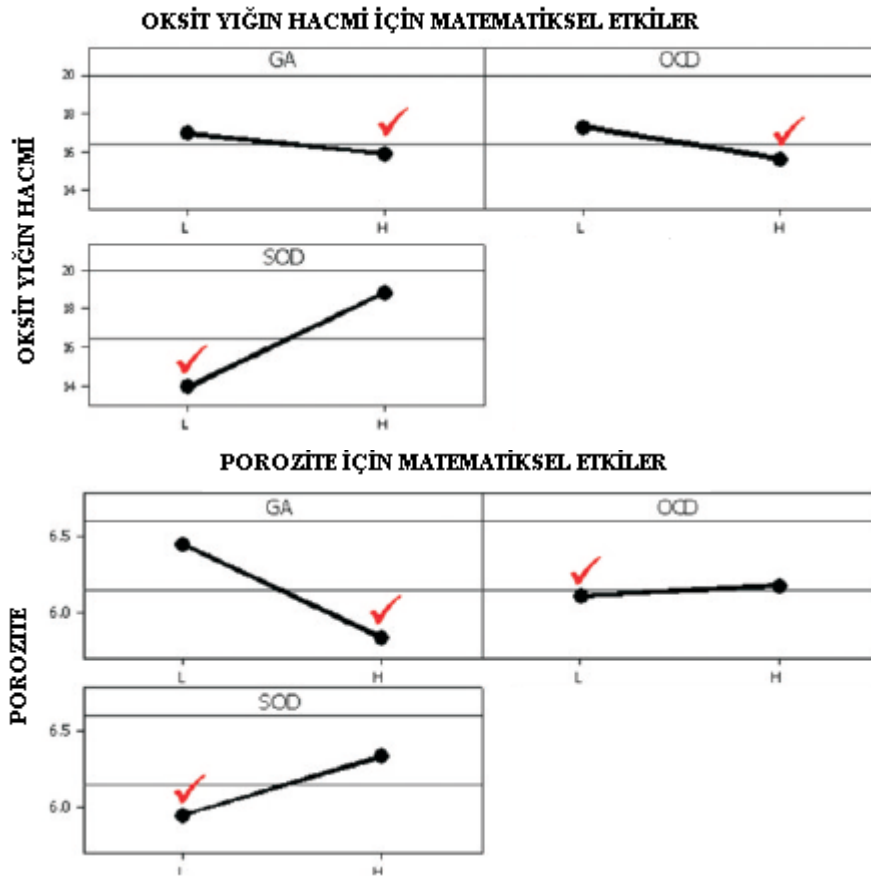


Şekil 5.10. Merkezden dışa doğru püŐürtölen kaplamalar üzerinde oksitli bölge ve porozitedeki değişimler [54]

5.11.2. Tabanca kümesinin optimizasyonu

Kusurların indirgenmesi amacı ile kümölâtif tabanca kümesinin deneysel olarak dizaynı ve tabancaların optimize edilmesinde üç faktör önem arz eder. Bunlar, algılama mesafesi (SOD), tabanca açısı (GA) ve merkezden dışa doğru yayınım (OCD) mesafesidir. Deneysel olarak yapılan istatistiksel sonuçlara göre yüksek tabanca açısı (GA) ve düşük algılama mesafesi (SOD) koşullu olarak spreyle Şekil verilmiş çelik kabuklarında oksidasyon ve porozitenin her ikisini birden azalttığı anlaşılmıştır. Oksidasyonu azaltmak için OCD'in optimum halinin, düşük poroziteler için uyuoŐmama durumu olmasına rağmen oksidasyon göz önünde tutulursa yüksek

koşullu OCD seçiminin uygun olduğu ve bunun nedeni olarak OCD faktöründe metal kabuklarında oluşan gözenekliliğin istatistiksel olarak önemsiz bulunması gösterilebilmiştir. Şekil 5.11’de uygun koşullarda yapılan kaplama mikroyapısındaki bu üç faktöre bağlı olarak oksit ve porozitelereki değişimleri göstermektedir [54].



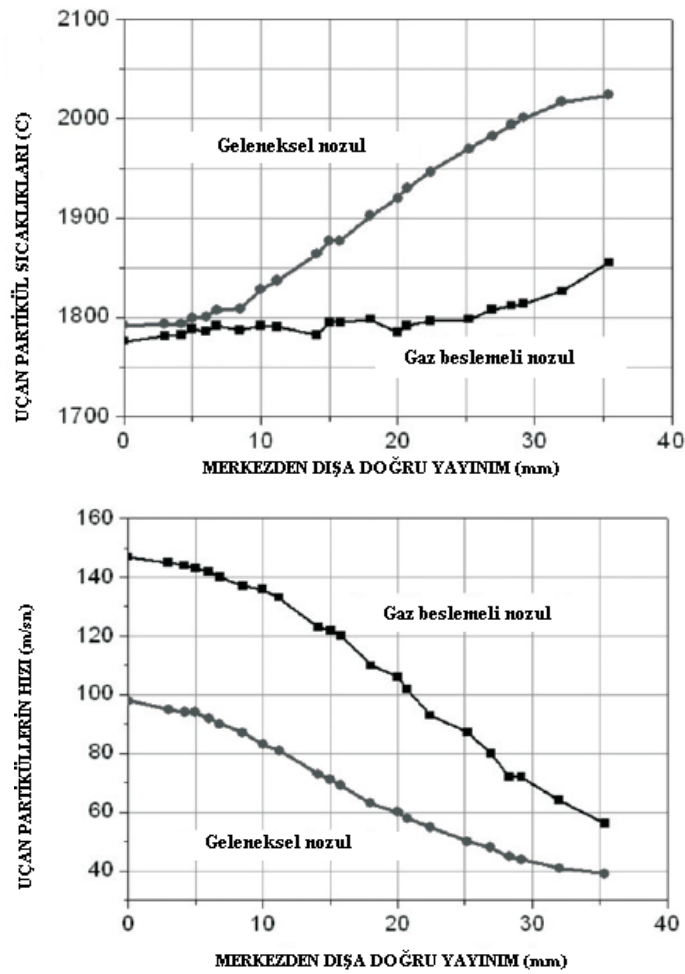
Şekil 5.11. Spreyle biçimlendirilmiş çelik kabuklarında kümelenmiş tabanca faktörünün formasyon üzerinde ölçülmüş olan etkilerin grafiği [54]

5.11.3. Nozul dizaynının optimizasyonu

Bazı sınırlı özelliklerdeki nozul dizaynının geliştirilmesi ile dört farklı faktörün kaplama kusurlarını azalttığı anlaşılmıştır. Bu faktörler; çap, uzunluk, yol gösteren namlunun eğim açısı ve nozulların tipleridir. Bu faktörler üzerindeki değişimlerin hepsinin spreyle biçimlendirilmiş çelik kabukları üzerindeki oksidasyon ve porozite üzerinde önemsiz etkilere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak nozulların uçan partiküllerin ortalama sıcaklıklarının azalması yönünde önemli bir etkiye sahip olduğu ve özelliklede spre yayınımlarının dış kısımlardaki havanın sürüklenmesini engelleyen bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

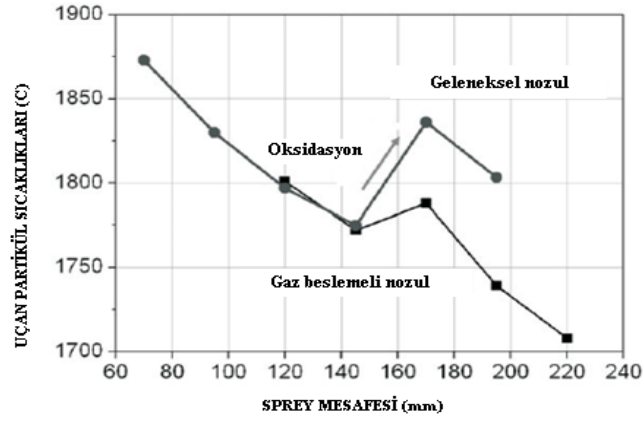
Şekil 5.12’de uçan partiküllerin ark spre yayınımları ile radyal yön boyunca hız ve sıcaklık profilleri ve nozul modifikasyonunun bu uçan partiküller üzerinde etkileri gösterilmektedir [54].



Şekil 5.12. Uçan partiküllerin ark spre yayınımları ile (plume) radyal yön boyunca hız ve sıcaklık profilleri ve nozul modifikasyonunun bu uçan partiküller üzerinde etkileri [54]

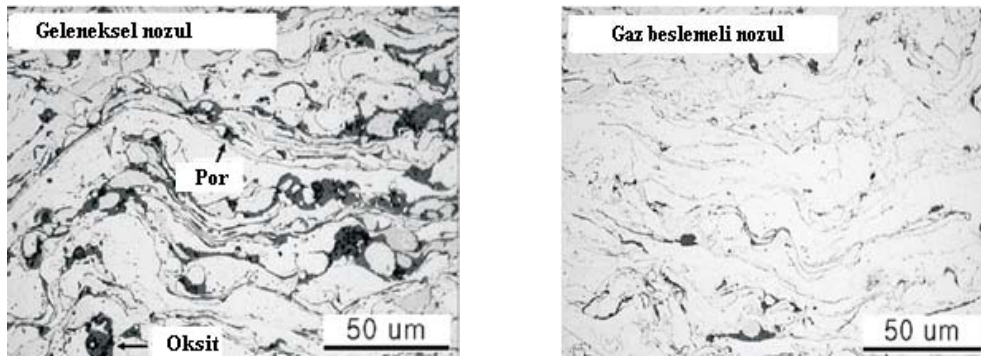
Değiştirilmiş nozulların uçan partiküllerin ortalama sıcaklıklarının azalması yönünde önemli bir etkiye sahip olduğu ve özelliklede spre yayınımlarının dış kısımlardaki havanın sürüklenmesini engelleyen bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5.13’de spre yayınımları boyunca uçan partiküllerin ortalama sıcaklıklarındaki değişim gösterilmektedir. Her iki nozul tiplerinde de kaplama partiküllerinin

eksotermik reaksiyonları nedeniyle partikül sıcaklıklarında tekrar bir artış gözlemlenmiştir. Artışın miktarı modifiye edilmiş nozullarda daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni gaz örtünmesi (shrouding) tarafından oksidasyon etkisinin azaltılmasıdır [54].



Şekil 5.13. Sprey yayını süresince uçan partiküllerin sıcaklıklarındaki değişim [54]

Sonuçta geleneksel olarak kullanılan nozulların modifiye edilerek dizayn edilmesi ile kaplama mikroyapılarında oksit ve porozite oranlarının azaltılması sağlanmıştır. Şekil 5.14'de geleneksel nozullar ve bu nozulların optimize edilmesi ile yapılan kaplama mikroyapıları gösterilmektedir [54].



Şekil 5.14. Ark sprej ile şekil verilmiş çelik kabuklarının kusurlu morfolojilerinin optik mikroskopla gösterilmesi [54]

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Planlanan tez çalışmasında, belirlenen basit geometrili erkek model üzerine elektrik ark sprey kaplama teknolojisi yardımı ile kaplama üretilmesi ve üretilen bu kaplamalara çeşitli işlemler uygulanarak fiziksel modelin kopyasının elde edilmesi amaçlanmıştır. Kaplama mikroyapılarına etki eden parametre etkileri tezin ana temasıdır. Hızlı prototip kalıp üretiminde kolaylığı nedeni ile düşük ergimeli Zn, kaplama malzemesi olarak seçilmiştir. Zn kaplama fazlarının incelenmesi için parçalardan alınan numune örnekleri optik mikroskop ve EDS analizlerine tabi tutulmuştur. Bu sayede kaplamalarda meydana gelen oksit, porozite ve ön ergimiş partiküller gibi kusurların varlığı tespit edilmiş olup bu kusurların modelin her bölgesinde (kenar, köşe, merkez) homojen bir dağılım gösterip göstermediği araştırılmıştır. Üretilen prototipin farklı noktalarında kaplama kalınlıkları ölçülmüş ve model üzerinde kesit boyunca homojen bir birikimin olup olmadığı da tespit edilmeye çalışılmıştır.

6.1. Modeller İçin Malzemelerin Seçimi

Alüminyum malzemesi, ekonomik olması nedeniyle deneysel uygulamalarımız için tercih edilmiştir. Yüzeyi fazla kompleks olmayan ve üzerinde yazı olan dikdörtgen şeklindeki parça kaplama uygulamalarımız için seçilmiştir. Al parçaların, ark sprey süresince dayanıklı koşulda olması ve Zn ile benzer özellikler göstermesi bu malzeme grubunun seçilmesinde etkili olmuştur.

6.2. Modelin Tanımlanması

Parça geometrisi 18.7*10*1cm ölçümlerinde olacak şekilde seçilmiştir. Kalıbın içini rahatça destekleyebilmek ve parçayı rahat çıkarabilmek için kaplanacak boyut büyük tutulmuştur. Şekil 6.1’de prototipi üretilmek istenen modelin görünümü verilmiştir.



Şekil 6. 1. Kaplama öncesi seçilen alüminyum model

Model üzerine yazılan yazının derinliği 0.5 mm'dir. Model üzerindeki yazıları detaylı ve doğru elde etmek için test numunesindeki bu harflerin içlerinin temiz ve düzgün olmasına dikkat edilmiştir. Kalıptaki hassas yerlerin düzgün ve eksiksiz bir şekilde doldurulması için manuel olarak kullanılan tabancanın 90⁰'lik bir açıyla püskürtmesine çalışılmıştır.

6.3. Püskürtme Öncesi Model Üzerinde Yapılan İşlemler

İlk olarak kaplanacak malzemenin yüzeyinin düzgün ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. Kaplama öncesi model yüzeyi alkolle temizlenip, basınçlı hava yardımıyla yüzeydeki toz ve rutubet gibi olumsuz etkiler giderilmiştir. Bu işlemler uygulandıktan sonra kaplama ile model arasında kolayca ayrılmayı sağlamak için model yüzeyine polivinil alkol püskürtülmüştür. Kaplama yapabilmek için modelin sabitlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden model bir ytuong tuğlası içersine yerleştirilerek sabitlenmiştir. Modeli sabitlemek için hazırlanan düzenek Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu düzenek kaplama tabancasına 90⁰ olacak şekilde kabin içersine yerleştirilerek kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama işlemleri oda sıcaklığında ve modelin özel bir düzenekte ısıtılmasıyla 200-300 ⁰C'de yapılmıştır.



Şekil 6.2. Parçayı sabitlemek için hazırlanmış ytonglu düzenek

Modele ısıtma sağlamak için hazırlanan düzenek Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Isıtma işlemi esnasında sıcaklık, lazerli sıcaklık ölçer cihazı ile ölçülmüş ve arzu edilen ($200-300^{\circ}\text{C}$) kaplama sıcaklıklarına çıkmıştır. Kaplama öncesi ısıtılan model yüzeyinin yüksek sıcaklığa sahip olmasından dolayı kalıp ayırıcı etkiye sahip olan polivinil alkol püskürtülememiştir.



Şekil 6.3. Parçayı ısıtmak için dizayn edilen elektrikli düzenek

6.4. Kaplama / Püskürtme İşlemi

Modelin kaplama işlemleri, Sakarya Üniversitesi Plazma Kaplama Laboratuvarı bünyesinde bulunan Smart Arc Marka elektrik ark sprej cihazı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan cihazın fotoğrafı Şekil 6.4’de verilmiştir.



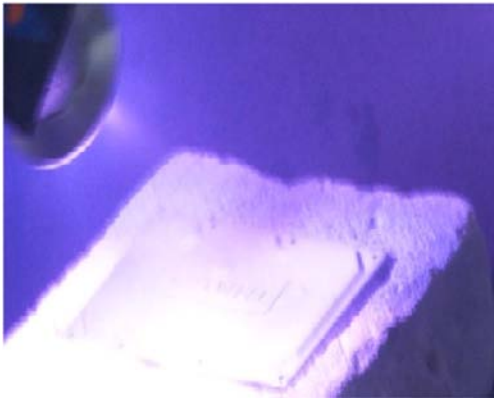
Şekil 6.4. Kullanılan elektrik ark sprej cihazı

Model üzerine prototip kalıp malzemeleri için uygun özelliklerde olan düşük ergime noktasına sahip yumuşak Zn teli püskürtülmüştür. Yapılan bu püskürtme işlemlerinde ark sprej parametrelerinin ayarlanmasına dikkat edilmiştir. Deneyde kaplama uygulanmasında kullanılan parametre aralıkları Tablo 6.1’de verilmiştir. Isıtılan ve oda sıcaklığında yapılan her iki kaplama işleminde aynı parametreler kullanılmıştır. Her iki modelin kaplanmasında hava, atomizasyon gazı olarak seçilmiştir.

Tablo 6.1. Üretimde kullanılan parametreler

Özellikler	Parametreler
Akım (amper)	150-200
Ark Voltaj (volt)	25-30
Atomize Gaz Basıncı (Bar)	3
Sprey Mesafesi (mm)	200-500
Sprey Açısı (derece)	60-90

Başlangıçta modelimiz bir kabin içersine sabitlenmiştir. Daha sonra altlık, oda sıcaklığında ve 200-300 °C sıcaklıklarda kaplamaya uygun hale getirilmiştir. Kalıbın üretilmesine başlanırken önce en hassas ve kompleks şekilli noktalardan kaplamaya başlanmıştır. Daha sonra her iki deney modeli için yaklaşık 200-500 mm sprej mesafesi seçilerek öncelikle 25 V düşük ark voltajı ve 150A lik bir akım kullanılarak modeller üzerinde ince bir kaplama (0.5 mm) üretilmiştir. Bu ince kaplama modelin her bölgesine uygulanmıştır. Daha sonra amper (200A) ve voltaj (30V) artırılarak model üzerinde hem aşırı gerilimler önlenmiş olup hemde kalın kaplama üretimi sağlanmıştır. Şekil 6.5a ve 6.5b’de sırasıyla deneysel 200 – 300 °C altlık sıcaklığına sahip model üzerine yapılan kaplama işlemi ve kaplama sonrası modelin görünümü verilmiştir. Kaplama bittikten sonra model oda sıcaklığında soğuması için bekletilmiştir ve diğer deneysel adımların uygulanması için beklemeye alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 6. 5. 200 -300 °C ısıtılmış modelin a) kaplama işlemi ve b) kaplama sonrası görünümü

Genel olarak kaplama birikimi ampere bağlı olarak değişmektedir. Başlangıçta termal stresleri önlemek amacıyla düşük amper ve voltaj değerlerinde çalışılmıştır. Daha sonraki kademelerde bu parametreler düzenli olarak arttırılarak arzu edilen kaplama kalınlığına ulaşıncaya kadar kaplamaya devam edilmiştir.

6.5. Destekleme İşlemi

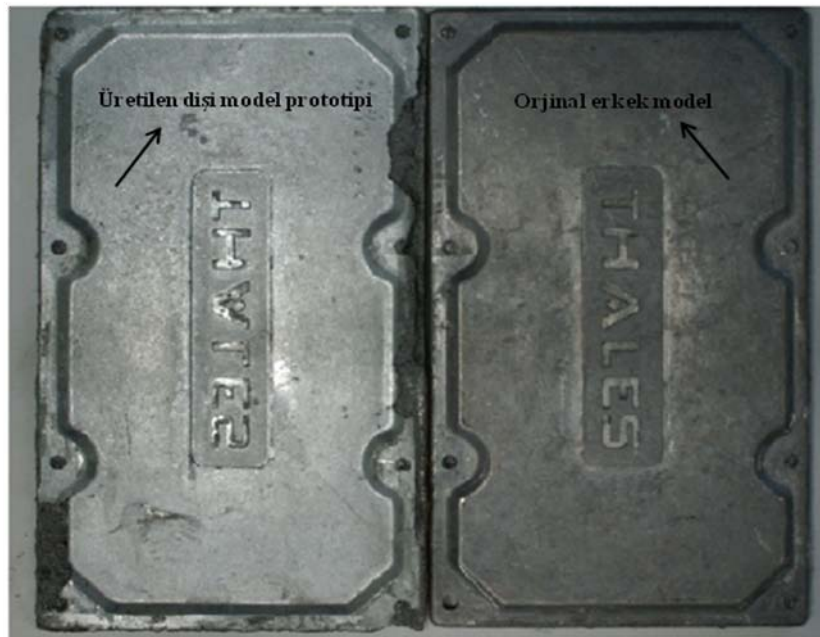
Model yüzeyine biriktirilen kaplamanın ayrılması amacıyla kalıp ile modelin kenarları çerçeveye alınmıştır. Daha sonra sistemin içersi epoksi, Al tozu ve çok az döküm kumu ile doldurularak sisteme mukavemet kazandırılmıştır. Bu olay ayrıca metal kabuklarını da güçlendirmektedir. Şekil 6.6'de bu uygulama örneği görülmektedir.



Şekil 6.6. Kaplamanın çerçeveleme ve Al epoksi ile desteklenmesi

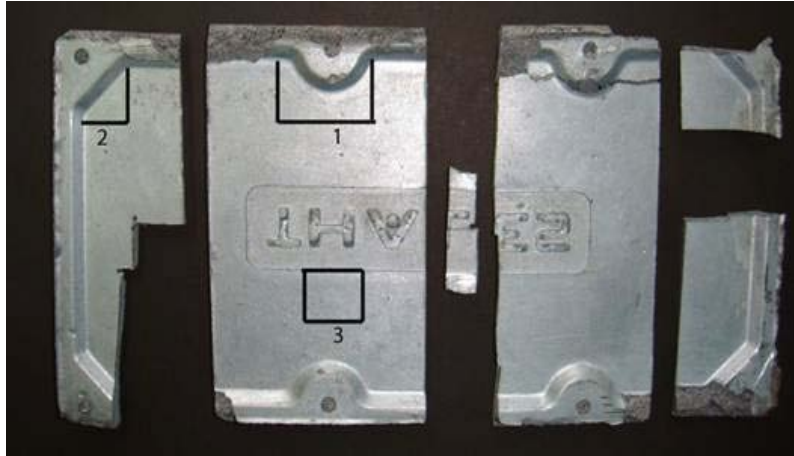
Desteklenen epoksi reçine soğuduktan sonra kaplamanın arka yüzeyi ile çok iyi bir yapışma göstermiştir. Destekleme sistemi, bu işlemler tamamlandıktan sonra çıkarılmak için hazır hale getirilmiştir. Al epoksi ve çerçeve ayrıldıktan sonra sadece model ve destekleme sisteminin birbirinden ayrılması kalmıştır. Model ve epoksiye yapışmış olan kaplama yapısı da bir kaç çekiç darbesi ile birbirinden ayrılmıştır. Kaplama ve model birbirinden ayrıldıktan sonra kaplanmış model yüzeyinde hiç bir

hasar olmadığı ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bütün bu adımlar tamamlandıktan sonra modelin fiziksel kopyası sertleşen Al epoksi reçinesine bağlı olarak elde edilmiştir. Kaplama, kullanılan modelin tersidir. Şekil 6.7’de çalışmada kullanılan orjinal model ve üretilen prototipi yanyana gösterilmiştir. Kaplamanın kenarlarında model ve prototipi ayırma işlemi sırasında Al epoksi ile model arasında yapışmaya ve darbelere bağlı olarak kısmi kopmalar ve dökülmeler meydana gelmiştir.



Şekil 6. 7. Orjinal model ve üretilmiş prototipinin fotoğrafik görünümü

Üretilen modelde, numune kenarı boyunca kalınlık değişimi, oksit, porozite gibi kusurların varlığının anlaşılması için değişik bölgelerden küçük parçalar alınarak metalografik olarak incelenmiştir. Modelin kenar, köşe ve merkezine yakın yerlerdeki sertlik, oksit ve porozite gibi kusurların varlığı anlaşılmaya çalışılmıştır. Kenar, köşe ve merkez olarak alınan numune örnekleri sırası ile 1,2,3 rakamları ile kodlanarak Şekil 6.8’da gösterilmiştir. Isıtılan altlıktan elde edilen prototip örneğine de aynı işlemler uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.8. Üretilen modelin farklı bölgelerinden inceleme için numunelerinin alınması

6.6. Mikroyapısal Çalışmalar

Ark sprej kaplama prosesi ile model yüzeyine püskürtülen Zn yapısının optik mikroskop incelemeleri, Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan "Olympus BHM-313U" marka cihaz ile yapılmıştır. Bu çalışmaların ardından SEM çalışmaları "JEOL JSM6060 LV" marka cihaz ile yapılmıştır.

6.7. Deney Prosedürü

6.7.1. Numune hazırlama

Bu çalışmada oda sıcaklığı ile 200-300 °C sıcaklığa sahip model yüzeyine püskürtülerek elde edilen prototiplerden 1 numaralı kenara yakın, 2 numaralı köşeye yakın ve 3 numaralı merkeze yakın bölgelerden numuneler kesilerek bakalitlemeye alınmıştır. Her iki prototipten hazırlanan toplam numune sayısı 6 adettir.

6.7.2. Metalografik çalışmalar

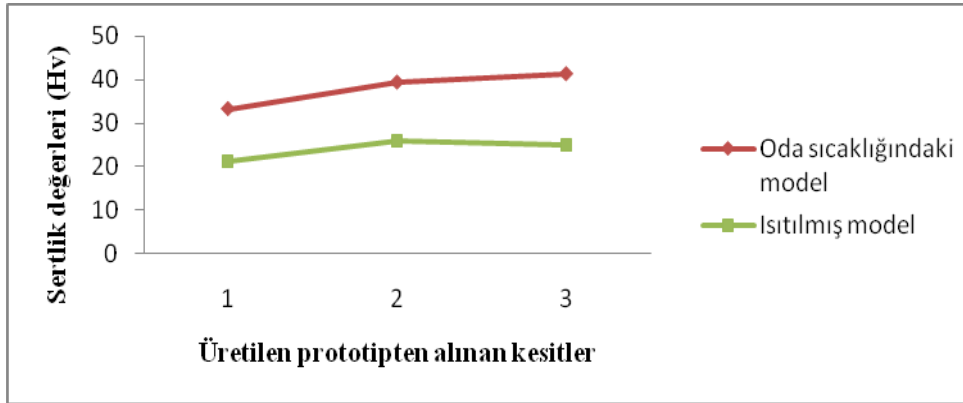
Zn kaplaması ile üretilen modelden alınan numuneler sırası ile 240, 400, 600, 1000 mesh'lik SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Sonrasında elmas pasta ve alumina kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi yapıldıktan sonra

her kaplama numunesi nital çözeltileri içerisinde daha iyi görüntü alabilmek için dağlanmıştır. Bu adımlardan sonra numuneler metalografik olarak incelenmeye hazır hale getirilmiştir. Böylece modelin farklı bölgelerinden alınan numunelerdeki kaplama yapısı, kalınlığı ve kaplamalarda biriken oksit miktarı, porozite ve sertlik gibi etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Sertlik Ölçümleri

Modelin farklı bölgelerinden alınan numune örnekleri, optik incelemeler için hazırlanmıştır. Daha sonra SHIMADZU-HMV marka sertlik cihazı ile bu numune örneklerinden mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler hem ısıtılmış hem de oda sıcaklığına sahip modellerden üretilen prototiplerin farklı bölgelerinden alınan numune örneklerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar üretilen prototiplerin optimize edilmesi için yorumlanmıştır. Sertlik ölçümleri her iki prototip için 100 gram'lık yükler altında ve 15 saniye beklenerek alınmıştır. Oda sıcaklığında ve 200-300 °C sıcaklığa sahip modellerin kaplanması ile üretilen prototiplerden alınan sertlik değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Üretilen prototip modellerin farklı bölgelerinden alınan sertlik ölçümleri

Isıtılan ve oda sıcaklığındaki model üzerine yapılan kaplamalarla üretilen prototiplerden alınan numune örneklerindeki sertlik değerleri farklılıklar göstermiştir. Elde edilen verilere göre sertlik değerlerinin ısıtılan model yüzeyine yapılan kaplamalarda büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak da altlık malzemesini ısıttığımız zaman kaplamaların daha yavaş katılaşması ve buna

bağlı olarak da kaplama sertliğinin azalması gösterilebilir. Diğer bir taraftan model üzerine yapılan kaplamalarda her bölgede de sertliğinin homojen olmadığı bu grafikteki verilere bakılarak anlaşılmıştır. Merkeze doğru gidildikçe her iki model üzerine uygulanan kaplamanın sertliğinin artan bir seyir izlediği tespit edilmiştir.

T.Rayment, S. Hoile ve P.S. Grant tarafından anlatılan”Püskürterek şekil verilmiş kalın çelik kabuklarında kalıntı gerilimlerinin kontrol edilmesi ve faz dönüşümleri” çalışmasında 170 °C, 255 °C, 450 °C yüzey sıcaklıklarında yapılan çelik kaplamaların sıcaklığa bağlı sertlik değerlerinin nasıl değiştiği anlatılmıştır. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin 700(Hv)’den 350(Hv)’e doğru azaldığını gözlemlemişlerdir. Bizim yapmış olduğumuz Zn kaplamalardan elde ettiğimiz sertlik değerlerinin de sıcaklığa bağlı olarak anlatılan literatür bilgilerine benzer bir şekilde azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

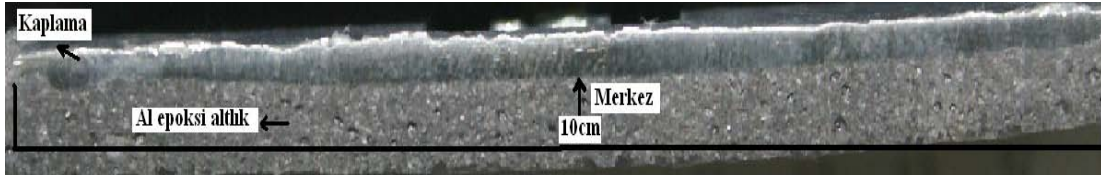
7.2. Kalınlık Değişimi

Kalın kaplama üretilirken termal çatlakları önlemek amacıyla kaplama mesafesi başlangıçta uzak seçilmiştir. Bu sayede üretilen kaplama içersindeki aşırı gerilimler engellenmiştir. Genel olarak tekli tabanca sistemi ile prototip kalıp için üretilen kaplama kalınlığı 1,5-2,5mm arasında bir kalınlık değeri izlemekte ve merkeze doğru gidildikçe bu kalınlık Şekil 7.2’deki gibi artan bir durum sergilemektedir.



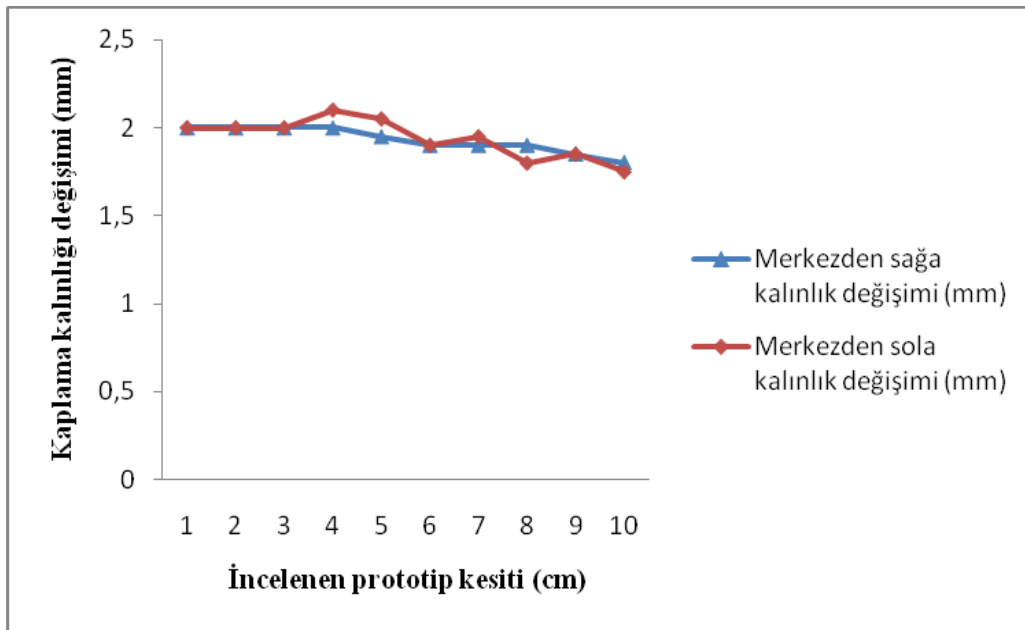
Şekil 7.2. Kaplamalarda merkezden dışa doğru yayınımlar

Deneysel çalışmalarla ürettirmiş olduğumuz prototip kalıpta da meydana gelen kalınlık değişimini analiz edebilmek için prototip parça merkezden ikiye kesilmiştir. Ürettirmiş olduğumuz kaplama kalınlığı anlatılan literatür bilgisine benzer bir görünüm sergilemiştir. Şekil 7.3’de üretilen kalıptan alınan kesit bu durumu net bir şekilde açıklamaktadır.



Şekil 7.3. Oda sıcaklığında üretilen kaplamanın merkezden dışa doğru yayılımı

Kaplama kalınlığı, merkezden sağ ve sol baz alınarak optik mikroskop yardımı ile ölçülmüştür. Bu sayede kaplama kalınlığının tüm kesit boyunca homojen olup olmadığı anlaşılması amaçlanmıştır. Optik mikroskop altında yapılan ölçümler sonucunda merkezden sağa ve sola kaplama kalınlığı değişimi Şekil 7.4'deki gibi bir değişim göstermiştir.



Şekil 7.4. Oda sıcaklığında üretilen kaplamanın merkezden sağa ve sola kalınlığının değişimi

Grafikten kaplama birikiminin merkeze yakın bölgelerde arttığı ve dışa doğru gidildikçe ise bu oranın azda olsa azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm numune kesiti baz alındığında ise kaplama kalınlığının maksimum değerinin 2,1 mm olduğu ve minimum kalınlık değerinin ise 1,75 mm olduğu tespit edilmiştir. Merkezden dışa doğru kaplama birikimi kısmen bir azalma gösterse de genel olarak homojen bir kaplama birikimi elde edildiğini bu grafiklere bakılarak söylenebilir.

Kaplama manuel olarak uygulanmasına rağmen kaplama kalınlığı model üzerinde genel olarak her yerde homojen bir dağılım göstermiştir. Bu durum kalıbın ticari olarak kullanımı sırasında kalıbın kullanım ömrü için önem teşkil eder. Modelin yüzeyi kaplanırken genel olarak kaplama birikimi modelin merkezinde en yüksek değerlere çıkmıştır. Bunun nedeni, kaplama tabancasından çıkan partiküllerin model yüzeyine 90^0 'lik açıyla çarpması olarak düşünülebilir.

Prototip kalıp üretimde literatürde anlatılan kaplama kalınlığı değerleri ile (1,5-2mm) ile yapmış olduğumuz kaplamalardan alınan kalınlık ölçümleri değerleri benzerlik göstermiştir.

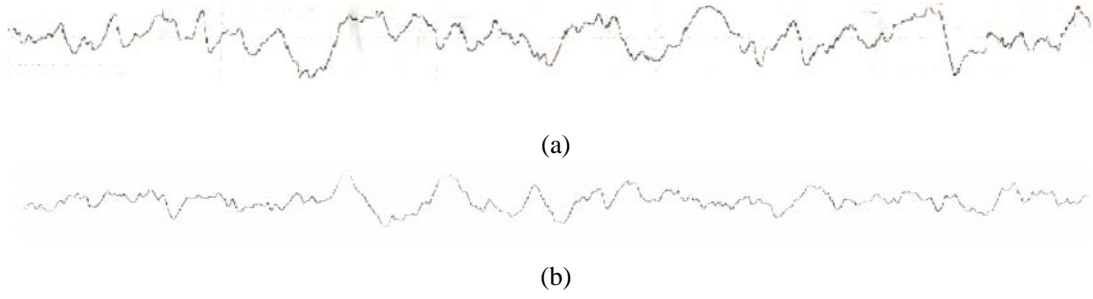
7.3. Kaplamaların Yüzey Pürüzlülüğü

Elde edilen modelin kaplama öncesi ve sonrası yüzeyinden pürüzlülük ölçümleri alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artması, kaplamaların açık porozitesini artırmakta ve mikro yapısal kusurlar için de bu durum önem teşkil etmektedir. Hem ısıtılan altlığa yapılan kaplamadan hem de oda sıcaklığındaki altlığa yapılan kaplama örneğinden pürüzlülük değerleri alınmış ve Tablo 7.1'de özetlenmiştir.

Tablo 7.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Modelden alınan ölçüm türleri	Kaplama öncesi model	Oda sıcaklığında kaplanmış model	Isıtılarak kaplanmış model
Ra, (μm)	1,120	11,31	8,799
Rz, (μm)	6,48	53,8	50,3

Yapılan kaplama türlerine bağlı olarak ısıtılan model yüzeyindeki pürüzlülüğün oda sıcaklığında yapılan kaplamadan alınan pürüzlülüğe nazaran daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu olay Şekil 7.5a ve 7.5b'de gösterilen şekillere bakılarak da anlaşılmaktadır. Isıtılan model yüzeyinde sıcaklık gradyanı farkının az olması nedeniyle model yüzeyine çarpan splatların daha düzgün ve kararlı bir şekilde katılma göstermesinin pürüzlülüğün azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

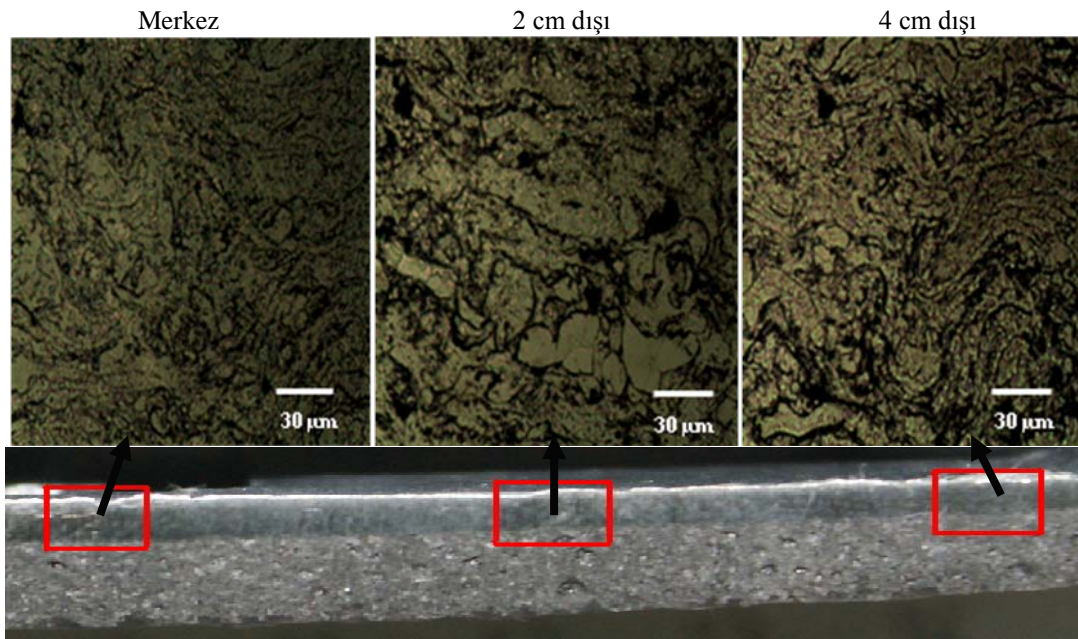


Şekil 7. 5. Modelin a) oda sıcaklığında b) 200-300 °C 'de kaplama sonrası pürüzlülük değerleri

Yüzeyin pürüzlü olması, üretilen prototipin endüstriyel alanda ticari olarak kullanımı için önemlidir. Pürüzsüz yüzeye sahip prototipin endüstriyel uygulamalarda kullanılması ile elde edilen ürünün yüzey kalitesi daha iyi olur.

7.4. Mikroyapısal Kusurların Başlamasına Neden Olan Etkilerin Analizi

Kaplama uygulaması her ne kadar basit bir işlem gibi görünse de kararlı kaplamaları üretmek oldukça zordur. Kaplamalarda genel olarak oksitler, poroziteler ve ön ergimiş partiküller gibi kusurlar vardır. Bu kusurlar, kaplama parametrelerinden kaplamanın yapıldığı ortama kadar bir çok durumdan etkilenirler.



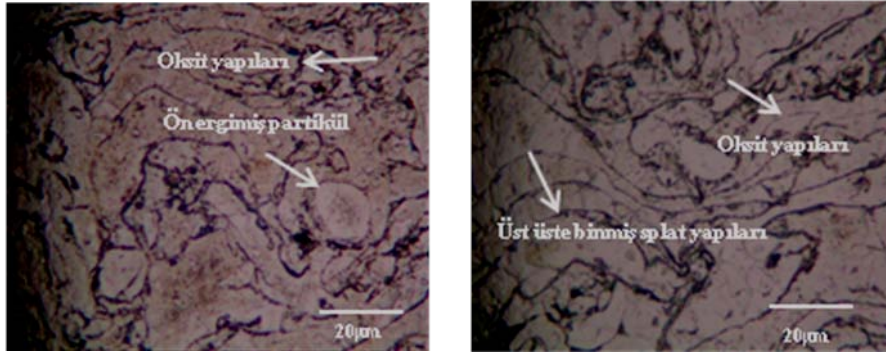
Şekil 7.6. Oda sıcaklığında üretilen prototipin merkezden sola doğru optik görünümü

Şekil 7.6’da oda sıcaklığında üretilen model yüzeyine Zn biriktirilerek üretilmiş prototipin 5 cm’lik bir kesit alanından mikroyapı örnekleri alınmıştır. Kaplama mikroyapıları incelendiğinde kesit boyunca merkezden dışa doğru porozite, oksit ve splatlararası düzensizliklerde artış olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama tabancasının manuel olarak kullanılması ve püskürtme açısının sabit olmamasının da bu olaya etkisi büyüktür. Genel olarak püskürtme tabancası 90⁰’lik açıyı, modelin merkezinde görmektedir. Bu yüzden genel olarak modelin merkezinde daha düzenli ve yoğun kaplama birikimi sağlanmıştır.

Jin-Hong Kim, Byung-Guen Seong ve Jee-Hoon Ahn tarafından çalışılan robotlu kümülatif dörtlü tabanca sistemiyle yapılan spreyle şekil verilmiş çelik kabuklarının optimizasyonu çalışmasında da elde edilen mikroyapı örneklerinde, merkezden dışa doğru oksit ve porozite oranının arttığını gözlemlemiştirler. Bizim çalışmamızda manuel olarak püskürterek üretilmiş olduğumuz prototiplerden elde ettiğimiz mikroyapıların da literatürde anlatılan çelik malzemesine benzer bir görünümde olduğu tespit edilmiştir.

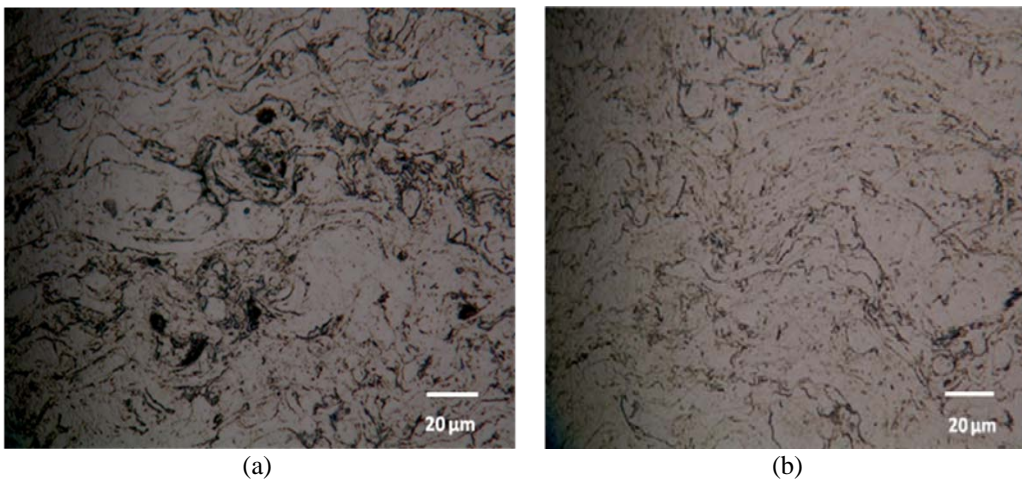
7. 5. Isıtılan Altlık Modelin Kaplama Mikroyapısına Etkisi

Elektrik ark püskürtme yöntemi ile üretilen Zn kaplamalar model yüzeyine mekanik olarak bağlanma gösterirler. Kaplamalardan daha iyi görüntü alabilmek için üretilen prototipten alınan numune örnekleri % 0.5’lik nital çözeltisi içerisinde dağlanmıştır. Metalografik incelemeler, Olympus BHM-313U marka bir optik mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yolla, elde edilen kaplama mikroyapılarına bakılarak oksit, porozite ve diğer kusurların oluşumları hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Optik olarak elde edilen tipik kaplama mikroyapıları Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Üretilen kaplamalardan elde edilen tipik optik görünümler

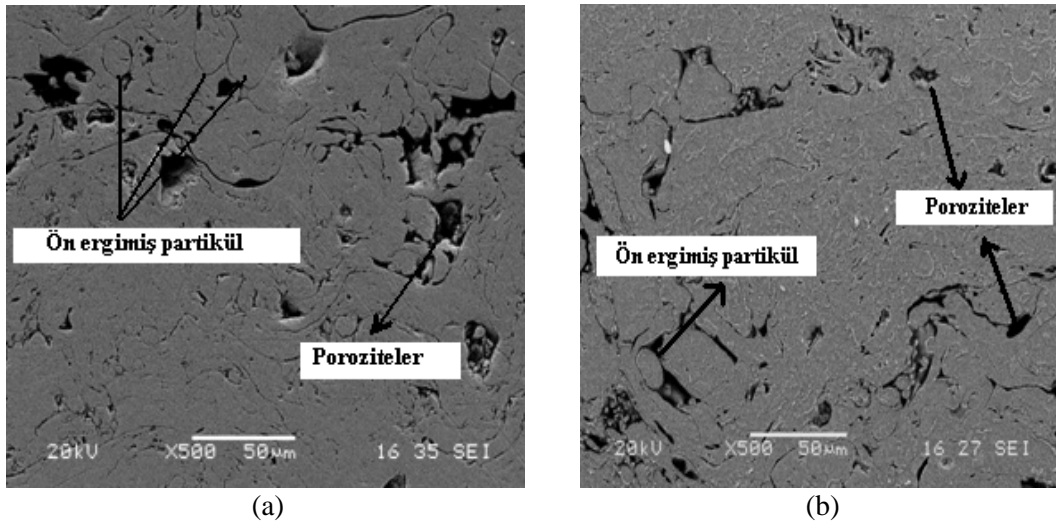
Elde edilen kaplama mikro yapıları incelendiğinde kaplama içersinde oksit, porozite ve ön ergimiş partiküllerin varlığı belirlenmiştir. Bu yapıların yanında birbirine benzer şekilde yassılaştırmış splat yapıları da mevcuttur. Kaplama da bulunan bu kusurlar kaplama ömrü açısından önem arz etmektedir. Oda sıcaklığında ve 200- 300 °C altlık sıcaklıklarında model yüzeyine yapılan kaplamalardan aynı bölgeden alınan numune örneklerinden elde edilen optik resimler Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Mikro yapıları bakılarak altlık sıcaklığının oksit, porozite ve splatlar üzerine ne gibi etkileri olduğu hakkında önemli bilgilere ulaşılmıştır. Altlık sıcaklığının yaklaşık 200 – 300 °C’ye arttırarak yapılan kaplamalardan elde edilen optik resimlere bakıldığında daha düzenli bir yapının yanı sıra oksit ve porozite gibi kusurlarda önemli bir azalma tespit edilmiştir. Diğer bir taraftan altlık sıcaklığının artmasıyla splatların diziliminde de bir kararlılık gözlemlenmiştir.



Şekil 7.8. a) Oda sıcaklığında ve b) 200 -300 °C altlık sıcaklığında üretilen kaplamalardan elde edilen optik görünümler

7.6. Kaplamalarla İlgili SEM Çalışmaları

Farklı sıcaklıklara sahip modelin farklı bölgelerinden alınan numune kesitleri metalografik olarak hazırlandıktan sonra faz yapılarının incelenmesi için SEM işlemine tabi tutulmuştur. Oda sıcaklığında model üzerine yapılan kaplamalarla, 200-300 °C sıcaklıklarda model üzerine yapılan kaplamalardan üretilen prototip modellerin alınan numune örnekleri incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 7.9'da oda sıcaklığında ve 200-300 °C sıcaklıklarda üretilen prototipten alınan SEM fotoğrafları gösterilmektedir.

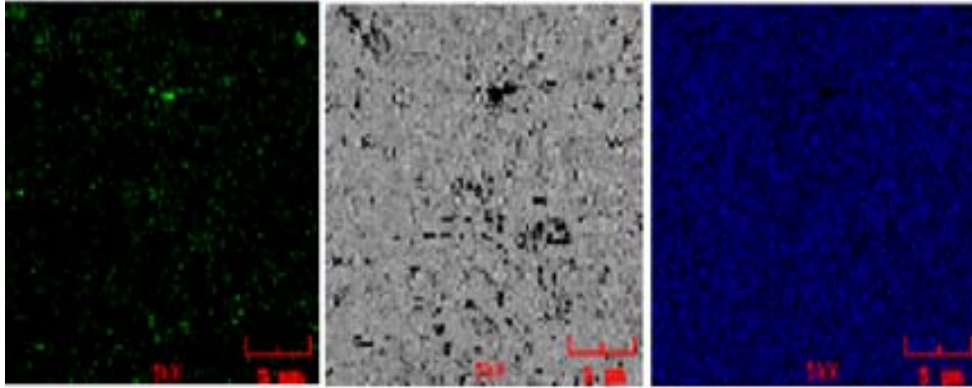


Şekil 7.9. a) Oda sıcaklığında ve b) 200 – 300 °C'de model üzerinde biriktirilen Zn kaplamalarının SEM görüntüleri

Isıtılmış model üzerinde eriyen damlacıkların katılaşması, oda sıcaklığında katılaştıran splatlara nazaran daha düzgün ve kararlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak da ısıtılmış model üzerine yapılan kaplama mikro yapısının da daha yoğun içerikte olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca her iki kaplama mikro yapısı bakıldığında ön ergimiş partikül varlıkları tespit edilmiştir.

Oda sıcaklığı ve ısıtılan altlık modelinden üretilen prototipten alınan her bir numune örneğinden birer tane EDS analizi alınmıştır. Bu sayede analiz edilen her bir numune de meydana gelen oksitlenmenin yanısıra altlığı ısıtmanın bu oksitlenmeye ne gibi etkisinin olup olmadığı anlaşılmasına çalışılmıştır.

Genel olarak kaplama kesitinin her bölgesinde oksitlenme oranının eşit olmadığı gözlemlenmiştir. Kaplamalarda en yüksek oksit oranı, hava ile temas eden bölgelerde yani yüzeye yakın kısımlarda gerçekleşmektedir. Şekil 7.10'da oda sıcaklığında model üzerine yapılan kaplamada yüzey boyunca biriken oksit dağılımı gösterilmiştir.

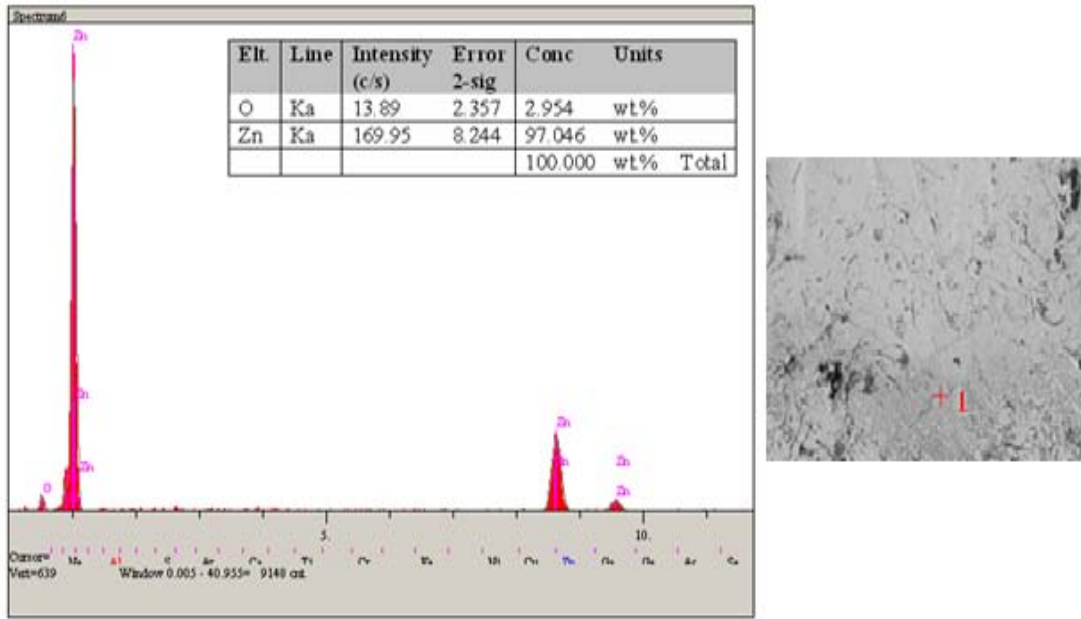


Şekil 7.10. Tüm kesit boyunca alınan şekilsel SEM görüntüsü

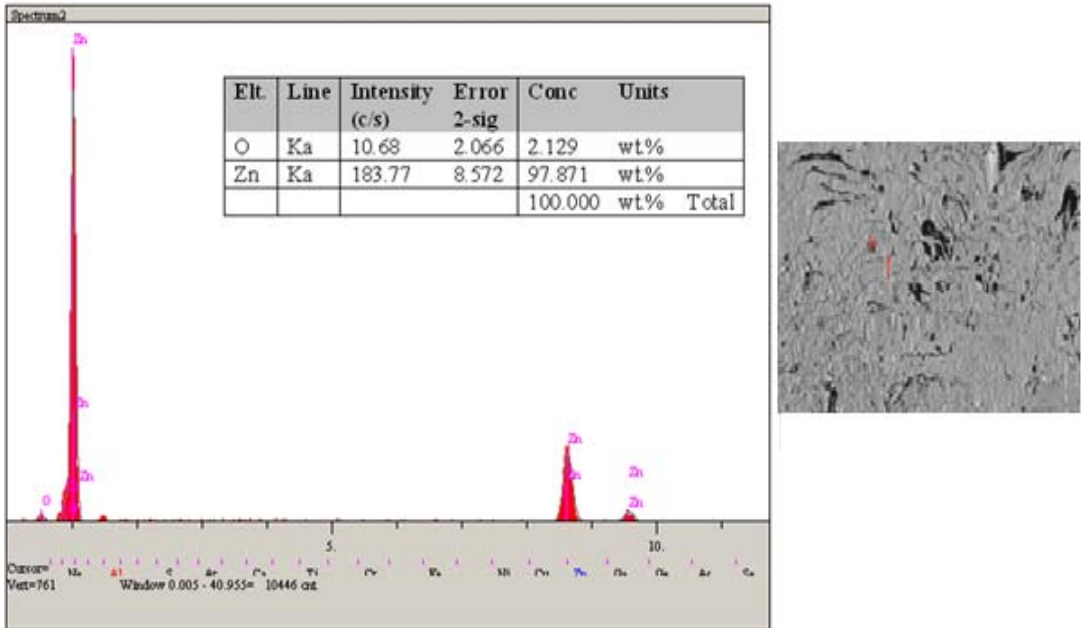
Burada gösterilen yeşil noktalar, sağ tarafta kesit alanından çekilmiş olan bir SEM mikroyapısı içerisindeki oksit içerik miktarının dağılımını ifade etmektedir. Kaplama içerisinde meydana gelen oksit içerik miktarının kaplamanın her yerinde eşit olmadığı bu şekilde bakılarak söylenebilir. Burada en sağda mavi ile gösterilen kısım ise mikroyapı içerisindeki Zn içerik miktarını ifade etmektedir.

Altlığın ısıtılmanın kaplamalarda meydana gelen oksit kusurlarına nasıl bir etki göstereceğini anlamak için hem oda sıcaklığında hem de 200-300 °C altlık sıcaklıklarında üretilen kaplamaların farklı bölgelerinden EDS analizi alınmıştır.

Oda sıcaklığına sahip model üzerine yapılan kaplamalardan alınan her bir kesitin yüzeyine yakın bölgelerinden birer tane SEM analizleri alınmıştır. Elde edilen bu analizler sırasıyla kenara yakın olan 1 numaralı numune, köşeye yakın 2 numaralı numune, ve merkeze yakın 3 numaralı numuneler olmak üzere sırası ile Şekil 7.11-7.12-7.13'de gösterilmiştir.

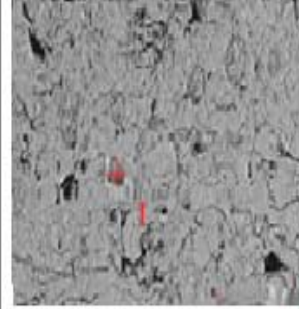
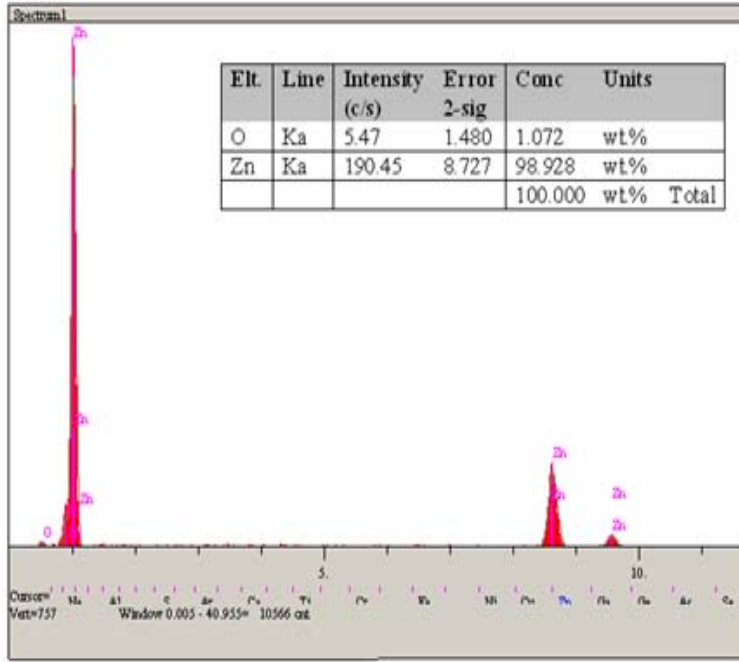


Şekil 7.11. Oda sıcaklığında 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi



Şekil 7.12 . Oda sıcaklığında 2 numaralı köşe numunesinden alınan EDS analizi

Elde edilen grafiğe bakıldığında çok düşük oksit içeriği ve buna bağlı olarak saf Zn yoğunluğunun fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kenara yakın 1 numaralı numuneden alınan EDS analizine göre oksijen içeriği miktarı köşe ve merkeze yakın bölgelerden alınan 2 ve 3 numaralı numunelere nazaran fazla olduğu tespit edilmiştir



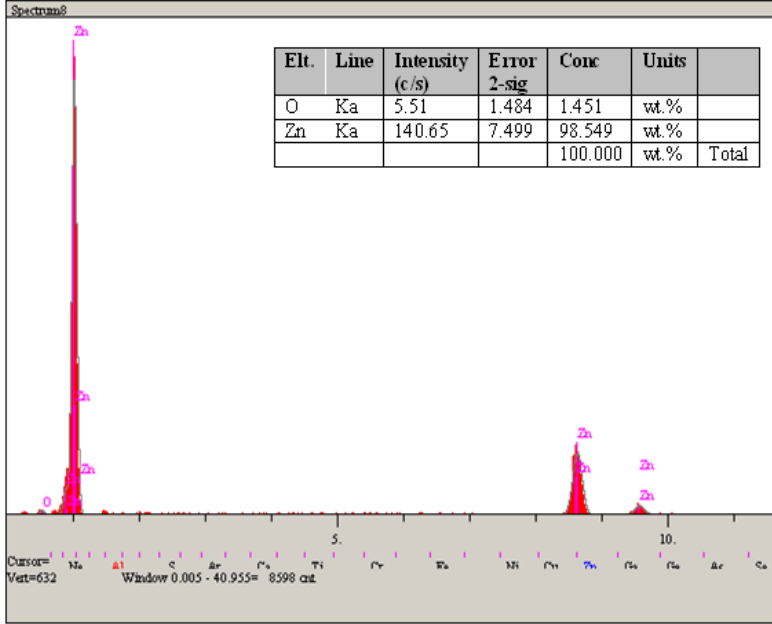
Şekil .7.13. Oda sıcaklığında 3 numaralı merkez numunesinden alınan EDS analizi

Kaplama uygulmasının atmosferik şartlarda yapılmasının yanısıra kullanılan parametrelerinde bu oksitlenmeye etkisi olduğu düşünülmektedir. Yapılan EDS analizlerine göre aynı şartlarda üretilen kaplamalarda meydana gelen oksit içeriği her bölgede farklılık göstermiştir.

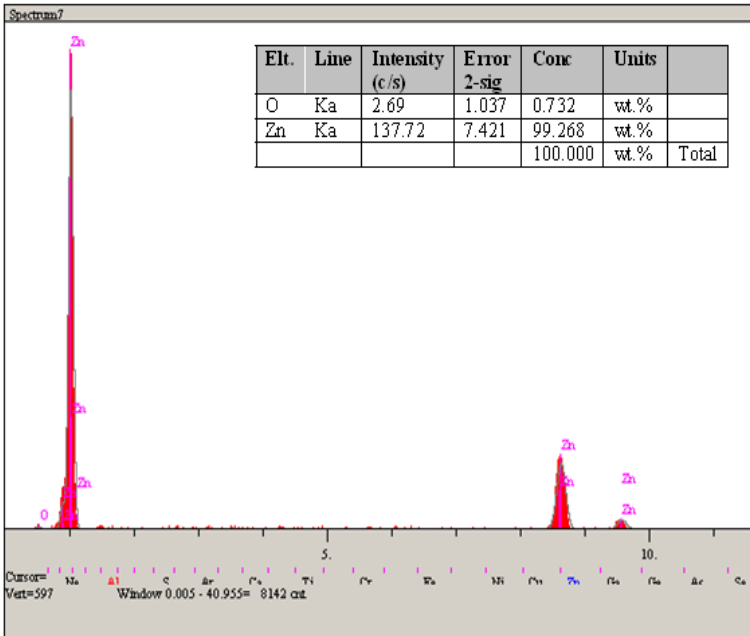
Metalik Zn ile oksijen tepkimeye girerek çinko oksit formlarını oluştururlar. Oluşan bu çinko oksit formları kaplama içersinde yer alarak kusurları meydana getirirler ve üretilen kalıp ömrünün azalmasına neden olurlar. Kaplamanın merkezindeki oksijen içeriğine bakıldığı zaman diğer numune kesitlerinden alınan örneklere nazaran bu bölgede oksijen içeriği miktarında azalma tespit edilmişti. Partiküllerin bu bölgeye 90⁰lik açıyla çarpmasının yanında kaplama uygulmasının manuel olarak uygulanmasının da etkisinin olduğu düşünülmektedir. Burada her ne kadar tek bir noktadan alınan analizler kesin sonuçlar vermese de yine de bilgi alma açısından önem arz eder.

Isıtılan model üzerine biriktirilen kaplama numunelerinden alınan EDS analizlerine göre oksijen içeriği miktarı her bir numune için azalma göstermiştir. Isıtılan model üzerine yapılan kaplamalara yapılan EDS analizleri, kenara yakın olan 1 numaralı

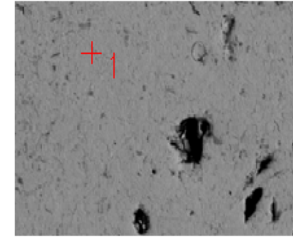
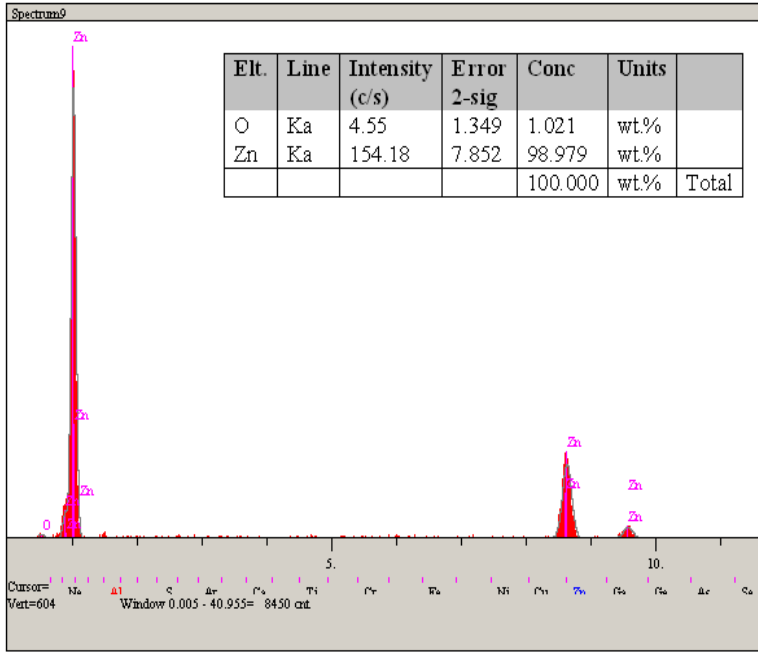
numune, köşeye yakın 2 numaralı numune, ve merkeze yakın 3 numaralı numune olmak üzere sırasıyla Şekil 7.14-7.15-7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.14. 200-300 °C'de 1 numaralı kenar numunesinden alınan EDS analizi



Şekil 7.15. 200-300 °C'de 2 numaralı köşe numunesinden alınan EDS analizi



Şekil 7.16. 200-300 °C'de 3 numaralı merkez numunesinden alınan EDS analizi

Burada altlık sıcaklığının artmasına bağlı olarak her numuneden alınan EDS sonuçlarına göre en düşük oksit içeriği 1 numaralı köşe numunesinden elde edilmiştir. Genel olarak köşelerde ısı geçişi fazladır fakat bu oksit oranının bu kadar düşük olmasını tek başına açıklamaya yetmeyebilir. Burada biriken oksit içeriği miktarına kullanılan kaplama parametrelerinin yanısıra kaplamanın manuel olarak kullanılmasının etkisinin olduğu düşünülmektedir. Tabanca elle kullanıldığı için model üzerine püskürtülen bazı partiküller 90° olan püskürtme açısından spmalar gösterir. Burada EDS alınan yerlerin de önemi vardır. Elde edilen analizlere dayanarak altlığı ısıtmanın kaplama içersinde biriken oksit içeriği miktarını azaltığını söyleyebiliriz.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada elektrik ark sprey kaplama tekniği kullanılarak model yüzeyinin kaplanması ve modelin fiziksel kopyasının üretilmesi amaçlanmıştır. Kaplama yapısında bulunan oksit, porozite ve ergimemiş partikül gibi mikroyapısal kusurların minimuma indirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Altlık sıcaklığının bu kusurları nasıl etkilediğinin anlaşılması bu çalışmalardan bir tanesidir. Oda sıcaklığında ve 200-300 °C sıcaklık değerine sahip model üzerinde kaplamalar üretilmiş ve her iki kaplama için elde edilen mikroyapılar incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar sırasıyla şu şekildedir;

-Üretim çok kısa bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşmiştir ve püskürtülen model yüzeyi hasar görmemiştir.

-Üretilen fiziksel model yüzeyi pürüzsüzdür ve işleme maliyetine ihtiyaç yoktur.

-Isıtılan model yüzeyindeki kaplama sertliği ve pürüzlülüğünde azalma tespit edilmiştir.

-Üretilen kaplamalarda homojene yakın kalınlıklar elde edilmiştir. Kaplama kalınlığı maksimum (2.1mm) ve minimum (1.7mm) olarak ölçülmüştür.

-Kaplama mikro yapıları yorumlandığında merkezden dışa oksit ve porozite oranında artış gözlemlenmiştir. Isıtılan model yüzeyine yapılan kaplama yapılarının daha kararlı ve homojen olduğu gözlemlenmiştir.

-Isıtılan model yüzeyine yapılan kaplamalar içerisinde bulunan oksit kusurlarında azalma tespit edilmiştir.

8.2. Öneriler

-Model üzerine yapılan çinko kaplama ile erkek olan modelden dişi prototip üretilmiştir. Kompleks olmayan bir model üzerine ark spreyde kullanılan kaplama formları püskürtülerek tek bir model üzerinden hem dişi hem de erkek prototip üretilebilir. Üretilen bu kalıp maliyeti hesaplanabilir ve endüstriyel alanda kullanılarak kalıp ömrü tayin edilebilir.

-Farklı altlık türleri (ahşap, alçı, kauçuk, çelik, seramik esaslı malzemeler vs.) çalışmalar için denenebilir ve buradan prototip kalıp üretimi için her bir kaplama formunun hangi altlık malzeme ile en iyi bir şekilde uyum gösterdiği tespit edilebilir.

-Kaplama yapılırken ergiyen partiküllerin oda sıcaklığında katılaşması dışında basınçlı hava veya su ile hızlı soğutma sağlanarak bu olayın mikro yapı üzerindeki etkileri anlaşılabilir.

-Ark sprey yöntemi ile modeller üzerine çelik, Zn, ve Al malzemeleri gibi farklı tel formları püskürtülerek prototipler üretilebilir. Burada elde edilen kaplama mikro yapıları analiz edilerek birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları araştırılabilir.

-Basınçlı gaz olarak farklı gaz çeşitleri kullanılarak kaplama da meydana getirdiği etkiler analiz edilip karşılaştırmalar yapılabilir.

-Kaplama işleminden sonra başta çelik olmak üzere elde edilen kaplama yapılarına ısı işlem uygulayarak faz dönüşümleri gerçekleştirilebilir ve kaplamaların mekanik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] DORFMAN, M.R., Sulzer Metco(US) Inc., Thermal Spray Processes, Advanced Materials&Processes, (August 2002).
- [2] <http://www.sulzermetco.com/en/DesktopDefault.aspx/tabid-1740//3392read-5304/> 5 JULY 2006
- [3] BAO, Y. and GAWNE, D. T., Process modeling of Thermal Spray Deposition of Thermosets, Surface Engineering, 11(3), 215-222, 195.
- [4] SCHOOP M.U., Method of Plating or Coatings with Metallic Coatings, US Patent Nr. 1228 059, February 9th, 1915.
- [5] <http://hardfacealloys.com/> (5 August 2003).
- [6] GEORGE, M., ROBERT., JACK,R.,MERLE, T., Second National Conference on Thermal Spray, 31 October-2 November, 1984.
- [7] ÇALIŞKAN. O., Termal Sprey Teknolojisinde Alternatif Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Müh. Fak.Metalurji Müh. Böl., 2004.
- [8] Met. Müh. SERTTAŞ, B., Termal Sprey Kaplama Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [9] PAWLOWSKI, L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coating, Wiley & Sons, New York, NY, 1995.
- [10] ROBERT, B., Heinman, Plasma Spray Coating, VCH Verlag, ISBN 3-527-29430-9,1996.
- [11] GABRIELE, NUTSCH, Grundlagen der Oberflächentechnik, Physikalische Verfahren, TU ilmenau, German, 2000.
- [12] J.K.N. MURTHY., D.S. RAO., B. VENKARTARAMAN, Effect of Grinding on The Erosion Behaviour of a WC-Co-Cr Coating Deposited by HVOF and Detonation Gun Spray Processes, India, 7 October, 2000,
- [13] [www.graco.com/Internet/T PDB.nsf/SearcView/D-Gun/](http://www.graco.com/Internet/T%20PDB.nsf/SearcView/D-Gun/) (5 March 2005)
- [14] <http://www.gordonengland.co.uk/coldspray.htm> , (5 May 2006)

- [15] ALKHIMOV, P., POPYRIN, A. N., DOSAREV, V. P., NESTEROVICH, N. J., SHUSPANOVA, M. M., US Patent 5,302,414 - April 12, 1994.
- [16] SACRISTE, D., GOUBOT, N., DHERS, J., DUCOS, M. and VARDELLE, A., An Evaluation of the Electric Arc Spray and (HPPS) Processes for the Manufacturing of High Power Plasma Spraying MCrAlY Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, ASM International, 10, 352-358 (June 2001).
- [17] VARDELLE, A., MOREAU, C., and p. Fauchais, "The Dynamics of Deposit Formation in Thermal-Spray Processes," *MRS Bulletin*, 32 (July 2000).
- [18] JANDIN, G., LIA, H., FENG, Z.Q., CODDET, C., Correlations between operating condition, microstructure and mechanical properties of twin wire arc sprayed steel coatings, Received 22 April 2002; received in revised form 8 October 2002.
- [19] JARDIN, G, PLANCE, P, LIAO, H, and CODDET, C, BELFORT/F, Relationship between in-flight particle characteristic and coating microstructure for the twin wire arc spray process., 32 (Jan 2002).
- [20] HUSSARY, N., "Investigations into the wire arc spraying process", thesis of Doctor of Philosophy, University of Minnesota, May 2003.
- [21] ZHU, Y.L., LIAO, H.L., CODDET, C., XU, B.S., "Characterization via image analysis of cross-over trajectories and in homogeneity in twin wire arc spraying", *Surface and Coating Technology* 162, pp:301-308, 2003.
- [22] HUSSARY, N.A., HEBERLEIN, J., in: BERNDT, C. t (Ed.), *Thermal Spray: Surface Engineering via Applied Research*, ASM Int., Ohio, 2000, p. 737.
- [23] A.P. Newbery, P.S. Grant, *Powder Metall.* 46 (3) (2003) 229.
- [24] TUCKER, R.C., JR., Praxair Surface Technologies, Inc., *Thermal Spray Coating*, ASM Handbook-Surface Engineering, 499-506 (2000)
- [25] HERMAN, H., SAMPATH, S. and MCCUNE R., *Thermal Spray: Current Status and Future Trends*, *MRS Bulletin*, 18 (July 2000)
- [26] MOSTAGHIMI, J., CHANDRA, S., GHAFOURI-AZAR, R. and DOLATABADI, A., Modeling Thermal Spray Coating Process: A Powerful Tool In Design and Optimization," *Surface and Coatings Technology*, 163, 1-11 (2003)
- [27] DAVID, J.R *Handbook of Thermal Spray Technology*, ASM International 2004

- [28] OĞUZ, B., “Ark Kaynağı”, OERLIKON Yayını, 1989
- [29] 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
- [30] STEFFENS, H.D., Metallurgical changes of the arc spraying of steel. *British Welding Journal*, 13(10) : 597-605, 1966
- [31] WANG, X. , Investigations into the Two arc Spraying Process, PhD thesis, University of Minnesota, 1996
- [32] HALE, D.L., SWANK, W.D., HAGGARD, D.C., “In-flight particle measurement of twin wire electric arc sprayed aluminum”, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 7 (1), pp.58-63, March 1998.
- [33] 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
- [34] THORPE, M.L., Thermal spray: industry in transition”, *J. Advanced Materials and Processes*, Vol 143, n^o5, (1993), 50-60
- [35] 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
- [36] www.gordonengland.co.uk/tcs.htm, (8 July 2006)
- [37] WATANABLE, 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
- [38] JANDIN, G., LIAO, H., . CODDET, C, Microstructure and mechanical properties of twin arc sprayed steel, to be published, 2003
- [39] ABEINI, ALI., Splat and Coating Formation of Wire Arc Sprayed Aluminum, A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Masters of Applied Science, Graduate Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Toronto, 2004

- [40] 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.
- [41] HUSSARY, N.A. , HEBELEIN, J., Investigation of arc behaviour and particle formation in the arc spray process using high speed photography, Montreal, Canada, (2000), 737-742
- [42] KRÜGER ,J., KNEPPER, M., “Arc spray coating for industrial application”, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002
- [43] BERNECKI, T. F., NICHOLS, G. M., PRINE, D., SHUBINSKY, G., and ZDUNEK, A., Issues Impacting Bridge Painting: An Overview, FHWA, Report No. FHWA/RD/94/098, pp. 89-102, August 1995.
- [44] LOHERY, E., Field Evaluation of Zinc-based Protective Coatings for Structural Steel,” State of Connecticut, Department of Transportation, Report No. FHWA-CT-RD-1084-F-95-1, October 1995.
- [45] SAMPSON, E.R., “Thermal spray coating for corrosion protection: An Overview”, Materials Performance, pp.27-30, December 1997
- [46] Thermal Spraying” Erosion and Protections Entirely Books published by the Chemical Industry Publishing House 2001.
- [47] Spraying of the High-density Low-oxide Coatings with the New Type Arc Spray System, TAFE inc, Concord, NH USA 2001.
- [48] LUH-MAAN, C., MAGED E. GEORGY., Metalization of steel Bridges., Division Construction Engineering and Management School of Civil Engineering Purdue University May 1999
- [49] Prepared by: Pratik NIKAM, E., Research Assistant John FRATER, L., Ph.D., P.E. Professor., Application of Subtractive Rapid Prototyping (SRP) for RSP Tooling, Mechanical Engineering Department Cleveland State University June 6, 2005
- [50] WANG, J. *, X.P. Wei¹, Christodoulou P., Hermanto H., Rapid tooling for zinc spin casting using arc metal spray technology, Journal of Materials Processing Technology 146 (2004) 283-288
- [51] CHUA¹ C. K., HONG¹, K.H. and S. L. Ho²., Rapid Tooling Technology. Part 2. A Case Study Using Arc Spray Metal Tooling, Int J Adv Manuf Technol (1999) 15:609-614
- [52] Process Chains for Rapid Technical Prototypes. Brite Euram Project. Contract Number: BRPR-CT96-0155, Project Number: BE-2051.

(<http://ikppc43.verfahrenstechnik.uni-stuttgart.de/raptec/index.htm>).

- [53] J, SEGAL.I. and R.C. COBB.,- Optimizing Arc-Sprayed Metal Tooling for Injection Molding, Proceedings of First National Conference on Rapid Prototyping and Tooling Research, Buckinghamshire College, November 1995
- [54] Jin-Hong Kim*, Byung-Guen Seong** and Jee-Hoon Ahn**.,Nozzle Modification For Property Improvement of Arc Spray-formed Steel Tolls (2006)
- [55] 1. GRANT, L. J., Sprayed metal prototype moulds, Plastic Design Forum, pp. 36–39, 1994.
- [56] ZHONGYUN, He. ,BINGHENG, Lu ., JUN, HONG ., YIQING, WANG ., YIPING ,TANG., A,novel arc-spraying robot for rapid tooling., Int J Adv Manuf Technology 31: 1012–1020. 2007
- [57] TONKAZ, E., and MINGE, J.W., Spray Metal Composite Tooling, Material and ProcessApplications: Land, Sea, Air, Space, (Los Angeles, CA, USA), SAMPE, p. 374-387 . April 28-30,1981
- [58] NEWBERY, A.P., GRANT, P.S., JORDAN, R.M., ROCHE, A.D. and CARR T.C., The Electric Arc SprayManufacture of Rapid Production Tooling: A CaseStudy, 15th International Thermal SprayConference, C. Coddet, Ed., (Nice, France), ASM International, p.1223-1228. May 25-28, 1998
- [59] RAYMENT, T., HOILE, S., and GRANT, P. S., Metal.Mater. Trans. B, Vol 35, 2004, p.1113-1122
- [60] <http://www.engineershandbook.com/RapidPrototyping/spraymetal.htm>
(5 January 2008)
- [61] <http://www.rsptooling.com/Process%20Description.htm>(16 Jan 2007)

ÖZGEÇMİŞ

Eren Yüksek, 23.03.1983 de Terme' de doğdu. İlkokulu Terme, ortaokulu Samsun ve lise eğitimini de İstanbul da tamamladı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2006 yılında mezun oldu. Daha sonra aynı üniversitede Yüksek Lisansa başladı ve Tubitak projelerinde aktif bir öğrenci olarak rol aldı. Konusuyla alakalı Galvano teknik dergisine makale yazımında bulundu.