

**ELEKTRO KIVILCIM YÖNETİMİ ile YAPILAN
BALİSTİK AMAÇLI KAPLAMALARIN
TEST EDİLMESİ ve KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem COŞKUN

Danışman

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

**METALURJİ ve MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ ANBİLİM DALI**

Şubat 2019

Bu tez çalışması 18.FEN.BİL.49 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRO KIVILCIM YÖNETİMİ ile YAPILAN BALİSTİK
AMAÇLI KAPLAMARIN TEST EDİLMESİ ve
KARAKTERİZASYONU

Adem COŞKUN

Danışman
Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Adem COŞKUN tarafından hazırlanan "Elektro Kıvılcım Yöntemi ile Yapılan Balistik Amaçlı Kaplamaların Test Edilmesi ve Karakterizasyonu" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Bilimi Mühendisliği **Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Başkan : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Doç. Dr. Yusuf KAYALI
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rıza KARA
Uşak Üni. Teknik Bilimler M.Y.O.

İmza


.....

.....

.....

.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRO KIVILCIM YÖNTEMİ ile YAPILAN BALİSTİK AMAÇLI
KAPLAMALARIN TEST EDİLMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Adem COŞKUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Endüstride birçok alanda mekanik ve konstrüksiyon amaçlı kullanılan çelik malzemeler yüzeylerine yapılan kaplamalar ile malzeme yüksek korozyon ve aşınma dirençleri sergileyebilmektedir. Bu çalışmada A ISI 1008 çeliği altlık numuneleri yüzeyine Elektro-Kıvılcım (ESD) yöntemiyle Tungsten(W), Tungsten Karbür (WC) ve Alaşımli Çelik elektrotlarla farklı volt ve frekanslarda kaplama gerçekleştirilmiştir.

ESD yöntemi, metalik malzemelerin yüzeylerine yaygın yöntemlerin yanı sıra daha iyi bir bağ yapan ve iyi bir yapışma sağlayan elektrik akımlarının meydana getirdiği plazma sayesinde yüzeyde metal biriktirmesini sağlayan küçük bir ark kaynak yöntemidir. Bu çalışmada çelik numuneler Tungsten(W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımli Çelik elektrotlarla kaplanmış, numunelerin kaplama öncesi ve kaplama sonrası sertlikleri ve kaplama tabaka kalınlıkları irdelenerek mevcut kaplamalar balistik amacıyla incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda alaşımli çelik elektrot ile kaplamada ana malzemenin yaklaşık iki katı, tungsten elektrot ile kaplamada ana malzemenin yaklaşık üç katı ve tungsten karbür elektrot ile kaplamada ana malzemenin yaklaşık beş katı sertlik elde edilmiştir.

2019, xi + 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: ESD Kaplama, Balistik İnceleme, W, WC ve Alaşımli Çelik

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

TESTING AND CHARACTERISATION OF ELECTRO SPARK DEPOSITION
COATINGS FOR BALLISTIC PURPOSES

Adem COŞKUN

Afyon Kocatepe University

Institute of Natural Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Şükrü TALAŞ

Steel materials used for mechanical and construction purposes can exhibit high corrosion and abrasion resistance with coatings made on their surfaces. In this study, the surface of AISI 1008 steel pad substrate was coated with Tungsten (W), Tungsten Carbide (WC) and Alloy Steel electrodes at different volts and frequencies by Electro-Spark Deposition (ESD) method.

The ESD method is a small arc welding method that allows metal deposits on the surface, thanks to the common methods for the surface of metallic materials, as well as the plasma that brings about a better bond and good adhesion of the electric currents. In this study, the steel samples were coated with Tungsten (W), Tungsten Carbide (WC) and Alloy Steel electrodes, and the pre-coating and post-coating hardnesses and coating layer thicknesses of the samples were examined and the existing coatings were examined for ballistic purposes. As a result of the analyzes made, hardness was obtained about twice as much as the main material in the coating with the alloy steel electrode, about three times in the coating with the tungsten electrode and about five times as much as the main material in the coating with the tungsten carbide electrode.

2019, xi + 63 pages

Keywords: ESD Coating, Ballistic performance, WC, W and Alloy steel

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın, Prof. Dr. Şükrü TALAŞ, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Proje kapsamında sağladığı maddi imkanlar nedeniyle Afyon Kocatepe Üniversitesi, 18.FEN.BİL.49 numaralı projeyi desteklediği için Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna,

Bu araştırma boyunca manevi desteklerinden dolayı eŐime ve aileme teşekkür ederim.

Adem COŞKUN
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Electro- Kıvılcım Yığma(ESD) Kaplama Metodu	3
2.1.1 ESD Kaplama İşleminin Tarihçesi	3
2.1.2 Elektro- Kıvılcım Yöntemi ve Uygulanma Şekli	5
2.1.3 ESD Yönteminin Kullanımındaki Avantajlar	10
2.1.4 ESD Yönteminin Kullanın Alanları	11
2.2 Balistik Bilimi ve Tarihçesi	13
2.3 Balistik Türleri.....	14
2.3.1 İç Balistik(İnternal Balistik)	14
2.3.2 Dış Balistik(Eksternal Balistik).....	14
2.3.3 Terminal Balistik	14
2.3.4 Adli Balistik.....	16
2.4 Penetrasyon - Perforasyon Teorisi ve Mekanizması	16
2.5 Düşük Enerjili Darbe Testleri.....	17
2.5.1 Sarkaç Testleri (Izod ve Charpy).....	17
2.5.2 Ağırlık Düşürme Testleri.....	18
3. MATERYAL METOT	20
3.1 Kullanılan Malzeme ve İşlemler.....	20
3.1.1 ESD Yöntemi ile Numunelerin Kaplama İşlemi	21
3.1.2 Kaplanmış Olan Numunelerin Mikro Sertliklerinin Alınması	22
3.1.3 Kaplanan Numunelerin Ağırlık Düşürme Testleri	23

3.1.4 Kaplanan Numunelerin Metalografik İşlemleri.....	26
3.1.5 Karakterizasyon İşlemleri.....	29
4. BULGULAR	31
4.1 Kaplamaların Makro Görüntülerin Analizi	31
4.2 Kaplama Sertliklerinin Analizi.....	33
4.3 Kaplama Kalınlıklarının Analizi	35
4.4 AISI 1008 Altlık Üzerine Alaşımli Çelik Kaplama Karakterizasyonu	45
4.5 AISI 1008 Altlık Üzerine Tunsten(W) Kaplama Karakterizasyonu	47
4.6 AISI 1008 Altlık Üzerine Tunsten Karbür(WC) Kaplama Karakterizasyonu	50
4.7 Kaplama Numunelerin Ağırlık Düşürme Test Analizleri	52
5. SONUÇLAR.....	58
6. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
C	Karbon
Cr	Krom
°C	Derece
dk	Dakika
gr	Gram
Hz	Frekans
j	Joule
K	Kelvin
Kj	Kilojoule
nm	Nanometre
μ	Mikron
sn	Saniye
Si	Silisyum
T	Sıcaklık
V	Volt
W	Tungsten
WC	Tungsten Karbür
%	Yüzde
α	Alfa

Kısaltmalar

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
ESD	Electro Kıvılcım Biriktirme
EDX	X-Ray analizi
HV	Vikers sertlik
S.S.C.B.	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X-ışını difraksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 ESD Kaplama Sisteminin Basit Şematik Gösterim	6
Şekil 2.2 ESD Kaplama Sisteminin Şematik Gösterimi	7
Şekil 2.3 ESD Prosesinin Kaplanmak İstenecek Malzemeye Parça Bırakımı	8
Şekil 2.4 Farklı Darbe Durumlarında Muhtemel Kırılma Şekilleri	15
Şekil 2.5 İstatiksel Hızın İfadesi	16
Şekil 3.1 İş Akış Şeması.....	20
Şekil 4.1 Frekansları 210 Hz Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.	36
Şekil 4.2 Frekansları 890 Hz Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.	36
Şekil 4.3 Frekansları 1570 Hz Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.....	36
Şekil 4.4 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşım Çelik Kaplamanın XRD Sonucu	45
Şekil 4.5 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşım Çelik Kaplamanın EDX Sonucu	46
Şekil 4.6 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşım Çelik Kaplamanın Çizgi Analizi.....	46
Şekil 4.7 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımın XRD Sonucu	47
Şekil 4.8 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımın EDX Sonucu....	48
Şekil 4.9 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşım Çelik Kaplamanın Çizgi Analizi.....	48
Şekil 4.10 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür Kaplanan Alaşımın XRD Sonucu	50
Şekil 4.11 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımın EDX Sonucu	51
Şekil 4.12 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımın Çizgi Analizi	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Farklı Malzemelerin Standart V Çentik, Charpy ve Izod Enerjileri	18
Çizelge 3.1 AISI 1008 Çeliği ile ESD kaplama sırasında kullanılan numune sayıları...	21
Çizelge 3.2 AISI 1008 Çelginin W, WC ve Alaşımli Çelik ile ESD Kaplama Sırasında Kullanılan Voltaj ve Frekansları.....	21
Çizelge 3.3 Alaşımli Çelik Elektrotun Kimyasal Özellikleri	21
Çizelge 4.1 Kaplama Sonrası Sertlik Değerleri	34
Çizelge 4.2 Frekans ve Voltları Farklı Olan W, WC ve Alaşımli Çelik Kaplanan Numunelerin 500x Büyütmede Ölçülen Kaplama Kalınlıkları.....	35
Çizelge 4.3 AISI 1008 Çelik Plaka Üzerine 160 Volt ve 1570 Hz.Kaplanan Alaşımli Çelik, Tungsten(W) ve Tungsten Karbür(WC) Numunelerinin 800gr Yük Altında 64km/h hızda serbest deformasyon İz Genişliği, İndent Genişliği ve İndent Derinlikleri(mm).....	56

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Elektro Kıvılcım Yöntemi (ESD)	5
Resim 2.2 ESD Yöntemi ile AISI1008 Çeliği Yüzeyine W, WC ve Alaşımli Çelik KaplamaYöntemi	7
Resim 2.3 Farklı Geometriye Sahip Darbe Test Uçları(a) Düz, (b)Yarı Küresel, (c) Ogival, (d)Konik	19
Resim 3.1 Electro Kıvılcım Cihazı (ESD)	22
Resim 3.2 Mikro Sertlik Cihazı	23
Resim 3.3 Ağırlık Düşürme Test Cihazı	23
Resim 3.4 Ağırlık Düşürme Test Cihazı Makara Sistemi	24
Resim 3.5 Numune Sabitleme Kısmı Yandan Görünümü	24
Resim 3.6 Numune Sabitleme Kısmı Üsten Görünümü	25
Resim 3.7 İşlenmiş Uçlar	25
Resim 3.8 Numunelerin Sıcak Kalıplama Bakalite Alınma İşlemi.....	26
Resim 3.9 Numunelerin Sıcak Kalıplama Bakalite Alma.....	26
Resim 3.10 Mikro Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi	27
Resim 3.11 Mikro Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi	27
Resim 3.12 Mikro Yapı Analizi İçin Çuha ve Alimüna ile Parlatma İşlemi	28
Resim 3.13 Optik Mikroskopta Mikro Yapı İncelemesi	28
Resim 3.14 LEO 1430 VP Model SEM Cihazı.....	29
Resim 3.15 Shimadzu 6000 XRD Cihazı.....	30
Resim 4.1 Yüzeyleri WC ile Kaplanan Numuneler	31
Resim 4.2 Yüzeyleri Alaşımli Çelik ile Kaplanan Numuneler	32
Resim 4.3 Yüzeyleri W ile Kaplanan Numuneler.....	32
Resim 4.4 a)Tungsten(W) Kaplama 1'inci Numune 48 V 210Hz, b) 2'nci Numune 104V 210Hz, c) 3'ncü Numune 160 V 210Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	37
Resim 4.5 a)Tungsten(W) Kaplama 4'üncü Numune 48 V 890Hz, b) 5'inci Numune 104 V890Hz, c) 6'ncı Numune 160 V 890Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	38

Resim 4.6 a) Tungsten(W) Kaplama 7'nci Numune 48 V 1570Hz, b) 8'inci Numune 104 V 1570Hz, c) 9'uncu Numune 160 V 1570Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	39
Resim 4.7 a) Tungsten Karbür(WC) Kaplama 1'inci Numune 48 V 210Hz, b) 2'nci Numune 104 V 210Hz, c) 3.Numune 160 V 210Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	40
Resim 4.8 a) Numune Tungsten Karbür(WC) Kaplama 4'ncü Numune 48 V 890Hz, b) 5'nci Numune 104 V 890Hz, c) 6'ncı 160 V 890Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	40
Resim 4.9 a) Tungsten Karbür(WC) Kaplama 7'nci Numune 48 V 1570Hz, b) 8'inci Numune 104 V 1570 Hz, c) 9'ncu Numune 160 V 1570Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	41
Resim 4.10 a) Alaşımli Çelik Kaplama 1'nci Numune 48 V 210 Hz, b) 2'nci Numune 104 V 210 Hz, c) 3'ncü Numune 160 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	42
Resim 4.11 a) Alaşımli Çelik Kaplama 4'üncü Numune 48 V 890 Hz, b) 5'inci Numune 104 V 890 Hz, c) 6'ncı Numune 160 V 890 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	43
Resim 4.12 a) Alaşımli Çelik Kaplama 7'inci Numune 48 V 1570 Hz b) 8'inci Numune 104 V 1570 Hz c) 9'uncu Numune 160 V 1570 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları	44
Resim 4.13 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşımli Çelik Kaplamanın SEM Görüntüsü	45
Resim 4.14 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımının SEM Görüntüsü	48
Resim 4.15 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımının SEM Görüntüsü	50
Resim 4.16 (a,b,c) Yüzeyleri 160 V 1570 Hz Kaplanan Numuneler	52
Resim 4.17 AISI 1008 Çeliği Üzerine Kaplamasız Serbest Deformasyon İzi	53
Resim 4.18 AISI 1008 Çeliği Üzerine Alaşımli Çelik Kaplama Serbest Deformasyon İzi	53
Resim 4.19 AISI 1008 Çeliği Üzerine W Kaplama Serbest Deformasyon İzi	54
Resim 4.20 AISI 1008 Çeliği Üzerine WC Kaplama Serbest Deformasyon İzi	54

- Resim 4.21** AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformasyon İndent Genişliği55
- Resim 4.22** AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformasyon İz Genişliği.....55
- Resim 4.23** AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformason İndent Derinliği...56

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstrisinde kullanılan makine, cihaz ve ekipmanlarına ait parçaların çalışma prensipleri incelendiğinde büyük çoğunluğunda makinelerin sadece yüzeylerinin genelde çalıştığını bu sebeple en çok çalışan yüzeylerin yorulduğunu görmekteyiz. Yıpranan bu yüzeylerin, makinenin diğer ekipmanlarına bütününe göre düşük veya yüksek sürtünme katsayısına sahip, çalışma alanına göre ısıya, aşınmaya ve korozyona daha mukavemetli, daha sert v.s. olması gerektirdiğini fark etmekteyiz. Gerekli koşulların yerine getirilmesi yani malzeme yüzeyinde istenilen özellikleri taşıyan kimyasal ve fiziksel özelliklerin sağlanması değişik teknolojik proseslere dayanmaktadır. Bunlar mekanik, kimyasal, fiziksel, termal v.s. yöntemlerdir. Bu yöntemler bağımsız bir şekilde kullanılabilirdiği gibi bir birleri ile komplike halinde de kullanılmaktadır. Bir kaplama prosesi ile yüzey özellikleri artırılmış olan metalik alaşımlar veya metal matrisli kompozitler geliştirilen yüzey işlemleri sayesinde birçok alanda yaygın olarak kullanılabilirler. Ana malzememizin yüzeyi değişik özelliklere sahip malzemelerle kaplanır bu şekilde yeni geliştirilen yüzey direk olarak çalışırken, asıl ana malzemenin yapısının fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük bir ölçüde değişikliğe uğramamaktadır.

ESD ile kaplama yönteminde; alaşımı sağlayan anot malzemesi ile alaşımlanan diğer bir ifadeyle kaplanacak olan numune katot yüzeyi arasında sağlam bir şekilde yapışan bir kaplama tabakası meydana gelmektedir. Bu kaplama iki yüzey arasında belirli bir sınır oluşturmaz ve anot malzemesinin katot malzemesine karışımı gerçekleşir. Kaplama tabakasının kimyasal yapısı incelendiğinde tabakanın üst kısmı tamamen anot elektrotun kimyasal yapısına sahiptir. Yüzeyden katot ana malzemeye doğru inildikçe anot malzemesinin yüzdesi sifira yaklaşmakta ve kaplama tabakası optik mikroskopta açıkça görülmektedir. ESD kaplama yönteminde sistem mikro hacim gerçekleşmekte ve hızlı yapılmaktadır. Bu nedenle altlık malzememizin yüzeyinde yani katotta ısı birikimi gerçekleşmez. Kaplama esnasında meydana gelen her bir spark çok kısa süre içerisinde olduğu için ergiyik halde bulunan anot elektrot, katot olan ana malzememizi ısıtırmaz. Bu nedenle ısı altında özellikleri değişebilen malzemelerin Elektro-Spark yöntemi ile kaplanması daha elverişlidir. Ayrıca kaplama yüzeyinde önemli bir temizlik

ihtiyacına gerek duyulmaz. ESD yönteminde elektrik iletkenliği olan metal ve alaşımlar rahatlıkla kaplanabilmektedir. ESD kaplama yöntemi ile elde edilen sert yüzey kaplamalar, aşınmaya tabi yüzeylerde, yüksek sıcaklıklarda, oksitlenmeye ve korozyona tabi tutulan şartlar altında çalışan büyük parçalara uygulandığı gibi küçük parçalarda da aşınma dirençlerini arttırmak ve malzeme yüzeylerini korumak ve malzemenin kullanım ömrünü artırmak amacıyla da yapılmaktadır.

Bu çalışmamızda düşük karbonlu 148 HV sertliğe sahip AISI 1008 çeliği üzerine Elektro-Kıvılcım Alaşım biriktirme yöntemi ile farklı frekans ve voltlarda Tungsten(W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımlı Elektrot ile kaplama yapılarak bu kaplamaların malzeme yüzeyinde meydana getirdiği sertlik değerlerinin darbe direnci karşısında balistik özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine yapılan teori ve uygulamaları sunulacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Electro- Kıvılcım Yığılma(ESD) Kaplama Metodu

2.1.1 ESD Kaplama İşleminin Tarihçesi

Elektriksel yük boşalmasından ibaret olan kıvılcım atlama, Eski Yunanlı filozoflarının sürtünmeyle oluşan kıvılcımları gözlemledikleri tarihten itibaren elektro-kıvılcım olayı bilinmektedir. Çoğunlukla “ Elektro- Kıvılcım” ifadesi birbirine yapışık denecek kadar yakın cisimler arasındaki elektriksel potansiyel farkın eşik değeri aşması sonucu elektrik yükünün yer değiştirmesinin meydana gelmesidir. Kısaca elektrik ark kaynağının mikro boyutta gerçekleşmesi olarak da ifade edebiliriz (Topaç 2014). Elektro kıvılcım ile kaplama (ESD) yönteminde, malzeme yüzeyinde meydana gelen kullanımdan kaynaklanan yıpranma, aşınma ve boyutsal değişiklikleri düzeltmek için belirlenen mukavemet doğrultusunda istenilen elektrot malzemesini metalik veya iletken altlık yüzey üzerine biriktirmek için değişken frekans ve voltaj değerleri kullanılır (Bozkurt 2018).

1768 yılında İngiliz bilim adamı Joseph Priestley elektro-kıvılcım yönteminin metaller üzerinde erozif bir etki meydana getirdiğini tespit etmiş, daha sonra ise bu erozif sürecin yüzey karakteristiğine olumlu sonuçlar verdiğini 1924 yılında H. S. Rawdon'un gerçekleştirdiği çalışmalarla tespit edilmiştir (Yılmaz 2012).

Rawdon demir bir kütle ile yine ince bir demir elektrod kullanarak bu iki malzeme yüzeyi arasına yüksek gerilim uygulamış ve aralarında elektrik boşalmasıyla meydana gelen kıvılcımların demir kütle yüzeyine damlalar halinde yapışarak çok daha sert bir tabakanın meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ortaya çıkan bu mukavemet artışını kıvılcımların meydana getirdiği yüksek ısının etkilediği bölgenin ani bir şekilde soğuması neticesinde demir kütle yüzeyinde martenzit dönüşümünün gerçekleşmesiyle olduğunu belirtmiştir (Korkmaz 2008).

1957 yılında da N.C.Welsh, çelik malzemelerin yüzeyinde sürtünme ile meydana gelen yüksek ısının yüzeyler üzerindeki etkilerini araştırırken Rawdon'un daha önce tespit ettiği bulgularla karşılaşmıştır. Welsh sürtünme ile meydana gelen ısı etkiyi simule etmek için elektrik kıvılcımlarının ısı etkilerinden yararlanmışır. Welsh daha sonraki araştırmalarında da azot ve karbon elementlerinin kolayca emilebildiği atmosfer veya yağlayıcıların bulunduğu değişik ortamlarda yapılması halinde yüzey sertliğinde önemli bir miktarda artış meydana geldiğini gözlemlemiştir. Yapılan araştırmalarda, yağ içerisinde titanyum yüzeyler üzerinde elektro kıvılcım oluşturularak, TiC içeriği yüksek yüzeyler elde edilmiş ve sonuç olarak aşınma direnci düşük, daha mukavemetli, yüzeyi daha dayanıklı bir malzeme haline getirilmiştir (Korkmaz 2008).

1943 yılında Lazarenko ve çalışma arkadaşları elektro-kıvılcım yöntemi ile ilk defa metal araçların yüzeylerinin işlenmesi süreçlerini ve metal yüzeylerinde yeni ve bileşim olarak farklı bir tabaka oluşumunu sağlayarak kaplama çalışmalarını gerçekleştirmiş, bu şekilde elektro-kıvılcım yönteminin temellerini atmışlardır. Son dünya savaşı sürecinde ve sonrasında Rusya da elektro-kıvılcım kaplama prosesi hakkında önemli bir ilerleme gerçekleştirmiş, aşınmaya maruz kalan makine elamanlarının yüzeylerinin sertleştirilmesi ve bu şekilde makine elamanlarının ömürlerinin uzatılması araştırmalarında kayda değer çalışmalar sağlanmışır.

Günümüzde sanayinin her alanında yaygın bir biçimde kullanılan çeliğin kullanıldığı bir çok yerlerde, çeliğin hem mekanik özelliklerini artırmak ve hemde yüzey özelliklerini iyileştirmek için çelik yüzeyine kendi iç yapısından farklı malzemelere sahip elektrotlarla Elektro Kıvılcım yöntemi ile kaplamalar gerçekleştirilmiş ve bu kaplamalar farklı testlerde incelenmiştir. Bu doğrultuda 316 paslanmaz çelik yüzeyine kaplanmak üzere WC, Cr C gibi çok sert, Co içeren orta sertlikteki alaşımlar ve Ag gibi daha yumuşak metaller içeren değişik elektrot malzemeleri kullanılmışır. Bu elektrotlar ile paslanmaz çelik yüzeylerine gerçekleştirilen kaplamalar yüksek darbeli aşınma ve burulma testlerine tabi tutulmuş, paslanmaz çelik numunelerin aşınma ve burulmaya karşı yüksek direnç gösterdikleri tespit edilmiştir (Korkmaz 2008).



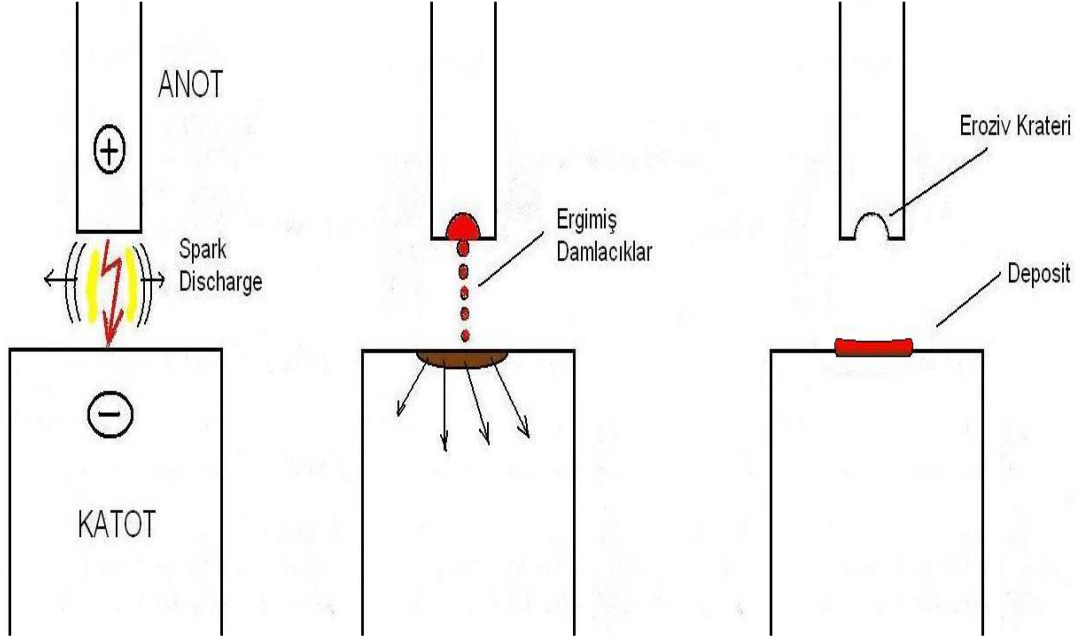
Resim 2.1 Elektro Kıvılcım Yöntemi (ESD).

Elektro Kıvılcım yöntemi ile ilgili araştırmaların büyük bir oranı Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (S.S.C.B.) tarafından gerçekleştirilmiş, Sovyet kaynaklı akademik yayınlarının bir çoğunda ESD kaplama yönteminin aşınmaya maruz kalan makine elemanlarında (türbin bıçakları, torna takımları, miller, kalıplar, matkap uçları gibi) kullanılarak aşınmış olan söz konusu parçaların tamir, servis ve ticari kullanım ömürlerinin artırılması konusunda başarılı ve yaygın bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Mısırlıoğlu 2006).

2.1.2 Elektro- Kıvılcım Yöntemi ve Uygulanma şekli

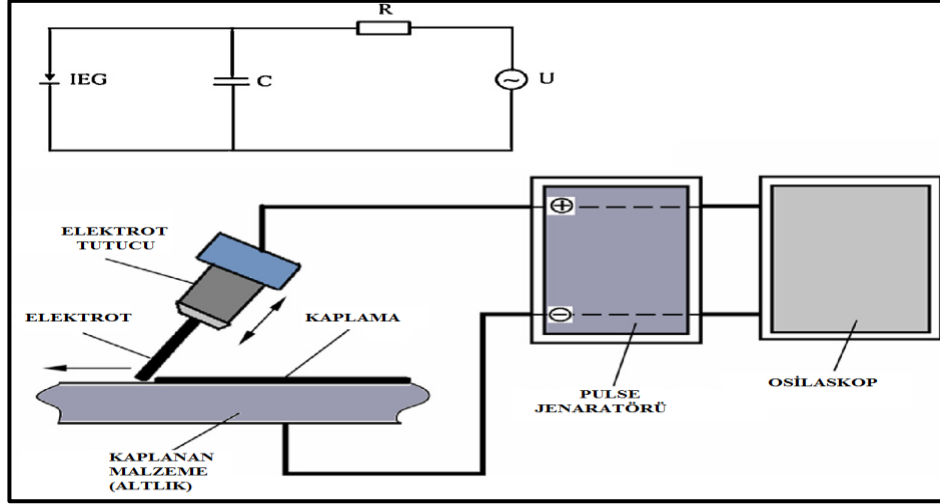
Elektro- Kıvılcım yöntemi metal yüzeylerinin özelliklerini değiştirerek gerek koruyucu atmosfer ortamında veya korumasız atmosfer ortamında birbirlerine belirli süre içerisinde temas ettirilen anot bir elektrot ile katot bir iletken altlık malzeme yüzeyi arasında RC(Direnç Kapasitör Esaslı Frekans Jeneratörü) bir elektrik devresinin yardımı ile kısa süreli yüksek akımlı kare veya sinüsoydal şekilli dalgaların oluşturmuş olduğu elektro- kıvılcımların mikron boyutundaki damlalar halinde elektrot ucundan koparak

ayrılması, ergimiş damlacıklar halinde atlık numune yüzeyine yönelerek sahip olduğu ısının etkisiyle atlık malzemenin yüzeyini de ergiterek yapışmasıyla gerçekleşen bir kaplama şeklidir.



Şekil 2.1 ESD Kaplama Sisteminin Basit Şematik Gösterimi (Korkmaz 2008).

Diğer bir ifadeyle ise, ESD kaplama yöntemi çok kısa süre zarfında (mikro saniyeler içinde) yüksek elektrik akım sıçramasının elektrik potansiyel farkından dolayı gerçekleştirilmesiyle altlık malzeme ile elektrot malzemesi arasında meydana gelen mikro elektrik kıvılcımlar sayesinde elektrot malzemesinin mikro boyuttaki damlacıklarının yerçekimi, statik ve dinamik kuvvetlerin tesiriyle altlık malzeme yüzeyine yapışması ya da transfer olmasından ibarettir (Topaç 2014).



Şekil 2.2 ESD Kaplama Sisteminin Şematik Gösterimi (Bozkurt 2018).

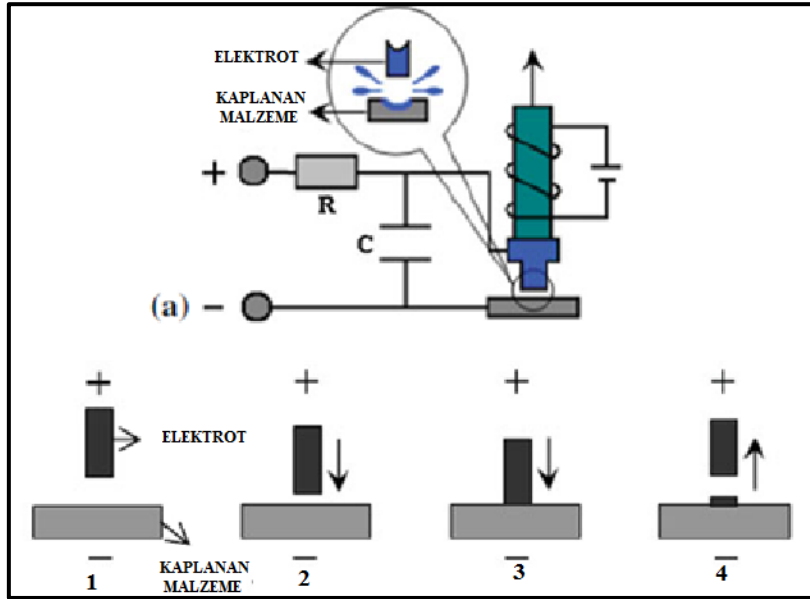
ESD uygulamasında; Elektrod olarak kullanılan malzeme (anot malzemesi), kaplanacak malzeme yüzeyi (katot yüzeyin) üzerinde iyi bir mukavemet ile tutunarak kaplama tabakasını meydana getirmektedir. Bu şekilde anot malzemesi ile katot malzemesi arasında karışım gerçekleşmiş olur (Topaç 2014).



Resim 2.2 ESD Yöntemi ile AISI 1008 Malzeme Yüzeyi Tungsten (W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımli Çelik ile Kaplama Yöntemi.

Elektro- Kıvılcım kaplama işlemi tamamen mikro hacim ve hızda cereyan etmektedir. Bu nedenle kaplama yapılacak olan malzeme yüzeyinde aşırı ısı birikimi söz konusu değildir. ESD prosesinde her bir kıvılcım çok kısa bir zamanda meydana geldiği için ergiyik kıvama gelen anot elektrot katot olan ana malzeme yüzeyinde veya kütleinde aşırı bir ısınma etkisi meydana getirmez. Bu sebeple ısıya maruz kaldıklarında veya yüksek ısı ile muamele edildiklerinde karakteristik yapısı değişebilen malzemelerin kaplanmasında ESD yöntemi daha elverişli bir yöntemdir.

ESD işlemi için en sık olarak kullanılan güç kaynağı bir doğru akım (DC) doğrultucu ve deşarj devresinden oluşmaktadır. DC doğrultucunun hedefi, alternatif akım (AC) girişini, bir dizi kapasitörü şarj etmek için kullanılan doğru akıma (DC) çevirmektir. Voltajı ve frekansı parametreleri genellikle güç kaynağı üzerinde ayarlanmaktadır. Kondansatörleri boşaltmak için güç kaynağı ya bir dirençli kondansatör (R-C) ya da mikroişlemci kontrollü bir boşaltma devresinden yararlanır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 ESD Prosesinin Kaplanmak İstenen Malzemeye Parça Bırakımı (Bozkurt 2018).

Kaplama esnasında darbeler şeklinde uygulanan yüksek elektrik akımı ana malzeme ve elektrot malzemesi arasındaki küçük boşluktan geçerken temas alanında erime meydana getirecek kadar ısı oluşmasına neden olur. Fakat gerçekleşen akımın çok kısa sürede

cereyan etmesi nedeniyle ergime tamamlanır ve ani soğuma meydana gelir. Bu sebeple ana malzemeye geçen ısının yayılmasına imkan tanınmış olur. Altlık malzemesinin ısısında önemli bir oranda değişimin olmaması ısıdan etkilenen bölgenin minimize olmasını sağlayarak kaplama tabakası dışındaki mikro yapıda bir değişikliğin olmasını engeller (Topaç 2014).

Arkın meydana gelmesini sağlayan dielektrik ortam (hava, argon vb.) sayesinde enerjinin boşaldığı tabaka plazma da elektrot ve altlık arasında iyonize bir kanal meydana getirerek boşalan akımı sürdürür. ESD işleminin yapıldığı ortam gazı kütle transferi işleyişini ciddi bir şekilde etkiler. Hava ve nitrojen gibi gazlar aşırı termal iletkenliğe sahip bir plazma meydana getirerek damlacık şeklinde kütle akışına sebep olurlar (Kou 2002). Bu sayede elektrotun uç kısmında erimiş damlacıklar meydana gelir ve plazmanın hareketlendirmesiyle altlığa düşer. Altlığa düşen damlacıklar yüzeye çarptıktan sonra dağılarak ve yayılarak pürüzlü ve kalın bir kaplama yüzeyinin oluşmasına sebep olur. Fakat ark ortamında kullanılan argon gazı kolayca iyonize olarak daha düşük termal iletkenliğe sahip bir plazma meydana getirerek ve ark sırasında iletken etrafında oluşan manyetik sıkıştırma etkisi ile de eriyik metal damlacıklarının ince partiküller şeklinde yüzeye doğru fırlamasını sağlar. Temel olarak ark sırasında kullanılan ortam gazlarının etkisi, damlanın yüzey enerjisini etkileyerek transfer modlarını değiştirmektir (Kou 2002, Lancaster 1980). Sprey şeklinde yüzeye gerçekleşen kütle taşınımı, damlacık şeklinde gerçekleşen kütle taşınımına göre daha pürüzsüz ve daha düzgün dağılmış bir kaplama tabakası meydana getirir, ancak akımın bu aşamada yüksek olması gerekir (Kou 2002, Lancaster 1986). Kütle taşınımının ilk tabakaları elektrot ve altlığın ilk önce erimiş ve daha sonra katılmış olan kısmından meydana gelir. Kütle transferi ile ilk katman üzerine yeni katmanlar meydana getirilince kaplama bölgesinin kimyasal yapısı kullandığımız elektrotun kimyasal yapısına ulaşır buda hedefimiz olan koruyucu kaplama tabakamızın oluşumunun tamamlandığını bize gösterir (Mısırlıoğlu 2006).

2.1.3 ESD Yönteminin Kullanımındaki Avantajlar

ESD yönteminin kaplama tekniği olarak çoğu alanda kullanılması, bu yöntemin diğer kaplama yöntemlerine göre bazı avantajlara sahip olmasından ileri gelmektedir. (Başargan 2010);

- Kaynak prosesi olmasına rağmen her bir kıvılcımdaki enerji çok düşük miktarda olup altlık katot malzemesinde yoğunlaşan ısı miktarı düşüktür ve böylece ana malzemede önem arz edecek bir mikro yapı değişimi söz konusu değildir. Ayrıca malzemede fiziksel çarpılmalar meydana gelmez. Çok ince olan kaplama tabakası dışında ana malzemenin sıcaklığı işlem esnasında bile değişmez ortam sıcaklığında kalır (Mısırlıoğlu 2006).
- Bazı alaşımlar amorf yapıya sahipken, yüksek hızlı soğumadan kaynaklı nano yapılar oluşabilmektedir.
- Isıya tabi tutulan bölge (Heat Affected Zone) çok küçük bir alan olduğundan sadece birkaç mm derinliğe etki eder dolayısıyla altlık malzemesinin küçük bir bölümünde ısınma söz konusu olur.
- ESD yöntemi benzer kimyadaki diğer kaplamalarla kıyaslandığında, yüksek yapışma mukavemeti, iyi kaynaşmış metalürjik bağ, iyi bir aşınma ve erozyon özellikleri sergilemektedir.
- Elektrot malzemesiyle altlık katot malzemesi arasında bir alaşım söz konusudur bu nedenle ara yüzeyde ıslatmayı sağlamak için ayrıca ara bir tabakaya ihtiyaç duyulmaz.
- Kaplamalar farklı kalınlıkta ve kompozisyonda meydana gelebilir. Örneğin Kobalt-Krom tabanlı ve haynes alaşımlar bu prosesle üretilen alaşımlardandır. Ayrıca kompozit kaplamalar içinde bu yöntem kullanılabilir.
- ESD yönteminde minimum düzeyde yüzey ön hazırlık işlemleri gerekmekte olup, metal yüzeylere direk olarak uygulanabilmektedir.
- Elektriksel iletken bir malzeme bir metalik ana malzeme üzerine depozit (biriktirme) edilebilmektedir.
- Uygulanan yöntem basit olup, kullanıcının el becerisi en uygun kaplamaların gerçekleşmesine imkan sağlar

- Elektrot ebatının küçük olması ve uygulama hızının düşük olması nedeniyle küçük ve çıkıntılı geometriye sahip yüzeylerde çok iyi bir kaplama imkânı sunar (Başargan 2010).
- Kaplama işlemi tekrar edilebilir olup, kolay bir şekilde kontrol sağlanmaktadır.
- ESD kaplama ekipmanları kolay bir şekilde taşınacak ve kurulabilecek ebatlardadır.
- ESD prosesi ile malzemelerin yüksek yük karşısında sürtünme özelliklerinde iyileşme sağlar ve yüksek ısılarda mükemmel seviyede aşınma ve korozyon dayanımı sunar.
- Kaplama işlemi için çok özel atmosferik şartların oluşturulmasına gerek yoktur (Topaç 2014).
- Operatörlerin eğitimi oldukça kolaydır.
- Karmaşık şekilli yüzeylere rahatlıkla uygulanabilir.
- İşlem sonucunda metalurjik bağlarla yapışmış bir kaplama tabakası elde edilir.
- Kullanıcı açısından tehlikeli ve zararlı unsurlar içermez (Mısırlıoğlu 2006).

2.1.4 ESD Yönteminin Kullanım Alanları

ESD yöntemi uygulanarak yapılan kaplamalar oldukça sert aşınmaya dayanıklı yüzeylerde kullanılırken, çeşitli alaşım metallere faydalanan kompozit kaplamalar ise yüksek sıcaklık, oksitlenmeye ve korozyona maruz koşullarında çalışan komponentlerin yüzeylerini korumak için uygulanmaktadır. Belli başlı küçük komponentler; mil yatakları, blade (kanatçık), torna ve matkap aynalarında, dişlilerde, pompalar, shaft tertibatında, araç-gereçlerde, kalıp ve lokmalarda, valf yatakları, enjektör uçları vs olup bunların yanında döküm kalıpcılığında veya girintili çıkıntılı küçük yüzeylerde hataların giderilmesi, tamir onarım gibi birçok maksatla kullanılan ESD prosesinin aşağıdaki ana başlıklar altında uygulamaları sıralanabilir: Kaplama prosesleri, bir makinenin çalışan bir parçasının sadece yüzey kısmında bir takım özellikleri değiştirmekle o parçanın çalışma koşullarının bütünüyle uyum ve tepkisini geliştirmeyi amaçlayan geniş bir aralıktaki bir takım metotları kapsamaktadır. ESD kaplama yönetimi ile AISI 1020 ve 1018 karbon çelik numuneler üzerinde TiB₂ kaplaması yapılarak ultra sert yüzeyler elde edilmiştir (Agarwal, Dahotre1998). HSS takım çelikler üzerinde yapılan ESD

kaplamalarında da takım çeliklerin çalışma süresi % 2000 arttırılmıştır (Topaç 2014). Çelik haricinde endüstride yaygın bir şekilde kullanılan Ti6Al4V alaşımına da daha iyi özellikler kazandırmak amacıyla saf Ni elektrot kullanılarak ESD ile kaplama yöntemiyle çatlaksız, üniform ve metalurjik bağlı Ni-Ti alaşım bir deposit tabaka elde edilmiştir (Topaç 2014).

ESD prosesinin kullanımındaki avantajlar aşağıda belirtilmiştir (Başargan 2010);

- Oksitlenmeyi azaltmak veya engel olmak,
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında termal yükleri azaltmak,
- Aşınma, erozyon ve aşındırma direncini geliştirmek,
- Korozyon direncini arttırmak,
- Bakım maliyetlerini azaltmak,
- Sıcak korozyonu ya da sülfidasyonu azaltmak veya engel olmak,
- Aşındırabilme ve boyutsal restorasyon için.

ESD prosesinin kullanım alanları aşağıda verilmiştir (Korkmaz 2008);

- Gemi inşası ve karmaşık parçalarında,
- Tıp ve dişçilikte cerrahi ve muayene aletlerinde,
- Nükleer, fosil ve jeotermal enerji ortamlarda,
- Havacılık ve uzay uygulamaları için yüksek sıcaklık komponentlerinde,
- Endüstriyel kesici takımlarında,
- Metal işleme ve el aletlerinde,
- Buhar ve gaz türbin kanatçıkları kaplamalarında,
- Metal kesme makaslarında,
- Ormancılıkta; tomruk, ağaç ve kağıt ürünleri işleme aletlerinde,
- Yüksek sıcaklık sensörlerinde,
- Petrokimya ve ilaç endüstrisinde kullanılan sistemlerde,
- Kalıp dökümcülüğünde vs.
- Büyük ebatlarda tarım ve tekstil ekipmanların aşınmaya dirençli yüzeylerinde,

2.2 Balistik Bilimi ve Tarihçesi

Fransızca "balistique" sözcüğünden gelen bir kelime olup, uzaya fırlatılan cisimlerin, özellikle mermilerin gerek bir silahın içindeki gerekse dışındaki devinimlerini ve hedef üzerindeki etkisini inceleyen bilimdir. Bir başka deyişle, mermilerin itme kuvveti, uçuşu ve çarpma etkisini inceleyen bir bilimdir (Alim 2009).

Balistik bilimi ilk kez barut kullanımı ile başlamaktadır. Çinlilerin 10. Yüzyıldan önceki yıllarda barut kullandıkları, 12. Yüzyılda Müslüman Endülüslerin, İspanya'da, kolayca tutuşabilen tozlarla uğraştıkları, 13. Yüzyılda da Hindistan'da barut kullanılmış olduğuna dair bulgular mevcuttur. Ancak barutun ilk önce kimler tarafından bulunduğu ve hangi amaç doğrultusunda kullanıldığı tam olarak netlik kazanmamıştır (Çelikel 2008).

Günümüzde balistik bilimlerinin temelleri 1800'lü yılların ortalarında ortaya çıkmıştır. Zamanla bu yıllarda ortaya konulan prensipler ilerleyen yıllarda giderek geliştirilmiş ve 20. yüzyılın başlarında balistik bir bilim olarak literatürde kendisine yer edinmiştir. 1835 yılında Londra'da Hery Goddard isimli bir polis memuru, mermi çekirdeği kıyaslaması yapan ilk kişi ünvanını almıştır. Bu polis memuru suç mahalinden elde edilen ve üzerinde çentik izleri bulunan mermi çekirdeği ile kendisinin geliştirdiği ve hepsinde aynı çentiği taşıyan mermi çekirdeklerinin benzerliğini karşılaştırarak katilin yakalanmasını sağlamıştır. 1863 yılında Amerikan iç savaşında Virginia Chancellorsville'de Komutan General Stonewall Jakson'un bir şekilde yaralanıp ölmesi olayında, elde edilen mermi çekirdeğinin şekil ve çapından tanımı yapılmıştır. Bu mermi çekirdeğinin incelenmesi sonucu generalin kendi askerlerinden biri tarafından kazara vurulduğu anlaşılmıştır (Çelikel 2008). 1897 yılında Minnesota Edward Lawlor, mermi çekirdeklerinde bulunan set izlerinin basit tanımını yapmıştır. Winona kentinde, üç genç silahlı yaralamalı kavga eder bu kavgada birisi 32 cal. Smith Wesson diğeri ise 32 Cal. Hood Revolveri markalı iki silah kullanılır. Şahıslardan bir tanesi tabanca ile öldürülür. Sağ kalan kişilerden hangisinin katil olduğunun tespit edilmesi için silahların balistik incelemesi yapılır. Duruşmada bilirkişi uzmanı olarak dinlenen silah tamircisi, SmithWesson marka silahın namlusunun yivli ve setli olduğunu, Hood marka revolverin

namlusunun düz olduğunu belirtmesi üzerine, cesetten elde edilen mermi çekirdeklerinin incelenmesi sonucu katilin Hood marka revolveri kullanan kişi olduğu tespit edilmiştir (Alim 2009).

2.3 Balistik Türleri

2.3.1 İç Balistik(İnternal Balistik)

Ateşli silah mekanizmalarında ateşlemeyi başlatan iğne hareketinden mermi çekirdeğinin namlu ağzını terk edinceye kadar geçen zaman içinde, mermi kovanı ve çekirdeği üzerinde yapılan incelemedir. Bu şekilde iç balistik kısmında kapsül ve kapsülün ateşlenmesi, barut ve barutun yanma hızı, yiv sayıları, namlu uzunluğu ve çekirdeğin silahı terk ediş hızı ile ilgili yapılan çalışmalar incelenir.

2.3.2 Dış Balistik(Eksternal Balistik)

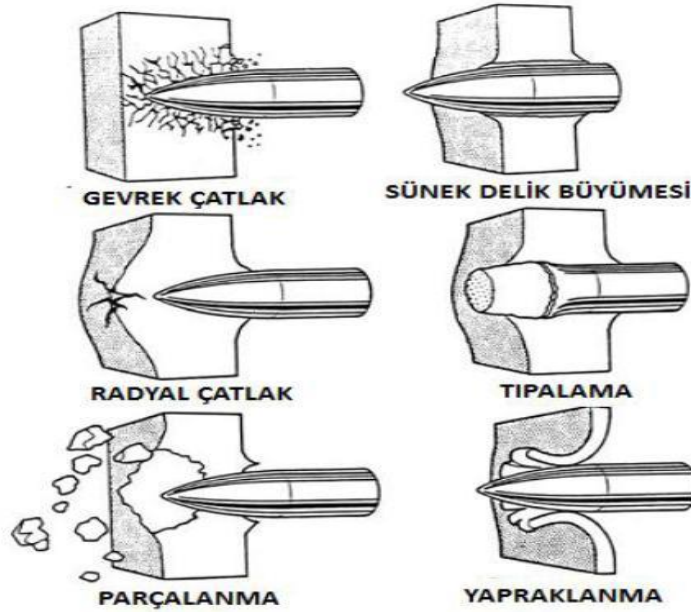
Ateşleme sonrası çekirdeğin namluyu terk etmesiyle birlikte hedef noktaya çekirdeğin çarpma anına kadar geçen süre içerisinde meydana gelen çekirdeğin yörüngedeki hareketi, hava direnci, sapma açısı, yer çekiminin çekirdeğe etkilerinin araştırılması konularını içerir.

2.3.3 Terminal Balistik

Mermi çekirdeğinin hedef noktaya çarptıktan sonra hedefte meydana getirdiği delme gücü, mevcut enerjisini çarptığı cisme ne oranda ilettiği ve meydana getirdiği etki alanı ile ilgilenir. Ayrıca terminal balistiğin bir parçası olan yaralanma balistiğide insan ve hayvanlarda meydana gelen yaralanmalarla ilgilidir. Terminal balistik çalışmaları, hedefte bulunan numunenin kalınlığına göre nitelendirilir. Yarı sonsuz, orta ve ince kalınlıktan meydana gelmektedir. Yarı sonsuz kalınlığa sahip olan hedef zırh malzemesinin arka kısmı, ateşli silah çekirdeğinden etkilenmeyecek büyüklüğe sahiptir, doyasıyla zırh malzemesinin arka kısmında bir değişim olmaz. Yapılan incelemelerde ölçümler mermi çekirdeğinin meydana getirdiği ilk derinlik, derinlik boyutu ve hacimsel genişliktir. Bu kalınlıkta yapılan çalışmalarda genel olarak mermi çekirdeği ile

zırh malzemesi arasındaki fiziksel ve mekanik özellikler araştırılır. Hedef ile ateşleyici sistem arasındaki açı arttıkça balistik limit hızın da arttığı görülmüştür. En düşük balistik limit hız merminin hedef zırha dik olarak çarpması ile elde edilir (Binay 2016).

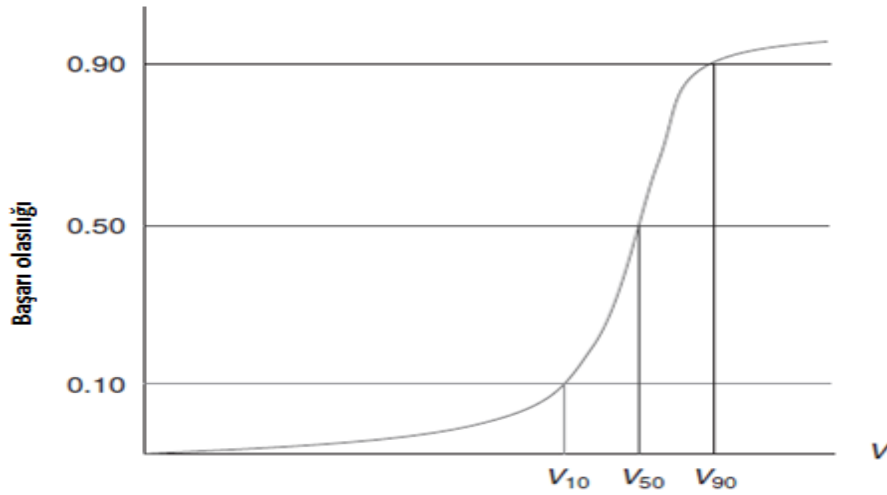
Orta kalınlıktaki zırh çalışmalarında, mermi çekirdeği zırh malzemesini tamamen delerek geçemez fakat zırh tabakanın arka kısmı çekirdek hareketinden etkilenir. Zırh tasarımı üzerine çalışmalar yapan bilim insanları, çekirdek ve orta kalınlıktaki zırhların birbirleri ile ilişkilerini araştırarak gerçek bir zırh tasarımı ortaya koyabilmektedirler. Orta kalınlıktaki zırh hedef ile mermi çekirdeği arasında meydana gelen kırılma mekanizmaları Şekil 2.4’de gösterilmektedir. İnce kalınlıktaki zırh malzemelerinde, mermi çekirdeği zırhı delerek geçer ve zırh malzemesinin çekirdek üzerindeki etkileri araştırılır. Bu şekilde zırh malzemesinin mermi üzerindeki etkileşimi iyi bir şekilde irdelenirse zırh olarak kullanılacak malzeme tasarımı rahat bir şekilde gerçekleştirilecektir.



Şekil 2.4 Farklı Darbe Durumlarında Muhtemel Kırılma Şekilleri (Binay 2016).

Gerçekleştirilen bilimsel çalışma sonuçları; malzemelerin balistik ve mekanik özelliklerinin birbirleri ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Yani malzemelerin mekanik özelliklerinin arttığında balistik özelliklerin de genel olarak arttığı ortaya çıkartılmıştır.

Terminal balistik ifade edilirken sözel literatürün yanında sayısal bilgilerde önem arz etmektedir. V10 ifadesi; ateşli silah ya da bir başka faktörün hedefi %10 oranında delerek geçtiği düşünülür, V50 hedefi % 50 oranında delerek geçmesi, V90 da ise %90 oranında hedefi delerek geçtiği düşünülür. Bu birimler Şekil 2.5’de görülmektedir (Carlucci and Jacobson 2008, Binay 2016).



Şekil 2.5 İstatiksel Hızın İfadesi.

2.3.4 Adli Balistik

Ateşli silahlarla meydana gelen adli olayların artması “Adli Balistik” biriminin doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Ateşli silahlarda kullanılan kovanların ve mermi çekirdeklerinin incelenmesi ile bunların hangi silahlardan atıldığı, çekirdeğin yada saçma tanelerinin hedef üzerindeki dağılma şekillerinden atış mesafesi ve atış yönü hakkında bilgi edinilerek meydana gelen adli olayın kaza yada kasten işlendiğinin tespit edilebilmesi ayrıca olaya karışmış diğer silahların belirlenebilmesi adli balistiğin konuları arasındadır (Çelikel 2008).

2.4 Penetrasyon - Perforasyon Teorisi ve Mekanizması

Penetrasyon farklı tetikleyicilerin zırh tabakası üzerinde meydana getirdiği etkileri inceleyen bir bilim dalıdır. Yüksek hızla ilerleyen çelik yada diğer metal içeren zırh delici malzemelerin sivri olan uç kısımlarının zırh tabakası tarafından sönmülmesi

esasına dayanır. Penetrasyon sürecinde zırh tabakası delinerek karşı tarafa geçme sözkonusu değildir. Yani tehdit unsurun hedef malzeme içerisinde belirli bir miktar ilerledikten sonra durmasıdır. Perforasyon ise tehdit unsurun hedef malzemesinin et kalınlığı boyunca hareketinin sürmesi ve hedef malzemeyi delerek karşı tarafa geçmesi olarak tanımlanır. Tehdit unsurun ve hedef malzemelerin hızları, geometrik yapıları ve zırhın malzeme özellikleri Penetrasyon ve Perforasyon mekanizmalarında farklılık göstermekte ve bu da bilim insanları açısından zırh malzemesinin seçiminde temel kaynak noktasıdır (Binay 2016).

2.5 Düşük Enerjili Darbe Testleri

Günümüzde Kompozit malzemelerin darbe karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla değişik test araçları ve yöntemleri kullanılmaktadır. Düşük enerjili darbe testlerinde kullanılan araçlar ağırlık düşürme test araçları ve sarkaç test araçlarıdır (Aratman 2018).

2.5.1 Sarkaç Testleri (Izod ve Charpy)

Charpy ve Izod düşük darbeli test sistemlerinde, üzerinde çentik oluşturulmuş numune, belirli bir yükseklikten serbest olarak bırakılan bir sarkaç ile darbeye maruz bırakılır. Darbe işleminden sonra sarkacın tırmandığı yükseklik ölçülerek sarkacın ilk ve son durumundaki meydana gelen enerji farkı numune tarafından emilen darbe enerjisi olarak değerlendirilir. Darbe meydana geldikten sonra sarkacın çıktığı yükseklik ne kadar düşük ise, emilen darbe enerjisi, dolayısıyla malzemenin darbe direnci ve malzemenin tokluğunun da o derece yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Charpy ve Izod test sistemleri birbirleri arasında numunelerin desteklenme yöntemi ve çentiğin darbe noktalarına göre konumu olarak ufak farklılıklar göstermektedir (Ceyhun ve Turan 2003). Bu test yöntemleri ile elde edilmiş bazı sonuçlar aşağıda Çizelge 2.1 de verilmektedir.

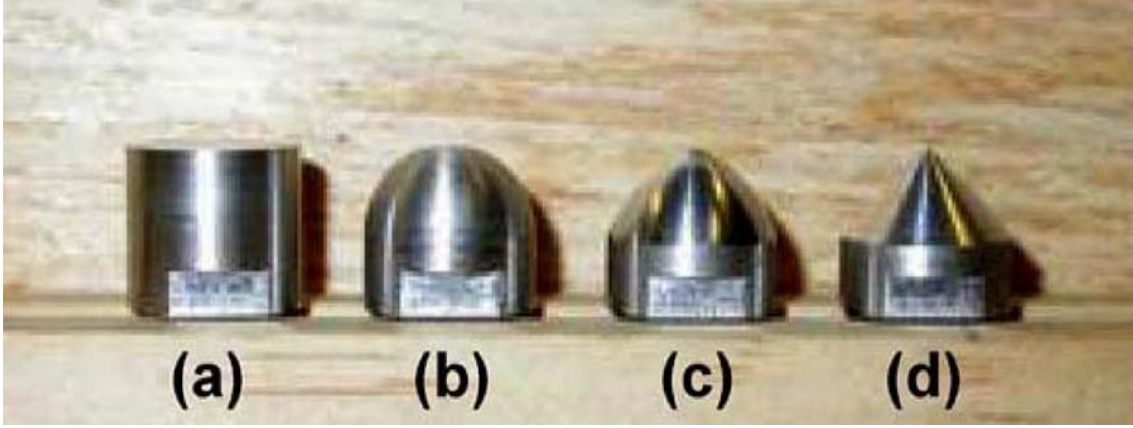
Çizelge 2.1 Farklı Malzemelerin Standart V-Çentik, Charpy ve Izod Enerjileri (Aratman 2018).

Malzeme	Darbe Enerjisi (kJ/m ²)	
	Charpy	Izod
S-Cam/Epoksi (%55 fiber)	734	-
B / Epoksi (%55 fiber)	109-190	-
Kevlar/Epoksi (%60 fiber)	317	158
AS Karbon/Epoksi (%60 fiber)	101-132	33-67
HMS Karbon/Epoksi (%60 fiber)	23	7,5
4340 Çelik (HRC=43-46)	214	-
7075-T6 Alüminyum Alaşımı	153	-
6061-T6 Alüminyum Alaşımı	67	-

2.5.2 Ağırlık Düşürme Testleri

Ağırlık düşürme test sistemi ile daha geniş bir alanda test parametrelerinin incelenmesi ve sonuçlarının kolay bir şekilde analizi yapılabilmektedir. Yüzeyleri zırh amaçlı kaplama yapılan numunelerin balistik ölçümleri basit ağırlık düşürme test düzenekleri ile incelenebilmektedir. Kaplama tabakasının ağırlık düşürme enerjisini absorbe edebilmesi balistik açıdan sistemin önemini ortaya çıkarmaktadır (Malik 1990).

Kompozit oluşumlarda darbe sonucu meydana gelen hasar dokusu darbeyi oluşturan ucun geometrik şekli ile beraber hedefin geometrik şekli ve özellikleri, darbe hızı ve darbe enerjisine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Mitrevski ve ark. (Aratman 2018), karbon-epoksi ince dokuma yapısından oluşan bir kompozit malzemenin Resim 2.3’de farklı geometrileri olan 12 mm çapındaki darbe uçları ile darbe karakteristiklerini araştırmışlardır. Darbenin şiddeti, meydana getirdiği deformasyon miktarı ve darbe zamanını içeren bilgiler ağırlık düşürme testlerinde kayıt altına alınmıştır. Tahribatsız muayene yöntemleri darbe sonrası malzeme de meydana gelen hasar dokusu incelenmiştir (Mitrevski *et al.* 2006).

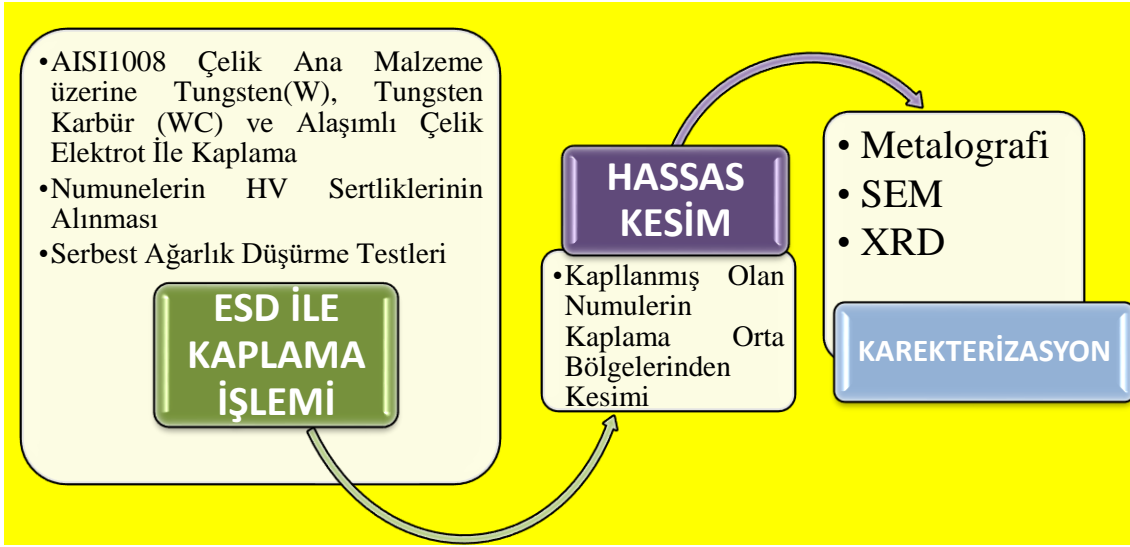


Resim 2.3 Farklı Geometriye Sahip Darbe Test Uçları (a) Düz, (b) Yarı Küresel, (c) Ogival, (d) Konik.

Darbe uçunun geometrik yapısı yüksek hızlarda, mermi ve zırh tasarımı açısından önemli bir etkidir. Yüksek hızlarda darbe etki alanında çok kısa bir zaman içerisinde küçük bir alanda oluşan darbe davranışı tespit edilirken, düşük hızlarda ise malzemenin darbeye karşı daha uzun bir zamanda ve daha geniş bir alanda etki meydana getirdiği, kırılma hareketlerinde ve meydana gelen hasar yapılarında da hıza bağlı olarak farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir (Aratman 2018).

3. MATERYAL METOT

Düşük alaşımlı AISI 1008 çeliğinden elde ettiğimiz 25x25x1,5mm kalınlığında kesilmiş olan düzgün altlık malzeme plakaların orta kısımlarına yaklaşık 15 mm çapında ESD yöntemi ile W, WC ve Alaşımlı Çelik elektrotlarla kaplama yapılacaktır. Kaplama sonrası mikro yapı incelemesi için gerekli metalografik işlemlerin iş akış şeması aşağıda Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 İş Akış Şeması.

Düşük alaşımlı AISI 1008 çeliğinin W, WC ve Alaşımlı Çelik elektrotlarla ESD yöntemi ile kaplanarak gerekli metalografik işlemler sonucunda kaplanmış olduğumuz numune plakaların balistik karakterizasyonları test edilecektir.

3.1 Kullanılan Malzeme ve İşlemler

Balistik amaçlı olarak ESD yöntemi ile kaplanacak 1,5 mm AISI 1008 levha plakadan yaklaşık 25mm - 25mm boyutlarında hazırlanan altlık numuneler üzerine Tungsten Karbür(WC), Tungsten(W) ve Alaşımlı Çelik elektrotlar ile kaplamalar yapılarak, yapılan işlemler bu başlık altında anlatılmaktadır. Numuneler ilk olarak uygun plakalar haline getirilmiştir. Altlık malzemelerinin maksimum kaplama performansı için kaba temizleme işlemi yapılarak gerekli kaplama öncesi hazırlığın yapılması gerekir.

3.1.1 ESD Yöntemi ile Numunelerin Kaplama İşlemi

Elektro-Spark ile kaplama işlemi yapılan AISI 1008 çeliği altlık malzemesinin Tungsten Karbür(WC), Tungsten(W) ve Alaşımli Çelik kaplamaları sırasında kullanılan voltaj, frekans, kullanılan numune sayıları ve alaşımli çeliğin kimyasal yapısı Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 AISI 1008 Çeliği ile ESD kaplama sırasında kullanılan numune sayıları.

Kaplama/ Altlık malzemesi	WC	W	Alaşımli Çelik
AISI 1008	9 tane	9 tane	9 tane

Çizelge 3.2 AISI 1008 Çelginin W, WC ve Alaşımli Çelik ile ESD kaplama sırasında kullanılan voltaj ve frekanslar.

NUMUNE NUMARALARI	VOLTAJ (V)	FREKANS (Hz)
1	48 V	210 Hz
2	104 V	210 Hz
3	160 V	210 Hz
4	48 V	890 Hz
5	104 V	890 Hz
6	160 V	890 Hz
7	48 V	1570 Hz
8	104 V	1570 Hz
9	160 V	1570 Hz

Çizelge 3.3 Alaşımli Çelik Elektrotun Kimyasal Özellikleri.

Malzeme	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr
Alaşımli Çelik	% 0.22	%0.31	%0.9	%0.08	%0.85	%1

Kaplama makinası olarak da 600 W gücünde, 20-160 aralığında voltaj ve 40-2100 Hz aralığında da frekans verebilen SZ-3000 marka ESD kaplama makinası kullanılmıştır. Ayrıca koruyucu atmosfer olarak kaplama bölgesine argon gazı uygulanmış ve yaklaşık 90 saniyede kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplamanın gerçekleştirilebilmesi gereken akım geçişi ve altlık malzemenin sabit bir hızda dönmesinin sağlayan deney düzeneği, kaplama makinasına ait görüntüler Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Elektro Kıvılcım Cihazı (ESD).

3.1.2 Kaplanmış Olan Numunelerin Mikro Sertliklerinin Alınması

Bu işlem, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu işlem ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır (BOZKURT, A.).

Numuneler mikro sertlik deneyinin yapılacağı tablanın üzerine konulmaktadır. Mikro Sertlik cihazının ucu yaklaşık 15 saniye boyunca 4.903 Newton ve HV_{0.5} kg yük uygulayacak şekilde numunenin üzerinde kalmaktadır. Uç otomatik olarak geriye döndükten sonra numune üzerinde yaklaşık pramit şeklinde bir iz elde edilmektedir. Bu izin boyutlarını ölçmek için mikroskop tablası manuel olarak numune üzerine getirilerek köşegenler üzerinden ölçüm gerçekleştirilir. Elde edilen değerler girildikten sonra numunenin mikro sertlik değeri bulunmaktadır (Resim3.2).



Resim 3.2 Mikro Sertlik Cihazı.

3.1.3 Kaplanan Numunelerin Ağırlık Düşürme Testleri

Elektro-Spark ile kaplama işlemi yapılan AISI1008 çeliği altlık malzemesinin Tungsten Karbür(WC), Tungsten(W) ve Alaşımli Çelik elektrotlarla kaplamalarından elde edilen bazı numuneler ağırlık düşme testlerine tabi tutularak darbe dirençlerinin balistik özellikleri incelenecektir. Deney cihazına ait görüntü Resim 3.3’de verilmektedir (Aratman 2018).



Resim 3.3 Ağırlık Düşürme Test Cihazı.



Resim 3.4 Ağırlık Düşürme Test Cihazı Makara Sistemi.

Ağırlık düşürme test cihazı 30mm çapında çelik borudan iki parça halinde imal edilerek alt kısım 1 metre, üst kısım 1,5 metre uzunluğunda toplam 2,5 metre uzunluğundadır. Ayrıca cihazın üst kısmında serbest düşme yapacak ağırlığın rahat düşmesi gerçekleştirdikten sonra rahat çekilebilmesi için makara sistemi yapılmıştır (Resim 3.4). Cihazın alt kısmında darbenin uygulanacağı numune sabitleyicisi mevcuttur. Numunelerin sabitleneceği kısım 50mm çapında 70mm uzunluğunda çelik çubuğun ortası 30mm matkapla delinerek ve sabitlemek için altında metrik 8, üzerinde metrik 6 vida açılarak imal edilmiştir (Resim 3.3- 3.7),(Aratman 2018).



Resim 3.5 Numune sabitleme kısmı yandan görünümü.



Resim 3.6 Numune sabitleme kısmı üstten görünümü.



Resim 3.7 İşlenmiş Uçlar (Aratman 2018).

Ağırlık olarak 1040 çeliğinden 150mm uzunluğunda 26mm çapında 800gr ağırlığında çubuk uçların takılabileceği uç kısım ve ipe bağlanması için işlenerek kullanılmıştır. Denei cihazın elektronik kısmı için; darbe kuvveti ölçümü için 50 kg'lık 4 adet yük hücresi HX-711 yük hücresi adaptörü kullanılarak, Arduino-UNO kontrollör vasıtasıyla yapılmıştır. İlk önce yük hücresi kalibrasyonu yapılmış ve kullanılmıştır. Ayrıca Denei sırasında düşme ve çarpma görüntülerinin kaydedilmesi için A4tech-PK900H kamera kullanılmıştır (Aratman 2018).

3.1.4 Kaplanan Numunelerin Metalografik İşlemleri

Sabit hızda farklı frekans ve voltlarda kaplanmış olduğumuz numunelerde mikro yapı analizi yapabilmek için kaplanan numuneleri yaklaşık 15mm kaplama alanından yüzey hassasiyetini sağlayarak hassas testere cihazı ile kesilmesi gerekmektedir. Kesim sonucu numunelerin boyutları küçük olduğundan dolayı zımparalama işleminde daha iyi bir şekilde tutma sağlanması ve homojen bir parlatma sağlamak açısından sıcak kalıplama işlemine alınmaktadır.



Resim 3.8 Numunelerin Sıcak Kalıplama Bakalite Alınma İşlemi.



Resim 3.9 Numunelerin Sıcak Kalıplama Bakalite Alınma.

Mikro yapı incelenmesi için sıcak kalıplama yöntemi ile hazırlanmış olan numuneler metalografik olarak zımparalama işlemine tabii tutulacaktır. Zımparalama ve parlatma işlemleri Metkon marka, Gripon 2V model zımpara cihazı ile ortalama 295 devir/dakika hızında gerçekleştirilmiştir. Numuneler sırasıyla 250'lük zımpara kâğıdından başlamak suretiyle 1200'lük zımpara kâğıdına kadar zımparalama işlemleri gerçekleştirilir. Her zımpara değiştirme işleminde, çizikleri gidermek için tam tersi yönde numuneler çevrilerek işlem gerçekleştirilmiştir. En son aşamada yüzeyde bulunan ince çizikler zımpara makinasına takılan çuha sayesinde parlatma işlemi gerçekleştirilerek giderilmektedir. Bu sayede bin mikron boyutunda alimüna solüsyonu çulha üzerine dökülerek numune yüzeyi üzerinde bulunan çizikler giderilebilmektedir.



Resim 3.10 Mikro Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi.

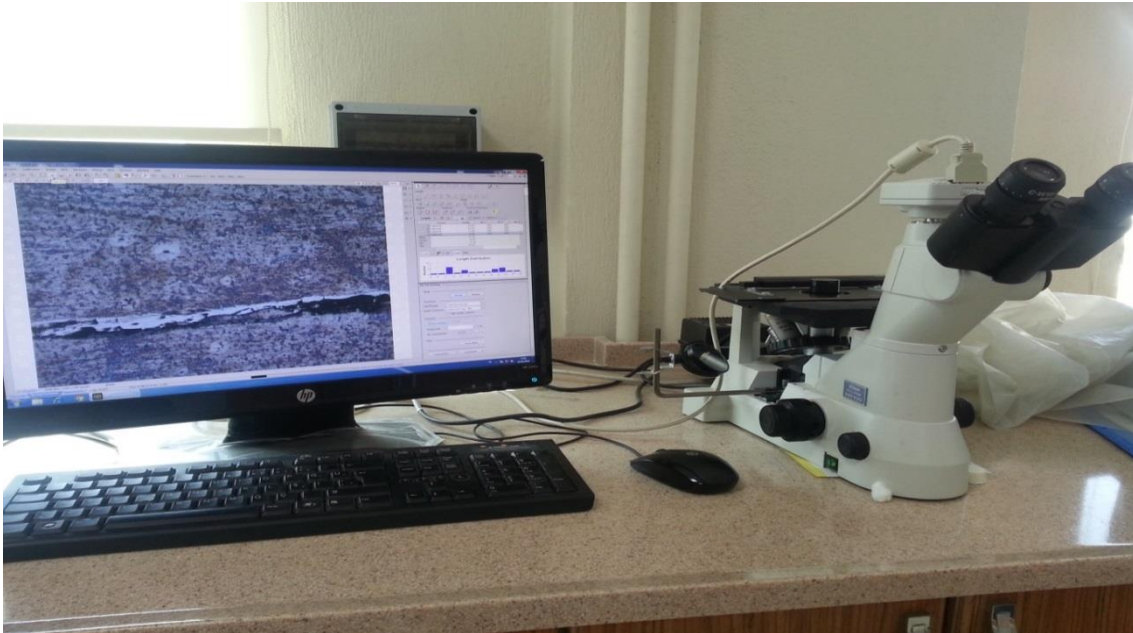


Resim 3.11 Mikro Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi.



Resim 3.12 Mikro Yapı Analizi İçin Cuha ve Alimüna ile Parlatma İşlemi.

Alimüna ile parlatılan numuneler saf alkol ile yıkanıp basınçlı hava ile kurutulduktan sonra son olarak %3 nital dağlayıcı ile yaklaşık 5 sn dağlanan numune tekrar basınçlı hava ile kurutulup mikro yapı tayini için optik mikroskopta incelemeye alınmaktadır. Parlatma ve dağlama işlemini uygulandıktan sonra numunenin mikro yapı resimleri mikro yapı analizi için farklı büyütmelerde alınmıştır.



Resim 3.13 Optik Mikroskopta Mikro Yapı İncelemesi.

3.1.5 Karakterizasyon İşlemleri

Kesim sonrası yapılan karakterizasyon işleri aşağıdaki gibidir :

- SEM Analizi
- XRD Analizi

SEM Analizi

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) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementler analizleri yapabilmektedir (Resim 3.14).



Resim 3.14 LEO 1430 VP Model SEM Cihazı.

XRD Analizleri

Gerçekleştirilen XRD analizi, malzeme içerisinde üretim sırasında oluşan fazlarla, ısıtılma işlem aşamasından sonrasındaki fazların tespiti için kullanılmaktadır. Shimadzu 6000 model cihazla Cu-K α radyasyonu ile yapılan incelemede öncesinde mikroyapıları incelenmiş olan malzeme yüzeyleri yeniden temizlenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Tarama işlemi (2θ) 20° - 90° arasında, $0,02^{\circ}$ 'lik adımlarla 0.6 sn/adım hızıyla uygulanmıştır (Resim 3.15).



Resim 3.15 Shimadzu 6000 XRD Cihazı.

4. BULGULAR

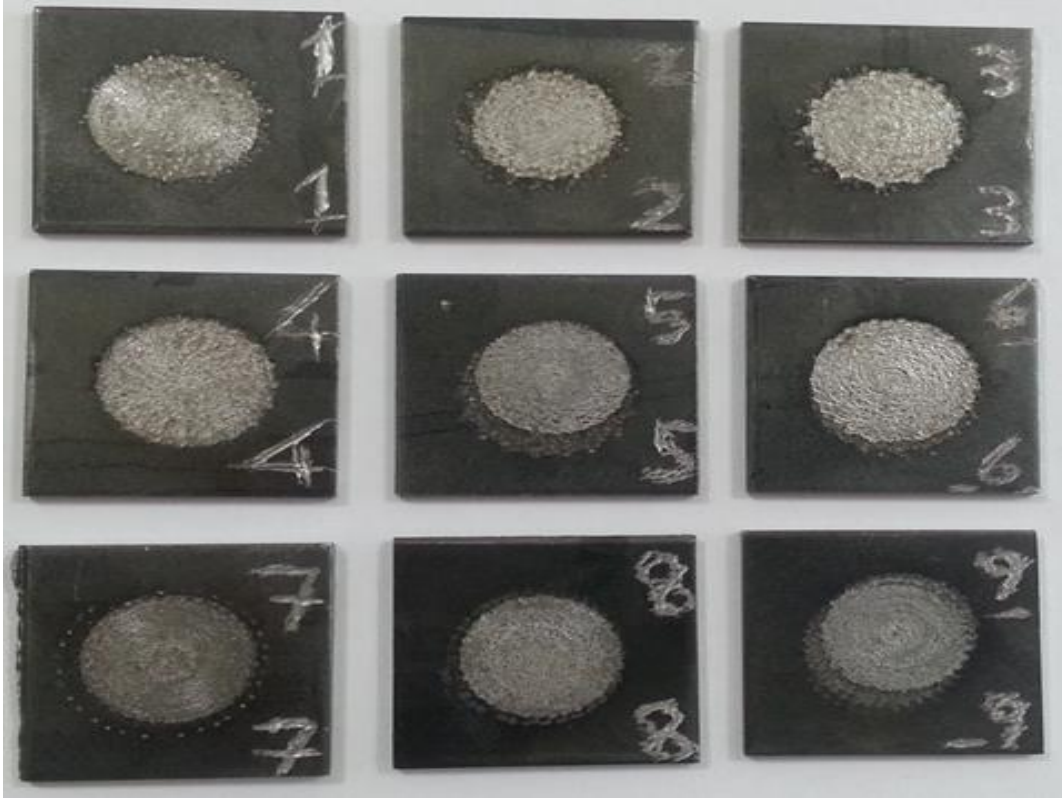
ESD yöntemi ile 25mm x 25mm x 1,5 ebatlarında kesilmiş olan AISI 1008 çeliği üzerine yaklaşık 15mm çapında Tungsten(W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımli Çelik elektrotlarla farklı volt ve frekanslarda yapılan kaplama sertlikleri ve karakterizasyonları incelenmiştir.

4.1 Kaplamaların Makro Görüntülerin Analizi

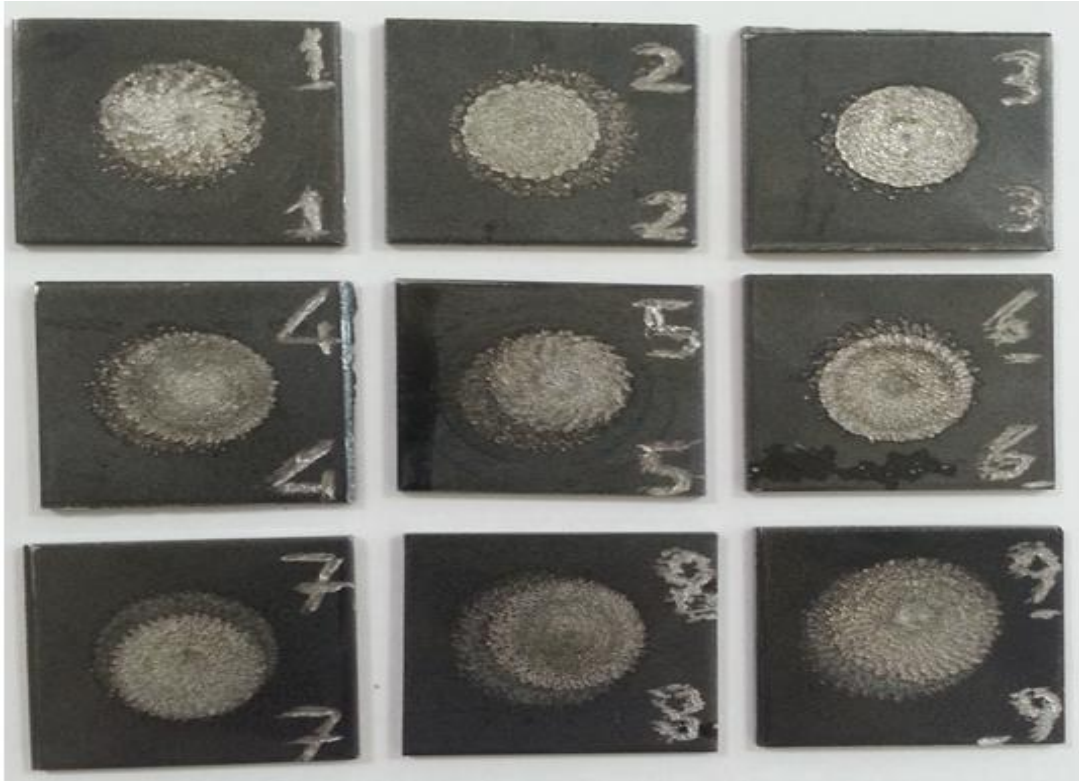
Kaplama sonrası makro görüntüleme cihazı olarak Celestron MicroCapture Pro kullanılmıştır. Bu cihaz sayesinde malzeme yüzeyinde meydana gelen katılaşmaları ve kullanılan farklı frekanslar sayesinde metal atlamalarını görebilmekteyiz. Kaplamaların yüzeyel morfolojilerine ait görüntüler Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3’de gösterilmektedir. Numuneler üzerinde bulunan rakamlar kullanılan voltaj ve frekansları belirtmektedir. Bu numaraların özellikleri Çizelge 3.3’de verilmektedir.



Resim 4.1 Yüzeyleri WC ile Kaplanan Numuneler.



Resim 4.2 Yüzeyleri Alaşımli Çelik ile Kaplanan Numuneler.



Resim 4.3 Yüzeyleri W ile Kaplanan Numuneler.

Yüzeyleri ESD yardımıyla WC ile kaplanan numuneler sırasıyla Resim 4.1’de, yüzeyleri Alaşımli Çelik ile kaplanan numuneler sırasıyla Resim 4.2’de ve yüzeyleri W ile kaplanan numuneler Resim 4.3’de gösterilmektedir. Bir numaralı numunelerden dokuz numaralı numunelere sırası ile gidildikçe artan volt ve frekansların kaplama yüzeyinde meydana getirdiği pürüzsüzlükler resimlerde gözükmemektedir. Her üç numunede de farklı volt ve frekanslarda yapılan kaplamaları incelediğimizde frekans ve volt arttıkça kaplama malzemesinin ana malzeme üzerine gerçekleştirilen kaplama kalınlığının arttığını görmekteyiz.

Ark kaynaklarında genel olarak voltaj akım ile beraber kaynak bölgesine transfer edilen madde miktarını belirler, normal kaynaklarda frekans değeri genellikle kullanılmaz; eğer alüminyum veya ince parçaların kaynağı söz konusu değilse ESD işleminde voltajın artması ark kaynağındakine benzer olarak daha fazla ısı enerjisinin kaynak plazmasına transfer edilmesi anlamına gelir ki bu durumda ESD işleminde transfer edilen damlacıkların büyüklüğü ve kısmende sayısı ile alakalı olacaktır. Frekans ise bu damlacıkların sayısını bize ifade eder, hem voltajın hemde frekansın yüksek olması kaplama kalınlığının orantılı bir şekilde artacağı ve birim uzunluk başına damla sayısının artacağı anlamına gelir. Yukarıdaki sonuçta görüldüğü gibi artan voltaj ve artan frekansla kaplama kalınlığının ve/veya pürüzlülüğünün değiştiğini bu nedenle görmekteyiz. Nüfuziyet artan voltajla alakalı olup ısı girdisi ile beraber düzenli bir şekilde artmaktadır.

4.2 Kaplama Sertliklerinin Analizi

Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3’te resimleri bulunan farklı volt ve frekanslarda kaplamaları gerçekleştirilen numunelerden mikro sertlik cihazında (Resim 3.2) her bir numuneden onar adet olmak üzere 15 saniye boyunca 4.903 Newton ve HV_{0,5} kg yük altında elde edilen sertlik değerleri ortalamaları ve dokuz adet numunenin genel ortalama sertlik değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kaplama Sonrası Sertlik Değerleri.

Her Numuneden 10 Adet Ölçülen Sertlik Değerlerinin Ortalamaları										9 Num. Genel Ort. (HV)
Malzeme türü	1.Nu. Ort.	2.Nu. Ort.	3.Nu. Ort.	4.Nu. Ort.	5.Nu. Ort.	6.Nu. Ort.	7.Nu. Ort.	8.Nu. Ort.	9.Nu. Ort.	
Tungsten Ortalama (HV)	421,4	465,3	386,3	457,5	317,2	500,2	316,2	449,2	410	413,7
Tungsten Karbür Ortalama (HV)	695,8	529,6	606,7	701,6	641,2	835,2	869,2	849,3	1072,5	755,6
Alaşımli Çelik Ortalama (HV)	373,6	231,2	369,8	235	270	304,6	225,4	270,6	275,2	283,9
Üzerine Kaplama Yapılan Ana Malzeme AISI1008 Çeliği (HV)										148

Kaplamadaki asıl amaç malzemenin kendi sertlik değerinin üzerinde bir değer elde ederek malzemelerin aşınmaya, korozyona, darbeye karşı mukavemetini artırmak için yapılır. Bu şekilde düşük mukavemetli malzeme kaplama sonrası daha sert bir yüzeye sahip olmaktadır. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere ana malzemenin sertliği **148 HV** iken, **Alaşımli Çelik Elektrotla** kaplama sonrası malzeme yüzeyi yaklaşık ana malzemenin iki katı **283,9 HV Tungsten (W) Elektrotla** kaplama sonrası malzeme yüzeyi yaklaşık ana malzemenin üç katı **413,7 HV Tungsten Karbür (WC) Elektrotla** kaplama sonrası malzeme yüzeyi yaklaşık ana malzemenin beş katı **755,6 HV** olarak görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sertlik değerlerindeki farklılıklar kaplamanın homojen bir yapıda olmadığını veya yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğuna işaret etmektedir. Değişen yüzey pürüzlülüğü hem kaplamanın kalınlığının homojenliğini etkiler aynı zamanda sertliğini de etkilemektedir. Tungsten Karbürün sahip olduğu yüksek sertlik kaplama sertlik değerlerinin de yüksek çıkmasına sebep olmaktadır.

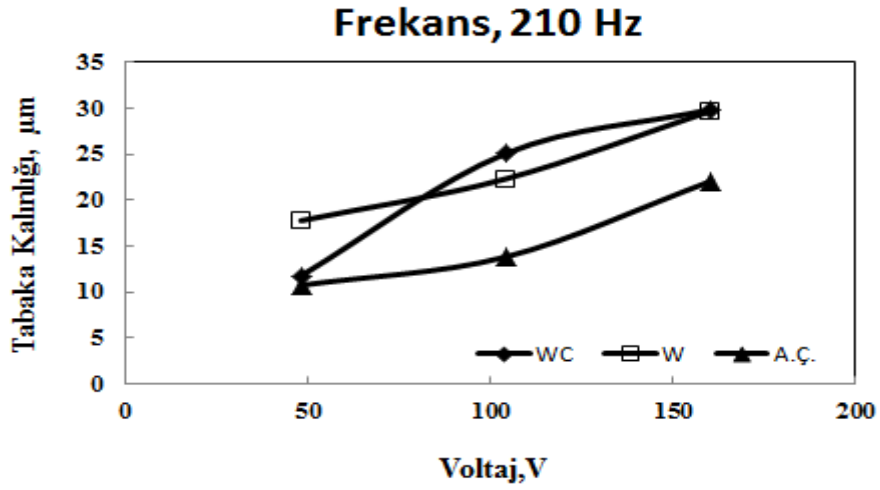
4.3 Kaplama Kalınlıklarının Analizi

Kaplama işlemi sonrası yirmiyedi adet numune mikro yapı analizi için metalografik olarak hazırlanmıştır. Optik mikroskopta 500x büyütmede çekilen mikroyapı resimlerinden elde edilen kaplama kalınlıkları gösteren ait resimler Resim 4.4 ile Resim 4.12'de verilmektedir. Çizelge 4.2'de verilen kaplama kalınlıkları ve Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilen grafikler incelendiğinde genel olarak kaplama voltajının ve frekansının artması kaplama tabakasının kalınlığının artmasına sebep olmaktadır.

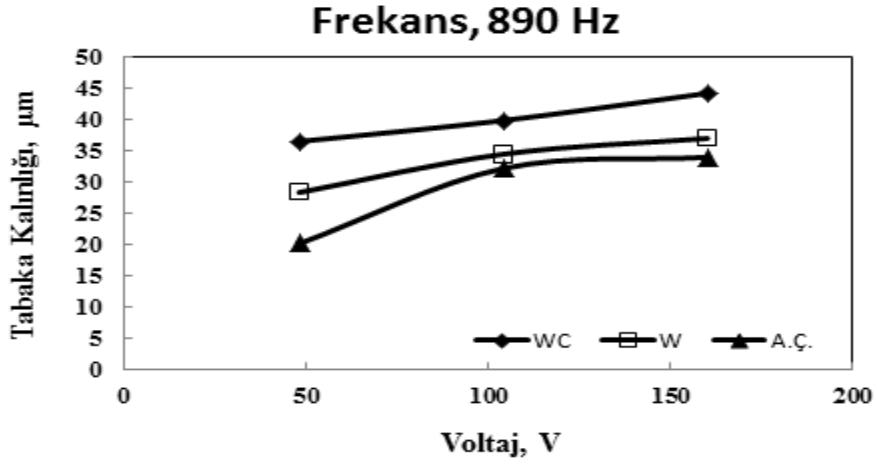
Çizelge 3.2'de birden dokuza kadar verilen kaplama esnasında kullanılan voltaj ve frekans değerleri çizelge 4.2'de de belirtildiği gibi bir, iki ve üç numaralı numuneler 290 Hz frekansta, dört beş ve altı sayılı numunelerimiz 890 Hz frekansta, yedi sekiz ve dokuz sayılı numunelerimiz ise 1570 Hz frekansta gerçekleştirilen kaplamaları ifade etmektedir.

Çizelge 4.2 Frekans ve Voltajları Farklı Olan W, WC ve Alaşımli Çelik Elektrotla Kaplanan Numunelerin 500x Büyütmede Ölçülen Kaplama Kalınlıkları.

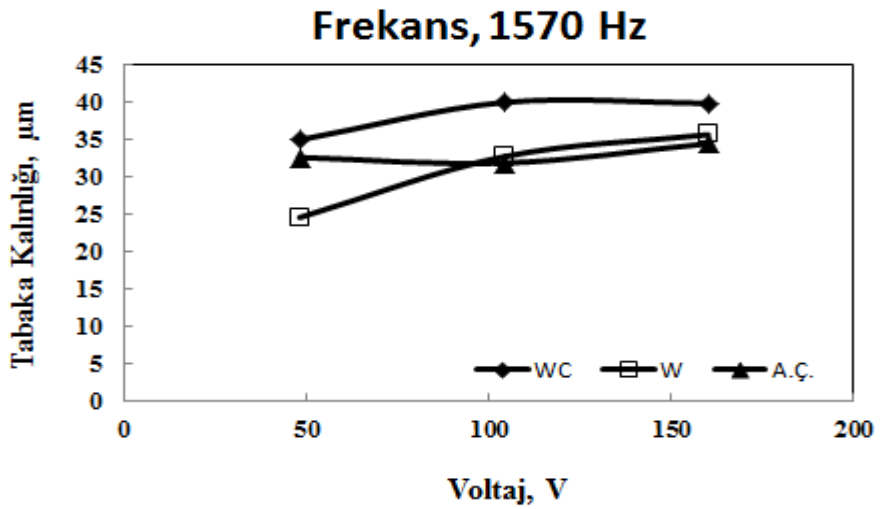
Her Numuneden 3 Adet Ölçülen Kaplama Kalınlık Ortalamaları										9 Num. Genel Kalınlık Ortalaması
Malzeme türü	1.Nu. Ort.	2.Nu. Ort.	3.Nu. Ort.	4.Nu. Ort.	5.Nu. Ort.	6.Nu. Ort.	7.Nu. Ort.	8.Nu. Ort.	9.Nu. Ort.	
Tungsten Ortalama Kalınlık	17,76	22,30	29,66	28,37	34,5	37,03	24,59	32,75	35,70	29,18 µm
Tungsten Karbür Ortalama Kalınlık	11,75	25,06	29,84	36,54	39,90	44,27	35	40,01	39,89	33,58 µm
Alaşımli Çelik Ortalama Kalınlık	10,72	13,80	22,01	20,16	32,21	34	32,64	31,88	34,49	25,76 µm



Şekil 4.1 Frekansları 210 Hz ve Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.

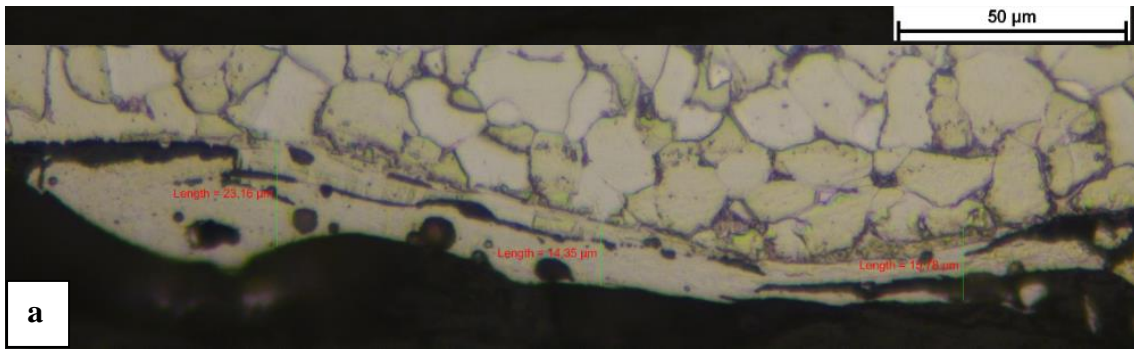


Şekil 4.2 Frekansları 890 Hz ve Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.

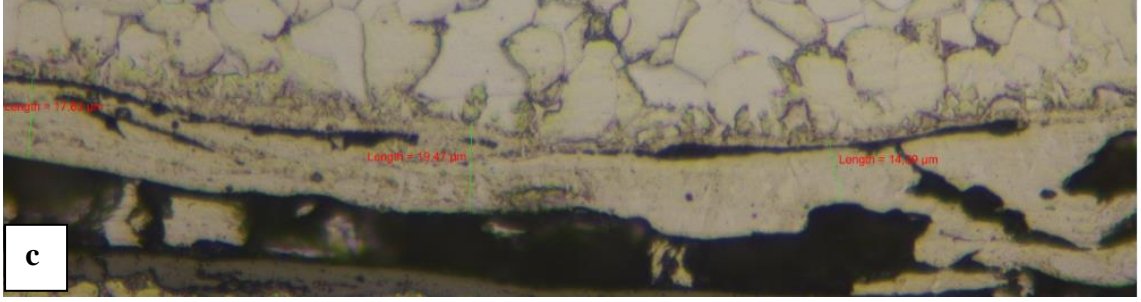
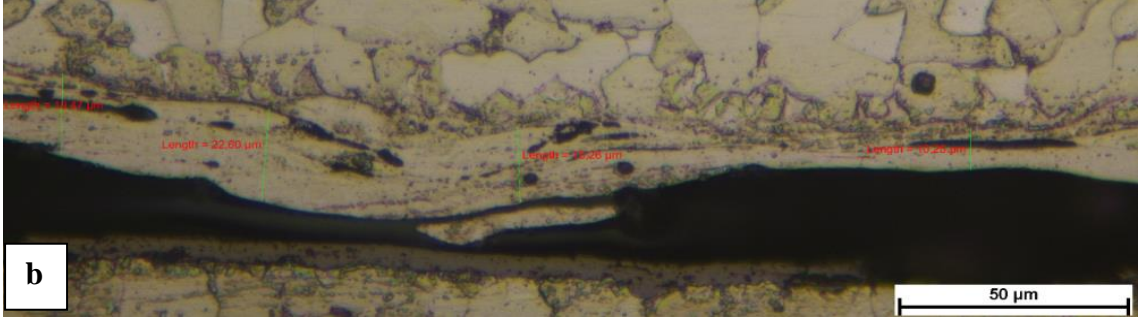


Şekil 4.3 Frekansları 1570 Hz ve Voltajları Farklı Olan Numunelerin Kaplama Kalınlıkları.

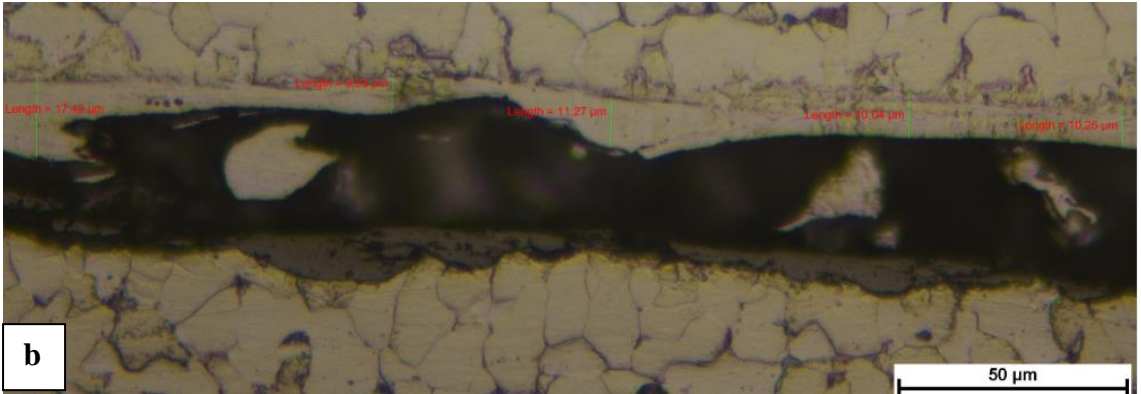
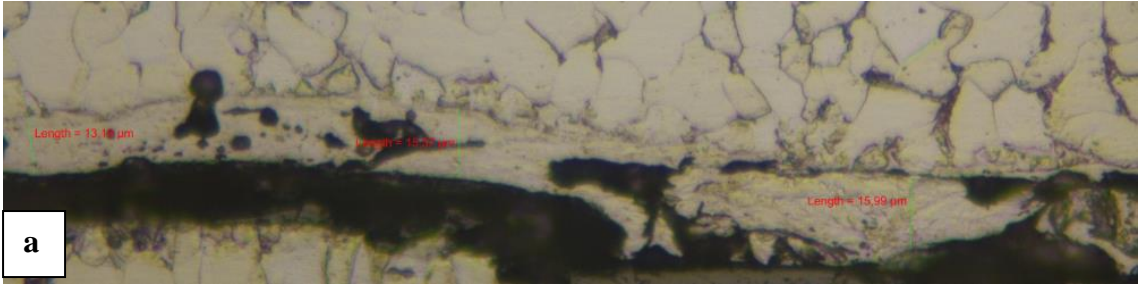
Şekil 4.1 - 4.3 de görüldüğü gibi artan frekans ve artan voltaj genellikle ve çoğunlukla kaplama kalınlıklarının artmasına sebep olmaktadır. Özellikle, tungsten karbürden üretilen elektrod ile yapılan kaplamaların kalınlıkları diğer kaplama elektrodlarına göre daha fazla tabaka kalınlığı oluşmasına yardımcı olmuştur. Bu genel olarak beklenen bir davranış olmakla beraber, elektrod olarak kullanılan alaşımların içerisindeki elementlerin ark sırasındaki buharlaşma potansiyelleri ve matrisle alaşım yapma kapasitesi kaplama kalınlıklarının değerlerini etkilemektedir. Tungsten kaplamalarda voltaj ve frekansa verilen tepki lineer olmasına karşın tungsten karbür kaplamada orta frekansların kaplama kalınlığının oluşmasında daha etkili olduğunu göstermektedir. Alaşımli çelikte ise orta ve yüksek frekans daha homojen kaplama vermektedir. Ortalama değerler genellikle tungsten ile kaplamanın daha zor olduğunu göstermektedir. Ancak kullanılan elektrotlarda en incisi tungsten elektrot olup kaplama sırasında kısa bağlanmasına rağmen yeterince kaplama performansı göstermediği görülmektedir. Tungstenin öz direnci diğer elektrotlara göre daha fazla olması ve kesitinin ince olması bunda önemli bir etken olarak karşımıza çıkabilir, kaplama sırasında tungsten elektrotun kızarması direncin daha da artmasına sebep olmakta ve bu da ark karakteristiğini etkilemektedir. Resim 4.4, Resim 4.5 ve Resim 4.6'da tungsten kaplamalara ait optik resimleri göstermektedir. Kaplama kalınlıkları artan voltaj ve frekansla beraber homojen değişirken düşük voltajlarda kaplamanın çok fazla miktarda boşluk hatası, gaz hatası ve delaminasyon içerdiği görülmektedir. Ancak voltajın artması ile beraber bu hatalar ortadan kalkmaktadır. Bu durumda artan ısı girdisinin ark sırasında ortaya çıkan ve damla içerisinde çözülmüş olan gazların daha hızlı uzaklaştırıldığını ve damlaların daha sıcak düştüğüne işaret etmektedir. Kısaca ısı girdisi artmaktadır.



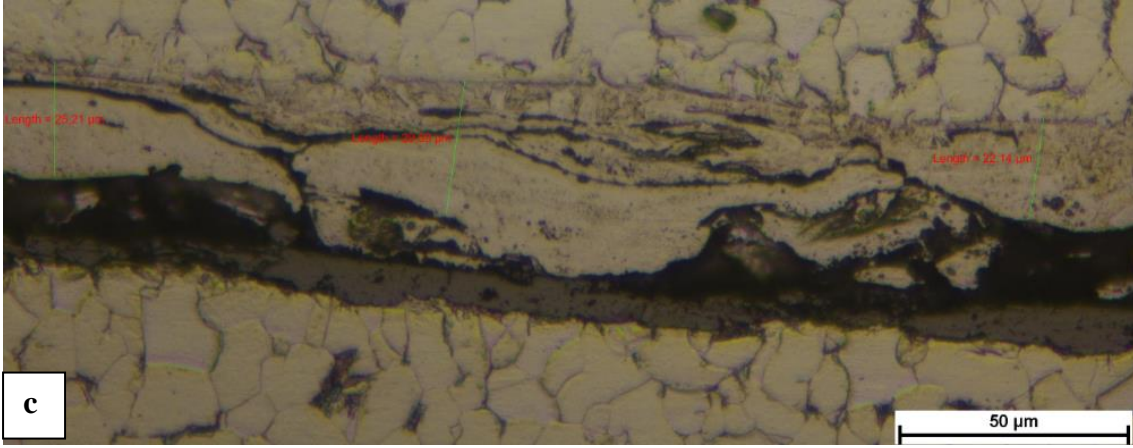
Resim 4.4 a)Tungsten(W) Kaplama 1'inci Numune 48 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapısı.



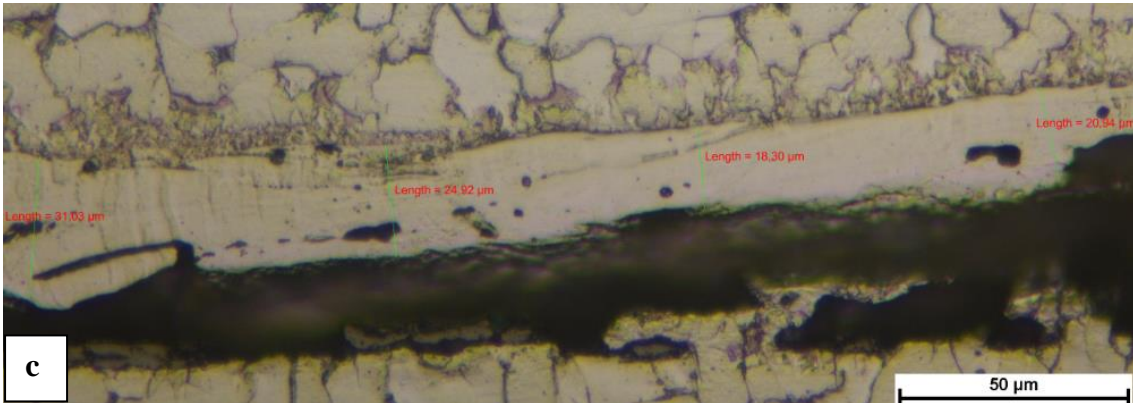
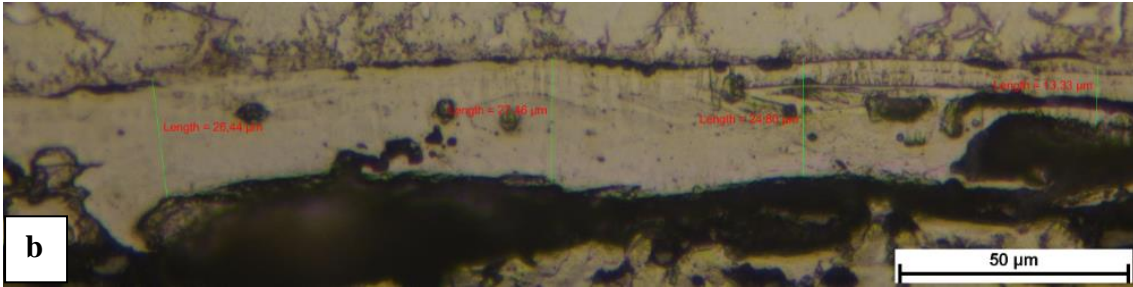
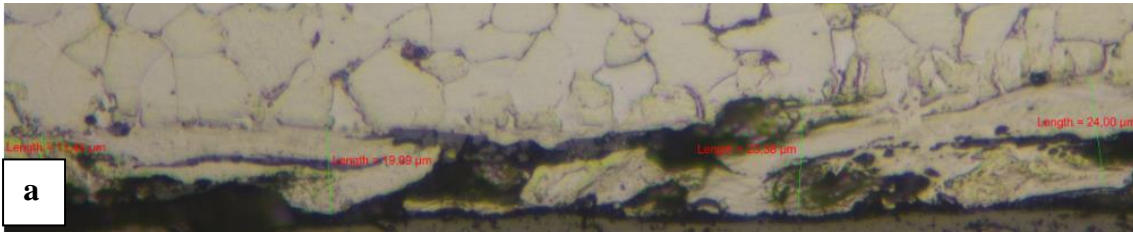
Resim 4.4 (Devam) b) 2'nci Numune 104 V 210 Hz,
c) 3'ncü Numune 160 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.



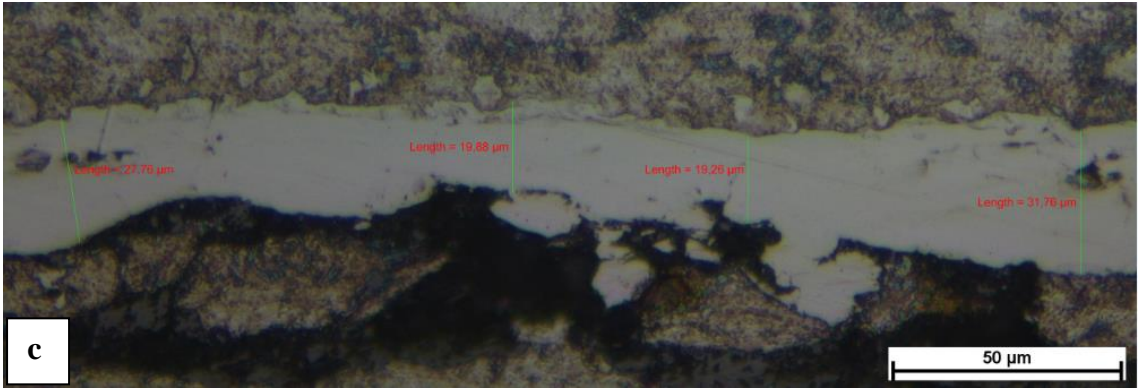
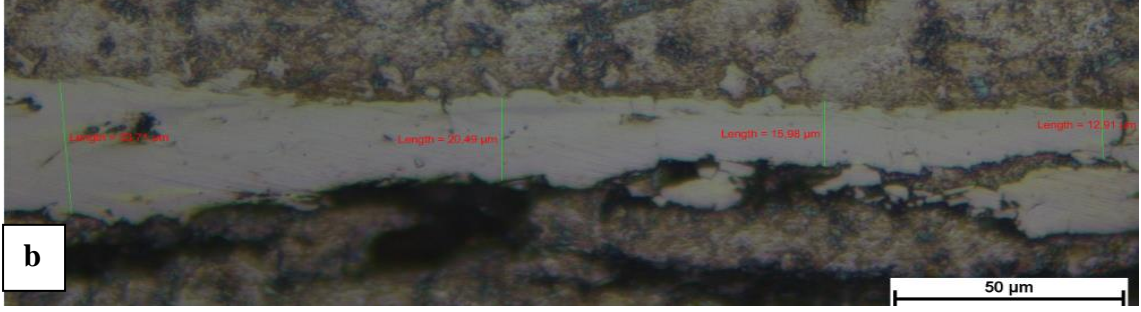
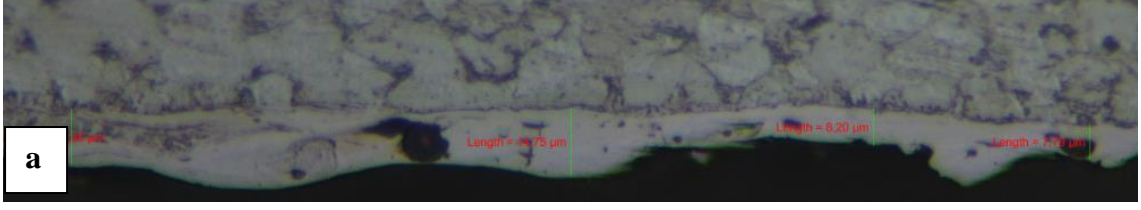
Resim 4.5 a) Tungsten(W) Kaplama 4'üncü Numune 48 V 890 Hz,
b) 5'inci Numune 104 V 890 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.



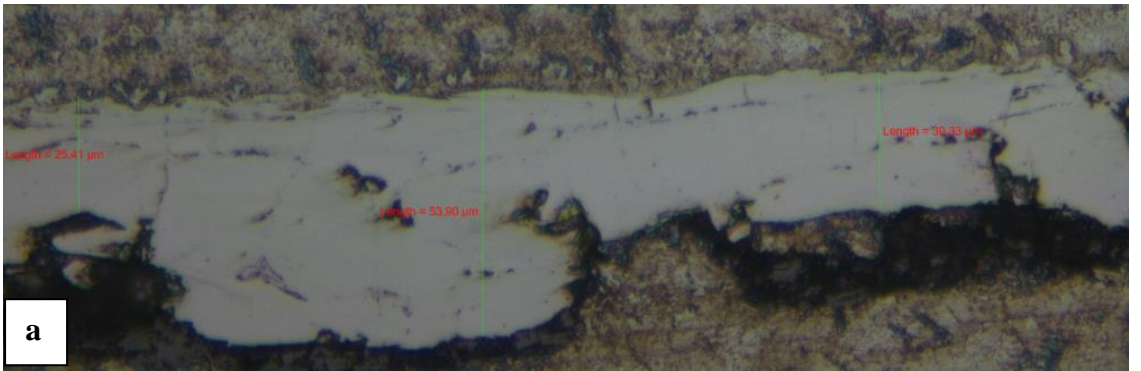
Resim 4.5 (Devam) c) 6'nci Numune 160 V 890 Hz 500x Büyütme Mikroyapısı.



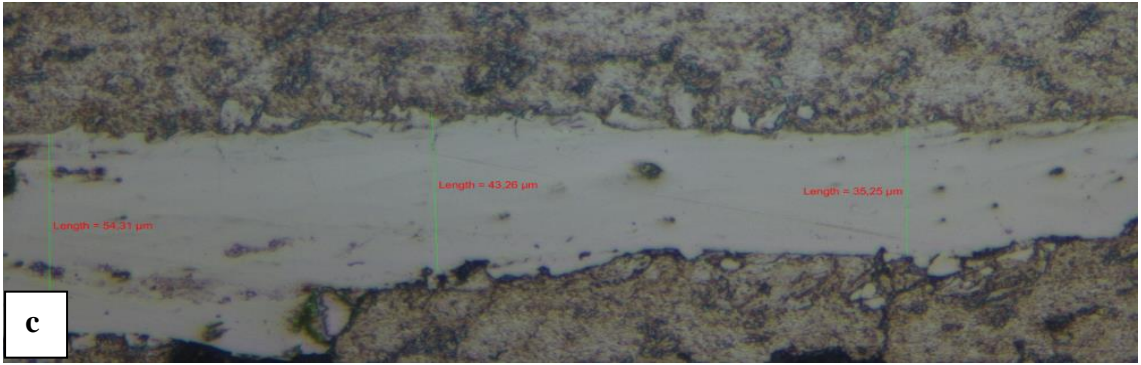
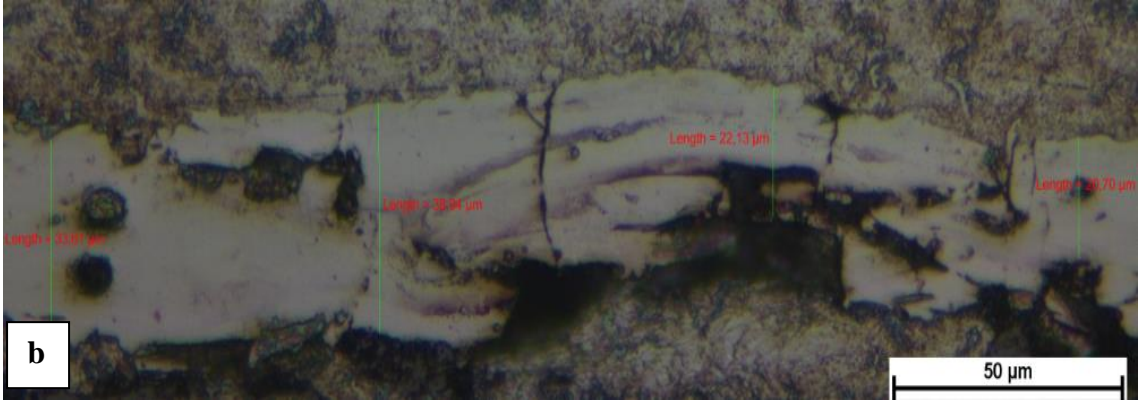
Resim 4.6 a) Tungsten(W) Kaplama 7'nci Numune 48 V 1570 Hz,
b) 8'inci Numune 104 V 1570 Hz,
c) 9'uncu Numune 160 V 1570 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları



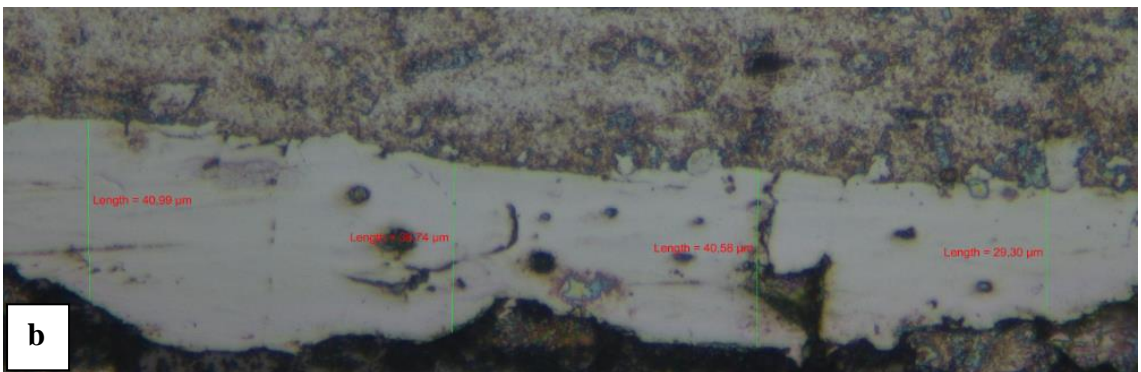
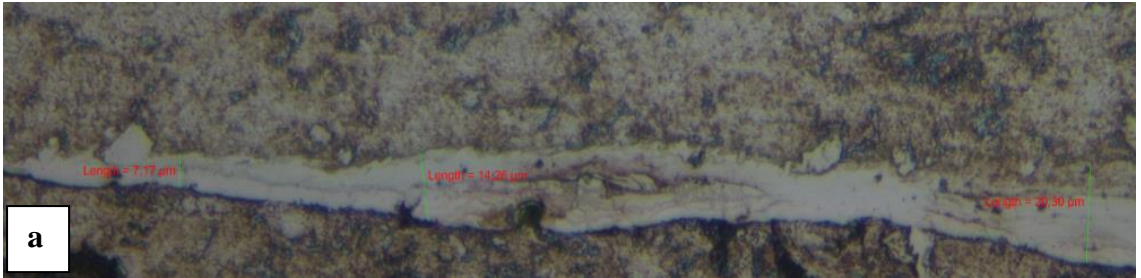
Resim 4.7 a) Tungsten Karbür(WC) Kaplama 1'inci Numune 48 V 210 Hz,
b) 2'nci Numune 104 V 210 Hz,
c) 3'ncü Numune 160 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.



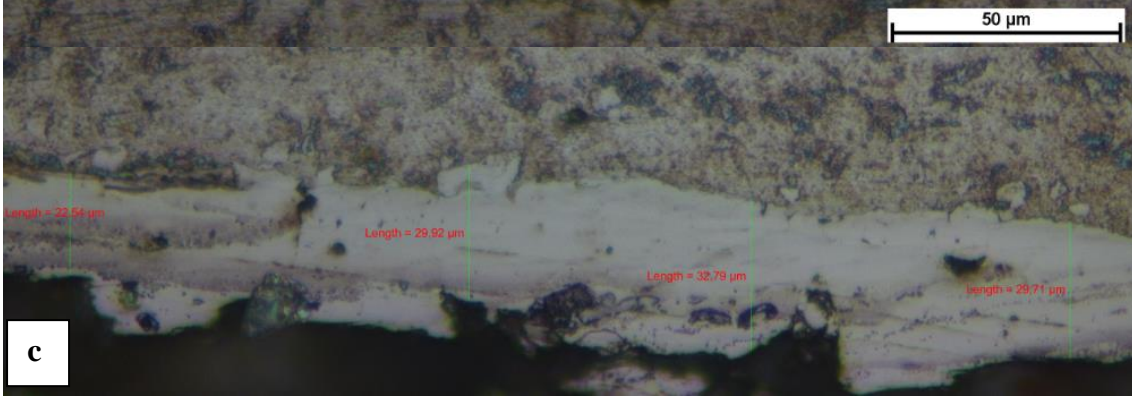
Resim 4.8 a) Tungsten Karbür(WC) Kaplama 4'üncü Numune 48 V 890 Hz Mikroyapısı.



Resim 4.8 (Devam) b) 5'inci Numune 104 V 890 Hz,
c) 6'nci Numune 160 V 890 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.

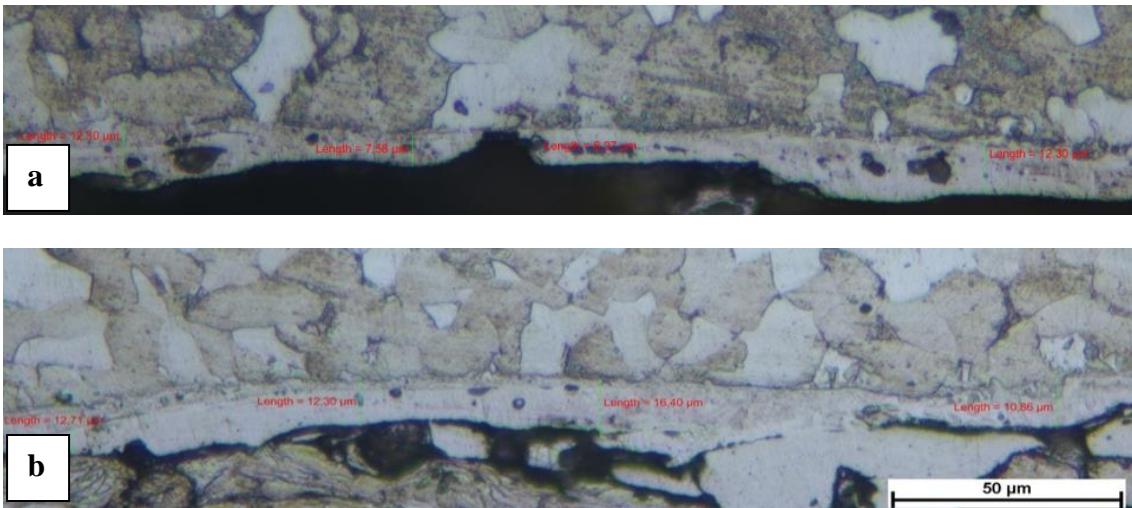


Resim 4.9 a) Tungsten Karbür(WC) Kaplama 7'nci Numune 48 V 1570 Hz,
b) 8'inci Numune 104 V 1570 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.

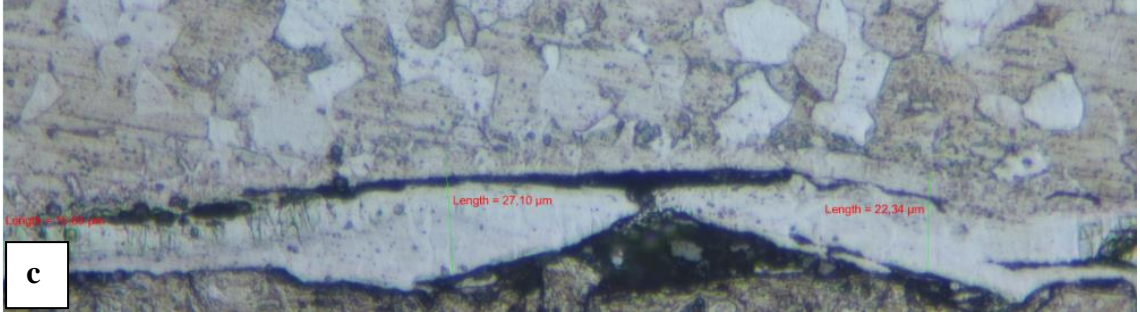


Resim 4.9 (Devam) c) 9'uncu Numune 160 V 1570 Hz Frekans 500x Büyütme Mikroyapısı.

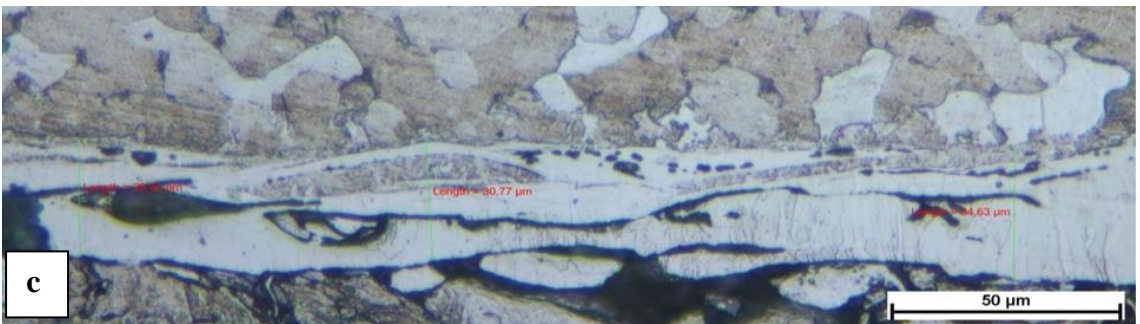
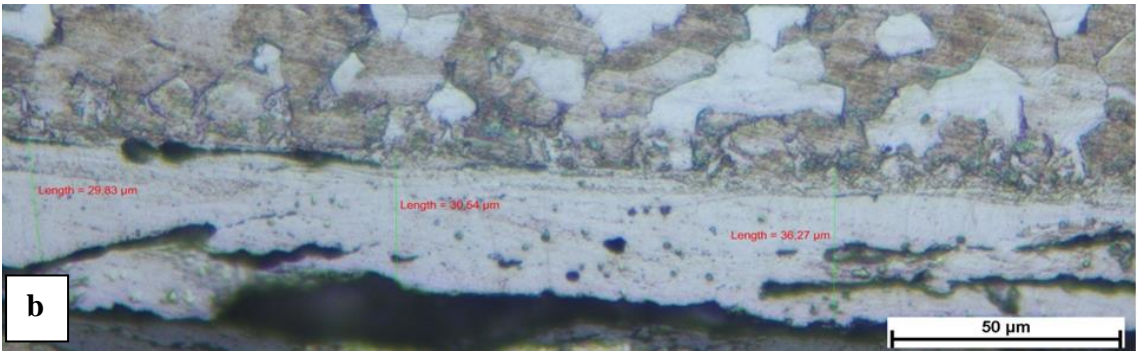
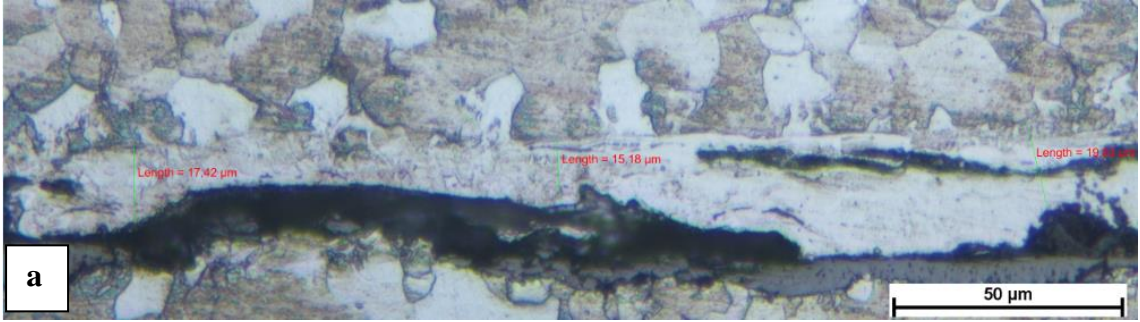
Tungsten karbür kaplamalarda tungsten kaplamaya benzer şekilde düşük voltajlarda boşluk oluşumu ve yeterince yığılma olmadığı görülmektedir. 104 Voltta kaplanan bütün numunelerde dikine çatlaklar oluşmuş ancak delaminasyon oluşmamıştır. Dikine çatlaklar ısıl genleşme faktörleri farklı olan malzemelerde ortaya çıkan bir hatadır. Matris ile kaplama aynı oranda genleşmezler ve kaplamada çekme iç gerilmeleri oluşur bu nedenle çatlaklar dikine oluşarak ortaya çıkmaktadır. Delaminasyon olmaması kaplama sırasında damlaların alt tabakadaki damlaların üzerine sıcak bir şekilde düştüğüne ve iyi karıştığına işaret etmektedir. Bununla birlikte yüksek voltajda ortaya çıkan sıçrama veya dağılmalar kaplamanın yüzey pürüzlülüğünü negatif olarak değiştirmektedir.



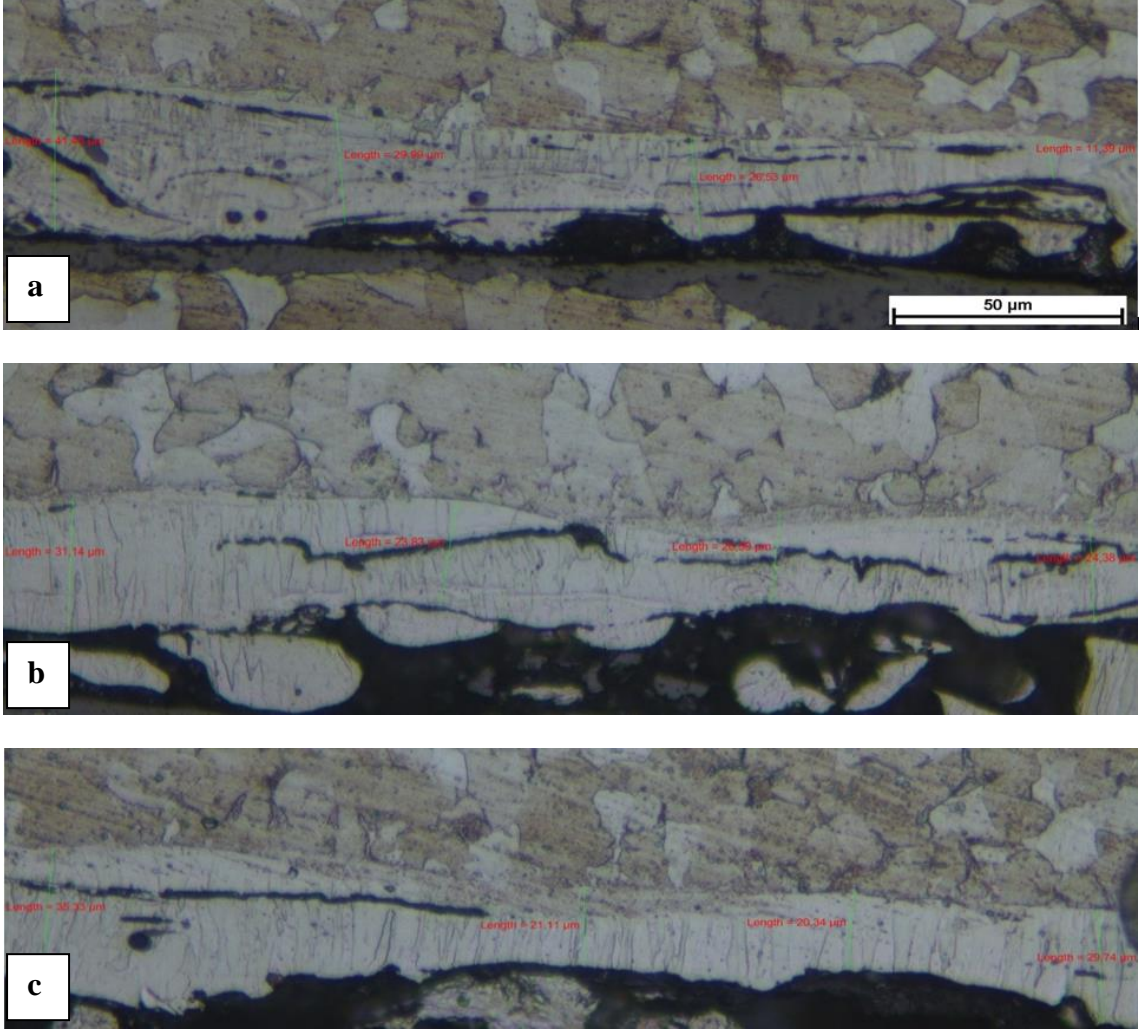
Resim 4.10 a) Alaşımli Çelik Kaplama 1'inci Numune 48 V 210 Hz,
b) 2'nci Numune 104 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.



Resim 4.10 (Devam) c) 3'üncü Numune 160 V 210 Hz 500x Büyütme Mikroyapısı.



Resim 4.11 a) Alaşımli Çelik Kaplama 4'üncü Numune 48 V 890 Hz,
b) 5'inci Numune 104 V 890 Hz,
c) 6'ncı Numune 160 V 890 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.



Resim 4.12 a) Alaşımlı Çelik Kaplama 7'inci Numune 48 V 1570 Hz,
b) 8'inci Numune 104 V 1570 Hz,
c) 9'uncu Numune 160 V 1570 Hz 500x Büyütme Mikroyapıları.

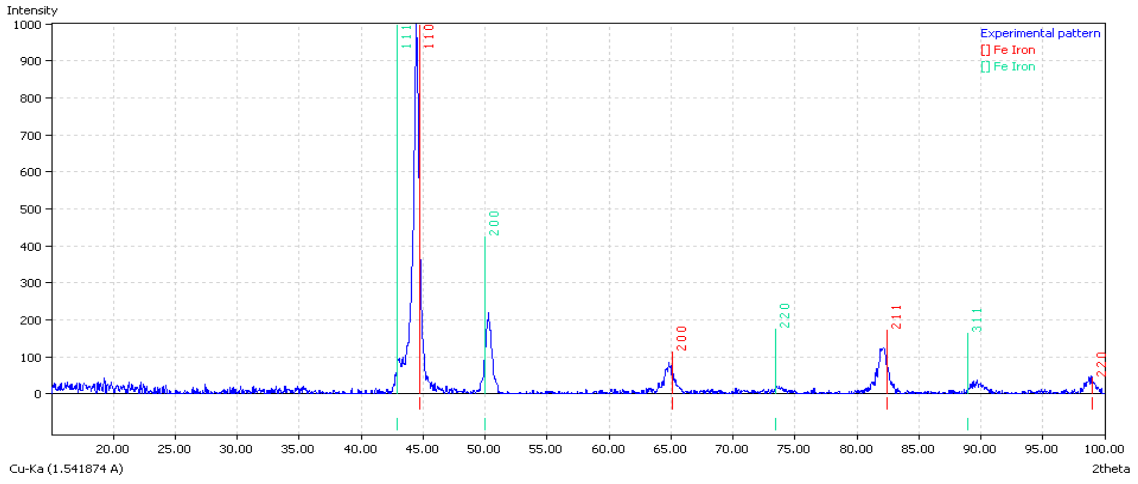
Alaşımlı Çelik ile yapılan kaplamalarda düşük voltajlarda ve düşük frekanslarda beklendiği gibi ince bir kaplama görülürken bütün düşük voltajlarda porozite yani gaz boşlukları ve yığılma hatası ortaya çıktığı görülmektedir. Bunlara ilave olarak tabakalaşma alaşımli çelik ile yapılan kaplamalarda büyük bir problemdir ancak kaplamaların optik mikro yapı resimlerinden düşük voltajlarda matrisle alaşımlandırmanın gerçekleşmediği görülürken artan frekansla beraber matris ile alaşımlandırmanın daha iyi olduğu görülmektedir. Düşük ve orta frekanslı 48 ve 104 voltluk kaplamalarda alaşımlandırmadan dolayı karbür oluşumu gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda karbon çözme kapasitesi artan demirin hızlı soğumayla beraber karbürlerin çökmesine engel olamadığı ve özellikle matris kaplama ara yüzeyinde ortaya çıktığı görülmektedir.

4.4 AISI 1008 Altlık Üzerine Alaşımli Çelik Kaplama Karakterizasyonu

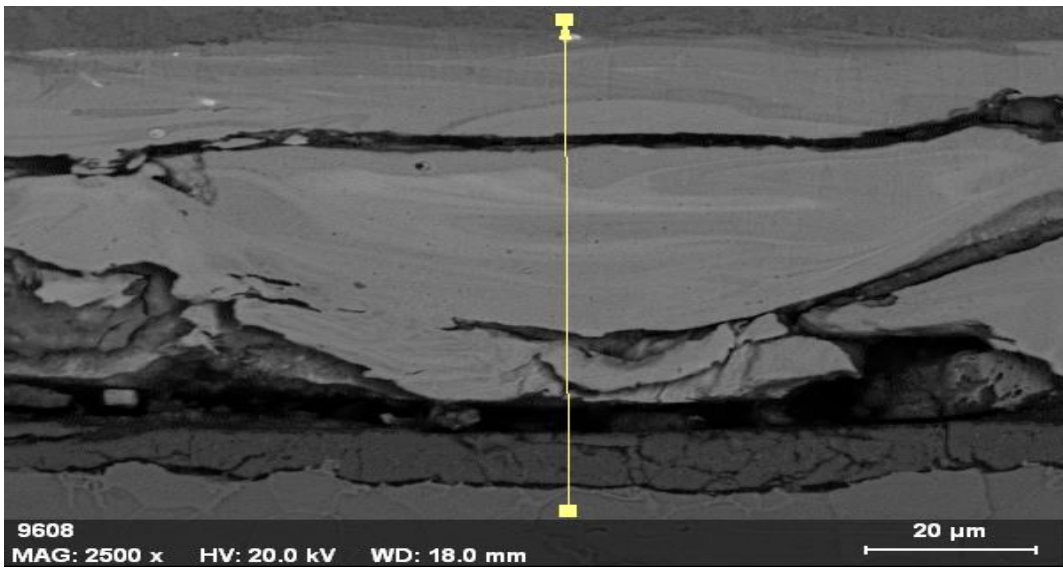
Bu bölümde Alaşımli Çelik kaplamaya uygulanan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu analizler:

- XRD analizi
- SEM görüntüsü
- EDX analizi

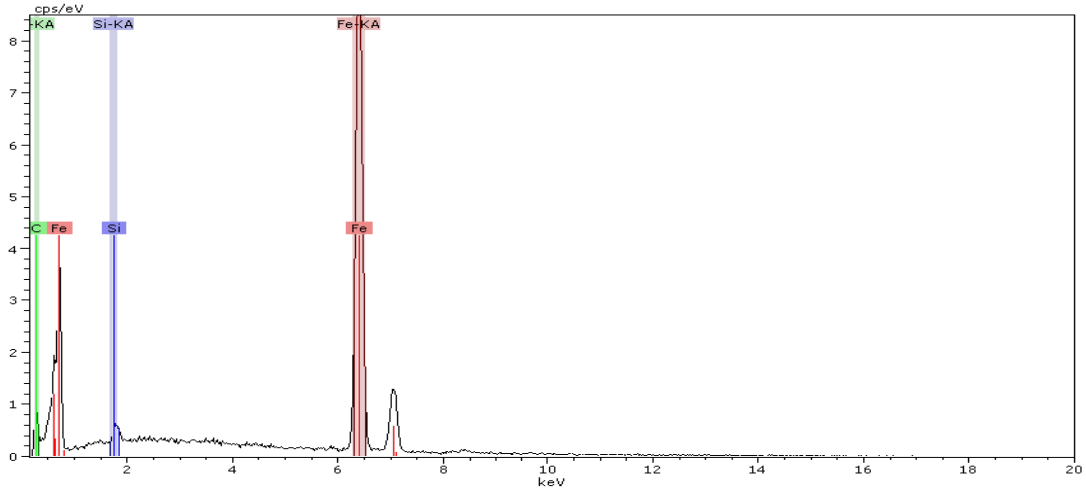
Analiz inceleme kaplanan malzemenin türüne göre yapılmış, analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



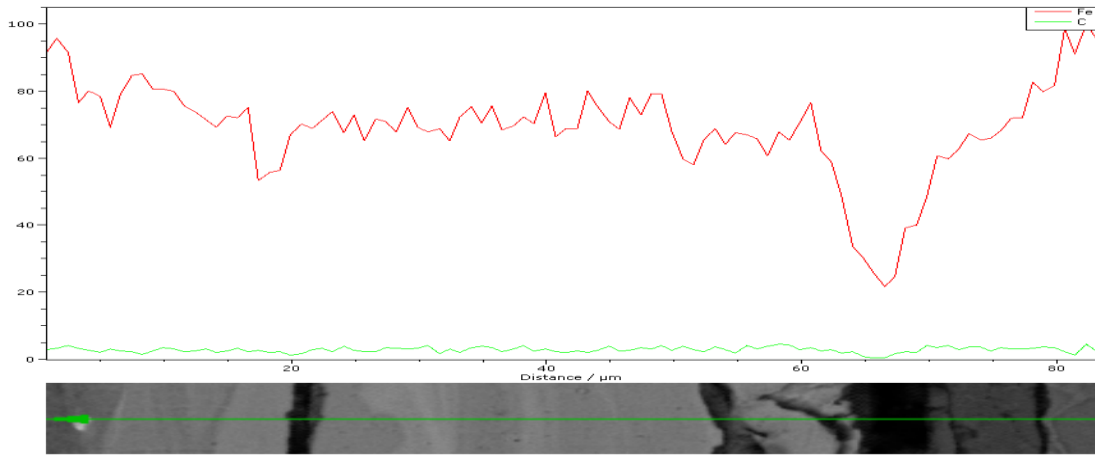
Şekil 4.4 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşımli Çelik Kaplamanın XRD Sonucu.



Resim 4.13 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşımli Çelik Kaplamanın SEM Görüntüsü.



Şekil 4.5 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşımli Çelik Kaplamanın EDX Sonucu.



Şekil 4.6 Yüzeyi 160V ve 1570 Hz ile Alaşımli Çelik Kaplamanın Çizgi Analizi.

160 Volt ve 1570 Hz ile kaplanmış olan çelik yüzeyinden alınan XRD sonucu iki farklı faza işaret etmektedir. Kırmızı çizgi ile işaretlenmiş olan faz HMK yapı diğeri ise YMK yapıdadır. YMK yapı alaşımli çeliğin yapısında olması nedeni ile yüzeyde ortaya çıkmaktadır. Ancak matris fazın HMK olması nedeniyle ve her iki kısmında demir esaslı olması alaşım elementlerinin karışmasına ve kafes yapılarında çeşitliğine sebep olmuştur.

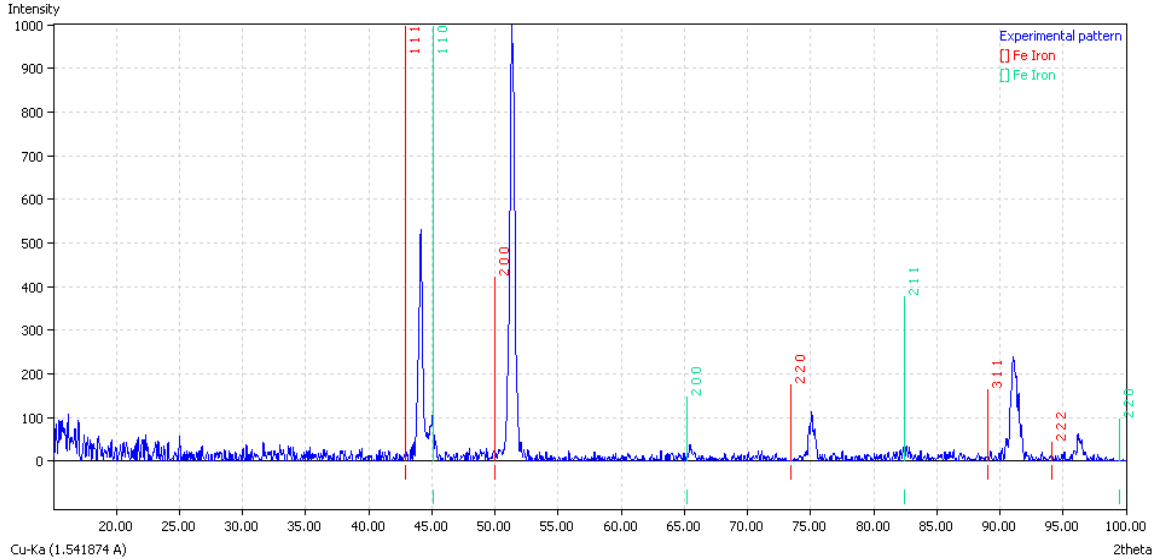
SEM görüntüsünde iki farklı bölgenin ortaya çıktığı görülmektedir. Kaplamanın BSE görüntüsü alaşım elementlerinin farklılıklarını daha net bir şekilde göstermektedir. Kaplamanın daha açık bir tona sahip olması alaşım elementleri bakımından daha zengin olduğu ve altlık malzemesine göre daha yüksek atom numaralı elementler içerdiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle kaplamanın altlıkla iyi karıştığını ancak kesme

sırasında kaplamanın koparak döküldüğü ve aynı zamanda tabakanın çatlamasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yatay çatlakların varlığı kesme sırasında oluşan açılma kuvvetlerin tabakayı zorlayarak kopardığı ve çatlak ilerlemesine sebep oluşturduğu görülmektedir. Matris ile tabaka görüntülerinin aslında homojen bir yapı oluşturduğu ve karışımın çok iyi sağlandığı görülmektedir. EDX analiz sonuçları Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre alaşım malzemede %1 Cr ve %1 civarında da Si bulunmaktadır. Ancak karışımından dolayı bunların miktarları çok azaldığı için EDX analizinde görülmemektedir. Si ve C çoğunlukla termoplastik ara tabakadan gelmektedir.

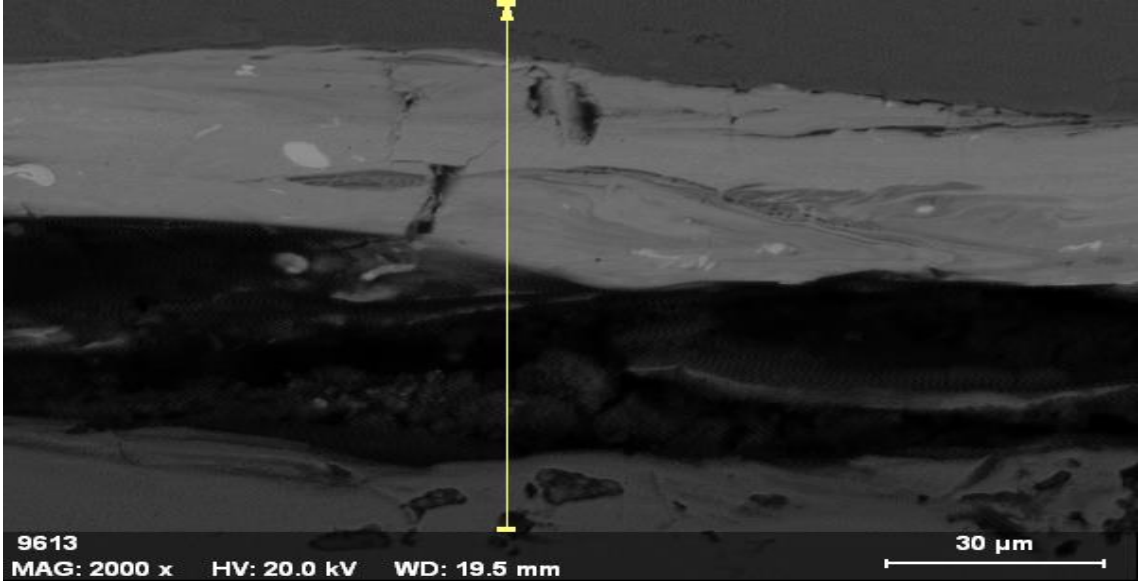
4.5 AISI 1008 Altık Üzerine Tunsten(W) Kaplama Karakterizasyonu

Bu bölümde Tungsten kaplamaya uygulanan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu analizler:

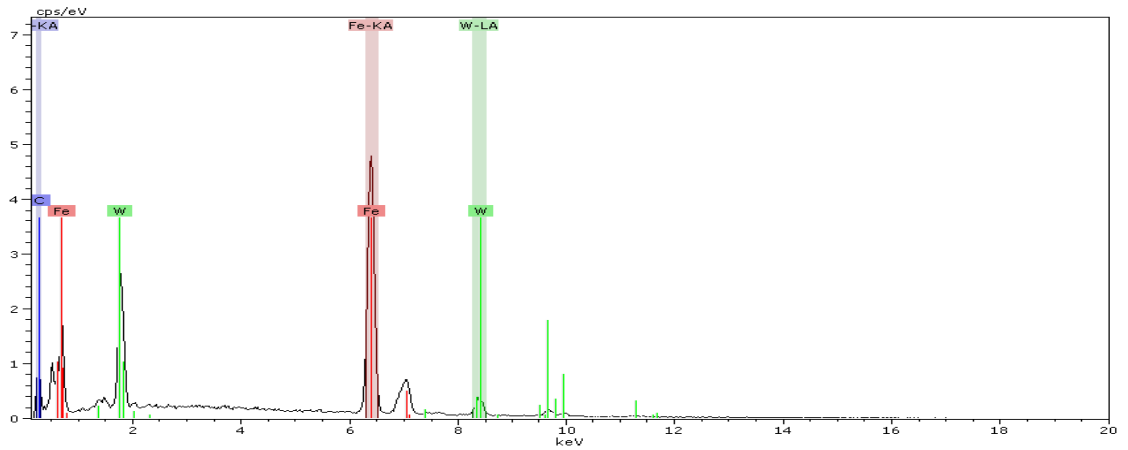
- XRD analizi
- SEM görüntüsü
- EDX analizi



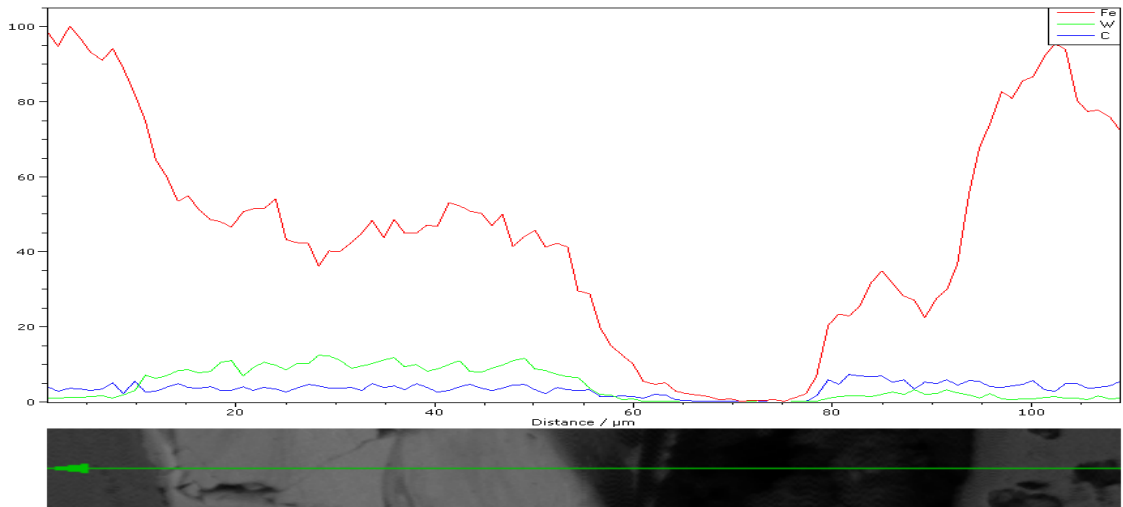
Şekil 4.7 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımın XRD Sonucu.



Resim 4.14 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımının SEM Görüntüsü.



Şekil 4.8 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımının EDX Sonucu.



Şekil 4.9 Yüzeyi 160V ve 210 Hz ile Tungsten Kaplanan Alaşımının Çizgi Analizi.

160 V ve 210 Hz de yapılan W kaplamanın XRD sonucu Şekil 4.7 verilmiştir. XRD sonucunda α ve γ demirin pikleri ortaya çıkmıştır. W kaplamanın Resim 4.14 ve Şekil 4.8 de SEM görüntüsü ve EDX sonuçları da verilmiştir. Şekil 4.7 de görüldüğü gibi altlık malzeme ile tungstenin çok iyi karıştığı ve tungstence zengin bölgelerinin çok az olduğu bundan dolayı XRD’de tungstenin görülmesini zorlaştırdığı düşünülmektedir. Buna karşın tungstenin alaşımlandırma ile beraber Fe-W faz diyagramına göre C 14 ve Mu(μ) fazlarını oluşturabileceği görülmüştür. Bu nedenle XRD sonucunda tungsten tespit edilememiştir.

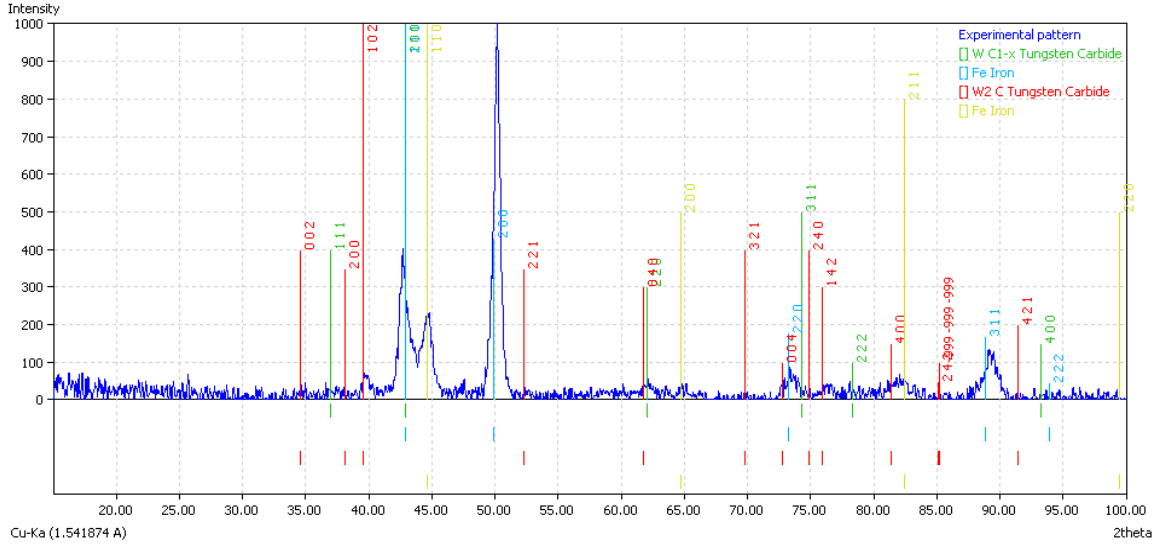
SEM mikro yapısında yukarıda belirtildiği gibi homojen bir karışımın oluşumu tabakanın en önemli özelliğidir. BSE modunda çekildiği için açık renkli bölgeler tungstence zengin olup gri bölgeler demirce zengin olmaktadır. Kaplama boyunca çok az bölgede açık rengin ortaya çıktığı görülmektedir. Kaplama kalınlığı gayet homojen olup bazı yerlerde dikine çatlaklar mevcuttur. Bu tür çatlaklar kesme sırasında veya kaplama sırasında ortaya çıkan radyal gerilmelerden dolayı oluşabilmektedir. Kaplama sırasında kaplanan ilk tabakanın Tungstence fakir olması ancak ana malzemeye göre daha sert olması tolere edilebilmektedir. Ancak bu tabakanın üzerine bir sonraki aşamada yapılan tungsten kaplama hem daha sert olmakta hem de alaşımlandırma miktarı azalmaktadır. Bu nedenle kaplama sırasında ark atlama zorluğu ve oluşan ısı bölgelerinin hızlı soğuması ile çatlak başlangıcı ve ilerlemesi kolaylaşmaktadır. Buna rağmen çatlak sayısı oldukça sınırlıdır.

SEM resminden alınan çizgi analizinde kaplama bölgesinde tungsten miktarının yükseldiği demir miktarının azaldığı görülmektedir. EDX analizi XRD de görülmeyen tungsten SEM’de rahatlıkla tespit edilebilmiştir.

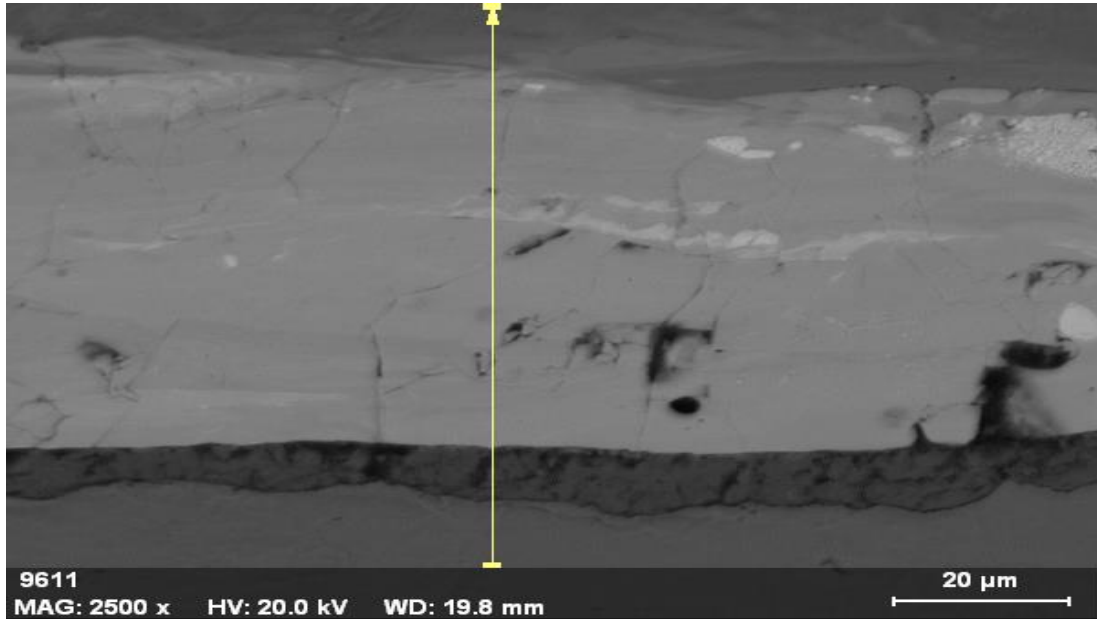
4.6 AISI 1008 Altlık Üzerine Tunsten Karbür(WC) Kaplama Karakterizasyonu

Bu bölümde Tungsten Karbür kaplamaya uygulanan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu analizler:

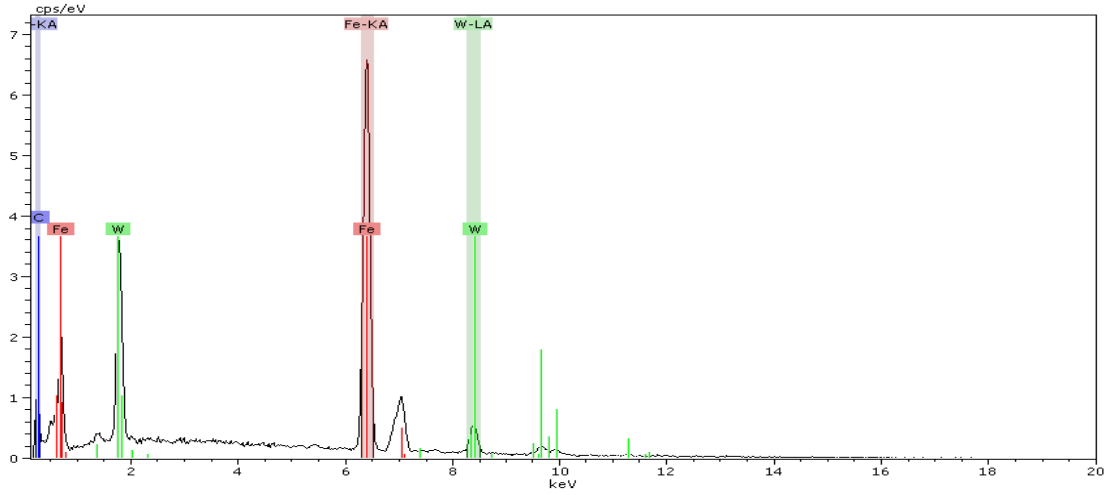
- XRD analizi
- SEM görüntüsü
- EDX analizi



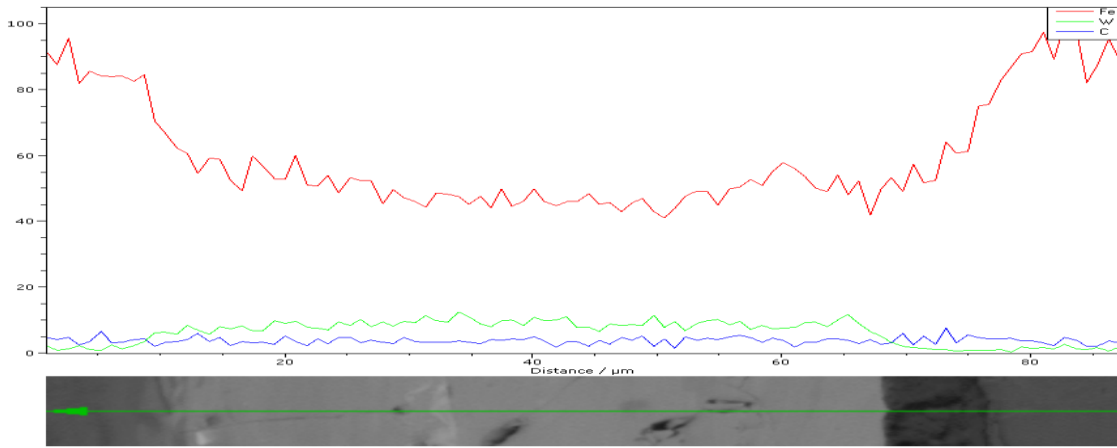
Şekil 4.10 Yüzeji 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür Kaplanan Alaşımın XRD Sonucu.



Resim 4.15 Yüzeji 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımın SEM Görüntüsü.



Şekil 4.11 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımının EDX Sonucu.



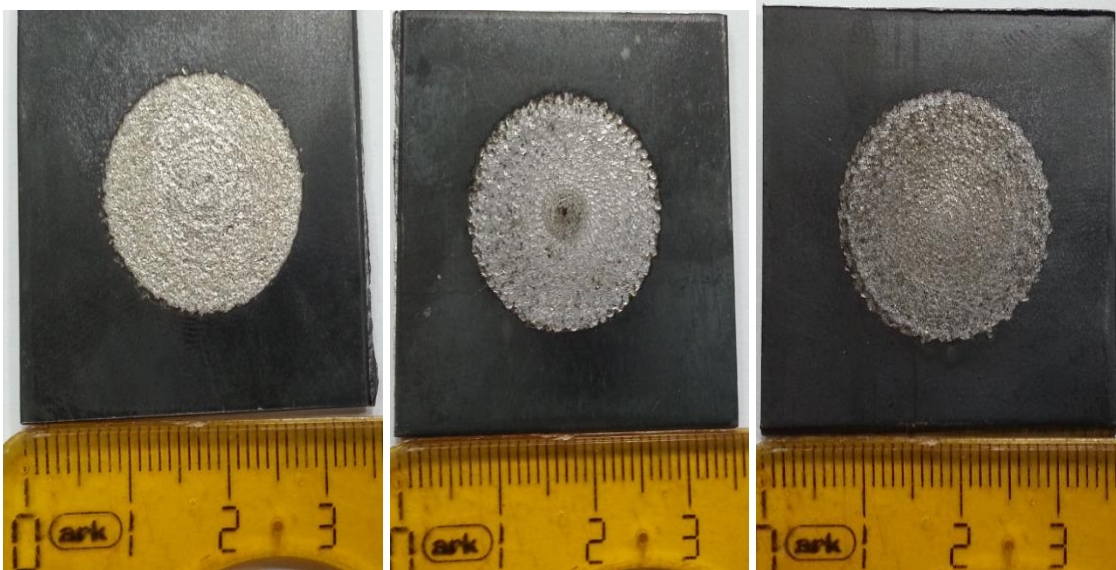
Şekil 4.12 Yüzeyi 160V ve 890 Hz ile Tungsten Karbür ile Kaplanan Alaşımının Çizgi Analizi.

WC kaplanmış numunelerin XRD analiz sonucu şekil 4.10'da verilmiştir. XRD sonucuna göre dört farklı fazın ortaya çıktığı görülmektedir. Bu fazlar W_2 , C, WC, α - Fe ve gama(γ) Fe fazları olduğu XRD analizinde görülmektedir. WC pik şiddeti oldukça küçük olup bunun kaplamanın üst tabakasından geldiği düşünülmektedir. Buna karşın bunların dışında oluşan W_2C fazının iki türü bulunmaktadır. W_2C , WC'ün bir karbon atomu kaybetmesi ile ortaya çıkan varyansıdır. Bu durumda WC'ün ergime sırasında, yani ark oluşumu sırasında ve damla yüzeye değip alaşımlandırma yaptığı aşamada karbonlu ortamdaki gazın içinde bulunan oksijenle birleşmesi sonucu CO ve CO_2 yaparak kaybettiği veya altlık malzeme ile yani ana malzeme ile alaşımlandırma sırasında kaybettiği düşünülmektedir. Lokal olarak yüksek sıcaklıklara çıkan Fe Ostenit bölgesinde C çözünürlüğü arttığı için soğuma sırasında WC'ün karbonunu kaybetmesine sebep olmaktadır. Resim 4.15'de görüldüğü gibi WC kaplaması oldukça

homojen bir kalınlığa sahip olup, içerisinde çok az çatlak içermektedir. Bu çatlaklar damlalar arası sınırların oluşturduğu bir bölge veya oluşum olarakta dşunlebilir. Bunların dışında ortadaki porozite damlalar arası bölgede yeterince birleşmemekten kaynaklanan porozite olarakta dşunlebilir. Ana malzemeye yakın olan çatlakların kaplama sırasında ana malzemenin karbonca zenginleşmesi sonucu termal gerilmelere daha az dayanıklı olmasından kaynaklandığı dşunlmektedir. EDX sonucu W'nin ve diğer alaşım elementlerinin homojen bir şekilde karıştığını göstermektedir. Ancak izgi analizi kaplama bölgesinde W'nin arttığını ve Fe'in azaldığını işaret etmektedir.

4.7 Kaplama Numunelerin Ağırlık Düşürme Test Analizleri

ESD yöntemi ile 35mm-35mm ebatlarında kesilmiş olan AISI 1008 eliği üzerine yaklaşık 20mm çapında Tungsten(W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımlı elik elektrotlarla 160 Volt ve 1570Hz. yaklaşık 90 saniye süreyle yapılan 3 ayrı kaplama numunelerinin Resim 4.16'da ağırlık düşürme cihazında 800gr. yük altında yaklaşık olarak 64 km/h hızında serbest deformasyon altında karakterizasyonları incelenmiş Resim 4.18, ... ve Resim 4.23'de gösterilmektedir. Kaplama gerçekleştiren  numune ve kaplamasız ana numune üzerinde serbest deformasyon sonucu meydana gelen iz genilikleri, indent genilikleri ve indent derinlikleri izelge 4.3'de belirtilmiştir.

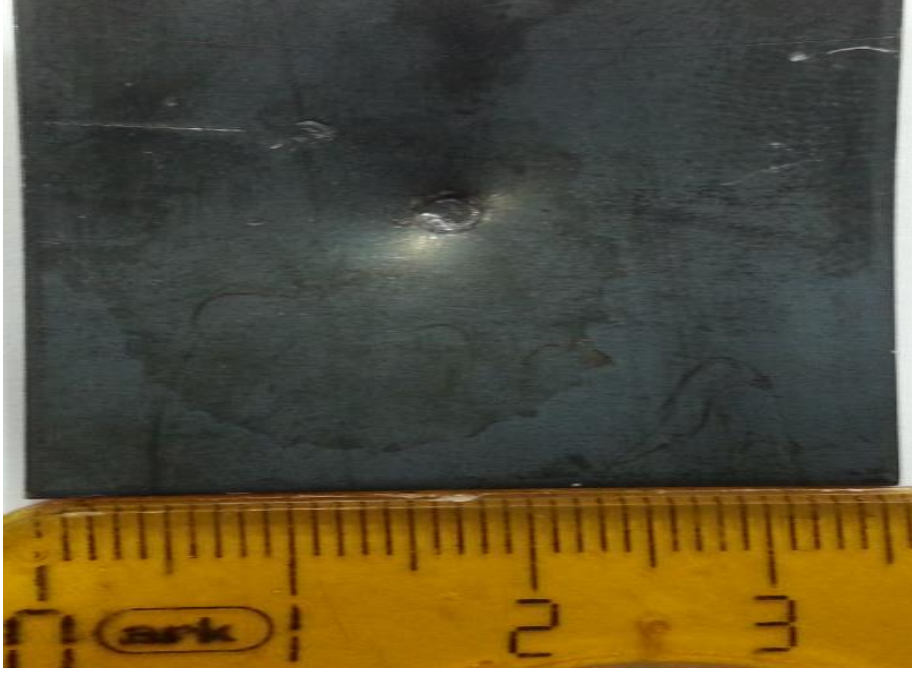


(a)Tungsten Karbür

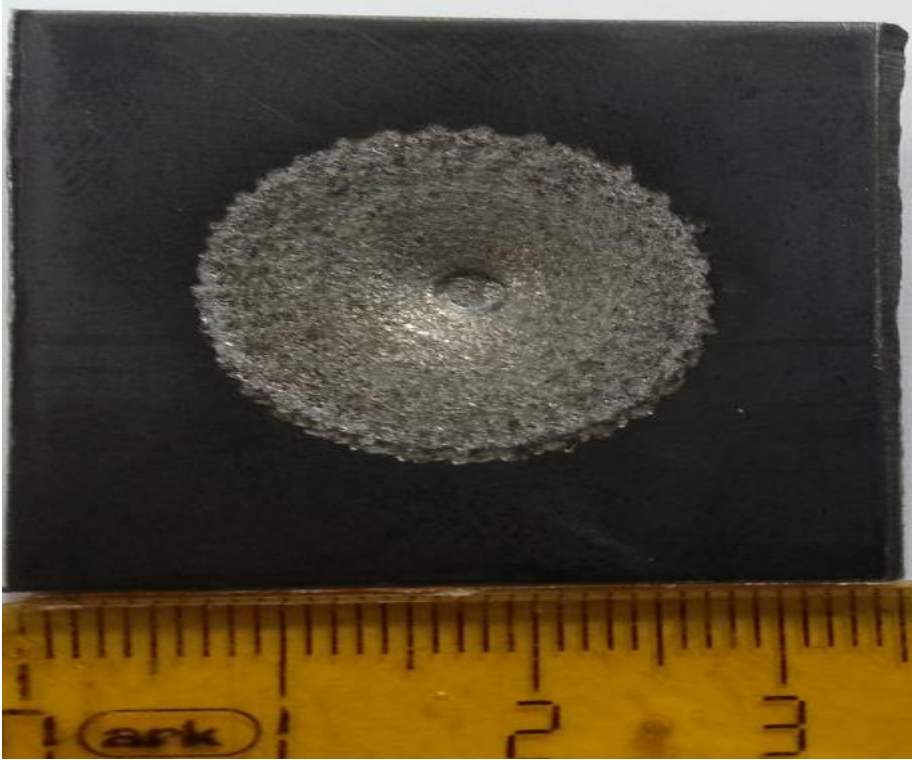
(b)Tungsten

(c) Alaşımlı elik

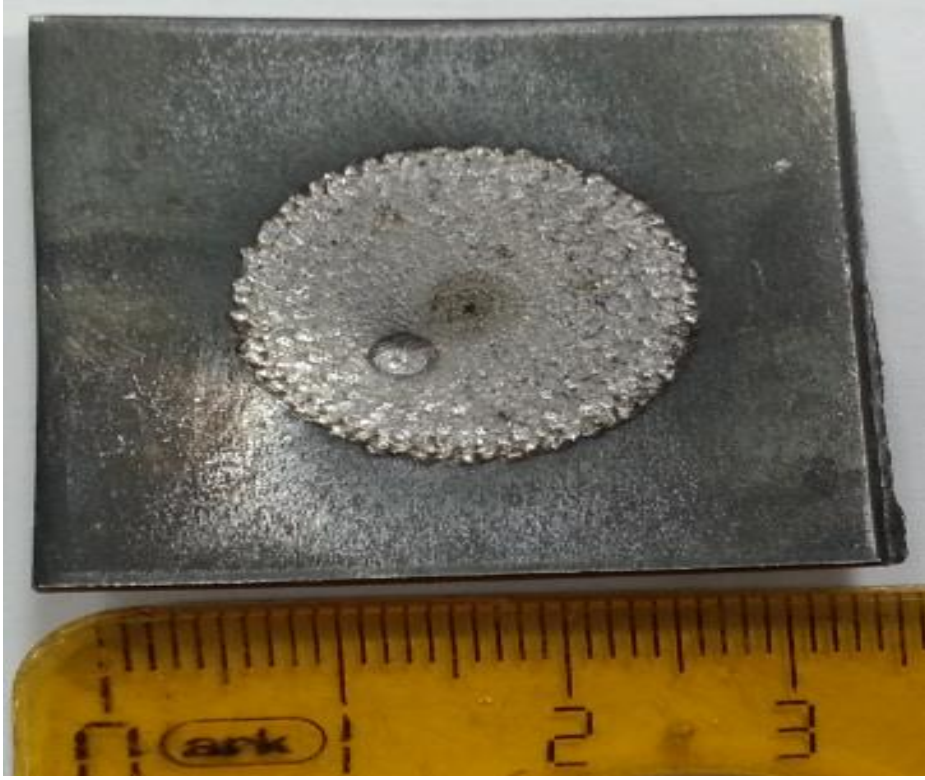
Resim 4.16 (a,b,c) Yüzeyleri 160 V 1570 Hz Kaplanan Numuneler.



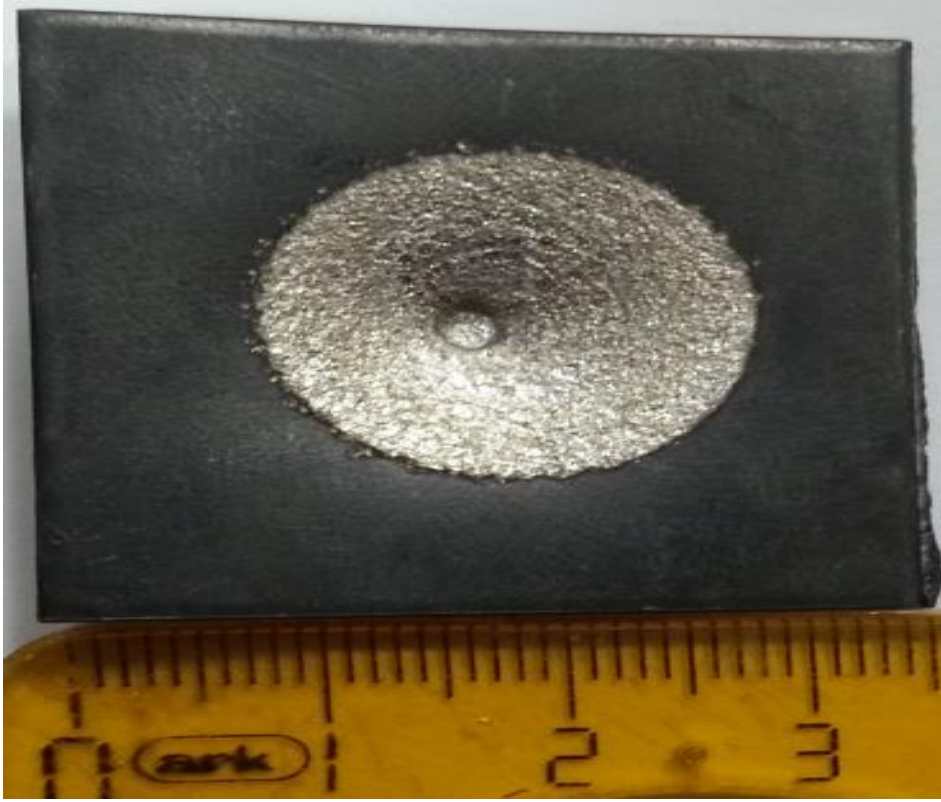
Resim 4.17 AISI 1008 Çeliği Üzerine Kaplamasız Serbest Deformasyon İzi.



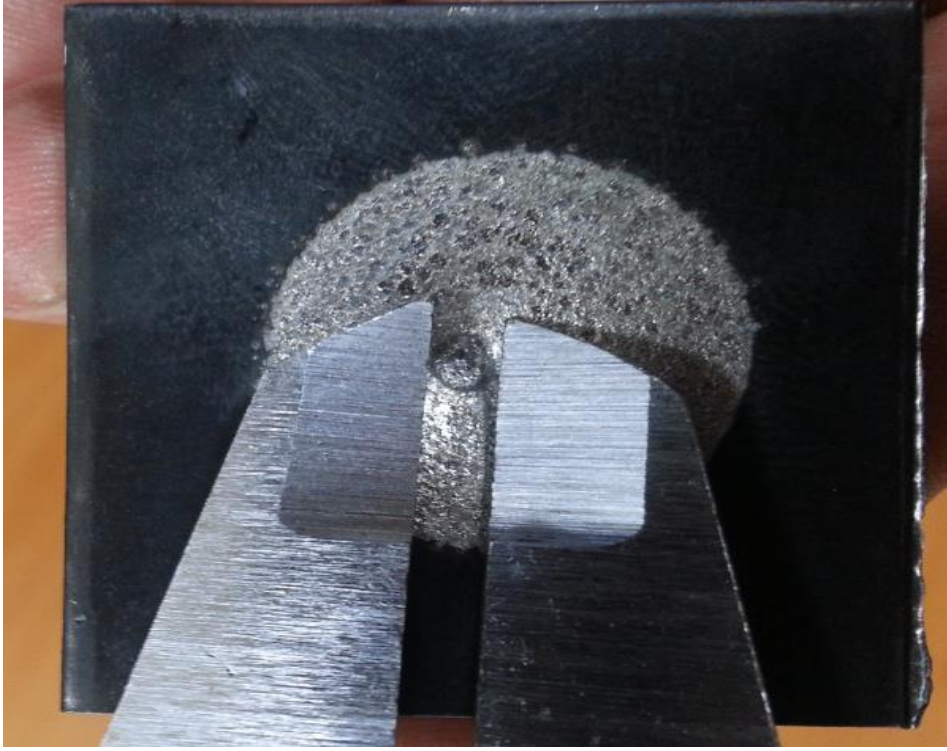
Resim 4.18 AISI 1008 Çeliği Üzerine Alaşımlı Çelik Kaplama Serbest Deformasyon İzi.



Resim 4.19 AISI 1008 Çeliği Üzerine W Kaplama Serbest Deformasyon İzi.



Resim 4.20 AISI 1008 Çeliği Üzerine WC Kaplama Serbest Deformasyon İzi.



Resim 4.21 AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformasyon İndent Genişliği.



Resim 4.22 AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformasyon İz Genişliği.



Resim 4.23 AISI 1008 Çeliği Kaplama Yüzeyi Serbest Deformasyon İndent Derinliği.

Çizelge 4.3 AISI 1008 Çelik Plaka Üzerine 160 volt ve 1570Hz. Kaplanan Alaşımli Çelik, Tungsten(W) ve Tungsten Karbür(WC) Numunelerinin 800gr Yük Altında 64km/h Hızında Serbest Deformasyon İz Genişliği, İndent Genişliği ve İndent Derinlikleri(mm).

Malzeme Türü	İz Genişliği (mm)	İndent Genişliği (mm)	İndent Derinliği (mm)
AISI 1008	4,3	3,84	2,10
Alaşımli Çelik	3,6	3,14	1,78
W	4,1	3,30	2,03
WC	3,8	3,04	1,41

Yapılan ölçümler sonucunda alaşımsız çeliğin indent genişliğinin diğerlerine göre daha fazla olduğu ve buda alaşımsız çeliğin daha kolay deforme edilebildiğini göstermektedir. Buna karşın W kaplamanın kalınlığının az olması darbe emme kapasitesini azaltmıştır. Hem alaşımlı çelik hem de WC kaplamanın W'den daha iyi performans gösterdiği rahatlıkla görülebilmektedir. Değerlendirme kriteri olarak indet derinliği dikkate alındığında anlamlı sonuçlar çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre AISI 1008 çeliğinin daha fazla indet derinliğine sahip olması normal olmakla beraber W'nin

XRD ve SEM sonuçlarında görüldüğü gibi tungstenin kaplama içerisinde tabakalaşma özelliği göstermesi, yatay çatlakların daha fazla olması ve bu çatlakların boydan boya ana malzeme kaplama sınırını takip etmesi darbe performansını azaltmaktadır. Bir sonraki performans Alaşımli Çelikte görülmüştür ki altlık malzeme ile aynı matris malzemeye sahip olması nedeniyle çok iyi alaşımlandırma yapısı ortaya çıkmış ve sahip olduğu alaşım elementleri katı hal sertleşme ile hem tokluğunu hem de sertliğini artırarak indentin ilerleyişine karşı direnç göstermiştir. Burada en iyi performans WC kaplamada görülmekte olup en yakın kaplamadan yaklaşık olarak % 20 daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. SEM resimlerinden görüldüğü gibi kaplamanın homojen bir yapıya sahip olması ve alaşımlandırmanın yeterince sağlanmış olması homojen bir sertliğe ve iyi bir darbe performansına yol açmıştır. Buda HV sertliklerinde alaşımli çelik kaplamaya göre sertlik değerlerinde üç katı artışla kendini göstermektedir. Ana malzemeye göre ise yaklaşık beş katı sertlik değeri elde edilmiştir. Burada kullandığımız ana malzemenin AISI 1008 çeliği olması ve yumuşak bir altlık olması yapılan kaplamanın sertlik değerini maliyet bakımından önemli kılmaktadır. Burada altlık olarak daha alaşımli bir malzeme kullanılması durumunda kaplama sertliğinin artmasına rağmen ekonomik olarak fizibil olmayacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada; ESD kaplama yöntemi kullanılarak AISI 1008 çeliğinden elde edilen numunelerin yüzeyleri Tungsten(W), Tungsten Karbür(WC) ve Alaşımli Çelik elektrotlarla kaplamaları gerçekleştirilerek, kaplanan numunelerin balistik özellikleri incelenmiştir. Kaplama işlemleri her bir numune için farklı voltaj ve frekans kullanılarak yapılmıştır. Kaplanan numunelerden HV vickers sertlik değerleri alındıktan sonra metalografik inceleme yapılmak üzere kaplama orta bölgelerinden hassas kesilme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kesilen numuneler daha sonra bakalite alınarak mikro yapı incelemeleri için hazırlanmıştır. Ayrıca kaplanan numuneler serbest düşme deneyine tabi tutularak kaplama bölgesinden meydana gelen iz genişliği, indent derinliği ve indent genişlikleri incelenmiştir.

- Yüzeyleri Alaşımli Çelik, Tungsten ve Tungsten Karbür elektrot ile kaplanan AISI 1008 çeliği makro yapı incelemesinde voltaj ve frekansların artırıldığında alaşımli çelik elektrot ile katot(altlık) malzememizin yüzeyinde yapılan dokuz adet numunenin genel ortalama kaplama kalınlığı 25,76 mikron, tungsten elektrotla yüzeyi kaplanana numunelerin genel ortalama kaplama kalınlığı 29,18 mikron ve tungsten karbür elektrot ile kaplanan numunelerin genel ortalama kaplama kalınlığı 33,58 mikron olarak optik mikroskopta tespit edilmiştir. Sonuç olarak her bir kaplamayı kendi içinde irdelediğimizde frekans ve volt arttıkça kaplama kalınlıklarının arttığı görülebilmektedir.
- Kaplamaların frekansı arttıkça anot elektrot atlamalar daha hızlı bir şekilde oluşmakta buda katot kaplama yüzeyinde yüksek yapışma mukavemeti, iyi kaynaşmış metalürjik bağ, iyi bir aşınma, pürüzsüz yüzey ve erozyon özellikleri sergilemektedir.
- Frekans ve Volt artırılarak AISI 1008 katot malzemesi üzerine Tungsten, Tungsten Karbür ve Alaşımli Çelik anot elektrot kullanılarak ESD yöntemi ile yapılan kaplamalarda ana malzememizin HV vickers sertlik değeri 148 HV iken alaşımli çelik kaplamada sertlik değeri 283,9 HV Tungsten elektrotlu kaplamada elde edilen sertlik değeri 413,7 HV ve Tungsten Karbür elektrotlu kaplamada sertlik değeri

755,6 HV elde edilmiş, bu değerler balistik açıdan irdelendiğinde katot olarak kullanılan AISI 1008 çeliğinin yüzeyine anot elektrot olarak farklı voltlar ve frekanslar kullanılarak ESD yöntemi ile yüzeye yapılan mikron boyutlarındaki kaplamalarda altlık malzemesinin yaklaşık beş katı HV vickers sertlik değeri elde edilmiştir.

- W, WC ve Alaşımli Çelik Kaplanan numunelere ağırlık düşürme cihazında 800gr. yük altında yaklaşık olarak 64 km/h hızında gerçekleştirilen serbest deformasyon karakterizasyonları incelendiğinde en iyi performans WC kaplamada görülmekte olup en yakın kaplamadan yaklaşık olarak % 20 daha az indent derinliğine sahip olduğu bu sebeple daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. SEM resimlerinden de görüldüğü gibi kaplamanın homojen bir yapıya sahip olması ve alaşımlandırmanın yeterince sağlanmış olması homojen bir sertliğe ve iyi bir darbe performansına yol açmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Agarwal, A., Dahotre, N.B.(1998), Pulse Elektrode Deposition of Superhard Boride Coatings an Ferrous Alloy, *Surface and Coatings Technology*, **106**: 2-3
- Alim, Y. (2009), Aynı Marka Farklı Seri Numaralı Tabancalardan Çıkan Mermi Çekirdeğinin Hangi Tabancaya Ait Olduğunun Saptanması İçin Yapılan Balistik Analizler, Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aratman, G. (2018), Delinme Performansı Deney Cihazı Yapımı ve Alüminyum Malzemelerin ESD ile Sert Bir Fazla Kaplanıp Delinme Performansının İncelenmesi. Lisans Bitirme Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyon
- Başargan, A. (2010), Bakırın Elektrosark Mikroalaşımlandırma Yöntemi İle Gümüşle Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- Binay, H. (2016), CTP Destekli AA-6082 T6 Levhalarda Terminal Balistik Özelliklerinin İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programı, İstanbul
- Bozkurt, A. (2018), ESD İle Sert Faz Kaplanmış Titanyum Alaşımlarının ve Çeliklerin Lazer ile İşlenmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon
- Carlucci, D. E. and Jacobson. (2008). Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition, CRP Press, New York

Ceyhun,V.,Turan,M. (2003), Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı, *Mühendis ve Makine*, **516**: 2-6

Çelikel, A. (2008), Av Tüfeği Namlu Uzunluğunun Saçma Dağılımına Etkisi ve Atış Mesafesinin Belirlenmesine Önemi. Adli Tıp Anabilim Dalı Tıpta Uzmanlık Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Eskişehir

Korkmaz, K. (2008), Elektrosark Biriktirme Yöntemiyle Mikro Alaşımli Çeliklerin Tungsten Karbür ile Kaplanması. Doktora Tezi, Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze

Kou, S.(2002), Welding Metallurgy, 2nd Edition, November 2002 Wiley

Lancaster, J.F.(1980), Metallurgy of Welding, brazing and soldering, 1980, Springer Netherlands, 1986 Pergamon press, 2nd Edition

Malik, P.K. (1990), Fiber Reinforced Composites; Materials, Manufacturing and Design Marcel Dekker, 80-104 New York

Mısırlıoğlu, E. (2006), Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze

Mitrevski, T.,Marshall, I.H., Thomson, R (2006), The Influence of Impactör Shape on the Damage to Composite Laminates, *Composite Structures*, **76**: 116-122

Topaç, H. (2014), Çelik Yüzeylerin Elektrosark Alaşımlama Yöntemi Kullanılarak Kromkarbür- Nikelkrom İle Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze

Yılmaz, M. S. (2012), Saf Titanyum Malzeme Yüzeyinde Titanyum Alüminyum İntermetalik Tabakasının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem COŞKUN
Doğum Yeri ve Tarihi : SİVAS, 1979
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 236 24 27 / ademckn@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Sivas Hafik İmam Hatip Lisesi (1996-1998)
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Metal Öğretmenliği (1999-2003)
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2015-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kuşadası İlçe Emniyet Müdürlüğü (2007-2008)
: Malatya İl Emniyet Müdürlüğü (2008-2010)
: Malatya Valiliği Özel Kalem Müd. (2010-2013)
: Afyon Valiliği Özel Kalem Müd. (2013-2016)
: Afyon İl Emniyet Müdürlüğü (2016-2019)