

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

**ALEV SPREY YÖNTEMİYLE POLİMER
KAPLAMALARIN
ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met.ve Malz. Müh. Muhammet ZAĞLI

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE
MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Enstitü Bilim Dalı :

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatih ÜSTEL

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALEV SPREY YÖNTEMİYLE POLİMER
KAPLAMALARIN
ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU**

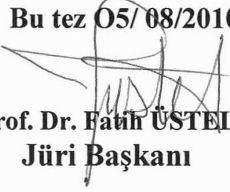
YÜKSEK LİSANS TEZİ

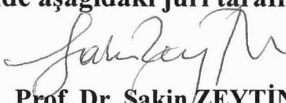
Met. ve Malz. Müh. Muhammet ZAĞLI

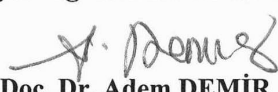
**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE
MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Enstitü Bilim Dalı :

Bu tez 05/08/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Fatih ÜSTEL
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Şakin ZEYTİN
Üye


Doç. Dr. Adem DEMİR
Üye

TEŞEKKÜR

Engin bilgisiyle beni aydınlatan, bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Fatih ÜSTEL' e ve Doç. Dr. Ahmet TÜRK' e en içten teşekkürlerimi iletirim. Sadece bu tez çalışmasında değil bütün ömrüm boyunca benden desteğini esirgemeyen abim Mak. Müh. Mustafa ZAĞLI' ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarımı gerçekleştirdiğim SAÜ-TESLAB çalışanlarından doktora öğrencisi Ekrem ALTUNCU' ya, Savaş ÖZTÜRK' e, yüksek lisans öğrencilerinden Osman ALTUN' a, lisans öğrencilerinden İlker AKSOY' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

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

MUHAMMET ZAĞLI

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TERMAL SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Termal Sprey Tarihçesi.....	4
2.3. Termal Sprey Kaplama Yöntemleri.....	5
2.3.1. Ark spre y kaplama yöntemi.....	5
2.3.2. Plazma spre y kaplama yöntemi.....	6
2.3.3. Yüksek hızlı-oksi yakıt kaplama tekniği(HVOF).....	7
2.3.4. Detonasyon tabancası.....	9
2.3.5. Soğuk spre y yöntemi.....	10

BÖLÜM 3.

ALEV SPREY KAPLAMA YÖNTEMİ.....	13
3.1. Tel Alev Sprey Kaplama Yöntemi.....	14
3.2. Çubuk Alev Sprey Kaplama Yöntemi.....	14
3.3. Toz Alev Sprey Kaplama Yöntemi.....	15
3.3.1. Alev spre yöntemiyle metal-seramik kaplama.....	15
3.3.2. Alev spre yöntemiyle polimer kaplama.....	16
3.3.2.1. Alev spre yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların özellikleri.....	17
3.3.2.2. Alev spre yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların uygulama alanları ve avantajları	18

BÖLÜM 4.

POLİMER MALZEMELER.....	21
4.1. Isı Etkisine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	23
4.1.1. Termoset polimerler.....	23
4.1.2. Termoplastik polimerler.....	24
4.2. Alev Sprey Yönteminde Kullanılan Polimer Tozlarının Çeşitleri Ve Özellikleri.....	24
4.3 Kaplanacak Tozun Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	28
4.3.1. Molekül ağırlığı.....	28
4.3.2. Camsı geçiş sıcaklığı (Tg).....	29
4.3.3. Tg sıcaklığı ve toz dengesi.....	30
4.3.4. Moleküller arası düzen.....	31
4.3.5. Molekül zincirlerinin şekli.....	31
4.3.6. Toz partikül boyutu.....	33
4.4. Alev Sprey Yönteminde Kullanılan Bazı Polimer Tozlar.....	34
4.4.1. Polietilen (PE).....	34
4.4.2. Etilen-Vinil alkol kopolimerleri (EVOH).....	35
4.4.3. Polipropilen (PP).....	35
4.4.4 Vinil tozları (PVC, PVDF).....	36
4.4.5 Poli tetrafloraetilen(PTFE)	37

4.4.6. Polyester.....	37
4.4.7. Nylon-Poliamid (PA).....	38
4.4.8. Akrilik (PMMA).....	38
4.4.9. Epoksi reçine (EP).....	39
4.4.10. Polikarbonat (PC).....	40
4.4.11. Polietereterketon (PEEK).....	40
4.4.12. Etilen vinil asetat (EVA).....	41
 BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
5.1. Deneysel Çalışmanın Amacı ve Yöntemi.....	43
5.2. Polimer Kaplamaların Üretimi İçin Kullanılan Cihaz Ve Malzemeler.....	43
5.3. Polimer Kaplamaların Karakterizasyonu İçin Kullanılan Cihazlar.....	46
 BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE KARAKTERİZASYON.....	51
6.1. Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranın Belirlenmesi	51
6.2. Optimum Altlık Sıcaklığının Belirlenmesi	55
6.3. Optimum Toz Taşıyıcı Gaz Besleme Basıncının Belirlenmesi	58
6.4. Belirlenen Optimum Parametrelerde Numune Üretimi Ve İncelenmesi.....	61
6.5. Alev Sprey Yöntemiyle Üretilen Polimer Kaplamaların Uygulanabilirliği.....	65
 BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

HVOF	: Yüksek hızlı-oksi yakıtlı
MAPP	: metil-asetilen-propadien
PE	: polietilen
ASTM	: Amerikan standart
VOC	: Uçucu organik kimyasallar
PA	: Poliamid
PMMA	: Poli meta metilakrilat
EP	: Epoksi Reçine
PC	: Polikarbonat
PEEK	: Polietereterketon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Termal Sprey Kaplama Ailesi.....	5
Şekil 2.2.	Elektrik Ark Püskürtme Prosesi.....	6
Şekil 2.3.	Plazma Sprey Kaplama Prosesinin Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 2.4.	HVOF Kaplama Yönteminin Uygulanışı.....	8
Şekil 2.5.	Detonasyon Tabancasının Şematik Gösterimi.....	10
Şekil 2.6.	Soğuk Sprey Prosesinin Şematik Olarak Görünümü.....	11
Şekil 3.1.	Çubuk Alev Sprey Tabancasının Şematik Gösterimi	14
Şekil 3.2.	Püskürtme Anı.....	15
Şekil 3.3.	Toz Alev Sprey Tabancasının Çalışma Anı Şematik Gösterimi.....	16
Şekil 3.4.	Polimer Püskürtmenin Bileşenleri.....	16
Şekil 3.5.	Havuzun Alev Sprey Yöntemiyle Polimer Kaplanması Görünümü	18
Şekil 3.6.	Alev Sprey Yöntemiyle Zeminin Epoksi Kaplanması	18
Şekil 3.7.	Alev Sprey Yöntemiyle Bakımı Zor Olan Direklerin Polimer Kaplanması.....	19
Şekil 3.8.	Alev Sprey Yöntemiyle Üretilen Polimer Kaplamanın Boyanmazlık Kaplaması	19
Şekil 3.9.	Polimer Kaplamaların Denizcilik Sektöründeki Uygulamaları....	20
Şekil 4.1.	Termoset Polimer Malzemeye Ait Zincir Yapıları.....	23
Şekil 4.2.	Termoplastik Yapıdaki Polimerlerin Zincir Yapıları	24
Şekil 4.3.	Kopolimerleri Oluşturan Monomerlerin Diziliş Şekilleri.....	32
Şekil 4.4.	Polimerleri Oluşturan Zincir Şekilleri.....	33
Şekil 4.5.	Polietilenin Kullanıldığı Uygulama Alanlarının Görüntüsü	34
Şekil 4.6.	Polyesterin Uygulama Alanları.....	38
Şekil 4.7.	Nylon'un Uygulama Alanlarını.....	38

Şekil 4.8.	Akrilik Malzemelerin Cam Özelliğini Ve Uygulama Alanı.....	39
Şekil 4.9.	Peek Malzemesinin Kullanım Alanları.....	41
Şekil 4.10.	Eva' nın Bağ Yapısı.....	41
Şekil 5.1.	Basınçlı Kumlama Kabini.....	44
Şekil 5.2.	Kumlama Öncesi ve Sonrası Numunelerin Görüntüsü.....	44
Şekil 5.3.	a) IBEDA® Firmasının F311 FX-S Modelli Polimer Alev Sprey Sistemi Şematik Gösterimi.....	45
	b) Cihazın Gerçek Görüntüsü.....	45
Şekil 5.4.	Polimer Tozlarının SEM Görüntüsü.....	45
Şekil 5.5.	Tozların SEM Görüntüsü ve EDX Analizi.....	46
Şekil 5.6.	Alev Sprey Yöntemiyle Üretilen Polimer Kaplamanın Makro Görüntüsü.....	46
Şekil 5.7.	Shore A Standardına Göre Sertlik Aleti	47
Şekil 5.8.	Kesme Cihazı.....	47
Şekil 5.9.	Vakum Altında Bakalite Alma Cihazı.....	48
Şekil 5.10.	Bakalite Alınmış Numunelerin Makro Görüntüsü.....	48
Şekil 5.11.	Numune Zımparalama- Parlatma Cihazı.....	48
Şekil 5.12.	Optik Mikroskobu ve Stereo Mikroskobu.....	49
Şekil 5.13.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	49
Şekil 5.14.	Mekanik Çekme Test Cihazı.....	50
Şekil 6.1.	Oksijen/Propan Oranı Optimizasyonu İçin Üretilen Numunelerin Makro Görüntüleri	52
Şekil 6.2.	Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranına Göre Üretilen Numunelerin Sertlik Değerleri.....	53
Şekil 6.3.	Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranına Göre Üretilmiş Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri	54
Şekil 6.4.	Altlık Sıcaklığı Optimizasyonu İçin Üretilen Numunelerin Makro Görüntüleri.....	56
Şekil 6.5.	Altlık Sıcaklığı Optimizasyonu İçin Üretilmiş Numunelerin Sertlik Değerlerinin Grafik Gösterimi	57
Şekil 6.6.	Altlık Sıcaklığı Optimizasyonu İçin Üretilmiş Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri.....	57

Şekil 6.7.	Taşıyıcı Toz Besleme Basıncına Göre Üretilen Numunelerin Makro Görüntüleri	59
Şekil 6.8.	Toz Besleme Basıncı Optimizasyonu İçin Üretilmiş Numunelerin Sertlik Değerlerinin Grafik Gösterimi	59
Şekil 6.9.	Farklı Toz Besleme Basıncında Üretilmiş Kaplamaların Mikroyapı Görüntüleri	60
Şekil 6.10.	Üretilen Optimum Numunelerin Makro Görüntüleri	61
Şekil 6.11.	Üretilen Optimum Numunelerin Sertlik Değerlerinin Grafik Gösterimi	62
Şekil 6.12.	Optimum Parametrelerde Üretilen Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri	63
Şekil 6.13.	Üretilen Optimum Numunelerin SEM Görüntüleri.....	64
Şekil 6.14.	3 Nokta Eğme Testi Sonrasında Numunelerin Makro Görüntüsü.	65
Şekil 6.15.	Cam Üzerine Polimer Kaplama.....	65
Şekil 6.16.	Beton Üzerine Polimer Kaplama.....	66
Şekil 6.17.	Seramik Üzerine Polimer Kaplama.....	66

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Alev Sprey Çeşitlerine Göre Üretilen Kaplamaların Mekanik Özellikleri	13
Tablo 4.1.	Bazı polimer malzemelerin Tm ve Tg değerleri	22
Tablo 4.2.	Termoplastik ve Termoset Esaslı Tozların Özellikleri.....	25
Tablo 4.3.	Yüzey Kaplamacılığında Kullanılacak Tozlardan Beklenen Özellikler.....	25
Tablo 4.4.	Plastik Kaplama Tozlarına Katılan Katkı Maddeleri.....	26
Tablo 4.5.	Termoplastik Esaslı Kaplama Tozlarının Tipik Uygulama Şartları ve Özellikleri.....	27
Tablo 4.6.	Kaplamalarda Kullanılan Termoplastiklerin Fiziksel Mekanik Özellikleri.....	28
Tablo 6.1.	Farklı Oksijen /Propan Oranlarına Bağlı Üretilen Kaplamalar ve Özellikleri	52
Tablo 6.2.	Altlık Sıcaklığına Bağlı Özellikler.....	55
Tablo 6.3.	Farklı Toz Besleme Basıncında Üretilen Kaplamaların Özellikleri (TT: Taşıyıcı Toz Basıncı).....	58
Tablo 6.4.	Belirlenen Optimum Değerlerde Üretilen Kaplamaların Özellikleri	61

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alev sprej, polimer kaplama

Alev sprej yöntemi, uygun bir brülör ile yanma gazları ile kaplama malzemesinin altlık üzerine sıcak bir şekilde püskürtülmesine olanak veren bir prosestir. Alev sprej yöntemiyle polimerler kaplama, boya alternatif olarak düşünülmüştür. Gelişen polimer teknolojisi ile birlikte polimer alev sprej yöntemi önem kazanmıştır. Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamalar özellikle korozyon direnci gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada alev sprej yöntemi ile polimer kaplamaların üretimi için optimizasyon ve karakterizasyon amaçlanmıştır. Karakterizasyon işlemleri için makro, optik mikroskop, SEM görüntüleri ve sertlik değerlerine göre yorumlanıp optimum üretim parametreleri (yanma gazı/yakıcı gaz oranı, altlık sıcaklığı, taşıyıcı toz miktarı) belirlenmiştir. Ayrıca alev sprej yöntemi ile polimer kaplamanın farklı altlık malzemelerine uygulanabilirliği deneysel olarak incelenmiştir.

PRODUCTION AND CHARECTERIZATION OF POLIMER COATING BY FLAME SPRAYING

SUMMARY

Keywords : Flame Spray, Polimer Coatings

Flame spraying method, is a process that makes possible of spraying coating material with a proper burner. Polymer coating produced by flame spraying is an alternative application of painting. As developing polymer technologies, flame spray technologies have gained a special focus. Polymer coatings produced by flame spraying are used in corrosive resistant applications.

In this study, It is proposed that producing and characterization of polymer coatings manufactured by flame spraying process. Macro-micro and optical microscope and SEM images were used for characterization in order to establish optimum production parameters. And also applicability of producing polymer coating on different substrates carried out experimentally.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek yeni özellikler kazandırmak veya dekoratif açıdan çekici kılmak insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından biri olmuştur. Günümüzde, malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler, "yüzey ve taban malzemesinin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen" işlemler olarak tanımlanabilir. Yüzey işlem teknolojileri, yüzey mühendisliği, özellikle 90'lı yıllardan sonra önemli hale gelmiştir. Halen hem klasik hem de modern teknolojilere dayanan yüzey işlemlerinin önemi gün geçtikçe artmaya devam etmektedir [1].

Malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi veya çevresel etkilere karşı korunabilmesi için yüzeyin koruyucu bir kaplama ile kaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır. Koruyucu kaplama ile yüzey özelliklerinin servis koşullarından daha az etkilenmesine ve malzemenin ömrünün, ekonomik performansının, kullanım veriminin ve güvenilirliğinin artırılmasına çalışılmaktadır [2].

Yüzey mühendisliği, daha çok farklı yöntemlerle yüzey değişimi ve geliştirilmesiyle ilgilenen bir daldır. Tüm yüzey değiştirme teknikleri arasında termal spre y yöntemi bir dönüm noktasıdır [3].

Termal spre y terimi kabaca benzer prosesler vasıtası ile metalik ve metalik olmayan kaplamaların uygulanması için yaygın olarak kullanılan bir grup prosesi ifade etmektedir. Çok sayıda termal spre y işlemi mevcut olmakla birlikte ticari olarak kullanılan dört temel spre y metodu mevcuttur. Bu metotlar alev, ark, detanasyon ve plazma spre y teknikleridir. Bu teknikler ile yumuşak metallerden son derece sert seramiklere kadar çok geniş bir aralıktaki malzemeler ile hemen hemen tüm altlık malzemelerin kaplanması mümkün olmaktadır [2].

Alev sprej, ince öğütölmüş metal, metal oksit veya plastikleri, ergimiş veya yarı ergimiş koşulda, bir altyapı üzerinde bir yapışma kaplama teşkil etmek veya bir yapısal şekil meydana getirmek üzere terk etme sürecidir. Süreç daha sonra, meydana gelen kaynağa göre tanımlanır: Yanma alevi, plazma, elektrik arkı veya patlatma; bu iki temel malzeme şekline göre de kategorilere ayrılır: Bunlardan birisi, malzemenin başta ince öğütölmüş parçacıklar halinde olduğu toz ve diğeri de tel ya da çubuk olduğu halidir [4].

Ayrıca bir malzemenin yüzeyine ince bir tabakanın spreyleneşmesi aşınmaya, korozyona ve ısıya karşı direnci arttırmakta ve ayrıca altlık malzemenin özelliklerini etkilememektedir [2].

Termal Sprej yöntemi ile uygulanan kaplamalar genellikle mühendislik alanlarında kullanılmaktadır fakat günlük yaşantıda kullanılan bütün malzemeler aşınmaya, korozyona yada güneş ışınları ile bozunmaya uğramaktadırlar. Metal veya seramiklerin pahalı olmasından dolayı günlük yaşantıdaki kullanımları imkansız denecek kadar azdır. Bu nedenle her türlü yüzeye ve ön işlem kullanılmadan uygulanabilen polimer kaplamalar geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların karakterizasyonu için kaplamalar üretilmiş ve standartlara göre uygun bir şekilde test edilip incelenmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 2. TERMAL SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

2.1.Giriş

Termal spreycaplama 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 [5].

Termal spreycaplama 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 [6]. Yüzeyde mikron seviyesinden mm derecesine kadar tabaka oluşturmaya imkân sağlar ve çok geniş bir yelpazede üretim imkânı sunar [7]. Termal spreycaplama içersinde özellikle alev ve elektrik ark spreyc gibi düşük maliyetli prosesler olarak göze çarpar [5].

2.2.Termal Sprey Tarihçesi

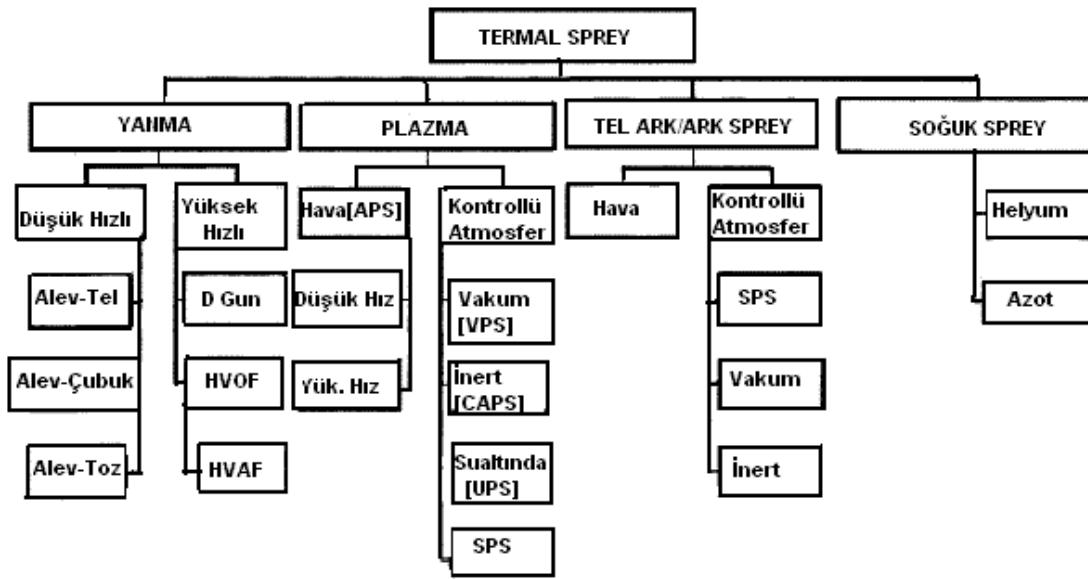
Termal sprej kaplama teknolojisinin temelleri 1900'lü yılların başında yaşayan Dr.M. Schoop tarafından atılmıştır. Dr.M. Schoop ilk olarak sıvı kurşunu oyuncak bir top yüzeyine püskürtmüş ve kurşunun bütün yüzeye yayınarak yapıştığını görmüştür. Dr. Schoop ve çalışma arkadaşları patentli olan termal 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].

Kaplama için tel, toz ya da solüsyon olarak kullanılan malzemeler genellikle metaller ve seramikler iken gelişen teknoloji ile birlikte plastiklerin ve kompozitlerin de kaplanabilmesi ile kaplama sektörünün önemi gün geçtikçe artmaktadır.

2.3. Termal Sprey 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. Şekil 2.1 de termal sprey ailesinin genel olarak sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Termal sprey kaplama ailesi [8].

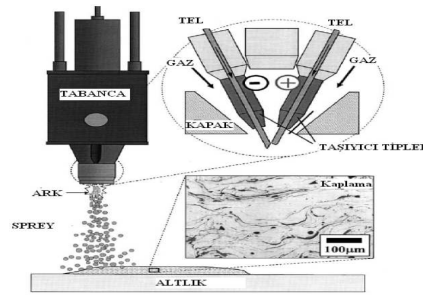
Uygulama amacına bağlı olarak ve mühendislik-ekonomiklik göz önünde bulundurularak kaplama üretmek için günümüzde çeşitli termal püskürtme yöntemi kullanılmaktadır. En popüler olan altı termal püskürtme sistemi; alev sprej, ark sprej, plazma sprej, HVOF, detonasyon ve soğuk sprej prosesleri olarak göze çarpmaktadır. Ancak alev sprej prosesi bölüm 4’de detaylı olarak anlatılmıştır.

2.3.1. Ark sprej kaplama yöntemi

Bu proseste elektrik iletkenliğine sahip metaller ya da elektrik iletkenliğine sahip metaller ile çevrilmiş teller kullanılır. Püskürtme tabancasına beslenen iki tel, elektriksel olarak zıt yükleme yapılırken kontrollü bir şekilde tabancanın ön kısmına kesiştirilir. Kesişme bölgesinde kararlı bir ark oluşturulur. Ark enerjisi ile ergiyen

teller sıkıştırılmış hava ve diğer kullanılan basınçlı gazların etkisi ile atomize edilerek hazırlanmış numuneye püskürtülmesi ile kaplama oluşturulur. Şekil 2.2’de elektrik ark sprey prosesi gösterilmiştir.

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. Kaplama sektörünün ekonomik sınıfında yer almaktadır. Elektrik-ark kaplamalar, korozyon dirençli çinko kaplamalar gibi düşük maliyetli ve büyük hacimli uygulamalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır [8].



Şekil 2.2. Elektrik ark püskürtme prosesi [9]

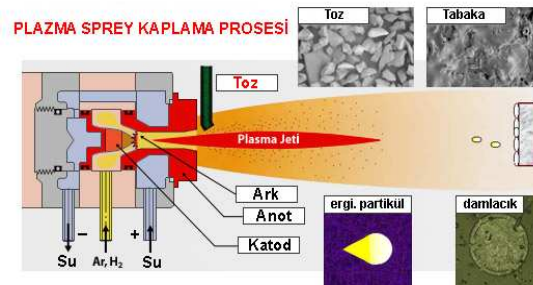
2.3.2. Plazma sprey kaplama yöntemi

Bu prosesin temel enerji kaynağı, plazmadır. 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 [10,11].

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 eksenel olarak genişler, partikül hızını arttıran süpersonik genişlemeye, gazların dar boğazlı bir nozul içerisinden 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 yassılaşıp, lamelli bir hal alır ve çok ani soğuma sonucu (10^{-6} °C/sn) katılaşır.

Süblimleşme göstermeyen metalik, seramik, karbür, oksit, plastik veya kompozit malzemelerin kaplanabilmesi, prosenin 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 parçaların kaplanabilir olması bu prosenin avantajlarıdır [10,12]. Şekil 2.3. 'da plazma sprej kaplama prosesi şematik olarak gösterilmiştir.

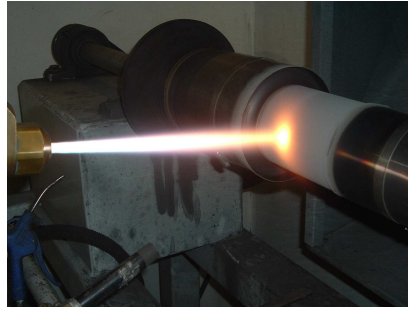


Şekil 2.3. Plazma sprej kaplama prosesi şematik gösterimi.

2.3.3. Yüksek hızlı-oksi yakıt tekniği(HVOF)

Yüksek hızlı oksi-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 spreyci kaplamalarındakine 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 H_2 ve O_2 gazlarının yanında taşıyıcı gaz olarak ta N_2 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 [13].



Şekil 2.4. HVOF kaplama yönteminin uygulaması [14].

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

eksenel olarak hareketlenen toz ve sıcak gaz akışı tabancanın çok ısınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek basınçlı su sirkülasyonu ile tabanca namlusunun soğutulması gerekmektedir [13].

HVOF termal kaplama yöntemi özellikle aşınma ve erozyon direnci istenen malzemelerin kaplanması yaygın olarak kullanılır. Bu doğrultuda özellikle WC, Cr_xC_y 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 [13].

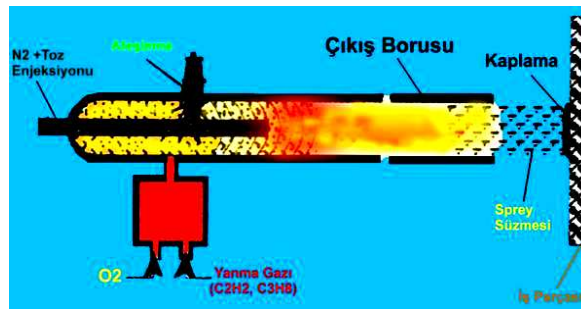
2.3.4. Detonasyon tabancası (detonation gun)

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 çıkartır. Yakıt gazı ve diğer bazı parametrelerin değiştiği super D-Gun prosesi tozları yaklaşık 1000 m/s'lik hızlara ulaştırır. Bu devirsel çalışan bir procestir 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 [13].

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 [13].

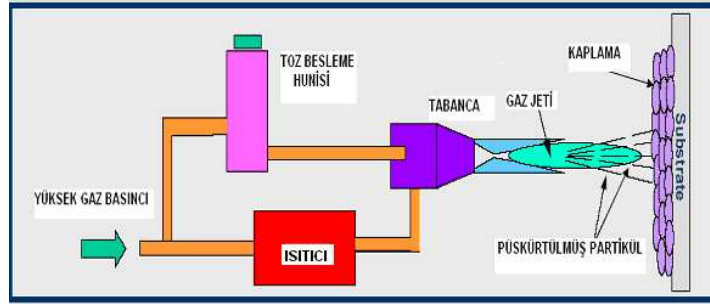
Kaplamaların müthiş yapışma mukavemeti, çok yoğun kaplamalar ile %1'den daha düşük porozite miktarı içermesi, kaplama ayarlanmasının kolay gerçekleşmesi, yüksek verim, kaplama karakteristikleri, sertlik, aşınma ve korozyon direncinin diğer proseslere nazaran çok daha iyi olması, proseslerin çok yönlülüğü, 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 avantajlarındandır [12]. Şekil 2.5' da detonasyon tabancasının şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Detonasyon tabancasının şematik gösterimi

2.3.5. 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 2.6.'de şematik bir soğuk sprej prosesi gösterilmektedir [15].



Şekil 2.6. Soğuk spray prosesinin şematik olarak görünümü [16]

Temel olarak soğuk spray proseslerinde enerji depoları ve toz partiküllerini ileriye itmek için yüksek basınçlı gaz (yaklaşık 500 psi [3.5 MPa]) sistemleri kullanılır. Spray 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 (500-1500 m/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 proseste uygulanan spray 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 büzülmeler meydana gelir ve bunun yanında partiküllerin yüzeye çok hızlı bir şekilde çarpması sırasında da kaplamalarda yüksek gerilimler meydana gelmektedir. Diğer termal spray 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.

Soğuk spreyle üretilen kaplama uygulamaları 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 spre prosesinde, düşük çalışma sıcaklığı, çok düşük oksidasyon, kompozisyon değişiminin az olması, kaplamalardaki hataların az olmasından dolayı yüksek sertlik ve iyi bir mikro yapı, yakıt gazı ve yüksek elektriksel ısıya ihtiyaç olmayışı, koruma ihtiyacının az olması gibi nedenler avantajı olarak sayılmaktadır [13].

Seramikler gibi sert ve kırılğan malzemelerin kaplanamaması, kaplanabilecek altlık malzemesinin sınırlı olması, yüksek miktarda gaz beslemeden dolayı gaz sarfiyatının çok olması, kullanılan He gazının pahalı olması, bilgi birikiminin günümüzde yeterli seviyede olmaması, soğuk spre prosesinde dezavantajları olarak gösterilmektedir [13].

BÖLÜM 3. ALEV SPREY KAPLAMA YÖNTEMİ

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 oksî-asetilen aleviyle ergitilir. 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 bağ mukavemeti, %10-15 arasında poroziteli kaplamalar elde edilir. Normal şartlar altında da kaplamalar yaklaşık olarak %15 oksit içeriğine sahiptir. Alev püskürtme kaplama tekniği kaplanacak malzemenin cinsine bağlı olarak hem tel hem de toz olarak kullanılabilir [17]. Alev sprej yöntemi kendi arasında tel alev sprej, çubuk alev sprej ve toz alev sprej olmak üzere 3'e ayrılır. Alev sprej çeşitlerine göre üretilen kaplamaların mekanik özellikler Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Alev sprej çeşitlerine göre üretilen kaplamaların mekanik özellikleri

	Parçacık hızı (m/s)	Yapışma mukavemeti (Mpa)	Porozite (%)
Tel Alev Sprej	24-36	4-27,6	6-15
Toz Alev Sprej	244	13.8-27.6	6-15
Çubuk Alev Sprej	244	13.8-27.6	6-15

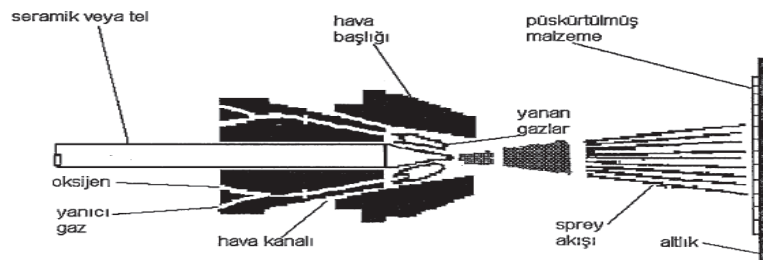
3.1. Tel Alev Sprey Kaplama Yöntemi

Tel halinde üretilmiş ve ergime sıcaklığı oksii-asetilen alev sıcaklığının altında olan herhangi bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtülmesi olayıdır. Kapanacak metal tel, sürücü ile püskürtme tabancasının nozuluna beslenmektedir. Tel nozul içinden geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımı yardımı ile ergitilmektedir. Ergimiş metal yüksek basınçlı hava ile atomize edilerek kapanacak yüzeye püskürtülmektedir. Bu yöntemde alevin fonksiyonu metalin ergitilmesini sağlamaktır. Kaplama uygulandıktan sonra yüzeyin sıcaklığı 95-200°C arasında değişmektedir [17].

Bu teknikle kullanılan kaplama malzemeleri molibden, paslanmaz çelik, karbon çelikleri, çinko, bakır, alüminyum ve bronz alaşımlarıdır. Alev tel sprej yöntemi, her türlü yataklarda, şaft ve millerin aşınan yüzeylerinde, debriyaj baskı plakaları, piston segmanları ve hidrolik piston millerinin kapanmasında kullanılır [18].

3.2. Çubuk Alev Sprej Kaplama Yöntemi

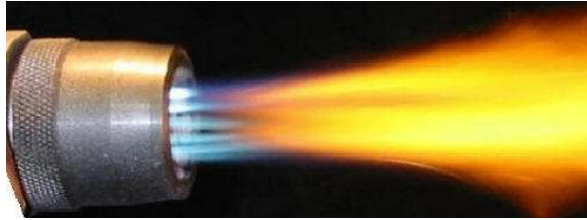
Bu proseste genellikle 6mm çapında seramik çubuk kullanılır ve dakikada 90-105 cm²'lik bir alan kapanılabilir. Daha geniş çaplarda çubuk kullanımı ile daha yüksek kaplama hızlarına erişilebilir ve çubuğun boyunun daha da uzun olması da kaplama işleminin sürekliliğini artırmaktadır. Bu işlem genelde alümina, alümina-titanyum oksit ve krom oksit gibi seramiklerin kapanmasında kullanılır. Şekil 3.1' de çubuk alev sprej şematik gösterimi mevcuttur [19].



Şekil 3.1. Çubuk alev sprej tabancasının şematik gösterimi [19]

3.3. Toz Alev Sprey Kaplama Yöntemi

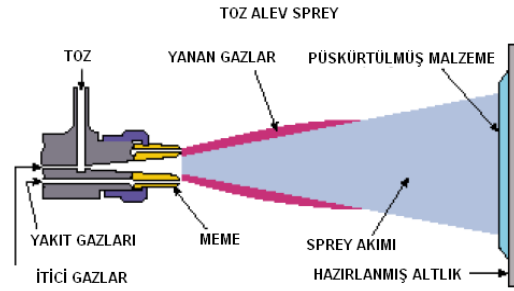
Toz alev püskürtme prosesinde toz malzeme alev sprej tabancasının üzerindeki bir besleyiciden yerçekiminin etkisiyle ya da ayrı bir toz besleyicisinden basınçlı hava ile beslenmekte ve bir taşıyıcı gazın yardımı ile toplanıp ertilmek üzere tabancanın nozuluna taşınmaktadır. Burada ertilen tozlar kaplamayı oluşturmak üzere ana malzeme üzerine gönderilmektedir. Toz alev sprej yöntemi, kullanılan tabanca dizaynına ve kaplanacak malzemenin türüne göre metal-seramik ve polimer olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [20].



Şekil 3.2. Püskürtme anı

3.3.1. Alev sprej yöntemi ile metal-seramik kaplama

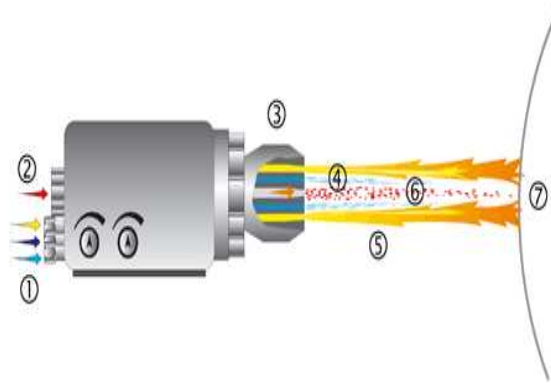
Bu sistemin çalışma yöntemi aynı olup çeşitli metal tozları, karbürlerin, oksitli seramiklerin, sermetlerin, kaplama malzemesi olarak mümkündür. Kaplama verimi genellikle 0,5-9 kg/saat' dir. Kaplanan parçada, işlem sırasında transfer olan yüksek orandaki ısı sonucu oksidasyon ve gerilimler meydana gelir [20]. Bu tabanca sistemi diğer toz alev sprej tabancaları dizaynı ile aynı olup, kaplama malzemeleri alev ile temas etmektedir. Metal-seramik malzemeleri kaplamak için kullanılan toz alev sprej tabancasının çalışma anındaki görüntüsü Şekil 3.3. verilmiştir. Bu yöntem ile rulman yatakları, mil muyluları, kompresör pistonları, kam milleri, burç ve kovanlar, hidrolik silindir ve pistonlar kaplanmaktadır.



Şekil 3.3. Toz alev spray tabancasının çalışma anı şematik gösterimi

3.3.2. Alev spray yöntemi ile polimer kaplama

Polimerlerde termal spray yöntemi, polietilenin (PE) DUPONT tarafından üretilmesi ile 1940 sonralarında ortaya çıkmıştır. İlk olarak metal-seramik malzemelerin kaplanması için üretilen toz alev spray tabancaları ile polimer malzemelerin kaplanması mümkün değildi. Bilindiği gibi polimer malzemelerin ergime sıcaklıkları metal ve seramiklere göre çok düşüktür. Nedeni ise polimer tozlar alev ile temas etmekte ve bu sırada yüksek ısıdan dolayı tozlarda erime meydana gelmesiydi [21,22]. Polimer tozların erimesinin engellenmesi için tabanca dizaynı yapıldı ve geliştirilen polimer alev spray tabancasının çalışma anının şematik resmi Şekil 3.4. gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Polimer püskürtmenin bileşenleri 1) Asetilen / oksijen 2) polimer tozlar 3) Tabancanın çıkış ucu 4) Hava ile sarılmış ortam 5) Oksi-asetilen alevi 6) ısı ile yumuşatılmış polimer tozu 7) İş parçası [22].

Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamalar genellikle görsel amaçla kullanılmaya başlanılsa da özellikleri incelendikçe ve gelişen polimer teknolojisi ile birlikte günümüzde birçok mühendislik uygulamalarında da kullanılmaktadır.

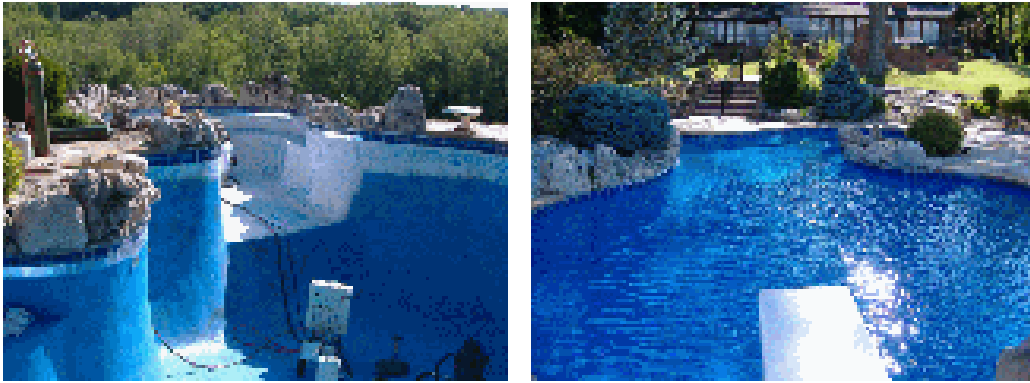
Kullanıma başladıktan sonra boya sektörüyle rekabet edeceği düşünülen alev sprej ile polimer kaplamalar, polimerlere çeşitli katkı ilavelerle metal ve seramiğin ekonomik olmadığı yerlerde de kullanılmaktadır.

3.3.2.1. Alev sprej yöntemi ile üretilen polimer kaplamaların özellikleri

- a) Kaplama için öncü işlem olarak kumlama yapılmasına gerek olmayabilir.
- b) Ahşap, beton, cam, karton, metal gibi yüzeylere uygulanabilmesi en önemli özelliğidir.
- c) Mobil bir sistemdir ve işlem yerinde uygulanabilir.
- d) Çok fazla parametre olmadığı için kaplama üretimi zor bir işlem değildir.
- e) Diğer kaplama yöntemlerinin bazı uygulamalarındaki gibi astar kaplama yapmak söz konusu değildir.
- f) İş parçasına iyi yapışma sağladığı için düşük sıcaklıklarda yüksek darbe direncine sahiptir.
- g) Polimer tozlar, boya gibi renk taşıyıcı pigment (kurşun, kadmiyum, formaldehit, benzen) içermediği için kaplama sırasında ve sonrasında uçucu organik kimyasalların (VOC's) salınımı söz konusu değildir. Bu nedenle sağlıklı bir uygulamadır.
- h) Kaplamanın hasar görmesi durumunda tamir edilebilmesi kolaydır.
- i) Kullanılan polimer malzemenin çeşidine göre atmosferik etkilere dayanım, iyi korozyon direnci, iyi aşınma direnci gibi özellikler sağlanabilir [21,22].

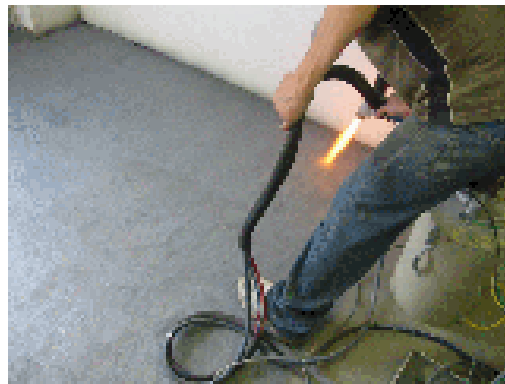
3.3.2.2. Alev sprej yöntemi ile üretilen polimer kaplamaların uygulama alanları ve avantajları

Alev sprej yöntemi ile polimer kaplamalar ilk olarak boyaya alternatif olarak düşünüldüğü için görsel amaçla kullanılmıştır. Bu yöntemle polimer kaplamaların görseiliğın yanında, yosun ve mantar gibi canlıların oluşumunu engellediğı için havuzlarda kullanılmaktadır (Şekil 3.5) [22].



Şekil 3.5. Havuzun alev sprej yöntemiyle polimer kaplanmasının görünümü [22]

Genellikle atölyelerin zemininde kullanılan epoksi kaplamalar, alev sprej yöntemiyle de uygulanabilmektedir. Normal boya olarak sürülen epoksinin kuruması için en az 2 gün beklenmesi gerekmektedir fakat alev sprej yöntemiyle bu süre çok daha kısa olduğu için bu alanda da etkisini göstermektedir [22].



Şekil 3.6. Alev sprej yöntemiyle zeminin epoksi kaplanması [22]

Bakımı zor olan uzun reklam direklerine, aynı zamanda evlerin korkuluklarında kullanılmaktadır (Şekil 3.7) [22].



Şekil 3.7. Alev sprej yöntemiyle bakımı zor olan direklerin polimer kaplanması [22]

Çeşitli reklam panolarına, evlerin duvarlarına ya da tren vagonlarına yapılan grafiti çizimleri yok etmek için gereksiz para harcanması kişilere ekstra gider olarak eklenmektedir. Alev sprej yöntemiyle özellikli polimer tozları kullanılarak boyanmaz yüzeyler elde edilebilir ve buna uygun yerlerde kullanılmaktadır (Şekil 3.8), [22].



Şekil 3.8. Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamanın boyanmazlık özelliği [22]

Literatür taramasında, birçok makalede yapılan deneyler sonucu, alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların darbe direncinin ve korozyon direncinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle alev sprej yöntemiyle üretilen polimer

kaplamaların denizcilik sektöründe kullanılmaktadır ve gün geçtikçe önemini arttırmaktadır (Şekil 3.9) [22].



Şekil 3.9. Polimer kaplamaların denizcilik sektöründeki uygulamaları [22]

BÖLÜM 4. POLİMER MALZEMELER

Plastikler, yüksek molekül ağırlıklı organik moleküllerden ya da polimerlerden oluşmaktadır. Organik moleküller ve polimerler, birbirine kimyasal olarak bağlı birimlerin yinelenmesiyle ortaya çıkan zincir yapılarıdır. Plastik, istenilen biçimi alabilen anlamına gelen yunanca "plastikos" sözcüğünden gelir [23].

Polimerler, bilindiği gibi bazı organik moleküllerin kendi aralarında ya da başka moleküllerle makro moleküller oluşturacak biçimde birleşmeleri ile oluşan yapılara verilen genel bir isimdir. Herhangi bir organik molekül bazı merkezlerinden kimyasal bağ yapacak şekilde aktive olabilir ve bu en küçük birim monomer olarak adlandırılır. Aynı tür monomerlerin kimyasal tepkime ile birleşerek polimerleşmesi yanında, farklı monomerler de, ardışık, karmaşık, çapraz v.b. şekilde bağlanarak polimerleşebilirler. Bu tür polimerler ise genel olarak ko- polimer, ter- polimer gibi isimlerle tanımlanır [24].

Ticari olarak yapılan ilk plastikler, yarı sentetiktir. Bunlar, genellikle pamuk artıklarından elde edilen ve insanların sindiremediği bir karbonhidrat olan selülozdan türetilmiştir. Bin sekiz yüz altmış sekiz yılında İngiliz Kimyacı Alexander Parkes, kolayca kalıplanabilen ve biçimlendirilebilen, "Parkenise" (parkesin) adlı bir plastik hazırlamıştır. Parkesin'in küçük miktarlarda hazırlanması kolay olmasına karşın endüstri ölçeğinde üretimi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bin sekiz yüz yetmiş yılında ABD'de matbaacı John Wesley Hyatt, ticari bakımdan ilk başarılı plastik olan selüloiti Parkesin'e benzer biçimde, ama hintyağı yerine kafuru kullanarak hazırlamıştır. Hyat'ın buluşu kafurun plastikleştirici etkisidir. Bu yeni madde, gözlük çerçeveleri, taraklar, bilyardo topları, bıçak ve fotoğraf filmi gibi çok çeşitli ürünlerin yapımında kullanılmıştır. Herman Standinger 1922 yılında plastiklerin küçük moleküllerin birleştirilmesiyle oluşan dev moleküller ya da polimerler olduğunu göstermiştir. Benzer moleküllerin polimer zincirleri oluşturacak biçimde bağlanması

anlamına gelen polimerizasyon işlemi ile kimya sanayi hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. İkinci Dünya Savaşı plastik endüstrisinin gelişiminde en önemli etkenlerden birisi olmuştur [23].

Plastiklerin kaynağı, ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastiğin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan maddelerdir. Dünyada üretilen toplam petrolün sadece %4'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır [23].

Polimer malzemelerin davranışlarının anlaşılıp yorumlanmasında yararlı olan iki önemli sıcaklıktan söz etmek gerekmektedir.

Bütün polimer malzemeler için, düşük sıcaklıklara inildikçe polimer zincirindeki hareketliliğin dondurulduğu görülmektedir. Bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilmektedir. Ayrıca polimer malzemeler, diğer malzemelere göre erime noktası sıcaklığında da farklılık gösterir. Diğer malzemeler de tam olarak bir ergime sıcaklığı mevcutken, polimer malzemelerde erime sıcaklığı aralığı söz konusudur. Bunun nedeni kristalin bölgelerde yapının tam ve mükemmel bir şekilde birbirinin aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklığa kristal ergime noktası (T_m) denilmektedir. Kristallenmenin mükemmeliyeti arttıkça T_m artmakta ve erime aralığı daralmaktadır. Bazı polimerlere ait camsı geçiş sıcaklıkları ve kristal erime noktaları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bazı polimer malzememelerin T_m ve T_g değerleri

	T_m (°C)	T_g (°C)
Polietilen	137	-115
Polimetilen oksit	181	-85
Polietilen oksit	66	-67
Polipropilen	176	-20
Polivinil florür	200	-20
Polivinil florür	212	81
Poliviniliden florür	190	-19
Poli tetra flora etilen	327	117
Polistiren	240	100
Poli meta metilakrilat	200	105
Poli vinil asetat	-	28
Nylon 6	223	50
Nylon 6,6	265	53
Poli etilen tetraftalat	265	69
Poli akrilonitril	317	115
Doğal kauçuk	14	-73

Polimerlerin çok farklı şekilde, molekül ağırlığı, organik- inorganik, sentezleme yapısına, zincirin fiziksel- kimyasal yapısına ve ısıya karşı gösterdiği davranışa göre sınıflandırılabilir [25].

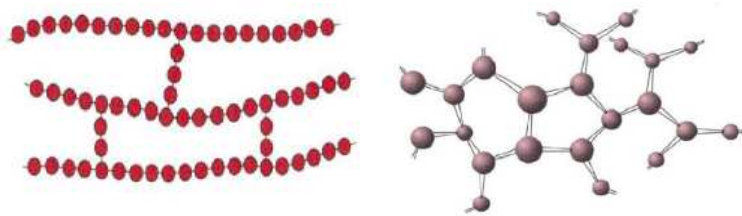
Bu çalışmada, alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamalar olduğu için polimerleri ısıya karşı göstermiş oldukları davranışlara göre sınıflandırılmıştır.

4.1. Isı Etkisine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimer malzemeler ısı enerjisine maruz bırakıldıktan sonra eriyip akmasına ya da erimeyip katı halde kalmasına göre ikiye ayrılır.

4.1.1. Termoset polimerler

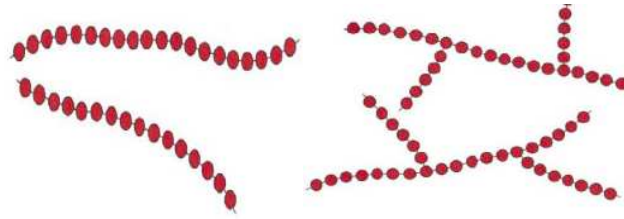
Polimerler zincirlerinden oluşan bir kütleye ısı şeklinde enerji verildiğinde, polimer zincirlerinin hareketliliğinde artışlar meydana gelir fakat buna rağmen yumuşamayıp ve erimeyip katı halde kalan polimerlere, termoset polimerler denir. Isı enerjisinin devam ettirilmesi ile polimer zincirini oluşturan bağlar kopabilir ve termoset malzeme bozunur, tersinmez bir olaydır [25]. Çapraz bağlı yapıya sahiptirler. Termoset plastikler özellikleri bakımından kimyasallara karşı yüksek direnç ve mekanik özellikleri bakımından daha mukavemetli olmalarına rağmen termoplastik plastikler yüzey kaplamacılığında daha fazla kullanılmaktadır. Epoksi ve poliesterler en yaygın kullanılan termosetler arasında yer almaktadır. [26].



Şekil 4.1. Termoset polimer malzemeye ait zincir yapıları [27]

4.1.2. Termoplastik polimerler

Isı enerjisine maruz bırakıldıklarında yumuşayıp akan, soğumaya bırakılınca sertleşip katılaştıran ve bu özelliğini tekrar tekrar gösterebilen polimer malzemelerine denir. Yüksek sıcaklıklarda zincirler arası bağlar zayıflayıp kopmadığı için bu özelliği göstermektedirler. Pek çok termoplastik özellik gösteren polimerlerin zincir yapısı lineer şekildedir ve bazıları da dallanmış şekilde bulunmaktadır. Şekil 4.2 termoplastik polimerin genel zincir yapıları gösterilmiştir [27]. Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamalarda genellikle termoplastik polimer tozları kullanılmaktadır [27].



Şekil 4.2. Termoplastik yapıdaki polimerlerin zincir yapıları [27].

4.2. Alev Sprej Yönteminde Kullanılan Polimer Tozlarının Çeşitleri Ve Özellikleri

Yüzey kaplamacılığında termoplastik ve termoset esaslı tozlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Termoplastik tozlar yüksek molekül ağırlığı, iyi fiziksel özellikleri nedeniyle kaplanacak nitelikte toz formunu alması zor olmasına rağmen termosetlerden daha fazla kullanılmaktadırlar. Termoplastik tozlarla yüzey kaplamacılığında değişik kalınlıklarda kaplama yapılabilmesi bu tozlara ayrı bir özellik katmaktadır. Ancak kaplama kalınlığının 250 μm ' nun altında olması durumunda kaplama yüzeyinde pürüzlülük olmaktadır. Buna karşılık termoset esaslı plastik toz kaplamalar düşük molekül ağırlığı ve düşük ergime viskozitesine sahiptir. Yapıları gereği çok küçük partikül boyutları elde edilmekte ve daha çok elektrostatik kaplama yöntemiyle kaplanmaktadır. Termoplastiklerin aksine çok daha ince kalınlıklarda bile kaplanabilmektedirler. Tablo 4.2' de termoplastik ve termoset

esaslı kaplama tozlarının genel bir karşılaştırılması yapılmaktadır. Tablo 4.3’ de ise yüzey kaplamacılığında kullanılan tozlardan beklenen özellikler verilmektedir [26].

Değişik yüzeylerin kaplanmasında termoplastik ve termoset plastiklerden her ikisi de kullanılmaktadır. Ancak bunların zaman içindeki kullanımları incelendiği zaman termoplastik tozların daha yeni oldukları görülmektedir. Genel olarak termoplastik kaplama tozları yüksek molekül ağırlığı yanında, çok iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere de sahiptir. Ayrıca kaplama esnasında kaplamalarda kaplama kalınlığı sınırlaması olmaksızın kaplamalar yapılabilir. Ancak termoplastik esaslı kaplama tozlarıyla 200 μm ’ dan daha az kalınlıkta kaplamaların gerçekleştirilmesi daha zor olduğu daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur [26].

Tablo 4.2. Termoplastik ve termoset esaslı tozların özellikleri [26]

Termoplastik tozlar	Termoset tozlar
Yüksek molekül ağırlığı	Düşük molekül ağırlığı
Yüksek kristallenme derecesi	Amorf yapı
Tokluk	Sert, gevrek ve kolay partikül yapılabilir
Yüksek ergime viskozitesi	Düşük ergime viskozitesi
Yüksek uygulama sıcaklığı	Düşük uygulama sıcaklığı
Kararlı	Kararlı

Tablo 4.3. Yüzey kaplamacılığında kullanılacak tozlardan beklenen özellikler [26]

Özellikler
120 °C nin altında sinterlenmemelidir
Düşük kesme oranlarında düşük ergime viskozitesine sahip olmalı
Ergime ve degradasyon sıcaklıkları arasında geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmalı
Kuru haldeki akış özelliklerine sahip olmalı
Depolama, akış, uygulama özellikleri normal sıcaklıklarda 6 aydan daha uzun bir süre kalması durumunda özelliklerini korumalıdır
Neme karşı hassas olmamalıdır
Gerek toz ve gerekse uygulamalarda renk tonu homojen olmalı
Kaplama tozunun termoset olması durumunda sertleşme (curing) süresinin değişken sıcaklıklarda çok hızlı olmalı
Sertleşme (curing) işlemi esnasında uçucu olmamalıdır

Termoset esaslı kaplama tozlarında ise tozların üretimi esnasında çok ufak partiküllere bölünebilmesi ve düşük molekül ağırlığı gibi özellikleri bunların kaplamacılık işlemlerinde kullanılması durumunda çok ince kaplamalar

yapılabilmektedir. Amaca uygun kaplamaların özelliklerini yükseltmek için kaplama tozlarına değişik dolgu ve katkı malzemeleri katılmaktadır. Bu şekilde farklı özelliklere sahip kaplamalar elde edilebilmektedir. Aşağıda Tablo 4.4’ de söz konusu katkı maddelerinin özellikleri verilmektedir [26].

Tablo 4.4. Plastik kaplama tozlarına katılan katkı maddeleri [26].

Katkı maddesi	Termoplastik	Termoset
Reçine	+	+
Sertleştirme ajanı	-	+
Katalizör	-	+
Plastifiyan	*	+
Akış kontrol katkısı	*	+
Isı stabilizatörü	+	-
Işık stabilizatörü	*	*
Pigment	+	+
Dolgu	*	+
Parlaklık kontrol katkıları	-	*

+ = her zaman veya genellikle, * = bazen, - = genellikle kullanılmaz.

Kaplanan yapının özellikleri kaplamada kullanılan tozların termoplastik ve termoset olmasıyla da değişmektedir. Özellikle yüzey koruma işlemlerinde malzeme özellikleri açısından bakıldığında termoset esaslı tozların özellikleri açısından daha dayanıklı olmalarına rağmen termoplastik tozlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır [26].

Plastik ve plastik esaslı tozlarla yüzeylerin kaplanması için kullanılan tozların uygulamalarına ilişkin pratik bilgiler aşağıda Tablo 4.5’deki gibi olup söz konusu veriler ilgili standarda göre belirlenmiş olup endüstriyel uygulamalarda kullanıcılara uygulama açısından yardımcı olmaktadır [26].

Tablo 4.5. Termoplastik esaslı kaplama tozlarının tipik uygulama şartları ve özellikleri [26].

Uygulama	Test yöntemi (ASTM)	Plastik türleri				
		Nylon 11-12	PVC	PE	PP	PVD
Ön ısıtma sıcaklığı, °C		260-370	230-340	200-300	260-330	240-300
Süre (dak)		5-15	5-15	5-15	5-15	5-15
Son tavlama sıcaklığı, °C		190-320	190-320	190-320	190-320	190-320
Süre (dak)		0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
Sertlik (shore D)	D2240	70-80	30-55	30-50	55-65	76-80
Max. kullan. sıcak. °C		100-120	60-90	70-105	90-120	130
Esneklik	D522	6,4 mm	6,4 mm	6,4 mm	6,4 mm	6,4 mm
Darbe direnci	D2794 (kg.m)	>1,84 çatlaksız	>1,8 çatlaksız	>1,84 çatlaksız	>1,84 çatlaksız	>1,84 çatlaksız
Suya dayanıklılık	D1308	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
Alkollere dayanıklılık		Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
Hidrokarbonlara karşı dayanıklılık		Mükemmel	İyi	İyi	İyi	Mükemmel
Ester, ketonlar vb. çözücülere karşı dayanıklılık		İyi	Zayıf	İyi	İyi	Zayıf
Tuza karşı dayanıklılık		Çok iyi	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
Bazlara karşı dayanıklılık		İyi	Mükemmel	Çok iyi	Çok iyi	İyi

Plastik kaplamaların söz konusu yöntemlerle gerçekleştirilen kaplamaların fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 4.6’da ki gibi belirlenmektedir.

Tablo 4.6. Kaplamalarda kullanılan termoplastiklerin fiziksel mekanik özellikleri [26]

Özellik	Test Yöntemi	Plastik türleri				
		Nylon 11-12	PVC	PE	PP	PV D
Ergime noktası °C	D 789	176-188	135-150	94	140-150	167 - 171
Yoğunluk g/cm ³	D 792	1,01-1,03	1,35-1,42	0,91-0,925	0,89-0,92	1,76
Çekme mukavemeti (MPa)	D 638	67-68	12-15	10-15	18-22	34 - 41
Uzama (%)	D 638	350-360	200-400	300-600	300-700	50-250
Spesifik ısı	D 2766	0,40	0,40-0,60	0,40-0,60	0,40-0,60	0,30 - 0,34
Termal iletkenlik (W/mk)	C 177	0,27	0,17-0,23	0,41-0,46	0,43	0,17 - 0,19
Lineer termal uzama katsayısı (-10 ⁻⁵ l/k)	D 696	8,5-15	6-15	15-20	15-20	7,2
Dielektrik mukavemeti (kV/mm)	D 149	30	18-25	32-90	30-90	63

4.3. Kaplanacak Tozun Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Farklı yüzeylerin değişik amaçlarla plastik tozlarla kaplanmasında kaplama malzemesi olarak kullanılan toz malzemenin özellikleri gerçekleştirilen kaplamanın özelliklerini etkilemektedir. Bunlar sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır [26].

4.3.1. Molekül ağırlığı

Plastiklerde molekül ağırlığının artmasıyla beraber plastik yapıdaki yapısal hareketlilikler ve çekim kuvvetlerindeki artışlar toz kaplamanın mekanik, kimyasal ve akış özelliklerini etkilemektedir. Ancak bu artış mekanik özelliklerde önemli derece bir artış sağlarken plastiğin işlenmesini zorlaştırsa da plastiğin kaplama malzemesi olarak kullanılması durumunda sistemde kullanılan ısı kaynaklarındaki

sıcaklığın yüksek olması nedeniyle yüzey kaplama yöntemlerinde bu şekilde bir sorunla karşılaşılmamaktadır [26].

Bütün plastiklerde olduğu gibi plastik tozlarla da yüzey kaplamada kullanılan toz malzemenin molekül ağırlığı oldukça önem taşır. Özellikle tozun farklı türdeki plastiklerden kopolimer olarak elde edilmesi durumunda tozun molekül ağırlığı genel olarak tozların ortalama ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Ortalama molekül ağırlığının saptanmasında değişik yöntemler kullanılmakta olup bunun için daha çok ortalama molekül ağırlığı kullanılmaktadır. Molekül ağırlığı sayı ortalaması (M_n), molekül ağırlığı ağırlık ortalaması (M_w) aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir [26].

$$M_n = \sum M_i N_i / \sum N_i$$

$$M_w = \sum N_i M_i^2 / \sum N_i M_i$$

Toz kaplamanın mekanik özellikleri örneğin çekme mukavemeti, darbe direnci önemli oranda molekül ağırlığına bağlı olarak değişmektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak aşağıdaki formül ile ifade edilebilmektedir [26].

$$X = X_\infty - A / M_n$$

Burada;

X = Düşünülen mekanik özellik

X_∞ = Çok yüksek molekül ağırlığı değeri

A = Sabit

Bu konuda yapılan birçok çalışmada polimer toz kaplamaların darbe ve çekmeye karşı çok iyi direnç gösterdiği saptanmıştır [26].

4.3.2. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g)

Birçok plastik malzeme değişik yüzeylerde kaplanmak suretiyle kullanılabilmesine rağmen bunların T_g sıcaklıklarındaki değişimler kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

Özellikle kristalin yapılı plastiklerde Tg sıcaklığının kesin bir değeri ifade etmemesi nedeniyle kritik bir durum arz etmektedir. Amorf yapılı termoplastik ve termoset plastiklerde Tg sıcaklığının belli bir sıcaklık aralığında olması nedeniyle kristalin plastiklerde görülen kritik durum bu tip plastiklerde görülmemektedir. Bütün plastiklerde olduğu gibi, plastik toz kaplamalarda da sıcaklığın düşmesi ile molekül zincirlerin dönme hareketi yavaşlar ve belli bir sıcaklığa ulaştığında ise dönme hareketi durur. Bu durumda atomların sadece kendi titreşim hareketleri kalır. Tg' nin altında plastikler sert ve gevrek bir yapıya geçerler ve mukavemet özelliklerinde azalmalar görülür [26].

Literatürde genel olarak plastiklerde moleküller arası düzenin iki türüne rastlanır. Bunlar amorf ve kristal yapılarıdır. Polimer zincirlerin yapı içerisinde rastgele düzenlenmeleri sonucu amorf yapılar meydana gelirken bu yapıların düzen oluşturacak bir şekilde dizilmeleri sonucunda ise kristalin yapılar meydana gelmektedir. Amorf yapılı polimerlerde camsı geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda serbest hacim oranı düşüktür. Sıcaklığın artışıyla birlikte plastiklerdeki serbest hacim oranı ve buna bağlı olarak da segmental hareketler artar ve belli bir sıcaklıkta moleküllerin ısı enerjileri birbiri üzerinden akabilecek değere yükselir. Amorf yapıdaki plastiklerde geçiş bir faz geçişi olmayıp, değişim veya geçiş daha çok plastiğin süper molekül yapısında meydana gelmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı ayrıca plastik zincirlerin sert, esnek olmasına da bağlı olarak değişmektedir. Zincirlerdeki esneklik azaldıkça plastiğin Tg sıcaklığı yükselir. Bununla beraber, plastik yapıya değişik tip ve özellikteki yumuşatıcıların ilave edilmesi sonucunda plastik yapıların Tg sıcaklığı düşürülmektedir [26].

4.3.3. Tg sıcaklığı ve toz dengesi

Eğer kaplama malzemesi olarak kullanılacak tozun Tg sıcaklığı tozun depolandığı ortamın Tg sıcaklığından yüksekse polimer segmentlerindeki hareketin olmamasından dolayı farklı fazlar arasındaki moleküllerde bir hareket olmaz. Tg' nin düşük olması durumunda polimer moleküllerinde yeterli moleküler hareket yoktur. Bu da plastik toz kaplamaların daha uzun süre kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Termoset plastiklerde Tg sıcaklığı elde edilen toz kaplamanın fiziksel ve kimyasal

özelliklerini etkilemektedir. Burada Tg'nin kaplama tozu olarak kullanılacak tozun depolandığı ortamdan yüksek olması durumunda, polimer reçinelerindeki çapraz bağların fonksiyonel gruplarının çok düşük seviyede birleşmeleri polimer zincirlerindeki segmental hareketlerin sınırlandırılmasından kaynaklanmaktadır. [26].

4.3.4. Moleküller arası düzen

Plastikler katı, sıvı ve çözelti hallerinde değişik fiziksel yapılar meydana getirirler. Plastik yapıda yerel yapıyı etkileyen kimyasal bileşimin yanında makro yapıyı belirleyen morfoloji olarak ifade edilen polimerin yapısı, miktarları, büyüklükleri, biçim ve yerleşme düzenleri de plastiğin mekanik ve kimyasal özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Amorf yapıdaki plastiklerde moleküller veya segmentler sürekli hareket halinde olup yapıdaki zincirler bir konformasyondan diğerine rastgele dönme ve bükülme hareketleri yaparlar [26].

4.3.5. Molekül zincirlerinin şekli

Monomerlerden meydana gelen polimerin zincir şekli büyük oranda bu monomerlerin zincir içerisindeki dizilişlerine bağlıdır. Molekül zincirleri lineer, dallanmış ve üç boyutlu çapraz bağlı yapılar şeklinde olabilmektedir. Lineer zincir şeklindeki moleküllerde zinciri meydana getiren birimler çok kuvvetli kovalent bağlarla birbirine bağlanmışlardır [26].

Lineer ve dallanmış zincirler daha çok termoplastiklerde görülürken çapraz bağ zincirler ise termoset plastiklerde görülür [26].

Polimerik yapıyı oluşturan benzer birimlerin tekrarlanması ile meydana gelen yapılar homopolimer olarak adlandırılırken bu birimlerin birden fazla farklı türdeki birimlerden oluşmasıyla meydana gelen polimerler ise kopolimer olarak adlandırılırlar. Bunlar yapıyı oluşturan monomerlerin diziliş şekillerine göre seçenekli, blok, rastgele ve grafit (aşı) kopolimerleridir. Aşağıda Şekil 4.3' de kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş, Şekil 4.4' de polimeri oluşturan zincir şekilleri verilmektedir [26].

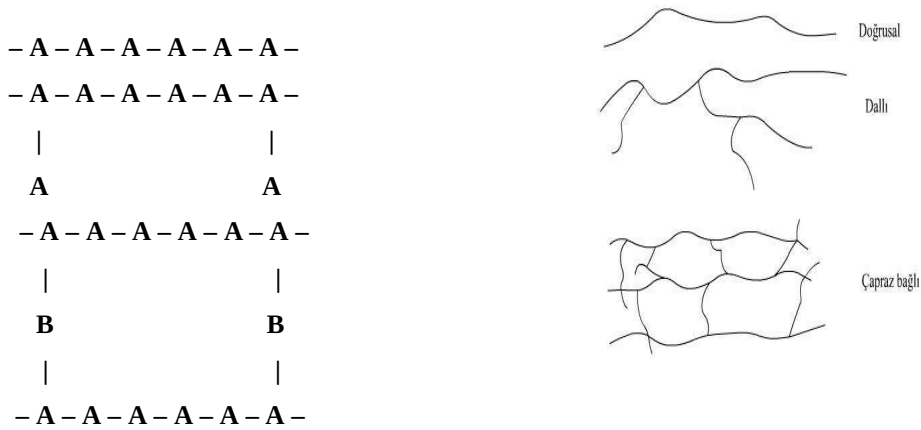
Polimer zincirlerini oluşturan zincirler arası mesafelerin kısılması zincirlerin mukavemet özelliklerinin artmasına neden olur. Bunun içindir ki plastiklerin yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılması durumunda genel olarak zincirler arasında kısa mesafe olan plastikler tercih edilmektedir. Ancak zincirler arasındaki mesafeler zincirlerin lineer, dallanmış ve çapraz bağlı olmalarına bağlı olarak değişmesi de toz kaplamanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır [26].

Lineer zincirlerde moleküller arası mesafelerin kısılırken dallanmış zincirlerde zincirler arasındaki mesafelerin kısılması molekülle arasındaki mukavemeti artıracak seviyede olmazlar [26].

Üç boyutlu yapıya sabit termoset yapılı plastiklerde ise zincirler ise zincirler çok kuvvetli kovalent bağlarla birbirine bağlı olup moleküller arasındaki bağlar ancak çok yüksek sıcaklıklarda kopabilmektedirler. Bundan dolayı termoset yapılı plastik kaplama tozların özellikle sıcaklığın büyük önem ifade ettiği uygulamalarda kullanılmaları daha iyi sonuç vermektedir [26].

A—A—A—A—A—A—A—A	Homopolimer
A—B—A—B—A—B—A—B	Seçenekli kopolimer
A—A—A—A—B—B—B—B	Blok kopolimer
A—A—B—A—B—B—A—B	Rastgele kopolimer
A—A—A—A—A—A—A—A	Graft kopolimer
B	B
B	B

Şekil 4.3. Kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri [26]



Şekil 4.4. Polimerleri oluşturan zincir şekilleri [26]

4.3.6. Toz partikül boyutu

Toz partikül yüzey kaplamacılığında önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Partikül boyutları genel olarak iki şekilde ifade edilmektedir. Bunlar mikrometre ve mesh ekran (screen) numarasıdır. Kaplama kalınlığı ise genel olarak mm ile ifade edilmektedir. Kaplama filminin gerçekleştirilme işlemine işleminde kaplamada kullanılan tozun partikül boyutu kapamanın nihai özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Genel olarak partikül boyutu büyük olan tozlardan meydana gelen kaplamaların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin artması kaplama esnasındaki püskürtme, sinterleme işleminin uniform olmamasından dolayı zordur [26].

Yüksek partikül yoğunluğuna sahip plastik toz kaplamalarda kaplama filmindeki yüzey kalınlığı dağılımı düzgün bir şekilde almaktadır. Toz kaplama işleminde film tabakasının oluşumu iki aşamadan meydana gelir. Birinci aşamada tozların püskürtme aparatından ergiyerek çıkması, ikinci aşamada ise soğuma sonucunda kaplama tabakasının oluşmasıdır. Kaplama tabakası kalınlığı önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Eğer kaplama kalınlığı 100 μm 'nin altında ise yer çekimi kuvveti kaplama filminin şekillenmesinde önemli rol oynamaz [26].

4.4. Alev Sprey Yönteminde Kullanılan Bazı Polimer Tozlar

4.4.1. Polietilen (PE)

Termoplastik olan bu polimer, sektöründe en çok kullanılan türdür. Polietilen gerek homopolimer gerekse komopolimer bileşiminde koruma amaçlı olarak yüzey kaplamacılığında kullanılmaktadır. Homopolimer formunda etilen ve α -olefinlerin bileşiminden elde edilmektedir. Alçak ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. Polietilenin yoğunluğu arttıkça yapıdaki kristal oranı artmakta ve elde edilen kaplamanın yüzey dayanıklılığı daha da artabilmektedir. Polietilen, polietilen kopolimeri halinde ve polietilen kopolimerlerinin karışımları halinde de kullanılabilir. Özellikle poli(etilen-ko-vinilasetat) EVA, poli(etilen-ko-vinilalkol) EVOH, poli(etilen-ko-metakrilat) EMA, poli(etilen-metakrilat) EEA, poli(etilen-ko-akrilikasit) EAA karışımlarıyla daha dayanıklı tozlar ve kaplamalar yapılabilir. Bu şekilde plastik tozun kaplama yüzeyindeki tutunması artarak kaplamanın daha uzun süre kullanılması mümkün olabilmektedir. Kopolimer karışım içindeki kristallenmenin azalması ile beraber kaplamanın parlaklık, darbe mukavemeti yükselmekte ve çatlak ilerlemeleri de azalmaktadır. Bu malzeme kimyasallara karşı dirençli olması, aşınmalara karşı dirençli olması, elektriksel özelliğinin iyi olması, darbe çentik mukavemetinin yüksek olması, nem emme kabiliyetinin sıfıra yakın olması gibi özelliklerinden dolayı en çok kullanılan polimer türü olmaya devam etmektedir. Termoplastiklerin içerisinde en ucuzudur. Şekil 4.5-de polietilenin uygulama örnekleri görülmektedir [26,27].



Şekil 4.5. Polietilenin kullanıldığı uygulama alanlarını [27]

4.4.2. Etilen-Vinil alkol kopolimerleri (EVOH)

Genellikle EVOH adı ile bilinmektedir. Bu reçineler gaz tutma özelliklerinin yüksek olması nedeniyle kaplamalarda iyi sonuçlar vermektedir. Bilinen en etkin oksijen tutuculardır. Bundan dolayı paketlenme ve kaplama yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Oksijen tutucu niteliği polipropilenden 16000, naylondan 200 kez büyüktür. Bu reçinelerin yağlara ve çözücülere karşı da güçlü bir direnç göstermeleri, korozif ortamlara karşı dayanımlarını arttırmaktadır. Ayrıca antistatik özelliklerinin yüksek olması kabloların kaplanmasıda kullanımını daha da arttırmıştır. Bu kopolimerlerin gaz tutucu özelliği kristal oranına da bağlıdır. Küçük ve sık dizilmiş kristal taneleri gaz geçişini engeller. Bundan dolayı bu tür kopolimerlerin üretim aşamalarında, yapılan kristal oranı yüksek (polietilen, polipropilen) plastikler katılarak kristal oranı artırılarak gaz geçirgenliğine karşı dayanımı arttırılır. Bu kopolimerlerin çok katmanlı olarak kullanılmaları bunların korozyona karşı dayanımını daha da arttırmaktadır [26].

4.4.3. Polipropilen (PP)

Polipropilen yarı kristalin bir termoplastik malzeme olup propilen monomerinin katolma polimerizasyonu veya stereospesifik (koordinasyon) polimerizasyon yöntemi ile elde edilen bir homopolimerdir. Polimerizasyon için kullanılan monomerin çok saf olması gerekir.Çünkü monomerin yapısında buluna bilecek su,katalizörü yok eder ve polimerizasyonun ilerlemesini engelleyerek uzun zincir yapılı polipropilen monekülünün elde edilmesini zorlaştırır.Bu yönüyle propilenin polimerizasyonu gaz formunda gerçekleştirmektedir.Polipropilenin kauçuksu özelliğe sahip monomerlerle (bütan, bütadien vs.) kopolimerizasyonu gerçekleştirildiğinde, kopolimerin oranına bağlı olarak kauçuksu özellik değişiklik gösterir. Polipropile; halojenleri içeren nitrik asit, sülfürik asit,potasyum dikromat, kereson karbo tetraklorür ve çok kuvvetli oksitleyici maddelerden başka kimyasal maddelerden etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropileni hiçbir çözücü çözemez [26].

Polipropilenin yüzey kaplamacılığında kullanılması durumunda kaplama yüzey sertliği yükselirken aşınmaya karşı direncide artabilmektedir. Polipropilene örneğin

% 2-5 lik etilenin katılmasıyla kaplamanın esneklik ve tokluk özellikleri geliştirilmektedir. Polipropilenin tek başına kullanılması durumunda kaplamanın yüzeyindeki tutunmasının azalmasından dolayı polipropilen kaplama tozlarına kaplama tabakasına olan tutunmayı yükseltmek üzere akrilik asit kopolimerleri ilavesi yoluyla kaplamanın özellikler artmaktadır [26].

4.4.4. Vinil tozları (PVC, PVDF)

PVC toz kaplamaların diğer polimer toz kaplamalar göre bazı üstünlükleri vardır. PVC toz kaplamaların kimyasallara örneğin asitlere, suya karşı dayanıklılığı çok iyidir. Mükemmel darbe direncine sahip olan PVC yüksek dielektrik özelliğinden dolayı elektrik ekipmanları imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretimini fazla ve ucuz olması kullanımını daha da artırmıştır. Poli (vinil klorür) nin değişik maddelerle örneğin stabilizator, pigment ve dolu maddeleri ile çok iyi bir ürün göstermesi kaplama tozu olarak kullanılmasına olanak vermiştir. Ayrıca aleve karşı dayanıklılığının diğer plastiklere göre daha iyi olması PVC toz kaplamaların önemini daha da artırmıştır. İyi bir PVC toz kaplama plastifiyan, pigment, uv ve ısı stabilizatorü içermektedir özellikle metil metakrilat kopolimerlerinin (MMA / EA) PVC tozlarına ilave edilmesiyle kaplamanın işlenebilirliği yükselir [26].

PVDF ise özellikle atmosferik ortamlarda kullanılması esnasında degradasyona uğramaması veya çok yüksek degradasyon direncinde dolayı toz kaplama uygulamalarında kullanımına imkan vermektedir. Nem absorblamasının düşük olması, çok yüksek kimyasal direnç ve düşük sürtünme özellikleri PVDF 'i üstün kılmaktadır. Ancak PVDF 'in yüzey parlaklığının düşük olması dekoratif amaçlı kaplamalarda kullanılmasına imkan vermektedir. Ayrıca tek başına kaplama maddesi olarak kullanılması durumunda metalik yüzeylere olan tutunmasının düşük olması kaplamanın ömrünü azaltmasına rağmen akriliklerle harmanlama yapılmasıyla yüzeye olan tutunması arttırılabilmektedir [26].

4.4.5. Poli tetrafloraetilen (PTFE)

2.14–2.20 gr/cm³ yoğunluğunda olup ergime sıcaklığının diğer polimerlerden yüksek olması bu polimerin gerek yüzey kaplamacılığında gerekse diğer uygulamalarda kullanılmasın imkân sağlamıştır. Teflon olarak bilinen bu malzemenin yüzey enerjisinin düşük olmasından dolayı kendisiyle temas eden malzemelere yapışmamasından dolayı daha da artmıştır. Polifenilen oksit (PPO), (PAI) gibi polimerlerin teflona ilave edilmesiyle kaplamanın aşınma ve sürtünme özelliklerinde artış meydana gelir [26].

Floratilen polimerinin teflondan başka poli(klonitritetrafloraeilen) (PCTFE) poli (viliden florid) (PVDF) türleri de mevcuttur. PCTFE polimerinin kimyasallara dayanımı ve polimer tozunun kaplama yüzeyine yapışmasının yüksek olması bu malzemenin kaplama malzemesi olarak özelliklerini yükseltmektedir. PVDF polimer ise diğer türlerinin yanında özellikle atmosferik şartlara karşı dayanımının çok iyi olması nedeniyle kaplama tozları malzemesi olarak yüzey kaplamacılığındaki önemini arttırmıştır. PVDF yapışma direncinin daha da artırılabilmesi için epoksilerle takviye edilebilmektedir [26].

4.4.6. Polyester

Termoset olan polyester genellikle cam ile kuvvetlendirilmiş olarak kullanılır. Kaplandığı yüzeydeki tutunmasının yüksek olması kaplama tozu olarak kullanılmasına imkan sağlamıştır. Genellikle bu reçineler kütle kalıplama ve levha kalıplama için kullanılmaktadır. Mekanik özellikleri katkı elemanlarına göre çok farklılık göstermektedir. Tekne, mimari paneller, atletizm ekipmanları, su depoları, sandalye ve mobilya yapımında kullanılmaktadır (Şekil 4.6). Alev sprej yöntemiyle polyester kaplamalar, denizcilik sektöründe hasarların tamirinde kullanılır [26,27].



Şekil 4.6. Polyesterin uygulama alanları [27]

4.4.7. Nylon-Poliamid (PA)

Nylon'un Nylon6, Nylon66, Nylon610, Nylon612, Nylon11 gibi çeşitleri vardır. Nylon'un en kötü tarafı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır. Tüm nylon çeşitleri elyaf ile takviye edilebilirler. Nylon kristalin yapıya sahip bir polimerdir. Nylon6, dökülebilen yapıdadır. Diğer nylon türlerinin akışkanlığı düşük olduğu için yüksek basınç gerektiren enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleriyle şekillendirilmeleri daha kolaydır. İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olan nylon dişli çark, kam, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılırlar(Şekil4.7). Nylon, takviye edilebildikleri için termal sprey proseslerinde genellikle kompozit kaplama üretiminde kullanılmaktadır [27].



Şekil 4.7. Nylon'un uygulama alanlarını [27]

4.4.8. Akrilik (PMMA)

Kristal gibi parlak görünen, atmosferik etkilere dirençli, ağırlığı cam ağırlığının yarısı kadar olan bu polimerin darbe mukavemeti de yüksektir. Termoset akrilik toz

kaplamalar uzun süreli kullanımlarda renklerini muhafaza etmeleri ve yüzeye olan tutunmalarının yüksek olmasından dolayı kullanılmaktadır. Bu gibi yüksek özelliklerinin yanında çok fazla renk çeşidine sahip olduğu için alev sprej yöntemiyle üretiminde, genellikle görsellik istenilen yerlerde kullanılır. Binaların dış cephe kaplamalarında, trafik işaretlerinde, reklam panolarında kullanılmaktadır (Şekil 4.8) [26,27].



Şekil 4.8. Akrilik malzemelerin cam özelliğini ve uygulama alanını [27].

4.4.9. Epoksi reçine (EP)

Termal ve kimyasal mukavemetleri çok iyidir. Atmosferik koşullara çok iyi dayanım gösterirler. Oldukça düşük olan mukavemetleri, lifli takviyeler ile güçlendirilmektedir. Yapısındaki epoksi gruplar sayesinde çapraz bağ yoğunluğunun artmasında neden olur ve kaplamanın kimyasallara, sıcaklığa karşı direncinin artmasına neden olur. Uzun zincirli poli esterlerin kullanılması ile aromatik epoksi reçinelerin çekme ve darbeye karşı özelliklerinin artması mümkündür. Epoksi kaplamaların en önemli özelliği kaplama yapıldığı metalik yüzeylere olan yapışmasıdır. Ayrıca kimyasallara karşı direncinin yüksek olması kaplamanın daha uzun süre kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Curing işlemi esnasında kaplamadaki büzülme azalması kaplamada oluşabilecek çatlakların azalmasına neden olmaktadır.

4.4.10. Polikarbonat (PC)

Aleve karşı dirençli, besin maddeleri ve ilaçlara etkileşimsiz, atmosfere ve uv ışınlarına dirençli, darbe mukavemeti parça kalınlığına göre değişen fakat 6,5mm kalınlıkta bile hala daha mukavemetini koruyabilen bir polimer malzemedir. Aleve karşı direnci ve darbe mukavemetinden dolayı daha çok yalıtım istenen atölye tarzı işletmelerde kullanılır. Kristalin bir yapıya sahip olup saydam, açık hava ve ışıktan etkilenmemesi özellikle kaplama malzemesi olarak kullanılmasına neden olmuştur. Ancak petrol esaslı yağ ve yakıtlara dayanımı sınırlıdır [26,27].

4.4.11. Polietereterketon (PEEK)

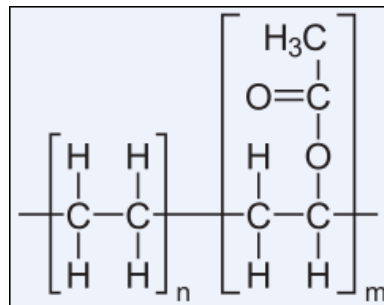
İlk olarak victrex firması tarafından bulunan, kısmi kristalliğe sahip bu polimer tel kaplama ve kompozit malzemeler için uygun bir reçinedir. Oda sıcaklığında tok, rijit uzun sürede aşınmaya karşı çok dirençli bir polimer malzemedir. Sulu ortama ve çözücülere karşı dirençlidir. Kristal yapılı, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir polimerdir. Yüksek sıcaklık özellikleri aromatik yapıya bağlıdır. Bunun yanı sıra kristalin yapı reçineye iyi bir yorulma mukavemeti, organik çözücülere karşı direnç sağlar. Isıya karşı kararlılığı çok iyidir. Uygun boya ve katkı maddelerinin ilavesi ile ultraviyole ışınlarına karşı direnci daha da arttırılır. Bu polimer malzeme uçak, askeri, nükleer santral gibi alanlarda kullanılabilen tel ve kablo için yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Alev sprej yöntemiyle PEEK kaplamalarının üretimi ile bu kaplamaların aşınma direnci ve elektriksel özellikleri üzerine birçok deneyler yapılmıştır. Alev sprej yöntemiyle üretilen PEEK kaplamalar, günlük ihtiyaçların yerine mühendislik anlamında hizmet etmektedir. Ulaştırma, elektronik ekipmanlarında kullanılmaktadır. PEEK malzemesinin kullanıldığı yerler şekil 4.9. de gösterilmiştir [26,27].



Şekil 4.9. PEEK malzemesinin kullanım alanları [27].

4.4.12. Etilen vinil asetat (EVA)

Etilen Vinil Asetat (EVA) etilen ve vinil asetatın kopolimeridir. EVA' nın yapısında kristallenme düşüktür, fakat yoğunluk yüksektir ($0.922-0.943 \text{ g/cm}^3$). Çünkü içerisindeki vinil asetat amorf fazların yoğunluğunu artırır. Ağırlıkça %20' nin üzerinde vinil asetat içeren EVA çeşitli ekstrizyon ve kalıplama uygulamalarında kullanılır. %2-5 vinil asetat içeren EVA, PE ile benzer davranış gösterir fakat darbe dayanımı daha yüksektir, düşük sıcaklıkta esnekliği daha iyidir ve ısı yapışma sıcaklığı daha düşüktür. %7,5-12 vinil asetat içeren EVA daha çok esnekliğe sahiptir, delinme direnci yüksektir ve darbe dayanımı çok iyidir. Bu kopolimerler yüksek performanslı film kaplamalarda kullanılırlar [28]. EVA kopolimerleri rastgele yapılandırılmış polimerlerdir, üstün ozon direnci, hava koşullarına direnç ve üstün mekanik özelliklere sahiptir. EVA, kablo yalıtımı için yaygın olarak kullanılan bir polimerdir [28].



Şekil 4.10. EVA'nın bağ yapısı [29].

Etilen zincirine vinil asetat dahil edilmesi esneklik, tokluk ve berraklığı artırır. Diğer önemli özellikleri düşük sıcaklıklarda tokluk ve iyi işlenebilirliktir. Bu önemli özelliklerinden dolayı EVA kopolimerleri yüzey kaplama malzemeleri, tel ve kablo kaplamaları, esnek borular, ayakkabı tabanı ve gıda paketlenme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır [28].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneysel Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Tez çalışmasında, alev sprej yöntemiyle polimer kaplama üretimi için optimizasyon ve karakterizasyon işlemleri ön görülmüştür. Kaplama mikroyapılarına etki eden parametreler tezin ana temasıdır. Literatür taraması ile belirlenen birincil parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak üretimi optimum hale getirmek için numuneler hazırlanıp kaplanmıştır. Üretilen numuneler sırasıyla makro, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ve sertlik deneyi sonuçlarına göre yorumlanmış ve karakterizasyon bilgilerine göre optimum numuneler üretilmiştir. Optimum numunelere 3 nokta eğme deneyi ve yapışma mukavemeti testleri ile alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu yöntemin farklı altlık malzemelerine uygulanabilirliği deneysel olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır.

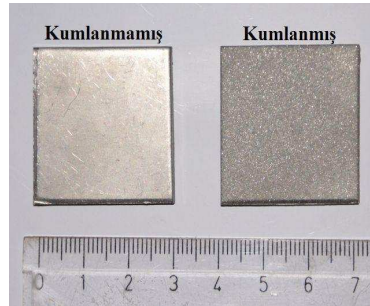
5.2. Polimer Kaplamaların Üretimi için Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

Kaplama tabakasının özelliklerine etki eden parametrelerden biri de yüzey hazırlama işlemidir. Altlık-kaplama arasında güçlü bir bağlanma, yüzey üzerindeki nem, yağ ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesiyle sağlanabilir. Termal sprej kaplamalarında, altlık ile kaplama arasındaki bağlanma türü mekanik olduğu için, yapışma mukavemetini artırmak amacıyla kaplama öncesi altlık yüzeyinin pürüzlendirilmesi önemli bir işlemdir.



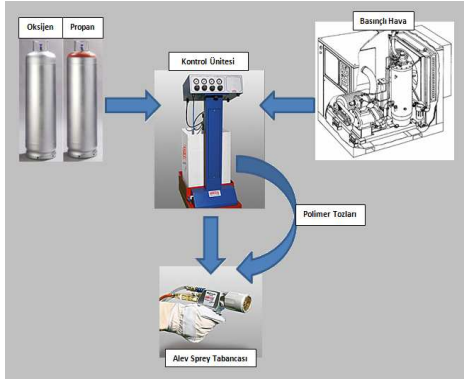
Şekil 5.1. Basınçlı kumlama kabini

Kaplamaların yüzey pürüzlendirilmesi kumlama ile yapılmaktadır. Kumlama işlemi 30–36 gritlik alümina toz kullanılarak yapılmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğü kumlama tabancasının, numune yüzeyine 90°'lik bir açı ile tutulmasıyla elde edilir. Kumlama basıncı 85 Psi seçilmiştir. Şekil 5.2' de orijinal ve kumlanmış numune resimleri görülmektedir.



Şekil 5.2. Kumlama öncesi ve sonrası numunelerin görüntüsü

Polimer kaplamaların üretimi için IBEDA® firmasının F311 FX-S modeli polimer alev sprej sistemi kullanılmıştır. Sistemin ağırlığı yaklaşık olarak 30kg olup propan, oksijen ve basınçlı hava ile çalışmaktadır. Sistem -200+80µm boyutundaki polimer tozları ile çalışmakta olup saatte 8-10kg kaplama kapasitesine sahiptir. Manuel ateşlemeye sahip olan bu sistemin en büyük mobil olmasıdır. Sistem Şekil 5.3' de gösterilmektedir.



a)

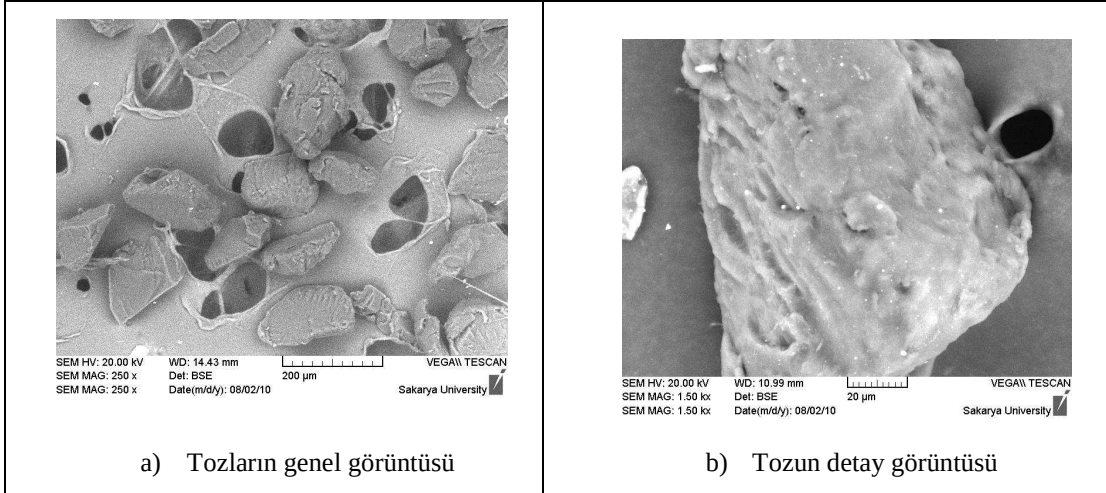


b)

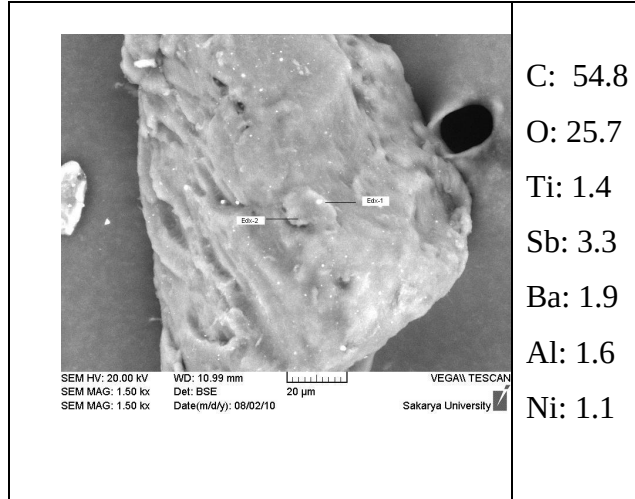
Şekil 5.3. a) IBEDA® firmasının F311 FX-S modelli Polimer alev sprej sistemi şematik gösterimi

b) Cihazın gerçek görüntüsü

Kaplama tozu olarak iyi özelliklere sahip olması ve kolay bulunabilmesi nedeniyle EVA kopolimeri seçilmiştir. EVA kopolimer tozlarına ait SEM görüntüsü Şekil 5.4' de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Polimer tozlarının SEM görüntüsü



Şekil 5.5. Tozların SEM görüntüsü ve EDX analizi

5.3. Polimer Kaplamaların Karakterizasyonu için Kullanılan Cihazlar

Numuneler, kumlama işleminden önce ve sonra ayrıca kaplama işleminden sonrada ağırlık ve kalınlık değişiminin incelenebilmesi için tartı ve kumpastan yararlanılmıştır. Ağırlık ve kalınlık değişimi tespiti yapılan numunelerin, yüzey ve renk kalitesini karşılaştırabilmek için Şekil 5.6’da gösterildiği gibi makro görüntüleri çekilmiştir.



Şekil 5.6. Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamanın makro görüntüsü

Birincil parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak üretilen numuneler, Şekil 5.7’ de gösterilen Shore A sertlik cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 5.7. Shore A standardına göre sertlik aleti

Numuneler, metalografi hazırlama işlemlerine uygun hale getirilebilmesi için kesme cihazı ile yeterli büyüklük de parçalara ayrılmıştır. Şekil 5.8’ de kullanılan kesme cihazına gösterilmiştir.



Şekil 5.8 .Kesme cihazı

Uygun boyuta getirilen numuneler vakum altında bakalite alma cihazı ile soğuk olarak kalıplanmıştır. Şekil 5.9’ da vakum altında bakalite alma cihazı ve Şekil 5.10’ de bakalite alınmış numuneler gösterilmiştir.

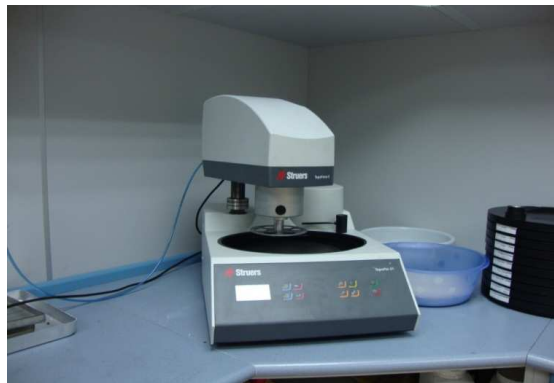


Şekil 5.9. Vakum altında bakalite alma cihazı



Şekil 5.10. Bakalite alınmış numunelerin makro görüntüsü

Kalıplanan numuneler, zımparalama ve parlatma cihazında sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemine tutulmuştur. Bu şekilde metalografik yüzey hazırlama işlemleri tamamlanmıştır.



Şekil 5.11. Numune zımparalama- parlatma cihazı

Metalografik olarak hazırlanan numuneler optik mikroskobu ile 50x büyütmede görüntüleri alınmıştır. Optik mikroskop görüntüsü Şekil 5.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Optik mikroskop ve Stereo mikroskobu

Üretilen bazı numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile bazı numunelerin görüntüleri çekilmiştir. Şekil 5.13’ de kullanılan SEM mikroskobu görülmektedir.



Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Üretimin optimizasyon edilmesi ile bulunan parametreler dahilinde kaplamalar üretilmiş ve 3 nokta eğme ve yapışma mukavemeti deneyleri, mekanik basma ve çekme test cihazında yapılmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Mekanik çekme test cihazı

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE KARAKTERİZASYON

Kaplama işlemleri, Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında manuel olarak yapılmıştır. Polimer kaplamaların üretimi için IBEDA® firmasının F311 FX-S modelli polimer alev sprej sistemi kullanılmıştır. Polimer tozu olarak Bölüm 4’de özelliklerinden bahsedilen ve kolay bulunabilen EVA kopolimeri tercih edilmiştir. Literatür taraması sonucunda ve IBEDA® firmasının yayınlamış olduğu kataloga göre kaplama mesafesinin 20cm olduğu görülmüştür ve kaplamalar buna mesafeye göre üretilmiştir. Kaplama süresi ise 30sn ile sınırlandırılmıştır. Cihazın kullanım prosedürüne göre oksijen basıncı 1,5 bar, propan(C_3H_8) basıncı 1,2 bar ve basınçlı hava 3 bar’da sabitlenmiştir. Literatür araştırması ile kaplamayı etkileyen birincil parametrelerin yakıt bileşiminin oranı ve altlık malzemesinin kaplama öncesindeki sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Yakıt bileşim oranının ve ön ısıtma sıcaklığının optimize edilmesi ile birlikte toz besleme basıncının kaplama üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

6.1. Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranın Belirlenmesi

Hidrokarbonlu bir gazın oksijen ile yakılması elde edilen alev 3 farklı stokiometriden birine sahiptir. Bunlar; oksitleyici, nötr ve redükleyici alevdir. Kaplama tabancasında arzu edilen aleve bağlı olarak propan/oksijen akış miktarları değiştirilmektedir. Polimer tozunun eritilmesinde kullanılan alevin cinsinin kaplama tozlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi (örn. yanma, kimyasal bağ yapısının bozunması vb.) bilinmemektedir. Alev türünün değiştirilmesi kaplama tabancasında oluşturulan gazların basınçlarına bağlıdır. Uygulamalarda propan basıncı 1,2 bar, oksijen basıncı ise 1,5 bar olarak kaplama tabancası üzerindeki gaz ventillerinden ayarlanmıştır. Polimer esaslı kaplamalar farklı yanma gazı/yakıcı gaz oranlarında üretilmiştir (Tablo 6.1)

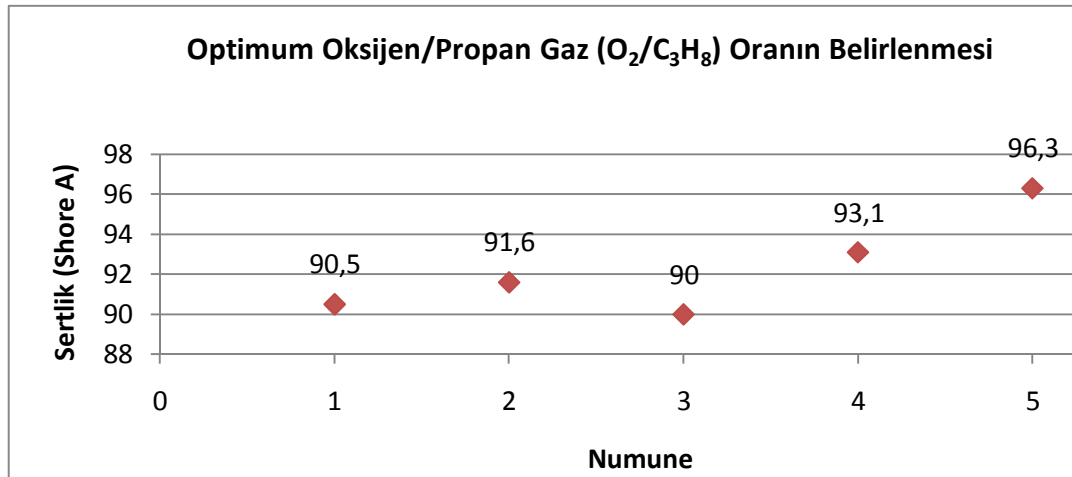
Tablo 6.1. Farklı oksijen /propan oranlarına bağlı üretilen kaplamalar ve özellikleri

Numune	O ₂ /C ₃ H ₈	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sertlik Shore A	Yüzey Görünümü
N1	2:1	1010	90,5	Yüzey pürüzlü
N2	3:1	1200	91,6	Yüzey görünümü makroskobik olarak iyi
N3	4:1	600	90,0	
N4	3:2	600	93,1	
N5	3:3	320	96,3	Yanma-Renk değişimi

Üretilen kaplamalar, gözle görsel renk özelliklerindeki değişim yönünden incelenmiş ve tabaka sertlikleri Shore A skalasına göre ölçülmüştür. Ayrıca üretilen numuneler diğer analizlerde (optik mikroskop incelemelerinde) kullanılmıştır. Üretilen numunelerin üst yüzey fotoğrafları Şekil 6.1’ de verilmiştir. Kaplamalarda propan/oksijen gaz oranına bağlı olarak üretilen kaplamaların yüzey kalitesi ve renk özelliklerinin değiştiği tespit edilmiştir.

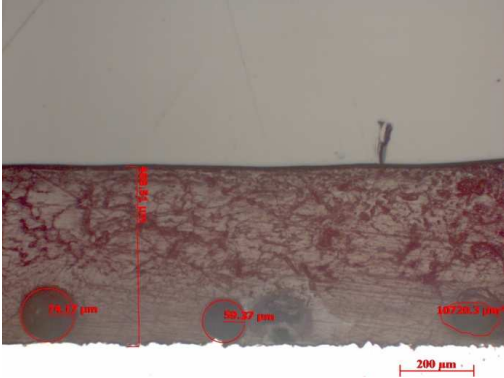
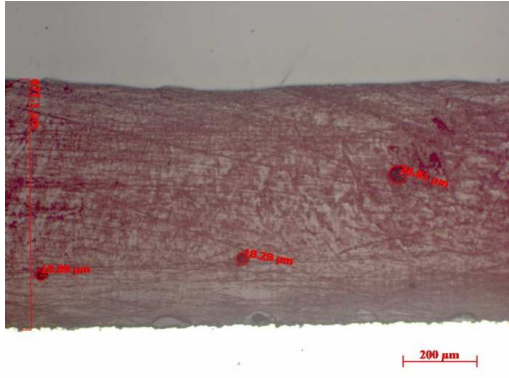
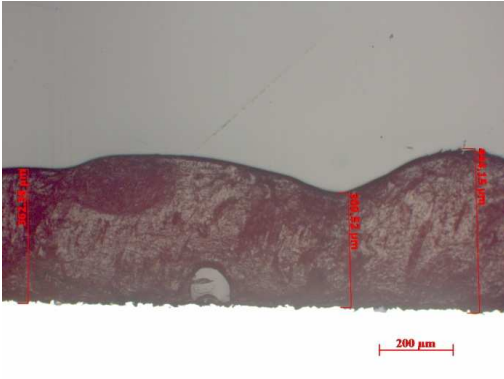
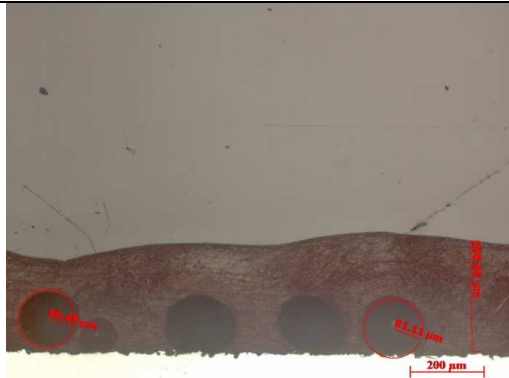
Oksijen/Propan Optimizasyonu		
		
N1, Düşük yüzey kalitesi	N5, yüzeyde yanma kaynaklı sararma	
		
Yüzey kalitesinde belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.		
N2	N3	N4

Şekil 6.1. Oksijen/propan oranı optimizasyonu için üretilen numunelerin makro görüntüleri



Şekil 6.2. Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranına göre üretilen numunelerin sertlik değerleri

Yakıt oranına göre optimizasyon için üretilen numuneler, optik mikroskop ile 50x büyütmede görüntüleri alınıp kaplama kalınlıkları ve kaplamadaki boşluk büyüklükleri ölçülmüştür. Optik mikroskop ile çekilmiş resimler Şekil 6.3' de verilmiştir.

Optimum Oksijen/Propan Gaz (O_2/C_3H_8) Oranına Göre Optimizasyon	
N1	N2
	
N3	N4
	
N5	
	

Şekil 6.3. Optimum Oksijen/Propan gaz (O_2/C_3H_8) oranına göre üretilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Optik mikroyapı resimlerinde N2 kodlu numune hariç diğerlerinin tabaka-altlık ara yüzeyinde büyük boşlukların varlığı açıkça görülmektedir. N2 kodlu numunede ise boşluk miktarı daha azdır. N2 kodlu numunenin oksijen/propan oranı 3:1 olarak seçilmiş olup en iyi kaplama kalitesini (porozitesiz ve homojen kalınlıkta) sağlamıştır.

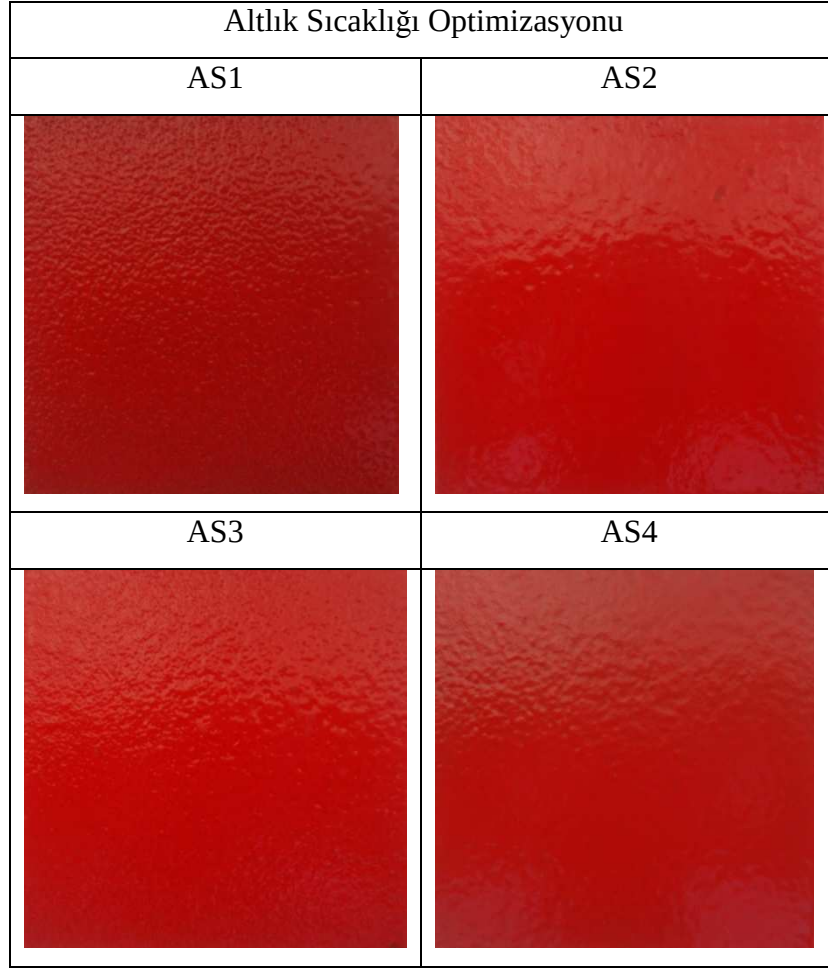
6.2. Optimum Altlık Sıcaklığının Belirlenmesi

Literatürde, alev sprej yöntemi ile üretilen polimer esaslı kaplamalarda en önemli parametrenin altlık sıcaklığı oldu ifade edilmiştir. Daha önce belirlenen oksijen/propan gaz oranı (3:1) sabit tutularak, kaplanan numunelerin ön altlık sıcaklığı 50, 100, 150 ve 200°C olarak değiştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak yapılan kaplamaların kalınlık, sertlik ve yüzeyin görsel kalitesi yönünden belirlenen özellikleri Tablo 6.2’ de özetlenmiştir.

Tablo 6.2. Altlık sıcaklığına bağlı özellikler

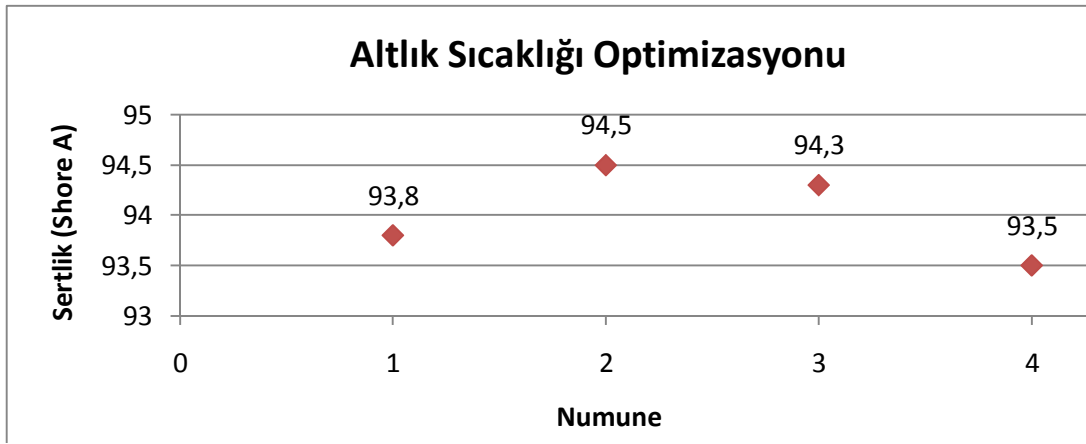
Numune	O ₂ / C ₃ H ₈	Altlık Sıcaklığı (°C)	Tabaka Kalınlığı (µm)	Sertlik Shore A	Yüzey Görünümü
AS1	3:1	50	600	93,8	Pürüzlü
AS2		100	720	94,5	İyi
AS3		150	630	94,3	İyi
AS4		200	590	93,5	Renk değişimi gözlemlendi

Altlığın sıcaklığına bağlı olarak üretilen numunelerin makro yüzey görüntüleri Şekil 6.4’ de görülmektedir. İnceleme sonucunda; AS1 nolu numune yüzeyinin çok pürüzlü olduğu, AS2 ve AS3 nolu numunelerde ise olumsuz olarak kabul edilebilecek bir durum olmadığı, AS4 nolu numune de ise altlık sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı polimer kaplamasının renginin değiştiği gözlemlenmiştir. Numunelerin Shore A’ ya göre belirlenen sertlik değerleri birbirine yakın olup herhangi bir fark gözlenmemiştir.



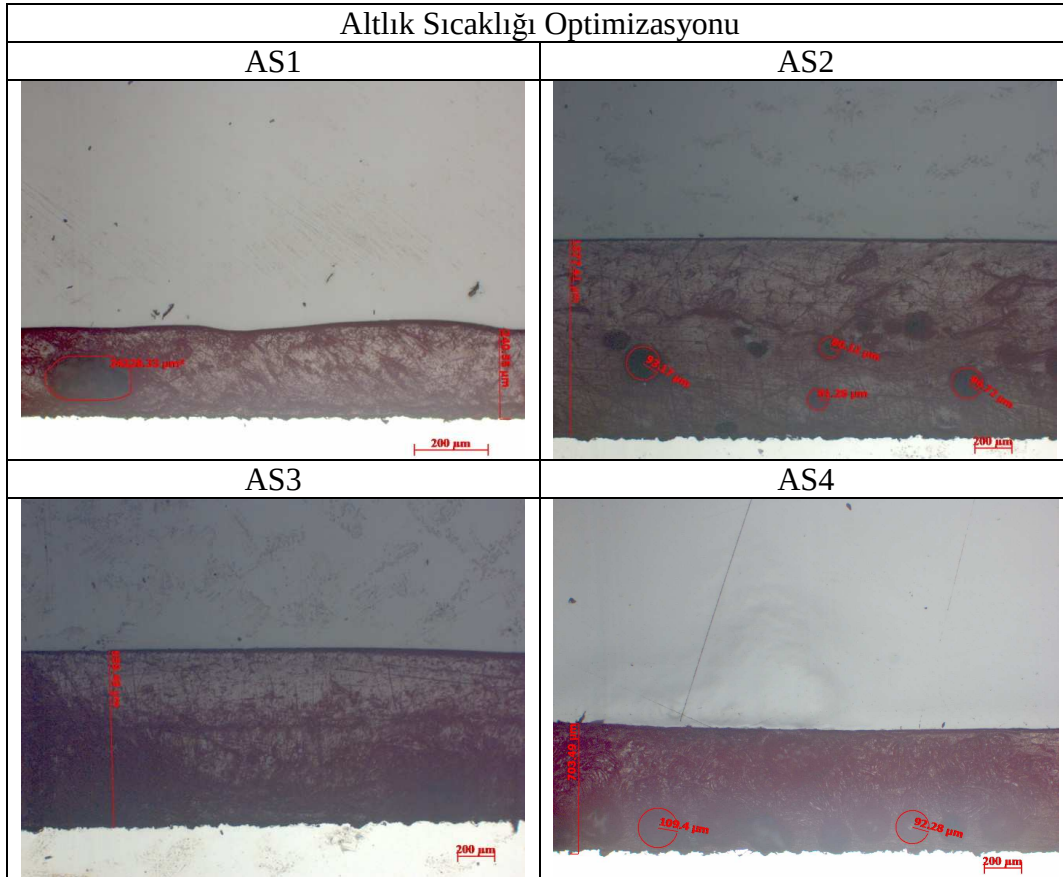
Şekil 6.4. Altlık sıcaklığı optimizasyonu için üretilen numunelerin makro görüntüleri

Altlık sıcaklığının mikroyapı özelliklerine olan etkisinin belirlenmesiyle yapılan mikroyapı görüntüleri Şekil 6.4’ de verilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde benzer şekilde porozite, tabaka kalınlığının değişimi gibi kriterler göz önüne alınmıştır.



Şekil 6.5. Altlık sıcaklığı optimizasyonu için üretilmiş numunelerin sertlik değerlerinin grafik gösterimi

Altlık sıcaklığı optimizasyonu için üretilen numuneler, optik mikroskop ile 50x büyütmede görüntüleri alınıp kaplama kalınlıkları ve kaplamadaki boşluk büyüklükleri ölçülmüştür. Optik mikroskop ile çekilmiş resimler Şekil 6.6' da verilmiştir.



Şekil 6.6. Altlık sıcaklığı optimizasyonu için üretilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Optik resimlerine göre; AS1 ve AS2’de çok sayıda boşluk olduğu görülmüştür (Şekil 6.6). AS4’de polimer kaplama ile altlık malzemenin birleştiği yüzeyde büyük boyutta boşlukların bulunmaktadır. AS3 kodlu numunenin metalografik incelemesinde kaplama kalınlığının üniform olması ve yapıda az miktarda boşluk bulunması nedeniyle optimum altlık sıcaklığının 150°C olarak seçilmesinin uygun olduğu görülmüştür.

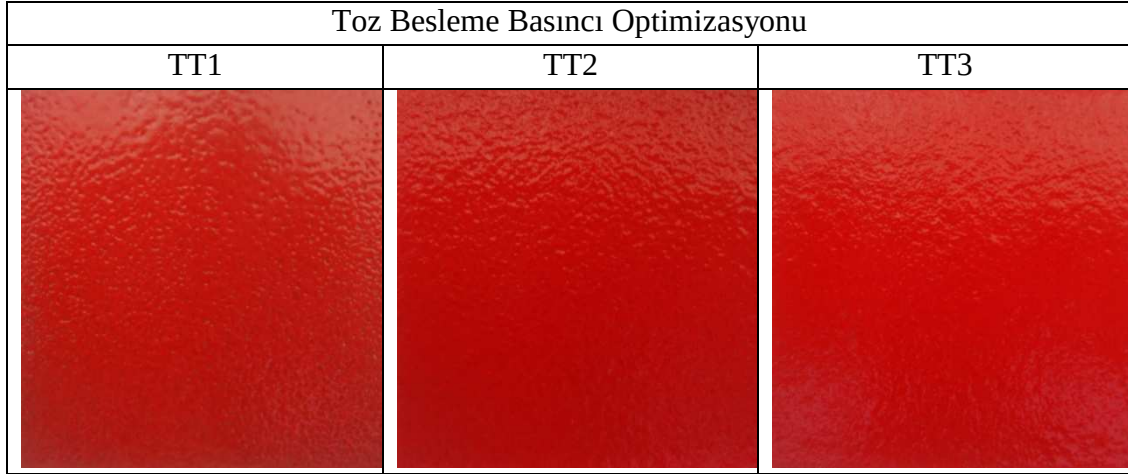
6.3. Optimum Toz Taşıyıcı Gaz Besleme Basıncının Belirlenmesi

Gaz oranları ve altlık sıcaklığı optimizasyon çalışmasında belirlenen optimum parametreler baz alınarak (oksijen/propan oranı 3:1 ve altlık sıcaklığı 150°C), toz besleme basıncını optimize etmek için 1,5-1,8-2,0 bar taşıyıcı toz basıncı kullanılarak kaplamalar üretilmiştir. Kaplamaların özellikleri Tablo 6.3’ de özetlenmiştir.

Tablo 6.3. Farklı toz besleme basıncında üretilen kaplamaların özellikleri (TT: taşıyıcı toz basıncı)

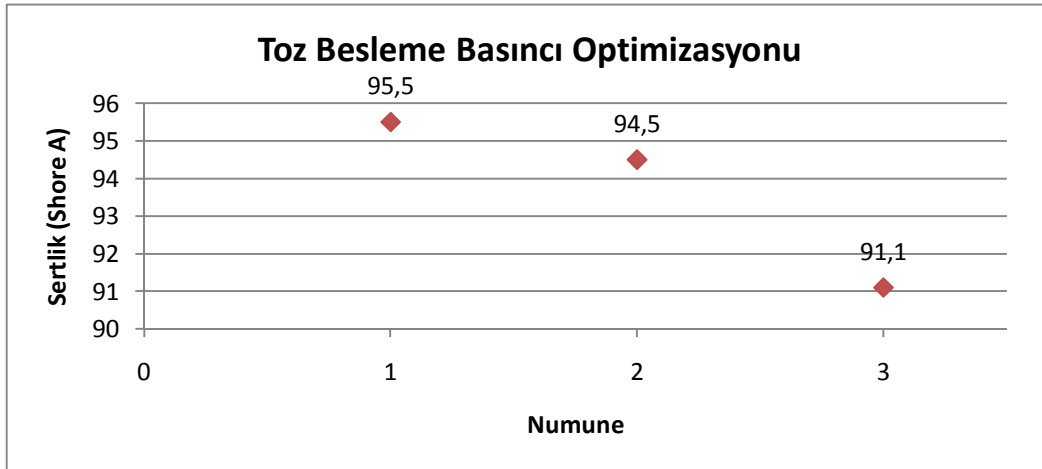
Numune	O ₂ /C ₃ H ₈	Altık Sıcaklığı (°C)	Toz Besleme Basıncı (bar)	Kalınlık (µm)	Sertlik, ShoreA	Yüzey Görünümü
TT 1	3:1	150°C	1,5	170	95,5	Pürüzlü
TT 2			1,8	630	91,1	İyi
TT 3			2	1110	94,5	Pürüzlü

Toz besleme basıncı optimizasyonu için üretilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.7’ de verilmiştir. Makro görüntülere göre inceleme yapıldığında TT1 ve TT3’e ait kaplamaların yüzeyinde pürüzlülük gözlenmiş, TT2’de olumsuz bir yapı tespit edilmemiştir.



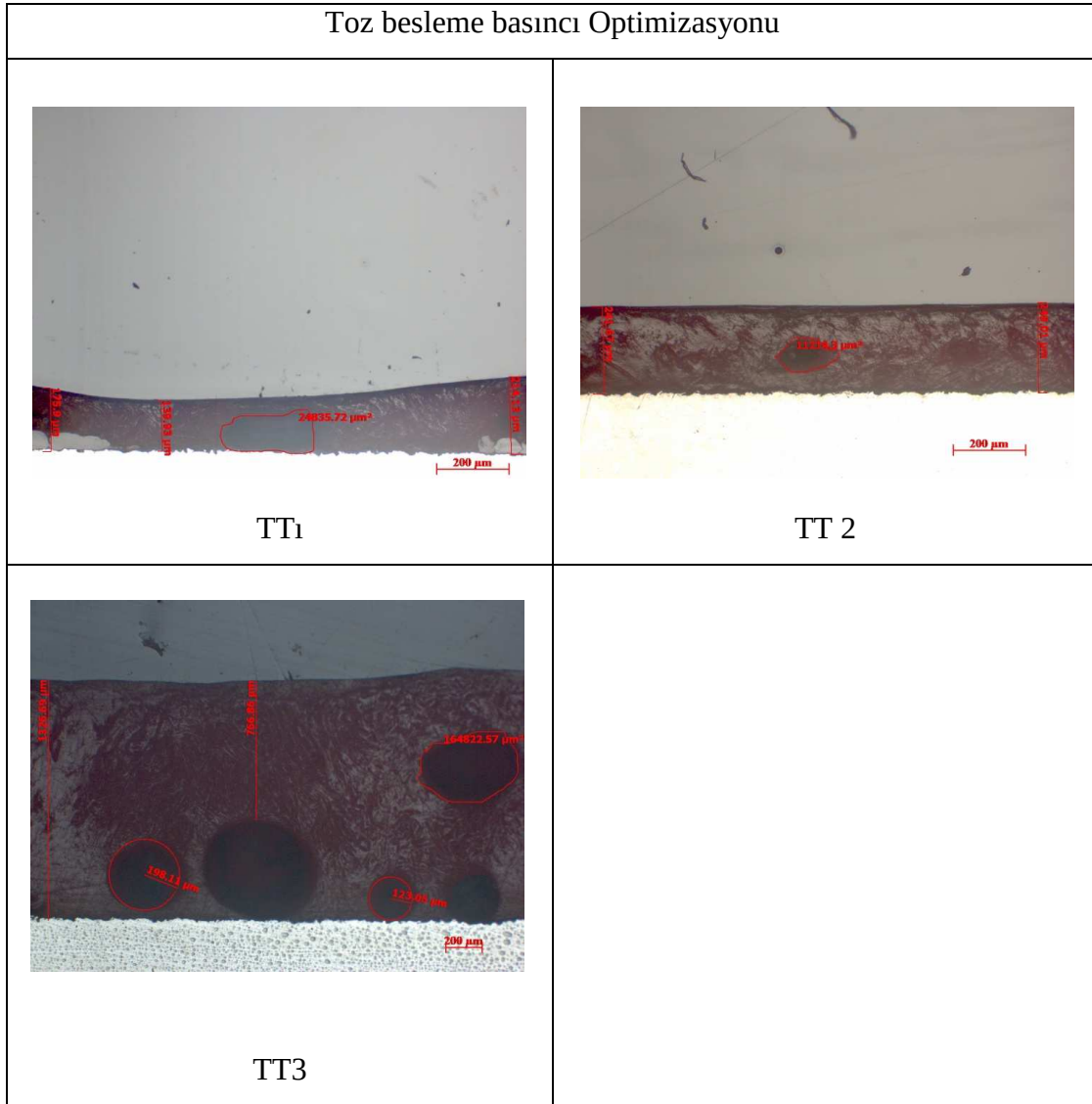
Şekil 6.7. Taşıyıcı toz besleme basıncına göre üretilen numunelerin makro görüntüleri

Numunelerin Shore A birimine göre sertlik testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.8’ de grafik olarak gösterilmiştir. Sertlik değerlerine göre çıkan sonuçlarda makro görüntülere göre yapılan yorumlarla bağdaşmaktadır. Sertlik deneyi olarak da Numune 1 en iyi değere sahiptir.



Şekil 6.8. Toz besleme basıncı optimizasyonu için üretilmiş numunelerin sertlik değerlerinin grafik gösterimi

Toz besleme basıncı optimizasyonu için üretilen numuneler, optik mikroskop ile yapılan mikro yapı incelemesinden elde edilen görüntüler Şekil 6.9’ da verilmiştir.



Şekil 6.9. Farklı toz besleme basıncında üretilmiş kaplamaların mikro yapı görüntüleri

Optik resimlerine göre; Numune TT1'in toz beslemesi yetersiz kaldığı için kaplama kalınlığı istenilen düzeyde değildir. Numune TT3'de aşırı toz beslenmesinden dolayı, kısmi olarak ergiyen polimer tozlarından çıkan gazların tabaka içerisine hapsediği gözlenmiştir. TT2'de ise kaplama kalınlığının yeterli düzeyde olduğu ve aşırı miktarda boşluk olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan optimizasyon işlemleri sonucunda optimum toz besleme basıncının 1,8 bar olduğu tespit edilmiştir.

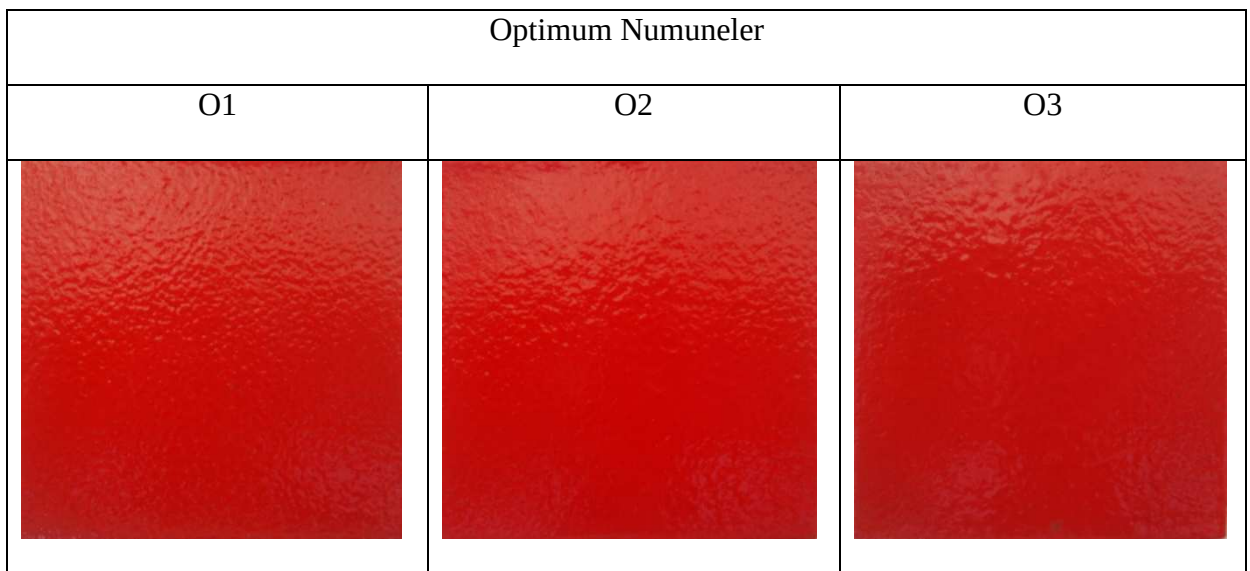
6.4. Belirlenen Optimum Parametrelerde Numune Üretimi ve İncelenmesi

Belirlenen optimize parametrelerde 3 adet kaplama numunesi üretilmiş ve bu numuneler üzerinde de karakterizasyon çalışması yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üretilen numunelerin özellikleri Tablo 6.4’ de verilmiştir.

Tablo 6.4. Belirlenen optimum değerlerde üretilen kaplamaların özellikleri

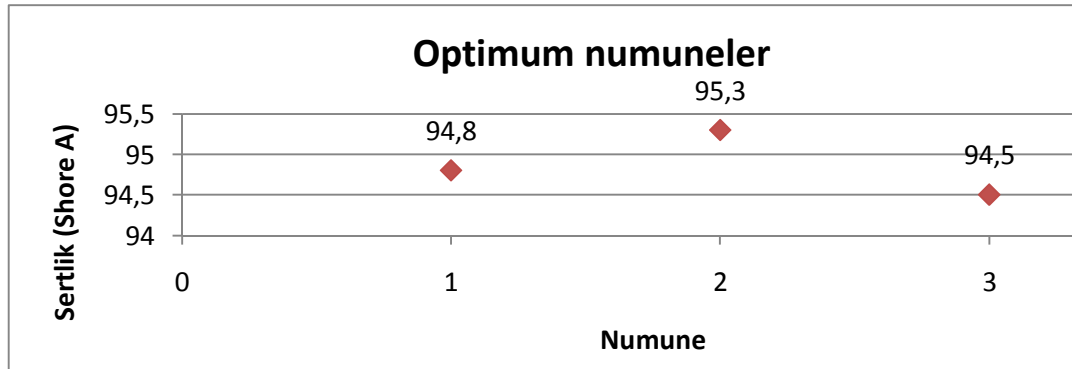
Numune	O ₂ / C ₃ H ₈	Altlık Sıcaklığı	Toz Besleme Basıncı (Bar)	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sertlik Shore A	Yüzey Görünümü
O 1	3:1	150°C	1,8	370	94,8	Uygun, iyi
O 2				270	95,3	
O 3				1320	94,5	

Manuel olarak üretilen kaplamaların, optimum özelliklerde üretilmesi amacıyla 3 adet numune üretilmiş ve uygulamanın ve kaplama kalitesinin tekrarlanabilirliği araştırılmıştır. Şekil 6.10’de üretilen kaplamaların makro yüzey görüntüleri verilmiştir. Makro görüntülere göre inceleme yapıldığında; üretilen numunelerin yüzey kalitesi ve polimer kaplamanın rengi bakımından ve görsel özellikler yönünden benzer olduğu gözlemlenmiştir.



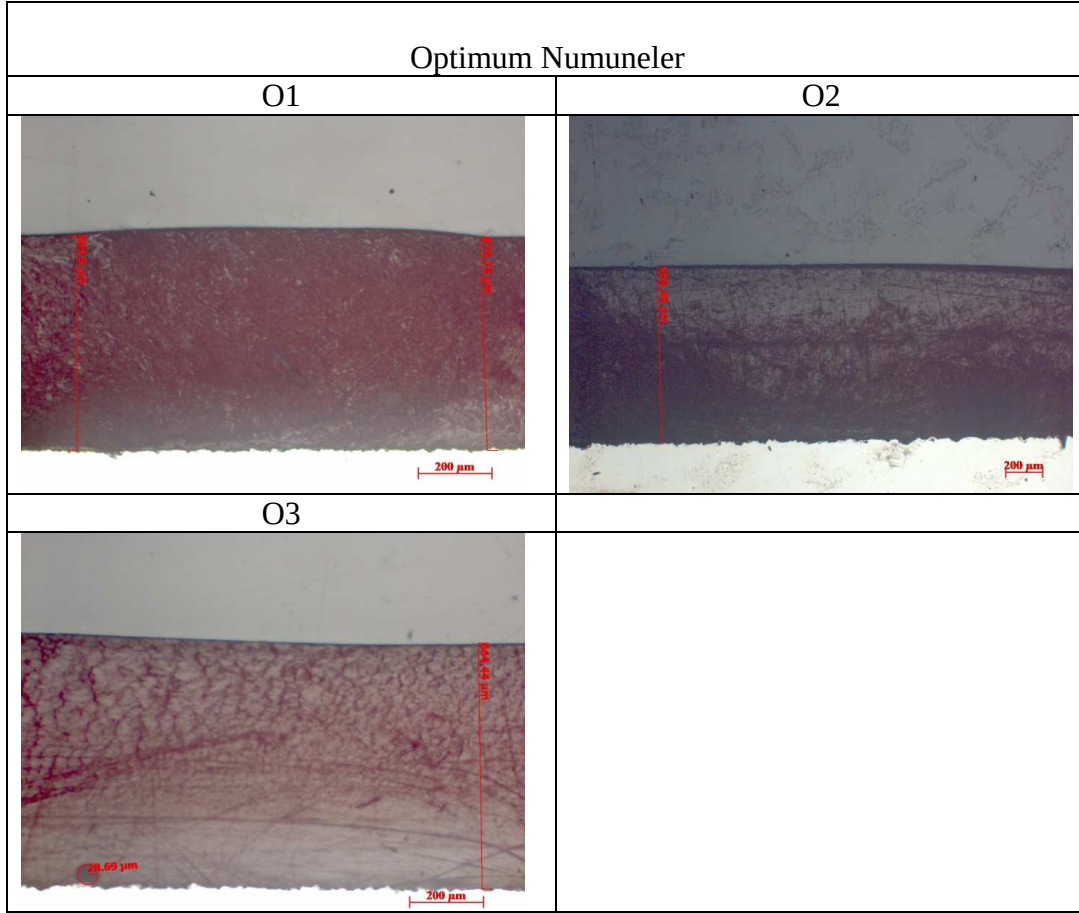
Şekil 6.10. Üretilen optimum numunelerin makro görüntüleri

Kaplama sisteminin üreticisi firmadan temin edilen EVA kopolimerinin kaplamasonrasındaki sertliğinin ortalama olarak 95 Shore A olduğu ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen üretimlerde özellikle optimum parametrelerde püskürtülen numunelerin sertliklerinin bu değere yakın olduğu görülmüştür. Üretilen optimum numunelerin sertlikleri Şekil 6.11’de verilmiştir ve değerlerin istenilen değerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.11. Üretilen optimum numunelerin sertlik değerlerinin grafik gösterimi

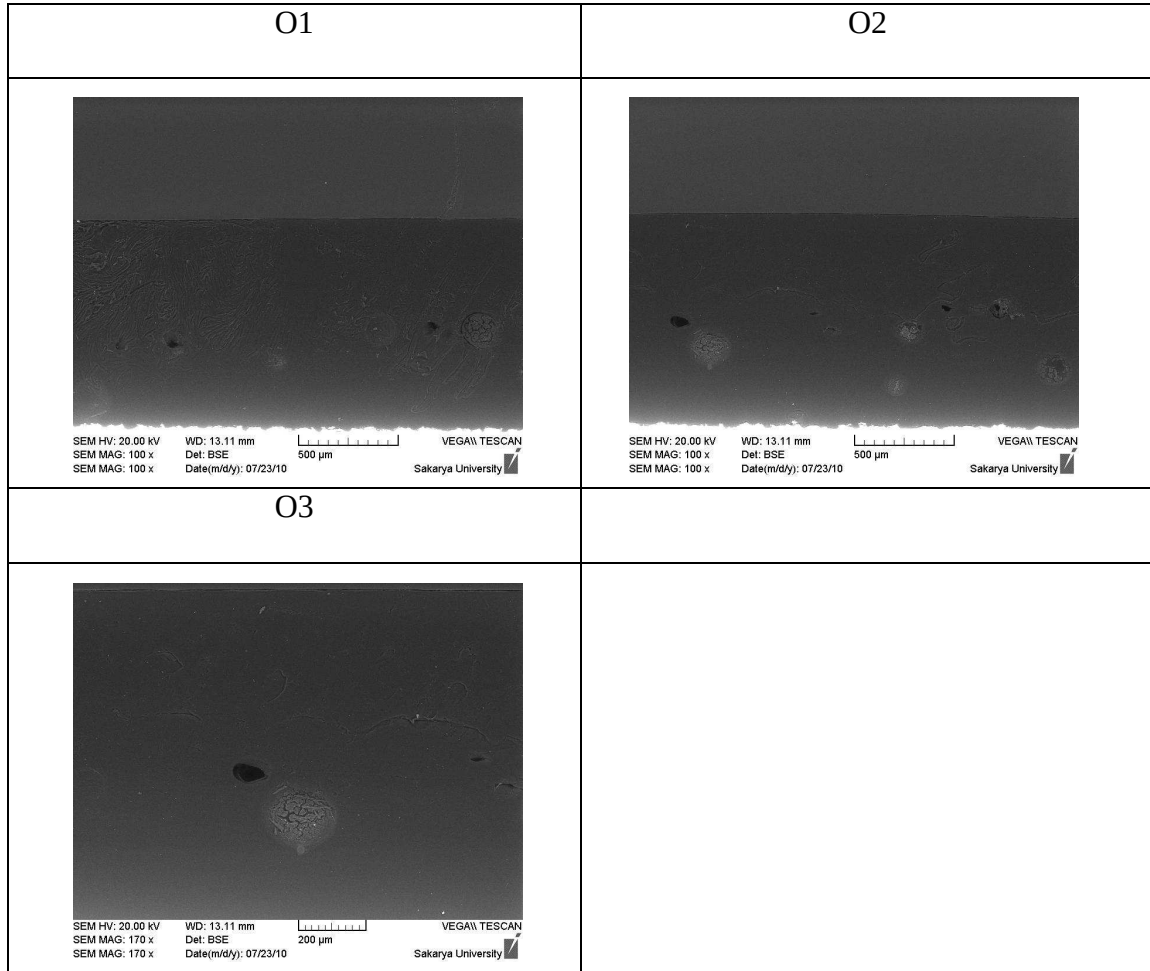
Optimum parametreler kullanılarak üretilen numunelerin optik mikroskop ile yapılan mikroyapı incelemesi ile elde edilen görüntüleri Şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12. Optimum parametrelerde üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Optimum parametrelere göre üretilen numunelerin, optik resim görüntülerine göre kaplama kalınlıklarının iyi olmasına ve yüzeyin düzgün olmasına rağmen azda olsa boşluk içerdiği gözlenmektedir. Bu durum kaplama sisteminin manuel olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Optimum parametrelere göre üretilen numunelerden çeşitli büyüklüklerde SEM görüntüleri alınmıştır. Sem görüntüleri Şekil 6.13' de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Üretilen optimum numunelerin SEM görüntüleri

Optimum numunelerden alınan SEM görüntülerine göre, kaplamalarda boşluk ve bir miktar erimemiş tozlar bulunmaktadır. Fakat kaplamaların altlık malzemelerine çok iyi bir şekilde yapışma sağladığı görülmüştür.

Optimum parametrelere göre üretilen kaplamaların altlık malzemesine yapışma dayanımlarını incelemek için 3 nokta eğme testi uygulanmıştır. Eğme deneyine 1mm/dk sabit hızda numune 90°'lik eğme konumuna gelene kadar devam edilmiştir. 3 nokta eğme testi sonrasındaki numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.14' da gösterilmiştir. Yapılan üç deney sonrasında da kaplamanın altlık malzemesinden ayrılmadığı görülmüştür.



Şekil 6.14. 3 nokta eğme testi sonrasında numunelerin makro görüntüsü

6.5. Alev Sprey Yöntemiyle Üretilen Polimer Kaplamaların Uygulanabilirliği

IBEDA® firmasının internet sitesinde ve kataloglarında, alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların farklı yüzeylere uygulanabildiği gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında SAÜ-TESLAB merkezinde bulunan IBEDA® F311 FX-S polimer alev sprej sistemi ile farklı yüzeylere polimer kaplama uygulanmıştır. Karton, cam, beton, seramik ve tahta gibi malzemelerin yüzeylerine polimer kaplama uygulanmıştır. Kaplama sonrası çekilen fotoğraflar Şekil 6.15, 6.16, 6.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Cam üzerine polimer kaplama



Şekil 6.16. Beton üzerine polimer kaplama



6.17. Seramik üzerine polimer kaplama

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamaların, üretiminde optimum parametreleri bulabilmek için karakterizasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu nedenle birincil parametrelerin optimum değerlerini bulabilmek için üretilen numunelerin makro, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu görüntülerine göre yorumlamalar yapılmış aynı zamanda sertlik değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Alev sprej yöntemiyle üretilen polimer kaplamalarda en dikkat edilmesi gereken parametre altlık sıcaklığıdır. Altlık sıcaklığı 100-150°C iken kaplama işlemine geçilmelidir.
- Kaplama öncesinde alevin rengine dikkat edilmelidir. Propan gazı oranının fazla olduğu alev ile kaplama yapıldığında polimerin renginde solma olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle görsellik uygulamalarında dikkat edinilmelidir.
- Polimer tozlarının özelliklerine göre çok farklı uygulamalarda kullanılabilecek kaplamalar üretilebilir.
- Kaplama mesafesi 20-30 cm arasında olmalıdır. Daha yakın olması halinde polimer kaplama yanmaktadır. Daha uzak mesafeden kaplama üretiminde de tozlar havada katılaştığı için yüzeye iyi olarak yapışmamaktadır.
- Toz beslemenin optimum değeri altında kaplama yapıldığında kaplama verimi düşmektedir ve yakıt israfı söz konusudur. Toz beslemenin optimum değeri üzerinde yapılan üretimlerde de kaplama içerisinde boşluk oluşmaktadır.
- Bu yöntemle termoplastik ve termoset polimer malzemeler kaplanabilmektedir.
- Aynı partikül boyut aralığında olan farklı iki polimer tozunun karıştırılıp kaplanması ile kompozit kaplamalar üretilebilir.
- Bazı uygulamalarda kaplama için öncü işlemlere gerek duyulmayabilir.
- Polimer alev sprej sisteminin manuel olarak çalışmasından dolayı sürekli olarak aynı standartta kaplama üretimi zordur.

- Polimer alev sprej tabancasının iyi soğutmaya sahip olmamasından dolayı her kaplama öncesinde toz beslemenin tıkanmamasına dikkat edilmelidir.
- Polimer alev sprej sistemi mobil olduğu için istenilen ortamda kaplama yapılabilir.
- Polimer alev sprej sisteminin toz beslemesinde oluşabilecek dalgalanmalar sonucunda kaplama içerisinde boşluk ve erimemiş partikül bulunabilir.
- Optimum parametreler ile üretilen kaplamalara korozyon ve aşınma deneyleri uygulanıp, kaplamaların aşınma direnci araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÜRGEN, M., Modern yüzey işleme teknolojileri ve Türkiye'deki gelişmeler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, pp. 333-350, 1997.
- [2] PAMUK, U., "Plazma Spreylenmiş Cr_3C_2 -NiCr ve Al_2O_3 -TiO₂ kaplamalarının abraziv aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [3] Ir. C.W.N. Veerling, C.Nap, "Proceedings of 6th International Metal Spraying Conference" ; Paris, Group G, pg. 1, 1970.
- [4] OĞUZ, B., "Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları teori-uygulama", Oerlikon kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., pp. 367-491, İstanbul, 1993,.
- [5] DORFMAN, M.R., Sulzer Metco(US) Inc., Thermal Spray Processes, Advanced Materials&Processes, (August 2002).
- [6] BAO, Y., and GAWNE, D. T., Process modeling of Thermal Spray Deposition of Thermosets, Surface Engineering, 11(3), 215-222, 195.
- [7] [http://www.sulzermetco.com/en/DesktopDefault.aspx/tabid-1740//3392read-5304/5 APRIL 2010](http://www.sulzermetco.com/en/DesktopDefault.aspx/tabid-1740//3392read-5304/5APRIL2010)
- [8] GEORGE, M., ROBERT., JACK,R.,MERLE, T., Second National Conference on Thermal Spray, 31 October-2 November, 1984.
- [9] YÜKSEK, E., "Ark Sprey Teknolojisi ile Şekilli Parça Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, pg. 8, Sakarya, 2008.
- [10] PAWLOWSKI, L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coating, Wiley & Sons, New York, NY, 1995.

- [11] ROBERT, B., Heinman, Plasma Spray Coating, VCH Verlag, ISBN 3-527-29430-9,1996.
- [12] GABRIELE, NUTSCH, Grundlagen der Oberflächentechnik, Physikalische Verfahren, TU ılmenau, German, 2000.
- [13] 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.
- [14] YONAR , H.Çağrı,”HVOF Yöntemi Kullanılarak WC-%17Co Kaplama Üretimi”,Bitirme Çalışması, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi,Mayıs 2009.
- [15] <http://www.graco.com/Internet/T PDB.nsf/SearcView/D-Gun/> (5 March 2005)
- [16] <http://www.gordonengland.co.uk/coldspray.htm> , (5 May 2006)
- [17] ÇALIŞKAN, O., “Termal Sprey Teknolojisinde Alternatif Uygulamalar”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Müh. Fak.Metalurji Müh. Böl., 2004.
- [18] SWARAJ, P., “Surface Coating”, ISBN:0-471-9518-2, 1996.
- [19] ALPAY, A., “Plazma Sprey ZrO₂ Termal Bariyer Kaplamasına Silisyum Karbür İlavesinin Kaplama özellikleri Üzerine Etkisi”,Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mayıs 2000.
- [20] SERTTAŞ, B., Termal Sprey Kaplama Teknolojisi, YüksekLisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [21] BERNDT M.L., BERNDT C.C., “Thermal Spray Coatings”, Brookhaven National Laboratory, 2003.
- [22] <http://www.xiom-corp.com/en> (06 May 2010)
- [23] SEVENCAN, F., VAİZOĞLU, S., A., “PET ve Geri Dönüşümü”, Kor Hek, 6, 4, pp.307-312, 2007.

- [24] ERBİL, M., TÜKEN, T., YALÇINKAYA, S., YAZICI, B., “İletken Polimerler Yardımıyla Korozyonun Önlenmesi”, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [25] AKINCI, A., “Polimerik Malzemeler Dersi Notları”, Sakarya Üniversitesi, 2008.
- [26] ÖKSÜZ, M., “Isıl Püskürtme Teknikleriyle Plastik ve Plastik Esaslı Kompzit Tozlarla Kaplanmış Yüzeylerin Mekanik ve Kimyasal zelliklerinin İncelenmesi” Marmara Üniversitesi, İSTANBUL 1999
- [27] AY, İ., “Plastik Malzemeler Dersi Notları”, Balıkesir Üniversitesi, 2008
- [28] MOHAMMAD, Z., B., “CHARACTERIZATION AND PROPERTIES OF EPOXIDISED NATURAL RUBBER (ENR-50) / ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA) BLENDS”, doktora tezi, Date Universiti Teknologi, Malaysia, 2007
- [29] http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Zağlı, 11.10.1985 de İzmit’ de doğdu. İlk ve orta eğitimini Kirazlıyalı’da tamamladı. 2003 yılında Körfez Oruç Reis Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 2008 yılında tamamladı. Daha sonra 2008 yılında aynı üniversitede yüksek lisansa başlamıştır.