



**PLAZMA SPREY YÖNTEMİ İLE TUNGSTEN  
KARBÜR KAPLANMIŞ GREYDER BIÇAKLARININ  
MİKROYAPI VE SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Ümmet SAĞIR**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇOLAK  
2019  
(Her Hakkı Saklıdır)**

**T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**PLAZMA SPREY YÖNTEMİ İLE TUNGSTEN KARBÜR KAPLANMIŞ GREYDER  
BIÇAKLARININ MİKROYAPI VE SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**(Investigation of Microstructure and Hardness of Tungsten Carbide Coated  
Grader Blades With Plasma Spray Method)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ümmet SAĞIR**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇOLAK**

**Bayburt  
Ağustos, 2019**

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇOLAK danışmanlığında, 132001004 numaralı Ümmet SAĞIR tarafından hazırlanan "Plazma Sprey yöntemi ile Tungsten karbür kaplanmış greyder bıçaklarının mikro yapı ve sertliklerinin İncelenmesi" konulu bu çalışma 22/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇOLAK

İmza: 

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ

İmza: 

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Hakan YETGİN

İmza: 

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylım.

02/09/2019

  
Doç. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK VE BİLDİRİMİ SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Plazma Sprey Yöntemi ile Tungsten Karbür Kaplanmış Greyder Bıçaklarının Mikro yapı ve Sertliklerinin İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

.../.../...

**Ümmet SAĞIR**

## TEŞEKKÜR

GerçekleőtirmiŐ olduğum tez çalışmasında ve deneylerinde, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve tez çalıŐmamın nihayete ermesi için destek olan danışmanım, Dr. Öğr. Üyesi Murat olak'a ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkürü bir borç biliyor ve Őükranlarımı sunuyorum.



**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PLAZMA SPREY YÖNTEMİ İLE TUNGSTEN KARBÜR KAPLANMIŞ GREYDER  
BIÇAKLARININ MİKRO YAPI VE SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Ümmet SAĞIR**

**Ağustos, 2019, 59 sayfa**

Greyder bıçakları yüksek mukavemet ve yüksek darbe dayanımı gibi üstün özelliklerinden dolayı bor çeliklerinden imal edilmektedir. Bor çeliklerinin aşınma dirençleri istenilen seviyede değildir. Bu nedenle yapılan çalışmada bor çeliklerinin üzeri plazma sprej yöntemi ile 200,300 ve 400 µm tane büyüklüklerinde WC-12Co (tungsten-karbür) ile kaplanmıştır. Kaplanmış greyder bıçaklarından alınan numuneler sertlik ve aşınma testlerine tabi tutularak kaplama yönteminin etkileri araştırılmıştır. Ayrıca numunelere ait mikro yapı ve SEM incelemeleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde malzeme yüzeyinde gözenekli bir kaplamanın oluştuğu görülmüştür. Yapılan tüm kaplamalarda sertlik değerlerinin kaplamasız göre daha fazla olduğu tespit edilmiş, en yüksek sertlik değeri 200 µm kaplama da gerçekleşmiştir. Aşınma testlerinde ise kaplama kalınlığının artması ile aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Greyder bıçağı, bor çeliğı, tungsten karbür, plazma yöntemi, aşınma

**ABSTRACT**  
**MASTER THESIS**  
**INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF TUNGSTEN  
CARBIDE COATED GRADER BLADES WITH PLASMA SPRAY METHOD**

**Ümmet SAĞIR**

**August, 2019, 59 pages**

Grader blades are made of boron steels due to their superior properties such as high strength and high impact resistance. The wear resistance of boron steels is not desired. Coated with WC-12Co (tungsten-carbide) in grain sizes of 200, 300 and 400  $\mu\text{m}$ . Coated hardness and abrasion tests of coated grader blades were investigated. In addition, the micro structure and SEM investigations of the results of the examination of the material on the surface of a porous cover was closed. Abrasion tests show the width of the wear resistance with increased thick coating.

**Keywords:** Grader blade, boron steel, tungsten carbide, plasma method, wear

# İÇİNDEKİLER

Etik ve Bildirimi Sayfası .....	i
Teşekkür .....	ii
Öz .....	iii
Abstract.....	iv
İçindekiler.....	v
Tablolar Dizini.....	viii
Şekiller Dizini.....	ix
Kısaltmalar ve Simgeler Dizini .....	xii
<b>Giriş .....</b>	<b>1</b>
<b>KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>7</b>
Greyder Bıçak Sistemleri.....	7
Karbon Çelikleri. ....	9
Düşük Karbonlu Çelikler. ....	10
Orta Karbonlu Çelikler.....	11
Yüksek Karbonlu Çelikler.....	11
Bor Çelikleri.....	11
Borun Tanımı.....	12
Bor Kullanım Alanları.....	12
Borlama... ..	12
Borlu Tabakanın Yapısı ve Bileşimleri .....	13
Bor Tabakasının Özellikleri.....	14
Korozyon Özellikleri.....	15
Alaşım Elementlerinin Borlama Etkisi.....	15
Borlama İşleminin Getirdikleri .....	15
Termal Sprey Kaplamalar .....	16



Alev Sprey Yöntemleri.....	16
Elektrik Ark Sprey Yöntemleri.....	16
HVOF Yöntemleri. ....	17
Detanasyon Tabancası .....	17
Plazma Spey Yöntemi .....	17
Aşınma.....	18
Tungsten Karbür.....	19
<b>MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>27</b>
Greyder Bıçağından Numune Alımı ve Hazırlık İşlemleri .....	27
Termal Sprey Kaplama Yöntemi .....	31
Deney Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deney Tasarımı.....	34
Plazma Sprey Yöntemi ile Kaplanması .....	35
Sertlik İncelemesi .....	36
Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi.....	37
Aşınma Çalışmaları.....	38
<b>ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>46</b>
Sertlik Deney Sonuçları .....	46
Mikro Yapı İncelemeleri.....	47
SEM İncelemeleri .....	49
Aşınma İncelemeleri .....	53
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>59</b>

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Karbonlu Çeliklerin Kullanım Alanları ve Özellikleri .....	5
Tablo 2. Çeşitli Metallerde Elde Edilen Borür Fazları ve Mikrosertlikleri .....	6
Tablo 3. Fe <sub>2</sub> B ve FeB'nin bazı özellikleri .....	7
Tablo 4. Borlama ve Diğer İşlemlerle yapılmış Yüzeylerin Sertlik Değerleri .....	9
Tablo 5. Bazı Malzemelerin Borlanmış Ve Borsuz Durumdaki Sürtünme Katsayıları .....	10
Tablo 6. Başka Isıl İşlemler Ve Sert Malzemeler İle Borlanmış Çeliklerin Belirgin Yüzey Sertliğinin Karşılaştırılması .....	12
Tablo 7. Isı Kaynaklarına Göre Termal Sprey Kaplama Yöntemleri (Bergmann ve Vicenzi ..	19
Tablo 8. Termal Sprey Kaplama Proseslerinin Karşılaştırılması (2011) .....	32
Tablo 9. Tez çalışmaları kapsamında belirlenen deney parametreleri .....	33
Tablo 10. Sertlik Karşılaştırması.....	38

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum aşamaları .....	6
Şekil 2. Diş biçimli demirborür kristalleri (Fe <sub>2</sub> B).....	7
Şekil 3. Borür tabakası çeşitleri .....	8
Şekil 4. Borlu ve sementasyonlu tabakalardaki sertlik dağılımları.....	9
Şekil 5. Aşınma miktarları. ....	10
Şekil 6. Alaşım elementlerinin borür tabakası kalınlığına etkisi .....	11
Şekil 7. Termal spreynin şematik görünümü.....	12
Şekil 8. M. Ulrich Schoop (Knight).....	13
Şekil 9. Tel ve toz alev spreynin şematik gösterimi .....	14
Şekil 10. Ark spreynin şematik gösterimi .....	14
Şekil 11. Elektrik ark spreynin şematik gösterimi .....	15
Şekil 12. HVOF tabancası (Davis, 2004).....	15
Şekil 13. HVOF ile WC-Co kaplama (Davis, 2004).....	16
Şekil 14. HVOF, Plazma spreynin şematik gösterimi ile kaplanmış malzemelerin aşınma kaybı ve sertlik hali .....	16
Şekil 15. Plazma spreynin şematik gösterimi .....	17
Şekil 16. Plazma spreynin şematik gösterimi .....	17
Şekil 17. Farklı kaplama yöntemlerinin atlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığı açısından karşılaştırılması.....	18
Şekil 18. Aşınma sistemi (DIN 50320) (Chattopadhyay, 2001) .....	19
Şekil 19. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi .....	20
Şekil 20. Aşındırıcı tanecikler ve aşındırma görüntüsü .....	21
Şekil 21. Pin-on-Disk adhesiv aşınma testi ( Chattopadhyay, 2001).....	22
Şekil 22. Pin-on-Halka adhesiv aşınma testi (Chattopadhyay, 2001).....	23
Şekil 23. Yorulma aşınma mekanizmasının modeli .....	24
Şekil 24. Al-7072 alaşımının aşınma mekanizması .....	24
Şekil 25. 40/120 mesh boyutunda tanelerden %100 içeren bir kaynak çubuğundan oksijen-asetilen kaynağı .....	25
Şekil 26. 40-120 mesh boyutunda tanelerden içeren bir elektrottan ark kaynağı .....	28
Şekil 27. 30-40 mesh boyutunda tanelerden %100 içeren bir kaynak çubuğundan oksijen-asetilen kaynağı .....	29

Şekil 28. Greyder bıçağından kesilen numune zımparalama işlemi ve incelemelere hazır numune görüntüsü .....	29
Şekil 29. Plazma sprej kaplama makinesi örnek görüntü .....	31
Şekil 30. Sertlik deneyi esnasında görüntü .....	32
Şekil 31 Mikroyapı fotoğraf çekiminden örnek bir görüntü .....	33
Şekil 32. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı .....	34
Şekil 33. Mikro yapı fotoğraf çekiminden örnek bir görüntü. ....	35
Şekil 34. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) cihazı görüntü.....	35
Şekil 35. Eroziyon aşınma deney düzeneği .....	36
Şekil 36. Aşındırıcı olarak kullanılan Si-C tozu .....	39
Şekil 37. Bor çeliğinin mikro yapı görüntüleri (100 µm) .....	39
Şekil 38. Farklı çaplarda tungsten karbürler kaplanmış bor çeliğinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri (a) 200 µm, (b) 300 µm ve (c) 400 µm .....	39
Şekil 39. Dönme süresine bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi .....	40
Şekil 40. Devir sayısına bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi .....	42

## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

### Simgeler

$\rho$	: malzemelerin yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\mu\text{m}$	: Mikron Sertlik
H	: Aşınma yüzeyinin sertliği
k	: Malzemelerin yoğunluğu
T	: Kelvin olarak gaz sıcaklığı
V	: Kayma hızı

### Kısaltmalar

SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskop)
EDS	: Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Ayırmalı Spektroskopi)

## BİRİNCİ BÖLÜM

### Giriş

Yol bakımı çalışması yapılan zorlu işlerde greyder bıçakları kullanılır. Aşınmaya ve yüksek darbeye direnç gösterir. Ayrıntılı düzeltme işlemlerinde gerekli olan harika dalma ve yuvarlama hareketini sağlaması için kavisli ve düz yapıda olan greyder bıçakları bulunur. İşlenmesi zor malzemeleri boşaltmak, temizlemek, düzeltmek için yapılmıştır. Karbon çeliklerinin yapılarında bazı elementler bulunur. Bu elementleri bulunduran demir karbon alaşımları olarak adlandırılırlar. İmalat sektöründe kullanılırlar. Karbonlu çeliklerin özelliklerini kullandığından yapılarıyla doğrudan ilişkilidir.

Borlama konusunda Matuschka (1980), Boronizing isimli yazmış olduğu kitapta, borlama ile ilgili örnekler vermiştir. 1895-1980 yılları arasında yapılan çalışmalarla ilgili araştırma yapmıştır.

Kharlamov (1986), yapmış olduğu çalışmada; Yüksek sıcaklıklarda aşınma çeşitlerine karşı motor parçalarının korunmasında, imalat, makine parçaları, kâğıt, nükleer güç endüstrisinde ve kesici malzemelerde, çelik malzemelerin kaplanmasında, detanasyon tabancası tekniği ile yapılmaktadır. Plazma sprey yönteminde de Detanasyon tabancası kullanılması yöntemi etkili kılmaktadır (Kharlamov, 1986).

Bindal (1991), yapmış olduğu çalışmada; (AISI 1020, 1040 ve 1050) gibi 3 ayrı ticari karbon çeliğini kullanılmıştır. Bunlara borlama yaptırarak kimyasal özelliklerini incelemiştir. Borlama süresine bağlı olarak, tabaka kalınlığı azalmış ve sertlik artmıştır. Kırılma tokluğunun ise borlama süresine bağlı olduğunu bulmuştur (Bindal,1991).

Akgündüz (1991), yapmış olduğu çalışmada; Çeliğe borlama yaptırmıştır. Borlamanın aşırı derecede aşınma dayanımı sağladığı, sürtünmeyi azalttığı, asitli ortamlarda korozyonu azalttığı, yüksek sıcaklıkta da sertliğini koruduğunu söylemiştir (Akgündüz, 1991).

Selçuk (1994), yapmış olduğu çalışmada; Bazı çeliklerinin sürtünme davranışını incelemiştir. Aşınma davranışlarına bakmıştır. AI-1020 düşük yüklerde kullanılacağı, semantasyon edilmiş AI-5115 çeliğinin ise yüksek mukavemetli yerlerde kullanılabileceği kanaatine varmıştır (Selçuk, 1994).

Tezcan (1996), yapmış olduğu çalışmada; Borlama işleminde endüstriyel açıdan tarama yapmıştır. Çalışmasında borlamanın ülkemizde deneysel amaçlı kullanıldığı için endüstriyel alanda fazla tercih edilmediğini görmüştür (Tezcan,1996).

Selam (1996), yapmış olduğu çalışmada; Gri dökme demirin aşınma karşı davranış biçimini araştırmıştır. Borlama uygulaması yaparken sıcaklık farkını dengede tutulmasını sağlayarak sıcaklığı değiştirme şeklinde yapmıştır. Bu durumun sonucunda aşınma dayanımının yükseldiğini sonucuna varmıştır. Aşınma deneyleri ile sürtünme katsayısının nasıl arttığını gözlemlemiştir (Selam,1996).

Bhatia (1999), yapmış olduğu çalışmada; önceden hazırlanmış altlık üzerine çarpan partiküller hızlandırılan partiküllere çarpması ile yassı tanecik şeklini almasını sağlar ve altlık ile birbirlerine bağlanmasına sebep olur. Aşırı sıcaklığa rağmen altlık çok ısıya maruz kalması mümkün olmamakla beraber mikro yapısı değişmez. Plazma sprej kaplama yönteminde aşırı sıcaklık nedeniyle her türlü malzeme kaplanabilir (Bhatia,1999).

Çalık, Delikanlı ve uzun (2002) yapmış oldukları çalışmada çeliğe yapılan borlama işleminde çeliğe uygulanmış borür tabaka kalınlığının 4-6 saat borlama süreleri değiştikçe sürtünmenin azaldığını söylemiştir. Bor Çeliğine uygulanacak kaplama malzemesinin kalınlığına bağlı olarak yapıdaki bor miktarının fazla olması kayganlığı artıracak ve borlama işleminin yapılması kaplama öncesi fayda sağlayabilecektir (Çalık vd., 2002).

Karaman (2003), yapmış olduğu çalışmada; borlamadan bahsetmiştir. Dünya genelinde araştırma yapmış ve borlamanın ticari olarak nasıl yapıldığını söylemiştir. St 37 çeliğinden imal edilmiş iplik kılavuzlarının ömürlerini arttırılabileceğini söylemiştir (Karaman,2003).

Davis (2004), yapmış olduğu çalışmada; metalik veya metalik olmayan kaplamaların uygulanabildiği plazma sprej yöntemidir. Bu sebep ile kaplama yöntemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Davis,2004).

Fauchais (2004), yapmış olduğu çalışmada; plazma sprej yöntemi ile kaplanan malzemede plazmanın çevreyle olan etkileşimi ile Beslenen toz ile oluşan partiküller; akış biçimi, katmanları ve kaplama biçimi olarak anılır. Sıcaklık etkisi önemli faktör olarak değerlendirilir (Fauchais,2004).

Yeşildal (2007),yapmış olduğu çalışmada; Seramik kaplama yapılırsa metaller aşınmaya, korozyona karşı korunabilir. Fakat kaplama plazma sprej teknolojisi yapılabilir. Altlık Yüzeye dik bağlanması halinde yüzey pürüzsüz hale getirilmiş olur. Kaplama sonrası dalgalı tabakalar oluşabilir (Yeşildal, 2007).

Üstel (2008) , yapmış olduğu çalışmada; termal sprej kaplamadaki amaç teli ve tozu erimiş hale getirmektir. Alev boyutunun yetersiz kalırsa bu yöntem kullanılamaz. Bu yüzden ötürü plazma sprej kullanılmasında fayda görülmüştür (Üstel, 2008).

Evcin (2009), yapmış olduğu çalışmada; plazma sprej yöntemiyle yapılan kaplamada sertlik ve tokluğu koruduğu için seramiklerde de üstün özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır (Evcin, 2009).

Aydın, Uçar ve Engin (2010), yapmış oldukları çalışmada paslanmaz çeliklerin şekil alması çok zordur. Bu nedenle talaş kaldırma sırasında kayganlaştırıcı sıvı ve kesici takım seçimi önemlidir. Çelik malzeme testere ile kesilirken soğutma sıvısı yüzeye etki edebilir (Aydın vd., 2010).

Vicenzi (2011), yapmış olduğu çalışmada; Termal sprej yönteminin farklı teknikler ve yöntemlerle kaplama yapılabilir; Bunlar elektrik yöntemi (ark ve plazma) sprej, kimyasal yöntemi olarak (Alev, HVOF ve Detanasyon) yanma yöntemleri olarak iki guruba ayrılmış, püskürtme yüksek sıcaklıkta erken yapışma sağladığından termal sprej yöntemi seçilmiştir (Vicenzi, 2011).

Önen (2012), yapmış olduğu çalışmada; bor elementi metal ile ametal arasında bağ yapabildiği için kullanım alanı geniştir (Önen, 2012).

Dorfman (2012), yapmış olduğu çalışmada; termal sprej kaplamalar ile yapılan kaplamalardaki amaç korozyonu engellemek, ısı yalıtım ve iletkenliği artırmaktır. Ayrıca yenilenebilir kaplama amacıyla da etkin kullanılmasına sebep olmaktadır (Dorfman, 2012).

Özbek ve Akgün Kayral (2017) yapmış oldukları çalışmalarda Sprej tabancalarında oksijen kullanmak yerine hava kullanılırsa sistemlerin geliştirilmesi dolayısı ile kaplama maliyetini azaltmaktadır ( Özbek & Akgün Kayral, 2017).

Altuncu ve Üstel (2017) yapmış oldukları çalışmada sprej teknolojisi gelecekte her pazarda yaygın olarak kullanılacağını, maliyeti düşük olduğu için daha çok tercih edileceğini söylemiştir ( Altuncu & Üstel, 2017).

Petaccia ve Gervasoni (2019) yapmış oldukları çalışmada çelikler üzerine yapılan kaplama neticesinde ara kaplama malzemesi olarak tungsten yeni bir yüksek mukavemetli nükleer malzeme sınıfı içerisinde günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılacaktır (M.G. Petaccia & J.L. Gervasoni, 2019).



## **Kuramsal Temeller**

### **Greyder Bıçak Sistemleri**

Zorlu işlerde yol açılmasında greyder bıçağı kullanılır. Aşınmaya karşı dirençlidir. Çeşitli greyder bıçakları bulunur. Çakıl, toprak ve buz gibi kırılması temizlenmesi zor malzemeleri süpürmekte kullanılır. Sertleştirilmiş çelikten imal edilmektedir. Farklı sertliklerde ve boyutlarda homojen sertlik dağılımına sahip bıçaklar bulunur. Pahlı tasarımları mevcuttur. Yüksek Karbonlu Çelikten imal edilmektedir. Zorlu çalışma koşulları hesap edilerek ve farklı işlem uygulamaları amaçlanarak tasarlanmıştır. Aşınmaya karşı çok dirençlidir.

### **Karbon Çelikleri**

Demir karbon alaşımlarının yapısında mangan, silisyum, fosfor ve demir bulunmaktadır. İmalat ve yapı sektöründe yaygın kullanıldığı için yapı çelikleri olarak ta adlandırılırlar. Darbe dayanımı, süneklik, uzama ve çekme artan karbon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Plastik şekil alma kabiliyetini ve bu özelliklerine bağlı olarak düşürücü rol oynamaktadır. Martenstik tabaka çeliğe su verdiğimizde sertleştirebilmelerini sağlamaktadır. Kaynak kabiliyetini karbon miktarına bağlı olarak ve su alma kabiliyetindedir. Yapısına göre 3 guruba ayrılmaktadır.

#### **Düşük karbonlu çelikler.**

Yüzde 20 karbon içeriyorsa düşük karbonlu çelik olarak adlandırılır. Mekanik özelliklerine bağlı olarak bu çeliklere yumuşak çelikte denir. Düşük karbonlu çelikler Dünyada en çok kullanılan çeliktir. İnşaat sektörü kullanılan çelik çubuklar düşük karbonlu çelikler olarak adlandırılır. İçerisinde az karbon olduğundan dolayı, işleme tabi tutulması ile hemen sertleştirilemezler. Yüzey sertleştirme de sementasyon gibi işlemlerle yüzeyler yapılabilir.

#### **Orta karbonlu çelikler.**

Yüzde 20 ve 60 karbon içeriyorsa orta karbonlu çelik olarak adlandırılır. Mekanik özelliklerine bağlı olarak bu çeliklere yumuşak çelikte denir. Düşük karbonlu çelikler Dünyada en çok kullanılan çeliktir. İnşaat sektörü kullanılan çelik çubuklar düşük karbonlu çelikler olarak adlandırılır.

### **Yüksek karbonlu çelikler.**

Yüzde 60 daha fazla karbon içeriyorsa yüksek karbonludur. Normal halde mukavemeti yüksek, sünekliği azdır. Yüksek sertliği ısıtma işlemi ile kazanırlar Kesici özelliği ve aşınma dayanımı iyidir. Kolaylıkla işlenip şekil alabilme özelliği yoktur. Kaynak kabiliyetleri de düşük olup başka yöntemlerle kaynak yapılabilir. Takım çeliklerinin yapılmasında kullanılırlar.

Tablo 1. *Karbonlu çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri*

<b>Kalite</b>	<b>Kullanım Alanları ve Özellikleri</b>
Düşük Karbonlu Çelikler	Cıvata, somun, ıslah edilebilir makine parçaları imalatı, yapı ve inşaat sektöründe görev alarak kullanılabilir.
Orta Karbonlu Çelikler	Makine, cıvata, somun, dingil, gemi şaftı, uskur mili, dişli çark, transmisyon mili, frezeli mil, yük kancası, manivela kolu, ray, kazma, kürek gibi araç gereçlerin yapımında kullanılır..
Yüksek Karbonlu Çelikler	Mil, şaft, cıvata, somun, spiral ve yaprak yaylar, makaslar, kesici basit takımlar, zımba, kepçe dişlisi, greyder bıçağı, yüksek mukavemetli makine parçaları, ege, keser, ağaç testeresi gibi araç gereçlerin yapımında kullanılır.

### **Bor Çelikleri**

Bor elementi metal ile ametal arasında bağ yapabildiği için kullanım alanı geniştir. 230 çeşit bor minerali vardır (Önen, 2012). Ülkemizde Pandemit, Üleksit mineralleri ülkemizde bulunmaktadır. Oksijenle bağ yapmaya yatkındır. Bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır.

#### **Bor kullanım alanları.**

Bor mineralleri çeşitli sanayi alanlarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Metalik malzemeler üzerine bor kaplanabilir. Bor bileşiklerinin kullanımı, çok eski teknolojilerinden olup bugüne kadar kullanılarak gelmiştir. Günümüzde bu kullanım alanları çok daha genişlemektedir, özellikle 400'den fazla endüstriyel alanlarda uygulama alanı bilinmektedir. Bor Çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

#### **Borlama.**

Borlama ile yüzey sertleştirme işlemlerindedir. Borlama, metalik malzemenin yüzeyine Borun uygulandığı kimyasal bir işlemdir. Bor yüksek sıcaklıkta çeliğin yüzeyine yayılır. Seramik malzemelere sinter karbür uygulanabilir. Borlu tabakanın özellikleri, yapısına, borlama sıcaklığına, zamana bağlıdır. Çelik yüzeyinde oluşan tabaka çok sert olup ayrıca sementasyon da olduğu gibi sertleştirmeye gerek kalmaz. Bor, alaşım elementi olarak

kullanılır. Çelik üretiminde yaygın olarak kullanılır. Borlama işlemi ferro alaşımlara uygulanabilmektedir.

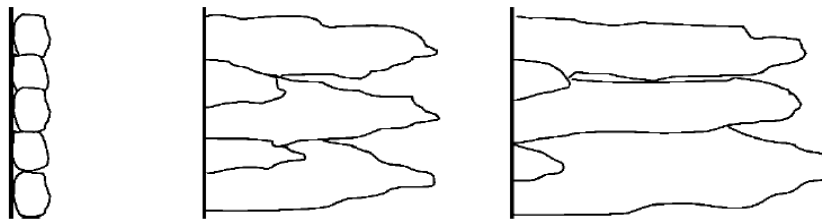
Tablo 2. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikrosertlikleri

Borlanan Alt Yüzey	Borür Tabakasındaki fazlar	Borür tabakasının sertliği (HV)
Fe	FeB Fe <sub>2</sub> B	1900-2100 1800-2000
Co	CoB Co <sub>2</sub> B Co <sub>3</sub> B	1850 1500-1600 700-800
Ni	M <sub>4</sub> B <sub>3</sub>	900-1600
Mo	Mo <sub>2</sub> B MoB <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	1660 2330 2400-2700
W	W <sub>2</sub> B	2600
Ti	TiB TiB <sub>2</sub>	2500 3370
Nb	NbB <sub>2</sub> NbB <sub>4</sub>	2200
Ta	Ta <sub>2</sub> B TaB <sub>2</sub>	2500
Hf	HfB <sub>2</sub>	2900
Zr	ZrB <sub>2</sub>	2250
Re	ReB	2700-2900

### Borlu tabakanın yapısı ve bileşenleri.

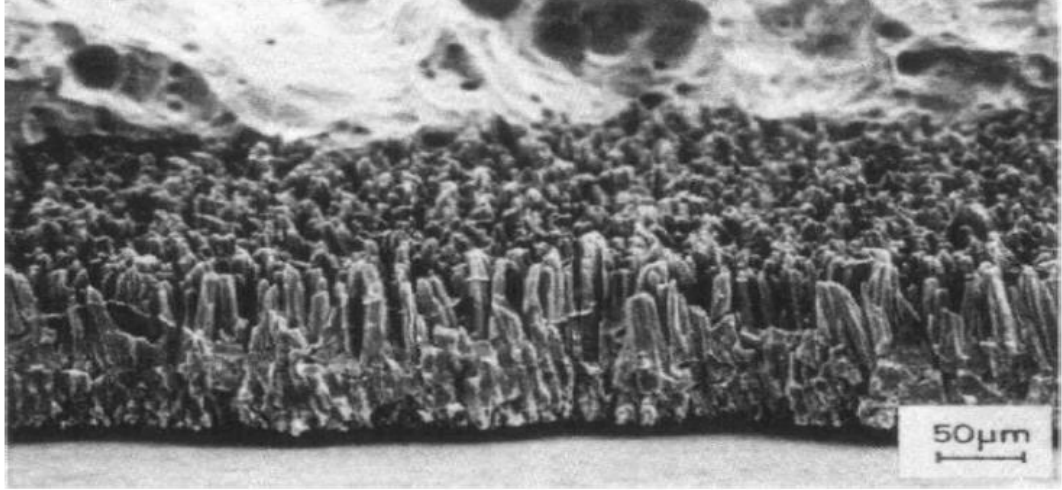
#### *Borür tabakası.*

Tipik seramik özellikleri borür tabakası gösterir. Yüzey pürüzlülüğünün az olduğu yerlerde borür tabakasını görünür. Bu yapılarda çeşitli demir çekirdekleri oluşur ve gelişir. Borlamanın ilk aşamasında reaksiyon yapıları arasında tepkime oluşur. Yüzeyde oluşan çekirdek oluşturur. Bor çelik malzemenin yüzeyine yayılır.



Şekil 1. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum aşaması

Bor atomları kafes yapının kafesini oluşturur. Bu nedenle farklı yapı oluşur. Fe<sub>2</sub>B fazı oluşur, ortamda yeterince bor konsantrasyonu faz oluşturur. Borür tabakaları çeliğin yüzeyinden içeriye doğru farklı katmanlarda oluşur. FeB fazı, Fe<sub>2</sub>B fazından daha kısa zamanda büyür.



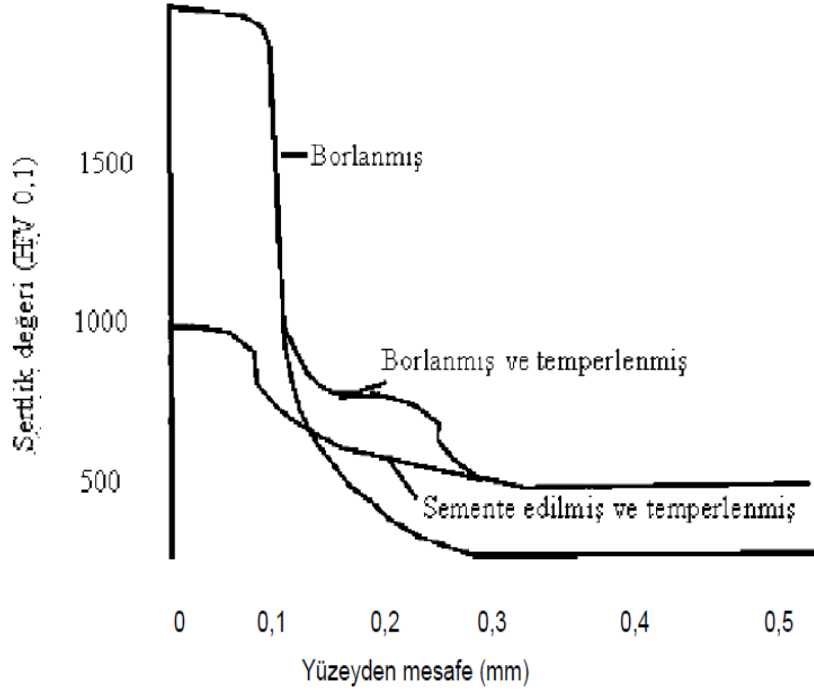
Şekil 2. Diş biçimli demirborür kristalleri (Fe<sub>2</sub>B)

Borlamada oluşan bu yapılarda çeşitli demir çekirdekleri oluşur ve gelişir. Yüzeyde oluşan çekirdek oluşturur. Borlama zamanı ile çekirdek oluşumu artar. Bu tabakalar, düşük mukavemettedir. Ana malzemeye, borlu tabakanın özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden; borlama sonrası ısı işlemler uygulanabilir. Bu değerlendirme sistemi, borür tabakasının görüntüsüne karar vermeyi sağlayabilirler.

Tablo 3. Fe<sub>2</sub>B ve FeB'nin bazı özellikleri

Özellik	Fe <sub>2</sub> B	FeB
Ergime Sıcaklığı (°C)	1390	1550
Mikrosertlik (HV)	1600-2000	1600-2400
Uzatma Katsayısı(1000 °C)	8.10 <sup>-6</sup> 1/K	10-16.10 <sup>-6</sup> 1/K
Termal İletkenlik(1000 °C)	0,2-03 W/cm °C	0,1-02 W/cm °C
Curie Sıcaklığı (°C )	742	325
Yoğunluk (g/cm)	7	6,3
Kristal Sistem	Tetragonal hacim merkezli	Ortorombik
Kafes Parametresi	a:5,078 , b:4,249	a:4,053 b:5,495 c:2,496





Şekil 4. Borlu ve sementasyonlu tabakalardaki sertlik dağılımları

Sertlik ölçümleri farklı sertlik yöntemleri kullanılarak yapılır. Ölçümlerde büyük yük çatlama ve dökülme sebeplere neden olur. Tabakaların bozulmasına ve tabakanın yapısının bozulmasına sebep olur. Şekil 4’de borlama ile sertleştirilmiş tabakaların sertlik kıyaslamaları yukarıda şekildedir.

Tablo 4. Borlama ve diğer işlemlerle elde edilmiş yüzeylerin sertlik değerleri

Malzeme	Mikrosertlik(kg/mm)
Nitrülenmiş yüzey	<b>610-940</b>
Gaz ile karbürize edilmiş yüzey	<b>700-820</b>
Sert krom kaplı yüzey	<b>950-1100</b>
WC+%13 Co sinter malzeme	<b>1300</b>
Borlu karbon Çeliği	<b>1600</b>
Borlu AISI H13 (X40CrMoV5-1) çeliği	<b>1800</b>
Borlu AISI A2 (X100CrMoV5-1) çeliği	<b>1900</b>

### *Aşınma.*

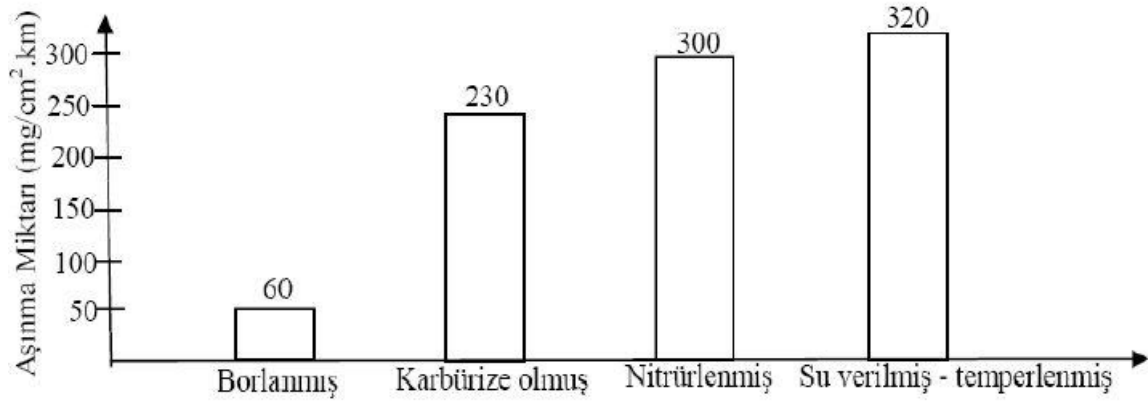
Malzemenin aşındırıcıdan daha sert olması istenir. Bor yağlama sağlayarak yüzeylerin birbirine kaynamasını önlemektedir. Tablo 4'de bazı malzemelerin durumdaki sürtünme katsayılarından bahsetmiştir.

*Tablo 5. Bazı malzemelerin borlanmış ve borlanmamış durumdaki sürtünme katsayıları*

Malzeme	Sürtünme Katsayısı	
	Borlu	Borsuz
Düşük karbonlu çelik	<b>0,17-0,19</b>	<b>0,585-0,595</b>
Takım Çeliği	<b>0,07-0,04</b>	<b>0,16-0,18</b>
WC+Co sinter Malzeme	<b>0,1939-0,2335</b>	<b>0,2617-0,2773</b>

### *Korozyon özellikleri.*

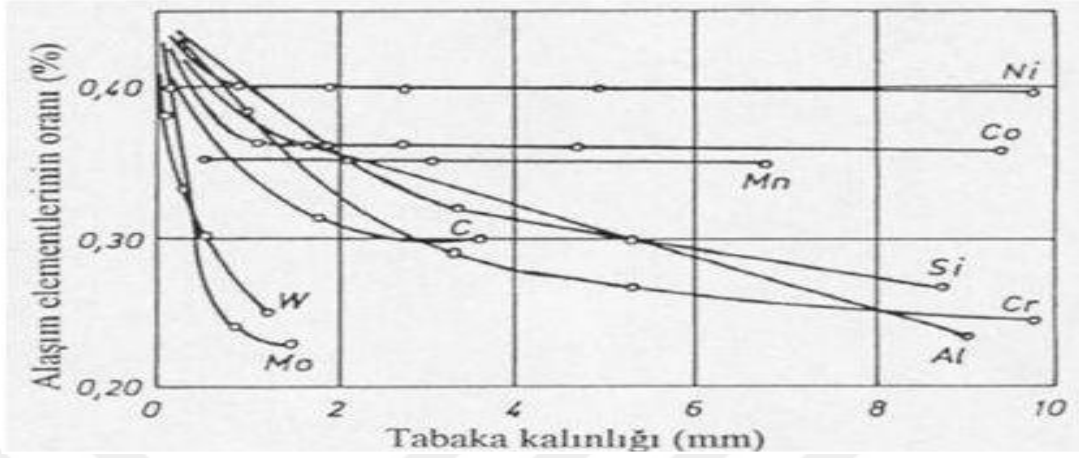
Borür tabakasının atmosfere karşı direnci düşüktür. Yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasın da malzemelerin borlanması ile korozyon özelliği en iyisi olmayabilir.



*Şekil 5. Aşınma miktarları*

### Alaşım elementlerinin borlamaya etkisi.

Bütün alaşım elementlerinin ilavesi tabakada azalmaya neden olmuştur. Alaşım elementlerinin etkisi ile borür diyagramında ötektik noktayı aşağıya kaydırır.



Şekil 6. Alaşım elementlerinin borür tabakası kalınlığına etkisi

Malzeme içerisindeki karbon oranının artması Şekil 6'dan da anlaşıldığı gibi tabaka kalınlığını azaltmaktadır. Krom miktarının artmasıyla tabaka kalınlığında yüzeyde oluşan yapıda azalma olur. Silisyum gevrekliği artırdığı için geçiş bölgesinin sertliğini artırır. Molibden miktarı çelikte artarsa tabaka kalınlığı ve yapı düzelir. Tane büyümesi önemli rol oynar.

### Borlama İşleminin Getirdikleri.

Borlu tabakalar çok sayıda karakteristik özelliğe sahiptir. Avantajı ise yüksek ergimesinin olabilmesidir. Borlu tabakaların sertliği, takım çeliklerden daha fazladır. Borlama işlemi ile gerçekleştirilen avantajlardan biri, takım ömrünü artırır. Borlama işleminin yapıldığı ülkelerde makine parçaları daha sık şekilde yeniden kullanılabilir. Bu da ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda hepsinin eğilme karşı çelikler ve demir olmayan malzemeler üzerinde yüksek sertlikte parçalar üretilebilmesini sağlamaktadır.

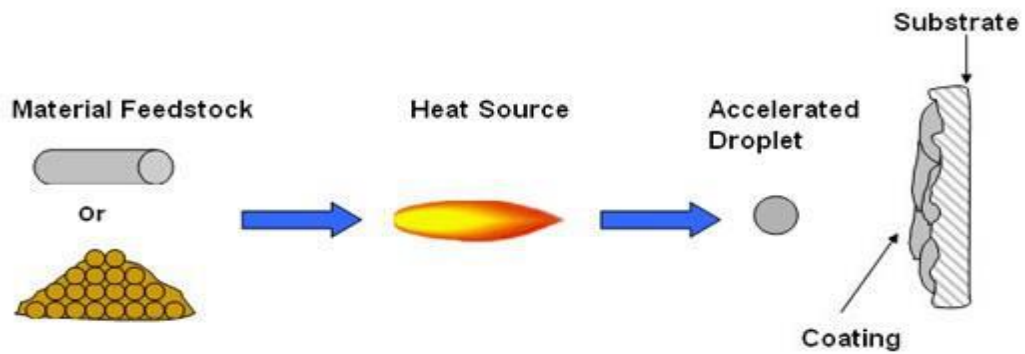


Tablo 6. Diğer ısıl işlemler ve sert malzemeler ile borlanmış çeliklerin tipik yüzey sertliklerinin karşılaştırması

Malzeme	Mikrosertlik, HV
Borlu Yumuşak Çelik	1600
Borlanmış AISI H13 takım çeliği	1800
Borlanmış X100CrMoV51 (AISI A2) çeliği	1900
Sertleştirilmiş ve temperlenmiş X100CrMoV51 (AISI A2) çeliği	630-700
Yüksek Hız çeliği	900-910
Nitrasyon Çelikleri	650-1700
Karbürleşmiş Düşük alaşımlı Çelikler	650-950
Sert Krom Kaplama	1000-1200
B4C	5000
SiC	4000
TiC	3500
Elmas	> 10000

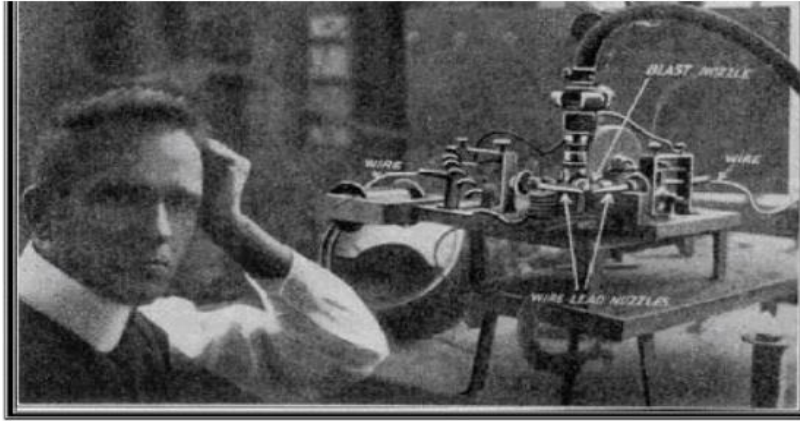
### Termal sprey kaplamalar

Metalik olmayan kaplamaların yapıldığı yönteme termal sprey kaplama yöntemi denir. Bu sebep ile kaplama yöntemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Davis, 2004). Partiküller hazırlanmış taban üzerine çarptırılır. Taneler olarak birbirlerine bağlanırlar (Bhatia, 1999). Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Termal sprey kaplamanın şematik görünümü

Aşınma olaylarını engellemek, iletimi ve yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılırlar. Ayrıca onarma gibi işlemlerde yenilenebilir kaplama estetik amaçla kullanılabilir. (Dorfman, 2012).



Şekil 8. M. Ulrich schoop (Knight)

Avantajları, parçayı çok ısıtmadan fazla hasar uğratmadan yüksek hızlarda taban oluşturarak ve tekrardan kullanım için yeniden kaplanabilmesidir. Dezavantajları ise yüzeyi görüş mesafesinin dar olması hemen kaplanamaması, kaplanan yüzeyde çapakların olmasına sebep olabilmektedir (Davis,2004). HVOF yöntemi sayesinde yüksek yapışma sağlanabilmektedir. Soğuk sprej HVOF'dan, daha fazla kinetik enerji ye sahip hızlı araçtır. (Dorfman, 2012). Kaynaklara göre aşağıda gösterilmiştir.

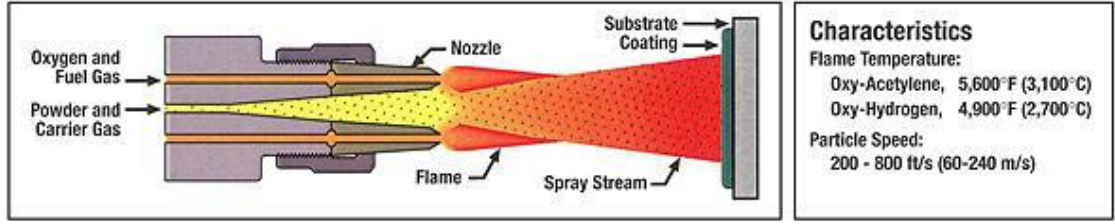


Şekil 8. Isı kaynaklarına göre termal sprej kaplama yöntemleri (Vicenzi, 2011).

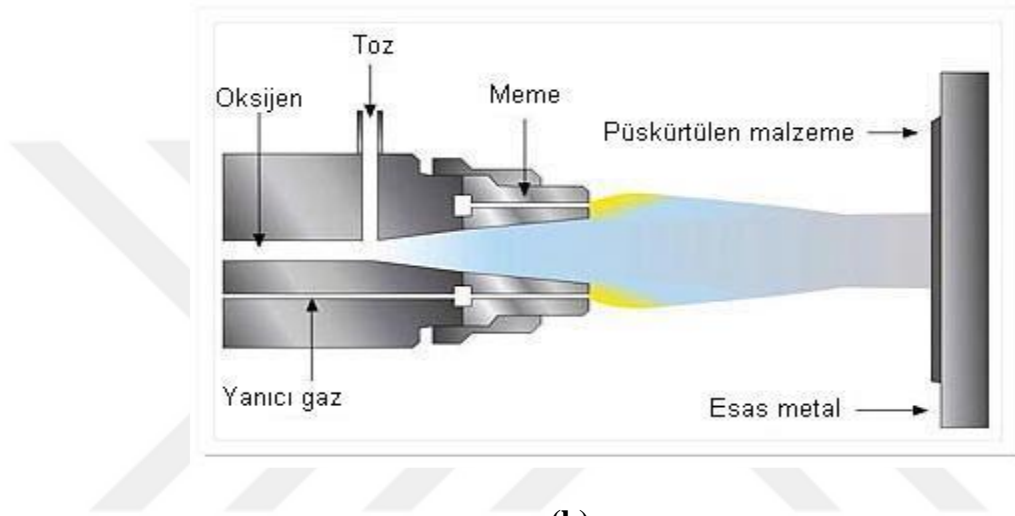
### **Alev sprej yöntemi.**

Farklı iki yöntemi mevcuttur. Önceleri kalay, kurşun asetilen tellerinin oksijenle yakılması ile edilmiştir. Alev sprej yönteminde hidrojen, oksijen ile birlikte tepkimeye sokularak sonuç elde edilir.

## Flame Spray Process



(a)



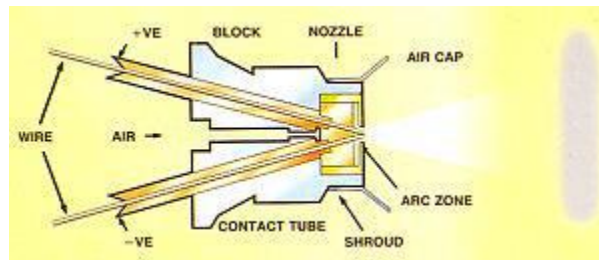
(b)

Şekil 9. a).Tel, b). Toz alev spreyn şematik gösterimi

Altlık üzerine kaplandığında gaz basınçlarının da etkisiyle hızlandırılan partiküller vardır. Bu olayda kısıtlayıcı etken gazın alev sıcaklığıdır. Kaplama malzemesinin cinsine göre gaz seçilmelidir bu da yakıt gazıdır.

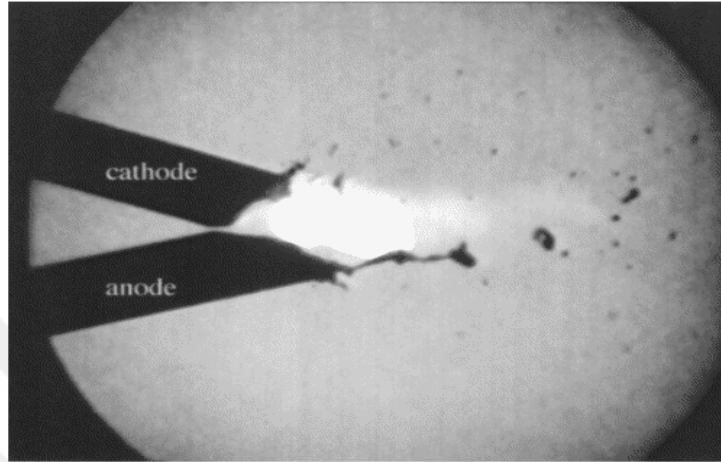
### Elektrik ark spreyn yöntemi.

Bu yöntemde harici ısı kaynağı olmadığı için kaplama hızı ve taban malzemede farklılıklar olabilmektedir. Şekil 10'da şematik ark spreyn işlemi gösterilmiştir.



Şekil 10. Ark spreyn prosesi

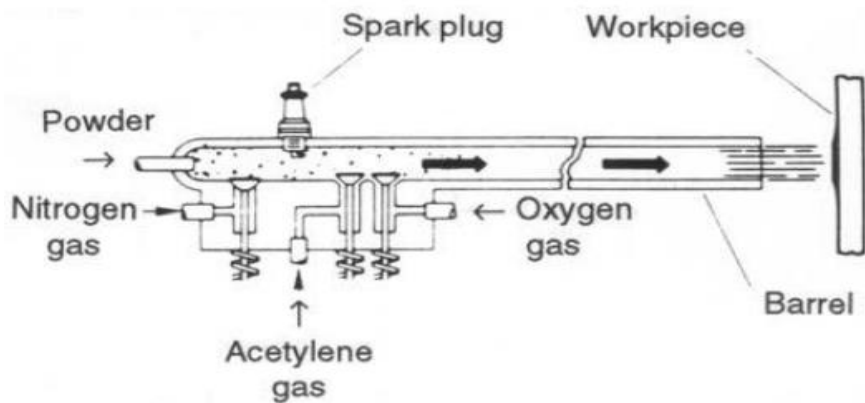
Zıt kutuplu iki tel kesişme bölgesinde bir araya gelmesi ile uygun bir şekilde ergime meydana gelir. Erimiş metal yüzey üzerine püskürtülür. Ark spray, en ekonomik kaplama yöntemlerinden biridir. Metal oksit karışımlarına uygulanabilir. Kaplama kalitesi kaplama mesafesine göre çeşitli değişkenlere bağlıdır. (Bhatia,1999). İşlem sırasında azot kullanılırsa metal nitrür gibi bileşik elde edilir. Kaplama sırasında farklı kutuplar aynı anda beslenebilir. Beslenen metallerin ergime derecesine dikkat edilmelidir.



Şekil 11. Elektrik ark spray kaplamada oluşan ark gösterimi

### **HVOF (High velocity oxygen fuel) yöntemi.**

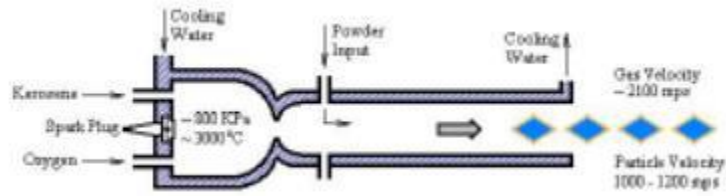
HVOF, en son piyasaya çıkan yöntemlerindendir. Oksijen yüksek basınçta kullanılır. Propan ve hidrojen gaz olarak kullanılır. Gaz karışımı yanması ile yüksek hızlara ulaşır ve kaplama tozu içine alev girmektedir. HVOF, Enerji girişimini minimize eder. Motor parçalarında aşınmayı azaltmak için kullanılır (Bhatia,1999). Şekil 12’de HVOF tabancasının şekil gösterimi verilmiştir.



Şekil 12. HVOF tabancası

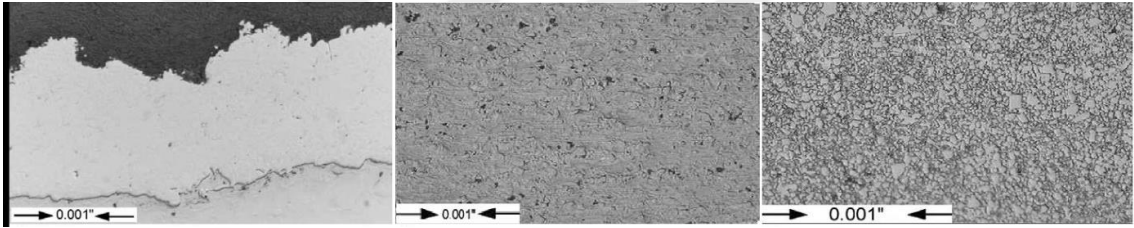
HVOF gaz hızı Gaz yakıtların yanında karosen gibi sıvı yakıtlarda kullanılabilir. Enerji kapsamında bazı avantajları da sıralanmıştır (Dorfman, 2012).

- Kalınlığın artışı
- Yüzey eldesi
- Oksijen seviyesi



Şekil 13. Karosenli HVOF tabancası

Aynı parametreler yüksek performans gösteren motor eksozlarında görülebilir (Davis,2004).

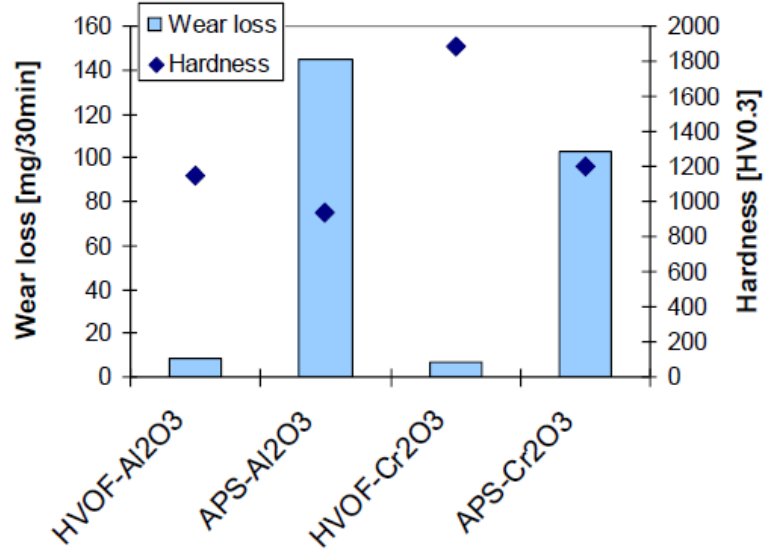


Şekil 14. HVOF ile WC-Co kaplama

HVOF yöntemi ile yüksek kaplamalar üretilebildiği Şekil 14’de açıkça belirtilmiştir. Kinetik enerjinin yüksek olması sayesinde poroziteli kaplama yapılmıştır. İş sağlığı açısından bu yöntem özel kabinde yapılmalıdır. Bu durumda iş güvenliği ekipmanları kullanılmalıdır. Şekil 14’de HVOF yönteminde plazma spray yöntemiyle kaplanmış malzemelerin aşınma ve sertliği incelenmiştir.

#### **Detonasyon tabancası.**

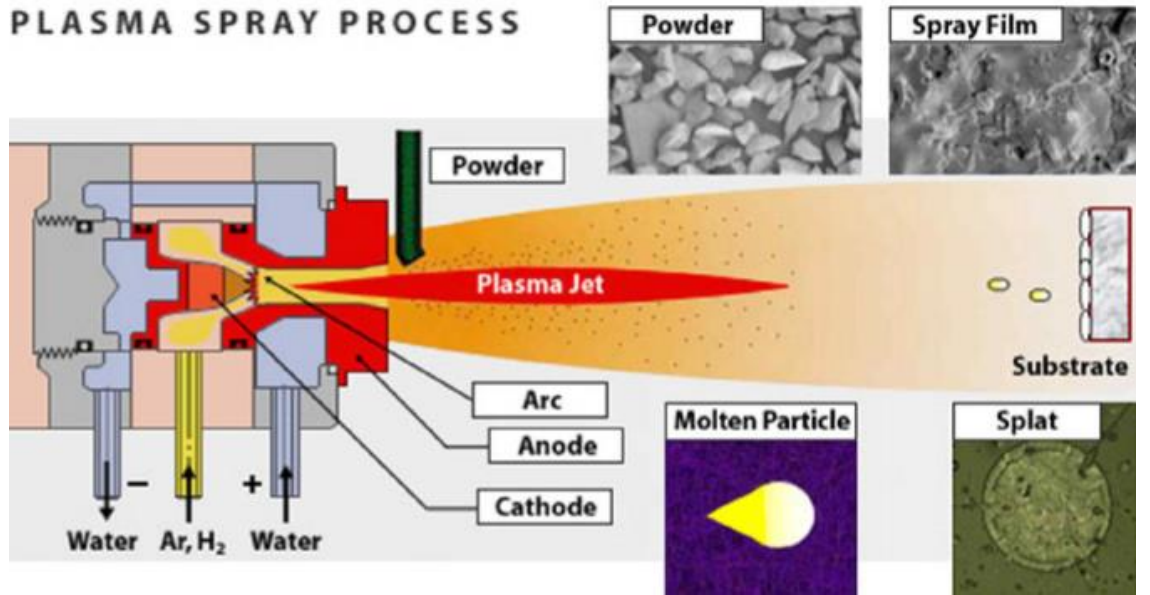
Sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde çeşitli aşınma türlerine karşın yüksek püskürtme gerektiren bu teknik uygulanmaktadır. (Kharlamov,1986).



Şekil 15. HVOF ve plazma sprej yöntemiyle kaplanmış malzemelerin aşınma kaybı ve sertlik ilişkisi

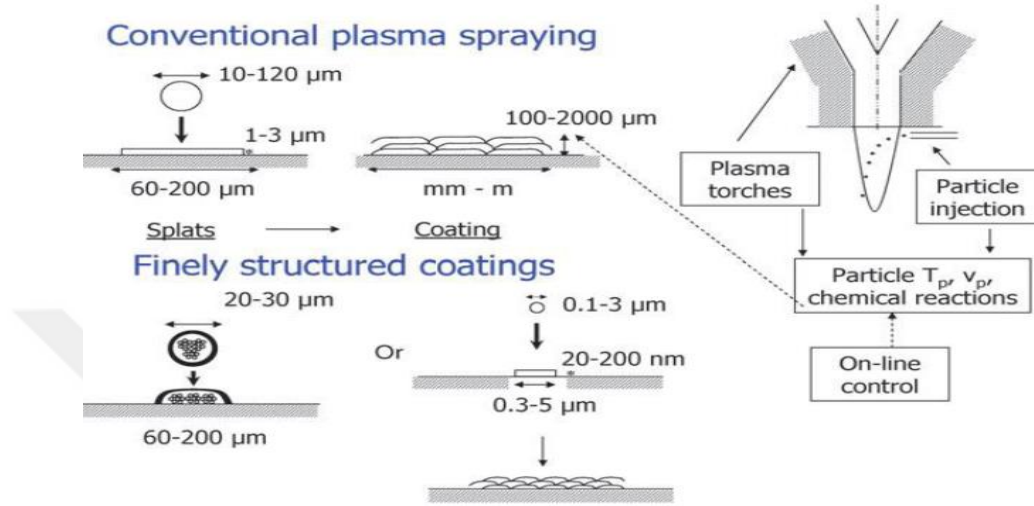
### Plazma sprej yöntemi.

Ark sprej ve alev sprejden sonra geliştirilmiştir. Kaplamaların uygulanması plazma ile yapılabilmektedir. Ana malzemenin üstün özelliklerinden dolayı üstün tokluk sağlamaktadır. Böylece üstün özelliklerinden aynı anda faydalanılmaktadır (Evcin, 2009). Ergime derecesi yüksek kaplamalar için kullanılır. Toz besleme ünitesini içerir.(Bhatia,1999). Şekil 16'da şematik olarak, kaplama ve toz mikro yapısı ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 16. Plazma sprej kaplama prosesi

Plazma sprey kaplamaların yapısı yüzeye paralel ve tabakalar şeklindedir. Dik bağlama kuvvetini artırmak için altlık yüzeyi pürüzsüz yapmak gerekmektedir. Bu işlem sonucu yüzeye paralel katmanlar yerine dalgalı katmanlar oluşturulur (Yeşildal & Günay, 2007). Bu yöntem ile çok yüksek plazma sıcaklığı sebebiyle bilinen tüm malzemeler kaplanabilir. Şekil 16'da plazma sprey kaplamaların oluşum mekanizması verilmiştir.



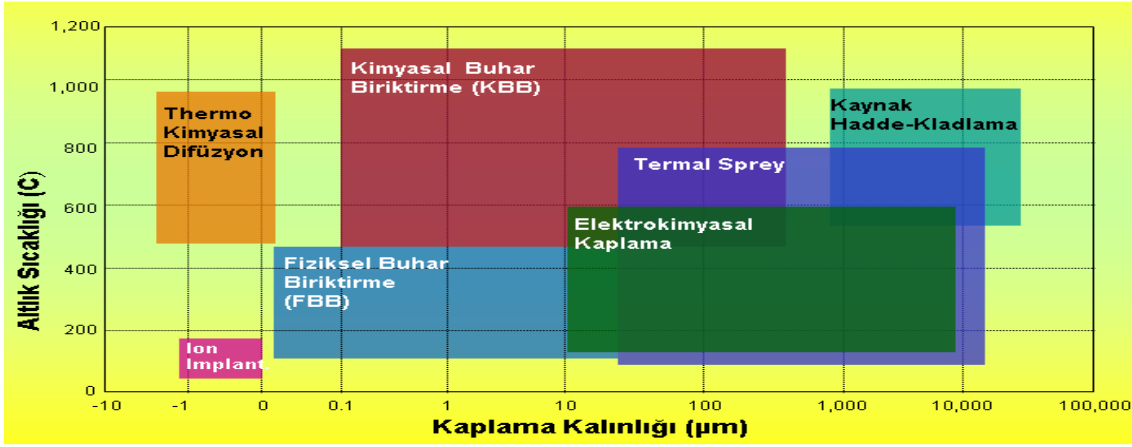
Şekil 17. Plazma sprey kaplamaların oluşum mekanizması (Fauchais,2004).

Taşıyıcı gaz yardımıyla beslenen kaplama tozu ve taşıyıcı gazın debi bu noktada önemlidir. Çünkü ergiyik ve yarı ergiyik hale getirilmesi için toz plazmaya sokulur. Toz beslenmenin yetersiz olmasına sebep olan gaz debisinin az olması ile toz plazmanın içine sokulamaz. Tablo 7'de termal sprey kaplama proseslerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 7. Termal sprey kaplama proseslerinin partikül hızı ve proses sıcaklığının karşılaştırılması

Proses	Partikül hızı m/s	Proses Sıcaklığı (°C)
Soğuk -Sprey	800-900	500-900
Alev -toz	30-200	2500-3000
Alev -tel	30-100	2500-3000
HVOF	700-800	2500-3000
Plazma-APS	200-300	15000
Plazma-VPS	200-300	15000
Ark sprey	50-150	3000

Tablo 7’de görüldüğü üzere Şekil 18’de kaplama yöntemlerinin altlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığı açısından karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 18. Çeşitli kaplama yöntemlerinin altlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığı açısından karşılaştırılması

### Aşınma.

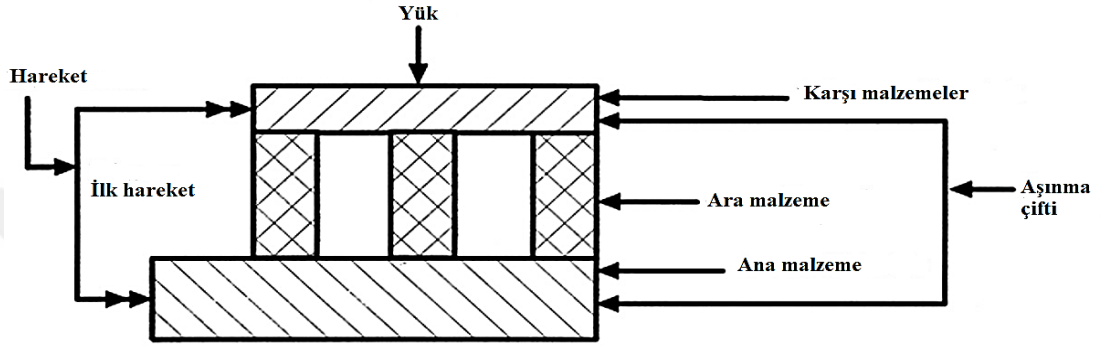
Aşınma, malzemenin katı yüzeylerinin çevre ile etkileşimi sonucunda malzeme üzerinde deformasyona ve malzeme kaybına sebep olur. Malzemede meydana gelen bu malzeme kaybına rağmen oluşan plastik deformasyonun boyut kaybına sebep olduğu söylenemez. Bu tanımlama aynı zamanda, kayma hareketi ve kavitasyonun olmadığı veya çevresel etkenlerden meydana gelen korozyon hasarının mekanik etkenlerden değil de kimyasal etkenlerden de kaynaklanabileceğini açıklamamaktadır. Metal aşınması, yüzeyin ve yüzeye yakın malzemenin plastik olarak yerinden çıkması ve aşınma kalıntısı oluşturan parçacıkların ayrılması ile gerçekleşir. Parçacık boyutu milimetre ile nanometre arasında değişebilir.(Davis, 1998). Aşınma hızları ise kullanım şartlarına göre 10-15-10-1 mm<sup>3</sup>/Nm olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğin sebebi aşınmanın kontrolünde, malzeme seçimi ve kullanım koşullarını büyük ölçüde etkilemektedir.

Makine elemanlarındaki yıpranma, yorulma ve sürünme gibi diğer işlemlerle birlikte, işlevsel yüzeylerin bozulmasına neden olarak malzeme arızasına veya işlev kaybına neden olur. Aşınma ortamı veya aşınmaya neden olan sistemler DIN 50320’de tanımlanmıştır. DIN 50320’ye göre aşınma, malzemenin kendi özelliğinden değil sistem özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle malzemenin performansı aşınma sistemine (adhesiv veya abrasif) ve aşınma ortamına (yük, hız vb.) bağlı olacaktır. Sistemin sınır koşulları tarafından



belirlenen sistemde aşınma, sadece aşağıda sınıflandırılarak verilen şartlarda meydana gelir (Chattopadhyay, 2001).

- Ana malzeme ile temas halinde olan karşı yüzey/disk veya karşı malzemenin oluşturduğu aşınma veya benzer veya farklı özelliklerdeki ara yüzey malzemenin oluşturduğu durumlarda meydana gelir. Bunların kombinasyonu / her ikisinin meydana gelmesi aşınma çifti olarak adlandırılır. (Chattopadhyay, 2001).
- Bağıl hareket, yük altında aşınma çiftini oluşturan bileşenlerin arasında meydana gelir. Bu hareket ve yük birlikte birincil faktörler olarak tanımlanır. (Chattopadhyay, 2001).



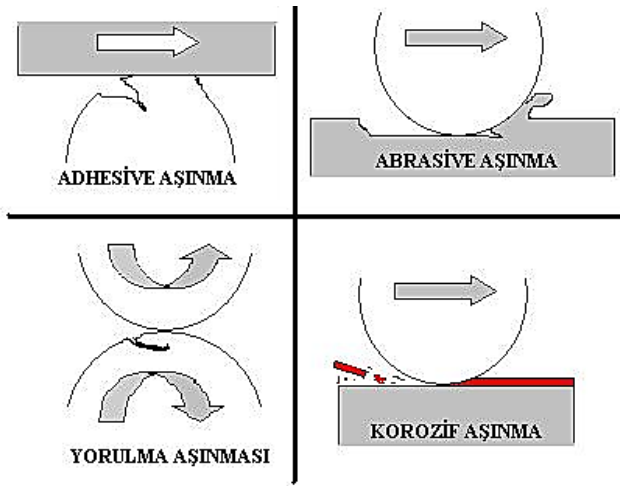
Şekil 19. Aşınma sistemi (DIN 50320) (Chattopadhyay, 2001).

#### Aşınma mekanizmaları.

Aşınma sırasında gerçekleşen temas türleri, aşınma mekanizmaları ile ilişkilidir. Aşınma sırasındaki temas eden noktadaki oluşan koşullar, temas yapılandırmalarıyla bağımsız bir şekilde ortaya çıkmaktadırlar. Temasın şiddeti, elastik temas veya plastik temas şeklinde olmaktadır. Aşağıda aşınma mekanizmalarının, temel ve en önemli olanları verilmiştir.

- Abrasiv Aşınma
- Adhesiv Aşınma
- Yorulma Aşınması
- Korozif Aşınma

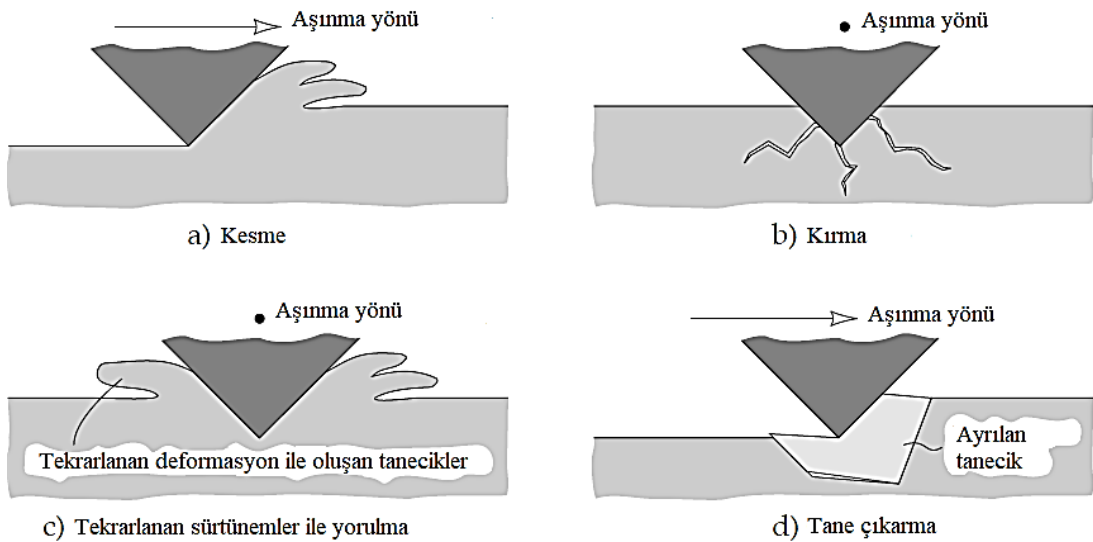
Belirtilen aşınma mekanizmaları şematik olarak, Şekil.20'de gösterilmektedir. Bu aşınma mekanizmaları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 20. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi (Yıldız & Gür, 2006).

### Abrasif aşınma.

Abrasif aşınma, katı malzemeler üzerine aynı sertlikte veya daha sert katı malzemeler yük oluşturduğunda meydana gelir. Sertliği düşük olan bir malzeme sertliği yüksek bir malzeme karşısında içerisinde bulunan daha sert partiküller sayesinde abrasif aşınmaya neden olabilir. Abrasif aşınma mekanizmalarının tanımlanmamış olması, abrasif aşınmanın önlenmesi ve kontrolünü zorlaştırmaktadır. Her biri farklı özelliklere sahip ancak birbirleriyle uyum içinde hareket eden abrasif aşınma mekanizmaları vardır. Şekil.20’de gösterildiği gibi aşındırıcı tanecikler veya parçacıklar, tekrarlanan deformasyonlar ile mikro-kesme, mikro-kırılma, ayrı ayrı taneciklerin çıkarılması veya tekrarlanan yorulma şeklinde aşınmaya sebep olabilir.



Şekil 01. Aşındırıcı tanecikler ve aşındırma görüntüsü

### **Adhesiv aşınma.**

Adhesiv aşınmada, yük altındaki kayma yüzeyleri katı faz kaynak yoluyla birbirine yapışır ve yüzeylerin birbirinden ayrılması ile malzeme kaybı meydana gelir. Benzer metaller için, kayma işlemi sırasında oluşan sertleşme sebebiyle, pürüzlü formların birleşimi ana metallerden daha güçlüdür. Temas yüzeylerinde meydana gelen topaklanma sebebiyle malzeme kaybedilir. Benzer olmayan metallerde, kaynaklanmış birleşim noktalarında, zayıf olan metalin bir kısmı kaybolur. Adhesiv, sıcaklık temasında ortak ergimeye sahip malzemeler arasında daha fazla görülmektedir. Benzer olmayan metal çiftleri arasında meydana gelen adhesiv aşınma, benzer olanlara istinaden daha düşük oranda gerçekleşmektedir. Genel adhesiv aşınma denklemi Eşitlik 2.3'te verilmiştir (Chattopadhyay, 2001).

$$\frac{V}{d} = K_{adh} * \frac{F_N}{H} \quad (2.3)$$

Eşitlikte;

V : Aşınma hacmi

d : Kayma mesafesi

F<sub>N</sub> : Uygulanan normal kuvvet

H : Sertlik

K : Aşınma katsayısı

$K_{adh} = \frac{K}{3}$  Olarak verilmiştir.

Ohmae ve diğerleri çalışmalarında, metal çiftlerinin uyumluluğu ile sürtünme katsayısını ilişkilendirmeye çalışmışlardır. Hume-Rothery kuralına göre uyumluluk, elektronegatiflik, atom yarıçapı, elektron-atom oranı ve elektron yörüngesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Uyumluluk oranı, üçüncü grupta meydana gelen sürtünme katsayısındaki tekdüze azalma ile açıklanamaz. Bununla birlikte, “d” kuşağının artan grup numarası ile aşamalı olarak doldurulması, üçüncü geçiş metalleri grubunun sürtünme özelliklerini de iyi bir şekilde kabul eder (Sırasıyla; Ti, V, Cr, Mn, Fe, CO, Ni ve Cu).

### **Adhesiv aşınma testi yöntemleri.**

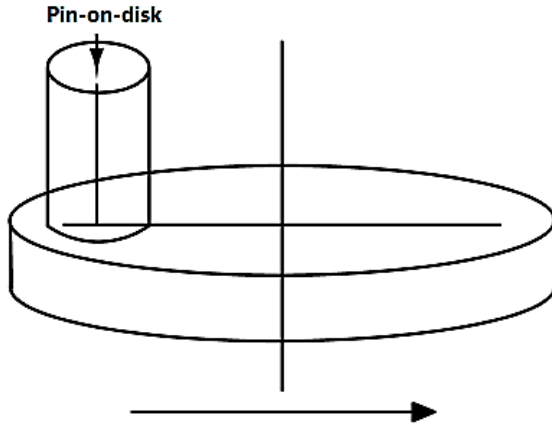
Triboloji ve Yağlama Mühendisleri Derneği (STLE), sürtünme aşınması ve yağlama testleri için 12 kategori altında bazı 300 test yöntemi belgelemiştir. Ancak adhesiv aşınma testlerin çoğunluğu aşağıda belirtilen üç yöntemde dayanmaktadır;

- Pim-on-disk (tek yönlü)
- Pim (veya blok)-on-halka (tek yönlü)
- Pim-on-plaka (pistonlu)

Bu denemeler, kuru ya da yağlayıcının eklenmesi ile gerçekleştirilebilir. Yukarıda belirtilen adhesiv aşınma testi yöntemleri aşağıda açıklanmaktadır. (Chattopadhyay, 2001).

### ***Pin-on-disk testi.***

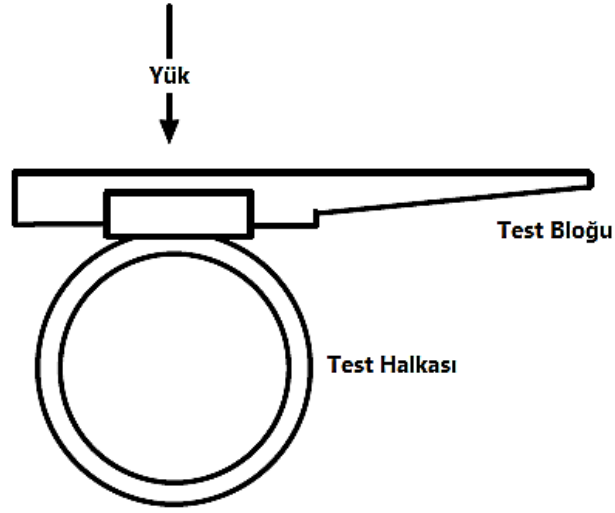
Disk üzerinde pin aparatı ile adhesiv aşınma testi yapılması için uygulamayı şu şekilde açıklamaktadır. Bir pim numunesi, bir kol veya levye tarafından belirlenen bir yük ile düz dairesel bir diske sıkıca bastırılır. Test sırasında, disk veya pim döner ve disk yüzeyinde dairesel bir form oluşturur. Pim yerine bir top da kullanılabilir. Aşınma miktarı, test öncesi ve sonrasında boyutlar tartılarak veya ölçülerek belirlenir. Doğrusal boyutlardaki değişiklikler, elektronik mesafe ölçer yardımı ile ölçülebilir. Doğrusal ölçümler uygun geometrik ilişkiler kullanılarak aşınma hacmine dönüştürülür. Sürtünme katsayısını belirlemek için, yük hücresi gibi bir kuvvet ölçme cihazı kullanılır. Test, seçilen kayma mesafeleri, yükleri ve hızları için yapılabilir (Chattopadhyay, 2001).



Şekil 22. Pin-on-disk adhesiv aşınma testi (Chattopadhyay, 2001)

### ***Pim (veya blok)-on-halka (tek yönlü) testi.***

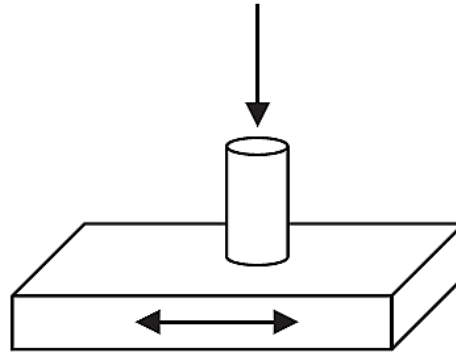
Halka üzerinde pin ya da blok aparatı ile adhesiv aşınma testi yapılması için uygulamayı şu şekilde açıklamaktadır. Pin (veya blok) numunesi dikey olarak monte edilmiş bir diskin (veya halkanın) kenarında kayar. Disk 750 ila 2000 devir/dakikada (2,9–7,9 m/s) döner. Aşınma gerçekleştikçe temas şekli değişir. Geometride yapılan değişiklik dışında, test pin-on-disk testine benzer. Disk üzerindeki pin, dönen pompa ekipmanı gibi uygulamaların oluşturduğu hareket tipini üretir (Chattopadhyay, 2001).



Şekil 23. Pim-on-halka adhesiv aşınma testi (Chattopadhyay, 2001)

#### ***Pim-on-plaka testi.***

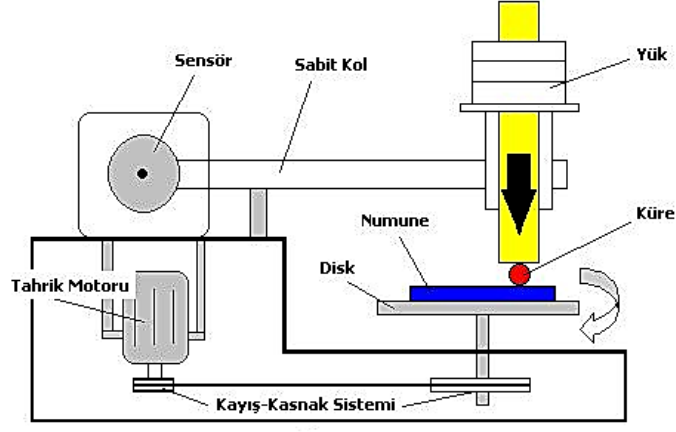
Karşı zemin, dakikada 50 ila 300 döngüde karşılık veren bir plakadır (120×40×3 mm ya da 5×2×0,12 inç) (Şekil 23). Strok uzunluğu 10 ila 110 mm (0,4–4 inç) arasında değişebilir. Geometri, içten yanmalı motorlarda pistonun ürettiğine benzer bir hareket üretir (Chattopadhyay, 2001).



Şekil 24. Pim-on-plaka adhesiv aşınma testi

#### **Yorulma aşınması.**

Temas yüzeyler arasında oluşan tekrarlı çevrimsel hareketler adhesiv ve abrasiv aşınma için gerekli olmamaktadır. Çünkü adhesiv ve abrasiv aşınma mekanizmalarında yüzeyler arasında sürekli bir temas söz konusudur. Çevrimsel hareketler sonucu adhesiv ve abrasiv aşınma dışında diğer aşınma mekanizmaları oluşmaktadır. Bu aşınma mekanizmalarına yorulma aşınması denilmektedir. Şekil.25’de yorulma aşınma mekanizmasının modeli belirtilmiştir.



Şekil 25. Yorulma aşınma mekanizmasının modeli

### **Korozyon aşınması.**

Metaller yüzeylerinde oluşturdukları oksit tabakası nedeniyle korozyona karşı oldukça dirençlidirler. Aşındırıcı koşulların etkisiyle metal yüzeylerinde oluşan oksit tabakası tekrarlı darbelerin etkisiyle kırılabilir ve daha sonra bu koruyucu tabaka kaybolarak yeniden oluşmaz. Bu şekilde temas yüzeyleri korumasız kalır ve korozyon aşınması meydana gelir. Korozyon aşınması iki aşamada meydana gelir;

- Temas yüzeyleri ortamda bulunan etkenler ile reaksiyona girer, reaksiyon sonucu temas yüzeyleri üzerinde oksit tabakası oluşturur,
- Temas yüzeylerinde tekrarlı darbelerin etkisiyle çatlaklar ya da abrasiv etkenlerden dolayı reaksiyon sonucu oluşan tabaka hasara uğramaktadır.

### **Aşınmayı etkileyen faktörler.**

Aşınmayı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Aşınmaya en çok etki eden faktörler aşağıda belirtilmiştir.

- Malzeme seçimi
- Yüzey sıcaklığı
- Yüzeye uygulanan yük
- Kayma mesafesi
- Aşındırıcı parçacıklar ve malzemelerin sertlikleri

### **Malzeme seçimi.**

Gevrek malzemenin adhesiv aşınmaya karşı dayanıklılığı plastik malzemeye göre daha yüksektir. Plastik malzemelerde oluşan hasar plastik malzemesinin akma dayanımından kaynaklanır. Genel olarak yüzeyden belirli bir derinlikte (0,2 mm) aşınma kalıntısı oluşurken bazen derinlik miktarı 3 mm'ye kadar çıkabilir. Yüzey basıncı bir süre sonra kritik değere ulaştığında sürtünme meydana gelecektir. Mukavemet teorisine göre, gevrek malzemelerde

oluşan hasar normal gerilmeden kaynaklanır, ancak plastik malzeme hasarı kayma gerilmesi ile belirlenir. Maksimum normal gerilme temas yüzeyinde olmakla birlikte, maksimum kayma gerilmesi yüzeyin altında gerçekleşir. Malzemede oluşan stres arttıkça, adhesiv aşınması daha şiddetli olur. Aynı metal ya da malzemeler arasında olan yüzey temasında adhesiv aşınma daha büyük olur. Farklı metal ya da malzemeler arasında olan aşınma daha düşük olmaktadır. Metalik ve metalik malzemelerden oluşan sürtünme çifti, iki farklı metalin oluşturduğu sürtünme çiftinden daha büyük aşınma direncine sahiptir. Metal yüzeyde üretilen sülfür, fosfor veya klorür vb. yüzey işleme yöntemleri sayesinde yapışmayı etkin bir şekilde azaltırken, yüzey filmi de hasarın derinliğini sınırlar ve böylece yapılan yüzey işlemi sayesinde aşınma yeteneği artmış olur.

### ***Yüzey sıcaklığı.***

Yüzey sıcaklığı, sürtünme yüzeylerinin etkileşimi ve hasarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey sıcaklığı yağlama arızasına neden olabilirken, sıcaklık değişimi malzeme özellikleri ve malzeme içyapısında değişimlere neden olur. Yüzey basıncı ve kayma hızı yüzey sıcaklığını etkileyen iki ana faktördür. Bu iki faktörü sınırlandırmak aşınma direncinin artmasına sebep olur.

### ***Yüzeye uygulanan yük.***

Daha yüksek yüklerde, aşındırıcıların kesilmesi veya oyuk daha şiddetlidir ve daha fazla aşınmaya neden olur. Düşük yükler altında ise, aşındırıcılar yüzeyde çizikler veya mikro kesikler oluşturarak malzemenin daha az aşınmasına neden olur.(Chattopadhyay, 2001).

### ***Kayma mesafesi.***

Kayma mesafesindeki artış miktarı, yüzeyden daha fazla malzeme kaybına neden olarak aşınmayı artırır (Chattopadhyay, 2001).

### ***Aşındırıcı parçacıklar ve malzemelerin sertlikleri.***

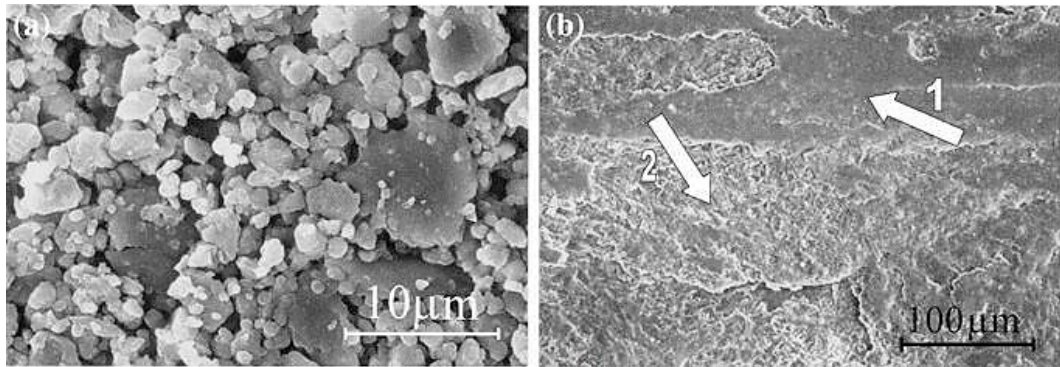
Bir yüzeyin sertliği ne kadar yüksek olursa, aşınma hacmi o kadar düşük olur. Bununla birlikte, aşındırıcı sertliğinin metalin sertliğine oranı, aşınma için önemli bir parametredir. Sertlik artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir. Aşınma dayanımını artırmak için alaşım ya da ısıl işlem uygulanarak yüzey sertleştirme yapılabilir.

## **Yağlama.**

Aşınmaya karşı alınan en önemli önleyici tedbirlerin başında yağlama gelmektedir. Yağ ya da katkılı yağ kullanarak sisteme yapılan ilave yağlama işlemi ile aşınma özellikleri geliştirilebilir. Yağlama işlemi malzemelerin ısı iletkenliğini kullanarak soğuma kabiliyetini artırılabilir, yüzey sıcaklığı düşürülebilir ve yüzeyler arasında oluşan temas basıncı düşürülebilir. Bu sayede aşınma direnci artırılmış olur.

## **Alüminyum alaşımlarda aşınma.**

Alüminyum alaşımları sıcaklığın artmasıyla ciddi bir şekilde azalan nispeten düşük sertlik ile karakterize edilirler (alaşımlar yaklaşık 250 kg/mm<sup>2</sup> sertlik seviyesine erişirler). Alüminyum alaşımları aslında 100 °C sıcaklık civarında yoğun termal yumuşamaya başlarlar. Sonuç olarak bu sıcaklıklarda alaşımların sürtünme katsayısı ve aşınma katsayısı gözle görülür bir şekilde artmaya başlar. Tribo-oksidatif aşınmadan şiddetli adhesiv aşınmasına dönüşüm uygulanan basıncın ve kayma hızının düşük değerlerinde meydana gelir. Tribo-oksidatif aşınmanın temeli olan alüminyum koruyucu etkisinin yeterince iyi olmadığı muhakkak göz önüne alınmalıdır. Örneğin, çeliklerdeki demir-oksitler aşınma yüzeyine yayılmak için herhangi bir yumuşaklık ve yetenek göstermezler. Dahası bunların alt yapıya yapışması da düşüktür. Alüminyum alaşımlarında Tribo-oksidatif aşınma altında oluşan koruyucu tabaka tipik olarak karşı yüzeyden kaynaklanan bir oksit karışımıdır. Tribolayer'in kırılma parçalanmasından oluşan parçalar ufak ve eşitlenmiş gözükmektedir. Bunlar alüminyum ve demir oksitler tarafından oluşturulur.

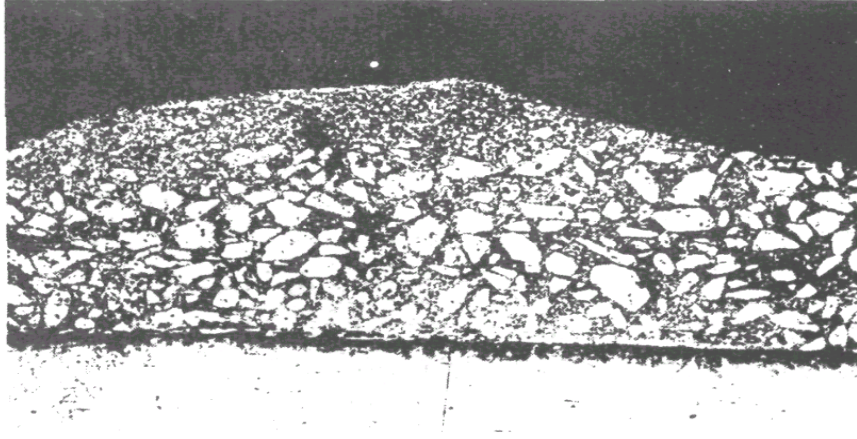


Şekil 26. Al-7072 alaşımının 1 MPa'da kuru kaymadan sonra 52100 çeliklere karşı (a) 0,2 m/s'de aşınma kalıntısının ve (b) aşınmış izin morfolojisi

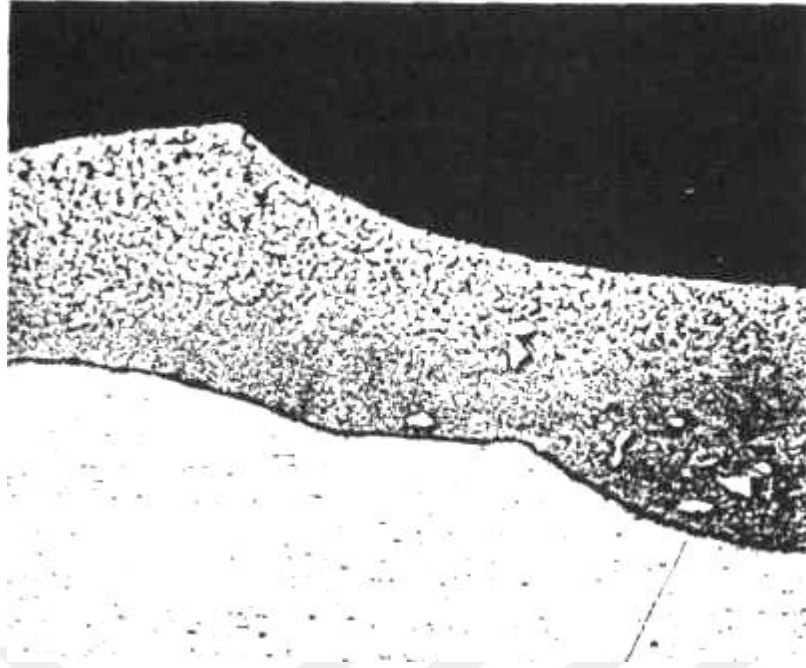
Alüminyum alaşımlarında adhesiv aşınması önemli derecede şiddetlidir çünkü bu durum yoğun transfer olayları ile karakterize olmaktadır. Bu alaşımlar daha sonra yüksek temas sıcaklıklarına artış sağlayacak uygulamaları kaydırmak için uygun değildir. Örneğin, bu alaşımlar tipik olarak yüksek temas basınçları ile karakterize edilen uyumsuz temaslar için



uygun değildirler. Alüminyum alaşımlar, bu sebeple çoğunlukla hafif yükleme koşullarında çalışan kaymalı rulmanlar gibi uygun temas koşullarında kullanılırlar. Kaymalı yataklarda kullanılan yaygın bir alaşım Al-20Sn alaşımıdır ve bu alaşım sert bir matristeki yumuşak bir fazdan oluşur. Kalay yerine kurşun da eklenebilir. Alüminyum alaşımlarının kayma direnci, seramik parçacıkları ile güçlendirilerek arttırılabilir. Alüminyum matris kompozitler genel olarak ağırlıkça %20 alümina veya SiC partikülleri içermektedir. Bu parçacıkların varlığı, hafif tribo-oksidatif aşınma ile yüksek adhesiv aşınma arasındaki sınırı daha yüksek nominal basınçlara ve kayma hızlarına ulaştırır. Alüminyum alaşımlarının kayma aşınma direncini arttırmak için kullanılabilir bir başka yöntem, sert anotlama veya alüminyum oksitlerin bir yüzey tabakası üzerinde ince film haline getirilmesiyle yapılır.



Şekil 27. 40/120 mesh boyutunda tanelerden %100 içeren bir kaynak çubuğundan oksisasetilen kaynağı. Burada ergimiş elik tarafından karbürün eritilmesi ılımlı ve faydalı olmuştur.



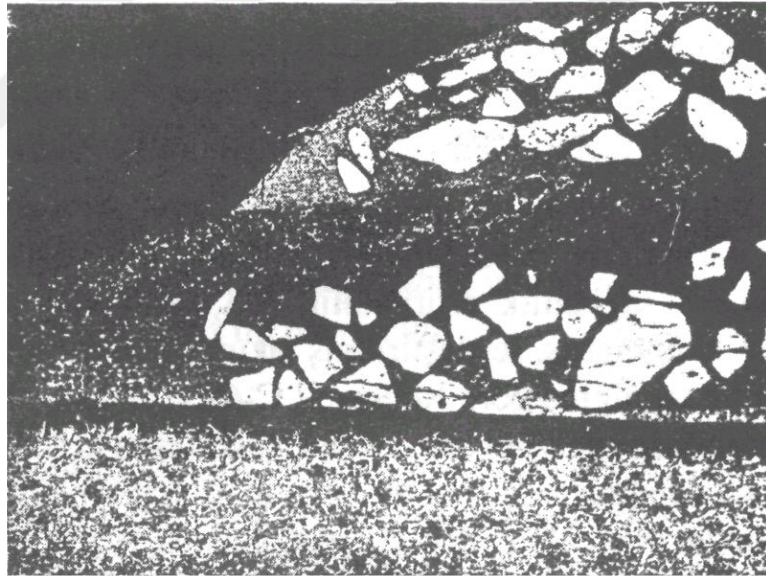
Şekil 28. 40/120 mesh boyutunda tanelerden içeren bir elektrottan ark kaynağı.yüksek ark sıcaklığı, karbür tanelerinin çoğunun erimesine sebep olup abrazyon mukavemeti böylece azalmıştır.

### **Tungsten karbür.**

Sert dolgunun yöntemini “elmas uç” veya “Vidia ” (sinterlenmiş karbür) belirler. Çelik takım üzerine sert lehimlenmiş sert uç toz metalürjisi ürünüdür. Demir-esaslı alayın içine dağıtılmış Mutat sert dolgu ve kaynak metalinden ibaret olan WC-W2C’ den oluşmuştur. Tungsten karbürü ağırlık olarak %60 tungsten karbürü ve %40 çelik tüp içerir. Tungsten karbüründe %3,5 ilâ 4,0 karbon vardır ve 8-10 mesh' den 100 mesh' e (bir inç karede elekte bulunan göz sayısı) kadar elekten geçirilerek boylara ayrılır. Metal bağlı WC’nin aksine, WC ile W2C’nin bir karışımından ibaret dökülmüş ve öğütülmüş toz metalürjisi yöntemleriyle imal edilen üründür. WC-W2C alaşımının ergime noktası %3.8 karbon içermektedir. Ergime noktası ise 2610 C (4700 F)’tir. Bunun sonucu bu alayın bazı kaynak işlemleri sırasında değişmez. Karbürlerin en sağlamıdır. Ergime noktasını düşürmek ve sağlamlığını artırmak için kobalt ithal etmek gerekir. 2500 VPN' e yakın olup %3,8 karbonlu taneciklerin sertliği matris, sertleştirilmiş takım çeliği gibidir. Bu çeliğin sertliği, yöntem ve tekniğe göre Rockwell C-65' e kadar yükselir. Kuvartz ve silikatların sertliği abrazyonların sorumlusudur. Bu durumda abrasif aşınma matrisi kesip tanelerin çıkıntılı halinde kalmasına olanak verecektir. Düzgün aşınmış yüzey istendiğinde bir sakıncaya, kesme işlemi gerektiğinde bir avantaja dönüşür. Oksi-asetilen, hidrojen kaynaklan, delme uçları gibi önemli uygulamalarda kullanılır. Kaynak işleminde kaynak metalinin özellikleri üzerinde

etkisi olabilir. Matrisin bileşimi, kaynak esnasında erimiş karbür tanelerinin miktarına bağlıdır. Ana metalle ergime ve bunun sonucu kaynak bulaşması yine ark kaynağında vaki olur. Memnuluk verici ark kaynakları yapılabilir, ama kaynakçının ergime sırasında neler olduğunu anlaması ve uygun değer sonuçlar alınmak isteniyorsa, kaynak banyosu süresini asgaride tutması istenir. Böyle bir matris, her ne kadar sert ise de bir sert, kuvvetli matris içine tespit edilmiş iyi bir taneler hacmini içeren birleşikten aşağıdır. Ark kaynağı matriste daha çok tungsten erittiğinden, daha yüksek sıcaklıkta sertlik hâsıl olur. Bununla birlikte 650°C m üstünde sıcaklıklar, tanelerin kolaylıkla oksitlenmeleri nedeniyle, tavsiye edilmez.

Demir esaslı matris ne oksitlenmeye, ne de korozyona dayanıklıdır. Daha ucuz olması itibariyle ark kaynağı genellikle bayındırlık makinelerinin sert dolgusu için kullanılır. Terk edilen metalin sıcakta sertliği başlıca matrisin bileşimine bağlıdır. O, gevrek, ama ana metalin yeterince kuvvetli olması halinde hafif ve bazen orta darbeye karşı koyabilir. Ağır darbeden kaçınılacaktır. Tungsten karbürü taneleri, terk edilen metali talaşla islenemez ve taşlanmasını zor hale getirirler.



Şekil 29. 30/40 mesh boyutunda tanelerden %100 içeren bir kaynak çubuğundan oksitlenmiş kaynak. ağır karbür taneleri, kaynak banyosunun dibine çöker ve bu arada sert bir taşıyıcı matris sağlamaya yetecek kadar erir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### Materyal ve Metot

Tez çalışmaları kapsamında greyder bıçaklarından alınan bor çeliği numunelerinin üzerine plazma sprey yöntemi kullanılarak 200, 300 ve 400 µm kalınlığında tungsten karbür ile kaplanmıştır. Bu kapsamda yapılan numune alımı, kaplama yöntemi seçimi, metalografik numune hazırlama süreçleri, mikro yapı incelemeleri, SEM incelemeleri, sertlik ve aşınma testleri hakkında bilgi bu bölümde detaylı olarak verilmiştir.

#### Greyder bıçağından Numune alımı ve hazırlık işlemleri

Deneyleerde kullanılmak üzere, ticari olarak piyasada kullanılan 470-490 HBN sertlik değerine sahip bor çeliğinden imal edilmiş kimyasal bileşimi Tablo 8.de verilen greyder bıçağından testere ile kesme suretiyle numuneler alınmıştır. Kesme esnasında soğutma sıvısı olan bor kullanılarak ısınmaya dayalı hataların minimize edilmiştir.

Tablo 8. Bor çeliği greyder bıçağının kimyasal bileşimi ( % ağı)

Element	C	Mn	Si	B	Fe
%	0,28-0,35	0,8-1,25	0,15-0,4	0,0005 – 0,003	Kalan

Numuneler kaplama ve diğer deneyleere uygun olacak ebatlarda (15x10x5mm) kesilmiş ve zımparalama işlemi uygulanarak kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 30'da zımparalama işlemi esnasında alınan ve hazır numuneye ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 30. Greyder bıçağından kesilen numune zımparalama işlemi ve incelemelere hazır numune görüntüsü.

## Termal sprej kaplama yöntemini ve kaplama malzemesinin belirlenmesi

Tezimizin Kuramsal Temeller Başlıklı 2. Bölümünde Termal sprej kaplama yöntemi ile ilgili literatür bilgisi verilmiştir. Bu bölümde açıklanana bilgiler ışığında, Plazma Sprej yönteminin en büyük avantajı istenilen parçaya kaplama yapılabilir olmasının yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda erken ergime ve yapışma özelliğinin olması sebebiyle plazma sprej yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Kaplama malzemesi olan tungsten karbür ticari piyasada yaygın ve kaplamalarda altlık olarak kullanılması ve tercih edilmesi sebebiyle kaplama malzemesi olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılacak kaplama yönteminde kimyasal bileşim ve yüksek yapışma ana ögesi ele alınmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ticari olarak yaygınca uygulama bulan Termal sprej kaplama yöntemlerinin geneli hakkında fikir edinilmesi amaçlanmıştır. En fazla şiddete soğuk sprej yönteminde ulaşılrken, en fazla proses sıcaklığına ise plazma sprej yöntemi ile ulaşılmaktadır. Kaplama yöntemi olarak yapışma daha fazla olduğundan Plazma sprej yöntemi tercih edilmiştir. Kaplamalar 15\*10\*5 mm boyutunda kaplamasız, 200 µm, 300 µm, 400 µm olarak tungsten ile kaplanmış, küçük numuneler olarak temin edilmiş ve kaplama sonrası kimyasal bileşiminin uygunluğunun kontrolü için numuneler alınarak Nikon Eclipse L 150 A marka ve model cihazında mikroyapı analizi yapılmıştır.

### Deney parametrelerinin belirlenmesi ve deney tasarımı

Deney numuneleri kaplama öncesi ve 200, 300 400 µm kalınlıklarında Tungsten karbür ile plazma sprej yöntemi kullanılarak 90 saniye sürede kaplama yapılmıştır. Tablo 9'da tez kapsamında belirlenen deney parametreleri verilmiştir. Kaplama yapılacak numuneler üzerinde 200, 300, 400 µm kalınlıklarda seçilmesinin amacı aynı sürede farklı kalınlıklarda aşınmaya ve sertliğe etkisinin nasıl değiştiğini gözlemlemek, test amaçlı yapıldığından kaplama maliyeti göz önünde bulundurularak, elde edilen numunelerin büyük yüzeye sahip olmasının etkisinin olmayacağı düşünülerek küçük numuneler şeklinde, gözlem amaçlı seçilmiştir.

Tablo 9. Tez çalışmaları kapsamında belirlenen deney parametreleri

Deney Numarası	Numune	Kaplama Kalınlığı
1	Kaplamasız	Referans Numunesi
2	Kaplanmış	200µm
3	Kaplanmış	300µm
4	Kaplanmış	400µm

### **Plazma sprej yöntemi ile kaplanması**

Kaplama işlemleri laboratuvar imkânlarının yetersiz olmasından dolayı ticari olarak faaliyet gösteren Yüzey Mühendislik Firmasında belirtilen parametrelere uygun olarak yapılmıştır. Plazma sprej makinesi numune boyutlarına göre ayarlanmış parçalar farklı mikron kalınlıklarında ayrı zamanlarda bağlanarak, farklı süre ve devirlerde parça üzerine püskürtme yapılarak kaplama işlemi yapılmıştır. Şekil.31'de numune kaplama işlem basamaklarından örnek görüntü verilmiştir.



*Şekil 31.* Plazma sprej kaplama makinesi örnek görüntü

### **Sertlik incelemeleri**

Referans numune olarak belirlenen ve farklı kalınlık ve sürelerde kaplama işlemi uygulanan numuneler sertlik incelemelerine tabi tutulmuştur. Sertlik değerlerinin belirlenmesi amacı ile numunelerin Rockwell C sertlik ölçümleri Struers Duramin-500 marka cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır. Bu deneylerde 2 mm olan bilye ve 72 kg lık yük altında her numuneden en az 5'er adet alınan sertlik sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Şekil 32'de sertlik testi esnasında alınan görüntü örnek olarak verilmiştir.



*Şekil 32.* Sertlik deney esnasında görüntü

## Mikro yapı İncelemeleri

Bor çeliği greyder bıçağına ait kaplamasız ve farklı kalınlıklarda kaplanmış numunelerin mikro yapı üzerinde etkilerinin incelenmiştir. Numuneler 180-400-800-1200-2500 kum taşı ile kalın - ince kum taşı ile işlemenin ardından sırasıyla 3 $\mu$ m, 1 $\mu$ m alümina sıvı-sıvı karışımı ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası numuneler Nital çözeltisi ile dağlanarak mikro yapı incelemelerine tabi tutulmuştur. Dağlama sonrası numuneler optik mikroskop incelemelerinde kullanılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan yüzeylerin optik mikroskop incelemeleri, 1000 kez büyütme yeteneğine sahip, 22 mm geniş görüş alanı, ince odaklamada, 0,1 mm ile 1  $\mu$ m hassasiyet özelliklerine sahip Nade NMM-800 TRF marka mikroskobunda yapılmıştır. Fotoğraf çekimleri bu mikroskopla çalışan Clemex dijital kamera ile kaydedilen görüntüler üzerinden Clemex Vision Lite çözümleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 33'de mikro yapı numunesinden fotoğraf çekimine ait örnek görüntü verilmiştir.



Şekil 33. Mikro yapı fotoğraf çekiminden örnek bir görüntü.

## Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

Kaplamasız ve farklı kaplama kalınlıklarında greyder bıçağı yapılarını incelemek amacıyla mikro yapı için hazırlanmış numune yüzeyleri kullanılmıştır. Alaşımların yüzey görüntüleri SEM analizi ile incelenmiştir. Numuneler Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan Şekil 34'de görülen FEI Nova Nano SEM 450 markalı Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) cihazında incelenmiştir.



Şekil 34. Taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı

## Aşınma çalışmaları

### Erozif aşınma deneyi.

Aşınma deneyleri, Şekil 35’de resmi verilen düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Numune tutucular ana gövdeye vidalama şeklinde tutunduğu için aynı zamanda kendi etraflarında dönebilmektedir. Kullanılan bu düzenek, sabit bir motora bağlanarak numunelerin aşındırıcı ortamda dönme hareketi ile aşınmaya maruz kalması sağlanmaktadır. Bu şekilde söz konusu düzenek ile aşındırma ortamı, dönme hızı, dönme süresi ve alınan yol gibi parametrelerin farklı kombinasyonlarda kullanılması ile kaplamalar için değişken aşınma ortamları oluşturulabilmektedir.



Şekil 35. Eroziyon aşınma deneyi düzeni

Aşınma deneyleri, özel tasarlanmış deney düzeniği ile 30, 60, 90 ve 120 dakika sürelerde, 90, 180 ve 355 devir/dakika dönme hızlarında, katkısız ve 200, 300 ve 400µm kaplama kalınlığına sahip numunelere uygulanmıştır. Aşınma miktarları, ağırlık kaybından gidilerek hesaplanmıştır. Deney öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Ağırlık kaybı ölçümleri için 0.0001g hassasiyette bir terazi kullanılmıştır. Şekil 36’da eroziyon aşınma deneylerinde kullanılan aşındırıcı SiC tozunun görüntüsü verilmiştir.





Şekil 36. Aşındırıcı olarak kullanılan SiC tozu

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### Araştırma Bulguları ve Tartışma

Bu kısımda tez kapsamında deneysel çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçların değerlendirilmesi verilmiştir. Deneysel sonuç olarak; kaplamasız ve 200, 300, 400 µm boyutlarında tungsten karbür tozları ile plazma sprej yöntemi ile kaplanmış bor çelik greyder bıçağından alınana numunelerin sertlik ölçümleri, aşınma testleri, mikro yapı ve SEM resimleri verilmiştir. Sonuçlardan farklı kaplama kalınlığına sahip numunelerin aşınma, sertlik ve mikro yapı değişimi tartışılmıştır.

#### Sertlik Deneyi Sonuçları

Değişen kaplama şartlarında yapılan kaplamalardan elde edilen numunelere ait sertlik ölçümleri 2 mm çaplı bilye uçla 72,5 kg yük kuvvet altında yapılmıştır. Tablo 9'da verilen sertlik değerleri yapılan kaplama sonrası numunelerin farklı bölgelerinden alınan ve karşılaştırma amaçlı numunelere ait ortalama değerlerdir. İlgili numuneler için en az 5 ölçüm gerçekleştirilerek ortalama değerler elde edilmiştir. Plazma sprej yöntemi 200, 300 ve 400 µm boyutlarında tungsten karbür tozları ile kaplanmış bor çeliklerinin sertlik deneyleri yapılarak Roc-A, Vickers ve Brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. Tablo 10'da yapılan araştırmada kullanılan bor çeliğinin, kaplamasız ve kaplandıktan sonraki hallerinde bulunan sertlik düzeyleri yer almaktadır.

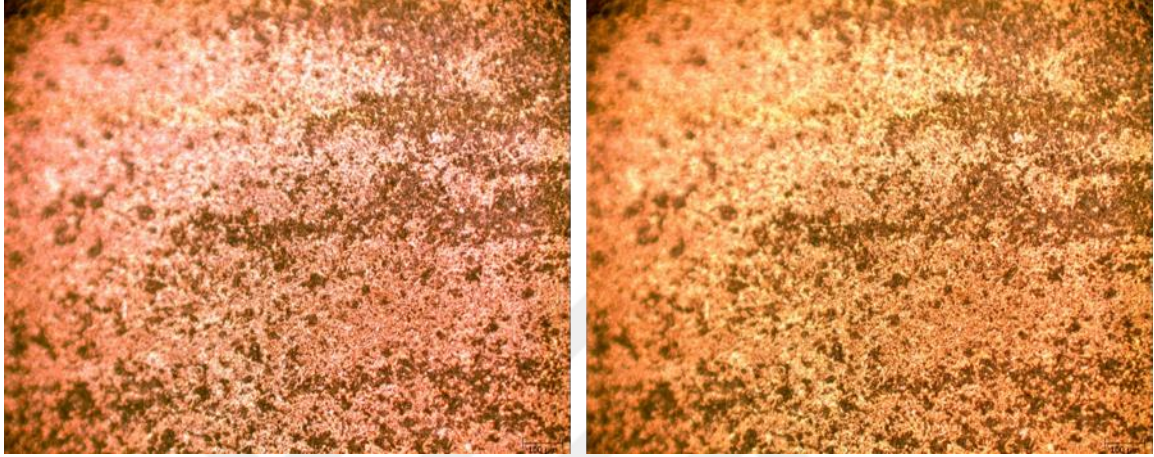
Tablo 10. Sertlik karşılaştırması

	Roc-A	Brinell	Vickers
Kaplamasız	61,04	226	238
200 µm	71,42	390	412
300 µm	70,73	381	412
400 µm	70,65	371	402

Tablo 10'da görüldüğü gibi kaplamasız referans numunesine ait sertlik değeri Roc-A 61,04 iken, 200 µm da 71,4 olmuş 300 µm da 70,73, olmuş, 400 µm da 70,65 değerine ulaşmıştır. Kaplama kalınlığı arttıkça sertliğin arttığı gözlemlenmiştir (Petaccia & Gervasoni,2019). Çelikler üzerine yapılan kaplama neticesinde ara kaplama malzemesi olarak tungsten yeni bir yüksek mukavemetli nükleer malzeme sınıfı içerisinde günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılacaktır. Tungsten karbür ile yapılan kaplama sertliği artırmaktadır.

## Mikro yapı Görüntüleri

Mikro yapı incelemeleri için bor çeliği parçalardan kesilen numune 120-400-800-1200-2500 gritlik zımpara ile kaba ve ince zımparalamanın ardından alümina süspansiyonu ile parlatılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler Nade NMM-800 TRF marka optik mikroskop üzerine bağlanan dijital bir kamera yardımıyla 100x büyütmede alınan numune yüzey görüntüleri Şekil 37’de verilmiştir.

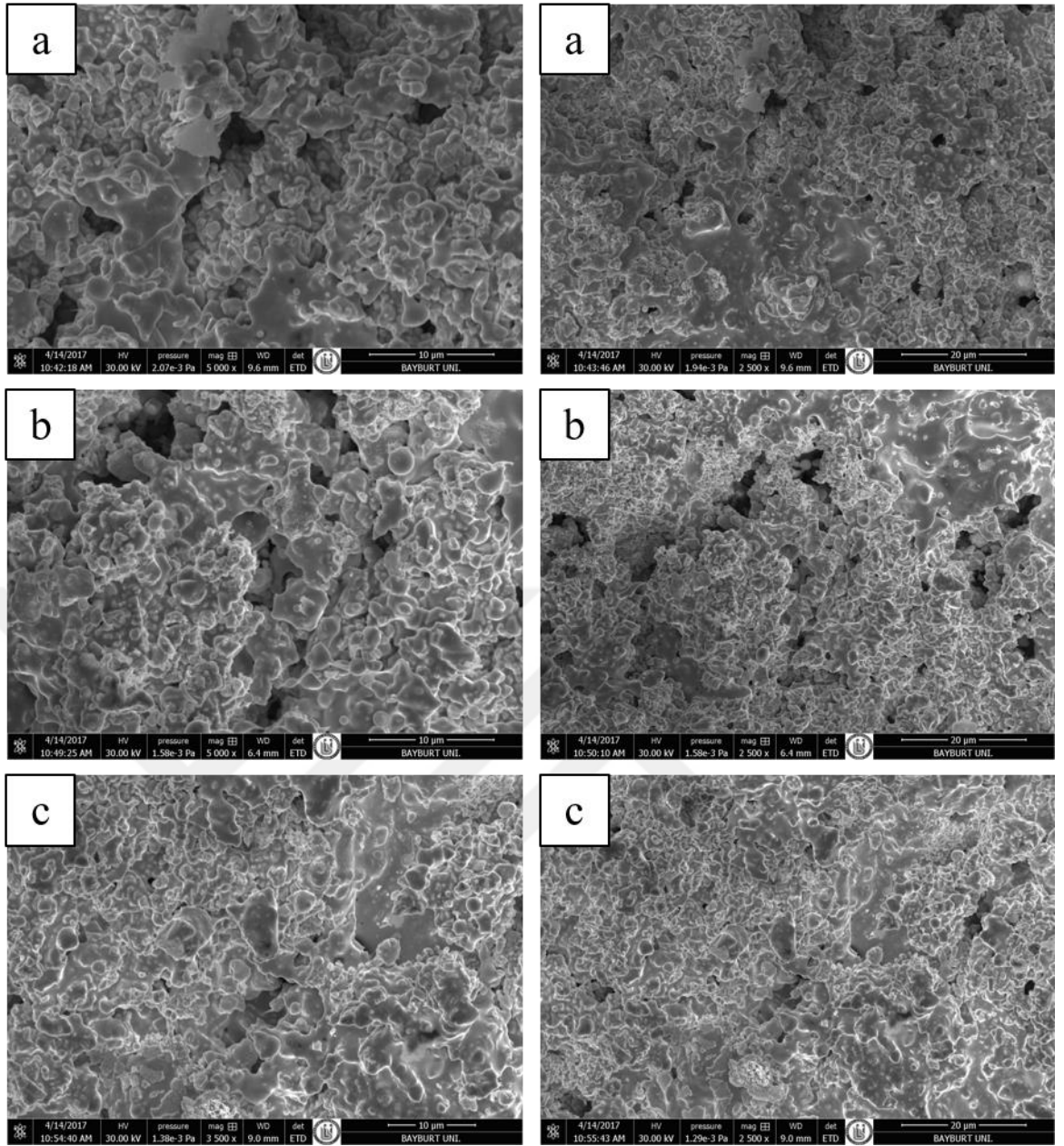


Şekil 37. Bor çeliğinin mikro yapı görüntüleri (100  $\mu$ m)

Mikro yapı görüntülerinden anlaşılacağı üzere bor çeliğinde martenzit bir yapıda olduğu görülmektedir.

## SEM görüntüleri

Farklı çaplarda tungsten karbür kaplanmış bor çeliğinin yüzey morfolojisine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 38’de verilmiştir. Görüntüler SEM (FEI Nova Nano SEM 450) cihazında alınmıştır. SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere farklı çaplarda tungsten karbür kaplanmış numunelerin yüzey görüntüleri birbirlerine benzer morfolojiye sahiptir. Tungsten karbür tozları yüzey üzerinde ergiyik halde birikmiştir. Tüm yüzeylerin homojen bir şekilde boşluklu bir kaplama elde edildiği görülmektedir.

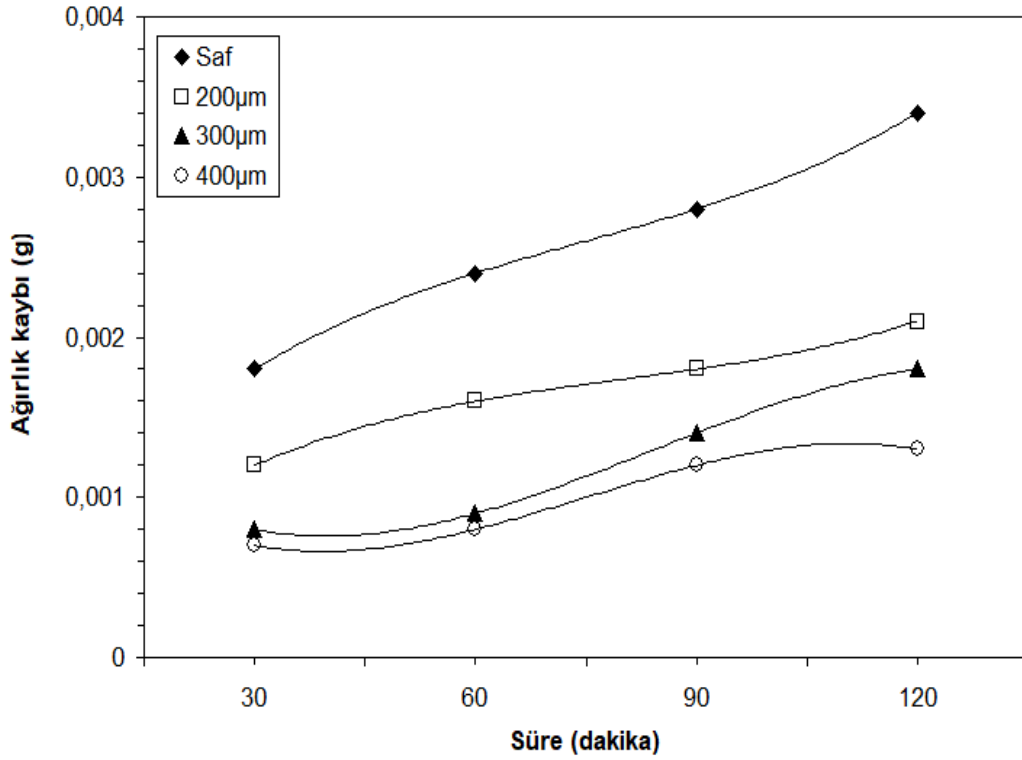
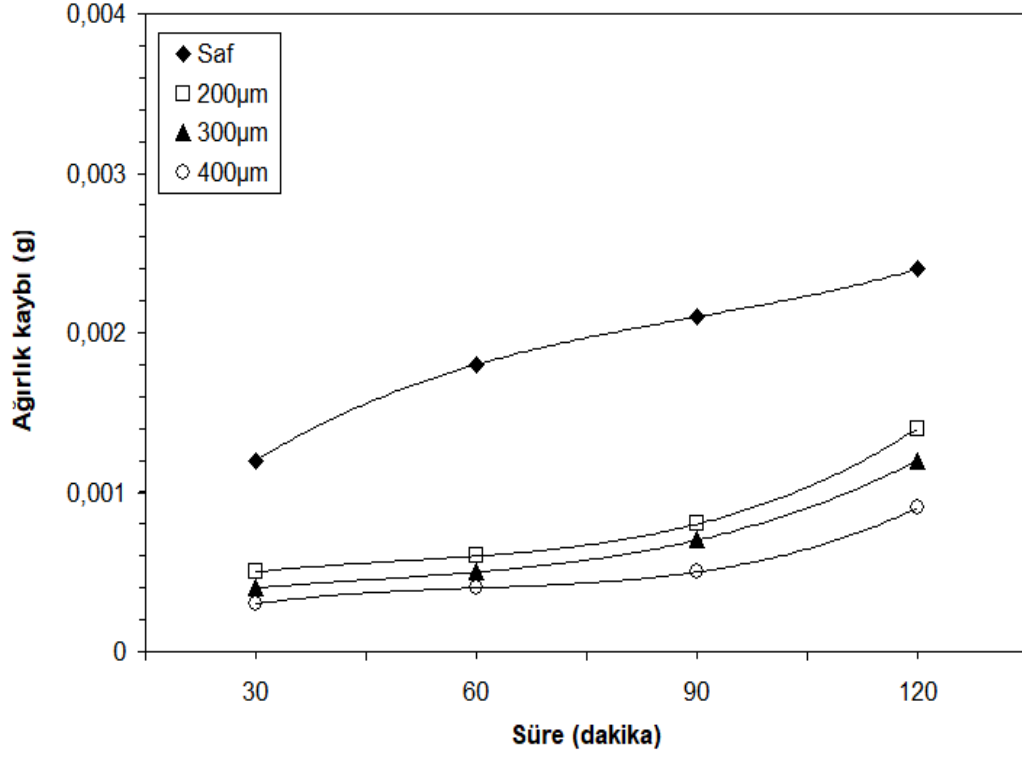


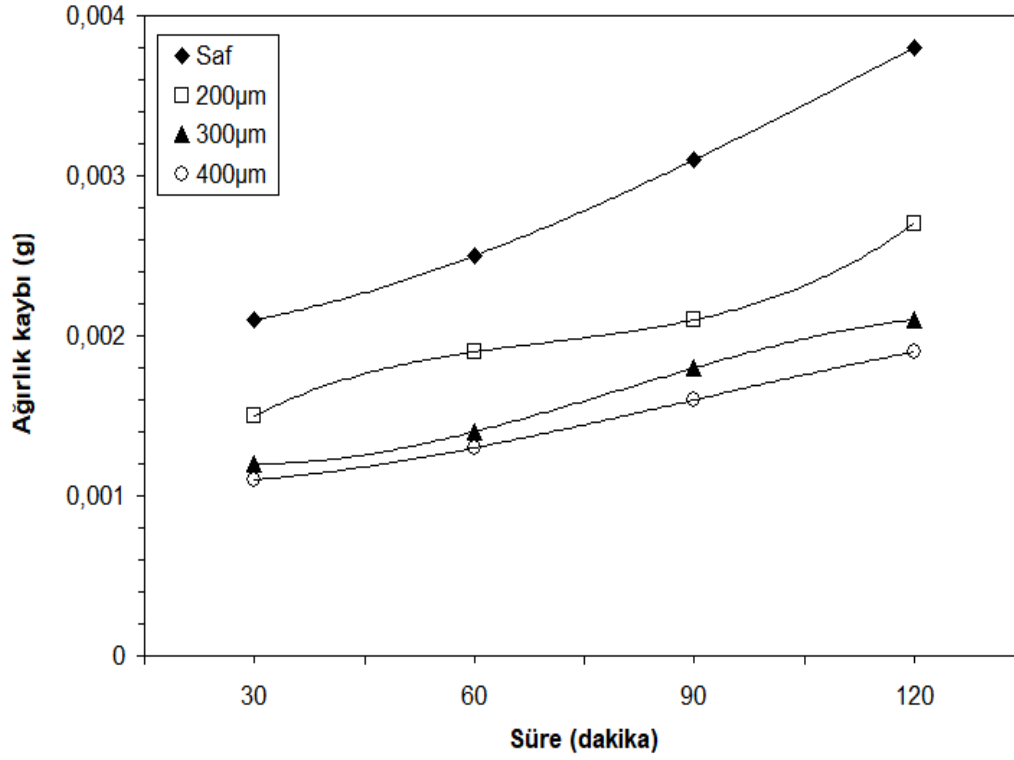
Şekil 38. Farklı çaplarda tungsten karbürler kaplanmış bor çeliğinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (a) 200  $\mu\text{m}$ , (b) 300  $\mu\text{m}$  ve (c) 400  $\mu\text{m}$

### Aşınma sonuçları

Şekil 39’da 90, 180 ve 355 devir/dk. Dönme hızlarına bağlı olarak kaplamasız ve farklı kaplama kalınlığına sahip bor çeliği malzemesinin ağırlık kayıpları verilmiştir. Her üç grafikte de görüldüğü gibi artan dönme süresine bağlı olarak ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir. 180 devir/dk. Dönme hızında, uygulanan sürenin 30 dakikadan 120 dakikaya artırılması ile kaplamasız numunenin ağırlık kaybı %88.8 oranında artarken kaplama kalınlığına bağlı olarak ağırlık kayıpları sırasıyla %75, %125 ve %85 oranlarında artmıştır. 355 devir/dk. Dönme hızında, kaplamasız bor çeliğinin 0.0025g olan ağırlık kaybı 200 $\mu\text{m}$  kaplama kalınlığında 0.0019g, 300 $\mu\text{m}$  kaplama kalınlığında 0.0014g ve 400 $\mu\text{m}$  kaplama

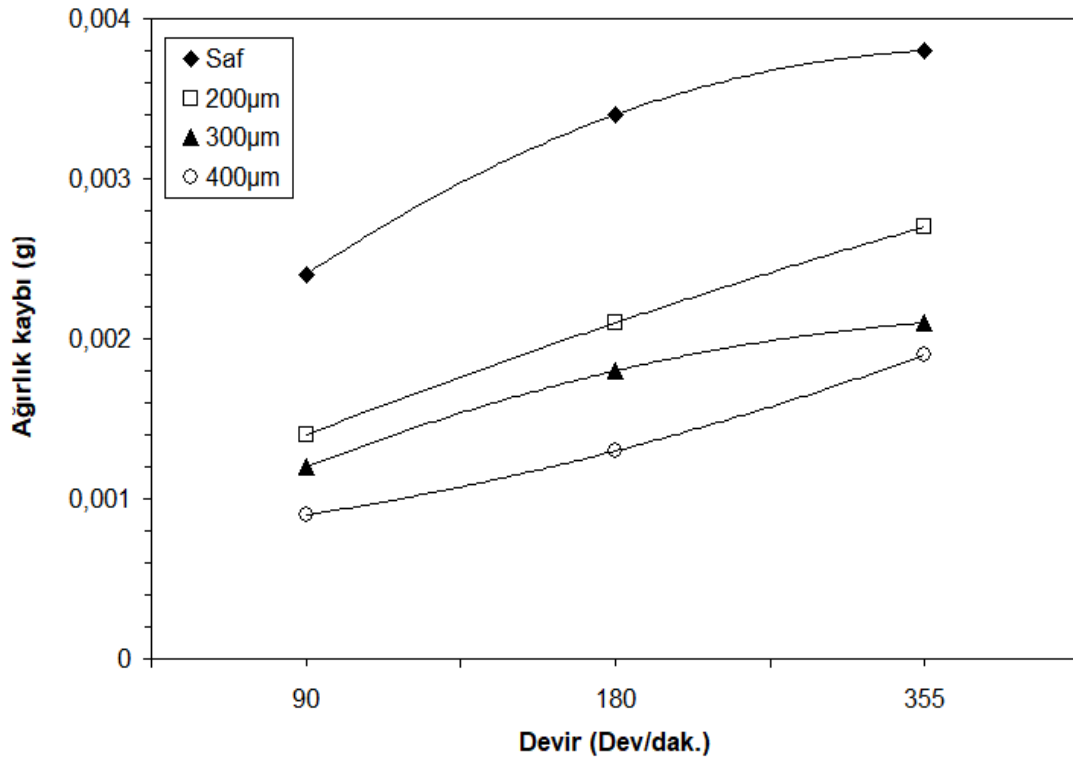
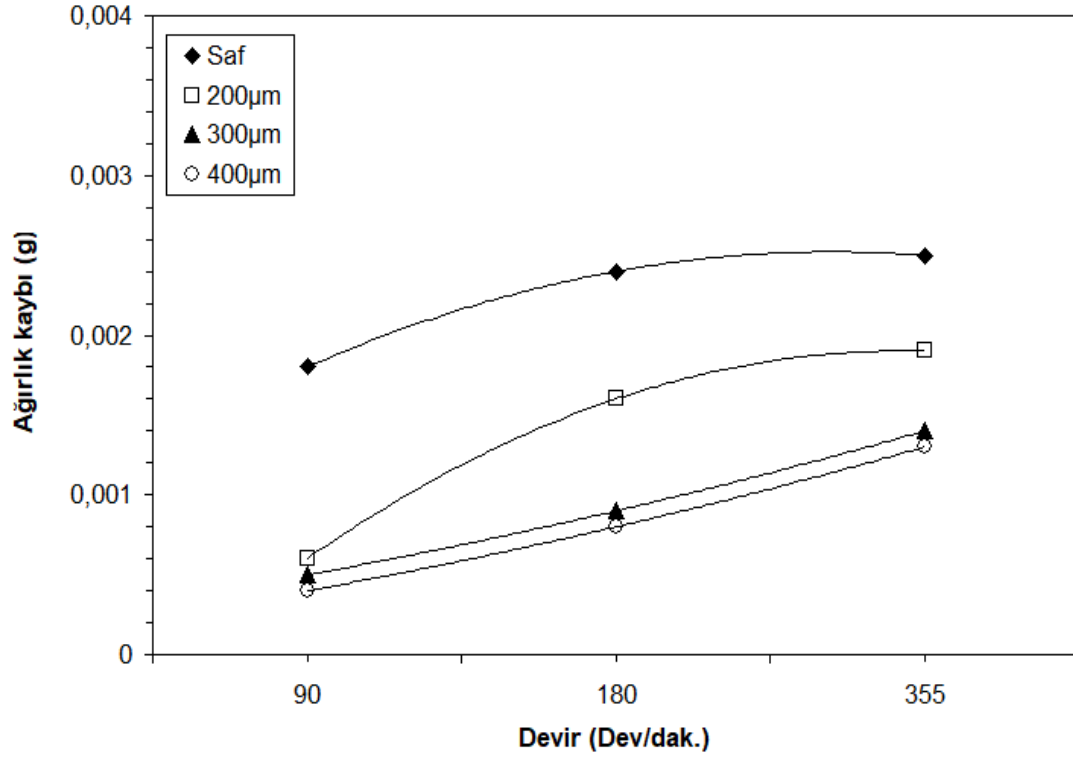
kalınlığında 0.0013g olarak elde edilmiştir. Kaplamasız bor çeliği malzemesinin farklı kalınlıklarda tungsten karbür malzemesi ile kaplanması sonucunda ağırlık kayıpları %31, %78 ve %92 oranlarında azalmıştır.





Şekil 39. Dönme süresine bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi

Şekil 40'da, 60 dakika ve 120 dakika dönme sürelerinde, devir sayısına bağlı olarak kaplamasız ve kaplamalı numunelerin ağırlık kayıpları verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi artan devir sayısına bağlı olarak ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir. 60 dakikadaki ağırlık kayıpları incelendiğinde, artan devir sayısına bağlı olarak kaplamasız numunedeki ağırlık kaybı %38 oranında, 200µm kaplama kalınlığındaki ağırlık kaybı %216, 300µm kaplama kalınlığındaki ağırlık kaybı %180 ve 400µm kaplama kalınlığındaki ağırlık kaybı %225 oranlarında artmıştır. 120 dakika ve 180 devir/dakika' da ki kaplama kalınlığının etkisi incelendiğinde ise kaplama kalınlığının artması ile ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir. Kaplamasız numune ile karşılaştırıldığında bu azalma, %61, %88 ve %161 oranlarında elde edilmiştir.



Şekil 40. Devir sayısına bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi

## Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışma da greyder bıçaklarında kullanılan bor çeliklerinin 200, 300 ve 400 µm tungsten karbür tozları ile plazma sprej yöntemi ile kaplanarak sertliklerinin ve aşınma dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır;

- Bu bağlamda yapılan bu çalışmada ise bu kaplamaların mikro yapı görüntüleri incelenmiş ve sertlik değerleri bulunmuştur
- Kaplamasız numunede incelenen mikro yapı ferrit hacim oranının oldukça yüksek olduğu ve ferrit fazının borlu çelikte homojen olarak dağıldığı görülmüştür.
- Kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise bütün kaplamalarda gözenekli bir yapının olduğu görülmektedir.
- Yapılan kaplamada en az gözenekli yapı 200 µm'de gözlemlenirken en fazla gözenekli yapı ise 400 µm'de gözlemlenmiştir.
- Sertlik deneylerinin sonucu incelendiğinde greyder bıçaklarına yapılan tungsten karbür kaplama işleminin numunenin sertlik değerlerini artırdığı görülmektedir. Kaplamasız numunenin Roc-A değeri 61,04 iken 200 µm kaplama numunesinin Roc-A değeri 71,42 olmuştur.
- Kaplamada kullanılan toz boyutlarının ise sertlik değerlerine etkisi çok fazla görülmemiştir.
- Artan dönme süresine bağlı olarak ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir.
- Kaplamasız bor çeliği malzemesinin farklı kalınlıklarda tungsten karbür malzemesi ile kaplanması sonucunda ağırlık kayıpları azalmıştır.
- Artan devir sayısına bağlı olarak ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir.



## Kaynakça

- Önen, F. (2012). *Bor Çelikleri*, Ankara, Türkiye.
- Çetin, A. (2016). *Yüksek karbonlu dökme demir*. Ankara: El Kitabı Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi.
- Bhatia, U. A., & Bhedasgaonkar, R. C. (2013). *Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique*. *Procedia CIRP*, 7, 616-621.
- Doğan, Ö. N., Schrems, K. K., & Hawk, J. A. (2003). *Microstructure Of Thin-Wall Ductile Iron Castings*. 107 th MetalCasting Congress & CastExpo, Milwaukee.
- Ekinci, E. (2009). *Yüksek Alaşımli Demirlerde Mikro yapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi*. Sakarya Üniversitesi, (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 245372)
- Fauchis, P. (2004). *Understanding Plasma Spraying*. America, USA.
- Akgündüz, H. A., & Uzunova, T. (1971). *Demir alaşımları*. İ. T. Ü Matbaası İstanbul, Türkiye.
- Fredriksson, H., Stjerndahl, A., & Tinoco, J. (2005). *On The Solidification Of Nodular Cast Iron And Its Relation To The Expansion And Contraction*, *Materials Science and Engineering.A* 413–414, 363-372.
- Freitag, L., Schafföner, S., Faßauer, C., & Aneziris, C.G. (2018). *Functional coatings for titanium casting molds using the replica technique*. *Journal of the European Ceramic Society*.
- Guo, Z., Saunders, N., Miodownik, A. P., & Schillé, J. P. (2005). *Modelling of materials properties and behaviour critical to casting simulation*. *Materials Science and Engineering: A*, 413, 465-469.
- Çelebi, G. pek, M., Yılmaz., & Bindal, C. (2004) *AISI 8620 Çeliği Üzerinde Oluşan Borürlerin Bazı Mekanik Özellikleri*, 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, s. 25–29.
- Petaccia, M., & Gervasoni, L. (2019). *Metallurgical and Materials. Transactions A*, 667-673.

- Sağlam, C. (2009). *Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementleri İlavesinin Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 251898)
- Kharlamov, Y.A, (1986). Spheroidal Graphite Cast Iron Property Enhancement By Heat Treatment. *International Journal of Materials Research*, 107(9), 807-814.
- Davis, J. R. (2004). *Introduction to Thermal Spray Processing, Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- Simunovic, K. (1998). *Thermal Spraying, Welding Engineering and Technology*, Eolss.net.
- Bergmann, C.P., & Vicenzi, J. (2011). "Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet: A Review," in *Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet*, Springer .Berlin Heidelberg.
- Dorfman, M. R. (2012). "Thermal Spray Coatings," in *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)*, Oxford William Andrew Publishing, pp. 569–596.



## ÖZGEÇMİŞ

### Ümmet SAĞIR

1988 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gümüşhane’ de tamamladı. 2011 yılında Bozok Üniversitesi makine mühendisliğinden mezun oldu. 2012 yılında vatani görevini yedek subay olarak İstanbul/Tuzla’da yerine getirdi. 2013 Temmuz ayına kadar özel sektörde Aksa Gümüşhane Bayburt Doğalgaz A.Ş çalıştıktan sonra Gümüşhane İl özel İdaresi Atölye Şefliği ve İşletme Şefliğinde mühendis olarak çalıştı. 2013 yılında Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği tezli yüksek lisans eğitimine başladı. Ümmet SAĞIR evli ve 1 erkek çocuk babası olup, meslek hayatına Gümüşhane İl Özel İdaresi bünyesinde mühendis kadrosunda devam etmektedir.