



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KESİCİ TAKIMLARDA BULUNAN BASKI  
PABUCUNUN ELEKTRİK KIVILCIM  
BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE  
KARAKTERİZASYONU**

**BEKİR ERGUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TEMMUZ-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

# KESİCİ TAKIMLARDA BULUNAN BASKI PABUCUNUN ELEKTRİK KIVILCIM BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE KARAKTERİZASYONU BEKİR ERGUN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet GAVGALI

2022, 66 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet GAVGALI

Doç. Dr. Barış GÖKÇE

Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI

Malzemelerde kullanım yerlerine göre ısıl işlem ve sonrasında yüzey kaplama işlemleri mühendislik alanında genişçe uygulanmaktadır. Metallerin mekanik, korozyon ve aşınma direncini arttırmak için ısıl işlem, galvaniz, krom, nikel vb. kaplama uygulamaları sıklıkla yapılırken yetersiz kaldığı durumlar olmaktadır. Malzemeler üzerinde EKB yöntemi ile daha iyi mekanik, korozyon ve aşınma dayanımına sahip kaplamalar yapılmakta ayrıca tüm malzemeyi kaplamak yerine yalnızca çalışan yüzeylerde kaplama işlemi yapılabilmektedir.

EKB yöntemi elektrot malzemenin metalik bir yüzey üzerine malzeme biriktirmek amacıyla kısa süreli akım darbeleri üreten kaynak işlemidir. İşlemler genellikle manuel el aplikatörü ile uygulanmaktadır. Malzemelerin korozyon, erozyon ve aşınma direncini arttırmak bakım maliyetlerini azaltmak için otomotiv, tekstil, kimya, uzay, tıp alanlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmamda kesici ucu sabitlemek için kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş baskı pabucu üzerine EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapıldı. Tüm yüzey yerine aşınma maruz kalan yüzeye 20 µm kalınlığında tungsten karbür kaplama yapıldı sonra frekans ile voltaj artırılarak kaplama kalınlığının da doğru orantıda arttığı görüldü. Son olarak EKB yöntemi ile Inconel 625 süper alaşım, Inconel 725 süper alaşım, Ramor500 zırh çeliği ve Armor 500 zırh çeliği ara katman (interlayer) olarak uygulanıp sandviç bir tungsten karbür kaplama yapıldı. Tungsten karbür kaplama yapılan numuneler optik mikroskop ile kaplama kalınlıkları ölçüldü. Numunelerin mekanik profilometre cihazında yüzey pürüzlülükleri ölçüldü. CNC yatay torna makinesinde, silindirik geometriye sahip gri dökme demir (GG25) malzemenin iç çapından talaş kaldırılmıştır. Gri dökme demir malzemenin 150 ve 300 adet işlendikten sonra, baskı pabucu numunelerinin aşınma derinlik boyları optik mikroskop cihazında ölçüldü. 300 adet GG25 malzeme işleme sonrasında kaplamasız baskı pabucunda aşınma derinlik boyu 1338 µm olarak ölçüldü. En az aşınma derinlik boyu 500 µm olarak ölçülen, inconel 625

süper alaşım ara katman olarak yapılan tungsten karbür kaplamada gerçekleşti. Kaplamasız, tungsten karbür kaplama ve ara katman uygulanarak yapılan tungsten karbür kaplama baskı pabucu numunelerinin yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri ve aşınma derinlik boyları karşılaştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, EKB Kaplama, Tungsten Karbür (WC),Tornalama Prosesi

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **CHARACTERIZATION OF CLAMP FOUND IN CUTTING TOOLS BY ELECTRO SPARK DEPOSITION METHOD**

**BEKİR ERGUN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**2022, 66 Pages**

### **Jury**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**Asst. Prof. Dr. Barış GÖKÇE**

**Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI**

Thermal processing and subsequent surface coating processes are widely used in the field of engineering, according to the places of use in materials. While coating applications such as thermal processing, galvanization, chrome, and nickel are frequently used to improve metal mechanical, corrosion, and wear resistance, they are not always sufficient. Coatings with improved mechanical, corrosion, and abrasion resistance are applied to materials using the Electrospark Deposition (ESD) method. Furthermore, rather than coating the entire material, only the working surfaces can be coated.

The ESD method is a welding treatment that uses short-term current pulses to deposit material on the metallic surface of the electrode material. The procedures are usually applied with a manual hand applicator. The use of materials in automotive, textile, chemistry, space, and medicine have been increasing in order to increase corrosion, erosion, and wear resistance and reduce maintenance costs.

In this study, the ESD method was used to apply tungsten carbide coating to the clamp made of DIN 1.2550 cold work steel, which is used to fix the cutting edge. Instead of coating the entire surface, a 20 µm thick tungsten carbide coating was applied to the exposed surface. Afterward, the voltage was increased with frequency, and it was seen that the coating thickness increased in direct proportion. Finally, an interlayer of Inconel Alloy 625, Inconel Alloy 725, Ramor500 steel, and Armor 500 steel was applied using the ESD method, and a sandwich tungsten carbide coating was applied. The coating thickness of the samples with tungsten carbide coating was measured with an optical microscope. The surface roughness of the samples was measured in a mechanical profilometer device. Chip was removed from the inner diameter of the gray cast-iron (GG25) material with cylindrical geometry using a CNC

horizontal lathe. The wear depth lengths of the clamp samples were measured in an optical microscope device after processing 150 and 300 pieces of gray cast iron material. The wear depth of the uncoated clamp was 1338 $\mu$ m after processing 300 pieces of GG25 material. The tungsten carbide coating, made as an Inconel Alloy 625 interlayer and measuring 500 $\mu$ m in depth, has the least wear. Surface roughness, hardness, and wear depth lengths of uncoated, tungsten carbide coating, and tungsten carbide coating with interlayer, clamp samples were compared.

**Keywords:** Abrasion, ESD Coating, Tungsten Carbide (WC), Turning Process

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezim boyunca bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlanmaya çalıştığım tezin her aşamasında desteğini hiç esirgemeyen mühendislik fakültesi dekanı değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet GAVGALI'ya ve çalışmaların yönlendirilmesi sonuçların değerlendirilmesi teknik konusunda her türlü bilgi ve desteği sağlayan Doç. Dr. Barış GÖKÇE'ye çok teşekkür ederim.

Deneysel ve laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirdiğim ayrıca bana tecrübe ve deneyim kazandıran uzun yıllardır çalıştığım Yenmak A.Ş. ve araştırmam boyunca sabır ve sevgisini esirgemeyen eşime de çok teşekkür ederim.

Bekir ERGUN

KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ .....</b>	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....</b>	<b>4</b>
2.1. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi.....	5
2.1.1. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi Tarihçesi.....	6
2.1.2. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi Çalışma Prensibi ve Uygulama Şekli .	7
2.1.3.Elektro kıvılcım biriktirme yöntemi uygulama alanları .....	11
2.1.4. Elektro kıvılcım biriktirme yönteminin avantajları dezavantajları.....	13
2.2. Tornalama Prosesi.....	14
2.2.1. Tornalama Takımlarının Geometrisi .....	15
2.3. Temel Talaş Kaldırma Prosesi.....	15
2.3.1. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Talaş Oluşumu.....	17
2.3.2. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Talaş Tipleri.....	18
2.3.3. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Kesme Şartları .....	19
2.4 Tornalama Prosesinde Kesme Sıvıları ve Kuru Kesme.....	20
2.4.1. Kesme Sıvıları.....	20
2.4.2. Kesme Sıvılarında Doğru Basınç Kullanımı .....	20
2.4.3. Kuru Kesme .....	20
<b>3. PROBLEMİN TAYİNİ .....</b>	<b>21</b>
3.1. Kesici takımlarda Kesici ucu Sabitlemek için Kullanılan Baskı Pabucunun Aşınma Karakterisliği .....	21
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>25</b>
4.1. Materyal .....	25
4.1.1. Kaplama Yapılacak Malzeme .....	25
4.1.2. EKB Kaplama Makinesi .....	26
4.1.3. Spektrometre ile Malzeme Analizi .....	27
4.1.4.Sertlik Ölçme .....	28
4.1.5. Kaplanmış Numunelerinin Metalografik İşlemleri.....	30

4.2. Yöntem.....	33
4.2.1. EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama.....	33
4.2.2. EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılmış baskı pabuçlarının metalografik İşlemleri.....	34
4.2.3. Aşınma ve Karşılaştırma Testleri .....	37
<b>5. ARAŞTIRMA VE SONUÇLARI TARTIŞMA.....</b>	<b>39</b>
5.1. Kaplama Test Sonuçları.....	40
5.2. Kaplama kalınlığına Bağlı Aşınma Test Sonuçları.....	42
5.3 Inconel 625 ve Inconel 718 süper alaşım ara katman eklenerek EKB yöntemi ile kaplama yapılan baskı pabuçları.....	50
5.4 Örtü gazı kullanmaksızın EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu.....	51
5.5 Ramor 500 zırh çeliği ve Armor 500 zırh çeliği ara katman olarak kullanılarak EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu.....	52
5.9. Test Sonuçlarına göre Kullanılabilirlik Analizi.....	57
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>61</b>
6.1. Sonuçlar .....	61
6.2 Öneriler .....	62
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. EKB yöntemi ile yüzey oluşumu.....	8
Şekil 2. 2. EKB kaplama esnasında kıvılcım ve damlacık oluşumu (Peterkin,2016).....	8
Şekil 2. 3. Kütle transfer oluşumunun dört adımda oluşan fiziksel modeli (Liu ve arkadaşları, 2004).....	10
Şekil 2. 4. Basit bir EKB ünitesi; titreşimli bir elektrot tutucu, osiloskop ve bir .....	10
Şekil 2. 5. EKB kaplama prosesi ile dişli çark onarımı (weldtech.hu).....	11
Şekil 2. 6. Tambur üzerine EKB prosesi ile kaplama (prweb.com) .....	12
Şekil 2. 7.Tornalama hareketi (Groover 2010). .....	14
Şekil 2. 8. Torna takımları (Akkurt 2012) .....	15
Şekil 2. 9. Talaş oluşumunun kesit görünüşü (Groover 2010). .....	16
Şekil 2. 10. Ortogonal kesme işlemi modeli (Kurşuncu 2016).....	16
Şekil 2. 11.Kayma düzleminde talaş plakalarının oluşumu (Groover, 2010). .....	17
Şekil 2. 12. Talaş tipleri (Akkurt,2012). .....	18
Şekil 2. 13. Tornalama kesme hızı, derinlik, ilerleme (Erdin,2011).....	19
Şekil 3. 1. Kesici torna kalemi .....	21
Şekil 3. 2. Soğutma kanallı baskı pabucu (Kyocera 2021).....	22
Şekil 3. 3. Tornalama operasyonu (Kennametal) .....	22
Şekil 3. 4. Aşınmış(a) ve aşınmamış(b) baskı pabucu .....	23
Şekil 3. 5. Düz tip uçlar için talaş kırıcı.....	23
Şekil 3. 6. Sert metal kaynatılmış baskı pabucu .....	24
Şekil 4. 1. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği menevişleme diyagramı.....	26
Şekil 4. 2. Huys marka elektro kıvılcım makinesi (huysindustries.com). .....	27
Şekil 4. 3. Foundry-master pro spektrometre cihazı.....	27
Şekil 4. 4. Vickers sertlik ölçüm gösterimi.....	28
Şekil 4. 5. Brineel sertlik ölçüm gösterimi .....	29
Şekil 4.6. Isıl işlem görmüş baskı pabunun sertliği .....	29
Şekil 4.7. Metacut251 numune kesme makinesi.....	30
Şekil 4. 8. Ecopress50 sıcak bakalit alma cihazı .....	30
Şekil 5. 1. Baskı pabucu ölçüleri .....	41
Şekil 5. 2. EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabuçları .....	41
Şekil 5. 3. Talaş kaldırılan ürünün ölçüleri.....	42
Şekil 5. 4. Baskı pabucunda kılcal çatlama .....	43

Şekil 5.5 A. Numune No:01 aşınma derinlik boyu .....	44
Şekil 5.5 B. Numune No:02 aşınma derinlik boyu .....	45
Şekil 5.5 C. Numune No:03 aşınma derinlik boyu .....	45
Şekil 5.5 D. Numune No:04 aşınma derinlik boyu .....	46
Şekil 5.5 E. Numune No:06 aşınma derinlik boyu .....	46
Şekil 5.5 F. Numune no:06 aşınma derinlik boyu .....	48
Şekil 5.5 G. Numune no:07 aşınma derinlik boyu.....	48
Şekil 5.5 H. Numune no:08 aşınma derinlik boyu.....	49
Şekil 5.5 İ. Numune no:09 aşınma derinlik boyu .....	49
Şekil 5.5 J. Numune no:10 aşınma derinlik boyu .....	50
Şekil 5.6. Ara katman malzeme eklenerek oluşturulan tungsten karbür kaplama .....	51
Şekil 5.7 A. Baskı pabucu tungsten karbür kaplama kalınlık grafiği .....	54
Şekil 5.7 B. Baskı pabucu tungsten karbür kaplama kalınlık grafiği .....	54
Şekil 5.8. Talaş kaldırılan ürünün ölçüsü .....	55
Şekil 5.9. Test sonrası aşınmış baskı pabuçları .....	55
Şekil 5.10. Baskı pabucu aşınma derinliği.....	58
Şekil 5.11. Baskı pabucu yıllık tüketim adeti ve toplam maliyet .....	59

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4. 1. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	25
Tablo 4. 2. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin ısıtma işlem bilgileri .....	25
Tablo 4. 3. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin maviye bağli sıcaklık sertlik	26
Tablo 4. 4. GG25 dökme demirin kimyasal kompozisyonu .....	32
Tablo 4. 5. Okuma kontrol ünitesi LB-25 tezgahı özellikleri .....	33
Tablo 5. 1. 150 adet ürün işlemede aşınma sonuçları.....	43
Tablo 5. 2. 300 adet parça işlemede aşınma sonuçları.....	47
Tablo 5. 3. EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçlarının yüzey pürüzlülük değerleri .	53
Tablo 5. 4.EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçlarının aşınma derinlikleri .....	56
Tablo 5. 5. Birim maliyet analizi .....	60

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

<i>mm</i>	: Milimetre
<i>Sn</i>	: Saniye birimi
<i>dk</i>	: Dakika birimi
<i>mm<sup>3</sup></i>	: Milimetreküp
$\gamma$	: Kayma şekil değişimi
<i>a</i>	: Alfa açısı
<i>Sin</i>	: Sinüs açısı
<i>Cos</i>	: Cosinüs açısı
<i>Tan</i>	: Tanjant açısı
<i>Cot</i>	: Kotanjant açısı
<i>v</i>	: Kesme hızı (m/dk)
<i>f</i>	: İlerleme hızı (mm/dev)
<i>A</i>	: Talaş kesit alanı mm <sup>2</sup>
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
HB	: Brinel sertliği
HRC	: Rockwell sertliği

### Kısaltmalar

EKB	: Elektrik Kıvılcım Biriktirme
CNC	: Computer Numerical Control, Bilgisaylı Sayısal Kontrol
WC	: Tungsten Karbür
CBN	: Cubic Bor Nitride , Kübik Bor Nitrür
PCD	: Polycristalin Diamon, Çok Kristalli Elmas
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge

## 1.GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında uzun ömürlü kesici takımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Kesici takımların aşınma direncini ve takım kullanım ömürlerine arttırmak amacıyla çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bu amaçla mühendislik alanında aşınmaya dayanıklı kesici takım yüzeylerine, yüzey kaplamaları uygulanmaktadır. Günümüzde çevre etkisi en az olan kaplamalar endüstride tercih edilmektedir. Yüzey işlemleri, bir malzeme yüzeyine başka bir malzeme difüzyonu ile yüzeyde bir bileşik tabaka oluşturma işlemidir. Nitrüleme, borlama, vanadyumlama, karbürleme ve kromlama gibi farklı yöntemleri kapsar. Yüzey kaplama yöntemleri, bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması ya da çöktürülmesi esasına dayanır. Üç ana gruba ayrılırlar;

1-Sıvı ya da yarı sıvı halde yapılan kaplamalar. Lazer kaplama, kaynak kaplama ve termal sprey yöntemleridir.

Termal Sprey: Metalik veya metalik olmayan malzemelerin eriyik ya da yarı eriyik halde bir altlık üzerine biriktirilerek yapılan işlemidir. Kaplama malzemesi bir enerji yardımıyla ısıtılır. Isınan kaplama malzemesi eriyik ya da yarı eriyik forma dönüştürülür ve ardından ısıtılan partiküller gaz veya atomizasyon jeti ile hızlandırılır. Isıtılan ve hızlandırılan kaplama malzemesi önceden hazırlanmış altlık üzerine çarptırılır ve splat (yassı tanecik) şeklini alarak altlık ile birbirine bağlanır.

2-Gaz halinde yapılan kaplamalar. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi, kimyasal buhar biriktirme yöntemi ve plazma destekli diğer kaplamalardır.

Fiziksel buhar biriktirme (PVD): Vakum altında bulunan malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçratılarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplama yapılacak yüzeye atomsal veya iyonik olarak biriktirilme esasına dayanır. Bu yöntem ile iletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemeler, vakum altın da karalı olan her tür altlık malzeme üzerine kaplama yapılabilir (Aytaç ve Malayoğlu,2018).

Kimyasal buhar biriktirme (CVD): Kapalı bir kap içerisinde katı fazdan kimyasal faza geçen bileşik, taşıyıcı gaz tarafından taşınarak altlık malzeme üzerine difüzyon yoluyla birikmesidir. Kaplama kalınlığı 10µm'den daha incedir (çoşgun ve arkadaşları,2021).

3-Çözeltiden gerçekleşen kaplamalar. Elektrokimyasal kaplama, kimyasal redüksiyon işlemleri, akımsız kaplamalar ve sol-jel yöntemidir.

Sol-Jel kaplama: Bir sıvı faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı

inorganik ağ yapılarının (jel) oluşması ile sağlanır. Sol-jel sürecinde, sistem sıvı fazdan katı-sıvı ara faza dönüşmektedir.

Elektro kıvılcım biriktirme (EKB) yöntemi elektrot bir malzemeden küçük eriyik halde kütleler koparıp karşı tarafta altlık bir yüzeyde birikmesidir. Yüksek akımlı, düşük voltajlı ve çok kısa süreli elektriksel darbeler kullanılması prensibi ile çalışır (Korkmaz ve Yılmaz, 2017). Kaplama yöntemlerinden sıvı ya da yarı sıvı halde yapılan kaplamalar grubuna girmektedir.

EKB yöntemi ile kaplama çok eski uygulamalarda kullanılan bir yöntem olsa bile artık günümüzde mühendislik açısından en küçük materyali bile daha uzun ömürlü ve stabil kullanılması gereksinimi için de yaygınlaşarak gelişmektedir. Çalışan makine parçaların da ilk aşınmanın, korozyonun oluşabileceği, yüksek sıcaklığın olduğu bölge malzemenin yüzeyi olduğu için malzemeyi komple pahalı malzemelerden imal etmek yerine çalışma durumuna göre malzemenin yüzeylerine çeşitli mühendislik uygulamaları yapılarak verimliliği artırılabilirdiği gözlemlenmiştir.

Üretim teknolojisinin ve imalat tekniklerinin geliştirilmesine rağmen, talaşlı imalat üretim yöntemlerinin en önemli alanlarından birisidir. Endüstride üretim hatlarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yatırım maliyetinin düşük olması, kullanılan makine teçhizatın uzun ömürlü olması ve elde edilen ürünlerin yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetinin iyi olması, talaşlı imalatı diğer imalat yöntemlerinden farklı kılan bazı özelliklerdir.(Mavi,2013). Gelişen ve rekabetçi üretimin ön planda olduğu endüstride işletmelerin varlığını sürdürülebilirliği için sürekli kendini yenilemesi ve takım ve ekipmanlarını etkin kullanıp çalışma verimliliğini arttırması gerekmektedir. Seçilen üretim yöntemlerinde çevremizi de göz ardı etmeden çevreye zarar vermeyecek malzemeler kullanılmalı ve talaş kaldırmada kullanılan takımların ömürleri arttırılmalıdır.

Tungsten karbür (WC) bir tungsten ve bir karbon atomundan oluşan çok yüksek sertliğe sahip ve bu sertliği de yüksek aşındırıcı ortamda da koruyan bir bileşiktir. En temel haliyle ince gri bir tozdur. Endüstriyel makinelerde, kesme aletlerinde, aşındırıcılarda, zırh delici mermilerde kullanımı için sinterleme işlemi ile preslenir ve şekillendirilir.

Tungsten karbür kaplama birkaç farklı yöntem ile kaplanabilir. Fakat yüksek enerji, yüksek sıcaklık, vakumlama ortamları gibi pahalı prosesler yerine EKB yöntemi bu yöntemlere göre bazı avantajlar sağlamaktadır. EKB makinesin de kullanılan donanımın oldukça basit ve mobil taşınabiliridir. Altlık malzemeye ısı girdisi oldukça

düşük olduğundan altlık malzeme özelliklerinde bir değişim olmaz (Çakır,2014). Bu sebeplerden dolayı çalışmamda EKB yöntemi tercih edilmiştir. Malzeme komple kaplanmayacak olup yalnızca çalışan yüzeyler EKB yöntemi ile kaplama işlemi gerçekleştirilecektir.

Bu tez çalışmamda DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş baskı pabucunun temas halindeki yüzeyine (çalışan yüzeyine ) EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapıldı. Tungsten karbür kaplama kalınlığını arttırmak için ilk olarak EKB kaplama makinesinde voltaj ve frekans arttırılarak tungsten karbür kaplama kalınlığıda doğru orantıda arttığı gözlemlendi. İkinci aşama olarak inconel 625 süper alaşım, inconel 718 süper alaşım, Armor 500 ve Ramor 500 zırh çeliği ara katmanları (interlayer) eklenerek tungsten karbür kaplama kalınlığı arttırılarak kaplamalar yapıp sonuçları değerlendirildi. Amacımız malzemenin ömrünü arttırarak işletmeye ve çevreye katkı sağlamaktır. Kaplama kalınlığı ile aşınma ömrü ve sertlik arasındaki ilişki incelendi.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Kesici takımlarda baskı pabucu olarak kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin üzerine aşınma direncini artırmak amacıyla, EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplamalar yapılarak aşınma testleri incelendi. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği üzerine EKB yöntemi ile uygulanan tungsten karbür kaplama ve tungsten karbür kaplama kalınlığını arttırmak için ara katman (interlayer) malzemeler eklenerek çalışmalar yapıldı. Baskı pabucu üzerindeki tungsten karbür kaplama kalınlıkları, yüzey pürüzlülükleri ve aşınma testleri incelendi.

Korkmaz (2008) yaptığı çalışmada St-35 çeliğinden, 10mm boyutlarında küp malzemeler üzerine EKB yöntemi ile WC(92)-Co(8) elektrot kullanarak kaplama prosesini gerçekleştirmiştir. Akım şiddeti 200 A, pulse süresi 100 µs ve pulse enerjisi 0.268 J olan dikdörtgen pulse ile tek pulse, ikili pulse, dördü pulse, sekizli pulse şeklinde, pulse enerji ve sürelerini değiştirerek deneyleri tatbik etmiştir. Üçgen Pulse formunda, pulse enerjisi 0,02J de yüzey pürüzlülüğü Ra 2,2 µm, pulse enerjisi 0,04J de yüzey pürüzlülüğü Ra 2,5 µm, pulse enerjisi 0,08J de yüzey pürüzlülüğü Ra 2,9 µm olarak ölçmüştür. Pulse enerjisi artarken kıvılcımların çapı, anot ve katottaki kütle değişimleri ve kaplama yüzey pürüzlülüğü (Ra) arttığını gözlemlemiştir.

Radek ve arkadaşları (2010) çalışmasında C45 karbon çeliğini üzerine EKB yöntemi ile WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (85% WC, 10% Co and 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kaplama yapılmıştır. Joel JSM-5400 elektron mikroskobu kullanılarak WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama kalınlığının 60 ile 70 µm arasında olduğunu belirlemiştir. Kaplamasız C45 numunelerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) 0,39 ile 0,41 µm iken alüminyum oksit alaşımlı tungsten karbür ile yapılan kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 6.16 ile 7.79 µm'ye yükseldiğini gözlemlemiştir. Yüzey sertliklerini tespit etmek için mikro sertlik analizi olan Vickers sertlik ölçüm yöntemini kullanmıştır. Kaplamasız C45 numune ortalama sertliği 141 HV0.04 iken WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış numune yüzey sertliğinin ortalama 843 HV0.04'e yükseldiği görülmüştür. Kaplamasız numuneye kıyasla malzeme sertliğinde %498 oranında bir artış olmuştur.

Literatür bilgilerine göre çelik malzemelerin EKB yöntemi ile yüzey kaplamalarında enerji gücünün artması durumunda kaplama kalınlığının ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) de arttığı görülmektedir.

## 2.1. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi

Elektro kıvılcım biriktirme yöntemi bir elektrottan temas ederek bir alt tabakaya metal aktarımı gerçekleştirmek için hızlı elektrik gücü deşarjları kullanan bir mikro kaynak işlemi olarak tanımlanmaktadır (Gould,2011).

EKB yöntemi özellikle metalik yüzeylerde aşınmaya dirençli ve oldukça sert kaplamalar üretmek için kullanılan bir yüzey modifikasyon tekniğidir. Bu yöntem, elektrot (anot) bir malzemedan küçük eriyik halde kütleler koparıp karşı tarafta altlık (katot) bir yüzeyde biriktirmek için yüksek akımlı düşük voltajlı ve çok kısa süreli elektriksel darbeler kullanılması prensibi ile çalışmaktadır (Korkmaz ve Yılmaz, 2017). Bu yöntemle yapılan kaplamanın yüksek aşınma direnci sahip olması nedeniyle, çok geniş metal ve metal alaşımlarına, uygulanabilir (Johnson ve arkadaşları, 2005).

Kısa süreli elektrik darbesi, ergimiş yüzeyde biriken malzemenin çok hızlı katılaşmasına neden olur. Bu da kaplama tabakasının yüksek tribolojik özelliklere ve korozyon direncine sahip olmasını sağlar dolayısıyla nano yapılı üstün özelliklere sahip bir kaplama tabakası elde edilir. Kaplama öncesi, kaplanacak yüzeyin özel hazırlığına gerek duyulmaz. Kaynak yönteminin zararlı etkileri olarak kabul edilen tehlikeli atık, duman ve su salınımı, EKB yönteminde görülmez (Johnson ve Bailey,2005).EKB kaplama yöntemi ile elde edilen sert yüzey kaplamalar, aşınmaya maruz kalan yüzeylerde, yüksek sıcaklıklarda, oksidasyon ve korozyona maruz şartlarda çalışan büyük parçalara uygulanır. Aynı zamanda aşınma dirençlerini arttırmak, malzeme yüzeylerini korumak ve malzemenin kullanım ömrünü artırmak amacıyla da küçük boyutlu parçalara da uygulanmaktadır. EKB kaplama yönteminin aşınmaya maruz kalan makine elamanlarında aşınma nedeni ile parçaların tamir ve kullanım ömürlerinin artırılması yaygın kullanılan bir yöntemdir (Coşkun ve Talaş,2019).

Amerika birleşik devletleri ordusuna ait M1A1 ana muharebe tankının bakım onarım muayenesinde AISI 4130 çeliğinden imal edilmiş, sonrasında krom kaplanmış top beşiğinin ve AISI 9310 çeliğinden imal edilmiş, sonrasında krom kaplanmış AGT-1500 motorunun içindeki helisel dişli şaftının belirli bölgelerinde korozyon çukurları ve aşınma çukurları olduğu tespit edilmiştir. 2003 yılında Anniston ordu deposunda bakım-onarıma gelen araçların, parçalarının yaklaşık yüzde 8'inin arızalı olduğu tespit edilmiştir. Aşırı derecede korozyona uğrayan ve aşınmış parçalar sistemden çıkarılıp depoya kaldırılmıştır. Bunun sonucunda champagne ve arkadaşları (2006) ordu askeri laboratuvarında yapmış oldukları çalışmada EKB yöntemi ile inconel 718 süper alaşım

elektrot kullanarak top beşiğinde ve helisel dişli şaftında oluşan korozyon çukurları ve aşınma çukurlarını tamir etmişlerdir. AISI 9310 çeliğinden imal edilmiş helisel dişlinin tabaka sertliği 40HRC olarak ölçülmüşlerdir. EKB yöntemi ile kaynak doldurulmuş bölgenin sertliğini de 35-40 HRC arasında ölçülmüştür. Malzemenin kendi sertliği ile yaklaşık aynı olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra helisel dişli şaftı AGT-1500 motor test standında 25 ve 100 saat test edilmiştir. Tank otomotiv komutanlığı tarafından M1A1 ana muharebe tankı top beşiği onarımı için EKB yöntemi onaylanmasından sonra depoya kaldırılan 189 parça incelenmiş onarım için 15 parça daha seçilmiştir. Bunlardan dokuz adet parça EKB yöntemiyle başarı şekilde onarılmıştır. Bu işlemler sonucunda anniston askeri deposuna 360.00\$ bir tasarruf sağlanmıştır. EKB yöntemi AISI 4130 çeliğinde ve AISI 9310 çeliğinde oluşan korozyon çukurları ve aşınma çukurları için başarılı bir onarım olduğu kanıtlandı (Champagne ve arkadaşları,2006).

### **2.1.1. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi Tarihçesi**

Eski Yunanlı filozofların sürtünmeyle oluşan elektrik yükünün discharge esnasında ortaya çıkan kıvılcımları gözlemediklerinden beri elektrik-kıvılcım olayı bilinmekteydi. Genellikle “elektro-kıvılcım” teriminin kullanımı, bitişik denecek kadar birbirine yakın cisimler arasındaki potansiyel farkın kritik bir değeri aştığı zaman elektrik discharge’ın meydana gelmesi anlamına gelmektedir (Korkmaz,2008).

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

Yüzey özellikleri üzerinde kıvılcım işlemlerinin etkisine dönük bilinen ilk literatür 1924’te Birleşik Devletler Standartlar Ofisine Rawdon tarafından kazandırıldı. Rawdon, nikel ve bakır gibi diğer metallerin benzer işlem gördüğünde sertliklerinde herhangi bir değişim olmazken kıvılcım ile oluşan damlacıkların soğuma sonrası sertliklerinin çok daha sert olduğunu gözlemlenmiştir. (Gould,2011).

1957’de Welsh, Rawdon’un karşılaştığı durumun aynısıyla karşılaştı. Welsh, yüzeydeki sertlik artışının kıvılcım olduğu yerdeki ortamdan etkilendiğini gösterdi. Ayrıca

Welsh, nitrojen ve oksijen gibi bazı atmosferik elementlerin sertlik değişimine katkı yaptığını belirledi (Gould,2011).

Çeşitli araştırmacılar tarafından aşınmaya maruz kalan yüzeylerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış. Zaman içerisinde EKB yöntemi aşınmaya maruz kalan birçok parçanın çalışma ömrünü arttırmak için kullanılan yaygın bir yöntem haline gelmiş ve en önemli yöntemlerden biri olmuştur (Johnson ve Sheldon, 1986).

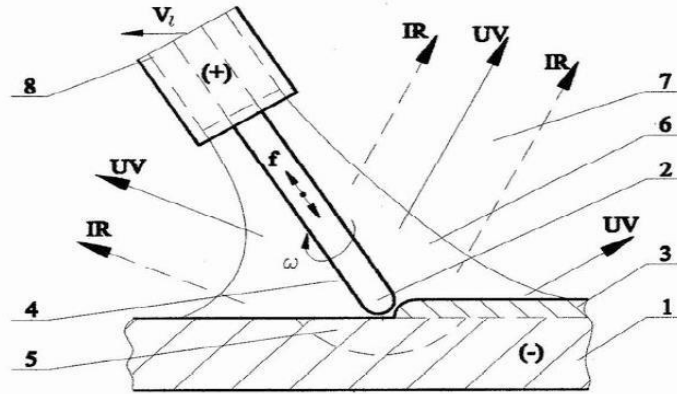
1944'te, torna takımları, matkaplar, frezeler, kalıplar, türbin bıçakları, jantlar, iticiler, eksantrik milleri gibi aşınmaya maruz kalan birçok parçanın hizmet ömrünü arttırmak için Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde sert yüzeyli EKB yönteminin çalışılmış ve uygulanmıştır.1974 yılında Johnson ve arkadaşları, EKB kaplamalarının nükleer reaktör uygulamalarındaki korozyon performansı araştırmaları yapmışlardır. Yapılan çalışmalar ile birlikte, daha iyi kaplama homojenliği, daha düzgün yüzey kaplamaları, işlemin iyileştirilebilirliği, tekrarlanabilirliği ve kontrolü gibi, kaplamaların uygulamalarını artırıcı gelişmeler ortaya çıkmıştır (Tosun, 2020).

### **2.1.2. Elektro Kıvılcım Biriktirme Yöntemi Çalışma Prensi ve Uygulama Şekli**

EKB süreci, temel olarak kaplanan (altlık) malzeme ve elektrot unsurundan oluşur. Belirli bir baskı kuvveti ile uygulanan elektrot, kaplanan malzeme üzerinde işlem yapması için kapasitans, voltaj ve frekans değişkenlerini kullanır. Elektrot ve kaplanan malzeme arasındaki temasla ve elektrot hareketiyle kaplama işlemi gerçekleşir. Elektrot ucu ve kaplanan malzeme arasında yüksek sıcaklıkta bir plazma arkı oluşur. Erimiş elektrot materyali kaplanan malzemeye aktarılır. Elektrotlar arasında elektron, iyon ve nötr atom akışı vardır. Elektrik arkı içinde eritilebilen iletken metal alaşımlar, metal tabakalar üzerinde birikir. Birikme yoluyla oluşmuş yüzeysel tabaka hızlı bir şekilde katılaşır. (Çelik, 2021).

EKB yönteminde gerekli ekipmanlar çok kompakt ve basittir. Yalnızca bir güç kaynağı ve elektrot tutucudan oluşur. Elektrot tutucular el ile kullanılabilir veya bir makineye entegre edilebilir. Bir vakum sistemi veya bir proses odasına ihtiyaç yoktur. (Stacia ve arkadaşları,2001).

Günümüzde teknolojik işlemlerde çeşitli EKB yöntemleri uygulanmaktadır. Bunların oluşturduğu yüzey katmanı, iç ve geometrik yapının karmaşık özellikleri ile karakterize edilir. Yüzey katmanının EKB yöntemi ile yüzey oluşum sistemi Şekil 2.1'de detaylı gösterilmiştir.

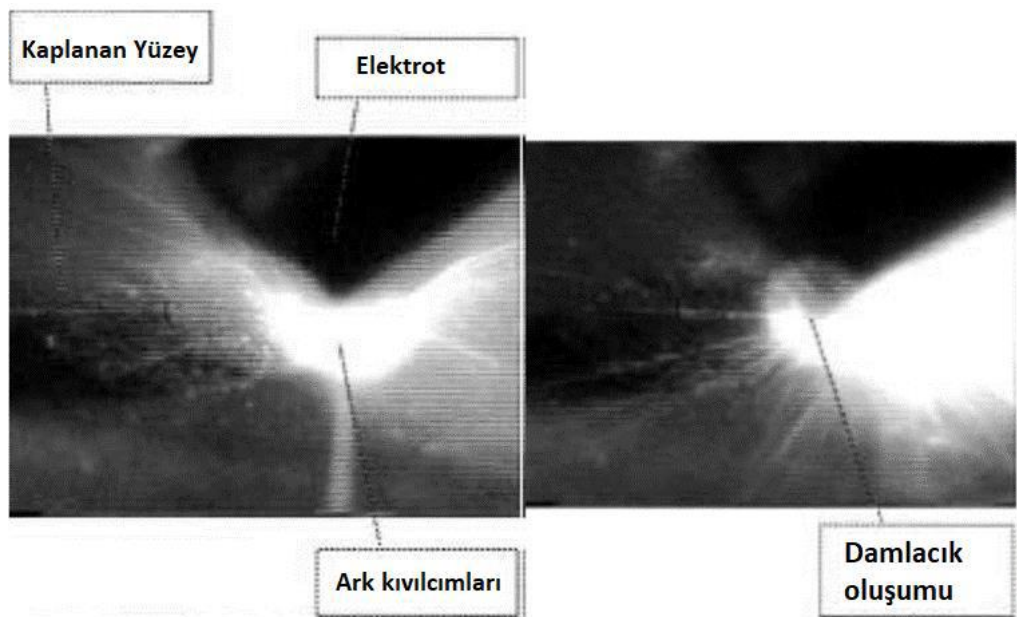


Şekil 2. 1. EKB yöntemi ile yüzey oluşumu

- 1- Baz malzeme katot
- 2- Çalışma elektrodu anot
- 3- Opsiyonel özelliklere sahip kaplama
- 4- Plazma
- 5- Difüzyon veya reaktif difüzyon bölge
- 6- Koruyucu gaz
- 7- Çevreleyen bölge (hava)
- 8- Gaz sağlayan kanallara sahip elektrot tutucu

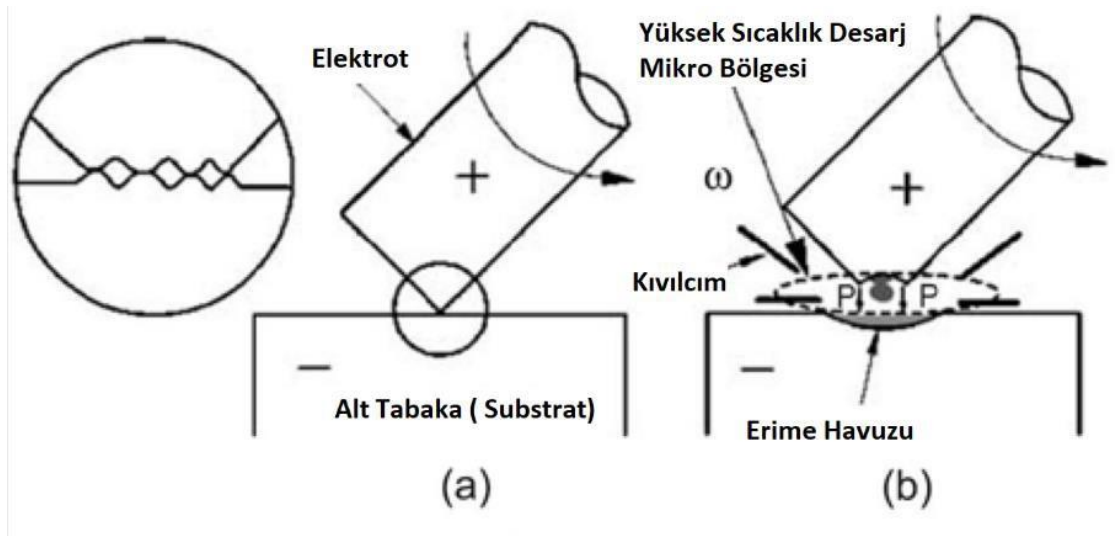
IR: kızıl ötesi radyasyon, UV: ultraviyole radyasyon (Radek ve Bartkowiak, 2010).

EKB yönteminde kıvılcım ve damlacıkların oluşumunu detaylandıran yüksek hızlı görüntüler Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu transfer modu, gaz metal ark kaynağında ki kısa devre transfer moduna benzerdir (Peterkin,2016).



Şekil 2. 2. EKB kaplama esnasında kıvılcım ve damlacık oluşumu (Peterkin,2016)

EKB yöntemi ile yüzey kaplama 4 adım da oluşur. Birinci adım Şekil 2.3.(a) da gösterildiği gibi hareketli elektrot ile kaplanan malzeme (alt tabaka) arasındaki temasıdır. İkinci adım Şekil 2.3.(b)'de elektrot ve malzeme arasında yüksek basınç ve yüksek sıcaklık da bir mikro bölgesi oluşur. Bu bölgede deşarjlar sonucunda elektrotun ucu ve boşaltma bölgesindeki malzeme eriyecek, sırasıyla damlacıklar ve erime havuzu oluşturacaktır. Üçüncü adım Şekil 2.3.(c)'de erime havuzu yüksek sıcaklığa ulaşırken kıvılcımlar erime havuzuna çarparlar ve sıçrarlar. Dönen elektrotun karıştırılması erime havuzunu etkileyerek erimiş metalin hızla fıskırmasını ve sıçramasını tetikler. Sıçrama etkisi tek darbeli elektro kıvılcım biriktirmenin temel özelliğidir. Deşarjlardan sonra orijinal boşaltma bölgesinin sıcaklığı keskin bir şekilde düşer bu da fıskıran ve sıçrayan erimiş metalin hızla katılaşmasına neden olur. Böylece tek darbeli birikme yeri ve sıçramalar üretilir. Şekil 2.3.(d)'de dördüncü adım yüzey kaplama işlemi ile tamamlanır. Dönen elektrotun malzemeye tekrar teması yeni bir darbeli boşaltma döngüsü devam ettirir (Liu ve arkadaşları, 2004).





EKB yönteminde kütle transferinde, kütle aktarım yoğunluğu ve kaplama parametreleri elektrot malzemenin doğasına ve temel malzeme yapısına bağlı olarak değişebilir. Enerji transferi, fiziksel ve kimyasal özelliklere (özellikler, özgül ısı, yoğunluk iletkenliği ve termal transfer katsayısı), atom numarasına ve katot, anot ve çalışma ortamı bileşimindeki elementlerin değerine bağlıdır (Vizureanu ve diğerleri, 2018).

### 2.1.3. Elektro kıvılcım biriktirme yöntemi uygulama alanları

EKB yöntemi ile yapılan sert kaplamalar, yüksek sıcaklıklarda, oksitlenmeye ve korozyona maruz koşullar altında çalışan uzay, havacılık, otomotiv, gibi büyük komponentlere uygulandığı gibi belli başlı küçük komponentlere de uygulanmaktadır (Burkov ve Pyachin, 2015; Liu, Wang, Qian, 2004).

Çok geniş uygulama alanları vardır bunlardan bazıları:

Proses döküm kalıpcılığında olduğu gibi girintili çıkıntılı küçük yüzeylerdeki hataların giderilmesinde ya da malzeme üzerinde zamanla oluşan küçük çatlak, çentik aşınmasının vuku bulunduğu yerlerde kolayca kaynak yapılabilirliği sayesinde EKB uygulanabilmektedir. Kaynak yapılabilirliği zor olan demir ve demir dışı alaşımlarda Şekil 2.5’de görüldüğü gibi uygulanabilmektedir.



Şekil 2. 5. EKB kaplama prosesi ile dişli çark onarımı (weldtech.hu)

Aşınmaya, oksitlenmeye korozyona karşı dirençli yüzeylerde ve Şekil 2.6’da görüldüğü gibi kesici takımlarda veya komponentlerinde, kesici bıçak, döner tamburlarda türbin kanatları gibi alanlarda da uygulanmaktadır.



**Şekil 2. 6.** Tambur üzerine EKB prosesi ile kaplama (prweb.com)

Bunlara ek olarak (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,

Çok büyük boyutlardaki tarım ve tekstil ekipmanların aşınmaya dirençli yüzeylerde uygulanmaktadır.

#### 2.1.4. Elektro kıvılcım biriktirme yönteminin avantajları dezavantajları

EKB yöntemi uygulamaları pek çok avantajlara ve bunun yanı sıra birtakım dezavantajlara da sahiptir.

Bu işlemin ana avantajı, ortam sıcaklığında alt tabakaya düşük ısı girdisi ile metalürjik olarak bağlanmış kaplamaları uygulamasıdır. Bu ısıdan etkilenen bölgeyi azaltır ve alt tabaka malzemesinin özelliklerindeki kimyasal-fiziksel değişiklikleri en aza indirir (Agarwal ve Dahotre, 1997).

Yöntemin bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir (Çakır,2014);

Hızlı soğuma sonucunda son derece iyi, amorf metale yakın ince taneli kaplama elde edilir. Bu yapı çok iyi aşınma ve korozyon özellikleri sağlar.

Yüzeyde metalürjik olarak çok iyi bağlanmış bir yapı oluşur.

Numune hazırlığına veya kaplama sonrası yüzey sonlandırma işlemlerine hemen hemen hiç ihtiyaç duyulmaz.

Proses kolayca tekrarlanabilir, operatörler kolayca alıştırma yapabilirler.

Portatif bir ekipmana ve prosese sahiptir, karmaşık şekilli malzemelere de rahatlıkla uygulanabilir. Maliyeti düşüktür. Hemen hemen tüm metal ve metal alaşımlarına uygulanabilir.

Isı tesiri altında kalan bölge çok küçük bir derinliğe kadar iner. Dolayısıyla altlık malzemesinin özelliklerinde bir değişim olmaz.

Yöntemin bazı dezavantajları ve sınırlamaları şu şekildedir;

Maksimum malzeme kalınlığı malzemeye bağlı olarak 50 ila 250 mikronmetre arasında değişmektedir, yani kaplama kalınlığı düşüktür.

Hızlı soğutmanın sonucunda doğal olarak yüzeyde gerilim gevşeme ve çatlama meydana gelebilir.

Kaplama ve altlık malzemesinin her ikisi de elektriksel olarak iletken olmalıdır.

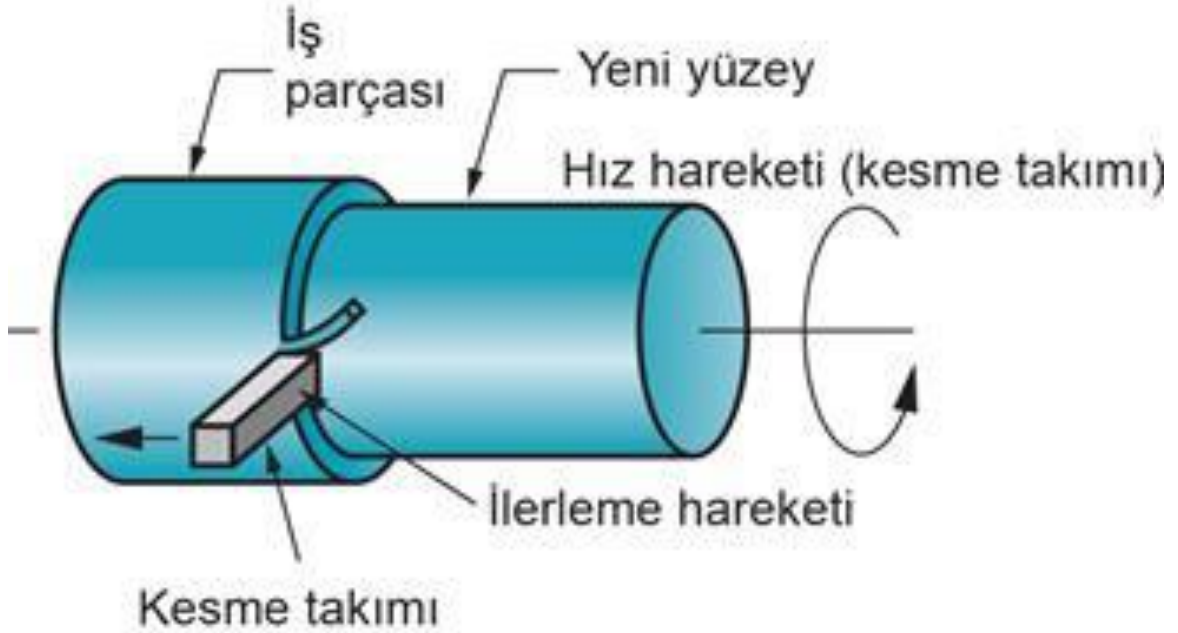
Bazı uygulamalar için kaplama parametrelerinin geniş optimizasyonu gerekebilmektedir.

## 2.2. Tornalama Prosesi

Tornalama işlemi, doğrusal düzlemde hareket eden bir kesici takımın, kendi eksenini etrafında dönen iş parçasından talaş kaldırma işlemidir. (Akkurt 2012).

Silindirik parçaları işlemek için kullanılan bir talaş kaldırma işlemidir. Takım, iş parçası dönerken normalde ana eksen boyunca doğrusal hareket eder. İş parçasının gerçek çapa düşürülmesine imkan sağlar. Aynı zamanda ana eksene dik olarak da hareket edebilir, bu işlem normalde sadece düz yüzeyden malzeme çıkarmak veya toplam uzunluktan belirli bir parçayı çıkarmak için kullanılır (Umbert 2017).

Tornalama işlemi ile silindirik tornalama, alın tornalama, kanal açma, profil tornalama, diş açma gibi işlemler yapılabilmektedir. Tornalama işleminde istenilen sonuç, ana malzeme çapından daha düşük bir çap ve profil olduğu için tornalama işlemi sonrası malzeme ana parçadan daha düşük bir çapta olur. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi iş parçası kendi eksenini etrafında dönerken takım ana eksen boyunca doğrusal hareket eder. Bu da iş parçası üzerinden talaş kaldırarak malzeme çapını azaltır. Yeni yüzey oluşur.

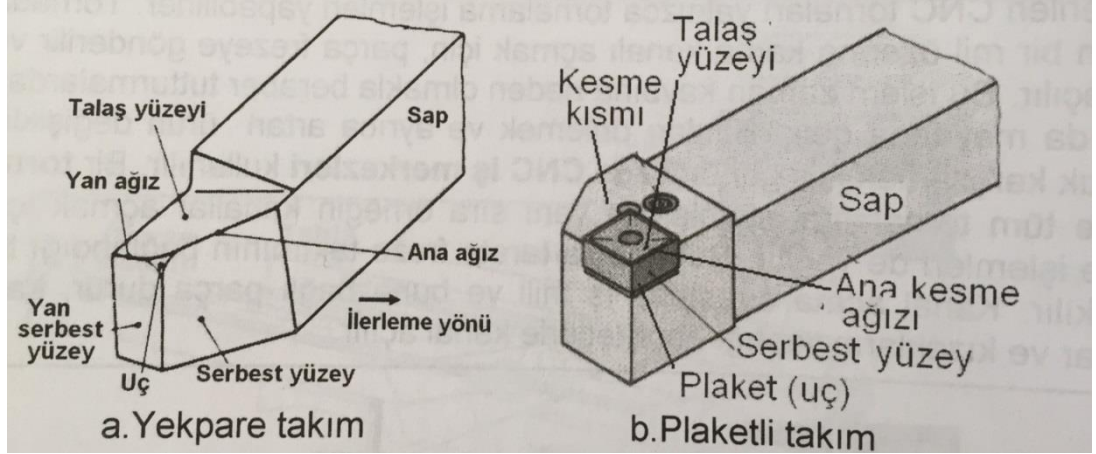


Şekil 2. 7.Tornalama hareketi (Groover 2010).

Tornalama işlemi iç ve dış olmak üzere iki gruba ayrılır. Bunun yanı sıra ilerleme hareketi esas alınarak boyuna ve enine tornalama yöntemleri de vardır. Tornalama ile genellikle silindirik ve konik, dış ve iç yüzeyler işlenir (Groover 2010).

### 2.2.1. Tornalama Takımlarının Geometrisi

Torna takımları tek ağızlı, prizmatik çubuk şeklinde takımlardır. Bunlar Şekil 2.8’de belirtildiği gibi kesici sap ve kesici uç bağlama kısımlarından meydana gelirler.



Şekil 2. 8. Torna takımları (Akkurt 2012)

Sap kısmı takımı, takım tutturma sistemine bağlamak için, kesici uç bağlama kısmı kesici ucu sabitlemek için, kesme kısmı talaş kaldırmak için kullanılır.

Takımın kesme kısmını oluşturan işlem gören yüzey ve kenarlar şunlardır;

Talaş yüzeyi : talaşın parçadan ayrıldıktan sonra aktığı yüzey

Serbest yüzey : parçanın işlenmiş tarafın Abakan yüzey

Ana kesme ağızı : talaş ve serbest yüzeyin kesiştiği kenar

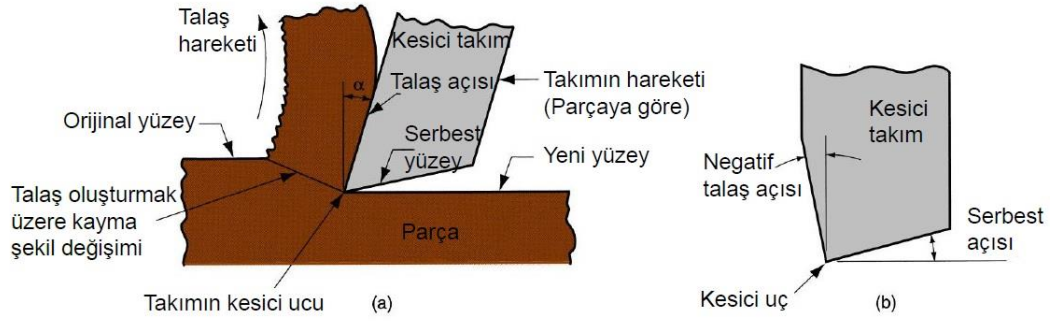
Takım veya kesme kısmının ucu : talaş, serbest ve yan serbest yüzeylerinin kesiştiği noktalardır.

Yan serbest yüzey: serbest yüzeyin karşıtıdır.

Yan kesme ağızı: talaş yüzeyi ile yan serbest yüzeyin kesiştiği kenardır (Akkurt 2012).

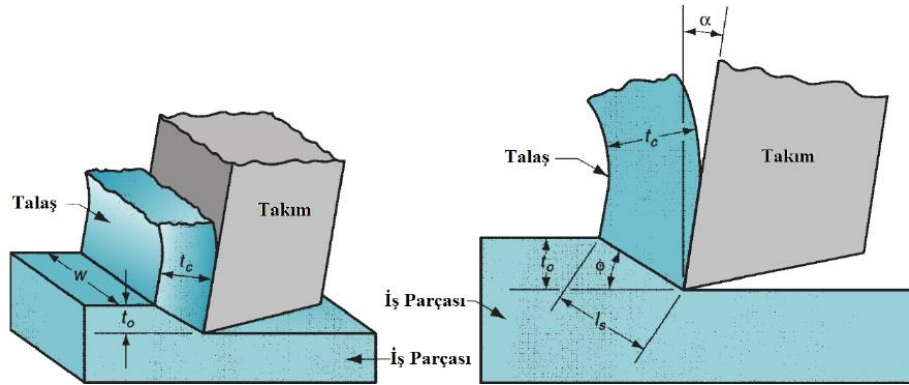
### 2.3. Temel Talaş Kaldırma Prosesi

Talaş kaldırma işlemi, keskin bir uca sahip takım ile güç kullanılarak Şekil 2.9’da talaş oluşumunun kesit görünüşünde görüldüğü gibi gerçekleştirilir. İş parçası üzerinden kaldırılan malzemeye talaş denir. Bir parçanın üzerinden bir malzeme tabakası kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli olması ve takımın malzemedan daha sert olması halinde gerçekleşir (Akkurt 2012).



**Şekil 2. 9.** Talaş oluşumunun kesit görünüşü (Groover 2010).

Talaş kaldırma işleminin temelini dik (ortogonal) kesme mekaniği ve eğik (oblik) kesme mekaniği ile oluşturmaktadır. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işlemi mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (ortogonal) modeli kullanılır. Şekil 2.10'da dik (ortogonal) modeli şematik olarak görülmektedir (Mavi 2013).



**Şekil 2. 10.** Ortogonal kesme işlemi modeli (Kurşuncu 2016).

Ortogonal kesmede, kama şeklindeki kesici takımın kesici kenarı, kesme hızının doğrultusuna diktir. Kesici takımın iş parçası içerisinde ilerlemesi sırasında, kayma deformasyonu sayesinde, kayma düzlemi oluşur ve talaş meydana gelir. Kesme işlemi sırasında, mekanik enerjinin büyük bir kısmı, kayma düzleminde meydana gelen plastik deformasyon için harcanmaktadır (Kurşuncu 2016).

Talaş oluşumundan önceki talaş kalınlığı veya kesme derinliğinin ( $t_0$ ) talaş kalınlığına ( $t_c$ ) oranı daima birden küçük olup talaş kalınlık oranı ( $r$ ) olarak ifade edilir.

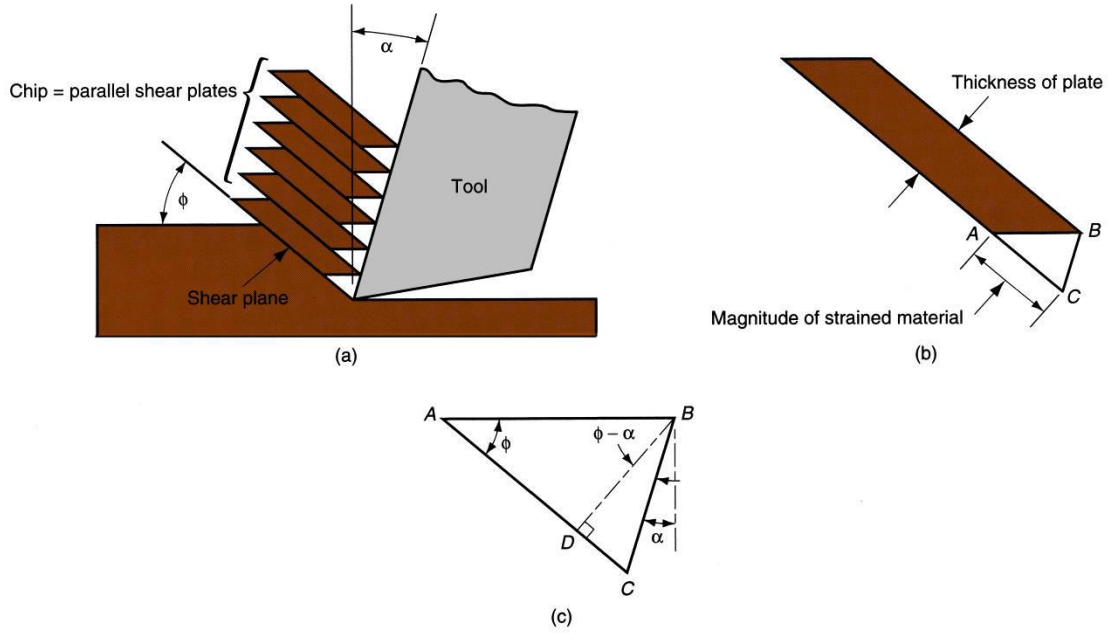
$$r = \frac{t_0}{t_c} = \frac{L_s \sin \phi}{L_s \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \text{ olduğundan } \phi \text{ değeri;}$$

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \text{ şeklinde ifade edilir (Erdin 2011).}$$

### 2.3.1. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Talaş Oluşumu

Talaş oluşumu elastik ve plastik şekil değiştirmeler içeren karmaşık bir prosestir. Talaş oluşması esnasında iş parçası ve takım üzerinde sürtünme, ısınma, deformasyonlar, elastik ve plastik şekil değişimleri meydana gelir. Takım bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırılıp hareket ettirildiğinde takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akmalara başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığında tabaka parçadan ayrılır (Akkurt 2012).

Talaş oluşumu sırasında kesme şekli değişimi, birbirinin üzerinden kayan paralel plakalar serisi Şekil 2.11.(a)'da gösterilmiştir. Bu plakalardan bir tanesi Şekil 2.11.(b)'de üzerinde şekil değiştiren malzeme, üçgen form Şekil 2.11.(c)'de gösterildiği şekilde ifade edilirse, metal kesmede şekil değişimi;



Şekil 2. 11.Kayma düzleminde talaş plakalarının oluşumu (Groover, 2010).

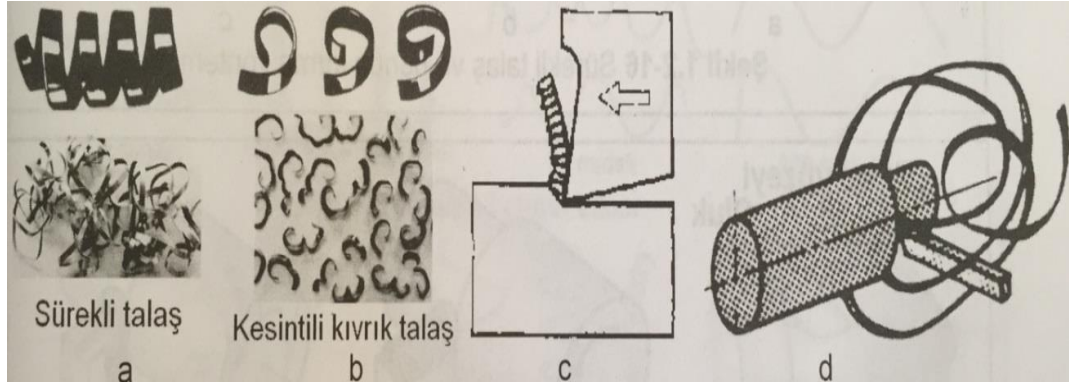
$$\gamma = \frac{AC}{BD} = \frac{AD+DC}{BD} = \tan(\phi - \alpha) + \cot \phi \quad (\text{Groover, 2010})$$

şeklinde ifade edilir. Gerçekte talaş oluşumu, malzemenin cinsine ve talaşlı imalat parametrelerine bağlı olarak her zaman kesilmiş plakalar şeklinde olmaz. Dökme demir gibi kırılğan malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesi durumunda süreksiz talaş oluşumu gözlenir. Sünek malzemeler yüksek kesme hızlarında, düşük ilerleme ve

kesme derinliğinde uzun ve sürekli talaş oluşturur. Bu tip talaşlar ortamdan uzaklaşmadığından ve takıma dolanabildiğinden kırılarak uzaklaştırılmaları gerekir.

### 2.3.2. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Talaş Tipleri

Tabakanın talaş şeklinde parçadan ayrılması parça malzemesinin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Talaşın parçadan ayrılması mekanik kopmadır ve talaşın şekli, malzemenin kopma olayında davranışını yansıtır. Mekanik davranış bakımından malzemeler sünek ve gevrek olmak üzere ikiye ayrılır. Sünek malzemelerde talaş kopmadan önce akma biçiminde şekil değişimine uğrar. Gevrek malzemelerde ise şekil değiştirme göstermeden birdenbire koparlar buna gevrek kopma denir.



Şekil 2. 12. Talaş tipleri (Akkurt,2012).

Talaş çeşitleri Şekil 2.12’de gösterildiği gibi;

- Sürekli talaş (a) ; sünek malzemelerde oluşur.
- Kesintili talaş tipi (b) ; gevrek malzemelerde oluşur.
- Yapışık talaş tipi( c ) ; kesme koşullarının iyi olmadığı durumda sünek malzemelerde meydana gelir.
- Sürekli talaş tipi (d) ; sünek malzemelerde kesme koşullarının iyi olduğu durumlarda meydana gelir. Tek dezavantajı ekipmanlara ya da tezgaha zarar verebilme olasılığıdır (Akkurt,2012).

### 2.3.3. Temel Talaş Kaldırma Prosesinde Kesme Şartları

Talaş kaldırma işleminin üç boyutu vardır. Şekil 2.13’de tornalama prosesinde kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme şematik olarak gösterilmiştir.

Kesme hızı ( $v$ )

$$\text{Kesme hızı } v = \pi d n / 1000 \text{ (mm/dk)}$$

$d$ : Dış çap (mm),  $n$ : dönüş hızı (rpm)

Kesme derinliği ( $d$ ) takımın orijinal parça yüzeyinden aşağıya nüfuziyetidir (Groover 2010).

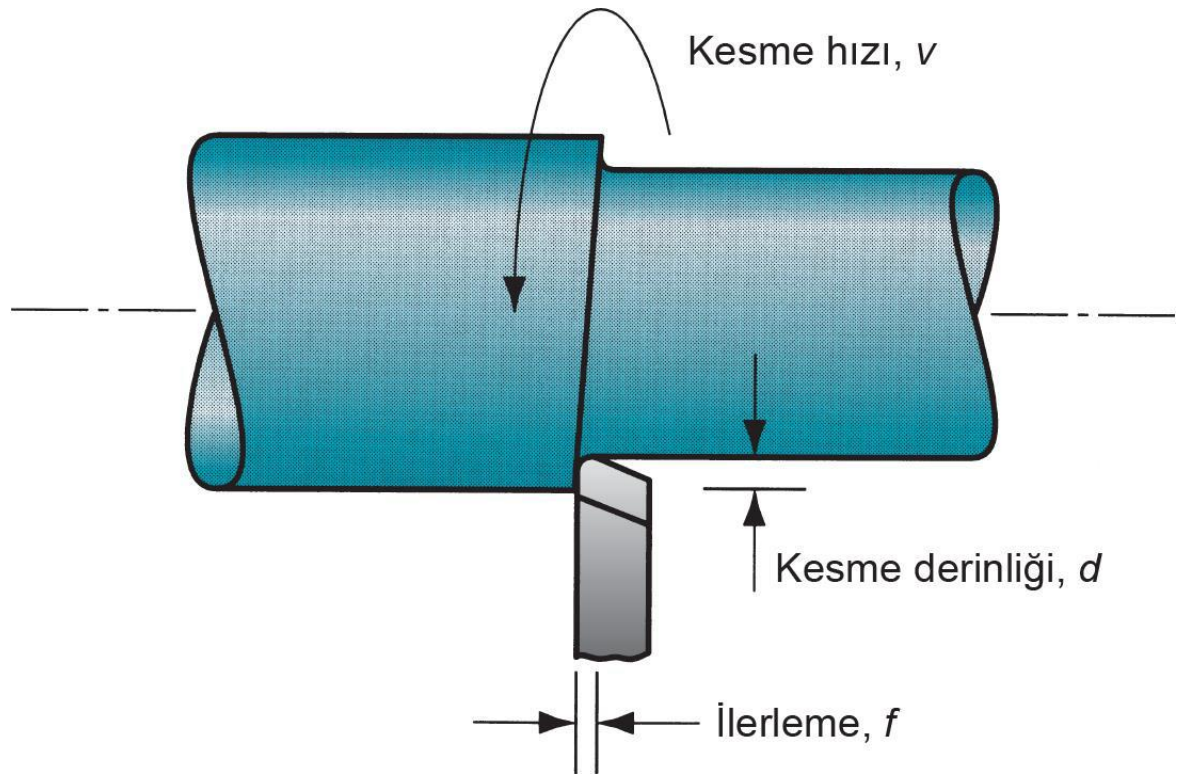
Kaldırılan talaşın debisi;

$$R_{mr} = v f d \text{ (mm}^3\text{/s)}$$

$v$ =kesme hızı (mm/sn) birincil hareket

$f$ =ilerleme (mm) ikincil hareket

$d$ = kesme derinliği (mm) (Erdin, 2011).



Şekil 2. 13. Tornalama kesme hızı, derinlik, ilerleme (Erdin,2011).

## **2.4 Tornalama Prosesinde Kesme Sıvıları ve Kuru Kesme**

### **2.4.1. Kesme Sıvıları**

Talaş kaldırma sırasında kullanılan kesme sıvılarının başlıca amacı, soğutma ve yağlamadır. Soğutma ile kesme esnasında oluşan ısı çevreye iletilir ve ısı miktarını azaltır. Yağlama ile de takımla talaş ve takımla işlenen yüzey arasında ki sürtünme azaltır ve takımın aşınması önlenir. Bu olaylara bağlı olarak kesme sıvılarının etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Takım ömrü uzar,
- Yüzey kalitesi iyileşir,
- Kesme kuvveti ve gücü azalır,
- Isıdan meydana gelen şekil değiştirmeler azalır,
- Ağız birikintisini önler,
- Talaşın uzaklaşması kolaylaşır (Akkurt,2012).

### **2.4.2. Kesme Sıvılarında Doğru Basınç Kullanımı**

#### **7-10 bar (100-150 psi)**

Hassas kesme sıvısı, çelikte ve diğer yaygın kullanılan malzemelerde daha iyi talaş kontrolü ve proses güvenliği sağlar. Hassasiyet özelliği sayesinde, proses güvenliğini koruyarak kesme değerleri yükseltilebilir.

#### **70-80 bar (1000-1200 psi)**

Daha yüksek basınçla, talaş kırılması da elde edebilirsiniz. Hassas kesme sıvısı için tasarlanan geometrileri kullanarak çok daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

#### **150–200 bara (2200–2900 psi)**

Duplex paslanmaz çelik ve HRSA malzemeler gibi işlenmesi zor malzemelerde daha yüksek basınç gereklidir. Hassas kesme sıvısı temini için nozullu takım tutucular ve hassas kesme sıvısı için özel geometriler kullanılması gerekmektedir.(sandvik.com)

### **2.4.3. Kuru Kesme**

Herhangi bir kesme sıvısı kullanmadan tanımlayabileceğimiz kuru kesmenin uygulanabilirliği günden güne artmaktadır. Kesme sıvılarının çevreye ve insan sağlığına zararlarından dolayı aşırı miktarda kullanımı sınırlandırılmıştır. Fakat ıslak kesmenin bazı avantajları kuru kesme de mümkün olmayacaktır. Proseslerde kuru kesme operasyonu ıslak kesme de sağlanan parça kalitesine ve işleme süresine ulaşıldığında kabul edilir (Gündoğdu 2006).

### 3. PROBLEMİN TAYİNİ

#### 3.1. Kesici takımlarda Kesici ucu Sabitlemek için Kullanılan Baskı Pabucunun Aşınma Karakterisliği

Baskı pabucu kesici ucu takım ana gövdeye sabitlemek için kullanılmaktadır. Baskı pabucu sıkma vidası üreticinin belirlediği tork da, tork anahtarı yardımı ile sıkılarak kullanılır. Genellikle DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş olup, 52 HRC sertliğe kadar ısıl işlem uygulanarak kullanılırlar. Şekil3.1’de kesici takım üzerinde, baskı pabucu çeşitlerinden biri görölmektedir.



Şekil 3. 1. Kesici torna kalemi

Kesici uçlar ile malzemedan talaş kaldırılırken, talaş kırıcı kesici uç formlar sayesinde talaş kırılarak baskı pabucuna çok daha az talaş çarparak ayrılır. Fakat düz (flat) tipli kesici uçlarda ve talaş kırıcısız formlu kesici uçlarda talaş kaldırılırken baskı pabucuna ve diğer takım gövde ekipmanlara talaş çarparak ayrılır.

Soğutma sulu işlemlerde bazı sıkma pabucu üzerinden soğutma suyu deliği bulunmaktadır. Şekil 3.2’de göröldüğu gibi sünek talaş kırıcılarda kullanılan talaş kırmalı kesici uç ve soğutma sulu sistemlerde kullanılan baskı pabucunda bulunan delikten basınçlı şekilde soğutma suyu verilerek hem baskı pabucu üzerine talaş gelmesi hem de kesici uç köşesini tam soğutulmuş olması sağlanmaktadır. Bu da mevcutta kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilen sıkma pabucunun görevini yerine getirmesini sağlamaktadır.

○ : Soğutma kanalları



Şekil 3. 2. Soğutma kanallı baskı pabucu (Kyocera 2021).

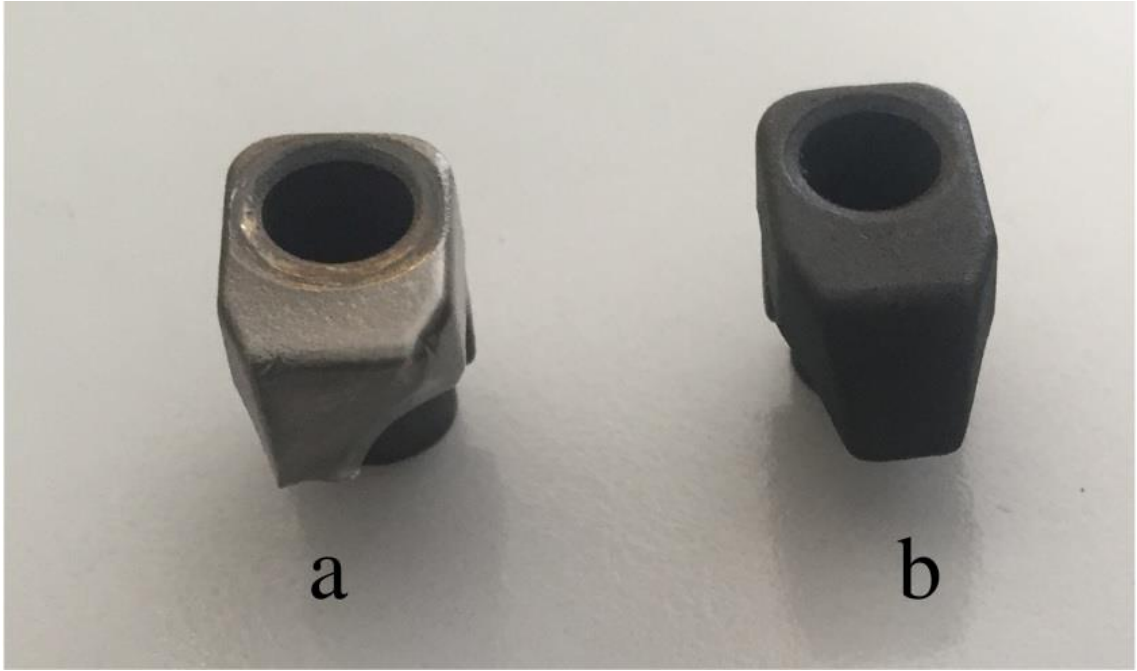
Fakat sünme olmadan kırılğan talaş çıkan ürünlerde ve özellikle kuru işleme operasyonlarında Seramik, CBN ve PCD gibi kesici uçlar kullanılarak talaş kaldırılıyorsa parçadan ayrılan talaş sıkma pabucuna çarparak ayrılır.

Şekil 3.3’de tornalama işlemin de görüldüğü gibi düz CBN kesici uçlarda işlenen üründe kaldırılan talaş baskı pabucuna çarparak ayrılmaktadır.



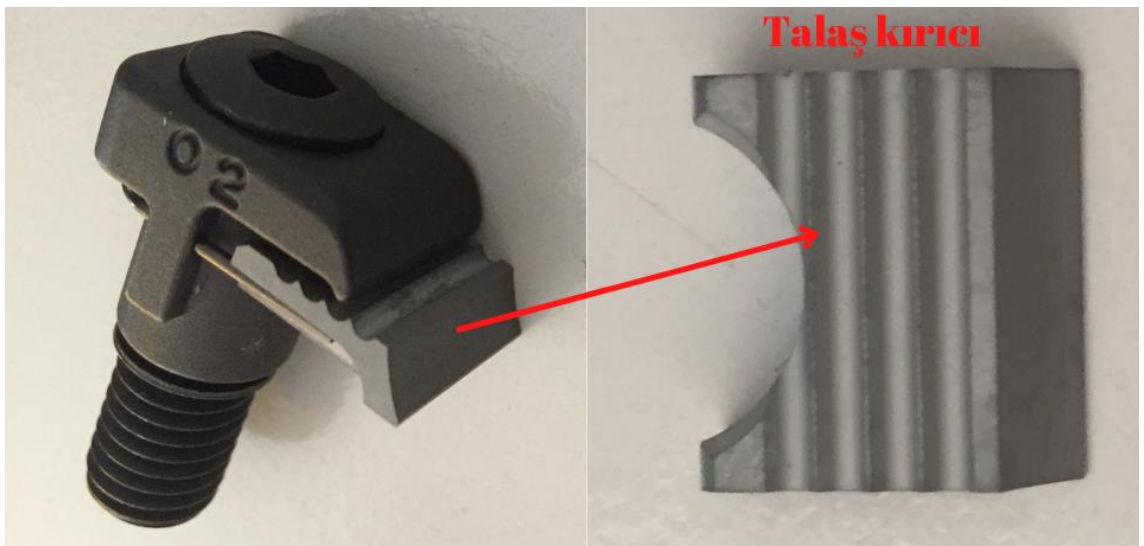
Şekil 3. 3. Tornalama operasyonu (Kennametal).

Burada mevcut kullanımda olan baskı pabucu görevini yerine getiremez. Baskı pabucu üzerinde hızlı aşınma olur. Şekil 3.4’de gösterildiği gibi aşınma gerçekleşmiş işlevini kaybetmiş baskı pabucu(a) , aşınma gerçekleşmemiş baskı pabucu(b).



**Şekil 3. 4.** Aşınmış (a) ve aşınmamış (b) baskı pabucu

Bunun için takım üretici firmalar düz (flat) tipli kesici uçlarda kullanılmak üzere uç üzerine kesici uç üstüne montaj edilebilen Şekil 3.5’de gösterildiği gibi talaş kırıcı (chipbreaker) sistemler kullanmaktadırlar. Fakat burada ki sistem de baskı pabucuna çarpan talaş engellenirken kesici uç üzerine uygulanan sıkma kuvveti azaltılarak kesici uçlarda bir dezavantaja yol açmıştır.



**Şekil 3. 5.** Düz tip uçlar için talaş kırıcı

Yine başka bir takım üreticisi bu problem çözümünde Şekil 3.6'da gösterildiği gibi baskı pabucu üzerine belirli boyut da alanı keserek o alana dikdörtgen biçimli sert metal karbür kaynatmış bu şekilde problemi çözmeye çalışmıştır.



**Şekil 3. 6.** Sert metal kaynatılmış baskı pabucu

Bizim de problem çözümüne yorumumuz DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş baskı pabucu üzerine tungsten karbürü elektro kıvılcım biriktirme yöntemi ile kaplama yaparak baskı pabucunun aşınma karakteristiklerini inceleyeceğiz.

Ayrıca düz tipli kesici uçlarda aynı metot kullanılarak herhangi bir işlem yapılmamış baskı pabucu, kesici uca talaş kırıcı eklenmiş baskı pabucu ve elektro kıvılcım biriktirme yöntemi ile kaplama yapılmış baskı pabuçlarının aşınma testlerini yapacağız.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Kaplama Yapılacak Malzeme

Bu tez çalışmamda, kesici ucu sıkma işlevi gören baskı pabucunun aşınma davranışı iyileştirmek amacı ile DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş baskı pabucunun çalışan yüzeyine tungsten karbür kaplama yapılacaktır.

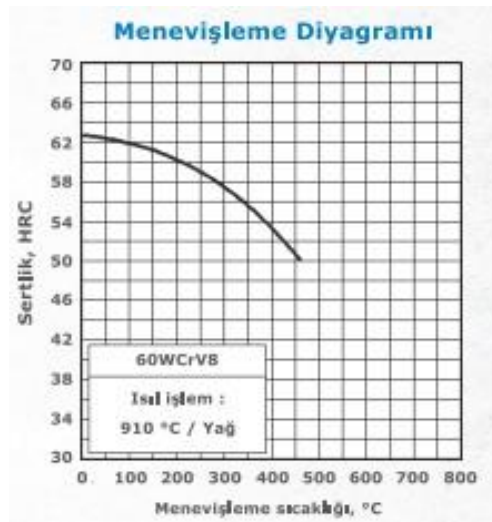
DIN 1.2550 yağda derinlemesine sertleşebilen, volfram elementi içeren orta karbon alaşımlı, darbeye ve çarpışmaya dirençli, yüksek sertlik ve mükemmel tokluğa, aşınma direncine ve kesici kenarlardan parça kopmama özelliğine sahip soğuk iş takım çeliğidir (ozct.com). Tablo 4.1’de baskı pabucu içindeki kimyasal kompozisyonu ve Tablo 4.2’de mekanik özellikleri görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.1’de DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin menevişleme-sıcaklık diyagramı ve Tablo4.3’de menevişlemeye bağlı sıcaklık sertlik tablosu verilmiştir.

**Tablo 4. 1.** DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Kütlece % kimyasal kompozisyon							
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	W
Ağırlıkça (%)	0,55-0,65	0,55-0,70	0,15-0,45	0,030	0,030	0,90-1,20	1,70-2,20

**Tablo 4. 2.** DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin ısıtım işlem bilgileri

Sıcak Şekil Sıcaklığı (°C)	Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (°C)	Gerilim Alma (°C)	Tavlama Sonrası Sertlik	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)
1050-850	710-750	650	Max 225HB	870-910



**Şekil 4. 1.** DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği menevişleme diyagramı

**Tablo 4. 3.** DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin menevişlemeye bağlı sıcaklık sertlik

100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
60 HRC	59 HRC	56 HRC	53 HRC

Kalınlığı 12 mm'ye kadar her türlü soğuk sac kesme kalıpları, zımbalama, delme, kabartma ve bükme kalıpları, soğuk şekil verme ve şişirme kalıpları, dairesel ve yatay kâğıt, metal ve yontma bıçakları, ağaç işleme takımları, iticiler, desen kalıpları, basınçlı hava ile çalışan aletlerin kesikleri ve takımları, sıcak zımbalama ve dövme kalıpları, soğuk ve sıcak makas bıçakları, metal para basma kalıpları, çapak alma kalıpları ve makina parçaları, tablet sıkıştırma takımları alanında kullanılmaktadırlar. (ozct.com).

#### 4.1.2. EKB Kaplama Makinesi

Baskı pabucu numuneleri huys marka 6300 model numaralı elektro kıvılcım makinesi, ekipmanları ve argon gazlı ortamda EKB işlemi manuel olarak metal yüzeylere farklı faz ve voltajlarda yapılmıştır. Huys 6300 EKB makinesini çıkış voltajı 140 VDC, maksimum kapasitans 310µF, maksimum pulse enerjisi 3038J, frekans aralığı 10-500 Hz özelliklere sahiptir ve Şekil 4.2'de görülmektedir. Tungsten karbür, titanyum karbür, nikel süper alaşımlar, alüminyum, magnezyum, kobalt, molibden alaşımlarını alt tabaka üzerine kaplayabilme özelliğine sahiptir.



Şekil4. 2. Huys marka elektro kıvılcım makinesi (huysindustries.com).

#### 4.1.3. Spektrometre ile Malzeme Analizi

Metalik malzemelerin optik emisyon spektrometre cihazı ile kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için bu test uygulanır. Bilinen tüm elementler elektrik akımına maruz bırakıldığında farklı özelliklerde ışımalar yapar. Bu ışımalar ise spektrometre cihazı ile analiz edilerek incelendiğinde her elementin kendine özgü spektrum çizgisinin olduğu görülür. Belirtilen bu özelliklere göre metalik malzemelerin içerisindeki elementler ve miktarlar belirlenir (tuvsila.com).

Bu testler için kullanılacak cihaz Şekil 4.3’de görüldüğü gibi Foundry- master pro spektrometre cihazıdır.

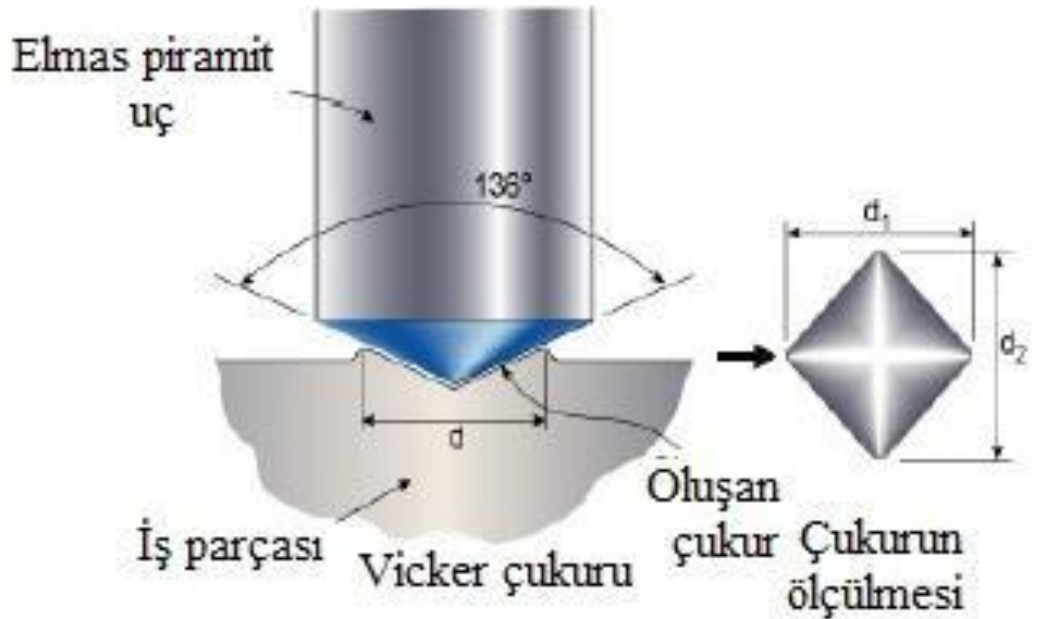


Şekil 4. 3. Foundry-master pro spektrometre cihazı

#### 4.1.4.Sertlik Ölçme

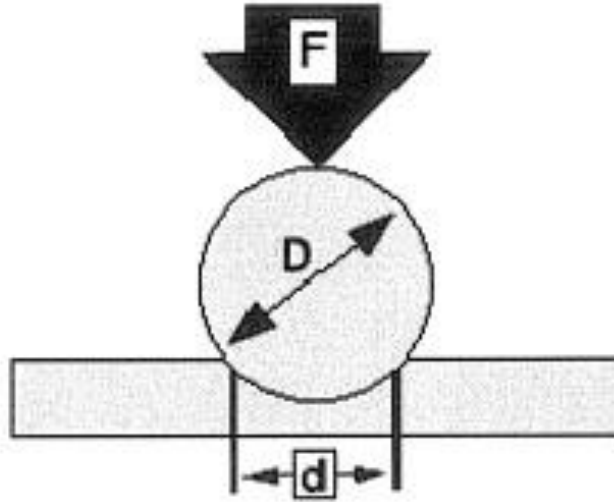
Vickers sertlik ölçümü özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerinin ölçülmesi için uygundur ve Şekil 4.4'de görülmektedir. Sertleştirilmiş ve kaplanmış yüzeylerin sertlikleri de bu yöntemle belirlenebilir. Ayrıca, malzeme içyapısında bulunan çeşitli fazların ve bölgelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülür. Bu yöntemde batma derinliği genellikle 1 mikronu geçmez. Mikro sertlik ölçüm cihazı hassas bir cihaz olup, kontrolü otomatik olarak yapılır. Makro sertlik ölçüm cihazlarından farklı, sistemin komple bir metal mikroskobu içermesidir. Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerden net görüntü alıncaya kadar tabla hareket ettirilir. Daha sonra, sertlik ölçülecek bölge seçilir ve düğmeye basılarak otomatik olarak yükleme yapılır. Böylece numune üzerinde bir iz elde edilir. İzin boyutları genellikle el ile ayarlanan bir sistemle belirlenir. Numuneler mikro sertlik deneyinin yapılacağı tablanın üzerine konulmaktadır (Bozkurt,2018).

Mikro Sertlik cihazının ucu yaklaşık 15 saniye boyunca 4.9 Newton ve HV0,5 kg yük uygulayacak şekilde numunenin üzerinde kalmaktadır. Uç otomatik olarak geriye döndükten sonra numune üzerinde yaklaşık pramit şeklinde bir iz elde edilmektedir. Bu izin boyutlarını ölçmek için mikroskop tablası manuel olarak numune üzerine getirilerek köşegenler üzerinden ölçüm gerçekleştirilir. Elde edilen değerler girildikten sonra numunenin mikro sertlik değeri bulunmaktadır.



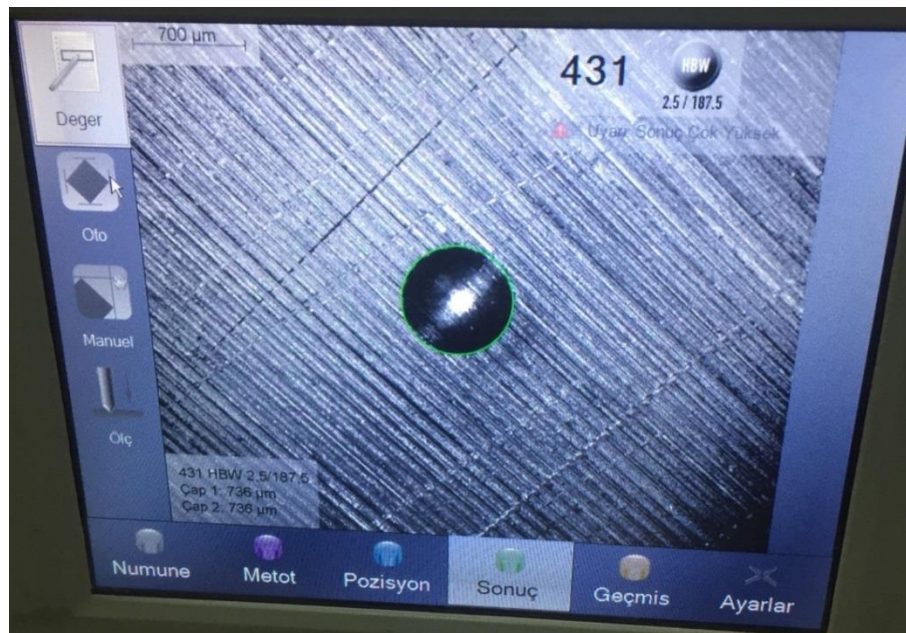
Şekil 4. 4. Vickers sertlik ölçüm gösterimi

Brinell sertlik yüzeye belirli bir yükün, belirli çaptaki sert bir malzemedен yapılmış bir bilye yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirmek esasına dayanır ve Şekil 4.5’de görülmektedir. Daha sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesi Brineel sertlik değeri elde edilir.



**Şekil 4. 5.** Brineel sertlik ölçüm gösterimi

DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş olup ısıtılmış ve ısıtılma işlemi uygulanmış baskı pabucunun sertliği Şekil 4.6’da görüldüğü gibi 431 HB dir. Brinell sertlik deneyinde malzeme üzerine 187.5kg yük 2.5sn uygulanmıştır. TS EN ISO 18261 metalik malzemelerin sertlik değerlerinin çevrim tablosuna göre 432 HB sertlik karşılığı 45 HRC denk gelmektedir. Mevcutta endüstride kullanılan baskı pabuçlarına 52 HRC sertliğe kadar ısıtılma işlemi uygulanarak kullanılmaktadır.



**Şekil 4. 6.** Isıtılma işlemi görmüş baskı pabucunun sertliği

#### 4.1.5. Kaplanmış Numunelerinin Metalografik İşlemleri

Tungsten karbür kaplama yapmış olduğumuz numunelerde mikro yapı analizi yapabilmek için Şekil 4.7'de kaplama numuneleri metacut kesme makinesinde yaklaşık 8-10mm boyutlarında kesildi



Şekil 4. 7. Metacut251 numune kesme makinesi

Kesilen numuneler mikro yapı incelenmesi için sıcak bakalit alma yöntemi ile hazırlandı. Sıcak bakalite alma işlemi, numuneyi uygun reçine ile beraber bir silindir içine yerleştirdiğiniz Şekil 4.8'de gösterildiği gibi bakalite alma presi kullanılarak gerçekleştirildi. Numunenin kalıplanması esnasında 200 C<sup>o</sup>'ye kadar çıkan bir sıcaklık ile 50 kN'a kadar çıkan bir güç uygulandı.



Şekil 4. 8. Ecopress50 sıcak bakalit alma cihazı

Bakalit alınan numuneler metkon marka zımparalama ve taşlama cihazında zımpara ve taşlama işlemlerine tabi tutuldu. Zımparalama ve parlatma işlemi ortalama 150-450 dev/dk hızında dönen disklerde gerçekleştirildi. Numuneler sırasıyla 250'lik zımpara kağıdından başlamak üzere 1000'lik zımpara kağıdına kadar uygulandı.



**Şekil 4. 9.** Forcimat zımparalama ve taşlama makinesi

Kimyasal dağlama işleminde çeşitli kimyasal maddelerin karışımından oluşan ve her malzeme için farklı dağlama ayırıcı ve dağlama reaktifi kullanılır. Ayırıcılar su, alkol, gliserin, glikol veya bunların karışımından oluşan çözücüler çeşitli asit alkali veya diğer kimyasal karıştırılması ile elde edildi (Arslan 2005).

Parlatılan numuneler saf alkol ile yıkanıp basınçlı hava ile kurutulduktan sonra son olarak %3 Nitrik asit (nital) dağlayıcı ile yaklaşık 5-6 sn dağlanan numuneler tekrar basınçlı hava ile kurutulup mikro yapı analizi için optik mikroskopta incelemeye alındı.

En son olarak numuneler resim 4.4de görülen zeiss marka optik mikroskop cihazında mikro yapı incelemeleri yapıldı.



**Şekil 4. 10.** Zeiss optik mikroskop cihazı

Ayrıca mikroskop da EKB yöntemi ile kaplama yapılan baskı pabucu numunelerinin 400x büyütmede kaplama kalınlıkları çizelge halinde gösterildi. Burada EKB yönteminde farklı voltaj ve frekanslarda kaplama yapıldı. Ayrıca voltaj ve frekans değişikliklerine bağımlı olarak kaplama kalınlığı değişip değişmediği incelendi.

#### 4.1.5. Aşınma Testleri

Elektro kıvılcım biriktirme metodu ile baskı pabucu kaplanmış, diğer üretici tarafından baskı pabucuna karbür kaynatılmış, talaş kırıcı eklenmiş ve hiçbir işlem olmamış baskı pabuçları aynı kesme şartlarında OSP 7000L kontrol ünitesine sahip okuma LB-25 sanayi tipi CNC yatay torna tezgahında test edildi. Tesler de işlenecek malzeme cinsi: GG25 gri dökme demirdir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 4.4'de gösterildiği gibidir.

Malzeme sertliği: 220-250HB aralığındadır.

**Tablo 4. 4.** GG25 dökme demirin kimyasal kompozisyonu

Kütlece % kimyasal kompozisyon								
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Ağırlıkça (%)	3,19	2,06	0,57	0,31	0,027	0,35	0,10	0,20



**Şekil 4. 11.** Okuma marka cnc yatay torna tezgahı

**Tablo 4. 5.** Okuma kontrol ünitesi LB-25 tezgahı özellikleri

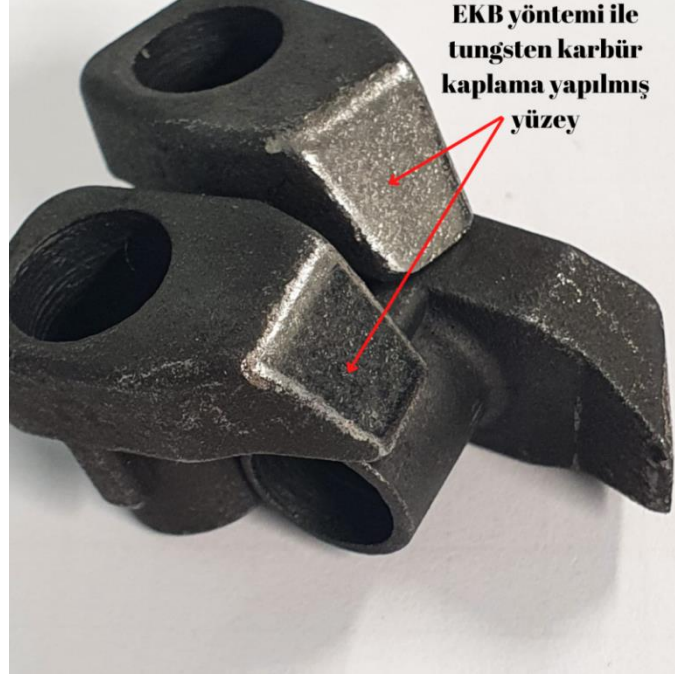
Maksimum tornalama çapı (mm)	460	Ana (spindle) motor(kW)	30
Maksimum tornalama boyu (mm)	850	Eksen motoru (kW)	3,5
Ayna çapı(mm)	310	Kontrol ünitesi	OSP 7000L
Taret istasyon sayısı (adet)	12		

Aşınma ölçüm yöntemi olarak testlerde en çok kullanılan ağırlık farkı metodu ya da mikroskop altında aşınan yüzey ölçümü uygulandı.

## 4.2. Yöntem

### 4.2.1. EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama

Aşınmaya maruz baskı pabucu üzerine EKB yöntemi ile 60V 40 $\mu$ F 100hz frekans değerlerinde kaplama işlemi gerçekleştirildi. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği yüzeyine EKB yöntemi ile uygun kaplama yapılabildiği ve düşük yüzey pürüzlülüğü sahip baskı pabuçları Şekil 4.12’de görülmektedir. EKB kaplama en önemli avantajlarından biri de küçük ve eğilimli yüzeylere ve bölgesel olarak kaplama yapılabilmesidir ve bu da Şekil 4.12’de görülmektedir.



**Şekil 4. 12.** EKB yöntemi ile kaplama yapılmış yüzey

#### **4.2.2. EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılmış baskı pabuçlarının metalografik işlemleri**

Kaplama yapılmış baskı pabuçlarından metacut kesme makinesinde Şekil 4.13'de gösterildiği gibi dikey olarak numune kesildi. Makine ve kesilecek metaryal boyutuna uygun taş çapı ve kalınlığı seçilerek kesme işlemi uygulanmaktadır. Kaplama yapılacak numune kesilmesinde kullandığımız Ø230mm ve kalınlık 1,80mm sahip kesme taşı kullanıldı.



**Şekil 4.13.** Metacut kesme makinesinde numune kesimi

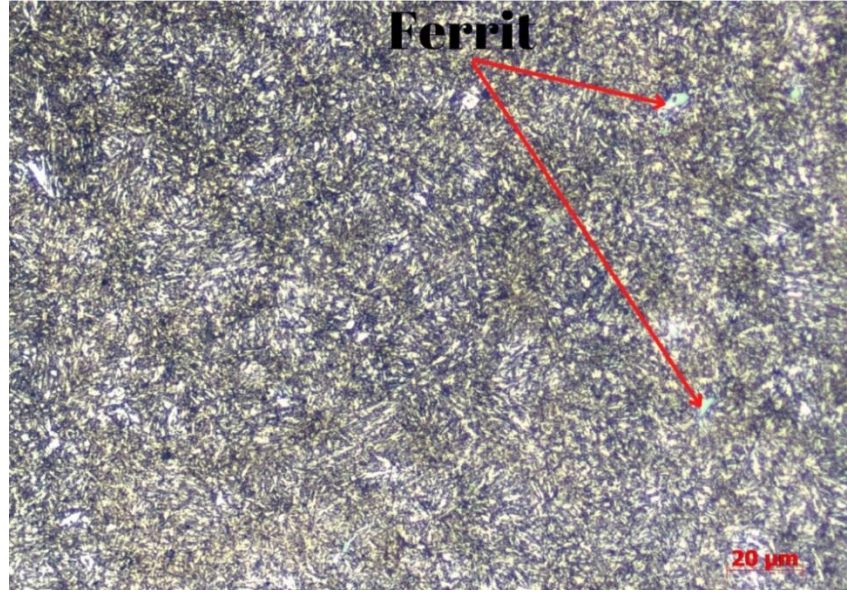
Daha sonra bakalit numune almak için 200 C°'ye ulaşan sıcaklıklarda 50 kN'luk bir yük uygulanarak 10 dakika süre ile baskı işlemine tabi tutuldu. Formicat zımpara ve taşlama makinesinde ilk olarak 250'lik sonra 600'lük en sonda 1000'lik zımpara kağıdı ile numuneler zımparalanıp parlatıldı.

Parlatılan numuneler saf alkol ile yıkanıp basınçlı hava ile kurutulduktan sonra son olarak %3 Nitrik asit (nital) dağlayıcı ile yaklaşık 5-6 sn dağlanan numune tekrar basınçlı hava ile kuruduktan sonra optik mikroskopta içyapı incelendi. İçyapı analizi için bakalite alınmış bir numune örneği Şekil 4.14'de görülmektedir.



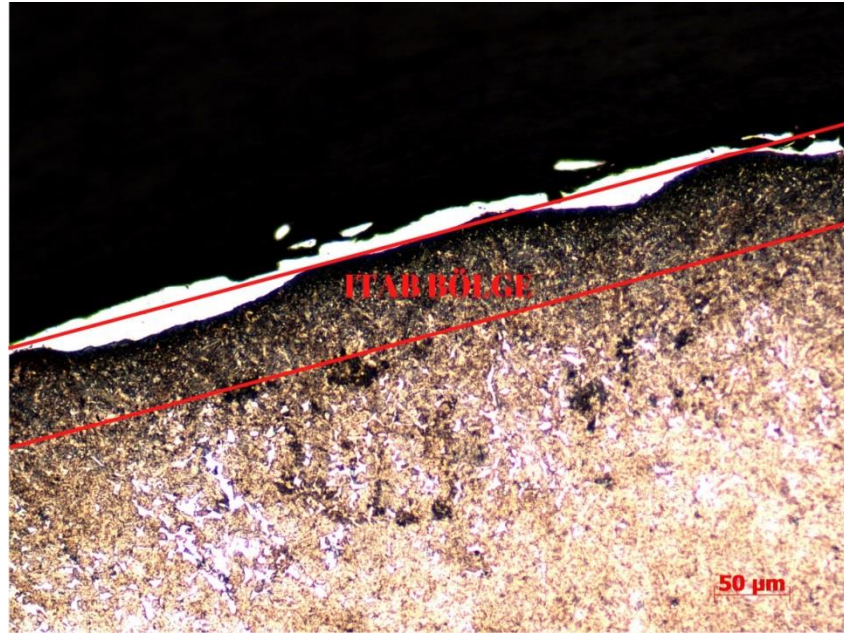
**Şekil 4.14.** Bakalite alınmış numune

Zeiss optik mikroskobunda 20x büyütme ile DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği 46 HRC sertlik uygulanmış yapısı incelendiğinde Şekil 4.15 de görüldüğü gibi saman demeti dağılımında beynit yapı dönüşümü ile sıkı ve kararlı bir yapı oluştuğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.15.** DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğın sertleştirilmiş yapısı

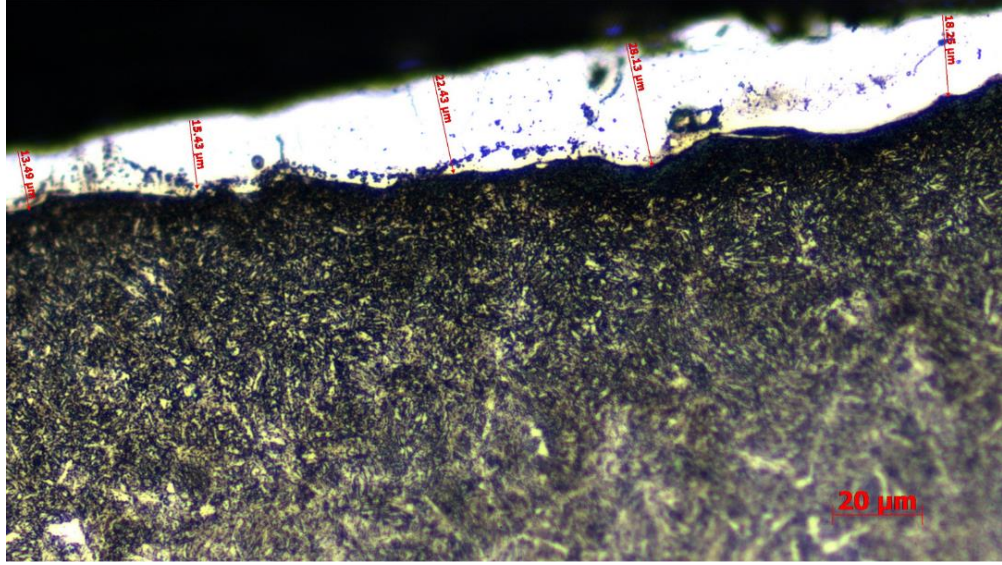
Optik mikroskop 50x büyütme de 20µm kalınlıkta tungsten karbür kaplama alanı incelendiğinde ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) Şekil 4.16’da gösterildiği gibidir. EKB yöntemin avantajlarından biri olan ITAB bölge malzeme içinde çok küçük bir derinliğe kadar indiği ve malzeme içyapısının kimyasal değişimlerden çok etkilenmediği görülmektedir. Karbon atomların çok fazla kümeleşmediği görülmektedir.



**Şekil 4.16.** 20µm tungsten karbür kaplama ITAB bölgesi

Optik mikroskop cihazı ile 20x büyütme de kaplama kalınlığı ortalama 20µm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.17’de mikroskop altında tungsten karbür kaplama kalınlığı ölçümlerinde gözüktüğü gibi kaplama kalınlığı dağılımı heterojendir. Bunun başlıca

sebebi EKB yöntemi ile kaplamanın manuel el aplikatörü ile yapılmasından kaynaklanmaktadır.

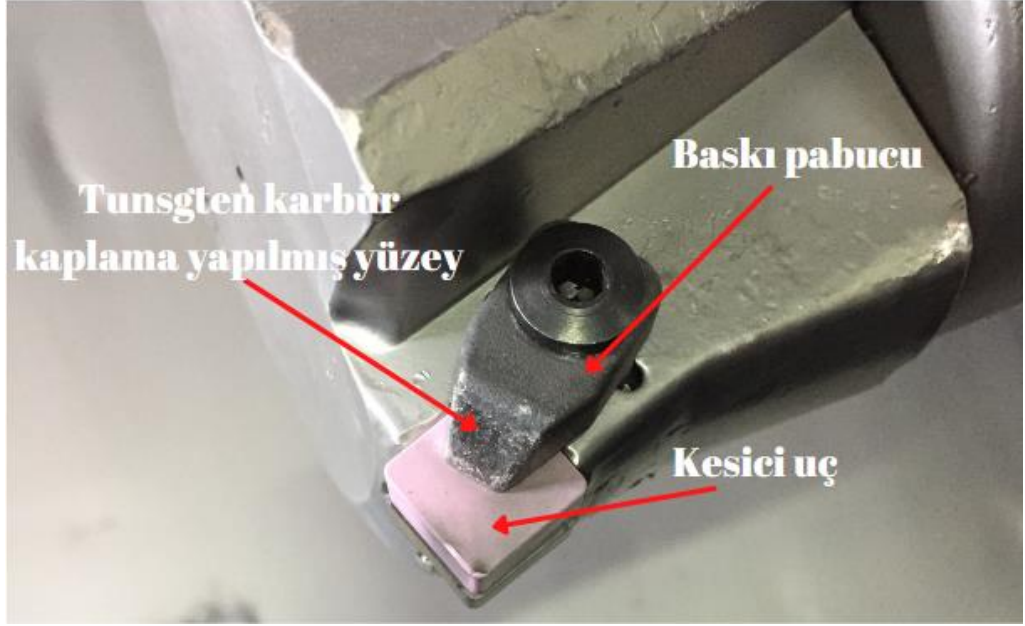


**Şekil 4.17.** Tungsten karbür kaplama kalınlık ölçümü

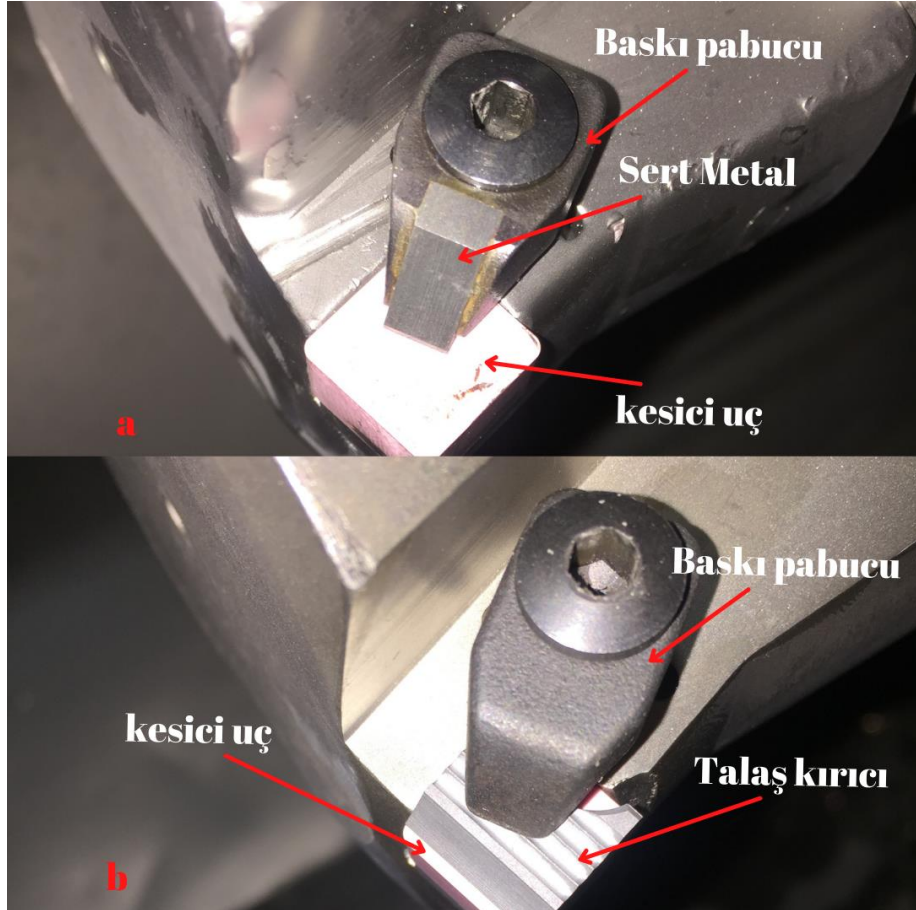
#### 4.2.3. Aşınma ve Karşılaştırma Testleri

Kullanılan metaryel OKUMA marka LB-25 CNC yatay torna tezgahı kullanılmıştır. CSKNR iç çap baralama katerine NTK marka SNGN 120712 HW2 T02020 kesici uç bağlandı. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılmış baskı pabucu ile sıkılmıştır.

CSKNR iç çap baralama katerine NTK marka SNGN 120712 HW2 T02020 Şekil 4.18 (a)’de görüldüğü gibi sert metal kaynatılmış baskı pabucu ve Şekil 4.18 (b)’de CSKNR iç çap baralama katerine NTK marka SNGN 120712 HW2 T02020 baskı pabucu altına eklenmiş talaş kırıcı sistem gözükmemektedir. İlk aşınma testimizi 20 µm tungsten karbür kaplı baskı pabucu numunesi, 35 µm tungsten karbür kaplı baskı pabucu ve kaplamasız baskı pabucu, talaş kırıcı eklenmiş baskı pabucu ile gerçekleştirdik. 150 adet gri dökme demir malzemenin iç çapından talaş kaldırdık. Tüm baskı pabuçlarında oluşan aşınma derinlik boylarını ölçtük. Diğer numuneler Şekil4.18’de ve Şekil4.19 da görüldüğü gibi tekrar montaj edildi. Aynı tezgah ve aynı şartlarda 300 adet gri dökme demir malzemesi işlendi ve baskı pabuçlarında oluşan aşınma derinlik boylarını ölçtük. Aynı parametreler ile ara katman eklenerek yaptığımız tungsten karbür kaplamalı numuneleri, kaplamasız numuneleri ve ara katman kullanmadan yapılan tungsten karbür kaplamalı numuneler ile gerçekleştirdik. 150 ve 300 adet gri dökme demir malzemenin iç çapından talaş kaldırarak baskı pabuçlarında oluşan aşınma derinlik boylarını ölçtük.



Şekil 4.18. Tungsten karbür kaplama yapılmış baskı pabucu

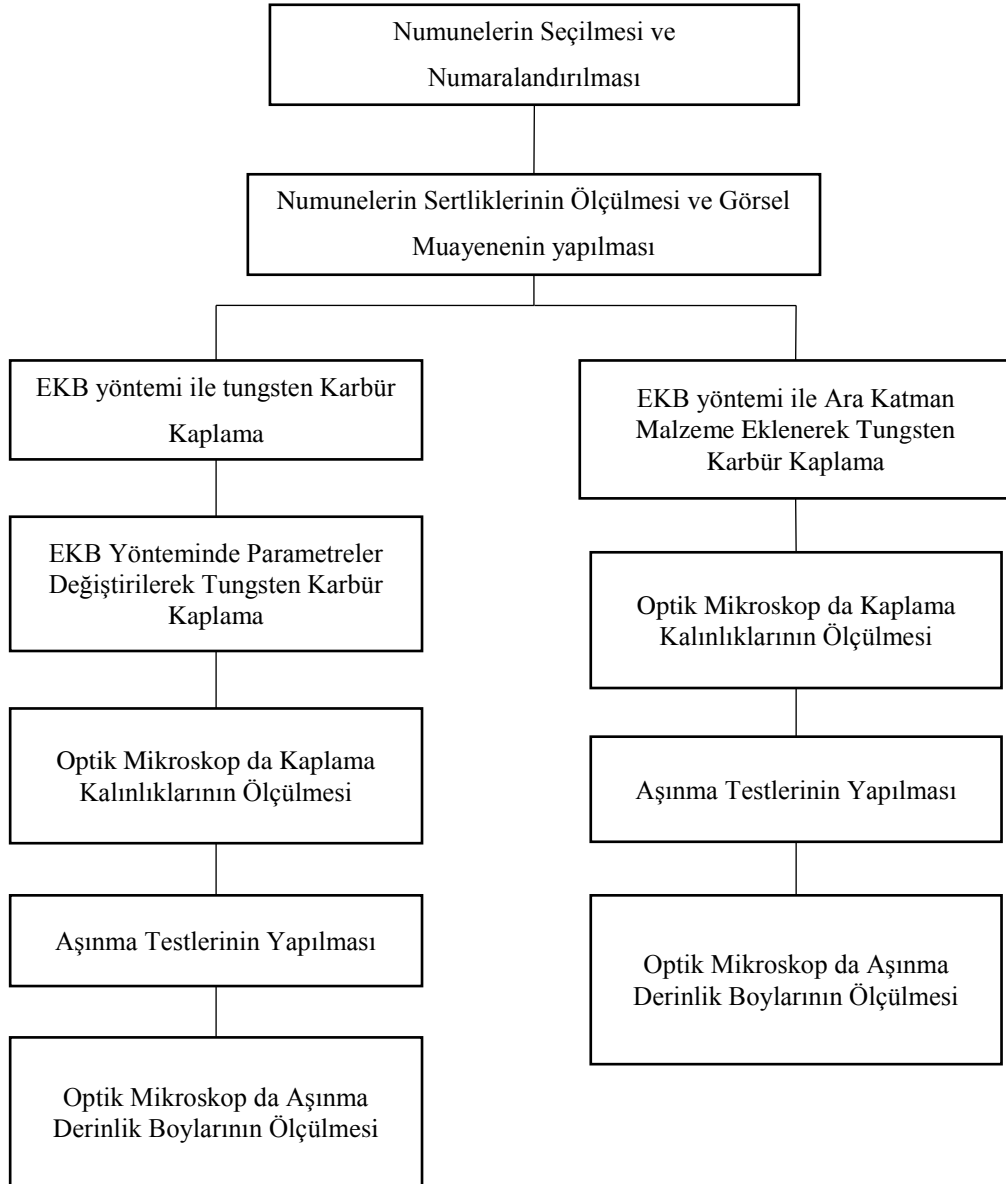


Şekil 4.19. Baskı pabuç numuneleri

## 5. ARAŞTIRMA VE SONUÇLARI TARTIŞMA

Bu çalışmamda endüstride yaygın olarak kullanılabilen potansiyel olduğu düşünülen elektro kıvılcım biriktirme yöntemi ile DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin üzerine EKB yöntemi uygulanarak tungsten karbür kaplama yapıldı kimyasal değişim ve özellikleri incelendi. Ayrıca test aşamalarında endüstride mevcut kullanılan, baskı pabucu altına talaş kırıcı eklenmiş sistemler ile karşılaştırmalı testler yapıldı.

Aşağıda şemada görüldüğü gibi, EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılacak numunelerin seçilmesi ile başlayan işlem sırası aşınma derinlik boylarının ölçülmesi ile son bulmaktadır. İlk olarak kapasitans sabit tutularak frekans ve voltaj artırıldı sonra aynı Frekans, voltaj ve kapasitans uygulanarak ara katman malzemesi eklenip tungsten karbür kaplamalar yapıldı. EKB yönteminde uygulanan işlem parametreleri Tablo 4.3’de görülmektedir.

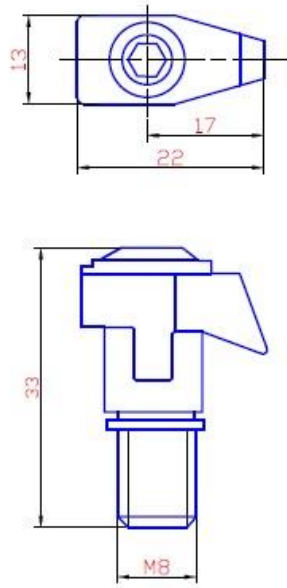


**Tablo 5.1.**EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama işleminde kullanılan parametreler

Uygulanan Frekans (Hz)	Uygulanan Voltaj (V)	Uygulanan Kapasitans ( $\mu$ F)	Ara Katman Malzemesi	Örtü gazı
300	40	60	Yok	Argon
300	80	60	Yok	Argon
300	40	60	Yok	Yok
300	40	60	Inconel 625	Argon
300	40	60	Inconel 718	Argon
300	40	60	Armor 500	Argon
300	40	60	Ramor 500	Argon

### 5.1. Kaplama Test Sonuçları

Şekil5.1’de ölçüleri verilen DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş baskı pabucu üzerine EKB yöntemiyle 300 Hz, 40 V ve 60  $\mu$ F kapasitans uygulanılarak 20  $\mu$ m tungsten karbür kaplama kalınlığına erişildi. Tungsten karbür kaplama sertliği 1243 HV<sub>0.05</sub> olarak ölçüldü. Daha önceki kaynaklarda voltaj ve frekans arttıkça aynı oranda tungsten karbür kaplamanın arttığı ifade edilmiştir. Buradan bilgi sağlanarak 300 Hz, 80 V ve 60  $\mu$ F kapasitans uygulanarak 35  $\mu$ m tungsten karbür kaplama kalınlığına ulaşıldı. Tungsten karbür kaplama sertliği 1291 HV<sub>0.05</sub> olarak ölçüldü.



**Şekil 5. 1.** Baskı pabucu ölçüleri

Voltaj ve frekans artırılarak kaplama kalınlığının da doğru orantıda arttığı görüldü ve aşınma testleri yapıldı. Sonrasında ara katmanlar (interlayer) eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplamalar yapıldı ve aşınma testleri incelendi. Şekil5.2’de EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu numuneleri görülmektedir.



**Şekil 5. 2.** EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabuçları

## 5.2. Kaplama kalınlığına Bağlı Aşınma Test Sonuçları

Aşınma deneylerinde 150 ve 300 adet parça numune işlenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan, baskı pabuçları test edildi. İlk olarak 20 um tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu ve 35 um tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu aşınma testleri yapıldı. Aşınma testlerinde kullanılan ürün malzemesi gri dökme demir (GG25) dir.

İşlenecek ürünün ölçüleri Şekil 5.3'te görülmektedir. Talaş kaldırılan çap ölçüsü 136,80 mm ve kaldırılan talaş miktarı (tek paso)  $ap=1.5\text{mm}$ 'dir. Test için kullanılan tezgahın özellikleri Tablo4.4'de verildi.



Şekil 5. 3. Talaş kaldırılan ürünün ölçüleri

150 adet parça numune işleme sonucun da aşınma test sonuçları Tablo5.1'de görülmektedir. En az aşınmanın gerçekleştiği baskı pabucu aşınma derinliği 96 µm olan herhangi bir kaplama yapılmadan talaş kırıcı eklenmiş baskı pabucu oldu. Fakat talaş kırıcılı sistemde ilerleme hızı %14.28 oranında düşüktür. Tungsten karbür kaplamalı ve herhangi bir kaplama yapılmayan baskı pabucu ile işlenen ürünün işleme süresi 51.24 sn dir. Talaş kırıcı eklenmiş baskı pabucu ile işlenen ürünün işleme süresi 59.78 sn dir. Ürün işleme süresinin uzaması günümüzde seri imalatta istenmeyen bir durumdur. Ayrıca talaş çarpmasıyla, talaş kırıcı aparatında aşınmaya maruz kalmaktadır. 150 adet ürün işlemede en çok aşınmanın gerçekleştiği, 580 µm aşınma derinliği ile herhangi bir kaplama yapılmamış baskı pabucudur.

Talaş kırıcılı sistemde aynı kesme şartlarında çalışmaya zorlanmış fakat 105 adet ürün işledikten sonra Şekil5.4'de görüldüğü gibi baskı pabucunda kılcal çatlama oldu.

Bu durumdan dolayı talaş kırıcıli sistemlerde daha düşük ilerleme hızı ve kesme hızı kullandık.



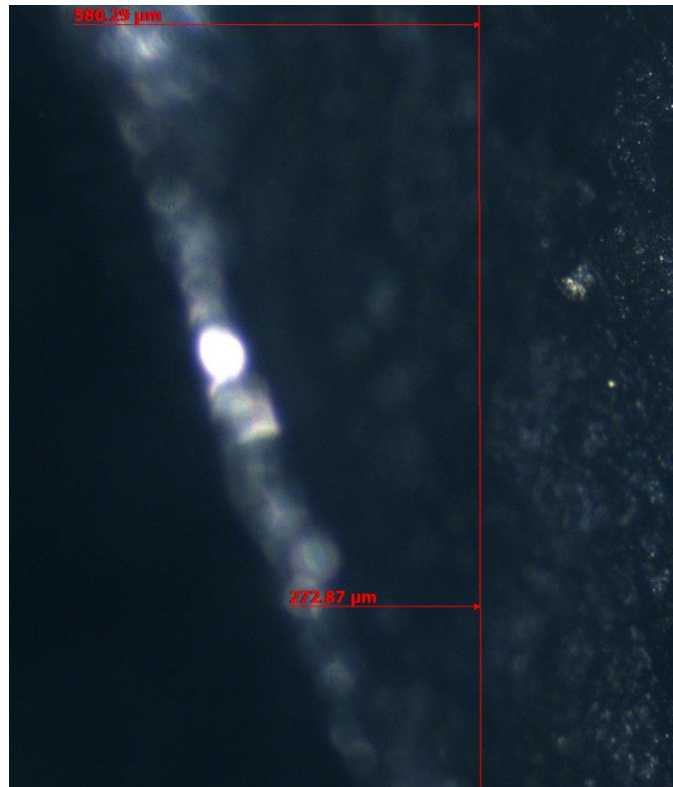
Şekil 5. 4. Baskı pabucunda kılcal çatlama

Tablo 5. 1. 150 adet ürün işlemede aşınma sonuçları

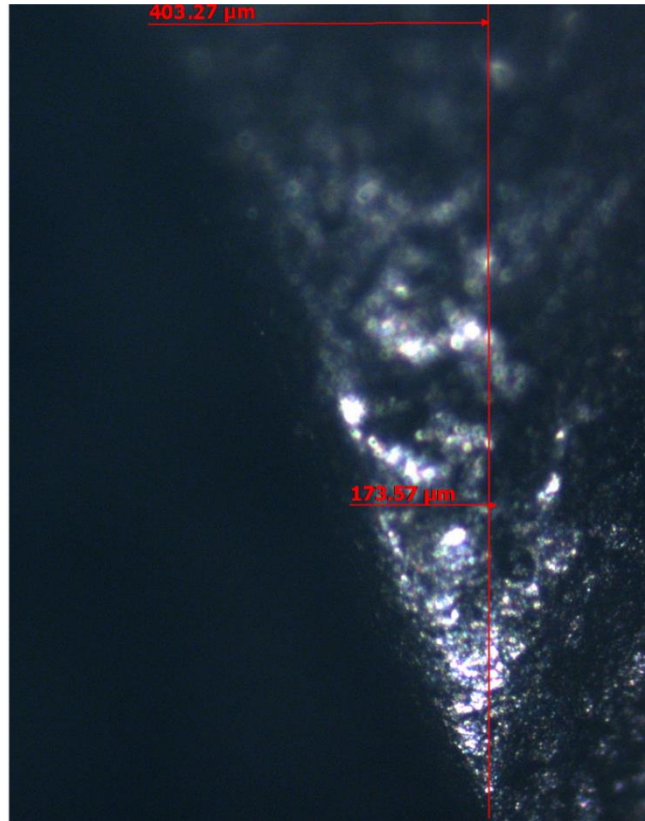
Kesici takım		CSKNR S-50			
Kesici uç		SNGN 120712 HW2 T02020			
İşlenen adet		150			
Numune No	Baskı pabucu	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme hızı (mm/dk)	Aşınma derinliği (µm)
01	Herhangi bir kaplama yapılmayan	408	0,35	332,5	580
02	20µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan	408	0,35	332,5	403

03	35 µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan	408	0,35	332,5	371
04	Herhangi bir kaplama yapılmayan talaş kırıcı eklendi	380	0,30	285	96
05	Talaş kırıcıda ki aşınma	380	0,30	285	50

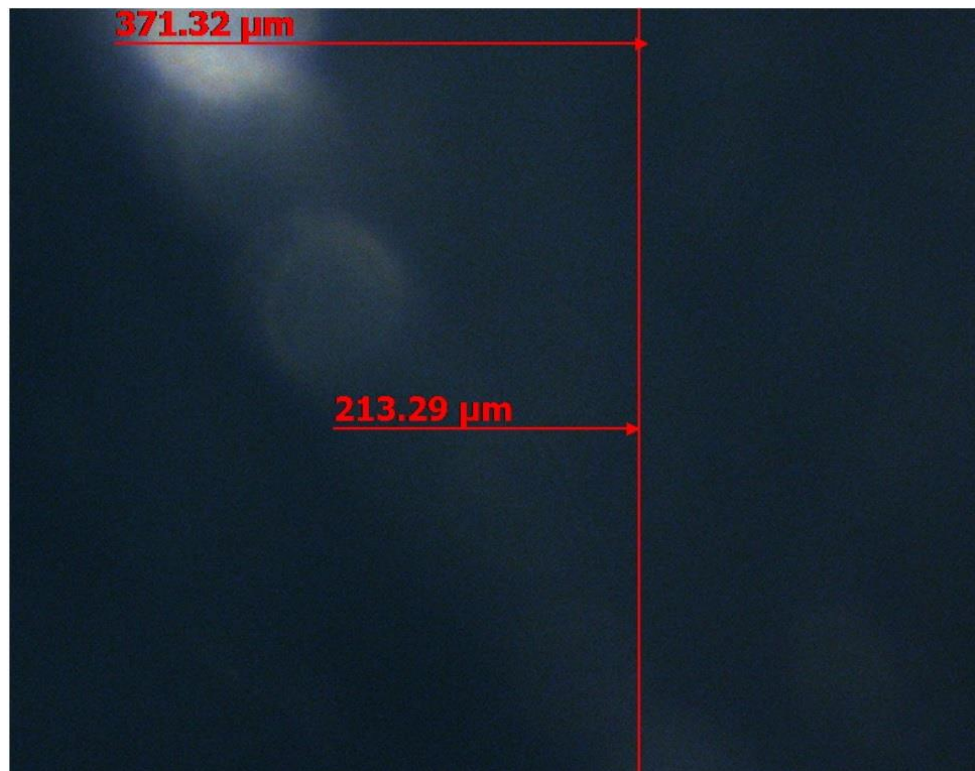
150 adet işleme sonucunda numunelerin aşınma derinlik boyları Şekil5.5 de görülmektedir. Aşınma derinlik boyları Zeiss marka optik mikroskop altında aşınma fotoğrafları çekilerek Axiovision se64 programı kullanılarak derinlik ölçümleri mikrometre cinsinden yapıldı. Tungsten karbür kaplama kalınlığı yaklaşık iki katına çıkmasına rağmen aşınma derinliğinde yarı yarıya düşme görülmedi.



Şekil 5.5 A. Numune No:01 aşınma derinlik boyu



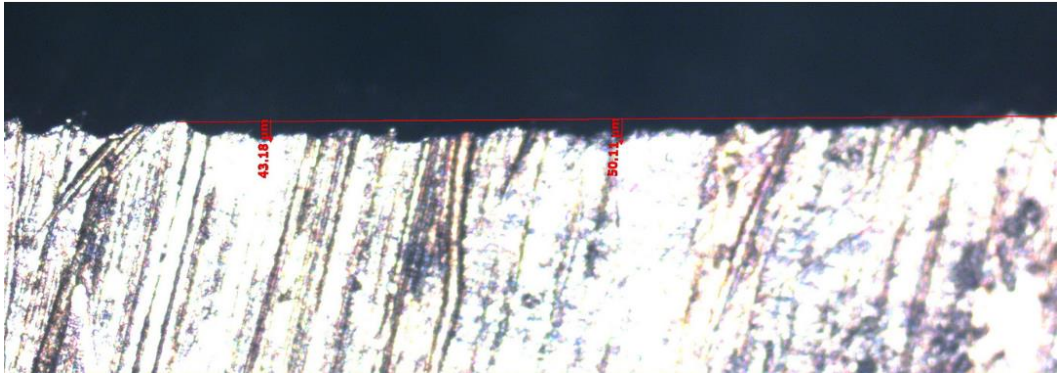
Şekil 5.5 B. Numune No:02 aşınma derinlik boyu



Şekil 5.5 C. Numune No:03 aşınma derinlik boyu



**Şekil 5.5 D.** Numune No:04 aşınma derinlik boyu

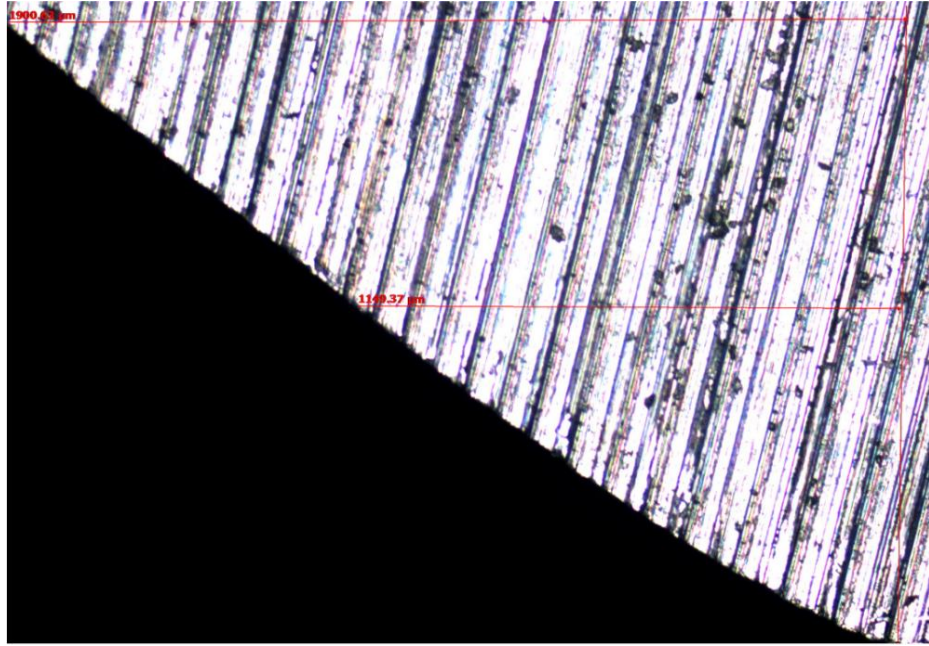


**Şekil 5.5 E.** Numune No:06 aşınma derinlik boyu

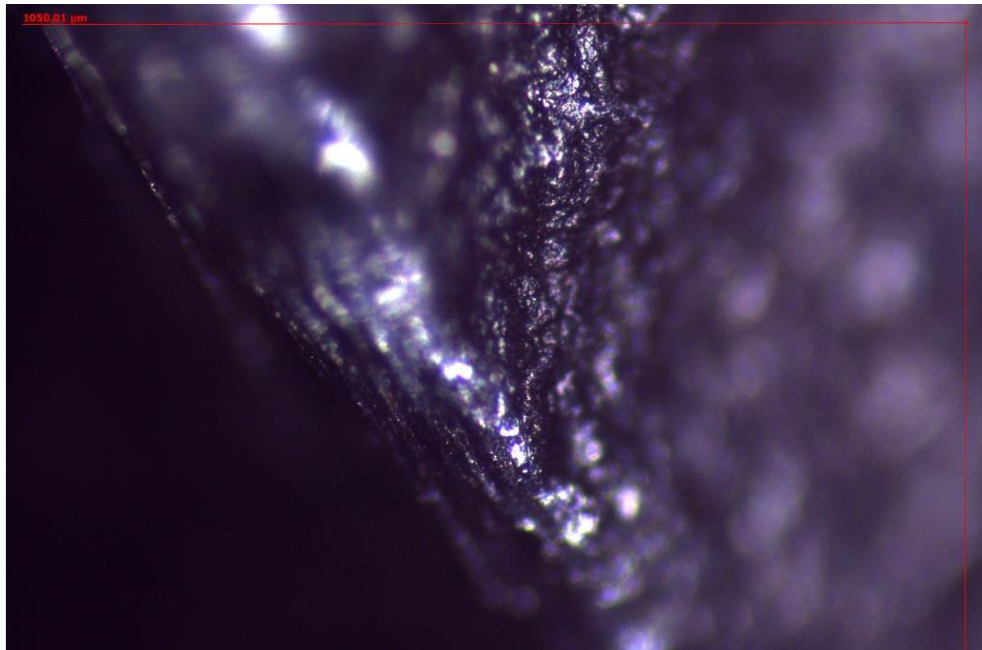
300 adet ürün işlemede baskı pabucu numunelerinin aşınma test sonuçları Tablo5.2’de gösterildiği gibi en uygunun 874 μm aşınma derinliği ile EKB yöntemi ile 35 μm tungsten karbür kaplama olduğu gözükmektedir. Talaş kırıcı eklenmiş baskı pabucunda ki aşınma derinliği 901 μm ölçüldü. 35 μm tungsten karbür kaplama kalınlığına sahip baskı pabucuna göre daha fazla aşındığı görüldü. Tungsten karbür kaplamanın, talaş kırıcılıdan daha iyi sonuç vermesinin nedeni 150 adet malzeme işleme sonrasında talaş kırıcının aşındığı için aşınmanın direk olarak baskı pabucunda olmasıdır. 150 adet parça işlendikten sonra kaplamalı ve kaplamasız baskı pabuçlarında aşınma daha hızlı gerçekleşmeye başlamıştır. Fakat kaplamasız baskı pabucunda aşınma 580 μm den 1900 μm çıkararak yaklaşık 3.27 kat artarken 35 μm tungsten karbür kaplamalı baskı pabucunda 371 μm den 874 μm çıkararak yaklaşık 2.35 kat artmıştır.

**Tablo 5. 2.** 300 adet parça işlemede aşınma sonuçları

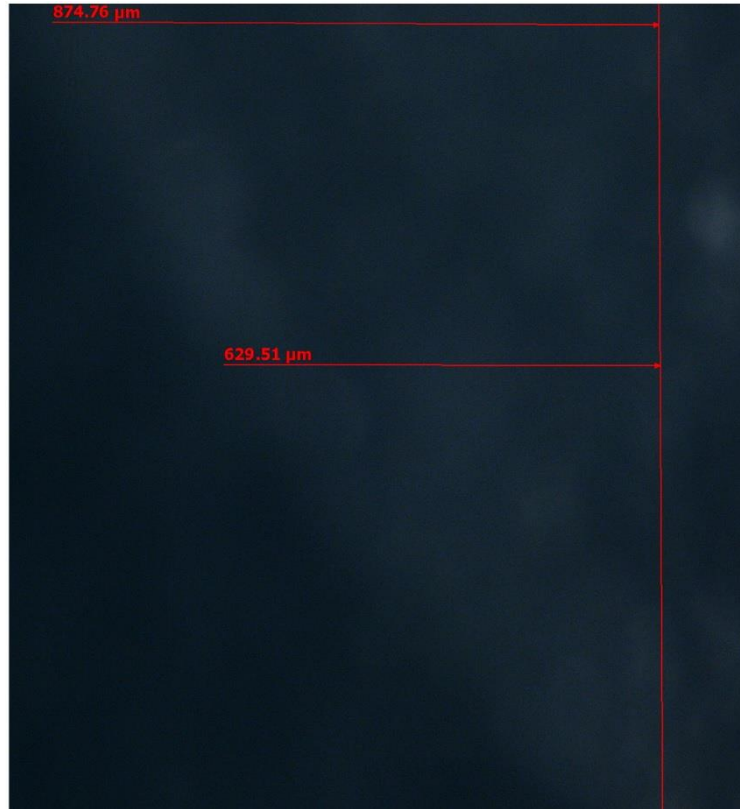
Kesici takım		CSKNR S-50			
Kesici uç		SNGN 120712 HW2 T02020			
İşlenen adet		300			
Numune No	Baskı pabucu	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme hızı (mm/dk)	Aşınma derinliği (µm)
06	Herhangi bir kaplama yapılmamış	408	0,35	332,5	1900,63
07	20µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	408	0,35	332,5	1050
08	35 µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	408	0,35	332,5	874
09	Herhangi bir kaplama yapılmamış talaş kırıcı eklenen	380	0,30	285	901
10	Talaş kırıcıda ki aşınma	380	0,30	285	90,00



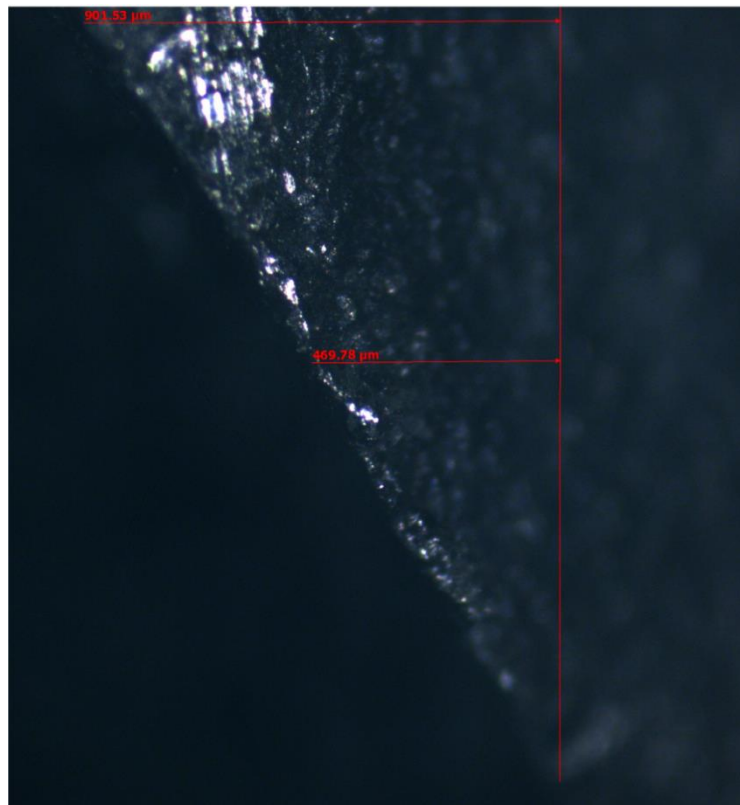
Şekil 5.5 F. Numune No:06 aşınma derinlik boyu



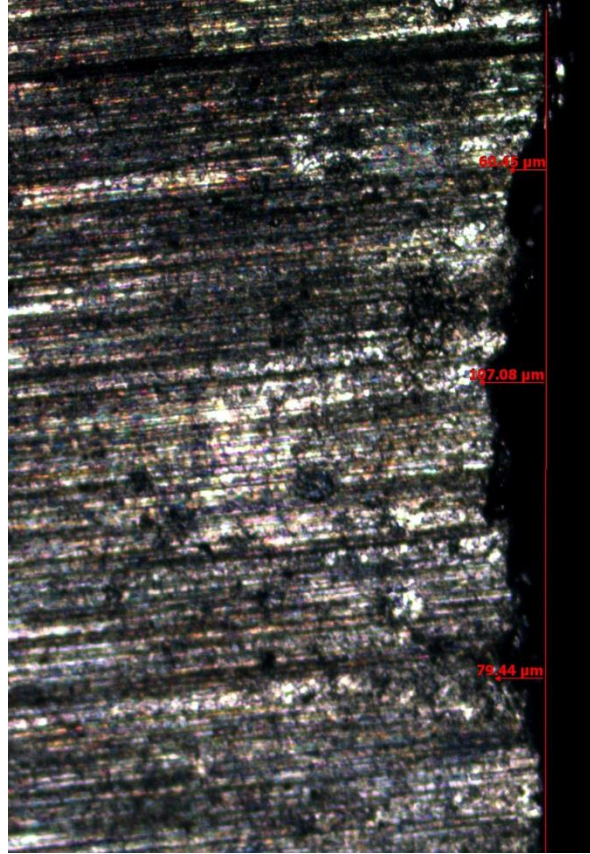
Şekil 5.5 G. Numune No:07 aşınma derinlik boyu



Şekil 5.5 H. Numune No:08 aşınma derinlik boyu



Şekil 5.5 I. Numune No:09 aşınma derinlik boyu

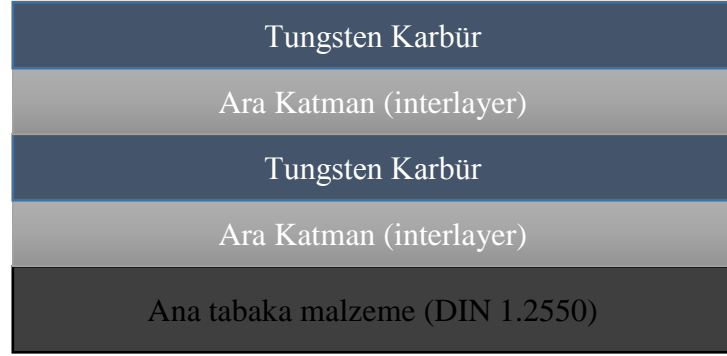


Şekil 5.5 İ. Numune No:10 aşınma derinlik boyu

### 5.3 Inconel 625 ve Inconel 718 süper alaşım ara katman eklenerek EKB yöntemi ile kaplama yapılan baskı pabucları

Inconel 625 ve inconel 718 süper alaşım, nikel, krom, molibdenden oluşan nikel alaşım malzemelerinden biridir. Yüksek mukavemet ve birçok asite karşı oldukça iyi bir korozyon dirençleri vardır. Amacımız inconel 625 ve inconel 718'in bağlayıcılık özelliklerini kullanarak tungsten karbür kaplama yığılmasını önlemek ve tungsten karbür kaplamanın kalınlığını arttırmaktır.

Bu çalışma da tüm ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplama numunelerinde ana tabaka malzeme üzerine ilk ara katman olarak uygulanacak malzeme sonra tungsten karbür kaplama ve bu kaplamanın üzerine tekrar aynı ara katman malzeme, son olarak en üst tabakaya tungsten karbür kaplama yapılarak sandviç yapı elde edildi. Sonuç olarak bu sandviç yapı Şekil 5.6'da görüldüğü gibi iki tungsten karbür kaplama ve iki ara katman malzemesi ile elde edildi.



**Şekil 5.6.** Ara katman malzeme eklenerek oluşturulan tungsten karbür kaplama

Ara katman olarak baskı pabucu üzerine inconel 625 ve inconel 718 kaplaması manuel aplikatörlü Huys endüstri EKB kaplama makinesi ile gerçekleştirildi. EKB yöntemi ile inconel 625 ve inconel 718 kaplama işlemi 300 Hz, 40 V ve 60  $\mu$ F kapasitans iş parametreleri uygulanılarak tungsten karbür kaplamalar yapıldı.

Şekil 5.7 (A)'da görüldüğü gibi inconel 625 ve inconel 718 ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplama kalınlıklarını sırası ile 40  $\mu$ m ve 32  $\mu$ m olarak ölçüldü..

Tablo5.3'te görüldüğü gibi tungsten karbür kaplama yapılan numunelerin en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 1.62  $\mu$ m ile inconel 625 ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplamada ölçüldü. DIN1.2550 çeliği için tungsten karbür kaplama yüzey pürüzlülüğünün düşük istenildiği uygulamalarda inconel 625 ara katman eklenerek kullanılabilir sonucuna ulaşıldı.

#### **5.4 Örtü gazı kullanmaksızın EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu**

Literatür bilgilerine göre koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını kesmektir. Bu numune çalışmasında ki amacımız örtü gazı kullanmadan tungsten karbür kaplama kalınlığındaki değişimi incelemektir. Manuel aplikatörlü Huys endüstri EKB kaplama makinesi ile 300 Hz 40 V ve 60  $\mu$ F kapasitans iş parametreleriyle (diğer tüm numuneler ile aynı parametre kullanıldı) baskı pabucu üzerine tungsten karbür kaplama yapılırken örtü gazı (koruyucu gaz) olarak herhangi bir örtü gazı kullanmadan kaplama işlemi gerçekleştirildi

Şekil 5.7 (B)'da görüldüğü gibi diğer yaptığımız numuneler içerisinde en düşük tungsten karbür kaplama kalınlığı örtü gazı kullanmadan yapılan numune de 13  $\mu$ m ölçüldü.

Argon örtü gazı kullanmadan yapılan tungsten karbür kaplama numunesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 3.22  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü ve argon örtü gazı kullanılarak yapılan numuneden ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.42  $\mu\text{m}$  yüksek çıktı. Örtü gazı kullanılmadan yapılan tungsten karbür kaplamada aşınma testleri esnasında kaplama yüzeyinde atıklar gözlemlendi. Kaplama yapılırken daha temiz bir yüzey elde edilebilmesi için örtü gazı kullanılması gerektiği sonucuna varıldı. EKB yöntemi ile gerçekleştirilen tungsten koruyucu gaz olarak argon kullanıldı.

### **5.5 Ramor 500 zırh çeliği ve Armor 500 zırh çeliği ara katman olarak kullanılarak EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucu**

EKB yöntemi ile Ramor 500 zırh çeliği ve Armor 500 zırh çeliği ara katman olarak kullanılarak 300 Hz frekans da 40V voltaj da ve 60 $\mu\text{F}$  kapasitans parametreleri uygulanarak tungsten karbür kaplama yapıldı. Ramor500 ve Armor 500 zırh çeliği ara katmanları inconel 625 ve inconel 718 ara katman kaplamalarının amacında olduğu gibi tungsten karbür kaplamanın kalınlığının artırılması ve yığılmanın önlemesi amacıyla kullanıldı.

Şekil 5.7 (B)'de görüldüğü gibi Ramor 500 ve Armor 500 zırh çeliği ara katmanları eklenerek yapılan tungsten karbür kaplama kalınlıkları sırası ile 25  $\mu\text{m}$  ve 18  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü.

Tablo 5.4'de Ramor 500 ve Armor 500 zırh çeliği ara katmanı eklenerek yapılan tungsten karbür kaplamaların ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri sırasıyla 6.31  $\mu\text{m}$  ve 5.07  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü. DIN1.2550 çeliğinin tungsten karbür kaplama ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) düşük istenildiği yerlerde inconel 625 ve inconel 718 ara katmanına kıyasla kullanımı uygun değildir.

### **5.6 EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçların yüzey pürüzlülüklerinin incelenmesi**

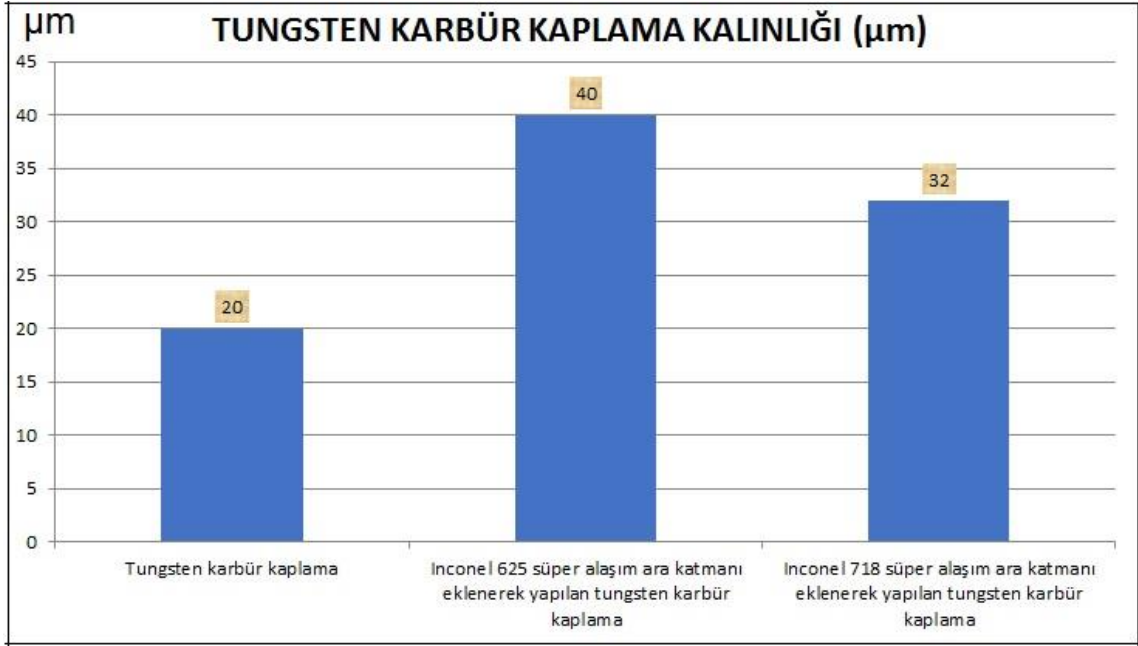
EKB yöntemi ile kaplanmış baskı pabuçlarının yüzey pürüzlülükleri Mahr S2 V2.07 yüzey pürüzlülük test cihazı ile ölçtük. Tablo 5.3'de tüm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabuçlarının Ra, Rz ve Rmax değerleri verildi. Literatürdeki gibi tungsten karbür kaplama yapılan numunelerde ortalama yüzey pürüzlülük değeri tabaka malzemedenden yüksek çıktı. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) 6.31  $\mu\text{m}$  olarak ramor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek tungsten karbür kaplama yapılan numunede ölçüldü. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 1.62  $\mu\text{m}$  olarak inconel 625 süper alaşım ara katman eklenerek tungsten karbür kaplama yapılan numune de ölçüldü.

**Tablo 5. 3.** EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçlarının yüzey pürüzlülük değerleri

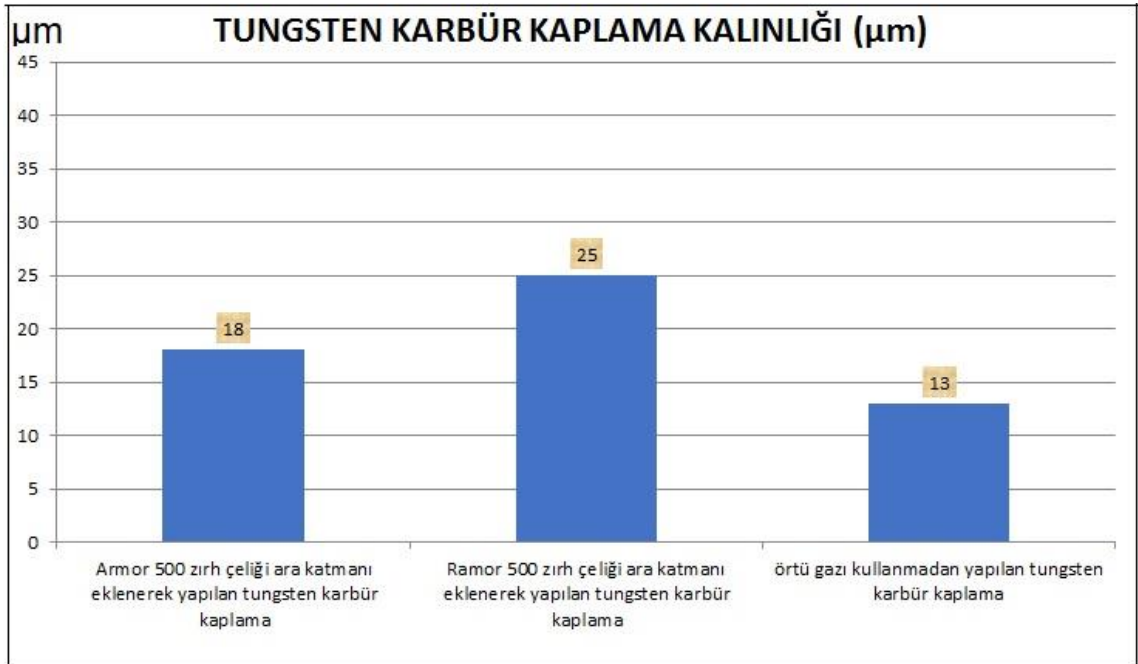
Baskı pabucu numuneleri	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rmax( $\mu\text{m}$ )
Herhangi bir kaplama yapılmayan	1.36	8.47	10.80
Örtü gazı kullanılarak tungsten karbür kaplama yapılan	1.80	10.20	12.95
Örtü gazı kullanmadan tungsten karbür kaplama yapılan	3.22	18.60	26.10
Inconel 625 süper alaşım katmanı eklenerek tungsten kaplama yapılan	1.62	9.71	12.5
Inconel 718 süper alaşım katmanı eklenerek tungsten karbür kaplama yapılan	2.05	12.30	15.80
Ramor500 zırh çeliği katman eklenerek tungsten karbür kaplama yapılan	6.31	30.04	39.50
Armor500 zırh çeliği katman eklenerek tungsten karbür kaplama yapılan	5.07	24.60	38.50

### 5.7. EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçlarının kaplama kalınlıklarının ve sertliklerinin incelenmesi

Baskı pabucu numunelerinin tungsten karbür kaplama kalınlıkları Şekil5.6'da ki grafikte gösterilmiştir. Aynı şartlarda EKB yönteminde DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğine yapılan numune çalışmaları arasında inconel 625 ara katman eklenerek 40  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplama ulaşıldı. Fakat armor 500 ve ramor 500 zırh çeliği ara katmanı eklenerek yapılan numunelerde tungsten karbür kalınlığı istenilen seviyede çıkmadı. Yapılan numune çalışmaları arasında en düşük 13  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplama kalınlığı herhangi bir örtü gazı kullanmadan yapılan numunede çıktı.



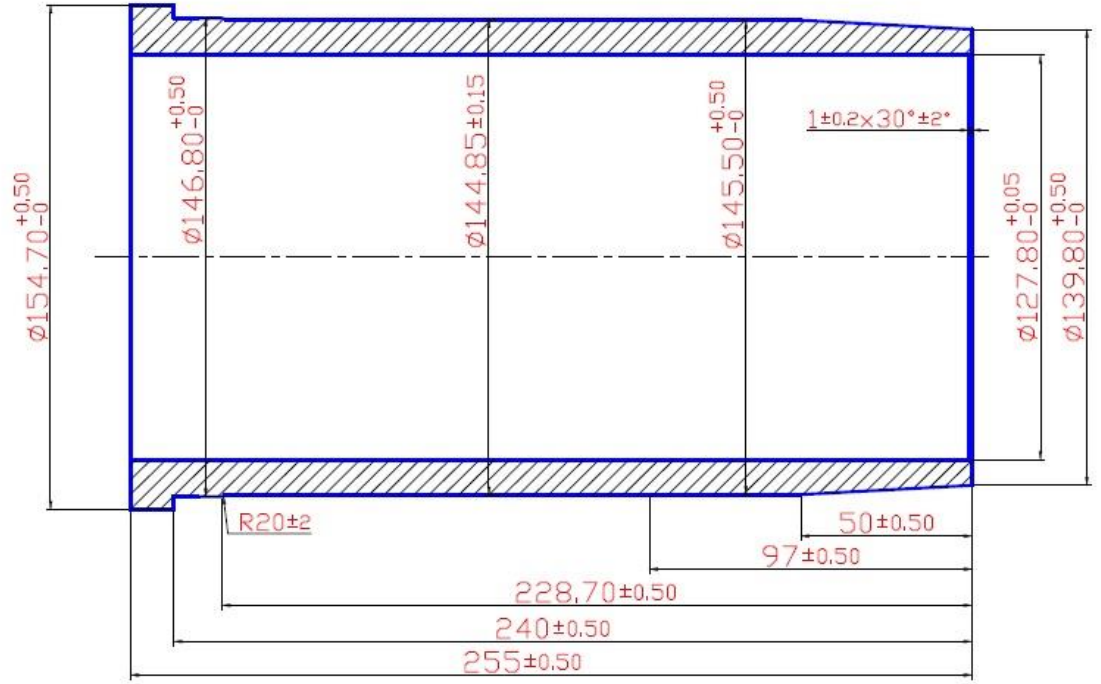
Şekil 5.7 A. Baskı pabucu tungsten karbür kaplama kalınlık grafiği



Şekil 5.7 B. Baskı pabucu tungsten karbür kaplama kalınlık grafiği

### 5.8. EKB yöntemi uygulanarak kaplama yapılmış tüm baskı pabuçlarının aşınma test sonuçları

EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabuçları kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde, Şekil 5.8'de teknik resmi görülen parçadan 150 adet işlendi. Talaş kaldırılan ölçü 127.80 mm ve kaldırılan talaş miktarı ap:1.80 mm'dir. Test sonuçları aşağıda Tablo 5.5'de görülmektedir. Testler anlık darbe testi olmayıp sürekli aşınma dayanımı testi olarak gerçek çalışma şartlarında test edildi.



**Şekil 5.8.**Talaş kaldırılan ürünün ölçüsü

Tungsten karbür kaplanan test sonrası bazı numunelerin aşınmış yüzey fotoğrafları Şekil 5.9’da görülmektedir.



**Şekil 5.9.**Test sonrası aşınmış baskı pabuçları

**Tablo 5. 4.EKB yöntemi ile kaplanan baskı pabuçlarının aşınma derinlikleri**

Kesici takım		CSKNR S-50			
Kesici uç		SNGN 120712 HW2 T02020			
İşlenen adet		150			
Numune No	Baskı pabucu	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme hızı (mm/dk)	Aşınma derinliği (µm)
11	Herhangi bir kaplama yapılmamış	441	0,37	407	1338
12	20µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	947
13	Inconel 625 süper alaşım ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	500
14	Inconel 718 süper alaşım ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	566
15	Armor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	916

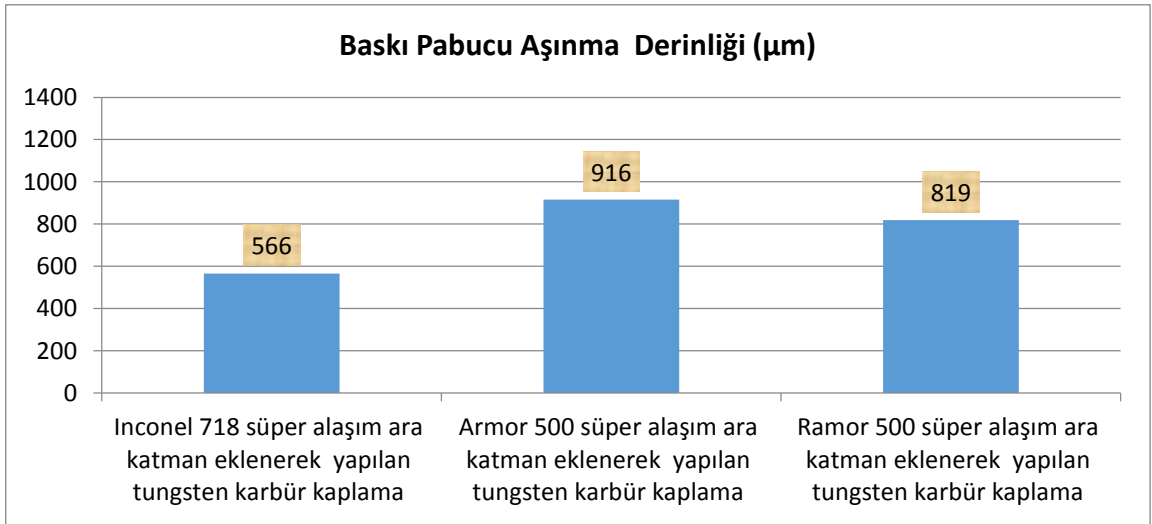
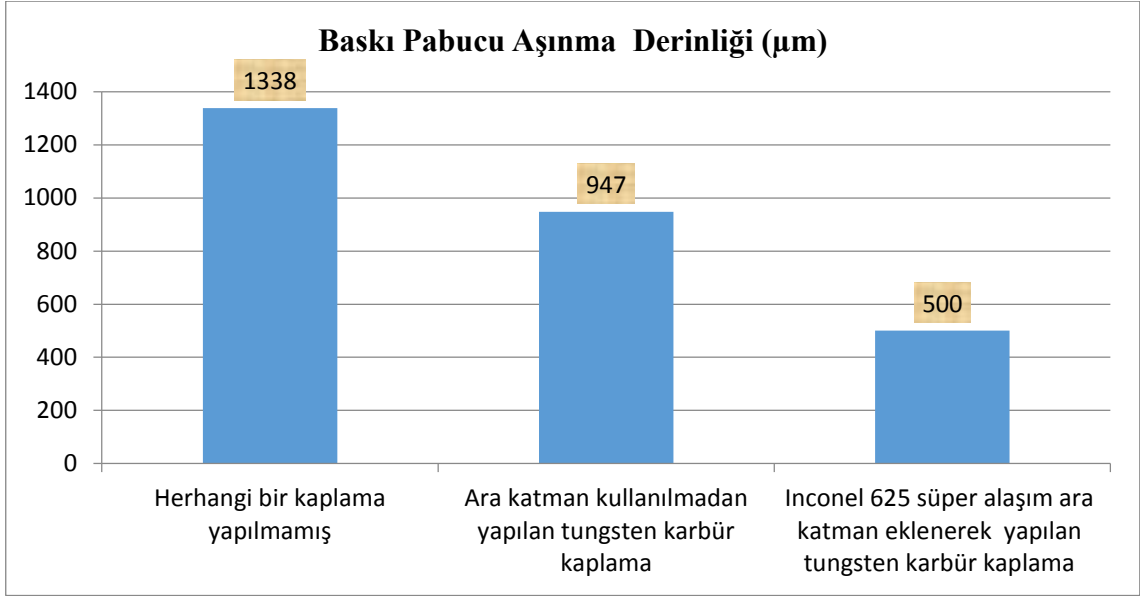
16	Ramor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	819
17	Örtü gazı kullanılmadan EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	441	0,37	407	985

Baskı pabucu numunelerinde en yüksek tungsten karbür kaplama kalınlığı ortalama 40  $\mu\text{m}$  olarak inconel625 süper alaşım ara katman eklenerek ulaşıldı. En düşük aşınma derinliği de 500  $\mu\text{m}$  ile 13 no'lu bu baskı pabucunda gerçekleşti. Aynı şartlarda yapılan testlerde tungsten karbür kaplama kalınlığı arttıkça aşınma derinliğinin düştüğü görüldü. Armor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek yapılan ortalama 18  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplamada ise herhangi bir ara katman kullanılmadan ortalama 20  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplamaya göre tungsten karbür kaplama kalınlığının düşük olmasına rağmen aşınma derinliği Tablo5.4'de görüldüğü gibi 128  $\mu\text{m}$  daha az aşınma gerçekleşti. Ara katman olarak kullanılan Armor 500 zırh çeliğinin aşınma dayanımını arttırdığı görüldü.

### 5.9. Test Sonuçlarına göre Kullanılabilirlik Analizi

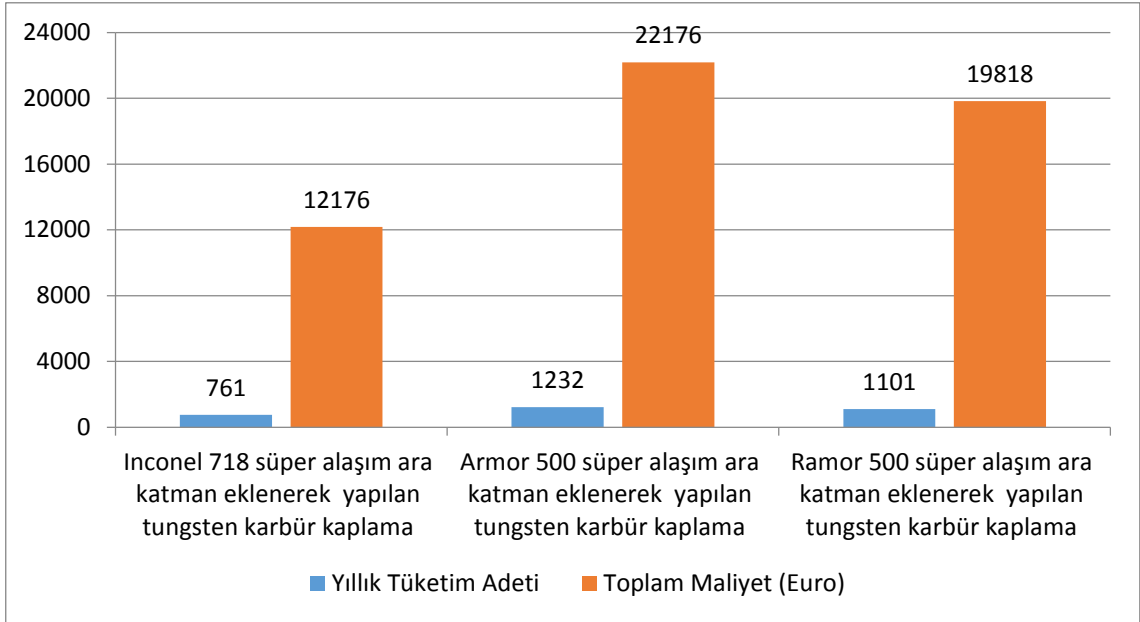
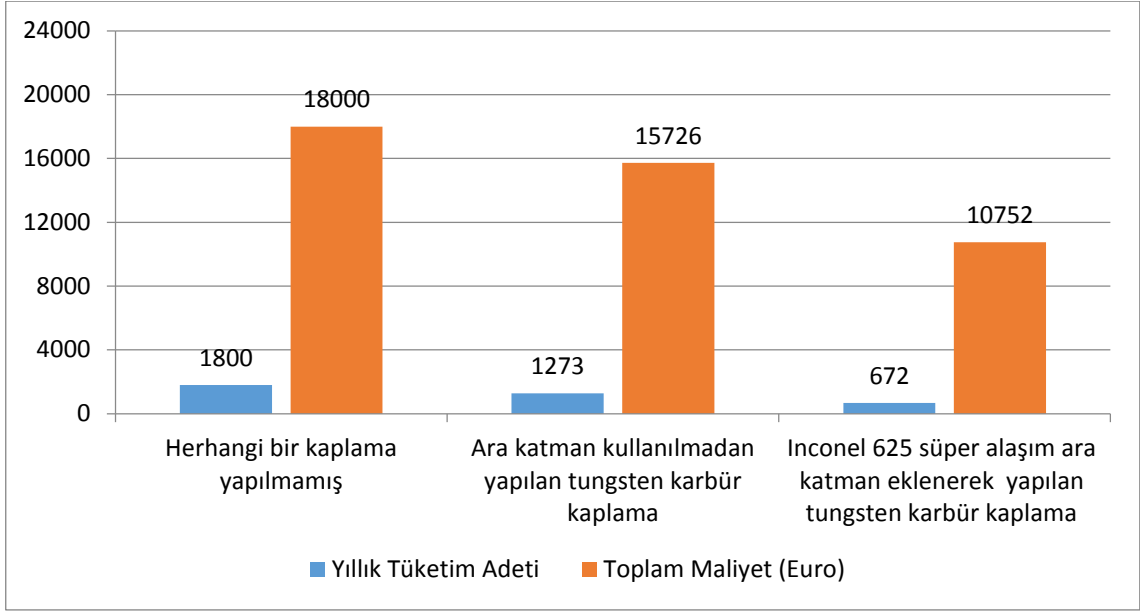
İşletmede yıllık ortalama 1800 adet baskı pabucu kullanılmaktadır. Test sonuçlarından en uygun olanının inconel625 süper alaşım ara katman eklenerek yapılmış tungsten karbür kaplama olduğu görüldü.

Şekil 5.10 da baskı pabuçlarının aşınma derinlik boylarında görüldüğü gibi kaplamasız baskı pabucunun, inconel 625 ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplamanın, kaplamasız baskı pabucuna göre iki kattan fazla dayandığı görülmektedir.



**Şekil 5.10.** Baskı pabucu aşınma derinliği

Tablo 5.5’de tahmini kullanım adetleri, Tablo 5.4’de ki test sonuçlarından elde edilerek hesaplandı. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi işletme de 20  $\mu\text{m}$  EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama kullanılırsa herhangi bir kaplama yapılmamış baskı pabucuna göre işletmenim yıllık kazancı 2274 Euro, eğer firmada inconel 625 süper alaşım ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplamalı baskı pabucu kullanılırsa yıllık kazancı 7248 Euro olacaktır. Baskı pabucu kullanımı 20  $\mu\text{m}$  EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama 527 adet, inconel 625 süper alaşım ara katman eklenerek yapılan tungsten karbür kaplama kullanılırsa 1128 adet azalarak malzeme kullanımı da azalacaktır. Malzeme kullanımı azaltılarak çevreye de katkı sağlanmış olacaktır.



**Şekil 5.11.** Baskı pabucu yıllık tüketim adeti ve toplam maliyet

**Tablo 5. 5.** Birim maliyet analizi

Baskı Pabucu	Ortalama kullanım (adet)	Tahmini kullanım (adet)	Birim Maliyet (Euro)	Toplam Maliyet (Euro)
Herhangi bir kaplama yapılmamış	1800	-	10	18000
20µm EKB yöntemi ile tungsten karbür kaynamış	-	1273	12	15726
Inconel 625 süper alaşım katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaynamış	-	672	16	10752
Inconel 718 süper alaşım ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	-	761	16	12176
Armor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	-	1232	18	22176
Ramor 500 zırh çeliği ara katman eklenerek EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	-	1101	18	19818
Örtü gazı kullanılmadan EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama	-	1325	12	15900

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmam da ilk olarak DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği üzerine EKB yönteminde voltaj ve frekans arttıkça kaplama kalınlığının değişip değişmediğini inceledik. Talaş (2019) AISI 1008 çeliği üzerine yaptığı EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama da voltaj ve frekans arttırıldığında kaplama kalınlığının 26  $\mu\text{m}$ 'den 34  $\mu\text{m}$ 'ye arttığını görmüştür. Çalışmamda voltaj iki kat arttırıldığında ortalama tungsten karbür kaplama kalınlığının da 20  $\mu\text{m}$ 'den 35  $\mu\text{m}$ 'ye arttığı görüldü. Sonra 20  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplama kalınlığına ulaştığımız kaplama parametreleri ile ara katman malzeme eklemeli tungsten karbür kaplama yapıldı. Inconel 625 süper alaşımli ara katman ile yapılan tungsten karbür kaplama da kaplama kalınlığı 40  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü.

Radek ve arkadaşları (2010) çalışmasında C45 çeliği üzerine EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapmıştır. Kaplamasız C45 numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 0,39  $\mu\text{m}$  iken tungsten karbür ile yapılan kaplama sonrası ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 6,16  $\mu\text{m}$ 'ye yükseldiğini gözlemlemiştir. Ayrıca kaplamasız C45 numune ortalama sertliği 141  $\text{HV}_{0,04}$  iken tungsten karbür kaplanmış numune yüzey sertliğinin ortalama 843  $\text{HV}_{0,04}$ 'e yükseldiği görülmüştür. Kaplamasız numuneye kıyasla malzeme sertliğinde %498 oranında bir artış olmuştur. Çalışmamda DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 1,36  $\mu\text{m}$  iken tungsten karbür ile yapılan kaplama sonrası ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 1,80  $\mu\text{m}$ 'ye yükseldiğini görüldü. Tungsten karbür kaplamasız DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği ortalama sertliği 450  $\text{HV}_{0,05}$  iken tungsten karbür kaplama yapılan numune yüzey sertliği 1243  $\text{HV}_{0,05}$  ölçüldü.

Aşınma deneylerin sonrasında kaplamasız numunenin aşınma derinlik boyu 1900  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü. 20  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplamalı numunen aşınma derinlik boyu 1050  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü. Yüzey sertliği arttıkça aşınma derinlik boyunun azaldığı gözlemlendi. Kaplamasız numuneye kıyasla aşınma derinlik boyu % 45 oranında azaldı Diğer aşınma deneyinde 20  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplamanın aşınma derinlik boyu 947  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$  tungsten karbür kaplamalı numunede aşınma derinlik boyu 500  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldü. Tungsten karbür kaplama kalınlığı iki kat arttığında aşınma derinlik boyunun da yarı yarıya düştüğü görüldü. Talaş (2019) EKB yöntemi ile yapılan balistik amaçlı kaplamaların test edilmesi çalışmasında ağırlık düşürme cihazında 800gr yük altında yaklaşık olarak 64 km/h hızında gerçekleştirilen serbest deformasyon karakterizasyonları

incelendiğinde en iyi performansın tungsten karbür kaplamada görmüş olup kaplamasız numuneden yaklaşık olarak % 20 daha az indent derinliğine sahip olduğu ölçmüştür.

1- Tüm deneylerin aynı şartlarda yapılmış olması elde edilen sonuçların kendi aralarında uygun olması, tungsten karbür kaplama yapılan ve endüstride mevcutta kullanılan ekipmanlar ile testlerin yapılması, bu alanda tungsten karbürü EKB kaplama yapılarak kullanılabileceğini gösterdi.

2- DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği üzerine EKB yöntemi ile çok düzgün, hızlı ve yüzey pürüzlülüğü daha iyi tungsten karbür kaplama yapılabilmektedir. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği üzerinde EKB yönteminde voltaj arttıkça kaplama kalınlığının da orantılı olarak arttığı görüldü.

3- EKB yöntemi ile 20 µm tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucunun, kaplamasız baskı pabucuna göre kullanım ömrü %72,70 arttı. EKB yöntemi ile inconel 625 ara katman kullanılarak 40 µm tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucunun kaplamasız baskı pabucuna göre kullanım ömrü % 117,40 arttı.

4- EKB yöntemi ile tungsten karbür kaplama yapılan baskı pabucunun ve kaplamasız baskı pabucunun talaş kırma eklemeli baskı pabucuna göre daha iyi sıkma kuvveti elde edildiğinden kesme hızı ve ilerleme hızı yüksektir. Bunun sonucunda işleme süresi talaş kırmalı kullanılan baskı pabucuna göre yüzde % 16,66 fazladır.

5- EKB yöntemi ile farklı ara katmanlar eklenerek baskı pabucu üzerine tungsten karbür kaplama yapılan numunelerden en az aşınma derinliği inconel 625 ile yapılan ara katmanda 500µm ölçüldü. Optimum kullanılacak ara katman malzemesi olarak inconel 625 ara katman malzemesine karar verildi. İşletmenin 1128 adet baskı pabucu kullanımının azalacağı hesaplandı. Bu uygulama işletmede proses iyileştirme olarak gerçekleştirildi.

## **6.2 Öneriler**

1- Farklı ara katman malzemeleri eklenerek EKB yöntemi ile hazırlanan tungsten karbür kaplamaların darbe testi sonuçları analiz edilebilir. Aşınma ve anlık darbenin sonuçları kıyaslanabilir.

2- Farklı voltaj ve frekanslarda aynı ara katman malzemeleri kullanılarak tungsten karbür kaplamanın değişimi incelenebilir.

3- En yüksek tungsten karbür kaplama kalınlığına erişilen optimum parametre ve interlayer malzeme ile taguchi metodu kullanılarak aşınma deneyleri yapılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Agarwal,A. ve Dahotre,N.B. (1997). Pulse electrode deposition of superhard boride coatings on ferrous alloy. *Surface and Coatings Technology* 106 (242–250)
- Akkurt, M.(2012) Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi Cnc Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu
- Arslan,F. (2005). Metalografi Laboratuvarı Deney Föyü. Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği, Trabzon.
- Aytaç. A. ve Malayoglu.U.(2018).Fiziksel Buhar Biriktirme yöntemlerinden PVD ve ve JVD/DVD İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması ve DVD kaplama teknolojisinin endüstriyel uygulama Üzerine Kavramsal, Akademik ve Teorik bir Analiz, *The Journal of Defense Sciences* (volume 17)
- Bozkurt,A.(2018). Esd ile Sert Faz Kaplanmış Titanyum Alaşımlarının ve Çeliklerin lazer ile İşlenmesi ve Karakterizasyonu.Yüksek Lisans Tezi,Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı,Afyon.
- Burkov,A.A. ve Pyachin,S.A. (2015).Formation of WC–Co coating by a novel technique of electrospark granules deposition. *Materials and Design* 80 (109–115)
- Champagne,V., Pepi,M., Edwards,B.(2006). Electrospark Deposition for the Repair of Army Main Battle Tank Components, Army Research Laboratory (MD21005-5009)
- Çakır,A.(2014). Elektro spark biriktirme ve mikro ark oksidasyon yöntemleri kullanılarak çelik yüzeyin alüminyum ile modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Çelik,H.E. (2021).Elektro kıvılcım biriktirme yöntemi ile WC esaslı kaplamanın paslanmaz çelik üzerine uygulanması için bir mekatronik sistem tasarımı.Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı ,Konya
- Çoşkun,A. ve Talaş,Ç.(2019). ESD Yöntemi ile W, WC ve Alaşımlı Çelik Kaplanan AISI 1008 Çelik Plakaların Düşük Hız Balistik Performansları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve mühendislik Dergisi* 19 (419-428)

- Çoşgun,A.,Taşçıoğlu,A. ve Yılmaz,G.(2021).İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 12 (351-363)
- Erdin,E.(2011). Talaşlı imalat Ders Notu Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,Çorum. (2-8)
- Gould,J.(2011). Application of Electro-Spark Deposition as a Joining Technology Welding research 90 (192-193)
- Gündoğdu,H.E (2006).Kesme Sıvılı ve Kuru Talaşlı İşlemenin İş Parçası ve Kesici Takım Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Groover,M.(2010). Principles of modern manufacturing.
- Johnsan,R.N., Bailey,J.A., Goetz,J.A(2005). Electro-spark deposited coatings for replacement of chrome plating. Armament Research, Development and Engineering Center, Armaments Engineering & Technology Center, Picatinny, New Jersey
- Johnson, R. N. ve Sheldon, G. L. (1986). Advances in the electrospark deposition coating process. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 4(6), 2740-2746.
- Korkmaz,K. ve Yılmaz,M.S.(2017). Çelik Yüzeylere Elektro-Kıvılcım Biriktirme Metodu ile Zirkonyum Esaslı Kaplamaların Uygulanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve mühendislik Dergisi 17 (704-709)
- Korkmaz,K.(2008).Elektro spark biriktirme yöntemi ile mikro alaşımlı çeliklerin tungsten karbür ile kaplanması. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü,Gebze
- Kurşuncu,B.(2016). Inconel 718 superalaşımın frezelenmesinde kriyojenik ısıtma işlem görmüş farklı ince film kaplamalı karbür kesici takımların kesme performansının araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı,Isparta
- Kyocera (2021). Cutting Tools General Catalog (D1-D3)
- Liu,j., Wang,R. ve Qian,Y. (2004). The formation of a single-pulse electrospark deposition spot. Surface and Coatings Technology 200 (2433– 2437)

- Mavi,A. (2013).Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ti6al4v titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi.Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Ankara.
- Peterkin,S.(2016). Electro-Spark Deposition Machine Design, Physical Controls and Parameter Effects. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical and Mechatronics Engineering, Waterloo, Ontario, Canada,
- Radek,N. ve Bartkowiak,K.(2010).Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam, Physics Procedia 5 (417–423)
- Staia,M.H., Fragiel,A., Cruz,M., Carrasquero,E., Campillo,B., Perez,R., Constantino,M. Ve Sudarshan,T.S.(2001). Characterization and wear behavior of pulsed electrode surfacing coatings. Wear 251 (1051–1060)
- Tosun,F.(2020).Elektro spark biriktirme ve nitrürleme yöntemleri ile dubleks kaplamaların geliştirilmesi.Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Fen Bilimleri Enstitüsü,Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı,Gebze
- Umbert,S.A.(2017) . Cutting Forces in Turning Operations.Bachelor Thesis, Norwegian University of Science and Technology,Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- Vizureanu, P., Perju, M.-C., Achiței, D.-C. ve Nejneru, C. (2018). Advanced Electro-Spark Deposition Process on Metallic Alloys. M. A. Chowdhury (Ed.), *Advanced Surface Engineering Research* içinde . InTech. doi:10.5772/intechopen.79450
- <https://www.kennametal.com/>
- <https://tuvsila.com/>
- <https://weldtech.hu/>
- <https://www.prweb.com/>
- <https://huysindustries.com/>
- <https://www.sandvik.coromant.com/>
- [http://www.ozct.com.tr/File/1.2550\\_60WCrV8\\_tr.pdf](http://www.ozct.com.tr/File/1.2550_60WCrV8_tr.pdf)