

**ESD ile SERT FAZ KAPLANMIŞ TİTANYUM  
ALAŞIMLARININ ve ÇELİKLERİN LAZER ile  
İŞLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Akın BOZKURT

Danışman  
Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

Ocak 2018

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.09 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ESD ile SERT FAZ KAPLANMIŞ TİTANYUM ALAŞIMLARININ ve**  
**ÇELİKLERİN LAZER ile İŞLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU**

**Akın BOZKURT**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Şükrü TALAŞ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Ocak 2018**

TEZ ONAY SAYFASI

Akın BOZKURT tarafından hazırlanan "ESD ile Sert Faz Kaplanmış Titanyum Alaşımlarının ve Çeliklerin Lazer İle İşlenmesi ve Karakterizasyonu" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23/01/2018 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  
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ,  
Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Yusuf KAYALI  
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ,  
Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARABAŞ  
HAKKARİ ÜNİVERSİTE  
Mühendislik Fakültesi

İmza

*[Signature]*

*[Signature]*

*[Signature]*

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

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

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**23/01/2018**

**Akın BOZKURT**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESD ile SERT FAZ KAPLANMIŞ TİTANYUM ALAŞIMLARININ ve ÇELİKLERİN  
LAZER ile İŞLENMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Akın BOZKURT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Yüzey modifikasyonu, ısıtılma işleminin ardından yapılan en önemli endüstriyel operasyonlarından birisidir. Galvanizleme, nikel kaplama gibi işlemler sıklıkla yapılırken malzemenin mekanik ve aşınma direncine etkisi sınırlı kalmaktadır. Buna karşın ESD ( elektro kıvılcım yığılma ) yani elektro kıvılcım ile kaplama daha iyi bir performans sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, ESD yöntemi ile değişik oranlarda TiC ve TiB<sub>2</sub> içeren elektrotlarla sert faz kaplanmış çelik ve Ti alaşımı malzemelerin, LAZER kullanılarak işleme veya kesme kapasitesinin ve bu işlemin sonucunda oluşacak olan yapının karakterize edilmesinden oluşmaktadır. Şerit haldeki alaşımlı çeliklerden yapılmış kesiciler, özellikle bi-metal şerit testereler, metal kesme endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kesici ağızların zamanla aşınmasını önlemek amacıyla kesici ağızları alaşımlandırılabilir ve servis ömürleri de uzatılabilir. Ti alaşımlarının kullanım yerleri genellikle havacılık endüstrisinde yoğunlaşmıştır ve kendine iyi bir yer edinmiştir.

Aşınmaya ve korozyona dirençli malzeme ile kaplanmış plakaların LAZER ile işlenebilirliği, endüstriyel olarak maliyetin azaltılması bakımından ve aynı zamanda kesme işlemi sırasında ne tür reaksiyonların ortaya çıktığını görmek açısından önemlidir. Bu nedenle, endüstriyel uygulaması oldukça yüksek bir araştırma olması için hem demir esaslı ve hemde demir dışı bir malzemenin kaplanması gerçekleştirilmiştir.

Bunun yanında, Ti alaşımları da, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmakta ancak yüzeylerinde oluşturulan kaplama tabakası endüstriyel uygulamalara her zaman yeterince cevap verememektedir. ESD ile kaplanacak olan Ti alaşımlarının yüzeylerinin LAZER işleme sırasındaki performansları, yaygın bir etki bırakması açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

**2018, xiii + 82 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** ESD Kaplama, LAZER İşleme, Sert faz Kaplama

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **CHARACTERIZATION and LASER PROCESSING of HARD PHASE COATED TITANIUM ALLOYS and STEELS by ESD**

Akın BOZKURT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

**Supervisor:** Prof. Şükrü TALAŞ

Surface modification is one of the most important industrial operation carried out after the heat treatment. The effect of processes such as galvanizing and nickel plating on mechanical and corrosion resistance is often limited. However, Electro spark deposition, namely, electric spark coating offers better performance.

The purpose of this research, includes the processing or cutting capacity of ESD (electro spark deposition) coating of titanium alloy materials and steel with hard phase covered with electrodes containing  $TiB_2$  and  $TiC$  in different proportions using LASER and the characterization of the structure which will occur as a result of this process. The cutting strip made of steel alloy, especially the bimetal band saw blades, it is often used in metal cutting industry. In order to prevent the wear of the cutting edges in time, the service life of the cutting edge may be extended by alloying. The use of titanium alloy is usually concentrated in the aerospace industry and finds its best position there.

Laser process ability of the coated plate with a corrosion and abrasion resistant material is important to see industrially reducing the costs and also what types of reactions occur during the cutting process. Therefore, in order to make the research more industrial, a ferrous and a non ferrous material was selected for coating. Furthermore, Ti alloys are used in high temperature applications, but also the coating layer formed on the surface cannot always respond adequately to industrial applications.

The performance during laser processing of surface of ESD coated Ti alloy is considered to be important to leave a widespread effect.

**2018, xiii + 82 pages**

**Keywords:** ESD Coating, LASER processing, Hard Phase Coating



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların 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.

Öğrenim sürem boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf KAYALI, Sayın Doç. Dr. M.Serhat BAŞPINAR ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Proje kapsamında sağladığı maddi imkanlar nedeniyle Afyon Kocatepe Üniversitesi, 16.FEN.BİL.09 numaralı projeyi desteklediği için Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna,

Laboratuvar çalışmalarım süresince tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Grv. Melih ÖZÇATAL, Sayın Zekeriya YARIMAY ve Sayın Ersin DURAK'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma,

Bu araştırma boyunca manevi destekleri, sabır, sevgi ve hoşgörülerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Akın BOZKURT

AFYONKARAHİSAR, 2018

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	4
2.1 Electro-Spark Deposition (ESD) Kaplama Metodu .....	4
2.1.1 ESD Kaplamanın Tarihçesi .....	4
2.1.2 ESD'nin Çalışma Prensibi ve Uygulanması.....	6
2.1.3 ESD Alanında Yapılan Bazı Çalışmalar.....	8
2.1.4 ESD Prosesinin Sağladığı Avantajlar .....	14
2.1.5 ESD Prosesinin Kullanılan Alanları.....	15
2.2 Lazerin Tarihçesi .....	16
2.2.1 Lazerin Çalışma Prensibi ve Uygulanması.....	16
2.3 Lazer Türleri.....	19
2.3.1 Katı Lazerler .....	19
2.3.2 Nd:YAG Lazeri .....	19
2.3.3 Sıvı Lazerler .....	21
2.3.4 Gaz Lazerler .....	22
2.3.5 CO <sub>2</sub> Lazer Sistemi .....	23
2.3.6 Yarı İletken Lazerler.....	24
2.4 Lazerlerde Kesme İşlemi .....	24
2.5 Lazer Işınımı İle Kesme Metotları.....	26
2.5.1 Lazer İle Füzyon (Eriterek) Kesim.....	26
2.5.2 Lazer İle Yakarak (Alevli) Kesim .....	27
2.5.3 Lazer İle Buharlaştırarak (Arıtarak) Kesim.....	28
2.6 Kesme Metotlarının Kıyaslanması .....	28
2.7 Lazer Kesimde Kullanılan Gazlar .....	28

2.7.1 Oksijen.....	29
2.7.2 Azot ve Argon .....	29
2.8 Lazer İle Kesimde Kesim Kalitesine Etki Eden Değişkenler.....	30
2.8.1 Lazer Işın Parametreleri .....	30
2.8.2 Malzeme Parametreleri.....	31
2.8.3 İşlem Parametreleri.....	31
2.9 Lazerin Sağladığı Avantajlar .....	31
3. MATERİYAL METOT .....	33
3.1 Kullanılan Malzeme ve İşlemler.....	34
3.1.1 ESD Yöntemi ile Malzemelerin Kaplanma İşlem .....	35
3.1.2 Kaplanan Malzemelerin Metalografik İşlemleri.....	36
3.1.3 Kaplanmış Olan Malzemelerin Mikro Sertliklerinin Alınması .....	37
3.1.4 Kaplanmış Olan Malzemelerin Fiber Lazer ile Kesimi.....	38
3.1.5 Karakterizasyon İşlemleri.....	39
3.1.5.1 SEM.....	40
3.1.5.2 XRD Analizleri.....	40
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	42
4.1 Kaplamaların Makro Görüntülerin Analizi .....	42
4.2 Kaplama Kalınlıklarının Analizi .....	46
4.3 X42 Çeliğinin Karakterizasyonu .....	51
4.3.1 X42 Çeliğinin XRD Analizi .....	51
4.3.2 X42 Çeliğinin SEM Görüntüsü .....	55
4.3.3 X42 Çeliğinin EDX Analizleri .....	59
4.4 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Karakterizasyonu .....	63
4.4.1 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının XRD Analizi .....	63
4.4.2 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının SEM Görüntüsü .....	67
4.4.3 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Analizi .....	71
5. GENEL SONUÇLAR .....	75
6. KAYNAKLAR .....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	82

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

T	Sıcaklık
°C	Derece
μ	Mikron
j	Joule
K	Kelvin
V	Volt
A	Amper
nm	Nanometre
gr	Gram
dk	Dakika
sn	Saniye
at. %	Atomikçe yüzde

### Kısaltmalar

---

ESD	Electro kıvılcım biriktirme
S.S.C.B	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
RSW	Direnç nokta kaynağı
HV	Vickers sertlik
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
EDX	X-Ray analizi
XRD	X-ışını difraksiyonu
DTA	Difransiyel termal analizi

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 ESD Kaplama Sisteminin Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 2.2 ESD Prosesinin Kaplanmak İstenen Malzemeye Parça Bırakımı.....	8
Şekil 2.3 ESD İşlemi Yapılan Kaplama İşlemi Sonrasında Lazer İle C <sub>45</sub> Çeliğinin Yüzeyine Atımı Sonrası Mikrosertlikler.....	13
Şekil 2.4 Lazer üretiminde meydana gelen üç aşamanın basitleştirilmiş şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.5 Nd.YAG Lazerinin Isıl Şeması.....	20
Şekil 2.6 Bir Nd:YAG lazer sisteminin temel parçaları.....	20
Şekil 2.7 CO <sub>2</sub> lazer sistemi.....	23
Şekil 2.8 Yarı iletken lazerler.....	24
Şekil 2.9 Lazer ile kesim prensibi.....	25
Şekil 2.10 Lazer kesim parametreleri.....	30
Şekil 3.1 İş Akış Şeması.....	33
Şekil 3.2 Kaplanacak Olan Altlık Malzemelerin Boyutları.....	34
Şekil 4.1 Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Kalınlıkları.....	47
Şekil 4.2 Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı.....	49
Şekil 4.3 Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı.....	50
Şekil 4.4 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu.....	51
Şekil 4.5 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu.....	52
Şekil 4.6 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu.....	52
Şekil 4.7 Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu.....	54
Şekil 4.8 Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu.....	54

<b>Şekil 4.9</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin XRD	
Sonucu.....	54
<b>Şekil 4.10</b> Ar-O <sub>2</sub> atmosferi altında saf demir metalinin oksijen içeriği.....	58
<b>Şekil 4.11</b> Ar-O <sub>2</sub> atmosferi altında Fe-Ti kaplanan metalinin oksijen.....	59
<b>Şekil 4.12</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	60
<b>Şekil 4.13</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	60
<b>Şekil 4.14</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	61
<b>Şekil 4.15</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	61
<b>Şekil 4.16</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	62
<b>Şekil 4.17</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin EDX	
Sonucu.....	62
<b>Şekil 4.18</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	64
<b>Şekil 4.19</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	64
<b>Şekil 4.20</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	65
<b>Şekil 4.21</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	66
<b>Şekil 4.22</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	66
<b>Şekil 4.23</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
XRD Sonucu.....	66
<b>Şekil 4.24</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
EDX Sonucu.....	71
<b>Şekil 4.25</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının	
EDX Sonucu.....	72

<b>Şekil 4.26</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.....	72
<b>Şekil 4.27</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.....	73
<b>Şekil 4.28</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.....	73
<b>Şekil 4.29</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Nd:YAG lazerlerinin de uygulanan modların özellikleri.....	21
<b>Çizelge 3.1</b> Lazer kesim deneylerinde kullanılan X42 çeliği ve Ti6Al4V alaşımının, mekanik ve kimyasal özellikler.....	34
<b>Çizelge 3.2</b> Ti6Al4V titanyum alaşımı ve X42 çeliğinin TiC ve TiB <sub>2</sub> ile ESD kaplama sırasında kullanılan numune sayıları.....	35
<b>Çizelge 3.3</b> Ti6Al4V titanyum alaşımı ve X42 çeliğinin TiC ve TiB <sub>2</sub> ile ESD kaplama sırasında kullanılan voltaj ve frekanslar.....	35
<b>Çizelge 3.4</b> Malzemelerin Sertlik Değerleri .....	38
<b>Çizelge 4.1</b> Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları.....	46
<b>Çizelge 4.2</b> Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları.....	47
<b>Çizelge 4.3</b> Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları.....	49
<b>Çizelge 4.4</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan malzemenin XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler.....	53
<b>Çizelge 4.5</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan malzemenin XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler.....	55
<b>Çizelge 4.6</b> Yüzeyi TiC ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler.....	65
<b>Çizelge 4.7</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının XRD analizi sonucunda bulunan bileşikleri.....	67



## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Esd Yöntemi ile Yüzeyi W Kaplanan 304 Çeliği.....	5
<b>Resim 2.2</b> Elektro-Spark Kaplama (ESD) .....	7
<b>Resim 2.3</b> Esd Yöntemi ile Pistonun Yüzeyi Ni Kaplaması.....	9
<b>Resim 2.4</b> ESD Yöntemi ile Nokta Kaynağının Bakır Keplerinin Seramik Fazlarla Kaplama.....	10
<b>Resim 2.5</b> Yüzeyi TiB <sub>2</sub> Kaplanan Ti6Al4V Alaşımının Mikroyapısı.....	11
<b>Resim 2.6</b> TiC-TiB <sub>2</sub> kaplamanın yüzeylerini gösteren mikro fotoğraflar.....	12
<b>Resim 2.7</b> Esd İşlemi Yapılan Kaplama İşlemi Sonrasında Lazer İle C <sub>45</sub> Çeliğinin Yüzeyine Isıl İşlem Uygulanması.....	13
<b>Resim 3.1</b> Elektro-Spark Kaplama (ESD).....	36
<b>Resim 3.2</b> İç Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi Yapılması.....	37
<b>Resim 3.3</b> Mikro Sertlik Cihazı.....	38
<b>Resim 3.4</b> 3T LASER Markalı Fiber Lazer Cihazı .....	39
<b>Resim 3.5</b> LEO 1430 VP model SEM Cihazı... ..	40
<b>Resim 3.6</b> Shimadzu 6000 XRD Cihazı.....	41
<b>Resim 4.1</b> Yüzeyleri farklı frekans ve voltajlar ile TiC ile kaplanan numuneler.....	42
<b>Resim 4.2</b> Yüzeyleri farklı frekans ve voltajlar ile TiB <sub>2</sub> ile kaplanan numuneler.....	45
<b>Resim 4.3</b> Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı .....	46
<b>Resim 4.4</b> Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı.....	48
<b>Resim 4.5</b> Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı.....	50
<b>Resim 4.6</b> Laser Kesim Sırasında Oluşan Oksit ve Cüruflar.....	53
<b>Resim 4.7</b> Yüzeyleri Kaplanan X42 Çeliğinin SEM Görüntüsü.....	57
<b>Resim 4.8</b> Yüzeyleri Kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının SEM Görüntüsü.....	69
<b>Resim 4.9</b> Malzemeler Isı İletim Kat Sayısı.....	70

## 1. GİRİŞ

Genel bir kaplama yöntemi ile yüzey özellikleri geliştirilmiş olan metalik alaşımlar ve / veya metal matrisli kompozitlerin bu şekilde sahip oldukları yüksek aşınma direnci sayesinde birçok uygulama alanında bu tür alaşım ve kompozitler yaygın olarak kullanılabilirler. Mekanik, kimyasal ve fiziksel yöntemlerin kullanıldığı metal kaplama uygulamalarından makinaları imalatında ve tarım aletlerinde en çok kullanılan kaplama prosesleri galvaniz, çinko, krom ve fosfat kaplamalardır. Normal şartlar altında korozyona karşı en çok çinko ya da alüminyum kaplama kullanılmaktadır. Aynı zamanda matrisi oluşturan temel alaşımlara göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme imkânı da elde edilebilmektedir. Metalik olan malzemeler ve metalik matris üzerine yapılan seramik takviyesi ile üretilen malzemelerle yani elektrotlarla kaplamanın uygulanması sonucu elde edilen kaplama tabakası ve seramik içeren yüzeyde takviyeli metal matrisli kompozitlerin belli başlı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler; tokluk, yüksek mukavemet, yorulma ve aşınma direnci yüzey dayanıklılığı ile birlikte istenilen ısı özelliklerine (iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısı) sahip olabilmektedir. Bu tür özellikler, oksidasyon direnci düşük olan elementlere de uygulanabilir.

ESD kaplama prosesi ile yapılan oldukça sert yüzey kaplamalar, aşınmaya dayanıklı yüzeylerde, yüksek sıcaklıklarda, oksitlenmeye ve korozyona maruz koşullar altında çalışan büyük parçalarda uygulandığı gibi belli başlı küçük parçalarda da dayanıklılığını arttırmak ve onların yüzeylerini korumak amacıyla yapılmaktadır. Daha farklı olarak, sürekli olarak sürtünme aşınmasına maruz kalan kaynak emziklerinin veya bakır uçların aşınmasını engellemek veya azaltmak amacıyla ve dolayısıyla kullanım ömrünü arttırmak amacıyla da yapılmaktadır. AISI 1020 ve 1018 çelik numunelerin yüzeyine ESD kaplama yöntemi ile  $TiB_2$  kaplanarak ultra sert yüzeyler oluşmaktadır. HSS takım çelikler üzerinde yapılan kaplamalarda da takım çeliklerin ömrü % 2000 arttırıldığı gözlenmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine ESD kaplama yöntemi ile  $Cr_7C_3$  gibi seramik tabaka veya Fe bazlı amorf alaşımlı (Fe, Cr, Mo, Cd, C, B) elektrot kullanılarak 1542 HV sertlikte bir kaplama oluşmaktadır. Düşük karbonlu çelik ve saf titanyum altlıklar üzerine WC-bazlı (Co, Mo, Ta vs.) sert alaşımlar ESD kaplama

yöntemiyle kaplanarak çelik ve saf titanyum üzerinde sırasıyla 4,3 ve 1,4 kat aşınmaya karşı dirençli bir kaplama elde edilmektedir.

Titanyum alaşımları, örneğin Ti6Al4V ve benzeri, özellikle yüksek sıcaklık dayanımı ile beraber olmakla beraber yoğunluklarının daha düşük olmaları nedeniyle, daha hafif yapısal uygulamalar için ideale yakın özellikler göstermektedir. Titanyum alaşımlarının genel özellikleri gereği, en önemli parametre, sahip oldukları yüksek sıcaklık korozyonuna karşı hassastırlar. Bu alaşımlar beta yapısında veya alfa+beta yapısında veya sadece nadir olarak alfa yapısındadırlar. Korozyon sıcaklığı genel olarak 600 °C de başlar ve sahip oldukları alaşım elementi miktarı ve alaşım elementi türüne göre değişen davranış gösterirler. Titanyum alaşımlarının ve benzer özellikli malzemelerin yüksek sıcaklık korozyon ve mekanik dayanımlarını artırmak amacıyla yüzeylerinin, hem sert ve hem de yüksek sıcaklıklarda bozulmaya veya korozyona dirençli metal ve seramik fazlarla kaplanması gerçekleştirilecektir. Bu kaplamanın, yüzey özelliklerinin yanında aşınma değerlerini de iyi yönde değiştirmesi beklenmektedir. Titanyum alaşımlarından olan Beta türü alaşımlarda benzer şekilde havacılık alaşımı olarak sıklıkla kullanılmakta ve hala kullanım alanı araştırılmaktadır.

İşleme, lazer kesme ve torna tezgâhları işlenecek olan parçayı 0,5mm'den daha küçük çaplı bir lazer ışık kümesiyle buharlaştırır ve eritir. Yoğunluğu veya sertliği ne olursa olsun, kullanılan bütün parçalar pürüzsüz ve çabuk olarak kesilebilmektedirler. Lazer ışınının oluşturulması kolayca üretilmeye başladıktan sonra uygulama alanlarında artış görülmektedir. Mühendislikte genellikle kullanım alanları kesme, kaynak, delme ve sertleştirme işlemleri yapılmaktadır. Lazer sistemleri ile yapılan üretimlerde hem otomasyonu hızlandırmakta hem de üretimde oluşan hataları da azaltmaktadır. Lazerin farklı özellikteki tezgâhlarda uygulanması sonucu üretimi 24 saat yapılabilmektedir. Seri üretimin sağlanması ile birlikte maliyet de ciddi oranda düşürülmüştür. Başta lazer ile yapılan kesme prosesleriyle birçok kalıp ve yan ürünlerden tasarruf edilmektedir. Aynı zamanda lazerin sisteme girmesiyle birçok makine elenmiştir. Bununla birlikte çalışanların hatalarından kaynaklanan hatalar da minimuma düşmüştür. Genellikle metal kesme işlemleri oksî-gaz aleviyle birlikte yapılmaktadır ve bu uygulama düzgün olmayan pürüzlü ve kalıntılı yüzeyler bırakmaktadır. Lakin günümüzde hala et kalınlığı

büyük olan parçalar oksî-gaz yöntemiyle kesilmeye devam edilmektedir. Bu kullanılan oksî-gaz prosesinin uygun görülmediği zamanlarda plazmayla kesme prosesi kullanılmaktadır. Kullanılan bu işlem oksî-gaz ile kesmeye göre nispeten daha hassas ve pürüzsüz bir kesim sunmaktadır. Lazer prosesinin üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 0.5 milimetreye kadar olan parçalar kolaylıkla kesilebilmektedir.
- Kalın parçalardan, ince parçalara kadar bütün malzemeler tek bir lazer makinesi ile ve çok yüksek süratte kesmektedir.
- Yapılan kesimlerin temiz ve hatasız olması için kullanılan otomatik önleyici sistemler bulunmaktadır.
- Kesilecek malzemelerin türüne göre kullanılan gazın ve kalınlığına göre de nozulun seçimi otomatikman yapılabilmektedir.
- Kesme işlemleri 2 boyutlu yapılabilmekle beraber 3 boyutlu olan profil, boru ve değişik şekillere sahip olan malzemeler de kesilebilmektedir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Electro-Spark Deposition (ESD) Kaplama Metodu

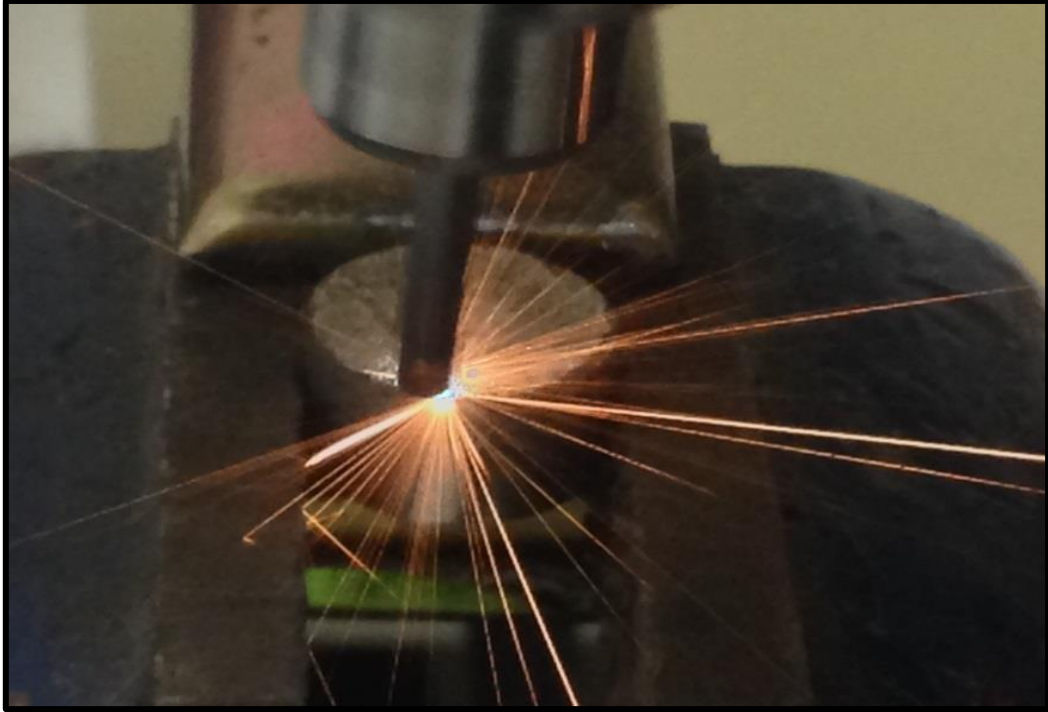
#### 2.1.1 ESD Kaplamanın Tarihçesi

Eski Yunan filozoflarının elektrik yükünün hareketi sırasında meydana gelen kıvılcımları gözlemledikleri tarihten beri elektro-spark olayı bilinmektedir. Elektrosark kaplama (ESD), yıpranma, aşınma direnci ve boyutsal bozuklukları iyileştirmek için elektrot malzemesinin metalik bir yüzey üzerine biriktirmek için kısa süreli akım darbeleri kullanılmaktadır (Handbook 2007). 1900'lü yılların başından beri, ESD, kıvılcım sertleştirme, elektrikle kıvılcım sertleştirme ve elektrosark alaşımlama gibi diğer isimlerle de bilinmektedir.

1924 yılında H. S. Rawdon tarafından, demir yüzeyindeki sertliğin bir nikel veya bakır elektrot ile başlatıldığında arttığını fark edilmiştir. Ayrıca, demir sertliğinde artışın, buharlaşan ısınmış yüzeyin hızla soğuması gibi martensit oluşumunun bir sonucu olduğunu kanıtlanmıştır (Johnson and Sheldon 1986). ESD tekniği 1943'te Lazarenko elektrik arkını kullanarak metal yüzey işleme üzerinde çalışmalarda bulunmuş ve electro-spark yönteminin temellerini atmaya başlamıştır. Daha sonraki yıllarda Welsh, çeliklerin yüzeylerinde sürtünme dolayı meydana gelen elektrik arklarını ısı etkilerinden yararlanarak simülasyon etmeye çalışmıştır. Welsh bir sonraki çalışmalarında arkın meydana getirdiği ortamın yüzey sertliğini arttırdığını, nitrojen ve oksijen gibi atomlarının hapsedilmesinin yüzey sertliğine büyük ölçüde katkı yaptığını göstermiştir. Welsh ve diğer arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmalarda çeliğin tungsten karbür veya titanyum karbür – tungsten karbür elektrotlarla kaplanması sonucunda diğer kaplama yöntemlerine nazaran 6 ila 30 kat daha yüksek aşınma direnci elde edildiği gözlenmektedir. ESD'de dâhil olmak üzere metal parçalara kaplama işlemi, kimyasal, elektrokimyasal ve elektrotermal reaksiyonlar eşliğinde kütle ve enerji taşınmasını içerir (Johnson and Sheldon 1986).

Benzer bir çalışmayı, 1957'de Galler tarafından, çelik yüzeyi elektrikle kıvılcımlandığında da gözlemlenmiştir (Resim 2.1). Buna ek olarak, azot ve oksijen gibi

atmosferik elementlerin emiliminin sertlik değişikliklerini etkileyebileceğinden, yüzey sertliğinin kıvılcım atmosferinden etkilenebileceğini görülmektedir ( Welsh *et al.* 1957, 1958). Rawdon ve arkadaşları, yağ altında titanyum yüzeylerin kaplanması, titanyum karpitin yüksek yüzey konsantrasyonları ile sonuçlandığını ve çok zayıf olan bir yüzeyi sert ve dayanıklı bir yüzeye döndüğünü göstermektedir. Daha sonraki araştırma çalışmalarında, tungsten karbürlü ve titanyum karpit elektrotlarının, aşınmaya dirençli kaplamanın çelik üzerine biriktirilmesi için kullanılabileceğini ve duruma göre karbonlama veya kobalt bazlı veya Ni-Cr-B bazlı sert kaplamalardan daha fazla aşınma direncine sahip olduğunu gösterilmiştir (Welsh 1957, Welsh and Watts 1961).



**Resim 2.1** Esd Yöntemi ile Yüzeyi Tungsten (W) Kaplanan 304 Çeliği.

ESD yöntemi alanında yapılan ilk çalışmaların çoğu genellikle Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (S.S.C.B.) tarafından yürütülmüştür. Çoğu Sovyet yayınlarında ESD kaplama yönteminin aşınmaya maruz kalan malzeme veya parçaların (torna takımları, kalıplar matkap uçları, kam milleri, türbin bıçakları gibi) kaplamaya maruz bırakılarak çalışma süresinin artırılmasında ve aşınan kısımlarında tekrardan tamir edilmesi için kullanılan önemli bir yöntem olduğundan söylenmektedir.

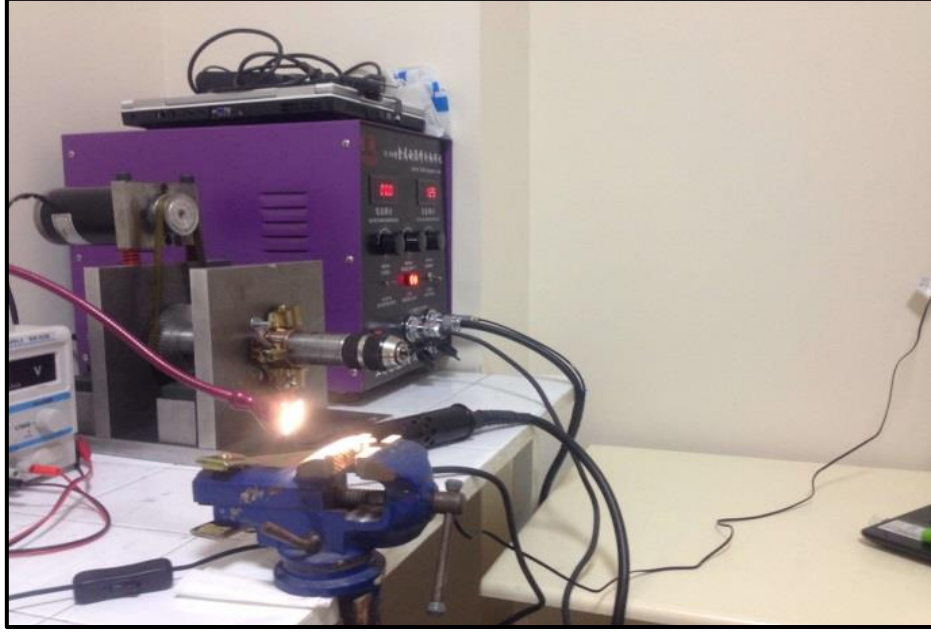
S.S.C.B.'de genellikle kullanılan ESD yöntemi batı ülkelerinde özellikle Johnson tarafından 1974'de yaptığı araştırmalar ve çalışmalara kadar sınırlı olarak incelenmiştir. Johnson çalışmalarında ESD yöntemiyle, A.B.D.'deki nükleer reaktörlerde yüksek sıcaklık ve aşınma direnci istenen bölümlerde uygulandığı görülmektedir. 1990'ların başından itibaren ESD kaplama yöntemine artan bir ilgiyle beraber umut veren bir yüzey geliştirme prosesi olarak daha çok uygulanmaya başlamıştır (Mısırlıoğlu 2006).

Son yıllarda ESD prosesi ile yapılan kaplamalarda, elde edilen yeni özellikleri maksimum derecede arttırmak için daha değişik elektrot çiftleri kullanılması metodu dışında proses esnasında verimi arttırmak için kullanılan ekipman ve proses üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Eski pulse jeneratörlerinde kullanılan RC devrelerin yerine yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak üretilen transistörlü devrelerin bilgisayar kontrollü ESD kaplama sistemlerin kullanılması ile proses daha hızlı ve daha verimli hale getirilmeye çalışılmış mevcut kaplama kalınlıkları 3 ila 4 kat arasında arttırılmıştır (Korkmaz 2008).

### **2.1.2 ESD'nin Çalışma Prensipleri ve Uygulanması**

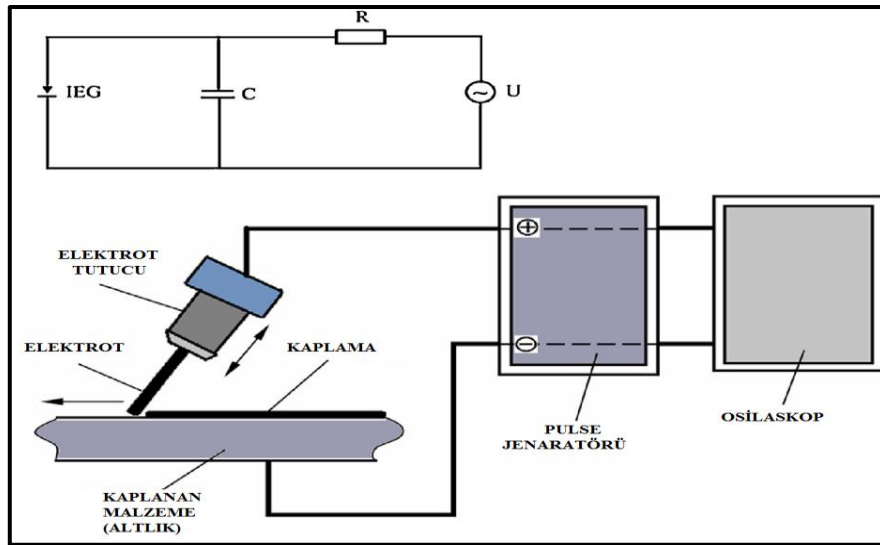
Günümüzde sert kaplamalı alt tabakaların birikimi için bir takım yöntem bilinmektedir. Yani, hasar görmüş veya yıpranmış ürünler üzerine sert kaplamaların depolanmasına ilişkin birçok yöntemden vardır ama bunlardan biri de Electro-Spark Deposition (ESD)'dir (Resim 2.2).

ESD, esasen metal malzemelerin yüzey muamelesi için kullanılan basit ve uygulanabilir bir işlem türüdür. Bu süreç, yüksek enerjili elektrik enerjisini depolamak için kondansatörlerin kullanılması ve daha sonra metal elektrot (anot) ve metal alt tabaka (katot) arasında yüksek enerjili elektrik enerjisi yüksek frekanstan kaçınılmasıdır. Bu deşarj, havanın iyonlaşmasını sağlar ve elektrot malzemesi ile iş parçası arasında bir kanal oluşturur. Bu deşarj aynı zamanda iş parçasının yüzeyinde küçük, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç alanlarının oluşmasına neden olur. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç iş parçasının yüzeyine nüfuz edebilir. Yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci ile metalürjik kaplama oluşturabilir (Tang 2009). ESD kaplama sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.1'deki gibidir.



**Resim 2.2** Elektro-Spark Deposition (ESD).

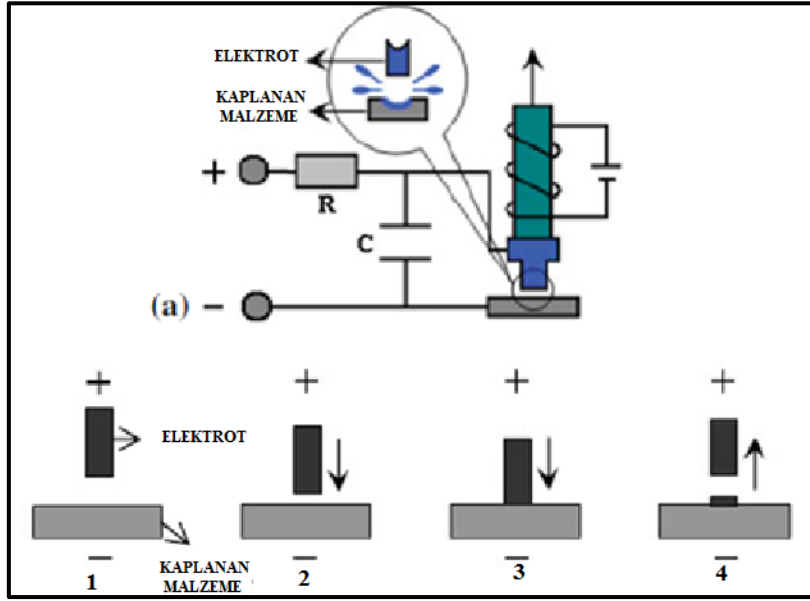
ESD işlemi için en yaygın güç kaynağı bir doğru akım (DC) doğrultucu ve deşarj devresinden oluşur. DC doğrultucunun amacı, alternatif akım (AC) girişini, bir dizi kapasitörü şarj etmek için kullanılan doğru akıma (DC) dönüştürmektir. Şarj voltajı ve deşarj frekansı gibi ESD süreci için elektriksel işlem 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 2.2).



**Şekil 2.1** ESD Kaplama Sisteminin Şematik Gösterimi (Tang 2009).



ESD için tipik elektrot tutacağı, iletken olmayan bir kutudan, iç metalik astardan ve bir elektrik motorundan oluşur (Handbook 2007). İletken olmasının temel amacı, enerjilenmiş elektrot ile operatör arasında hem elektrik hem de ısı yalıtımı sağlamaktır. Elektrik motoru, elektrot ile iş parçası arasındaki temasın kesilmesini gerektiren elektrot hareketini sağlamaktır.



Şekil 2.2 ESD Prosesinin Kaplanmak İstenen Malzemeye Parça Bırakımı (Tang 2009).

En yaygın elektrot hareketi, titreşim, döndürme ve salınım olmak üzere 3 tür vardır. Elektrik akımı, güç kaynağından, dönen shaftın etrafına sarılıp döner yüklenici kullanılarak örgülü bir kablo sayesinde çeşitli yöntemlerle aktarılır. Koruyucu muhafaza ve mekanik içeriğine ek olarak, koruyucu bir atmosfer sağlamak için elektrot tutucu, koruma alanına koruma gazı sağlamak için de kullanılabilir. Elektrotun ucuna gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) için kullanılaben bir gaz memesi takılabilir (Tang 2009, Reynolds *et al.* 2003).

### 2.1.3 ESD Alanında Yapılan Bazı Çalışmalar

ESD ile yapılan çalışmalar farklı alanlara hitap etmekle beraber yapılan çalışmaların çoğunda olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Aşağıda paragraflarda ESD ile yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir:

- ESD yöntemi ile dizel motor pistonun yüzeyi Resim 2.3’de görüldüğü üzere Ni kaplanmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız pistonların yüzeyinde uygulanan termal analizlerde, kaplamasız pistonla 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 sıcaklıklar gözlenmiştir. Kaplamalı dizel pistonlardaki en büyük sıcaklık değerleri, piston yanma bölgesinde gözlenmiştir. Bu yüzden sıcaklıklar kaplama yüzeyinde gerilim oluşturmaktadır. Kaplamasız pistonun sıcaklıktan dolayı malzeme yorulmasını engelleyerek çalışma süresini uzatacaktır. Ayrıca pistonun alt kısımlarında görülen daha düşük sıcaklıklardan dolayı motor sıcaklığını etkileyecektir. Buda motor yağ ömrünü arttıracak ve soğutma sisteminin yükünün azaltacağı tahmin edilmektedir (Bozkurt vd. 2016).



**Resim 2.3** Esd Yöntemi ile Pistonun Yüzeyi Ni Kaplaması.

- ESD yöntemi yardımıyla nokta kaynağının keplerinin uçları Resim 2.4’deki gibi TiC veya TiB<sub>2</sub> seramik fazlarla kaplaması incelenmiştir. Keplerinin kaplandıktan sonra uygulanan nokta kaynağında TiC ısı iletimini engelleyen bir bariyer oluşturmaktadır. Bu sayede düşük akımlarda ve düşük kaynak basıncında kaynak yapmaya imkân sağlanacaktır. Ayrıca kaplama sadece metalürjik olarak engel gibi davranmayıp aynı zamanda bakır kep ve elektrotlara doğru giden ısı akışımında yavaşlatıcı bir etmen olarak görev yapmaktadır (Talaş vd. 2016).



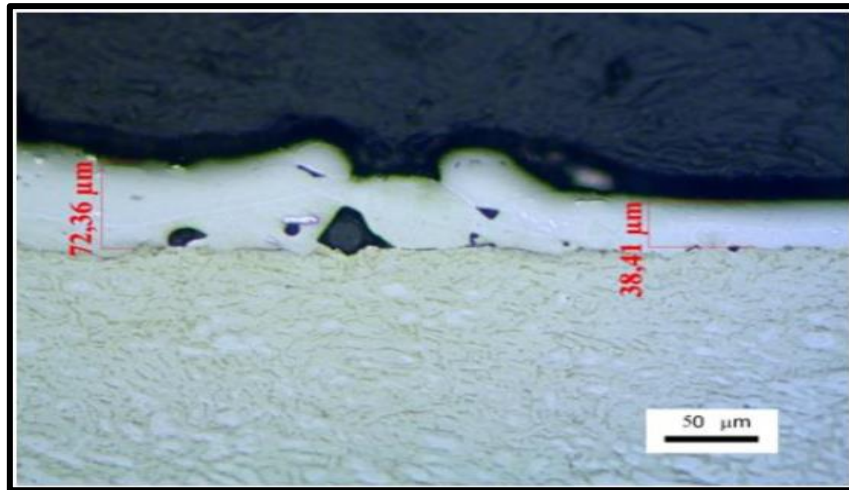
**Resim 2.4** ESD Yöntemi ile Nokta Kaynağının Bakır Keplerinin Seramik Fazlarla Kaplaması.

Direnç nokta kaynağı (RSW), otomotiv endüstrisinde sac çelik bileşenlerin birleştirilmesi için hızlı ve etkili bir yöntemdir (Finlay 1996). Bununla birlikte, otomobil gövdesinde gelişmiş korozyon direnci gerekliliği çinko kaplı çelik uygulamasında belirgin bir artışa neden oldu. Çinko kaplı çeliklerin otomobil gövdesindeki kullanımındaki artış, RSW işlemi sırasında, çinko kaplamanın düşük elektrik direnci ve ergime sıcaklığı nedeniyle çelik bakır elektrot ömrünü önemli ölçüde azaltmıştır (Holiday *et al.* 1996). Çeliklerde çinko kaplamanın düşük elektrik direnci ve düşük erime sıcaklığı, minimum kaynak ağzı ebadı oluşumu için ısı girdisini korumak için gereken kaynak akımını ve zamanı arttırır (Finlay 1996). Ayrıca, erimiş çinko elektrot ucunda pirinç alaşımı oluşturmak üzere RSW sırasında bakır elektrotlarla etkileşime girer. Oluşan pirinç alaşım bakır alaşımdan daha yumuşaktır ve yüksek sıcaklık ve basınç, kaynak sırasında artan kaynak akımı ve zaman nedeniyle gelişmiştir. Sonuç olarak kombine etkiler RSW işlemi sırasında bakır elektrotun aşınma hızını ve deformasyonunu hızlandırır (Finlay 1996, Holiday *et al.* 1996). Buna ek olarak, RSW sırasında pirinç alaşımı oluşumu, elektrot yapışmasına ve elektrot ile iş parçası arasında yerel bağlanmaya neden olur. Yerel bağlantının kırılması, ilerici erozyona veya elektrot uçlarının delinmesine yol açar. Sonunda, az miktarda direnç spot kaynağı üretilir (Chen 2006). Azaltılan kaynaklar üretildiğinde elektrotun başarısız olduğu söylenir. Böylece, çinko kaplı çelik kaynağı, elektrot ömrünü önemli ölçüde azaltabilir. Bu problem, otomotiv montajında verimlidir, çünkü tüm çelik levhaların büyük bir kısmı çinko

kaplamalıdır. Elektrot, montaj hattının iniş süresi boyunca değiştirilebildiğinden, elektrot ömründe azalma, kaynak başına maliyeti artırır ve verimliliği düşürür.

Çinko kaplamalı çeliklerin kaynağında kullanılan RSW elektrod bozulma mekanizması, elektrot ömrünü uzatmak için yeni elektrot malzemeleri ve elektrot tasarımı geliştirmede birçok çalışmaya tabi tutulmuştur. Çinko kaplamanın bakır elektrodu ile etkileşiminin elektrot bozunumunda anahtar faktör olduğu tespit edilmiştir. Pirinç alaşım tabakalarının oluşumu çinkonun bakır içine difüzyonunu gerektirir. Etkileşim bir difüzyon bariyerini önleyerek önlenir (Tang 2009).

- Ti6Al4V titanyum alaşımına aşınmaya dirençli TiB<sub>2</sub> seramik tabakaları oluşturmak için elektrosark kaplama (ESD) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli çökeltme parametreleri ve çökeltme yöntemleri kullanılmıştır. Ti6Al4V üzerindeki TiB<sub>2</sub> tabakasının, elle çalışan ESD ekipmanı kullanılarak bile başarılı bir şekilde oluşturulabileceği görülmektedir. Daha sonra Ti6Al4V üzerinde elde edilen TiB<sub>2</sub> tabakalarının mikroyapıları taramalı elektron mikroskopu kullanılarak Resim 2.5'deki gibi araştırılmıştır. Sonunda, elde edilen mikroyapıya göre elektrosark kaplamanın en uygun koşulları belirlenmiştir.

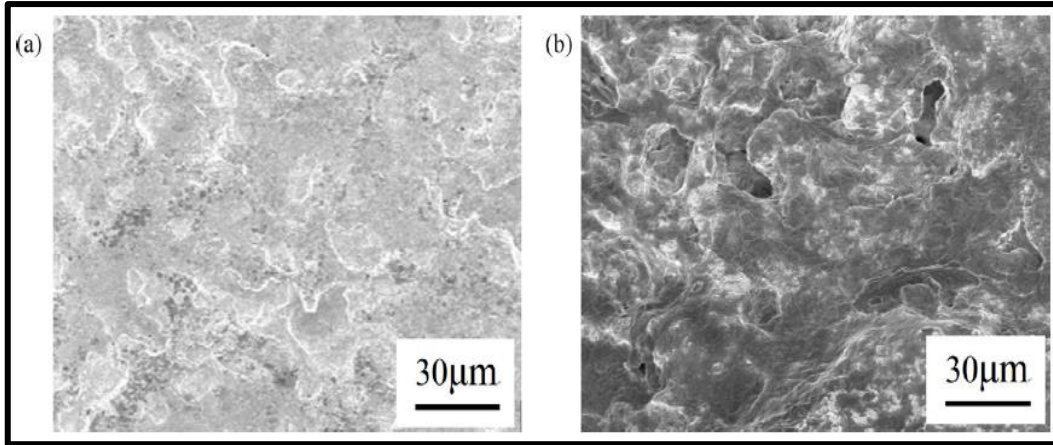


**Resim 2.5** Yüzeyi TiB<sub>2</sub> Kaplanan Ti6Al4V Alaşımının Mikroyapısı (Kováčik *et al.* 2016).

ESD yöntemi, Ti6Al4V alt tabakasında TiB<sub>2</sub> kaplama işlemi başarıyla yapılmıştır. EDX mikro analizinde, çökelmiş kaplama tabakası içinde yüzeyinde bor varlığını teyit etti.

Katman sertliđi, alümina, TiB<sub>2</sub> ve diđer daha karmařık fazların ESD iřlemi sırasında oluřması nedeniyle TiB<sub>2</sub>'nin sertliđi kadar dūřüktür (Kováčik *et al.* 2016).

- TiC-TiB<sub>2</sub> kompozit kaplama, elektrot olarak bir TiC-TiB<sub>2</sub> kompozit çubuklu elektrodun 40Cr çeliğin yüzeyi elektrosпарк kaplama ile kaplanmıştır. Sonuç olarak, kompozit kaplamanın ana safhalarının TiB<sub>2</sub>, TiC ve Fe<sub>3</sub>C olduğunu ortaya çıkmaktadır. Kompozit kaplamanın derinliği boyunca mikro sertlik dağılımı homojen olmayan, kompozit kaplamanın mikro sertlik değerı yüzeyinde yaklaşık 4 katıdır. 40Cr çeliğin aşınma mekanizması esasen mikro kesme ilişkilendirilir. Ancak kompozit kaplamanın aşınma mekanizması esas olarak mikro kesme, çizilme ve yorulma aşınmasına atfedilir. Kaplamanın yapısı Resim 2.6'te görüldüğü üzere amorf yapının bir parçası ve diğerı karışık kristal yapıdadır. Kompozit kaplamanın ana fazları TiB<sub>2</sub>, TiC ve Fe<sub>3</sub>C'dir (Tang 2016).



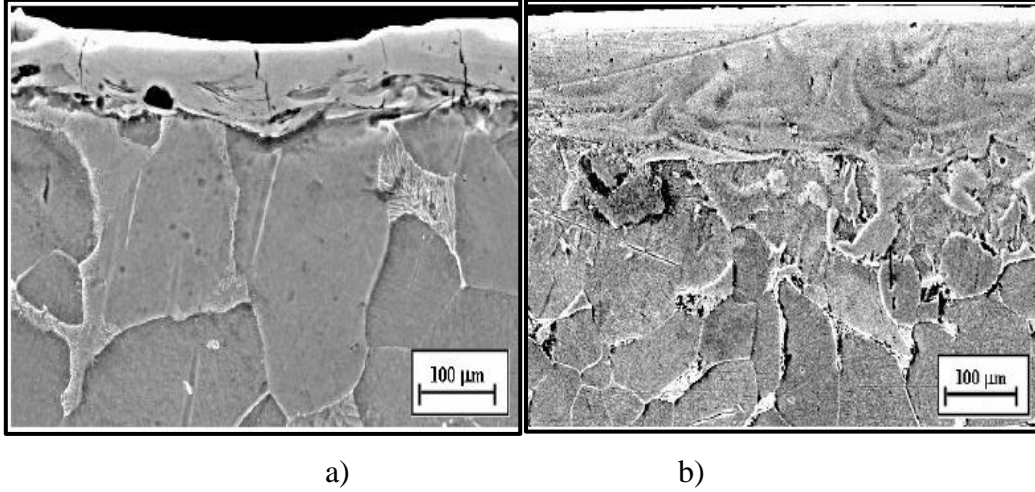
**Resim 2.6** TiC-TiB<sub>2</sub> kaplamanın yüzeylerini gösteren mikro fotoğraflar: (a) aşınma testinden önce; (b) Aşınma testinden sonra (Tang 2016).

- Yapılan çalışmada ESD yardımıyla C<sub>45</sub> çeliğinin yüzeyine, nano boyutta tozların sinterlenmesiyle üretilen WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektrodları kullanılarak kaplanmıştır. Elektrosпарк kaplamaların, tribolojik testlerle belirtilen aletlerin ve makine parçalarının aşınma direncini artırmak için oldukça umut vericidir. Yapılan deneylerin analiz ve test sonuçlarından çıkarılabilecek sonuçlar şunlardır:

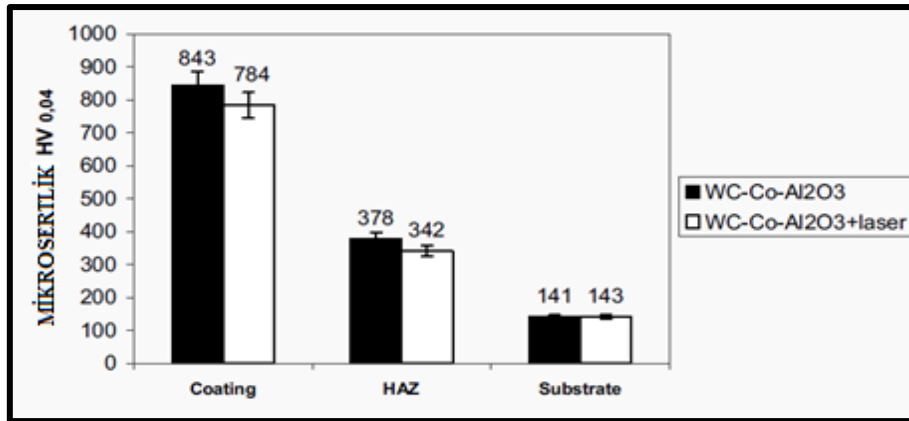
✓ Yoğunlaştırılmış bir lazer ışını ile yüzey tabakasının durumunu, yani elektrosпарк

kaplamaların işlevsel özelliklerini etkin şekilde değiştirmektedir.

- ✓ Lazer işlemi, elektrosпарк alaşım kaplamalarının erimesini ve ardından katılaşmasına neden olur. Lazer işlemi sonrası Resim 2.7’de görüldüğü üzere yapının inceltilmesi ve mikro çatlakların yok olmasını sağlamıştır.



**Resim 2.7** Esd İşlemi Yapılan Kaplama İşlemi Sonrasında Lazer İle C<sub>45</sub> Çeliğinin Yüzeyine Isıl İşlem Uygulanması a) Isıl işlemsiz yapı b) Isıl işlem sonrası oluşan yapı (Radek 2010).



**Şekil 2.3** Esd İşlemi Yapılan Kaplama İşlemi Sonrasında Lazer İle C<sub>45</sub> Çeliğinin Yüzeyine Atımı Sonrası Mikrosertlikler (Radek 2010).

- ✓ Lazer ile işlemede, elektrosпарк alaşım WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamaların mikrosertliklerinde Şekil 2.3’de görüldüğü üzere % 8’lik bir düşüşe neden olmuştur.
- ✓ Lazer işlemi sonrası, elektrosпарк ile biriktirilen kaplamaların pürüzsüzlüğü neredeyse ikiye katlanmıştır. Bu olgu, bazı servis koşullarında kaplamaların

kalitesini ve uygulanabilirliğini göz önünde bulundurursak olumsuz olmaktadır.

- ✓ Elektrosark kaplamaların özelliklerinde lazer işleminden sonra olumlu değişiklikler aşınma direncinin geliştirilmesine yol açmaktadır (Radek 2010).

#### **2.1.4 ESD Prosesinin Sağladığı Avantajlar**

ESD prosesinin bir kaplama tekniği olarak birçok alanda kullanılması, bu prosesin diğer yüzey modifikasyon yöntemlerine göre aşağı tarafta sıralandığı gibi belli başlı bazı avantajlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Yılmaz 2012) ;

- ✓ Kaplama altlığın bulk özelliklerini değiştirmez, altlıktaki bozunumlar ve metalürjik değişimler minimum düzeyde kalır.
- ✓ Bazı alaşımlar amorf yapıda olabilirken, yüksek hızlı soğumadan dolayı nano yapılar meydana gelebilmektedir.
- ✓ Bu kaplamalar benzer kimyadaki bazı kaplamalar ile mukayese edildiğinde yüksek yapışma mukavemetli, birbiri ile kaynaşmış metalürjik bağ, geleneksel kaplamalara göre çok daha iyi nitelikte aşınma ve erozyon özellikleri göstermektedir.
- ✓ Bir mikro-ark kaynak metodu olmasına rağmen, her bir sparktaki enerji çok küçük olup başka bir deyişle transfer edilen enerjinin düşük olması, altlık malzeme içinde biriken ısıyı düşük tutar böylece altlık ortam sıcaklığı civarında kalır.
- ✓ Altlık ile elektrot malzeme arasında bir alaşım oluşturulmaktadır ve böylece ara yüzeyde ıslatmayı sağlamak için ayrıca bir ara tabakaya gerek duyulmaz.
- ✓ Kaplamalar çeşitli kalınlıkta ve kompozisyonda oluşturulabilir. Herhangi bir elektriksel iletken malzeme bir metalik altlık üzerine depose (biriktirme) edilebilmektedir (Yılmaz 2012).

### 2.1.5 ESD Prosesinin Kullanım Alanları

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 prosesinin kullanımındaki avantajlar aşağıda belirtilmiştir (Başargan 2010);

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

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.
- ✓ Çok büyük boyutlardaki tarım ve tekstil ekipmanların aşınmaya dirençli yüzeylerinde,



## 2.2 Lazerin Tarihçesi

Lazer kelimesi, 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation' sözcüklerinin baş harflerinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır ve ışınmanın uyarılmış yayınımla ile ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir (Çelen 2006).

Yirminci yüzyılın en önemli buluşlarından biri olan lazerin temeli olan, uyarılmış yayınımla kavramı ve ışık yayınımla kuramı 1917 yıllarında Alman bilim insanı Albert EINSTEIN tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonraki yıllarda Amerikalı fizikçiler A. L. Schawlow ve C. H. Townes tarafından 1958 yılında "Infrared and Optical Masers" adlı yayında maserin ışık tayfının görünebilir ve kızılötesi bölgelerinde kullanılabileceği tarif edilmiş ve ortaya çıkan cihaza "optik maser" denilmiştir. Daha sonra bu deyim yerini lazer almıştır. Yakut lazeri ilk olarak Maiman tarafından 16 Mayıs 1960'da sonuç raporları olarak yayınlanmıştır. 1961 yılında Sorokin ve Stevenson U:CaF<sub>2</sub> lazeri ile ilgili çalışmalarını yayınlamışlardır. 1963'de N<sub>2</sub> lazerini 1964'de Geusic YAG lazerini Bridges Ar-Ion lazerini bulmuştur. Geçen yıllar sonunda 1970'de CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'nin O<sub>2</sub> ile yanarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O açığa çıkmasıyla ışına yapan ilk dinamik gaz lazeri Gerry tarafından gerçekleştirilmiştir (Kuhn 1998).

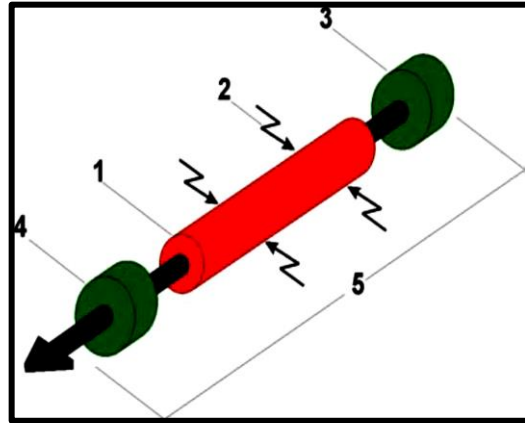
1960'ların sonuna kadar endüstriyel alanda pek kullanılmayan lazer, 1970'lerin ortalarında kesme, kaynak, delme ve markalama işlerinde, ölçme ve daha birçok alanda yerini almıştır. Lazer, elektrik enerjisini elektromanyetik enerjiye çeviren elektro-optik bir cihazdır. Esas elemanı olan rezonans, hücresinin bir bölümünden tam yansıtımlı diğer tarafında ise kısmi yansıtımlı iki ayna bulunmaktadır. Bu hücre, gaz veya sıvı maddeler ile doldurulmuş ince bir boru olabildiği gibi çeşitli kristal veya cam gibi katı maddelerden de oluşmuş olabilir (Çalığılü 2009). Daha sonraki yıllarda boya lazerleri, excimer ve iyot lazerleri bulunarak ve geliştirilerek lazer teknolojisi bugün, savunma sanayinden endüstriye, tıp alanından, haberleşme, bilgisayar ve hatta eğlence sektörüne kadar birçok alanda kullanılabilir hale gelmiştir (Erdoğan 2007).

### 2.2.1 Lazerin Çalışma Prensipleri ve Uygulanması

"LASER" kelimesi, ışınımın uyarılmış emisyonu ile ışık kuvvetlendirilmesinin

kısaltmasıdır. Lazerin cihazının elemanları aşağıda görsel olarak sıralanmıştır:

1. Lazerli ortam
2. Giriş "pompa" enerjisi
3. Arka tamamen yansıtıcı aynalar
4. Ön Kısmi Yansıtıcı Ayna
5. Rezonatör



Lazer ışınının üretilmesi esasen anlık olarak oluşan üç aşamalı bir işlemdir (Unitek).

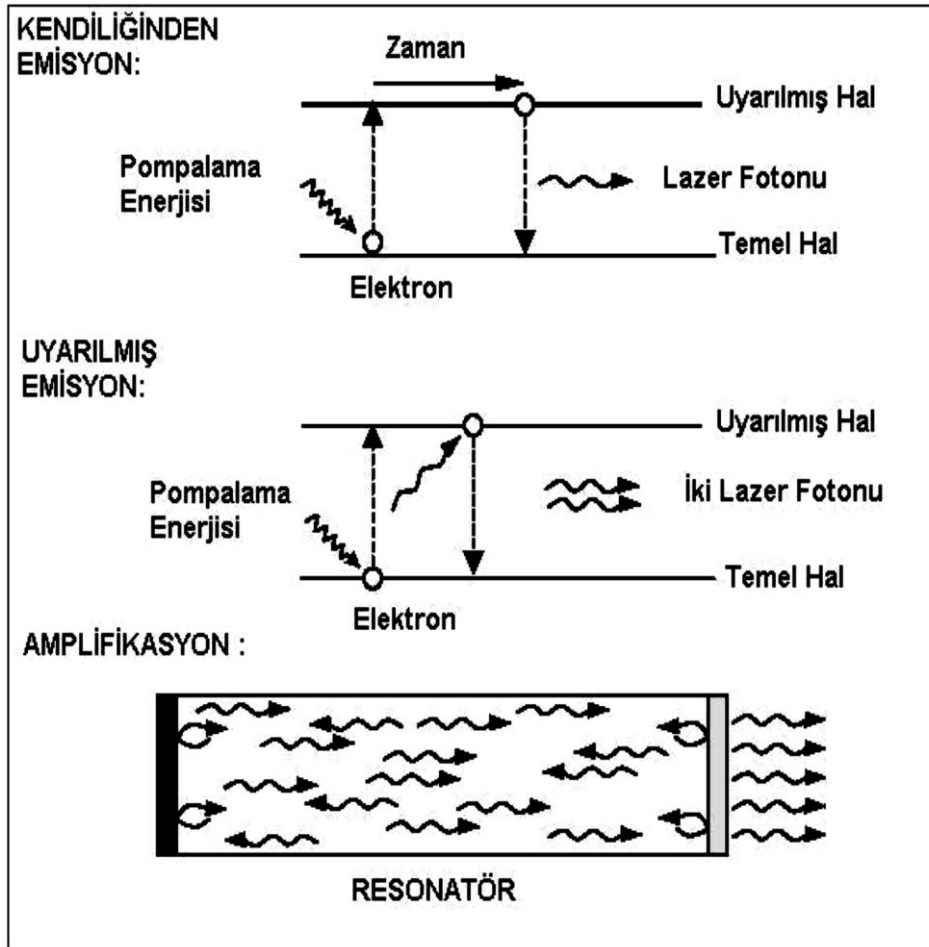
1. Pompa kaynağı, ortamdaki enerjiyi sağlar; lazer ortam atomlarını hareketlendirir ve böylece atomlarda bulunan elektronlar geçici olarak daha yüksek enerji durumlarına yükselmektedir. Bu hareketlenme durumunda atomlarda bulunan elektronlar süresiz olarak orada kalamazlar ve daha düşük bir enerji seviyesine inmek zorunda kalırlar. Bu işlemde elektron, bir foton yayarak pompa enerjisinden elde edilen aşırı enerjiyi kaybeder. Buna kendiliğinden emisyon denir (Unitek 2003). Bu yöntemle üretilmiş olan fotonlar lazer üretimi için başlangıç ışınlarıdır (Şekil 2.3).

Başlangıç enerji düzeyindeki bir atom daha yüksek enerji düzeyine çıkabilmesi için aşağıdaki durumlardan birisini veya birkaçını yerine getirilmesi gerekmektedir;

- Hızlandırılmış elektronlarla bombardıman edilerek,
  - Basınç uygulanarak,
  - Isıtılarak,
  - Hızlandırılmış parçacıklarla bombardıman edilerek,
  - Bir ışık demetinin etkisine maruz bırakılarak (Özcan 2003).
2. Kendiliğinden emisyon durumunda bir atomun yaydığı elektromagnetik alanlar arasında bir faz ilişkisi bulunmamaktadır ve yayılma rastgele bir şekilde meydana gelmektedir. Bununla birlikte, uyarılmış emisyon bir zaman dönemi gerektirmez ve

çok hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Enerjisi 'hv' olan bir foton elektronu uyarır ve yüksek enerjili durumdan düşük enerjili duruma bir foton daha yayarak geçmesi için zorlanmaktadır. Bu yayılma sonrasında yayılan iki fotonun fazı, kutuplaşması ve ilerleme hızları aynıdır (Ünitek 2003). Atomlar çoğu zaman başlangıç düzeylerinde olduklarından dolayı daha çok kendiliğinden emisyonla bulunmaktadır (Şekil 2.4).

3. Fotonlar her yönde yayılır, ancak bazıları ortam boyunca geriye doğru yansıyacak olan rezonans aynalarını vurmak için lazer ortamı boyunca ilerlemektedir. Rezonatör aynaları, uyarılmış emisyon için tercihli amplifikasyon yönünü tanımlar (Ünitek 2003). Büyütmenin gerçekleşmesi için, uyarılan durumda düşük enerji seviyelerinden daha büyük bir atom yüzdesi olmalıdır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Lazer üretiminde meydana gelen üç aşamanın basitleştirilmiş şematik gösterimi, (1) Spontan emisyon (2) Uyarılmış emisyon (3) Amplifikasyon (Çelen 2006).

## 2.3 Lazer Türleri

### 2.3.1 Katı Lazerler

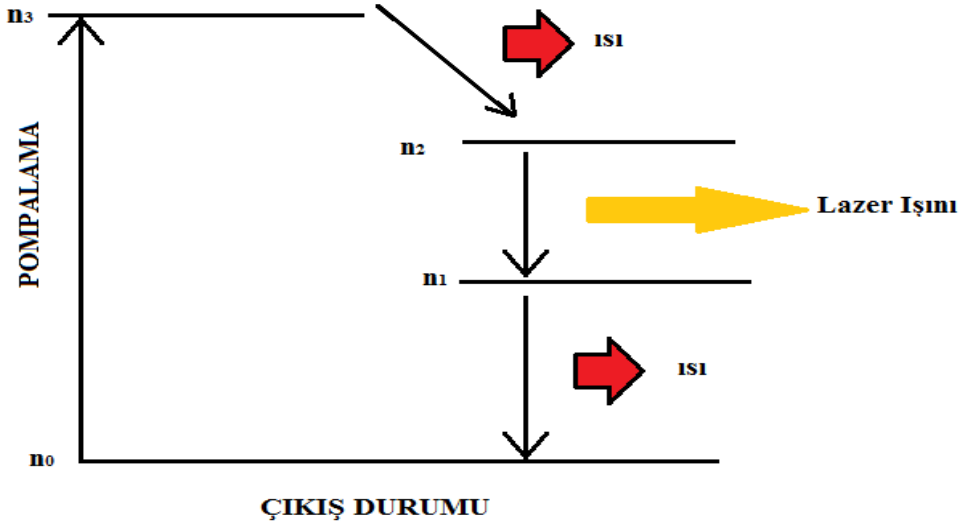
Katı lazerler 1960 yılında kullanılmış olan ilk malzeme yakuttur. Yakut'un %0,05 oranında üç değerli krom iyonları ( $Cr^{3+}$ ) ihtiva eden, saydam olan bir alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) kristalidir. Cr iyonları enerji düzeylerinin konumu nedeni ile işgal edilme sayısının tersine çevirişinin mümkün kılmaktadır. Uygulamada gerçek olmayan yakutlardan hazırlanmış silindirik çubuklar kullanılmaktadır. Yayınım dalga boyu kızıl bölgede 694,3 nm'dir. Normal çalışmasında bir yakut lazeri 30-40 kW, darbeli ise 30-100 MW güç sağlayabilmektedir (Karaaslan 2009).

Neodimli cam, yakut lazerinde birkaç yıl sonra bulunmuştur. Burada neodim iyonları ile ( $Nd^{3+}$ ) katkılanmış amorf bir gereç söz konusudur. Bu, 1060 nm'de yayınım yapan 4 düzeyli bir malzemedir.

YAG ( Yttrium Alüminyum Garnet) neodime katkılanmış ve aynı dalga boyu üzerinden yayınım yapan itriyum ve alüminyum grenasıdır. Bu cihaz sürekli yada darbeli bir çalışmaya olanak sağlar. Erdiyum yada holmiyum iyonları ile başka malzemeler üzerinde de çalışmalar yapılmıştır.

### 2.3.2 Nd:YAG Lazeri

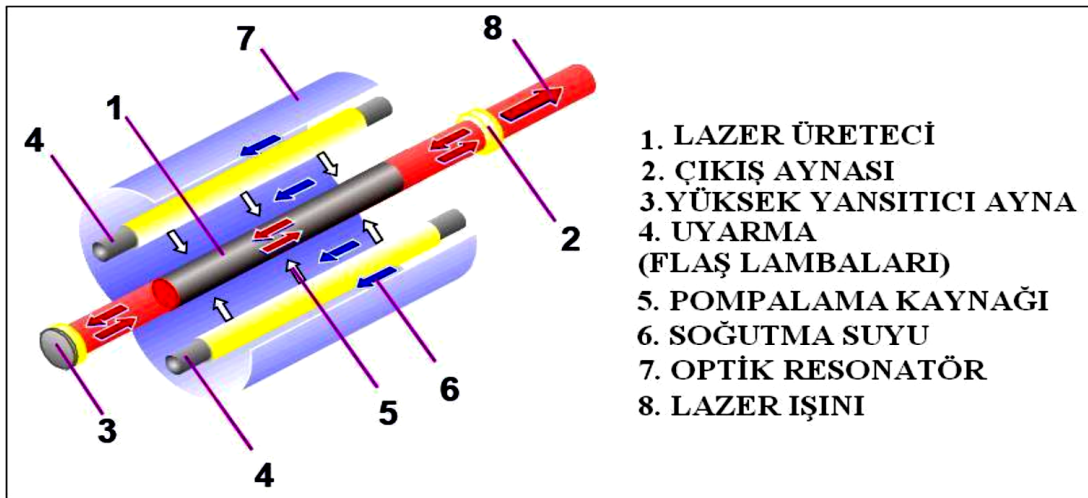
YAG; Yttrium- Aluminium-Granat kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmiştir. Bir Itrium-Alüminyum-Granat (YAG) lazerinin yapısı yakut lazerinkine benzer biçimdedir. Etkin lazer iyonları olan  $Y^{3+}$  ve  $Nd^{3+}$ , etkin lazer ortamında %0,5 ila %3 oranında bulunmaktadır. Lazer ışını, Şekil 2.5'da ısıl şemada görüldüğü gibi iki uyarılmış durum arasında meydana gelmektedir.



Şekil 2.5 Nd:YAG Lazerinin Isıl Şeması (Karaaslan 2009).

Bir katı hal lazeri olan Nd;YAG lazeri endüstride kaynak işlemlerinde, delme işlemlerinde, ve genellikle metallerin mikro işleme uygulamalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu lazer türünde, darbeli lazer üretmek için flaş lambası, sürekli lazer üretmek içinse ark lambası ile uyarım yapılmaktadır (Karaaslan 2009). Nd;YAG lazerleri aşağıdaki gibi çeşitli modlarda çalıştırılabilirler;

- Darbeli Mod
- Q-Anahtarlama Mod
- Sürekli Mod (Biçim)



Şekil 2.6 Bir Nd:YAG lazer sisteminin temel parçaları (Çelen 2006).

**Çizelge 2.1** Nd:YAG lazerlerinin de uygulanan modların özellikleri (Çelen 2006).

<b>Mod</b>	<b>Darbe Süresi (mS)</b>	<b>Tepe Gücü (kW)</b>	<b>Enerji/Darbe</b>	<b>Darbe Frekansı (Hz)</b>	<b>Ortalama Güç (kW)</b>
Darbeli	0,2-20 mS	→ 50	→ 100	1-500 Hz	→ 4
Sürekli	-	-	-	-	0,3-4
Q-Anahtarlama	< 1 mS	→ 100	10 <sup>-3</sup>	→ 100 kHz	→ 4

Darbeli modlarda, zamansal olarak pompa girişi, lazer çıkış darbelerinin şekillendirilmesiyle kontrol etmektedir. Kaynak koşullarının optimize etmek için darbe şekillerinin düzenlenmesi önemlidir. 1987 yılında Weedon tarafından darbe şekillerinin düzenlenmesine ilişkin ilk çalışmalar yapılmıştır (Duley, 1998).

Darbeli pompalama ~0,1 mS'den başlayan ve sürekli mod'a kadar uzanan bir darbe aralığı imkânı sağlamaktadır. Kaynak yapılacağı zamanlar için kullanılan genel darbe süreleri 0,1-20 ms aralığındadır. Bu aralığın sonunda darbe tekrar frekansları 1 kHz'e ulaşabilir.

Lazer güç çıkışının Q-Anahtarlaması kaynak uygulamaları için fazla faydalı değildir. Çünkü darbe zamanları darbe tekrar frekansları 100 kHz'e kadar artmasına rağmen 1µs'den daha azdır. Bu darbelerden daha yüksek gücü olan plazma oluşumunu ve gaz kesilmesini kolaylaştırmaktadır. Yüksek ortalama güçlü ( $\geq 1$  kW) lazerlerle sürekli modda lazer nüfuziyet kaynağı mümkün olduğu halde bu durum düşük ortalama güçle sürdürülemez (Duley 1998).

### 2.3.3 Sıvı Lazerler

Katı lazerler yüksek performansta çalışırken malzeme içerisinde oluşan ya da pompalama lambası yüzünden oluşan çok yüksek ısının etkisiyle çoğu zaman lazer aktif maddenin hasara uğraması veya bozulması gibi olumsuz sonuçlar belirlemektedir. Sıvı

lazerlerde, camsı çubuk ya da kristal yerine şeffaf bir bölüm içine monte edilmiş uygun bir sıvı kullanılır. Sıvının bulunduğu kısım istenildiği kadar genişlikte yapılabilir. Bu sayede yüksek lazer gücü elde edilmesi sağlanmaktadır.

### **2.3.4 Gaz Lazerler**

Gaz lazerlerinde atomlar, uyarılmış seviyelere atarken ve ışık salınımı yapmaktadırlar. Bu yapının en çok görünen örneği ışıklı neon lambalarıdır. Bu aşamalarda bazen çok sayılarda atom, belirli bir enerji seviyesinde toplanabilirler. Gaz lazerlerinin boşalma kısmında lambaların iki ucuna aynalar bırakılır olursak lazer etkisi meydana gelmiş olmaktadır. Bu olayın meydana gelme koşulları çok zor gün yüzüne çıkmaktadır. Boşalmanın ortaya yaydığı ışınımdaki dalga boylarının çok azı için varsayılmaktadır. Ancak çoğu gazda lazer etkisi yapılabilir. Oluşan lazer demeti standart doğru çizgisine çok yakın durumdadır (Çelik, 1998). Gaz lazerlerini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

#### **A) Atom Lazerleri:**

- Metal buharlı(Sn, Pb, Cd, Zn )
- Asal gaz(Ne, Kr, He, Xe, Ar)

#### **B) İyon Lazerleri:**

- Metal buharlı(Sn, Pb, Cd, Zn)
- Asal elementli(Kr, He, Xe, Ar, Ne) (Çalığülü 2009)

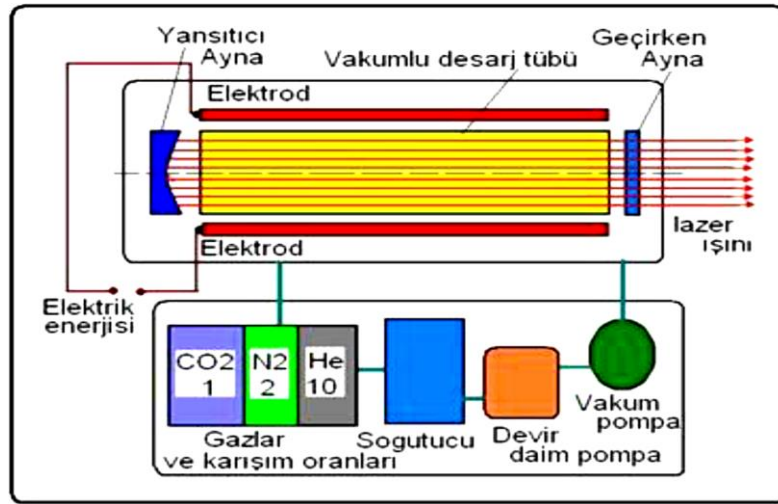
#### **C) Molekül Lazerler:**

Kuartz tüpü ve silindirik cam içerisine bulunmakta olan gaz karışımları, metal buharları ve asal gazlar gaz lazerlerini üretmek için kullanılabilir. Gaz lazerler elektron tabancası, ultraviyole ışık, kimyasal reaksiyonlar ve elektrik akımı kullanılarak pompalama işlemi yapılmaktadır. Helyum-Neon gaz lazeri yüksek frekans sabitliği (saf rengi) ve en az dağılma olan ışın demetine sahiptir. CO<sub>2</sub> lazeri etkili ve sürekli güç

kullanabilen lazerdir (Çalığülü 2009).

### 2.3.5 CO<sub>2</sub> Lazer Sistemi

Sürekli ve yüksek güçlü olan bir lazer sistemidir. Diğer lazer yöntemlerine göre verimi daha üstün olan bir yöntemdir. Lazer çıkış verimi; çıkış lazer gücünün elektriksel giriş gücüne oranı olarak adlandırılmaktadır. CO<sub>2</sub> lazerin üretim yöntemi radyo frekanslarıyla veya doğru akım kaynağıyla oluşturulabilmektedir. Dalga boyu 9-11 µm arasında olan kızılötesi ışınım salarlar. Şekil 2.7’de bir CO<sub>2</sub> lazer üretim sistemi görülmektedir (Kilerci 2011).



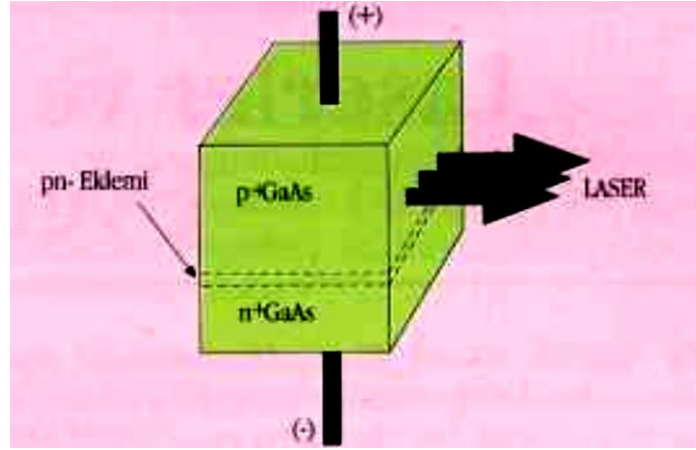
Şekil 2.7 CO<sub>2</sub> lazer sistemi (Kilerci 2011).

Gaz lazerde kullanılan etkin ortam olan gazların karışımından yararlanılmaktadır. N<sub>2</sub>, He, CO<sub>2</sub> oluşan gazlarının karışımı, tüp haznesinin içerisine durmadan pompalama işlemi yapılmaktadır. Bu olayın amacı; tüpün içinde lazer olayının meydana oluşturduğu sırada oluşabilecek yığılmaları ve bozulma engel olmak içindir. Kullanılan CO<sub>2</sub> gazı, lazer ışığını oluşturmaktadır. N<sub>2</sub> molekülleri, CO<sub>2</sub> moleküllerinin düzey atlamasına yardım ederler ve ışık üretim hızını ve verimini artırırılar. Diğer kullanılan gaz olan helyum bu ortamda çift taraflı rol üstelenmektedir. Gaz içerisindeki ısı transferine ve ayrıca CO<sub>2</sub> moleküllerine taban enerji konumlarına geri dönmelerinde yardımcı olmaktadır. Tüp, su soğutmalı olup, katı hal lazer sistemlerinde olduğu gibi iki ucuna tam ve kısmi yansıtıcı aynalar yerleştirilmiştir (titanyum alaşımlarının kaynağı ) (Özden 2010).



### 2.3.6 Yarı İletken Lazerler

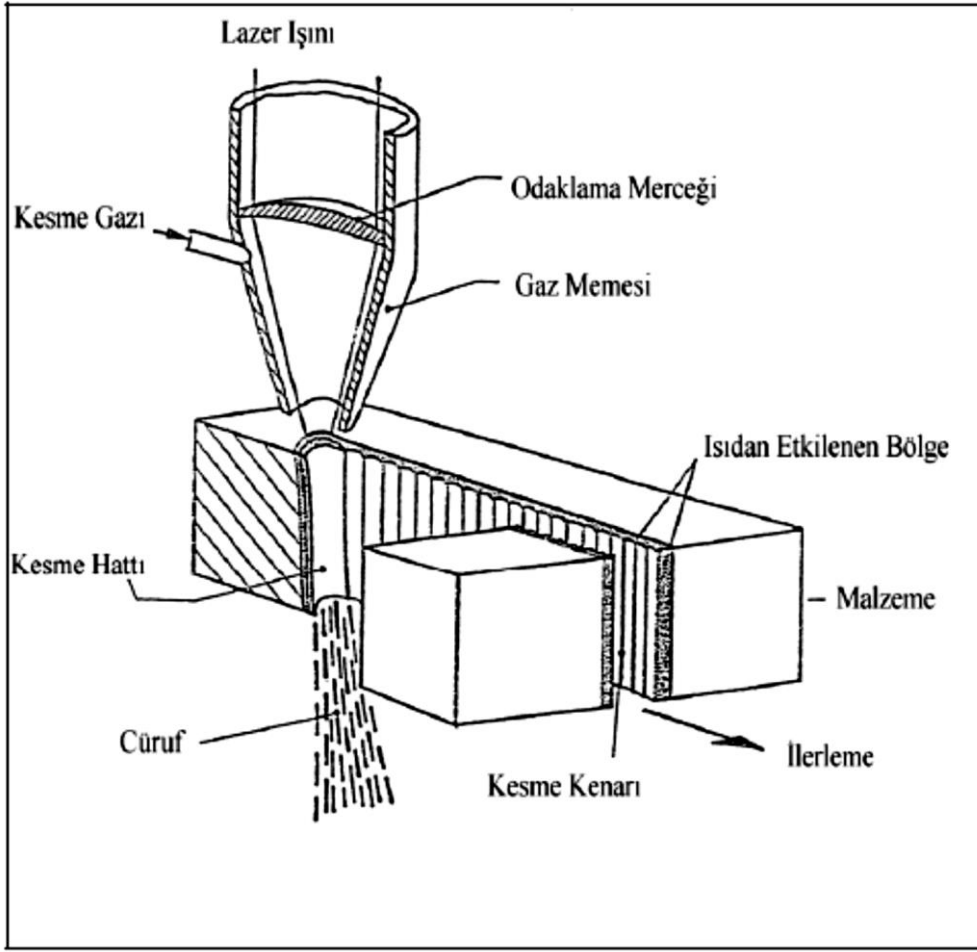
Yarı iletken malzemenin ara kesit üzerinde pozitif ve negatif olarak zenginleştirilmiş kısmının yüksek elektrik akımı ile uyarılması sonrasında, yarı iletken malzeme özelliği taşıyan fotonlar yayılmaya başlamaktadır. Fotonların, lazerlerin çalışma kuralı başlığı içerisinde anlatılan benzer bir metotla toplanarak gün yüzüne çıkması işlemi yarı iletken lazerleri hazırlamıştır (Şekil 2.8). Bu özellikteki lazerler bir tuz kristali edatında kaynağa sahip olabilmektedirler. Bu alanda Galyum Arsenik en yaygın kullanılan yarı iletken lazerdir. Yarı iletken lazerler % 50'den daha fazla bir randımanla çalışabilmektedirler (Triantafyllidis and Schmidt 2003).



Şekil 2.8 Yarı iletken lazerler (Çalığülü 2009).

### 2.4 Lazerlerde Kesme İşlemi

Günümüzde ileri düzey mühendislik materyallerin ortaya raks etmesi, karmaşık geometriler, zorlu tasarım gereksinimleri ve hassas boyutsal ölçüler gibi sorunları meydana getirmiştir. İşte bu yüzden geleneksel işleme yöntemlerinin kullanımını kısıtlanmıştır. Modern işleme metotları arasında, lazer ışınıyla kesme yöntemi bu teknolojinin en geniş uygulama sahalarından biridir. Genellikle metaller için olsa da, diğer türden malzemelerin (kauçuk, kağıt, kumaş vb.) kesilmesi veya işlenmesinde kullanılan lazer kesim teknolojisi hızla hayatımıza giren metotlardandır (Ürgüplü *et al.* 2015).



Şekil 2.9 Lazer ile kesim prensibi (Mungan 2006).

Şekil 2.9'dan de anlaşılacağı gibi lazer ışınımı iş parçası üzerine odaklanır, böylece iş parçası yüksek yoğunluktaki enerji sayesinde ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. Kesme bölgesinde oluşan cüruflar uygun bir gaz ile ortamdan uzaklaştırılır (ANIK 1996).

Lazer kesim işleminin eski metotlara kıyasla (testere, plazma, oksijen ile kesim) birçok artıları mevcuttur. Bunlardan en önemlilerinden biri olan temassız işleme özelliği ile kesilmesi kolay olmayan iletken veya yalıtkan, yumuşak ve ince, kırılman, kesimi zor olan ileri düzey mühendislik malzemelerinde hassas ve hızlı bir işleme yeteneğine sahiptirler. İkinci olarak da, lazer ışınıyla kesme yapma termal bir işlemdir. Bu yüzden termal çalışmaya hassas olan malzemelerde termal etkiler daha az olan bir bölgede sabitlenebilmektedir. Üçüncüsü olarak da, lazer ışınıyla kesme daha esnek bir metottur. Diğer avantajları ise sırayla, oldukça düz kesme kenarı, minimum malzeme kaybı veren dar kesim izi (kerf), yüksek kesme hızı, minimal metalürjik ve yüzeysel bozukluklar,

kompleks parça kesimleri için bilgisayar destekli nümerik kontrollü tezgahlara kolaylıkla uyumlaştırılabilir. Lazer yardımıyla saç metal kesimi, endüstrideki lazer kullanmaları içerisinde en büyük kontenjansa sahiptir. İşlem genel olarak odaklanmış lazer ışını ile düzlemde bulunan bir tabakayı kesme metodudur (Ürgüplü *et al.* 2015).

## **2.5 Lazer Işınımı İle Kesme Metotları**

Lazer ışınımı ile kesme metotlarını üç ana başlık altında toplamamız mümkündür. Bunlar;

- Lazer ile Füzyon (Eriterek) Kesim
- Lazer ile Yakarak (Alevli) Kesim
- Lazer ile Süblimleşme (Arıtarak) Kesim (Mungan 2006)

### **2.5.1 Lazer İle Füzyon (Eriterek) Kesim**

Bu kesme yönteminde iş parçası lazer ışınımı ile kesme bölgesinde eritilir. Eriyen malzeme inert bir gaz yoluyla dışarı atılır. İnert gazlar lazer ışınımı içerisinde bulunan yüksek saflıktaki gazlardır. Genellikle azot ve argon inert gaz olarak kullanılır. Bu kesmede, kesme hızı malzeme kalınlığı ve malzemenin erime sıcaklığıyla ters orantılı olup, lazerin gücü ile doğru orantılıdır (Mungan 2006).

Metalik malzemelerin kesiminde, kalınlığı 2 mm'nin fazla olan metallerde kılcal figürlerde çapak oluşumu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise oksit eriyiği metalik eriyiğine göre kesme ağzından daha zor aktığından. Bu çapaklar merkezlerinde metal bulundurdıklarından uzaklaştırılmaları zor olmaktadır. Bu sorunu gidermek için yüksek basınçlı kesim kullanılır.

Yüksek basınçla malzeme kesme işleminin yapılabilmesi için oksijen ile kesmeye göre bazı yeniliklerin uygulanması gerekmektedir (Arcan 2011).

- Yüksek basınç ile kesmenin üstünlükleri;
  - a. Kesme işlemi sonrası ek temizliklere gerek olmaması

- b. Paslanmaz çelikte temiz bir şekilde kesme kenarı
  - c. 3 mm den kalın olan alüminyum alaşımlarında yüzeysel bozulmalar olmadan kesme
- Yüksek basınç ile kesmenin dezavantajları;
    - a. Çok fazla gaz kullanılır
    - b. Yakarak kesim işleminde düşük kesme hızı

### 2.5.2 Lazer İle Yakarak (Alevli) Kesim

Lazer ile yakarak kesimde, füzyon kesimde olduğu gibi iş parçası lazer ışınımı ile ısıtılır. Füzyon kesimden farklı olarak oksijen gazı kullanılır. Oksijen ile iş parçası ekzotermik bir reaksiyona girer. Bu reaksiyonla birlikte daha yüksek bir enerji yoğunluğa ulaşılmaktadır. Kesme hızı lazer gücüyle orantılıdır. Lazer gücüne bağlı olarak oksijen ve enerji iletimi de kesme hızını etkiler. Lazer ile yakarak kesimde malzemenin işlem görebilmesi için aşağıda bulunan koşulları sağlaması gerekmektedir (Mungan 2006).

- a) Kesilen malzeme oksitlenebilir olmalıdır.
- b) Kesim sonrasında ekzotermik reaksiyon oluşması gerekmektedir,
- c) Kullanılan malzemenin yanma sıcaklığı, erime sıcaklığından düşük olmalıdır,
- d) Kesim sırasında malzeme, yüksek sıcaklıkta eriyen oksitler meydana getirmemelidir.

Lazer ile yakarak kesimde, düşük alaşımlı çeliklerde metalin kendi eriyiği, metalin oksidine göre daha katı hale getirilir. Bunun sebebi ise temiz bir kesme imkânı sağlamaktadır. Lakin bu durumunun geçerli olmadığı durumlar bulunmaktadır (Örneğin; yüksek alaşımlı CrNi çelikleri). Çünkü bu alaşımlı çeliklerin oksitlerinin erime sıcaklıkları, alaşımlı çeliğin erime sıcaklığından daha yüksek olduğundan oksit eriyikleri kesme yarığında daha zor akar. Bununla birlikte alaşımlı çelikler, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan fazla ısı biriktirmeye meyillidir. Kaliteli bir kesim sonucu elde etmek istiyorsak lazer gücünün darbeli çalıştırılması gerekmektedir. Darbeler arasında süre bulunduğundan dolayı malzeme biraz sıcaklığını yitirmektedir.

Bu sayede yanma sonrasında oluşan ısısının etkisi kontrol altında alınmış olmaktadır. Lazer ışınıyla yakarak kesme işleminde diğer bir sınır, çelik kimyasal yapısında bulunan karbon miktarıdır (Anık, Öğür ve Vural 1996).

### **2.5.3 Lazer İle Buharlaştırarak (Arıtarak) Kesim**

Bu kesim işleminde kesme bölgesi yüksek yoğunluktaki lazer ışınımı ile buharlaştırılır. Eriyen malzemenin atılmasını önlemek için, malzeme kesme bölgesinde yoğunlaşmamalıdır. Bu nedenle malzemenin kalınlığının, lazer ışınımının çapından büyük olmaması uygundur. Metal olmayan malzemelerde de (tahta, seramik, kâğıt, plastik) uygulanabilmektedir. Malzeme kalınlığı ışın çapından büyük olsa da kesme işlemi yapılabilir. Enerji yoğunluğu odaklanmanın düzgün olmasına, malzeme ve kesme bölgesi derinliğine bağlıdır. Kesme hızı malzeme kalınlığına ve lazer gücüne bağlıdır (Mungan 2006).

### **2.6 Kesme Metotlarının Kıyaslanması**

Süblimleşme kesimde yüksek lazer yoğunluğuna ihtiyaç olduğundan yüksek kesme hızlarına ulaşamaz. Lazer ile füzyon kesmeyle, lazer ile süblimleşme kesimden daha yüksek kesme hızı sağlamak mümkündür. Çünkü malzemeyi eritmek için gerekli olan enerji, buharlaştırmak için gerekli olan enerjiden daha azdır. Bundan dolayı füzyon kesim, süblimleşme kesime göre daha ekonomiktir. Fakat lazer ile alevle kesimde oksijenle iş parçası ekzotermik reaksiyona girdiğinden dolayı yüksek enerji elde edilebilir. Bu da kesme hızının füzyon kesime göre daha yüksek olmasını sağlar. Alevle kesim, füzyon kesime oranla daha geniş bir kesim aralığına ihtiyaç duyar. Alevle kesim füzyon kesim ile kıyaslandığında daha kalitesiz bir kesimin meydana gelmesi ve yüzey pürüzlülüğü gibi dezavantajları vardır. Fakat alevle kesimi kalın malzemelere uygulanabilmesi ve yüksek kesme hızı avantajlarından dolayı metal işlemede en çok kullanılan kesim yöntemidir (Mungan 2006).

### **2.7 Lazer Kesimde Kullanılan Gazlar**

Lazer ışınıyla kesme işleminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için lazerle eriterek,

yakarak veya buharlaştırarak kesme işlemlerinin uygulanması için kesim karakteristiğine uygun kesim gazları kullanılması gerekmektedir. Bir kesme gazının amacı, kesim sırasında oluşan cürufları, eriyikleri veya metal buharını kesme bölümünden uzaklaştırmak ve odaklama merceğinin pislenmesini engellemektir (Er 2005).

### **2.7.1 Oksijen**

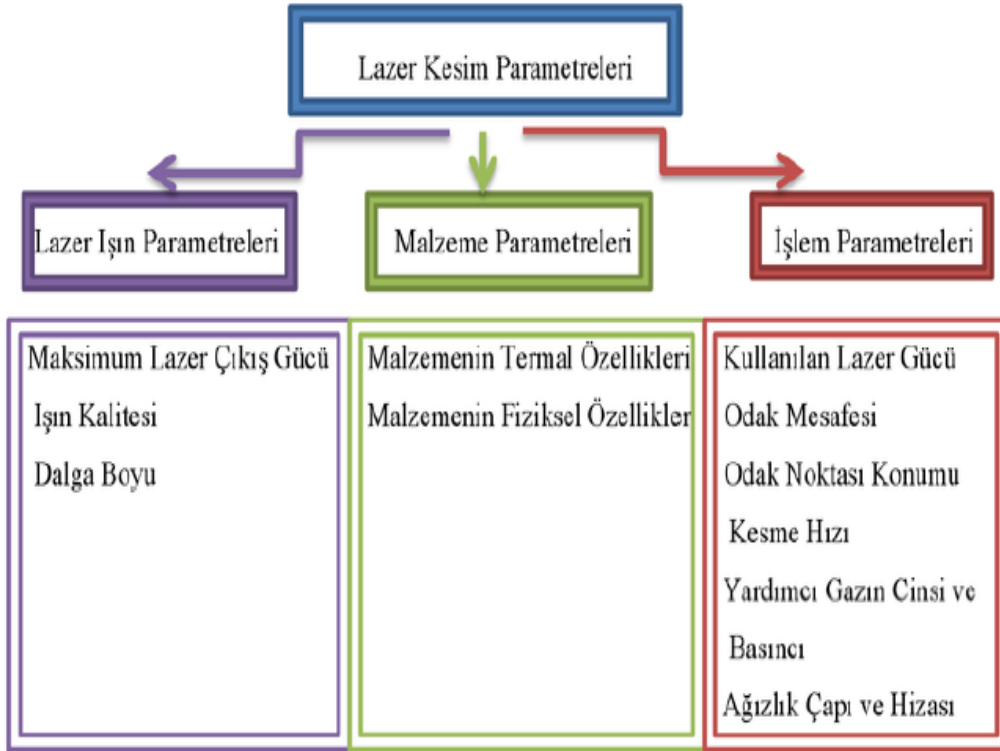
Lazer ile yakarak kesimlerde kullanılan gaz genellikle oksijendir. Kesilmek istenilen malzeme oksijen ile ekzotermik reaksiyona girmektedir ve bu tepkimenin çıkardığı ekstra ısı, kesme hızını yükseltmektedir. Kullanılan oksijenin saflık derecesi cüruf birikimine, çapak oluşumuna ve kesme kalitesine önemli boyutta etki göstermektedir. Oksijenin saflığında azalma meydana geldiği zaman örneğin % 99,97'den % 99,5'e bir azalma meydana gelirse, lazer ışınıyla yakarak kesme sırasında işlem hızında önemli miktarda bir gerileme oluşmaktadır. Kesme hızının hızlı olabilmesi için oksijen saflık derecesi yüzde yüz yakın olmak zorundadır. Ayrıyeten oksijenin saflığında düşüş meydana gelmesi durumunda nemin veya havadaki azotun difüzyonu gibi olaylar meydana gelmektedir. Bunun nedeni genellikle kullanılan boru hattının sızdırması, ideal koşullara uygun olmayan hortumların veya armatürlerin kullanımı sonucunda oksijenin saflığı düşüş meydana gelmektedir. Bu da sonuç olarak kesme kalitesini azaltırken cüruf artışına neden olmaktadır (Anık, Öğür ve Vural 1996).

### **2.7.2 Azot ve Argon**

Lazerle buharlaştırarak veya eriterek kesim işleminde, buharlaşmış veya erimiş malzemenin kesme hizasından uzağa gidebilmesi için, soy gazı veya düşük tepkime hızına sahip gazların ortamda bulunması gerekir. Kullanılan bu gazlar için en ideali argon veya azottur. Bu gazlar ana amacı, kesme işlemi sırasında yanma oluşumunun önüne geçebilmek için ve kesme yüzeylerinin oksit ihtiva etmemesini sağlamaktır. Lazerle yakarak kesme işlemindeki gibi kesme yüzeylerinin kesim sonrasında işlenmesine gerek kalmamaktadır. Buda lazer kesimi kullanan için işçilik maliyetlerini azaltmaktadır (Tunç 2015).

## 2.8 Lazer İle Kesimde Kesim Kalitesine Etki Eden Değişkenler

Lazer kesme işleminin kalitesi, genel olarak lazer sistemi, operasyon parametreleri ve malzeme gibi değişkenler ile belirlenmektedir. Lazer sistemi parametreleri, maksimum lazer güç çıkışı, lazer ışın kalitesi, ışın dalga boyu, kesilmek istenen malzemenin özellikleri ve kalınlığını bulunmaktadır. Operasyon parametreleri ise kesme hızı, lazer gücü, merceğin odaklama mesafesi, yardımcı gazın basıncı ve türü, odak noktasının iş parçası üst yüzeyini takibi, ağızlık çapı ve ağızlığın iş parçası üst üzerinde olan mesafe ayarını kapsamaktadır. Malzeme cinsi ve kalınlığına bağlı olarak bu parametreler değiştirilir (Şekil 2.10). Diğer taraftan lazer sistemine ait bazı özel parametreler kullanıcı tarafından değiştirilmemektedir (Ürgüplü ve Köksal 2015).



Şekil 2.10 Lazer kesim parametreleri (Ürgüplü ve Köksal 2015).

### 2.8.1 Lazer Işın Parametreleri

Lazer ışını genellikle karakterize eden özellik ışın parametresidir. Işın kalitesini, lazer güç çıkışını, polarizasyonunu ve ışın dalga boyu ihtiva eder. Lazer ışını, polarizasyon durumunun, yüzeyin optik özelliklerinin ışığın geliş açısına ve ışının dalga boyuna ilişik olarak belirli oranlarda kesilecek olan malzemenin yüzeyine emilir ve yansıtılır.

## 2.8.2 Malzeme Parametreleri

Farklı fiziksel ve termal özelliğe sahip malzemelerin kesilme işleminde lazer ışını kullanılmaktadır. Metalik malzemelerinin ergime sıcaklıkları yüksek olduğundan kesme işlemi için yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulur. Metal dışı malzemelerin kesimi düşük güç yoğunluklarında gerçekleştirilebilir. Metal yüzeyine karşı odaklanmış lazer ışını metal yüzeyi tarafından kısmen soğurur, kısmen yansıtılır. Malzemenin lazer gücünü soğurma kabiliyeti, metal yüzeyinin yansıtma özelliğine bağlıdır. Malzemenin optik özelliği sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden soğurma kabiliyeti de değişiklik gösterir. Bunların yanında az da olsa yüzey görünümü, metalürjik faz ve yüzeye yakın yerlerdeki gazların ve parçacıkların lazer ışını ile etkileşimine bağlı olarak değişir. Malzemenin termal ve fiziksel özellikleri, işlem parametrelerinin yanı sıra doğru lazer-malzeme kombinasyonunu oluşturmak için önemlidir (Ürgüplü ve Köksal 2015).

## 2.8.3 İşlem Parametreleri

İşlem parametreleri, düzgün bir kesim sonucuna ulaşmak ve kesim prosesinin kalitesini arttırmak için değiştirilebilen özellikleri taşımaktadır. Lakin bazı işlem değerlerini kullanıcı tarafından değiştirilemeyebilir.

Yüksek gerilim sürekli veya darbeli ışınla oluşabilmektedir. Darbeli kesim kullanıldığı zaman en yüksek darbe gücü ve sürekli kesim kullanıldığı zaman ise ortalama güç, ışının etki derinliğini belirlemektedir. Et kalınlığı fazla olan malzemelerde sürekli dalga lazer ışını kullanıldığında, yüksek kesme oranlarına ulaşmaktadır. Bu uygulama sayesinde düz bir kesim elde edilmektedir. Lakin en yüksek kesme hızlarına ulaşabilmek için yüksek ortalama güç seviyeleri kullanmak gerekmektedir (Ürgüplü ve Köksal 2015).

## 2.9 Lazerin Sağladığı Avantajlar

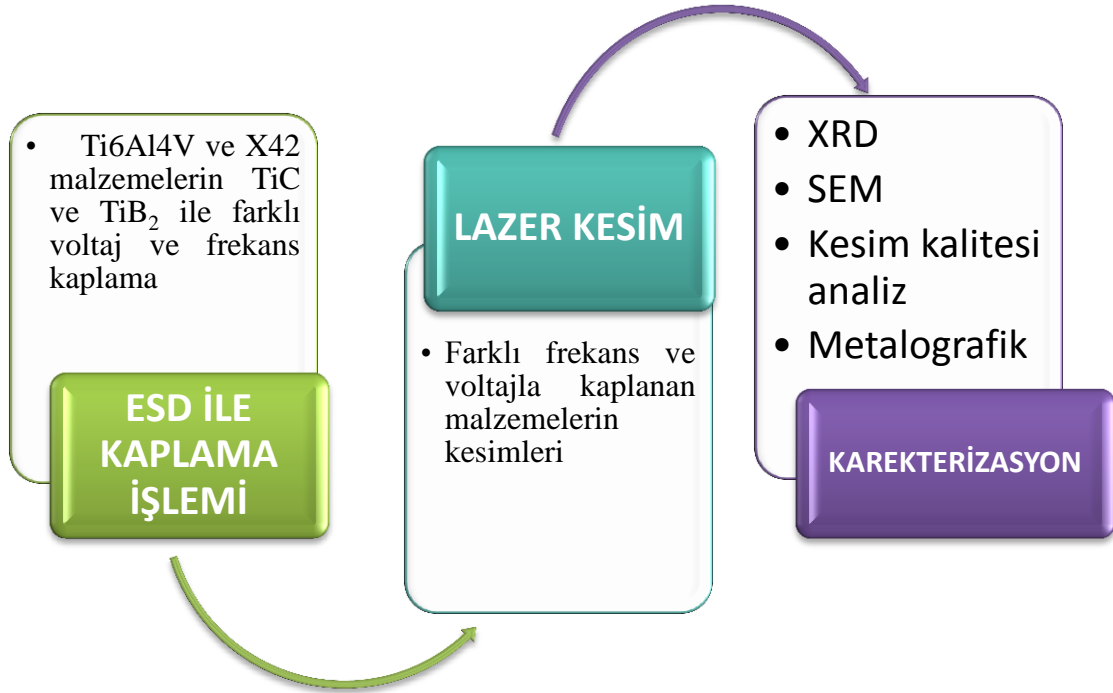
- Üretim esnasında hızlı kesim yapılabilir.
- Düşük maliyetlidir.
- Kalıp gerektirmeden üretim yapılabilmesi sonucu kalıp maliyetleri ortadan kalkar.



- Minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilir.
- Lazer çok fonksiyonlu bir ayıraç olduğundan kesme aralığı çok küçüktür.
- Malzemede ısıdan etkilenen bölge az olduğundan malzeme bozulması pek olmaz.
- İşleme esnasında malzemeye temas olmadığından çiziksiz ürün elde edilmesi mümkündür.
- Montaja hazır üretimler yapılabilir.
- Sacın üzerine markalama yapılabilir, yazı yazılabilmektedir.
- Lazer kesim tezgahlarının stabil yapısı, modern işletimi ve ölçüm tekniği sonucunda yüksek hassasiyet sağlanır.
- Levha malzemelerden üretim, talaşlı üretime göre daha ekonomiktir.
- Farklı geometrideki malzemelerin ve üç boyutlu malzemelerin kesilmesi mümkündür.
- 0.4 x sac kalınlığına kadar deliklerin açılmasına olanak sağlar (ANONİM 2005).
- Lazer ışınımı ile kesme endüstride genellikle, aşağıdaki metallerin kesilmesinde uygulanır. Bunlar;
  - Çelik (Takım çelikleri, yumuşak çelikler, yay çelikleri, silisyumlu çelikler)
  - Paslanmaz çelikler
  - Alüminyum ve alaşımları
  - Galvanizli saclar
  - Titanyum ve alaşımları (Mungan 2006).

### 3. MATERYAL METOT

Yüksek alaşımlı çeliklerden olan M<sub>42</sub> çeliğinin kaynaklanmış olduğu X42 taşıyıcı çelik şerit malzeme ile Titanyum alaşımı olan Ti6Al4V alaşımından üretilmiş olan plaka formundaki malzemeler, TiC ve TiB<sub>2</sub> içeren elektrotlarla yüzeyleri ESD yöntemi ile kaplanacaktır. Kaplama sonrası lazer kesim cihazı ile kesimler yapılmaktadır. Yapılan işlemlerin iş akış şeması aşağıda Şekil 3.1’de verilmektedir.

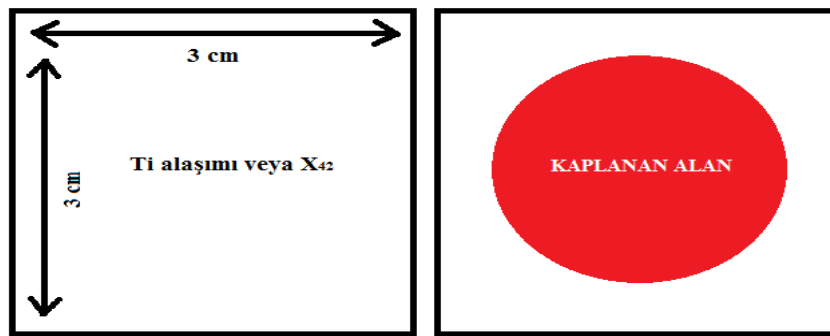


Şekil 3.1 İş Akış Şeması.

ESD ile kaplanmış olan yüksek alaşımlı çeliklerin ve Ti alaşımı plakaların lazer ile işleme kapasitelerinin değişimi ve aşınma davranışları test edilecektir. Endüstriyel olarak benzer uygulamalar mevcut olsa da sanayi odaklı projelerde bu tür araştırmalar görülmemektedir ve endüstriyel sır olarak kalmaktadır. Araştırma sonucunda, aynı kaplama yöntemi kullanılarak üretilen yüksek alaşımlı çelik ve titanyum alaşımlarının lazer ile işleme kapasitesinin test edilmesinin yanında, kesme sırasında ortaya çıkacak olan metalürjik oluşumların analizde yapılacaktır.

### 3.1 Kullanılan Malzeme ve İşlemler

Bu çalışmada kullanılacak olan malzemeler ve yapılan işlemler bu başlık altında anlatılmaktadır. İlk olarak daha önceden toz metalürjisi ile üretilmiş TiC ve TiB<sub>2</sub> elektrotlar yapılmaktadır. Kaplanacak olan ve kalınlıkları 1 mm olan altlık malzemeler giyotin yardımıyla uygun kuponlar haline getirilmiştir(Şekil 3.2). Altlık malzemesini uygun kupon haline getirdikten sonra kaplama işlemi için ön yüzeylerinin temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.2 Kaplanacak Olan Altlık Malzemelerin Boyutları.

Lazer kesim deneylerinde kullanılan X42 çeliği ve Ti6Al4V alaşımının, mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir. X42 çeliği ve Ti6Al4V alaşımı piyasadan temin edilerek kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Lazer kesim deneylerinde kullanılan X42 çeliği ve Ti6Al4V alaşımının, mekanik ve kimyasal özellikleri.

Malzeme	C max	Si max	Mn. mix	P max	S max
X42	0.22	0.45	0.50-1.10	0.04	0.035

Malzeme	Akma Dayanımı MPa	Kopma Dayanımı MPa	% Uzama
X42	290	420-540	23

Malzeme	Al mix	V mix	C max	Fe max	O <sub>2</sub> max	Ti min
Ti6Al4V	%5,5-6,74	%3,5-4,5	%0.10	%0.4	%0.02	%90,2

Malzeme	Akma Dayanımı ksi	Çekme Dayanımı ksi	% Uzama
Ti6Al4V	120	130	10

### 3.1.1 ESD Yöntemi ile Malzemelerin Kaplama İşlem

Elektro-spark ile kaplama işlemi yapılan Ti6Al4V ve X42 çeliğinin, TiC ve TiB<sub>2</sub> ile kaplama sırasında kullanılan voltaj ve frekansları Çizelge 3.3’de verilmektedir. Aşağıda Çizelge 3.2.’de görüldüğü üzere her bir kaplama işlemi için 9 numune hazırlanmaktadır ve bu da toplamda 36 numune tekabül etmektedir.

**Çizelge 3.2** Ti6Al4V titanyum alaşımı ve X42 çeliğinin TiC ve TiB<sub>2</sub> ile ESD kaplama sırasında kullanılan numune sayıları.

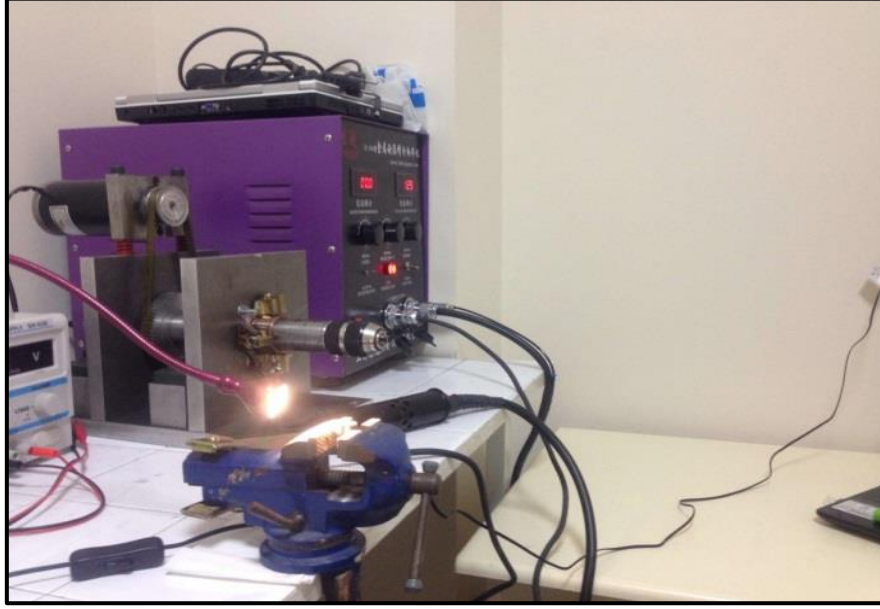
Kaplama/ Altlık malzemesi	TiC	TiB <sub>2</sub>
Ti6Al4V	9 tane	9 tane
X42	9 tane	9 tane

**Çizelge 3.3** Ti6Al4V titanyum alaşımı ve X42 çeliğinin TiC ve TiB<sub>2</sub> ile ESD kaplama sırasında kullanılan voltaj ve frekanslar

NUMUNE NUMARALARI	VOLTAJ (V)	FREKANS (Hz)
1	60 V	500 Hz
2	100 V	500 Hz
3	140 V	500 Hz
4	60 V	1000 Hz
5	100 V	1000 Hz
6	140 V	1000 Hz
7	60 V	1800 Hz
8	100 V	1800 Hz
9	140 V	1800 Hz

Kaplama makinası olarak da 600 W gücünde, 20-140 aralığında voltaj ve 100-1800 Hz aralığında da frekansı ayarlanabilen SZ-3000 marka ESD kaplama makinası kullanılmıştır. Bu işlemi yaparken koruyucu gaz olarak da argon kullanılmakta ve 90 saniyede yapılmaktadır.

Kaplama işlemi için altlık malzemenin dönmesini, akımın geçişinin sağlanabilmesi için hazırlanan deney düzeneği ve kaplama makinasına ait görüntüler Resim 3.1’de, verilmiştir.



**Resim 3.1** Elektro-Spark Deposition (ESD).

### **3.1.2 Kaplanan Malzemelerin Metalografik İşlemleri**

Mikro yapı analizi yapmak için kaplanan numuneleri kaplanan yüzeylerinden hassas kesim ile kaplamanın tam orta noktasından kesilmesi gerekmektedir. Kesim sonucu boyutları küçük olduğundan dolayı zımparalama işleminde daha iyi şekilde tutma sağlaması açısından soğuk kalıplama işlemine alınmaktadır. Soğuk kalıplama işlemi çoğunlukla sertleştirici ve reçine malzemenin birbirine karıştırılması ile elde edilen karışımın belli bir süre sonra kalıbın içinde sertleşmesi ile oluşturulur.

Mikro yapılarının incelenmesi için hazırlanmış olan numuneler metalografik olarak zımparalama işlemine tabii tutulacaktır. Zımparalama ve parlatma işlemleri Metkon marka, Gripon 2V model zımpara cihazı ile ortalama 250 devir/dakika hızında gerçekleştirilmiştir. Zımparalama makinesi yardımı ile sırasıyla 600’lük zımpara kâğıdından başlamak üzere 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

kılcal çizikleri gidermek için zımparalama makinesi üzerine çulha takılmaktadır. Bu sayede alimüna solüsyonu çulha üzerine dökülerek numune yüzeyi üzerinde bulunan çizikler giderilmiştir.



**Resim 3.2** İç Yapı Analizi İçin Zımparalama İşlemi Yapılması.

Son olarak nital dağlayıcı ile yaklaşık 13 sn dağlanan numune tekrar kurutulup mikro yapı tayini için optik mikroskopta incelemeye alınmıştır. Parlatma ve dağlama işlemini uygulandıktan sonra numunenin mikro yapı resimleri mikro yapı analizi için değişik büyütmelerde alınmıştır.

### **3.1.3 Kaplanmış Olan Malzemelerin 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.

Numuneler sırasıyla mikro sertlik deneyinin yapılacağı tablanın üzerine konulmaktadır. Uç yaklaşık 20 saniye boyunca HV 0,2 kg yük uygulayacak şekilde numunenin üzerinde kalmaktadır. Uç otomatik olarak geriye döndükten sonra numune üzerinde kare tabanlı bir iz elde edilmektedir. Bu izin boyutlarını ölçmek için mikroskop tablası elle numunenin üzerine getirilir ve köşegenler ölçülür. Bu değerler girildikten sonra

numunenin mikro sertlik değeri bulunmaktadı (Resim3.3.).

**Çizelge 3.5** Malzemelerin Sertlik Değerleri.

Malzeme türü	1. ölçüm (HV)	2. ölçüm (HV)	3. ölçüm (HV)	Ortalama (HV)
X42	220,7	203,2	215,5	213,13
TiC	440,9	453,4	437,9	444,06

Kaplama kalınlığı boyunca sertliğin değişmesi difüzyon reaksiyonun tam olarak gerçekteşmediğini ve homojen bir yapıda olmadığını gösterir. Ayrıca kaplama aşınmaya, yıpranmaya, darbeye, oyulmaya karşı yapılı ve malzeme daha sert bir hale gelmektedir. Yüzeyden ana malzemeye doğru gidildikçe ana malzemenin orijinal sertlik değerine ulaşılır.

Geçiş bölgesinde ise sertlik ortalama bir değere ulaşmaktadır. Çizelge 3.5’de görüldüğü üzere ana malzemenin ortalama sertliği 213,13 HV, kaplama sonrası ise malzeme yüzeyi 444,06 HV olarak görülmektedir.



**Resim 3.3** Mikro Sertlik Cihazı.

### 3.1.4 Kaplanmış Olan Malzemelerin Fiber Lazer ile Kesimi

Lazer kesim deneyleri Afyon Kocatepe Üniversite, Merkezi Laboratuvar, Mekanik İşlemler bölümünde yapılmıştır. Deneyler, TLS firmasının üretmiş olduğu 400W gücünde olan 3T LASER markalı fiber lazer tezgâhında gerçekteştirilmiştir. Tezgâh görseli Resim3.4’de gösterilmektedir.



**Resim 3.4** 3T LASER Markalı Fiber Lazer.

### **3.1.5 Karakterizasyon İşlemleri**

Kesim sonrası yapılan karakterizasyon işleri aşağıdaki gibidir:

- SEM
- XRD Analizi



### 3.1.5.1 SEM

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 (Resim3.5).



**Resim 3.5** LEO 1430 VP model SEM cihazı.

### 3.1.5.2 XRD Analizleri

Yapılan XRD analizi, malzemelerde üretimde oluşan fazlarla, ısıl işlem uygulaması sonrasındaki fazların tespiti için kullanılmıştır. Shimadzu 6000 model cihazla Cu-K $\alpha$  radyasyonu ile yapılan analizlerde daha önce mikroyapıları incelenmiş malzeme yüzeyleri yeniden temizlenerek analizler yapılmıştır. Tarama işlemi (2 $\theta$ ) 20°-90° arasında, 0,02°'lik adımlarla 0.6 sn/adım hızıyla yapılmıştır (Resim 3.6).



**Resim 3.6** Shimadzu 6000 XRD Cihazı.

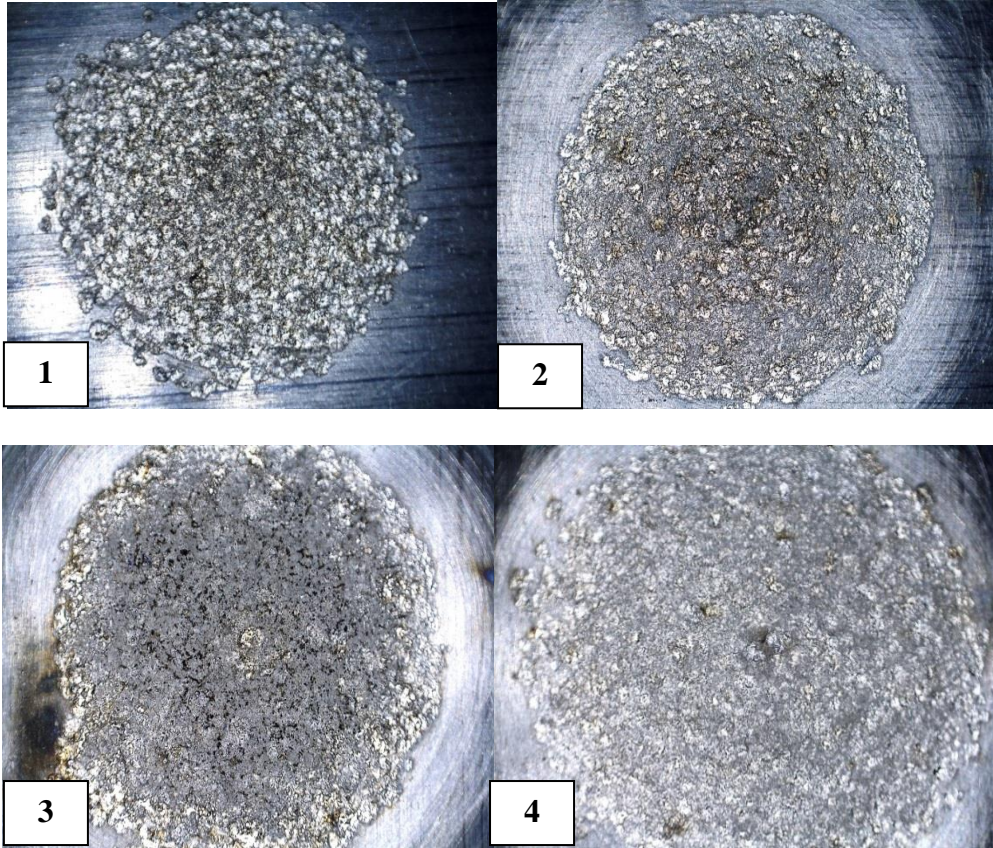
#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde Tablo 3.4’de verilen kaplama parametrelerine ait analiz bulguları ve kesim sonrası karakterizasyonları incelenmiştir.

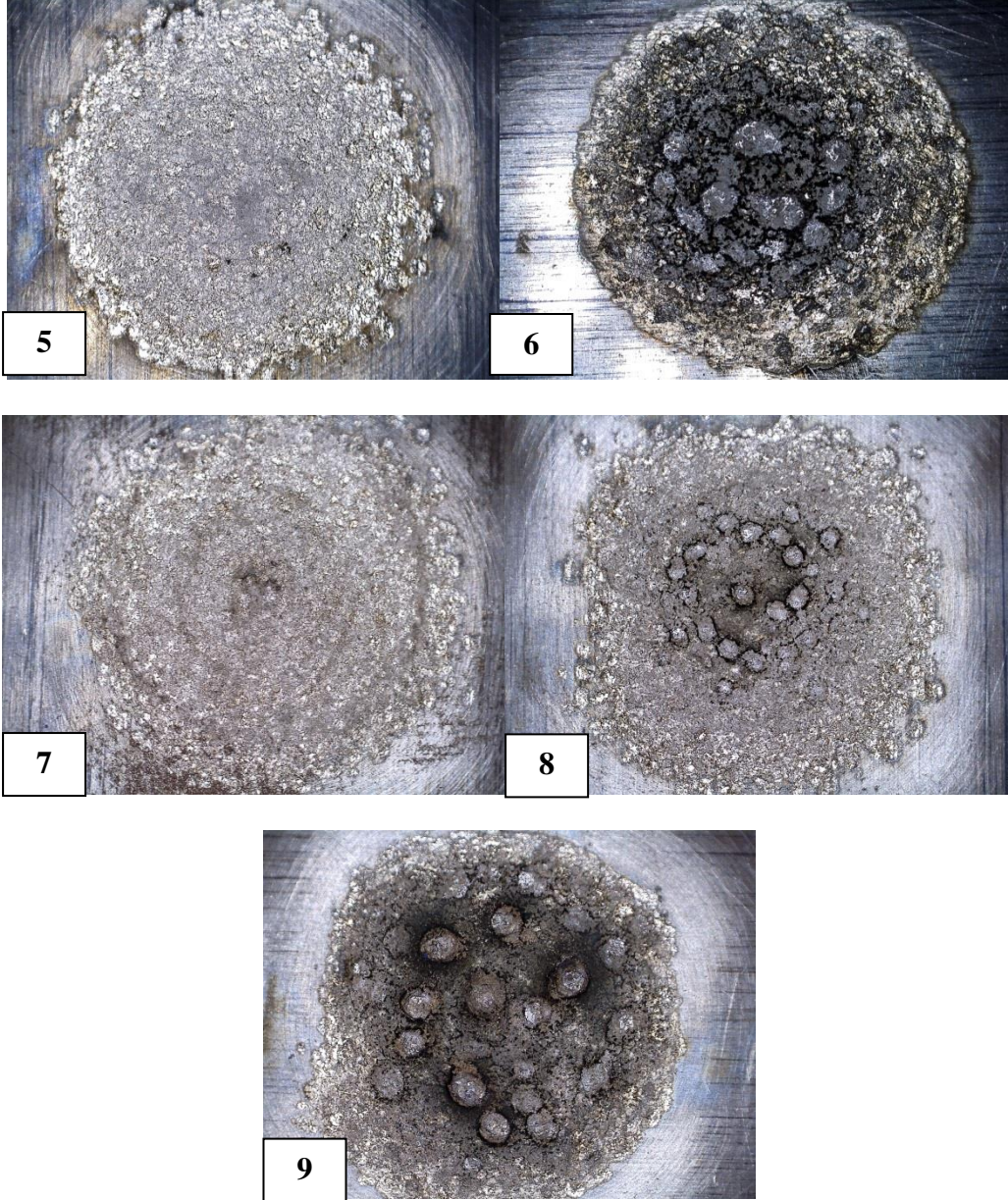
##### 4.1 Kaplamaların Makro Görüntülerin Analizi

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.

TiC ve TiB<sub>2</sub> kaplamaların yüzeysel morfolojileri Resim 4.1 ve Resim 4.2’de sırasıyla gösterilmektedir. Üzerinde bulunan numaralar kullanılan voltaj ve frekansları belirtmektedir. Bu numaraların özellikleri Çizelge 3.3’de verilmektedir.



**Resim 4.1** Yüzeyleri farklı frekans ve voltajlar ile TiC ile kaplanan numuneler.



**Resim 4.1** (Devam) Yüzeyleri farklı frekans ve voltajlar ile TiC ile kaplanan numuneler.

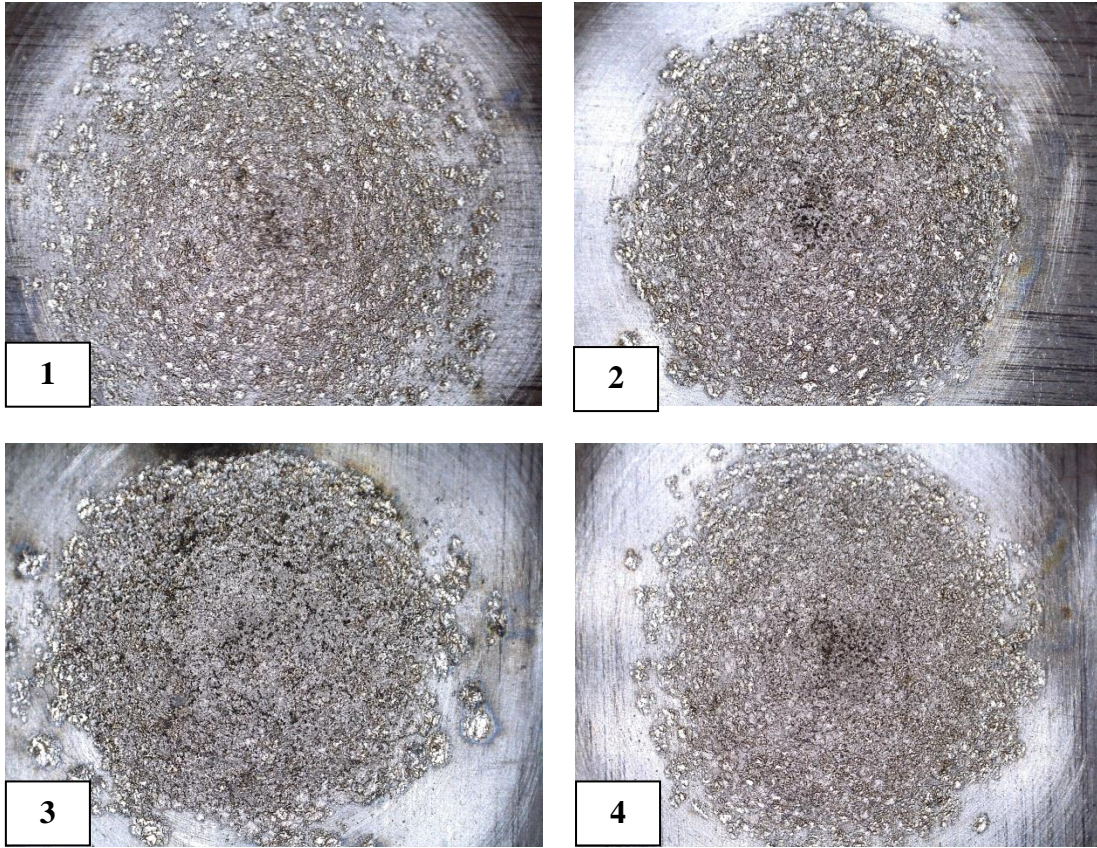
Yüzeyleri ESD yardımıyla TiC kaplanan numuneler sırasıyla Resim 4.1’de gösterilmektedir. Bir numaralı kaplama düşük frekans ve düşük voltajla yapılmaktadır. Bu yüzden numunenin yüzeyi diğer yüzeylerle karşılaştırıldığında daha seyrek bir biçimde kaplamanın meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni frekans ve voltajın düşük değerlerde olmasıdır. Frekansın düşük olması elektrotun altlık yüzeyinde atlamamasını neden olmaktadır ve bu yüzden altlık malzemenin yüzeyinde elektrotun atlamalarını rahatlıkla görebilmekteyiz.

İlk üç numunenin frekansları aynı olmasına rağmen voltajlarındaki farklılıklarından

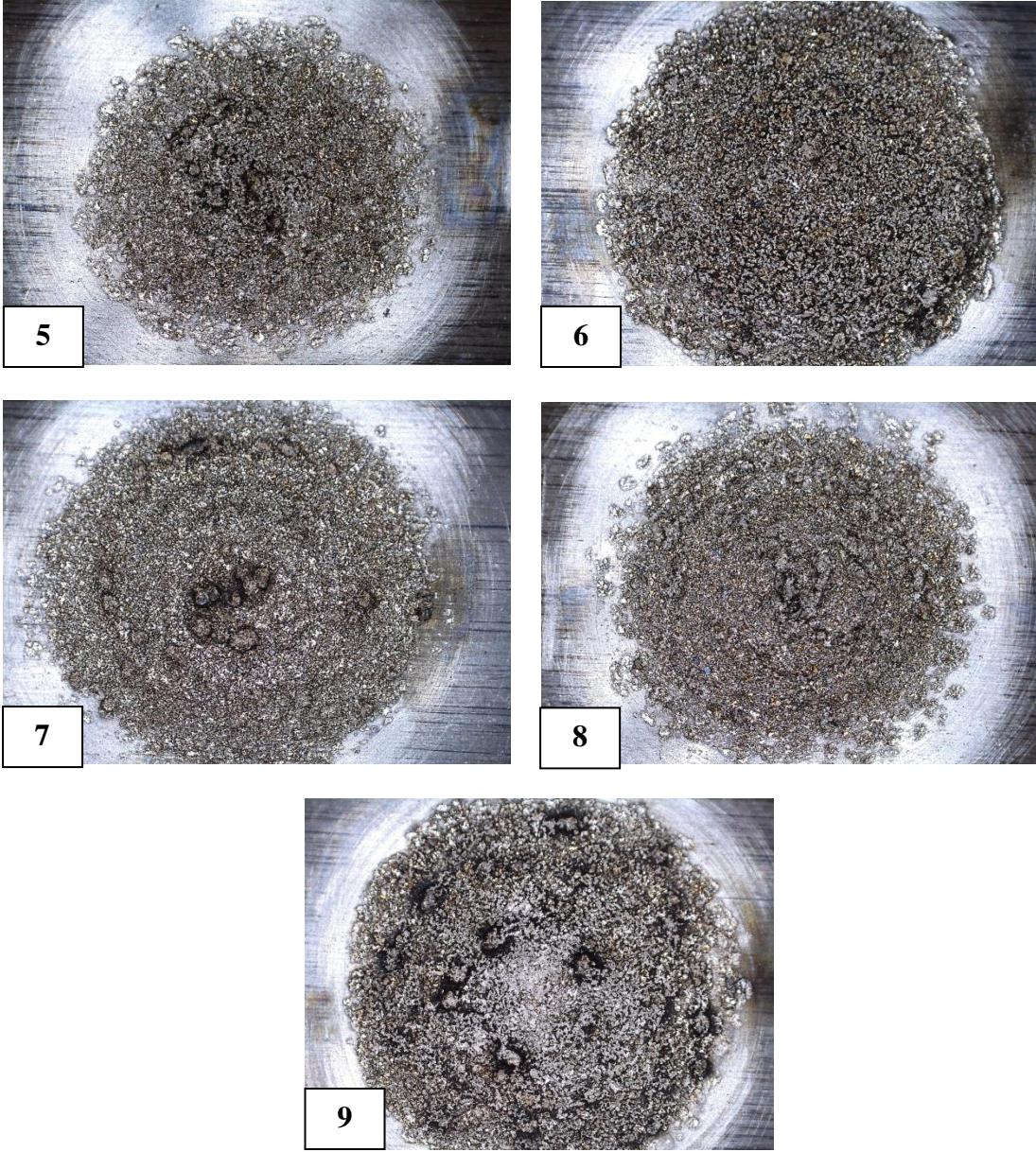
dolayı kaplama kalınlığının arttığını gözlenmektedir. Bu gözlemi ilk başta yüzeysel olarak fazla belli etmese bile kaplama kalınlığı analizinde doğrulandığını görmekteyiz.

Voltajları aynı fakat frekansları farklı olan 1, 4 ve 7 numaralı numunelerde frekansın etkisi açıkça gözükmemektedir. Frekans artıkça altlık malzemesinin yüzeyinde atlamalar daha hızlı bir şekilde meydana gelmekle birlikte bu atlamalar bir süre sonra kendini tekrar eder ve kaplamalar arasında boşluk kalmayacak şekilde kaplama meydana getirmektedir. Bu sayede düşük voltajlarda bile kaplama kalınlığı artırabilmektedir.

Yüksek voltaj ve aynı değerlerde olan fakat yüksek frekansa sahip 3, 6 ve 9 numaralı numunelerde oluşan kararmaların sebebi genelde voltajın yüksek olmasından dolayı oksitlenmenin meydana gelmesi olarak yorumlanabilmektedir.



**Resim 4.2** Yüzepleri farklı frekans ve voltajlar ile  $TiB_2$  ile kaplanan numuneler



**Resim 4.2** (Devam) Yüzeyleri farklı frekans ve voltajlar ile  $TiB_2$  ile kaplanan numuneler

Yüzeyleri ESD yardımıyla  $TiB_2$  kaplanan numuneler sırasıyla Resim 4.2'de gösterilmektedir.  $TiB_2$ 'nin  $TiC$  göre düşük voltaj ve frekansta kaplama oranı daha düşük olduğunu bir numaralı görsele bakarak söyleyebiliriz. Bu yapıda görüldüğü üzere malzemenin yüzeyinde daha az kaplama birikintileri bulunmaktadır.

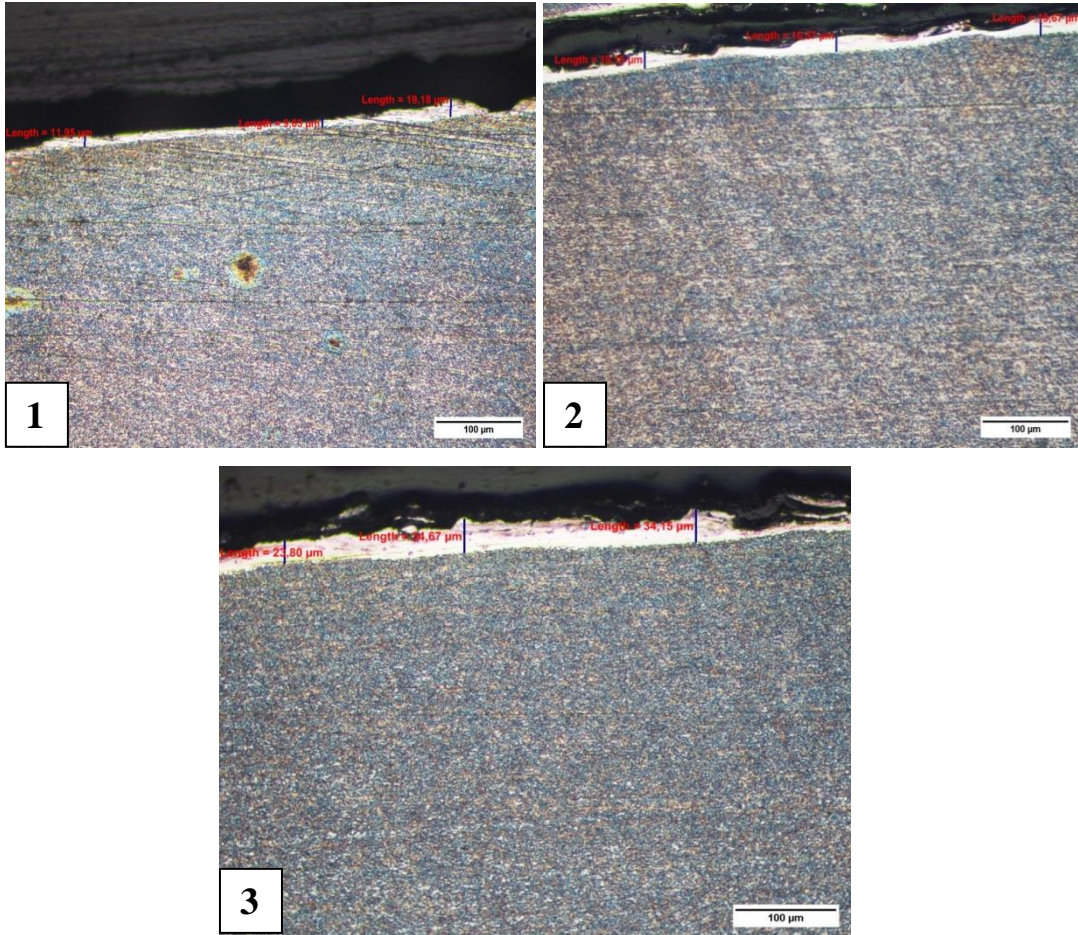
$TiB_2$  ve  $TiC$  karşılaştırdığımız zaman  $TiB_2$ 'nin voltaj artıkça kararmanın daha çok olduğu görülmektedir.  $TiC$  de ise voltaj artıkça elektrottan kopan parçaların daha büyüdüğü gözlenirken  $TiB_2$ 'de ise  $TiC$  göre daha homojen olduğu gözlenmektedir.

## 4.2 Kaplama Kalınlıklarının Analizi

Mikro yapı analizi için hazırlanan numunelerin mikro yapıları aşağıda Resim 4.3, Resim 4.4 ve Resim 4.5 gösterilmektedir. Kaplama kalınlıkları çizelge ve grafik destekli olarak anlatılmaktadır.

**Çizelge 4.1** Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları.

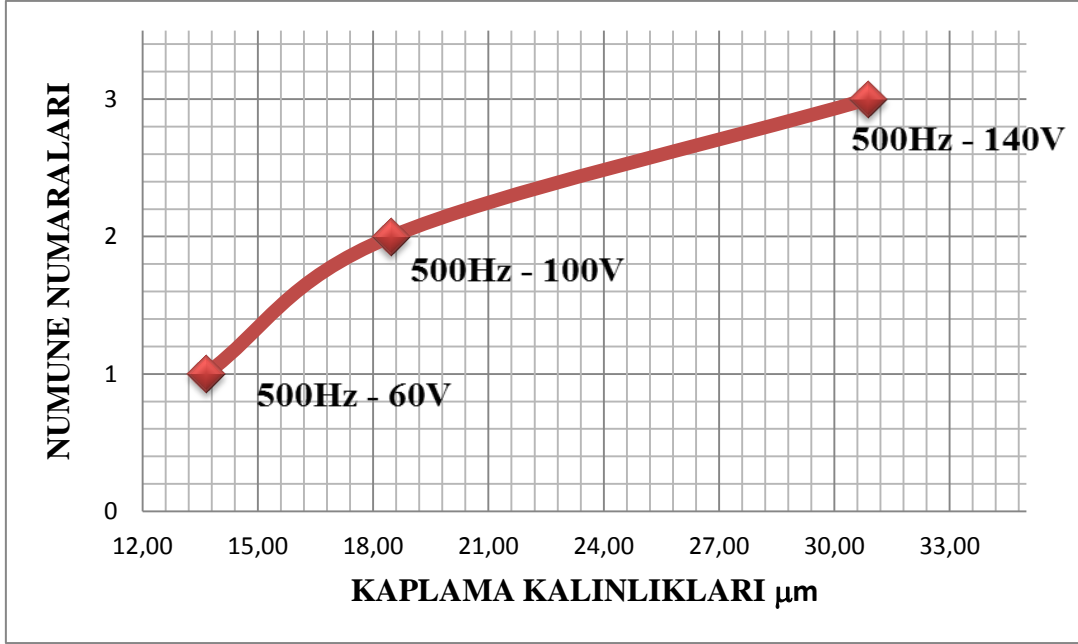
NUMUNE NUMARALARI	KAPLAMA KALINLIĞI 1 (μm)	KAPLAMA KALINLIĞI 2(μm)	KAPLAMA KALINLIĞI 3(μm)	KAPLAMA KALINLIĞI ORTALAMA(μm)
1	11,95	9,83	19,18	13,65
2	19,15	16,57	19,67	18,46
3	23,8	34,67	34,15	30,87



**Resim 4.3** Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı

Kaplama işlemi bittikten sonra hassas kesim ile kesilen numuneler mikro yapı analizi

için hazırlanmıştır ve mikro yapı görüntüleri Resim 4.3’de bulunmaktadır. Gösterilen üç numunenin voltajları farklı lakin frekansları aynı olan numunelerdir. Bu sayede altlık malzemenin üzerine voltajın etkisi gözlenmektedir ve bu artış kaplama kalınlığı artmasına neden olmaktadır.



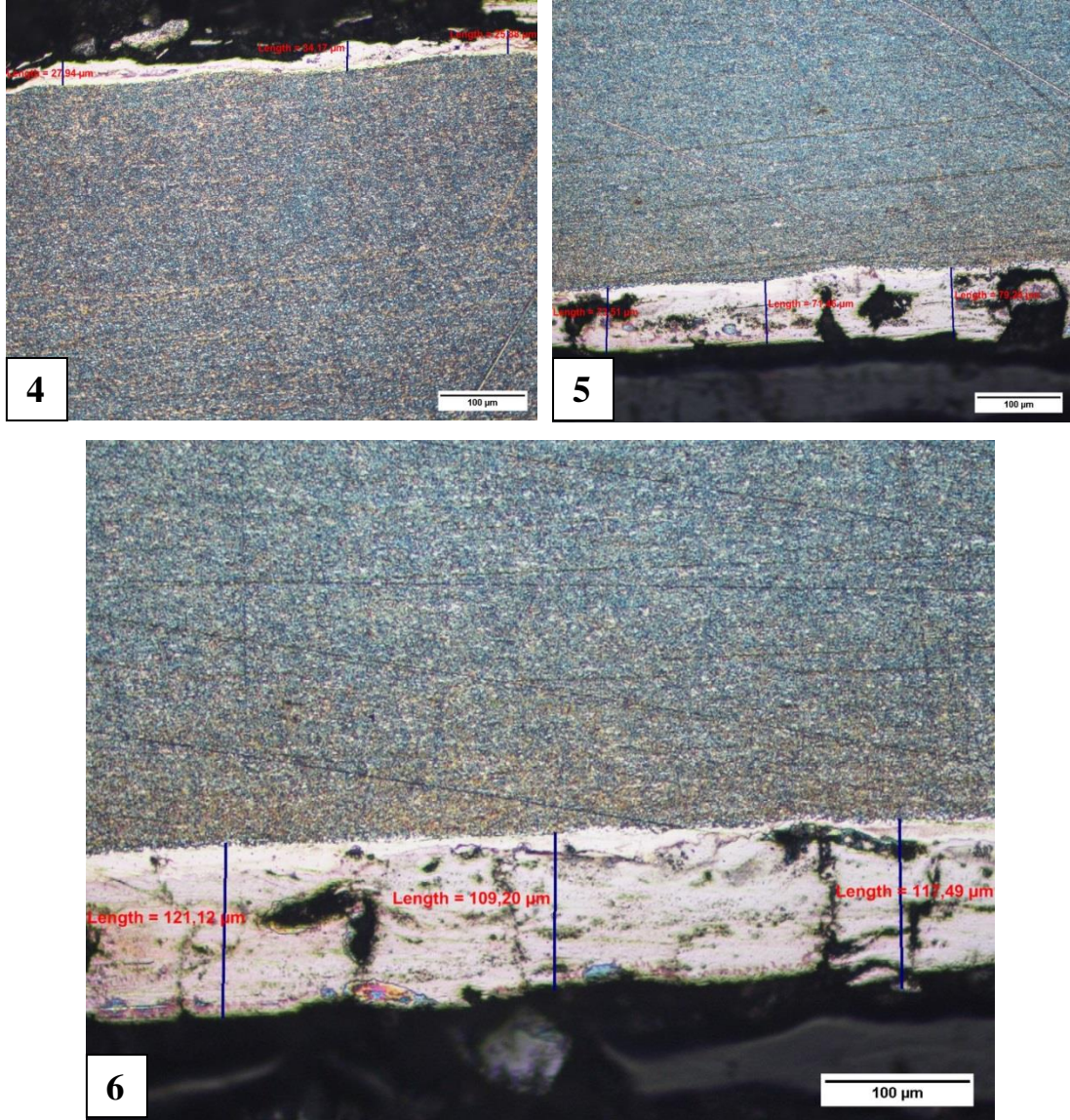
**Şekil 4.1** Frekansları 500Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Kalınlıkları

Kaplama kalınlıkları heterojen olduğu gözükmemektedir. Bunun başlıca nedeni ise ESD prosesinde manuel yani elle bir kaplamayla yapılmasından dolayıdır. Kullanılan voltajların artış meydana geldiği zaman kaplama kalınlığının artışı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2** Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları

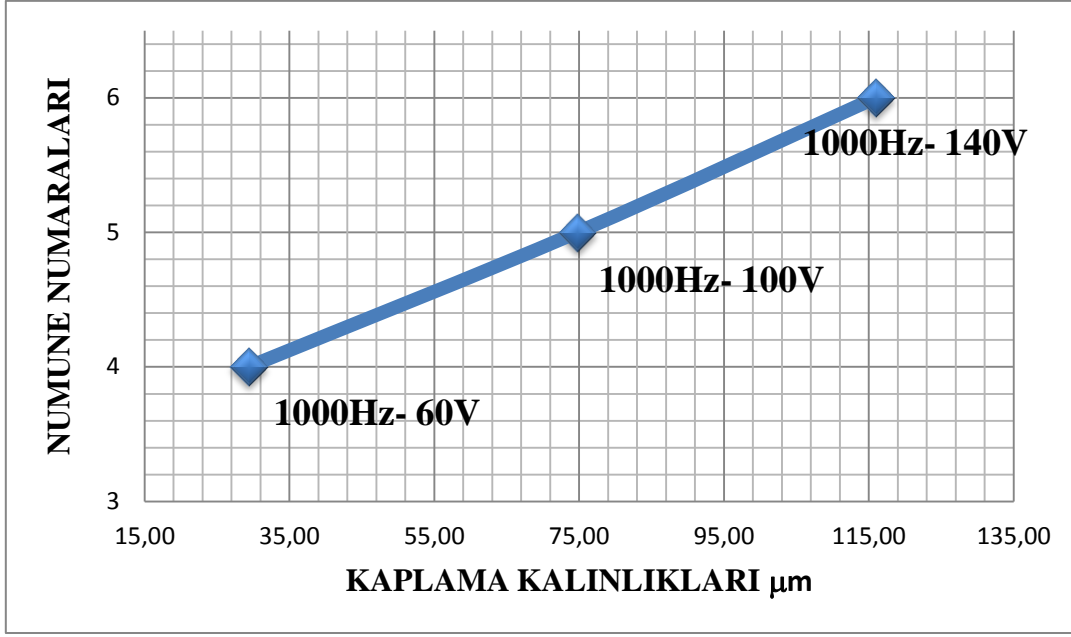
NUMUNE NUMARALARI	KAPLAMA KALINLIĞI 1(μm)	KAPLAMA KALINLIĞI 2(μm)	KAPLAMA KALINLIĞI 3(μm)	KAPLAMA KALINLIĞI ORTALAMA(μm)
4	27,94	34,17	25,88	29,33
5	73,51	71,46	79,26	74,74
6	121,12	109,2	117,49	115,94





**Resim 4.4** Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı

Frekansı 1000Hz voltajları sırasıyla 60, 100 ve 140 V olarak kaplanan numunelerin mikroyapıları sırasıyla Resim 4.4’de gösterilmektedir. Resimlerde görüldüğü üzere bazı yerlerde zımparalama sonrası kaplamaların kalktığını lakin genede yüzeye yapışan bir kaplama olduğu gözükmedir. Bu halde bile minimum kaplama kalınları Çizelge 4.2’ de verilmiştir ve minimum 25,88 mikron olduğu gözlenmektedir. Kaplama kalınlıklarının grafik şeklinde karşılaştırılması Şekil 4.2’de verilmiştir.

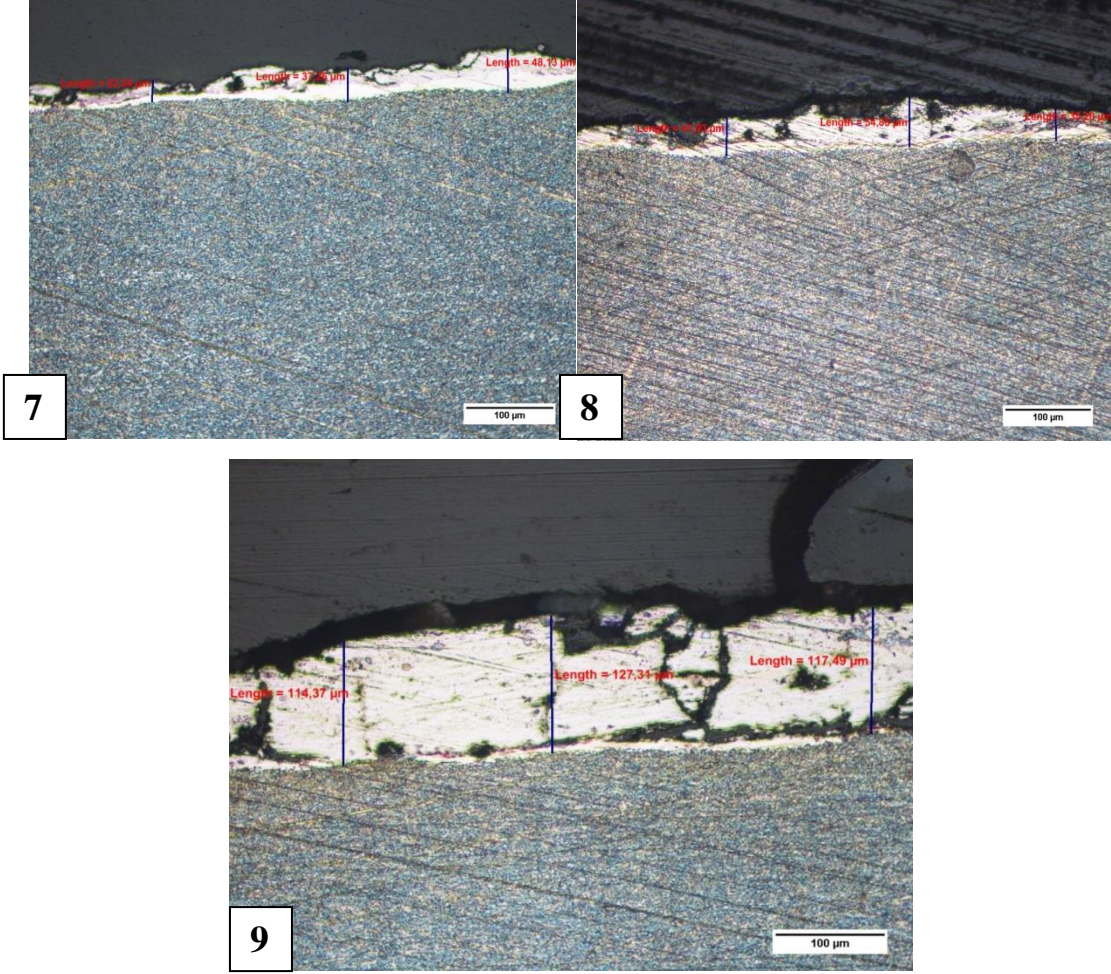


**Şekil 4.2** Frekansları 1000Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı

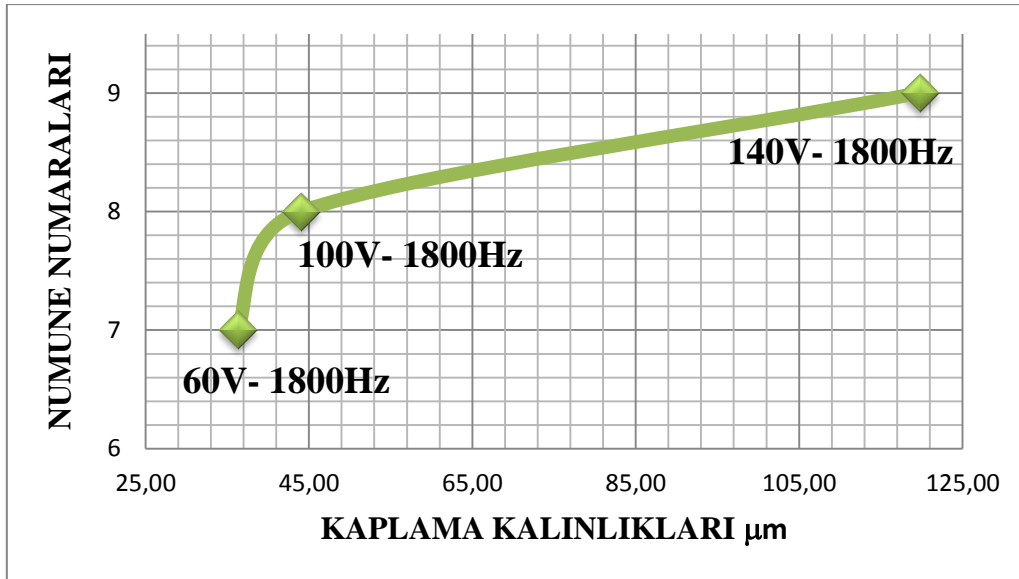
Kaplamaların analizi yapılırken kaplamalar arası boşlukların olduğu gözlenmiştir. Bu boşluk oluşumu frekansın altlık malzemesi üzerinde atlamalar yapması yüzünden meydana gelmektedir. Bu boşluk oluşumunu ortadan kaldırmak için frekansı ya daha düşük yada daha yüksek yapmamız gerekmektedir. Eğer düşük olursa kaplama kalınlığı azalır fakat düzgün bir kaplama elde ederiz. Yahut yüksek frekans ile kaplama yaparsak altlık malzemenin yüzeyi daha düzgün çıkmaktadır.

**Çizelge 4.3** Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplama Kalınlıkları

NUMUNE NUMARALARI	KAPLAMA KALINLIĞI 1 ( $\mu\text{m}$ )	KAPLAMA KALINLIĞI 2 ( $\mu\text{m}$ )	KAPLAMA KALINLIĞI 3 ( $\mu\text{m}$ )	KAPLAMA KALINLIĞI ORTALAMA ( $\mu\text{m}$ )
7	23,34	37,26	48,13	36,24
8	41,93	54,85	35,2	43,99
9	114,37	127,31	117,49	119,72



**Resim 4.5** Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaların Mikroyapısı



**Şekil 4.3** Frekansları 1800Hz ve Voltajları Farklı Olan Malzemelerin Kaplamaları

### 4.3 X42 Çeliğinin Karakterizasyonu

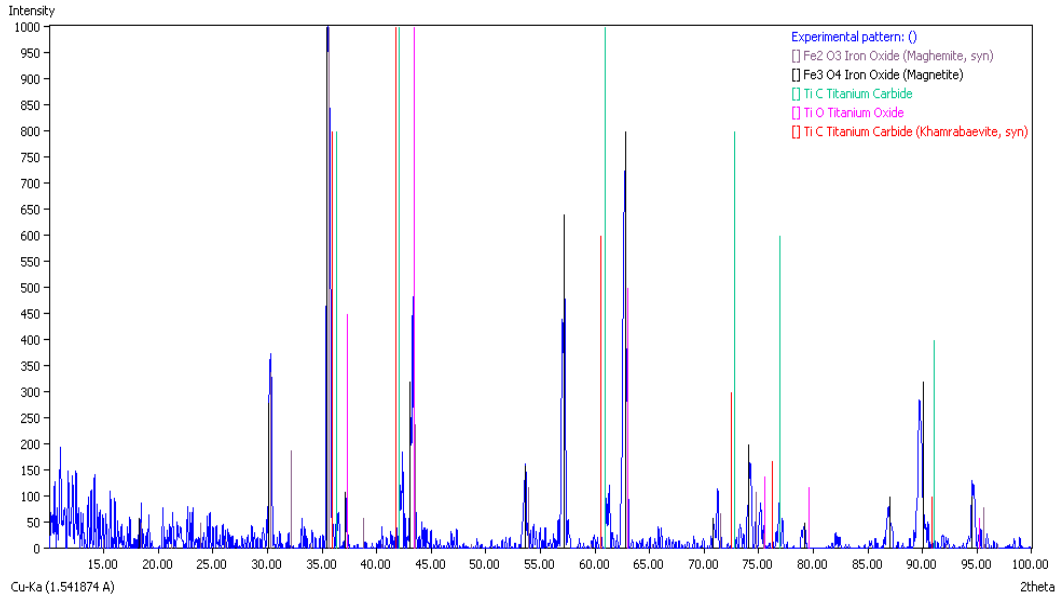
Bu bölümde X42 çeliğine uygulanan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu analizler:

- XRD analizi
- SEM görüntüsü
- EDX analizi

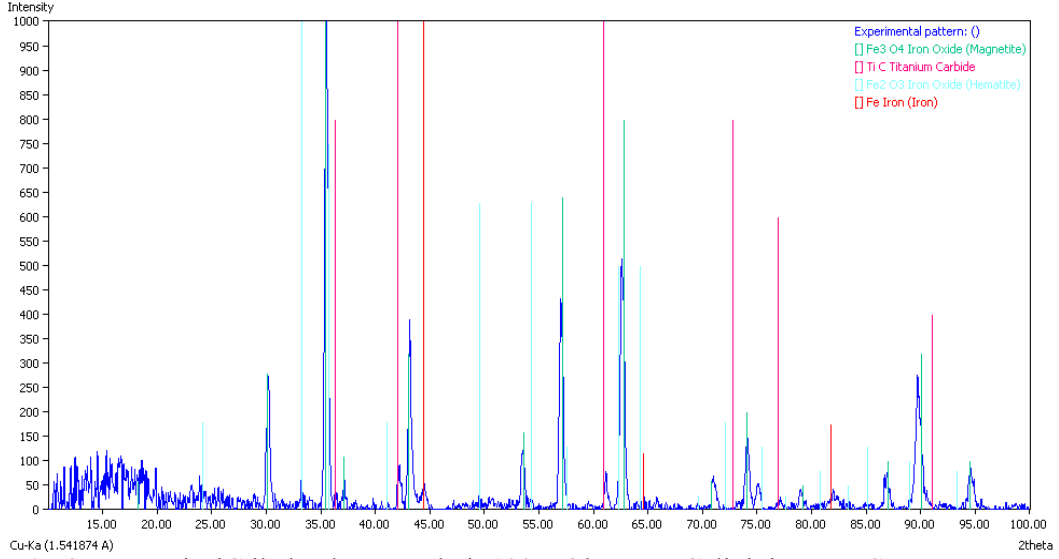
#### 4.3.1 X42 Çeliğinin XRD Analizi

Analizleri inceleme sırası genellikle kaplanan malzemenin cinsine göre yapılmıştır ve bu sıralamada TiC ile kaplanan X42 çeliğinin başta olmaktadır. Bu analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

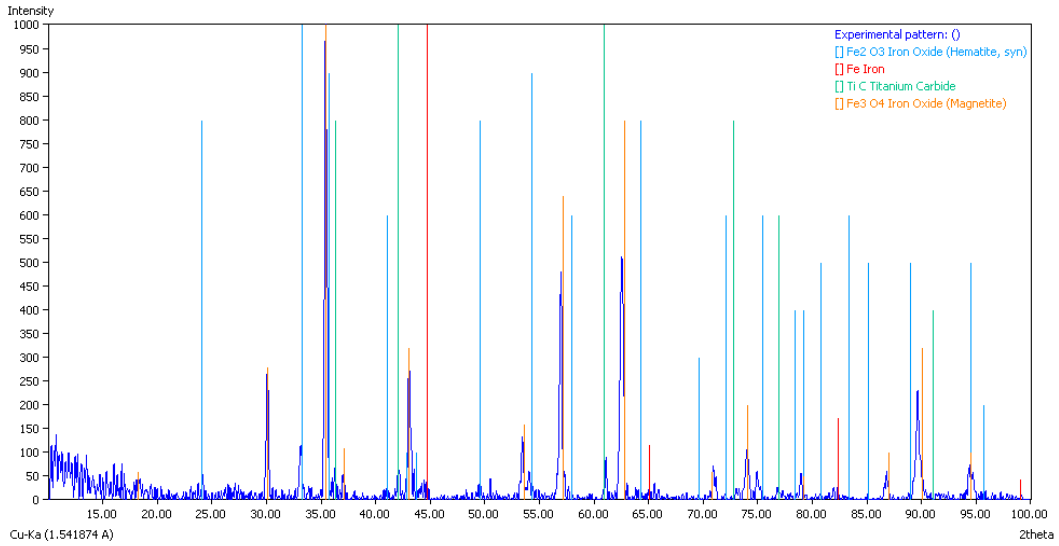
Şekil 4.4, 4.5 ve 4,6'de voltajı 60V, 100V ve 140V olan ve frekansı 1000Hz olan X42 çeliğinin yüzeyine TiC kaplama uygulanmaktadır. Numunelere ait XRD analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil. 4.4 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu



**Şekil. 4.5** Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu



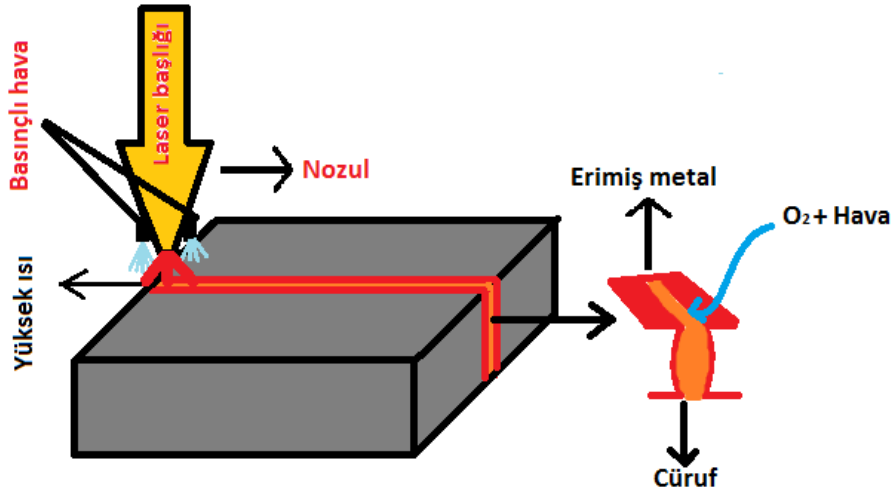
**Şekil. 4.6** Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu

XRD sonuçları incelendiğinde; piklerde  $Fe_2O_3$ , TiC ve  $Ti_xO_y$  fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Kullanılan X42 çeliğinin yapısında bulunan demirin kesim ortamında bulunan oksijenle etkileşime girdiği ve bileşik yaptığı gözükmemektedir. Tüm numunelerde görüldüğü üzere TiC tabakası X42 çeliğinin yüzeyinde bulunmakla beraber kesme sırasında ısının yüksek olması nedeniyle ayrışıp ( $TiC = Ti+C$ ) oksit oluşturduğu ( $Ti_{1+1/2}O_2 = TiO$  veya  $Ti+O_2=TiO_2$ ) ayrıca ayrışmadan dolayı ortaya çıkan C'un CO veya  $CO_2$  olarak gaz halinde uzaklaştığı düşünülmektedir. Tüm bu sonuçlar Çizelge 4.4'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.4** Yüzeyi TiC ile kaplanan malzemenin XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler

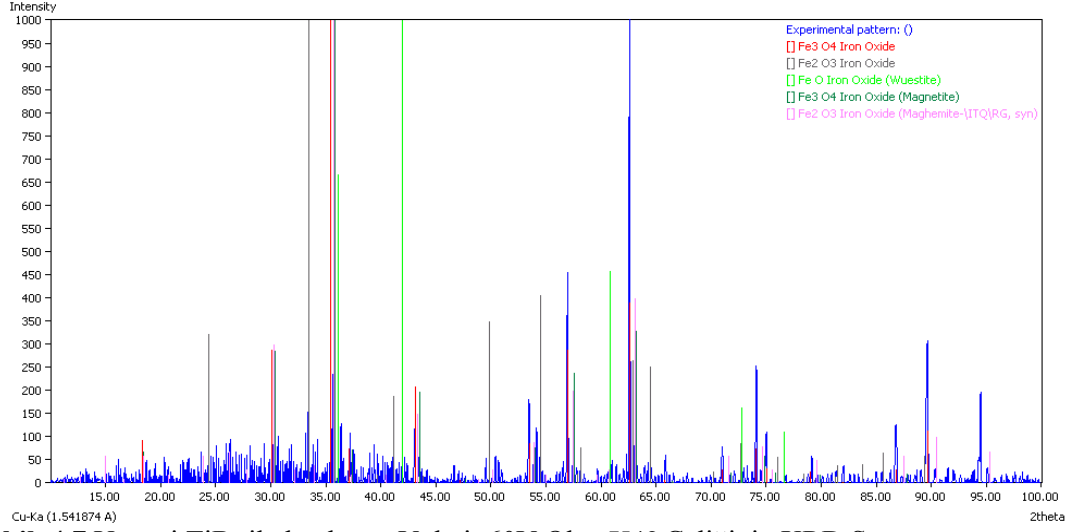
XRD Numunesi / Bulunan Bileşikler	60V/ 1000 Hz	100V/ 1000 Hz	140V/ 1000 Hz
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	✓	✓	✓
TiC	✓	✓	✓
Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	✓	✓	

XRD sonuçlarında 140V/ 1000Hz ile yapılan TiC kaplamada Ti<sub>x</sub>O<sub>y</sub> bileşiği veya herhangi bir Ti oksit bileşiğine rastlanmamıştır. Bunun nedeni kesim sırasında Ti'un oksijene karşı olan afinitesi nedeniyle hızlı bir şekilde oksit yaparak eritme sırasında oluşan cüruf'a karışarak basınçlı havanın etkisiyle ortamdaki uzaklaşmasıdır. Yüksek voltajlı işlemlerde yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere kaplama kalınlığı artmakta ve yüksek miktarda oksit oluşumu ve cüruf oluşumu desteklenmektedir. Bu var olan oksitlerin hızlı bir şekilde cürufa karışmasını kolaylaştırmaktadır. Buna karşın, daha az miktarda kaplama bulunan numunelerde Ti dışında diğer elementlerden daha fazla olduğu için daha az reaksiyona girmektedir.

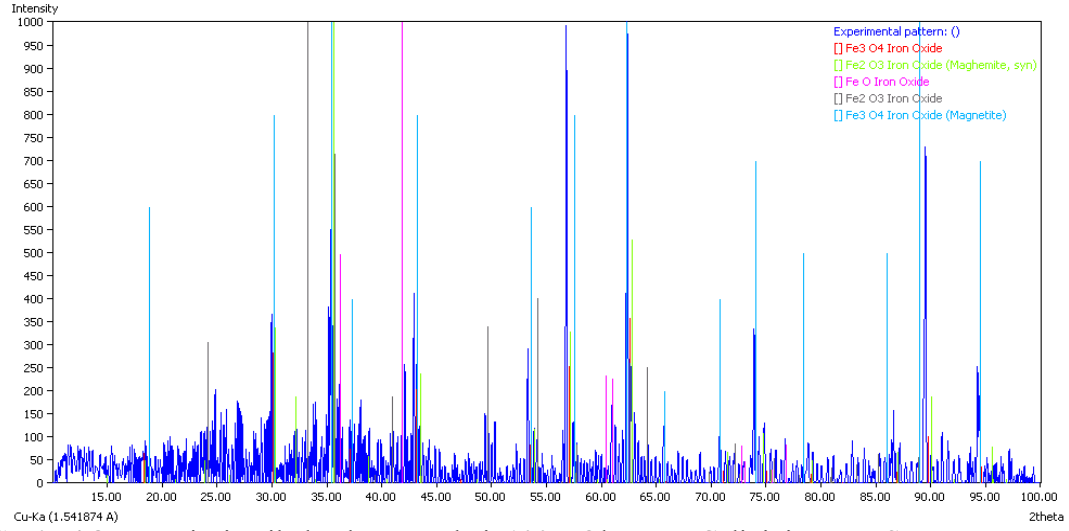


**Resim 4.6** Laser Kesim Sırasında Oluşan Oksit ve Cüruflar

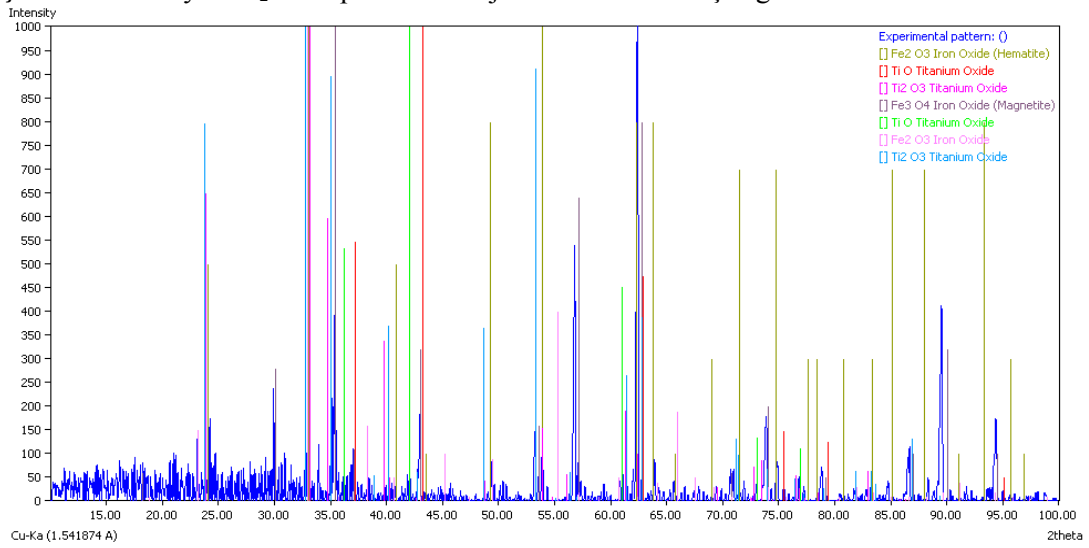
Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da voltajı 60V, 100V ve 140V olan ve frekansı 1000Hz olan X42 çeliğinin yüzeyine TiB<sub>2</sub> kaplama uygulanmaktadır. Numunelere ait XRD analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil. 4.7 Yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu



Şekil. 4.8 Yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu



Şekil. 4.9 Yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin XRD Sonucu

XRD sonuçları incelendiğinde, piklerde  $Fe_2O_3$  ve  $Ti_xO_y$  fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Kullanılan X42 çeliğinin yapısında bulunan demirin kesim ortamında bulunan oksijenle etkileşime girdiği gözükmemektedir. Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan altlık malzemesinde yüzeye tam olarak yapışmadığı veya  $TiB_2$  bileşiğindeki titanyumun ergitme sırasında serbest kalarak, oksijen ile afinitesi daha yüksek olduğundan bor bileşiğini bırakarak uygun sıcaklık ve ortamda oksijen ile birleşerek  $Ti_xO_y$  bileşiği oluşturmaktadır. Bu oluşum sadece 140V/1000Hz'de meydana gelmektedir. Diğer aşamalarda yapışma olmadığı söyleyebiliriz. Tüm bu sonuçlar Çizelge 4,5'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.5** Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan malzemenin XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler

<b>XRD Numunesi / Bulunan Bileşikler</b>	<b>60V/ 1000 Hz</b>	<b>100V/ 1000 Hz</b>	<b>140V/ 1000 Hz</b>
<b><math>Fe_2O_3</math></b>	▼	▼	▼
<b><math>Ti_xO_y</math></b>			▼

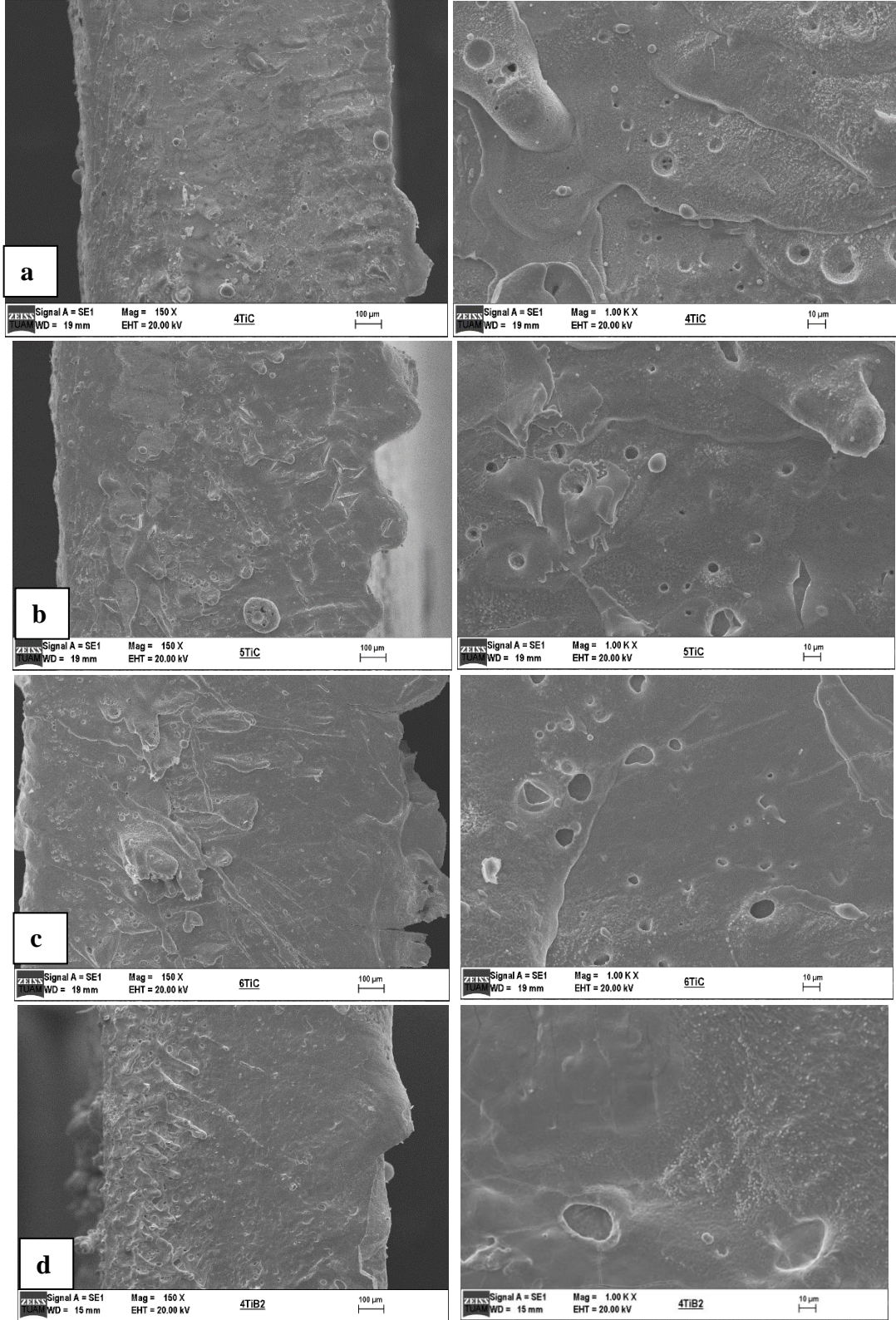
#### 4.3.2 X42 Çeliğinin SEM Görüntüsü

Yüzeyleri  $TiC$  ve  $TiB_2$  ile kaplanan X42 çeliğinin kesim sonrası çekilen SEM görüntüsü bu başlık altında incelenmektedir. SEM görüntüleri Resim 4.7 'de gösterilmektedir.

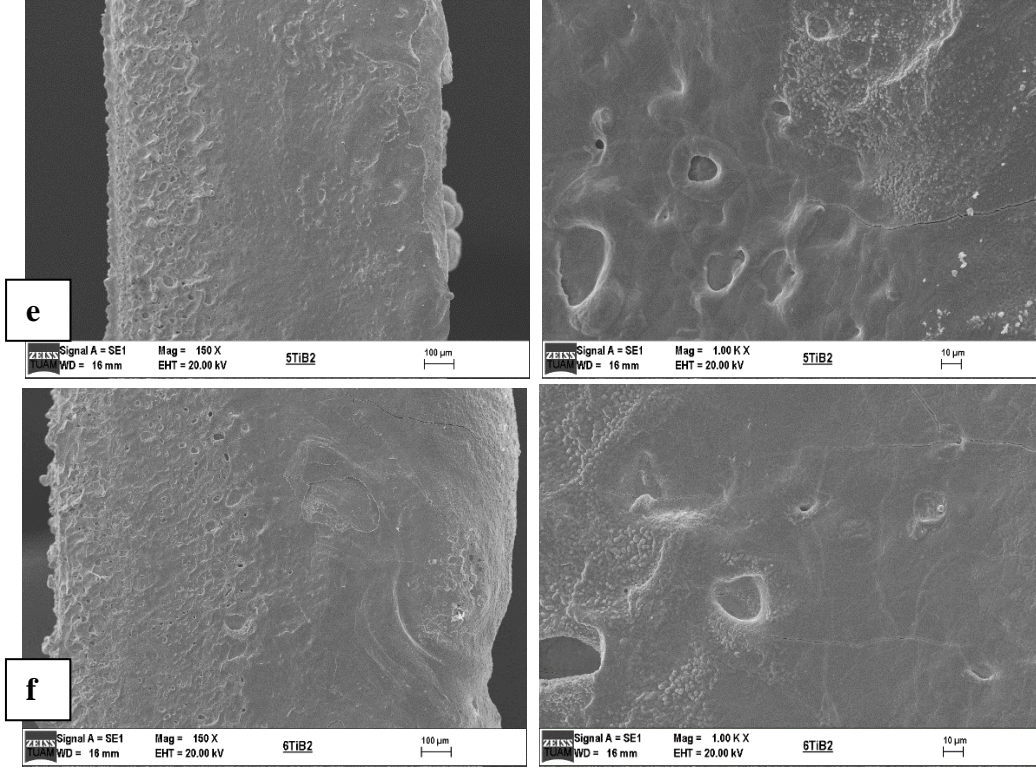
Laser ile kesim sonrasında malzemelerin yüzeyinde genellikle üç tür şekil bozuklukları oluşmaktadır. Bunlar:

- Gaz boşlukları
- Kesim sonrası cüruf izleri
- Mikro kılcal çatlaklardır.





**Resim 4.7** Yüzeyleri Kaplanan X42 Çeliğinin SEM Görüntüsü a) 60V kullanılarak kaplanan TiC b)100V kullanılarak kaplanan TiC c) 140V kullanılarak kaplanan TiC d) 60V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub>

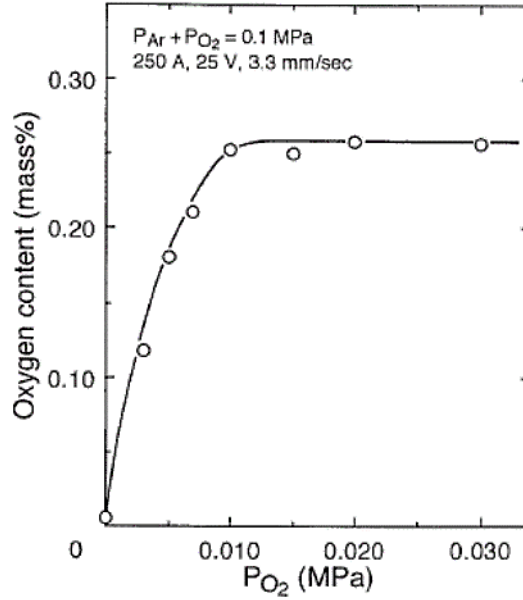


**Resim 4.7** (Devam) Yüzeyleri Kaplanan X42 Çeliğinin SEM Görüntüsü e) 100 V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub> f) 140 V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub>

Resim 4.7 a'da görülen 60V kullanılarak yüzeyi TiC ile kaplanan X42 çeliğinin kesim sonrası malzeme yüzeyinde meydana gelen oluşumlar incelenmektedir. A bölümünde malzeme yüzeyinde laser kesim sonrası oluşan kaynama, oksit ayrılması veya buna benzer oluşumlar meydana geldiği gözlenmektedir. Oluşan boşlukların genellikle malzeme yüzeyi TiC ile kaplandığından dolayı olması muhtemeldir. Çünkü TiC'deki karbür titanyumdan ayrılarak CO<sub>2</sub> olarak malzeme kesim yüzeyinden ayrılmış olabilir.

Resim 4.7 d'de görülen 60V kullanılarak yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan X42 çeliğinin kesim sonrası malzeme yüzeyinde meydana gelen oluşumlar incelenmektedir. Yüzeyi a bölümüne göre daha boşluksuz olan b bölümünde malzemenin kesim sırasında oluşan cürufun izleri rahatça görülmektedir. Cüruf basınçlı hava yardımıyla malzeme altına itilmeye çalışırken kesim yüzeyinde bu tür şekil bozukları çıkarabilmektedir. Daha çok yakınlştırıldığında, kesim yüzeyinde düz bir görüntü elde edilmektedir. Bu yapıda bir iki tane gaz boşlukları görülebilmektedir. Gaz boşlukları genellikle yüksek sıcaklıkta kimyasal reaksiyon sırasında metalik karakterli bir elementin oksijen ile yapmış olduğu gaz ürünü nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu gaz boşlukları artan sıcaklıkla beraber,

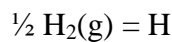
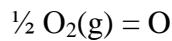
ergimiş metalin azalan yüzey enerjisini yenerek parçalanmasına sebep olmaktadır. Ancak sıvı viskos bir davranış gösterir ve ortama kendi yoğunluğunun etkisiyle yayılır ve düz bir görünüm elde edilir.



Şekil 4.10 Ar-O<sub>2</sub> atmosferi altında saf demir metalinin oksijen içeriği (Sato and Kuwana 1995).

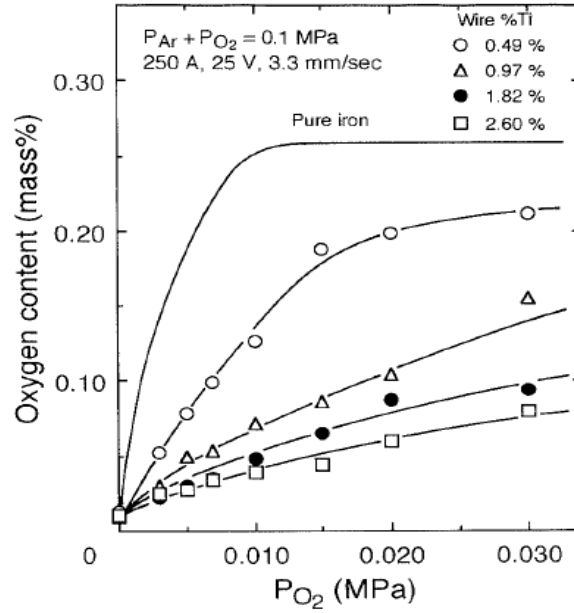
Kesim sırasında oluşan demirin oksitlendiği tüm numunelerde olduğu XRD sonuçlarında gözlenmektedir. Oksit oluşumu kesim sırasında O<sub>2</sub> basıncısının artmasıyla birlikte belli oranda artmaktadır ve doygunluk oranına yaklaştığında sabitleştirildiği gözlenmektedir(Şekil 4.10).

Çelik üretiminde ergimiş metalin havaya maruz kalması sonucu örneğin N<sub>2</sub>'nin ergimiş çelik içerisinde çözünür ve ½ N<sub>2</sub> (g) = N ekinde reaksiyona girer. Buna karşın, sadece N ile sınırlı olmamakla beraber denge seviyesinin üzerindeki değerlere çıkması ile beraber veya sıcaklığın düşmesi ile tekrar gaz haline geçip sıvı metal içerisinde hacim oluşturacaktır.



Resim 4.7 d'de görülen 140V kullanılarak yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan X42 çeliğinin kesim sonrası malzeme yüzeyinde meydana gelen oluşumlar incelenmektedir. Yüzey

görüntüsünde homojen olarak dağılan cürufun malzeme yüzeyinde düzgün bir kesim olduğunu göstermektedir. Kesim sırasında ergiyen metalin katılaşması sonrasında malzemeye yüzeyinde katılma mekanizmasından dolayı çekilmeler oluşur. Bu çekilmeler sonrasında yüzeyde mikro kılcal çatlaklar meydana gelmektedir.



Şekil 4.11 Ar-O<sub>2</sub> atmosferi altında Fe-Ti kaplanan metalinin oksijen içeriği (Sato and Kuwana 1995).

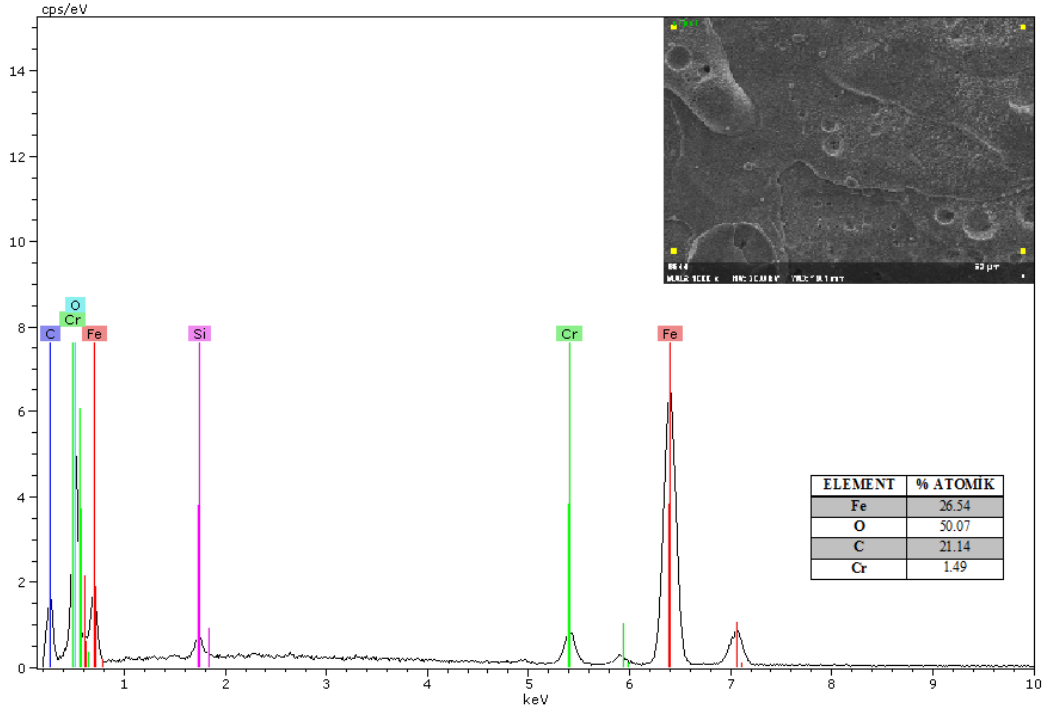
Fe-Ti kaplanan metallerdeki oksijen içeriği ile oksijen kısmi basıncı arasındaki ilişki Şekil 4.11'de verilmiştir. Oksijen içeriği yükselen oksijen kısmi basıncı ile artar ve titanyum içeriğinin artması ile azalmaktadır. Fe-TiO sisteminde denge oksit fazının sıvı demirdeki titanyum içeriğine göre değiştiği bilinmektedir. Kesim yüzeyine yapışan cürufun X-ışını kırınım analizinden, Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, kaynak metalinde geniş bir titanyum içeriği aralığında tespit edilmektedir.

#### 4.3.3 X42 Çeliğinin EDX Analizleri

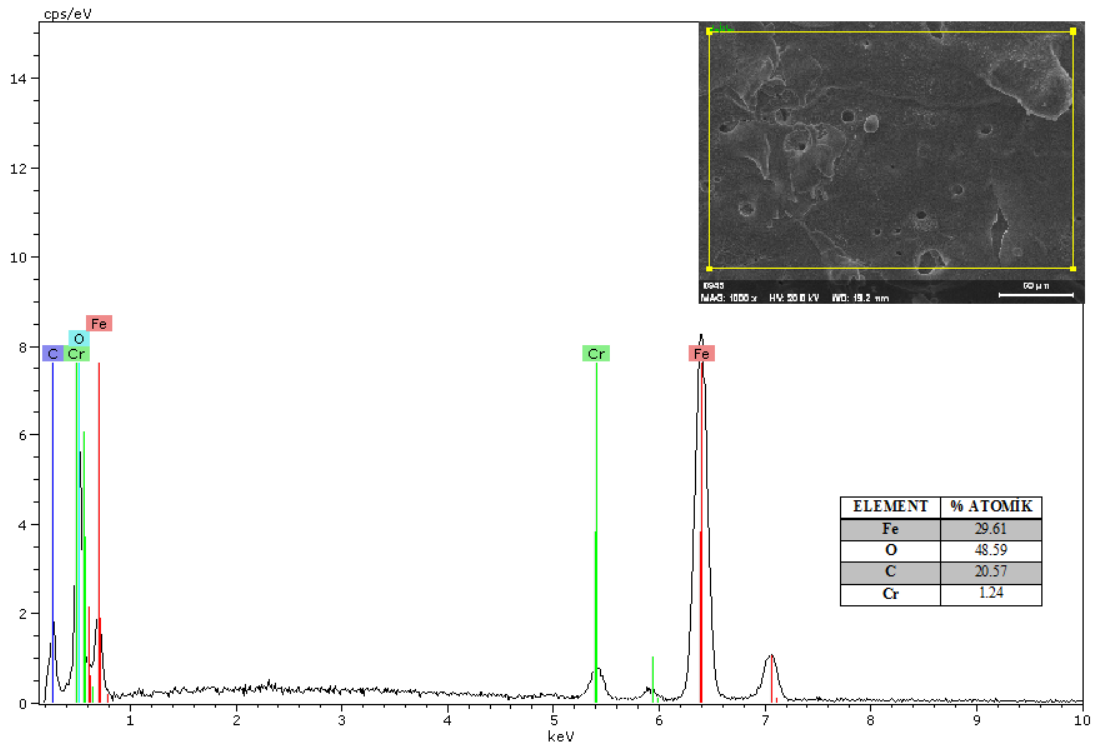
Yüzeyleri TiC ve TiB<sub>2</sub> ile kaplanan X42 çeliğinin kesim sonrası çekilen EDX görüntüsü bu başlık altında incelenmektedir. EDX görüntüleri Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17'de gösterilmektedir.

EDX analizlerin sağ üst köşesinde analizin hangi bölgeden alındığı ve sağ alt köşesinde

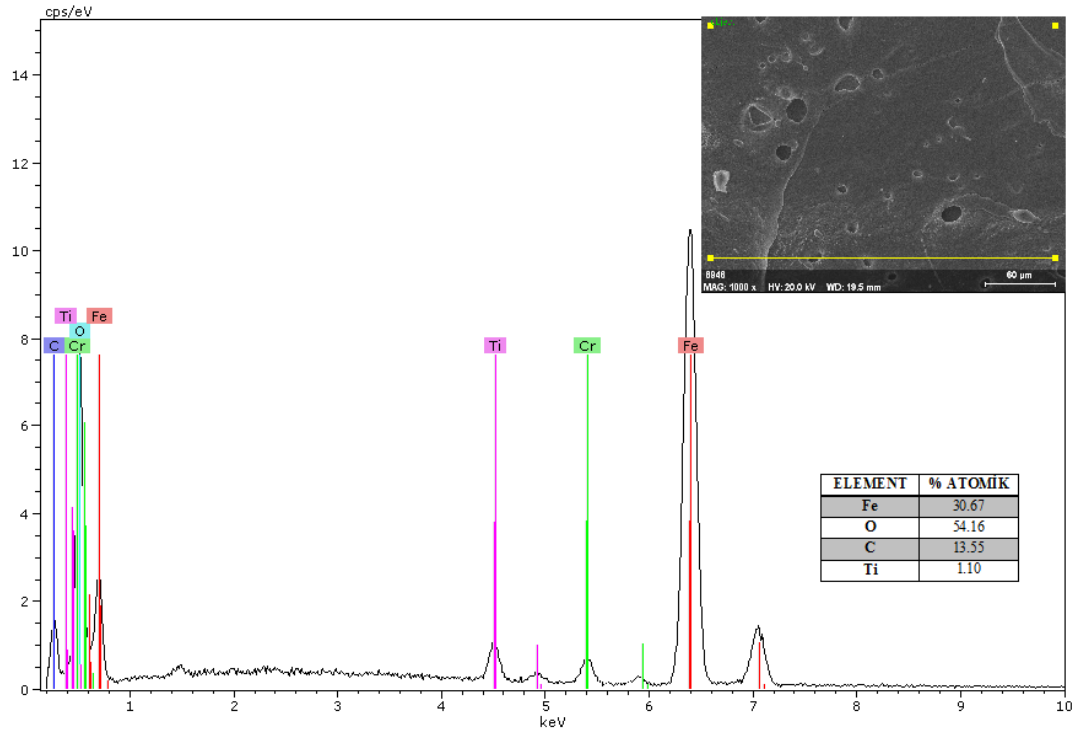
ise yüzde atomik ağırlığı gösterilmektedir.



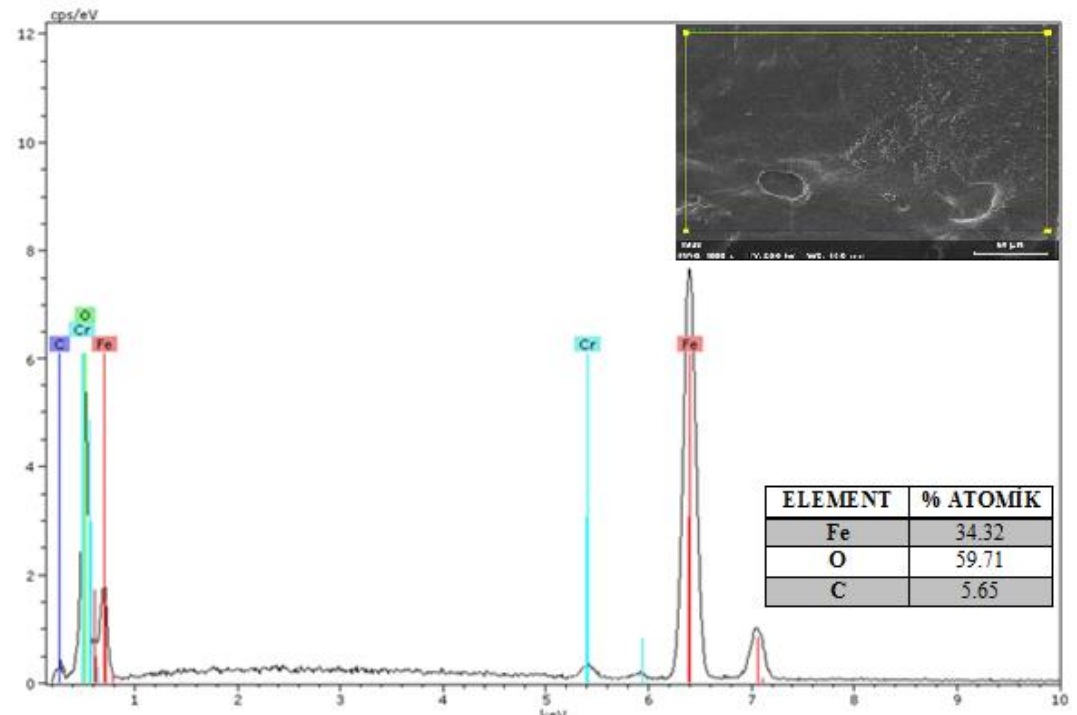
Şekil. 4.12 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.



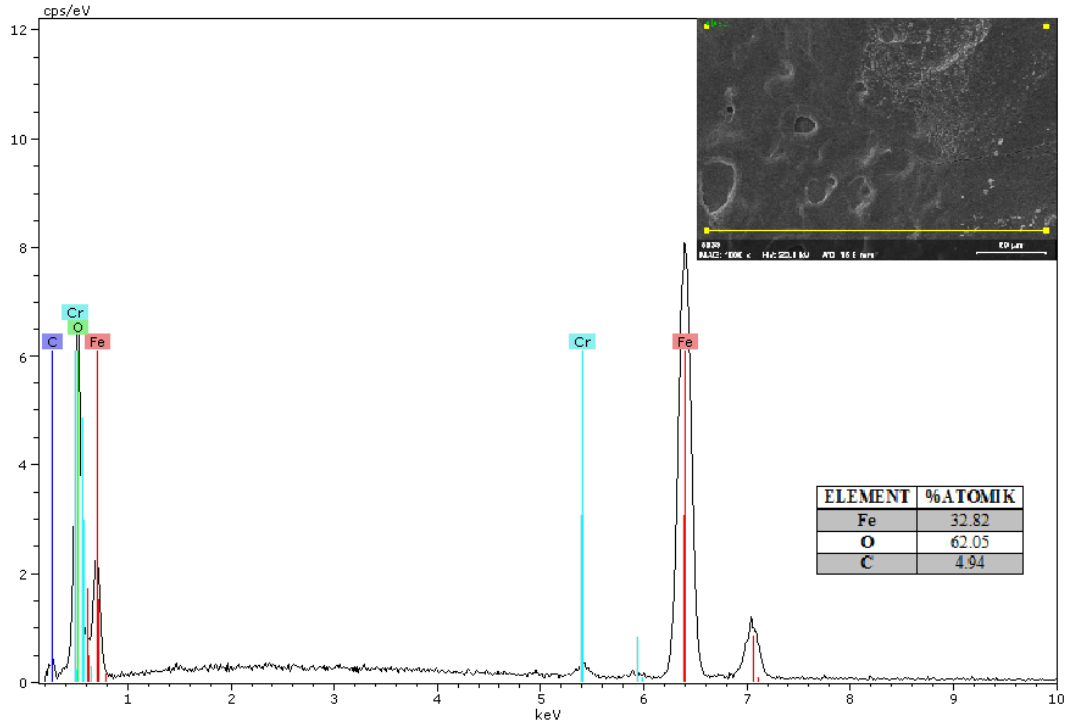
Şekil. 4.13 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.



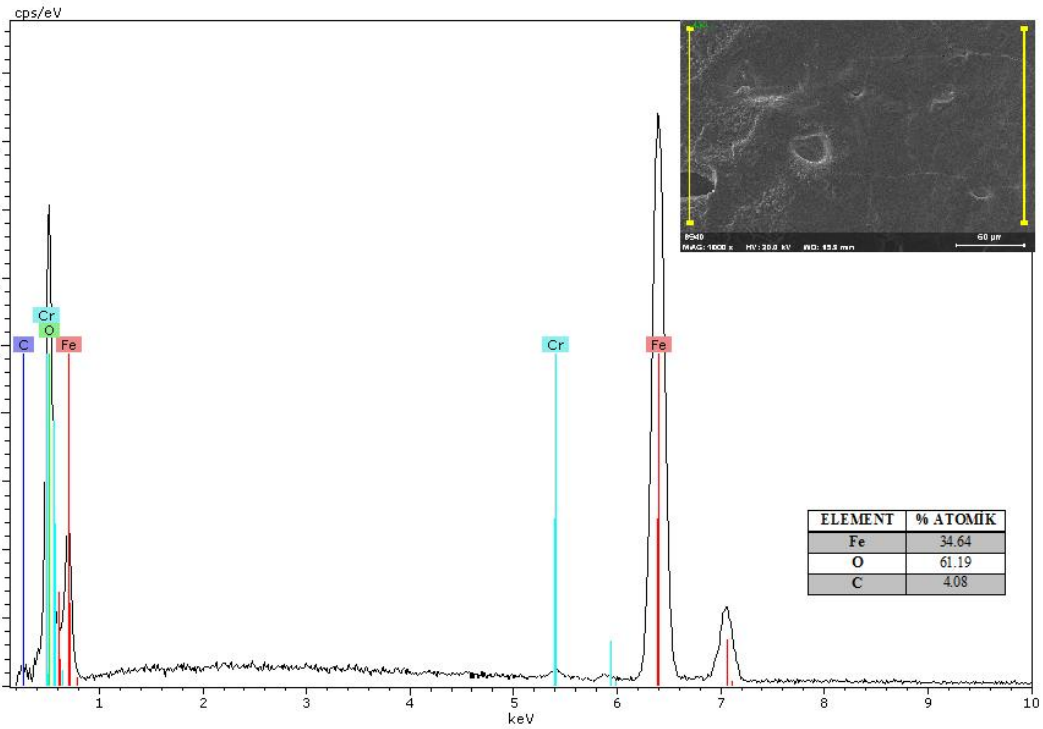
Şekil. 4.14 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.



Şekil. 4.15 Yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan Voltajı 60V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.



Şekil. 4.16 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 100V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.



Şekil. 4.17 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 140V Olan X42 Çeliğinin EDX Sonucu.

Hem  $TiC$  ve  $TiB_2$  kaplanmış numunelerin kesilmesi sonrasında elde edilen EDX sonuçları bütün numuneler Cr bulunduğu göstermektedir. Cr kaplama yapılan altlık malzemesinden gelmektedir. Erime sırasında titanyumla beraber oksijene karşı afinitisi

yüksek olan Cr yüzeyde bulunan oksit tabakasından kompleks oksit olarak bulunduğu düşünülmektedir. TiC kaplanmış numunelerin EDX sonuçları krom oranının değişmediği veya 140V'lukta çok az azaldığı göstermektedir. 140V'da kaplanan numunelerin kaplama kalınlığı yüksek olduğu ve yüksek miktarda Ti içerdiği için kesilme sırasında tabakadaki TiC'ün kesim yüzeyine daha fazla titanyum ürünü nüfuz etmesi sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer numunelerde Titanyum daha az olduğundan EDX'de gözlenmemektedir.

TiB<sub>2</sub> kaplamalarda gaz boşluklarının sayısı olarak az ama büyüklük açısından daha büyük olduğu gözlenmektedir. EDX sensörünün bor elementinin algılayamadığı dikkate alınırsa TiB<sub>2</sub>'ın kimyasal olarak parçalanıp parçalanmadığı bilinmemektedir. Çözülmemesi Ti miktarını etkileyecek ve ergimiş metalede veya çelikte bulunan O miktarını sınırlamayıp yani bileşik yapmayarak daha büyük hacimde gaz cepleri oluşmasına sebep olacaktır. Bu nedenle ki TiB<sub>2</sub> ile kaplanan numunelerin EDX sonucunda Ti görülmemektedir. Titanyum yeteri miktarda olmayınca ortamdaki veya ergimiş sıvıdaki çözülmüş serbest oksijen miktarı sıcaklık düştükçe azalmakta ve gaz halinde ergiyi terk etmektedir.

#### **4.4 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Karakterizasyonu**

Bu bölümde Ti6Al4V alaşımına uygulanan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu analizler:

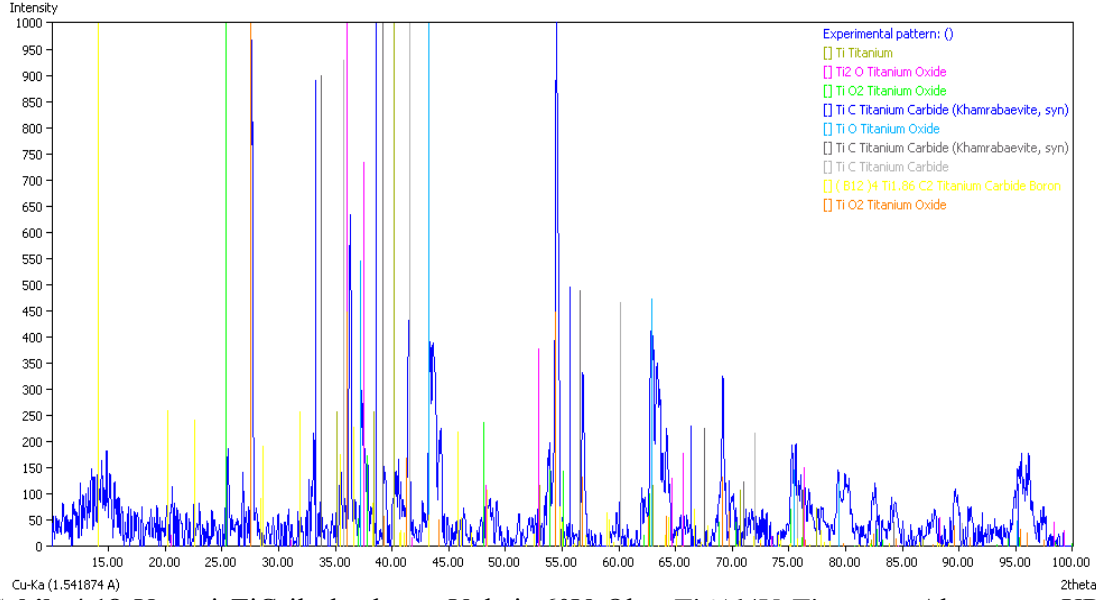
- XRD analizi
- SEM görüntüsü
- EDX analizi

##### **4.4.1 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının XRD Analizi**

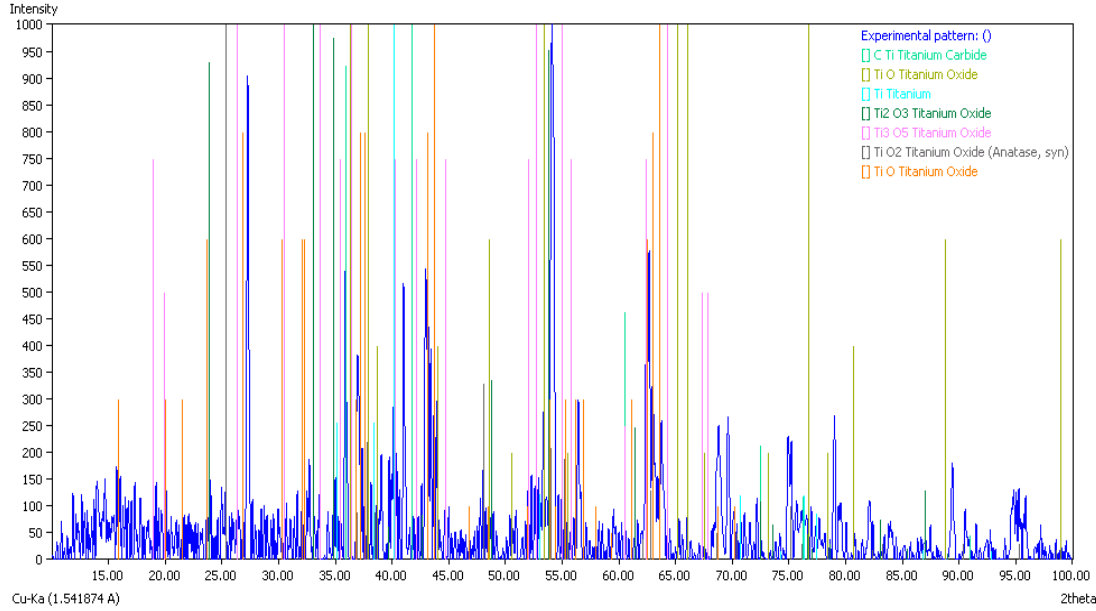
Analizleri inceleme sırası genellikle kaplanan malzemenin cinsine göre yapılmıştır ve bu sıralamada TiC ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının başta olmaktadır. Bu analizin sonuçları aşağıda verilmiştir.



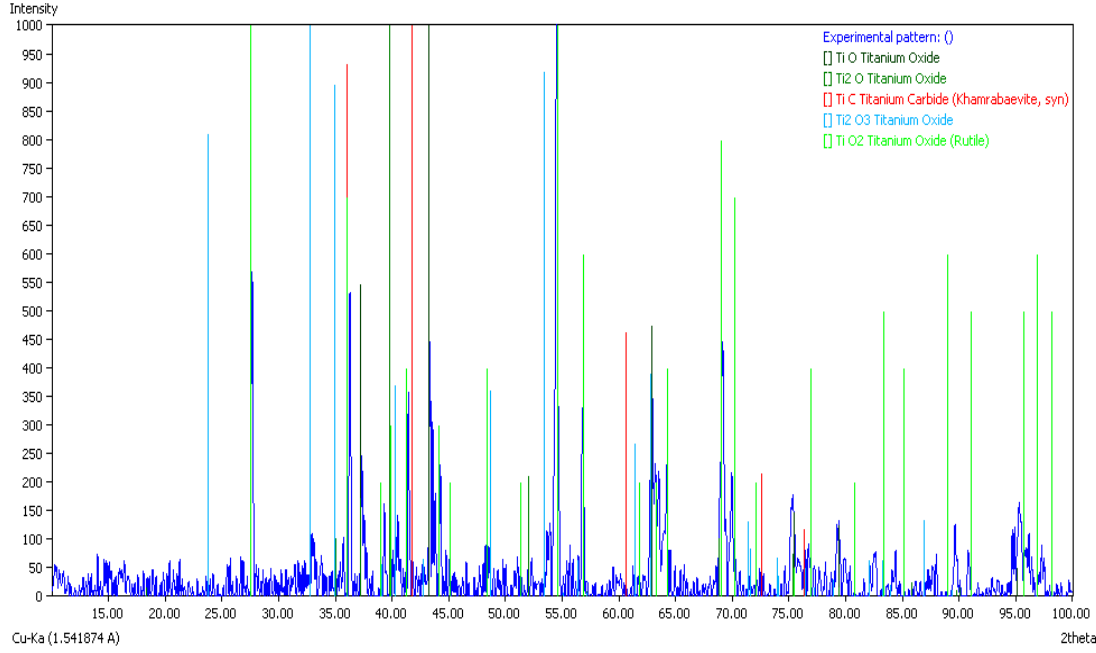
Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de voltajı 60V, 100V ve 140V olan ve frekansı 1000Hz olan Ti6Al4V titanyum alaşımının yüzeyine TiC kaplama uygulanmaktadır. Numunelere ait XRD analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil. 4.18 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.



Şekil. 4.19 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.



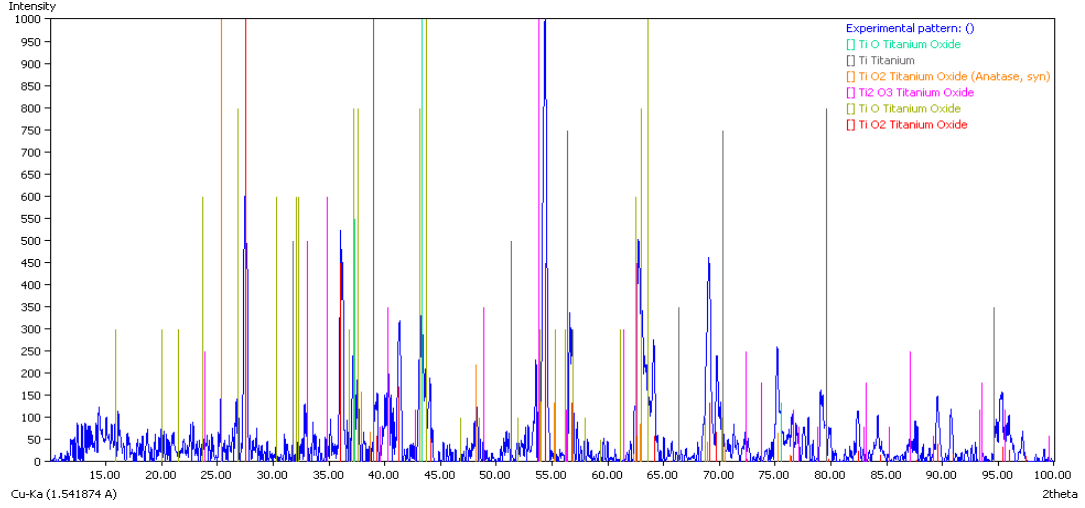
**Şekil. 4.20** Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.

XRD sonuçları incelendiğinde; piklerde  $Ti_2O_3$ , TiC ve  $Ti_xO_y$  fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Tüm numunelerde görüldüğü üzere TiC tabakası Ti6Al4V titanyum alaşımının yüzeyinde bulunmakla beraber kesme sırasında ısının yüksek olması nedeniyle ayrışıp ( $TiC = Ti + C$ ) oksit oluşturduğu ( $Ti + 1/2O_2 = TiO$  veya  $Ti + O_2 = TiO_2$ ) ayrıca ayrışmadan dolayı ortaya çıkan C'un CO veya  $CO_2$  olarak gaz halinde uzaklaştığı düşünülmektedir. Tüm bu sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

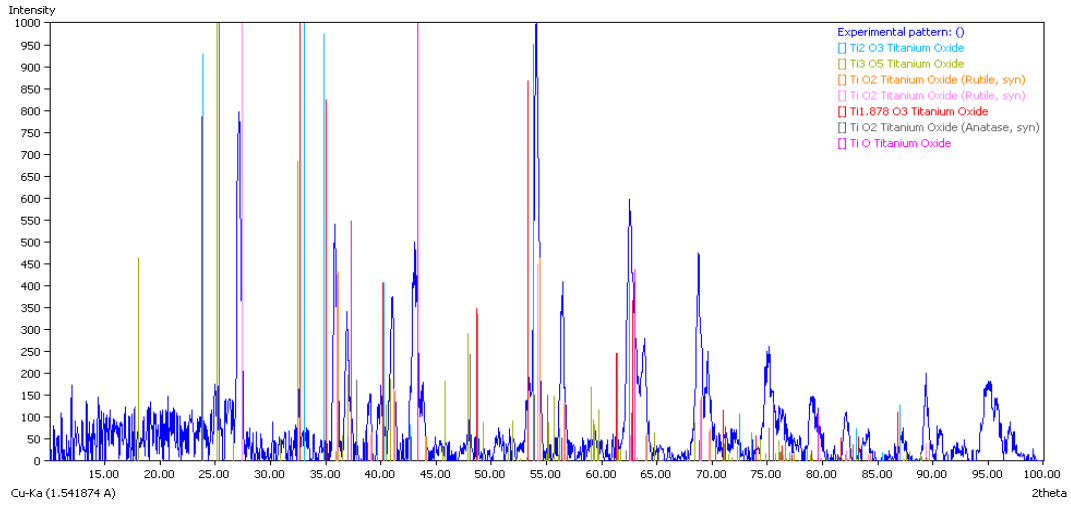
**Çizelge 4.6** Yüzeyi TiC ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler

XRD Numunesi / Bulunan Bileşikler	60V/ 1000 Hz	100V/ 1000 Hz	140V/ 1000 Hz
$Ti_xO_y$	✓	✓	✓
TiC	✓	✓	✓

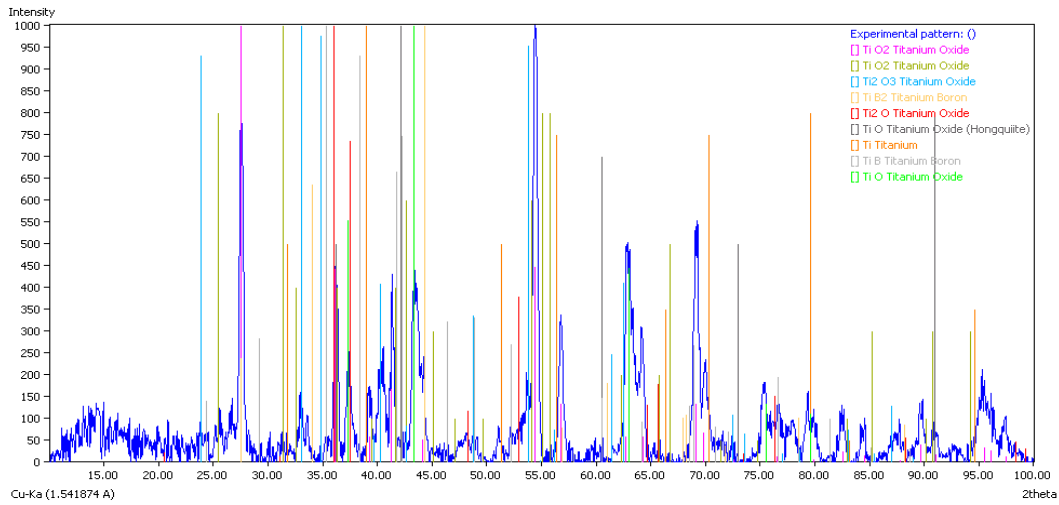
Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'de voltajı 60V, 100V ve 140V olan ve frekansı 1000Hz olan Ti6Al4V titanyum alaşımının yüzeyine  $TiB_2$  kaplama uygulanmaktadır. Numunelere ait XRD analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil. 4.21 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 60V Olan  $Ti_6Al_4V$  Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.



Şekil. 4.22 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 100V Olan  $Ti_6Al_4V$  Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.



Şekil. 4.23 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 140V Olan  $Ti_6Al_4V$  Titanyum Alaşımının XRD Sonucu.

XRD sonuçları incelendiğinde, piklerde ortak olarak  $Ti_2O$  ve  $TiO$  fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Kullanılan  $Ti6Al4V$  titanyum alaşımının yapısında bulunan titanyum kesim ortamında bulunan oksijenle etkileşime girdiği gözükmektedir. Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan altlık malzemesinde yüzeye tam olarak yapışmadığı veya  $TiB_2$  bileşiğindeki titanyumun ergitme sırasında serbest kalarak, oksijen ile afinitesi daha yüksek olduğundan bor bileşiğini bırakarak uygun sıcaklık ve ortamda oksijen ile birleşerek  $Ti_xO_y$  bileşiği oluşturmaktadır. Bu oluşum sadece 140V/1000Hz'de meydana gelmektedir. Diğer aşamalarda yapışma olmadığı söyleyebiliriz. Tüm bu sonuçlar Çizelge 4,7'de gösterilmektedir.

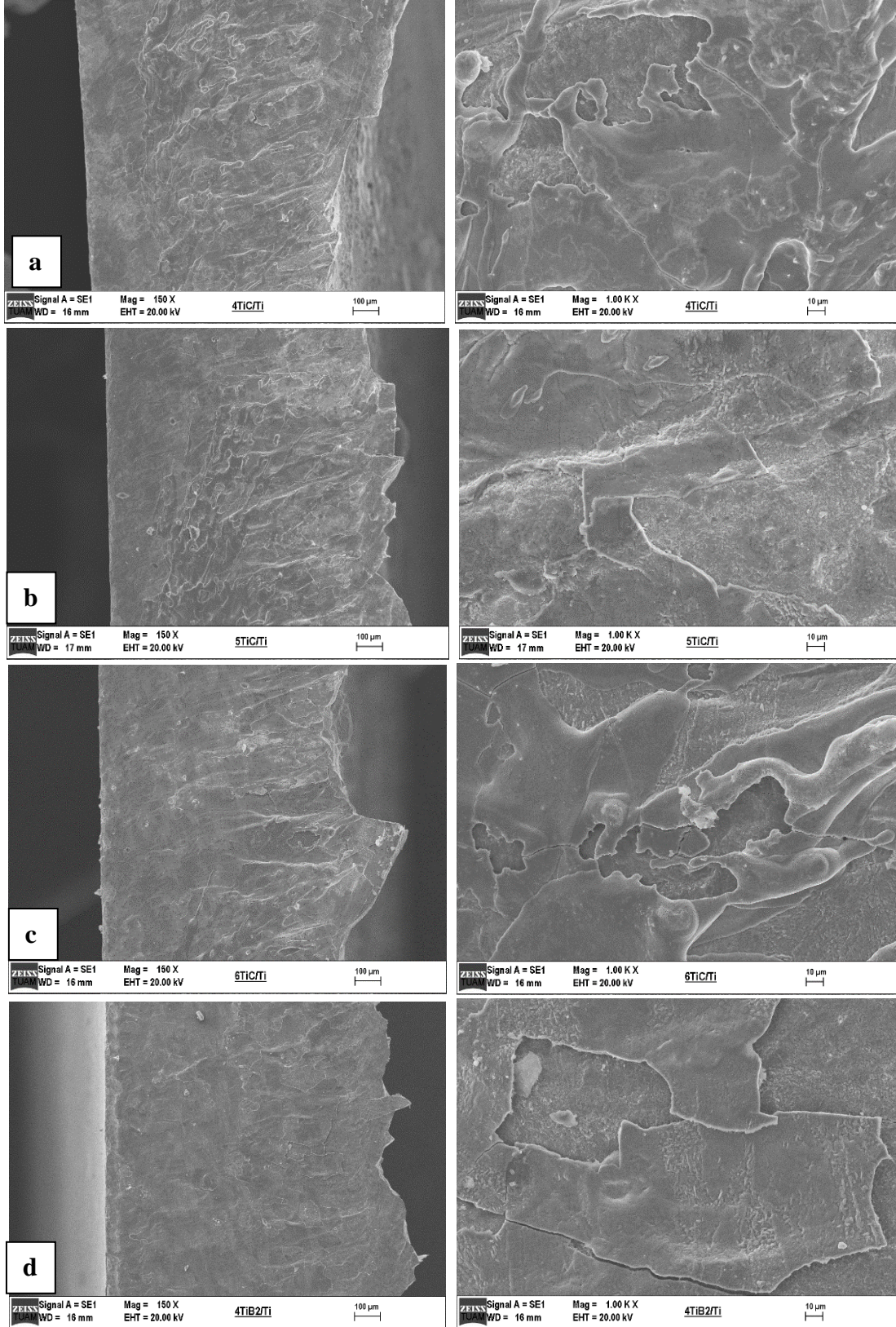
**Çizelge 4.7** Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan  $Ti6Al4V$  titanyum alaşımının XRD analizi sonucunda bulunan bileşikler

<b>XRD Numunesi / Bulunan Bileşikler</b>	<b>60V/ 1000 Hz</b>	<b>100V/ 1000 Hz</b>	<b>140V/ 1000 Hz</b>
$Ti_xO_y$	▼	▼	▼
$TiB$			▼

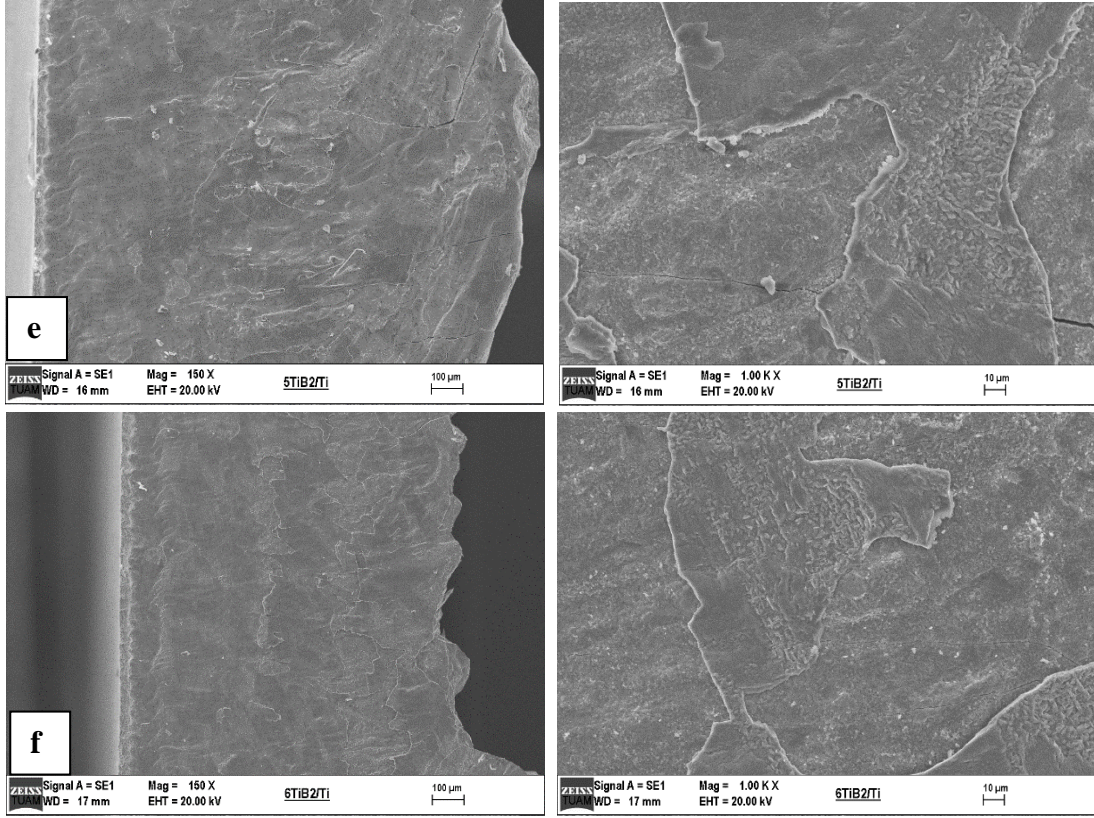
#### 4.4.2 $Ti6Al4V$ Titanyum Alaşımının SEM Görüntüsü

Yüzeyleri  $TiC$  ve  $TiB_2$  ile kaplanan  $Ti6Al4V$  titanyum alaşımının SEM görüntüsü bu başlık altında incelenmektedir.

Bu SEM görüntülerinde yüzeyleri 100V ile  $TiC$  ile kaplanan malzeme a bölümünde, yüzeyleri 140V ile  $TiC$  ile kaplanan malzeme b bölümünde, yüzeyleri 60V ile  $TiB_2$  ile kaplanan malzeme c bölümünde, yüzeyleri 100V ile  $TiB_2$  ile kaplanan malzeme d bölümünde, yüzeyleri 140V ile  $TiB_2$  ile kaplanan malzeme e bölümünde bulunmaktadır. SEM görüntüleri Resim 4.8'de gösterilmektedir.

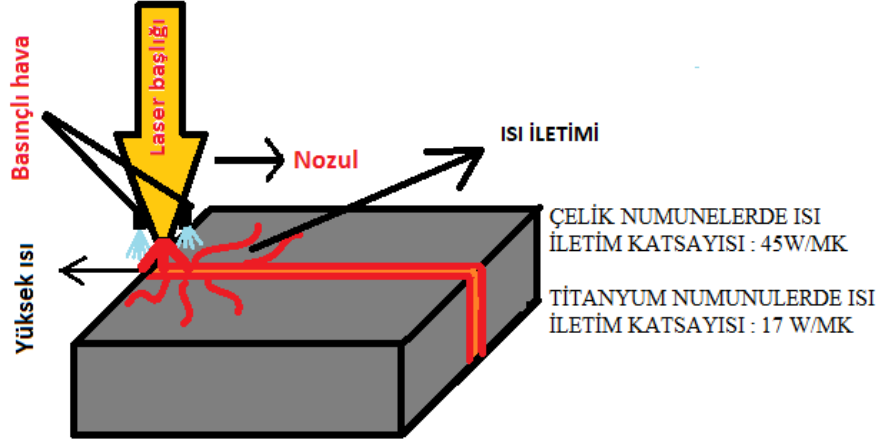


**Resim 4.8** Yüzeyleri Kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının SEM Görüntüsü a)60V kullanılarak kaplanan TiC b)100V kullanılarak kaplanan TiC c) 140V kullanılarak kaplanan TiC d) 60V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub>



**Resim 4.8** (Devam) Yüzeyleri Kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımasının SEM Görüntüsü TiB<sub>2</sub> e) 100 V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub> f) 140 V kullanılarak kaplanan TiB<sub>2</sub>

Resim 4.8 a,b ve c'de görülen 60V 100V ve 140V kullanılarak yüzeyi TiC ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımasının kesim sonrası malzeme yüzeyinde meydana gelen oluşumlar incelenmektedir. Resimde görüldüğü üzere temiz bir kesim meydana geldiği söylenebilir. Kesim yüzeyinde oluşan tabakalaşmalar için bir taraf camsı faz görülmektedir. Bu camsı faz cüruftan malzeme yüzeyine bulaşmış olabilir veya titanyum ısı iletim kapasitesi çeliğe göre az olduğundan titanyum malzemesi daha yavaş soğuyacak ve katılma sırasında meydana gelen dentrik yapı oluşmasına engel olacaktır. Katılma sırasında meydana gelen az miktarda gaz boşlukları bulunmaktadır ve bu boşluklar C miktarı artıkça yani TiC kaplama kalınlığı artıkça yuvarlak çaplı gaz boşluğu yerine tabaka şeklinde bozulmalarına neden olmaktadır.



**Resim 4.9** Malzemeler Isı İletim Kat Sayısı.

XRD sonuçlarında gördüğümüz üzere Ti alaşımının yüzeyleri TiC ile kaplanan tüm karbon miktarı artıça kesim yüzeylerinde cürufun izleri azaldığı gözlenmektedir. Bunun nedeni ise karbon cürufa daha çok katıldığından cüruf akışkan bir hal alıp daha hızlı malzemenin alt yüzeyine geçmekte ayrıca titanyumun ısı iletim katsayısının düşük olması ortamdaki laserle transfer edilen ısının kolaylıkla yayılmasına engel olmakta ve eriyik havuzunun daha uzun sürede katılışp basınçlı hava püskürtüldüğünde yüzeyin plastik deformasyon kabiliyeti marifetiyle plakanın altına ilerlemesi ve saçak oluşturması mümkün olmaktadır.

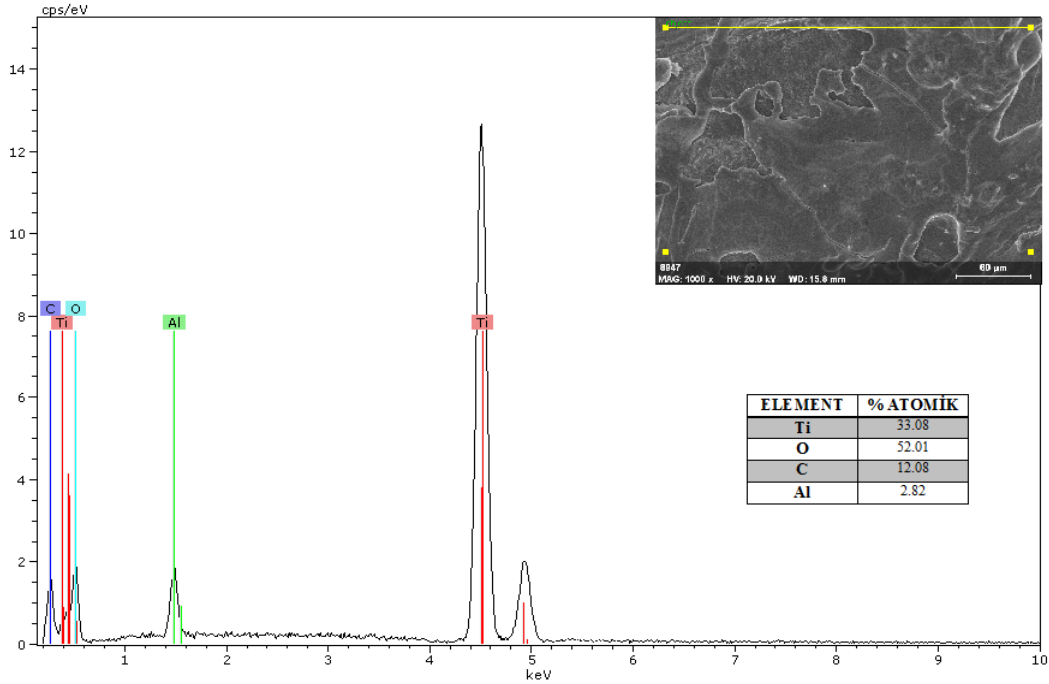
Resim 4.8 d, e ve f'de görülen 60V 100V ve 140V kullanılarak yüzeyi TiB<sub>2</sub> ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının kesim sonrası malzeme yüzeyinde meydana gelen oluşumlar incelenmektedir. Ti6Al4V titanyum alaşımının yüzeyinde bor miktarı artıça kesim yüzeyine nüfus eden bor artmaktadır. Bu artış kesim yüzeyinde TiC gibi düz bir yüzey oluşmasına engel olmaktadır. Bu engelleme neticesinde meydana gelen yapı daha çok pürüzlü bir yapıyı anımsatmaktadır. Genellikle parça kopmaları meydana geldiği gözlenen yüzeylerde hızlı bir katılışma neticesinde meydana gelen dentrik yapı oluştuğu ve bu yapılardan kopmaların oluştuğu gözlenmektedir. Hızlı katılışma sonucu oluşan çatlaklar malzeme yüzeyinde görülmektedir.

XRD sonuçlarında gördüğümüz üzere Ti alaşımının yüzeyleri  $TiB_2$  ile kaplanan tüm bor miktarı artıkça kesim yüzeylerinde cürufun izleri artığı gözlenmektedir. Bunun nedeni ise bor elementinin malzemenin yüzeyinde akışkanlığı azaltması sebep olabilir.

#### 4.4.3 Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Analizi

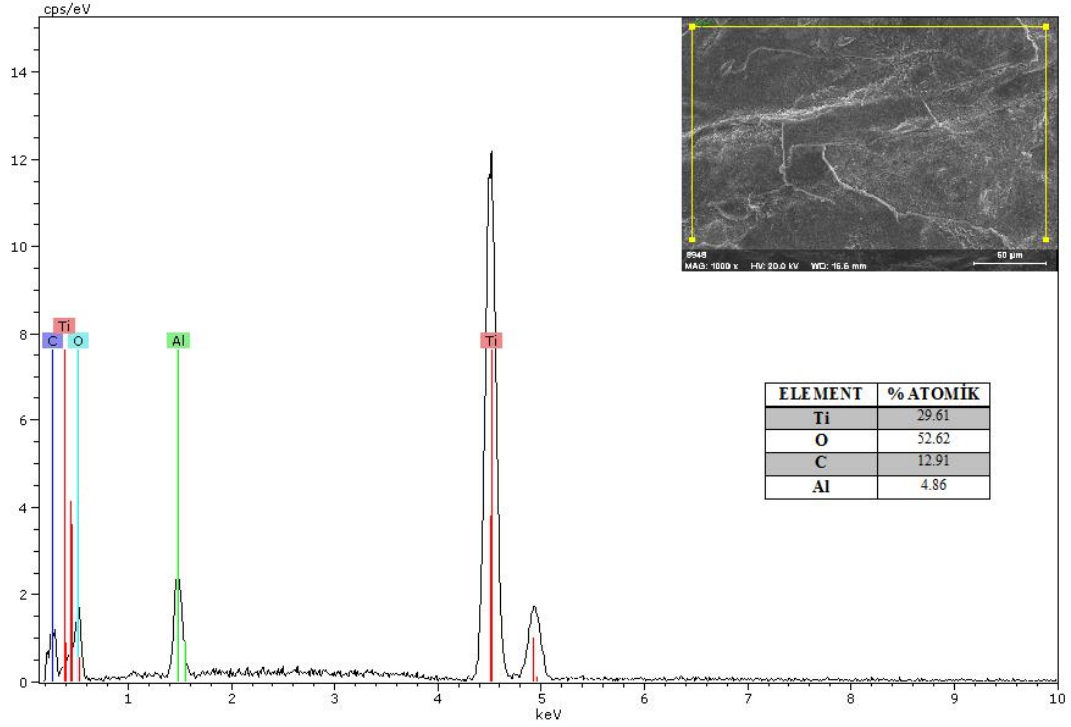
Yüzeyleri TiC ve  $TiB_2$  ile kaplanan Ti6Al4V titanyum alaşımının kesim sonrası çekilen EDX görüntüsü bu başlık altında incelenmektedir. EDX görüntüleri Şekil 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29'de gösterilmektedir.

EDX analizlerin sağ üst köşesinde analizin hangi bölgeden alındığı ve sağ alt köşesinde ise yüzde atomik ağırlığı gösterilmektedir.

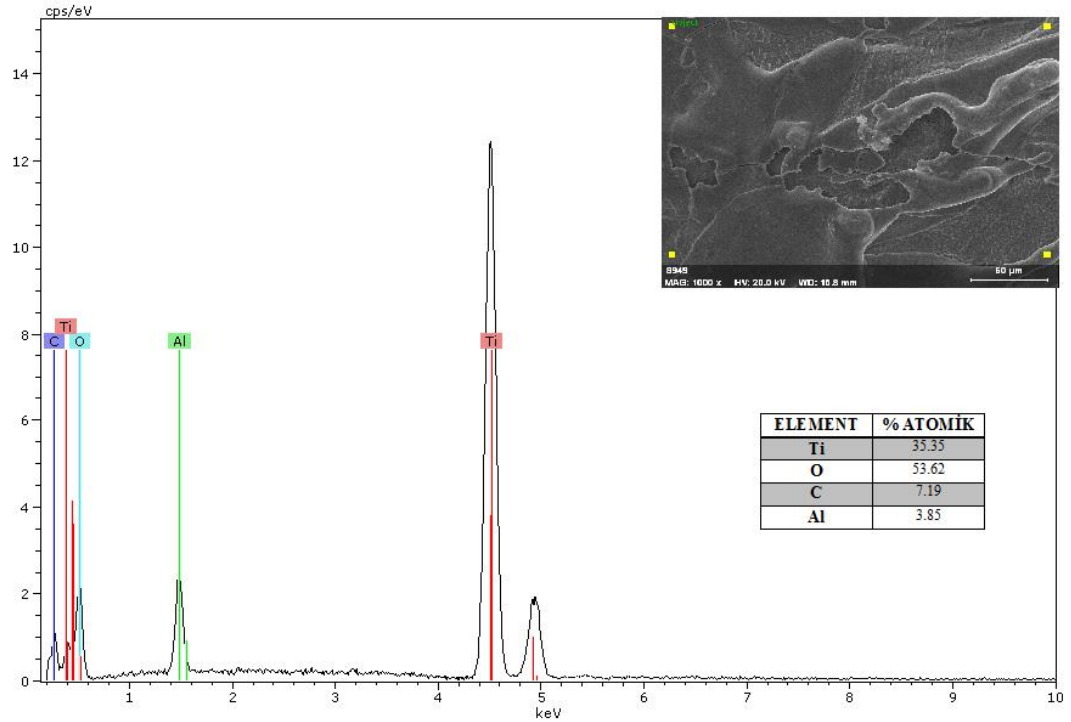


Şekil. 4.24 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 60V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.

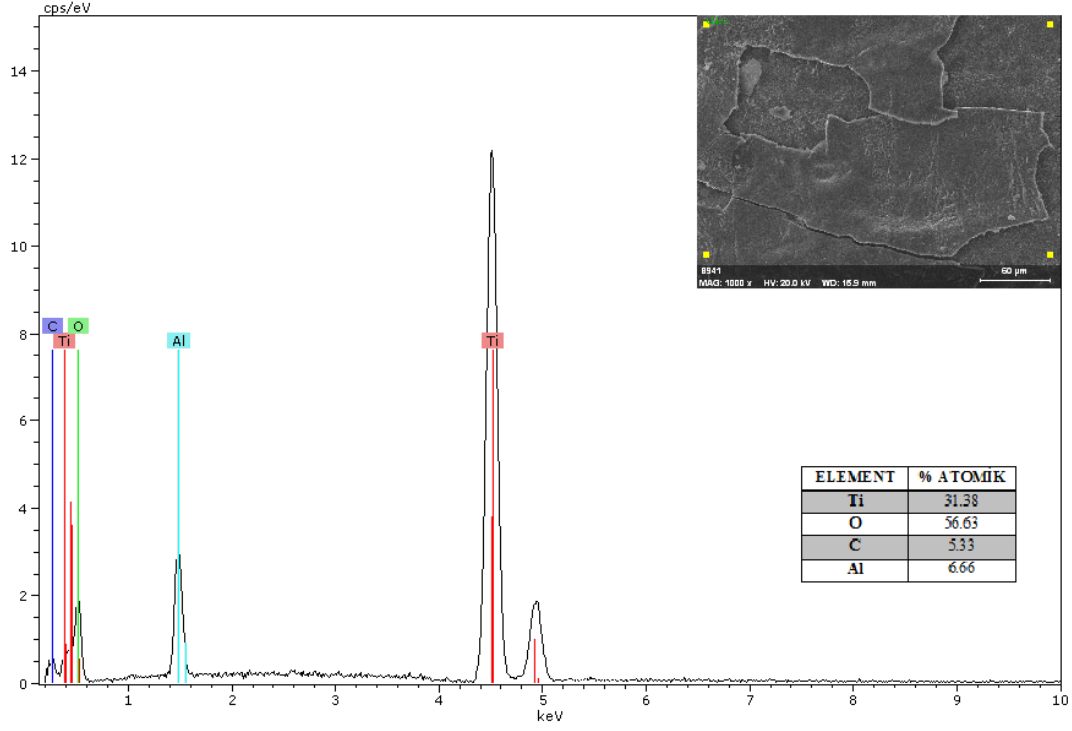




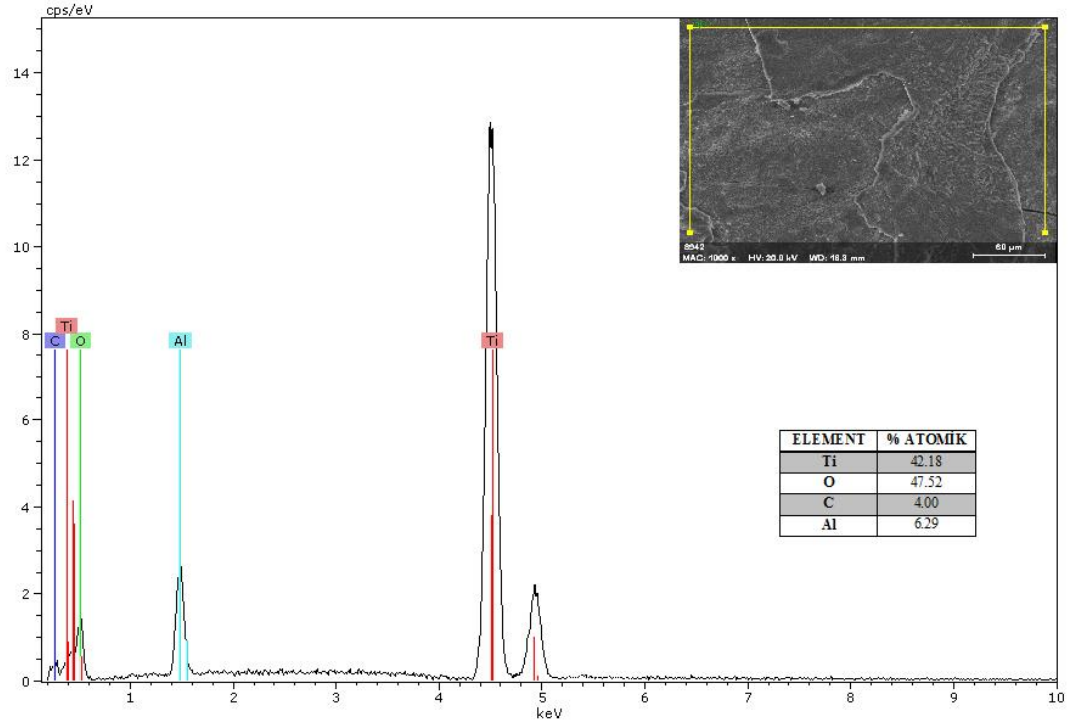
Şekil. 4.25 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 100V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.



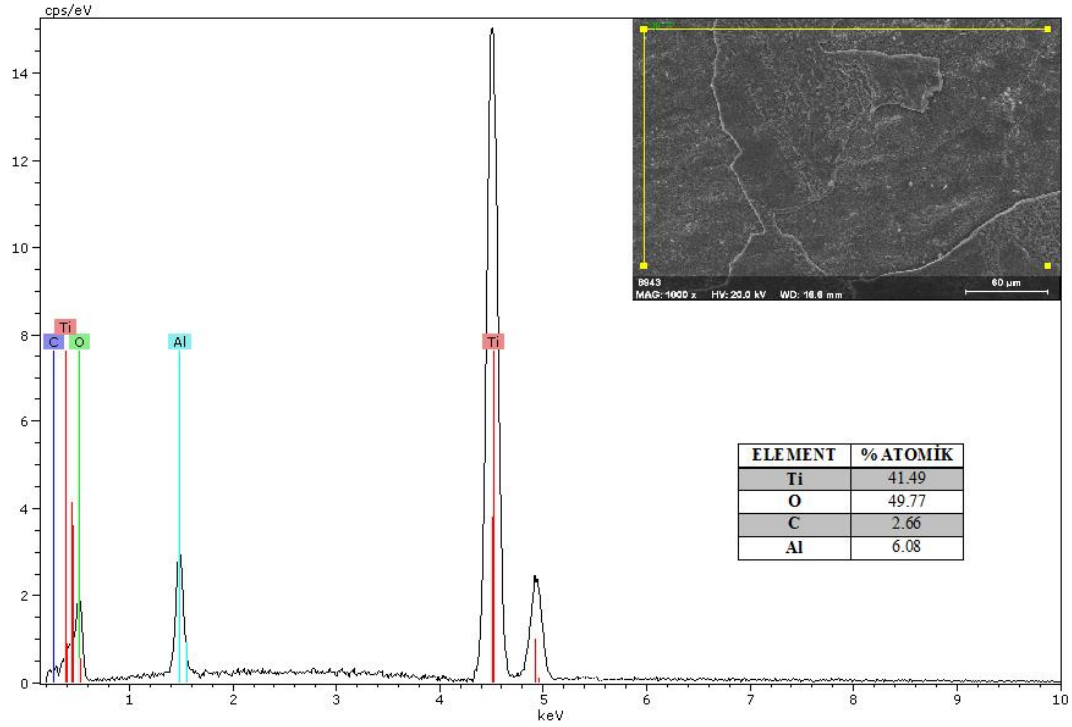
Şekil. 4.26 Yüzeyi TiC ile kaplanan Voltajı 140V Olan Ti6Al4V Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.



Şekil. 4.27 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 60V Olan  $Ti6Al4V$  Titanyum Alaşımının EDX Sonucu



Şekil. 4.28 Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 100V Olan  $Ti6Al4V$  Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.



**Şekil. 4.29** Yüzeyi  $TiB_2$  ile kaplanan Voltajı 140V Olan  $Ti6Al4V$  Titanyum Alaşımının EDX Sonucu.

EDX sensörü bor elementini tespit edememektedir ve bor elementine en yakın element ise skala karbon olarak görülmektedir. Borun bu şekilde karbon elementi olarak görülmesi element listesinden bor çıkarılmasıyla bu farkın karbona ilave edilerek oranın artmasına sebep olmaktadır. Çünkü XRD sonuçları  $TiB$  bileşiğinin varlığını 140V/1000Hz'de göstermektedir ve XRD'nin çözünürlük sınırının %5 ve üzeri olduğu düşünülürse diğer numunelerde bor bileşiklerinin ortaya çıkmaması bu sebebe bağlanabilir. Alüminyum elementinin  $Ti6Al4V$ 'un alaşım elementi olması nedeniyle EDX'lerde çıkması normal olmasına karşın vanadyumun çıkmaması bu elementin ergitme sırasında buharlaştığı veya eritme bölgesinden cüruf ile uzaklaşması ihtimali olduğunu göstermektedir.

## 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada; elektro-spark kaplama yöntemi kullanılarak yüzeyleri TiC ve TiB<sub>2</sub> kaplanan X42 çeliği ile Ti6Al4V titanyum alaşımı fiber laser ile kesimi incelenmiştir. Altlık malzemeleri farklı voltaj ve frekans kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplamalar yapıldıktan sonra fiber laser yardımıyla kesilen malzemeler analiz için hazırlanmıştır. Uygulan bu işlemler; makroyapı, mikroyapı, kaplama kalınlıkları, mikro sertlik, XRD, SEM, EDX, analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen çıktılar aşağıda paylaşılmıştır.

- Yüzeyleri TiC ve TiB<sub>2</sub> ile kaplanan X42 çeliği makro yapı incelemesinde voltajın artırdığımızda frekansları aynı olmasına rağmen voltajlardaki farklılıklarından dolayı kaplama kalınlığının arttığını gözlenmektedir.
- Kaplamaların makro analizinde frekans artıka altlık malzemesinin yüzeyinde atlamalar daha hızlı bir şekilde meydana gelmekle birlikte bu atlamalar bir süre sonra kendini tekrar eder hale gelir ve kaplamalar arasında boşluk kalmayacak şekilde kaplamalar meydana getirmektedir.
- Yüksek voltaj ve aynı değerlerde olan fakat yüksek frekansa sahip (140V/500Hz, 140V/1000Hz ve 140V/1800Hz) numunelerde oluşan kararmaların sebebi genelde voltajın yüksek olmasından dolayı oksitlenmenin meydana gelmesi olarak yorumlanabilmektedir.
- TiB<sub>2</sub>'nin TiC göre düşük voltaj ve frekansta kaplama oranı daha düşük olduğunu makro analizde gösterilmektedir.
- TiB<sub>2</sub> ve TiC karşılaştırdığımız zaman TiB<sub>2</sub>'nin voltaj artıka kararmanın daha çok olduğu görülmektedir. TiC de ise voltaj artıka elektrottan kopan parçaların daha büyük olduğu ve TiB<sub>2</sub>'de ise TiC göre altlık malzemesinin yüzeyine daha homojen bir şekilde yerleştiği gözlenmektedir.
- ESD yöntemi ile altlık malzemeleri kaplamada TiC kaplanan malzemelerde

kaplamalar kırık kaplama iken TiB2 kaplananlar daha düz yapı elde edilmiştir.

- Çelik üzerine yapılan TiC kaplamalar düşük kalınlıklarda gaz oluşumun teşvik ettiği kalınlık artıkça gaz oluşumun işareti olan poroz boşluklarının veya deliklerinin azaldığı gözlenmiştir.
- Çelik üzerine yapılan TiB2 kaplamalar ise benzer bir davranışla gaz oluşumunu azalttığı ancak yüzeyin daha pürüzsüz olmasına karşın çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- XRD sonuçları TiC kaplanan X42 çeliklerinde kaplamaların yüzeyde tutunabildiği göstermektedir. TiB2 ise kaplamalar ise yüksek voltaj ve frekans ile yüzeyde tutunabildiği görülmektedir. Tüm XRD sonuçlarında  $Ti_xO_y$  bileşikleri baskın bir şekilde bulunmaktadır.
- EDX sonuçları bor elementini göstermediği için tanımlaması eksik kalmaktadır. Ancak alaşım elementlerinden Fe, Ti, Cr, Al ve oksitlerin ana elementi O rahatlıkla görülmektedir. XRD sonuçlarında görülen bor bileşikleri burada görülememiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Anık, S., Oğur A. ve Vural M. (1996), Termik Kesme Teknolojisi. *Gedik Eğitim Vakfı Yayını*, **2**: 112- 121
- Arcan, A. (2011), Lazer Işını ile Metallerin Kesilmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir
- Başargan, A. (2010). Bakırın Elektrosark Mikroalaşımlandırma Yöntemi İle Gümüşle Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- Bozkurt, A., Çakmakkaya M., Talaş, Ş. ve Çetkin, A. (2016) Esd Yöntemi İle Dizel Motor Piston Yüzeyine Ni Kaplamannın Termal Analizi 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 – 24 Mayıs, Bursa
- Chen, Z. and Zhou, Y. (2006). Surface modification of resistance welding electrode by electrospark deposited composite coatings: part II. metallurgical behavior during welding, *Surf. Coat. Technol.*, , **201**: 2419-2430
- Çalığıülü, U. (2009), AISI 304–430 Paslanmaz –AISI 1010 Çelik Çiftlerinin Lazer Yöntemi İle Kaynağında Birleşme Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Çelen, S. (2006), Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Dayanım Ve Korozyon Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Çelik, S. (1998), Lazerler, Tıpta Ve Özellikle Göz Tedavisindeki Uygulamaları., Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Proje-1, **4**: 16-22

Duley, W. W. (1998). Laser Welding , United States Of America:John-Wiley.

ER, İ. (2005), Karbondioksit (CO2) Lazerle Fiber Optik Yüzeylerinin Parlatılması ve Verim Hesapları, Yüksek Lisans Tezi, Fizik Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16-32

Erdoğan, Ş. (2007), Lazerle Delmede İşleme Parametrelerinin Delik Kalitesine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37-38

Finlay, M.R. (1996) Resistance Spot Welding Of Metallic Coated Steels And PVD Coated Electrodes. CRC Australia And WTIA, CRC No.18

Holiday, R., J.D. Parker, N.T. Williams. (1996) Relative Contribution Of Electrode Tip Growth Mechanism İn Spot Welding Zinc Coated Steels. *Welding İn The World* **37** p. 186-193

Johnson, R.N. and Sheldon G.L. (1986), Advances İn The Electrospark Deposition Coating Process. *J. Vac. Sci. Technol. A* **4 (6)**: 2740 – 2746

Karaaslan, A. (2009), Laser ile Malzeme İşlemleri Literatür yayınları 1. Baskı İstanbul Türkiye: s.41

Kilerci, İ. (2011), Titanyum Alaşımlarının Farklı Kaynak Yöntemleriyle Kaynağının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa

Kuhn, K. (1998), Laser Engineering. Prentice - Hall, , United States Of America 4-5

Korkmaz, K. (2008) Elektrosark Biriktirme Yöntemiyle Mikro Alaşımlı Çeliklerin Tungsten Karbür İle Kaplanması. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, GEBZE

- Kováčik, J., Baksa P. and Emmer Š. (2016) ‘‘Electro Spark Deposition Of TiB<sub>2</sub> Layers On Ti6Al4V Alloy ‘ ‘*Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. **22**, 52-59
- Mısırlıoğlu, E. (2006), eliklerin Elektrosark Mikroalaşımlandırma Yöntemiyle Kaplanması Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, GEBZE
- Mungan, M.C. (2006) Lazer İle Kesme Ve Endüstriyel Uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya
- Öner, U. (2008), Lazerle Kesme İşleminde Kesme Parametrelerinin Kesme Aralığı Ve Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Özcan, M. (2003), Değişik Malzemelerin İşlenmesinde Kullanılan Nd:YAG Lazerleri İçin Etkin Bir Güç Kaynağının Tasarımı Ve Uygulanması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özden, H. (2010) ‘‘Lazer ile İmalat Yöntemleri’’, *Makinatek Dergisi*, Sayı:**151**, S. 106-112
- Radek, N., Bartkowiak, K., (2010) . Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam. *Physics Procedia* **5**: 417–423
- Reynolds, J.L., R. L. Holdren And L. E. Brown. (2003), ‘‘Electro-Spark Deposition,’’ *Advanced Materials And Process* **161**, 3.
- Sato, Y. and Kuwana T. (1995) Oxygen Absorption in Iron and Steel Weld Metal. Department of Materials Processing, Faculty of Engineering, Tohoku University Sendai Japan



- Talaş, Ş., Bozkurt A., Çakmakkaya, M. ve Çetkin A. (2016), Heat Transfer and Electrical Characteristics in Spot Welding With Composite Coated Caps. 4th International Conference On Welding Technologies And Exhibition (Icwet'16) Gaziantep 11-13 May.
- Tang, J. (2016). Mechanical and tribological properties of the TiC–TiB<sub>2</sub> composite coating deposited on 40Cr-steel by electro spark deposition. *Applied Surface Science*, **365**: 202–208
- Triantafyllidis, D., Schmidt, M.J.J. and Li, L. (2003), Comparison Of High Power Diode Laser And Nd:YAG Laser Microwelding Of K-Type Thermocouples, *Journal Of Materials Processing And Technology*, **138**: 102-108.
- Tunç, M. (2015), CO<sub>2</sub> Lazer Kesim Tezgâhlarında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- Ürgüplü, M. ve Köksal S. (2015), Lazer İle Kesme İşlemlerinde Kesim Kalitesine Etki Eden Parametreler. *Isites Valencia –Spain Syf:865- 875*
- Welding Handbook, Vol. 3 9th Ed., ,(2007), American Welding Society, Miami, FL, Pp. 598 - 602
- Welsh, N.C. and Watts P.E. (1961), Spark Hardening Of Cutting Tools: Austenite Formation And Edge Erosion, *J. Iron And Steel Inst.* London **198**, 30
- Welsh, N.C. (1958) Surface Hardening Of Non-Ferrous Metals By Spark Discharge, *Nature* **181**, 1004
- Welsh, N.C. (1957) Frictional Heating and Its Influence On The Wear Of Steel, *J. Appl. Phys.* **28**, 960

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

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Akın BOZKURT  
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR, 1993  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0546 404 71 93 / akn.bozkurt@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Güzelcan Kardeşler Lisesi, [2008-2011].  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği [2011-2014].  
Yüksek lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, İş Güvenliği (Tezsiz), [2015–2017].  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği [2015-2018].

### Yayınları (SCI ve diğer) :

Başpınar M. S., Karakaya U., Bozkurt A. and Demir E. (2015) Utilization Of Cryolite Based ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) Electro Metallurgy Wastes in Fired Clay Brick Production International Conference on Engineering and Natural Sciences (Icens)

Bozkurt A., Talaş, Ş., Çakmakkaya, M. ve Çetkin A. (2016), Heat Transfer and Electrical Characteristics in Spot Welding With Composite Coated Caps. 4th International Conference On Welding Technologies And Exhibition (Icwet'16) 11-13 May. Gaziantep

Bozkurt, A., Çakmakkaya M., Talaş, Ş. ve Çetkin, A. (2016) Esd Yöntemi İle Dizel Motor Piston Yüzeyine Ni Kaplamanın Termal Analizi 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 – 24 Mayıs, Bursa

Bozkurt A., Talaş Ş., Deniz E. (2017). A Comparative Study of Laser And Mechanically Cut Bimetal Bandsaws Made From M42 Welded On to X42 Carrier Steel. The 8th International Advanced Technologies Symposium 19 - 21 Ekim 2017, Elazığ