

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ARK SPREY YÖNTEMİ İLE
PÜSKÜRTÜLMÜŞ ÖZLÜ TEL KAPLAMALARIN
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Sefa ATALAY

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatih ÜSTEL

Aralık 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

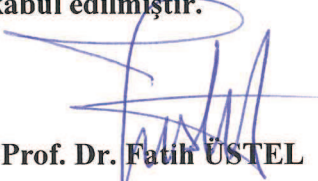
**ELEKTRİK ARK SPREY YÖNTEMİ İLE
PÜSKÜRTÜLMÜŞ ÖZLÜ TEL KAPLAMALARIN
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

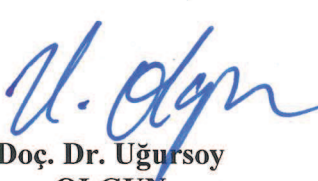
YÜKSEK LİSANS TEZİ

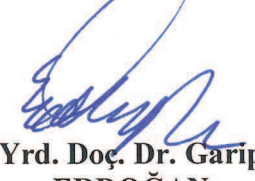
Ahmet Sefa ATALAY

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

Bu tez 29.12.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Fatih ÜSTEL
Jüri Başkanı


**Doç. Dr. Uğursoy
OLGUN**
Üye


**Yrd. Doç. Dr. Garip
ERDOĞAN**
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet Sefa ATALAY

01.12.2016

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında fikirleriyle ve deneyimleriyle beni yönlendiren, her konuda yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Fatih ÜSTEL'e en içten teőekkürlerimi sunarım. Bilgisini ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU'ya çok teşekkür ederim.

Deneysel çalıőmalarım esnasında destekleri ve katkılardan dolayı Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Laboratuvarı çalıőanları Uzman Murat Cihan ÇALIŐKAN, Ahmet TUNCA, Semih YÜCEL ile arkadaşlarım Enver TERZİ ve Ahmet ŐİMŐEK'e teőekkürlerimi sunarım. Tezi hazırlamamda benden yardım ve desteğini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Uzman Ömer TAMER'e teşekkür ederim.

Ayrıca bana, hayat boyu en büyük desteği sağlayan ve her zaman yanımda olan babam Yusuf ATALAY'a, annem Fatma ATALAY'a ve ablam Handan ATALAY'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

TERMAL SPREY KAPLAMALAR	3
2.1. Giriş	3
2.2. Termal Spreyin Tarihçesi	4
2.3. Termal Sprey Kaplama Tekniği	5
2.3.1. Alev püskürtme tekniği.....	6
2.3.2. Elektrik ark püskürtme tekniği	7
2.3.3. Plazma sprej tekniği.....	8
2.3.4. Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) tekniği.....	8
2.3.5. Detonasyon tabancası (D-Gun)	9
2.3.6. Soğuk sprej kaplama tekniği.....	11
2.4. Termal Sprey Kaplamaların Mikroyapısı	13
2.4.1. Porozite ve yoğunluk özellikleri.....	14
2.4.2. Yapışma ve iç gerilme özellikleri	16
2.4.3. Mekanik özellikler.....	17

2.4.4. Termal genişleme ve termal iletkenlik.....	17
---	----

BÖLÜM 3.

ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME TEKNOLOJİSİ.....	19
3.1. Giriş	19
3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi	20
3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği	21
3.4. Ark Spreyin Avantajları	23
3.5. Ark Spreyin Dezavantajları.....	23
3.6. EAS Kaplamalara Etki Eden Faktörler.....	24
3.6.1. Püskürtme mesafesinin etkisi	26
3.6.2. Voltaj ve amperin etkisi	27
3.6.3. Atomize gaz tipinin ve atomize gaz basıncının etkisi.....	27
3.7. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri.....	28
3.7.1. Al ve alaşımları	29
3.7.2. Zn ve alaşımları	30
3.7.3. Ni ve alaşımları.....	31
3.7.4. Zn-Al ve alaşımları.....	31
3.8. Elektrik Ark Sprey Kaplama Uygulama Alanları	31
3.8.1. Uçak parçalarının tamiratında	32
3.8.2. Aşınma uygulamaları.....	32
3.8.3. Korozyondan koruma	33
3.8.4. Otomotiv endüstrisi	33
3.8.5. Elektriksel uygulamalar.....	34
3.8.6. Parça tamirata.....	34
3.8.7. Kalıp hazırlama.....	35
3.8.8. Elektronik devreler	35

BÖLÜM 4.

ARK PÜSKÜRTMEDE KULLANILAN ÖZLÜ TEL MALZEMELER.....	36
4.1. Giriş	36
4.2. Elektrik Ark Püskürtmede Kullanılan Özlü Tel Malzemeler.....	37

4.3. Özlü Tel Üretimi	40
4.4. Özlü Tellerin Diğer Tellerden Farkı.....	41
4.5. Ark Püskürtmede Özlü Tel Kullanımı	43
4.5.1. Dolgu özlerinin partikül boyut dağılımı	43
4.5.2. Özlü telden üretilen kaplamalar.....	51

BÖLÜM 5.

AŞINMA KAVRAMI VE TÜRLERİ.....	62
5.1. Giriş	62
5.2. Aşınma Mekanizmaları	62
5.2.1. Abrazif aşınma	64
5.2.2. Adhezif aşınma	65
5.2.3. Korozif aşınma	66
5.2.4. Yorulma aşınması	67
5.2.5. Erozyon aşınma	68

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	70
6.1. Deneysel Çalışma Sistematiği	70
6.2. Kullanılan Kaplama Malzemeleri.....	71
6.2.1. Altlık malzemeler	71
6.2.2. Kaplama telleri	71
6.3. İncelenen Özellikler.....	72
6.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	73
6.4.1. Kuşlama ekipmanı	73
6.4.2. Elektrik ark püskürtme cihazı.....	74
6.4.3. Kesme makinesi.....	74
6.4.4. Bakalite alma cihazı.....	74
6.4.5. Otomatik parlatma	74
6.4.6. Aşınma cihazı	74
6.4.7. Stereo mikroskop.....	75
6.4.8. Taramalı elektron mikroskobu.....	75

6.5. Kaplamaların Üretimi	76
6.5.1. Altlık yüzeyin hazırlanması	76
6.5.2. Kaplama uygulaması	76
6.6. Mikroyapısal İncelemeler	77
6.6.1. Kaplama tellerinin mikroyapı incelemeleri	77
6.6.2. Kaplamaların mikroyapısal incelenmesi	77
6.7. Aşınma Testleri	77

BÖLÜM 7.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ	81
7.1. Giriş	81
7.2. Kaplama Tellerinin Karakterizasyonu	82
7.3. Kaplamaların Mikroyapısal İnceleme Sonuçları	84
7.3.1. Kaplamaların üst yüzey SEM görüntüleri	85
7.3.2. Kaplamaların kesit SEM görüntüleri ve EDX analizi	88
7.4. Aşınma Test Sonuçları	93
7.4.1. Aşınma izlerinin stereo mikroskop görüntüleri	96
7.4.2. Aşınma çizgilerinin SEM görüntüleri ve EDX analizleri	98

BÖLÜM 8.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
8.1. Sonuçlar	102
8.2. Öneriler	103

KAYNAKLAR	104
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	109
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Akım
ASTM	: Amerikan standardı
D-Gun	: Detonasyon tabancası
EAS	: Elektrik ark sprej
EDX	: Enerji dağılımlı X-ışını
HV	: Vickers sertlik
HVOF	: Yüksek hızlı oksij yakıt
Mpa	: Mega paskal
N	: Newton
PG	: Primer atomizasyon gazı
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
SG	: Sekonder atomizasyon gazı
Ti ₂ C ₃	: Titanyum karbür
V	: Voltaj
WC	: Tungsten karbür

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Termal sprej işleminin prensibi	4
Şekil 2.2. Schoop ilk defa elektrik operasyon aletleriyle deneysel bir çalışma yaparken.....	5
Şekil 2.3. Termal püskürtme kaplamaların genel görünümü	6
Şekil 2.4. Modern alev püskürtme ekipmanı	6
Şekil 2.5. Ark sprej püskürtme yöntemi uygulama anı	7
Şekil 2.6. Plazma sprej kaplama tekniği	8
Şekil 2.7. Yüksek hızlı oksijen yakıt sistemi	9
Şekil 2.8. Detonasyon tabancası (D-Gun) kaplama tekniği	10
Şekil 2.9. Soğuk sprej kaplama tekniği.....	12
Şekil 2.10. Tipik bir termal sprej kaplama prosesinin şematik olarak görünümü.....	13
Şekil 2.11. Termal sprej kaplama yapısı	14
Şekil 3.1. Elektrik ark sisteminin bileşenleri	20
Şekil 3.2. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.	21
Şekil 3.3. (a) Tel elektrotların asimetrik ergime davranışlarının gösterilmesi ilk olarak 1966'da Steffens tarafından yapılmıştır. (b) Her iki elektrotun levhasal formlarının stroboskopi (strobe) fotoğrafları 1995'de Wang tarafından ölçülmüştür.....	22
Şekil 3.4. Ark sprej kaplama tekniği.....	24
Şekil 3.5. Ark sprej tekniği ile kaplama oluşum mekanizması.	25
Şekil 3.6. Ark voltajının sprej hızı ve sıcaklığına etkisi.....	27
Şekil 3.7. Atomize gaz olarak hava kullanılarak yapılan kaplama yapısı a) Düşük hızda $94 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ b) Orta hızda $110 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ c) Yüksek hızda $144 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$.	28
Şekil 3.8. Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi	29
Şekil 3.9. Uçak motorunun tamir amaçlı kaplanma uygulaması	32

Şekil 3.10. Ağır sanayide kullanılan bir silindirin elektrik ark sprey prosesi yardımıyla kaplanması.....	32
Şekil 3.11. Köprü konstrüksiyonunun korozyona karşı kaplanması.....	33
Şekil 3.12. Ark sprey ile krank milinin kaplanması.....	34
Şekil 3.13. Kaplanmış varistör	34
Şekil 3.14. a) İş parçası yüzeyinde kullanım sırasında oluşan aşınma. b) Elektrik ark spreyle kaplanarak tamir edilmiş iş parçası.....	35
Şekil 3.15. Elektrik ark sprey yöntemiyle hızlı prototip kalıp üretimi ve üretilmiş kalıplar	35
Şekil 4.1. Özlü tel yapımı ve özlü telin tipik karakteristiği	37
Şekil 4.2. FeCrC özlü telin ark püskürtme tekniği kullanılarak yumuşak çelik altlığa püskürtülmesiyle elde edilen kaplamanın mikroyapısı.	39
Şekil 4.3. Ark sprey ile Ni / Al özlü telin püskürtülemsi ile elde edilen kaplamanın mikroyapısı.	39
Şekil 4.4. Co / WC özlü telden elde edilen ark sprey kaplama.....	40
Şekil 4.5. Özlü tel üretiminin şematik gösterimi.....	40
Şekil 4.6. Özlü tel üretim hattının şematik gösterimi	41
Şekil 4.7. (a) ve (d) katı tellere ait erime davranışını (b),(c) ve (e) ise özlü tellere ait erime davranışını göstermektedir.	42
Şekil 4.8. Katı teller kullanarak ark spreyle erime davranışı	44
Şekil 4.9. Teller için anot bölgesinden kaydedilen fotoğraflar.	45
Şekil 4.10. Yüksek voltaj kurulumlarında, daha büyük partikül boyut dağılımlı tozlarla doldurulan özlü teller ile düzgün olmayan parçalanmaların sayısının daha büyük olduğu görülmektedir.....	45
Şekil 4.11. Özlü telin içine yerleştirilmiş toz partikülleri ile metal katmanların oluşumu	46
Şekil 4.12. Eriyen zar malzemesinin doldurulan tozlara nüfuziyeti	47
Şekil 4.13. Daha küçük toz boyut dağılımlı özlü tellerde oluşan metal katmanın bozulması.....	48
Şekil 4.14. Kullanılan özlü tellerin doldurulan tozlardaki boşluklarını gösteren üç boyutlu X- ışınları tomografisi	48

Şekil 4.15. (a) da monokromatik radyasyon (b) de polikromatik radyasyon kullanılarak özlü telin kesitinden elde edilmiş 3D tomografi görüntüsü verilmiştir, (c) de 45+25 μm (d) de 90+63 μm partikül boyutlu özlü tel (AS781) uçlarının kesitlerinden elde edilen SR μ CT görüntüsü verilmiştir	49
Şekil 4.16. Özlü tel (AS781) uçlarından çıkarılan uzunlamasına kısmın SR μ CT görüntüsü verilmiştir	50
Şekil 4.17. Özlü tel (AS781, K _{ver} = -45+25 μm) ucunun tahribatlı testi (a) uzunlamasına kısmın ışık mikroskobu görüntüsü (b) BSE dedektörü ile elde edilen aynı kısmın SEM görüntüsü (c) bir üst resimde çizilen kare bölgenin BSE resmi	51
Şekil 4.18. a) Fe esaslı özlü telin sert partiküllerinin mikroyapısı b) Fe esaslı özlü telin yüksek hız kamera resmi	52
Şekil 4.19. Kaplama sırasında oluşan (a) Fe esaslı ve (b) Ni esaslı partiküller	52
Şekil 4.20. (a) AS781 (-90+63 μm) için splat oluşumu. (b) AS781 (-45+25 μm) için splat oluşumu	53
Şekil 4.21. (a) En yüksek partikül hızına sahip tellerden üretilen kaplamalar (b) En düşük partikül hızına sahip tellerden üretilen kaplamalar	54
Şekil 4.22. AS 751 s özlü telin ön kesit görüntüsü.	55
Şekil 4.23. Bir AS 751 s telinin ark püskürtme kaplama prosesinden sonraki kaplama morfolojisi gösterilmektedir	56
Şekil 4.24. AS 753 özlü tel kullanılarak elde edilen ark püskürtme kaplamanın kesitinden elde edilmiş SEM görüntüsü	57
Şekil 4.25. AS 751 s özlü telinden elde edilen ark püskürtme kaplamanın kesitinden elde edilmiş SEM görüntüsü.	57
Şekil 4.26. Demir esaslı Cr ₃ C ₂ kaplamaların mikro yapıları.	59
Şekil 4.27. (Fe, Cr) ₂₃ C ₆ , (Fe, Cr) ₇ C ₃ ' ün TEM ve SAEDP görüntüsü	60
Şekil 4.28. α -Fe' in kaplamadaki TEM ve SAEDP görüntüsü	60
Şekil 4.29. Abrazif aşınma test parçalarının yüzey morfolojilerinin görüntüsü.	61
Şekil 5.1. Tribolojik sistem.	63
Şekil 5.2. İki elemanlı ve üç elemanlı abrazif aşınma oluşum şekilleri.	65

Şekil 5.3. Yüksek temas basıncının oluşturduğu bölgesel plastik deformasyon nedeniyle oluşan adhezif aşınma a)Kaynamış pürüz, b) aşınma birikintileri	66
Şekil 5.4. Korozyon aşınma.....	67
Şekil 5.5. Yorulma aşınması	67
Şekil 5.6. Farklı türlerde erozyon aşınması.....	69
Şekil 6.1. Kumlama cihazı	73
Şekil 6.2. Elektrik ark püskürtme cihazı	74
Şekil 6.3. ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat aşınma test cihazı	75
Şekil 6.4. Stereo mikroskop	75
Şekil 6.5. Taramalı elektron mikroskobu.....	76
Şekil 6.6. Ball-on-flat aşınma test düzeneği şematik diyagramı.....	78
Şekil 6.7. Aşınma testi esnasında çekilen bir görüntü.	79
Şekil 6.8. Aşınma testleri uygulanan kaplamalar.....	79
Şekil 7.1. (a) Ni-Al katı bağ tabaka telinin yan kesit SEM görüntüsü (b) EDX analizi.....	82
Şekil 7.2.125 TW özlü bağ tabaka telinin (a) yan kesit SEM görüntüsü (b) yan kesitinden elde edilen EDX analizi (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.	82
Şekil 7.3. 446 TW özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsü (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.	83
Şekil 7.4. SP 229 özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsünden elde edilen EDX analizi (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.	83
Şekil 7.5. SP 106 özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsü (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.	84
Şekil 7.6. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	85

Şekil 7.7. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	85
Şekil 7.8. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	86
Şekil 7.9. B kaplamasının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	86
Şekil 7.10. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabaka (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.....	86
Şekil 7.11. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka 446 TW Üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	87
Şekil 7.12. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	87
Şekil 7.13. A kaplamasının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	87
Şekil 7.14. C kaplamasının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.	88
Şekil 7.15. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 500x büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	88
Şekil 7.16. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 500x büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	89
Şekil 7.17. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.	89
Şekil 7.18. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü	

(b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	90
Şekil 7.19. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	90
Şekil 7.20. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	91
Şekil 7.21. B kaplamasının (a) 250x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	91
Şekil 7.22. A kaplamasının (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	92
Şekil 7.23. C kaplamasının (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.....	92
Şekil 7.24. Kaplamalarda kullanılan St 52 çelik altlığa ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg- 500 ve 2 kg-100 m, 2 kg-500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.....	94
Şekil 7.25. A kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg- 500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.....	95
Şekil 7.26. B kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg- 500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.....	95
Şekil 7.27. C kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg- 500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.....	96
Şekil 7.28. A kaplamasının 8x büyütmede (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.....	97

Şekil 7.29. B kaplamasının 8x büyütmede (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.....	97
Şekil 7.30. C kaplamasının (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.	97
Şekil 7.31. A kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 50x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.....	98
Şekil 7.32. A kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 50x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.....	98
Şekil 7.33. A kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 60x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 500x büyütmedeki EDX analizi.....	98
Şekil 7.34. A kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 40x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 500x büyütmedeki EDX analizi.....	99
Şekil 7.35. B kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 100x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.....	99
Şekil 7.36. B kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 70x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.....	99
Şekil 7.37. B kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 60x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.....	100
Şekil 7.38. B kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 40x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.....	100
Şekil 7.39. C kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.....	100
Şekil 7.40. C kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.....	101
Şekil 7.41. C kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 20x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 100x büyütmedeki EDX analizi.....	101
Şekil 7.42. C kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 100x büyütmedeki EDX analizi..	101

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Elektrik ark sprej prosesinde kullanılan parametreler.	26
Tablo 4.1. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı özlü teller ve kullanım alanları.....	38
Tablo 4.2. Kullanılan özlü tellerin bileşimi.	53
Tablo 4.3. Ark püskürtme parametreleri	54
Tablo 4.4. Zar ve doldurulan malzemelerin püskürtme hammaddesinde uygulanan bileşimleri.....	55
Tablo 4.5. Kullanılan kaplama parametreleri.....	59
Tablo 6.1. SP 229 özlü telinin kimyasal bileşimi	71
Tablo 6.2. SP 106 özlü telinin kimyasal bileşimi	71
Tablo 6.3. 125 TW özlü telinin kimyasal bileşimi.....	72
Tablo 6.4. 446 TW özlü telinin kimyasal bileşimi.....	72
Tablo 6.5. Kaplamaların üretilmesinde kullanılan parametreler.....	77
Tablo 6.6. Uygulanan aşınma parametreleri	80
Tablo 7.1. Aşınma testi sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları	94

ÖZET

Anahtar kelimeler: Özlü tel, elektrik ark püskürtme, aşınma

Bu çalışmada, elektrik ark püskürtme tekniği ile St 52 ve 700 MC çelik altlıkların üzerine Ni-Al, Fe-Cr esaslı ve yüksek karbürlü kaplamalar üretilmiştir. Kaplama malzemesi olarak kullanılan özlü teller ve üretilen kaplamalar SEM-EDX ile karakterize edilmiştir. Kaplama mikroyapılarında, oksit ve poroziteler görülmüştür. ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat aşınma test cihazıyla farklı yük ve aşınma mesafelerinde üretilen kaplamaların aşınma davranışı incelenmiştir. Daha sonra stereo mikroskop ve SEM-EDX ile aşınma yüzeyleri yapısal olarak karakterize edilmiştir. Yapılan aşınma testlerinin bir sonucu olarak özlü tel kaplı numuneler kaplama işlemi uygulanmamış referans numunesi ile karşılaştırıldığında, özlü tel püskürtmenin numunelerin aşınma direncini arttırdığı belirlenmiştir.

INVESTIGATING WEAR BEHAVIOR OF CORED WIRE COATINGS SPRAYED BY TWIN WIRE ARC SPRAYING

SUMMARY

Keywords: Cored wire, twin wire arc spraying, wear

In this work, Ni-Al, Fe-Cr based and high carbide coatings were produced by twin wire arc spraying on St 52 and 700 MC steel substrates. Used cored wires as coating materials and produced coatings were characterized by SEM-EDX. In coating microstructures, the oxides and the porosities were observed. With ball-on-flat abrasion test appliance according to ASTM G133-05 standard in different force and different wearing distance wear behavior of produced coatings were investigated. Wearing surfaces were then structurally characterized by using a stereo microscope and SEM-EDX. Cored wire coated specimens compared with uncoated reference specimen, as a result of performed abrasion tests, have shown an increased abrasion resistance.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Uzun yıllardan beri, iş parçalarının kullanım ömürlerini uzatmak, sertliklerini, dış etkilere dayanımlarını arttırmak, ısıl ve elektriksel yalıtkanlık kazandırmanın yanında dekoratif görünüm kazandırmak amacıyla malzeme üzerinde pek çok yüzey kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de termal püskürtme teknolojileridir. Endüstride geniş kullanım alanlarına sahip termal püskürtme teknikleri sayesinde mikron ve milimetre mertebelerinde kaplamalar yapılabilmektedir.

Elektrik ark püskürtme tekniği, diğer termal püskürtme tekniklerine nazaran basit kullanımı, mobilize uygulama avantajı, düşük maliyeti ve yüksek birikme verimliliği ile endüstride pek çok kullanım alanlarına sahiptir. Elektrik ark püskürtme, muhtelif altlık malzeme yüzeyine aşınmaya ve korozyona dayanıklı kaplamaları üretmeye olanak veren bir prosestir. Tel formundaki dolu (metalik) veya özlü tel olarak ifade edilen sert partikül takviyeli kaplama telleri ile istenen özelliklere sahip kaplama yapılarının eldesine imkan sağlamaktadır.

Özlü tellerin elektrik ark püskürtme tekniğinde kaplama teli olarak kullanılması, aşınma ve korozyona karşı yüksek dayanıma sahip kaplamaların üretilebilmesine imkan sağlamaktadır. Kompozit karakterdeki bu kaplamalar iş parçalarına metalik kaplamalara göre daha yüksek servis ömürü sağlamaktadır. Aşınmaya ve şiddetli korozyona sebebiyet veren ortamlarda özlü tel kullanılarak üretilen kompozit yapılı kaplamalar metalik kaplamalara göre daha başarılı bir şekilde endüstrinin taleplerini karşılayabilmektedir.

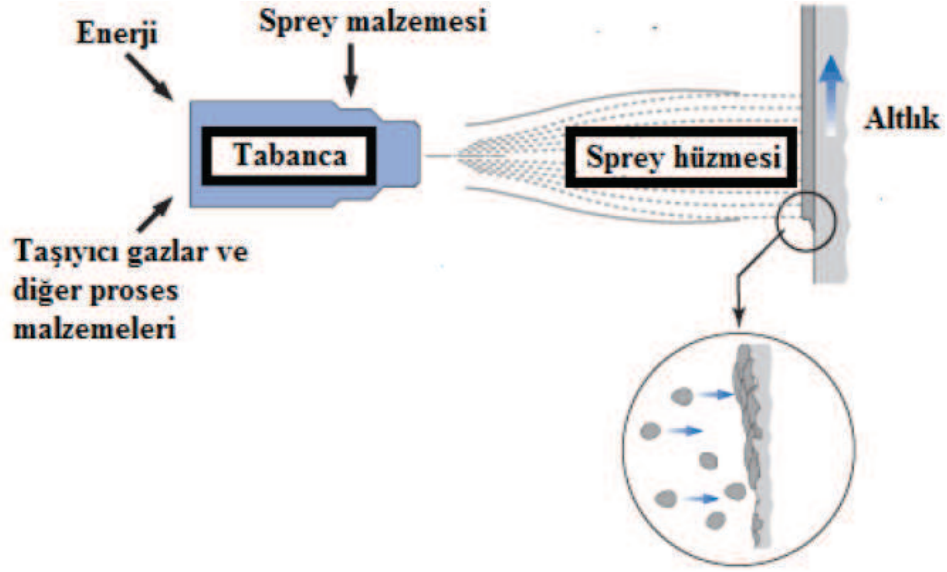
Birbirleri ile temas ve hareket halinde bulunan cisimlerden, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucunda metal partiküllerin kopmasıyla oluşan istenmeyen yüzey değişikliği aşınma olarak tanımlanmaktadır. Aşınma yıpranma bakımından kendini yavaş yavaş hissettirmesine karşın uzun zaman içerisinde çok önemli kayıplara yol açmaktadır. İş parçasında aşınma ile malzeme kaybı olmasının yanı sıra parçanın şekli bozulabilmekte hatta yok olup iş yapma kabiliyeti ortadan kalkmaktadır.

Bu çalışmada elektrik ark püskürtme tekniğinde kaplama malzemesi olarak kullanılan ticari özlü tellerin püskürtülmesiyle üretilen kaplamaların mikroyapılarının incelenmeleri ve aşınma performanslarının test edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elektrik ark püskürtme tekniği ile kaplanan özlü tellerin kaplama özelliklerinde beklenen iyileştirmeleri nasıl ortaya koyduğu görülecektir. Ortaya çıkan sonuçlar bu alanda bilgi birikimi oluşturacak ve ileride yapılacak endüstriyel uygulamalar için rehber olacaktır.

BÖLÜM 2. TERMAL SPREY KAPLAMALAR

2.1. Giriş

Termal sprej; katı maddelerin kimyasal olarak (yanmayla), fiziksel olarak (iyonizasyonla) yada elektriksel olarak (ark ateşlemesiyle) ısıtıldığı bir partikül biriktirme prosesidir [1]. Bu teknikle ergiyik, yarı ergiyik ya da katı partiküller bir altlık yüzey üzerine biriktirilerek kaplamalar elde edilmektedir. Altlığa çarpmada partiküller plastik olarak deforme olduğu zaman kaplamalar üretilmektedir [2]. Termal sprej kaplama teknolojisinin genel amacı malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi veya bu özelliklerin çevresel etkilere karşı korunabilmesi için malzemelerin yüzeylerinin koruyucu bir tabaka ile kaplanması esasına dayanmaktadır. Bu teknoloji plazma, alev, ve elektrik arkı gibi enerji kaynakları kullanılarak tel, toz veya solüsyon formundaki kaplama malzemelerinin ergitilerek önceden hazırlanmış iş parçası yüzeyine hızlı bir şekilde püskürtülmesi olayıdır. Ergimiş veya yarı ergimiş toz ve metal damlacıkların altlık malzeme yüzeyine çarpmasıyla damlacıklar yayılır ve üst üste birikerek ara yüzeyde mekanik bir bağlanma meydana getirirler. Bu bağlanmalar sonucunda altlık malzeme yüzeyinde bir tabaka oluşur. Oluşan bu tabaka kaplama tabakası olarak bilinir ve genel olarak lamelli bir yapıya sahiptir. Bu lamelli yapılar kullanılan sprej yöntemine, sprej parametrelerine ve kullanılan malzeme çeşidine göre farklılıklar gösterebilirler [3]. Termal sprej teknikleri onların göze çarpan karakteristiklerinden dolayı kaplamalar biriktirmede genişçe kullanılmaktadır. Özellikle onlar birkaç malzemeyi birleştirerek tam istenen amaçlara uygun mekanik, kimyasal ve termal özellikler sunan kompozitleri dizayn etme olanağı sunar [4].



Şekil 2.1. Termal spreyn işleminin prensibi [5].

2.2. Termal Spreyin Tarihçesi

Termal püskürtme metalizasyon sistemini ilk olarak 19.yy başlarında Dr. Max Ulrich Schoop Zürih/İsviçre’de geliştirmiştir. Dr. Schoop, icadını oğlunun oyun oynamasından etkilenerek şekillendirmiştir. Hızla vurulan topun yüzeye çarptığında bir miktarının da yüzeyde kaldığını şaşırarak gözlemlemiştir. Bu olayın ona, eğer partiküller ertirilip bir şekilde püskürtülürse yüzeyde bu şekilde birikebileceği fikrini vermiştir. Dr. Schoop oksijen ve asetilen ile alev kaynağı oluşturan ve hava basıncıyla ertiyen partikülleri püskürten bir tabanca dizayn etmiştir. 1933 yılında Amerika’da yaşayan Rae Axline, George Lufkin ve Herb Ingham, sonradan Metco Anonim olarak adlandırılan kuruluş bünyesinde bu sistemi geliştirmişlerdir. Metco firması araştırmalara devam etmiş ve geliştirmiştir. Metal tabancaları yardımıyla üretilen kaplamalar genellikle korozyonu engellemiş ve değişik makine parçalarının tamirinde kullanılmıştır. Gelişmeler ile farklı tiplerde kaplama malzemeleri (tel, toz ve çubuk) kullanılır kılınmış ve farklı ertirme sıcaklıklarında kaplama üretilmesine olanak sağlanmıştır [6].



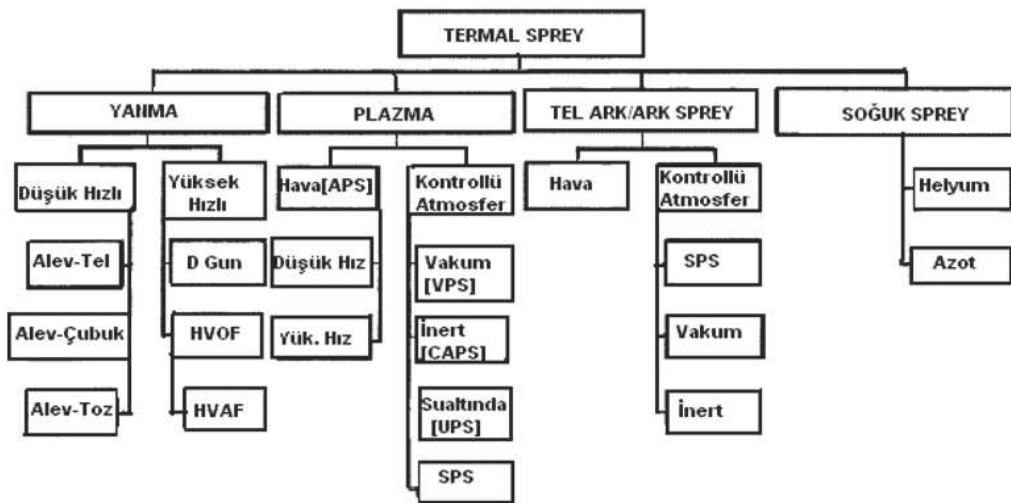
Şekil 2.2. Schoop ilk defa elektrikli operasyon aletleriyle deneysel bir çalışma yaparken [6].

1950-60'lı yıllara kadar tam olarak kullanılmayan kaplama yöntemleri, bu yıllardan sonra hızla gelişim göstermiş ve çok çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Termal sprey kaplama yöntemleri bugün dünyada sıkça kullanılan yüzey koruma yöntemlerinden bir tanesidir [6].

2.3. Termal Sprey Kaplama Tekniği

Kullanılacak olan malzemelerin çeşitliliği ve kaplamada kullanılan proseslerin uygulamadaki kolaylığı termal püskürtme kaplamaların en önemli avantajlarından bir tanesidir. Termal püskürtme kaplamaları birçok farklı bakımdan sınıflandırabiliriz. Ana sınıflandırmaları kullanılan malzeme cinsi (tel, toz ve çubuk) ve malzemeyi ergitme biçimi (alev, elektrik ark ve plazma ile) olarak söyleyebiliriz. Dünyada yaygın olarak kullanılan termal püskürtme teknikleri alevle tel-toz püskürtme, elektrik ark püskürtme, HVOF ve plazmadır. Yine bu prosesler kendi içlerinde sınıflara ayrılmakta, istenen ortam ve koşullarda kullanmak üzere seçilmektedir.

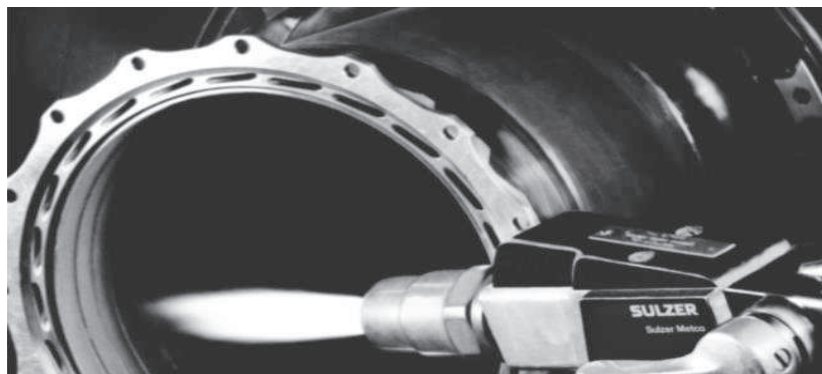
Belirtilen bu ergitme teknikleriyle üretilen kaplamalarda kaplama yapısı içerisinde poroziteler, oksitler, ergimiş / yarı ergimiş / ergimemiş partiküller vs. yapılar bulunmaktadır. Kaplama mikroyapıların oluşumunda başta seçilen termal püskürtme tekniği olmak üzere birçok farklı parametre etkili olmaktadır. Optimum bir kaplama yapısı elde etmek için bu parametrelere özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir [2].



Şekil 2.3. Termal püskürtme kaplamaların sınıflandırılması [2].

2.3.1. Alev püskürtme tekniği

Alev püskürtmesi kronolojik olarak ilk püskürtme tekniğidir. Bu proses ilk olarak düşük sıcaklıkta eriyen kalay yada kurşun gibi metallerin püskürtülmesinde kullanılmıştır. Sonrasında refrakter metaller hatta seramiklere kadar genişletilmiştir [2]. Alev püskürtme, toz, tel veya çubuk halindeki kaplama malzemesinin oksijenin asetilen, propan, propilen vb. bir yakıtla alev kaynağı oluşturularak ergitilip, basınçlı bir hava yardımıyla yüzeye püskürtülmesi işlemidir. Püskürtme prosesi genel olarak alevle toz püskürtme ve alevle tel püskürtme olarak ikiye ayrılmaktadır. Yaklaşık olarak 2480 °C'nin altında ergime derecesine sahip olan bütün malzemeler bu sistem ile kaplanabilmektedir. Alev kaynağının sıcaklığı seçilecek yakıtla göre değişmektedir [7].

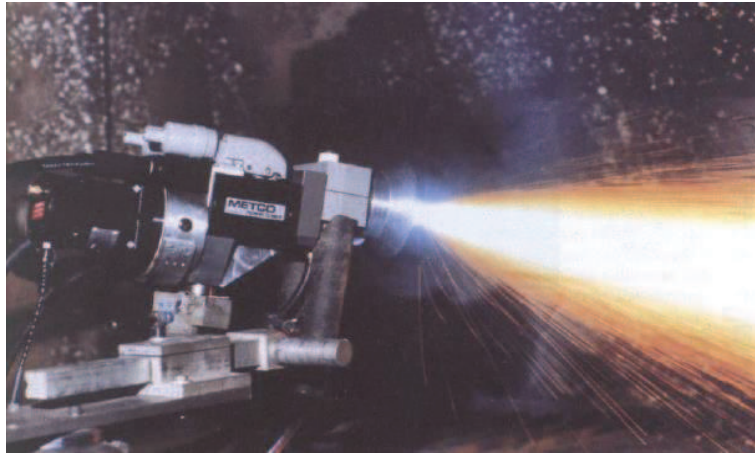


Şekil 2.4. Modern alev püskürtme ekipmanı [2].

Alev sıcaklığının düşüklüğü ve yüksek porozite içermesine rağmen alevle püskürtme yöntemleri günümüzde hala sıklıkla kullanılmaktadır. Bakımı kolay ve kullanımı basittir. Ayrıca uygulamadaki malzeme çeşitliliği büyük bir avantaj sağlar. Cihazının taşınabilirliği kaplama yapımında avantajlardan bir tanesidir. Parçayı yerinde kaplama imkânı veren bir sistemdir. Diğer proseslere nazaran daha ucuz olması, endüstride yaygın kullanımının sebebini açıklamaktadır [7].

2.3.2. Elektrik ark püskürtme tekniği

Detonasyon, yüksek hızlı oksijen alev püskürtme gibi önemli tekniklerin icadına rağmen elektrik ark püskürtme maliyetinin düşük olması sebebi ile korozyon ya da aşınma dayanımı gösteren uygulamalarda genellikle kullanılmaktadır [8]. Tüketilir ark elektrotları olan iki tel makaralardan çekilmektedir. Ve ark ısısından dolayı bir sıvı damlacık oluşmaktadır. Damlacık atomizasyon gazı tarafından püskürtülmektedir. Gaz ergiyik damlacıkları atomize eder ve partikülleri altlığa doğru hızla iter. Eğer teller farklı malzemelerden yapılırsa alaşım kaplama üretilebilir [2].

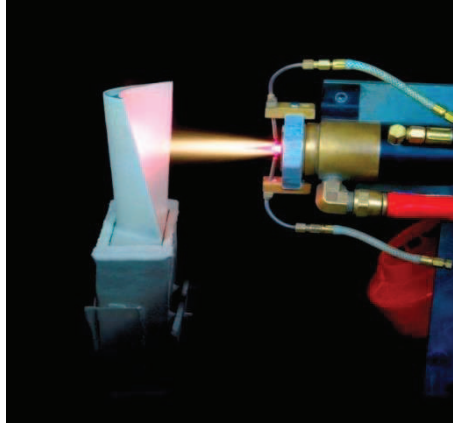


Şekil 2.5. Ark sprej püskürtme yöntemi uygulama anı [9].

Gerektiğinde yüksek birikme verimi sağlayan, büyük boyutlu parçaların kaplanmasında olanak sağlaması, taşınabilir bir proses olması vb. özellikleriyle oldukça fazla avantaja sahiptir. İletken olmak kaydıyla değişik yapıdaki kompozit tellerde kaplamada kullanılabilir. Bütün bu avantajlarının yanında bu işlemleri oldukça düşük maliyetlerde yapması bu sistemin vazgeçilemez tekniklerden birisi olduğunu ortaya koymaktadır [10].

2.3.3. Plazma sprey tekniği

Yüksek enerjili bir kaplama prosesi olan plazma püskürtme yöntemi, özellikle seramik esaslı malzemelerin kaplamasında başarıyla uygulanmaktadır. Bu süreçte plazma eldesinde hidrojen veya helyum yanıcı gazlarıyla beraber argon veya azot gazları kullanılmaktadır. Sisteme verilen elektrik ile tabanca içerisinde bir plazma oluşturulur. Bu sırada toz beslemeyle beraber plazmada ergitilen tozlar yüzeye püskürtülür ve kaplama yapısı elde edilir. Oluşan plazma sıcaklığının yüksek olması (15.000 – 25.000 °C) ergime derecesi yüksek olan seramik tozlarında rahatlıkla kaplanmasına imkân vermektedir. Partikülleri iyi ergimiş, yüksek yoğunluklu bir kaplama yapısı elde edilmektedir [11].



Şekil 2.6. Plazma sprey kaplama tekniği [12].

Uzay sanayiden, tekstil sanayisine, kâğıt sektöründen tel çekmeye kadar geniş bir kullanım alanı vardır. Bunların yanında yatırım ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca prosesin taşınmasının zorluğu ve yüksek maliyeti önemli dezavantajlarıdır [13].

2.3.4. Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) tekniği

Bu yöntemin düşük hızda çalışan alevle püskürtme yönteminden temel farkı, oksijen / yakıt gaz karışımının püskürtme tabancasının içindeki yanma bölümünde yanmasını sağlayarak yüksek gaz basıncı sağlamasıdır. Böylelikle yüksek derecede püskürtme hızı sağlanmaktadır. Yanıcı gaz olarak propan, hidrojen ve propilen yakıcı gaz olarak

ise oksijen sistemde kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulama sıcaklığı 3000°C civarındır. Toz parçacıklarının hızı 600 m/s'e kadar ulaşabilir. 80 MPa'dan fazla bağ mukavemeti ve %1'den az boşluk içeren kaplamalar elde edilebilir. Kaplamanın mikro yapı ve mekanik özellikleri plazma arkı püskürtme yöntemindeki kaplamalara benzemekle birlikte daha yüksek yoğunluğa ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Bunun sebebi; parçacık hızının yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme yönteminde daha yüksek olmasıdır. Sağladığı kaplama özelliklerine göre ekonomik bir yöntemdir ve altlığın daha az ısınması bu yöntemin diğer bir avantajıdır [14].



Şekil 2.7. Yüksek hızlı oksijen yakıt sistemi [15].

Esas kullanım alanları abrasiv ve kayma aşınmasını önlemek içindir. Su jeti, kesici aletlerin nozulu, kağıt ve folyo üretim endüstrisinde merdaneler, petrokimya endüstrisinde valf ve pompalar bu yöntemin uygulama alanlarına örnektir. Özellikle yüksek sıcaklıkta ayrışma gösteren malzemeler için uygun bir yöntemdir. Sert metaller, tungsten karbür, krom karbür, nikel-krom alaşımları paslanmaz çelik, Al-bronz, süper alaşımlar (Inconel, Hastelloy C, Triballoy 800, Stellite) başlıca kaplama malzemesi örnekleridir [14].

2.3.5. Detonasyon tabancası (D-Gun)

Detonasyon tabancası prosesinde oksijen ve asetilen karışımı, bir toz kümesi ile birlikte namlunun içine beslenir ve bir kıvılcım ile patlatılır. Namludan çıkan yüksek sıcaklık ve basınçtaki patlama dalgası toz partiküllerini ergime noktalarına veya üzerine ısıtıp yaklaşık 800 m/s'lik bir hıza çıkarır. Yakıt gazı ve diğer bazı

parametrelerin değiştiği super D-Gun prosesi tozları yaklaşık 1000 m/s'lik hızlara ulaştırır. Bu devirsel çalışan bir prosestir 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 biriktirilmektedir. 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 [16].



şekil 2.8. Detonasyon tabancası (D-Gun) kaplama tekniği [15].

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.

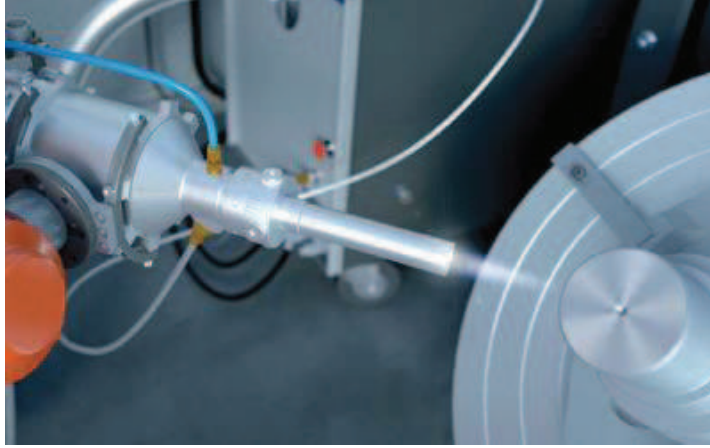
Kaplamaların müthiş yapışma mukavemeti, çok yoğun kaplamalar ile %1'den daha düşük porozite miktarı içermesi, kaplama ayarlanmasının kolay gerçekteşmesi, yüksek verim, kaplama karakteristikleri, sertlik, aşınma ve korozyon direncinin diğer proseslere nazaran çok daha iyi olması, proseslerin çok yönlülüğu, 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 [16].

2.3.6. Soğuk sprey kaplama tekniği

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

Temel olarak soğuk sprey proseslerinde toz partiküllerini ileriye itmek için yüksek basınçlı gaz (yaklaşık 500 psi [3.5 MPa]) sistemleri kullanılır. Sprey mesafesi 5-25 mm arasında değişmektedir.

Basınçlı gaz (genellikle He) izole bir ısıtma 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 [17].



Şekil 2.9. Soğuk spray kaplama tekniği [18].

Bu proste uygulanan spray malzemeleri için oksidasyon yok denecek kadar azdır. Bu yüzden yüzeyler genelde temizdir ve partiküller yüzeye hızla çarpıp plastik deformasyon sonucu yassılaşılarak 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.

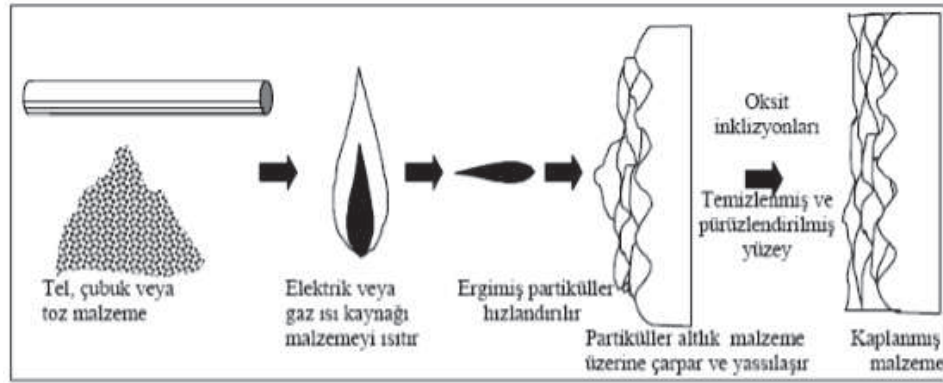
Düşük sıcaklıklar aynı zamanda orijinal toz kimyasının ve şeklinin korunmasına yardımcı olur. Altlık ve partiküllerin plastik deformasyonuna neden olacak kinetik enerjinin üretilmesi gereklidir.

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

Soğuk spray prosesinin geliştirilmesine günümüzde hala araştırmalar devam etmektedir ve şu anda sadece ticari araç ve gereçlerde kullanılmaktadır [17].

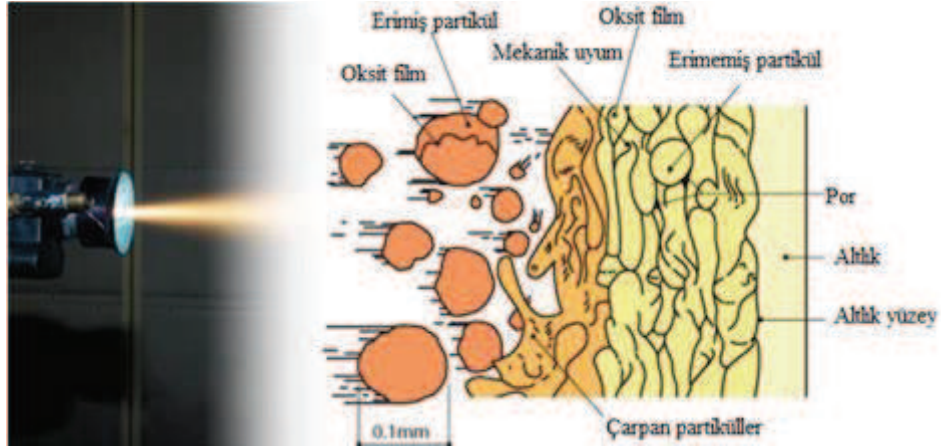
2.4. Termal Sprey Kaplamaların Mikroyapısı

Termal püskürtme yöntemi ile kaplama, hazırlanmış bir yüzeye ergimiş veya yarı ergimiş malzemelerin biriktirilmesidir. Termal püskürtme prosesinde kullanılan malzemeler toz, tel ve çubuk şeklinde olmak üzere üç formda bulunmaktadır. Bu formlardaki malzemelerin ergime sıcaklığı proses sıcaklığından düşük oldukları için ergimiş fazda ayrışmadıkları sürece bu yöntem ile kaplama yapılabilmektedir. Termal püskürtme prosesinde beslenen malzemelerin ergimesi ya organik yakıt ya da elektrik arkından sağlanmaktadır. Ergimiş partiküller tabanca nozulundan geçerek tabancanın ucundan altlığa yüksek gaz basıncı ile gönderilmektedirler [19].



Şekil 2.10. Tipik bir termal spreycaplama prosesinin şematik olarak görünümü [20].

Kaplama şekilleri, partiküllerin uçuş sonrası altlık üzerinde çarparak düzleşmesi esasına dayanır. Yüksek hız ile yüzeye çarpmalarda ergimiş partiküller yüzeyde ince levha şeklini alırlar. Altlığa ısı akışına bağlı olarak çok hızlı şekilde soğuyan bu levhasal yapılar ani olarak katılaşırlar ve deforme olurlar. Bu levhalar başarılı bir şekilde birbirleri üzerine tutunarak birikirse ince bir kaplama yapısı oluşmuş olur. Altlık yüzeyine akış paterni ve damlacıkların düzensiz halleri ara bağlanma mekanizmasını meydana getirir ve partiküller birbirine bağlanır. Termal püskürtme prosesinde kaplama yapısındaki emprütelerle birlikte biçimlenir. Bu kaplamalar genellikle dört temel bileşenden meydana gelirler. Bunlar; porozite, oksit inklüzyonları, ergimiş partiküller ve ergimemiş partiküllerdir [19].



Şekil 2.11. Termal sprey kaplama yapısı

Çarpma esnasında partiküllerin ani yavaşlaması ve basıncın artırılması ile buna bağlı olarak partikül yüzeyleri ve ara yüzeyde erimiş malzeme gruplarının üniform olmaması ve yumuşak malzeme gruplarına zarar verme gibi tehlikeli bir durumları söz konusudur. Bu nedenle kaplanacak malzemeye göre proses seçimleri önem arz etmektedir. Partiküller çarpma yerlerinden dışa doğru bir yayılma gösterirler ve böylece bir splat formu meydana getirirler [21].

2.4.1. Porozite ve yoğunluk özellikleri

Termal püskürtme yöntemlerinde metalik esaslı kaplamalar için neredeyse teorik yoğunluklara ulaşılırken seramik esaslı kaplamalarda % 3–20 arasında porozite görülmektedir. Porozite, püskürtme yoluyla üretilen kaplamaların karakteristik bir özelliğidir.

Bazı durumda poroziteli yapılar tercih edilirken (örneğin termal bariyer uygulamalarındaki düşük termal iletkenlik için) bazı uygulamalarda ise (örneğin yüksek aşınma direnci için) yüksek yoğunluğa ihtiyaç duyulmaktadır. Plazma sprey kaplamalarda, porların geometrisi ve dağılımı üniform değildir. Meydan gelen porozitelerin çapları 20 μm ila 100 μm arasında değişmektedir. Poroziteleri oluşturan çeşitli nedenler vardır.

Bunların başlıcaları;

- a. Kaplama esnasında ikinci bir partikül aynı bölgeye ulaşmış bir önceki partikülün üstüne ulaştığında boşluk oluşturabilir. Bu olaya gölge etkisi denir.
- b. Kaplama esnasında oluşabilen gaz inklüzyonları poroziteye neden olabilir.
- c. Ergimemiş ya da daha büyük partiküllerin ortamda bulunması poroziteye neden olabilir.
- d. Aşırı ısınmadan ve yüksek hızdan kaynaklanan partikül patlamaları ve böylece ortaya çıkan yıkıcı şok dalgaları poroziteye neden olabilir.

Kaplamalarda poroziteyi azaltmak için alınabilecek bazı önlemler mevcuttur bunların başlıcaları;

- a. Altlık yüzeyini önceden ısıtarak temas sıcaklığını arttırmak ve yüzeye çarpan ergimemiş damlacıkların viskozitelerini azaltmak,
- b. Düşük basınçlı (LPPS) plazma sprey sistemi kullanarak partiküllerin çarpma hızlarını dolayısı ile kinetik darbe enerjilerini arttırmak,
- c. Kaplama sonrası bazı işlemler uygulamak, (ısıl işlem yaparak katı hal difüzyonu ile mikroporozitelerin azaltılması, kaplamalara sıcak izostatik press uygulanması, lazer ile yüzey yoğunlaştırma işlemleri, düşük sıcaklık uygulamaları için kaplamaların polimerle infiltrasyonu v.b.)

Termal püskürtme kaplamalarda porozite miktarının tayini arşimet metodu, noktasal sayım ya da basınçlı porozimetre kullanımı gibi işlemler başta olmak üzere farklı metotlar kullanılarak yapılabilir. Porozite kaplamaların, sertlik, aşınma direnci ve yapışma mukavemetini azaltır ve kullanım ortamına bağlı olarak iş parçasının servis ömrünü kısaltabilir [5].

2.4.2. Yapışma ve iç gerilme özellikleri

Termal püskürtme kaplamalarda yapışma üç ana mekanizma tarafından kontrol edilir. Bunlar;

- a. Mekanik bağlanma; Mekanik bağlanmada yüzey pürüzlülüğü önemli rol oynar. Altlıkların kaplanmadan önce mekanik bağlanmanın gerçekleşmesi için kum püskürtülerek yüzey pürüzlendirilir. Mekanik bağlanmanın etkin olabilmesi için partiküllerin yeterli plastikiğe, yüksek darbe hızlarına, düşük vizkoziteye ve iyi ıslatabilirliğe sahip olması gerekmektedir.
- b. Fiziksel bağlanma; Bu mekanizma Fick kanunlarına göre temas sıcaklığının artması ile artan difüzyonun kontrol ettiği difüzyon kontrollü bir bağlanmadır. Altlıkların ön ısıtma işlemine tabi tutulması ile fiziksel bağlanma etkin olur. Ön ısıtma işlemi ayrıca iç gerilmelerin azaltılmasını sağlar. Difüzyon kontrollü bir durum olan fiziksel bağlanma genellikle yapışma mekanizmaları içerisinde küçük bir role sahiptir.
- c. Kimyasal bağlanma; Bu olay ince reaksiyon katmanlarının yapışmayı gerçek bir metalurjik bağ oluşturarak moleküler düzeyde meydana getirmesi ile oluşur.

Kaplamaların bağ/yapışma mukavemeti, kaplama parametrelerine, kaplanması istenen malzeme özelliğine ve altlığın cinsine (demir veya demir dışı) ve altlık yüzeyinin durumuna (temizliğine, pürüzlülük derecesine ve geometrisine) bağlı olarak değişir.

Termal püskürtme yöntemiyle üretilen seramik kaplamalar, gevrek ve kırılğan yapıları nedeniyle, metal esaslı kaplamalara nazaran daha düşük yapışma mukavemetine sahiptir. Kaplamaların yapışma mukavemeti artan tabaka kalınlığı nedeniyle azalır [5].

2.4.3. Mekanik özellikler

Termal püskürtme kaplamalar aşınma, sertlik gibi mekanik özellikler bakımından üstün kaplamalardır. Kaplamalar, muhtelif tür aşınmalara (abrazif, adhezif, erozif vb.) karşı genel olarak yüksek direnç gösterirler. Karbürler (WC, TiC, MoC, TaC, NbC, Cr₃C₂), sert oksitler (Al₂O₃, TiO₂, Cr₂O₃), metaller (W, Mo, Ti, Ta) ve bazı alaşımlar (NiCoCrAlY) aşınmaya dirençli başlıca örneklerdir. Karbürlerin ergime sıcaklıkları oldukça yüksek olduklarından ve oksidasyon, dekarbürzasyon olayları genellikle çok yüksek sıcaklıklarda oluştuğu için genellikle saf karbür tozları tam olarak ergitilemezler. Bu yüzden bu tozlar Ni, Co, Cr gibi metalik tozlar ile karıştırılarak kolay ergimeleri sağlanır. Oksit esaslı seramikler yüksek sertlikleri ve ergime sıcaklıkları nedeniyle özellikle aşınma uygulamalarına karşı başarıyla kullanılmaktadır. Kaplamaların sertliği; püskürtülen malzemeye, kaplama sistemine ve proses parametrelerine bağlıdır. Artan püskürtme hızı ile sertlik ve yoğunluk artar. Kaplama malzemesinin karbür, metal veya oksit karakterli seramik olması durumuna göre tabakanın sertliği değişir. Örnek olarak kalite bir çeliğin ısıtılma sonrası sertlik değeri yaklaşık 700 Vickers (55 HRC), bir elektrolitik sert krom kaplamanın 800–900 Vickers iken oksit esaslı seramiklerin sertlik değeri 1200 HV_{0,3}'den (Al₂O₃) başlayıp 1600 HV_{0,3}'e (Cr₂O₃) kadar çıkabilmektedir. Kaplamaların mukavemetine etki eden en önemli faktörlerden birisi kaplamanın kalınlığıdır. Kaplama kalınlığı ile kalıntı gerilme adı verilen iç gerilmeler genel olarak doğru orantılı olarak değişir. Mukavemet ise artan kaplama kalınlığı ile ters orantılı olarak düşer. Kalıntı gerilmelerin artışı kaplamanın altlıktan ayrılmasını teşvik eder. Ayrıca, kaplama tabakasının elastisite modülü artar, yüksek porozite ve oksit içeriği mukavemeti olumsuz yönde etkiler. Lamelleri arasındaki kohezyon kuvveti, kaplamanın mukavemetini ifade etmektedir [5].

2.4.4. Termal genleşme ve termal iletkenlik

Kaplamalar için termal genleşme ve termal iletkenlik çok önemli fiziksel özelliklerdendir. Altlık ile kaplama malzemesinin termal olarak uyum içerisinde olması sağlıklı kaplama tabakalarının elde edilmesi açısından çok önemlidir. Öyle ki termal genleşme katsayılarının birbirinden çok farklı olması iş parçasının sıcaklığa

maruz kaldığı durumlarda altlık ve kaplama tabakasının farklı oranlarda genişmesine dolayısıyla kaplamanın zarar görmesine sebep olur. Örneğin; metal altlıklar ile seramik esaslı kaplamalar arasındaki termal uyumsuzluklar kalıntı gerilmelerin oluşmasına ve işlem sonrası kaplamaların dökülmesine sebep olabilir. Bu durumun önlenmesi için genişleme katsayıları birbirine yakın altlık ve kaplama malzemeleri seçmek bütün riski ortadan kaldırmaz. Bu amaçla termal spreycaplamalarda ara bağlayıcı malzeme ya da malzemeler kullanılmaktadır. Bağ tabaka adı verilen bu katmanlar tek ya da çoklu tabaka olarak kullanılabilir. Genellikle bağ tabakalar Ni, Cr, Al gibi metalik tozların kombinasyonları şeklindedir. Bağ tabaka kalınlıkları güncel çalışmalarda 75–125 µm arasında değişmektedir [5].

BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

Termal püskürtme teknikleri arasında ark püskürtme en düşük ekipman maliyeti, en yüksek birikme oranları gibi önemli özelliklerden dolayı uygun amaçlar doğrultusunda çok sık tercih edilen bir kaplama tekniğidir. Ayrıca ark püskürtme tekniği kalınlığı yüzlerce mikrondan birkaç milimetreye kadar değişen kaplamaların üretilmesine olanak vermektedir. Ark püskürtme prosesinde kaplanacak olan malzemeyi eritmek için ısıtma kaynağı olarak elektrik arkı kullanılmaktadır. Ark ateşlemesi tarafından üretilen yüksek termal enerjiden dolayı kaplanacak olan herhangi bir malzeme erir ya da hatta kaynar ve buharlaşır. Ergiyik ya da yarı ergiyik formdaki malzeme atomize olarak genellikle kuru basınçlı hava olan bir atomizasyon gazı tarafından hazırlanan altlık yüzeye doğru püskürtülmektedir. Hızlandırılan partiküller bir altlık yüzeye çarpar ve splat oluşumunun meydana geldiği yerde bir kaplama üretir. Elde edilen kaplamanın kalitesi beslenen malzemenin erime davranışı, püskürtme bulutu ve uçuştaki partiküllerin karakteristiği, oluşan kaplama morfolojisi gibi faktörlere bağlıdır. Ark püskürtmede anot (+) ve katot (-) olarak bağlanan teller arkın ateşlenmesinde elektriksel olarak iletken tel uçları arasında en kısa mesafede meydana gelmektedir. Tellerin türü, ayarlanan ark voltajı ve atomizasyon gaz basıncı gibi faktörler partikül oluşumunu etkileyen ana etmenlerdir. Dahası atomizasyon proses hızını arttırmada atomizasyon gaz cinsi önemli rol oynar. Örneğin Argon gibi yoğun gazlar nitrojen gibi daha hafif gazlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek güçlere yol açtığı görülmüştür [4]. Elektrik ark püskürtme tekniği gelişmiş dünya ülkelerinde 1900'li yıllardan itibaren hızla kullanılmaya başlanmasına rağmen ülkemizde henüz yeterli kullanım alanı bulamamıştır. Artan teknoloji ve gelişim ile beraber ülkemizin de yavaş yavaş bu

sektöre girmeye başladığı söylenebilir. Elektrik ark püskürtme sayesinde yaptığımız kaplamalarla aşınmaya ve korozyona dayanıklı malzemelerin üretimi çok kolaylaşmakta ve bu malzemeleri uzun yıllar kullanmak mümkün olmaktadır.

3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi

Çinko, alüminyum ve onların alaşımları dahil korozyona karşı dirençli kaplamaların uygulanması için ark sprey tekniği genel olarak en ekonomik termal sprey yöntemidir. Enerji maliyetleri çok düşüktür ve alev sprey ile karşılaştırıldığında üretim oranları daha yüksektir. Ark sprey metal, alaşımlar gibi elektriksel olarak iletken malzemelere uygulanabilmektedir. Ark spreyde iki tel arasındaki bir ark kaplama malzemesini eritmek için kullanılmaktadır. Belirli bir hızda iki tel sürekli olarak tabancaya beslenmektedir. Bir düşük voltaj (18 ile 40 volt), katot olarak hizmet eden tel ve diğer anot tel kullanılmaktadır. Kaplama kalitesi ve özellikleri atomizasyon basıncı, hava nozülü şekli, tel besleme oranı ve uzaklaştırma mesafesi tarafından kontrol edilebilmektedir. Ark sprey kaplamalar mükemmel yapışma mukavemeti sunar [22].

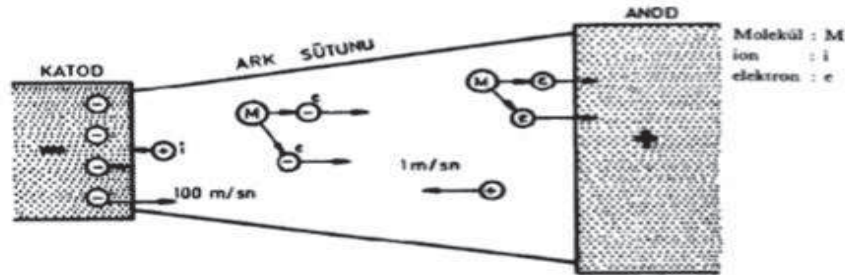


Şekil 3.1. Elektrik ark sisteminin bileşenleri [23].

3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği

Elektrik ark püskürtmede ergitme işlemi tellerin (+) ve (-) yük ile yüklenip uçta bir ark oluşturacak şekilde yapılmaktadır. Ergitilen partiküller yüzeye bir püskürtme gazıyla püskürtülüp kaplama yapısı bu şekilde elde edilmektedir. Ark, iyonlaşmış gaz arasında yer alan, iki elektrot arasındaki elektrik deşarjıdır. Ark üç temel bölümden meydana gelir. Ark sütunu; içinde kararsız gerilim farkı bulunur. Katot ve anot bölgeleri; elektrotların soğutucu etkisinin hızlı gerilim düşmesine götürdüğü bölgelerdir. Ark sütunu şarj dengesine, düşük elektrik alanına ve ısı kaynağı olarak kullanılan yüksek sıcaklığa sahiptir. Elektrik ark spreycde oluşan elektrik arkı iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır [11].

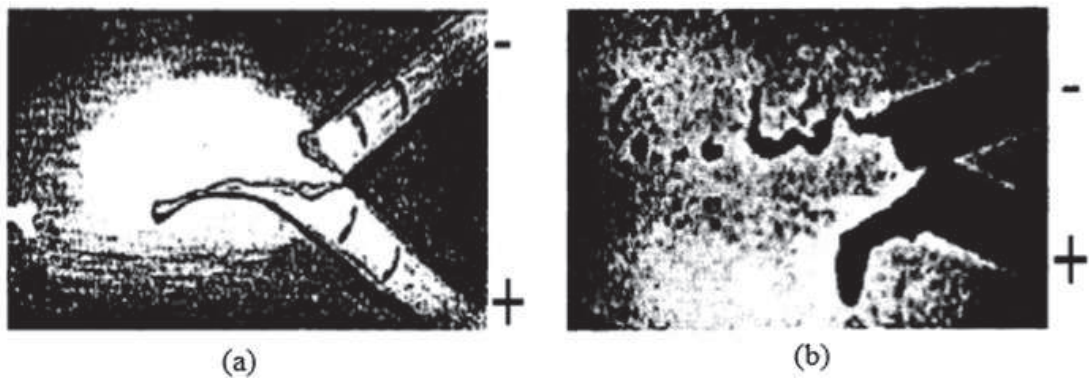
Ark sütunu nötr ve uyarılmış bir gaz atomları karışımıdır. Şekil 3.3’de katot ve anot arasında oluşan ark sütunu gösterilmektedir. Bu merkez sütunda elektronlar, atomlar ve iyonlar devamlı hareket ederler ve sürekli çarpışma halindedirler. Ark sütununun en sıcak bölümü burası olmakla beraber parçacıkların hareketi en şiddetli durumdadır. Dış bölüm ya da ark alevi bir ölçüde daha soğuktur ve merkezi sütunda ayrılmış gaz moleküllerinin yeniden birleşmesinden ibarettir.



Şekil 3.2. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.

Elektrik ark oluşumunda kullanılan gazların (argon, helyum, azot, hidrojen) molekülleri bir elektron kaybederek pozitif iyonlar oluştururlar. Böylece, çarpışmadan sonra iki elektrot anoda doğru gider, bu arada pozitif iyon katotta doğru hareket eder ve katot bu şekilde bombardımana uğrar. Buna karşılık oksijen bir elektron yakalayıp anoda doğru giden negatif iyonlar oluşturabilir. Bu durumda üç tip yer değiştirme olayı görünmektedir. Bunlar katottan çıkan ve anodu bombardıman eden elektronlar, katoda doğru geri dönen pozitif iyonlar ve anoda doğru giden negatif iyonlardır.

Anodun katottan farklı ısınması asimetrik bir ergime davranışının oluşmasına neden olur. Bu durumda tellerin ergime davranışları farklılık gösterebilir. Şekil 3.3 a ve 3.3 b'de tel elektrotların farklı asimetrik ergime davranışları gösterilmiştir. Bu durum elektrik ark ergitmenin baskın bir özelliğidir. Anodun katoda göre daha soğuk olması telin daha yavaş ergimesine neden olur. Bunun sonucu olarak oldukça büyük dropletler meydana gelir. Bazı büyük dropletler atomize gaz ile parçalanırlar ve daha küçük dropletlere ayrılırlar. Bu asimetrik ergime davranışı püskürtme paternini ve kaplama yapısını da etkiler. Katotta çok sınırlanmış olmuş bir ergime görülür ve bunun neticesinde oluşan dropletler daha küçüktür. Bu küçük dropletler hemen atomize gaz ile katot uçtan bölünerek ayrılırlar. Böylelikle katot yüksek ergime oranına sahiptir.



Şekil 3.3. (a) Tel elektrotların asimetrik ergime davranışlarının gösterilmesi ilk olarak 1966'da Steffens tarafından yapılmıştır. (b) Her iki elektrotun levhasal formlarının stroboskopi (strobe) fotoğrafları 1995'de Wang tarafından ölçülmüştür.

Elektrik ark oluşumu içerisinde katot elektron vermektedir. Katot alanında meydana gelen ısı başlıca, katodun yüzeyine çarpan pozitif iyonlardan kaynaklanmaktadır. Katot pozitif gaz iyonlarının çarpışması ile yüksek derecede ısınır. Bu durum, ısınan yüzeyden elektron gibi elektriksel yüklü parçacıkların serbest kalmasına sebep olur. Katot yüzeyinden elektron aktığı için, onların enerjisinin büyük bir bölümü iyonize gazlara verilir. Bu nedenle anot katottan daha soğuk olmaktadır. Anot daha soğuk olduğu için ergime oranı düşüktür ve katotta oluşan partiküllerden daha büyük partiküller oluşur [17].

3.4. Ark Spreyin Avantajları

Ark sprej; en yüksek biriktirme oranına ve en düşük kaplama maliyetine sahip olan bir termal sprej tekniğidir. Bazı avantajlar aşağıda verilmiştir [24].

- a) Güvenli bir tekniktir.
- b) Hiçbir yanıcı gaz kullanılmamaktadır.
- c) Daha fazla kaplama maliyeti anlamına gelen oksijen, kerosen ya da başka bir yanıcı gaz kullanımı gerekmez.
- d) Yeni uygun kaplamalar elde etmek için püskürtme işlemi boyunca operatör iki farklı tel kullanılabilir [24].

3.5. Ark Spreyin Dezavantajları

Ark sprejin dezavantajları, kaplama yapılarında yüksek oranlarda porozite, oksit ve ergimiş partiküllerin bulunmasıdır. Ark sprej kaplamalarında genelde diğer proseslerden daha pürüzlü yapılar elde edilir. Ark prosesi tarafından kaplamalarda kullanılan malzemeler sınırlıdır ve uygulanabilecek kaplamalar için malzemelerin iletken olması ve tel şekline getirilebilmesi gerekmektedir [25]. Ayrıca tel ark sprej prosesinde şu olaylar tanımlanmıştır; droplet formasyonunun asimetrik olması, kaplama mikroyapılarının homojen olamaması atomizasyon sonuçlarının kararlı olmaması ve prosesin kaplama özelliği diğer proseslere nazaran daha zayıf olması gibi dezavantajları içermektedir [26].

3.6. EAS Kaplamalara Etki Eden Faktörler

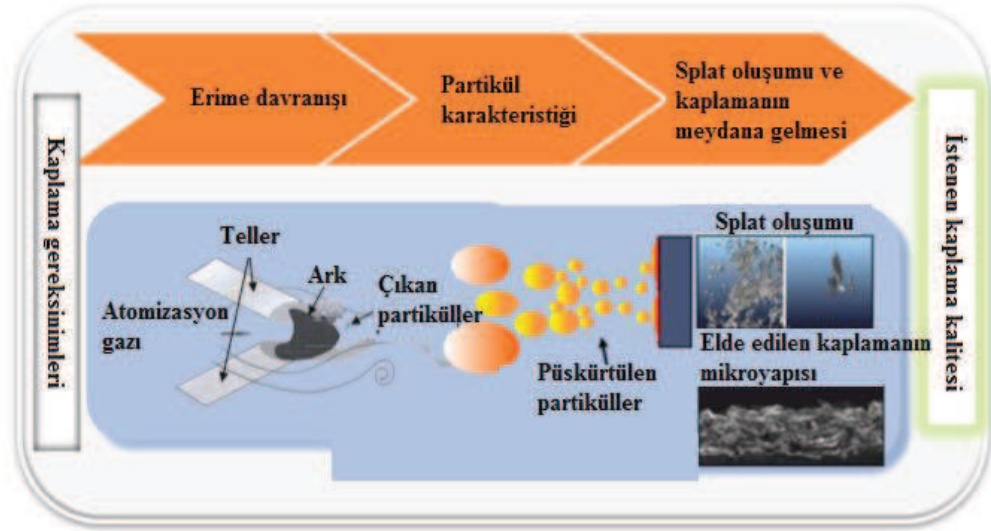
Elektrik ark sprej prosesi, yüksek birikme verimliliği ile termal sprej ailesi içerisinde maliyeti en az olan proseslerden bir tanesidir [27].



Şekil 3.4. Ark sprej kaplama tekniği [28].

Bu nedenle proses uygulama, plastik enjeksiyonlu kalıplar ve kalın kaplamalardan birçok uygulamalar için gerekli olan ince kaplamalara kadar olan sahalarda kullanılabilir. Sprej oranı genellikle püskürtülen malzeme çeşitlerine ve tel püskürtme mesafesine bağlıdır. Bu proseste çoğunlukla saf veya alaşımlı (demir, bakır, çinko vb.) teller ile seramik içerikli tozlar içeren özlü teller kullanılır. Elektrik ark sprej kaplama yapısı termal sprej kaplamaya benzer bir şekilde, kaplama malzemesinin ergimesiyle oluşan damlacıkların altlık yüzeyine çarpması ile birlikte deformasyona uğrayıp hızlı bir şekilde katılarak birbiri üzerine birikmesi ile oluşur [29]. Kaplama süresince ergimiş partiküller altlığa ulaşınca kadar ısı akışına bağlı olarak çok hızlı bir şekilde soğuma gösterirler. Çok hızlı bir şekilde soğuyan bu partiküller sprej parametrelerine bağlı olarak hedef malzeme yüzeyine çarparak burada düz bir levha şeklini alırlar. Bu düz levhalar milyonlarca sıvı damlacığın üst üste birikerek mekanik olarak birbirine bağlanması ile oluşmuştur. Kaplama yapısı, ergimiş metal partiküllerinin yüzeye çapma hızları, deformasyonları ve hızlı katılaşmaları ile biçimlenir.

Genelde kaplama uygulaması süresince meydana gelen oksit, porozite, ergimemiş partiküller kaplama içersine girer ve kaplamaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkilere yol açar. Sprey parametrelerine bağlı olarak da bu oksit, porozite ve ergimemiş partikül miktarları değişiklik gösterir [30].



Şekil 3.5. Ark sprej tekniği ile kaplama oluşum mekanizması [4].

Uzun yıllar boyunca, kaplamaların mikro yapıları üzerine önemli etkileri olan sprej parametreleri üzerinde çalışılmış ve kaplama mikro yapılarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Diğer bir taraftan partikül boyutu, hız, sisteme besleme şekli, kullanılan sprej proses tipleri, atomize gaz basıncı ve gaz tipi, sprej mesafesi, voltaj tel besleme, nozul konfigürasyonu gibi parametrelerin mikro yapı üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır [31].

Tablo 3.1. Elektrik ark sprey prosesinde kullanılan parametreler [32].

Parametre	Özellikler
Ark Sıcaklığı	3800-5000°C
Partikül Hızı	100-300 m/sn
Sprey Mesafesi	100-250 mm
Elekt. Giriş Gücü	6-80 Kw
Pulverize Hava Debisi	Yaklaşık 60 m ³ /s
Kaplama Kalınlığı	0,05-0,5 mm
Birikme Miktarı	Al (15 kg/s), Zn (200 kg/s), Çelik (30 kg/s)
Tel Çapı	1,6 - 3,2 mm
Kaplanabilir Sprey Malzemeleri	Metaller: Al, Zn, Cu, Sn, Mo, Ni Alaşımlar: karbon ve yüksek alaşımlı çelikler Demir dışı Metaller: Pirinç, Bronz, NiAl, NiCr, AlMg
Altlıklar (Taban)	Metal, seramik, tahta, plastik, cam

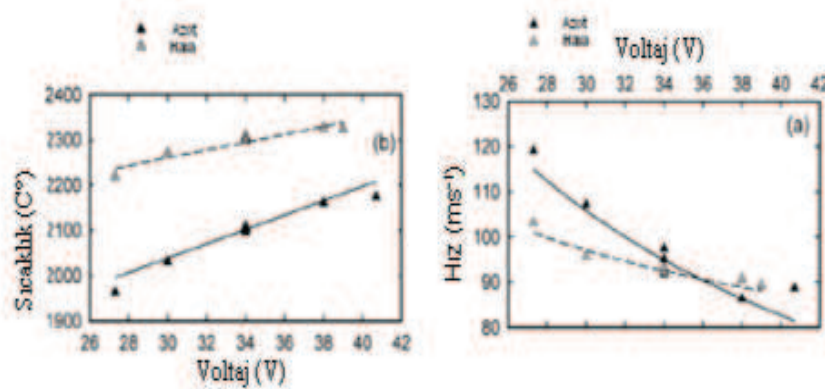
3.6.1. Püskürtme mesafesinin etkisi

Tavsiye edilen sprey mesafeleri 125 mm ile 200 mm'dir. Standart olan ise 150 mm'dir. Sprey mesafesinin kısa olması oluşan dropletlerin hava ile temas zamanını düşüreceğinden oksit içeriği de düşük olacaktır. Sprey mesafesinin artması ile de hem oksit oranı artacak ve hem de dropletlerin hızı düşeceği için yüzeye iyi yapışma ve dağılma olmayacağından porozite içeriği yükselecektir.

Artan mesafe ile gaz hızı düşmektedir. Tabanca ağızdaki çıkış hızı 255 m s⁻¹ iken 150 mm'lik aksenel bir mesafede gazın hızı 75 m s⁻¹'e düşmektedir. Aksenel mesafeyi 95 mm'ye düşürdüğümüzde gazın hızı yaklaşık 120 m s⁻¹ olmaktadır ve sonra bu hız 135 m s⁻¹ ve 150 m s⁻¹'e kadar daha da hızlanmaktadır [11].

3.6.2. Voltaj ve amperin etkisi

Elektrik ark sprej prosesinde, kaplama malzemesinin ergimesi için gerekli ısı kaynağı tellerin uçlarında oluşan elektrik arkından temin edilir. İstenilen özelliklerde kaplama üretilebilmesi için tel uçlarında oluşacak arkın kararlı olması gereklidir. Ark voltajındaki artış ark sıcaklığını artırır. Püskürtme süresince ark sıcaklığının artması püskürtme sıcaklığını da arttıracaktır. Fakat ark voltajındaki artış püskürtme hızını düşürmektedir [33].



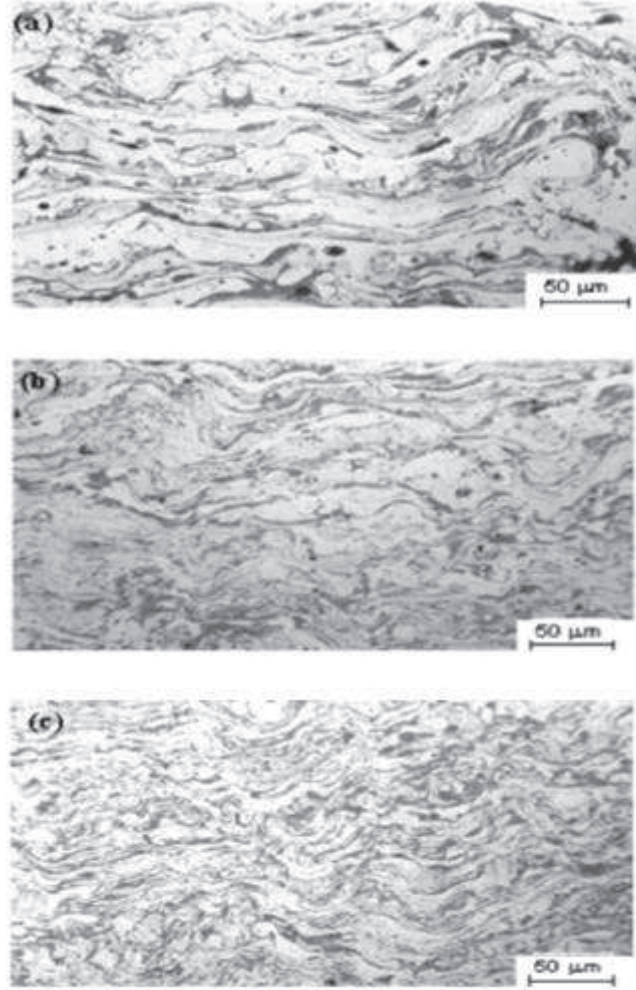
Şekil 3.6. Ark voltajının sprej hızı ve sıcaklığına etkisi [34].

3.6.3. Atomize gaz tipinin ve atomize gaz basıncının etkisi

Elektrik ark sprej prosesinde atomize gaz olarak hava kullanılır. Ama atomize gaz olarak havanın kullanılması partiküllerin oksitlenmesine neden olur ve oksitli kaplama yapıları elde edilir. Bunun yanında oksidasyonu azaltmak için azot ve argon da kullanılır. Püskürtme prosesinde atomize gaz olarak azot kullanılmasının en temel etkisi, damlacık yüzeylerindeki ekzotermik reaksiyonları ve oksidasyonu engelleyerek püskürtme sıcaklıklarını düşürmesidir. Böylelikle kaplamalardaki oksit miktarı azalır. Fakat buna bağlı olarak kaplamanın sertliği düşer. Böylece atomize gaz olarak azot kullanıldığında oksidasyonun azalmasına bağlı olarak ve partikül soğuma hızı hava kullanılmasına göre daha yüksek olacaktır.

Elektrik ark sprej kaplamaların mekanik özelliklerini etkileyen en temel parametre atomize gaz basıncıdır. Atomize gaz basıncındaki artış partikül hızını arttıracığı için

daha ince lamelli yapı kaplama yapısı oluşacaktır. Atomize gaz akış oranı artması ile artan viskoz kuvvetlerine ve yüzey gerilim kuvvetlerine bağlı olarak artmaktadır. Gaz akış hızının artışı ile altlık yüzeyine yayılma daha iyi olacağından daha yoğun kaplamalar elde edilebilmektedir [34].



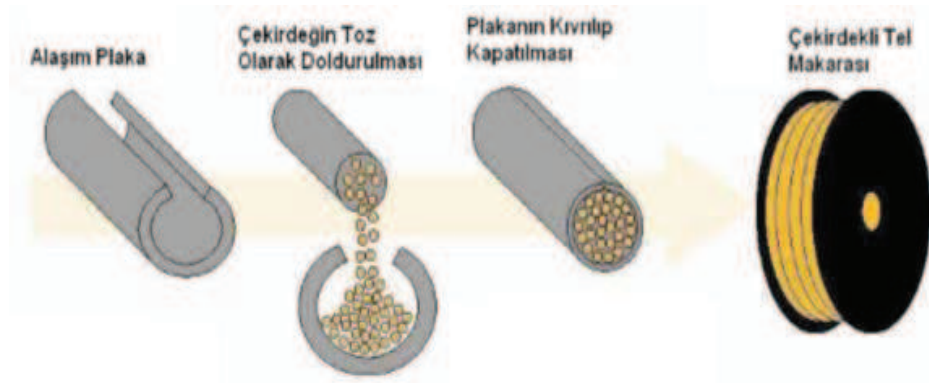
Şekil 3.7. Atomize gaz olarak hava kullanılarak yapılan kaplama yapısı a) Düşük hızda $94 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ b) Orta hızda $110 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ c) Yüksek hızda $144 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$ [35].

3.7. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri

Korozyon, aşınma ve parça kayıplarının endüstride büyük bir mali kayıp yaşattığı aşikârdır. Bu tip kayıpları azaltmak ve kayıpları en az seviyelere indirmek amacıyla termal püskürtme kaplamaların kullanımı gelişmiş ülkelerde oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu uygulama tekniklerinden biri olan elektrik ark sprey yüksek

hızlarda ve büyük birikme verimiyle önemli bir kullanım avantajına sahiptir. Bu sayede geniş alanlar çok hızlı bir şekilde kaplanabilmektedir. Herhangi bir ısıtıcı gaz kullanılmadığı için altlık malzemeye ısı girdisi çok az seviyelerdedir [34].

Ark sprey kaplama tekniğinde elektriksel olarak iletken teller aşağıdaki Şekil 3.8.' de gösterildiği beslenmektedir. Bunun yanında bazı beslenemeyen malzemeler, uygun olan tel içerisine koyularak dışına ince bir kılıf olacak şekilde kaplanıp birleştirilerek üretilir. Üretilen bu tellere özlü teller denilmektedir. Böylece kullanımı sınırlı olan malzeme formları da kaplama uygulamalarına uygun hale getirilir [17].



Şekil 3.8. Çekirdekli (özlü) telin üretilmesi [35].

3.7.1. Al ve alaşımları

Metalik alüminyum kaplamalar gıda endüstrisinde, deniz içi uygulamalarında korozyon koruma için, ticari alanlarda ve askeri uygulamalarda kullanılan kaplamalardır. Alüminyumun korozyon koruma alanı asidik bölgededir. Alüminyum kaplamalar özellikle yüksek sıcaklık korozyonuna karşı dirençlidir. Alüminyum alaşımı olarak $AlMg_5$ alaşım kaplamalar özellikle deniz atmosferine maruz kalan gemilerin ve petrol platformların korozyona karşı korunmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [36].

Denizcilik ve atmosfer koruması olarak kullanılan alüminyum kaplamaların kullanım ömrünü 20 yıla yakın uzattığı rapor edilmiştir. Alüminyum, korozyon korumasında çelikten daha düşük bir elektrokimyasal potansiyel sergilemektedir. Çevre ile çelik

altlık arasında uygulanan kaplama sayesinde Al kaplama galvanik etki sebebiyle koruma sağlayacaktır.

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

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

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

Ayrıca elektrik iletkenliği açısından metal olmayan malzemelerin yüzeylerine uygulanarak biriken statik elektriği dağıtmak ve radyo frekansları veya elektromanyetik etkilere karşı korumak için uygulanmaktadır [34].

3.7.2. Zn ve alaşımları

Metalik çinko ve alaşımları çelik yapılarda korozyon koruması amacıyla kullanılmaktadır. Zn kaplamalar köprüler, bina kolon ve kirişler büyük çelik yapılar, dökme demir boru, su kuleleri, sıvı depolama tankları ve ev ve sanayi tüplerinin kaplanması gibi uygulamalarda başarı bir şekilde kullanılmaktadırlar [10].

Galvanik etki sebebiyle çelik köprülerde sıklıkla kullanılan çinko kaplamalar, korozyon dayanımını oldukça artırmaktadır. Çinkonun oksitlenme potansiyeli oldukça düşüktür. Uygulanan kaplama ile yüzeyde ince bir çinko oksit yapısı havayla etkileşimde olacaktır. Burada çinko oksit tepkime sonucu çinko hidroksit formunu oluşturur. Karbondioksit ve çinko hidroksit tepkimeleri yüzeyde çinko karbonat katmanları meydana getirecek ve koruma sağlanmış olacaktır. Yumuşak ve diğer kaplama malzemelerine nazaran ucuz oluşu avantajlarıdır [37].

3.7.3. Ni ve alaşımları

Nikel ve nikel alaşım kaplamaları deniz atmosferindeki ve tuz giderme alanlarındaki komponentlerin korozyona karşı koruma sağlanması için uygulanır. Özellikle ark sprey NiCu₃₀Fe kaplamalar indirgeyici ortamlarda ve oksitli akışkanlarda mükemmel korozyon koruma sağlamaktadır. Elektrik ark püskürtme ile üretilen NiCr 80/20 kaplamalar ıslak ortamdaki korozyon karşı koruma için uygulanan bir diğer nikel alaşım kaplamadır. Mükemmel bir korozyon koruması sağlayan NiCr 80/20 için en iyi sonucu elde etmek için kaplama sırasında atomize gaz olarak argon kullanılması gerekmektedir [36].

3.7.4. Zn-Al ve alaşımları

Çinko ve alüminyum alaşımları ile kanıtlanmış olan bu kaplama çinkoya benzer ve tuzlu ortamlarda alüminyumun koruyuculuk performansı geliştirmiştir. Japonya da yapılan çalışmalarda özellikle %85 ve %15 alüminyum alaşımların kaplamalarda avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Bu kaplamalar çelik köprülerin kaplanmasında başarı ile kullanılmıştır [37].

3.8. Elektrik Ark Sprey Kaplama Uygulama Alanları

Sanayilemiş ülkelerde her yıl aşınma ve korozyon problemleri yüzünden milyonlarca dolar kaybedilmektedir. Elektrik ark sprey yöntemi ile yapılan çeşitli kaplamalar korozyona ve aşınmaya karşı üstün koruma sağlayan ve son yıllarda hızla yayılan bir yöntemdir. Dünyada gerçekleştirilen bazı uygulamalar aşağıda verilmiştir. Bu uygulamalarda yıllarca hiçbir bakım görmeksizin korozyondan koruma sağlanmışır. Kaplanmış parçaların kuruma süresi söz konusu olmadığı için direkt kullanıma veya sonraki proseslere verilebilir bu da sanayide üretimin hızını kesmemektedir [38].

3.8.1. Uçak parçalarının tamiratında

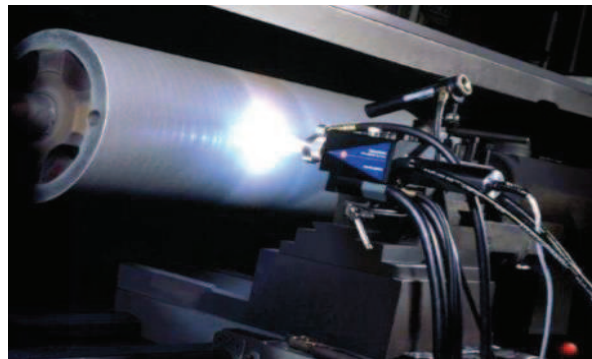
Bir çok uçak motoru üreticisi uçak motorunun tamiratında ve restorasyonunda ark sprey yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca ark sprey kaplamalar yüksek sıcaklıkta aşınma, boyutsal restorasyon ve bağ kaplama olarak uygulanabilir.



Şekil 3.9. Uçak motorunun tamir amaçlı kaplanma uygulaması [35].

3.8.2. Aşınma uygulamaları

Özlu tel teknolojisi ile elektrik ark sprey kaplamalarının kullanım alanları genişlemiştir. Bu yöntem ile içinde karbür bileşimli partiküller bulunan kaplamalar üretilebilir ve bu kaplamalar mükemmel aşınma direnci sağlar.



Şekil 3.10. Ağır sanayide kullanılan bir silindirin elektrik ark sprey prosesi yardımıyla kaplanması [35].

3.8.3. Korozyondan koruma

Ark sprey kaplamalar sıklıkla yüksek ve düşük sıcaklıkta korozyondan korunma amaçlı kullanılır. Bu kaplamalar oksidasyon ve ısı dirençleri ile çevrenin korozyon etkilerinden korur. Endüstride gerçekleştirilen bazı korozyondan koruma amaçlı kaplama uygulamaları; binalarda beton içi korozyona karşı, köprü ekipmanlarında, tv ve radyo verici kuleleri, yüksek gerilim hattı direkleri, LPG tüp ve tankları, demiryolu sinyalizasyon yapıları, yüksek güçlü arama radarları, yaya üst geçişleri, yol ve köprü parmaklıkları ve bariyerleri, su boru hatları ve depoları, sulama kanal kapakları, galvanizlenmiş yapıların onarımında, sıcak daldırma gibi yöntemlerle metalurjik özelliklerin olumsuz etkileyen bileşenlerin kaplanması için kullanılır.



Şekil 3.11. Köprü konstrüksiyonunun korozyona karşı kaplanması [35].

3.8.4. Otomotiv endüstrisi

Elektrik ark sprey prosesi şase, kaporta ve kaynak dikiş yerlerinin korozyondan korunmasında ve onarılmasında kullanılır. Aynı zamanda aşınmaya karşı direnç göstermesi için krank mili v.s. gibi otomobil parçalarında kullanılmaktadır [35].



Şekil 3.12. Ark spreyle krank milinin kaplanması [39].

3.8.5. Elektriksel uygulamalar

Alüminyum, titanyum, çinko ark spreyle metal kaplanmış malzemeler elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanılır. Alüminyum kaplanmış metal oksit varistörün yüzeyinde elektriksel iletkenlik oluşturur.



Şekil 3.13. Kaplanmış varistör [35].

3.8.6. Parça tamirâtı

Elektrik ark spreyle kaplamaların dövme ve şekillenme kabiliyeti sayesinde kayda değer bağ mukavemeti kaybolmadan ekonomik olarak kalın kaplamalar yapılmasına olanak verir. Bundan dolayı taşıma maliyetinin yüksek olduğu ve parçaların sökülemediği durumlarda ark spreyle başvuru yöntemidir.



Şekil 3.14. a) İş parçası yüzeyinde kullanım sırasında oluşan aşınma. b) Elektrik ark spreyle kaplanarak tamir edilmiş iş parçası [35].

3.8.7. Kalıp hazırlama

Elektrik ark spreyle kalıp endüstrisinde kalıbı yaparken kalın kaplama oluşturulmasında kullanılır. Kaplamanın karakteri kalıptan çıkmasına izin verir. Bu prosesteki başarı hızlı prototip oluşturmayı sağlar.



Şekil 3.15. Elektrik ark spreyle hızlı prototip kalıp üretimi ve üretilmiş kalıplar [35].

3.8.8. Elektronik devreler

Elektrik ark spreyle kaplamalar hem elektriksel direnç hem de elektriksel yalıtıcılık uygulamalarında kullanılır. Elektronik endüstrisi metalik olmayan malzemelerin lehimlenme özelliklerinden dolayı kalay gibi metaller kaplamada kullanılır [35].

BÖLÜM 4. ARK PÜSKÜRTMEDE KULLANILAN ÖZLÜ TEL MALZEMELER

4.1. Giriş

Termal sprej metotları arasında ark sprej en yüksek proses verimliliğine ve birikme oranlarına sahiptir. Ve aynı zamanda termal sprej ailesi içerisindeki en ucuz kaplama yöntemidir. Eski araştırmalar başlıca HVOF prosesinin gelişimi üzerine odaklanırken ark sprej diğer püskürtme metotlarının yerini alarak kaplama maliyetini düşürme potansiyeli ve parametrelerinin diğer yöntemlere göre az olması, kurulumunun kolay olması ve mobilize sistem avantajından dolayı şimdilerde tekrardan yüksek bir ilgi görmektedir. Ark püskürtme prosesi elektriksel olarak iletken tellerle sınırlandırılmıştır. İlave olarak bir güvenli beslemeye izin vermek için teller yeterli esneklik sağlamak zorundadır. Her alaşım bu talebi karşılamaz. Fakat özlü tellerin uygulanması uygun malzeme spektrumunu genişletir. Özlü teller iletken olmayan tozlarla doldurulan malzemelerin bir iletken zar ile birleşmesine izin verir. Doldurulan malzeme olarak sert karbürler kullanarak sermet benzeri kaplamalar üretilebilir. Zar malzemesinin gevrek ya da sert alaşım oluşturması için iyi esneklik sağlayarak alaşımlamaya olanak vermesi gerekir. Ucuz hammadde ve kaplama maliyetlerini azaltmada tam potansiyeli kullanmak için ilginin merkezindedir [40].

Özlü teller ile üretilen kaplamaları geliştirmek için iki farklı yöntem vardır. Bir yanda zar ve doldurulan malzeme arasında bir yüksek etkileşim derecesi sağlayan bir püskürtme prosesi, sert ve gevrek alaşımlar oluşturan bir sünek zar malzemesini alaşımlamak için uygulanabilir. Bir diğer yanda zar ve doldurulan malzemelerin çok az etkileşimine izin veren bir proses sermet gibi kaplamaların üretiminde uygulanabilir.

Karbürler, borürler ya da nitrürler olan sert fazlar arasında iyi bir bağlanma elde edebilmek için matris malzemenin ıslatma davranışında bir iyileştirme yapmak yararlıdır. Boron ve silikona ek olarak hem demir hem de nikel esaslı matrisler için bu gibi iyileştirme sağlanabilir [41].

4.2. Elektrik Ark Püskürtmede Kullanılan Özlü Tel Malzemeler

Ark püskürtme tekniğinde sadece iletken tellerin kullanımı kaplama malzemesi açısından çeşitliliği engellemektedir. İletken olmayan veya tel haline getirilmesi mümkün olmayan malzemeler, uygun olan tel içerisine koyularak dışına ince bir kaplama olacak şekilde kaplanıp birleştirilerek üretilmektedir. Bu malzemeler özlü tel olarak adlandırılmaktadır [17].



Şekil 4.1. Özlü tel yapımı ve özlü telin tipik karakteristiği [42].

Tablo 4.1. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı özlü teller ve kullanım alanları

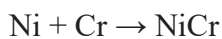
Özlü tel	Uygulama alanı
FeCMnSi	Kuru atmosferde yüksek aşınma dirençli kaplamalar
FeCrBSi	Aşınma dirençli kaplamalar, iyi genel korozyon dayanımı ve iyi bağ mukavemeti
FeCrBSi+WCCoCr	Mükemmel aşınma dayanımı, iyi genel korozyon direnci ve iyi bağ mukavemeti
FeCrSi	Aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C'nin üstü)
NiCr 50 50	Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C üstü)
NiBSi+WC	Yüksek abrasif aşınma dayanımlı kaplamalar, iyi genel korozyon direnci
NiCrBSi	Islak atmosferde yüksek korozyon direnci, iyi aşınma dayanımı
NiCrAl	Oksidasyon ve korozyona dayanımı
FeNiCr	Yüksek sıcaklık korozyona dayanımı

Yüksek alaşımlı teller sadece 0.45% C'den başka 17% Cr içeriyor olsa da 1.23% C, 1.95% Cr, ve 0.35% Ti'den daha az içeren geleneksel olarak düşük alaşımlı karbon çelik teller ark püskürtmede kullanılmaktadır. Bu gibi teller yüksek aşınma direncine sahip olamayan kaplamada sadece martenzitik yapı sağlar.

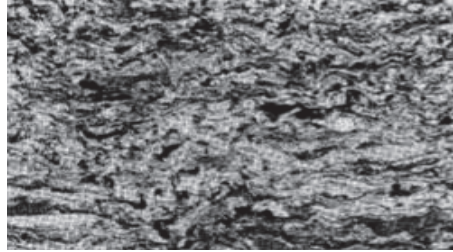
Yüksek aşınma direnci elde etmek için püskürtülen kaplamada karbürleri oluşturan C, Cr, V ya da Ti'nin bir yüksek içeriğini özlü telin içerisine yerleştirmek gereklidir. 5 % C ve 28 % Cr'ye kadar içerebilen özlü teller bu gibi kaplamaların üretimine izin verir.

Örneğin, genelde özlü tel kullanım tekniği aşağıdaki ihtimalleri ortaya koyar:

1) Alaşımların Oluşturulması:

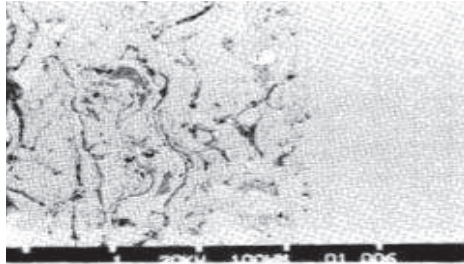
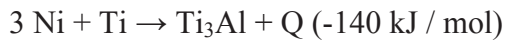


Yumuşak çelik + FeCrC alaşımı $\rightarrow \alpha \text{ Fe} + \gamma \text{ Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$



Şekil 4.2. FeCrC özlü telin ark püskürtme tekniği kullanılarak yumuşak çelik althğa püskürtülmesiyle elde edilen kaplamamın mikroyapısı.

2) Kimyasal Bileşiklerin Oluşturulması:



Şekil 4.3. Ark sprej ile Ni / Al özlü telin püskürtülmesi ile elde edilen kaplamamın mikroyapısı.

3) Kompozit Kaplamaların Üretimi

Metal + Karbür: $\text{Co} + \text{WC}$

Metal + Borür: $\text{Ni} + \text{CrB}$

Metal + Oksit: $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$

Metal + Oksit + Karbür: $Ni + Cr_2O_3 + Cr_3C_2$

Metal + Viskır: $Al + SiC$



Şekil 4.4. Co / WC özlü telden elde edilen ark sprey kaplama.

Bu yüzden ark püskürtme tekniği ile özlü tel kullanmanın gelecekte bir geniş uygulama alanını kapsayacağı düşünülmektedir [8].

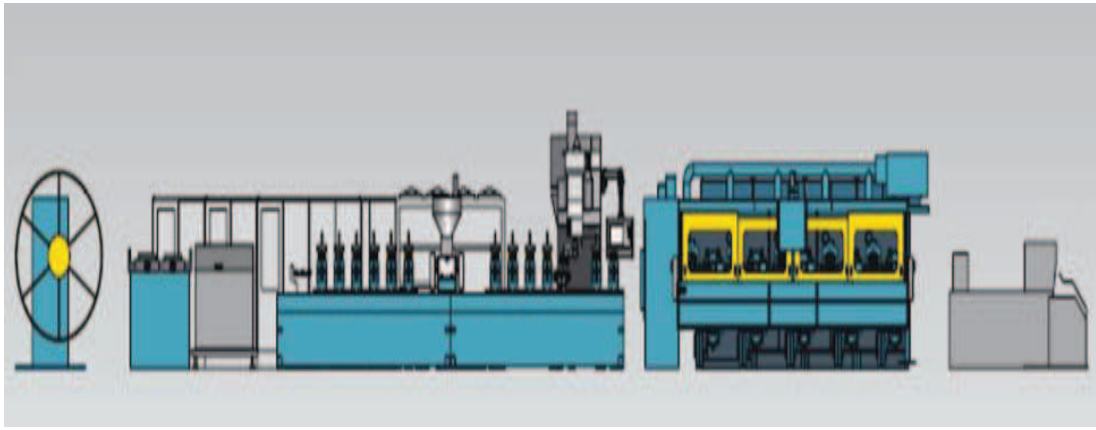
4.3. Özlü Tel Üretimi

Özlü tel elektrotların üretimi iki şekilde gerçekleştirilir. Birinci yöntemde; 10 mm genişliğinde 0,4 mm kalınlığındaki ince çelik şerit haddelenerek U kesit şeklinde kıvrılır ve içine ölçülen miktarda öz beslemesi yapılır. Özü oluşturan maddelerin homojen olarak karıştırılması kaplamanın yoğunluğunun değişmemesi için önemlidir. U formundaki içi öz dolu şerit kapatılarak istenilen ölçülerde üretilir. Genellikle 1,2 mm ile 2,1 mm çapında tel elektrotlar üretilir. Üretim hızı 25 m/dak'ya varan özlü tel üretim makineleri bulunmaktadır [42].



Şekil 4.5. Özlü tel üretiminin şematik gösterimi [42].

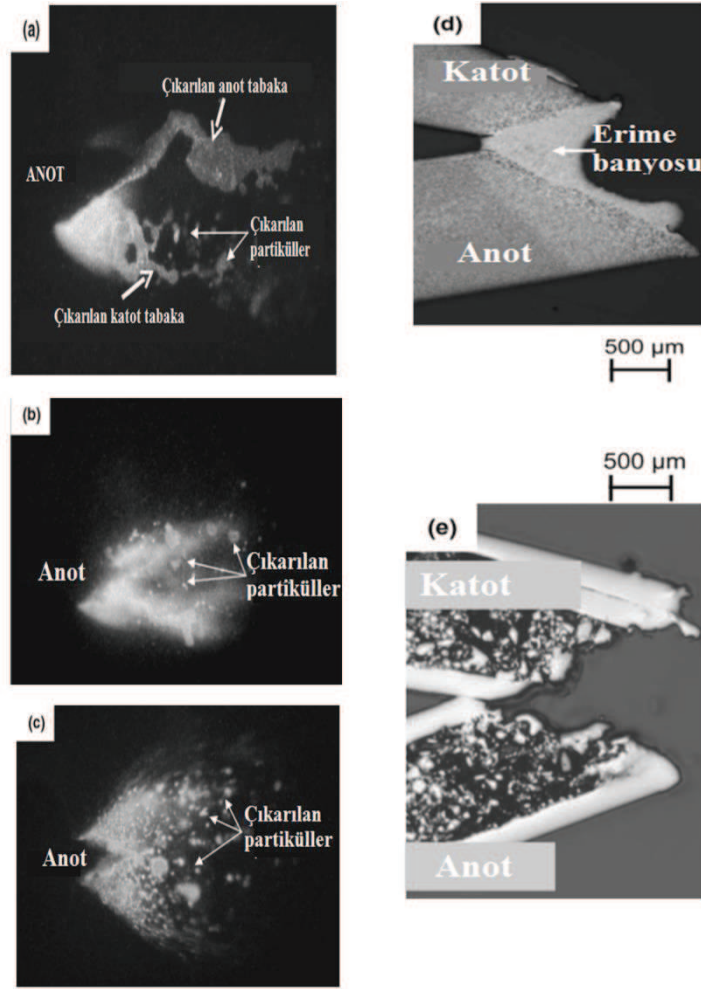
İkinci yöntemde ise; genellikle 25,4 mm çapında bir ucu kapalı boruların içine açık olan ucundan toz beslemesi yapılır. Tozun borunun içinde homojen dağılması, boşluk bırakmaması amacıyla boruya titreşim uygulanır. Boru doldurulduktan sonra açık uç kısmı kapatılarak, istenilen ölçülerde üretilir. Üretilen bu elektrotlar; kenetsiz tip veya boru tipi olarak isimlendirilir. Kullanılacak şerit ve boru istenilen alaşım malzemesinden seçilebilir. Kenetli tip özlü elektrotların kenetsiz tip özlü elektrotlara göre avantajı içerisinde öz dökülmemesi buna karşın dezavantajı ise karmaşık şekillerinden dolayı üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır.



Şekil 4.6. Özlü tel üretim hattının şematik gösterimi [42].

4.4. Özlü Tellerin Diğer Tellerden Farkı

Özlü telin zarı elektriksel olarak iletken deforme edilebilir metallere yapılmaktadır. Zar karbürler ve oksitler gibi iletken olmayan deforme edilemez malzemelerle doldurulmaktadır. Özlü telin içeriği endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak için farklı farklı malzemelerden seçilebilir. Özlü tellere doldurulan tozların varlığının bir sonucu olarak onların erime davranışı ve metal dağılması katı tellerden farklıdır. Ark sprejde kullanılan tellerin erime davranışı partikülleşmeyi başlatmada bir kontrol edilebilir faktördür.



Şekil 4.7. (a) ve (d) katı tellere ait erime davranışını (b),(c) ve (e) ise özlü tellere ait erime davranışını göstermektedir [4].

Püskürtme işlemi boyunca kaplama malzemesini oluşturan telleri üretmek için bir ilave umut verici olasılık kaplanmış telleri (örtülü elektrotları) kullanmaktır. Bir organik bağlayıcı madde içerisindeki tozlarla bir merkezi teli kaplamak birçok maliyet olarak etkin (ucuz) bir tekniktir. Bu bileşik teller bir iyi esneklik gösterir fakat masif (dolu) telin bir gizli merkezi pozisyonun elde edilmesi gerekmektedir. Bileşikte merkezi telin pozisyonundaki değişimler püskürtme işlemi boyunca düzensiz ergime davranışına yol açar. Dahası bir organik bağlayıcının kullanılması işlem boyunca bileşik telin güçlü bir şekilde genişmesine yol açar. Püskürtme tabancası içinde ve tel beslemede bir kesintiye sebep olabilir. Kaplanmış tellerin bu dezavantajlarından dolayı özlü teller daha çok avantajlı duruma geçmektedir. Özlü elektrot fiyatları diğer elektrotların fiyatına nazaran biraz daha pahalıdır, fakat üretim

kapasitesi artışına bağlı olarak verim artışı diğer elektrotlarla arasındaki fiyat dengesini sağlar [41].

Özgül tel elektrotlar, iç kısımlarına yerleştirilen ve toz halindeki çeşitli bileşenlerden oluşan özgül bileşenlerinin amaca göre değiştirilebilmesi sayesinde çok yönlü kullanım özelliklerine sahip olarak diğer elektrotların önüne geçmişlerdir. Mekanize veya otomatik yöntemlere uygun olmaması, elektrot değiştirmedeki zaman kaybı ve elektrot artıklarının atılmasıyla ortaya çıkan malzeme kaybı, diğer elektrotları daha maliyetli hale getirmiştir. Diğer tip elektrotların özelliklerini taşıyan ve sürekli olarak bir makaradan elektrik arkına sürülen özgül tel elektrotların geliştirilmesiyle ekonomiklik artırılmış ve yeni alternatifler ortaya çıkmıştır. Özgül elektrotlarla sağlanan kaliteli kaplamaların getirdiği avantajlar, bu tip elektrotların geliştirilmesi yönündeki çalışmaları da önemli bir hale getirmiştir [43].

4.5. Ark Püskürtmede Özgül Tel Kullanımı

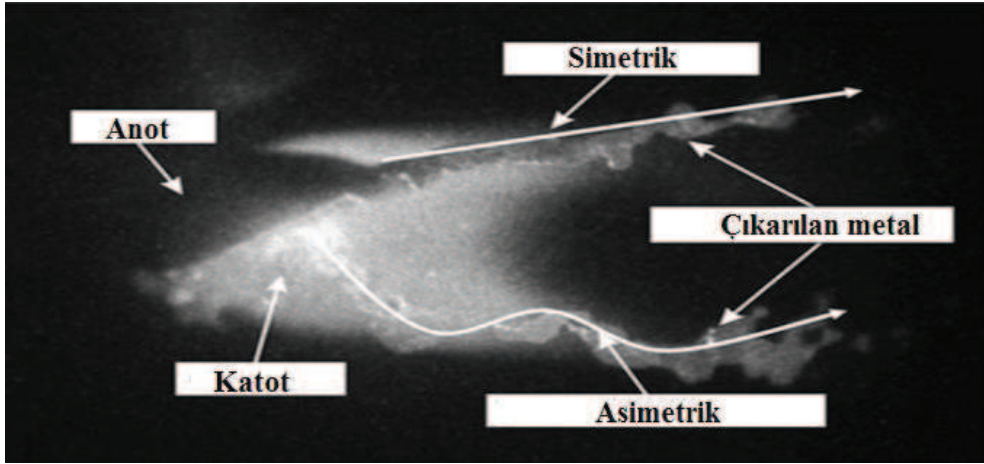
Özgül tel endüstride çeşitli alanlarda kullanılmasına rağmen uygulama alanları kaplama parametreleri ve kaplama özellikleri malesef çok fazla bilinmemektedir. Hali hazırda elektrik ark püskürtme tekniği ile birçok çalışma yürütülmektedir. Kullanılan kaplama malzemesinin çeşitlendirilebilmesinden dolayı zorlu koşullarda yüksek dayanıma sahip sert ve aşınma dayanımlı yüzeyler özgül teller kullanılarak elde edilebilmektedir. Karbür ve oksitli bileşiklerin tel içerisine yerleştirilmesi ile üretilen özgül teller ile yapılan kaplama uygulamalarında metal olmayan unsurların kaplamada takviye fazları şeklinde bulunması ile servis ömür performanslarının artırılması sağlanmaktadır [5].

4.5.1. Dolgu özlerinin partikül boyut dağılımı

Bir kaplama malzemesi olarak özgül tel kullanımı genişletilse bile ark sprey uygulama sahasında onun homojen olmayan bileşimi partikül oluşumunda ve uçustaki partiküllerin karakteristik özelliklerinde bir ilave belirsizliğe sebep olur. Özgül tele doldurulan toz ve tozun tane boyut dağılımı güçlü bir şekilde erime davranışını, metalin parçalanmasını ve de partikül oluşumunu etkiler.

Seçilen kaplama malzemesine ek olarak, uygun şekilde ayarlanan proses parametreleri partiküllerin uçuştaki kinetik ve termal performansını belirler. Partikül oluşum prosesi temel olarak sıvı metalin doğrudan elektrot arkasındaki dağılmasına bağlıdır.

Anot ve katodun tüketimi homojen olsa bile, elektrotlar farklı bir şekilde eririr. Katot bir kütük şeklinde ergisede anodun bir keskin uç şeklinde erdiği görülmüştür [1].

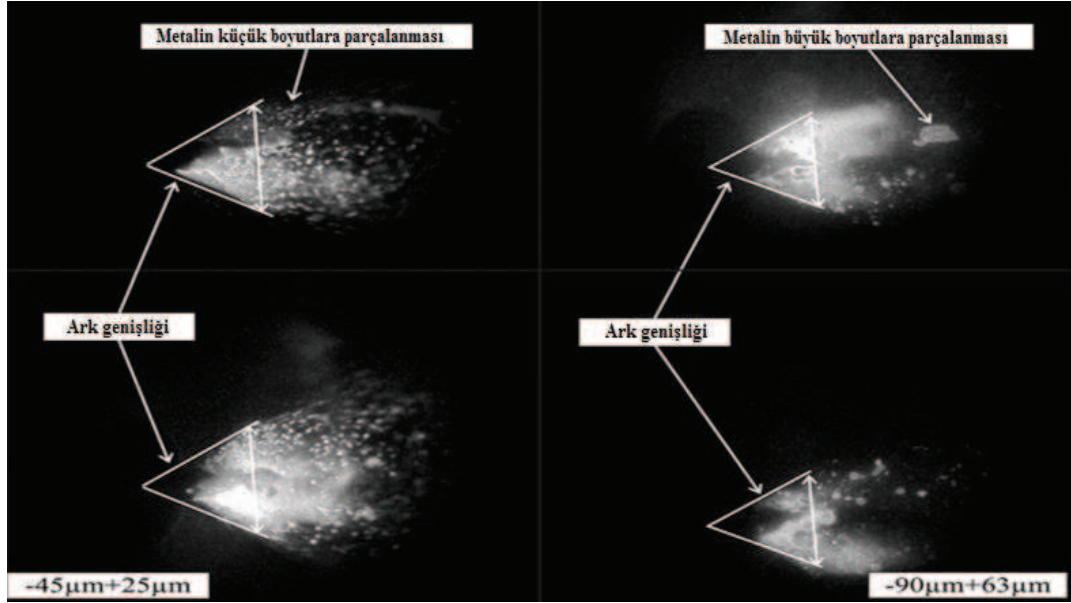


Şekil 4.8. Katı teller kullanarak ark spreyde erime davranışı [1].

Özlu tele doldurulan tozlar;

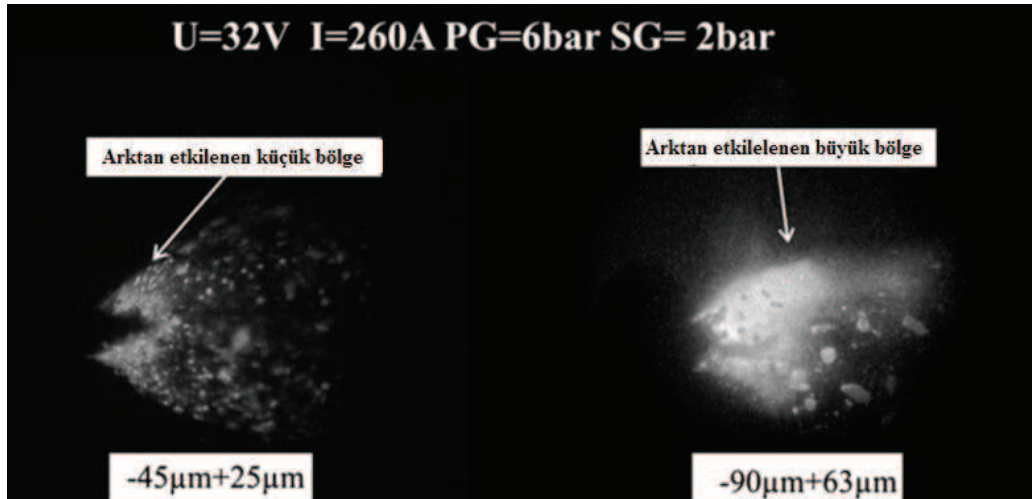
- a) Partikül oluşumunu
- b) Uçuşta partikül davranışını
- c) Kaplama mikro yapısını
- d) Ark sprey kaplama prosesinde elde edilmek istenen kaplamanın özelliklerini etkiler.

Ark sprey tekniğinde, özlu tel içerisine doldurulan tozlar metal parçalanmasında bir önemli rol oynar. Onlar katı tellere nazaran daha kısa metal tabakalar çıkarılmasına yol açar ve esas tellerin arkasında doğrudan bir metal parçalanmasına yol açar.



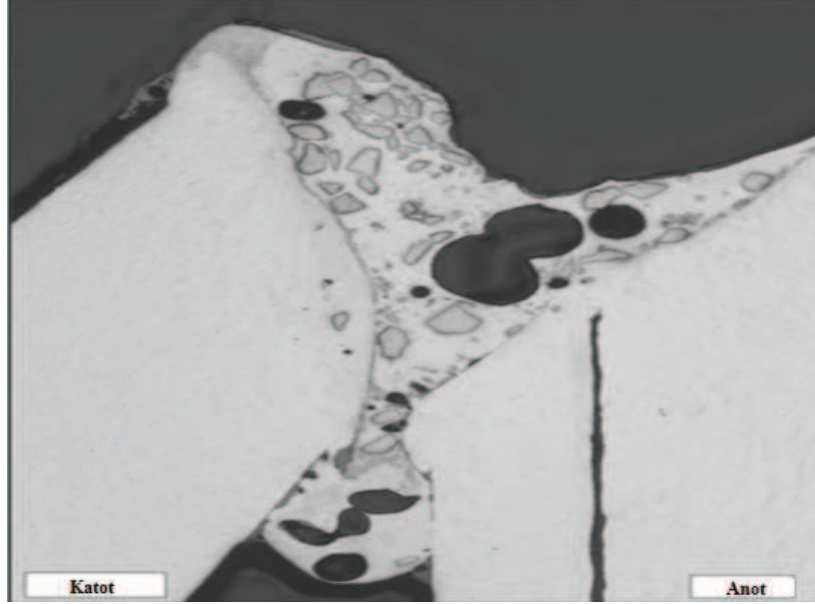
Şekil 4.9. Teller için anot bölgesinden kaydedilen fotoğraflar [1].

W. Tillmann [1] tarafından yapılan çalışmada; $(- 45 + 25 \mu\text{m})$ tane boyutlu özlü tellerin kullanımı $(- 95 + 63 \mu\text{m})$ tane boyutlu özlü tellerin kullanımı ile karşılaştırıldığı zaman daha büyük ark ve ayrıca daha büyük sayıda metal parçalanması görülmüştür. Özellikle $(- 45 + 25 \mu\text{m})$ tane boyutlu özlü tellerle ark, eğri şekilli bir dış uç gösterir. Küçük tane boyutlu özlü teller kullanılarak elde edilen metal parçalanmalarında çoğunlukla bir dış metal tabaka yoksunluğu gözükmemektedir.



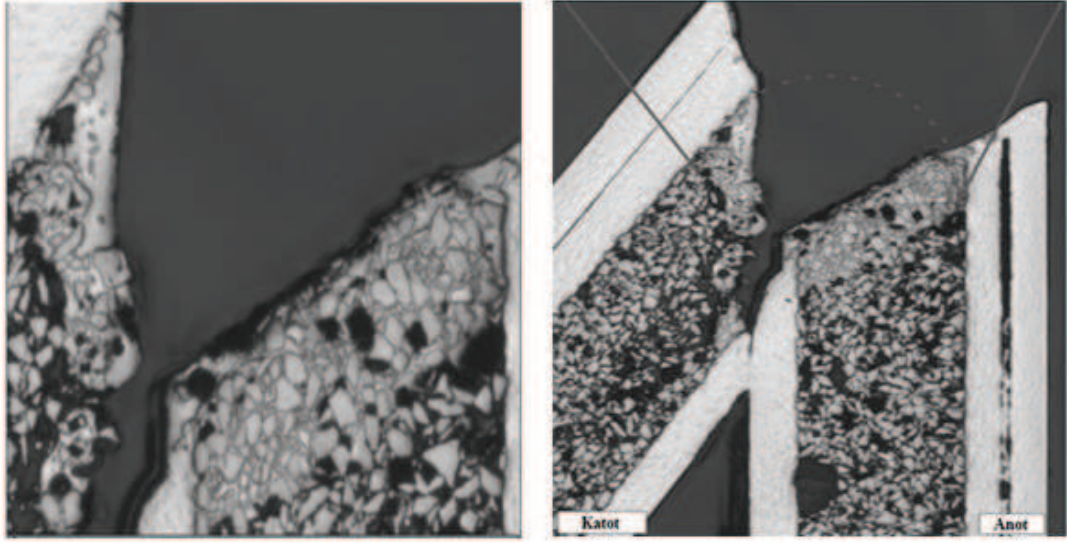
Şekil 4.10. Yüksek voltaj kurulumlarında, daha büyük partikül boyut dağılımlı tozlarla doldurulan özlü teller ile düzgün olmayan parçalanmaların sayısının daha büyük olduğu görülmektedir [1].

Daha küçük tane boyutlu özlü teller olması durumunda; bir daha büyük sayıdaki toz partikülü tarafından çıkarılan metal tabakaların aynı miktarı nüfuz ettirilmiş ve buda daha büyük metal parçalanmalarına yol açtığı görülmüştür.



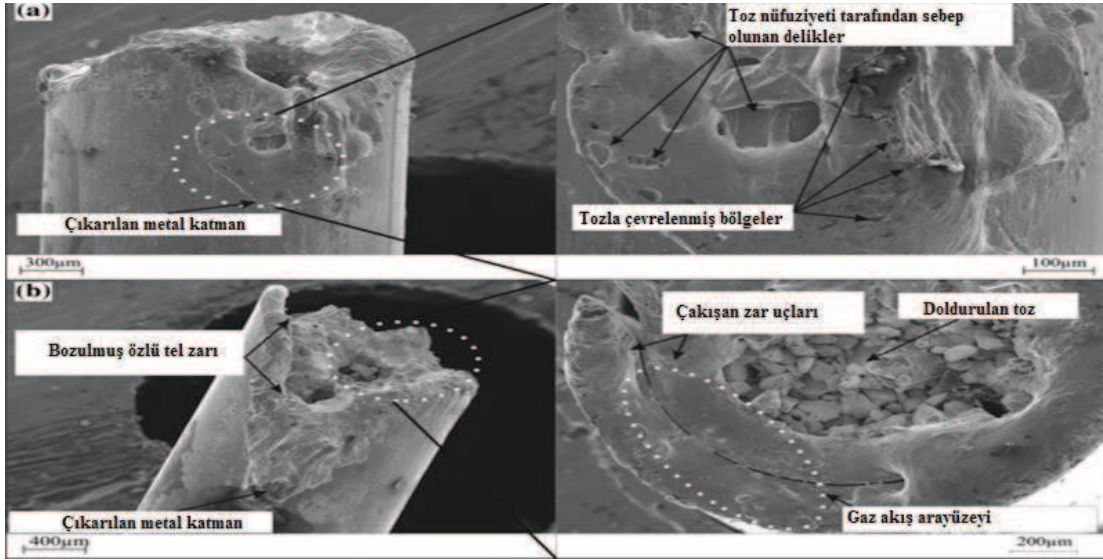
Şekil 4.11. Özlü telin içine yerleştirilmiş toz partiküller ile metal katmanların oluşumu [1].

Ark, tellerin üst tabaka yüzeylerini ısıtıp onları eritirken, bu arada erimiş metal doğrudan atomize olmakta ve gaz buharı tarafından uçurulmaktadır. Aynı zamanda tellerin yarı sıvı kısımları çıkarılıp doldurma tozlarına nüfuz ettirilmiş ve metal katmanlar oluşmuştur.



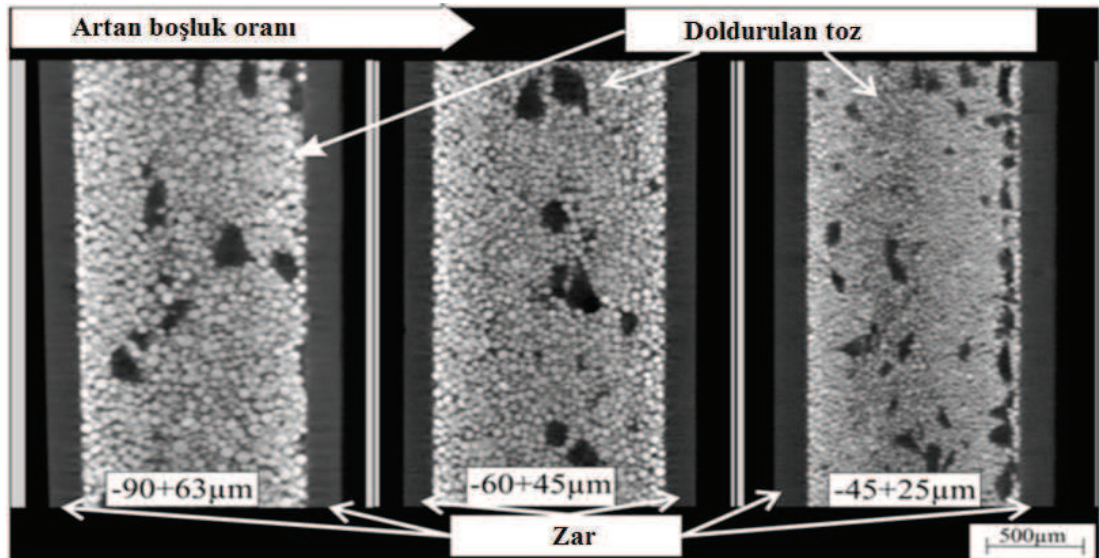
Şekil 4.12. Eriyen zar malzemesinin doldurulan tozlara nüfuziyeti [1].

W. Tillmann [1] tarafından yapılan çalışmada; doldurulan tozların bir kısmı, çıkarılan yarı sıvı metalle uzaklaştı. Kalan doldurma tozları salındı ve bu yüzden atomizasyon gaz akışına maruz kaldı. (Şekil 4.13.' de gaz akış ara yüzeyinde görüldüğü gibi) Doldurulan tozların kalanı sürekli akan atomizasyon gazı tarafından tüketildi. Toz partikülleri gaz akışı doğrultusunda hızlandırıldı. Onların patikasında, çıkarılan metal katmanlar vasıtasıyla esas tellere yakın farklı boyut ile tel uçlarında metal parçalanmalarına sebep olarak nüfuz ettirildi. Şekil 4.13. (a) da gösterildiği gibi çıkarılan metal tabakaların kaçışını hızlandıran deliklere sonuç olarak nüfuziyetler sebep oldu. Bu deliklerin sayısı bir küçük toz boyutu ile açıkçası özlü tellerde daha yüksekti. Artan birincil atomizasyon gazı basıncıyla ortaya çıkarılan nüfuziyet delikleri sayısında ayrıca bir artış gözlemlendi. Çıkarılan metal katmanın bozulması nüfuziyet delikleri sayısı tarafından doğrudan etkilendi.



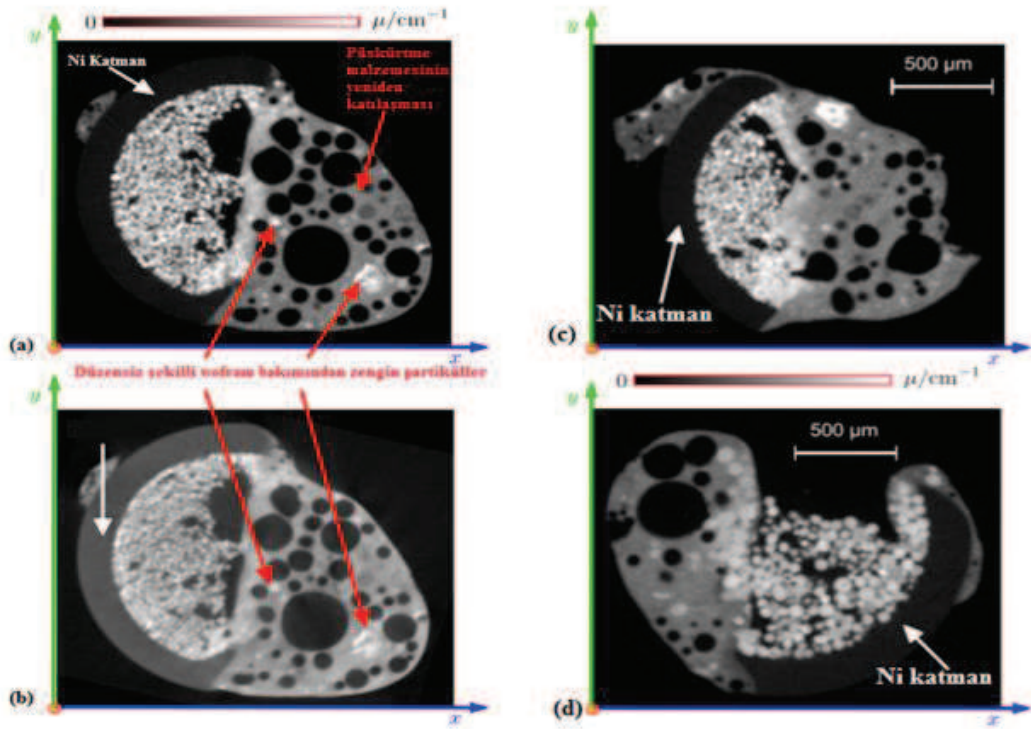
Şekil 4.13. Daha küçük toz boyut dağılımlı özlü tellerde oluşan metal katmanın bozulması [1].

W. Tillmann [1] tarafından yapılan çalışmada; Doldurulan tozlar üzerinde bir emme gücü davranışı oluşturuldu. Emme güçleri, doldurulan tozları birlikte tutmayı sürdüren güçlerden daha büyük olur olmaz tozlar tellerden emildi. Bu olgu doldurulan tozlardaki büyüyen boşluk oranı tarafından artırıldı. Daha küçük tane boyutlarında partiküller içeren özlü teller olması durumunda en yüksek boşluk oranı bulundu. Şekil 4.14.' de doldurulan tozlardaki boşlukları göstererek kullanılan özlü tellerin X- ışınları tomografisini göstermektedir.

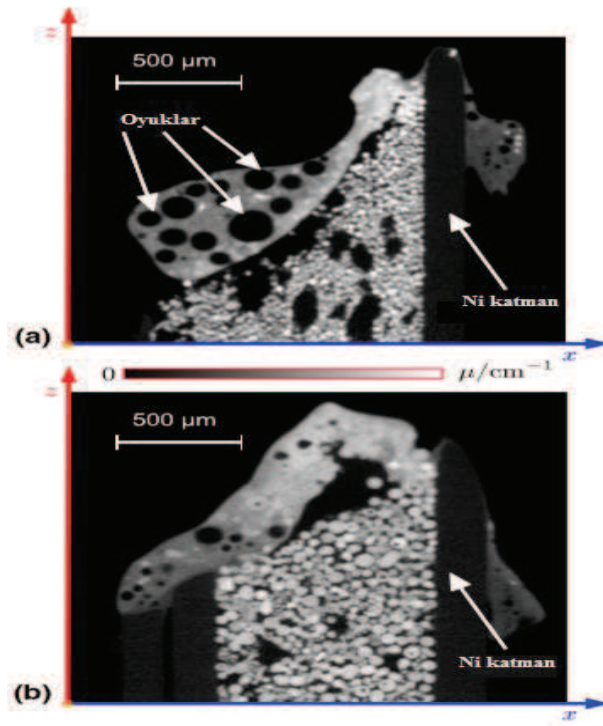


Şekil 4.14. Kullanılan özlü tellerin doldurulan tozlardaki boşluklarını gösteren üç boyutlu X- ışınları tomografisi [1].

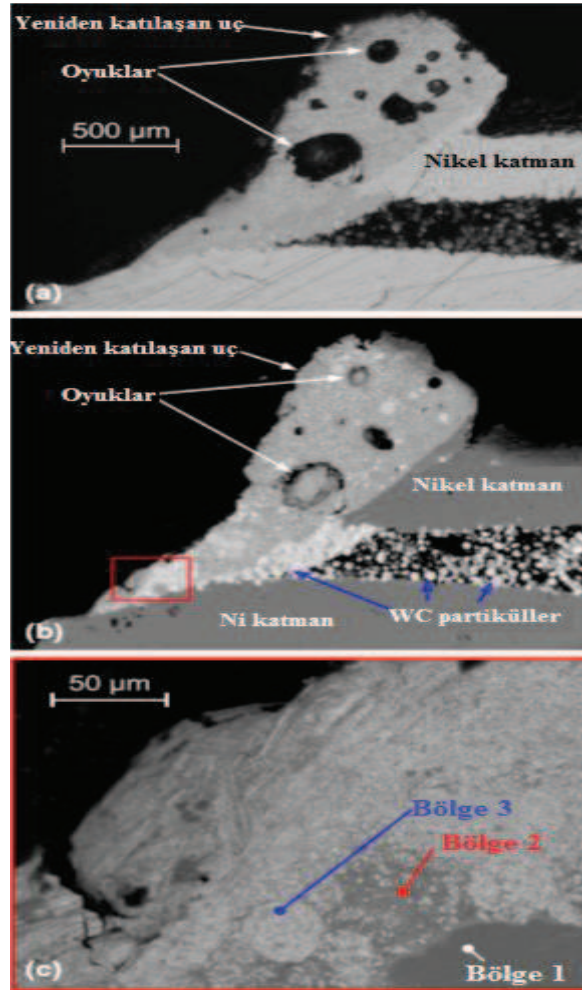
J. Nellesen ve arkadaşları [4] tarafından yapılan çalışmada wolfram bakımından zengin partiküller ile dolu özlü teller püskürtülmüştür. Kaplama işlemi kesildikten sonra bu özlü tellerin uçları 3D μ CT ve taramalı elektron mikroskobu yardımıyla doldurulan tozların tabakanın eriyen kısmı ile nasıl etkileşime girdiğini analiz etmek için resmedilmiştir. 3D tomografi analizi; özlü tellerin yeniden katılmış ergime banyosunun hem küresel hem de düzensiz şekilli wolfram bakımından zengin partiküllerle serpiştirildiğini gösterir. Bu düzensiz şekil wolfram bakımından bir kısmi ergimesini ortaya atmaktadır.



Şekil 4.15. (a) da monokromatik radyasyon (b) de polikromatik radyasyon kullanılarak özlü telin kesitinden elde edilmiş 3D tomografi görüntüsü verilmiştir, (c) de 45+25 μ m (d) de 90+63 μ m partikül boyutlu özlü tel (AS781) uçlarının kesitlerinden elde edilen SR μ CT görüntüsü verilmiştir [4].



Şekil 4.16. Özlü tel (AS781) uçlarından çıkarılan uzunlamasına kısmın SR μ CT görüntüsü verilmiştir [4].

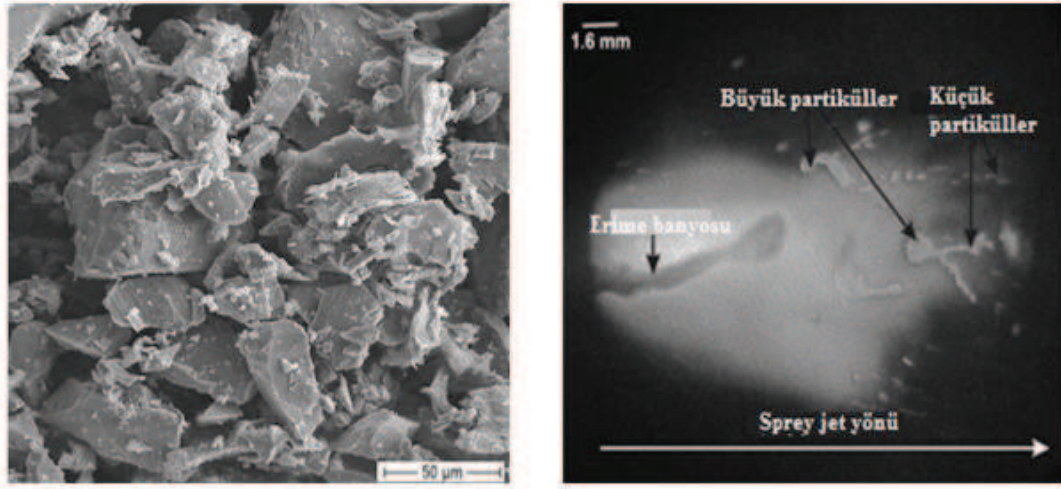


Şekil 4.17. Özlü tel (AS781, Kver = -45+25 µm) ucunun tahribatlı testi (a) uzunlamasına kısmın ışık mikroskobu görüntüsü (b) BSE dedektörü ile elde edilen aynı kısmın SEM görüntüsü (c) bir üst resimde çizilen kare bölgenin BSE resmi [4].

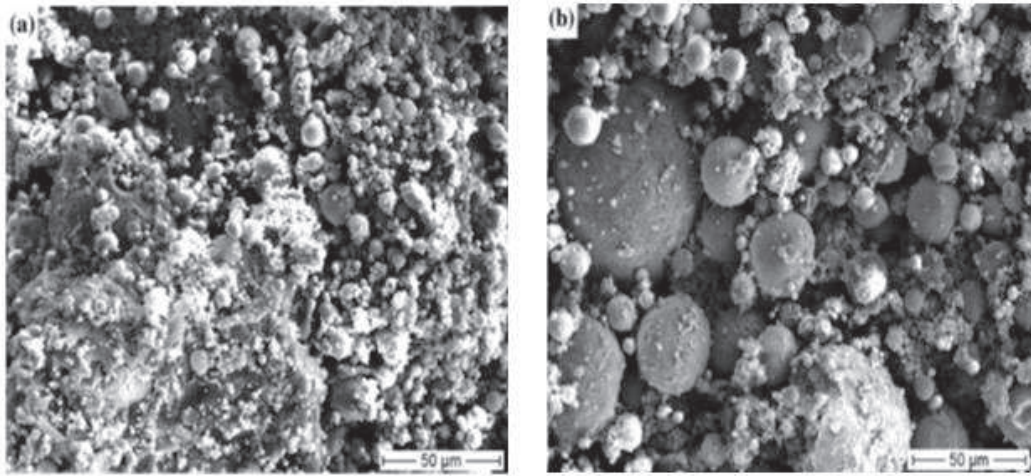
4.5.2. Özlü telden üretilen kaplamalar

W. Tillmann [44] yaptığı çalışmada; ark sprey özlü tel kaplamaların üretimi esnasında oluşan partiküllerin özelliklerini incelemiştir. Yüksek hız kamera ile farklı parametrelerdeki farklı özlü tellerin kaplama sırasında oluşturdukları partikülleri gözlemlemiştir. Havada yol alan partiküllerin hız ve sıcaklık gibi özellikleri değerlendirilmiş, buna bağlı olarak partikül davranışları ve farklı püskürtme koşullarında partikül karakteristikleri incelenmiştir. Bununla beraber partikül içerikli gaz akışı nümerik olarak simüle edilerek bu simülasyon çalışma kapsamında deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında kapalı nozul sistemli 350 PPG ark püskürtme sistemi kullanılmıştır. Kaplama parametreleri olarak; akım:

320 A, voltaj: 32 V, birincil atomizasyon gaz basıncı: 6 bar, püskürtme mesafesi: 45-150 mm olan parametreler kullanılmıştır.



Şekil 4.18. a) Fe esaslı özlü telin sert partiküllerinin mikroyapısı b) Fe esaslı özlü telin yüksek hız kamera resmi [44].



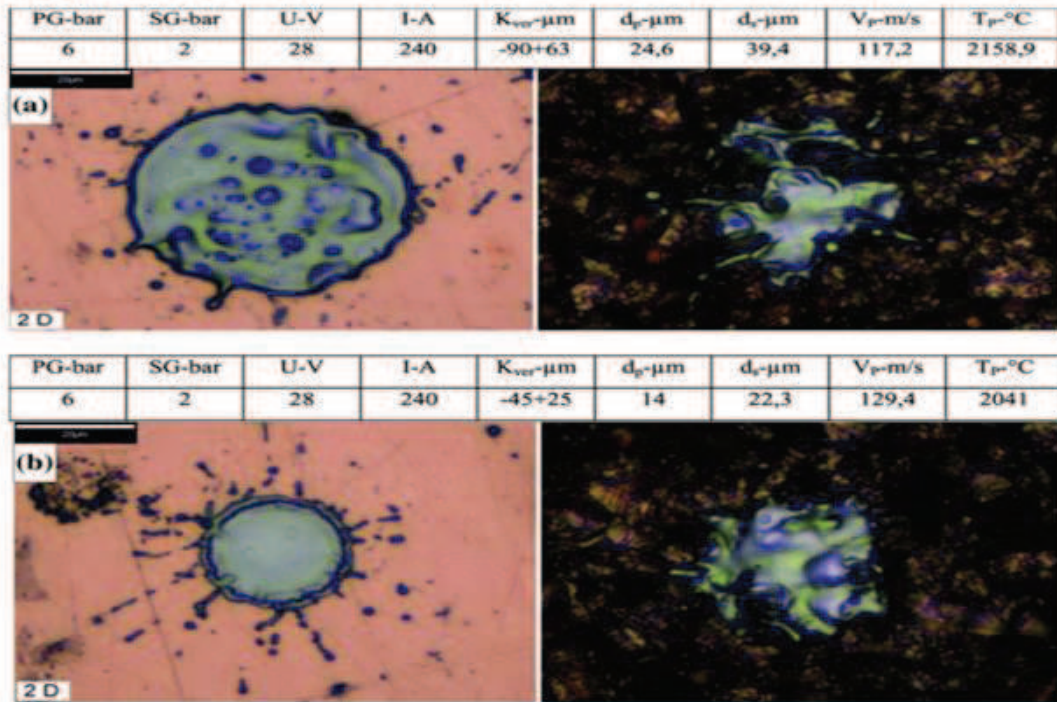
Şekil 4.19. Kaplama sırasında oluşan (a) Fe esaslı ve (b) Ni esaslı partiküller [44].

Yapılan çalışmada yüksek ergime sıcaklığına sahip kaplama tellerinde, düşük ergime sıcaklığına sahip kaplama tellerine nazaran daha küçük partiküllerin üretildiği tespit edilmiştir. Küçük partiküllerin yüksek yüzey alanlarına bağlı olarak büyük partiküllere göre daha hızlı soğuduğu bu çalışmada tespit edilen bir diğer konudur. Şekil 4.9’ da oluşan elektrik arkı içerisinde kaplama telinden atomize gaz ile ayrılan birincil ve ikincil damlacıklar görülmektedir.

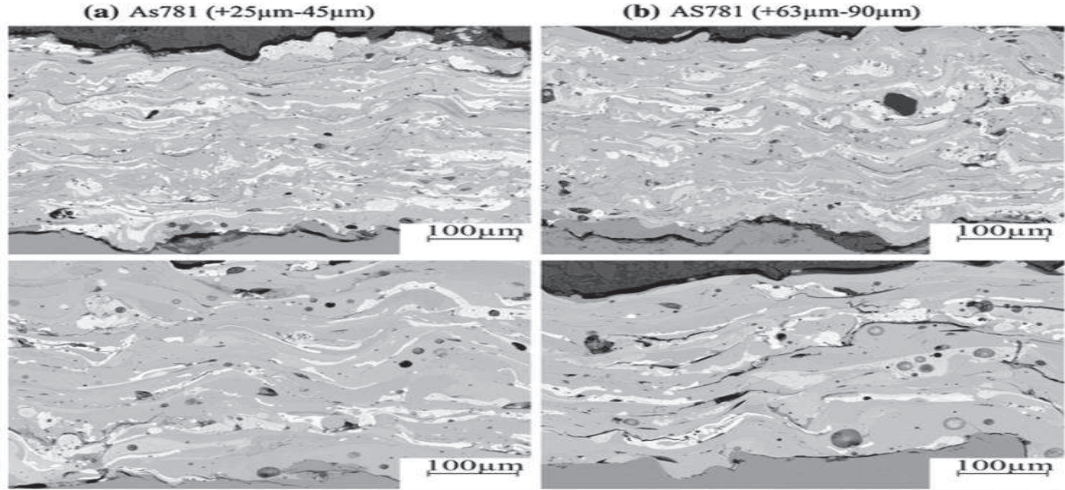
Tablo 4.2. Kullanılan özlü tellerin bileşimi [44].

Tel	İçerik, % ağı.	Tane boyutu(μm)	Tel kılıfı	Sargının malzemesinin kalınlığı (μm)
FeCrBSiMn	Cr-19, Mn-1.6, Si-1.6, B-3.8, Fe-Bal.	40-70	Fe	200
NiCrBSi-PC	Cr-24, Si 5.25, B-1.8, PC-0.4, Ni-Bal.	40-70	Ni	200

W. Tillmann [1] tarafından yapılan çalışmada; küçük partiküllü özlü teller kullanıldığı zaman ilk sonuçlar disk şekilli splatlar gösterdi. Bir sebep partiküllerin çarpmadaki yüksek hızıydı. Diğer sebep; katılaşmadan önce çarpan partiküllerin yayılmasına izin veren çarpmadaki partiküllerin küçük boyutuydu. (Şekil 4.17.' de görülmekte)

Şekil 4.20. (a) AS781 (-90+63 μm) için splat oluşumu. (b) AS781 (-45+25 μm) için splat oluşumu [1].

W. Tillmann [1] tarafından yapılan çalışmada; sırasıyla (+25-45 μm) ve (+63-90 μm) tane boyutlu özlü teller kullanılmıştır. En yüksek partikül hızı ile püskürtüldüğü zaman %0,75 ve en düşük partikül hızı ile püskürtüldüğü zaman %1,18'lik kaplama poroziteleri ölçülmüştür. (Şekil 4.21.' de görüldüğü gibi)



Şekil 4.21. (a) En yüksek partikül hızına sahip tellerden üretilen kaplamalar (b) En düşük partikül hızına sahip tellerden üretilen kaplamalar [1].

J. Wilden ve arkadaşları [42] tarafından yapılan çalışmada demir ve nikel esaslı oluklu özlü teller farklı güçlendirilmiş karbürlerle doldurularak ark püskürtme tekniği ile bir Praxair Type 216 tabanca kullanılarak püskürtülmüştür.

Tablo 4.3. Ark püskürtme parametreleri [41].

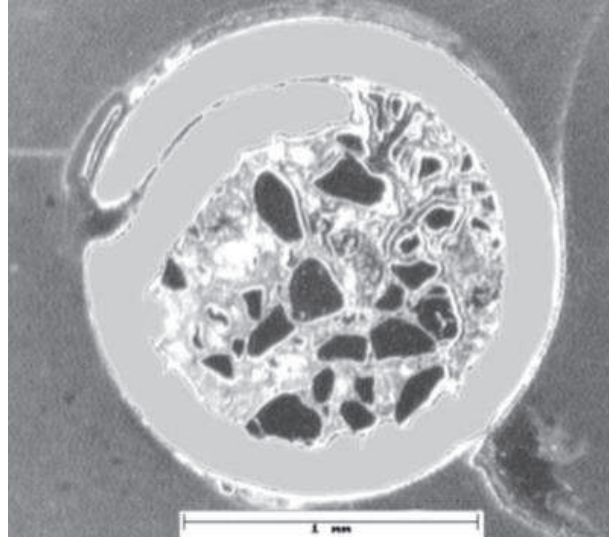
Voltaaj	23-30 V
Tel besleme oranı	5-9 m/min
Atomizasyon gaz basıncı	1,750-3,500 hPa
Sprey mesafesi	100-200 mm

Püskürtme parametreleri yukarıda Tablo 4.3.'de ifade edilmiştir.

Tablo 4.4. Zar ve doldurulan malzemelerin püskürtme hammaddesinde uygulanan bileşimleri [41].

Ürün	Kılıf	Doldurulan tozlar
AS 815	Fe	B, C, Cr, Si
AS 816	Fe	B, C, Cr, FeCr, Nb
AS 751 c	Ni	B, FTC (60-160 μm)
AS 751 s	Ni	B, FTC (10-50 μm)
AS 761	NiCr 80/20	B, FTC (10-50 μm)
AS 751 RC	Ni	B, refrakter karbitler
AS 753	Ni	B, C, Si, Cr, Fe
AS 760	Ni	B, Cr, refrakter karbitler

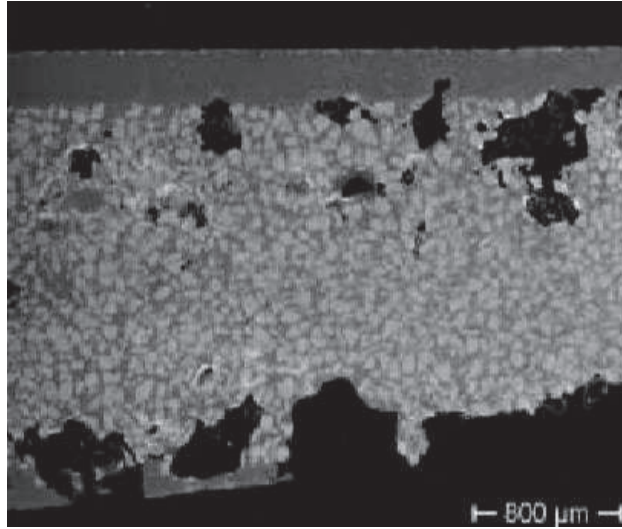
J. Wilden ve arkadaşları [41] tarafından yapılan çalışmada çeşitli ticari özlü tellerin birikme özellikleri incelenmiştir. Tablo 4.4.'de gösterildiği gibi B esaslı dolgular içeren çeşitli tellerin öz yapılandırılmasına değinilmiştir. Çalışmadaki bulgular aşağıda ifade edilmiştir.



Şekil 4.22. AS 751 s özlü telin ön kesit görüntüsü [41].

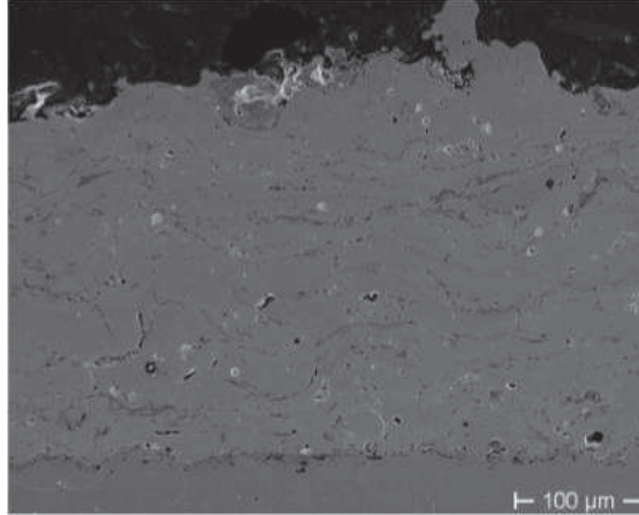
AS 751 c'den başka tüm teller bir sürekli ergime davranışı ile iyi püskürtülebilirlik göstermiştir. İri taneli WC/W₂C olan doldurulan malzemeler sıklıkla arkın bozulmasına yol açmıştır. Karbürler bir metalik matriste bileşiği çevreleyen hala

erimeyen nikelden bir zar ile tamamen gömülmüştür. Erimenin atomizasyonuna öncü olan tel ucunda, erimiş zarın bir karışımı ve doldurulan malzeme tarafından karbür partiküllerin ıslatıldığı öne sürülmektedir. Püskürtme işlemi boyunca kaplamalarda karbür partiküllerin heterojen dağılımı ile sonuçlanan durum doldurulan malzemenin gözenekli özlü telin dışından emildiği durumla ters düşmektedir.

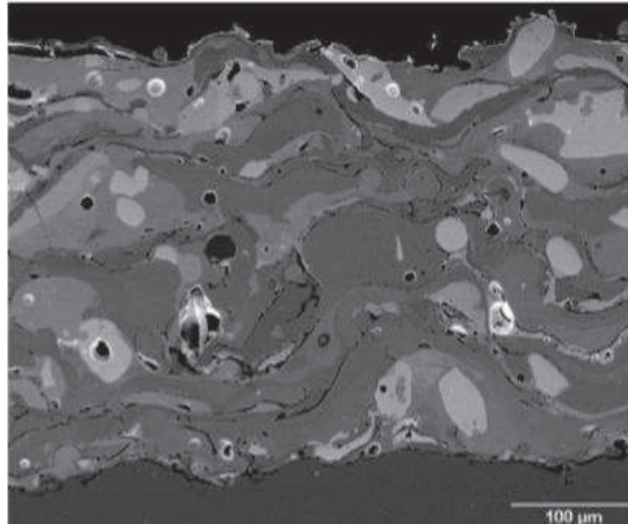


Şekil 4.23. Bir AS 751 s telinin ark püskürtme kaplama prosesinden sonraki kaplama morfolojisi gösterilmektedir [41].

WC/W₂C (AS 751 s) ile doldurulan tellerde birikme oranı 8 kg/h ve birikme verimi %60 olarak elde edilmiştir. AS 815 ve AS 753’de birikme oranı 7,5 kg/h’ye %65’lik bir birikme verimliliği ile yükselmektedir. Yüksek karbür içerikli tellerde maksimum birikme verimliliği 2,500 hPa gaz basıncında bir artan atomizasyon gazı basıncında bir artan atomizasyon gaz basıncıyla tellere sürekli güçlendirme yapılmaksızın verimlilik artarken belirlendi. Bir kritik atomizasyon basıncı geçildiği zaman karbür partikülleri çok az çevreleyen ergiyik matris ve çok yüksek kinetik enerjiyle aşındırıcı gibi davranarak yüzeye çarpmıştır.



Şekil 4.24. AS 753 özlü tel kullanılarak elde edilen ark püskürtme kaplamanın kesitinden elde edilmiş SEM görüntüsü [41].



Şekil 4.25. AS 751 s özlü telinden elde edilen ark püskürtme kaplamanın kesitinden elde edilmiş SEM görüntüsü [41].

Genelde yüksek atomizasyon gaz basınçları daha iyi lamellerle daha yüksek kaplama yoğunluklarına yol açmıştır. Çünkü erime artınca tel ucunda daha iyi partiküller oluşmuştur ve bu partiküller daha yüksek hızlara hızlandırılmıştır. Aynı sebepten dolayı artan atomizasyon gazı basıncının yüzey pürüzlülüğünde bir azalışa sebep olduğu görülmüştür. Karbürle doldurulan tellerden elde edilen kaplamalar için etki özellikle önemlidir. Atomizasyon gaz basıncında 1,7502'den 3000 hpa'ya bir artış olurken pürüzlülükte (Ra) 45,7'den 25,2 μm 'ye bir düşüşe ötektik tungsten karbür partiküller ile doldurulan tellerde yol açtığı görülmüştür.

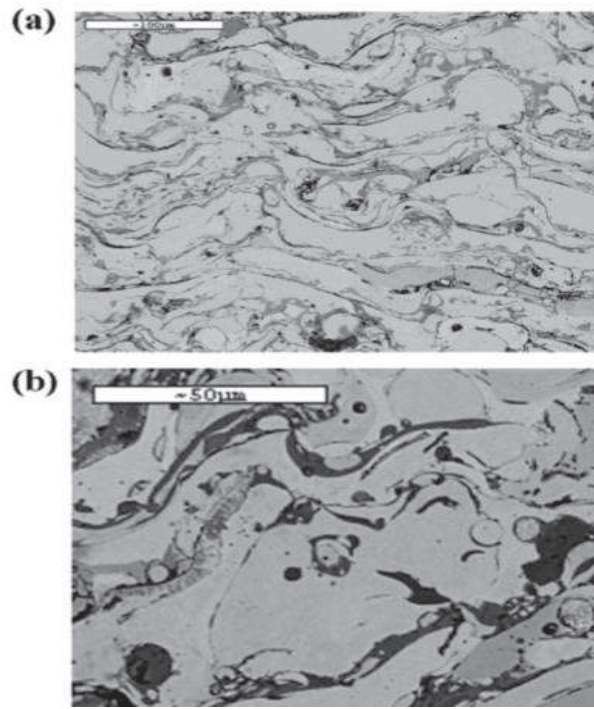
Düşük voltajlar ve yüksek spreyleme mesafeleri kaplama içinde erimeye değil bir önemli miktardaki bor kalıntılarını sebep olduğu görülmüştür. Borun eriyen matrisle alaşımlanabilmesi ve ısı transferinin iyileştirilebilmesi için arkta tel uçlarına bir yeterli miktarda ısı transferinin gerçekleşmesi gereklidir. Küçük spreyleme mesafeleri arkta kaplama yüzeyine bir daha yüksek ısı transferine yol açar ve bu yüzden bir daha yüksek derecede bor matrisinde çözülür.

Yapılan çalışmaların sonucunda ark püskürtme tekniği ile kendi kendine akışkan ve sermet gibi kaplamalar üretmek için özlü tellerin başarılı bir şekilde uygulandığı gözlemlenmiştir. Püskürtme işlemi boyunca zar ve doldurulan malzeme arasında bir yüksek derecede alaşımlama gerçekleştirilen kaplamaların üretiminde ark püskürtme tekniğinin uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca J. Wilden, A. Wank ve F. Schreiber tarafından yapılan deneylerin neticesinde özlü teller kullanılarak elde edilen ark püskürtme kaplamaların aşınma ve korozyon bakımından mükemmel sonuçlar gösterdiği görülmüştür [41].

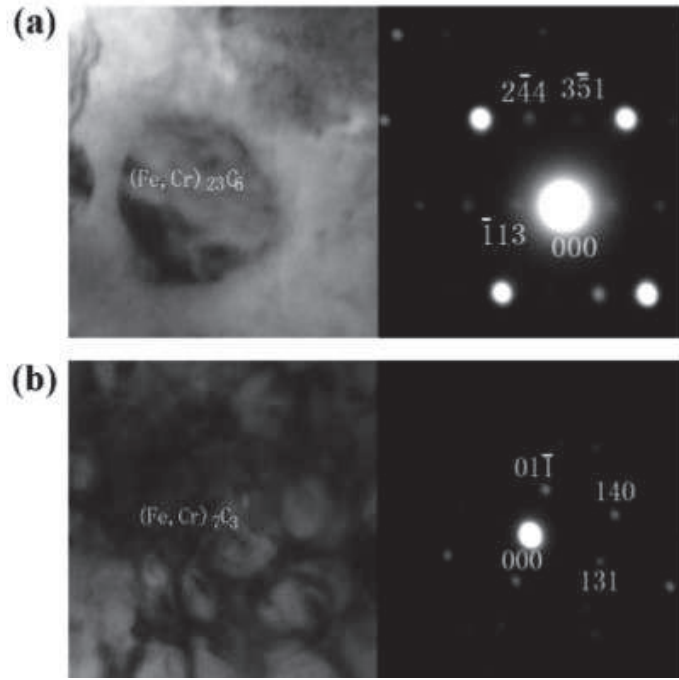
Can-Ming Wang ve arkadaşları [45] tarafından yapılan çalışmada; bir demir esaslı Cr_3C_2 seramik özlü tel kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan özlü tel %50 Cr_3C_2 ve %50 yüksek karbonlu Cr-Fe alaşım tozu içermektedir. Bu özlü tel CMD-AS1620 ark püskürtme ekipmanı kullanılarak ASTM 1006 çelik altlığa püskürtülmüş ve yaklaşık 1 mm kaplama kalınlığı elde edilmiştir [45].

Tablo 4.5. Kullanılan kaplama parametreleri [45].

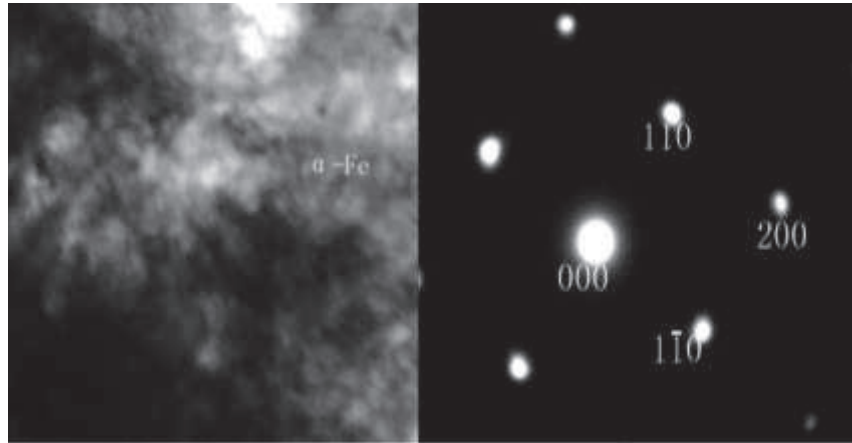
Püskürtme akımı	180-200 A
Voltaj	32 V
Sıkıştırılmış hava basıncı	0,55-0,70 MPa
Mesafe	100-150 mm
Tabanca hareket hızı	5-8 cm/sn

Şekil 4.26. Demir esaslı Cr_3C_2 kaplamaların mikro yapıları [45].

Fe, $(Fe, Cr)_{23}C_6$, $(Fe, Cr)_7C_3$, $FeCr_2O_4$, Cr_3C_2 ve bir küçük miktardaki Fe_3Si üretilen kaplamaların ana fazlarını oluşturmaktadır. Kaplamaların faz yapısı ve morfolojisi XRD, TEM ve SEM kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca MLS-225 nemli kum kauçuk test cihazı kullanılarak kaplama numunelerinin abrazif aşınma direnci test edilmiştir.

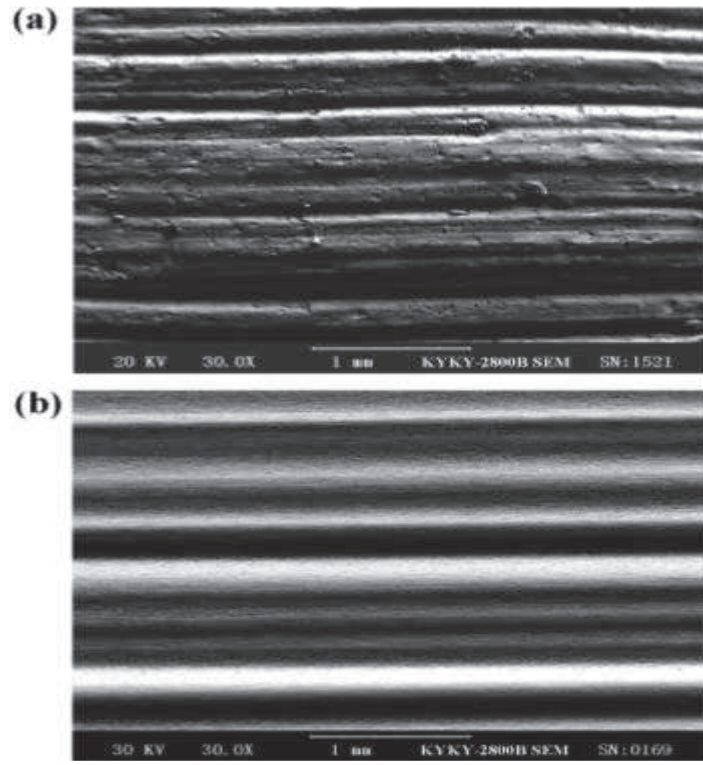


Şekil 4.27. $(Fe, Cr)_{23}C_6$, $(Fe, Cr)_7C_3$ ' ün TEM ve SAEDP görüntüsü [45].



Şekil 4.28. $\alpha-Fe$ ' in kaplamadaki TEM ve SAEDP görüntüsü [45].

Kaplamaların aşınma mekanizmaları plastik kesme ve bazı seramik fazların gevrek kırılmasıdır. $650\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kaplamaların erozyon oranı 40° sıkışma açılarında bir pik değere sahip olduğu ve ayrıca yüksek sıcaklıklarda kaplamaların mükemmel erozyon direnci sunduğu tespit edilmiştir [45].



Şekil 4.29. Abrazif aşınma test parçalarının yüzey morfolojilerinin görüntüsü [45].

BÖLÜM 5. AŞINMA KAVRAMI VE TÜRLERİ

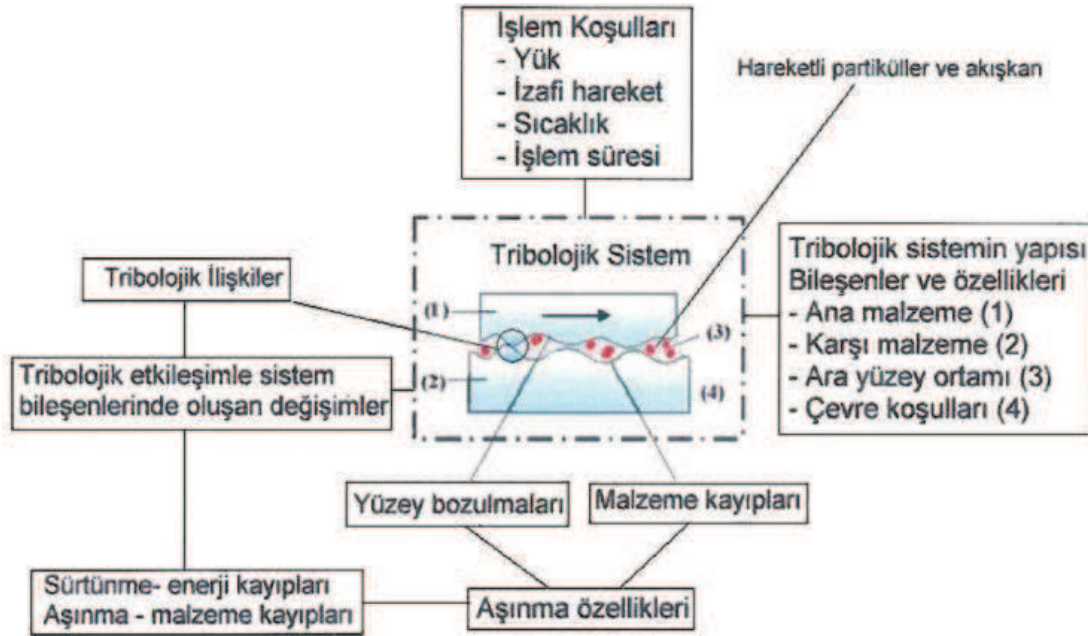
5.1. Giriş

Aşınma çok değişik tanımlarla anlatılabilmektedir. Birbiriyle temas halinde olan elemanlar arasında mekanik, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliğine aşınma diyebiliriz. Aşınma malzeme kayıplarına sebep olabildiği gibi aşınan yüzeylerin şeklini bozarak iş yapma kabiliyetlerini azaltır hatta zamanla yok eder. Bunlar malzeme, işçilik, zaman dolayısıyla ciddi maddi kayıplara yol açabilmektedir. En kötüsü de ölümlerle sonuçlanan kazalara sebep olabilmektedir.

Aşınma mekanizmasının ana unsurları aşınan ve aşındırıcıdır. Bunlara genel anlamda “aşınma çifti” denir. Aşınma olayının meydana gelmesinde bu iki unsur yeterli değildir. Ara malzeme, yük ve hareket unsurlarının da ortamda olması gerekir. Aşınma çifti ile ara malzeme “aşınma kombinasyonu” olarak tanımlanmaktadır. Ara malzeme genellikle sisteme dışarıdan katılan katı, sıvı veya gaz olabildiği gibi sistemin içersinden kopan parçacıklarda olabilmektedir [46].

5.2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma bağlı hareketteki yüzeylerin karşılıklı etkileşimini inceleyen bilim olarak tanımlanmaktadır. Aşınmanın esasını temas eden yüzeylerdeki malzeme kaybı oluşturmaktadır. Aşınma, sürtünme ve yağlama konularını içine alan bilim ve teknoloji dalına ise triboloji denir. Türkçede sürtünme bilimi olarak da anılır. Aşınma tribolojik olarak bakıldığında şüphesiz en önemli konudur. Ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındırıcı), ortam, yük ve hareketin tamamı bir tribolojik sistemi oluşturur [5].



Şekil 5.1. Tribolojik sistem [47].

Tribolojide daima yüzey çiftleri ele alınır. Yani sürtünme ve aşınma davranışları aslında sadece malzeme özelliği olarak ele alınmaz, aynı zamanda kayma yüzey çiftleri içindeki etkileşimleri ve ortam etkisini de içeren sistem özellikleri olarak kabul edilir. Tribolojide önem kazanan diğer başlıca malzeme özellikleri; ısı iletkenlik, ısıl genişleme, ıslatma kapasitesi, mukavemet, yüzey sertliği ve yorulma ömrüdür. Tribolojide ısıl özelliklerin önemi sürtünen ve aşınan malzemelerin ısınmasından ileri gelmektedir.

Aşınma genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbiri ile temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar da mekanik zorlamalar altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması iki yüzeyin birbirine doğrudan temas etmesine sebep olabilir. Bu koşullarda oluşan sürtünme malzemelerin servis ömrünü kısıtlayan aşınma olayına neden olur. Bu durum yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi önlemlerle azaltılabilir. Ancak kesinlikle tamamen önlenemez. Bir tribolojik sistemin elemanları arasında çeşitli zorlamalar sebebi ile meydana gelen aşınmanın farklı türleri ve dolayısı ile farklı sınıflandırmaları söz konusudur. Bu mekanizmaların başlıca olanları aşağıda verilmiştir [5].

5.2.1. Abrazif aşınma

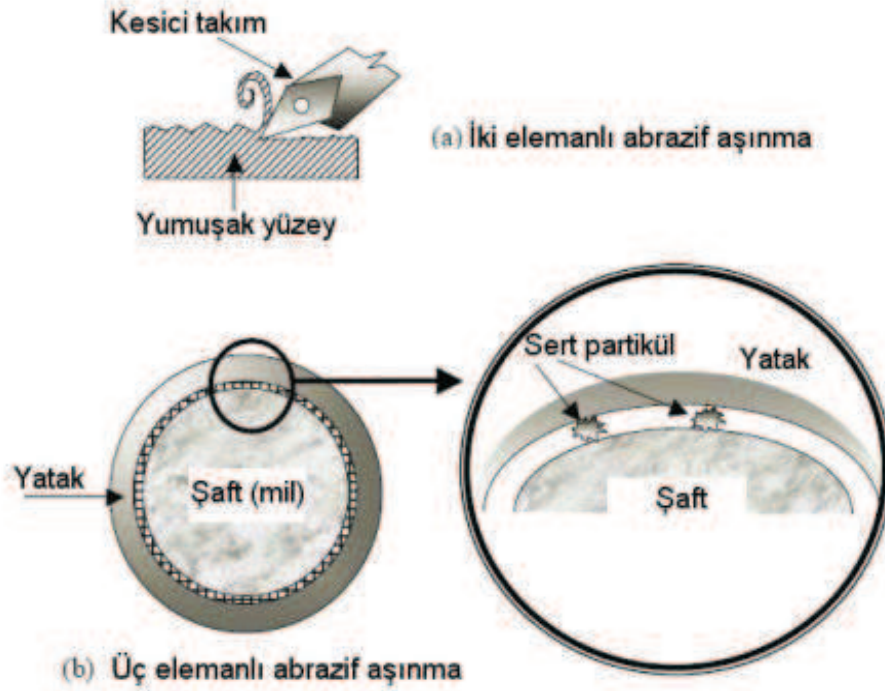
Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrazif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrazif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrazif aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir. Abrazif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Malzeme açısından abrasif aşınmayı azaltmak için;

- a. Daha sert alaşım kullanmak,
- b. Sertlik arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,
- c. Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak, tavsiye edilir.

Bu önlemlerle abrazif aşınma hızını azaltmak mümkündür. Abrazif aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda;

- a. İki elemanlı abrazif aşınma,
- b. Üç elemanlı abrazif aşınma,

şeklinde gruplandırma mümkündür [48].



Şekil 5.2. İki elemanlı ve üç elemanlı abrazif aşınma oluşum şekilleri [48].

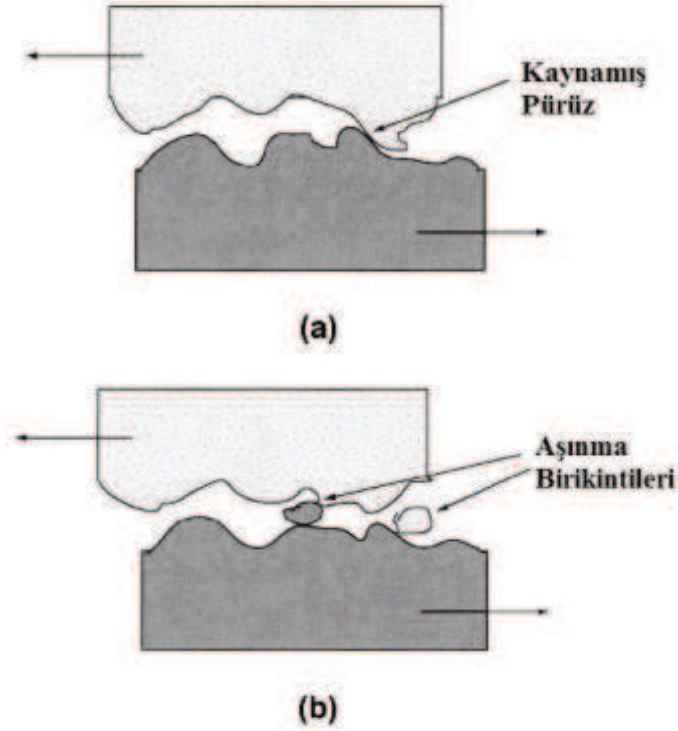
İki elemanlı aşınma pürüzlü bir yüzeyin ya da hareketsiz aşındırıcı taneciklerin yüzeyden malzeme kaldırması ile meydana gelir. Üç elemanlı aşınma ise iki yüzey arasında hareket edebilen tanelerin yüzeyden malzeme kaldırması ile oluşur [5].

5.2.2. Adhezif aşınma

Adhezif aşınma oldukça değişken sürtünme katsayıları ve yüksek aşınma oranları ile kendini gösteren ciddi bir aşınma mekanizmasıdır. Özellikle birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan malzemelerde görülen bir olaydır. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerin ancak küçük bir kısmı temas halindedir. Bu küçük yüzeylerdeki gerilmeler çok düşük yüklerde dahi akma gerilmesi sınırına ulaşırlar ya da geçerler. Böylece moleküller yapışma kuvvetleri etkisini gösterir.

Bir katının diğer bir katı ile teması belli koşullar altında gerekli bir durumdur. Temas eden yüzeylerde yapışma etkisi kendini gösterir. Yapışma etkisi artan yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ile azalan bir etkiye sahiptir. Bu aşınma mekanizmasında, karşılıklı çalışan yüzeylerde yapışma olup karşılıklı yüzeylerde

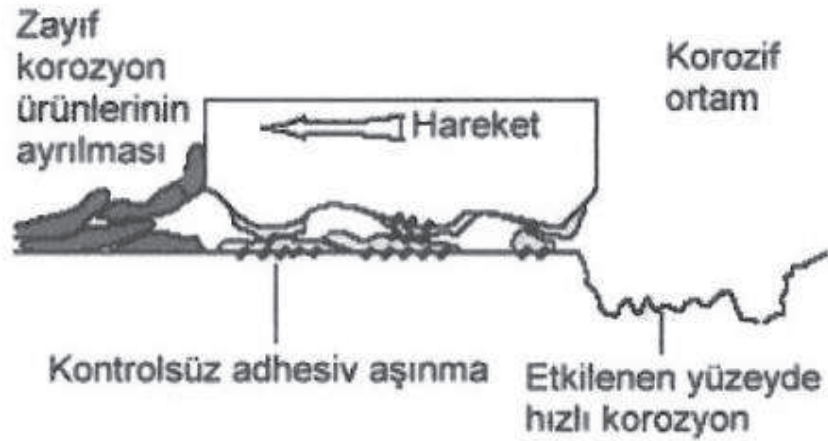
malzeme film transferine neden olur. Yüzeyler arasındaki yapışmayı gözlemlemek zordur. Adhezyon ve kayma deneyleri yüksek vakum altında verdiği tribolojik sonuçlardan farklı sonuçlar verir [5].



Şekil 5.3. Yüksek temas basıncının oluşturduğu bölgesel plastik deformasyon nedeniyle oluşan adhezif aşınma a)Kaynamış pürüz, b) aşınma birikintileri [49].

5.2.3. Korozif aşınma

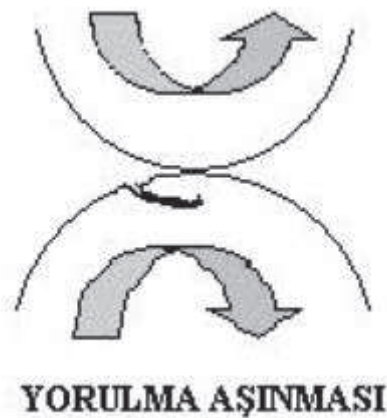
Malzemenin çevre ile kimyasal ve elektrokimyasal etkileşimlerinden dolayı oluşan bir aşınma mekanizmasıdır. Yüzeyde korozyona karşı koruyucu bir tabaka oluşmazsa korozif ortamda aşınma kaçınılmazdır. Adhezif aşınmayı önleyen yüzeydeki kimyasal reaksiyonlar kontrol edilemez ise ciddi malzeme kaybına yol açarlar. Bir malzemenin yüzeyinde korozyon önleyici bir tabaka oluşması ile malzeme korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklılık gösterir. Bu tabakanın deforme olması aşınmayı hızlandırır. Öyle ki aşınmış film tabakası alt malzeme ile bir galvanik çift oluşturabilir. Ve bu şekilde de aşınma hızı artmaktadır [5].



Şekil 5.4. Korozif aşınma [47].

5.2.4. Yorulma aşınması

Yorulma (titreşim) aşınması, termodinamik bir kombinasyondur. Belirli sayıda tekrarlanan titreşim zorlamalarında oluşur. Yüzeyde oluşan tekrarlı yük sayısının yüksek veya az oluşuna göre yüksek çevrimli ya da düşük çevrimli yorulma aşınma mekanizmaları oluşur. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede, malzeme yüzeyinde mikro çatlaklar oluşur. Deformasyona neden olan etkinin devam etmesi aşınma parçacıklarının ayrılmasına, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur.



Şekil 5.5. Yorulma aşınması [47].

Bu tip deformasyonlar genellikle dönen ve sürtünen malzemelerin temas bölgelerinde görülür. Dişli çark, rulmanlı yatak ve kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temasta olan parçalarda, temas alanı küçük olduğundan hertz basınçları meydana gelir. Bunlar da yüzeyin hemen altında değişen büyüklüklerde kayma gerilmelerine sebep olurlar böylece parçada yorulma başlamış olur. Bu deformasyon, temas bölgesinde kırılma çatlama şeklinde olmaktadır [47].

5.2.5. Eroziyon aşınma

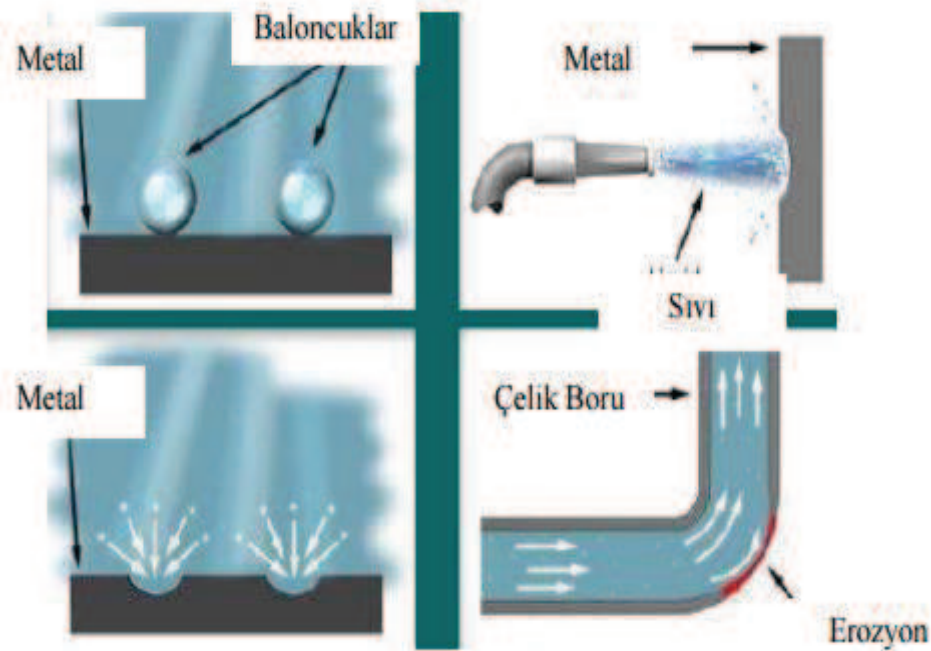
Erozyon bir akışkana karşı malzemenin yüzeyinden madde kaybı olarak tanımlanabilir. Akışkan, sıvı veya gaz halde olabileceği gibi katı (toz) halde de olabilir. Yüzeye çarpan malzemenin tipine göre katı ya da sıvı partikül erozyonu olarak adlandırılır. Eroziyon aşınma çok rastlanan bir aşınma türüdür. Uçakların gaz türbin bıçaklarında uçuş esnasında kum ve benzeri yapıların oluşturduğu aşınmanın neden olduğu hasar bu olaya örnek olarak gösterilebilir. Bu aşınma tipinde erozyona sebep olan partiküllerin özellikleri çok önemlidir. Eroziyon aşınma pek çok aşındırma türünü içinde bulunduran geniş bir kavramdır. Aşınma mekanizmalarını tayin eden başlıca parametreler; malzeme cinsi, partikülün çarpma açısı, çarpma hızı ve boyutudur. Eğer çarpan partikül sert ve katı bir halde ise aşınma abrazyon karakterlidir. Eğer aşındırıcı ortam sıvı ise olay abrazyondan çok sıvı akışkanın tekrarlayan gerilmeleri ile oluşan bir mekanizma haline gelir.

Eğer çarpma açısı düşük ise olay abrazyon eğilimlidir. Yüksek çarpma açılarında ise tipik eroziyon aşınma etkileri görülür. Partikül hızının eroziyon aşınma üzerindeki etkisi büyüktür. Eğer partikül hızı çok düşük ise darbedeki gerilme plastik deformasyon için yetersiz kalır ve aşınma kendini yorulma olarak gösterir. Partikül hızı arttırıldığında örneğin 20 m/s değerinde bir hızda plastik deformasyon oluşur. Rejim tekrarlı plastik deformasyonlar olarak kendini belli eder. Eğer partiküller küresel ya da küt şekilli ise son derece etkin bir plastik deformasyon oluşur. Çok yüksek partikül hızlarında ise darbe yüzeyinde ergimeye varan sonuçlar oluşabilir.

Çarpma açısı 0° ile 90° arasında olabilir. Bu açının 0° olması durumunda aşınma, partiküller yüzeye tam olarak çarpma etkisi gösteremediği için önemsizdir. Düşük

çarpma açılarında (20° 'ye kadar) eğer partiküller sert yüzey yumuşak ise ciddi aşınma meydana gelir. Bu koşullarda aşınma mekanizması abrazif karakterlidir. Eğer yüzey gevrek ise çarpma açısının artması ile aşınma artar. Açı 90° 'ye yaklaştıkça aşınma oranı belirgin ölçüde artış gösterir. Eroziv aşınmanın düşük açılarda yüksek değerler gösterdiği duruma sünek durum, yüksek açılarda yüksek değerler gösterdiği duruma ise gevrek durum denir [5].

Kısaca özetlersek; erozyon aşınması, akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Sıvılar, gazlar akış sırasında parçanın sınır yüzeylerinde patlama veya çarpışma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır [48].



Şekil 5.6. Farklı türlerde erozyon aşınması [50].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneysel Çalışma Sistematığı

Deneyin amacı; farklı bileşenler içeren özlü telleri uygun parametrelerde elektrik ark püskürtme tekniği ile kaplayarak kaplamalar üretmek ve üretilen kaplamaları aşınma testlerine tabi tutarak özlü teller ile kaplama yapmanın aşınma dayanımına ne gibi iyileştirmelerde bulunduğunu saptamaktır.

Bu amaç doğrultusunda iki farklı altlık malzeme kullanılmıştır. Biri özlü diğeri masif/dolu olmak üzere iki farklı bağ tabaka teli ile farklı özlü üst tabaka telleri kaplanarak çeşitli kaplamalar üretilmiştir. Kullanılan tellerin karakterizasyonu yapılmış ve üretilen kaplamaların mikroyapıları analiz edilmiştir. Üretilen kaplamaların bir kısmına aşınma testleri uygulanmış ve aşınma izleri incelenmiştir.

- a. Metalografik çalışma (hassas kesme, bakalite alma, zımpara ve parlatma v.b.)
- b. Aşınma testleri
- c. Stereo mikroskobu incelemeleri
- d. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri (SEM)

6.2. Kullanılan Kaplama Malzemeleri

6.2.1. Altık malzemeler

Kaplama çalışmalarında 10 cm x 10 cm x 4 mm ölçülerinde St 52 ve 700 MC çelik saclar kullanılmıştır. Bu saclar kaplama uygulanmadan öncesi yüzeylerindeki kir ve yağlardan arındırılması amacıyla alkol ile temizlenmiştir. Kumlama prosesi ile yüzey pürüzlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Altık malzemesi tabancayı 90° görecekle şekilde tutuculara yerleştirilmiştir.

6.2.2. Kaplama telleri

Kaplama üretiminde kullanılan teller 1,6 mm çapında 125 TW (Ni-Al esaslı), 446 TW (Fe-Cr esaslı), SP 229 (Ni-Al esaslı), SP 106 (yüksek karbürü) özlü telleri ve Ni-Al masif/dolu teli kullanılmıştır. Firmaların özlü teller için vermiş olduğu kimyasal bileşimler yüzdesel olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 6.1. SP 229 özlü telinin kimyasal bileşimi

Ni	Al
80	20

Bu tel ile oksidasyon direnci arttırılmış ve 650 °C'ye kadar yüksek sıcaklık korozyon direncine sahip yoğun kaplamalar üretilmektedir. Çok yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Ayrıca yumuşak yüzeylerde ekzotermik reaksiyondan dolayı kendinden bağlanma özelliği göstermektedir.

Tablo 6.2. SP 106 özlü telinin kimyasal bileşimi

Fe	Cr	Ni	Si	Mn	WC	B	Ti ₂ C ₃
45,7	14	4,5	1,3	0,6	26	1,9	6

Termal püskürtme için tel bir amorf matriks içinde titanyum karbür ve tungsten karbürden oluşmaktadır. Bu tel aşınma uygulaması için geliştirilmiştir.

Tablo 6.3. 125 TW özlü telinin kimyasal bileşimi

Ni	Al
90	10

Bu tel yüzey ön hazırlamayı en az seviyede gerektirmekte çoğu malzeme kendinden bağlanma özelliği göstermektedir. Isıl oksidasyona ve mineral aşınmasına karşı iyi, darbe ve bükme kuvvetlerine karşı ise mükemmel bir dayanım sergilemektedir.

Tablo 6.4. 446 TW özlü telinin kimyasal bileşimi

C	Cr	Mn	Si	Fe
0,30	13,0	1,0	1,0	84,7

Özellikle paslanmaz çeliklerde uygulanacak ark püskürtme prosesi için tasarlanmış bir özlü teldir. İyi korozyon ve mükemmel aşınma dayanımı ile birlikte yoğun, sağlam bir bağ kaplaması oluşturur. Makine elemanları, tamir, boyutsal onarım ve aşınma dayanımlı uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

6.3. İncelenen Özellikler

Uygulama sonrası üretilen kaplamaların kalınlıkları ölçülmüştür. Mikroyapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla numunenin değişik bölgelerinden farklı boyutlarda resimler çekilmiş ve ayrıca EDX analizleri yapılmıştır. Üretilen kaplamaların bir kısmına farklı yükleme ve mesafelerde aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri neticesinde ortaya çıkan aşınma izlerinin farklı büyütmelelerde stereo mikroskop görüntüleri alınmış ve ayrıca taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla düşük büyütmede genel ve yüksek büyütmelelerde detaylı olarak resimleri çekilip EDX analizleri yapılmıştır.

6.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar

- a. Kuşlama cihazı
- b. Elektrik ark püskürtme cihazı
- c. Kesme makinesi
- d. Bakalite alma cihazı
- e. Otomatik parlatma cihazı
- f. Aşınma cihazı
- g. Stereo mikroskop
- h. Taramalı elektron mikroskobu

6.4.1. Kuşlama ekipmanı

Numunelerin kuşlanma işleminde SAPI marka basınçlı kuşlama cihazı kullanılmıştır. Kuşlama işlemi 30–36 gritlik alümina kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6.1. Kuşlama cihazı

6.4.2. Elektrik ark püskürtme cihazı

Kaplama uygulamaları Sulzer Metco SmartArc elektrik ark püskürtme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Teller belirlenen parametrelerde altlık yüzeylere kaplanmıştır.



Şekil 6.2. Elektrik ark püskürtme cihazı

6.4.3. Kesme makinesi

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

6.4.4. Bakalite alma cihazı

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

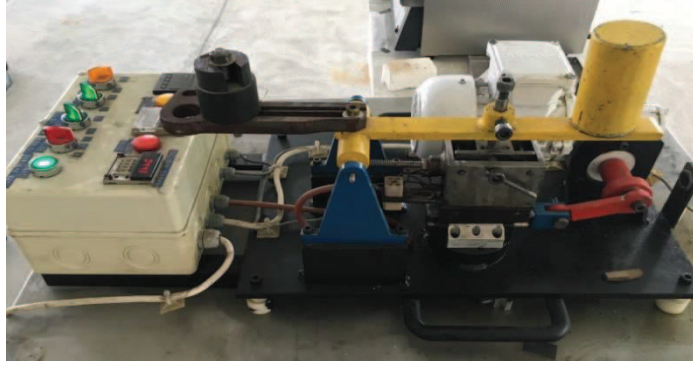
6.4.5. Otomatik parlatma

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

6.4.6. Aşınma cihazı

Bu tez çalışmasında ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat çalışma prensibi ile çalışan aşınma cihazı kullanıldı. Üretilen kaplamalar düzlem üzeri çubuk aşınma test cihazında farklı yük ve mesafelerde aşınma testlerine tabi tutuldu. Bu aşınma

cihazının çalışma mekanizması; sabit duran düzlemde çubuğun git gel hareketi yapmasına dayalıdır.



Şekil 6.3. ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat aşınma test cihazı

6.4.7. Stereo mikroskop

Üretilen kaplamalarda aşınma testleri sonucu meydana gelen aşınma izlerinin Carl Zeiss marka stereo mikroskopla farklı büyütme oranlarında makro görüntüleri alınmıştır.



Şekil 6.4. Stereo mikroskop

6.4.8. Taramalı elektron mikroskobu

Üretilen kaplamaların SEM görüntüleri Vega Tescan II markalı taramalı elektron mikroskobu tarafından elde edilmiştir.



Şekil 6.5. Taramalı elektron mikroskobu

6.5. Kaplamaların Üretimi

6.5.1. Altlık yüzeyin hazırlanması

Altlık yüzeyin hazırlanması kaplamanın yapışması açısından çok önemli rol oynamaktadır. Bundan dolayı altlık yüzeyin hazırlanması titiz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak malzeme yüzeyindeki yağ, pas ve kirin giderilmesi için altlıklar alkol ve aseton kullanarak silinmiştir. Kumlama tabancası, numune yüzeyine 90°'lik bir açı ile tutularak maksimum yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Altlık yüzeyine alümina aşındırıcı kumlar basınçla püskürtülerek altlık yüzeyi pürüzlü hale getirilmiştir. Diğer kaplamalardan farklı olarak termal püskürtme kaplamalarda bağlanma mekanik olarak gerçekleştiği için altlık yüzeyinin tamamının kumlanmış olmasına dikkat edilmiştir.

6.5.2. Kaplama uygulaması

Basınçla alümina püskürtülerek yüzeyleri kumlanan numuneler numune tutucusuna cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir. Kaplama işlemleri manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Katı Ni-Al bağ tabaka teli ile Ni-Al esaslı özlü bağ tabaka teli 2 paso kaplanarak yaklaşık 200 mikronluk bir kaplama elde edilmiştir. Üst tabaka için kullanılan tellerden Fe-Cr esaslı özlü tel ile 15 paso, Ni-Al esaslı özlü tel ve yüksek karbürü özlü tel ile de 10 paso kaplama yapılmıştır. Kaplamaların üretiminin manuel olması tabaka kalınlığının homojen olamamasına neden olmuştur. Kaplamaların üretilmesinde seçilen parametreler Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Kaplamaların üretilmesinde kullanılan parametreler

	Ni-Al Katı bağ tabaka teli	Ni-Al esaslı özlü bağ tabaka teli	Fe-Cr esaslı özlü üst tabaka teli	Ni-Al esaslı özlü üst tabaka teli	Yüksek karbürlü özlü üst tabaka teli
Püskürtme akımı (A)	240	200	220	170	190
Voltaj (V)	28	30	28	22	29
Atomizasyon gaz basıncı (bar)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Püskürtme mesafesi (cm)	15-20	15-20	15-20	15-20	10

6.6. Mikroyapısal İncelemeler

6.6.1. Kaplama tellerinin mikroyapı incelemeleri

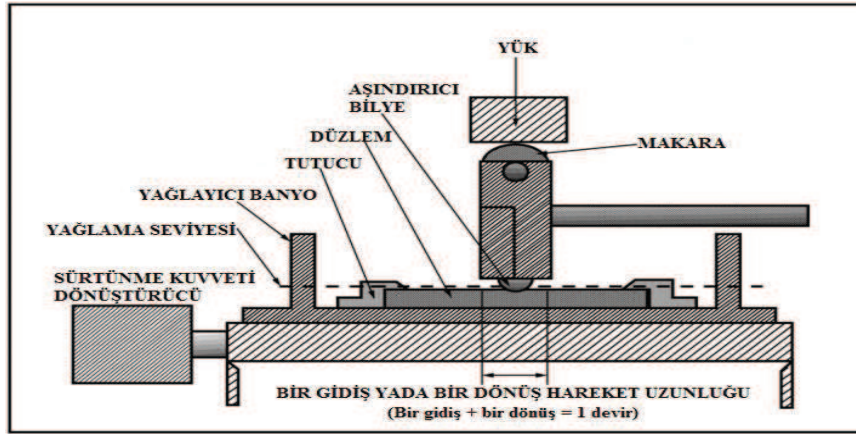
Bu çalışmada Vega Tescan II markalı taramalı elektron mikroskobu ile Ni-Al katı ve SP 229, SP 106, 125 TW, 446 TW özlü tellerinin kesit incelemeleri yapılmış olup telin kabuk kısmı ile öz kısmının EDX analizleri gerçekleştirilmiştir.

6.6.2. Kaplamaların mikroyapısal incelenmesi

Üretilen kaplamaların çeşitli büyütme oranlarında elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmış olup kaplama kalınlıkları belirlenmiş EDX analizleri yapılmıştır.

6.7. Aşınma Testleri

Üst tabakada kullanılan yüksek karbürlü ve Fe-Cr esaslı özlü teller endüstride genel olarak aşınma dayanımı istenen yerlerde kullanılır. Belirlenen parametrelerde üretilmiş özlü tel kaplamaların aşınma dayanımı ball-on-flat aşınma test cihazında test edilmiştir.



Şekil 6.6. Ball-on-flat aşınma test düzeneği şematik diyagramı [51].

Aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 30 x 35 mm ölçülerinde her bir kaplama için iki adet toplamda altı adet numune hazırlanmıştır. Aşınma testi yapılmadan önce uygulanacak yük kola takılmış ve ardından pim bulunduğu noktaya göre moment alınmıştır. Ve bu şekilde aşınma testine tabi tutulan malzemenin uygulanan yüke karşı gösterdiği tepki kuvveti hesaplanmıştır. Gidiş izi 21 mm gidiş-geliş izi 42 mm (1 devir) ölçülmüştür. 1 devri (bir gidiş geliş) 2 saniyede yapmış olduğu belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak 100 ve 500 metre aşınma mesafeleri için numunenin cihazda ne kadar süre kalacağı belirlenmiştir. Aşınma deneyleri 100 ile 500 metre aşınma mesafelerinde ve 0,5 ile 2 kg yükler altında uygulanmıştır. Her numunenin üzerinde iki adet aşınma deneyi yapılmıştır. Sabit yük değişken aşınma mesafelerinde ve değişken yük sabit aşınma mesafelerindeki aşınma miktarları araştırılmıştır. Deneysel çalışmada aşındırıcı bilye olarak ZrO_2 bilye kullanılmıştır.

100 metre için çalışma zamanı hesabı; (Denklem 6.1, 6.2, 6.3)

$$100000 \text{ mm} / 42 \text{ mm} = 2381 \text{ devir} \quad (6.1)$$

$$1 \text{ devir } 2 \text{ saniye olduğuna göre } 2381 \text{ devir}; 2 \times 2381 = 4762 \text{ saniye} \quad (6.2)$$

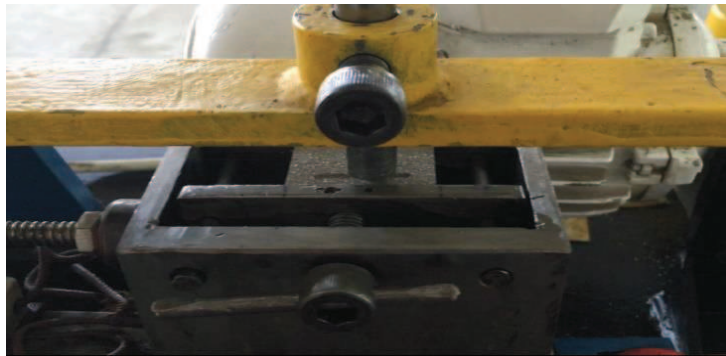
$$1 \text{ dakika } 60 \text{ saniye olduğuna göre } 4762 \text{ saniye}; 4762 / 60 = 80 \text{ dakika} \quad (6.3)$$

500 metre için çalışma zamanı hesabı; (Denklem 6.4, 6.5, 6.6)

$$500000 \text{ mm} / 42 \text{ mm} = 11905 \text{ devir} \quad (6.4)$$

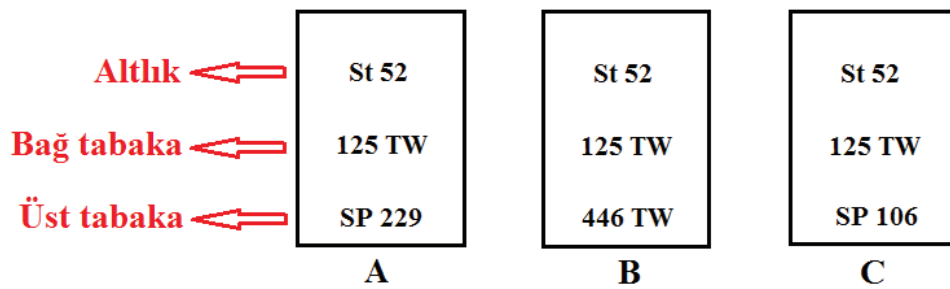
$$1 \text{ devir } 2 \text{ saniye olduğuna göre } 11905 \text{ devir}; 2 \times 11905 = 23810 \text{ saniye} \quad (6.5)$$

$$1 \text{ dakika } 60 \text{ saniye olduğuna göre } 23810 \text{ saniye}; 23810 / 60 = 400 \text{ dakika} \quad (6.6)$$



Şekil 6.7. Aşınma testi esnasında çekilen bir görüntü.

Aşağıda şekil 6.8.'de gösterilen kaplamalara aşınma testleri uygulanmıştır. Bu şekilde özlü tellerle üretilen kaplamaların aşınma dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 6.8. Aşınma testleri uygulanan kaplamalar.

Özlü teller ile kaplama yapmanın aşınma dayanımına ne gibi artışta bulunduğu tespit etmede referans olması için St 52 çelik altlıkta kaplamalarla aynı parametrelerde aşınma testlerine tabi tutuldu.

Tablo 6.6. Uygulanan aşınma parametreleri

Altlık kaplamalar	ve	Uygulanan Yük (kg)	Etki Kuvvet (N)	Eden Mesafe (m)	Süre (dk)
St 52		0,5	8,53	100	80
		0,5	8,53	500	400
		2	34,12	100	80
		2	34,12	500	400
A		0,5	8,53	100	80
		0,5	8,53	500	400
		2	34,12	100	80
		2	34,12	500	400
B		0,5	8,53	100	80
		0,5	8,53	500	400
		2	34,12	100	80
		2	34,12	500	400
C		0,5	8,53	100	80
		0,5	8,53	500	400
		2	34,12	100	80
		2	34,12	500	400

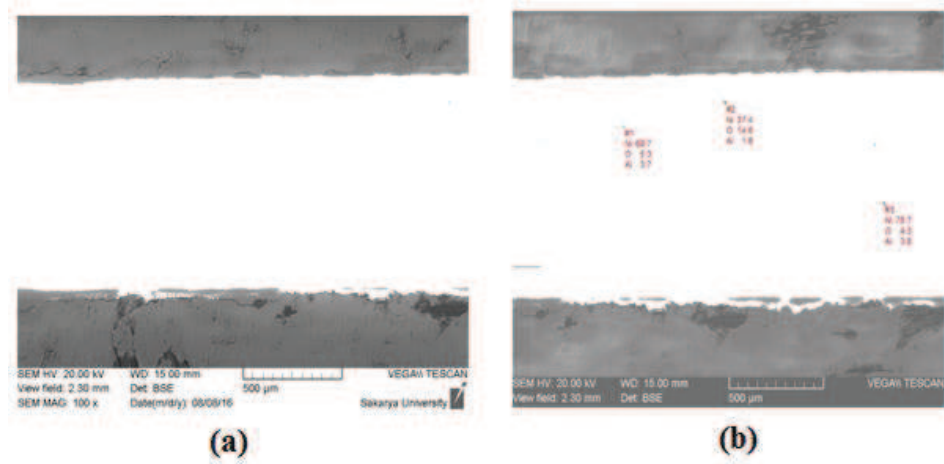
BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

7.1. Giriş

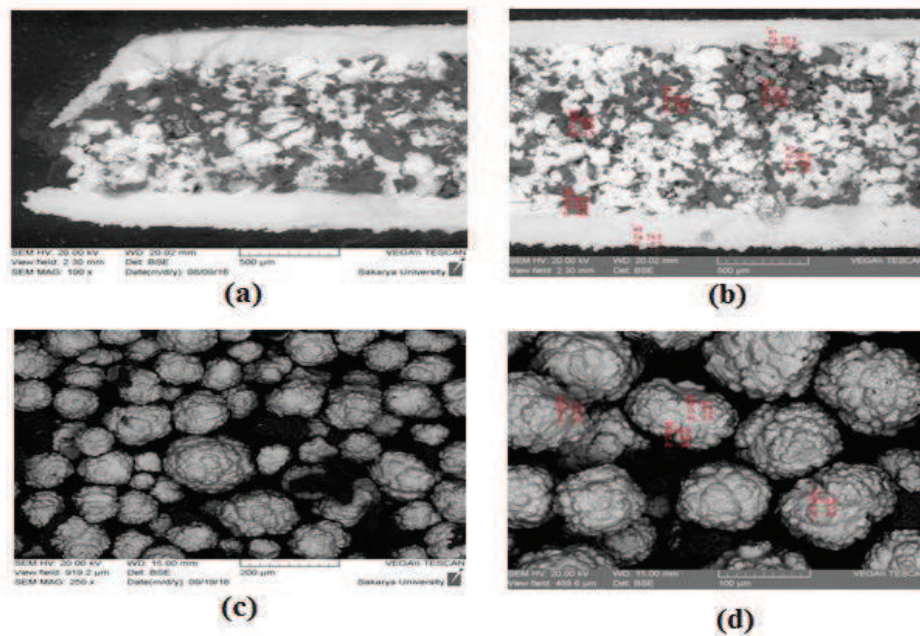
Bu çalışmada, Ni-Al esaslı, Fe-Cr esaslı ve yüksek karbürü özlü telleri uygun parametrelerde elektrik ark püskürtme tekniği ile altlık yüzeylere püskürterek kaplamalar üretmek ve üretilen kaplamaların aşınma davranışını incelemek amaçlanmıştır. Bu hedefler doğrultusunda ilk olarak özlü tellerin ön ve yan kesitlerinden bakaliteler alındı. Daha sonra bu bakaliteler zımparalanıp parlatıldı ve altınla kaplanarak elektron mikroskobunda farklı büyütmelerde ön ve yan kesitten görüntüleri alındı. Zar ve öz kısımlarına EDX analizleri yapıldı. Üretilen kaplamaların taramalı elektron mikroskobu ile farklı büyütmelerde kesit ve üst yüzey mikroyapı görüntüleri alındı. Ayrıca kaplama kalınlıkları belirlendi ve bunun yanında kaplamaların EDX analizleri yapıldı. Üretilen kaplamaların bir kısmına ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat aşınma test düzeneğinde ZrO_2 bilye ile farklı yük ve mesafelerde aşınma testleri yapıldı. Aşınma sonucu oluşan ağırlık kayıpları hesaplandı. Aşınan bölgelerin stereo mikroskop ile farklı büyütmelerde görüntüleri alındı. Taramalı elektron mikroskobu ile de aşınan yüzeylerin aynı şekilde görüntüleri alınarak EDX analizleri yapıldı.

7.2. Kaplama Tellerinin Karakterizasyonu

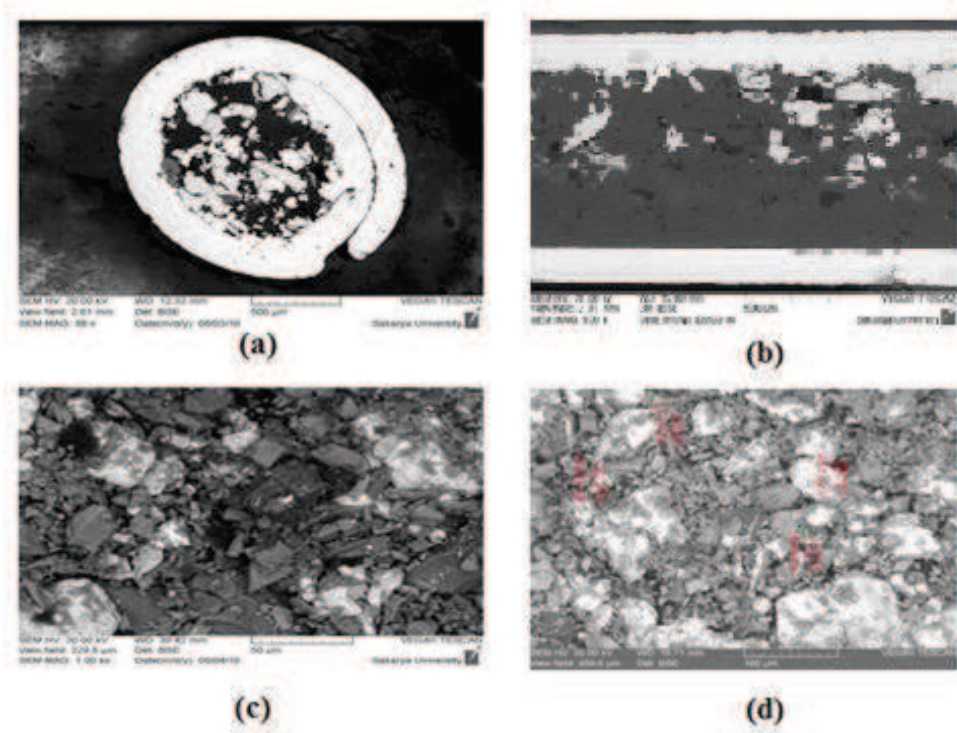
Bu çalışmada kullanılan Ni-Al katı bağ tabaka teli ile 125 TW özlü bağ tabaka telinin ve aynı zamanda üst tabakada kullanılan 446 TW, SP 229, SP 106 özlü tellerinin kesit bölgelerinden elde edilen SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir.



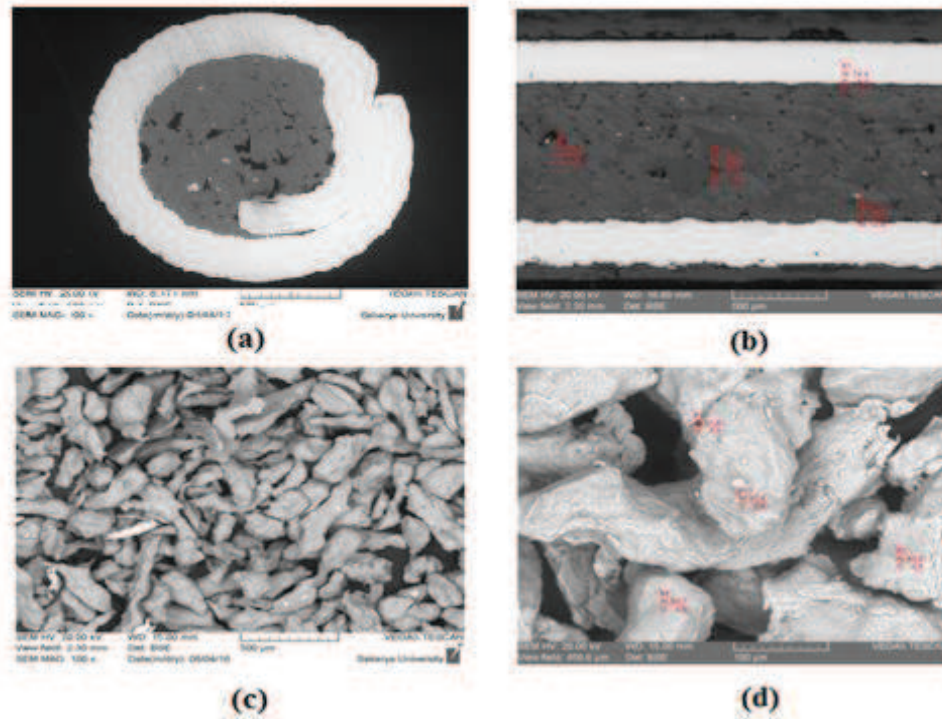
Şekil 7.1. (a) Ni-Al katı bağ tabaka telinin yan kesit SEM görüntüsü (b) EDX analizi.



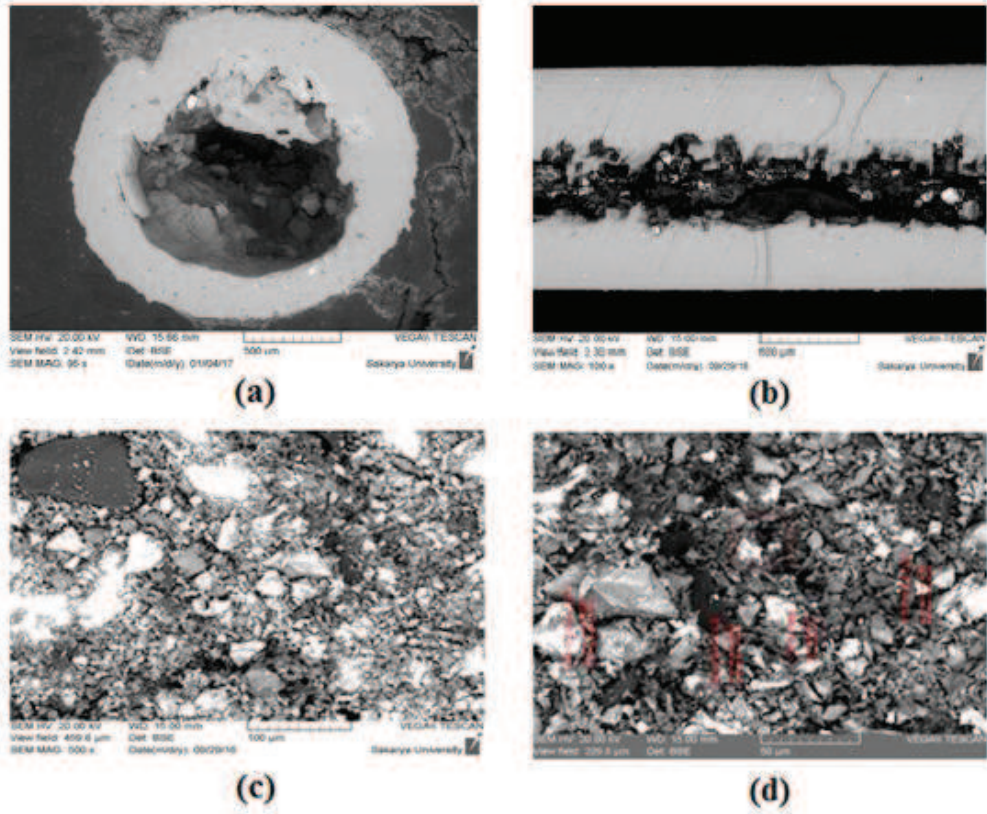
Şekil 7.2. 125 TW özlü bağ tabaka telinin (a) yan kesit SEM görüntüsü (b) yan kesitinden elde edilen EDX analizi (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.



Şekil 7.3. 446 TW özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsü (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.



Şekil 7.4. SP 229 özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsünden elde edilen EDX analizi (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.



Şekil 7.5. SP 106 özlü telin (a) ön kesit SEM görüntüsü (b) yan kesit SEM görüntüsü (c) özü oluşturan tozların SEM görüntüsü (d) özü oluşturan tozların EDX analizi.

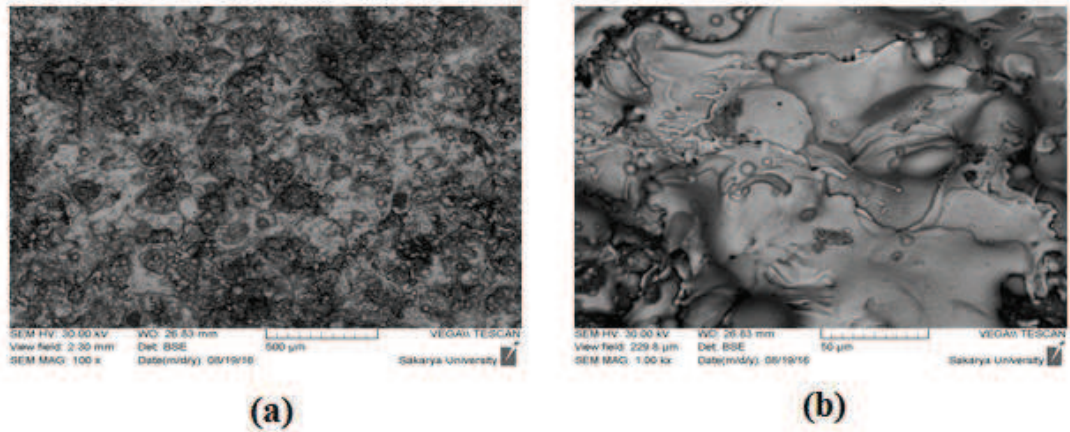
Yukarıdaki şekillerden anlaşılacağı gibi telin öz kısmı ile kılıfı net bir şekilde ayırt edilmektedir. Öz kısımlarına notasal EDX analizleri yapılarak özü oluşturan elementlerin o noktadaki yüzdelik dilimleri gösterilmiştir.

7.3. Kaplamaların Mikroyapısal İnceleme Sonuçları

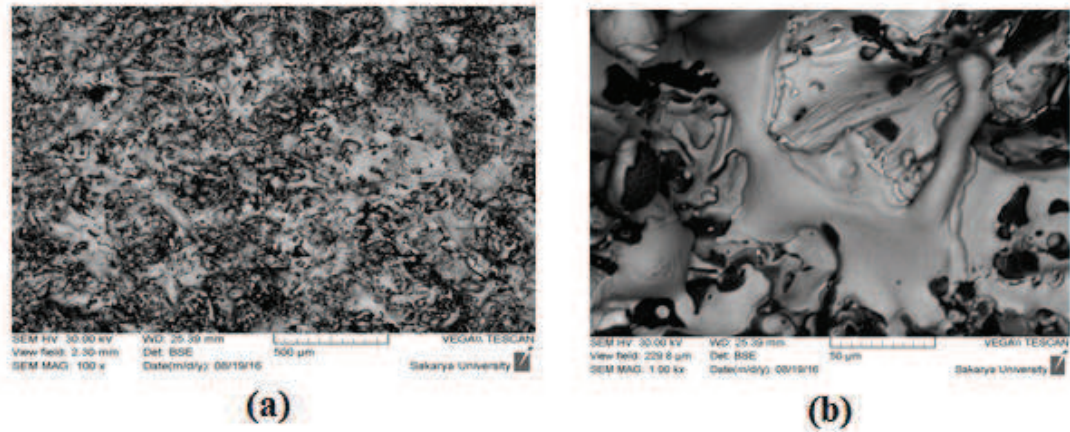
Kaplama işleminde kullanılan özlü teller uygun parametrelerde elektrik ark püskürtme cihazında kaplandı. Kaplama parametreleri Bölüm 6 Tablo 6.5. de ifade edilmiştir.

7.3.1. Kaplamaların üst yüzey SEM görüntüleri

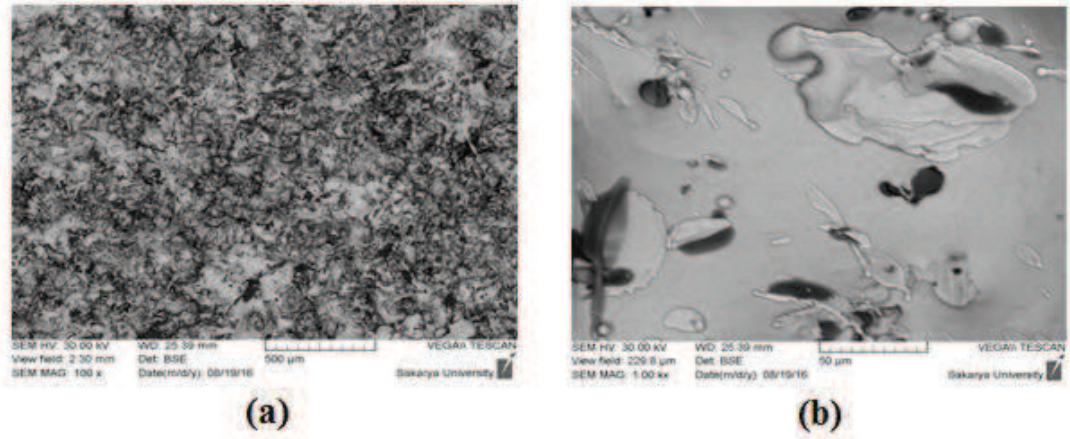
Farklı altlıklar, bağ tabakaları ve üst tabakalardan oluşan kaplamaların üst yüzeyinden 100x ve 1 kx büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



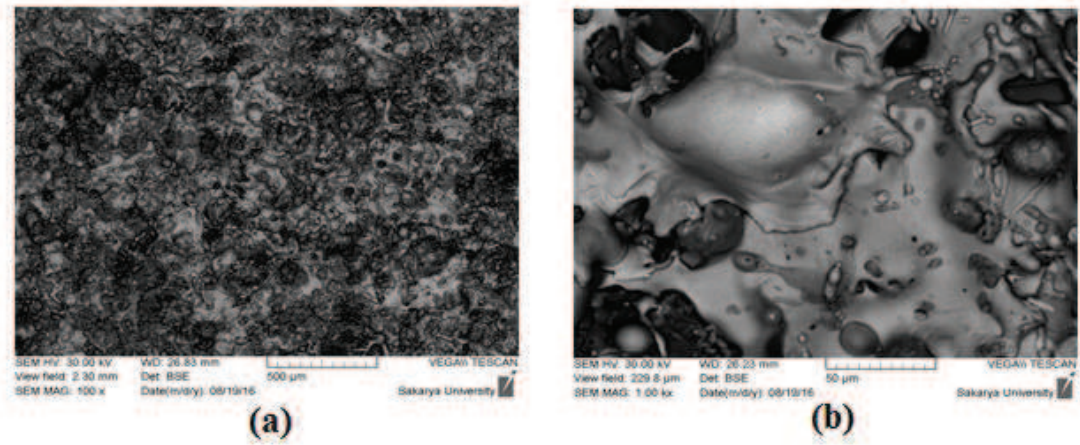
Şekil 7.6. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



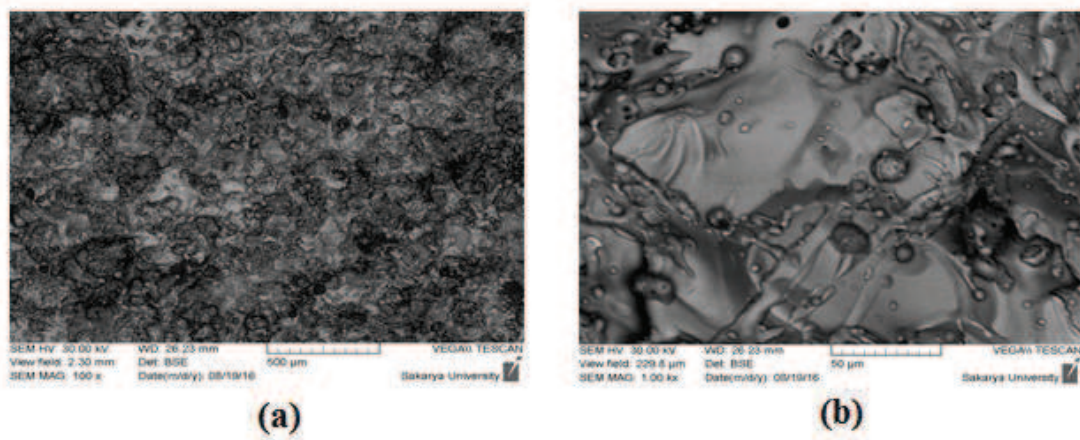
Şekil 7.7. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



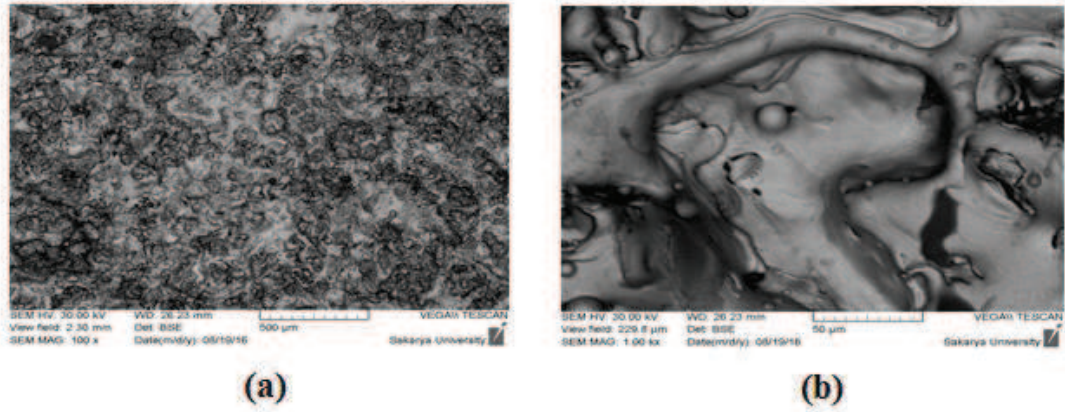
Şekil 7.8. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamamın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



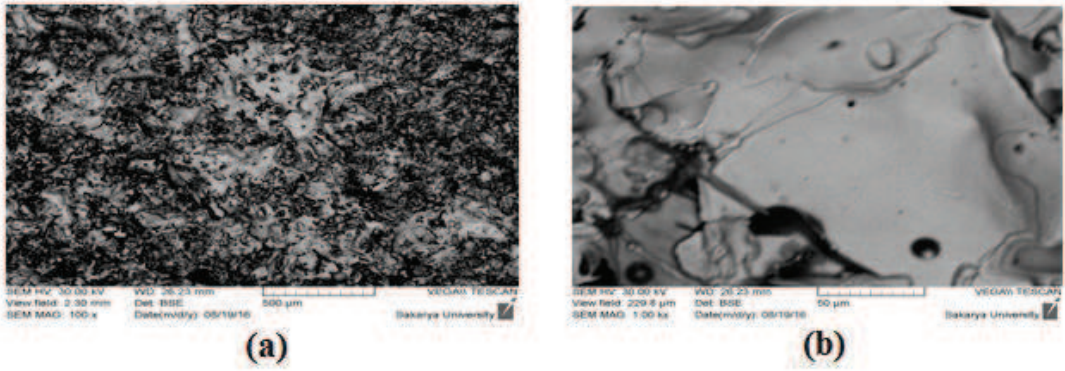
Şekil 7.9. B kaplamasının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



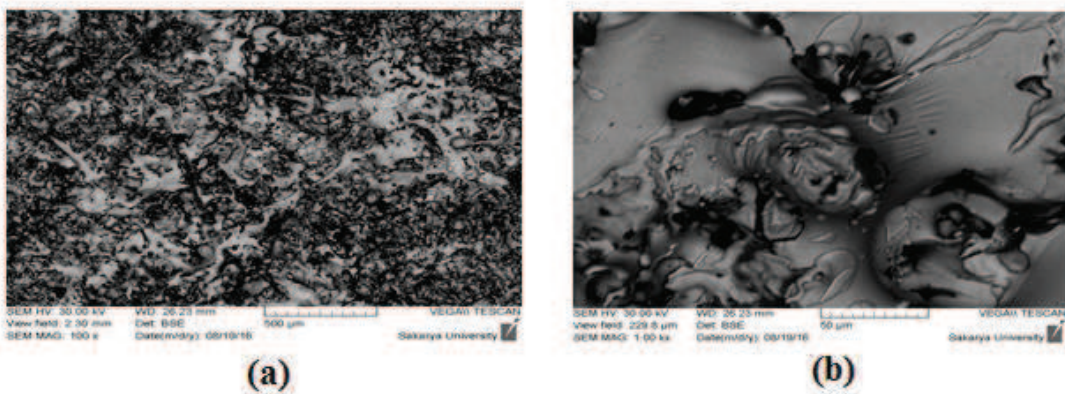
Şekil 7.10. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabaka (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



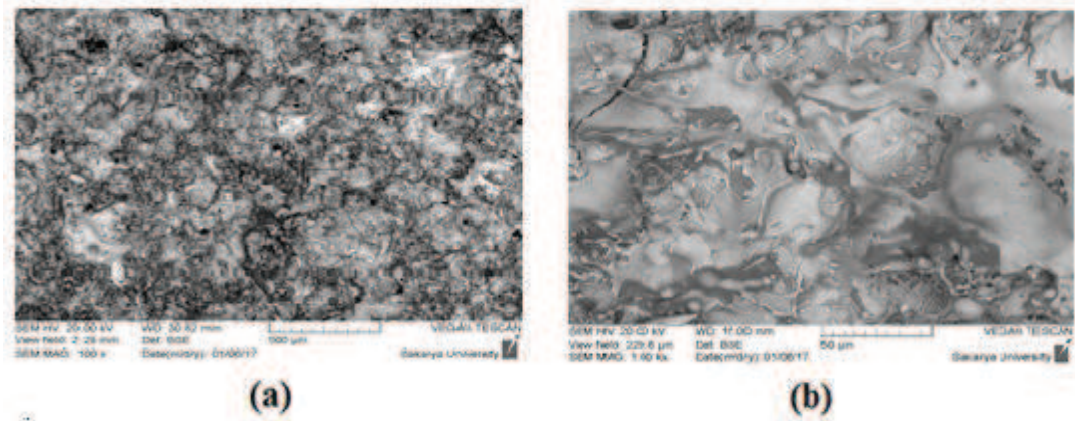
Şekil 7.11. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka 446 TW Üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



Şekil 7.12. St 52 altlık Ni-Ali bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



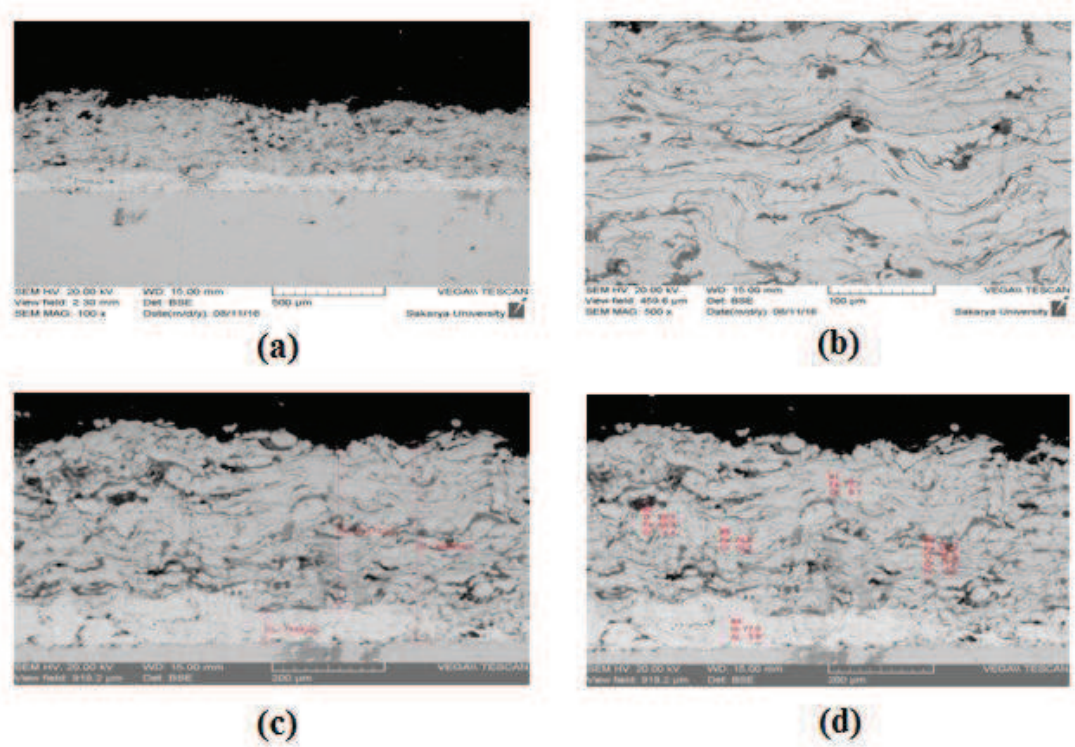
Şekil 7.13. A kaplamanının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri.



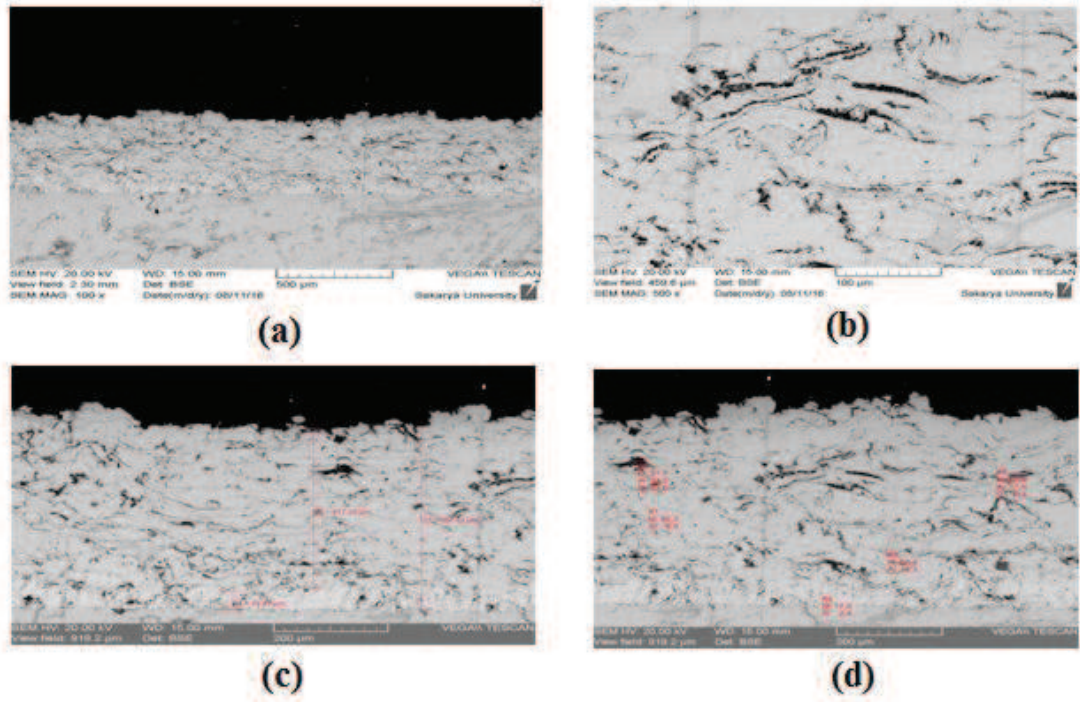
Şekil 7.14. C kaplamasının (a) 100x büyütmedeki (b) 1 kx büyütmedeki SEM görüntüleri

7.3.2. Kaplamaların kesit SEM görüntüleri ve EDX analizi

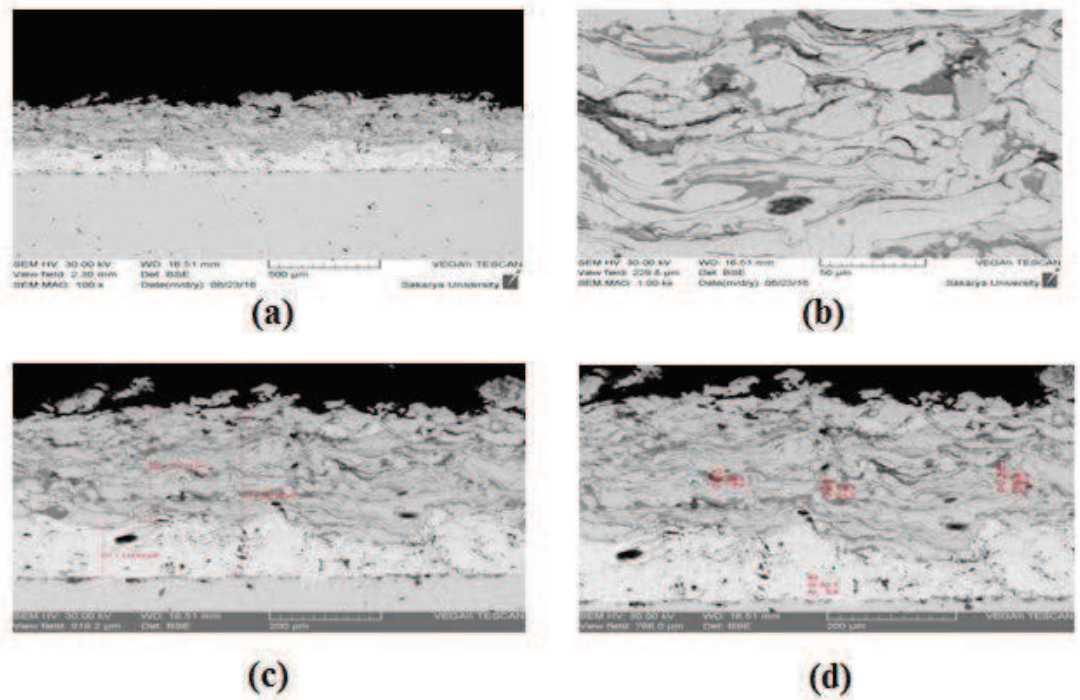
Elektrik ark püskürtme cihazı ile üretilen kaplamaların kesitinden elde edilen SEM görüntüleri, kalınlıkları ve EDX analizleri aşağıdaki şekillerde ifade edilmiştir.



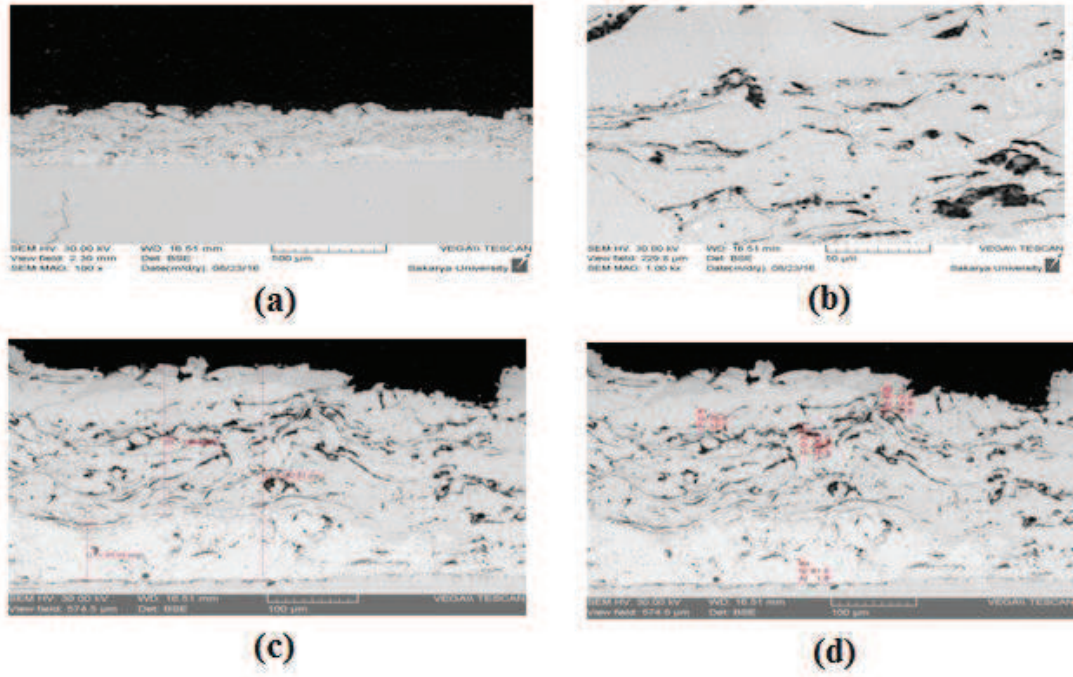
Şekil 7.15. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamının (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 500x büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



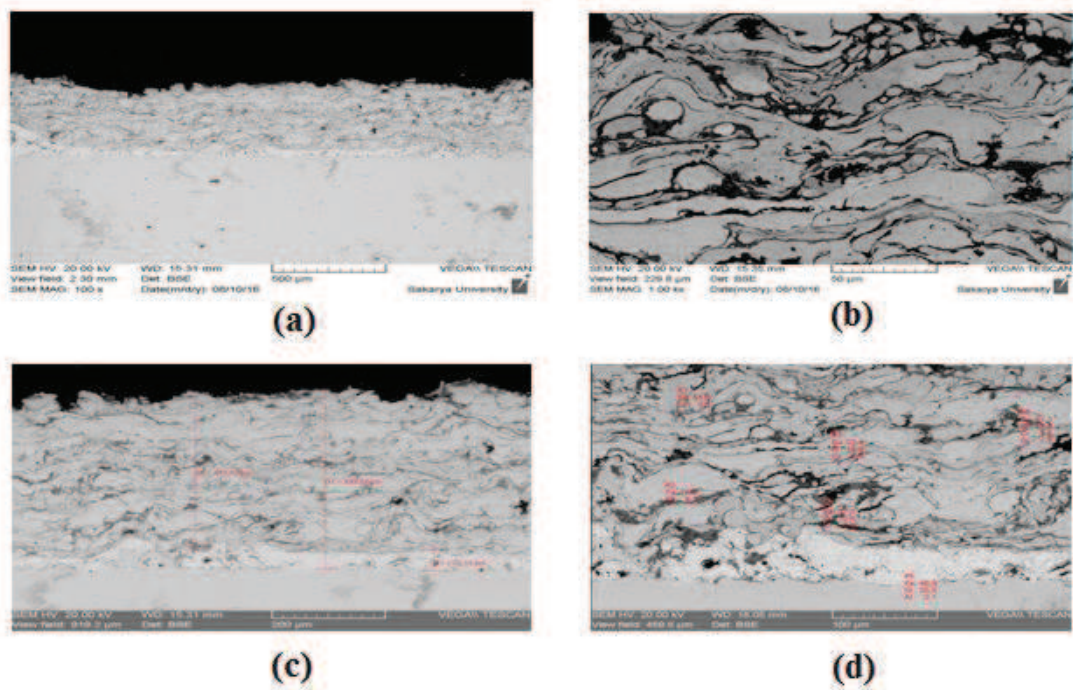
Şekil 7.16. 700 MC altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 500x büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



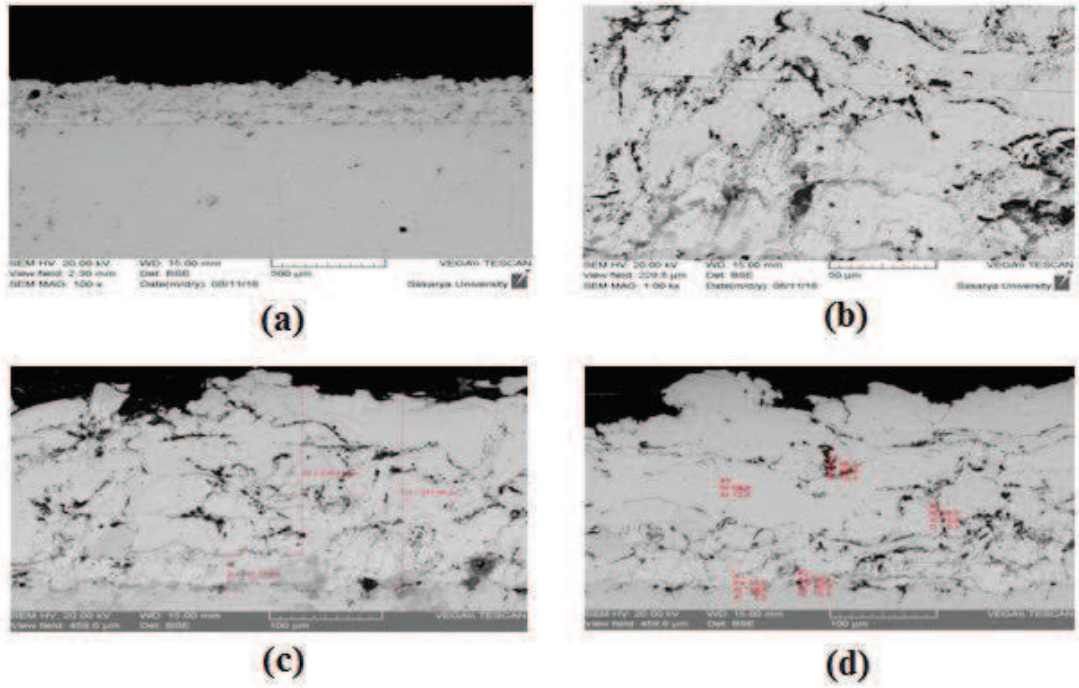
Şekil 7.17. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



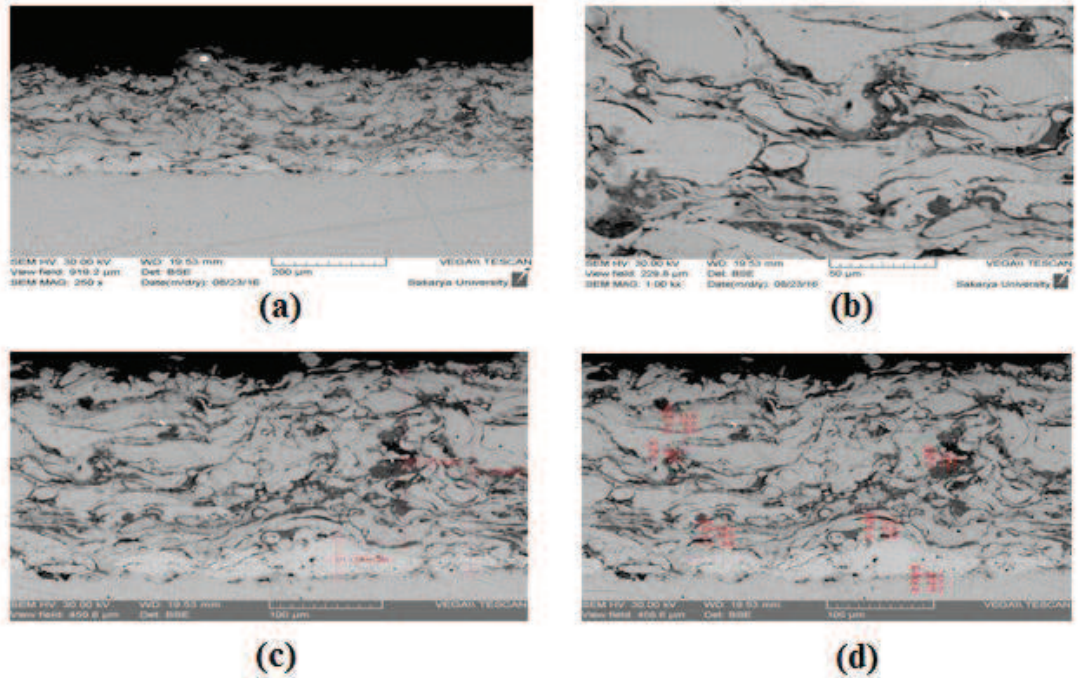
Şekil 7.18. St 52 altlık Ni-Al bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



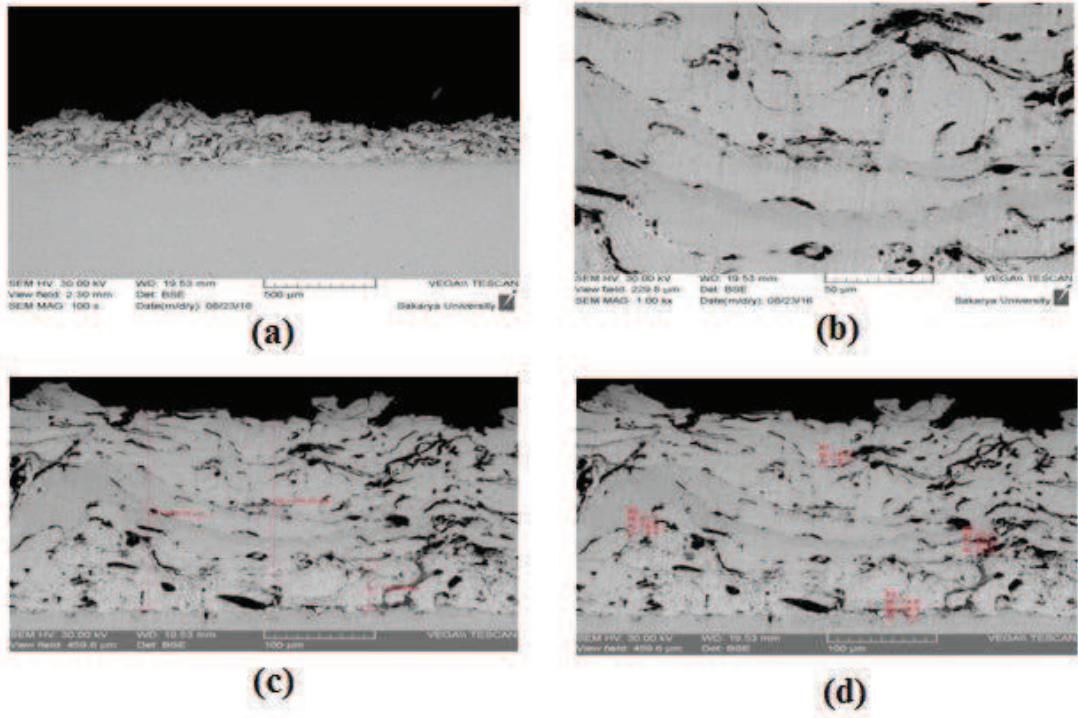
Şekil 7.19. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka 446 TW üst tabakadan oluşan (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



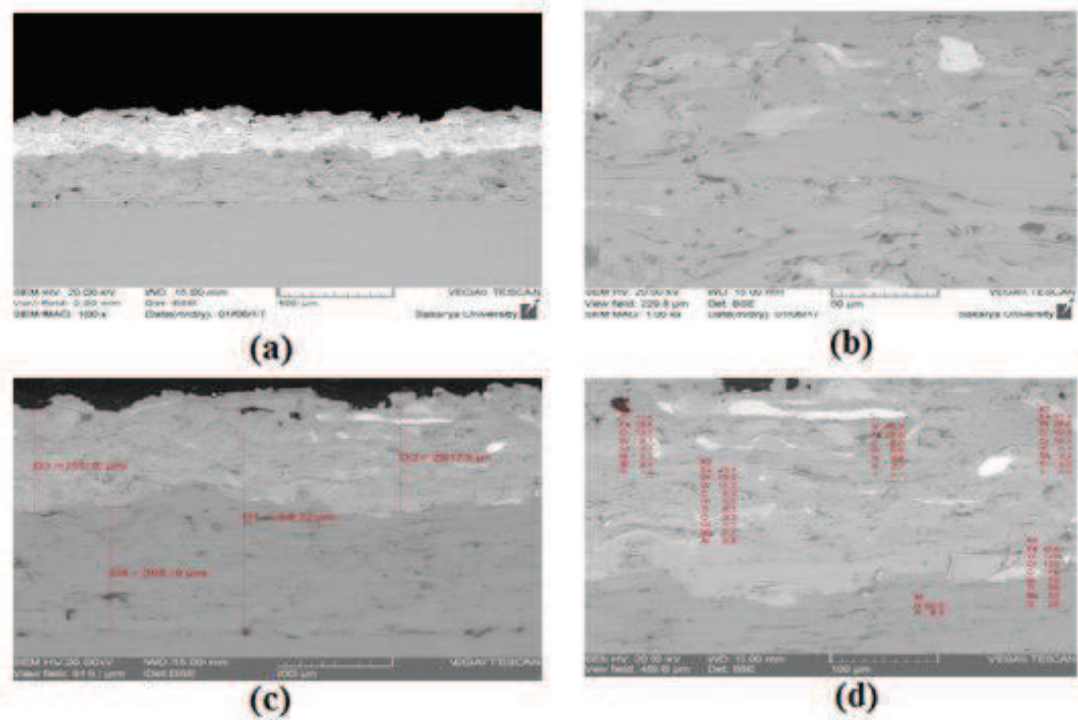
Şekil 7.20. 700 MC altlık 125 TW bağ tabaka SP 229 üst tabakadan oluşan kaplamanın (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



Şekil 7.21. B kaplamasının (a) 250x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



Şekil 7.22. A kaplamasının (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.



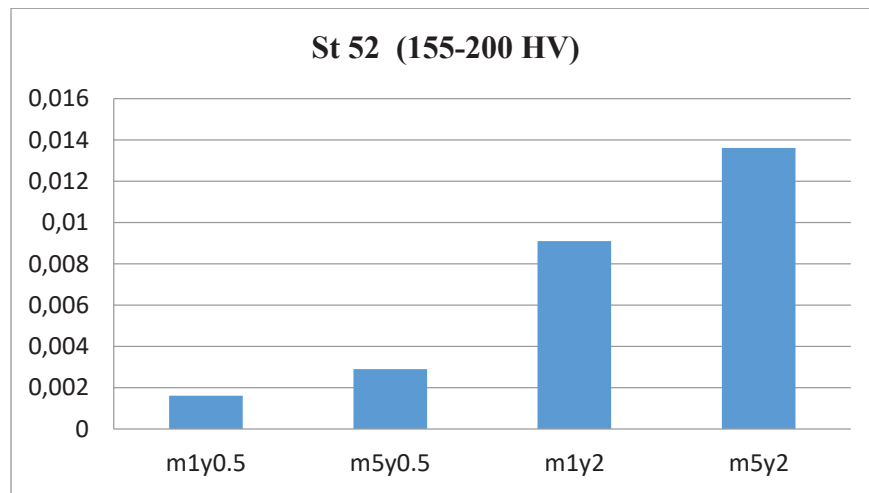
Şekil 7.23. C kaplamasının (a) 100x büyütmedeki genel görüntüsü (b) 1 kx büyütmede üst tabakada lamellerin görüntüsü (c) kaplama kalınlıkları (d) EDX analizi.

7.4. Aşınma Test Sonuçları

Aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 30 x 35 mm kenar uzunluklarında, her bir kaplamadan ikişer tane olmak üzere üç farklı kaplamadan toplam altı adet numune ve aynı kenar uzunluklarında kaplamalarda altlık malzeme olarak kullanılan St 52 çelikten iki parça kesilerek aşınma numuneleri hazırlandı. Bu aşınma numuneleri ASTM G133-05 standardına uygun ball-on-flat çalışma prensibi ile çalışan aşınma cihazında farklı yük ve sürelerde test edildi. Aşınma testlerinde kullanılan ZrO_2 bilye her test sonrası tartıldı ve ağırlığı 1,5283 gram olarak sabit bir şekilde değişmeden kaldı. Yapılan EDX analizlerinde de herhangi bir Zr elementine rastlanmaması bilyeden kaplamaya partikül geçmediği sonucunu güçlendirdi. Kullanılan özlü tellerin aşınma dayanımında yapmış olduğu iyileştirmeleri kıyaslamak için yapılan aşınma testleri sonucunda kaplamalar üzerinde meydana gelen ağırlık kayıpları hesaplandı. Aşınma testinde malzeme üzerindeki kaplamaya, malzemeye uygulanan yüke ve süreye bağlı olarak değişen ağırlık kayıpları aşağıdaki Tablo 7.1.'de ifade edildi.

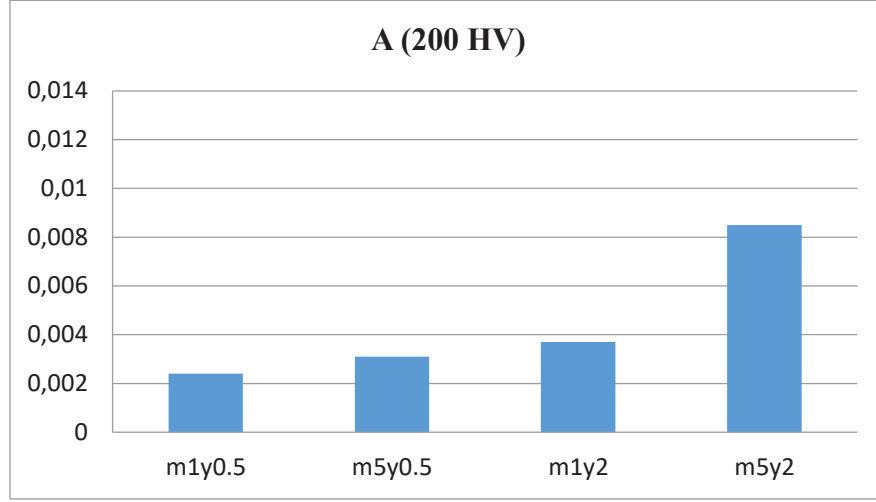
Tablo 7.1. Aşınma testi sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları

Altlık ve kaplamalar	Kod	m1:İlk ağırlık (Gram)	m2:Son ağırlık (Gram)	$\Delta m:m1-m2$	%	Mesafe	Yük
St 52	m1y0.5	36,8508	36,8492	0,0016	0,0043	100	0,5
	m5y0.5	36,8492	36,8463	0,0029	0,0079	500	0,5
	m1y2	39,9366	39,9275	0,0091	0,0228	100	2
	m5y2	39,9275	39,9139	0,0136	0,0341	500	2
A	m1y0.5	31,6182	31,6158	0,0024	0,0076	100	0,5
	m5y0.5	31,6158	31,6127	0,0031	0,0098	500	0,5
	m1y2	30,994	30,9903	0,0037	0,0119	100	2
	m5y2	30,9903	30,9818	0,0085	0,0274	500	2
B	m1y0.5	39,8879	39,887	0,0009	0,0023	100	0,5
	m5y0.5	52,3466	52,3443	0,0023	0,0044	500	0,5
	m1y2	39,887	39,8854	0,0016	0,0040	100	2
	m5y2	52,3443	52,3411	0,0032	0,0061	500	2
C	m1y0.5	49,1584	49,1578	0,0006	0,0012	100	0,5
	m5y0.5	49,1598	49,1584	0,0014	0,0028	500	0,5
	m1y2	49,3802	49,3791	0,0011	0,0022	100	2
	m5y2	49,3828	49,3802	0,0026	0,0053	500	2



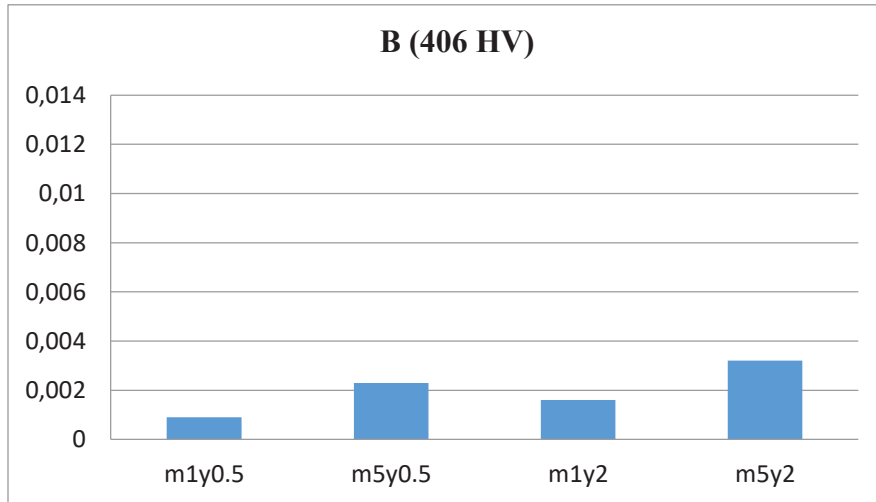
Şekil 7.24. Kaplamalarda kullanılan St 52 çelik altlığa ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg-500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.

Aşınma testlerine tabi tutulan kaplamalarda altlık malzemesi olarak kullanılan St 52 çeliğinin 0,5 kg yükteki ağırlık kayıplarının 2 kg yükteki ağırlık kayıplarına göre çok daha düşüktür. 0,5 kg yükte 100 metre ve 500 metre aşınma mesafelerinde ağırlık kayıpları arasındaki fark 0,0013 iken 2 kg yükte bu fark 0,0045'dir. Mesafenin artışıyla olduğu gibi yükün artışıyla da malzeme kaybı artmaktadır.



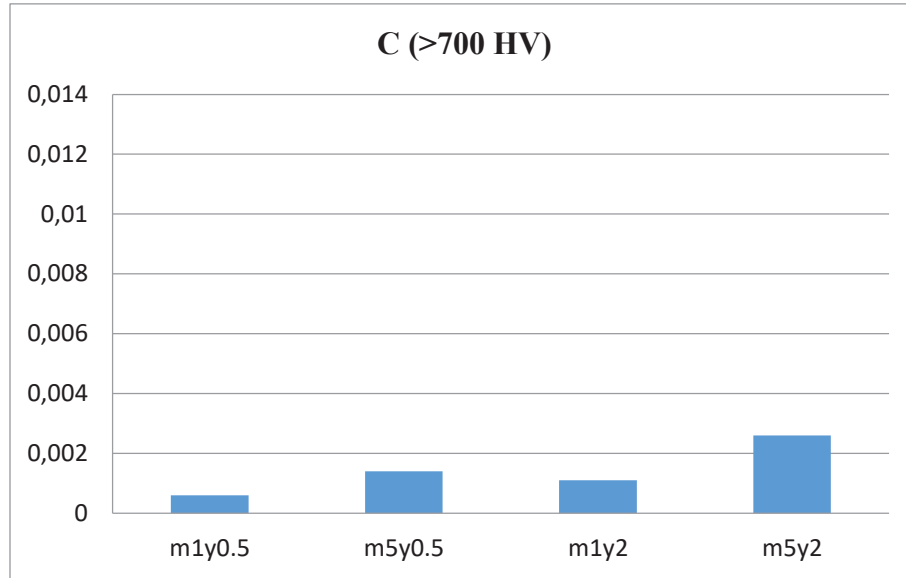
Şekil 7.25. A kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg-500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.

A kaplamasında 0,5 kg yük altında yapılan aşınma testlerinde St 52 çelik altlığa göre daha fazla ağırlık kaybı olurken 2 kg yük altında yapılan aşınma testlerinde tam tersine St 52 çelik altlığa göre daha düşük ağırlık kayıpları elde edildi.



Şekil 7.26. B kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg-500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.

B kaplamasından, St 52 çelik altlık ve A kaplamasına göre hem 0,5 kg hem de 2 kg yük altında daha düşük ağırlık kayıpları elde edildi. Referans numunesi olarak kullanılan St 52 çelikteki ve A kaplamasındaki ağırlık kayıpları baz alındığında Fe-Cr esaslı özlü telin aşınma dayanımına önemli bir artış sağladığı görüldü.

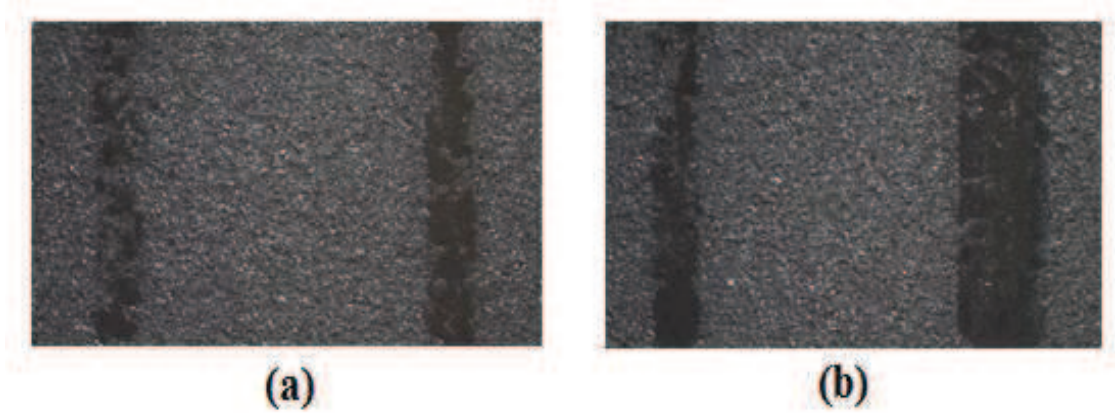


Şekil 7.27. C kaplamasına ait 0,5 kg-100 m, 0,5 kg-500 ve 2 kg-100 m, 2 kg-500 m aşınma testlerindeki ağırlık kaybı grafiği.

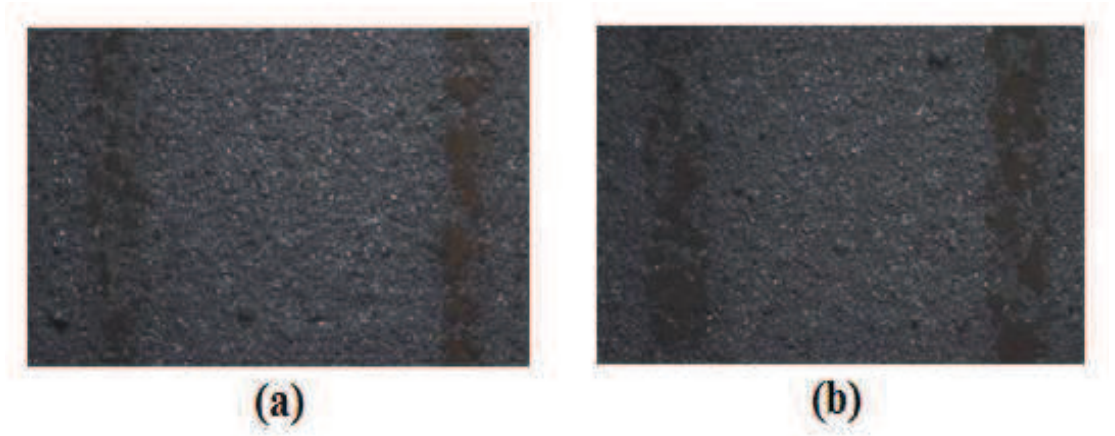
B kaplamasına benzer şekilde Fe, Cr, Mn ve Si gibi elementler içeren fakat B kaplamasından farklı olarak Ni, B gibi elementleri ve WC, Ti₂C₃ gibi bileşikler bünyesinde barındıran C kaplaması hem 0,5 kg yük hem de 2 kg yük altında çok daha iyi bir aşınma dayanımı ortaya koydu. Yapılan aşınma testleri sonucunda en iyi aşınma dayanımını C kaplaması gösterdi.

7.4.1. Aşınma izlerinin stereo mikroskop görüntüleri

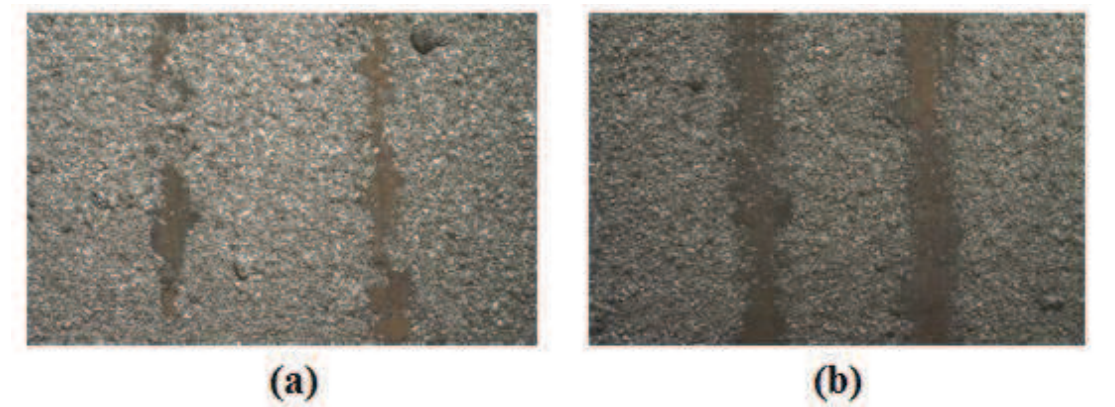
Aşınma testleri yapılan numunelerin genel olarak stereo mikroskop görüntüleri alındı. Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi yükteki ve mesafedeki artış kaplama yüzeyinden daha fazla partikülün kopmasını sağladı. Partiküller koptukça aşınma izleri büyüdü.



Şekil 7.28. A kaplamasının 8x büyütmede (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.



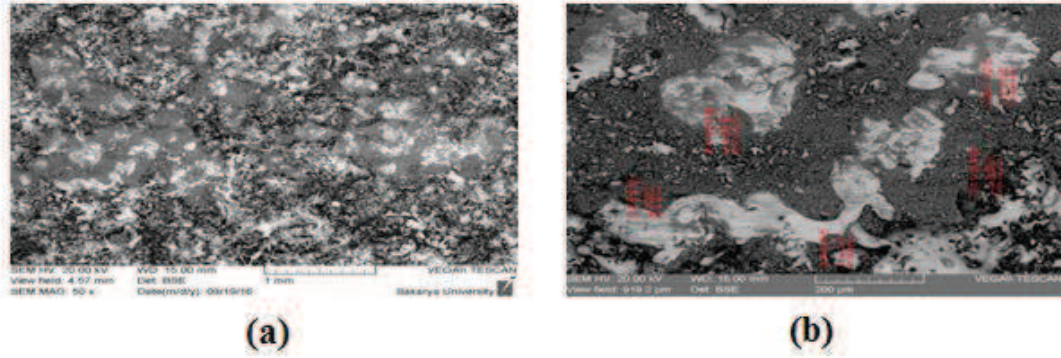
Şekil 7.29. B kaplamasının 8x büyütmede (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.



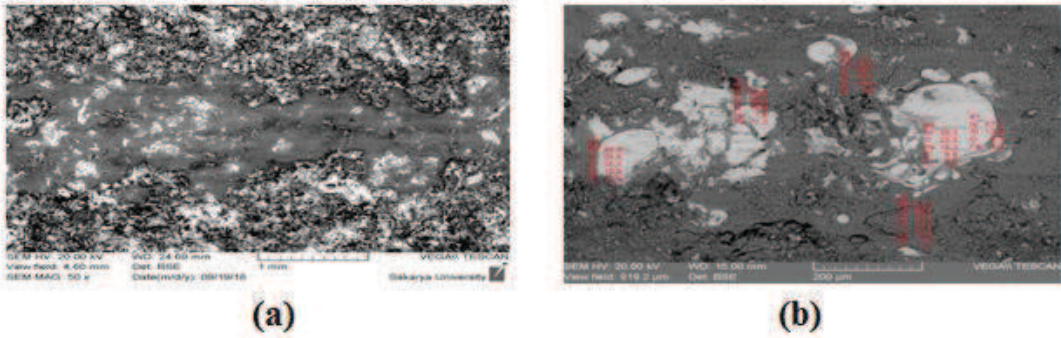
Şekil 7.30. C kaplamasının 8x büyütmede (a) 0,5 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri (b) 2 kg yük altında 100 ve 500 metredeki aşınma izleri.

7.4.2. Aşınma çizgilerinin SEM görüntüleri ve EDX analizleri

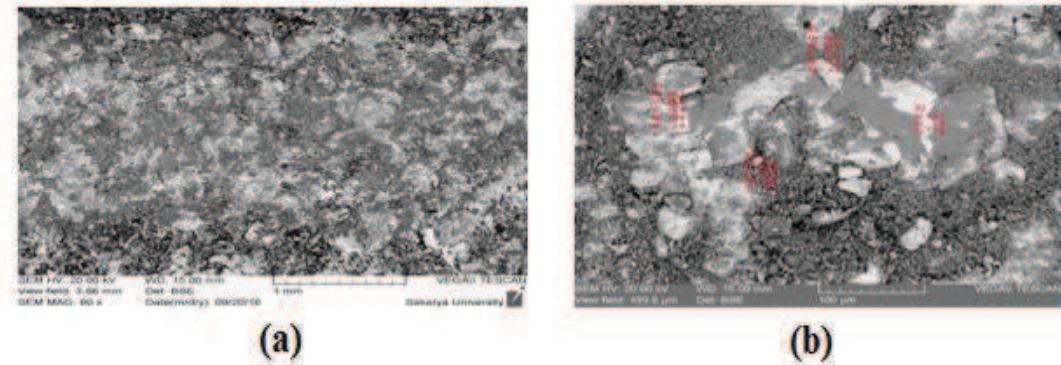
Aşınma testleri yapılan numunelerin genel ve detaylı olarak SEM görüntüleri alındı ve EDX analizleri yapıldı.



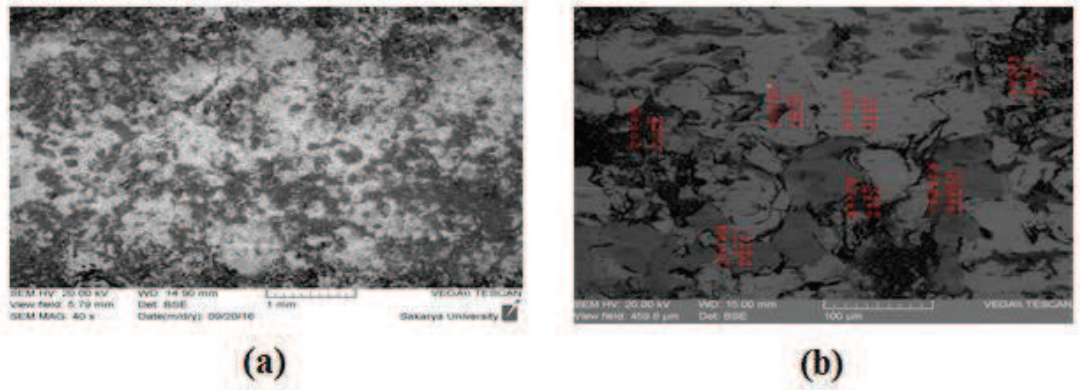
Şekil 7.31. A kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 50x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.



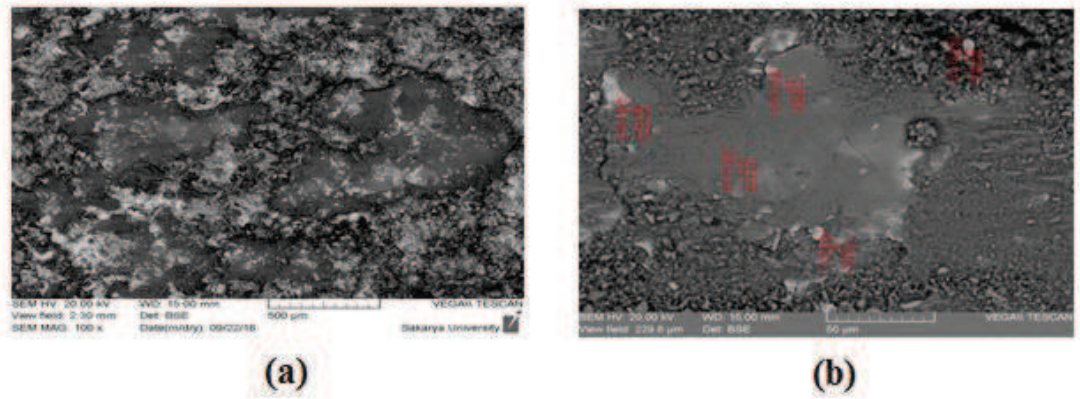
Şekil 7.32. A kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 50x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.



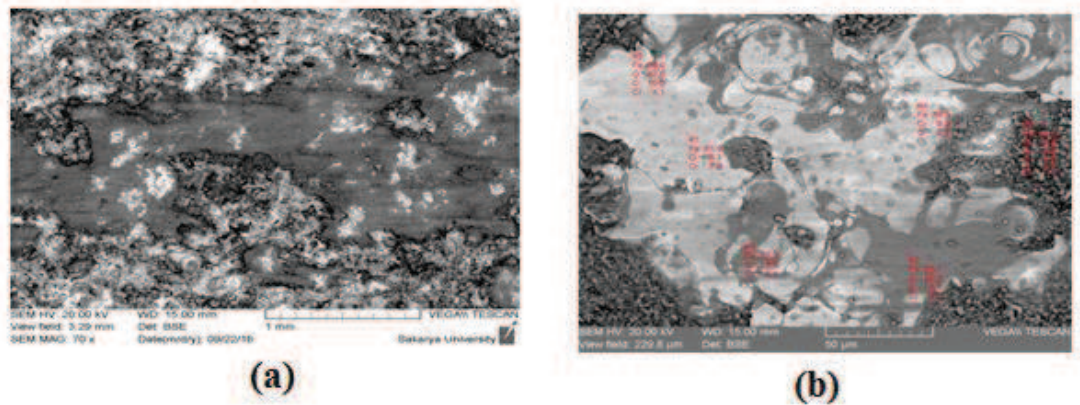
Şekil 7.33. A kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 60x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 500x büyütmedeki EDX analizi.



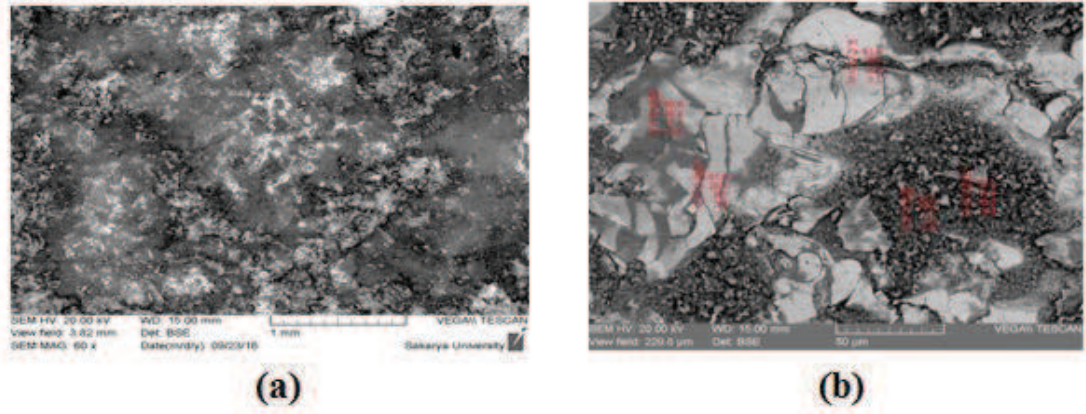
Şekil 7.34. A kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 40x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 500x büyütmedeki EDX analizi.



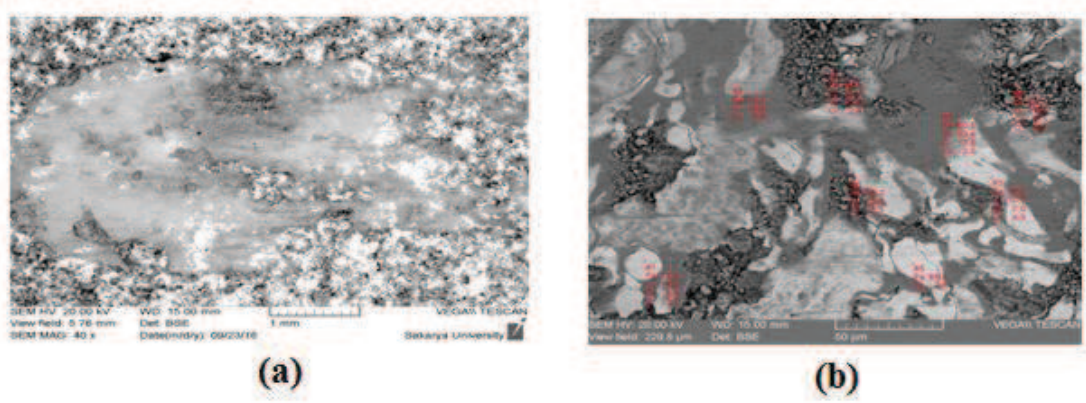
Şekil 7.35. B kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 100x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.



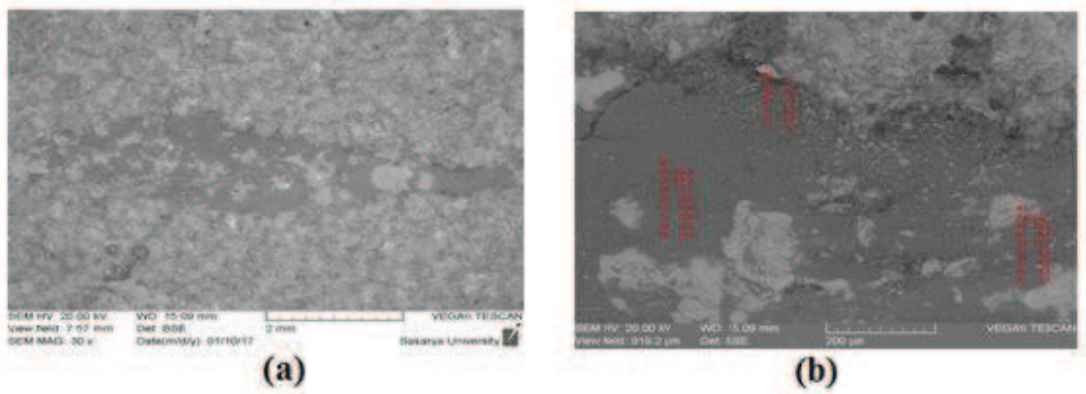
Şekil 7.36. B kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 70x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.



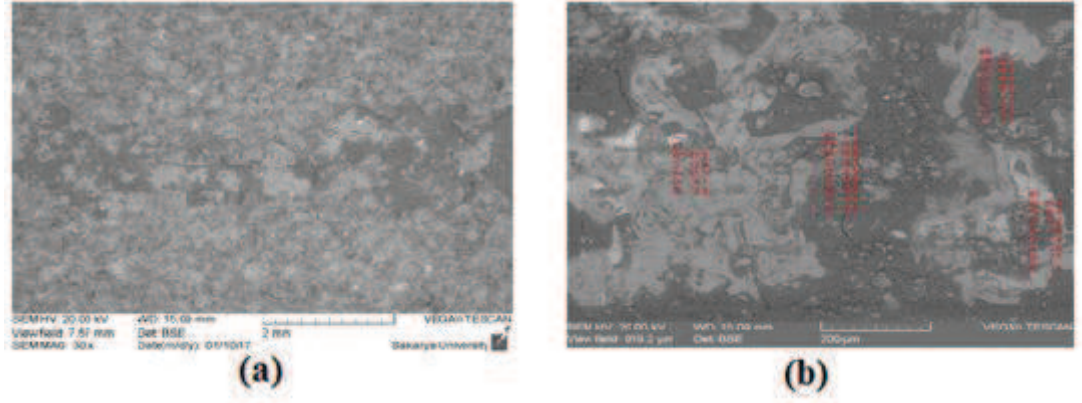
Şekil 7.37. B kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 60x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.



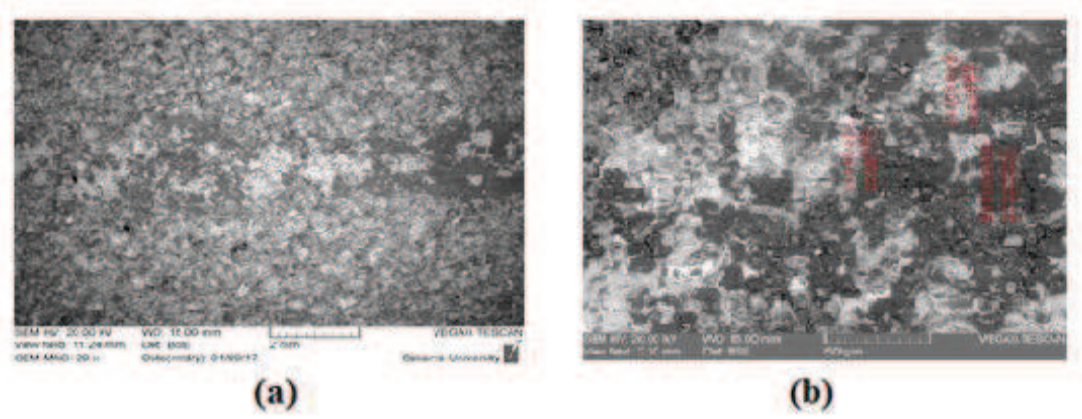
Şekil 7.38. B kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 40x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 1 kx büyütmedeki EDX analizi.



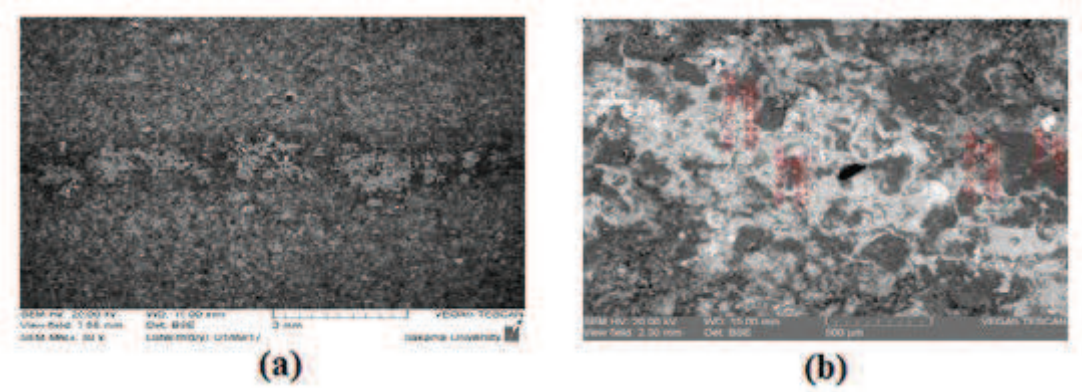
Şekil 7.39. C kaplamasının 0,5 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.



Şekil 7.40. C kaplamasının 0,5 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 250x büyütmedeki EDX analizi.



Şekil 7.41. C kaplamasının 2 kg yük 100m mesafede (a) aşınma izinin 20x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 100x büyütmedeki EDX analizi.



Şekil 7.42. C kaplamasının 2 kg yük 500m mesafede (a) aşınma izinin 30x büyütmedeki SEM görüntüsü (b) 100x büyütmedeki EDX analizi.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

1) Kaplama telleri öz kısımlarından mekanik olarak ayrılıp öz kısımları taramalı elektron mikroskopunda incelendiğinde bağ tabakada kullanılan Ni-Al esaslı özlü telin küresel şekilde ve homojen özlere sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte küresel formdaki özlerin bir kısmının birbiriyle aglomere olarak daha büyük kürecikler meydana getirdiği görülmüştür. Üst tabakaya kaplanan Ni-Al esaslı özlü telde öz kısmının homojen bir dağılıma sahip olduğu fakat özlerin küresel formda olmadığı görülmüştür. Yüksek karbürlü ve Fe-Cr esaslı özlü tellerin öz kısımlarında ise heterojen bir dağılım görülmüştür.

2) Tellerin öz kısımlarından alınan EDX analizlerinde özlerin bünyesinde oksijen barındırdığı görülmüştür. Özlü tellerin bünyelerinde barındırdığı Fe, Cr, Al, Ni gibi oksijene karşı afinitesi yüksek malzemelerin havadaki oksijenle kolayca bağ yapmasının bu duruma neden olduğu düşünülmüştür.

3) Fe-Cr esaslı özlü tel ile kaplanan numunelerin kesit SEM görüntülerine bakıldığında ince ve uzun lamel yapılarının meydana geldiği görülürken Ni-Al esaslı özlü tel ile kaplanan numunelerde daha kısa ve kalın lamel yapılarının meydana geldiği görülmüştür.

4) Yüksek karbürlü özlü tel ile kaplanan numunenin kesit ve üst yüzey SEM görüntülerine bakıldığında iyi yayılmış geniş splatlar ve ince uzun lamel yapıları görülmüştür (Şekil 7.14, 7.23).

5) Ball-on-flat aşınma test cihazı kullanılarak yapılan aşınma testlerinde en iyi aşınma dayanımını bünyesinde Ti_2C_3 ve WC gibi sert seramikler barındıran yüksek karbürlü özlü tel ile kaplanan numuneler göstermiştir. Fe-Cr esaslı özlü tel ile kaplanan numunelerde aşınma dayanımında önemli bir artış sağlamıştır. Ni-Al esaslı özlü tel ile kaplanan numuneler ise 0,5 kg yükte St 52 çelikten daha fazla aşınırken 2

kg yükte St 52 çeliğe göre daha düşük bir ağırlık kaybına uğrayarak daha iyi bir aşınma dayanımı göstermiştir.

6) Genel olarak bakıldığında uygulanan yük ve srenin artışı ile aşınma miktarları da artmıştır (Tablo 7.1).

8.2. neriler

1) st tabakada kullanılan Ni-Al esaslı zl teli bağ tabaka olarak kullanılırsa daha faydalı olabilir.

2) Aşınma yükü ve mesafesini arttırarak daha fazla aşınma meydana getirilmesi sağlanarak aşınma mekanizması ile ilgili detaylı bir inceleme yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tillmann W. and Abdulgader M. Particle Size Distribution of the Filling Powder in Cored Wires: Its Effect on Arc Behavior, In-Flight Particle Behavior, and Splat Formation.
- [2] Pawlowski L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coating, Wiley & Sons, New York, NY, 1995.
- [3] Bao Y. and Gawne D. T., Process modeling of Thermal Spray Deposition of Thermosets, Surface Engineering, 11(3), 215-222, 195.
- [4] Nellesen J., Abdulgader M., Tillmann W., and Beckmann F. 3D ICT and SEM Analysis of Resolidified Tips of Cored Wires Used in Twin-Wire Arc Spraying.
- [5] Güleç A., Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi ile Üretilmiş FeCrCMn Esaslı Kompozit Kaplamalarda Proses Parametrelerinin Abrazif Aşınma Performansına Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi Sakarya Üniversitesi, 2013.
- [6] Stokes J., Theory and Application of the High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray Process, Dublin City University, 2008.
- [7] Luh-maan C., Mageed E. G., Metalization of Steel Bridges: Research and Practice, Division of Construction Engineering and Management School of Civil Engineering, Purdue University, May 1999.
- [8] Steffens H. D., Babiak Z. And Wewel M. IEE Recent developments in arc spraying Transactions On Plasma Science Vol. 18 No. 6 December 1990.
- [9] www.machinedesign.com., Erişim Tarihi: 01.05.2016.
- [10] Kruger J., Knepper M., Arc spray coating for industrial application, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002.
- [11] Şeker İ.Y., Ark Sprey Yardımıyla Üretilen Krom İçerikli Kaplamaların Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2009.

- [12] www.amjtj.com., Erişim Tarihi: 05.05.2016.
- [13] Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Erdemir Bilim Ve Teknoloji Serisi, 2006.
- [14] Sungur M., Isıl Püskürtme Yöntemiyle Oluşturulan Paslanmaz Çelik Kaplamalarda Alev Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 2004.
- [15] www.plackart.com., Erişim Tarihi: 06.05.2016.
- [16] Murthy J.K.N, Rao D.S., Venkataraman B., 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.
- [17] Yüksek E., Ark Sprey Teknolojisi İle Şekilli Parça Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2008.
- [18] www.greenbelting.com., Erişim Tarihi: 08.05.2016.
- [19] Sacriste D., Goubot N., Dhers J., Ducos M. and Vardelle A., An Evaluation of the Electric Arc Spray and (HPPS) Processes for the Manufacturing of High Power Plasma Spraying MCrAlY Coatings, Journal of Thermal Spray Technology, ASM International, 10, 352-358 (June 2001).
- [20] Pamuk U., Plazma spreyleneşmiş Cr_3C_2 -NiCr ve Al_2O_3 -TiO₂ kaplamaların abrazyon aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [21] Vardelle A., Moreau C., and Fauchais P., "The Dynamics of Deposit Formation in Thermal-Spray Processes," MRS Bulletin, 32 (July 2000).
- [22] Yılmaz M. B., Thermal Sprayed And Fused Aluminium Coatings, Thesis For Degree Of Master Of Science In Metallurgical and Materials Engineering, 2009.
- [23] www.mecpl.com., Erişim Tarihi: 10.05.2016.
- [24] www.smenco.com., Erişim Tarihi: 10.05.2016.
- [25] Dorfman M.R., Sulzer Metco(US) Inc., Thermal Spray Processes, Advanced Materials & Processes, (August 2002).

- [26] Zhu Y.L., Liao H.L., Coddet C., Xu B.S., “Characterization via image analysis of cross-over trajectories and in homogeneity in twin wire arc spraying”, *Surface and Coating Technology* 162, pp:301-308, 2003.
- [27] Thorpe M. L., Thermal spray industry in transition, *Advanced Materials and Processes*, Vol 143, n05,(1993), 50-60.
- [28] www.austinhayes.com., Erişim Tarihi: 10.05.2016.
- [29] Watanabe T., Wang X., Pfender E., Heberlein J., Correlations between electrode phenomena and coating properties in wire arc spraying, Department of Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku Tokyo152-8552, Japan, Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA.
- [30] Steffens H. D., and Nassenstein K., Influence of spray velocity on arc-sprayed coating structure, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 8 (3), pp.454-560, September 1999.
- [31] Watanabe T., Wang X., Heberlein J., Pfender E., Herwig W., Voltage and current fluctuations in wire arc spraying as indications for coating properties, *Thermal Spray : Practical solutions for engineering problems*, Ed C. C. Berndt, pub. ASM Int., Materials Park, Ohio USA,(1996), 577-583, 2005.
- [32] Hussary N., “Investigations into the wire arc spraying process”, thesis of Doctor of Philosophy, University of Minnesota, May 2003.
- [33] Güleç A., Termal Püskürtme Tekniği İle Yüksek Performanslı Zn/Al (85/15) Kaplamaların Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006.
- [34] Donna P.G., Oxidation Behavior Of In-Flight Molten Aluminium Droplets In The Twin-Wire Electric Arc Thermal Spray Process, Doctor Of Philosophy, Idaho State University, May 2005.
- [35] Terzi T., Paslanmaz Çeliğin Ark Sprey Yöntemiyle Kaplanması Ve Proses Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi, 2009.
- [36] Sampson E.R., Thermal spray coating for corrosion protection: An Overview, *Materials Performance*, pp.27-30, December 1997.

- [37] Chang L., Georgy M. E., Metalization of Steel Bridges: Research and Practice, Division of Construction Engineering and Management School of Civil Engineering, Purdue University, May 1999.
- [38] Zincover Firma Kataloğu, Mart 2008.
- [39] www.praxair.com., Erişim Tarihi: 14.05.2016.
- [40] Widen J., Wank A., Schreiber F. Arc-spraying of reinforced self-fluxing coatings Int. Conference EUROMAT 99 in Munich, Sept. 1999.
- [41] Widen J., Wank A., Schreiber F. Wires for arc-and high velocity flame spraying-wire design, materials and coating properties ITSC 2000, Montreal, Canada, 8-11 May 2000.
- [42] Özkan E. Endüstriyel Uygulamalar İçin Gerekli Mekanik Ve Metalurjik Özelliklere Sahip Tozalı Kaynak Tozu Ve Özlü Tel Kombinasyonun Karakterizasyonu Doktora Tezi Ege Üniversitesi 2015.
- [43] www.mmo.org.tr., Erişim Tarihi: 15.05.2016.
- [44] Tillmann W., Vogli E., Abdulgader M., Gursıs M., Kuzmın D., and Ture S., Particle behavior during the arc spraying process with cored wires, journal of Thermal Spray Technology, Volume 17(5-6), Mid-December 2008.
- [45] Can-Ming Wang, Hong-Fei Sun and Qiang Song Properties of Fe-based Cr_3C_2 Coatings Produced with a High-Velocity Arc-Spraying Process Journal of the Korean Physical Society, Vol. 54, No. 3, March 2009.
- [46] Aytaç İ., Termal Püskürtme Yöntemiyle Üretilmiş Kompozit Esaslı Kaplamalar ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2014.
- [47] Demir A. Farklı Çeliklerin Yorulma Aşınmasında Malzeme Sertliğinin Aşınma Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi 2012.
- [48] <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DUY-042.pdf>, Erişim Tarihi: 19.05.2016.
- [49] Yüksel F., Alüminyum Matrisli B_4C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2014.
- [50] <http://muh.bartın.edu.tr/Files/ig44lc3kwtchlvqkt4hrr0gyo201554111154ig44lc3kwtchlvqkt4hrr0gyo201554111154.pdf>, Erişim Tarihi: 21.06.2016.

[51] <https://www.astm.org/Standards/G133.htm>., Erişim Tarihi: 28.07.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Sefa Atalay, 23.08.1992'de Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.