

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI SAC KALIP MALZEMELERİ ÜZERİNE ELEKTROSPARK  
BİRİKTİRME YÖNTEM PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orhan DEMİRBİLEK**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**MART 2022**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI SAC KALIP MALZEMELERİ ÜZERİNE ELEKTROSPARK  
BİRİKTİRME YÖNTEM PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orhan DEMİRBİLEK  
(506181439)**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**

**MART 2022**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506181439 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Orhan DEMİRBİLEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FARKLI SAC KALIP MALZEMELERİ ÜZERİNE ELEKTROSPARK BİRİKTİRME YÖNTEM PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Mahmut Ercan AÇMA** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ** .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **28 Ocak 2022**  
**Savunma Tarihi** : **04 Mart 2022**





*Aileme ve Arkadaşlarıma,*



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamın danışmanlığını üstlenen ve her konuda bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Necip ÜNLÜ'ye,  
Tez çalışmam süresince yönetimindeki laboratuvarlardan faydalanmamı sağlayan, bana yol gösteren saygı değer hocam Afyon Kocatepe Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Şükrü TALAŞ'a ve ekibine,  
Yüksek lisans tezimin tamalanmasında çok büyük emeği geçen, mesleki tecrübelerini her zaman benimle paylaşan, sabırla ve ilgiyle her konuda bana yardımcı olan, hiçbir zaman benden desteklerini esirgemeyen, iyi ki beraber çalışmışız dediğim çok kıymetli Dr.Mert ONAN beye,  
Yüksek lisans eğitim boyunca her türlü yardımına koşan sınıf arkadaşım Tolga ALDOĞAN'a  
Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim sırasında bana her türlü imkanı sunan YILDIZ KALIP A.Ş. ve çalışma arkadaşlarıma,  
Yüksek lisans çalışmalarım esnasında çalışmalarına katkıda bulunan, yardımlarını esirgemeyen tüm bölüm hocalarıma, yardımcılarına ve çalışanlarına,  
Son olarak hayatımın her anında sonsuz desteklerini hissettiğim, her zaman yanımda olduklarını bildiğim, hiçbir zaman sevgilerini ve anlayışlarını benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

Orhan DEMİRBİLEK  
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. SAC METAL ŞEKİLLENDİRME KALIPLARI .....</b>	<b>3</b>
2.1 Sac Metal Şekillendirme Kalıpları İmalatı.....	3
2.1.1 Sac metal şekillendirme kalıp malzemeleri.....	4
2.2 Sac Metal Şekillendirme Kalıplarında Uygulanan Kaplamalar .....	6
2.2.1 PVD kaplamalar .....	8
2.2.2 CVD Kaplamalar.....	9
2.2.3 Diğer kaplamalar .....	11
<b>3. ELEKTROSPARK BİRİKTİRME (ESD) YÖNTEMİ .....</b>	<b>13</b>
3.1 Elektrosark Biriktirme Yöntemi Gelişim Süreci.....	13
3.2 Elektrosark Biriktirme Yöntemi ve Uygulanması.....	14
3.3 Elektrosark Biriktirme Yöntemiyle Yapılan Çalışmalar .....	15
3.3.1 Paslanmaz çeliğin tungsten kaplanması .....	16
3.3.2 Paslanmaz çeliğin TiC, WC, Mo kaplanması .....	17
3.3.3 Karbon çeliğinin WC kaplanması .....	18
3.3.4 Döküm çeliğine WC-Co esaslı malzeme kaplanması .....	18
3.3.5 HSS çelik yüzeyine W-Rh esaslı malzeme kaplanması.....	19
3.3.6 Diğer çalışmalar .....	20
3.4 Elektrosark Biriktirme Yönteminin Kullanımındaki Amaçlar ve Uygulama Alanları.....	22
3.5 Elektrosark Biriktirme Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları .....	24
<b>4. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>27</b>
4.1 Altlık Malzemelerin Temin Edilmesi ve Hazırlanması .....	27
4.2 Paslanmaz Çelik Elektrotların Temin Edilmesi .....	28
4.3 ESD Yöntemiyle Kaplama İşleminin Gerçekleştirilmesi .....	29
4.4 ESD Yönteminde Tercih edilen Parametreler .....	31
4.5 Malzeme Karakterizasyonu.....	31
4.5.1 Optik mikroskop ve kalınlık ölçümü .....	33
4.5.2 Taramalı elektron mikroskobu ve elementel analiz .....	33
<b>5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>35</b>
5.1 Numunelerin Kaplama Özellikleri .....	35
5.2 Numunelerin Optik Mikroskop Kullanılarak Karakterizasyonu.....	37
5.3 Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanarak Karakterizasyonu ..	48

<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>73</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AISI</b>	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
<b>APCVD</b>	: Atmosferik Basınçlı Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>DIN</b>	: Alman Standartlar Enstitüsü
<b>ESD</b>	: Elektrosark Biriktirme (Electrospark Deposition)
<b>EDX</b>	: Enerji Dağılım Spektrumu
<b>HAZ</b>	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>HRC</b>	: Rockwell Sertlik
<b>HV</b>	: Vickers Sertlik
<b>Hz</b>	: Frekans
<b>LCVD</b>	: Lazer Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>LPCVD</b>	: Alçak Basınçlı Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>MOCVD</b>	: Metal – Organik Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>NASA</b>	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
<b>PECVD</b>	: Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>PVD</b>	: Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>SAE</b>	: Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>XRD</b>	: X-ışını Difraksiyonu



## SEMBOLLER

<b>C</b>	: Karbon
<b>cm</b>	: santimetre
<b>Cr</b>	: Krom
<b>CrC</b>	: KromKarbür
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Fe</b>	: Demir
<b>Fe<sub>3</sub>C</b>	: Sementit
<b>HCl</b>	: Hidroklorik Asit
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik Asit
<b>I</b>	: Akım
<b>K</b>	: Kelvin
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>NaCl</b>	: Sodyum Klorür
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Rh</b>	: Rodyum
<b>sn</b>	: Saniye
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>TiC</b>	: Titanyum Karbür
<b>TiCN</b>	: Titanyum Karbür Nitrit
<b>TiN</b>	: Titanyum Nitrit
<b>V</b>	: Vanadyum
<b>V</b>	: Volt
<b>W</b>	: Tungsten
<b>WC</b>	: Tungsten Karbür
<b>°C</b>	: Derece
<b>µm</b>	: Mikrometre
<b>%</b>	: Yüzde



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> : ESD kaplama uygulanan yüzeylerde setlik değişimi .....	<b>21</b>
<b>Çizelge 4.1</b> : Ck45 kimyasal kompozisyonu (% ağı.).....	<b>27</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : 1.2379 kimyasal kompozisyonu (% ağı.) .....	<b>28</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : EN-JS 1050 kimyasal kompozisyonu (% ağı.) .....	<b>28</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : Paslanmaz çelik elektrot kimyasal bileşimi (% ağı.).....	<b>28</b>
<b>Çizelge 4.5</b> : Altlık malzemelere uygulanan parametreler. ....	<b>30</b>
<b>Çizelge 5.1</b> : Kaplama kalınlıkları (µm).....	<b>36</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : PVD kaplama yöntemleri şematik gösterimi .....	8
Şekil 2.2 : CVD Kaplama mekanizması .....	11
Şekil 3.1 : ESD sistemi şematik gösterimi .....	14
Şekil 3.2 : ESD sistemi uygulaması şematik gösterimi .....	15
Şekil 3.3 : ESD yöntemi sonrası kaplama tabakasında mikrosertlik değişimi .....	16
Şekil 3.4 : Mikro sertlik dağılımı .....	17
Şekil 3.5 : ESD ile kaplanmış dökme demire ait SEM görselleri a) daraltılmış bölgeden bir kesit b,c,d) mikro boyutta bölgelere ait farklı oluşumlar; nanokristal (c), çiçek görünümü (d).....	18
Şekil 3.6 : El ile yapılan (a) ve otomasyon sistemi ile yapılan (b) ESD kaplaması ..	19
Şekil 3.7 : ESD Yöntemi ile punta nokta kaynağının bakır keplerinin seramik fazlarla kaplanması .....	20
Şekil 3.8 : ESD Yöntemi ile pistonun yüzeyi Ni kaplaması .....	21
Şekil 3.9 : ESD uygulaması ile çatlak parça onarımı gösterimi .....	23
Şekil 4.1 : ESD kaplama uygulanacak (a) hammadde ve kesilmiş (b) numunelerin ebatları.....	28
Şekil 4.2 : ESD kaplama makinesi (a) genel görünüm ve (b) parametre ayarı yapılan ön ara yüzü.....	29
Şekil 4.3 : ESD kaplama (a) uygulaması genel görünümü ve (b) kaplama esnasında altlık malzeme yüzey görünümü.....	30
Şekil 4.4 : Kaplama sonrası numunelerin yüzey görüntüleri.....	32
Şekil 5.1 : Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz.....	37
Şekil 5.2 : Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz.....	39
Şekil 5.3 : Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz.....	40
Şekil 5.4 : DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz. ....	41
Şekil 5.5 : DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz. ....	43
Şekil 5.6 : DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz. ....	44

<b>Şekil 5.7 :</b> EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz.....	<b>45</b>
<b>Şekil 5.8 :</b> EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz.....	<b>46</b>
<b>Şekil 5.9 :</b> EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz.....	<b>47</b>
<b>Şekil 5.10 :</b> C3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.11 :</b> C6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.12 :</b> C9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>49</b>
<b>Şekil 5.13 :</b> S3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>49</b>
<b>Şekil 5.14 :</b> S6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>50</b>
<b>Şekil 5.15 :</b> S9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>50</b>
<b>Şekil 5.16 :</b> D3 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.17 :</b> D6 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.18 :</b> D9 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.19 :</b> C3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>52</b>
<b>Şekil 5.20 :</b> C6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>53</b>
<b>Şekil 5.21 :</b> C9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>54</b>
<b>Şekil 5.22 :</b> S3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>55</b>
<b>Şekil 5.23 :</b> S6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>56</b>
<b>Şekil 5.24 :</b> S9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>57</b>
<b>Şekil 5.25 :</b> D3 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>58</b>
<b>Şekil 5.26 :</b> D6 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>59</b>
<b>Şekil 5.27 :</b> D9 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.....	<b>60</b>

## FARKLI SAC KALIP MALZEMELERİ ÜZERİNE ELEKTROSPARK BİRİKTİRME YÖNTEM PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

### ÖZET

Endüstride ihtiyaç duyulan makine, ekipman ve malzemelerin kullanım alanlarındaki ortaya çıkan hızlı artış, çok daha fazla çeşitte ve adette malzeme üretilmesi ve geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Otomotiv endüstrisi başta olmak üzere gıda endüstrisi, beyaz eşya sektörü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan sac metal şekillendirme çok fazla çeşit ve adette parça üretimine olanak sağlar.

Sac metal şekillendirmede yassı bir çelik sac malzeme bükme kalıbı, derin çekme kalıbı ve kesme kalıbı gibi bir veya birden fazla kalıba koyularak plastik olarak deforme edilir ve nihai şekle getirilir. Kullanılan kalıp ve ekipmanlarına ait parçaların çalışma prensipleri incelendiğinde büyük çoğunluğunda parçaların genelde yüzeylerinin çalıştığını görmekteyiz.

Aktif olarak çalışan yüzeyler diğer bölümlere nazaran daha fazla sürtünme, ısı, korozyon gibi etkilere maruz kalmaktadır. Kullanılan kalıpların yüzey kısımları sürekli olarak sürtünme ve aşınmaya maruz kalırken kalıp dış kısmında böyle bir etkiden söz edilemez. Bu yüzeylerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin diğer yüzeylere göre daha iyi olması beklenir. Bunun gibi yüzey özelliklerini geliştirmek, malzeme yüzeyinde istenilen özellikleri kazandırmak için malzeme yüzeyine çeşitli prosesler uygulanmalıdır.

Kaplamalar yüzey özellikleri geliştirme yöntemlerinde yaygın olarak tercih edilirler. Kaplamalar, aşırı şartlara maruz kalan makine elemanlarının, kalıp yüzeylerinin güçlendirmenin ve yenilemenin önemli bir yoludur. Kaplamalar, havacılık ve otomotiv endüstrisinden insan vücudundaki küçük biyomedikal cihazlara ve implantlara kadar farklı alanlarda sert ve aşındırıcı ortamlara maruz kalan bir yapının belirli bir parçasına veya tümüne koruma sağlar.

İstenilen düzeyde yüzey özelliklerine sahip kaplama elde etmek oldukça zor bir konu olup, kaplama yöntem ve parametrelerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de zorlu ortamlarda kullanılmak üzere metalürjik kaplamalarda en umut verici gelişmelerden biri elektrosark biriktirme (ESD) prosesidir.

ESD, esas olarak, bir elektrot malzemesini metal bir alt tabakaya kaynaklamak için kısa süreli, yüksek akımlı elektrik darbeleri kullanan bir darbeli mikro ark kaynak işlemidir. Demir üzerine benzer bir elektrot kullanılarak ark uygulanmış ve bu uygulamanın sonucunda demir yüzeyinin sertliğinin arttığı 1924 yılında keşfedilmiştir. Bu keşif ESD kaplamanın temelini oluşturmakta olup üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Sac metal şekillendirme kalıplarının imalatında kalıp malzemelerinin seçimi şekillendirilecek parça özelliklerine ve üretim adetlerine göre belirlenmektedir.

Karbon elikleri, küresel grafitli dökme demirler ve takım çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada elektrospark biriktirme yöntemi kullanılarak sac şekillendirme kalıplarında yaygın olarak kullanılan Ck45, 1.2379 ve EN JS 1050 altlık malzemelerinin paslanmaz elik elektrot ile kaplanması için optimum kaplama parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı parametrelerde yapılan kaplama işlemi sonucunda elde edilen numunelerin kaplama yüzeyleri incelenmiştir. Oluşan mikroyapılar, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile karakterize edilmiştir.

Optimum kaplama parametrelerinin malzeme türüne göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Artan ıkış gücü ile kaplama kalınlığı genel olarak artmaktadır. Aynı ıkış gücüne sahip malzemelerin farklı frekans değerlerinde de kaplamalar görülmüştür.

Optimum kaplama Ck 45 ve 1.2379 malzemeler için %70 çıkış gücü ve 500 Hz de sağlanırken, EN JS 1050 malzemesinde %50 çıkış gücü ve 400 ve 500 Hz de sağlanmıştır. Kaplama kalınlıkları altlık malzemeye göre değişmekte olup yoğun ve kuvvetli bir yapışkan kaplama tabakası elde edilmiştir.

## **INVESTIGATION OF ELECTROSPARK DEPOSITION METHOD PARAMETERS ON DIFFERENT SHEET MOLD MATERIALS**

### **SUMMARY**

The rapid increase in the usage areas of machinery, equipment and materials needed in the industry necessitated the production and development of much more types and quantities of materials. Sheet metal forming, which is widely used in areas such as the automotive industry, the food industry, and the white goods industry, allows the production of many types and quantities of parts.

In sheet metal forming, a flat steel sheet material is plastically deformed and formed into its final shape by placing it in one or more molds, such as a bending die, a deep drawing die, and a cutting die. When the working principles of the parts of the molds and equipment used are examined, we see that the surfaces of the parts generally work in the vast majority of them.

Actively working surfaces are exposed to effects such as friction, heat and corrosion more than other parts. While the surface parts of the molds used are constantly exposed to friction and wear, such an effect cannot be mentioned on the outer part of the mold. The friction and wear properties of these surfaces are expected to be better than other surfaces. Various processes should be applied to the surface of the material in order to improve the surface properties like this and to give the desired properties on the material surface.

Coatings are widely preferred in surface properties improvement methods. Coatings are an important way of reinforcing and renewing machine elements and mold surfaces that are exposed to extreme conditions. In order to improve the physical and chemical properties such as appearance, corrosion resistance, wear resistance, thermal resistance, optical, electrical or heat conduction, the coating material is not damaged and the friction behavior is improved, by means of gas, liquid or vacuum, simple or complex equipment. It is a surface treatment in which different metal, ceramic and even plastic materials are transferred to the desired material surface under the environment. Coatings provide protection to a particular part or all of a structure exposed to harsh and corrosive environments in areas ranging from the aerospace and automotive industries to small biomedical devices and implants in the human body.

It is very difficult to obtain a coating with the desired level of surface properties, and the need for the development of coating methods and parameters is increasing day by day. One of these methods, one of the most promising developments in metallurgical coatings for use in harsh environments is the electrospark deposition (ESD) process.

ESD is essentially a pulsed micro-arc welding process that uses short-duration, high-current electrical pulses to weld an electrode material to a metal substrate. An arc was applied on iron using a similar electrode, and it was discovered in 1924 that the

hardness of the iron surface increased as a result of this application. This discovery forms the basis of ESD coating and studies continue on it.

The electrical energy accumulated in the series capacitor on the pulsed current generator is discharged in milliseconds while the electrode touches the substrate. The energy generated during this discharge creates arcs in the space between the electrode and the substrate. As a result of the arcs formed, it causes the temperature to rise to thousands of degrees Celsius in this intermediate region, thus forming plasma channels in these regions. The electrode material (anode), which has almost become molten due to the vacuum effect resulting from the high temperature and sudden expansion created by the plasma channels, is drawn on the substrate material with the effect of gravity and contacts the liquefied region. As a result of this contact, alloying occurs as a result of the mixing of the molten mass with the liquefied region on the substrate. At the end of one cycle, the instantaneously alloyed areas solidify on the substrate surface. The electrode is constantly moved from one end to the other on the surface for the coating to accumulate. The coating process continues by repeating the cycle and the coating thickness is increased layer by layer. Electrospray deposition (ESD) technique consists of a capacitor-based power source, applicator (electrode holder), consumable electrode (anode), substrate material (cathode), and shielding gas that protects the coating surface from the atmosphere. These equipment used in ESD are relatively inexpensive and have a portable structure. In this way, it can be easily transported and installed.

In the manufacture of sheet metal forming molds, the selection of mold materials is determined according to the characteristics of the part to be formed and the number of production. Carbon steels, spheroidal graphite cast irons and tool steels are commonly used. Tool steels have varying degrees of carbon content. These steels are materials that contain higher proportions of alloying elements such as Cr, Mo, W, Ti, V, Ni, Co compared to other steels according to their intended use and can have high strength, toughness and wear resistance with the applied hardening and tempering heat treatments.

Carbon steels are one of the most widely used materials in industry. It is frequently used in the manufacture of some mold parts as well as auxiliary mold components. Carbon steels used for molds are mainly used because of their good strength and weldability rather than wear resistance.

Cast irons are used to form sheet metal by forming, drawing or cutting with dies. While such molds are sometimes made in one piece, they are usually composite. Composite dies are dies in which mold tools made of carbon, alloy, or tool steel or other materials are placed in the parts of the cast body that are most subject to wear or breakage. Cast mold elements are cheaper, require less machining, and are structurally strong. Cast irons are relatively low cost, easily cast and machined. Another advantage of cast irons is their ability to resist friction. However, these materials have relatively poor weldability.

In this study, it was aimed to determine the optimum coating parameters for the coating of Ck45, 1.2379 and EN JS 1050 substrate materials, which are widely used in sheet metal forming molds, with stainless steel electrode using the electrospray deposition method. The coating surfaces of the samples obtained as a result of the coating process performed in different parameters were examined. The resulting microstructures were characterized by optical microscope, scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX).

It has been observed that the optimum coating parameters vary according to the material type. The coating thickness generally increases with increasing output power. Coatings were also observed at different frequency values of materials with the same output power. In Ck45 material, there is a cementite phase structure ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) in the coating layer, the possibility of formation of a  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  layer is due to the distribution of carbon and Cr in stainless steel. Since the amount of Cr in the 1.2379 substrate material and coming from the electrode is much higher than that of C, it should be considered that there are  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  carbide structures in the coating layer, and hardness can be obtained through these carbide networks. The structure of spheroidal graphite at the coating interface in EN JS 1050 material is deteriorated due to increased heat input. Increasing heat input causes thermal instability and facilitates C diffusion, and then there is a tendency to form more cementite structure.

While the optimum coating is provided for Ck 45 and 1.2379 materials at 70% output power and 500 Hz, 50% output power and 400 and 500 Hz are provided for EN JS 1050 material. The coating thicknesses vary according to the substrate material, and a dense and strong adhesive coating layer is obtained.



## 1. GİRİŞ

Endüstride ihtiyaç duyulan makine, ekipman ve malzemelerin kullanım alanlarındaki ortaya çıkan hızlı artış, çok daha fazla çeşitte ve adette malzeme üretilmesi ve geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Kullanılan makine ve ekipmanlarına ait parçaların çalışma prensipleri incelendiğinde büyük çoğunluğunda parçaların genelde yüzeylerinin çalıştığını bu sebeple çalışan yüzeylerin özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Aktif olarak çalışan yüzeyler diğer bölümlere nazaran daha fazla sürtünme, ısı, korozyon gibi etkilere maruz kalmaktadır. Örneğin sac parça şekillendirme proseslerinde kullanılan kalıpların yüzey kısımları sürekli olarak sürtünme ve aşınmaya maruz kalırken kalıp dış kısmında böyle bir etkiden söz edilemez. Bu yüzeylerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin diğer yüzeylere göre daha iyi olması beklenir. Bunun gibi yüzey özelliklerini geliştirmek, malzeme yüzeyinde istenilen özellikleri kazandırmak için malzeme yüzeyine çeşitli prosesler uygulanmalıdır. Bunlar mekanik, kimyasal, elektrokimyasal, termal, radyasyon vb. birçok farklı uygulamalardır.

Bu uygulamalar istenen özelliğe göre tek başına uygulanabildiği gibi birbirleri ile komplike şekilde de uygulanabilir. Bu yöntemlerden herhangi birinin uygulanması sonucunda ana malzemelerin yüzey özellikleri geliştirilip değiştirilirken malzemenin diğer bölümleri esas özelliklerini koruyarak önemli ölçüde bir değişikliğe uğramazlar. Çeliğin sıvı çinko banyosunda çinko ile kaplanması, ısıtıcı akışkanın geçirildiği boru demetlerini korozyon dayanımının artırılması için termal sprey kaplama ile kaplanması yüzey özelliklerinin geliştirilmesine örnek olarak verilebilir [1-4].

Kaplamaların, farklı alanlardaki birçok uygulama ve ihtiyaç çeşitliliği nedeniyle geniş bir kullanım yelpazesi mevcuttur. Kaplama işlemleri, havacılık ve otomotiv endüstrisinden insan vücudundaki küçük biyomedikal cihazlara ve implantlara kadar farklı alanlarda sert ve aşındırıcı ortamlara maruz kalan bir yapının belirli bir parçasına veya tümüne koruma sağlar.

Kaplama işlemi görünüm, korozyon direnci, aşınma direnci, ısı dayanım, optik, elektrik veya ısı iletim gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirmek, yüzeyin zarar görmemesi ve sürtünme davranışının iyileştirilmesini sağlamak için kaplama malzemesini kaplama yüzeyine basit ya da kompleks ekipmanlar vasıtasıyla gaz, sıvı veya vakum ortam altında istenen malzeme yüzeyine değişik metal, seramik, sermet (seramik-metal kompozit) ve hatta plastik malzemelerin aktarıldığı yüzey işlemidir.

İstenilen düzeyde yüzey özelliklerine sahip kaplama elde etmek oldukça zor bir konu olup, kaplama yöntem ve parametrelerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de elektrospark biriktirme (ESD), yani esas malzemenin uygulanacak yüzeyinin üzerine başka bir türde malzemenin elektrospark biriktirme ile aktarılmasıdır [5-7].

## 2. SAC METAL ŞEKİLLENDİRME KALIPLARI

Sac metal şekillendirme, çelik bir sacın kalıplar ile deformasyon altında şekillendirilmesi ile oluşur. Sac metal şekillendirme işlemlerinin performansı şekillendirme işleminin türüne, sac levhaya, kalıp malzemesine, kalıp-çelik sac ara yüzündeki tribolojik koşullara, kullanılan plastik deformasyon miktarına ve bitmiş ürün gereksinimlerine bağlıdır [8].

### 2.1 Sac Metal Şekillendirme Kalıpları İmalatı

Sac metal şekillendirmede yassı bir çelik sac malzeme plastik olarak deforme edilir ve nihai şekle getirilir. Karmaşık ürün şekilleri söz konusu olduğunda, bazen nihai şekli elde etmek için birkaç işlem gereklidir. En yaygın kullanılan sac metal şekillendirme işlemleri bükme, germe ve derin çekmedir. Bu işlemler otomotiv endüstrisi başta olmak üzere gıda endüstrisi, montaj endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Çelik sacın tribolojik ve plastik deformasyon özellikleri, sac metal şekillendirme süreçlerini optimize ederken çok önemlidir. Beklenmedik ve bilinmeyen tribolojik davranışlar, üretim sırasında zaman alarak üretimin durmasına ve üretkenliğin düşmesine neden olabilir. Tribolojik davranışlar, kalıp ve levha yüzeyinin göreceli hareket altında bir araya getirilmesi ve temas alanlarındaki yüzeylerin birbiriyle etkileşime girmesi anlamına gelir [8].

Şekillendirme yönteminin seçimi, parçanın istenen boyutuna, konfigürasyonuna ve üretim miktarlarına bağlıdır. Örneğin, presle şekillendirme (bir zımbanın iş parçasını bir kalıba bastırması) yaygın olarak kullanılır ve üretim miktarları büyük ve iş parçaları nispeten küçük olduğunda genellikle en etkili yöntemdir. Ancak bazı uygulamalarda başka biçimlendirme yöntemleri istenebilir veya gerekli olabilir. Örneğin, düz boşluklardan içi boş kabukları üretmek için köşeleri katlamadan metali istenen şekle getirmek için sacın bir kalıp açıklığına bastırıldığı derin çekme işlemi gereklidir.

İş parçası boyutu ve şekli, üretim hacmi, toleranslar ve mevcut presler, belirli bir uygulama için en uygun kalıp türünü belirleyen ana faktörlerdir. İş parçasının presle

şekillendirilmesi için kalıplar, plastikler, dökme demirler, takım çelikleri ve sement karbürler dahil olmak üzere çok çeşitli malzemelerden yapılır. Şekillendirmenin zorluğu, üretilecek parça sayısı, iş parçası şekli, iş parçası metalinin sertliği, belirtilen yüzey durumu ve toleranslar, kalıp malzemesinin seçimini etkiler.

Basit bükme kalıpları normalde diğer pres altında çalışan kalıplarına göre daha az darbeye maruz kalır; bu nedenle, genellikle düşük karbonlu çelikten, 4140 gibi ısı işlem görmüş düşük alaşımlı çelikten veya düşük karbonlu çelik parçaların düşük üretimi için dökme demirden yapılabilir. Orta derecede yüksek üretim için, 1045 gibi alevle sertleşen karbon çeliğinden veya 40 sınıfı gri demir gibi alevle sertleşen dökme demirden yapılmalıdır.

Kavisli flanşlı parçalar üretmek için kullanılan kamlı kalıplar, süpürme kalıpları ve bükme kalıpları daha yüksek kalitede bir malzemedен yapılmalıdır. O1 veya A2 gibi takım çelikleri, orta derecede uzun üretim çalışmaları için kullanılır. Toplam bir milyon veya daha fazla parçalık takım ömrü için D2 takım çeliği kullanılmalıdır [9].

### **2.1.1 Sac metal şekillendirme kalıp malzemeleri**

Sac metal şekillendirme kalıplarının imalatında kalıp malzemelerinin seçimi şekillendirilecek parça özelliklerine ve üretim adetlerine göre belirlenmektedir. Karbon çelikleri, küresel grafitli dökme demirler ve takım çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

Yaygın olarak endüstride kullanılan takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta, sıcak veya soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile şekillendirmede, kullanılan yüksek kaliteli çeliklerdir. Takım çelikleri değişken oranlarda karbon ihtiva etmekle birlikte, kullanım yeri ve amacına göre diğer çeliklere kıyasla yüksek oranda Cr, Mo, W, Ti, V, Ni, Co gibi alaşım elementleri içeren ve uygulanan sertleştirme ve temperleme ısı işlemleri ile yüksek dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahip olabilen malzemelerdir. Kullanım alanlarına, uygulanan sıcaklık aralığına ve içerdikleri alaşım elementlerine göre sınıflandırılır. Buna göre sıcak iş takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleri şeklinde sınıflandırılır [10,11].

Yüksek hız takım çelikleri genel olarak diğer takım malzemelerinin işleme ve talaşlı imalatında 400-600 °C aralığında kullanılırken, soğuk iş takım çelikleri çoğunlukla kesme, bükme, eğme, form verme kalıplarında ve 200 °C'nin altında çalışırlar.

Yaygın olarak kullanılan yüksek hız takım çelikleri 1.3343, 1.3243, 1.3207, 1.3247 kalite çelikler olup soğuk iş takım çeliği olarak da 1.2379, 1.2363, 1.2767, 1.2842 ve 1.2436 kaliteler kullanılmaktadır. Diğer takım çeliklerine nazaran daha yeni olan plastik kalıp çelikleri ise korozyon dirençleri ve parlatılabilme özellikleri ile genellikle plastik enjeksiyon, ekstrüzyon gibi şekil verme kalıplarında, kalıp hamillerinde, korozif plastiklerin şişirme kalıplarında kullanılırlar. En çok kullanılanları 1.2738, 1.2311, 1.2312, 1.2316 ve 1.2083 kalite çelikleridir.

Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcak aşınma direncine sahip olup, ısıl iletkenliği, meneviş direnci ve tokluğu yüksek malzemelerdir. Metal enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon profil kalıpları, sıcak dövme yoluyla şekillendirilen pres takımları sıcak iş takım çeliklerinden imal edilmektedir. Yaygın kullanılanları 1.2344, 1.2343, 1.2365, 1.2367, 1.2714, 1.2581, 1.2606, 1.2713, 1.2885 kalite çeliklerdir [10-14].

Karbon çelikleri, endüstride en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Bazı kalıp parçalarının yanı sıra yardımcı kalıp bileşenlerinin imalatında sıklıkla kullanılır. Kalıplar için kullanılan karbon çelikleri, esas olarak aşınma direncinden ziyade mukavemet ve kaynaklanabilirliğinin iyi olmasından kaynaklı kullanılmaktadır. Sade karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kullanımındaki bir sınırlama da, artan sıcaklıkta sertliklerinin zayıf olmasıdır. Şekillendirme işlemlerinde sırasında artan sıcaklıklarla sertlikleri düşer. Boyutsal kararlılığı korumak ve çatlamayı önlemek için ısıl işlemleri sırasında da özen göstermek gereklidir. Sade karbonlu çeliklerin genellikle ısıl işleminden sonra boyutsal düzeltme gerektirirken alaşımlı çeliklere sertlik elde etmek için daha az şiddette bir su verme işlemi uygulandığı için daha az bozulmaya maruz kalır. Yaygın kullanılanları 1040, 1045, 1050, 1060, 4140, 4340, 6150, 8620 kalite çeliklerdir [15-17].

Dökme demirler, kalıplar ile form vererek, çekerek veya keserek sac metal şekillendirmek için kullanılırlar. Bu tür kalıplar bazen tek parça halinde yapılırken, genellikle kompozit yapıdadırlar. Kompozit kalıplar, döküm gövde üzerinde aşınmaya veya kırılmaya en çok maruz kalan bölümlere karbon, alaşım veya takım çeliğinden veya diğer malzemelerden yapılmış kalıp araçları yerleştirilmiş kalıplardır. Kalıpların dökümünde, strafor modellerin kullanılması döküm maliyetlerini önemli ölçüde düşürmüştür. Model içindeki strafor döküm işlemi sırasında ergimiş metal tarafından yakılır, böylece tek seferde bağlantı elemanı

ihtiyacı olmadan bütün bir kalıp gövdesi elde edilir. Döküm kalıp elemanları daha ucuz, daha az işleme gerektirir ve yapısal olarak güçlüdür. Dökme demirler nispeten düşük maliyetli, kolayca dökülebilir ve işlenebilir. Dökme demirlerin bir başka avantajı da sürtünmeye karşı direnme kabiliyetleridir. Ancak bu malzemeler nispeten zayıf kaynaklanabilirliğe sahiptir. Döküm kalıpları için kullanılan demirler arasında alaşımsız, alaşımlı ve sfero dökümler bulunur [16].

## **2.2 Sac Metal Şekillendirme Kalıplarında Uygulanan Kaplamalar**

Mekanik veya kimyasal hasara maruz kalan bir parça veya yapıyı korumak için çeşitli kaplama yöntemleri ve malzemeleri mevcuttur. Bu kaplamalar ile yeni parçaların imalatına gerek olmadan üretim maliyetleri düşmektedir. Bugüne kadar, fiziksel, kimyasal buhar biriktirme, mikro ark oksidasyonu, sol-jel, termal püskürtme, kaynak, sıvı püskürtme, daldırma ve elektro depozisyon işlemleri gibi çok sayıda işlem tanıtılmış ve araştırılmıştır. Bu işlemlerin her biri avantajlar sağlasa da, uygulamalarını sınırlandıran her zaman dezavantajları vardır. Bununla birlikte, birkaç yöntemi birlikte kullanarak çok yönlü bir kaplama ile her işlemin faydalarını kullanarak kaplama tekniklerinin eksikliklerinin üstesinden gelmek için birçok çözüm vardır [18,19].

Hızla değişen otomobil pazarı, otomobil parçalarının üretiminde yüksek hassasiyet, mükemmel kalite ve kısa sürede teslim gerektirmektedir. Birçok yeni çelik türünün ve otomobil parçalarının karmaşık üç boyutlu şekillerinin ortaya çıkması nedeniyle sac metal kalıplarının aşınması endüstrilerin bu talepleri karşılama konusunda büyük bir engeldir. Kaplamalar ile bu gibi engeller büyük oranda azaltılır [20].

Kaplama işlemleri, kaplanacak malzemeye büyük ölçüde sahip olmadığı özellikleri kazandırmak daha ucuz, daha kolay üretilen bir parçayı yalnızca yüzeyini değiştirerek talep edilen amaca ulaşılabilesini sağlamak, konstrüksiyonlarda beklenen işlevi yerine getirebilmesi için tatbik edilir. Metalik malzemelere uygulanan kaplama işlemlerinin oldukça geniş bir alanı vardır. Uygun kaplama işleminin seçilebilmesi için, malzemenin kullanılacak alanının, kaplanacak malzemesinin belirlenmesi gerekir. Ayrıca malzemenin kullanılacağı yerde beklenen işlev ve aranan özellik tespit edilmelidir. Talep edilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmayan altlık malzemesine uygun kaplama işlemi belirlenir ve tatbik edilir. Böylece malzeme istenilen işlevi görece seviyeye getirilir.

Kaplama işlemleri sonucunda malzemelere şu özellikler verilebilir:

- Yüzey sertliğinin yükselmesi
- Aşınma direncinin yükselmesi
- Sürtünme dayanımının yükselmesi
- Korozyona ve oksitlenmeye karşı yüksek direnç
- Çekme dayanımının artması
- Basma dayanımının artması
- Çapaksız ve düzgün kesebilme kabiliyetinin artırılması
- Sıcak çatlak oluşma hassasiyetinin azaltılması [21,22].

Dökme demirler ve özel alaşımlı çelikler sac metal kalıpcılığının ihtiyaç duyduğu temel malzemelerin önemli bir bölümüdür. Sac metal kalıp malzemesi seçiminde genel özellikleri kadar bölgesel yüzey özellikleri de çok önemli bir yere sahiptir. Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler ile belirlenen genel özelliklerin yanında yüzey bölgesi özellikleri, malzemelerin aşınma, sürtünme, korozyon ve yorulma dayanımına büyük oranda etkide bulunur. Bu özellikler malzemenin içyapısından farklı bir yapı gösteren yüzey bölgesi özelliklerinin etkisidir [23].

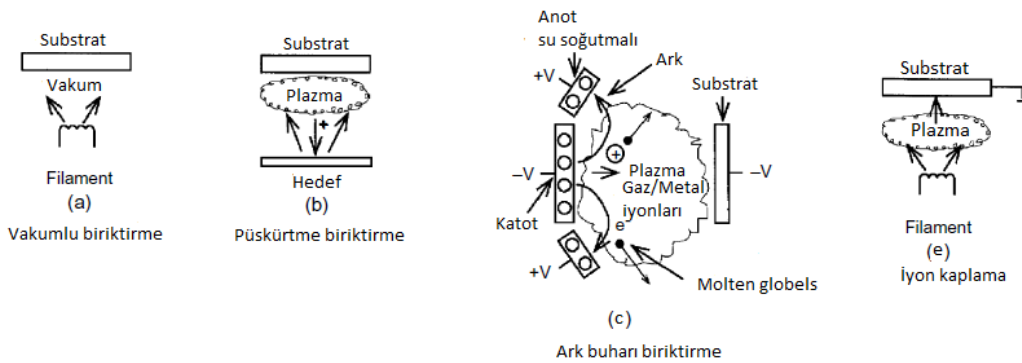
Artan rekabet nedeni ile otomotiv endüstrisi ekonomiklik ve güvenilirlik merkezli müşterilerin isteklerini yerine getirebilme yeteneğini geliştirmek zorunda kalmıştır. Ekonomik bir üretim için giderek daralan toleranslarda ilk seferde doğru parça elde etmek, artan üretim adetlerini karşılayabilmek için sac şekillendirme kalıplarının yüzey özelliklerinin geliştirilerek daha hassas, aşınma direnci ve yorulma dayanımı yüksek kalıp imalatını zorunlu hale getirmiştir [24].

Sac metal şekillendirme kalıp yüzeylerinde istenilen özelliklerin oluşturulabilmesi kalıp yüzeylerinde yapılan bir takım modifikasyonlarla elde edilebilmektedir. Kalıp malzeme yüzey bölgesinin sert ve aşınmaya dayanıklı, iç kısmının ise sünek ve yeterli mukavemette olması istenilir. Bunun için karbürleme, nitrürleme, alev veya indüksiyonla yüzey sertleştirme, lazerle yüzey sertleştirme, plazma nitrürleme, fiziksel buhar depolama (PVD), kimyasal buhar depolama (CVD), iyon implantasyonu, elektro depozisyon işlemleri gibi yöntemler kullanılarak istenilen yüzey özellikleri elde edilebilir [25].

## 2.2.1 PVD kaplamalar

Bu kaplama yönteminin tarihçesi 1800'lü yıllara dayanmaktadır. Fakat geçtiğimiz 50 yılda sanayide kendisine önemli bir yer bulmuş olan ince film kaplama tekniğidir. Bir rezistans, lazer gibi ısıtıcı kaynağı ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme vakum altında ince bir film tabakası şeklinde kaplanacak malzemenin üstünde biriktirilir. Özet olarak katı haldeki kaplama malzemesinin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek kaplanacak olan malzemenin üzerine yapıştırılması işlemidir. Artan sanayileşme ile birlikte aşınma, korozyon dayanımı gibi malzeme yüzey özelliklerinin de geliştirilme ihtiyacı artmış olup bununla birlikte PVD kaplamalara duyulan ihtiyaç artmıştır.

PVD, aşınma ve korozyon direncinin iyileştirilmesi için mükemmel bir vakumlu kaplama işlemidir. El aletleri, dekoratif parçalar, sac metal kalıpları, enjeksiyon kalıpları, döküm kalıpları ve bıçaklar gibi işlevsel uygulamalar için oldukça gereklidir. Bunlar, halihazırda kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Bu teknikte kullanılan ekipman az bakım gerektirir ve süreç çevre dostudur. PVD, ürünlere dayanıklılık ve değer katan gerçek ve benzersiz avantajlar sağlar. PVD kaplama kesici takım uçları için önemli bir role sahiptir. Takım uçları, yüksek sıcaklıklarda sertlik, yüksek aşınma direnci, kimyasal stabilite, tokluk ve sertlik gibi özellikler gerektiren şartlar altında çalışırlar. Ayrıca PVD ile diğer yöntemlere nazaran mükemmel yapışma, homojen katmanlar, kontrollü morfoloji gibi özelliklere sahip kaplamalar üretebilir. Şekil 2.1'de PVD kaplama yöntemleri vakum biriktirme (buharlaşma), püskürtme biriktirme, ark buharı biriktirme ve iyon kaplama gösterilmektedir [26,27].



Şekil 2.1 : PVD kaplama yöntemleri şematik gösterimi [27].

Vakumlu biriktirme, bir termal buharlaşma kaynağından gelen malzemenin, kaynak ile alt tabaka arasındaki boşluktaki gaz molekülleri ile çok az çarpışarak veya hiç çarpışmadan alt tabakaya ulaştığı bir PVD işlemidir. Vakum ortamı ayrıca biriktirme sistemindeki gaz kirliliğini düşük bir seviyeye indirme yeteneği sağlar. Termal buharlaşma oranı diğer buharlaştırma yöntemlerine göre çok yüksek olabilir. Püskürtme birikimi, fiziksel püskürtme işlemiyle bir yüzeyden buharlaşan parçacıkların birikmesidir. Fiziksel püskürtme, yüzey atomlarının bir plazmadan hızlandırılmış, genellikle gaz halinde bir iyon olan atomik boyutlu enerjik bir bombardıman partikülünden momentum transferiyle katı bir yüzeyden fiziksel olarak fırlatıldığı termal olmayan bir buharlaşma sürecidir. Bu PVD süreci bazen sadece püskürtme olarak adlandırılır. Genellikle kaynak-substrat mesafesi, vakumlu çökeltme ile karşılaştırıldığında kısadır. Ark buharı biriktirme, bir katodik elektrodu (katodik ark) veya anodik elektrodu (anodik ark) buharlaştırmak ve buharlaşmış malzemeyi bir alt tabaka üzerinde biriktirmek için yüksek akım, düşük voltajlı bir ark kullanır. Buharlaşan malzeme yüksek oranda iyonize edilir ve genellikle substrat, substrat yüzeyine iyonları ("film iyonları") hızlandırmak eğilimindedir. Ark buharı biriktirme, sert ve dekoratif kaplamaları biriktirmek için kullanılır. Bazen iyon destekli biriktirme veya iyon buharı biriktirme olarak adlandırılan iyon kaplama, biriktirme filminin özelliklerini değiştirmek ve kontrol etmek için atomik boyutlu enerjik parçacıklar tarafından biriktirme filminin eşzamanlı veya periyodik bombardımanını kullanır. İyon kaplamada, bombardıman türlerinin enerjisi, akışı ve kütlesi ile birlikte bombardıman parçacıklarının biriken parçacıklara oranı önemli işlem değişkenlerindedir. Bombardıman için kullanılan enerjik parçacıklar genellikle bir inert veya reaktif gazın iyonlarıdır veya bazı durumlarda, yoğunlaşan film malzemesinin iyonlarıdır. İyon kaplama, bombardıman için iyonların plazmadan çıkarıldığı bir plazma ortamında yapılır [26,27].

### **2.2.2 CVD Kaplamalar**

Kimyasal buhar biriktirme yöntemleri (CVD), buhar fazında yapılan kaplamalar içinde endüstriyel uygulama tarihi en eski yöntemlerdir. Uygulamalarının çoğu, yüzeylere katı ince film kaplamaların uygulanmasını içerir ve aynı zamanda yüksek saflıkta yığın malzemeler ve tozlar üretmenin yanı sıra yüzeye emdirme teknikleri yoluyla kompozit malzemeler imal etmek için de kullanılır. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemleri, yani bir kimyasal reaksiyonun katılımıyla gaz

fazından bir katmanın biriktirilmesi, 1960'ların sonlarından beri dünya çapında endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Amaçları, aşınma önleyici ve korozyon önleyici tabakalar üretmektir. En basit ifade ile CVD bir öncül gazın veya gazların kaplanacak bir veya daha fazla ısıtılmış nesne içeren bir odaya akıtılmasını içerir. Sıcak yüzeylerin üzerinde ve yakınında kimyasal reaksiyonlar meydana gelir ve yüzeyde ince bir film tabakası oluşur. Buna, reaksiyona girmemiş öncü gazlarla birlikte hazneden dışarı atılan kimyasal yan ürünlerin üretimi eşlik eder [24,28].

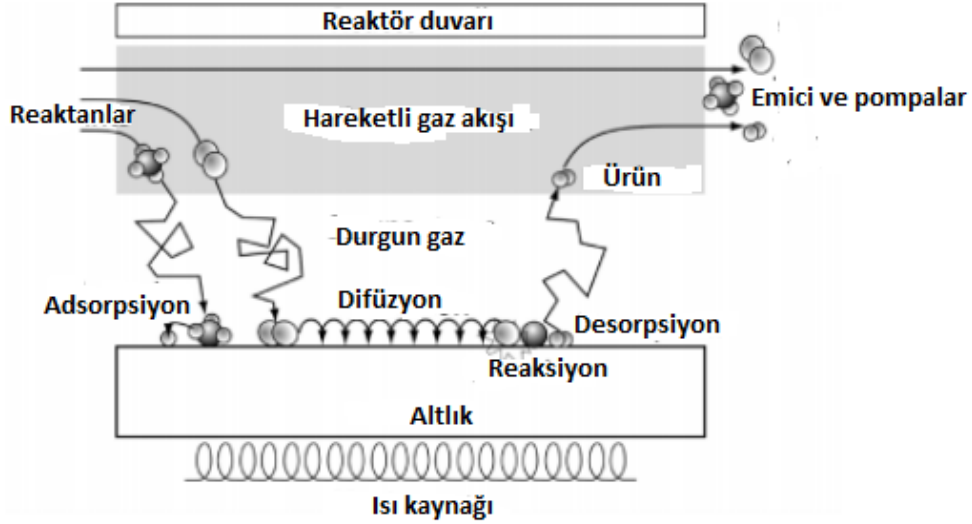
Yaklaşık 1000°C gibi yüksek işlem sıcaklığında gerçekleşen CVD işleminde, bu yüksek sıcaklıktan kaynaklı çelik matrisi ve yüzey kaplaması arasında difüzyon oluşur. Bu difüzyon oluşumunun sonucunda çelik matris ile yüzey kaplaması arasında mükemmel bir bağlanma elde edilir. Farklı gazlar ile kaplama tabakasının ihtiyaç duyduğu titanyum, karbon veya azot gibi elementler sağlanmış olur. Gazlar ile etkileşen bütün açık yüzeylerde kaplama oluşturulabilir. TiC ve yaklaşık 6-9 µm tabaka kalınlığı olan sandviç (TiC–TiCN–TiN) kaplamalar CVD uygulama için tipik örneklerdir. CVD kaplama mekanizması Şekil 2.2'de gösterilmektedir. CVD kaplama yöntemleri genel olarak aşağıdaki gösterilen gibidir.

- Atmosferik Basınçlı Kimyasal Buhar Biriktirme (APCVD)
- Alçak Basınçlı Kimyasal Buhar Biriktirme (LPCVD)
- Metal – Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD)
- Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (PECVD)
- Lazer Kimyasal Buhar Biriktirme (LCVD) [29,30].

CVD, ince kaplama için bir yöntem olarak birçok avantaja sahiptir. Birincil avantajlardan biri, CVD kaplamaların genellikle oldukça uyumlu olmasıdır, yani özelliklerin yan duvarlarındaki kaplama kalınlığının, üstteki kalınlıkla karşılaştırılabilir olmasıdır. Bu kaplama özenle şekillendirilmiş parçaların içerleri ve altları dahil olmak üzere uygulanabileceği ve homojen bir kaplama kalınlığı sağlayacağı anlamına gelir.

CVD'nin diğer bir avantajı, çok çeşitli malzemelere uygulanmasına ek olarak, çok yüksek saflıkta kaplama yapabilmektir. Diğer avantajlar arasında nispeten yüksek biriktirme oranları ve CVD'nin genellikle PVD işlemleri kadar yüksek bir vakum gerektirmemesi yer alır. CVD ayrıca sıklıkla yüksek sıcaklıklar gerektirir ve en

büyük dezavantajı yüksek sıcaklıktır. Kaplama sonrası yavaş soğutmadan ötürü tavllanmış olan takımın CVD işleminden sonra tekrar sertleştirilmesi gerekir. Bu sertleştirme sonrası, son işlemesi yapılmış takımında çarpılma ve boyutsal değişime sebep olabilir [28,30,31].



Şekil 2.2 : CVD Kaplama mekanizması [30].

### 2.2.3 Diğer kaplamalar

Metal yüzeylerini kaplamada mikro ark oksidasyonu, sol-jel, termal sprey kaplama, kaynak, daldırma ve elektro kaplama gibi diğer yöntemlerde kullanılmaktadır. Mikro ark oksidasyonu alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi metallerin yüzeylerini oksit kaplama yöntemidir [32]. Cam, seramik, metal ve polimerik yüzeylerin kaplanması yüzeylerin optik, elektronik gibi özelliklerinin iyileştirilebilmesi için Sol-jel metodu kullanılan bir kaplama yöntemidir. Kaplama işlemi için çözeltiler kullanılır. Bu yöntem sıvı bir faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) ve ardından sürekli sıvı bir faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içerir [33].

Metalik veya metalik olmayan kaplamaların uygulanabildiği, birkaç kaplama yöntemleri genel olarak termal sprey kaplama şeklinde adlandırılır. Bir enerji kaynağı ile ısıtılan kaplama malzemesi (toz/tel) eriyik veya yarı eriyik hale getirilir. Bu işlemin ardından ısı verilen partiküller gaz veya atomizasyon jetiyle hızlandırılır. Isıtılan ve hızlandırılan partiküller daha önceden kaplama için hazırlanmış altlık malzeme üzerine çarptırılarak temas ettirilir ve bu temas sonucunda yassı tanecik şeklini alan partiküller altlık malzeme ile birbirlerine karışarak kaplama gerçekleşir.

Korozyon, erozyon, kazıma gibi aşınma olaylarını engellemek, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya yalıtımı amacıyla termal spreyci kaplamalar uygulanmaktadır. Bunların yanında yenileme, onarma ve dekoratif amaçlar içinde uygulanabilir [34].

Kaplanacak metali başka bir erimiş metal banyosunun içine daldırarak kaplanabilir. Elektrik enerjisi vasıtası ile bir metal yüzeyine, farklı bir metal atomlarını taşıyıcı elektro kaplama işlemi denir. Bu işlemin sonucunda metal yüzeyi, farklı metal atomlarının birbirini bağlanarak oluşturduğu ince bir kaplama tabakası ile kaplanır. Sıkça endüstride kullanılan bu işlem ile kaplanan metalin korunması, direnç özelliklerinin geliştirilmesi, dekoratif olarak daha güzel görünmesi ve metal saflaştırma amacıyla bu yöntem uygulanır [35].



### **3. ELEKTROSPARK BİRİKTİRME (ESD) YÖNTEMİ**

Zorlu ortamlarda kullanılmak üzere metalürjik kaplamalarda en umut verici gelişmelerden biri elektrosпарк biriktirme (ESD) prosesidir. ESD, esas olarak, bir elektrot malzemesini metal bir alt tabakaya kaynaklamak için kısa süreli, yüksek akımlı elektrik darbeleri kullanan bir darbeli mikro ark kaynak işlemidir [36].

Kaplamalar, aşırı şartlara maruz kalan makine elemanlarının, kalıp yüzeylerinin güçlendirmenin ve yenilemenin önemli bir yoludur. Kaplamalar oluşturmak için lazer kaplama, vakumlu plazma püskürtme, kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme vb. dahil olmak üzere çeşitli yüksek enerjili kaplama teknolojileri kullanılmıştır. Tüm bu yöntemlerin kendine has avantajları ve dezavantajları olup özel uygulamalardır. Elektrosпарк biriktirme (ESD) veya elektro-kıvılcım alایشim teknolojisi ikinci dünya savaşından beri araştırılmaktadır ve bu kaplama teknolojilerine göre birçok avantajları vardır [37].

#### **3.1 Elektrosпарк Biriktirme Yöntemi Gelişim Süreci**

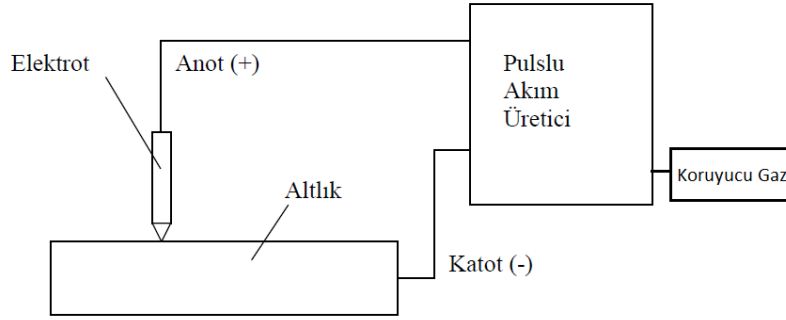
Elektrik arkının etkisiyle kaplama işlemine 1924 yılında Rawdon tarafından atıfta bulunulmuştur. Rawdon, demir üzerine benzer bir elektrot kullanılarak ark uygulamış ve bu uygulamanın sonucunda demir yüzeyinin sertliğinin arttığını keşfetmiştir. Bu sertliğin artmasının sebebini kısa süreli ark uygulaması ve hızlı şekilde soğuyan demirin yüzeyinde martenzit dönüşümü olduğunu keşfetmiştir [38]. Bu keşiften yaklaşık 20 yıl sonra Rusya'da prosesin geliştirilmesine ve pratik olarak kullanılmasına başlanılmıştır. Kıvılcımla sertleştirme ekipmanları 1950'lerin başında Rusya'da üretilmiştir. Daha sonra, ekipmanlarda iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılmış olup olumlu sonuçlar Rus literatürünün yanı sıra Çekoslovakya ve Doğu Almanya tarafından da bildirilmiştir [39].

Rus yayınlarının birçoğunda ESD kaplama yönteminin sürtünme ve aşınmaya maruz kalan pek çok parçanın (torna takımları, matkap uçları, kalıplar, türbin bıçakları, kam milleri gibi) ESD uygulanarak ömürlerinin uzatılmasında ve aşınan bölgelerinin tamir edilmesinde kullanılan yaygın bir işlem olduğundan söz edilmektedir [40].

1950'lerin sonlarında Britanya'da ve diğer batı ülkelerinde ticari ekipmanlar mevcuttu, ancak bu ekipmanlar ile elde edilen sonuçlar kısıtlı ve her zaman olumlu değildi[39]. Johnson çalışmalarının da ESD işlemini 1974'de uygulamaya başlamasıyla birlikte batı ülkelerinde ve ABD de geniş bir kullanım alanı olduğu görülmüştür. 1990'ların başından bu yana, umut verici bir yüzey işleme teknolojisi olarak ESD kaplamalar, gittikçe daha yaygın ve ilgi görmektedir [41].

### 3.2 Elektrosark Biriktirme Yöntemi ve Uygulanması

Elektrosark biriktirme (ESD) tekniği, Şekil 3.1'de görüldüğü üzere kapasitör bazlı bir güç kaynağı, uygulayıcı (elektrot tutucu), tükenebilir elektrot (anot), altlık malzeme(katot) ve atmosfer ortamından kaplama yüzeyini koruyan koruyucu gazdan oluşur. ESD' de kullanılan bu ekipmanlar nispeten ucuz olup, taşınabilir bir yapıya sahiptir. Bu sayede kolayca taşınabilir ve kurulabilir [42].

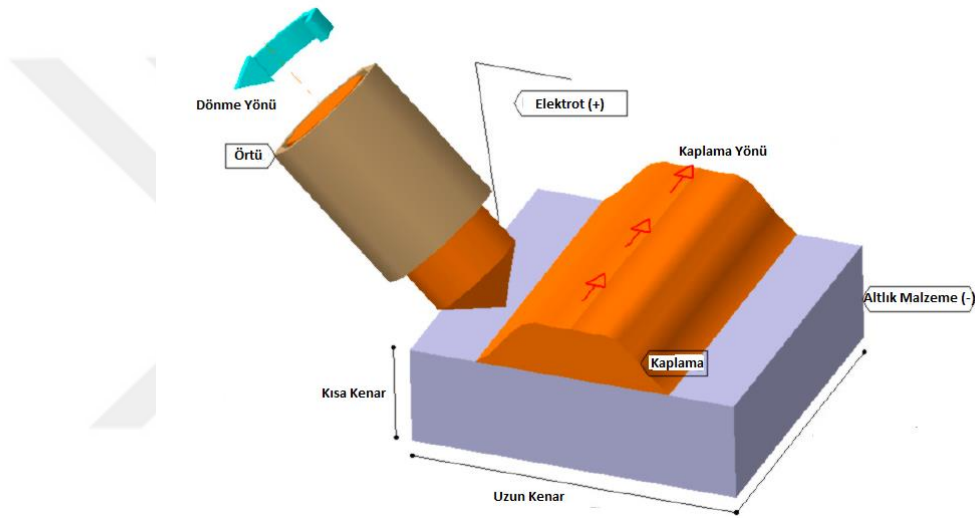


Şekil 3.1 : ESD sistemi şematik gösterimi [41].

Darbeli (puls) akım üretici üzerinde bulunan seri kapasitörde biriken elektrik enerjisi, elektrot altlığa dokunurken milisaniyeler içinde boşalır. Bu boşalma sırasında meydana gelen enerji, elektrot ve altlık malzeme arasındaki boşlukta arklar oluşturur. Oluşan arkların sonucunda bu ara bölgede sıcaklığın binlerce santigrat dereceye yükselmesine yol açar ve böylece bu bölgelerde plazma kanalları oluştururlar. Plazma kanallarının oluşturduğu yüksek sıcaklık ve ani genişlemenin sonucunda ortaya çıkan vakum etkisiyle hemen hemen eriyik hale gelmiş olan elektrot malzemesi (anot) yerçekiminin de etkisiyle altlık malzeme üzerine çekilerek sıvılaşmış bölgeye temas eder. Bu temasın sonucunda ergimiş kütlenin altlık üzerindeki sıvılaşmış bölgeyle karışması sonucu alaşımlama meydana gelmiş olur. Bir çevrimin sonunda altlık malzeme yüzeyinde anlık olarak alaşımlanan bölgeler katılır. Kaplamanın birikmesi için yüzey üzerinde elektrot bir uçtan öbür uca

sürekli hareket ettirilir. Kaplama işlemi çevrimin tekrarlanmasıyla devam eder ve kat kat kaplama kalınlığı artırılır. Kaplama işlemi sırasında elektrotun altlık malzemeye yapışmasını önlemek için elektrot tutucu kendi etrafında dönme hareketi yapar. Şekil 3.2’de ESD sistemi uygulaması şematik gösterimi verilmiştir [43,44].

Elektrospark biriktirme işleminde; alaşımlamayı sağlayan elektrot (anot) ile alaşımlanan altlık malzemenin (katot) arasında çok sağlam bir şekilde tutunan kaplama tabakası meydana gelir. Bu işlemin sonucunda kaplama malzemesiyle ana malzeme arasında belirgin bir ayırıcı sınır oluşmaz ve elektrot malzemenin altlık malzemeye karışımı gerçekleşmiş olur [41].



Şekil 3.2 : ESD sistemi uygulaması şematik gösterimi [43].

### 3.3 Elektrospark Biriktirme Yöntemiyle Yapılan Çalışmalar

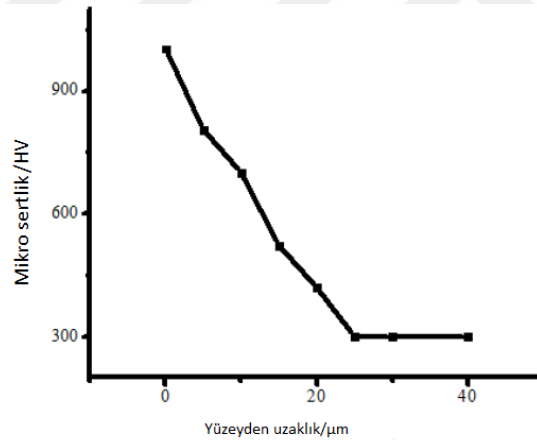
Elektrospark biriktirme (ESD) farklı kullanım alanlarına sahip olup yapılan çalışmalar şu şekildedir. ESD yöntemi ile tungsten kaplama yapılarak paslanmaz çelik-tungsten ara yüzeyi incelenmiştir. Bakır elektrod üzerine yapılan TiC/Ni kaplama uygulanarak proses parametreleri ve etkileri verilmiştir. Paslanmaz çeliğin yüzey modifikasyonu TiC, WC, Mo kullanılarak aşınma direnci artırılmıştır. Kuvvetlendirilmiş ESD yöntemi kullanılarak 1045 çeliğinin yüzeyi WC kaplanarak yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. Karbon çeliğine, Alloy 400 Cu-Ni alaşımı uygulamasına dair çalışma da mevcuttur. Ayrıca ESD yöntemi kullanılarak döküm çeliği üzerine W esaslı kaplamanın aşınma davranışına bakılmıştır. ESD yönteminin kaynak teknolojisi alanında uygulamalara da rastlanmıştır. El yapımı ESD

uygulaması ile otomasyon sistemle uygulanması arasındaki fark araştırılmıştır [45-50].

### 3.3.1 Paslanmaz çeliğin tungsten kaplanması

Saf Tungsten (W) kaplama tabakası paslanmaz çelik yüzeyinde ESD yöntemiyle oluşturulmuştur. Bu çalışma da kaplanan tabakanın mikrosertliği, mikroyapısı, faz yapısı uygulanan sertlik testi, SEM ve EDS analizi ile belirlenmiştir. Tungsten kaplamanın süreksiz olduğu fakat mikrosertliğin altlık malzemeye kıyasla üç kat yüksek olduğu ölçülmüştür.

Elektrik spark'ına bağlı olarak 8.000-25.000 °C sıcaklık oluşmaktadır. Koruyu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Paslanmaz çelik üzerine saf tungsten ESD yöntemiyle kaplanmış olup kaplanan parça ölçüleri 3 x 20 x 25 mm, elektrod çapı 2 mm, dönüş hızı ise 20 rpm/dk ve 120 V olarak belirlenmiştir. Yüzeydeki en yüksek sertlik 1002 HV ölçülmüştür. Yüzeyden artan mesafeye bağlı olarak düşen sertlik tabaka belirli bir kalınlığa geldikten sonra kararlı olduğu Şekil 3.3'de ölçülmüştür.



**Şekil 3.3 :** ESD yöntemi sonrası kaplama tabakasında mikrosertlik değişimi [45].

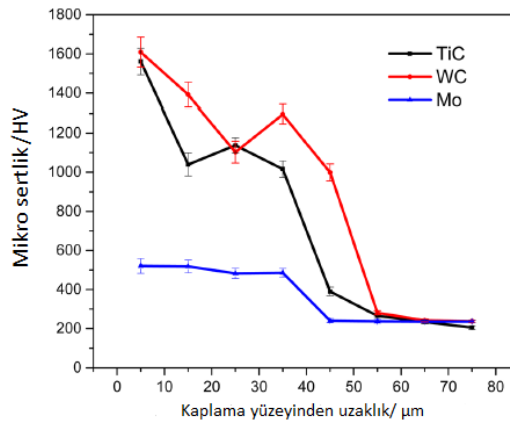
Kaplanan yüzeyin morfolojisinde mikro boyutta oyukçuklar oluşmaktadır. Deposizyon prosesinde altlık malzeme tungsten elektrod uygulanması esnasında erimektedir. Ayrıca kaplamanın sıcaklığı altlık malzemenin sıcaklığından daha yüksektir. Altlık malzemedeki elementler, elektrod malzemesi ile reaksiyona girerek yeni faz oluşturur. Karbon elementinin varlığı sayesinde kaplama yüzeyinde tungsten karbür oluşturur. Bu sayede altlığın sertliği artmaktadır. Kaplama tabakasının yüzde elementel kompozisyonu % 63,3 tungsten ve % 20,85 karbon çıkmaktadır. ESD

kaplamanın uygulanabilir olduğu ve 5 mikron kalınlıkta tabaka elde edildiği görülmüştür [45].

### 3.3.2 Paslanmaz çeliğin TiC, WC, Mo kaplanması

Yüzey modifikasyonu TiC, WC, Mo elektrod malzeme seçilerek paslanmaz çelik yüzeyine kaplanmıştır. SEM, EDX analizleri mikroyapıların karakterizasyonunda kullanılmıştır. Kaplama kalınlığı 40 µm civarındadır. TiC ve WC kaplamalar, mikrosertlikte 5 kat artış göstermiştir. WC kaplamalar aşınma direncini 5 kat arttırırken, TiC ve Mo kaplamalar aşınma direncini sadece 2.5 kat arttırabilmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerle korozyon direncine %5 NaCl ortamında bakılmıştır. Sonuçlar paslanmaz çeliğe göre 350 kat daha yavaş korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Mo kaplı malzemelerin XRD analizi ile yüzey mikroyapısal değişimler belirlenmiştir. Isıl işlem yapılarak Mo kaplı yüzeylerin korozyon davranışı incelenmiştir.

Paslanmaz çeliğin kalınlığı 1.2 mm olup elektrodların çapı 3 mm ve TiC elektrodlar (% 5 Ni), WC elektrodlar (% 5 Co) içermektedir. Spark voltajı, kapasitans ve frekansı, başarılı ESD kaplamaları için çok önemlidir. Spark voltajı düşük olduğunda, substrat üzerinde hiçbir kaplama oluşmaz. Spark enerjisi, yüzey elektrot malzemesi eritmek için yetersiz kalır. Elektriksel parametrelerin seçimi, elektrodun fazla ısınması yanmış birikim oluşmasını veya bağlanmamış erimiş büyük bir yığın oluşturabilir. Yüzeyde biriktirme süresi, 30 sn/cm<sup>2</sup> olmaktadır. Ortalama mikrosertlik test değeri sonuçları; TiC (1188 Hv), WC (1279 Hv), Mo (502 Hv) ve paslanmaz çelik referans malzeme (237 Hv) çıkmakta olup Şekil 3.4’de verilmiştir [46].



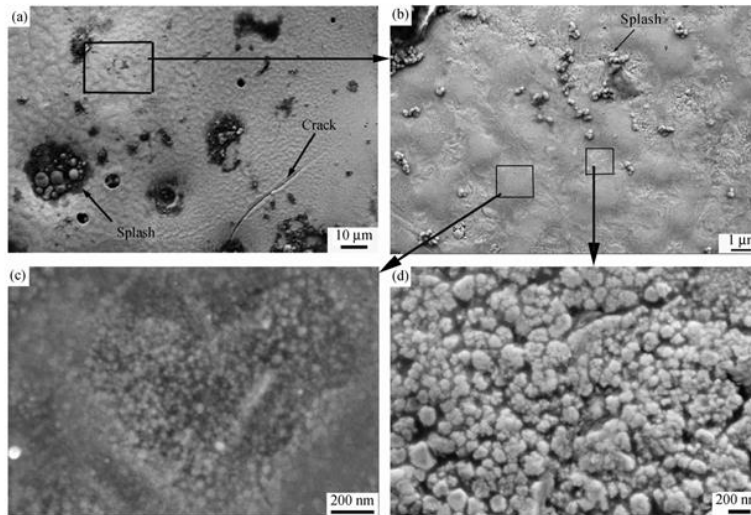
Şekil 3.4 : Mikro sertlik dağılımı [46].

### 3.3.3 Karbon çeliğinin WC kaplanması

ESD ile WC elektrod kullanılarak 1045 çeliğinin aşınma direnci 5-8 kez arttırılmıştır. Ayrıca SEM görüntüleme de yapılmıştır. ESD yöntemi ile birçok parçanın takım ömrünün arttırılması mümkündür. ESD neticesinde sınırlandırıcı unsurlar; kaplamadaki verimlilik, kaplamadaki gerilim çatlama, elektrodun bazı özellikleri (erime noktası, ısı kapasitesi), ortam koşulları (gaz, yağ), malzemenin transfer şekli ve frekans (vibrasyon şiddeti)'dir. WC-% 8 Co içeren elektrodlar 8 mm çapında tedarik edilmiştir. Deneysel çalışmalar öncesi 1045 çelik malzeme yüzeyi sertleştirilerek 500 Hv değerine su verme ve temperleme ile getirilmiştir. Tüm biriktirme malzemeye hava koşullarında uygulanmış olup 40-50 V, akım 2 amperdir [47].

### 3.3.4 Döküm çeliğine WC-Co esaslı malzeme kaplanması

Daha yüksek kaplama sertliği ve aşınma direnci için ESD yöntemiyle WC - %8 Co elektrodu döküm çeliği üzerine uygulanmıştır. Kaplama XRD ve SEM ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, dendritik ve nano boyutlu yapıda kaplama olduğunu göstermiştir. Birinci faz  $Fe_3W_3C$ ,  $Co_3W_3C$ ,  $Co_3W_3C$ ,  $Fe_2C$  ve  $Si_2W$  içermektedir. Kaplama düşük sürtünme katsayısı, 0.13'e sahiptir. Aşınma direnci dökme demire göre 3.3 kat daha yüksektir. Kaplamanın maksimum mikro sertliği 1573.9 Hv olup kaplama karakteristiği ve kalitesinin daha iyi olduğu vurgulanmıştır [49].



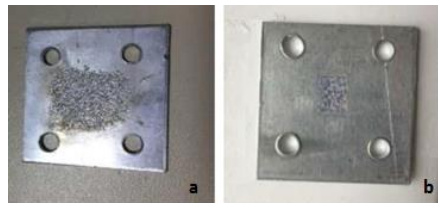
**Şekil 3.5 :** ESD ile kaplanmış dökme demire ait SEM görselleri a) daraltılmış bölgeden bir kesit b,c,d) mikro boyutta bölgelere ait farklı oluşumlar; nanokristal (c), çiçek görünümü (d) [49].

Tungsten karbür kaplamalar, ESD yöntemiyle yüksek karbonlu (% 0.68 C) dökme çelik üzerine biriktirilmiştir. 2.54 x 2.54 x 1 cm numuneler, 200-400-500-1000-1500 zımpara kağıdı ile parlatılmıştır. ESD öncesi iki kez alkol ile temizlenmiştir. ESD, argon gazı altında oda sıcaklığında uygulanmıştır. Güç 100 V, pulse gücü 2000 W ve pulse frekansı 2000 Hz tercih edilmiştir. Elektrodun dönme hızı 2400 r/min idir. Şekil 3.5’de modifiye edilmiş altlık malzemenin SEM görüntüleri verilmiştir [49].

### 3.3.5 HSS çelik yüzeyine W-Rh esaslı malzeme kaplanması

Çelik plakalar üzerine ESD kaplama yapılarak el ile otomasyon uygulaması karşılaştırılmıştır. Elektrod malzeme W/W-Rh iken altlık malzeme HSS çeliği M42 malzemesidir. Kaplama işleminde SZ3000 kaplama makinası kullanılmıştır. Karşılaştırma amacıyla frekans, voltaj ve dönme hızı sabit tutulmuştur. Numuneler için 600 kHz frekans, 120 V ve 105 rpm uygulama dönüş hızı kullanılmıştır. El yapımı kaplamalar 1 dakikalık bekletme süresi ile üretilip 3 cm yarıçaplı bir alana uygulanırken, otomasyon kullanılan kaplamalar 250 mikronluk bir doğrusal hassasiyet kullanarak yaklaşık 2 cm x 2.5 cm dikdörtgen alana biriktirilmiştir.

El ile yapılan metod, rotasyon sistemi içermekte ve süreksiz ark havuzu oluşmaktadır. Numunenin yüzeyi çelik elektrod ile kaplama öncesi temizlenmiştir. Kaplama uygulaması vibratör yardımıyla gerçekleşmektedir. Bu sayede elektrodun yüzeye yapışması sağlanır ve elin hareketini kolaylaştırır. Vibrasyonun, yüzey pürüzlülüğünün oluşmasına sebep olduğu Şekil 3.6’de verilmiştir. Şekillerde el ile yapılan ile otomasyon ile yapılan prosesler karşılaştırılmıştır. El ile yapılan uygulamada daha ince boyutta ve rastgele dağıtılmış kaplama görülürken otomasyon kaplamalar daha düz sınırlar ve temiz bir görünüme sahiptirler. El ile kaplamalarda daha az porozite oluşurken daha kırılğan olabilmektedirler. Fakat otomasyon sistemler el hareketine göre daha az hassas davranış göstermekte böylece dengesiz yüzey kaplama birikintileri oluşmaktadır [50].



**Şekil 3.6 :** El ile yapılan (a) ve otomasyon sistemi ile yapılan (b) ESD kaplaması [50].

### 3.3.6 Diğer çalışmalar

ESD yöntemi ile punta nokta kaynağının uçları Şekil 3.7'deki gibi TiC veya TiB<sub>2</sub> seramik fazlarla kaplaması incelenmiştir. Keplerinin kaplandıktan sonra uygulanan nokta kaynağında TiC ısı iletimine engel olan bir bariyer oluşturmaktadır. Ayrıca kaplama yalnızca metalürjik olarak engel gibi davranmayıp bununla birlikte bakır kep ve elektrotlara doğru giden ısı akışını da yavaşlatıcı bir etmen olarak davranmaktadır [51].



**Şekil 3.7 :** ESD Yöntemi ile punta nokta kaynağının bakır keplerinin seramik fazlarla kaplanması [51].

Dizel motor piston yüzeyi ESD yöntemi ile Ni kaplanması Şekil 3.8'de görülmektedir. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yüzeyinde uygulanan termal analizlerde, kaplamasız pistonlara oranla, pistonun üst yüzeyi %30 ile %35 aralığında daha yüksek sıcaklık ve piston alt tarafında yani etek kısımlarında %55 ile %39 aralığında farklılaşan daha düşük sıcaklıkların olduğu görülmüştür. En yüksek sıcaklık değerleri kaplamalı dizel pistonlarda, piston yanma bölgesinde görülmüştür. Kaplama yüzeyinde oluşan gerilimler bu yüksek sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Sıcaklıktan dolayı oluşan malzeme yorulmasını engelleyerek kaplamasız pistonun çalışma ömrünü arttıracaktır. Pistonun alt bölgelerinde görülen daha düşük sıcaklıklardan kaynaklı motor yağ ömrünü arttıracak ve soğutma sisteminin yükünün azaltılacağı düşünülmektedir [52].



**Şekil 3.8 :** ESD Yöntemi ile pistonun yüzeyi Ni kaplaması [52].

ESD çeşitli yüzeylerde sert, aşınmaya ve korozyona dayanıklı kaplamalar üretmeyi amaçlamaktadır. Mikro sertlik, ESD kullanılarak çöktürülen kaplamaların önemli bir mekanik özelliğidir. ESD ile kaplanana yüzeyde kaplanan malzemeye bağlı olarak yüzeyde mikro sertlik artışı meydana gelir. Burada mikro sertliğin altlık malzemenin ve biriktirilen malzemenin morfolojisine bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak malzeme yüzey sertliğinde, gerilim, kapasitans, frekans, darbe enerjisi ve işlem hızı, koruyucu gaz ve ortam gibi işlem parametreleri de önemlidir. ESD kaplamaların mikro yapısı çoğunlukla gözeneklidir, homojen değildir ve düzensiz katılma alanlarından oluşur. Kaplamalar, her biri ince ve karışık mikro yapıya sahip birçok katmanla oluşturulabilir. Yapılan çeşitli ESD kaplamaları sonucunda elde edilen mikro sertlikler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [53].

**Çizelge 3.1 :** ESD kaplama uygulanan yüzeylerde sertlik değişimi[53].

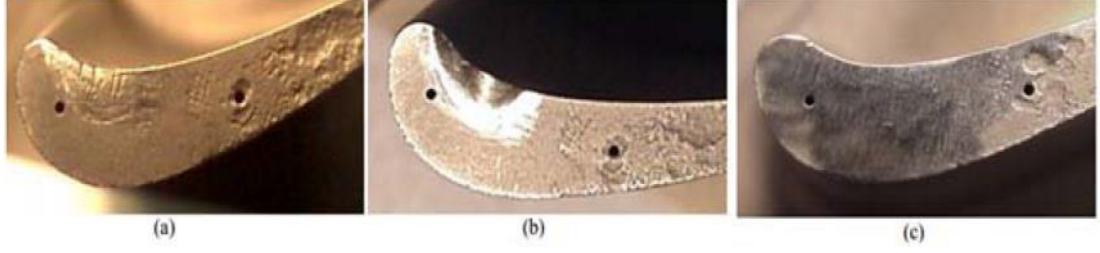
Kaplanan malzeme	Elektrod	Altlık malzeme sertliği(HV)	Kaplama sonrası sertlik(HV)
1035	W-8Co	305	1400
Ck45	W-Co	400	840
Ck45	Cu	400	290
Dökme demir	AISI304	278	643
SS	Saf Ti	300	889
SS Cr18Ni9Ti	WC-8Co	265	1900
HSS	M2 kalite çelik	725	1300
Ti-6Al-4V	GCr15 çelik	280	800
C45	Cr	450	822
C45	Mo	450	1000
HSS	Cu/Cu-MoS <sub>2</sub>	725	120
Al bronz	AISI304	250	600

### **3.4 Elektrosark Biriktirme Yönteminin Kullanımındaki Amaçlar ve Uygulama Alanları**

Kaplama teknolojisi, bir makinenin veya ekipmanın çalışan bileşenlerinin yalnızca yüzeyinin bir dizi özelliğini değiştirerek iyileştirmeyi ve böylece çalışma koşullarına yanıtı vermeyi geliştirmeyi amaçlayan çeşitli yöntemleri kapsar. ESD işlemi uygulanarak yapılan oldukça sert kaplamalar, aşınmaya dayanıklı yüzeylerde, yüksek sıcaklıklarda, oksitlenmeye ve korozyona maruz koşullar altında çalışan büyük parçalarda uygulanabildiği gibi küçük parçaların da yüzey özelliklerini geliştirmek ve yüzeylerini korumak için de uygulanmaktadır. Torna aynaları, matkap uçları, dişliler, şaft tertibatları, pompalar, mil yatakları, valf yatakları, enjektör uçları gibi parçalar örnek olarak verilebilir. Ayrıca bunların yanında metal şekillendirme kalıp yüzeylerinde, döküm kalıp yüzeylerinde ve plastik enjeksiyon kalıp yüzeylerinde de kullanılmaktadır [1,54,55]. ESD kaplama işleminden beklenen özellikleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Aşınma, erozyon ve aşındırma direncini geliştirmek
- Korozyon direncini arttırmak
- Oksitlenmeyi azaltmak veya engel olmak
- Boyutsal yeniden yapılandırmaya yardımcı olmak
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında termal yükleri azaltmak
- Bakım maliyetlerini azaltmak

ESD işleminin kalıp malzemelerinde ve bazı parçalarda çatlakların tamiratı için kullanımına örnek Şekil 3.9'da gösterilmiştir, (a) resminde parça üzerinde çatlaklar görülmektedir, (b) resminde çatlaklı bölge zımparalanmış olup (c) resminde parça malzeme ile aynı bileşime sahip elektrot kullanarak ESD yöntemi kullanılarak kaplanmıştır [1,42,56].



**Şekil 3.9** : ESD uygulaması ile çatlak parça onarımı gösterimi [56].

ESD yönteminin ucuz ve kullanışlı bir yöntem olmasından kaynaklı yaygın kullanım alanına sahiptir. ESD işleminin kullanım alanları;

- Nükleer, fosil ve jeotermal enerji alanlarında
- Uzay ve havacılık uygulamaları için yüksek sıcaklık parçalarında
- Gaz ve buhar türbin kanatçıkları kaplama uygulamalarında
- Metal işleme el aletlerinde ve endüstriyel kesici takımlarında
- Gemi imalatı ve parçalarında
- Tıp ve dişçilik de muayene ve cerrahi aletlerinde
- Metal kesme makaslarında
- Ormancılıkta; tomruk, ağaç ve kağıt ürünleri işleme aletlerinde
- Atıkların geri kazanımı ve su arıtma santrallerinde
- Yüksek sıcaklık sensörlerinde
- Petrokimya ve ilaç endüstrisinde kullanılan sistemlerde
- Modern spor ekipmanlarında
- Kalıplardaki ısıl çatlakların engellenmesi ve tamirinde
- Çizik ve çentiklerin önüne geçilmesinde ve tamirinde
- Kaynak altı, iğne delikleri ve küçük çatlaklar gibi kaynak hatalarının tamirinde
- Plastik ve lastik (kauçuk) üretiminde kullanılan döküm kalıplarında üretim sırasında ortaya çıkan çapakları engellemek için kalıp perde hatlarının tamirinde
- Kalıp kanallarındaki oyukların ve izlerin tamirinde, aşınmaların önlenmesinde
- Kalıp kanallarındaki değişikliklerde ve modifikasyonlarda
- Kalıplar üzerindeki boşlukları engellemede

- Sac metal şekillendirme kalıp yüzeylerindeki çatlakların tamirinde ve yüzey sertliğinin artırılmasında

şeklinde özetlenebilir [1,49,57-59].

### 3.5 Elektrospark Biriktirme Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

ESD'nin en büyük avantajı, alt tabakaya son derece iyi bir şekilde yapışmasıdır. Bu iyi yapışma özelliği ile difüzyon kaplama yöntemleri ile rekabet edebilen nadir kaplama yöntemlerinden biridir.

Çünkü işleme elektrotunun (anot) ve alt tabakanın (katot) erimiş malzemelerinin yoğun şekilde karıştırılması yoluyla bir kaplama oluşturur. ESD, kullanımı için yüksek nitelikler gerektirmeyen basit ekipman kullanılır ve uygulanması kolaydır. Malzeme ve enerji tüketimi diğer kaplama teknolojilerine kıyasla önemli ölçüde daha düşüktür. ESD ile kaplanmış parçalar, örneğin implantlar veya kesici alet uçları üretmek için endüstride sıklıkla uygulanır. Kaplama işlemi, manuel olarak çalıştırılan ekipman veya robotize sistemlerle yapılabilir. Bu teknolojiyle ilgili araştırmalar tüm dünyada yürütülmektedir ve onu uygulamakla ilgilenen şirketler arasında NASA ve ABD Donanması bulunmaktadır. Diğer kaplama yöntemleri ile kıyaslandığında bir çok avantajı vardır [53].

- Bir mikro-ark kaynak metodu olmasına rağmen, işlem sırasında altlık malzemeye aktarılan enerji çok küçük olup, altlık malzeme içinde biriken ısıyı düşük tutar böylece altlık malzeme sıcaklığı ortam sıcaklığı civarında kalır.
- Isı etkisinde kalmış bölge (HAZ) çok küçük bir bölge olup yalnızca birkaç mm derinliğe sahiptir.
- Kaplama altlık malzemenin özelliklerini değiştirmez, altlıktaki bozunumlar ve metalürjik değişimler minimum seviyededir.
- Yüksek hızlı soğumadan kaynaklı bazı alaşımlar amorf yapıda olabilirken, nano yapılarda oraya çıkabilmektedir.
- Altlık malzeme ile elektrot malzeme arasında bir alaşım oluşur ve böylece ara yüzey de ıslatmayı sağlamak için ek bir ara tabakaya gerek yoktur.

- Kaplamalar çeşitli kalınlıkta ve kompozisyonda oluşturulabilir. Bu yöntem ile birçok metal (Herhangi bir elektriksel iletken malzeme bir metalik altlık üzerine biriktirilebilir) kaplanabilir ve yöntemin alaşımları çok yaygındır.
- Metal veya sermet ESD kaplamaların, minimum düzeyde yüzey ön hazırlık gerektirmekte ve metal yüzeylere direkt uygulanabilmektedir.
- Bu sistem portatif olup, istenen yere taşınabilmekte ve kolayca kurulabilmektedir. Ayrıca tüm ekipmanın kurulması düşük bir maliyet gerektirmekte ve bakımı kolayca yapılabilir.
- Zararlı atık sular ve maddeler v.s yoktur.
- Operatör için ek koruyucu ekipmana gerek yoktur.

Bu yöntem nihayetinde bir mikro ark kaynağı olduğu için, ESD kaplama malzemesi ergimedenden sonra hızlıca katılaşır. Kalıcı iç gerilmelerin oluşması bu hızlı katılaşmanın bir sonucudur. Bu nedenle ESD kaplamalar sıklıkla çatlak ve genellikle yorulma altında çalışan kritik parçalar için çok tercih edilmezler. Yorulmaya karşı hassas olan türbin motor parçalarının onarımında kullanılmamaları bu duruma örnek olarak verilebilir. Ayrıca ESD işlemi alev alabilen ortamlarda kullanılması uygun değildir. Elektrot boyutunun küçük ve biriktirme hızının düşük olması sebebiyle büyük kaplama alanları için uygun olmamasına rağmen küçük yüzeyler ve hatta girintili çıkıntılı karmaşık geometrilerde çok iyi bir yöntemdir [1,4,36,54].



## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1 Altlık Malzemelerin Temin Edilmesi ve Hazırlanması

ESD Kaplama uygulanan altlık malzeme olarak yaygın kullanılan üç farklı kalıp malzemesi seçilmiştir. Kalıp malzemeleri sırasıyla Ck45, DIN 1.2379 ve EN-JS 1050 tedarikçi firmalardan temin edilen YILDIZ KALIP A.Ş. stoklarından kullanılmıştır. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 de seçilen altlık malzemelerin kimyasal bileşimleri gösterilmektedir. Altlık malzemeler herhangi bir ısıtılma işlemi tabii olmadan satın alındıkları durumdaki hali ile kullanılmıştır. EN JS 1050 çeliği, Sfero döküm olarak adlandırılır ve ortak tanımlayıcı özelliği, grafitin şeklidir. Sfero dökümlerde grafit, gri demirde olduğu gibi pul şeklinde değil küre şeklindedir. Grafit pullarının keskin şekli, metal matris içinde stres konsantrasyon noktaları oluştururken nodüllerin yuvarlak şekli daha az oluşturur ve böylece çatlak oluşumunu engeller ve alaşıma adını veren gelişmiş sünekliği sağlar. Nodülize edici elementlerin eklenmesiyle, en yaygın olarak magnezyum ve şimdi daha az sıklıkla seryum kullanılarak nodül oluşumu sağlanır. CK45 yapısal karbonlu bir çelik olup sıklıkla, araç imalatında ve makine mühendisliğinde (örneğin gemi milleri, şanzıman parçaları, tekerlek göbekleri) daha yüksek boyutlardaki (ağır dövme parçalar) ve karmaşık formlardaki ortalama gerilimli parçalar için uygundur. DIN 1.2379 çeliği ise aslında AISI D2 soğuk iş takım çeliğidir. Soğuk iş kalıplarının, yüksek aşınma direncine ve mikro deformasyona sahip olması beklenir. Karbon içeriği %1.5, krom içeriği %11.5 kadar yüksek, havada sertleşebilen D2 çeliği ısıtılma işlemi sonrası 60 HRC'ye ulaşabilir.

**Çizelge 4.1** : Ck45 kimyasal kompozisyonu (% ağırlık).

Ck45 (AISI/SAE 1045)								
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	Fe
0.42-0.50	0.40	0.50-0.80	0.40	0.10	0.40	0.035	0.02-0.04	Kalan

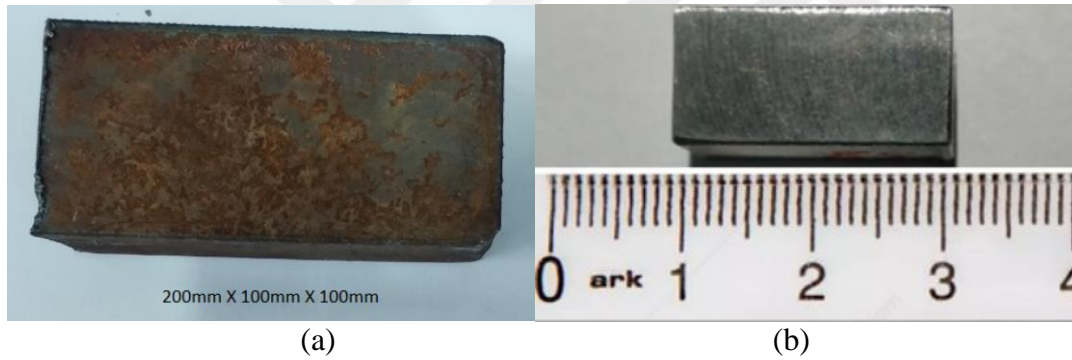
**Çizelge 4.2 :** 1.2379 kimyasal kompozisyonu (% ağı.).

DIN 1.2379						
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
1.45-1.60	0.10-0.60	0.20-0.60	11.00-13.00	0.70-1.00	0.70-1.00	Kalan

**Çizelge 4.3 :** EN-JS 1050 kimyasal kompozisyonu (% ağı.).

EN-JS 1050 (GGG 50)			
C	Si	P	Fe
3-3.5	1.5-2.8	max. 0.08	Kalan

Altlık malzemeler 200mmx100mmx100mm boyutunda ham malzemelerden 20mmx10mmx10mm ebatlarında markası Uzay makine 280 model metal şerit testerede kaba olarak kesilip ardından First marka LC 20 VGN model frezede işlenerek 27 adet numune elde edilmiştir. Şekil 4.1 de numune ebatları gösterilmektedir.



**Şekil 4.1 :** ESD kaplama uygulanacak (a) hammadde ve kesilmiş (b) numunelerin ebatları.

#### 4.2 Paslanmaz Çelik Elektrotların Temin Edilmesi

Kaplama malzemesi olarak kullanılan elektrot 3,20 mm çapında paslanmaz çelik çubuklar piyasadan hazır olarak temin edilmiştir. Çizelge 4.4 de paslanmaz çelik elektrotun kimyasal bileşimi verilmiştir. Bu bileşime göre paslanmaz çelik elektrotun SAE 316 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.4 :** Paslanmaz çelik elektrot kimyasal bileşimi (% ağı.).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Fe
0.05	0.92	1.98	0.02	0.04	18.59	2.47	9.42	0.11	0.14	Kalan

### 4.3 ESD Yöntemiyle Kaplama İşleminin Gerçekleştirilmesi

ESD ile paslanmaz çelik kaplamak için numunelerin geniş olan yüzeyi (20mm x 10mm) kaplama alanı olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki amaç farklı kalıp malzemelerinin paslanmaz çelik ile ESD kaplanarak mekanik özelliklerinin geliştirmek için en uygun koşullarda kaplama parametrelerinin belirlenmesidir. ESD kaplama işlemi; kaplama makinesi (SZ-08 Soğuk Kaynak Makinesi), kaplama teçhizatı, Ar gazı ve elektrot tutucudan oluşmaktadır. Şekil 4.2 de SZ-08 ESD kaplama makinesi gösterilmektedir. ESD kaplama işlemi düz yüzeylerde kolayca uygulanır ve ark gerilimi, frekansı ve çalışma güç çıkışları istenilen katman kalınlığına göre değiştirilebilir. Kaplama parametrelerini belirlemek için voltaj 20 V'da sabit tutulmuş olup yüzde çıkış gücü ve frekans (Hz) aralıkları değiştirilmiştir. Yüzde çıkış gücü, makinenin vermiş olduğu gücün yüzdesini göstermekte olup bu da akım ve voltun (VxI) çarpımıdır. Çizelge 4.5 de kullanılan altlık malzemelere uygulanan parametreler gösterilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 4.2 :** ESD kaplama makinesi (a) genel görünüm ve (b) parametre ayarı yapılan ön ara yüzü.

**Çizelge 4.5 :** Altlık malzemelere uygulanan parametreler.

Ck45			DIN 1.2379			EN JS 1050		
Numune Kodu	%Çıkış gücü	Frekans	Numune Kodu	%Çıkış gücü	Frekans	Numune Kodu	%Çıkış gücü	Frekans
C1		300	S1		300	D1		300
C2	30	400	S2	30	400	D2	30	400
C3		500	S3		500	D3		500
C4		300	S4		300	D4		300
C5	50	400	S5	50	400	D5	50	400
C6		500	S6		500	D6		500
C7		300	S7		300	D7		300
C8	70	400	S8	70	400	D8	70	400
C9		500	S9		500	D9		500

Kaplama işlemine başlamadan önce 20x10x10 mm boyutundaki altlık numuneler kaplanacak yüzeyi üste gelecek şekilde mengeneyle sıkıştırılmıştır. Su terazisi ile kaplanacak malzeme 90 derece doğrultu ile sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır. Mengenenin elektrik devresine bağlı olması sebebiyle çelik numune katot, elektrot ise anot olarak görevlendirilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 4.3 :** ESD kaplama (a) uygulaması genel görünümü ve (b) kaplama esnasında altlık malzeme yüzey görünümü.

İstenilen parametrede ayarlanan çalışma ünitesi çalıştırılarak paslanmaz çelik elektrot bulunan elektrot tutucu numune üzerinde hareket ettirmeye başlanılmıştır. Kaplama sırasında kaplama elektrotu sürekli olarak kendi ekseni etrafında yaklaşık olarak 120 rpm de dönmektedir. Hareketin başlamasıyla altlık malzemelerin yüzeyi ile temas

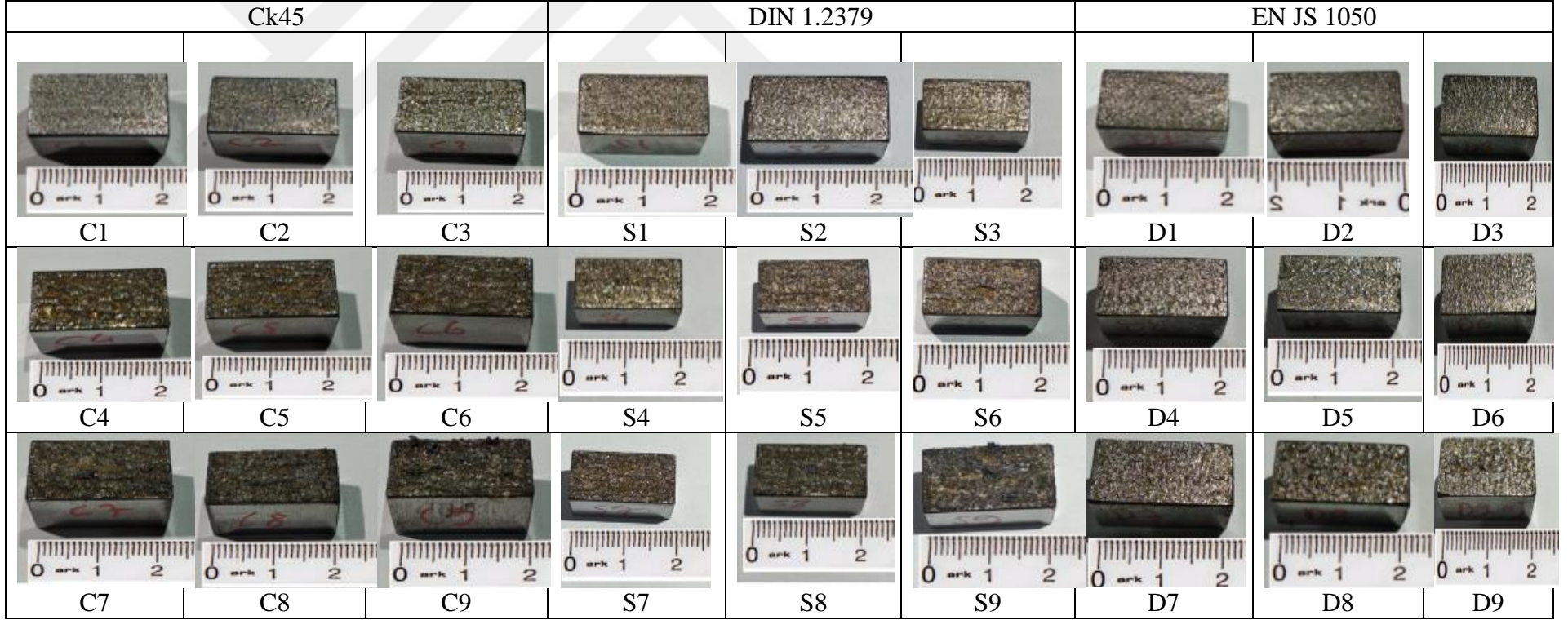
sonrası spark'ın etkisiyle oluşan ergitme sonucunda kaynak havuzu oluşmakta ve yüzeyde soğuması ile oluşan katman sayesinde paslanmaz çelik elektrot altlık malzemeye kaplanmaya başlamıştır. İşlem yapılırken elektrot yüzeye bastırılmadan kendi elektrot tutucu ağırlığına bırakılmış ve 3 kez katman olacak şekilde yüzey tamamen kaplanmıştır. Bunun sebebi mikro boşluklar içeren ESD kaplamanın daha stabil bir katmana sahip olması için tekrarlı olarak uygulanması gerekmektedir. İşlem sırasında altlık malzeme üzerine argon gazı uygulanarak kaplama yüzeyi ortam şartlarından korunarak kaplama kalitesi arttırılmıştır. Şekil 4.3 de ESD uygulaması ve işlem adımları gösterilmektedir.

#### **4.4 ESD Yönteminde Tercih edilen Parametreler**

Farklı kalıp malzemelerinin paslanmaz çelik elektrot ile optimum şartlarda kaplanabilmesi için her bir altlık malzemeye üç farklı çıkış gücünde ve her çıkış gücü içinde üç farklı frekansta kaplama uygulanmak üzere bir altlık malzeme için dokuz farklı kaplama parametresi uygulanmıştır. Voltaj, kaplama katman sayısı sabit tutularak çıkış gücü ve frekans değişiminin kaplamaya olan etkileri araştırılmıştır. Çizelg 4.5'de altlık malzemelere uygulanan kaplama parametreleri ve Şekil 4.4'de kaplama sonrası numunelerin yüzey görünümleri gösterilmiştir.

#### **4.5 Malzeme Karakterizasyonu**

ESD kaplama işlemi yapılmış olan numuneler uzun kesit kısmının tam ortasından Struers-Minitom marka hassas elmas disk kesiciyle ikiye bölünerek 10x10x10 mm ebatlarında metalografik inceleme için hazır hale getirilmiştir. Ardından sırasıyla 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik SiC zımpara kâğıdı kullanılarak Struers Labopol-5 marka parlatma cihazında zımparalanmıştır. Her zımpara değiştirme işleminde, çizikleri yok etmek için tam tersi yönde numuneler çevrilerek işlem uygulanmıştır. Numuneler 3 µm elmas pasta ile parlatılıp daha sonra metalografik karakterizasyona hazır hale getirilmiştir. Parlatılmış yüzeyler, mikro yapıları, kaplama kalınlığını ve katman yapısını ortaya çıkarmak için özel olarak hazırlanan karışım (eşit hacimsel miktarlarda HNO<sub>3</sub>, HCl, saf su) ve Nital ile dağlanmıştır.



Şekil 4.4 : Kaplama sonrası numunelerin yüzey görünümleri.

#### **4.5.1 Optik mikroskop ve kalınlık ölçümü**

Optik analize hazır hale getirilen numunelere Olympus marka GX-51 model optik mikroskop altında incelenmiştir. Fotoğraflar sırasıyla x50 ve x200 büyütme oranıyla alınmıştır. Numunenin yüzeyindeki kaplamanın alınan kesit üzerinden incelenmesi sonucunda paslanmaz çelik bazlı kaplamanın optimum sonuç veren numuneler için ortalama değeri en az üç farklı bölgeden alınan ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.

#### **4.5.2 Taramalı elektron mikroskobu ve elementel analiz**

LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörleri içermektedir. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir.



## 5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Numunelerin Kaplama Özellikleri

Metalografik olarak hazırlanan ve optik analize hazır hale getirilen numunelerden fotoğraflar x50 ve x200 büyütme oranıyla alınmıştır. Numunelerin yüzeyindeki kaplamanın alınan kesit üzerinden incelenmesi sonucunda elde edilen kaplama kalınlıkları Çizelge 5.1 de gösterilmiştir. Kaplama kalınlıkları için her bir numuneden en az üç farklı ölçüm yapılmış olup standart sapma dikkate alınarak birbirlerine yakın iki kaplama kalınlığının ortalaması belirtilmiştir. Çizelge 5.1 den de görüldüğü gibi kalınlık ortalamaları EN JS 1050 malzemede diğerlerine oranla daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. EN JS 1050 sfero döküm genel özelliklerine baktığımızda nodüler yapıların bu kaplama kalınlıklarında etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu çelik ferritik ve perlitik yapısı ile beraber nodüler grafit içerdiğinden, farklı ısı iletim ve elektriksel özelliklere sahiptir. Gri ve sfero dökümlerin termal ve elektriksel iletkenliği, grafit morfolojisinden güçlü bir şekilde etkilenir. Grafit pullarının yarı-sürekli doğası nedeniyle gri demirde iletkenlik daha yüksektir. Çünkü pul şeklindeki grafitin iletkenlik üzerindeki etkisi, grafitin hacim oranı gri demirde önemli bir rol oynar, ancak sfero dökümde bu geçerli değildir.

Grafit şekline ek olarak, mikro yapı, bileşim ve sıcaklık da termal iletkenliği etkiler. Ferritik sfero dökümler, perlitik kalitelere göre daha yüksek bir termal iletkenliğe sahiptir ve su verilmiş ve temperli çelikler, ferritik ve perlitik çelikler arasında değerlere sahiptir. 20-500 °C aralığında, termal ferritik sfero dökme demirin iletkenliği 36 W/m.K'dir [60]. Bu değer yalın karbonlu çelik için yaklaşık olarak 42 W/m.K'dir. Buradan da görüldüğü gibi, sfero içindeki dağılım ve miktarı matris fazı olan ve iletkenliği grafitte göre daha yüksek olan ferritik yapının miktarını azalttığı için daha fazla ısının yüzeyde yayılmadan birikmesine ve nihayetinde lokal ısı girdisinin artmasına ve daha kolay ergimesine sebep olmaktadır. Dökme demirlerin termal iletkenliği üzerine yapılan çalışmada yapılan alaşımlama ile ferrit fazının

oranının azalması sonucunda termal iletkenliğin azaldığı görülmüştür [61]. Diğer bir ifade ile kaplama başladığı anda ark atlaması ile ortaya çıkan ısının yayılımı matris fazı sayesinde olmaktadır ve bu fazın hacimsel oranı sfero dökme demirde yalın karbonlu çeliğe göre daha azdır. Bu durumda, daha fazla ısı yüzeyde birikmekte ve akabinde pasolar arası kaplama sıcaklıkları yüksek olmaktadır. Bu artış, artan altlık sıcaklığının bir dahaki kaplama pasosunda ısı girdisinin artmasına sebep olarak, kaplama kalınlığının artmasına yol açtığı düşünülmektedir. Dikkat edilirse, her iki CK45 ve DIN 1.2379 çeliklerinde sferodaki gibi ısı iletkenliği etkileyecek mikroyapısal düzensizlikler olmadığı için, kaplama kalınlıkları daha düşük çıkmıştır. Ark sırasında, elektrotların ergime performansı birçok sebeple tanımlanırken, en önemli etken altlık malzeme sıcaklığı ve elektrot sıcaklığıdır. Ancak, operasyonel olarak, kaynak ilerleme hızı ve kaynak gücü (I.V.) gerçek parametrelerdir. Bu iki parametre, ark ergitme gücünü belirlerken, ark sırasındaki plazma sıcaklığı bu parametrelerden bağımsızdır. Yüksek ısı girdisinde, ergime performansı ark plazma sıcaklığına çok yüksek oranda bağlı olmasa da (çevre sıcaklığı yüksektir) düşük güçlü ark kaynaklarında ise, ısı girdisi çok daha önemlidir. Altlık sıcaklığının düşük olması ana malzeme ve elektrot üzerinde oluşan anot ve katot yüksek direnç noktalarının kolaylıkla iyon yayma (Termiyonik iş fonksiyonunu artırarak) kapasitelerini azaltarak ve metalik iyon buharının daha az ve plazmanın daha soğuk oluşmasına yol açarak tepki gösterir. 304 paslanmaz çelik üzerine yapılan çalışmada artan altlık sıcaklığı ile termiyonik iş fonksiyonunun azaldığı görülmüştür [62].

**Çizelge 5.1 : Kaplama kalınlıkları ( $\mu\text{m}$ ).**

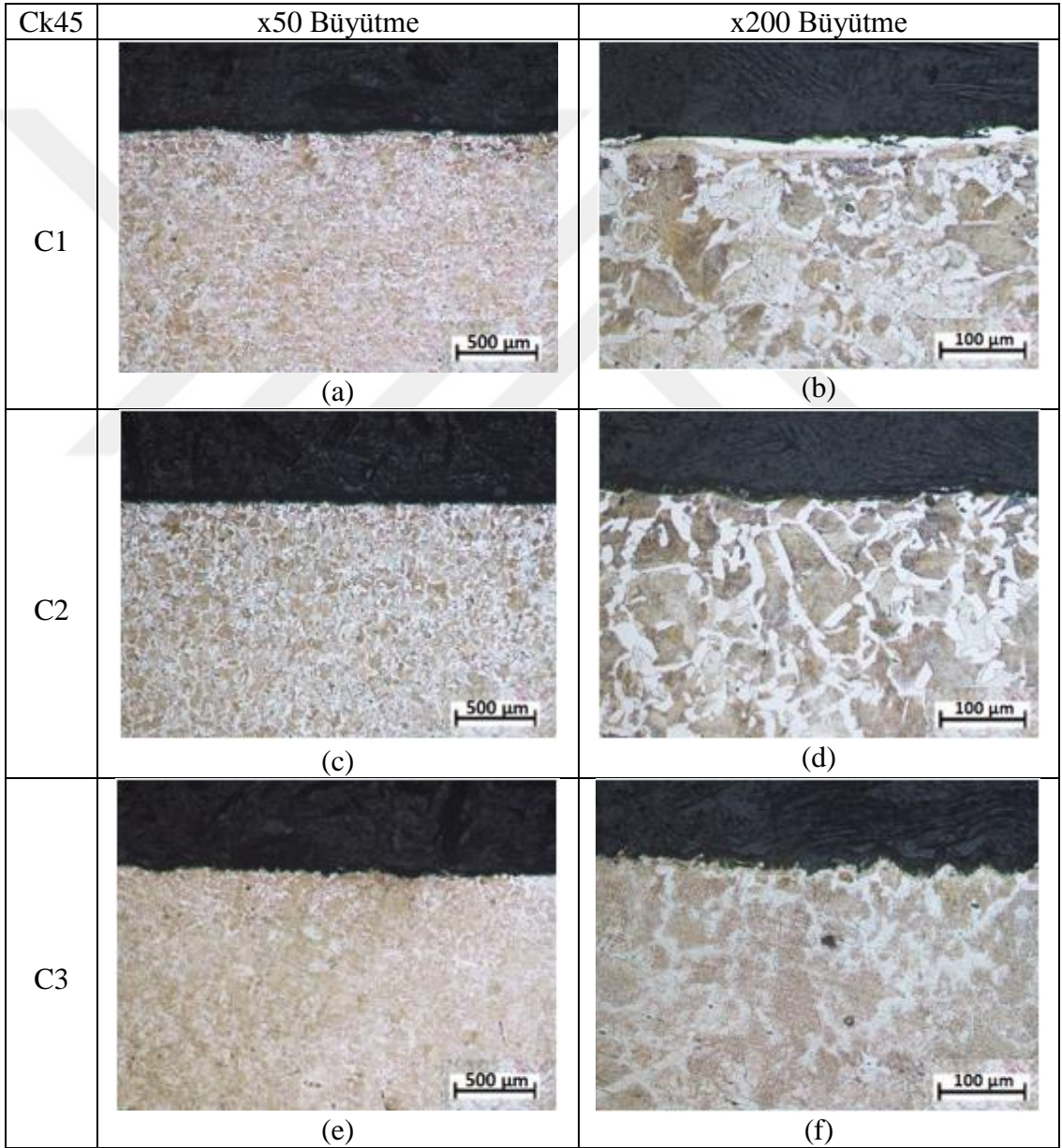
	Ck45	DIN 1.2379	EN JS 1050
C1	9.35	S1 8.7	D1 19.3
C2	<3.2	S2 14	D2 21.50
C3	<3.5	S3 28.75	D3 6.35
C4	<3	S4 <2.5	D4 <2
C5	<2.5	S5 55	D5 143.5
C6	7	S6 <3	D6 7
C7	<2	S7 27.85	D7 10
C8	9	S8 <3	D8 <2
C9	95	S9 81	D9 12.25

Bu durum ark kaynaklarında sıklıkla görülen bir durumdur. Şöyle ki, düşük amperli kaynaklarda, anot ve katot noktalarından yayılan metalik iyonlar ani bir şekilde buharlaşarak plazmayı oluştururken, özellikle soğuk ortam şartlarında iyonize olan

atomların miktarı azalacağı için başlama zorluğu yaşanır. Bu da plazma oluşmasındaki ve nihayetinde madde transferindeki zorluklarla ilişkilendirilir.

## 5.2 Numunelerin Optik Mikroskop Kullanılarak Karakterizasyonu

Karakterizyon çalışmaları kapsamında Optik mikroskop kullanılarak sırasıyla alaşımsız çelik olarak Ck45, alaşımlı çelik olarak 1.2379, dökme demir olarak EN JS 1050 tercih edilmiştir. Bu çelikler, kalıp elemanları olarak gövde ve ekipmanlarında en çok tercih edilen malzemelerdir.



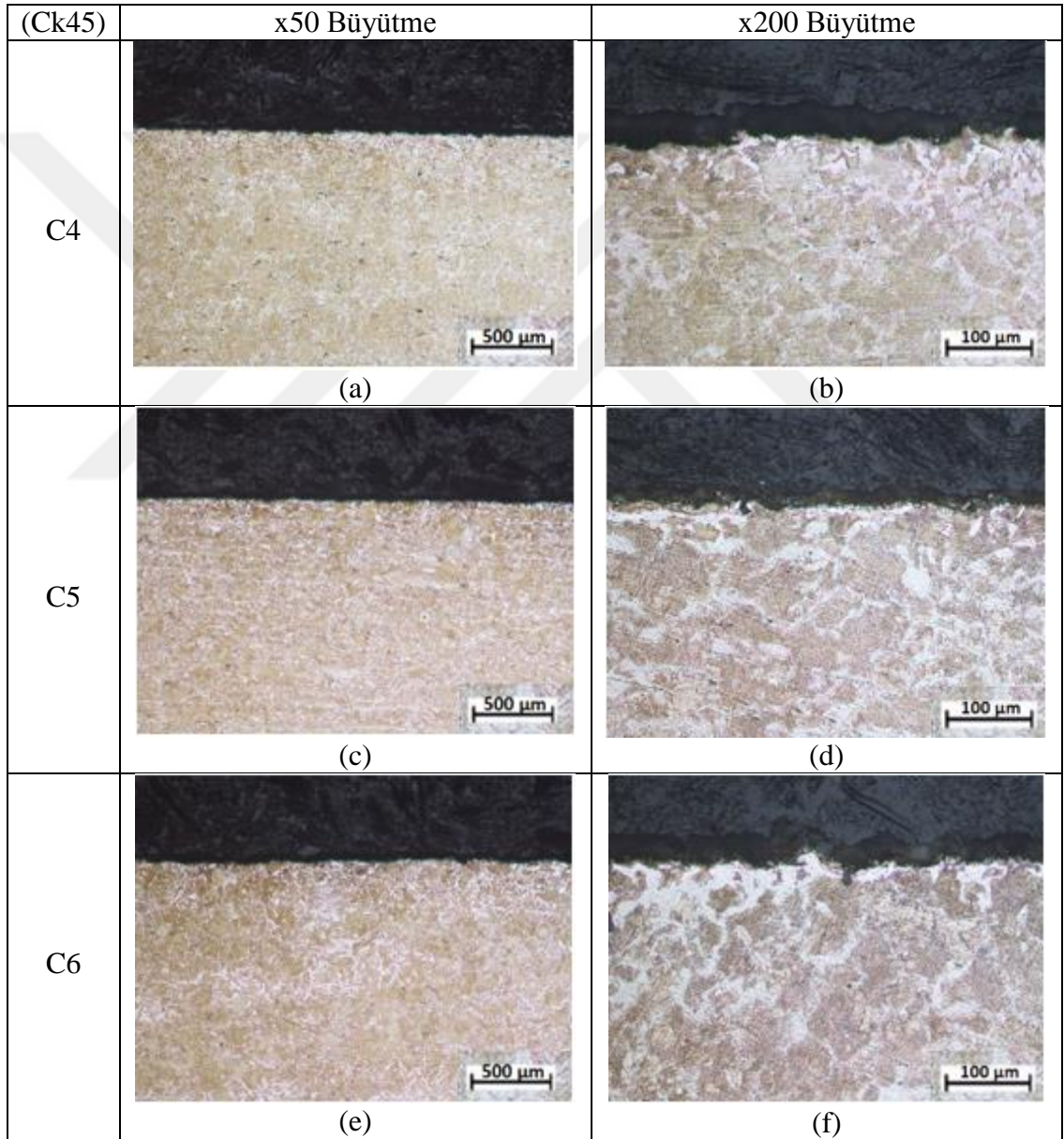
**Şekil 5.1 :** Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz.

Karakterizasyon sırasında Ck45 çeliğinde yapının ferritik-perlitik yapıda yer aldığını ve sertliğin bu sebeple 40 HRC'ler seviyesinde olduğu söylenebilir. 1.2379 takım çeliğinde ise farklı olarak alaşımın getirdiği karbürleri yapıda dağıldığı optik mikroskop ile açığa çıkarılmıştır. Bu yapı içerisinde kaplama esnasında kaynak havuzu oluşumu ve buna bağlı ısının tesiri ve gücün artışına bağlı yüzeydeki karbür dağılımının değişebileceği öngörülmüştür. Son olarak EN JS 1050 malzemesinin dökme demir yapısında gözlenen küresel grafit oluşumları göze çarpmaktadır. Kaplamanın olduğu yüzeyde tutunmanın daha az olduğu ve ara tabaka oluşmadığı gözlenmiştir.

Malzemelerin yapısal karakterizasyonu sonrası kaplamanın yüzey ile olan etkileşimi incelenerek buna bağlı optik ölçümler sonrası SEM ve EDS çalışmaları yapılmıştır. Bu analiz çalışması ve detaylı anlatımı bölüm 5.3.'de anlatılacaktır. Bu sayede yüzeyde oluşan kaplamanın elemental analizi detaylı incelenerek paslanmaz çelik elektrotun içerdiği Ni ve Cr elementlerinin ana malzemeye geçildiğinde azaldığı gözlenmiştir.

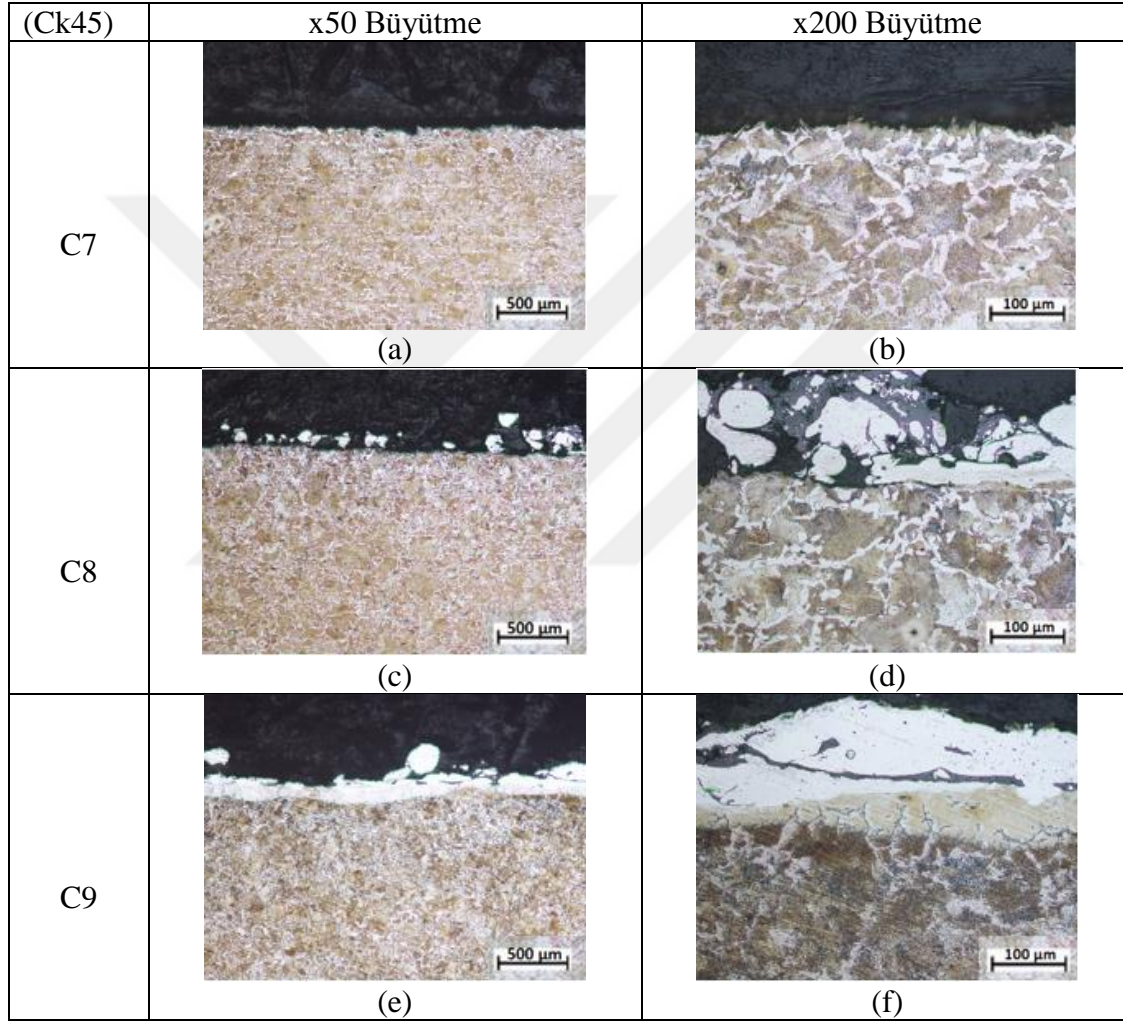
% 30 çıkış gücüne sahip C1, C2, C3 numuneleri kendi içinde incelendiği zaman en yüksek kaplama kalınlığı Şekil 5.1 (b) de görüldüğü üzere C1 numunesinde görülmüştür. Kaplama ile altlık malzeme arasında ara yüzey bölgesi ve kaplama üzerinde mikro boşluklar oluşmuştur. Ara yüzeyin altlık malzeme yakın bölgelerinde ferritik-perlitik yapı oluşumu C1 numunesinde görülmüştür. Tane sınırları oldukça bariz olup, tane sınırlarının bazı durumlarda süreksiz olduğu görülmektedir. Bu ferrit fazının katılma veya ısıl işlem sırasında C atomlarının ferrit sementit ara yüzeyinde bariyer oluşturması ve akabinde tane sınır ferritinin yanal büyümesinin sınırlandırılması ile sonuçlandırılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Yanal tane sınırı boyunca büyüme hızlı bir şekilde meydana gelirken yanal büyümeler birim zamanda daha fazla Fe atomu gerektirdiği ve aynı zamanda daha fazla C atomunun katı-katı dönüşümde alfa-gama demir Matano ara yüzeyinden itmek zorunda kalması durumu ortaya çıkar. Tane sınırı bu sebeple morfolojisi parçalı görünmektedir. Şekil 5.1' deki C2 ve C3 numunelerinde tutunmanın daha az olduğu ve kaplama ara yüzeyinde ara tabaka oluşmadığı gözlenmiştir. Artan kaplama frekansının yığılma faktörüne etkisi bu güç oranında ters yönlü olup, burada atlama frekansının yüksek olması ile birim zamanda ergiyen madde miktarını azalttığı da düşünülmelidir. Artan frekans ile altlık malzemeye uygulanan ergime potansiyeli azalır. Çünkü frekans arttıkça altlık

malzemeye temas süresi kısa ve sık sık olur. Örneğin 400 Hz de altlık malzemeye iki defa temas yaparken aynı süre zarfında 500 Hz de temas üç defadır. Ergime potansiyeli uygulanan akımın uygulama süresi ile ilişkili olduğu için, 300 Hz için daha yüksek ergime potansiyeli vardır. Çelik malzeme yüzeyini krom karbür-nikel kaplama çalışmasında sabit akım altında artan frekansın düzenli olarak artırılması kaplama kalınlığını arttırmadığı görülmüştür [41]. Ancak, en etkili parametre güç oranıdır. Bu nedenle artan güç oranı ile ısı girdisinin artması daha anlamlıdır ve ergime miktarının artması daha kararlı bir şekilde meydana gelir.



**Şekil 5.2 :** Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz.

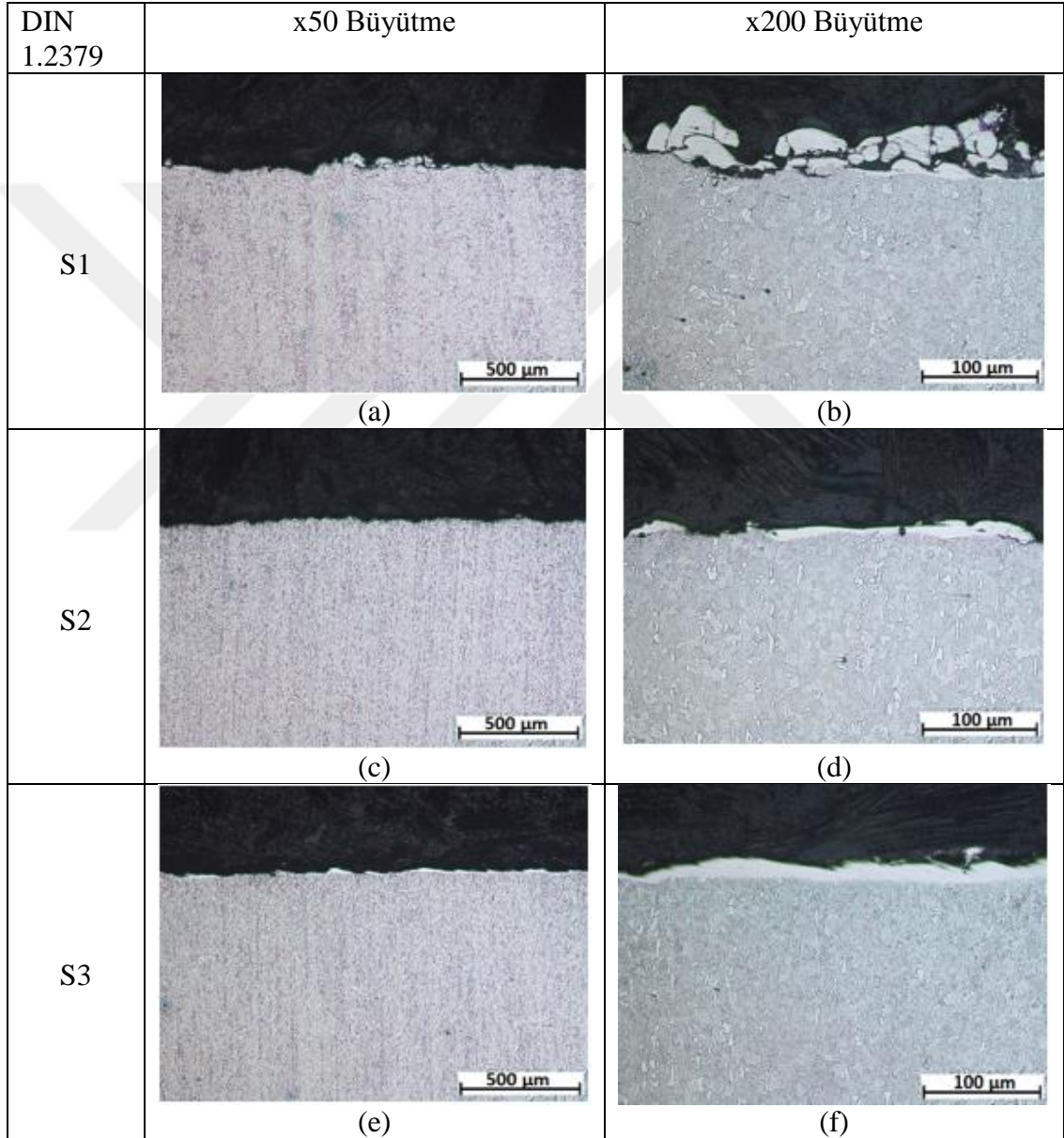
% 50 çıkış gücü ve farklı frekanslara sahip C4, C5, C6 numuneleri incelendiğinde Şekil 5.2 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere çok küçük miktarda kaplama elde edilmiştir. Altlık malzeme ile kaplama arasında ara yüzey oluşumu gözlenmemiştir. Özellikle metalografik numune hazırlanması sırasında, zayıf kaplamaların çabucak döküldüğü ve zımparalamanın kaplamaların ayrılmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Hassas disk kesici ile kesilmesine rağmen kaplamaların tutunmasının zayıf olması nedeniyle bu şekilde sonuçlandığı düşünülmektedir.



**Şekil 5.3 :** Ck45 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz.

% 70 çıkış gücü ve farklı frekanslara sahip C7, C8, C9 numuneleri incelendiğinde Şekil 5.3 (f) ve Çizelge 5.1 görüldüğü üzere en yüksek kaplama kalınlığı C9 numunesinde elde edilmiştir. C7 numunesinde çok az bir miktarda kaplama sağlanmıştır. Her üç numunenin % çıkış gücü aynı olmasına rağmen artan frekans ile kaplama kalınlığının arttığı düşünülmektedir. Şekil 5.3 (f) de görüldüğü üzere artan

çıkış gücü ve frekans sonucunda oluşan yüksek sıcaklık sonrası kaplama tabakasında porozite ve çatlaklar oluşmuştur. Porozite oluşumu, tekrarlı kaplamalarda ve hatta tek katmanlı kaplamalarda sıklıkla görülmektedir. El ve Otomasyonla çelik üzerine yapılan kaplama çalışmasında porozite görülmüştür [50]. Porozite, atlık malzemenin soğuk olması yanında, kullanıcının hızlı hareketi sonucunda da oluşacaktır. Ancak, genel olarak üst üste binmeyen ergimiş damlacıkların alt katmanı tam olarak eritememesi veya çok sayıda ergimiş damlanın yığılması sonucu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 5.4 :** DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz.

Yapılan ESD kaplama çalışmalarında seçilen parametreler ve elektrotun üzerine uygulanan kuvvetin sabit kalmaması sonucunda ergiyen ve/veya buharlaşan metal miktarını düzensiz bir şekilde değiştirerek kaplama içinde boşluk oluşturduğu görülmüştür [63,64].

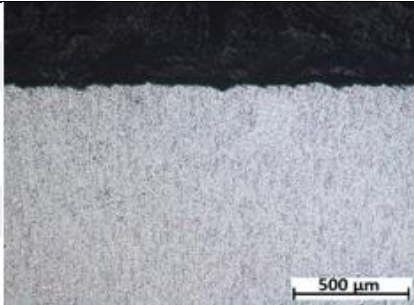
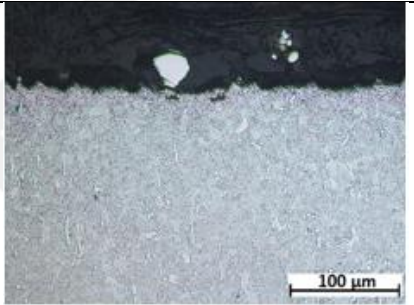
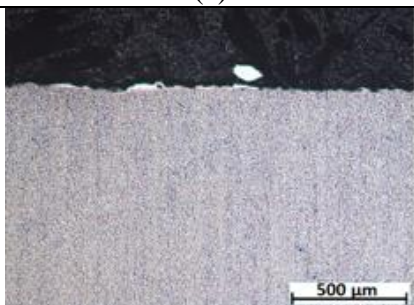
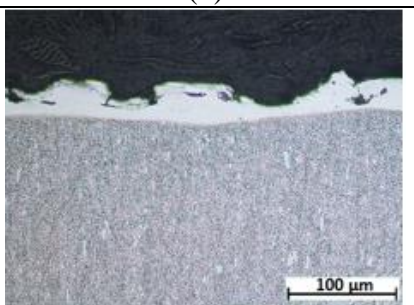
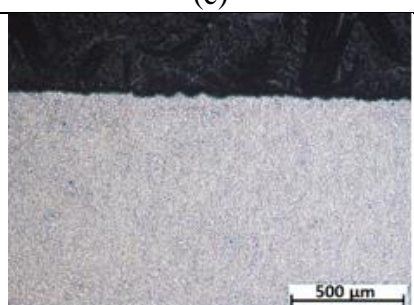
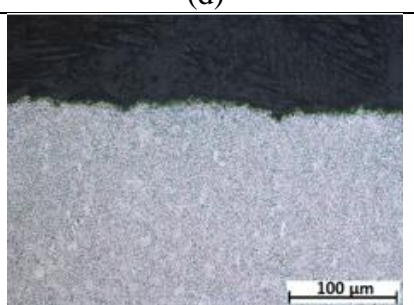
%70 çıkış gücü, 400Hz ve 500 Hz değerine sahip C8 ve C9 numunelerinde altlık malzeme üzerine aktarılan ergimiş elektrot miktarının birim yüzeye oranı C7 numunesine kıyasla çok daha fazla olduğu Şekil 5.3 (d) ve (f) de görülmektedir. Kaplama sırasında ergiyen altlık ile yığılan elektrot malzemesi bir miktar C'nun seyreltik hale geçmesine sebep olacaktır. Artan ergimiş sıvı hacmi ile beraber C oranı (% 50/50 oranında karıştığı düşünülürse) altlık ergime bölgesinde C'ca fakirleşme ve tekrarlı ergime olması durumunda C'un daha da azaldığı bölge oluşacaktır. Kısacası karbonun ters difüzyonu ve ergimiş hacimle beraber seyreltik hale gelmesi sonucunda kaplama tabakalarında karbona rastlanır.

Şekil 5.4-5.6'da 1.2379 çeliğinden yapılan altlık malzemenin değişik güç ayarlarında ve frekans değerlerinde yapılan çalışmasına ait optik mikroskop resimleri verilmiştir. Aynı % çıkış gücü ve farklı frekanslara sahip S1, S2 ve S3 numuneleri incelendiğinde Şekil 5.4 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere artan frekans ile orantılı olarak kaplama kalınlığı da artmıştır. Kaplamada altlık malzemeye yakın bölgelerde perlit-sementit yapıda fazlar oluşurken kaplama yüzeyine yakın bölgelerde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yapıları oluşabilir. 1.2379 çeliğinin yapısında bulunan ve kaplama ile yapısına katılan Cr, V, Mo gibi karbür yapıcı alaşım elementlerinin kafes içerisinde çözünerek MC, M<sub>7</sub>C, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, M<sub>2</sub>C, M<sub>6</sub>C tipi karbürler oluşturarak, çeliğin daha yüksek dayanıma, yüksek sertliğe, yüksek aşınma direncine sahip olmasını sağlarlar [65].

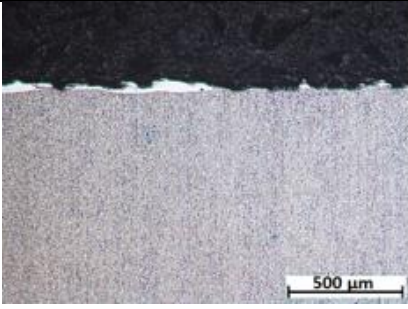
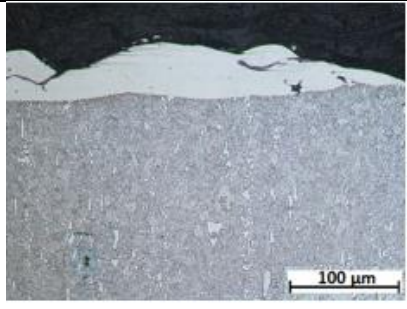
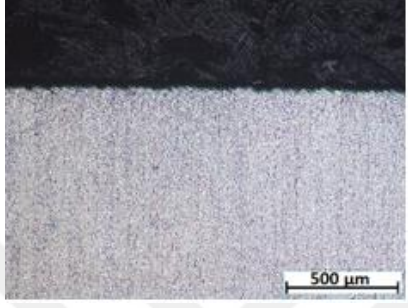
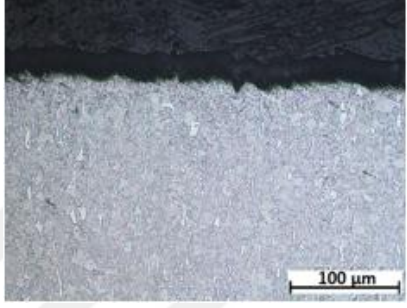
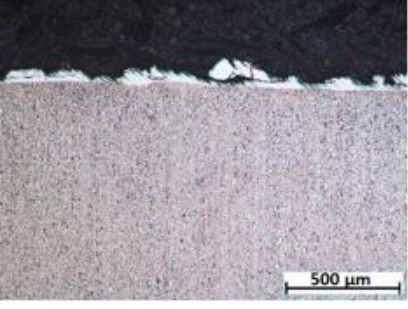
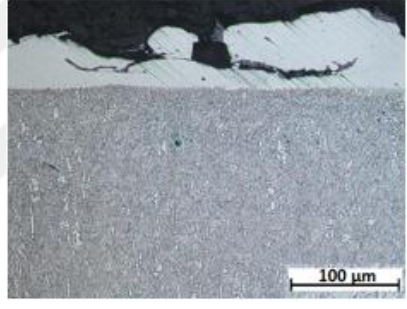
%50 çıkış gücüne sahip S4, S5 ve S6 numunelerinde Şekil 5.5 (d) ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere en yüksek kaplama kalınlığı S5 numunesindedir. Artan çıkış gücü ve frekans ile birlikte kaplama ara yüzeyine aktarılan ısı miktarı arttığı için ve birim yüzeyin hızlı soğumasından kaynaklı tanelerde incelme meydana gelmiştir.

%70 çıkış gücüne ve frekans ile S7, S8, S9 numunelerinde Şekil 5.6 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere en yüksek kaplama S9 da elde edilmiştir. Şekil 5.6 (b) ve (f) de artan çıkış gücü kaplama içinde gaz boşluklarına ve kılcal çatlaklara neden olmuştur.

Artan çıkış gücü ve frekans ile birlikte kaplama ara yüzeyine aktarılan ısı miktarı artsa da 1.2379 çeliğinin sahip olduğu yaklaşık ağ. % 1.5C ve ağ. % 12 Cr içermesi nedeniyle kolaylıkla sertleştirilmesi mümkündür. Sertlik değerlerinin 60 HRC ye kadar ulaştığı 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelikle beraber kaplanması ile karışım oranına göre Ck45 den daha fazla miktarda C içereceği için karbon eşdeğeri formülasyonuna göre ağ. % 0.45 oranını geçtiği için çatlama riski çok yüksek grubuna girmektedir. Kromun karbona oranı 3:1'i aştığında, krom bakımından zengin karbürler  $Cr_7C_3$  veya  $Cr_{23}C_6$  veya her ikisi yapıda bulunur [66]. Altlık malzemede bulunan ve elektrottan gelen Cr miktarının C'a göre çok daha fazla olmasından dolayı kaplama tabakasında  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  karbür yapılarının var olduğu düşünülmelidir ve sertlik bu karbür ağları vasıtası ile elde edilebilir.

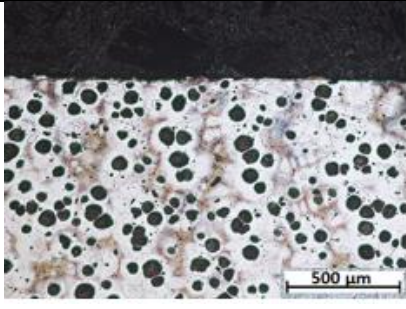
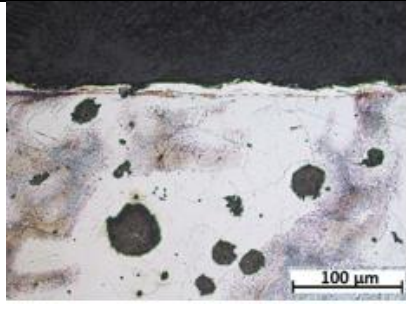
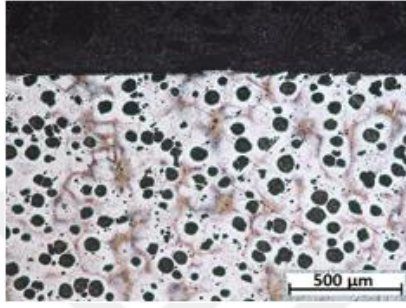
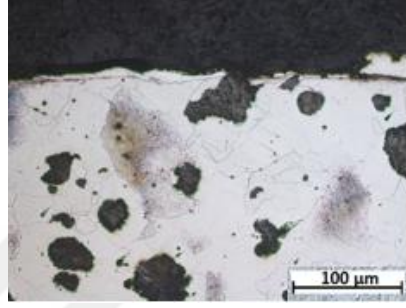
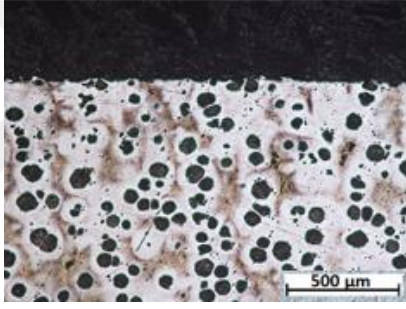
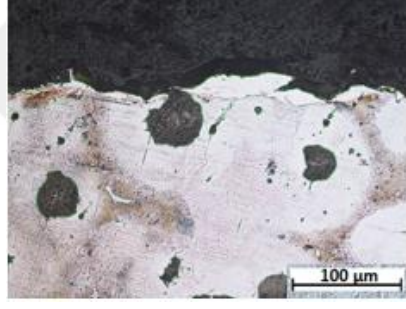
DIN 1.2379	x50 Büyütme	x200 Büyütme
S4	 (a)	 (b)
S5	 (c)	 (d)
S6	 (e)	 (f)

**Şekil 5.5 :** DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz.

DIN 1.2379	x50 Büyütme	x200 Büyütme
S7	 (a)	 (b)
S8	 (c)	 (d)
S9	 (e)	 (f)

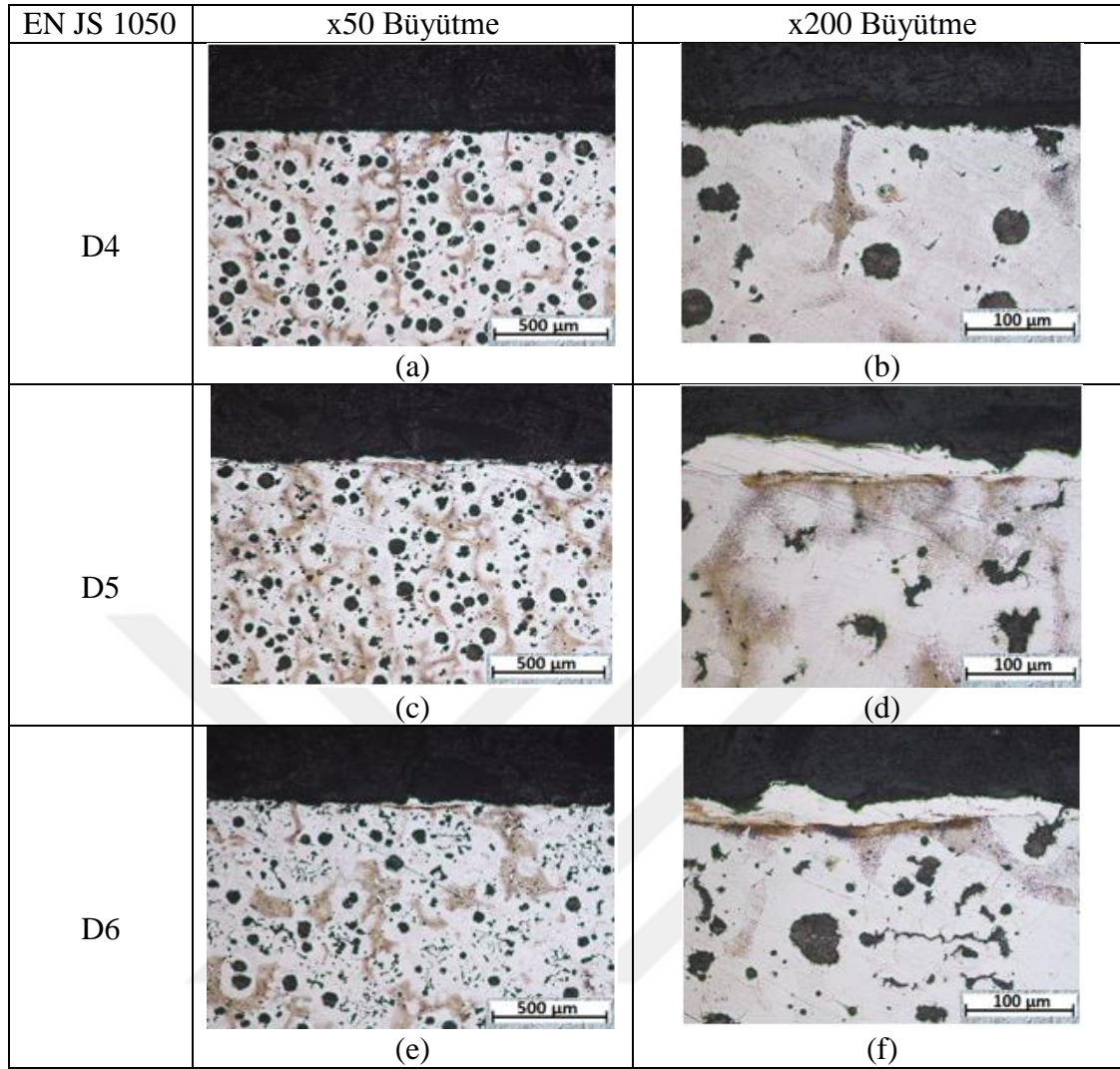
**Şekil 5.6 :** DIN 1.2379 çeliğinin paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz.

D1, D2 ve D3 numuneleri incelendiğinde Şekil 5.7 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere üç numune için kaplama sağlanmıştır. Kesit görüntüleri incelendiğinde küresel grafitlere denk gelen kısımlarda kaplama sağlanamamıştır. Yani paslanmaz çelik elektrot küresel grafit ile alaşım yapmamış ve grafitin küresel yapısını bozmuştur. Şekil 5.7 (b), (d), ve (f) de görüldüğü üzere küresel grafitlerin formları kaplama ara yüzüne doğru bozulmuştur. Kaplama içerisinde CrC oluşma ihtimali vardır. Mikroyapı resimleri ferritik ve perlitik oluşumların varlığını göstermektedir. Açık renkli bölgelerin ferritik olduğu ve açık gri ile koyu kahverengi arasında değişen bölgelerin ise perlitik yapı olduğu görülmektedir. Perlit yapısının rengi koyulaştıkça ince yapıli olmakta ve daha açık renkli olanlar ise daha kalın sementit plakaları içermektedir.

EN JS 1050	x50 Büyütme	x200 Büyütme
D1	 (a)	 (b)
D2	 (c)	 (d)
D3	 (e)	 (f)

**Şekil 5.7 :** EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %30 güç-300 Hz, (c,d) %30 güç-400 Hz, (e,f) %30 güç-500 Hz.

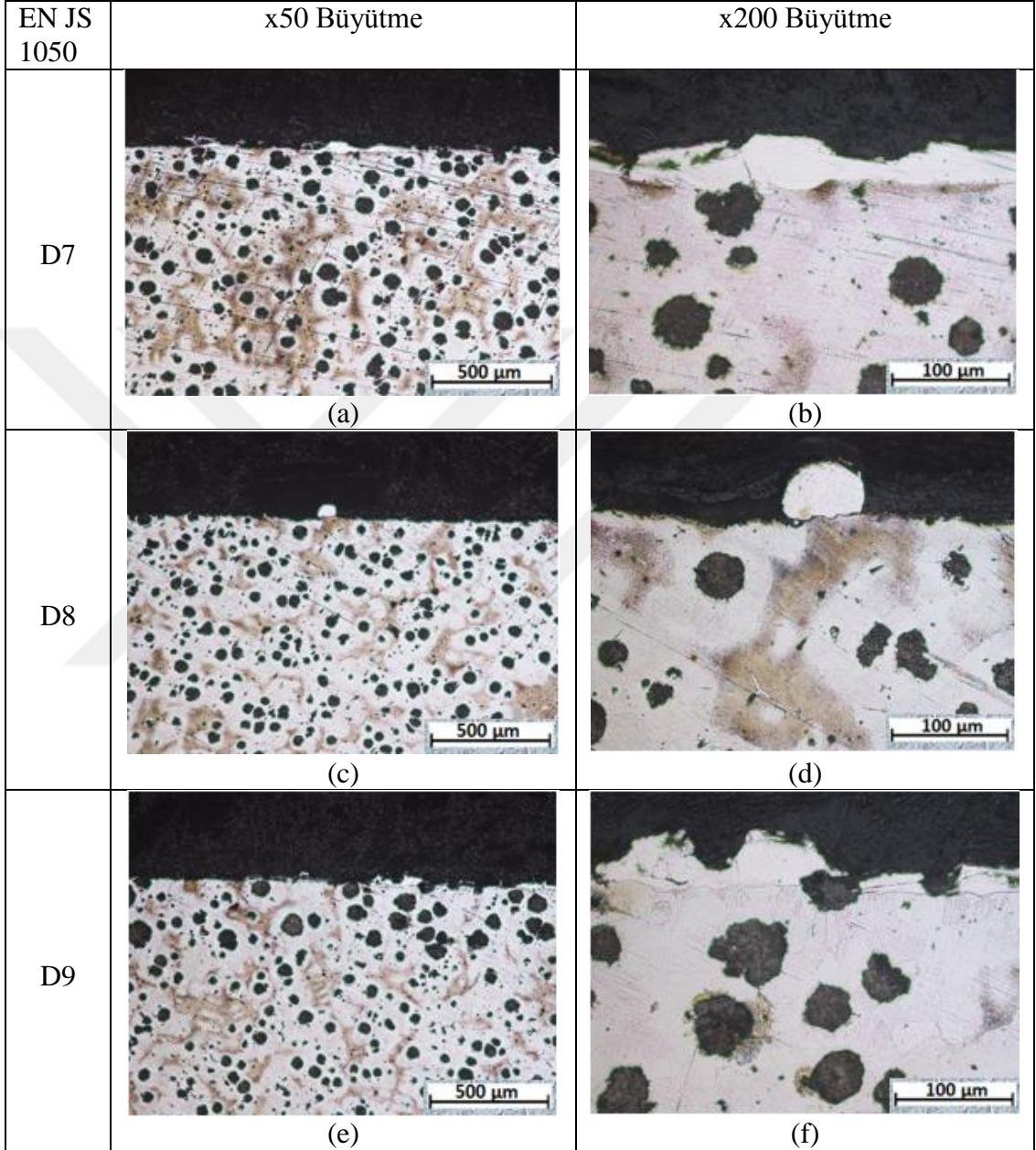
Ark oluşumu sırasında ortaya çıkan plazmanın sıcaklığı oldukça yüksek olmasına rağmen altlık hacminin büyük olması nedeniyle ısı kaybının hızlı olacağı daha küçük ark damlacıkları oluşturması ile sonuçlanacaktır. Isı girdisinin düşmesi ısının plazmadan ne kadar hızlı çekildiği ve transfer edildiği ile alakalı olacaktır. Küresel grafitli dökme demirde bulunan sfero grafitlerinin ark sırasında parçalanarak ortamda bulunan Oksijenle CO oluşturmasının yanısıra, ergimiş halde bulunan altlığa C katkısı olarak katılabilecek ve aynı zamanda metalurjik olarak karbür oluşumuna yol açacak bir etki yaratacaktır. Ancak, ara tabakanın oluşmaması, daha çok grafitin metal altlık ile yeterince güçlü bir bağ yapamaması ve aynı zamanda, ki en önemlisi grafitin gevrek oluşu da önemli bir etken olmaktadır ve yeterince mekanik dayanım sağlamamaktadır.



**Şekil 5.8 :** EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %50 güç-300 Hz, (c,d) %50 güç-400 Hz, (e,f) %50 güç-500 Hz.

D4, D5 ve D6 numuneleri incelendiğinde Şekil 5.8 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere en yüksek kaplama miktarı D5 numunede sağlanmıştır. Artan çıkış gücü ve frekans ile Şekil 5.8 (b), (d) ve (f) de görüldüğü üzere grafit yapıları kaplama yüzeyine doğru bozulmuştur. Grafitlerin denk geldiği kısımlarda kaplama sağlanamamış olup kaplamanın sürekliliği grafitlere gelen noktalarda bozulmuştur. Çıkış gücünün artması altlık malzemeye aktarılan ısıyı arttırmış ve hızlı soğumanın sonucunda kaplamaya yakın altlık malzemede grafit yapısı oluşumunu tam olarak tamamlayamamıştır. Soğuma kaplamadan altlık malzemeye doğru ve hızlıca oluştuğu için Şekil 5.8 (f) de görüldüğü gibi tane incelmeleri görülmüş ve katılaşıma dentritik şekilde oluşmuştur. Dökme demir üzerine yapılan ESD ile kaplama çalışmasında kaplamanın mikro yapıları, dağınık ve eş eksenli yapı ile birlikte

dağılmış şekilde ince tanelerden ve dentritik kristal yapılardan oluştuğu görülmüş ve bu çeşitli mikro yapılarının varlığı, ESD işlemindeki yüksek soğutma hızlarından kaynaklanmaktadır [67]. Kaplama yapısında sementit-perlit ve dönüşmüş ledeburit fazlar bulunmaktadır.

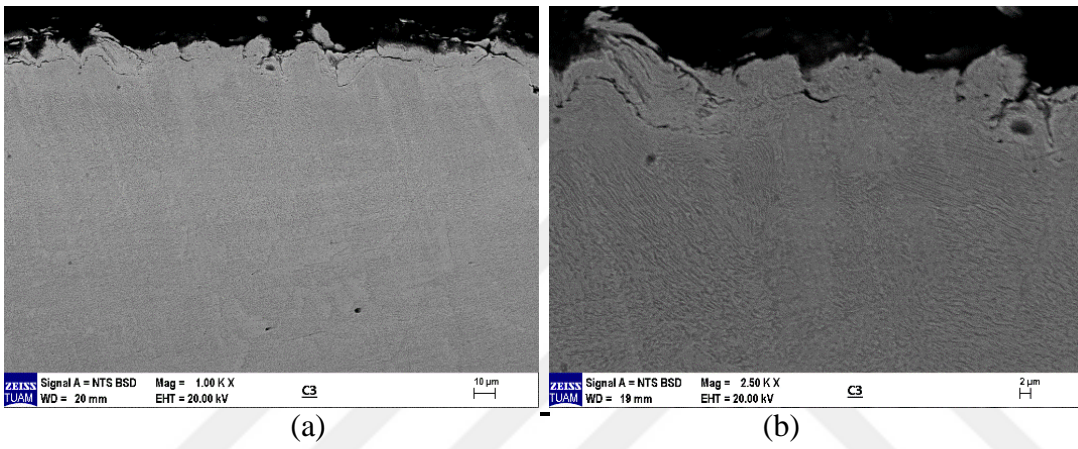


**Şekil 5.9 :** EN JS 1050 dökme demir paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası OM görüntüleri; (a,b) %70 güç-300 Hz, (c,d) %70 güç-400 Hz, (e,f) %70 güç-500 Hz.

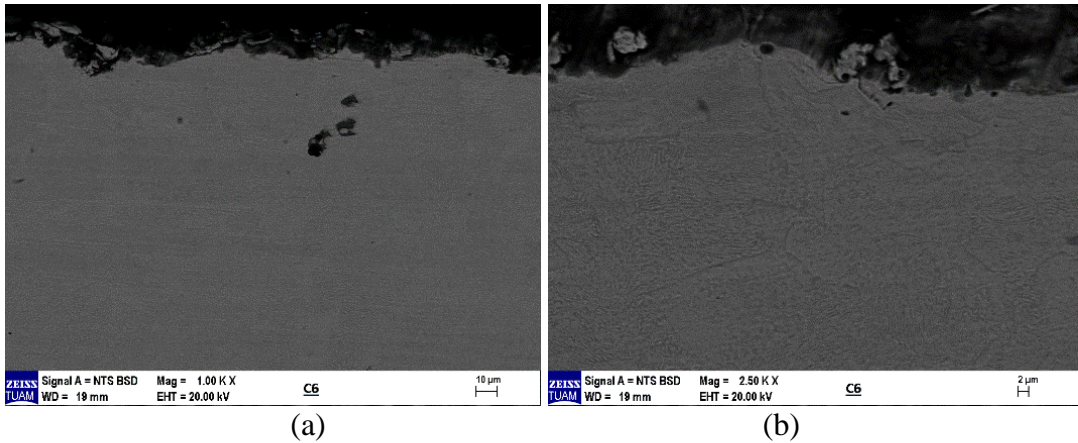
EN JS 1050 malzemesi D7, D8 ve D9 numuneleri için çıkış gücünün %70 ve frekans değerlerinin de sırası ile 300Hz, 400Hz ve 500Hz'e çıkarılması Şekil 5.9 ve Çizelge 5.1 de görüldüğü üzere kaplama miktarında diğer D4, D5 ve D6 ya göre azalmaya

neden olmuştur. Kaplama ara yüzeyinde bulunan küresel grafitlerin yapısı artan ısı girdisi nedeniyle bozulmuştur. Artan ısı girdisi ısıl kararsızlığa sebep olmakta ve C difüzyonunu kolaylaştırmaktadır ve akabinde daha çok sementit yapısı oluşmaya yönelim görülmektedir. Şekil 5.9 (f) de görüldüğü gibi, küresel grafitlerin etrafında perlit oluşumu görülmektedir. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere artan çıkış gücü yüzey pürüzlülüğünü gözle görülür seviyede arttırmış ve yüzeyde yanmalara sebep olmuştur.

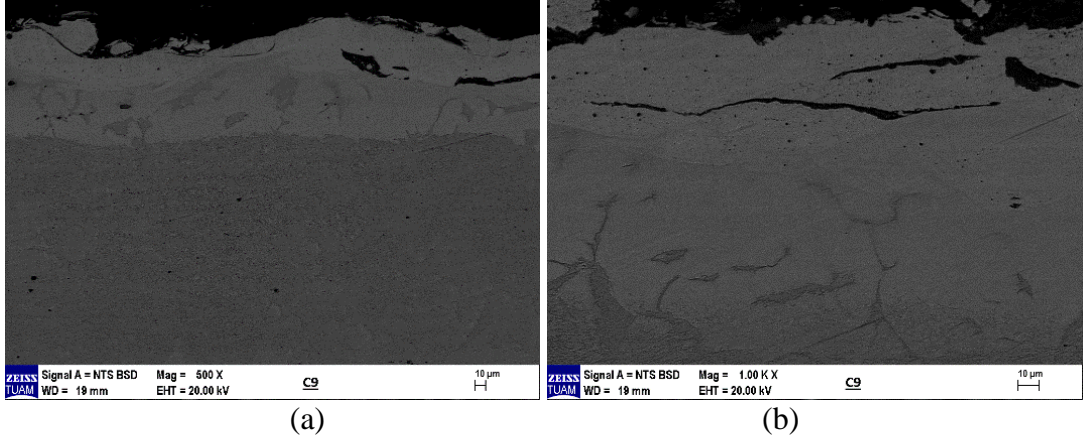
### 5.3 Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanarak Karakterizasyonu



Şekil 5.10 : C3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

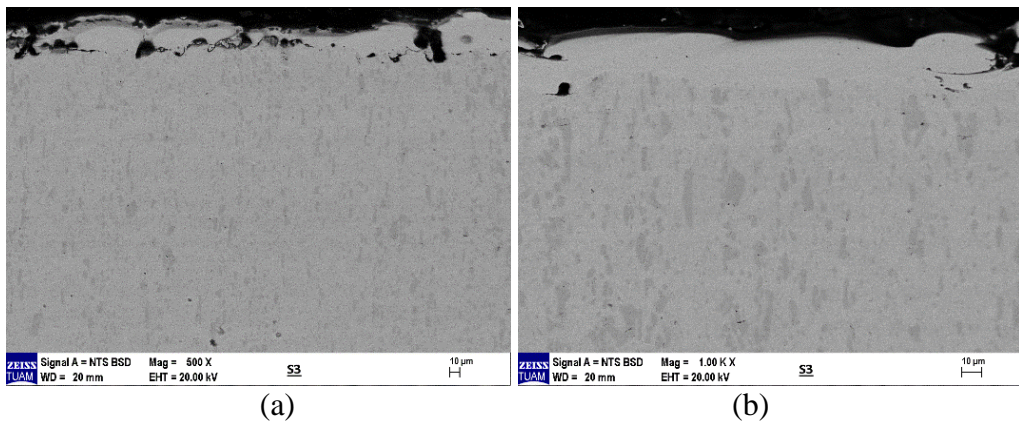


Şekil 5.11 : C6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

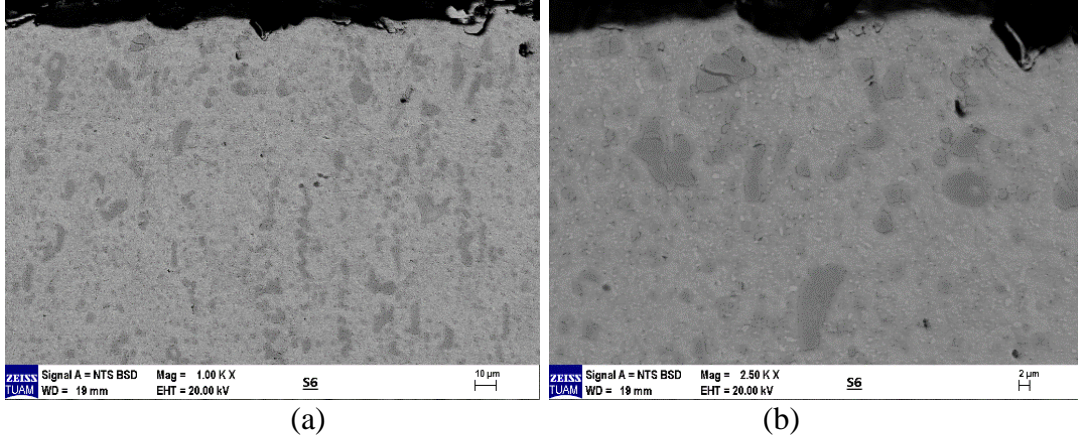


**Şekil 5.12 :** C9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

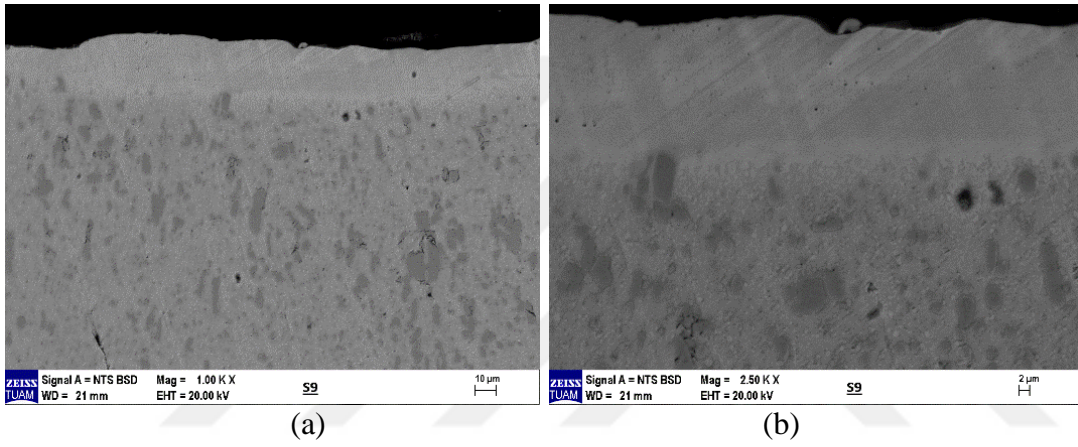
SEM görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.12 deki C9 numunesinde kaplamanın Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'deki diğer iki numuneye oranla çok daha fazla sağlandığı, kaplamanın daha homojen dağıldığı ve kaplama sınırı açıkça görülmüştür. Artan % çıkış gücü ile birlikte kaplama içinde gaz boşlukları ve kılcal çatlaklar oluşmuştur. SEM de elde edilen yüzey görüntülerinden de anlaşılacağı üzere morfolojik yapı ESD kaplamanın genel karakteristiğini yansıtmaktadır. Elektrottan ergimiş halde olan kütlenin altlık üzerine depozit olurken oluşan depozit damlacığı görüntüleri ve depozit damlacıkların dinamik kuvvetlerin etkisi altında etrafa saçılıp katılan partiküller görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.12 deki görüntüden de anlaşılmaktadır ki altlığı tamamen örten bir kaplama tabakasının varlığı Ck45 altlık üzerine başarılı bir şekilde ESD yöntemi ile paslanmaz çelik kaplama gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.13 :** S3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

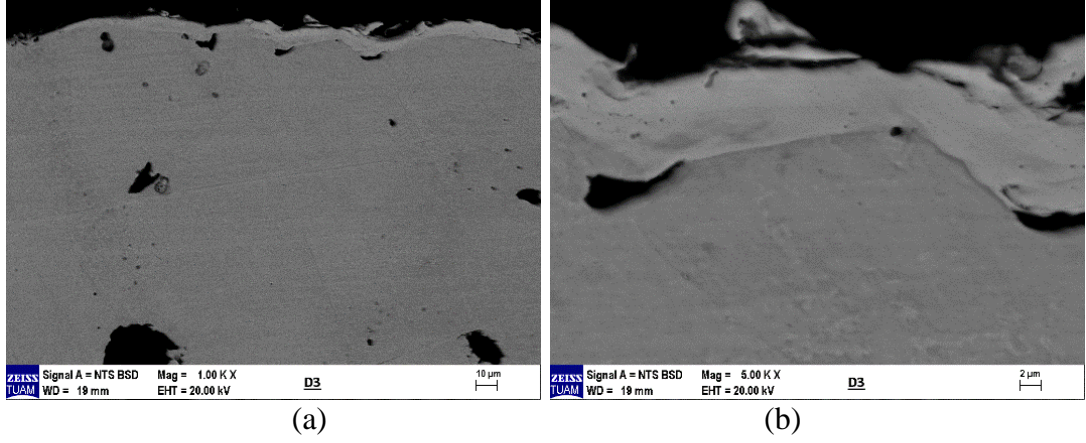


**Şekil 5.14 :** S6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

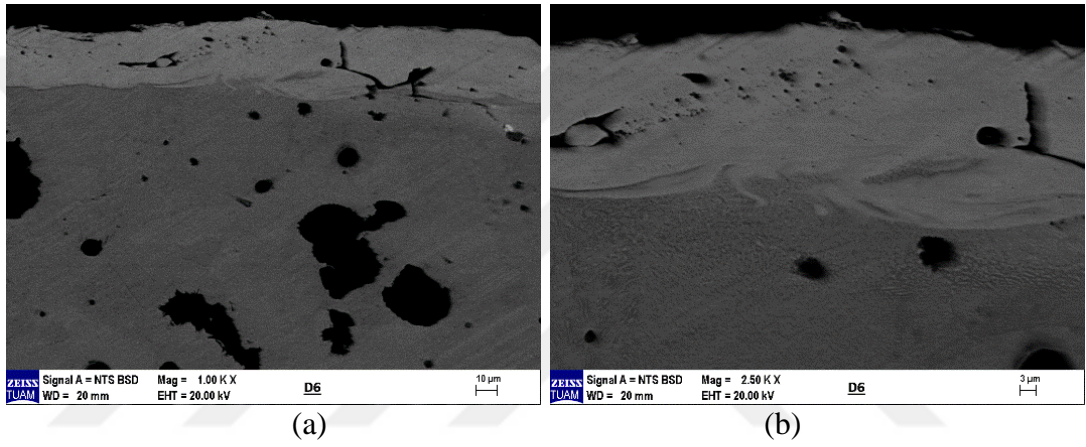


**Şekil 5. 15 :** S9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

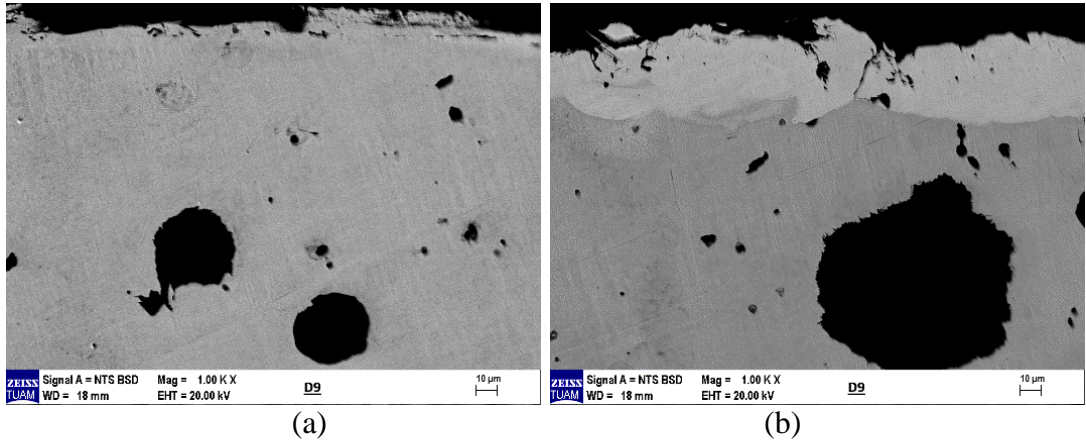
Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'deki SEM görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.13 ve Şekil 5.15 de ki S3 ve S9 numunelerinde kaplamanın diğer S6 numunesine nazaran daha fazla sağlandığı ve altlık malzeme ile daha homojen birleştiği görülmüştür. Şekil 5.13 de kaplamanın daha açık bir tona sahip olması alaşım elementleri bakımından daha zengin olduğu ve altlık malzemesine göre daha yüksek atom numaralı elementler içerdiğini ortaya koymaktadır. Bu da kaplamanın altlıkla iyi karıştığını gösterirken karbon eşdeğer oranını ağırlık % 0.45 oranını geçmesinden dolayı çatlama riski oluşma ihtimalinde bulunmaktadır. Bunun sonucunda kaynak havuzunun hızlı soğumasından kaynaklı tanelerde kısmi incelmeye, kılcal çatlaklar ve tabaka kalkması meydana gelmiştir. Şekil 5.15'de matris ile tabaka görüntülerinin aslında homojen bir yapı oluşturduğu ve arayüzeyde alaşımlamanın çok iyi sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.16 : D3 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.



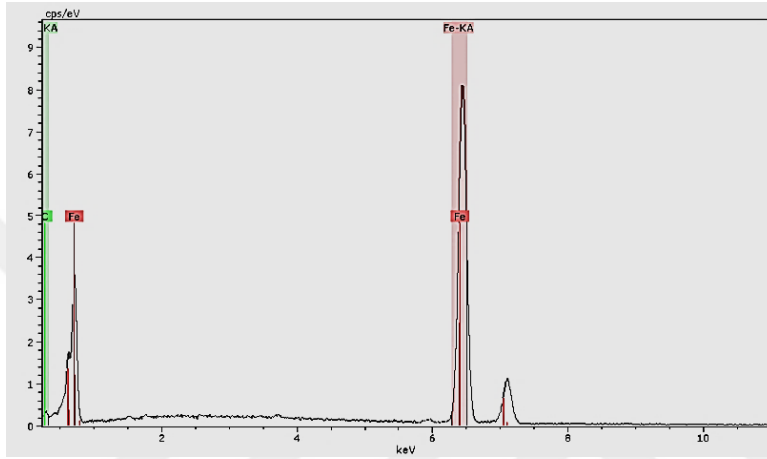
Şekil 5.17 : D6 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.



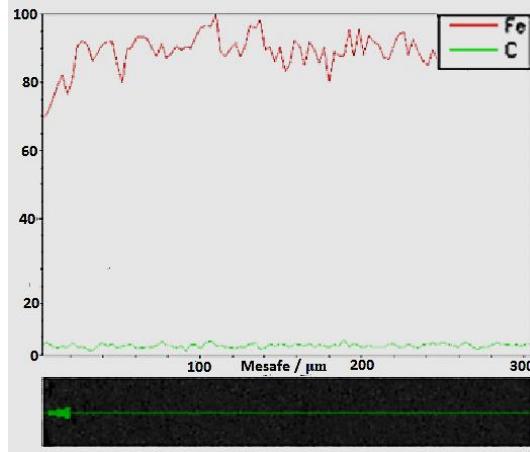
Şekil 5.18 : D9 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası SEM görüntüleri.

SEM görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.16 ve Şekil 5.18 deki D3 ve D9 numunelerinde kaplama görülmektedir fakat kaplama homojen dağılmamıştır. İnce ve kesikli bir kaplama yüzeyi altlık malzeme ile kaplama arasında sağlanmıştır. Şekil

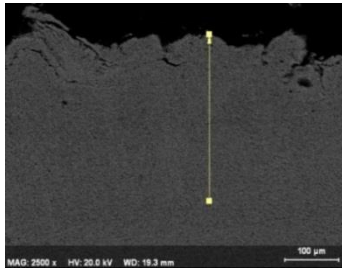
5.17 de görülen kaplama diğer iki numuneye nazaran daha homojen ve çok miktardadır. Altlık malzeme ile kaplama arasında çok keskin ayrımı olmayan bir ara yüzey oluşmuş fakat ESD işlemi sırasında oluşan ergime ve metalik bağlardan kaynaklı bu ara yüzey altlık malzeme yüzeyi gibi kararlı ve tutarlı değildir. Kesitte oluşan yatay çatlakların kesme sırasında oluşan açısall kuvvetlerin tabakayı zorlayarak kopardığı ve çatlak ilerlemesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



(a)

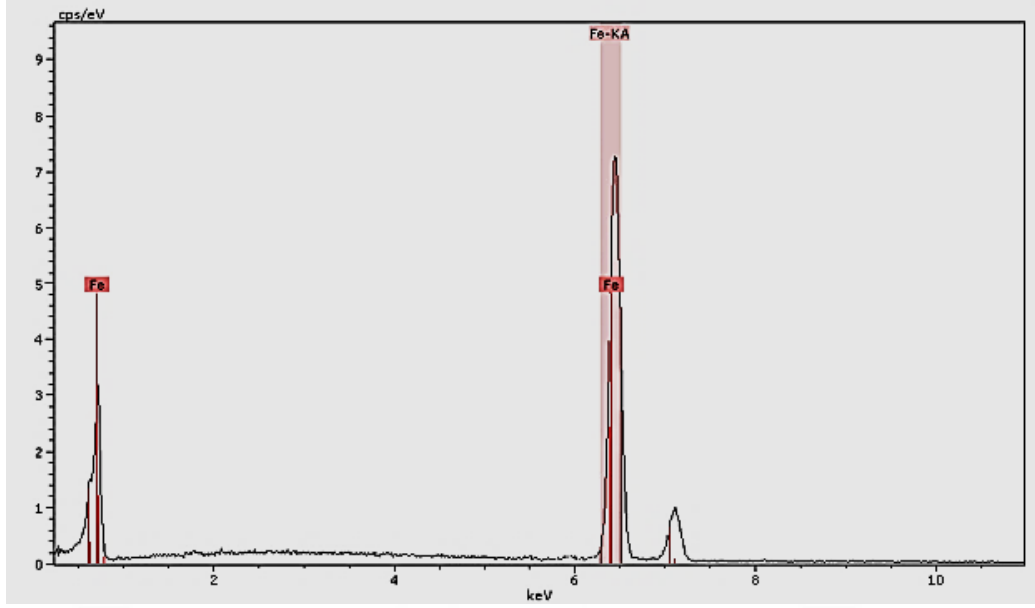


(b)

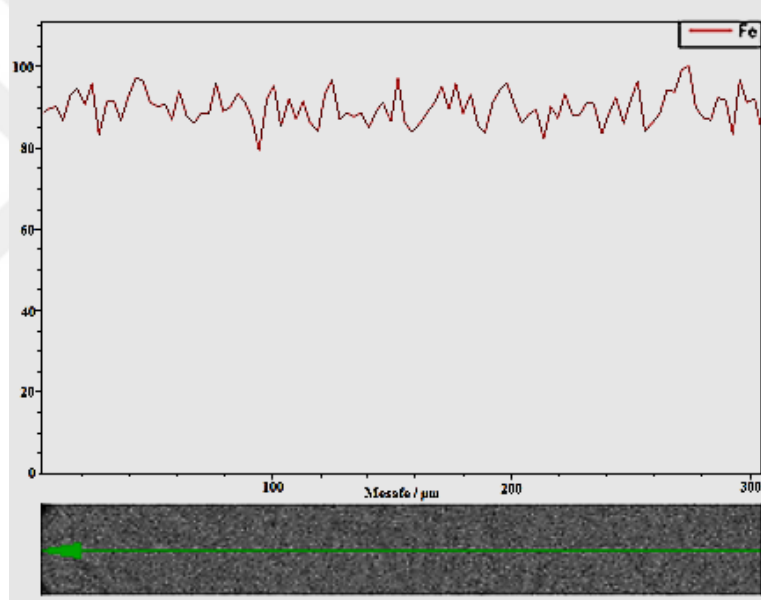


(c)

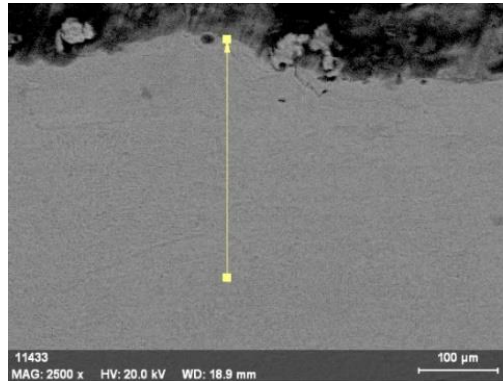
**Şekil 5.19** : C3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a) , Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.



(a)

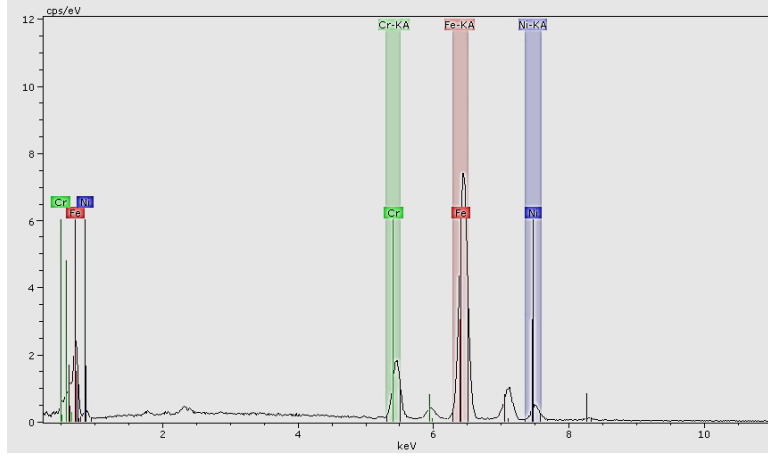


(b)

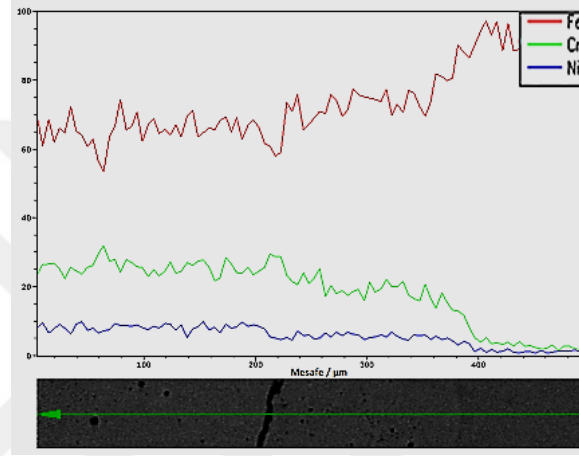


(c)

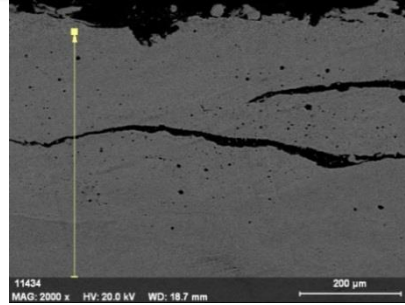
Şekil 5.20 : C6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.



(a)



(b)

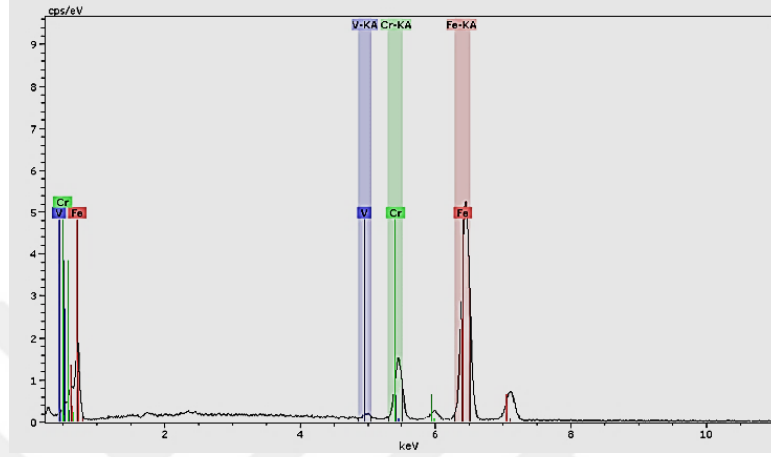


(c)

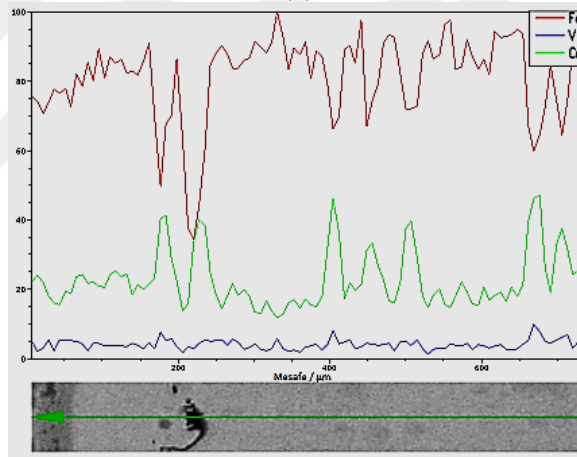
**Şekil 5.21** : C9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.

ESD kaplama sonrası EDX, Line-EDX ve SEM-EDS görüntüleri incelendiğinde kaplamanın çok az sağlandığı ve bundan dolayı analizlerde de kaplamanın net bir şekilde görülemediği Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 de görülmüştür. C3 ve C6 numunelerinde sadece demir piki görülürken C9 numunesinde paslanmaz çeliğin nufuziyetine bağlı değişik miktarda alaşım elementi içerdiği görülmüştür. Şekil 5.21 (a) daki görüntüde Cr ve Ni varlığından altlık üzerine paslanmaz çelik elektrot kaplamanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 5.21 (b) deki Line-EDX analizinde de kaplamanın olduğu ve altlık malzemeye doğru Cr ve Ni oranının azaldığı

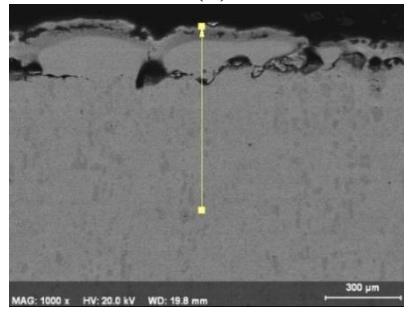
görülmektedir. C3, C6 ve C9 numuneleri Line-EDX sonuçları incelendiğinde Şekil 5.19 (b) ve Şekil 5.20 (b) de demir piklerinin çok az değiştiği yani kaplamanın yeterli miktarda sağlanmadığı görülmektedir fakat Şekil 5.21 (b)'de demir piki altlık malzemeye doğru artmakta iken Cr ve Ni oranı azalmaktadır. Bu da kaplamanın sağlandığını ve başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir.



(a)

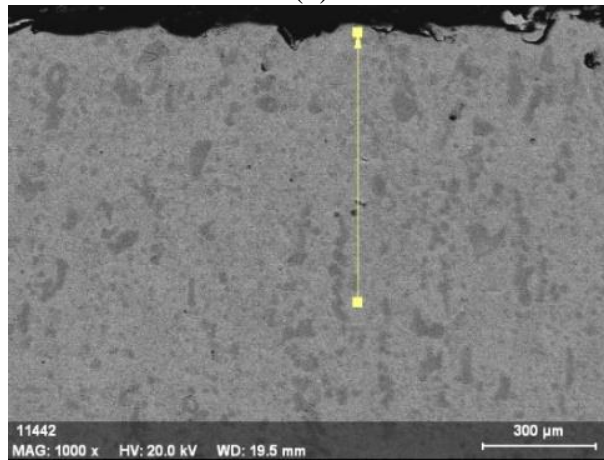
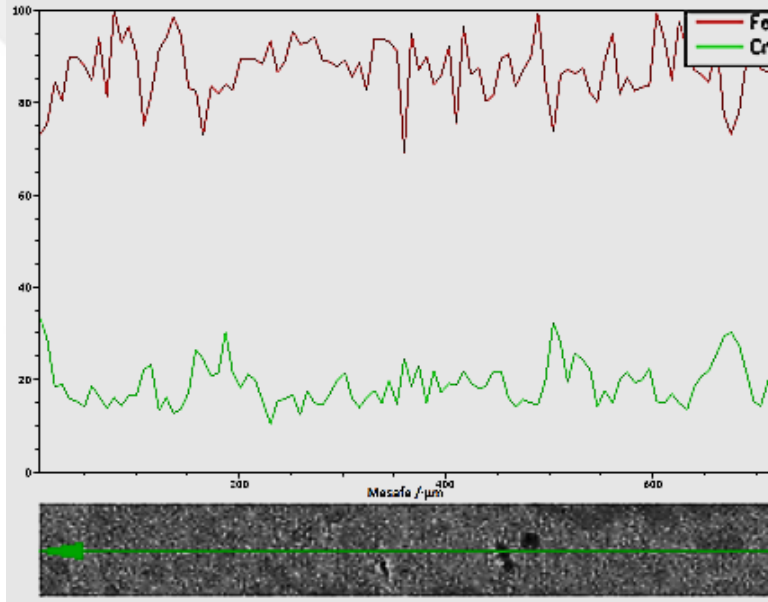
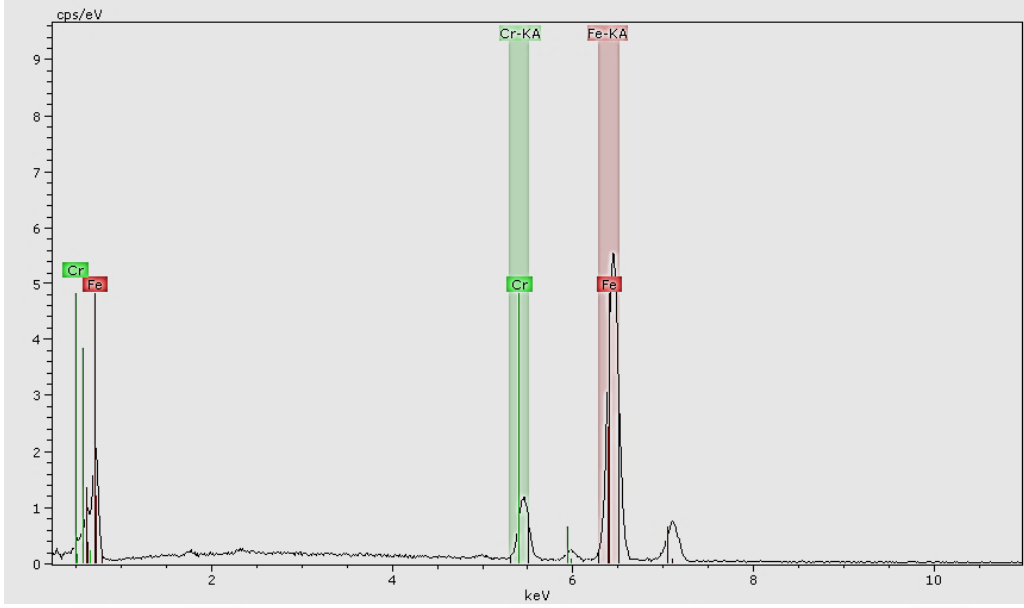


(b)

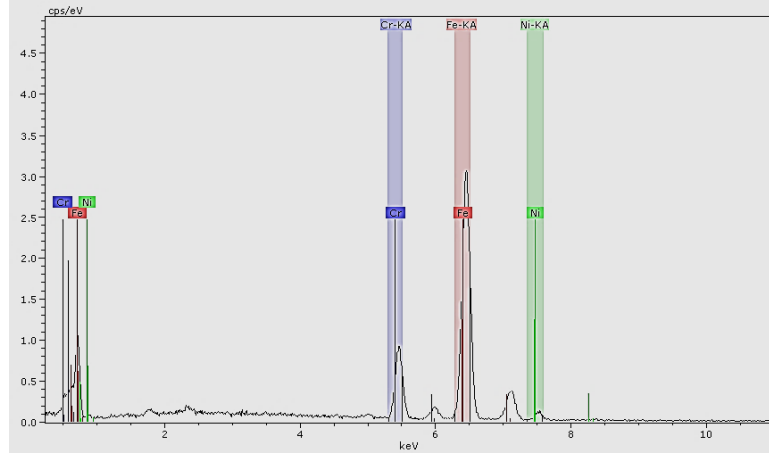


(c)

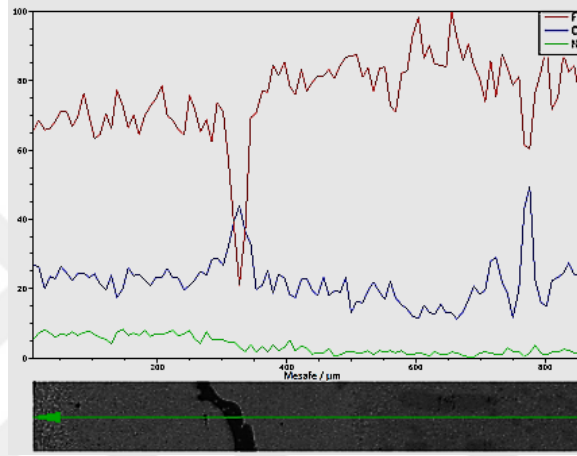
**Şekil 5.22** : S3 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri..



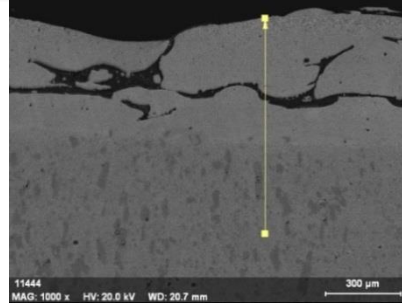
Şekil 5.23 : S6 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.



(a)



(b)

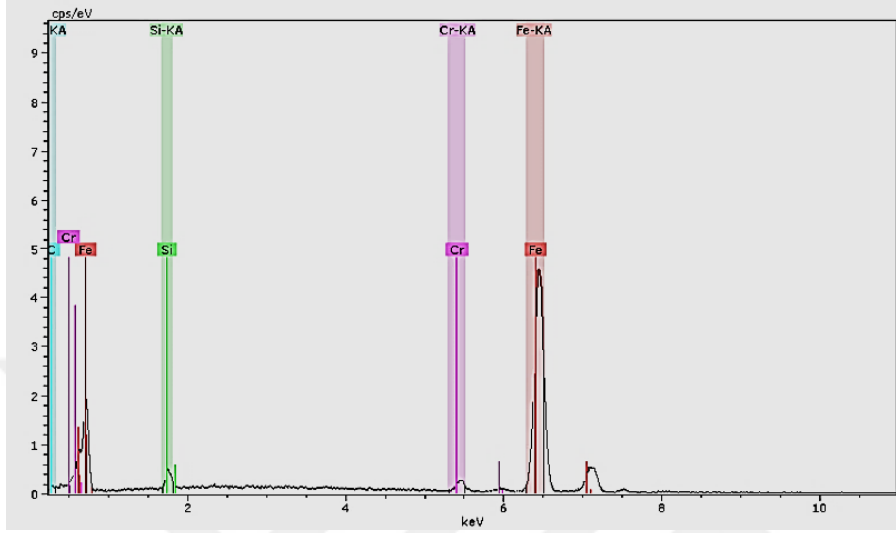


(c)

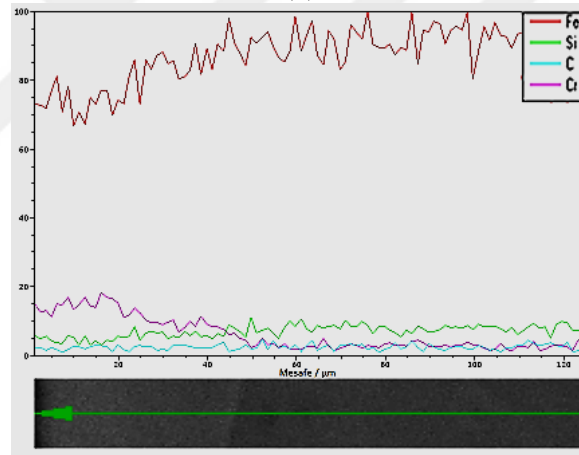
**Şekil 5. 24 :** S9 kodlu çeliğin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.

ESD kaplama sonrası EDX, Line-EDX ve SEM-EDS görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 de görüldüğü gibi altlık malzeme yüzeyinde kaplama oluşturulmuştur. EDX analizlerindeki Cr ve Ni varlığı altlık üzerine paslanmaz çelik elektrot kaplamanın gerçekleştiğini göstermektedir. Line-EDX analizi incelendiğinde Ni pikinin şiddetinin yüzeye yakın noktalarda azaldığı gözlenmiştir. Benzer şekilde Cr elementinin kaplama tabakasındaki dağılımı iç yapıdan yüzeye doğru stabilite gösterdiği belli noktalarda ansızın yükseldiği görülmüştür. Cr pikinin belli bölgelerdeki artışı Cr elementinin 1.2379 ile paslanmaz

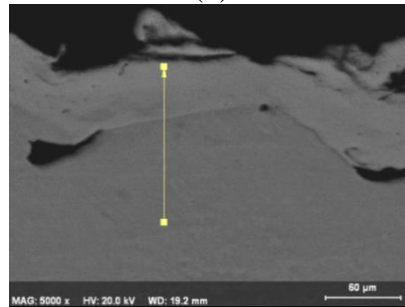
çeliğin yüksek miktarda Cr içermesinden ötürü olduğu açıklanabilir. Kaplamanın alt bölgelerinde ise Cr değerinin tekrar düştüğü gözlenmiş olup bu piklerin genel olarak yüksek bir miktarda kalması kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.



(a)

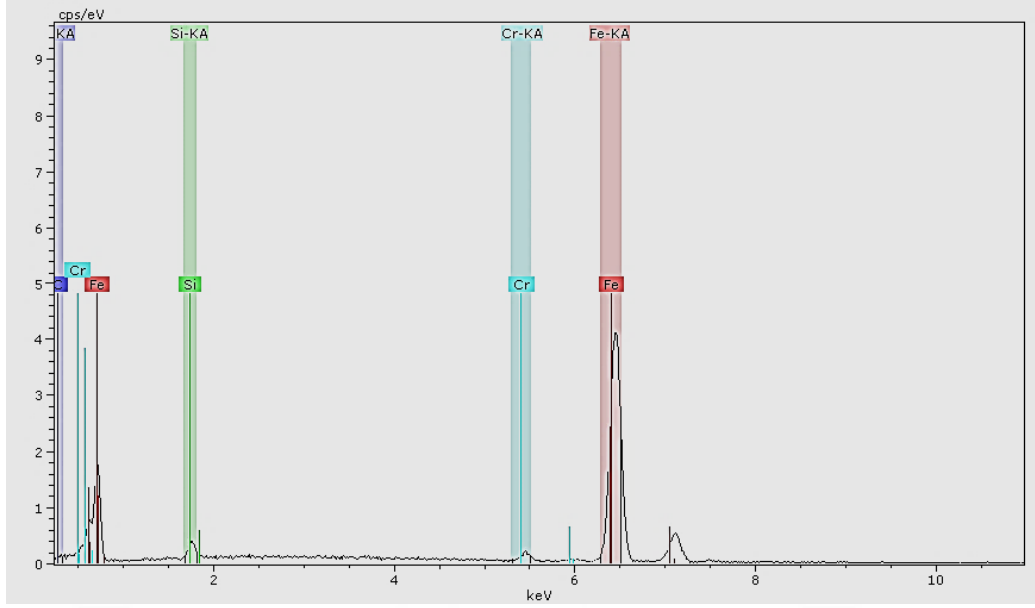


(b)

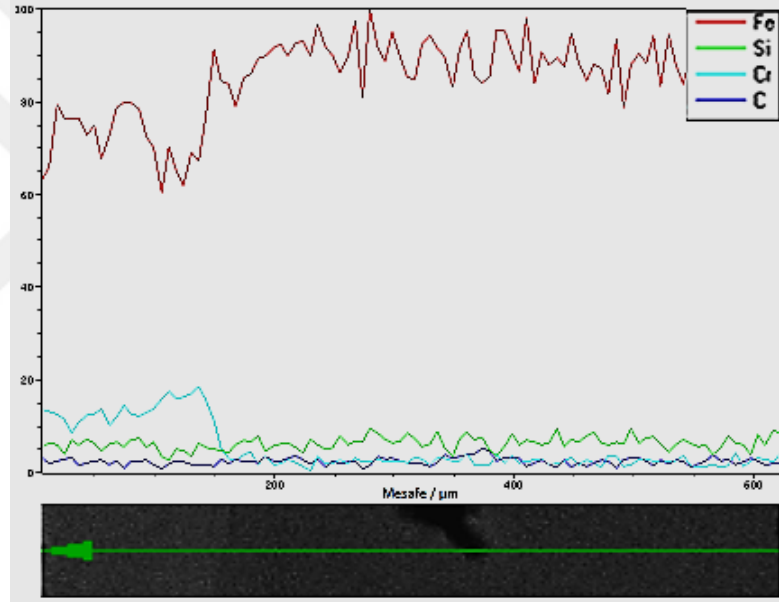


(c)

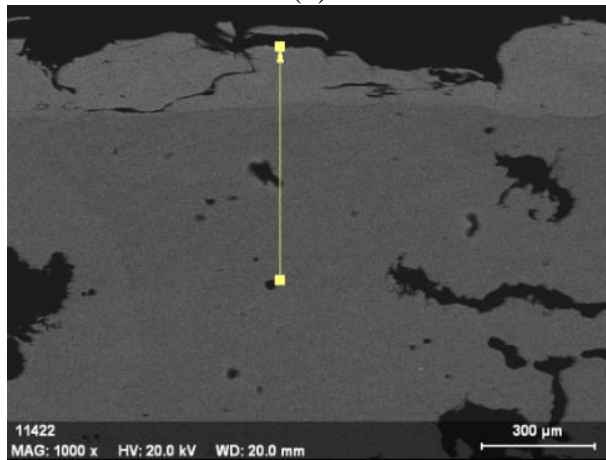
**Şekil 5.25 :** D3 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.



(a)

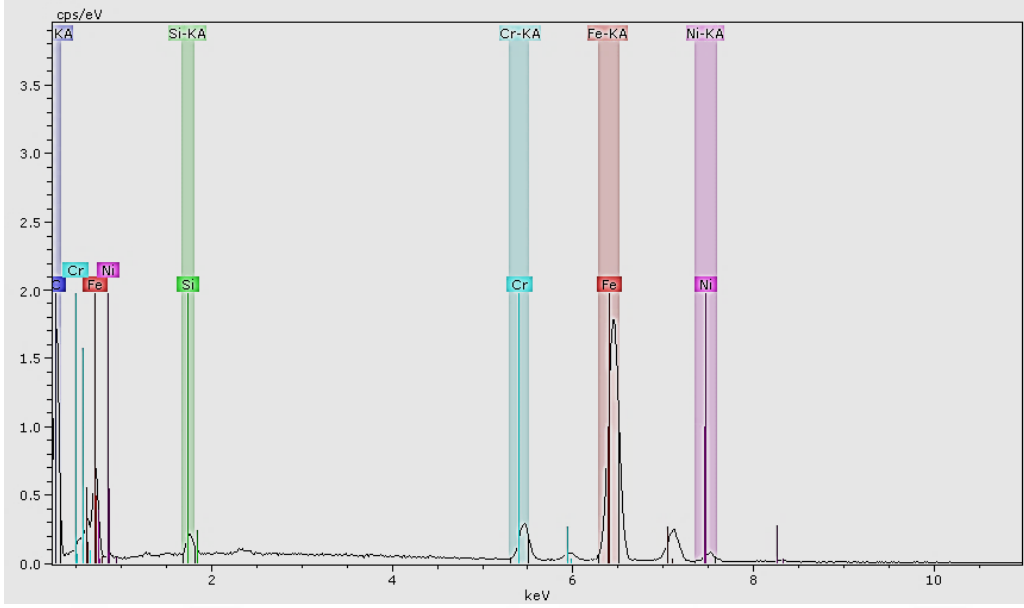


(b)

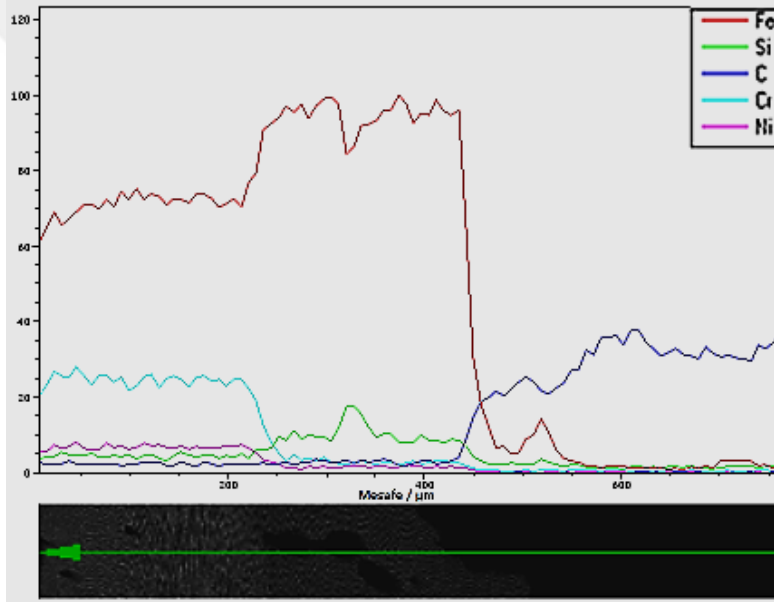


(c)

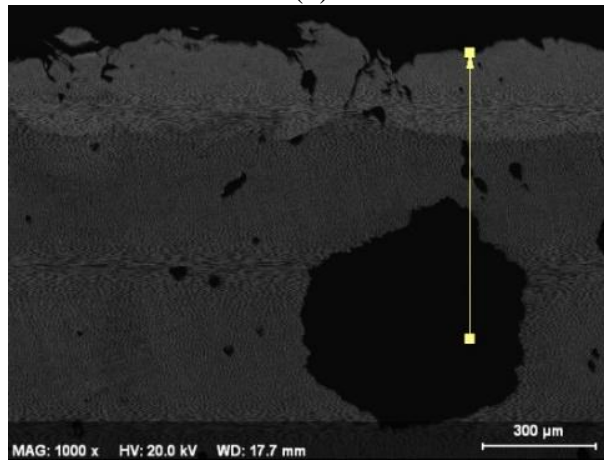
**Şekil 5.26** : D6 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.27 : D9 kodlu dökme demirin, paslanmaz çelik elektrot ile ESD kaplama sonrası EDX (a), Line-EDX (b) ve SEM-EDS (c) görüntüleri.

ESD kaplama sonrası EDX, Line-EDX ve SEM-EDS görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 de görüldüğü gibi altlık malzeme yüzeyinde kaplama oluşturulmuştur. EDX analizlerindeki Cr, ve Ni varlığından altlık üzerine paslanmaz çelik elektrot kaplamanın gerçekleştiği ve kaplamanın homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Line-EDX analizinde EN JS 1050 malzemesinde ve elektrotta ana element Fe olduğundan dolayı Fe pikleri en yüksek oranda ve kaplamadan altlık malzeme içlerine kadar görülmektedir. Şekil 5.27 (b)'de kaplama bölgesinden altlık malzemeye geçişte Fe piki artmış ve aynı bölgede de Cr piki tam tersi şekilde azalmıştır. Bu bize kaplama varlığını göstermektedir. Kaplamanın içine doğru Fe pikini ani olarak düşüşünün ve C oranının artmasının nedeni ölçüm noktasının grafit üzerinden geçmesidir.





## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Elektrosark Biriktirme (ESD) yöntemi kullanılarak saç şekillendirme kalıplarında yaygın olarak kullanılan üç farklı kalıp malzemesinin paslanmaz çelik elektrot ile kaplanabilmesi için optimum ESD çalışma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmış ve çalışılmıştır. Elektrot olarak SAE 316 paslanmaz çelik, altlık malzeme olarak Ck45 (AISI/SAE 1045), DIN: 1.2379 ve EN JS 1050 (GGG 50) malzemeler kullanılmıştır. Her bir malzeme için elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir.

Ck45 için:

1. Kaplamalar ve kaplama ara yüzeyleri %30 çıkış gücü ile %70 çıkış gücünde görülürken %50 çıkış gücünde çok az bir kaplama görülmüş ve kaplama ara yüzeyi görülmemiştir.
2. SEM ve EDX analizlerine göre çıkış gücünün %30 olduğu numunelerde frekansın artmasının kaplama kalınlığını arttırmadığı görülmüştür. %30 çıkış gücünde frekansın 300 Hz iken kaplamanın 400 ve 500 Hz 'e göre daha yüksek miktarda sağlandığı görülmüştür.
3. SEM ve EDX analizlerine göre çıkış gücünün %50 ve %70 olduğu numunelerde frekansın artmasının kaplama kalınlığını arttırdığı görülmüştür.
4. Çıkış gücü %70 tercih edilen kaplamalarda yüksek güce bağlı sıcaklık artışı sonucu ergiyen katmanın tercihli olarak çok katman olarak uygulanmasından sonra yüzeyde bölgesel mikro-çatlaklar içeren bir kaplama tabakası elde edilmiştir.
5. Kaplama tabakasından karbonun ters difüzyonundan dolayı sementit ( $Fe_3C$ ) ve elektrottan gelen Cr'dan dolayı  $Cr_7C_3$  karbür yapısı oluşma durumu vardır.
6. Üç farklı çıkış gücünün en yüksek frekansı olan 500 Hz değerinde kaplanan numunelere yapılan EDX analizinde Cr ve Ni varlığı %70 çıkış gücünde görülmüş olup bu durum elektrottan altlık malzemeye Cr ve Ni elementlerinin geçtiğini ve kaplamanın başarı ile uygulandığını göstermektedir.

1.2379 için:

1. SEM, EDX ve optik mikroskop resimlerine göre %30 çıkış gücünde artan çıkış gücü ve frekans ile birlikte kaplama kalınlığının arttığı görülürken, %50 çıkış gücünde frekansın 300 Hz'den 400 Hz'e çıktığında kaplama kalınlığı artarken, 500 Hz'de azaldığı görülmüştür. %70 çıkış gücünde ise frekansın 300 Hz'den 400 Hz'e çıktığında kaplama kalınlığı çok fazla azalma göstermiş olup 500 Hz de tekrardan artmış ve diğer frekanslardan daha yüksek bir miktara ulaştığı görülmüştür.
2. Frekanstan bağımsız olarak düşünüldüğünde artan çıkış gücünün kaplama kalınlığını arttırdığı görülmüştür.
3. Çıkış gücünün yükseldiği kaplamalarda (%50 ve %70) altlık malzemenin kaplamaya yakın bölgelerinde hızlı soğumadan dolayı tane incelemeleri görülmüştür.
4. Paslanmaz çelik elektrot ile kaplanması sonucunda karbon eş değerinin ağırlık % 0.45 oranını geçtiği için çatlama riski yüksek grubuna girmektedir ve bazı kaplamalarda kısmi çatlaklar görülmüştür.
5. Kaplamada altlık malzemeye yakın bölgelerde perlit-sementit yapıda fazlar oluşurken, altlık malzemedeki bulunan ve elektrottan gelen Cr miktarının C'a göre çok daha fazla olmasından dolayı kaplama tabakasında Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> karbür yapılarının var olduğu ve sertliğin bu karbür ağları vasıtasıyla arttığı düşünülmelidir.
6. Üç farklı çıkış gücünün en yüksek frekansı olan 500 Hz değerinde kaplanan numunelere yapılan EDX analizinde Cr kaplamadan altlık malzemeye kadar sürekli varlığı malzeme içinde bulunan Cr'dan kaynaklanmakta olup, kaplama ile altlık malzeme arasında Cr piklerinin dalgalı hareket etmesi ve altlık malzemeye doğru azalan bir grafik çizmesi kaplamanın başarı ile yapıldığının ve altlık malzemeye Cr geçtiğini gösterir.

EN-JS 1050 için:

1. SEM, EDX ve optik mikroskop resimlerine göre %30 çıkış gücünde artan frekans ile birlikte kaplama kalınlığı önce artıp daha sonra azaldığı görülmüştür. %50 çıkış gücünde ise, frekansın artması ile birlikte azalan bir kalınlık artışı görülmektedir. %70 çıkış gücünde ise 300 Hz ve 500 Hz de kaplama kalınlığı görülmüştür. Bu çıkış gücünde elde edilen kalınlıklar çok fazla olmayıp numune yüzeyinde gözle görülür miktarda pürüzlülük ve yanmalar görülmüştür.

2. Genel olarak grafit yapısına denk gelen kaplama bölgelerinde grafitin artan ısı etkisi ile C yayındırması sonucunda grafitin küresel şeklinde bozulmalar görülmüştür.

3. Üç farklı çıkış gücünün en yüksek frekansı olan 500 Hz değerinde kaplanan numunelere yapılan EDX analizinde kaplama bölgesinde Cr piklerinin varlığı elektrottan altlık malzemeye Cr geçtiğini ve kaplamanın yapıldığını göstermektedir.

Genel olarak üç malzemenin paslanmaz çelik elektrot ile kaplanması değerlendirildiğinde kaplama kalınlığının Ck45 ve 1.2379 malzemede artan çıkış gücü ile birlikte artarken, EN JS 1050 malzemesinde yetersiz tutunma, yüzeyde pürüzlülük artışı ve yanmalara sebep olduğu görülmüştür. Kaplama sırasında kullanıcının elektrotu hızlı hareketi sonucunda genel olarak üst üste binmeyen ergimiş damlacıkların alt katmanı tam olarak eritememesi veya çok sayıda ergimiş damlanın yığılması sonucu poroziteler görülmüştür. Seçilen bu üç malzemeye 316 paslanmaz çelik elektrot ile optimum kaplamayı yapmak için Ck45 ve 1.2379 malzemeler için %70 çıkış gücü ve 500 Hz de sağlanırken, EN JS 1050 malzemesinde %50 çıkış gücü ve 400 ve 500 Hz de sağlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Korkmaz, K.** (2008). *Elektrospark biriktirme yöntemiyle mikro alaşımlı çeliklerin tungsten karbür ile kaplanması*. (Doktora tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [2] **Welsh, N.C.**, (1958). Surface Hardening of Non-ferrous Metals by Spark Discharge. *Nature*, 181(4614), 1005–1006.
- [3] **Ramaswami, R., & Raj, S. L.** (1973). A study of wear and surface finish during spark erosion machining of high speed tool steel. *Wear*, 24(2), 153–160.
- [4] **U.S. Department Of Defense.** (2006). *Electrospark deposition for depot- and field-level component repair and replacement of hard chromium plating* (Rapor No: WP-0202-FR). Washington: Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP).
- [5] **Fotovvati, B., Namdari, N., & Dehghanghadikolaei, A.** (2019). On coating techniques for surface protection: A review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3, 28.
- [6] **Goyal, T., Walia, R.S., Sidhu, T.S., & Samir, S.** (2012). A review on coating technology processes and recent advancements. *Conference: National Conference on Advances in Manufacturing Technology (NCAMT'2012)*. Chandigarh, India: National Institute of Technical Teachers Training & Research.
- [7] **Dehghanghadikolaei, A., Mohammadian, B., Namdari, N., & Fotovvati, B.** (2018). Abrasive machining techniques for biomedical device applications. *Juniper Online Journal Material Science*, 5, 1.
- [8] **Hortig, D., & Schmoeckel, D.** (2001). Analysis of local loads on the draw die profile with regard to wear using the FEM and experimental investigations. *Journal of Materials Processing Technology*, 115, 153–158.
- [9] **Semiatin, S.L.** (2006). *ASM Handbook, Volume 14B, Metalworking: Sheet Forming*. Ohio, US. ASM International.
- [10] **Yalçın, B., Ergene, B., & Nar, S.** (2019). 1.2367 Takım çeliğinden imal edilmiş enjeksiyon yolluk burcunda hasar analizi ve geometrik tasarımda iyileştirme ile hasarı önleme. *International Journal of Technological Sciences, Vol. 11, No 3*, 137–146.
- [11] **Roberts, G., Krauss, G., & Kennedy, R.** (1998). *Tool Steels: 5th Edition*, ASM International.
- [12] **Koçak, H.** (2006). Sağlam Metal, *Takım Çelikleri El Kitabı*. Yonca Ajans - Ofset Matbaacılık.

- [13] Wick, C., & Veilleux, R.F. (1985). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook Vol. 3 Materials, Finishing, and Coating*. Michigan, US.
- [14] Onan, M. (2017). Ağaç endüstrisinde kesici malzeme olarak kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin korozyon ve tribo-korozyon davranışının incelenmesi. (Doktora tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [15] Flenner, P. (2007). *Carbon Steel Handbook*. EPRI, Palo Alto, CA.
- [16] Wick, C., Benedict, J.T., & Veilleux, R.F. (1984). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook Vol. 2 Forming*. Michigan, US.
- [17] Linner, E.G., (1994). *Welding Metallurgy - Carbon and Alloy Steels, Volume I - Fundamentals. Fourth Edition*, Miami, Florida, USA, American Welding Society.
- [18] Fotovvati, B., Namdari, N., & Dehghanghadikolaie, A. (2019). On Coating Techniques for Surface Protection: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3, 28.
- [19] Url-1 < [https://www.steelconstruction.info/Metallic\\_coatings](https://www.steelconstruction.info/Metallic_coatings)>, erişim tarihi 07.03.2021.
- [20] Wang, X.Z., Masood, S.H., & Dingle, M. (2007). Tool wear prediction on sheet metal forming die of automotive part based on numerical simulation method. *5th Australasian Congress on Applied Mechanics, (ACAM 2007)*. Brisbane, Australia.
- [21] Url-2 < <https://yenaengineering.nl/coating-methods-for-metal-surfaces/>>, erişim tarihi 07.03.2021.
- [22] Celis, J. P., (1995). A systems approach to the tribological testing of coated materials. *Surface and Coatings Technology*, 74/75, 15–22.
- [23] Saraçoğlu, M.H. (2007). D2 çeliğinden üretilmiş ve değişik şartlarda plazma nitrülenmiş zimbaların aşınma davranışının incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [24] Burakowski, T., & Wierzchoń, T. (1999). *Surface Engineering of Metals Principles, Equipment, Technologies*. Warsaw, Poland. CRC Press.
- [25] Buytoz, S., & Yılmaz, O. (2003). GTA yöntemi kullanılarak FeCrC ve WC kaplanmış sade karbonlu SAE 1020 malzemesinin aşınma davranışının araştırılması. *Mühendis ve Makina Dergisi*, Sayı:519.
- [26] Baptista, A., Silva, E., Porteiro, J., Míguez, J., & Pinto, G. (2018). Sputtering physical vapour deposition (PVD) coatings: A critical review on process improvement and market trend demands. *Coatings*, 8, 402.
- [27] Mattox, D.M., (2010). *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing Second edition*, Burlington, MA, USA, Elsevier Inc.
- [28] Creighton, J.R., & Ho, P. (2001). *Introduction to Chemical Vapor Deposition (CVD)*, Albuquerque, NM, USA, ASM International.
- [29] Pedersen, H., & Elliott, S.D. (2014). Studying chemical vapor deposition processes with theoretical chemistry. *Theoretical Chemistry accounts*, (133), 5, 1476.

- [30] Rockett, A., (2008). *The Materials Science of Semiconductors, Book*, New York, USA, Springer Science+Business Media.
- [31] Liljengren, M., Kjellsson, K., Johansson, T., & Asnafi, N. (2006). Die materials, hardening methods and surface coatings for forming of high, extra high & ultra high strength steel sheets (HSS/EHSS/UHSS). *International Deep Drawing Research Group's (IDDRG)*. Porto, Portugal.
- [32] Dunleavy, C. S., Golosnoy, I. O., Curran, J. A., & Clyne, T. W. (2009). Characterisation of discharge events during plasma electrolytic oxidation. *Surface & Coatings Technology*, 203, 3410–3419.
- [33] Toygun, Ş., Köneçoğlu, G., & Kalpaklı, Y. (2013). General principles of Sol - Gel. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31, 456–476.
- [34] Altuncu, E., & Üstel, F. (2017). Termal sprej kaplama sektöründe son gelişmeler. *Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası Metalurji dergisi*, 184, 43–47.
- [35] Shaikh, M.S.N.M., & Ahuja, B.B., (2021). Effects of primary and secondary metallization techniques on the performance of electric discharge machining (EDM) electrode produced by additive manufacturing and composite coating. *Materials Today: Proceedings*, 41, 874–885.
- [36] Johnson, R.N., & Sheldon, G.L. (1986). Advances in the electrospark deposition coating process. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 4, 6.
- [37] Padgurskas, J., Kreivaitis, R., Rukuiža, R., Mihailov, V., Agafii, V., Kriūkienė, R., & Baltušnikas, A. (2017). Tribological properties of coatings obtained by electro-spark alloying C45 steel surfaces. *Surface & Coatings Technology*, 311.
- [38] Gould, J., (2011). Application of Electro-Spark Deposition as a Joining Technology. *Welding Journal*, 90, 191-197.
- [39] Kahlon, C.S., Baker, H.J., Noble, C.F., & Koemgsberge, F. (1969). Electric Spark Toughening Of Cutting Tools And Steel Components. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 10, 95-121.
- [40] Ribalko, A.V., & Sahin, O. (2006). A modern representation of the behaviour of electrospark alloying of steel by hard alloy. *Surface and Coatings Technology*, 201, 1724–1730.
- [41] Topaç, H. (2014). *Çelik Yüzeylerin Elektrosark Alaşım Yöntemi Kullanılarak Kromkarbür-Nikelkrom İle Kaplanması*. (Yüksek lisans tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [42] Lesnjak, A. & Tusek, J. (2003). Some characteristics of electrospark deposition. *Zeitschrift Für Metallkunde*, 94(11), 1260–1266.
- [43] Leo, P., Renna, G., & Casalino, G. (2017). Study of the direct metal deposition of AA2024 by electro spark for coating and reparation scopes. *Applied Sciences*, 7, 945.

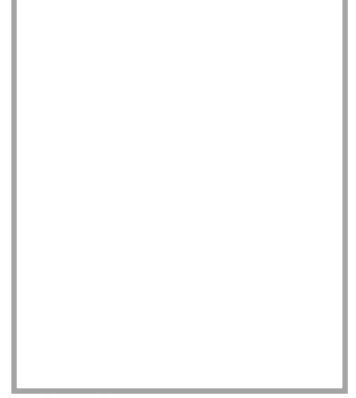
- [44] Lesnjak, A. & Tusek, J. (2002). Processes and properties of deposits in electrospark deposition. *Science and Technology of Welding and Joining*, 7:6, 391-396.
- [45] Wang, Y., Ma, H., & Li, X. (2015). Interface behavior of tungsten coating on stainless steel by electro spark deposition. *MATEC Web of Conferences*, (Vol. 35, p. 01006). EDP Sciences.
- [46] Jiao, Z., Peterkin, S., Felix, L., Liang, R., Oliveira, J. P., Schell, N., ... Zhou, Y. (2018). Surface Modification of 304 Stainless Steel by Electro-Spark Deposition. *Journal of Materials Engineering and Performance*, doi: 10.1007/s11665-018-3579-0
- [47] Wang, P. Z., Pan, G. S., Zhou, Y., Qu, J. X., & Shao, H. S. (1997). Accelerated electrospark deposition and the wear behavior of coatings. *Journal of materials engineering and performance*, 6(6), 780-784.
- [48] Mlynarczyk, P., Spadlo, S., & Bartos, J. (2019). Selected properties of electro-spark deposition on carbon steel using the Alloy 400 electrodes. *5th International Conference Recent Trends in Structural Materials*. Pilsen, Czech Republic: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [49] Wang, J., Meng, H., Yu, H., Fan, Z., & Sun, D. (2009). Characterization and wear behavior of WC-0.8Co coating on cast steel rolls by electro-spark deposition. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Vol. 16, No 6, 707–713.
- [50] Talaş, Ş., Gökçe, B., & Kayalı, Y. (2018). A Research On The Difference Between Automated And Hand Made ESD Coatings Produced On Steel Plates. *5th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'18)*. Sarajevo/Bosnia and Herzegovina. September 26-28.
- [51] Talas, Ş., Mertgenç, E., & Gökçe, B. (2016). ESD coating of copper with TiC and TiB<sub>2</sub> based ceramic matrix composites. *14th International Symposium on Advanced Materials*. Islamabad, Pakistan: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. October 12-16.
- [52] Çakmakkaya, M., Bozkurt, A., Çetkin, A., & Talas, Ş. (2016). ESD Yöntemi ile dizel motor piston yüzeyine Ni kaplamanın termal analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*.
- [53] Rukanskis, M. (2019). Control of metal surface mechanical and tribological characteristics using cost effective electro-spark deposition. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, Vol. 55, No 5, 607–619.
- [54] Johnson, R.N., & Bailey, J.A. (2005). *Electro-spark deposited coatings for replacement of chrome plating* (Rapor No: ARAET-CR-05002). New Jersey: Armament Research, Development And Engineering Center.
- [55] Penyashki, T., Kostadinov, G., Mortevev, I., & Dimitrova, E. (2017). Investigation of properties and wear of WC, TiC and TiN based multilayer coatings applied onto steels C45, 210CR12 and HS6-5-2

deposited by noncontact electrospark process. *Journal of the Balkan Tribological Association*, Vol. 23, No 2, 325–342.

- [56] **Johnson, R.N.** Alternative Coatings for Wear and Corrosion: The Electrospark Deposition Process. *Pacific Northwest National Laboratory*. Erişim Tarihi Mart 20, 2021 İtibaren <https://www.nmfr.org/pdf/awk02/awk02d06.pdf>.
- [57] **Huang, H., Liu, C., & Guo, S.** (2016). Simulation study of electro spark deposition on die steel. *4th International Conference on Mechanical Materials and Manufacturing Engineering*. Yibin, China: Department of Modern manufacturing, Yibin Vocational and Technical College.
- [58] **Aghajani, H., Hadavand, E., Peighambaroust, N., & Khameneh-asl, S.** (2019). Electro spark deposition of WC–TiC–Co–Ni cermet coatings on St52 steel. *Surfaces and Interfaces*, Vol. 18 (2020).
- [59] **Li, Z., Gao, V., & He, Y.** (2001). Protection of a Ti3Al–Nb alloy by electro-spark deposition coating. *Scripta Materialia*, 1099–1105.
- [60] **Guesser, W.L., Masiero, I., Melleras, E., & Cabezas, C.S.** (2005). Thermal conductivity of gray iron and compacted graphite iron used for cylinder heads. *Revista Matéria*, Vol. 10, No 2, 265–272.
- [61] **Wang, G., & Li, Y.** (2020). Thermal conductivity of cast iron - A review. *China Foundry*, Vol. 17, No 2, 89–95.
- [62] **Wilson, R.G.** (1966). Vacuum Thermionic Work Functions of Polycrystalline Be, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Pt, and Type 304 Stainless Steel. *Journal Of Applied Physics*, Vol. 37, No 6, 2261–2267.
- [63] **Renna, G., Leo, P., Casalino, G., & Cerri, E.** (2018). Repairing 2024 Aluminum Alloy via Electrospark Deposition Process: A Feasibility Study. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2018.
- [64] **Frangini, S., & Masci, A.** (2010). A study on the effect of a dynamic contact force control for improving electrospark coating properties. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 204(16–17), 2613–2623.
- [65] **Pirtovšek, T. V., Kugler, G., & Terčelj, M.** (2013). The behaviour of the carbides of ledeburitic AISI D2 tool steel during multiple hot deformation cycles. *Materials Characterization*, 83, 97–108.
- [66] **Onan, M., Atapek, Ş.H., & Zor, S.** (2017). Corrosion Behavior Of Heat Treated AISI D2 Tool Steel Used In Wood Industry. *International Conference On Energy And Thermal Engineering: Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey: 25-28 April*
- [67] **Gao, Y., Zhao, C., Fang, Z., & Yi, J.** (2011). Microstructures and Wear Properties of Micro-nanostructure Coating on Cast Iron Rolls by Electro-spark Deposition. *Advanced Materials Research*, Vols. 160–162, 176–181.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Orhan DEMİRBILEK



### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİMLER:

- 2019-2021 yılları arasında Yıldız Kalıp A.Ş' de Proje Mühendisi
- 2021-Halen Kroman Çelik Sanayi A.Ş' de Kangal Haddehaneler Üretim Mühendisi