



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ERW BORU ÜRETİM MAKİNELERİNDE KULLANILAN KALİBRE
MAKARALARININ AŞINMA DİRENCİNİN İNCELENMESİ**

SEYİT ERKAN AYDIN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
HAZİRAN-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ERW BORU ÜRETİM MAKİNELERİNDE KULLANILAN KALİBRE
MAKARALARININ AŞINMA DİRENCİNİN İNCELENMESİ**

SEYİT ERKAN AYDIN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
HAZİRAN-2017

ÖZET

ERW BORU ÜRETİM MAKİNELERİNDE KULLANILAN KALİBRE MAKARALARININ AŞINMA DİRENCİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, dikişli boru makineleri kalibre makaralarında kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan borlama işleminin aşınma direnci üzerine etkisi incelenmiştir. Borlama işlemi Ekabor-II tozu ile gerçekleştirilmiş olup, farklı iki parametrede denenmiştir. Parametre değişkenleri, sıcaklık ve süre olarak ele alınmıştır. Seçilen sıcaklık değerleri; 900 °C ve 1000 °C olup, her bir numune bu sıcaklıklarda 3-5-7 saat borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlanmış numunelerin, metalografik incelemeleri optik, SEM, EDS, XRD analizleri ile, mekanik özellikleri ise mikrosertlik ve aşınma testleri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonucunda yüzeyde borür tabakasının yanında geçiş bölgesinde ikincil karbür fazların meydana geldiği tespit edilmiştir. Borür tabakası kalınlığı, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası sertliğinin artan borlama süresi ve borlama sıcaklığı ile arttığı tespit edilmiştir.

Metalografik incelemeler sonucunda borlama şartlarına bağlı olarak 2005-2227 HV_{0,1} sertlik değerlerine ve 46,23-126,8 µm borür tabakası kalınlığına sahip borür tabakaları elde edilmiştir. XRD analizleri sonucunda borlanmış numunelerde FeB ve Fe₂B fazının baskın fazlar olduğu tespit edilmiştir. Kaplama tabakalarındaki sertlik artışının, aşınma direnci üzerine olumlu etkisi olduğu saptanmıştır. Kaplanan numunelerde optimum sertlik ve aşınma direnci, 1000 °C’de 7 saat borlanan numunede gözlemlenmiştir. Borlama işlemi sonucunda elde edilen aşınma dirençleri hem ticari DIN 1.2379 çeliği hem de mevcut endüstriyel uygulamalarda kullanılan kriyojenik işleme tabi tutulan makaralara göre daha iyi aşınma dirençleri elde edilmiştir.

Aşınma miktarı incelendiğinde işlemsiz, kriyojenik işleme tabi tutulan ve borlanmış numunelerde uygulanan 10, 20, 30 N ‘luk kuvvetler sonucunda, yük artışı ile beraber aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma oranları işlemsiz numunede 10,20 ve 30 N için sırasıyla $5,7 \times 10^{-5}$, $10,8 \times 10^{-5}$, $17,43 \times 10^{-5}$ mm³/Nm , kriyojenik işlem görmüş numunede $4,56 \times 10^{-5}$, $8,33 \times 10^{-5}$, $12,02 \times 10^{-5}$, borlanmış numunede ise $1,69 \times 10^{-5}$, $2,19 \times 10^{-5}$, $2,6 \times 10^{-5}$ mm³/Nm tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği, bor kaplama, kalibre makaraları

ABSTRACT

EXAMINATION OF WEAR RESISTANCE OF CALIBER ROLLS THAT ARE USED IN THE ERW PIPE MANUFACTURING MACHINES

In this study, caliber roller 1.2379 cold work tool steel which is used in the welded pipe machines was used to examine the effect of the boriding treatment at different temperature and time upon the abrasion resistance. Boriding process is made by Ekabor-II powder and tested at two different parameters. The chosen temperatures are 900 °C and 1000 °C and samples were waited for 3-5-7 hours. Metallographic examination of the boronized samples were tested by optical, SEM, EDS, XRD, microhardness and subjected to abrasion testing. Boriding the surface as a result of the transition region together with boride layer was found to occur secondary carbide phase. The layer thickness of the transition region and the coating layer were observed to increase in proportion to the duration of stiffness.

As a result of metallographic examinations, depending on the boriding conditions 2005-2227 HV hardness of 0.1 µm, and from 46.23 to 126.8 boride layer tube having the layer thickness are obtained. XRD analysis were identified as the dominant phase in the samples of FeB and Fe₂B. The increase in the hardness of the coating layer was found to have a positive effect on the wear resistance. Optimum hardness and abrasion resistance of the coated samples was observed in condition which is boriding for 7 hours at 1000 °C temperature. The wear resistance is obtained as a result of boriding, commercial AISI D2 steel is better than both rollers subjected cryogenic processing.

When the wear amount is analyzed, as a result of forces applied 10,20,30 N to the sample, it is observed that load increase was observed with an increased amount of wear. Wear rate of the untreated sample one by one for 10 , 20 , 30 N : $5,7 \times 10^{-5}$, $10,8 \times 10^{-5}$, $17,43 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$, for cryogenic treated sample : $4,56 \times 10^{-5}$, $8,33 \times 10^{-5}$, $12,02 \times 10^{-5}$, and for borided sample : $1,69 \times 10^{-5}$, $2,19 \times 10^{-5}$, $2,6 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.

Keywords: 1.2379 cold work tool steel, boron covering, caliber rollers

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmalarım sırasında gerek bilgi birikimi ve manevi desteği ile yanımda olan lisansüstü danışmanım Prof.Dr.Ahmet YAPICI hocama sonsuz teşekkürler eder ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen bölüm hocalarımızdan Yrd.Doç.Dr. Erdoğan KANCA, Yrd.Doç.Dr. Ali GÜNEN hocalarıma katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Yüksek Lisans tez konum aynı zamanda çalışmakta olduğum şirketimin Ar-Ge projeleri arasında yer alıyor olup, araştırmalarda kullanmam için gerekli malzeme/ekipmanları ve konu ile ilgili çalışmalarda gerekli deney teçhizatlarını tarafıma sınırsız olarak sunduğu için TOSÇELİK PROFİL VE SAC ENDÜSTRİSİ A.Ş. OSMANİYE ERW BORU ÜRETİM FABRİKA müdürü Kemal AKSU başta olmak üzere, Strateji ve İş Geliştirme müdürü ÖMER ÖZAL, fabrika teknik ressamlarımız Selim TOPRAK ve CebraİL KARAKAYA'ya katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda yaptığım laboratuvar çalışmalarında, yılların tecrübesini benimle paylaşan her deneyde usanmadan ilk anki geliştirme heyecanı ile beni motive eden laboratuvar formenimiz Hakan DOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında zaman zaman ihmal ettiğim fakat hiçbir zaman fedakârlık ve desteklerini esirgemeyen, yılmınlıklarında beni kendime getiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Seyit Erkan AYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	9
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Erw Boru Üretim Teknolojileri.....	3
1.1.1.Hammadde Girişi ve Dilme Hattı:.....	3
1.1.2. Açıcı:.....	4
1.1.3. Floop/Akümülyasyon:.....	5
1.1.4.Form Grubu:.....	5
1.1.5.Kaynak Grubu:.....	6
1.1.6.Soğutma Ünitesi:.....	6
1.1.7.Kalibre Grubu:.....	7
1.1.8.Doğrultma:.....	7
1.1.9.Testere ve Kesme(Cut Off).....	7
1.1.10. Hat üzeri (inline) Boyama Makinası:.....	8
1.1.11.Paketleme:.....	8
1.2.Bor Elementi ve Borlama.....	9
1.2.1. Borlama İşlemi Sonucu Meydana Gelen Yapılar.....	11
1.2.2. Borlama Yöntemleri.....	12
1.2.3. Borlama İşleminin Avantajları.....	20
1.2.4. Borlama İşleminin Dezavantajları.....	21
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	22
2.1.Kriyojenik Isıl İşlem.....	22
2.2.Borlama Çalışmaları.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	27
3.3. Borlamada Kullanılan Ekipmanlar	29
3.4. Borlama İşlemi	30
3.5. Numune Hazırlama.....	30
3.6. Metalografik Muayene	32
3.8. Mikrosertlik Analizi	33
3.9. Aşınma Testi.....	34
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	36
4.1. Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu	36
4.2. XRD Analiz Sonuçları.....	40
4.3. Tabaka Kalınlıkları ve Mikrosertlik Sonuçları.....	42
4.4. Yüzey Pürüzlülüğü ve Aşınma Deneyi Sonuçları	46
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
5.1. Sonuçlar	70
5.2. Öneriler.....	71
6.KAYNAKLAR	72
İnternet Kaynakları	76
7.ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Dilme hattı şematik resmi	4
Şekil 1. 2. Açıcı şematik resmi.....	4
Şekil 1. 3. Akümülayon (URL-4)	5
Şekil 1. 4. Form ve kılıçlı grubu	6
Şekil 1. 5. Kaynak grubu (URL-4).....	6
Şekil 1. 6. Soğutma ünitesi.....	7
Şekil 1. 7. Kalibre grubu	7
Şekil 1. 8. Testere ünitesi	8
Şekil 1. 9. Üretim hattı genel görünüm (URL-4).....	8
Şekil 1. 10. FeB (demir-bor) denge diyagramı (Atik, 2001).....	10
Şekil 1. 11. Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi (Taşçı, 1993).....	11
Şekil 1. 12. Katı borlama yönteminin şematik resmi (Sinha, 1991)	14
Şekil 1. 13. Üzerine pasta borlama ajanı sürülmüş numune (Dinç, 2013).....	15
Şekil 1. 14. Gaz borlama ünitesi (Küper, A., Qiao, X., Stock, H. R, 2000)	19
Şekil 2. 1. Krijonenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü (Uzun, 2014)	22
Şekil 2. 2. Fe-B denge diyagramı (Okomoto, 2004)	25
Şekil 3. 1. Paslanmaz çelik pota (Gunen, 2012)	29
Şekil 3. 2. Yüksek sıcaklık fırını.....	29
Şekil 3. 3. Numune kesme cihazı	30
Şekil 3. 4. ATA saphire 530 marka numune parlatma cihazı	31
Şekil 3. 5. Numune bakalite alma cihazı.....	31
Şekil 3. 6. Bakalite alınan numuneler	32
Şekil 3. 7. Nikon MA 200 ters metal mikroskobu	32
Şekil 3. 8. JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı.....	33
Şekil 3. 9. Mikrosertlik ölçüm cihazı	33
Şekil 3. 10. Tribometre sabit top mikro-abrasyon test yöntemi.....	34
Şekil 4. 1. DIN 1.2379 Soğuk iş takım çeliği mikro yapı görüntüsü	36

Şekil 4. 2. Su verilmiş, kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısı	37
Şekil 4. 3. 900 °C de Ekabor 2 tozu ile borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin optik görüntüsü a) 3 saat, 1000X b) 5 saat, 1000X, c) 7 saat, 500X görüntüsü	38
Şekil 4. 4. 1000 °C de Ekabor 2 tozu ile borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin optik görüntüsü a) 3 saat, 1000X b) 5 saat, 1000X, c) 7 saat, 500X görüntüsü	39
Şekil 4. 5. a)900 °C'de 3 saat borlanan numune XRD analizi, b)1000 °C'de 7 saat	41
Şekil 4. 6. Numuneler üzerinden sertlik değerlerinin alındığı bölgelerin gösterimi	43
Şekil 4. 7. 900 °C'de 3 saat süre ile borlanan (Numune 1) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	48
Şekil 4. 8. 900 °C'de 5 saat süre ile borlanan (Numune 2) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	49
Şekil 4. 9. 900 °C'de 7 saat süre ile borlanan (Numune 3) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	50
Şekil 4. 10.1000 °C'de 3 saat süre ile borlanan (Numune 4) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	51
Şekil 4. 11. 1000 °C'de 5 saat süre ile borlanan (Numune 5) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	52
Şekil 4. 12. 1000 °C'de 7 saat süre ile borlanan (Numune 6) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	53
Şekil 4. 13. Kriyojenik işleme tabi tutulan (Numune 7) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	54
Şekil 4. 14. İşlemsiz DIN 1.2379 çeliği (Numune 8) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi	55
Şekil 4. 15. 10 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri	57
Şekil 4. 16. 20 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri	57
Şekil 4. 17. 30 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri	58
Şekil 4. 18. Numune 1'in a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	59
Şekil 4. 19. Numune 2'nin a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	60

Şekil 4. 20. Numune 3'ün a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	61
Şekil 4. 21. Numune 4'ün a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	62
Şekil 4. 22. Numune 5'in a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	63
Şekil 4. 23. Numune 6'nın a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	64
Şekil 4. 24. Kriyojenik işleme tabi tutulan (Numune 7) numunenin a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	65
Şekil 4. 25. İşlemsiz DIN 1.2379 çeliğin (Numune 8) numunenin a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü	66
Şekil 4. 26. 8 numuneye ait kümülatif aşınma oranları verilmiştir. Mavi renkte 10 N, kırmızı renk 20N, yeşil renk 30 N kuvvet altındaki aşınma oranını göstermektedir	67
Şekil 4. 27. Numune 1'in aşınma bölgesinden alınan EDS analizi	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Sıvı borlamada kullanılan bor kaynakları ve özellikleri (Dinç, 2013).....	18
Çizelge 1. 2. Gaz halindeki borlayıcılar ve özellikleri (Dinç, 2013)	19
Çizelge 3. 1. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği kimyasal bileşimi	27
Çizelge 3. 2. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 4. 1. Borlama işlemi sonrası işleme parametrelerine bağlı olarak yüzeyde oluşan FeB ve Fe ₂ B borür tabakası kalınlıkları	42
Çizelge 4. 2. Borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin farklı bölgelerinden alınan mikrosertlik değerleri.....	44
Çizelge 4. 3. Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri.....	47
Çizelge 4. 4. Numunelerin 10 ,20,30 N kuvvet altında aşınma iz hacimleri ve aşınma iz alanları değişimi	67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	:Santigrat derece
°	:Derece
C	:Karbon
Mn	:Mangan
Cr	:Krom
V	:Vanadyum
Mo	:Molibden
Si	:Silisyum
Fe	:Demir
B	:Bor
N	:Newton
Mm	:Milimetre
Nm	:Newton metre
%	:Yüzde

KISALTMALAR

DIN 1.2379	: AISI D2, SVERKER 21 soğuk iş takım çeliği
XRD	: X-ışını Difraksiyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
HV	:Vickers Sertlik Birimi
ERW	: Elektrik Dirençli Ark Kaynağı
Numune 1	: 900 °C 'de 3 saat borlanmıştır
Numune 2	: 900 °C 'de 5 saat borlanmıştır
Numune 3	: 900 °C 'de 7 saat borlanmıştır
Numune 4	: 1000 °C 'de 3 saat borlanmıştır
Numune 5	: 1000 °C 'de 5 saat borlanmıştır
Numune 6	: 1000 °C 'de 7 saat borlanmıştır
Numune 7	: Kriyojenik ısıtma işlem görmüş
Numune 8	: Herhangi bir işlem görmemiştir.

1.GİRİŞ

Düşük frekanslı elektrik direnç kaynağı prosesin geliştirmesinin ardından 1960'lı yıllarda "Electric Resistans Welding (ERW)" yöntemi, yüksek frekanslı alternatifini ortaya çıkmıştır. Kullanılmaya başlamasıyla birlikte, özellikle boru ve profil üretiminde yaygın olarak tercih edilen bir üretim metoduna dönüşmüştür. Yüksek frekans kaynak prosesi, alternatif akımın 200 kHz ile 500 kHz aralığında uygulanması ve bu sayede kaynak bölgesine ısı enerjisi aktarılması prensibine göre çalışmaktadır.

Önceki kaynak teknolojilerinden en önemli farklılık, buraya şekil veren sistem ile kaynak işlemi için gerekli ısıyı boruya aktaran sistemlerin farklı bağımsız sistemler olmasıdır. Ancak daha da önemlisi uygulama ve üretim maliyetleri kapsamında sağladığı avantajlardır (Brensing; KH ve Sommer, B, 2015).

Bu kaynak metodunda sistemde basınç ve ısı aynı anda uygulanır. Borunun ek yerlerinde oluşturulan ısı ile borunun birleşme yüzeyi ergitilerek kaynak yapılması sağlanır. Bu kaynak işlemi sırasında ayrıca ek dolgu teli ya da kaynak elektrotu kullanılmaz (URL-1).

Boru üretim makinelerinde kalibre grubu oldukça büyük öneme sahiptir. Siparişe uygun nihai ölçüler, kalibre makaralarında verilir. Bu ölçüleri verebilmek için makara, boru üzerinde baskı kuvveti uygular. Hareketli sistemlerde uygulanan baskı kuvveti, aşınmayı mevcut sisteme göre daha çok tetikler (URL-2).

Metal yüzeylerinde gerek dış ortam maruziyetinden kaynaklı gerekse kullanımları neticesinde oluşabilen yorulma, aşınma, sürtünme etkilerini en aza indirmek amacıyla çeşitli yüzey alıştırma işlemleri uygulanmaktadır. Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerini iyileştirmede kullanılan yöntemlerden en pratik ve bir okadar da ekonomik olanı yüzey sertleştirme işlemidir (Şen vd, 2001; Ulutan, 2007). Yüzey sertleştirme yöntemleri malzeme yüzeyinin sert, mukavemetli ve aşınmaya dayanıklı olmasını sağlarken; matris kısmının ise enerjiyi absorbe ederek tok yapıda kalmasını sağlar. Bu yöntemler malzeme dış yüzeyinde nitür, karbür ya da borür oluşturarak yüzeyin sert, mukavemetli ve aşınmaya dirençli olmasını sağlarken, matris

kısımında ise herhangi bir sertlik değişimi oluşturmadığından dolayı özellikle statik ve dinamik yüklerin etkisinde olan malzemelerde oluşabilecek enerjiyi absorbe edip, tokluk sağlar (Şen, Ş., Özbek, I., Sen, U., Bindal, C., 2001). Yüzey sertleştirme işlemlerinin başında endüstride geniş uygulama alanı olan borlama işlemi gelir (Ulutan, M., 2007).

Bor elementi, yeryüzünde ender bulunan elementlerdendir. Bor, 230'dan fazla mineralin bileşiminde bulunmasına rağmen, doğada serbest olarak bulunmamaktadır. Türkiye, bor mineralleri açısından oldukça zengin bir ülkedir. Dünyadaki bor rezervinin yaklaşık %72'si Türkiye'de olmakla birlikte, gerek mineral çeşitliliği gerekse cevher tenörü açısından da doğal bir zenginliğe sahiptir (Anonim, 2003; Turhal, 2008). Fakat ülkemiz bor uç ürünleri imalatında, dünyada bor üreticileri olarak kabul görmüş ülkelerin çok gerisindedir (Gunen, 2012).

Bor bileşikleri, farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metalurji endüstrisi başta olmak üzere, cam endüstrisi, temizlik endüstrisi, seramik endüstrisi, ahşap endüstrisi ve tarım başlıca kullanım alanlarıdır (URL-3).

Bor, demir esaslı malzemelerde; yüzey sertleştirme ya da alaşım elementi olarak kullanılır. Günümüzde borlama işleminin demir esaslı bütün malzemelerden, demir dışı malzemelerin bir kısmına hatta sermetlere kadar uygulanabilir olması, bor bileşiklerinin önemini her geçen gün artırmaktadır (Anonim, 2003; Addemir, 2007; Gunen, 2017).

Borlama termokimyasal bir yüzey modifikasyon yöntemi olup bor bileşiklerinden en az biri kullanılarak tercihen östenitleme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta bor atomlarının malzemenin içine yayılarak matris ile kimyasal bir bağa sahip borür faz/larının oluşumudur (Gunen ve Kanca, 2017). Çeliklerin borlanma ısıl işlemi için, sıcaklık genellikle 700-1050 °C ve süre 30 dakika ile 12 saat aralığındadır (Gunen, Kanca, Demir, Er ve Gök, 2016) . Borlama yöntemi olarak farklı çeşitlikte yöntemler uygulansa da genel olarak katı, sıvı ve gaz ortamında uygulanabilir. En kullanışlı yöntem kutu borlama tekniği olup kutu sementasyona benzemektedir (Bayça, 2004; Uslu, 2007). Kutu borlama tekniği diğer borlama yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha teknolojik, basit ve ekonomiktir (Gunen, Carboğa, Kurt ve Orhan 2013).

Borlanmış çelikler, yüksek aşınma direnci ve yüksek yüzey sertliği ile karakterize edilirler. Bundan dolayı, borlanmış malzemelerde oluşan borür tabakası üzerindeki çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon üzerine yoğunlaşmaktadır (Şen vd., 2001). Borür tabakasının en önemli özelliği; sahip olduğu yüksek sertlik değerini 900- 1000 °C' ye ulaşan sıcaklıklarda dahi koruyabilmesidir. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda da sahip olduğu tribolojik özellikleri kaybetmeden, aşınma ve korozyona karşı daha iyi direnç gösterebilir. (Karamış vd., 1995). Literatürde borür tabakaları aşınma ve abrasyona karşı sinterlenmiş karbürlerle kıyaslanabilecek bir aşınma direnci gösterirken (H.J. Hunger, G. Trute, 1994; C.H. Xu, J.K. Xi, GaoW, 1977) nitrürlenmiş, karbürlenmiş, karbo-nitrürlenmiş veya krom kaplı numunelere göre 2 katı aşınma dirençleri gösterdikleri birçok çalışmada rapor edilmiştir (B. Venkataraman, G. Sundararajan, 1995; O. Ozdemir, M.A. Omar, M. Usta, S. Zeytin, C. Bindal, A.H. Ucisik, 2009).

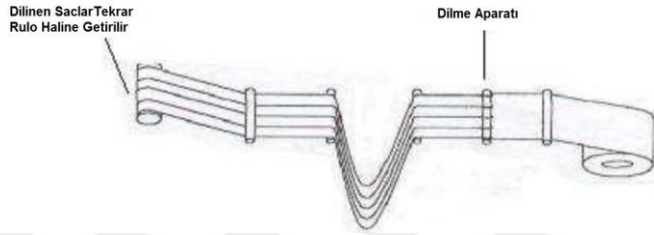
Bu çalışmada kalibre makaralarında kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinden 60x30x10 mm boyutlarında hazırlanan deney numunelerin bir kısmı 900 ve 1000 °C'de 3, 5 ve 7 saat süre ile Ekabor-II tozları ile borlanmıştır. Borlanmış numuneler, mevcut makaralardaki kriyojenik işleme tabi tutulmuş ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan DIN 1.2379 çeliği klasik metalografi incelemeleri, mikro sertlik ve lineer aşınma testlerine tabi tutularak hem borlama işlemindeki parametrelerin hem de kriyojenik ve işlemsiz numunelerin aşınma dirençleri incelenmiştir.

1.1.Erw Boru Üretim Teknolojileri

ERW yöntemi ile boru üretim aşaması 11 temel başlık altında toplanabilir. Bunlar;

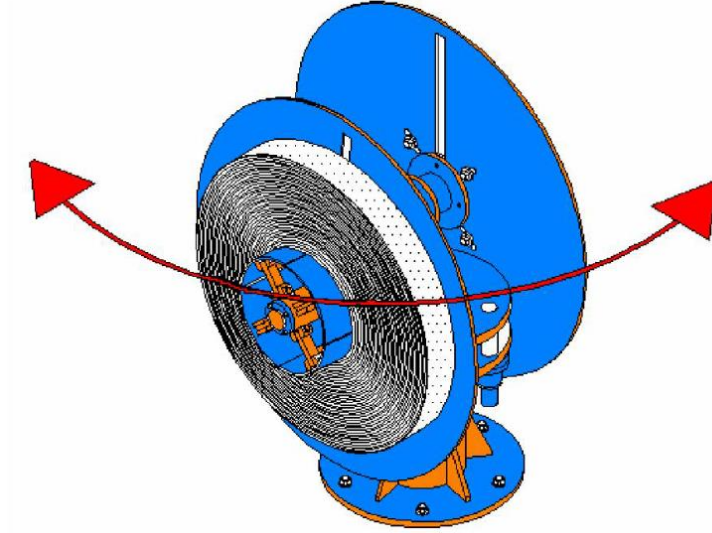
1.1.1.Hammadde Girişi ve Dilme Hattı: Boru üretiminde kullanılacak çelik sac, üretilecek boru ebadına uygun olarak minimum fire göz önünde bulundurularak dilinir.

Dilme işlemi için çelik rulo, bir araba üzerine yerleştirilir. Dilme hattına gelen rulo, sağ ve sol punta adı verilen aparatlarla tutularak havaya kaldırılır ve rulonun araba ile teması kesilir. Daha sonra rulonun uç kısmı açılır, doğrultma merdanesi tarafından uç kısım düzleştirilir ve dilme işleminin yapılacağı bölüme getirilir. Bu aşamada dilme ölçüsüne göre kesici bıçaklar alt ve üst millere dizilir ve önceden hesaplanan bant ölçüsüne uygun olarak dilinmeye başlanır.



Şekil 1. 1. Dilme hattı şematik resmi

1.1.2. Açıcı: Üretim yapılacak ebada göre dilinmiş bant, açıcıya yerleştirilir. Açıcı, bir bant floopa sardırılırken bir sonraki işlemde bekleme yaşanmaması amaçlı çift taraflıdır.



Şekil 1. 2. Açıcı şematik resmi

1.1.3. Floop/Akümülyasyon: Akümülyasyonun asıl görevi, üretimin sürekli olarak devam etmesini sağlamaktır.

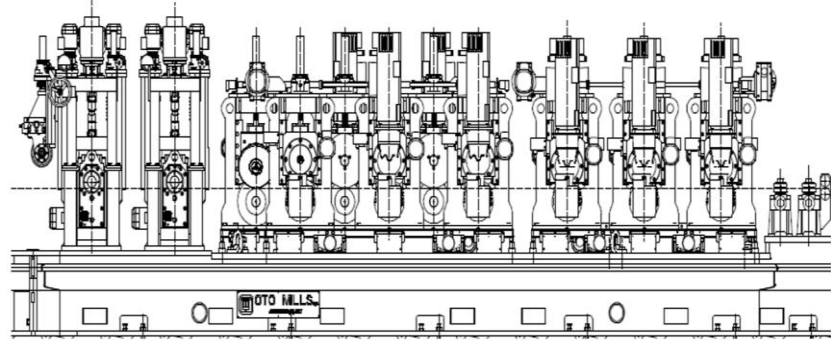


Şekil 1. 3. Akümülyasyon (URL-4)

1.1.4. Form Grubu: Üniversal makinalarda form grubu üçe ayrılır. Bunlar bükme işlemi olan; Breakdown1 (BD1), Breakdown2 (BD2) ve Cluster (Kılıçlı) form gruplarıdır. Flooptan gelen bant öncelikle BD1 form grubuna girer. BD1 form grubu 3 ayaktan oluşur. Bu ayaklarda baskıları, pozisyonları ve tahrikleri elektrikli motorlar tarafından tahrik edilen 12 adet makara vardır. Bu makaraların görevi; form grubuna giren malzemenin ilk olarak üst radiuslarını şekillendirmektir. Üst radiusları kademeli olarak şekillenen malzeme, daha sonra BD2 ayaklarına aktarılır.

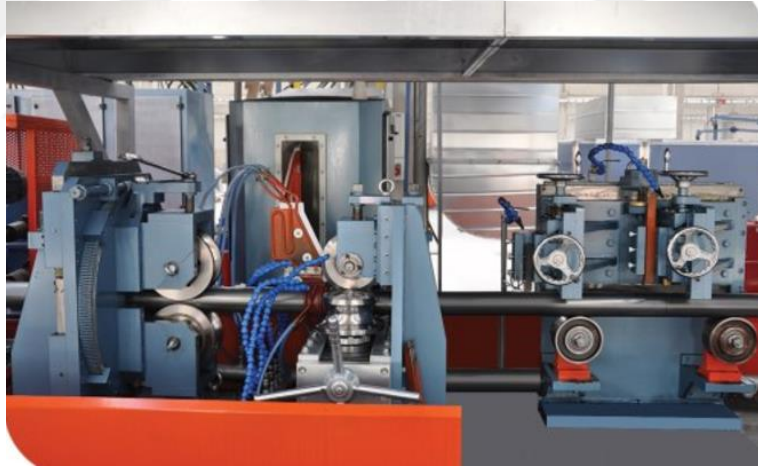
BD2 form grubu da; BD1 form grubu gibi 3 ayaktan oluşmaktadır. İlk iki ayaklarında 8 makara bulunup alt makaraları yaylı makaralardır. 3. ayağındaki üst makaralar ise çapraz olarak konumlandırılmışlardır ve bu ayakta alt makaralar elektrik motoru tahrikli olup üst makaralar avare dönmektedirler. Bu form grubunun görevi malzemenin alt radiuslarını şekillendirmektir. Alt radiusları da kademeli olarak şekillenen malzeme kılıçlı grubuna aktarılır.

Kılıçlı form grubu iki kısımdan oluşur. Bu kısımdaki makaraların görevi artık yavaş yavaş şekillenmeye başlayan malzemenin uçlarını birbirine yaklaştırarak kaynağa hazırlamaktır.



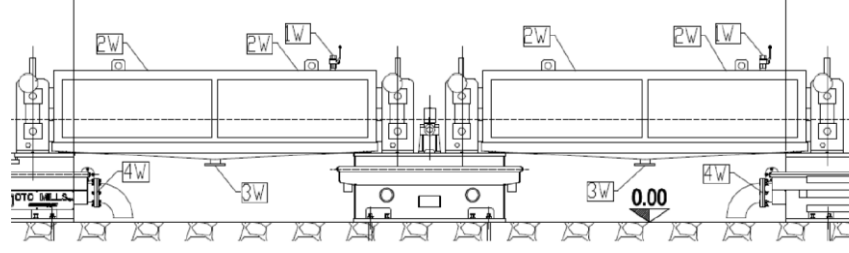
Şekil 1. 4. Form ve kılıçlı grubu

1.1.5.Kaynak Grubu: Bu kısımda kaynaklı boru haline gelmiş malzeme yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı kullanılarak sonsuz dikiş kaynağı ile kaynaklanır. Burada kaynak makinası ile malzeme arasında herhangi bir temas söz konusu değildir. İçinden akım geçen bir coil içerisinde hareket eden malzeme, akıma karşı gösterdiği direncin oluşturduğu ısı ile kaynak edilir.



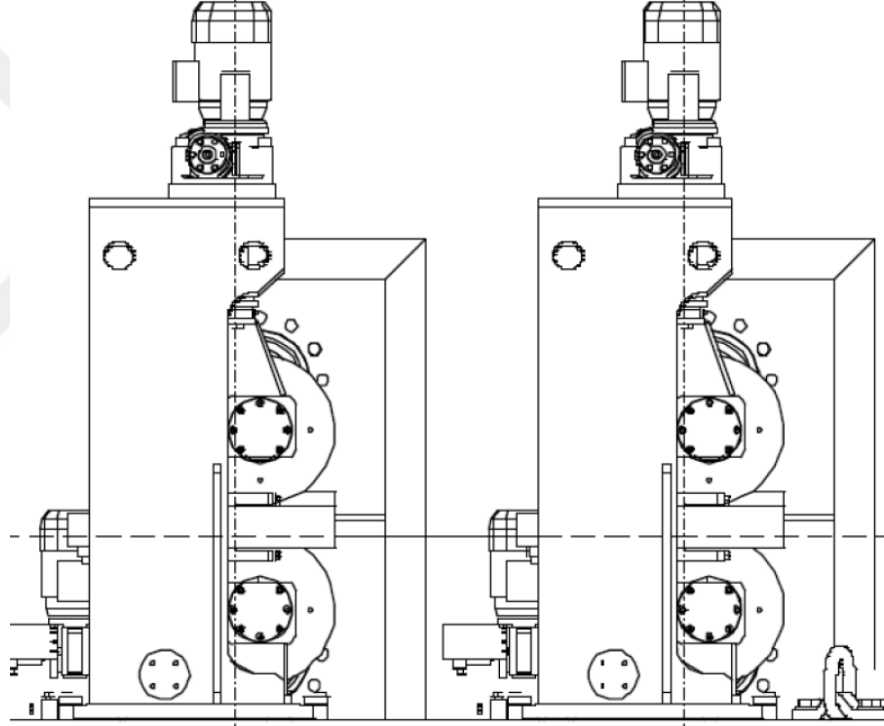
Şekil 1. 5. Kaynak grubu (URL-4)

1.1.6.Soğutma Ünitesi: Soğutma grubu, kaynak grubu ile kalibre grubu arasında bulunur. Kaynak sırasında her ne kadar bant uçlarının ısıtılması prensip edinilmiş olsa da, kaynak bölgesinden boru yüzeyine doğru bir ısı transferi oluşmaktadır. İnce ve soğuk malzemelerde bu olay gözle görülebilmektedir. Kaynak bölgesi etrafında meneviş rengi oluşmaktadır. Bu da boruda kötü bir görünüm meydana getirmektedir. Bu ısı yayılımını engellemek için boru soğutma tüneline geçirilmektedir.



Şekil 1. 6. Soğutma ünitesi

1.1.7.Kalibre Grubu: Kaynak ve çapak alma bittikten sonra profile istenilen toleransları yakalayabilmek için sıralanmış makara gruplarıdır. İki istasyondan oluşan kalibre ünitesi profile nihai ölçüleri vermek için kullanılır.

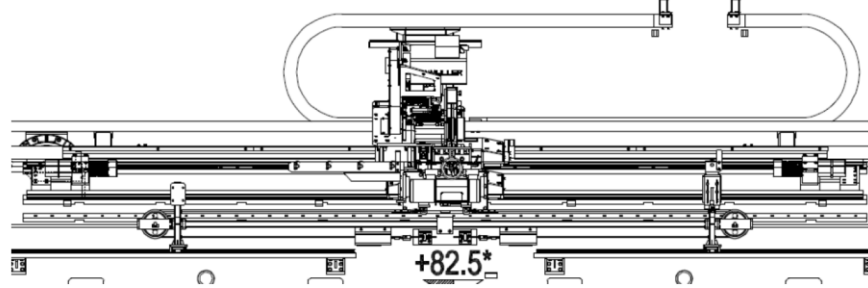


Şekil 1. 7. Kalibre grubu

1.1.8.Doğrultma: Kalibre grubundan çıkan malzemenin, uygulanan baskılar ve gerilmeler sonucu oluşan eğriliğini almak için kullanılan makaralar grubudur. İki adet yan ve iki adet üst makaradan oluşmaktadır. Eğriliğin yönüne göre makaralar bir yönetme kolu yardımıyla pozisyonlanır ve malzemenin eğriliği alınır.

1.1.9.Testere ve Kesme(Cut Off): İstenilen boylarda manuel ve otomayder profil kesimi mümkündür. Boy referansı altından ürüne senkron dönen bir encoder aracılığı ile

çevrelenerek kesme işlemi için komut verilir. Kesme ünitesi bir testere arabası ve testere taşıyan iskeletten oluşur.

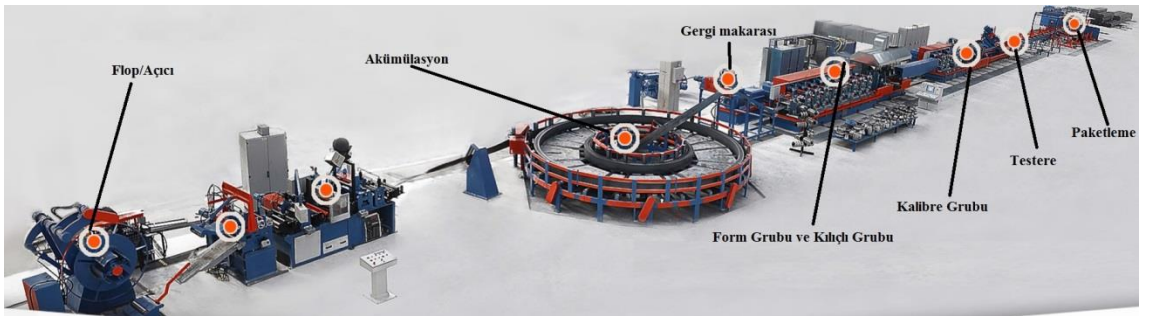


Şekil 1. 8. Testere ünitesi

1.1.10. Hat üzeri (inline) Boyama Makinası: Malzeme ilk olarak yıkama tankından geçerek üzerindeki tufal ve kirlere arındırılır. Daha sonra ısıtma coillerinden geçen malzeme boyama için uygun olan sıcaklığa kadar ısıtılmış olur. Isıtılan malzeme boyama tankına oradan da kurutma tankına geçer.

Bazı makinalarda inline boyama hattı bulunmamaktadır.

1.1.11.Paketleme: Profiller kesim işlemi ve gerekiyorsa boyama işleminden sonra hareketli makaraların bulunduğu konveyörde paketleyici makinesine taşınarak müşterinin istediği ve standartlara uygun şartlarda paketlenir. Çemberlenen malzeme önce süzdürmeye oradan da istif sahasına taşınarak üretim tamamlanmış olur.



Şekil 1. 9. Üretim hattı genel görünüm (URL-4)

1.2.Bor Elementi ve Borlama

Kimyasal sembolü “B”olan bor elementi, periyodik cetvelin III A grubunda bulunan ve ametal olan tek elementidir. Yerkabuğunun 51. en çok bulunan elementi olup, doğada daima bileşik halinde bulunan bir elementtir. Boroksitler(B_2O_3), boratların yapısında bulunan borik asitlerin tuzları veya esterleridirler. Boroksit, sanayide borik asit elde etmede kullanılan bileşiklere verilen genel addır (Ediz ve Özdağ, 2001).

Bor elementi oksijenle bileşik yapmaya kimyasal ilgisi en fazla olan elementlerdendir. Yapı itibariyle de karbon ve silisyumla benzerlik gösterir. Bor, genellikle bor mineralleri bileşikleri şeklinde bulunur ve bor oksitleri açısından zengindir, ancak piyasada en yaygın olan ve tercih edilenleri; boraks, kolemanit ve üleksit'tir (Roskill, 1995).

Demir esaslı malzemelerin bor ile kaplanması işlemi ilk çağlardaki teknolojilerden bu zaman kadar süregelmiştir. Günümüzde bor bileşiklerinin uygulama alanları hızla artmaktadır, 400'den fazla endüstriyel alanda bor kaplama uygulandığı bilinmektedir (Çalık, 2002).

Dünyadaki bor madeni yataklarının yaklaşık olarak %72'si ülkemizdedir. Ancak bu önemli rezervin sadece %18 den Borat üretimi yapılmaktadır. Bu alanda üretim yapan ileri teknolojiye sahip ülkeler boratlardan saf borun yanında, bortrioksit (B_2O_3), borkarbür (B_4C), bornitrür (BN), diboran (B_2H_6) ve ferrobor (FeB) gibi saflaştırılmış bileşikler elde ederek sanayinin bir çok alanında uygulamışlardır (Özsoy, 1991).

Borlama prosesi ilk olarak metal ve alaşımların yüzeyine Moisson tarafından 1895 senesinde Rusya'da gerçekleştirilmiştir (Matuschka, 1980).

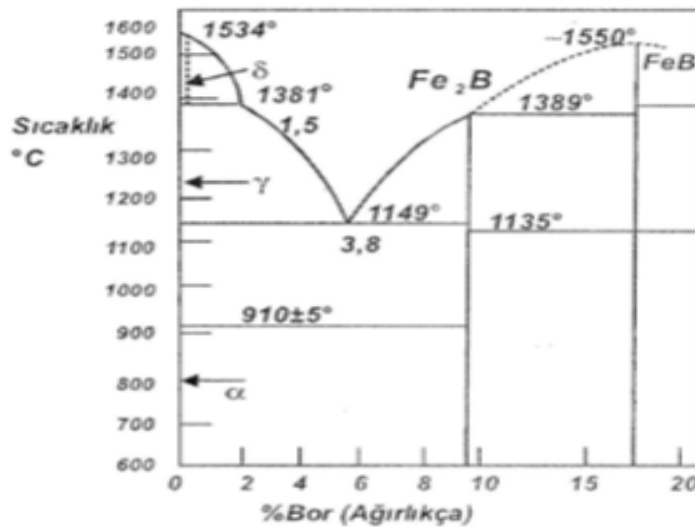
Bor ve bor bileşikleri Çelik endüstrisinde üç alanda çokça tercih edilmektedir:

- a. Çelik imalatında cüruf oluşturucu,
- b. Çeliklerle alaşım yapıcı element,

c. Çeliklerin yüzeyine difüze edilerek kaplama ve sertleştirme proseslerinde kullanılmaktadır(Taşçı, 1993).

Borlama yüzey sertleştirme işlemi ile oluşan bor tabakasının sert, sürtünme katsayısının ise düşük olması, asit ve bazlardan kaynaklı korozitif ortamlara ve yüksek sıcaklıklardaki korozyona iyi direnç göstermesi gibi üstün özellikler borlamanın diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre tercih edilirliliğini arttırmaktadır. Ayrıca borlama prosesinin alaşımsız çeliklerde olumlu sonuçlar vermesi ticari açıdan bir avantaj sağlamaktadır (Bozkurt, 1984). Borun atom çapının demirin atom çapına oranının $\frac{1}{4}$ seviyesinde olması nedeniyle demirle katı eriyik yapabilmektedir (Mal ve Tarkan, 1973). Demirin bor çözme miktarı sıcaklık parametrelerine göre değişmekte ve ferrit fazında 20-80 ppm, ostenit fazında ise 55-60 ppm civarındadır. Bor atomları kafes yapıda ostenit fazda ara yer katı eriyiği, ferrit fazında ise yer alan katı eriyiği şeklinde yerleşir (Keown ve Pickering, 1997).

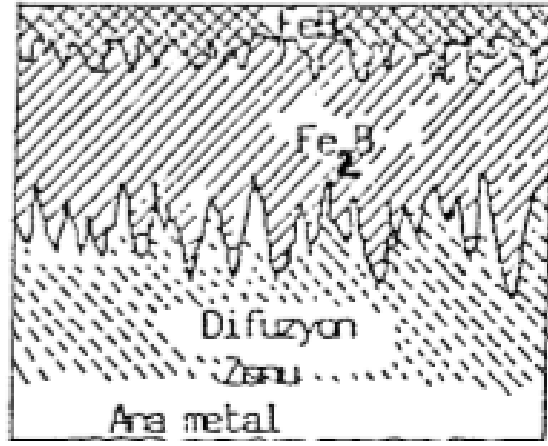
Demir-bor denge diyagramında meydana gelen ara bileşikler sırasıyla miktarca% 8.83 bor içeren Fe_2B ve miktarca % 16.23 bor içeren FeB 'dur. Ayrıca miktarca % 3.8 bor içeren ve ergime sıcaklığı 1149 °C olan ötektik faz meydana gelmektedir (Şekil 1.8.). Bu diyagrama göre borlanmış yüzeyler 1149 °C ye kadar olan ısılarından etkilenmeyecektir (Atik, 2001). FeB denge diyagramı Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1. 10. FeB (demir-bor) denge diyagramı (Atik, 2001)

1.2.1. Borlama İşlemi Sonucu Meydana Gelen Yapılar

Borlama işleminde kaplama tabakası, borun malzeme yüzeyine yayılması sonucu altlık malzemenin en üst bölümünde oluşan bileşik tabaka (borür tabakası), bileşik tabakanın altında ki geçiş bölgesi (C, Si gibi bor içerisinde çözünmeyen elementlerin yöneldiği bölge) ve en iç kısmında ise borlamanın etkilerinden etkilenmeyen matris (çekirdek bölgesi) den meydana gelir. Borür tabakasının kalınlığı farklı parametrelere göre değişebilir bunlar; malzemenin kimyasal kompozisyonu, işlem sıcaklığı, işlem yöntemi ve işlem süresine bağlıdır(Çalık, 2002). Şekil 1.9.' da bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi verilmiştir.



Şekil 1. 11. Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi (Taşçı, 1993)

Endüstriyel uygulamalarda bor tabakasında istenilen tek faz testere dişi şeklindeki Fe₂B fazı çift fazlı (FeB+Fe₂B) yapıya göre daha çok istenir. Çünkü FeB fazı borca zengindir (yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir) ve diğer demir bor fazlarından daha gevrek olduğundan bu fazın oluşması arzu edilmez. Bu faz yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir ve diğer demir bor fazlarından daha gevrek olduğundan bu fazın oluşması arzu edilmez. Fe₂B fazı ağırlıkça % 8.93 bor içerir. FeB ve Fe₂B fazlarının ısıl genişleme katsayıları birbirinden farklıdır. α FeB fazının ısıl genişleme katsayısının $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ iken, α Fe₂B fazının ise $7.85 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ dir. Bu fazlar arasındaki ısıl genişleme katsayısı farklılığı bor katmanında çatlama ve kabuk atma,

yırılma gibi istenmeyen durumlara sebep olur. Meydana gelen bu olumsuzluklar sonucunda herhangi bir yük uygulandığı zaman kaplama tabakasının pul pul ve yaprak şeklinde döküldüğü belirtilmiştir (Jain ve Sandararayan, 2002; Gunen 2017). Ayrıca FeB ve Fe₂B fazlarının ısıl genleşme katsayılarının farklı olmasından dolayı birbirlerine çekme ve basma gerilmeleri uygulamakta ve fazlar arasında yüzeye paralel ve dik çatlaklar oluşturmaktadır. Bundan dolayı borür tabakasından mümkün olduğunca FeB fazının oluşumu istenmez (Oian ve Stone,1995).

Borlama prosesi esnasında, matris içeriğinde mevcut elementler geçiş bölgesinde yeniden difüze olarak yerleşirler. Karbon ve silis gibi elementler, FeB ve Fe₂B fazlarında çözünmediği için yüzeyden matrise doğru itilirler. Bu bölgedeki bor miktarı az olduğundan borür oluşturamayacaktır. Bu olay neticesinde geçiş bölgesinin oluştuğu düşünülmektedir. Geçiş bölgesinin mikroyapısı hem matristen hem de borür tabakasından farklılık gösterir. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının 10 ile 15 katı arasındadır (Bozkurt ve ark., 1983).

1.2.2. Borlama Yöntemleri

Borlama bir yayınma işlemi olduğundan, karbürleme ve nitrülemeyle benzerlik gösterir. Difüzyon prosesine dayanan borlama, termokimyasal bir işlemdir. Önceden belirlenen işlem sıcaklıklarında metalik malzeme yüzeyine difüze olan bor elementi, malzeme yüzeyinde matris ile bir veya birden fazla intermetalik fazdan oluşan bir katman meydana getirir. Borlayıcı ortamda, bor vericiler (bor veya bileşikleri), reaksiyonu hızlandırıcı (aktivatör), oksijenle irtibatı kesecek olan dolgu veya deoksidanlar (ekrit) bulunur. Aktivatörler oluşan tabakanın homojen artmasını sağlarlar. Dolgu ve deoksidanlar ise bor elementinin oksijene afinitesi olduğundan işlem sıcaklığında oksijeni bağlayarak redükleyici görevi görürler ve ayrıca borlayıcıların matrise yapışmalarını engellerler.

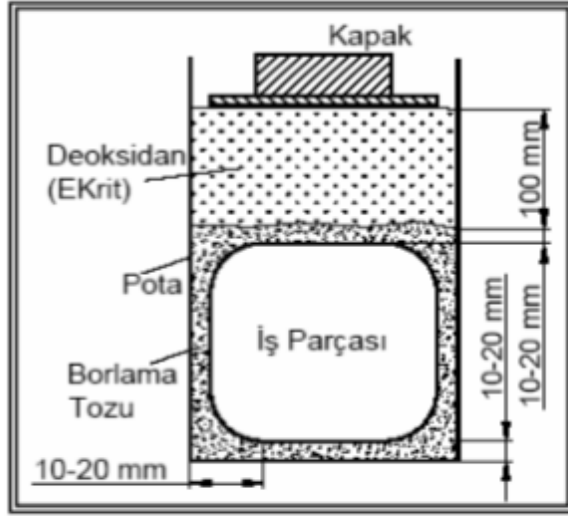
Borür tabakası çok yüksek sertlik, yüksek ısınma direnci, iyi adhezyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet, yüksek sıcaklıklara kadar sertliğini koruma ve demir

esaslı malzemelere yakın ısıl genleşme katsayısı gibi olumlu özelliklere sahiptir (Türktekin, 1998).

1.2.2.1 Katı Borlama

Metal malzeme, granül halindeki bor vericiler ile aynı ortamda 800-1000°C arası sıcaklıklarda 4-10 saat arasında bekletilir. Bu işlem için ısıya dayanıklı paslanmaz çelik malzemedен pota kullanılır, bor tozu potaya konur ve borlanacak malzeme boşluk kalmayacak şekilde bor tozu içerisine gömülür. Malzeme toz harmanının merkezine yerleştirilir ve yüzeyde minimum 10 mm kalınlığında toz katmanı olmalıdır. Pota ya da kutuların kapakları kapatıldıktan sonra daha önce ısıtılan fırınlara yerleştirilir. Fırının kapağı kapatılır ve proses sıcaklığına ulaşması sağlanır. İşlem süresi kadar belirlenen ısıda bekletildikten sonra pota fırından çıkartılarak soğutulur. Borlanan metal malzeme kutu içerisinden çıkartılır. Borlama prosesinde pota kapağı kendi ağırlığı ile pota üzerinde durmalıdır. Sementasyon işleminekinin aksine hava almayacak şekilde kapatılmasına gerek yoktur. Ancak işlem normal atmosfer kontrollü fırında gerçekleşecekse kapak hava almayacak şekilde iyice sıkılmalıdır. Yine koruyucu gaz atmosferi ortamında da yapılabilen bu yöntem ucuz ve aynı zamanda kendine özgü bir teknik uygulamayı gerektirmez.

Borlama işleminde kullanılan bor vericilerin ana bileşeni bor karbür (B_4C), amorf bor ve ferrobordur. B_4C içlerinde en ucuz olanıdır. Saf amorf borun çok pahalı olması ve ferrobord saflaştırma işlemlerinin çok zor olması nedeniyle bu maddelerin kullanımını sınırlıdır. B_4C ise borlayıcı ortamlar içerisinde, amorf bor ve ferrobordan hem ucuz olup hemde bileşimi zamana göre sabittir. Uygun tane boyutu ve aktivatör seçimi sonuçları olumlu etkilemektedir. Ayrıca amonyum klörür amorf bor tuzuna katıldığında aktivatör görevi görür. Ferrobord kullanılarak yapılan borlama işleminde oluşan tabakanın teknik olarak kullanılması imkânsızdır (Sinha, 1991).



Şekil 1. 12. Katı borlama yönteminin şematik resmi (Sinha, 1991)

Katı ortam borlamasında kullanılan bileşiklerin % ağırlık oranları aşağıda verilmiştir (Özsoy, 1991).

1. % 60 B_4C + %30 Fe_2O_3 + %5 NaF + %5 B_2O_3
2. % 50 Amorf bor + %49 Al_2O_3 + %1 $NH_4F.HF$
3. % 100 B_4C
4. % (7,5-40) B_4C + % (50-90) SiC + % (2,5-10) KBF_4
5. % 84 B_4C + % 16 $Na_2B_4O_7$
6. % 95 Amorf bor + %5 KBF_4 veya %5 $NaBF_4$
7. % 20 B_4C + % 75 Grafit + % 5 KBF_4
8. % (40-80) B_4C + % (20-60) Fe_2O_3
9. % 80 B_4C + % 20 Na_2CO_3 (Sinha, 1991).

1.2.2.2. Pasta Borlama

Pasta borlama işleminde kullanılacak granül haldeki borlayıcılar macun kıvamına getirilir ve metal malzemenin yüzeyine kalınlığı 2 mm olacak şekilde sürülür. Bu işlemden sonra yüzeye sürülen macunun en kısa süre içinde kurutulması gerekmektedir. Kurutma işlemi maksimum 150 °C de ön ısıtma kabiniinde, ısıtılmış hava akımıyla veya kurutma fırınları kullanılarak yapılabilir. Gerekli görülürse macun katmanı üzerine takviye yapılabilir. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyi macunlanmış metal malzemeler ön ısıtma yapılmış fırınlara konur ve fırın kapağı kapatılarak proses sıcaklığına ulaşması sağlanır. Borlama için gerekli süre ve sıcaklıkta fırında bekletilen metal malzemeler işlem sonunda dışarı alınır ve soğutulur. Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra parça yüzeyine yapışan kalıntılar temizlenir ve malzeme borlanmış olur. Bu teknikle yapılan borlama işlemi mutlaka koruyucu gaz ortamında yapılmalıdır. Koruyucu gaz kullanılmadan yapılan borlamada oluşan borür tabakası istenilen seviyede olmaz. Ayrıca bu teknikle lokal borlama yapılabilmektedir. Macun borlamada macun içeriği B_4C , kriyolit (Na_3AlF_6) ve bağlayıcı sıvı olarak hidolize etilsilikattan oluşmuş, koruyucu gaz olarak da; Argon, Formier Gazı, NH_3 ve saf azot gazı kullanılabilir (Uzun, 2002).



Şekil 1. 13. Üzerine pasta borlama ajanı sürülmüş numune (Dinç, 2013)

1.2.2.3. Sıvı Borlama

Bu yöntemde borlama ortamı sıvıdır. Borlanacak malzeme 800-1000°C arasındaki sıcaklıktaki sıvı bor vericilerle aynı ortam içerisinde 2-6 saat süresince bor difüzyonu oluşumu sağlanır. Sıvı borlama üç değişik şekilde uygulanabilir;

Tuz eriyiği içinde elektrolitsiz (daldırma)

Tuz eriyiği içinde elektrolitli

Derişik çözeltide (Özsoy, 1991).

1.2.2.4. Daldırma Yöntemi

Bu yöntem ergitilmiş elektrolitsiz tuz eriyiği ya da normal sıvı borlama tekniği olarak da bilinir. Daldırma yönteminde borlayıcı olarak B₄C'in katı fazı ile sıvı haldeki sodyum klorit (NaCl) tercih edilir. Proses temelde boraksın vizkozite azaltma teknikleriyle elektrolit halinde erimesidir (Selçuk, 1994)

Ortamın ana bileşeni olarak boraks, aktivatör olarak ise B₄C, SiC, Zr, B, vs. kullanılır. Erimiş boraks banyolarına bor karbür katarak yapılacağı gibi klorürlerin karışımına veya klorürler ile floritlerin karışımına bor karbür takviyesi ile de yapılabilir. Bu proses hem ucuz hem de fazla uzmanlık gerektirmez. Yöntemi dezavantajlı kılan zorluklar arasında termal şok, borlamadan sonra parçanın temizliği, büyük boyutlu ve karmaşık geometrili parçalara uygulanamaması sayılabilir. Uygulama sıcaklığı 800-1000 °C ve borlama süresi 2-6 saattir.

1.2.2.5. Elektroliz Yöntemi

Yüksek sıcaklıktaki tuz banyosunda, elektrolit iş parçasının katot ve grafit çubuğun da anot olarak davrandığı bir işlem olarak uygulanır. Ergitilmiş boraks tuz banyosu görevi görür. Deneysel çalışmalar sonucunda bu yöntemin başarısı kanıtlanmıştır. Ergimiş boraksın yüksek viskozitesinden kaynaklanan uygulama sıcaklığı homojensizliği ortaya çıkmaktadır. Bu da endüstriyel uygulamalarda boraks

eriyiğinin yüksek viskozitesi 850°C'nin altında borlamayı pratik olarak imkansız hale getirir. 850°C'nin üzerindeki ısılarda tuz banyosunda homojenliği sağlamak oldukça güçleşir.

Özellikle kompleks parçalarda, farklı akım şiddetleri kullanılarak borür tabakasının kalınlığının eşit olması sağlanabilir. Bu teknikte borlanmış metal malzeme yüzünde oluşan tuz tabakasının temizlenmesi oldukça zor ve masraflıdır. Ayrıca elektrolizle borlama da anodun bir bölgesinde oluşan ince borür tabakası, katmanların dengesiz ve düzensiz kalınlaşmasına yol açar. Sodyum klorür ve borasit anhidritin karışımı ile yapılan çalışmalarda banyodaki sıcaklık dağılımında homojenlik sağlandığı, parçaların daha kolay yıkandığı ve viskozitenin düştüğü görülmektedir. İşlem uygulama sıcaklığı 800-1000°C de 30 dakika -5 saat süre ile yapılır. Tuz banyosundaki akım yoğunluğu 0.2 A/cm² seçilerek, 600-700°C sıcaklıkta ve 2-6 sürede sade karbonlu çelikte 15-70µm kalınlıkta bor tabakası elde edilmiştir. Bu yönteminde dezavantajları olarak, tesisatın pahalı olması, kompleks parçalarda homojen tabaka kalınlığı sağlamanın zorluğu ve NaCl, B₄C, NaBF bileşiminden oluşan tuz eriyiğinde farklı problemlerin çıkması sayılabilir (Selçuk, 1994).

1.2.2.6. Derişik Çözeltide Borlama

Laboratuvar çalışmalarında boraks ve borasitli anhidriti çözeltilerinde yüksek frekanslı ısıtmayla deneyler yapılmış ve az miktarda bor yayını gözlense de istenilen birleşik katmanlar sağlanamamıştır. Bu çözeltiden farklı oranlar kullanılarak yapılan deneylerde kapalı borür tabakası oluşmamış ve ancak tabakaların 1000 °C sıcaklıkta, 10 dakika süre ile 0,1 A/cm² akım ve 450 kHz frekans altında doymuş boraks derişimin de oluştuğu görülmüştür. Uygulama sırasında açığa çıkan bor halojenlerinin ilgili asit oluşumlarının suya karşı afinitesi, yöntemi başarısız kılan etken olmuştur (Selçuk, 1994).

Çizelge 1. 1. Sıvı borlamada kullanılan bor kaynakları ve özellikleri (Dinç, 2013)

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı gr.	Teorik Bor Miktarı %	Ergime Sıcaklığı (°C)
Boraks Susuz	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381,42	11,35	-
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	201,26	21,50	741
Borik Oksit	B_2O_3	69,64	31,07	450
Bor Karbür	B_4C	55,29	78,29	2450

1.2.2.7. Gaz Borlama

Bu yöntemde borlama prosesi için borlayıcı olarak bor halojenleri, diboran (B_2H_6) ve organik bor bileşikleri tercih edilir. İşlem başarısını etkileyen başlıca faktörler olarak borlayıcı ortamda kullanılan gazın içeriği, basıncı ve gazın tanktan ortama yayılma hızı sayılabilir. Borlayıcı olarak BF_3 , BBr_3 , BCl_3 saf veya su ile; B_2H_6 su ile ve $(\text{CH}_3)_3\text{B}/(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$ kullanılır. Bu bor vericilerden diboran (B_2H_6) ile birlikte bor halojenleri kullanıldığı takdirde istenilen sonuçlar alınabilir. Ancak diboran zehirli ve patlayıcıdır bir gazdır. Ayrıca diboranın hidrojen ile inceltmesi çok pahalı olup 150°C 'ye yakın sıcaklıklarda ayrışması nedeniyle sıcak parçalara uygulamak istendiğinde soğutulması gerekir. Bu da yöntemi karışık bir hale getirir.

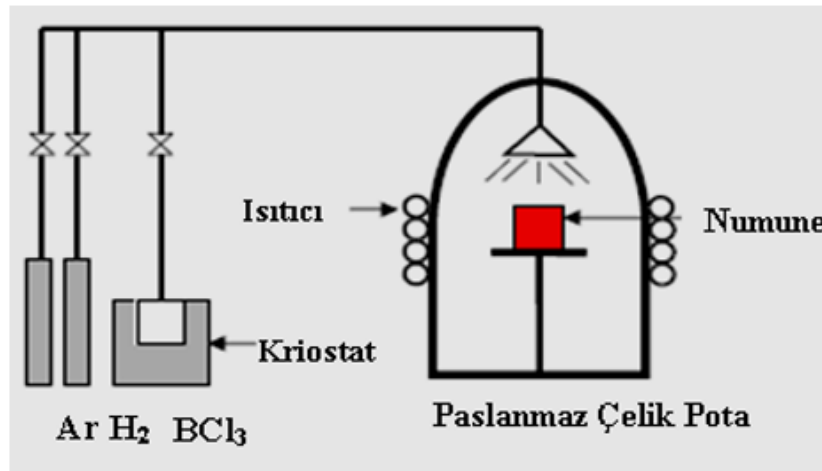
Araştırmacıların bir çoğu bu zorluklara rağmen diboran ve su ile gaz ortamda borlamayı gerçekleştirmişlerdir (Bozkurt, 1984).

Borlayıcı olarak bor triklorit kullanıldığında klor proses sırasında ayrışır, serbest kalan klor ortamdaki hidrojen ile reaksiyona girerek HCl meydana getirir. Açığa çıkan Cl ve HCl, atmosfer ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak demir malzemesi ile reaksiyona girer. Bu teknikte karşılaşılan en büyük problem budur. Çeliğin borlaması sırasında demir klorit oluşur. Bu oluşan demir klorit demir bromür'ün oluşumunu engelleyerek korozyona neden olur.

Amerika'daki bir araştırdaki bor ve borkarbürden açığa çıkan gaz kullanılarak borlama yapılan bir teknik geliştirilmiştir. Bu yöntemde, borklorit ile hidrojen karıştırılarak 1300-1500 °C de karbonca zengin sıcak grafit çubuk üzerine göndererek bor karbür oluşumu sağlanır. Ergime derecesi yüksek malzemelere bu yöntem uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Demir bazlı malzemelerin yanı sıra silika, mullite, Ti, Ni, Co ve W gibi malzemelerin borlanması başarıyla gerçekleştirilmiştir (Uzun, 2002).

Çizelge 1. 2. Gaz halindeki borlayıcılar ve özellikleri (Dinç, 2013)

Gazlar	Kimyasal Formül	Molekül Ağırlığı gr.	Teorik Bor Miktarı, %	Donma Noktası °C
Bor Tri Florid	BF ₃	67,82	15,95	-128,8
Bor Tri Klorid	BCl ₃	117,9	9,23	-107,3
Bor Tri Bromit	BBr ₃	250,57	4,32	-46
Di-Boran	B ₂ O ₃	26,69	39,08	-165,5
Bor Tri Metil	(CH ₃) ₃ B ₃	55,92	19,35	-161,5
Bor Tri Etil	(C ₂ H ₅) ₃ B	98,01	11,04	-94



Şekil 1. 14. Gaz borlama ünitesi (Küper, A., Qiao, X., Stock, H. R., 2000)

1.2.2.8. Plazma Borlama Yöntemi

Plazma maddenin dördüncü hali olup enerji yüklemeleriyle fazlar arasındaki geçişler hızlandırılarak madde en sonunda plazma fazına eritilir. Katı maddeye enerji yüklenerek sıvı hale, sıvı halden de enerji yüklenerek gaz ve gaz halinden de enerji yükleyerek plazma haline getirilebilir (Barış, 2007). Plazma içerisinde, elektron iyon, foton, uyarılmış atom, ve nötral atom veya molekül içeren karışımdır. Uygulama sırasında ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile plazma elde edilir. Elektriksel boşalmadır en yaygın plazma yöntemidir (Hunger ve Lobig, 1997; Uluköy, 2005).

Bu yöntemle borlamada BCl_3 , B_2H_6 , BF_3 ve TEB gibi bor bileşikleri ve redükleyici olarak argon veya H_2 kullanılır. 800–1000 °C sıcaklıkta, yaklaşık 10-2 Pa gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş plazma içerisinde yapılan borlamadır (Hunger ve Lobig, 1997; Uluköy, 2005). Diğer borlama yöntemleriyle kıyaslandığında çevreyi daha az kirlettiğinden üzerinde çalışılan bir yöntemdir (Bayça ve Şahin, 2004; Uluköy, 2005).

Plazma borlamanın avantajları: Yüksek enerji verimliliği, düşük çarpılma ve düşük işlem sıcaklığıdır (Uzun, 2002). Diğer yöntemlerde (katı, sıvı, gaz) tabaka kalınlığı ve homojenliği kontrol edilemezken, plazma borlamada bu mümkündür (Barış, 2007). Ayrıca kompleks parçalarda homojen difüzyon tabakası, sertlik ve yüzeyde tek fazlı Fe_2B tabakası elde edilebilmesidir (Barış, 2007). Plazma borlamanın dezavantajları ise: Bu yöntemde kullanılan BCl_3 ve B_2H_6 gazlarının pahalı, zehirli, patlayıcıdır ve korozyona neden olmasıdır (Hunger ve Lobig, 1997; Bayça ve Şahin, 2004; Barış, 2007).

1.2.3. Borlama İşleminin Avantajları

Borlanmış tabakaların en önemli özelliği, oluşan borür tabakasının ana matris malzemeye oranla çok yüksek sertlik (1200-5000 HV) ve ergime noktasına sahip olmasıdır. Ayrıca bor tabakasının yüksek sertliğinin yanında sürtünme katsayısının

düşük olması, aşınma direncinin yüksek olmasını, bu da maliyetin ve malzeme kaybının minimum seviyeye inmesi demektir. Borlama işleminin bazı avantajları şöyle sıralanabilir:

- a. Bor tabakası sertliğini yüksek çalışma sıcaklıklarında da muhafaza etmektedir.
- b. Borlama işlemi ile sertleştirilebilir birçok çelik grubuyla karşılaştırılabilir yüzey özellikleri elde edilebilir.
- c. Borlama işlemi, demir esaslı malzemelerin oksidan olmayan seyreltik asitlere karşı korozyon direncini ve erozyon direncini arttırmaktadır. Bu özellikleri sebebi ile endüstride çokça kullanılmaktadır.
- d. Borlanmış yüzeyler yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncine ve ergimiş metal korozyon direncine sahiptir.
- e. Borlanmış parça, korozif ortamda yüksek yorulma direncine sahiptir.
- f. Borlama işlemi yağlayıcı kullanımı azaltmakta ve sürtünme katsayısını düşürmektedir (Genel, 2005)

1.2.4. Borlama İşleminin Dezavantajları

Borlama işleminin avantajları yanında, bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar:

- a. Borlamaya tabi tutulan malzemelerde bor tabaka kalınlığının %5-20'si oranında boyut artışı görülmektedir. Bu artış, borlanan malzemenin cinsine ve borlama şartlarına bağlıdır.
- b. Genelde borlanmış alaşımlı çelik parçaların döner temaslı yorulma özellikleri yüksek basınçlı yüzeylerde sementasyon ve nitrasyonla kıyaslandığı zaman çok zayıftır. Borlamanın bu özelliği sebebiyle, dişli üretiminde bir sınırlama söz konusudur (Vangavati, 2006).

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1.Kriyojenik Isıl İşlem

Geleneksel yöntemle kriyojenik ısıl işlem, parçaları -160 °C ile -165 °C arasında birkaç saat (1saat,12 saat 24 saat, vb. aralıklarda) ile birkaç gün arasında değişim gösterilerek bekletilen bir işlemdir. Kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperleme işlemlerinin (175 °C, 350 °C, 525 °C vb. aralıklarda değişim gösteren sıcaklıkların) uygulanmasıyla parçaların kristolografik ve mikro yapısı iyi yönde geliştiği ve çok güzel karbür çökmesi sağlandığı görülmüştür (Uzun, 2014.)

Mohan Lal vd, kriyojenik işlemin çeliklerde klasik ısı davranışı işlemini tamamlayıcı bir işlem olduğunu vurgulamışlardır. Bu işlem; kaplamaların aksine parçanın tümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin takım ömründe yaklaşık olarak %110'a varan bir iyileşme sağladığı gözlenmiştir. Mohan Lal vd, (2001) , Firouzdor vd, karbonlu çeliklerin yüksek hız ve kuru kesme şartlarında M2 HSS matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlemin, aşınma direnci ve takım ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. (Uzun, 2014.)



Şekil 2. 1. Kriyojenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü (Uzun, 2014)

2.2.Borlama Çalışmaları

Borlama işlemi katı, sıvı, gaz, plazma ve iyon difüzyonu gibi çeşitli tekniklerle uygulanmaktadır (Sinha, 1991). Bu yöntemler arasında kutu borlama (katı borlama) tekniği en kullanışlı olup diğer yöntemlere göre daha teknolojik, basit ve daha ekonomiktir (Günen ve ark., 2013). Patentlerde belirtilen %5 B₄C, %5 KBF₄ ve %90 SiC oranlarındaki karışımlar katı borlama için optimum sayılmaktadır. Toz karışım sızdırmaz bir pota içerisine yerleştirilir ve kaplanacak malzeme toz karışım içine gömülür. İşlemin uygulanacağı borlama sıcaklığında bekletilen fırın içerisine hazırlanan pota yerleştirilir, işlem süresi kadar bekletilir, süre bitince pota fırından alınarak açık havada soğumaya bırakılır. Katı borlama tekniğinde kaplanan deney numunesi yüzeyinde oluşan kalıntılar katman oluşturmadığından daha kolay temizlenmektedir. (Bayça ve Şahin, 2004).

Katı borlamanın avantajları:

- Borlama sonrası temiz bir yüzey çıkmaktadır.
- Özel teknik gerektirmez.
- Kolay elde edilebilir.
- Toz terkibi değiştirilebilir.
- Minimum donanım ve güvenli olması sıralanabilir.

Dezavantajları:

- Yüzeyde bor bileşimi homojen değildir. (Günen, 2012)

Borlama işleminde, bor atomları ısı enerjisi etkisiyle metal yüzeyine yayınrlar ve esas metal atomlarıyla uygun borür tabakaları meydana getirirler. DIN 17014'e göre ise borlama, "termokimyasal işlem yoluyla iş parçası yüzeyinin bor atomları ile zenginleştirilmesi" olarak tarif edilmektedir. Yani termal enerji yoluyla bor atomlarının iş parçasının yüzeyindeki metal latisin içerisine yayınması ve orada ana malzemenin atomları ile borürlerin oluşturulmasıdır (Özbek, 1999). Bu işlem kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlara dayanmakta ve sabit sıcaklıkta veya termal çevrimli

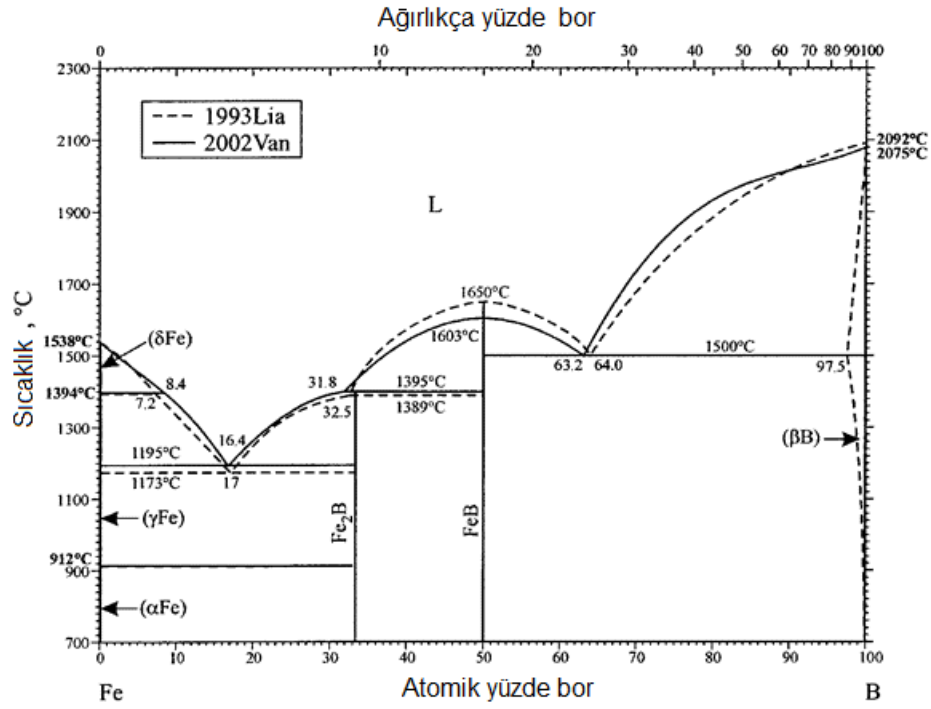
olarak uygulanabilmektedir (Er ve Par, 2004). Matuschka (1980) yapılan deneyler sonucu optimum borlama sıcaklığını 2, 4 ve 6 saat süre için 900-950 °C arasında olduğunu belirtmektedir. Hutchings (1992) borlama yöntemine bağlı olarak östenit dönüşüm sıcaklığı üzerinde 800-1050 °C arasında ve 1-8 saatlik işlem sürelerinin uygun olduğunu belirtmektedir. Genel uygulamada ise borlama işlemi 700-1050 °C sıcaklık aralıklarında ve 1-12 saatlik işlem sürelerinde yapılabilmektedir (Boylu vd., 2003).

Bor kaynağı olarak amorf bor, B₄C (borkarbür), Na₂B₄O₇ (susuz boraks), H₂B₆, tabakanın düzenli büyümesini sağlayan aktivatör (KBF₄), işlem sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturan ve ortamdaki malzemelerin ana malzemeye yapışmasını önleyen dolgu malzemesi ve deoksidanlardan (SiC, vb.) oluşan karışımlar kullanılır (Özbek, 1999).

Borür tabakasının oluşum noktaları tane sınırları, dislokasyonlar, atom boşlukları gibi mikro hatalar ile yüzey pürüzlülükleri ve çizikler gibi malzeme yüzeyinin daha reaktif olduğu yerlerdir. İşlemin birinci aşamasında borlayıcı ortam ile ana malzeme yüzeyindeki reaksiyon partnerleri arasında reaksiyon oluşur. Bu reaksiyon sonucunda tanelerin yüzeyinde çekirdek oluşumları başlar. Borlama süresi ile çekirdek oluşumu artar ve ince bir bor tabakası elde edilir. Bor, Fe₂B ve FeB yapısında çeliğin yüzeyine yayılır. Önce Fe₂B fazı oluşur, ortamda yeterince bor yoğunluğu varsa FeB fazı da süreye bağlı olarak oluşur. İlk önce oluşan Fe₂B fazı uzun bir sürede büyümektedir. Borür tabakaları çeliğin yüzeyinden içeriye doğru FeB_x, FeB, Fe₂B yapısında oluşur. Borlamanın son aşamasında sadece FeB fazı oluşur. FeB fazı, Fe₂B fazından daha kısa sürede büyür. Bu yüzden FeB fazının dokusu Fe₂B fazı kadar güçlü değildir (Bayça ve Şahin, 2004; Barış, 2007; Ersöz, 2008).

Bir alaşımda katı eriyik oluşum şartlarının en önemlisi atomik boyut faktörüdür (Özbek, 1999). Bor atomlarının küçük boyutları ve yüksek mobilitesi nedeniyle demir esaslı alaşımlara kolaylıkla difüze olarak Fe₂B ve FeB metaller arası bileşiklerini oluşturabilirler (Genel vd., 2002; Çelikyürek, 2006). Bor elementi α-Fe'de atom çapına bağlı olarak hem arayer hem de yer alan konumunda bulunabilmektedir. Fe-B sisteminde borun atom yarıçapının demirin atom yarıçapından 2,69 kat daha küçük olması bu element ile kolaylıkla katı eriyik yapma imkânını sağlamaktadır (Özbek, 1999).

Demirde bor erirliği sıcaklığa bağlı olarak ferrit fazında 20-80 ppm, östenit fazında ise 55-260 ppm kadardır. Demir-bor denge diyagramına bakıldığında (Şekil 2.2) ağırlıkça % 8,83 bor oranında Fe₂B, yine ağırlıkça % 16,23 bor oranında FeB ara bileşikleri meydana gelmektedir (Delikanlı vd, 2003). 1149°C’de, %3,8 bor bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır. Dolayısıyla borlanmış yüzey 1149°C sıcaklığına kadar ısıdan etkilenmemektedir. Fe-B sistemindeki alaşım elementleri, örneğin %1 C miktarı ötektik sıcaklığını 50°C aşığıya düşürmektedir (Özsoy, 1991; Çalık vd., 2005; Şimşek, 2005) . Ötektiğin yapısı ve özellikleri, bileşimin yanında sıvı tabakanın soğuma hızına da bağlıdır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, Fe₂B fazının ergime sıcaklığının 1389–1410 °C arasında ve FeB fazının ise 1550–1657 °C arasında olduğu belirtilmektedir (Özbek, 1999).



Şekil 2. 2. Fe-B denge diyagramı (Okomoto, 2004)

Borlama tabakasına etki eden faktörler: Borlama işleminde kullanılan yöntem, borlama maddesinin bileşimi, borlanacak malzemenin kimyasal bileşimi, işlem süresi ve işlem sıcaklığı olarak bilinmektedir. (Baştürk ve Erten, 2006).

Borlamanın avantajları özetlenir ise:

- Yüksek sıcaklıklarda borür tabakası sertliğini korur,
- Borlama, demir esaslı malzemelerin korozyon-erozyon dayanımını gerek alkali ortam gerekse seyreltik asit çözeltisi içerisinde korur ve bu özelliği sayesinde endüstride geniş bir uygulama alanı bulur,
- Borlanmış yüzeyin oksidasyon direnci 850 °C'ye kadar etkili olur,
- Oksitleyici ve korozif ortamlarda çalışan parçaların yorulma dayanımlarını artırır ve servis ömrünü uzatır.

Borlamanın dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Borür tabakası darbeli yüklere karşı dayanıksızdır,
- Borlama işleminin, gaz sementasyon ve plazma nitrürasyon işlemlerine göre, işletme giderleri daha fazladır ve uygulanması daha zordur,
- Karbürleşmiş veya nitrürlenmiş çeliklere göre, borlanmış alaşımlı çeliklerde temas yorulma dayanımı (pullanma dayanımı) düşüktür,
- İşlem sonucunda malzemenin boyutlarında, borlama tabakasında %5-25'i kadar hacim genişlemesi olduğu için değişimler olur (Çalık, 2005)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada DIN 1.2379 Soğuk iş takım çeliği 900 ve 1000 °C sıcaklıklarda 3, 5, 7 saat sürelerde Ekabor-II tozu ile borlanmıştır. Borlanan numunelerin, mikroyapısını incelemek amacıyla klasik metalografik muayeneye (optik, SEM, XRD) tabi tutulmuştur. Borür tabakasının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numuneler mikrosertlik ve lineer aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Çalışmanın amacı, DIN 1.2379 soğuk iş takımı üzerinde endüstriyel alanda borlama ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğundan bu alanda görülen eksikliğin giderilmesidir. Bu bağlamda boru profil üretim makineleri nihai şekil vermek için olmazsa olmaz olan kalibre makaraları farklı sıcaklık ve süreler ile borlanmış, mevcut kullanımdaki kriyojenik işlemler ve işlemsiz makaralar ile aşınma dirençleri bakımından kıyaslanmıştır.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği numuneleri 30x60x10mm ebadında telerezyon hassas kesme yöntemi ile hazırlanmıştır. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği kimyasal bileşimi çizelge 3.1.'de görülmektedir.

Çizelge 3. 1. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği kimyasal bileşimi

Cr	C	Mo	V	Mn	Si	Fe
11,8	1,55	0,8	0,8	0,4	0,3	Kalan

Çizelge 3. 2. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği fiziksel ve mekanik özellikleri

DIN 1.2379 çeliğin fiziksel özellikleri	
Özkütle	7,7 gr/cm ³
Isıl iletkenlik	20 W/m0C
Özgül ısı	460 J/kg0C
Elastiklik modülü	210 GPa
DIN 1.2379 çeliğin mekanik özellikleri	
Akma dayanımı	820 N/mm ²
Çekme dayanımı	940 N/mm ²
Sertlik	227-230 HV

Numunelerin yüzeyleri kaplama işleminden önce oksit, yağ, kir vb. istenmeyen tabakaları ortadan kaldırmak için 600'lük zımpara ile temizlenmiştir. Numunelerin yüzey sertleştirme işlemi için ticari Ekabor II tozu kullanılmıştır. Süre parametrelerine göre üç adet numune ve pota hazırlanmıştır. Oluşturulan toz harmanı içerisinde numunelerin tamamı kaplama tozunun içerisine gömülerek bor'un oksijene karşı affinitesi göz önünde bulundurulduğundan potanın yüzeyi %100 SiC ile kapatılmıştır. Toz harmanı içerisindeki 3 ayrı potaya konulan numuneler işlem sıcaklıklarında hazır bekletilen fırının içerisine alınıp, ilk pota 3.saatte diğer pota 5.saatte ve son potada 7.saatte fırından çıkartılmıştır. Kaplama işleminin ardından numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Potadan çıkarılan numunelerin yüzeyindeki aktivatör tozundan meydana gelen yapışmalar fırçalama tekniği ile giderilmiştir.

Borlanan 30x60x10 mm ebadındaki numunenin metalografik inceleme için dikdörtgen kesit yüzeyleri görünecek şekilde bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeyleri parlatma cihazı ile sırasıyla 180-240-320-400-600-800-1000-1200-1500'lük zımparalama işleminden sonra önce alümina pasta sonra 1 µm elmas pasta ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler %5 Nital ile dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra numunelerin optik görüntüleri incelenmiş ve mikrosertlik cihazı ile sertlik değerleri tespit edilmiştir.

3.3. Borlamada Kullanılan Ekipmanlar

Borlama uygulamaları, paslanmaz çelikten imal edilen potalar (Şekil 3.1) ve protherm yüksek sıcaklık fırını (Şekil 3.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 1. Paslanmaz çelik pota (Gunen, 2012)



Şekil 3. 2. Yüksek sıcaklık fırını

3.4. Borlama İşlemi

Tüm yüzeyleri zımparalanan ve alkolle temizlenen numuneler paslanmaz çelik pota içerisine kaplama toz karışımıyla birlikte yerleştirilmiş ve potanın ağzı sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra hazırlanan potalar 900 ve 1000 °C’lerde 3,5 ve 7 saat süre parametreleri kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için fırın işlem sıcaklığına sırası ile 900 ve 1000 °C sıcaklığa kadar kademeli olarak ısıtılmıştır. İşlem sonrasında fırından çıkarılan potaların ağzı açılarak açık havada soğumaya bırakılmıştır.

3.5. Numune Hazırlama

Numuneler, mikro yapı analizleri, aşınma ve X-ışını analizleri için 10x10x5 mm ebatlarında metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3. 3. Numune kesme cihazı



Şekil 3. 4. ATA saphire 530 marka numune parlatma cihazı



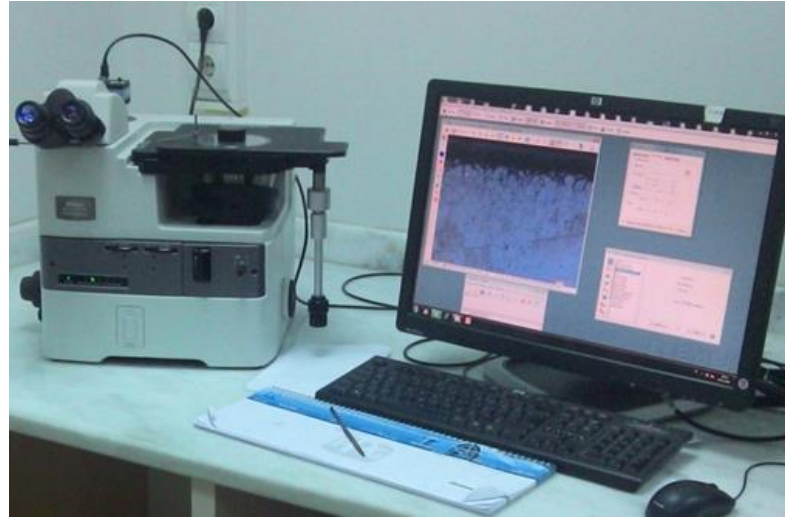
Şekil 3. 5. Numune bakalite alma cihazı

3.6. Metalografik Muayene

Borlama işlemi ile kesilen numuneler bakalite alınarak (Şekil 3.6.) ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek ana malzemeye ulaşıncaya kadar zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak parlatılmış ve parlatma işleminden sonra numuneler %5 Nital ile dağlanmıştır. Böylece kaplama tabası kesiti ve kaplama tabakası ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskobu ve SEM için hazır hale getirilmiştir. Optik mikroskobu için Nikon MA 200 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.7.). SEM analizleri için ise JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 3. 8.).



Şekil 3. 6. Bakalite alınan numuneler



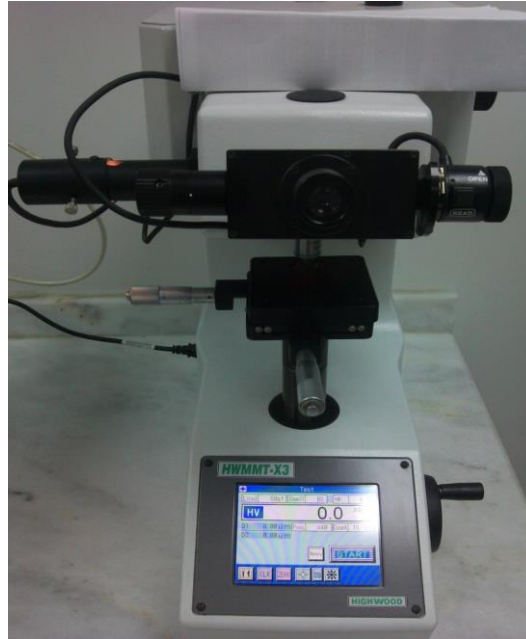
Şekil 3. 7. Nikon MA 200 ters metal mikroskobu



Şekil 3. 8. JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı

3.8. Mikrosertlik Analizi

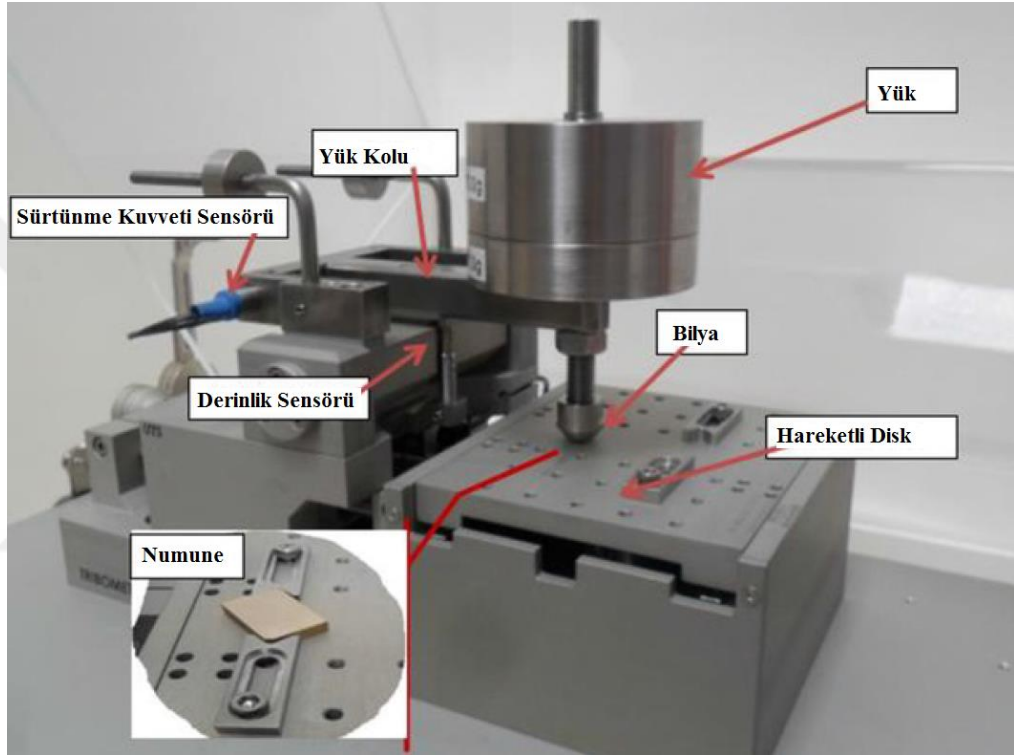
Bir malzemenin sertliği, kendisinden daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği dirençle tanımlanır ve malzemenin deformasyon davranışının bir ölçümüdür. Bu çalışmada, aynı zamanda optik mikroskop için hazırlanan numuneler üzerinden yani kaplama tabası kesitinden, ara bölge ve ara bölgeye yakın ana malzemeden mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, HIGHWOODHMMT-X3 marka mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9.). Mikrosertlik ölçümlerinde 50 gr ve 100 gr yük ile 10 saniye süre parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3. 9. Mikrosertlik ölçüm cihazı

3.9. Aşınma Testi

Boru ve profil üretim tesislerindeki hatlar düşünüldüğünde lineer aşınma meydana geldiğinden pin on disk yerine lineer aşınma uygulanmıştır. Başlarda sadece sert film tabakaların adhezyon testlerinde kullanılan bu yöntem günümüzde sert-ince film kaplamaların aşınma performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gunen, 2014; Espinoza, 2016).



Şekil 3. 10. Tribometre sabit top mikro-abrasyon test yöntemi

Kayma sürtünmesi ve aşınma deneyleri oda sıcaklığında ve nemsiz ortamda 6 mm çapındaki bir Al_2O_3 top-disk tribometrenin ileri-geri hareketiyle gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri öncesinde, borlanmış ve borlanmamış numuneler, 1500 kum boyutunda zımpara kağıdı ile hafifçe yüzeyleri parlatılmıştır. Daha sonra aşındırıcı topraklar ve numunelerin yüzeyi aseton içinde ultrasonik olarak 10 dakika boyunca temizlenip atmosfer koşullarında kurutulmuştur. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği, literatürdeki çalışmaların aksine yüksek yüke maruz kaldığı için, ağır yükler (10N,20N,30N) ve 50, 100, 250 m uzaklıklar kullanılmıştır. Bununla birlikte kısa mesafedeki aşınma testlerinde (50 ve 100 m), aşınma izleri açıkça görünmemektedir.

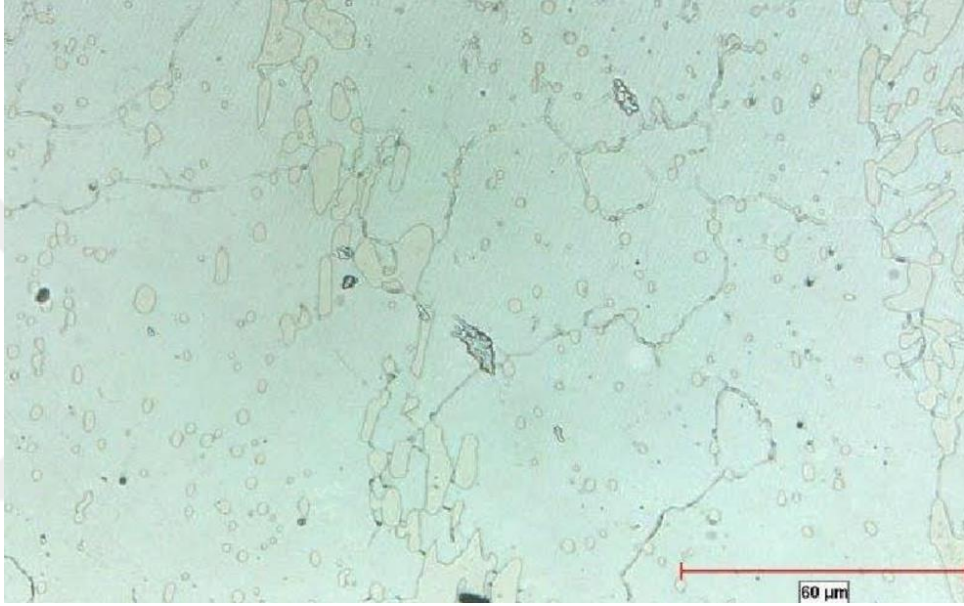
Bu yüzden bu mesafeler değerlendirilememektedir. Her numune için üç aşınma testi yürütülmüştür. Sürtünme katsayıları sürekli olarak Şekil 3.10' da görüldüğü gibi cihaza eklenmiş bir tribometreyle kaydedilmiştir. Aşınma deneylerinden sonra, her numunenin aşınmış yüzeyleri Evo LEQ SEM-EDS ile analiz edilmiştir. Aşınma işaretleri , aşınma deneylerin bir sonucu olarak numunenin yüzeyi üzerinde oluşturulmuş aşınma işaretlerinin genişlikleri ve derinlikleri alınan üç ölçümün ortalaması olarak tespit edilir. Bu veriler ile de aşınma hacmi kayıpları hesaplanmıştır.



4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu

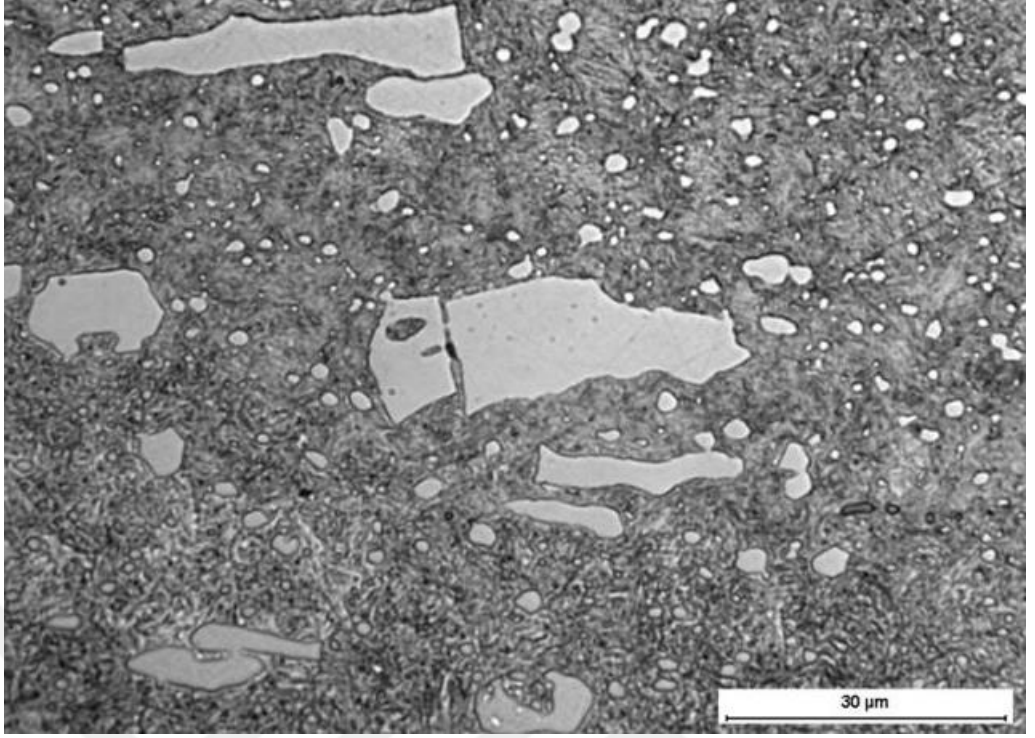
DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.,



Şekil 4. 1. DIN 1.2379 Soğuk iş takım çeliği mikro yapı görüntüsü

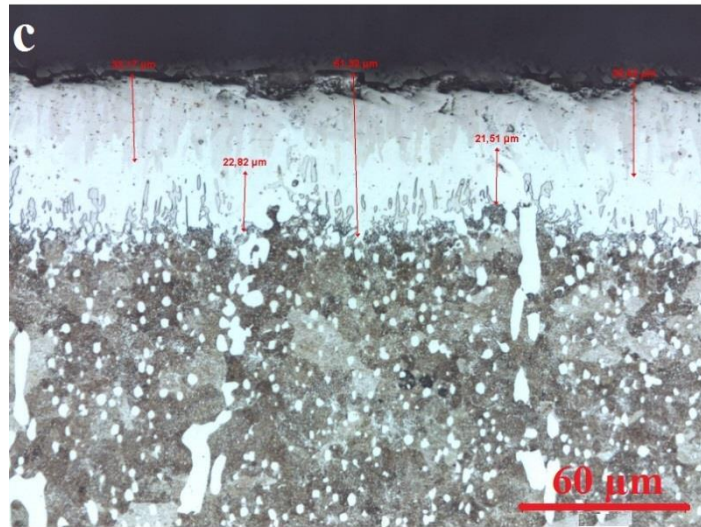
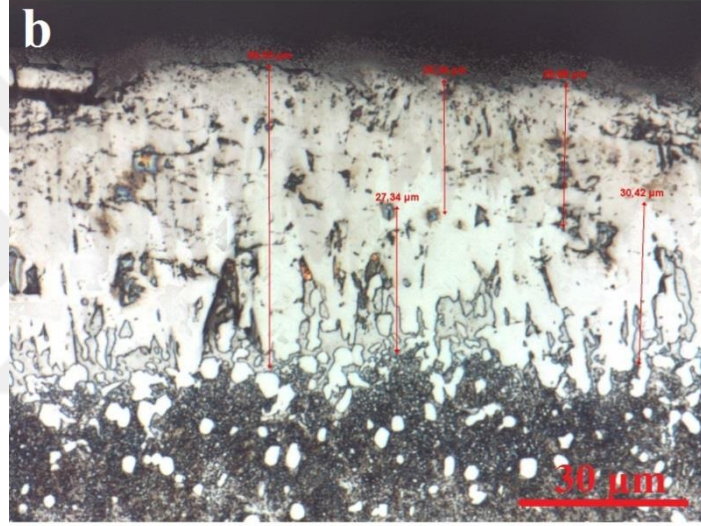
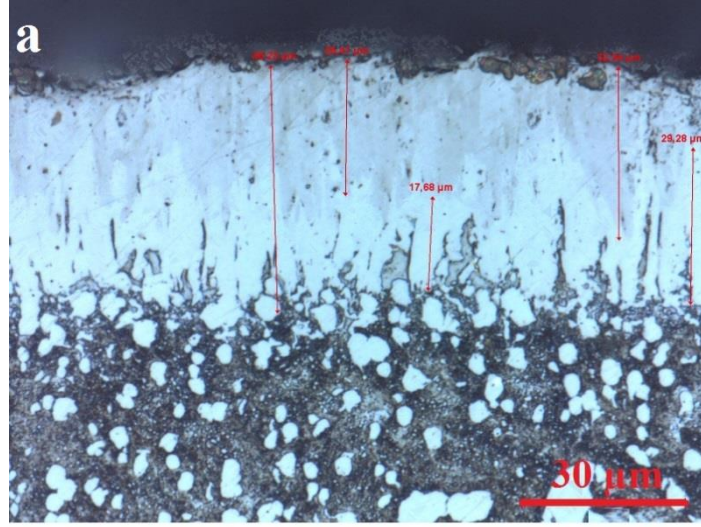
DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısına baktığımız zaman küçük büyük karbürler, iri karbür parçacıkları, beyaz karbürler ve büyük oranda görülen kalıntı östenit bulunmaktadır. Bu tip çelikler katı sıcaklık noktasına kadar östenit ve karbür ihtiva ettiklerinden, su verme işlemine rağmen karbürlerin tamamen çözünmesi hiç bir zaman gerçekleşmez (Akıncioğlu, 2012).

Şekil 4.2'de DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine 1 saat boyunca 1030°C'de östenitlenmiş yağda su verilmiş daha sonra ise -140°C'de 12 saat boyunca kriyojenik işlem uygulanmış ve son olarak 200°C'de 2 saat boyunca temperleme işlemi yapılmış malzemenin mikroyapısı gösterilmiştir.

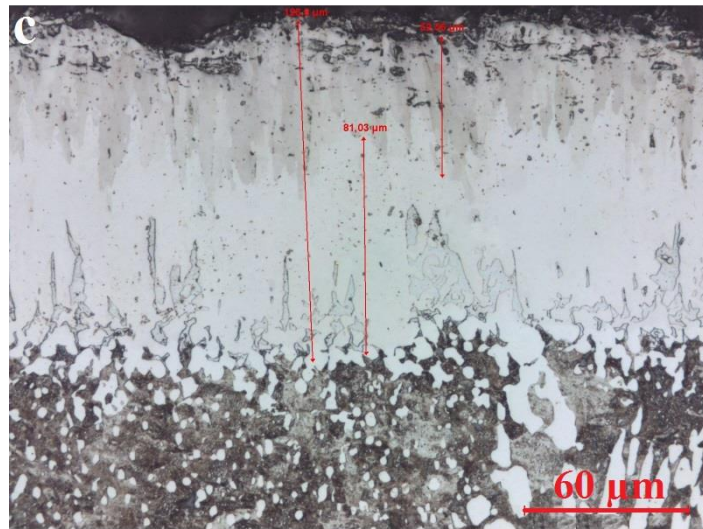
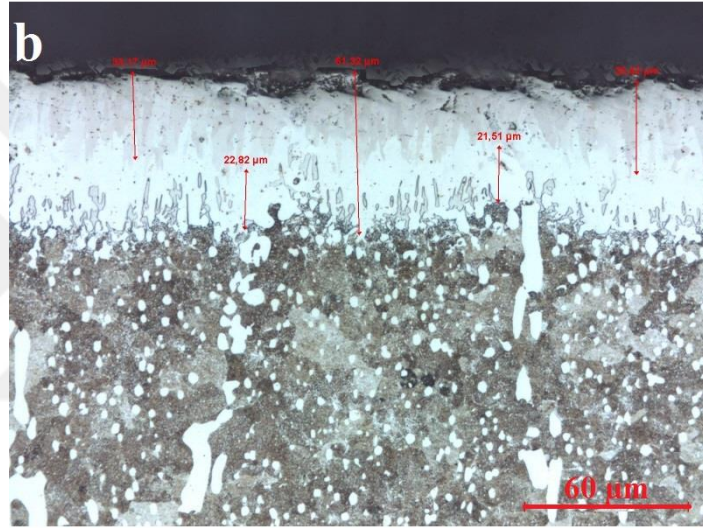
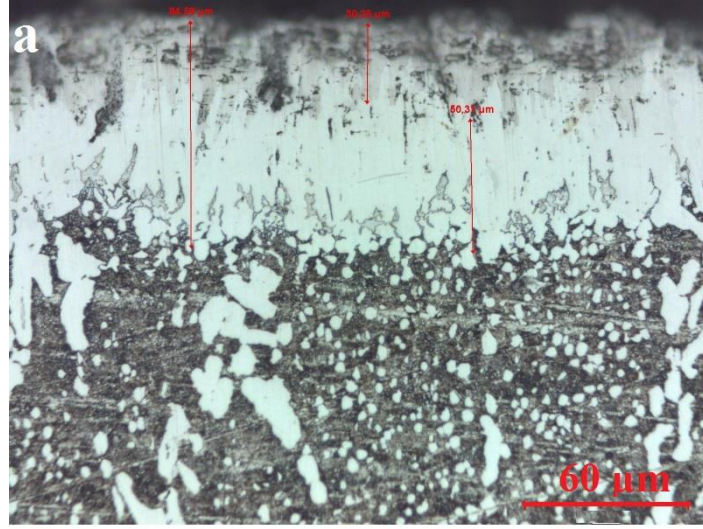


Şekil 4. 2. Su verilmiş, kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısı

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.' de Ekabor 2 tozu 900°C ve 1000°C' de 3, 5 ve 7 saat sürelerde borlanan DIN 1.2379 çeliğın mikroyapı görüntüleri görölmektedir.



Şekil 4. 3. 900 °C de Ekabor 2 tozu ile borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin optik görüntüsü
a) 3 saat, 1000X b) 5 saat, 1000X, c) 7 saat, 500X görüntüsü



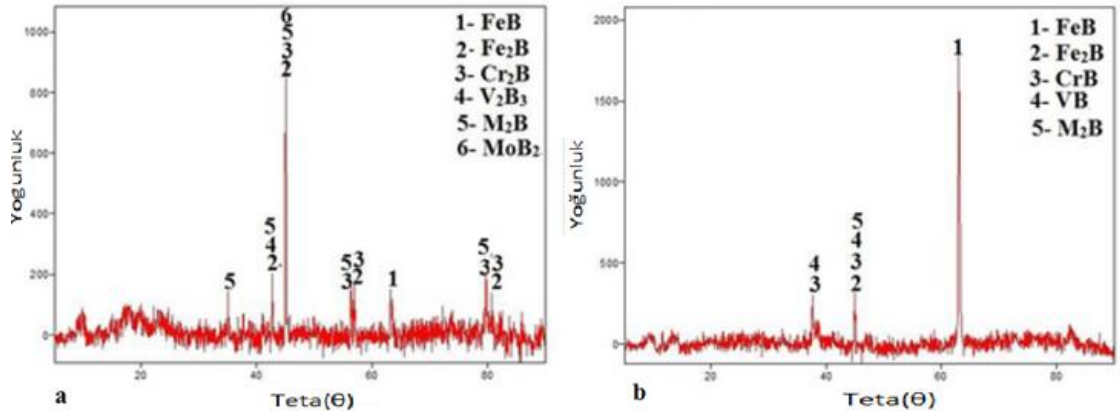
Şekil 4. 4. 1000 °C de Ekabor 2 tozu ile borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin optik görüntüsü a) 3 saat, 1000X b) 5 saat, 1000X, c) 7 saat, 500X görüntüsü

Borlanmış DIN 1.2379 çeliğine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm numunelerde dişli bir morfolojiye sahip, prozite, çatlak, süreksizlik vb. olumsuzlukları içermeyen borür tabakası elde edildiği görülmektedir. Ancak elde edilen dişli yapı sade karbonlu çeliklere nazaran daha az belirginlik göstermiştir. Bu durum kullanılan çeliğin alaşım içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Çünkü alaşım elementleri tane sınırlarında yer alarak borun daha derinlere difuz olmasını engeller (Gunen, 2014).

Çelikler üzerindeki borlama çalışmaları incelendiğinde borlanan malzemenin kimyasal içeriği ve borlama şartlarına bağlı olarak hem çift fazlı ($\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$) hem de tek fazlı (Fe_2B) tabakasının oluşabileceği bilinmektedir. Bu fazlara ilaveten borlanan çeliğin alaşım elementi miktarına ve türüne bağlı olarak bazı metal borürlerin (CrB , VB , MoB vb.) katı eriyik olarak da oluşabildiği tespit edilmiştir (Sinha, 1991; Sen, 2005; Garcia-Bustos, 2015, Gunen, 2017). Mikroyapı resimleri incelendiğinde ise borür tabakasının çift fazlı (FeB ve Fe_2B) bir tabakadan oluştuğu görülmektedir. CrB , VB fazları ise XRD analizleriyle tespit edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyindeki koyu bölgeler FeB , açık bölgeler ise Fe_2B bölgeler birbirinden açık bir şekilde ayrılmıştır (Campos-Silva et al., 2008; Gunes, 2013). Artan borlama süresi ile $\text{FeB}/\text{Fe}_2\text{B}$ oranın azaldığı görülmüştür. Bu durum borlama tozunun içeriğinin %5 B_4C , %90 SiC ve %5 KBF_4 'den oluşması dolayısıyla belirli bir süreden sonra borlayıcı madde içerisindeki bor oranının azalmasına bağlı olarak bor difüzyon hızının düşmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü FeB fazı borca (%16.23) Fe_2B 'ye (%8.93) daha zengin olduğundan FeB fazının oluşumu için ortamda yeterince bor miktarı olmalıdır.

4.2. XRD Analiz Sonuçları

Borür tabakasında oluşan fazları tespit edebilmek için XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi DIN 1.2379 çeliğini oluşturan fazlar, numunenin 900°C 'de 3 saat borlanmasıyla az miktarda oluşan baskın faz Fe_2B , FeB , Cr_2B , Mn_2B , MoB_2 ve V_2B_3 fazlarıdır (Şekil 4.5.a). Diğer yandan, 1000°C 'de 7 saat borlanan numunede baskın fazlar FeB ve Fe_2B , CrB , VB ve Mn_2B fazları da numunede minor fazlar olarak görülmektedir (Şekil 4.5.b).



Şekil 4. 5. a)900 °C'de 3 saat borlanan numune XRD analizi, b)1000°C'de 7 saat

XRD, borlanmış DIN 1.2379 çeliği üzerinde araştırma yaptığında, tek faz (Fe_2B) ve üç faz formasyonu ($\text{FeB}+\text{Fe}_2\text{B}+\text{CrB}$) borlama durumlarına bağlı olarak değişen şekilde raporlamıştır. Ek olarak, Mo-B ve V-B fazları, litartürde borlama üzerine TRD yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Sen, 2005). Bu çalışmada, Mn_2B fazı, literatürdekinden farklı olarak tespit edilmiştir. CrB ve VB içerikli fazlardan dolayı yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

4.3. Tabaka Kalınlıkları ve Mikrosertlik Sonuçları

Çizelge 4.1.'de borlama işlemi sonrası işleme parametrelerine bağlı olarak yüzeyde oluşan borür tabakası kalınlıkları, çizelge 4.2'de ise kaplama tabakasının farklı bölgelerinden alınan mikrosertlik değerleri verilmiştir. Tabaka kalınlıkları değeri ve mikro sertlik değerleri her bir numune üzerinden alınan 10 ölçümün ortalama sonuçları olarak verilmiştir.

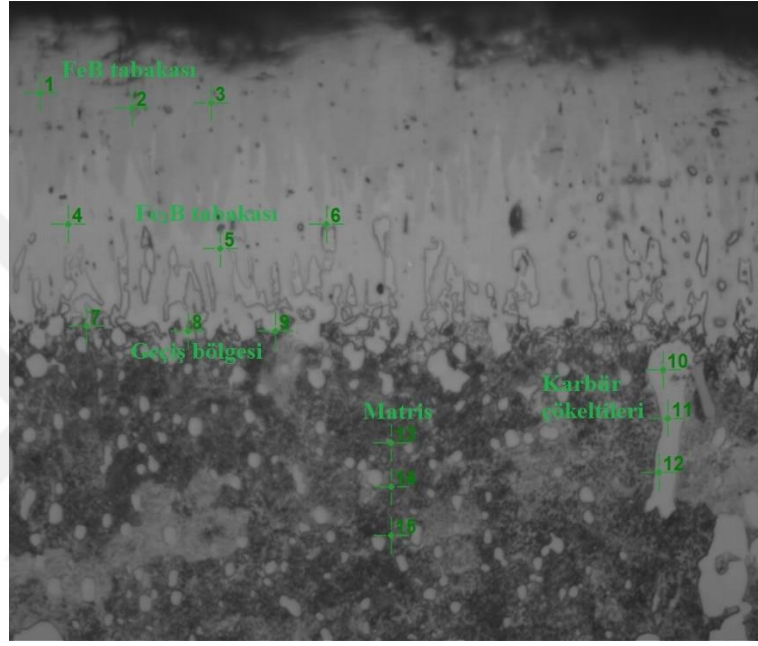
Çizelge 4. 1. Borlama işlemi sonrası işleme parametrelerine bağlı olarak yüzeyde oluşan FeB ve Fe₂B borür tabakası kalınlıkları

Sıcaklık (°C)	Borlama Süresi	FeB Tabakası Kalınlığı (µm)	Fe ₂ B Tabakası Kalınlığı (µm)	FeB/Fe ₂ B oranı	Toplam Borür Tabakası Kalınlığı (µm)
900	3	25,41	20,82	1,22	46,23
	5	26,86	29,67	0,90	56,53
	7	33,17	28,15	1,17	61,32
1000	3	30,25	54,33	0,56	84,58
	5	36,6	62,27	0,59	98,87
	7	52,56	74,24	0,70	126,8

Çizelge 4.1. incelendiğinde borlama sıcaklığı ve süresinin artışı ile beraber hem FeB hem de Fe₂B borür tabakalarının kalınlıkları artmıştır. Literatürde borlama süresi ve sıcaklığının artışı ile borür tabakası kalınlığının artması borlama işleminin difüzyon kontrollü bir ısıl işlem olmasına bağlanmıştır (Şen, vd, 2001; Tabur vd., 2009; Olivera vd, 2010; Günen vd, 2015). 1000 °C'de elde edilen kaplama kalınlıklarının çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum DIN 1.2379 çeliğinin tamamen östenitleştirme sıcaklığının 1010 °C olmasından ileri gelmektedir. Çünkü bor'un ferrit ve östenit fazı içerisindeki çözünürlüğü ile ilgilidir. Demirde bor katı eriyik olarak ikame edilmesi ferrit fazında 20-80 ppm iken Östenit fazın da ise 55-260 ppm aralığındadır. Bor östenitte arayer katı eriyiği oluştururken ferrit fazında ise yeralan katı eriyiği oluşturur.

900 °C’de gerçekleştirilen numunelerde FeB/ Fe₂B oranı 1 civarında iken 1000 C’de 0,6 civarındadır.

Oliveira vd. (2010), DIN 1.2379 çeliğini 800 ve 1000°C’de 4 saat süreyle boraks, ferro titanyum ve alüminyumdan oluşan 3 farklı boraks banyosunda borlamışlardır ve borlama işlemi sonucunda borlama sıcaklığı artmasıyla birlikte borür tabaka kalınlıklarında artışların olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 4. 6. Numuneler üzerinden sertlik değerlerinin alındığı bölgelerin gösterimi

Çizelge 4. 2. Borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin farklı bölgelerinden alınan mikrosertlik değerleri

İsimlendirme	Uygulanan Kuvvet	FeB	Fe ₂ B	Geçiş Bölgesi	Karbür Çökelti	Matris
Numune 1	HV _{0,05}	2046	1807	1007	1216	933
	HV _{0,1}	2005	1428	859	1025	991
Numune 2	HV _{0,05}	2103	1075	900	767	737
	HV _{0,1y}	2015	1616	909	868	700
Numune 3	HV _{0,05}	2303	1970	1035	788	842
	HV _{0,1}	2018	1473	1149	1185	772
Numune 4	HV _{0,05}	2163	2084	1062	1111	822
	HV _{0,1}	2127	1841	1048	978	754
Numune 5	HV _{0,05}	2332	1874	1238	839	697
	HV _{0,1}	2154	1708	1036	891	791
Numune 6	HV _{0,05}	2336	2099	996	1086	759
	HV _{0,1}	2227	2030	928	954	784

Şekil 4.6.'de Ekabor II tozuyla kutu borlama tekniği ile borlanmış DIN 1.2379 çeliğinin kaplama yüzeyinden içeriye doğru FeB, Fe₂B, geçiş bölgesi, karbür çökelti bölgeleri ve matris kısımlarının sertlik değerleri incelendiğinde borlama işlemi sonucunda oluşan FeB, Fe₂B ve Cr₂B fazlarından dolayı yüzey sertliklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Cr₂B fazları FeB ve Fe₂B fazlarına göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu bilinmektedir (Taktak, 2007; Ulker vd., 2011; Gunen vd., 2017). Çizelge 4.2 incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin FeB tabakasında olduğu ardından Fe₂B tabakasının geldiği geçiş bölgesi ve karbür çökeltilerinin meydana

geldiği alanların ise sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum literatürle de uyumludur (Taktak et al., 2007; Gunes ve Yıldız, 2016).

Çizelge 4.1 incelendiğinde artan sıcaklık ve borlama süresi sonucunda hem tabaka kalınlıkları hemde mikro sertlik değerlerinin artığı görölmektedir. Tabaka kalınlıklarının artışında borlama sıcaklığından ziyade borlama süresinin daha fazla etken olduğu görölmektedir. Borlama ısıl işlemi sementasyon, karbürizasyon gibi difüzyon kontrollü işlemlerden olduğu için I. ve II. Fick kanunlarına göre işlem sıcaklığı ve sürenin artmasıyla tabaka kalınlıklarının artışı beklenen bir sonuçtur (şen 1998). Elde edilen tabaka kalınlığı sonuçları borlama sıcaklık ve sürenin artmasıyla borür kaplama tabakalarının arttığı sonucunu göstermiştir (Özdemir vd., 2006; Tabur vd., 2009; Oliveria vd., 2010.)

Borlama öncesi DIN 1.2379 çeliği 400 (HV) sertliğinde iken borlama işlemi sonucunda 2005 ile 2227 arasında (FeB fazında bu sıcaklığa erişilmiştir) bir sertlik değerine sahip olmuştur. Düşük sıcaklık ve kısa sürelerde elde edilen sertlik değerleri daha az iken sıcaklık ve süre arttıka sertlik artmıştır. Bu durum sıcaklık ve sürenin artışı ile daha çok oluşan FeB fazının yapıda çoğaldığını gösterir. Borlama şartlarına bağlı olarak yapıda oluşan CrB, VB gibi fazların tabakanın sertliğine katkıda bulunduğu belirtilmiştir (Sinha 1991, Garcia-Bustos vd. 2013, Motallebzadeh vd. 2015). Tüm numunelerde en yüksek sertlik değeri borür tabakasında elde edilmiş ve sertlik değerleri yüzeydeki borür tabakasından matrise doğru kademeli bir şekilde azalmıştır.

4.4. Yüzey Pürüzlülüğü ve Aşınma Deneyi Sonuçları

Yüzey pürüzlülüğü sürtünme katsayısını üzerinde etkin bir parametre olduğundan aşınma işlemleri öncesi aşınma deneyine tabi tutulacak tüm numunelerin hem Ra hem de Rz değerleri belirlenmiştir. Aşınma deneyleri profil kalibre makaralarının çalışma koşulları gözönünde bulundurularak yük olarak 10, 20 ve 30 N kayma mesafesi 250 m, kayma hızı 10 mm/sn ve karşıt hareket genliği olarak 5 mm seçilmiştir. Aşındırıcı bilya olarak 6 mm çapında Al₂O₃ bilya kullanılmıştır.

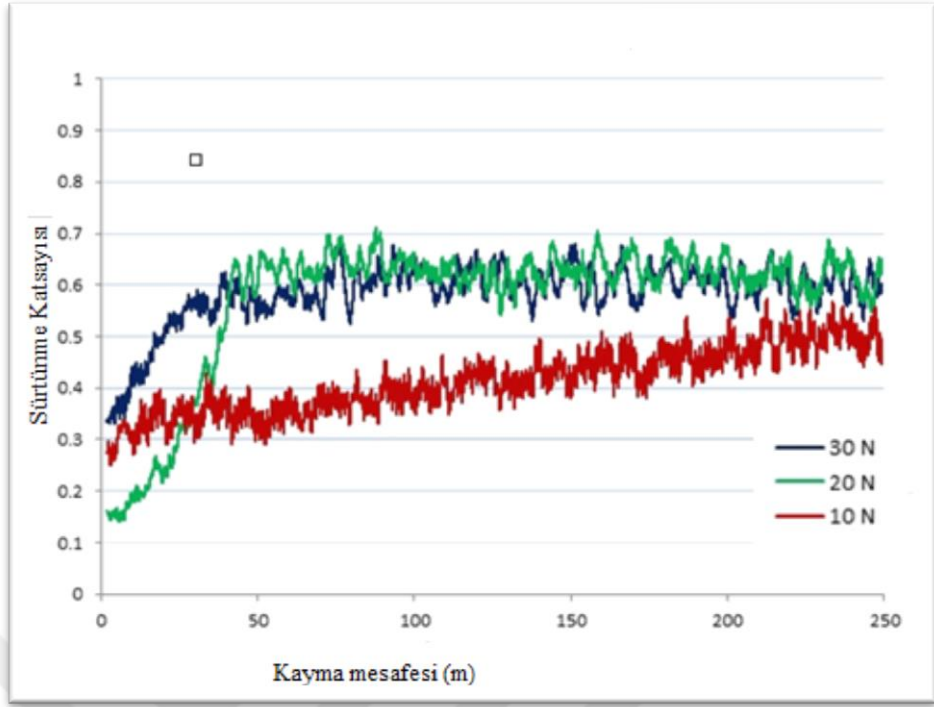
Yüzey pürüzlülüğü ortalama değerleri Çizelge 4.3.'de paylaşılmıştır. Borlama numunelerinin yüzey pürüzlülüğü, borlama sıcaklığının artmasıyla birlikte artmakta, fakat daha uzun sürede azalmaktadır. Ayrıca, bütün borlanmış numunelerin yüzey pürüzlülüğü, borlanmamış numunelerden daha düşüktür. Yüzey pürüzlülük sonuçlarına göre, borlama prosesinin yüzey pürüzlülüğünü azalttığı tespit edilmiştir (Gunes, 2016; Taktak, 2007). Bu durum, tel erezyonla kesilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü eşik değerinin üzerinde olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, borlanmış AISI 1020, AISI 1040 ve AISI 2714 çeliklerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çalışılmış ve maddenin yüzey pürüzlülüğü eşik pürüzlülük değerinden yüksek olursa, borlama işlemi yüzey pürüzlülüğünü azaltabileceğini iddia edilmiştir (Sahin, S., 2009).

Aşınma deneyleri sonucunda sistematik olarak elde edilen ortalama sürtünme katsayıları verileri Çizelge 4.3'de, her bir numunenin deney boyunca sürtünme katsayısı grafikleri ise Şekil 4.6 ile 4.13 arasında verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri

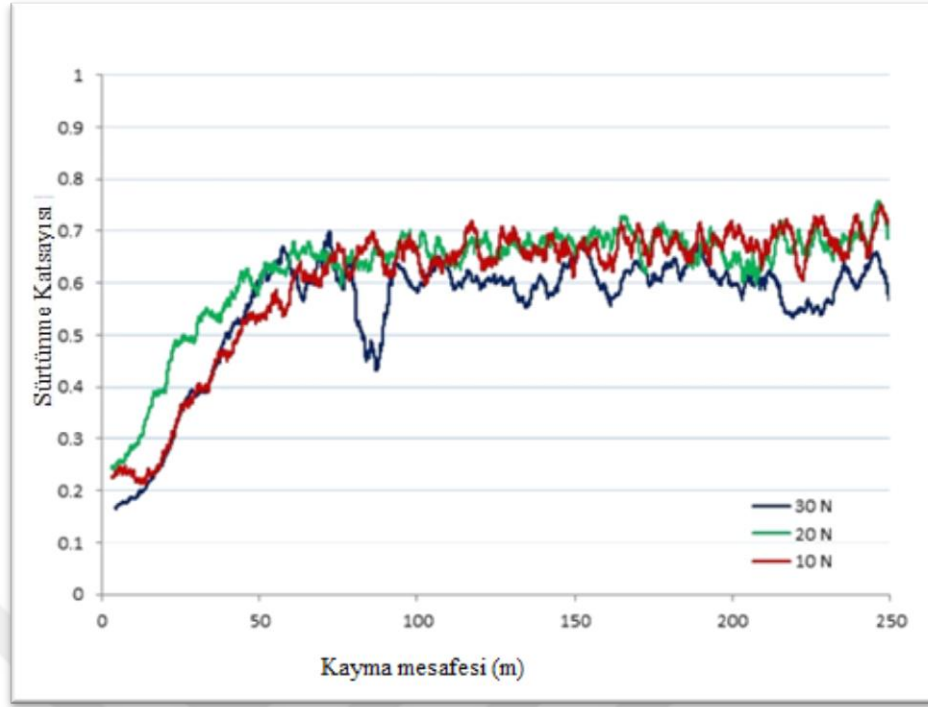
Numune isimleri	Yüzey pürüzlülüğü (μm)		Uygulanan Yük (N)			
		Ra	Rz	10	20	30
1		1.086	6.794	0.523	0.603	0.605
2		0.931	6.625	0.635	0.667	0.574
3		0.459	3.244	0.650	0.619	0.640
4		1.33	8.316	0.497	0.573	0.439
5		1.182	8.056	0.577	0.554	0.540
6		1.034	7.387	0.193	0.323	0.525
7		2.081	11.628	0.422	0.496	0.616
8				0.659	0.750	0.759

Aşınma deneyleri sonucunda hem borlanmış hem de kriyojenik işleme tabi tutulan tüm numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri uygulanan her üç yükte de ticari DIN 1.2379 çeliğine göre daha düşük olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama sürtünme katsayısı 0.193 ile 6 numaralı numunenin 10 N yük uygulanarak aşındırılmasıyla elde edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı (0.759) ise işlemsiz DIN 1.2379 çeliğinin 30 N ile aşındırılması sonucu oluşmuştur. Uygulanan yük artışı ile işlemsiz DIN 1.2379 çeliği ve kriyojenik işlem uygulanan çelik numunede sürtünme katsayısı artmıştır. Borlanmış numunelerde ise yük artışı ile sürtünme katsayısı arasında bir ilişki kurulamamıştır. 1 ve 6 numaralı numunede yük artışı ile ortalama sürtünme katsayısı artmış iken 5 nolu numunede azalma meydana gelmiş 2,3,ve 4 nolu numunelerde ise bir ilişki kurulamamıştır. Bu durum borlama işlemi sonucunda meydana gelen FeB ve Fe₂B fazlarına ilaveten başka fazların oluşması, numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve yüzeydeki kaplamaların adhezyon kuvvetlerinin tüm yüzeyde homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Selcuk vd., 2003; Carrea-Espinoza at all., 2016).



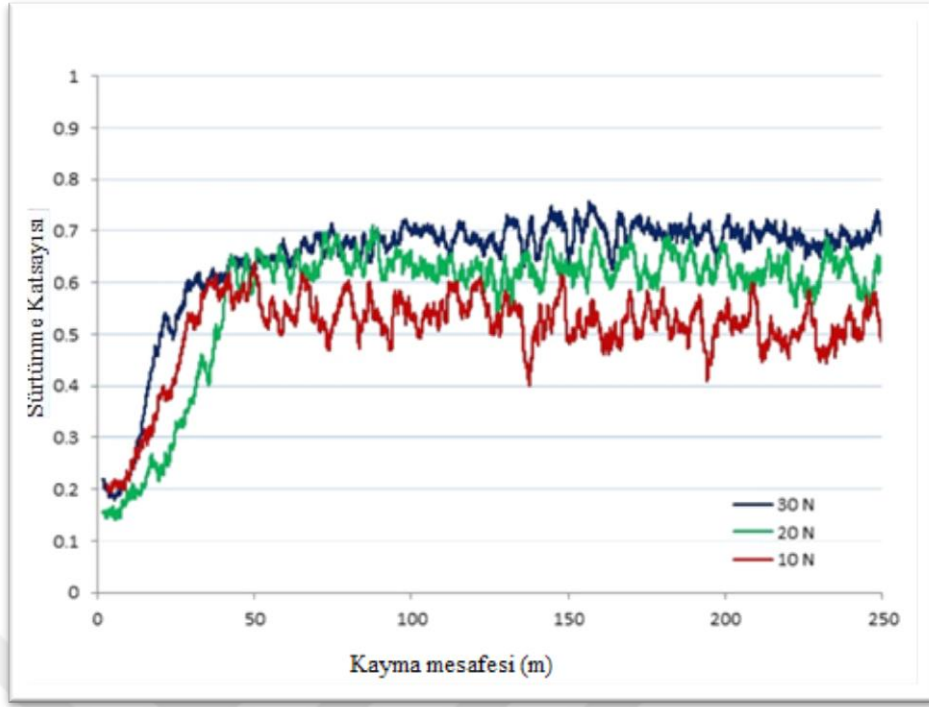
Şekil 4. 7. 900 °C’de 3 saat süre ile borlanan (Numune 1) numunenin 10, 20 ve 30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.7.’de Numune 1 in 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Numunenin 10 N altında sürtünme katsayısı 100 m’ye kadar çok az artmış 100 m den sonra ise devamlı artmıştır. 20 ve 30 N’da ise 50 m’ye kadar sürekli bir artış 50 m’den sonra ise yatay bir seyir izlemiştir. Bu durum kaplama tabakasının 50 m’den sonra yüzeyden koptuğu ve bilyanın matris üzerinde aşınma yaptığını göstermektedir.



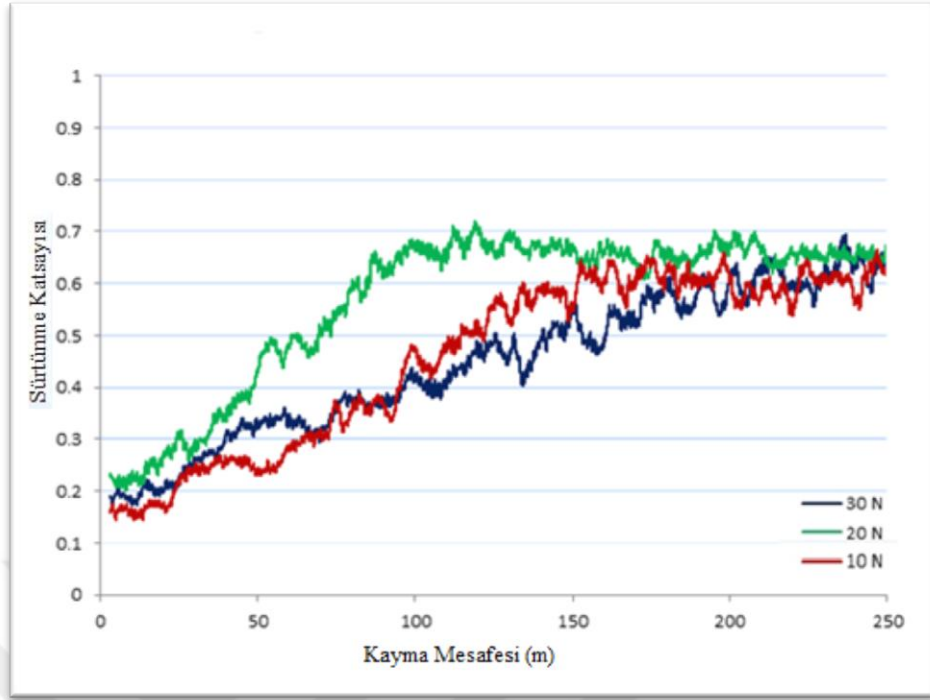
Şekil 4. 8. 900 °C’de 5 saat süre ile borlanan (Numune 2) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.8.’de Numune 2 nin 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Numunenin her üç yük altındaki kayma mesafesine göre sürtünme katsayısı grafikleri bir birleriyle yakınlık göstermektedir. Numune 1 den farkı ise sürtünme katsayısının 60 m’den sonra yatay bir seyir izlemesidir. Bu durum buradaki kaplama tabakasının Numune 1’e göre biraz daha kalın olmasından kaynaklanmıştır. 30 N yük uygulanan deneyde ise 100 m’ye doğru grafikte bir azalma dikkat çekmektedir. Bu durum yüzeyde aşındırma işlemi sonucu dispersiyon sertleşmesi ve oksitlenme olayının meydana gelmiş olabileceğini göstermektedir. Literatürde dispersiyon sertleşmesi sonucu ve yüzeydeki oksit tabakasına bağlı olarak sürtünme katsayısının düşüşüne neden olduğu belirtilmiştir (Ulutun vd. 2010, Günen 2012).



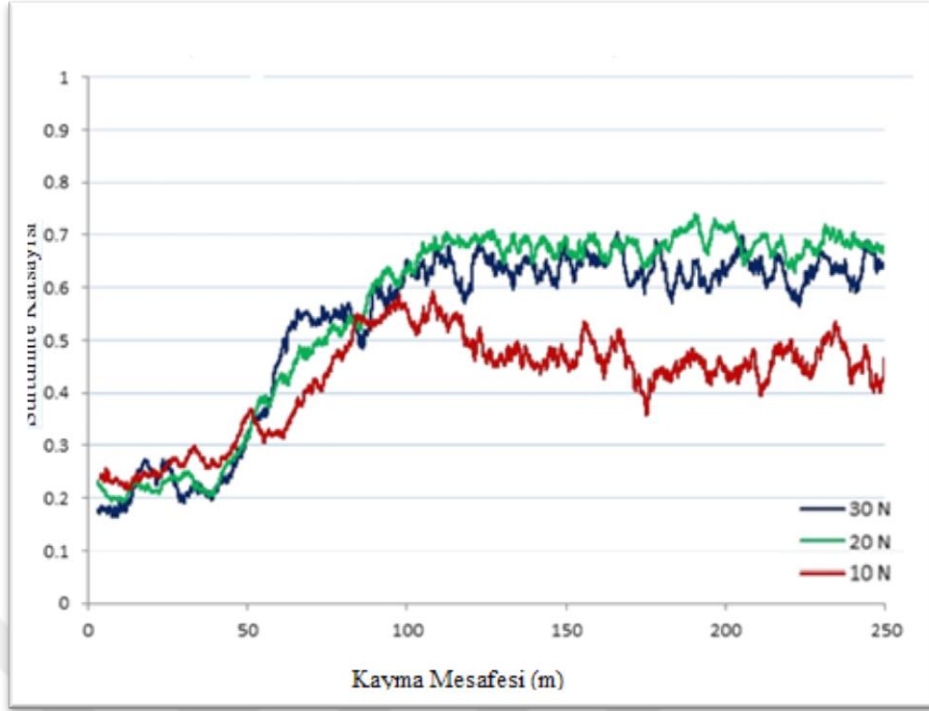
Şekil 4. 9. 900 °C’de 7 saat süre ile borlanan (Numune 3) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.9.’de Numune 3 ün 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Numunenin her üç yük altındaki kayma mesafesine göre sürtünme katsayısı grafikleri bir birleriyle yakınlık göstermektedir. Grafikten görüldüğü üzere kaplama tabakasının aşındırılmasından sonra uygulanan kuvvetlere paralel olarak sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür.



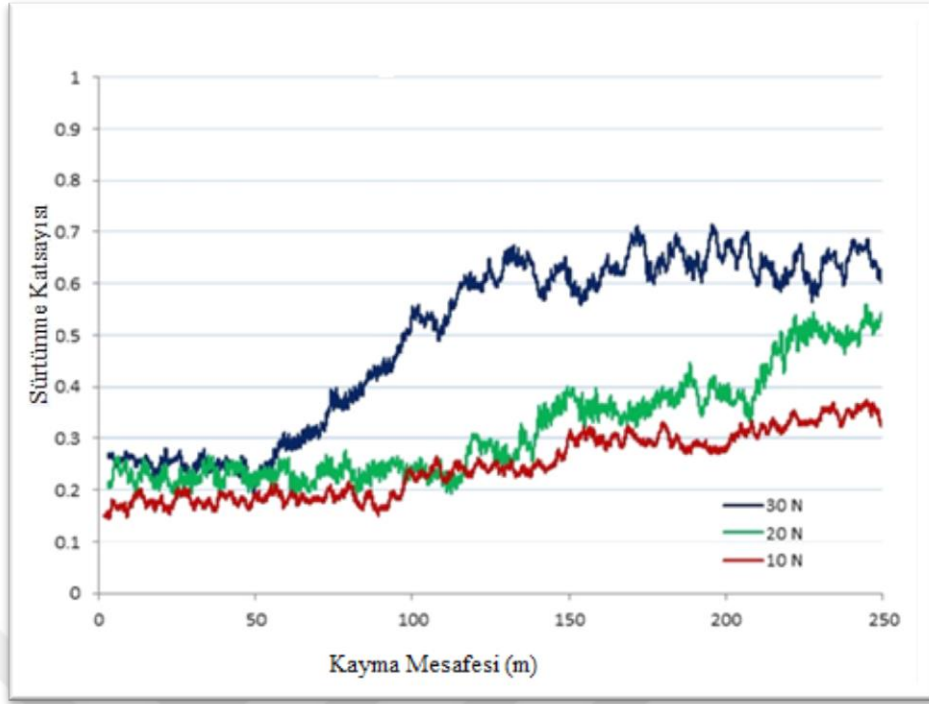
Şekil 4. 10.1000 °C’de 3 saat süre ile borlanan (Numune 4) numunenin 10, 20 ve 30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.10.’da Numune 4’ün 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde 1,2 ve 3 numaralı numunelere göre sürtünme katsayısının devamlı bir artış eğilimi göstermiştir. 150 m’den sonra ise numunenin kaplama tabakasının kopması ile bilya matrise ulaştığı ve sürtünme katsayısının devamlılık gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. İlk 50 m’lik mesafede sürtünme katsayısının 0,4’ün altında olduğu FeB tabakasının kırılması ile de bilya ile matris arasındaki aşındırıcı vazifesi gören FeB’in sürtünme katsayısı grafiklerini hızlı bir şekilde artırdığı düşünülmektedir.



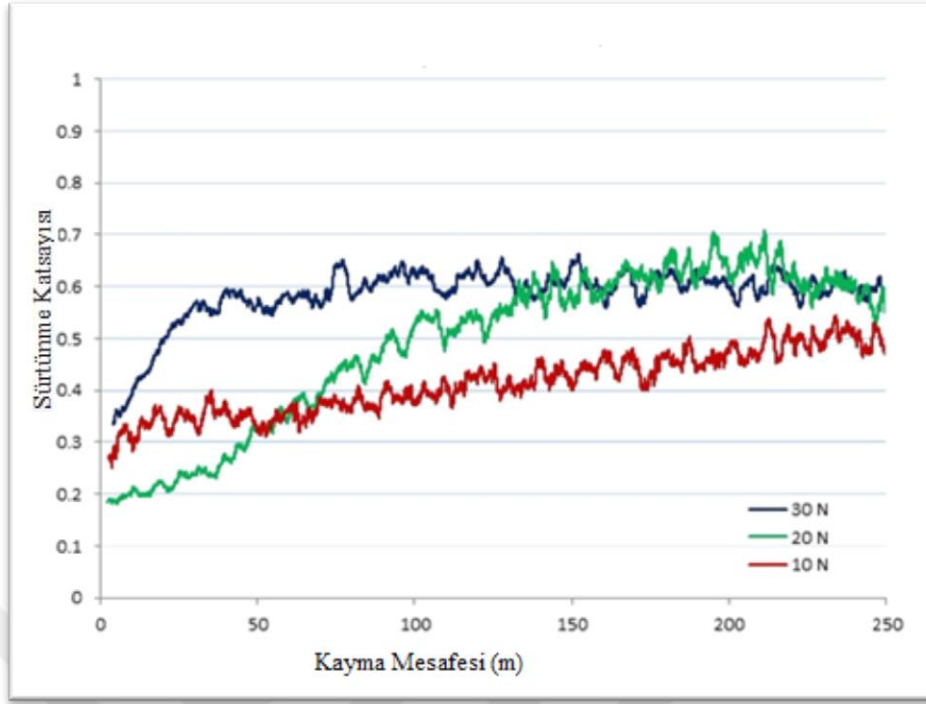
Şekil 4. 11. 1000 °C’de 5 saat süre ile borlanan (Numune 5) numunenin 10, 20 ve 30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.11.’da Numune 5’in 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. İlk 50 m’lik mesafede sürtünme katsayısının 0,3’ün altında olduğu FeB tabakasının kırılması ile de bilya ile matris arasındaki aşındırıcı vazifesi gören FeB’in sürtünme katsayısı grafiklerini 100 m’ye kadar hızlı bir şekilde artırdığı görülmektedir. 100 m’den sonra 20 ve 30 N uygulanan numunelerde sürtünme katsayısı 0.6-0.7 aralığında yatay bir seyir izlemiştir. Bu durum bu numunelerde matrise ulaşıldığını göstermektedir. 10 N yük uygulanan numunede ise 100 m’den sonra düşüş eğilimi göstermiştir. Bu durum kaplama tabakasının yüzeyde var olduğu ve bor’un oksijene affinitesinden dolayı yüzeyde oksit tabakası oluşturmuş olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Günen vd. 2014)



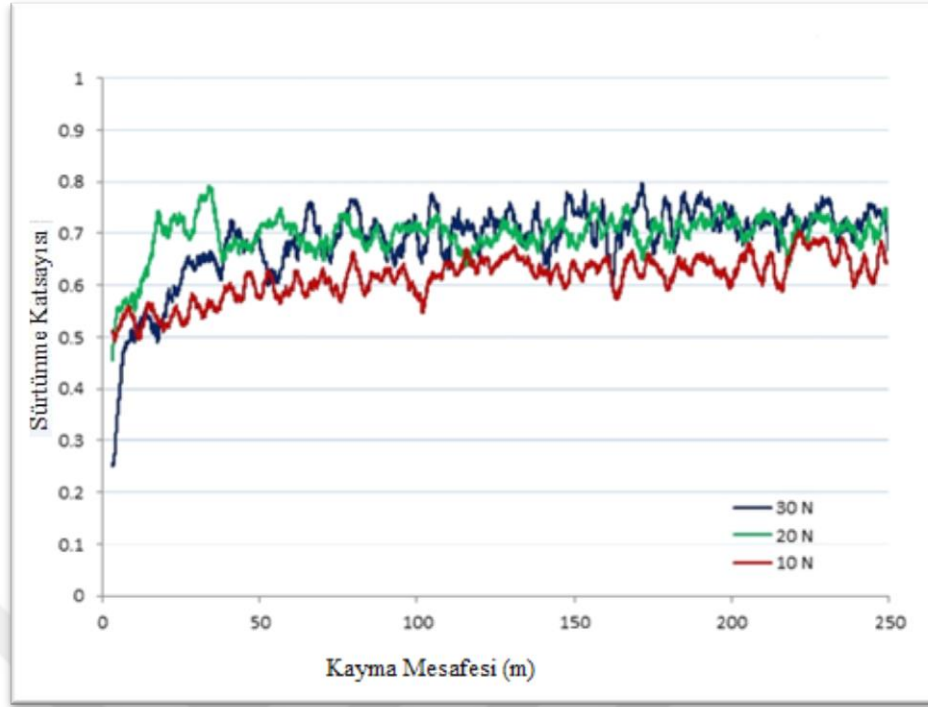
Şekil 4. 12. 1000 °C’de 7 saat süre ile borlanan (Numune 6) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.12’de Numune 6’nın 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. 10 N yük altındaki numunede 100 m’ye kadar sürtünme katsayısı 0,2 nin altında seyrederken 100 m’den sonra FeB tabakasının kırılması sonucunda sürtünme katsayısının grafiği artış eğilimi göstermiştir. Tüm deney numuneleri arasında elde edilen en düşük sürtünme katsayısı burada elde edilmiştir. 20 N’da ise 100 m’ye kadar 0.2-0.3 aralığında seyretmiş daha sonraki kısımda ise çok daha hızlı bir şekilde artmıştır. 30 N uygulanan numunede ise 50 m’ye kadar 0.2-0.3 aralığında 50-120 m aralığında ise hızlı bir artış sonucu kaplama tabakasının kalktığı ve matrise ulaştığı düşünülmektedir. Çünkü bu kısım diğer numunelerde olduğu gibi sürtünme katsayısı değeri 0,6-0,7 aralığında seyretmiştir. Bu durum kaplama tabakaları kalınlığının sürtünme katsayısı üzerine etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca profil kalibre makaralarına uygulanan yük’ün azaltılmasının sürtünme katsayısı değerlerini azaltacağı dolayısıyla da kalibre makaralarında ömür artışı meydana getirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 4. 13. Kriyojenik işleme tabi tutulan (Numune 7) numunenin 10, 20 ve 30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.13.'de Numune 7'de 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde borlanmış numunelere göre sürtünme katsayısı grafiklerinin 10 N ve 20 N devamlı bir artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. 30 N'da ise sürtünme katsayısının 10 N ve 20 N'a göre çok daha yüksek olduğu ve 30 m'lik mesafeden sonra matris kısmına ulaştığı görülmektedir. Bu durum kriyojenik işleme tabi tutulan numunelerin düşük yük uygulanan yerlerde kullanılmalılarının daha iyi aşınma dirençleri sağlayacağını göstermektedir.



Şekil 4. 14. İşlemsiz DIN 1.2379 çeliği (Numune 8) numunenin 10, 20 ve30 N yük altında ve 250 m kayma mesafesine göre sürtünme katsayısının değişimi

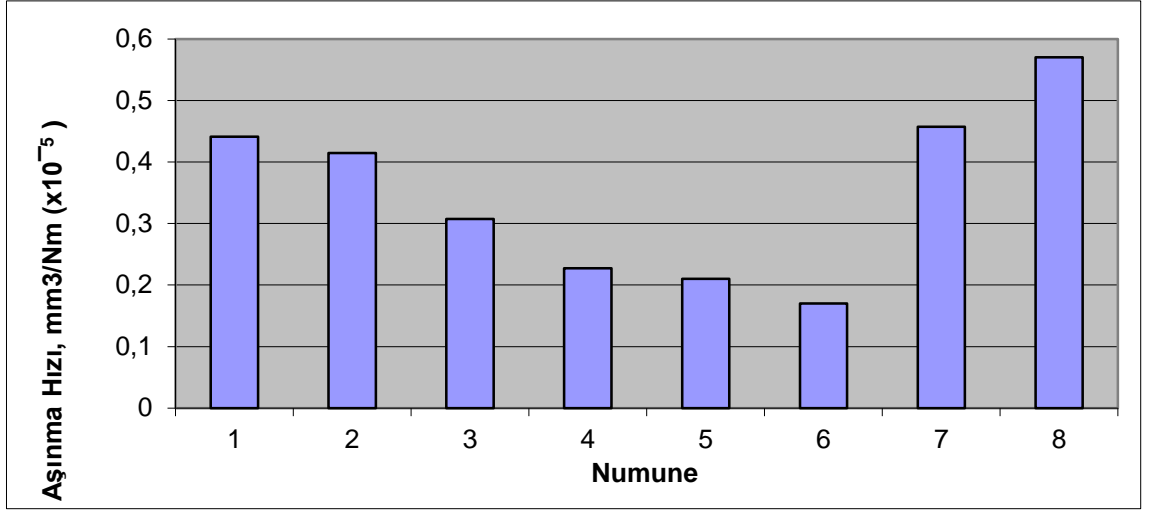
Şekil 4.14.'de Numune 8'de 3 farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde işlemsiz DIN 1.2379 çeliğinin artan yük ile beraber sürtünme katsayısı değerlerinin arttığı görülmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin başlangıçtan itibaren yüksek olduğu ve stabil bir seyir sergilediği görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı her üç yükte de işlemsiz numunede meydana gelmiştir.

Literatür incelendiğinde ise DIN 1.2379 çeliğine uygulanan farklı yüzey modifikasyon teknikleri arasında geniş bir aralıkta sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan bazıları: Dominguez ve ark. (2014), AISI D2 çeliğini 900 ve 1000 ° C'de 2, 4, 6 ve 8 saat süreyle borlanmıştır. Borlanmış numuneleri 20N'da 52100 bilya ile sürtünmeye maruz bırakmıştır. Borlanmış numunelerin sürtünme katsayılarının 0.245-0.263 aralığında olduğu, borlanmayan numunelerin sürtünme katsayılarının ise 0.292-0.363 aralığında olduğunu bulmuştur. Buna ek olarak, diskler üzerinde ölçülebilir oluklar bulunduğunu gözlemiştir. Durmaz ve ark. (2015), nitrür kaplamalı DIN 1.2379 çeliğine aşınma direnci için 0.12 m/ s süratle 2.5N, 5N ve 10N yükler altında Al₂O₃

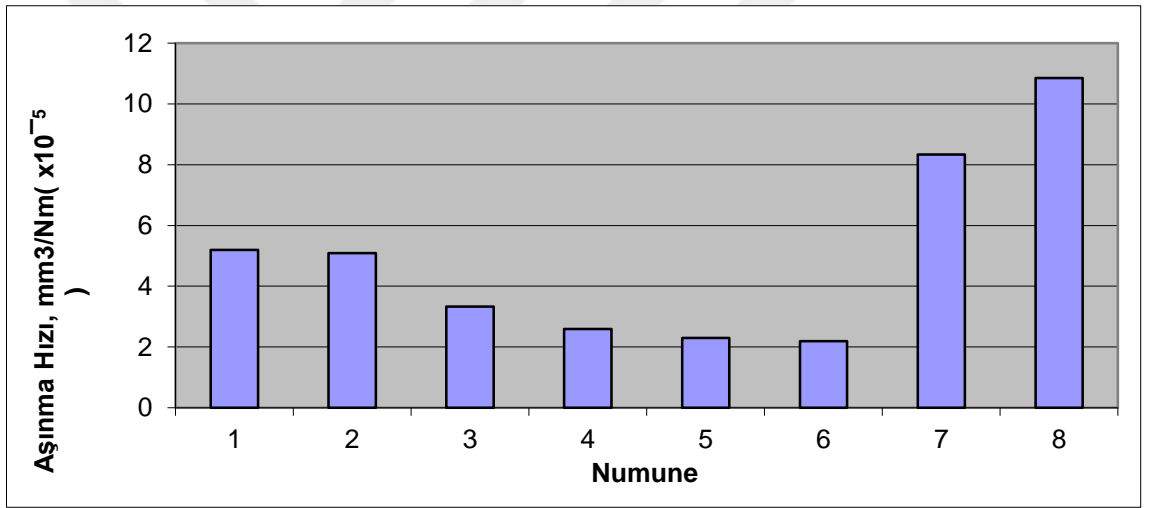
topuna uygulamıştır. Çalışmalarında CrN tabakasının sürtünme katsayısının 0,56 - 0,61 aralığında olduğunu ve işlemsiz ticari DIN 1.2379 çeliğinin ise 0,78-0,80 aralığında olduğunu tespit etmiştir.

Sürtünme katsayısı ile aşınma hızı arasında teorik olarak paralel bir ilişki olduğu varsayılmasına rağmen aşınma esnasındaki, ortam ve aşınma partikülleri gibi dış etkenler bu ilişkiyi değiştirebilir (Gürkan, 2007). Bundan dolayı sürtünme katsayısı en düşük numune aşınma direnci en yüksek numune demek her zaman doğru olmadığından numunelerin aşındırılan yüzeyleri 3 D profilometre ile incelenerek aşınma iz alanları, daha sonra bu alanlar, kayma genliği olan 5 mm ile çarpıldı ve aşınma iz hacmi (mm^3) hesaplandı. Aşınma iz hacmi, uygulanan deney yükü ve toplam kayma mesafesine bölünerek mm^3/Nm birimiyle aşınma hızı hesaplandı (Gunen, 2012).

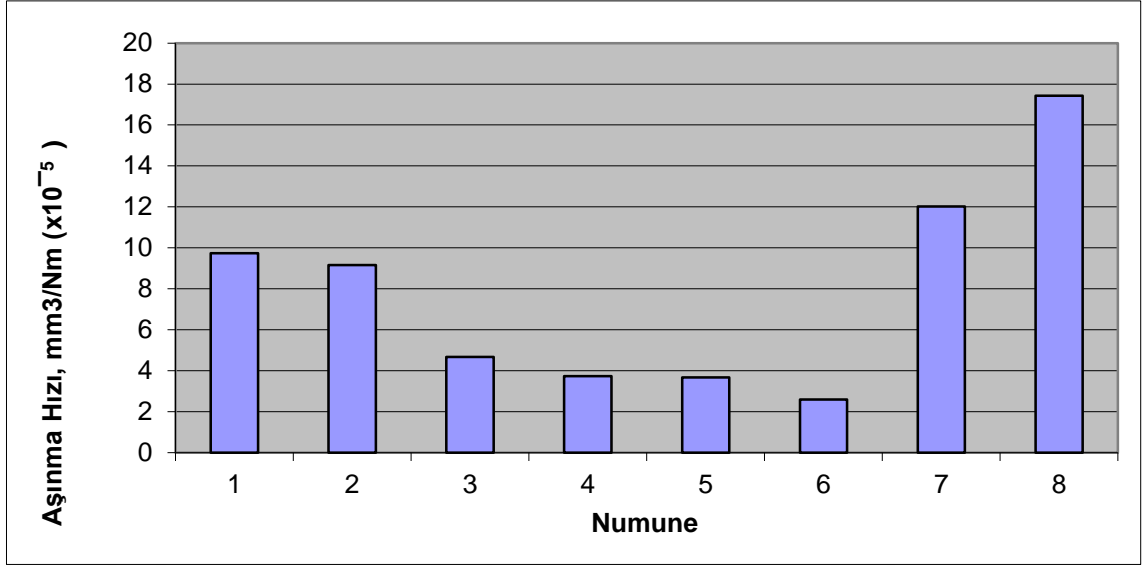
Şekil 4.15.- 4.17.'de sırasıyla 10, 20 ve 30 N' yük uygulanan numunelerin aşınma hızları verilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde uygulanan yük artışı ile tüm numunelerde aşınma hızının arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Aşınma dirençleri bakımından incelendiğinde sırasıyla borlanmış numuneler, kriyojenik ısıl işleme tabi tutulan numuneler ve işlemsiz DIN 1.2379 çeliği olarak sıralanmaktadır. Aşınma deneyleri sonucunda her üç uygulanan yükte 6 nolu numunenin en iyi aşınma direnci gösterdiği saptanmıştır. Bu durum numunenin diğer numunelere göre sahip olduğu yüksek sertlik ve daha kalın borür tabakasına atfedilebilir. Borlanmış numuneler incelendiğinde kaplama tabakası ve sertlik değerlerinin artışı aşınma dirençlerini istisnasız artırmıştır.



Şekil 4. 15. 10 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri

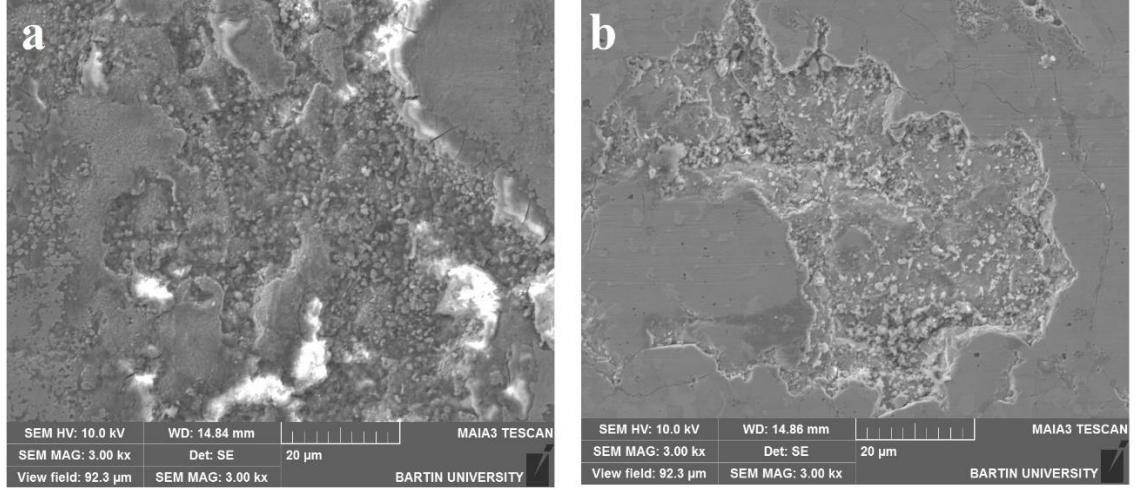


Şekil 4. 16. 20 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri



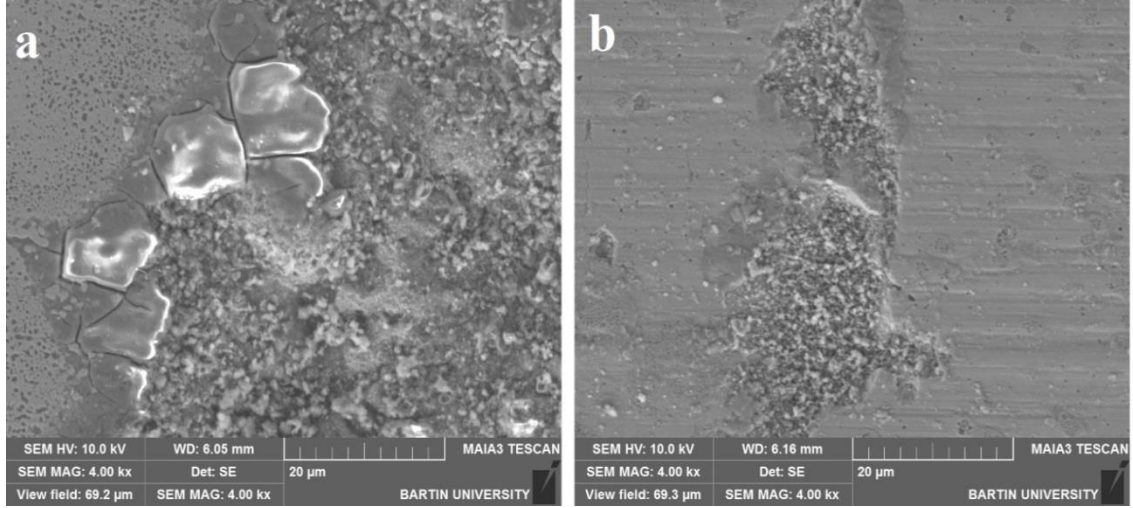
Şekil 4. 17. 30 N yükün deney numunelerindeki aşınma hız değişimleri

Metallerin tribolojik özelliklerinde diğer bir önemli husus ise numunelerin aşınma sonrası yüzeylerinde oluşan izlerin karakterize edilmesidir. Değişik koşullardaki aşınmalardan sonra yüzeylerdeki izlerin yorumlanması, metallerin aşınma davranışları hakkında değişik fikirler edinilmesine yol açabilmektedir (Günen, 2012). Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin aşınma bölgeleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Şekil 4.18- 4.25’de 10 N ve 30 N yük altında aşınma deneyine tabi tutulan malzemelerin yüzey morfolojileri verilmiştir.



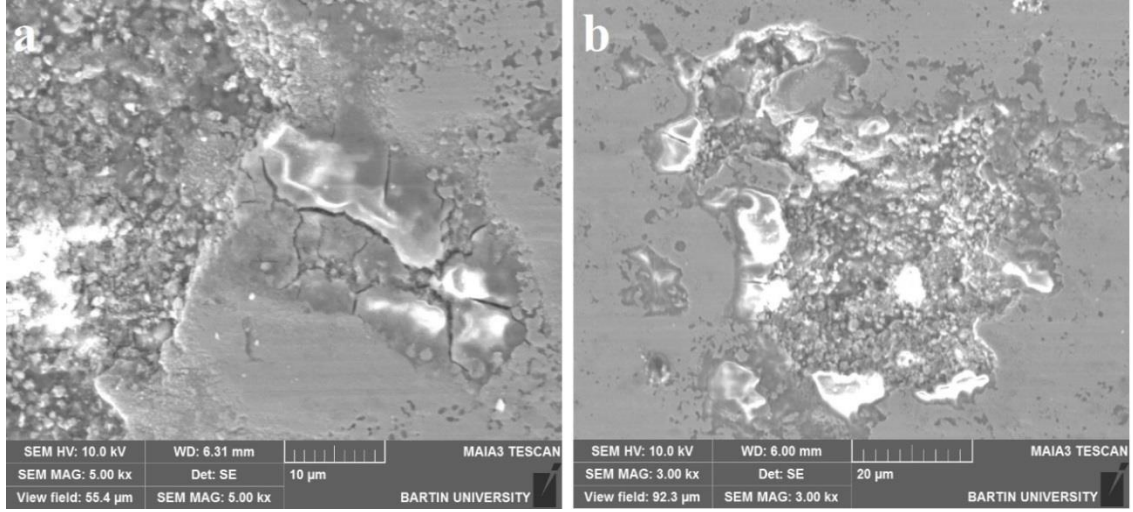
Şekil 4. 18. Numune 1'in a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.18'deki gibi Numune 1'in aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine bakıldığında, 10 N ile aşındırılan numunenin yüzeyinde mikroçatlaklar, borür tabakası kırıkları ve oksit tabakasının oluştuğu bölgeler dikkat çekmektedir. 30N ile aşındırıldığında ise sadece sert borür tabakasının kırıldığı kırılan bu sert tabakanın aşındırıcı bilye ile aşınan yüzey arasında kalarak abrasif aşınmayı oluşturduğu görülmektedir.



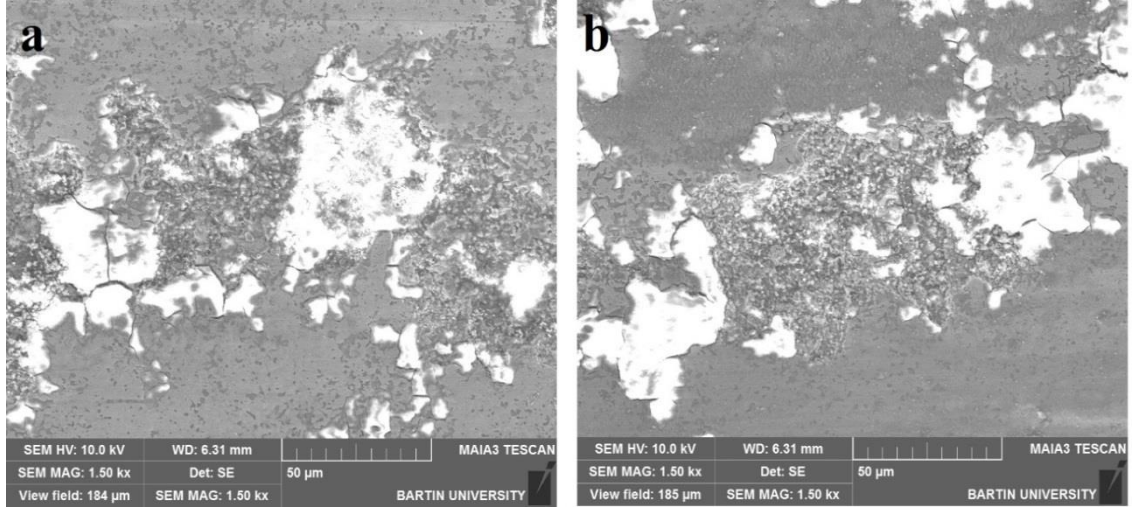
Şekil 4. 19. Numune 2'nin a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.19.'deki Numune 2'nin aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine bakıldığında, 10 N ile aşındırılan numunenin yüzeyinde mikroçatlaklar, kaba borür tabakası kırıkları ve oksit tabakasının oluştuğu bölgeler dikkat çekmektedir. 30N ile aşındırıldığında ise sadece ince aşınma kalıntılarının ve debrislerin oluştuğu Numune 1 ile benzer aşınma mekanizması oluşturduğu görülmektedir.



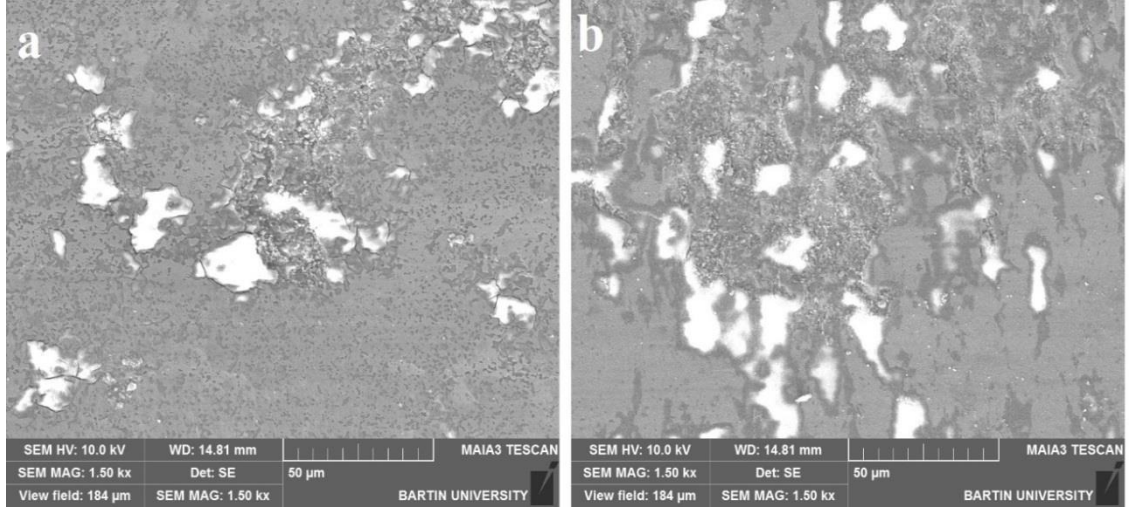
Şekil 4. 20. Numune 3'ün a) 10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.20. incelendiğinde Numune 3'ün yüzeyinde debrislerin, mikro çatlakların ve borlanmış çeliklerin (bor'un oksijene karşı affinitisinden dolayı) aşınma yüzeylerinde sıkça karşılaşılan oksit tabakası bölgelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Yüzeydeki mikroçatlakların (Şekil 4.18. a) ilerlemesiyle kaplama tabakalarının kırılarak dökülmelerin meydana geldiği ve delaminasyon aşınmalarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Aşınma işlemi sırasında yüzeyde oluşan oksit tabakası deney süresince kırılmadığı durumlarda yağlayıcı etki yapar (Ulutan vd, 2010) ancak kırılması durumunda ise bilya ile malzeme arasında aşındırıcı vazifesi görerek aşınma dirençleri üzerinde olumsuz etkide bulunabilir (Güneş vd. 2011).



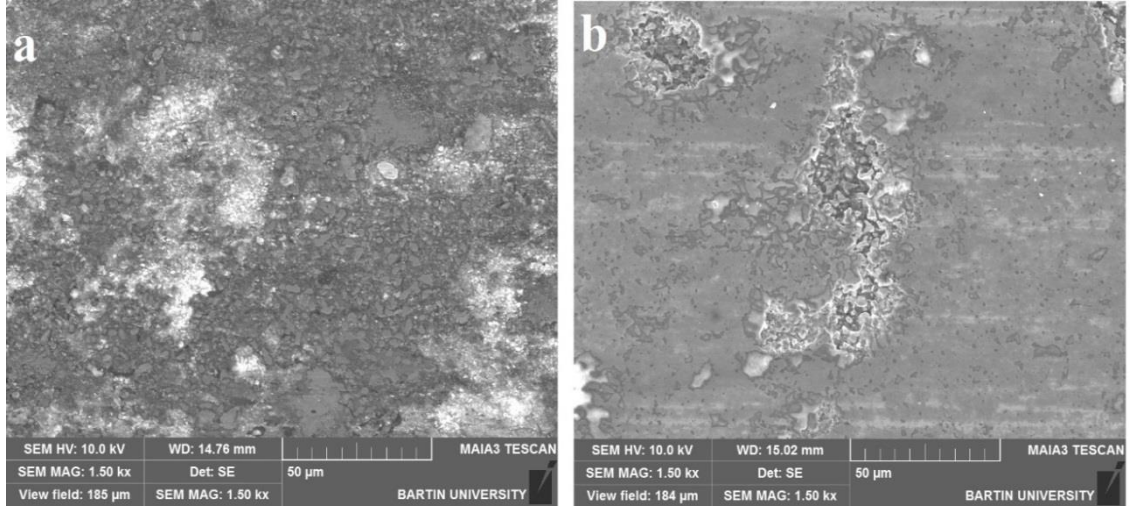
Şekil 4. 21. Numune 4'ün a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.21. incelendiğinde oksit tabakası bölgelerinin varlığı dikkat çekmektedir. Buna ilaveten mikro çatlakların ve ince aşınma kalıntılarında gözlemlenmiştir. Oksit tabakası bor ile oksijen arasında B_2O_3 yağlayıcı bir tabaka oluşturduğundan 1,2 ve 3 nolu numunelerde oluşan kazımalı aşınma tipi yerine parlatma tipi aşınma mekanizmalarına bir geçiş olmuştur. Yağlayıcı tabaka sayesinde borid tabakasındaki aşınma izleri, çatlama ve delaminasyon olayları gerçekleşmemiş ve bu numunelerin yüzeyinden alınan aşınma iz alanlarının daha küçük olmasını sağlamıştır.



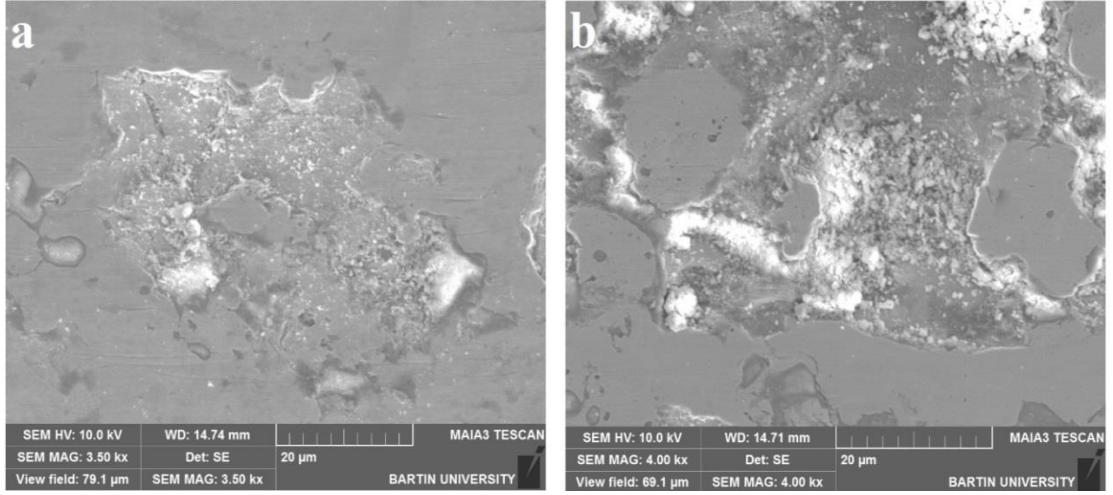
Şekil 4. 22. Numune 5'in a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.22. incelendiğinde oksit tabakası ile ince aşınma kalıntılarının olduğu gözlemlenmiştir. 1-4 arasındaki numunelerde görülen mikroçatlaklar, borür tabakası kırıkları bu numunede görülmemiştir. Bu durum kaplama tabakasının kalınlığı ve sertliğine atfedilebilir. Numunelerin aşınma tipi incelendiğinde ise parlatma aşınması (polishing) söz konusudur (Espinoza, 2016).



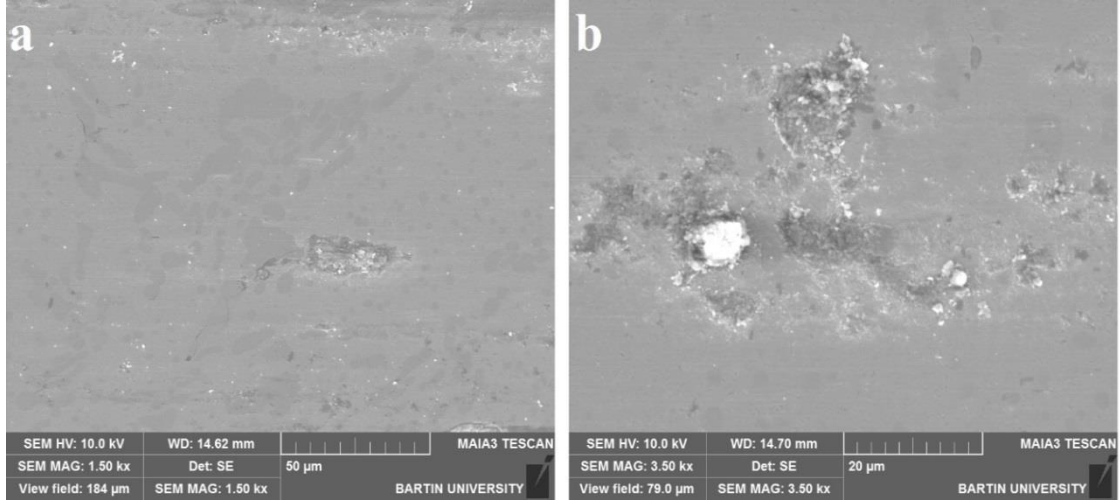
Şekil 4. 23. Numune 6'nın a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.23.a incelendiğinde yüzeyde sıvama şeklinde küçük bölgeler gözlemlenmiş olup ekstrüzyon tipi aşınmadan bahsetmek mümkündür. Ekstrüzyon ile birlikte yapıda çok küçük ölçekte ekstrüde bölgelerde noktasal şekilde plastik deformasyon olsa da bu plastik deformasyon çukurcuk oluşumları için yeteri düzeyde olmadığı görülmektedir. Yükün 10N'dan 30 N'a çıkarılması ile borür tabakası kısmen kırılarak çukurcuklar şeklinde plastik deformasyon bölgeleri oluşmuştur.



Şekil 4. 24. Kriyojenik işleme tabi tutulan (Numune 7) numunenin a) 10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.24.'deki kriyojenik işlem uygulanmış DIN 1.2379 çelik numuneler incelendiğinde numunelerin aşınma bölgelerinde abrazyif ve adhezif aşınma sonucunda numune yüzeylerinde debrisler, yüzey çizikleri ve mikro çatlakların olduğu görülmüştür. Numunelere uygulanan yük'ün 10 N'dan 30 N'a çıkarılmasıyla aşınma izleri ve mikro çatlakların ilerlemesiyle sonucunda delaminasyon tipi aşınmaların olduğu gözlenmiştir.

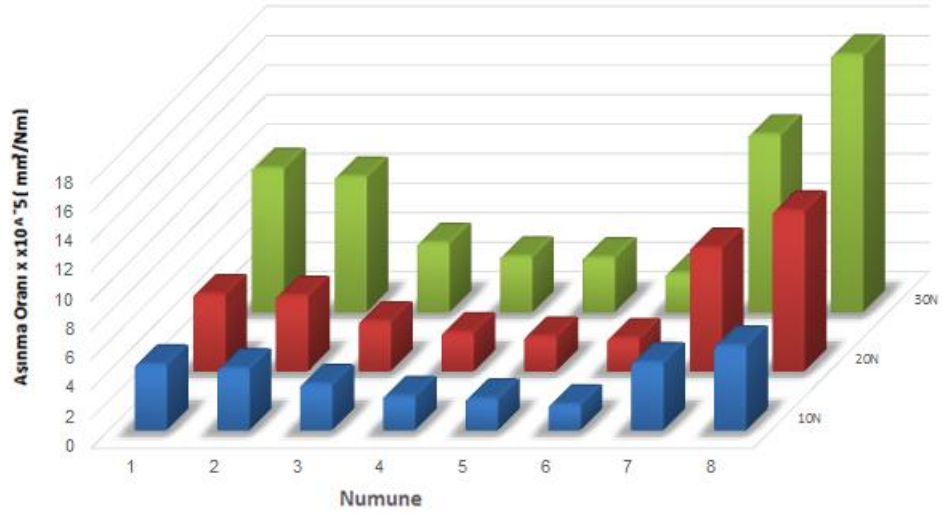


Şekil 4. 25. İşlemsiz DIN 1.2379 çeliğin (Numune 8) numunenin a)10 N b) 30 N yük ile aşınma deneyine tabi tutulduktan sonraki SEM görünümü

Şekil 4.25.a’da aşınma bölgesinden alınan SEM fotoğrafında aşınma sonrasında yüzey pürüzlülüğünün tamamen giderildiği ve numune yüzeyinde bölgesel çukurlara ilaveten aşındırıcı bilyadan aşınan debrislerin yüzeye yapıştıkları görülmektedir. Uygulanan yük’ün artışı ile çukurcuk ve aşındırma bilyasından kaynaklı adhezyon debrisleri net bir şekilde görülmektedir. İşlemsiz numunede oymalı sürtünme aşınması olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.25.’de en fazla aşınmanın meydana geldiği 1 numaralı numunenin aşınma bölgesi EDS analizleri görülmektedir. Aşınma bölgesi yüzeylerinde Fe, Cr, B ve O elementleri tespit edilmiştir. Aşınma izi kenarlarında (parlak bölgelerde) O₂ yüksek oranda bulunması aşınma SEM fotoğraflarındaki oksit olarak adlandırdığımız bölgelerin doğruluğunu destekler niteliktedir. Kırılma bölgelerinde Fe ve B piklerindeki yükselişler bu bölgelerde kırılan borür tabakasını göstermektedir.

Şekil 4.26 ‘de 8 adet numuneye ait kümülatif aşınma hacimleri verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi numuneler üzerine uygulanan baskı kuvveti arttıkça numunelerde meydana gelen aşınma oranları da artış göstermiştir. En az aşınma Numune 6 ‘da görülürken, en fazla aşınma Numune 8’de meydana gelmiştir.



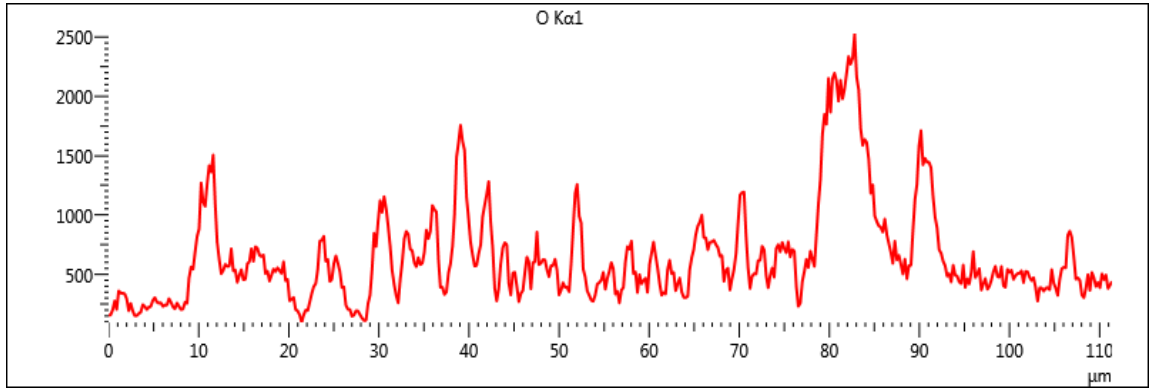
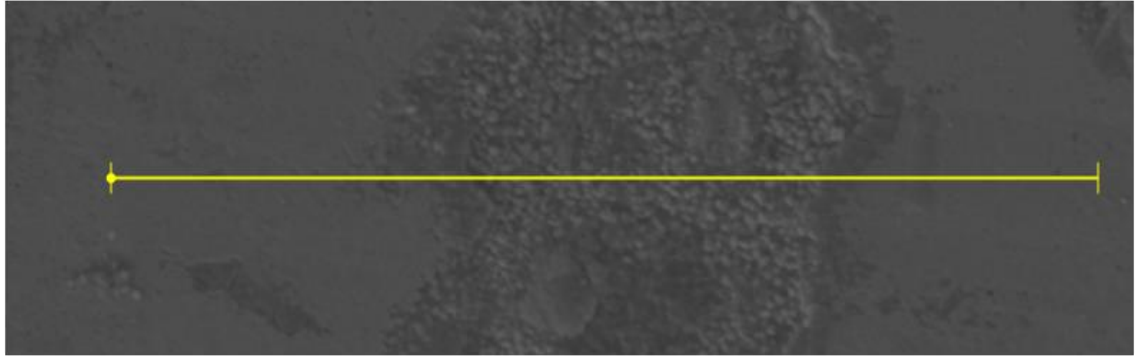
Şekil 4. 26. 8 numuneye ait kümülatif aşınma oranları verilmiştir. Mavi renk 10 N, kırmızı renk 20 N, yeşil renk 30 N kuvvet altındaki aşınma oranını göstermektedir

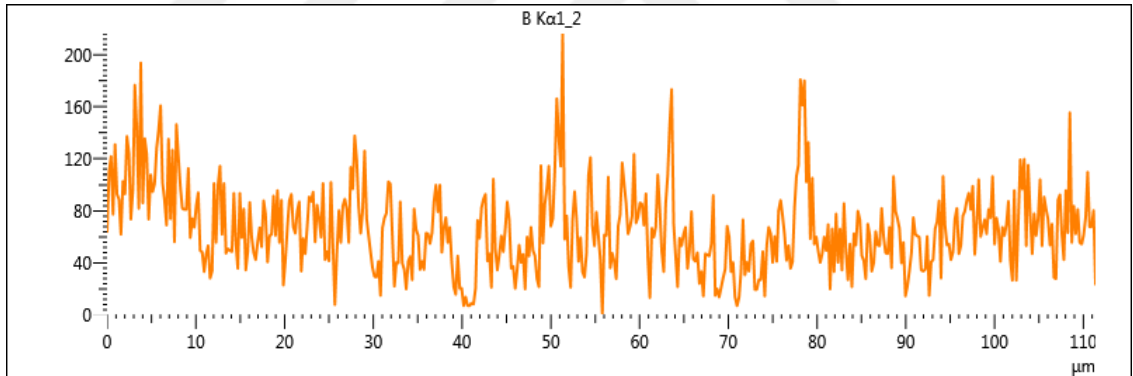
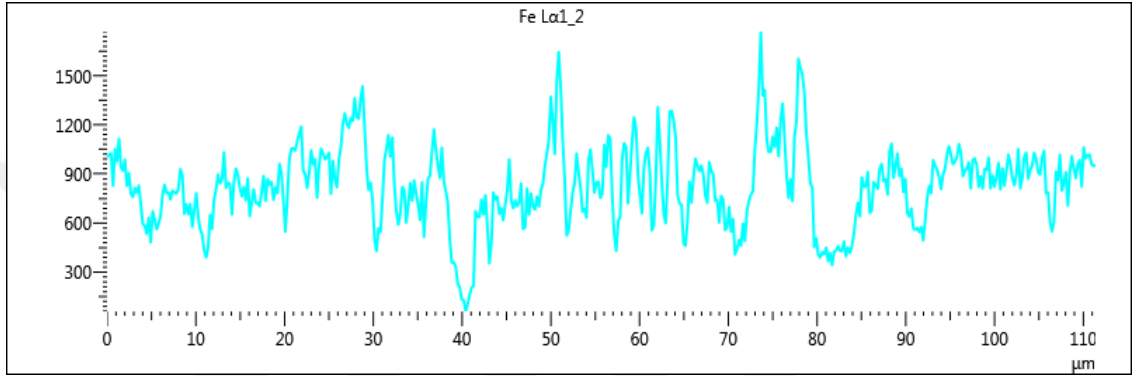
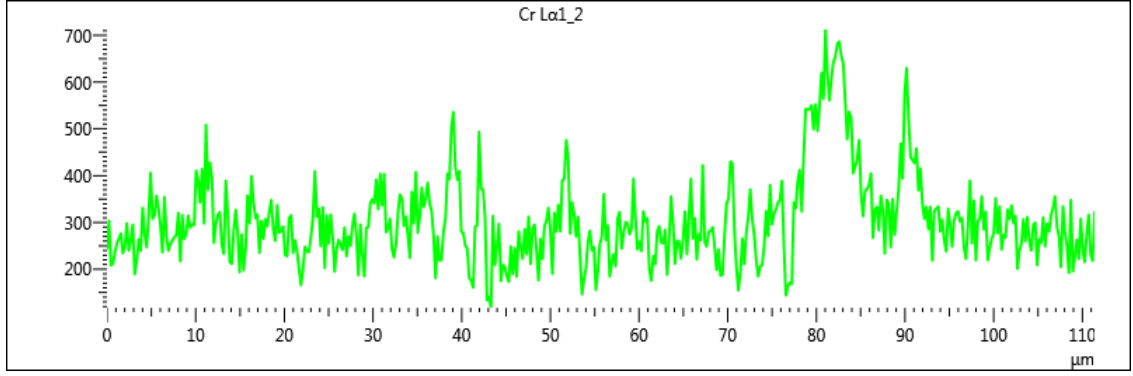
Çizelge 4.4. 'de numunelere uygulanan 10, 20, 30 N kuvvete karşı, numunelerde meydana gelen aşınma iz hacmi ve aşınma iz alanı değerleri paylaşılmıştır. Bu çizelge de artan kuvvetle beraber numunelerde oluşan aşınma miktarının arttığı ve en çok aşınmanın Numune 8 de meydana geldiği, en az aşınmanın ise Numune 6 'da gözlemlendiğini göz önüne sermektedir.

Çizelge 4. 4. Numunelerin 10 ,20,30 N kuvvet altında aşınma iz hacimleri ve aşınma iz alanları değişimi

Uyg. Yük	10 N		20 N		30 N	
Numune	Aşınma İz Alanı (mm ²) x10 ⁻⁵	Aşınma İz Hacmi (mm ³) x10 ⁻⁵	Aşınma İz Alanı(mm ²) x10 ⁻⁵	Aşınma İz Hacmi(mm ³) x10 ⁻⁵	Aşınma İz Alanı(mm ²) x10 ⁻⁵	Aşınma İz Hacmi(mm ³) x10 ⁻⁵
1	440,983	2204,915	519,265	2596,325	974,149	4870,745
2	414,711	2073,555	508,427	2542,135	915,735	4578,675
3	227,091	1135,455	333,425	1667,125	467,48	2337,4
4	210,152	1050,76	259,347	1296,735	367,989	1839,945
5	169,751	848,755	230,238	1151,19	260,4	1302
6	307,547	1537,735	219,655	1098,275	374,196	1870,98
7	456,969	2284,845	833,651	4168,255	1202,079	6010,395
8	570,109	2850,545	1085,552	5427,76	1743,551	8717,755

Şekil 4.27 'da en fazla aşınmanın meydana geldiği 1 numaralı numunenin aşınma bölgesi EDS analizleri görülmektedir. Aşınma bölgesi yüzeylerinde Fe, Cr, B ve O elementleri tespit edilmiştir. Aşınma izi kenarlarında (parlak bölgelerde) O₂ yüksek oranda bulunması aşınma SEM fotoğraflarındaki oksit olarak adlandırdığımız bölgelerin doğruluğunu destekler niteliktedir. Kırılma bölgelerinde Fe ve B piklerindeki yükselişler bu bölgelerde kırılan borür tabakasını göstermektedir.





Şekil 4. 27. Numune 1'in aşınma bölgesinden alınan EDS analizi

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışmalarda, kutu-borlama metoduyla 900 °C ve 1000 °C de 3,5 ,7 saatlik borlama süreleriyle EKabor-II tozuyla DIN 1.2379 çeliğinin yüzeyi borlanmış olup, bu numunelerde Al₂O₃ bilyaya karşı DIN 1.2379 üzerinde yapılan kuru kayma ve doğrusal aşınma testlerinin neticesi olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir :

- Boru profil üretim hattındaki kalibre makaraları, mevcut kullanımdaki kriyojenik işleme bir alternatif olarak borlama yöntemi ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır.
- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda borlama işleminde, artan sıcaklık ve süre ile hem tabaka kalınlıkları hem de mikro sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Tabaka kalınlıklarının artışında borlama sıcaklığından ziyade borlama süresinin daha fazla etken olduğu tespit edilmiştir.
- Kaplama tabakası çift fazlı yapı (FeB+Fe₂B) şeklinde dişli ile düz yapı arasında bir görünüme sahiptir
- Elde edilen borür tabakasının kalınlığı işlem parametrelerine bağlı olarak 46 ile 126 µm, sertlik değeri ise 2005-2227 HV_{0.1} olarak ölçülmüştür. Öte yandan kiyojenik işleme tabi tutulan numunenin sertlik değeri 719 HV_{0.1}, İşlemsiz DIN 1.2379 çeliği ise 510 HV_{0.1} civarında ölçülmüştür.
- 50 ve 100 gr'lık yüklemelerde tüm numunelerin sertlik değerleri sağlıklı bir şekilde ölçülmüş ancak, 1000 °C'de 5 ve 7 saat süre ile borlanmış numunelerin kaplamalarında 300 gr'lık yüklemeler sonucunda çatlama meydana gelmiştir.
- Kaplama kalınlığı, sertlik ve sürtünme katsayısı arasında bir ilişki bulunamamıştır. Bu da sürtünme katsayısının birden fazla faktörden etkilendiğini gösterir. Ancak en düşük sürtünme katsayısı borlanmış numunede elde edilmiş, en yüksek sürtünme katsayısı ise işlemsiz DIN 1.2379 çeliğinde meydana gelmiştir.

- Aşınma direnci, kaplama tabakası kalınlığı ve sertlik değerleri ile artış göstermiştir. İşlemsiz numuneye göre 6,7 kat aşınma direnci 1000 °C’de 7 saat süre ile borlanan numunede elde edilmiştir.
- İşlemsiz numunede aşırı plastik deformasyon aşınma mekanizması iken borlanan numunelerde delaminasyon ve (parlatma) polishing tipi aşınma meydana gelmiştir. Kriyojenik ısıl işleme tabi tutulan numunede ise mikro çatlaklar sonucunda delaminasyon tipi aşınma mekanizması meydana gelmiştir.

5.2. Öneriler

Ekabor II tozu ile yüzeyi alaşımlandırılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği borür tabakası mikroyapısı, tabaka kalınlıkları, sertlik, tokluğu, aşınma davranışları ve gibi özellikleri araştırılmış; kriyojenik ısıl işlem ile yapılan yüzey sertleştirme işlemi ve ticari DIN 1.2379 (ısıl işlemsiz) soğuk iş takım çeliği ile kıyaslanmıştır.

Ekabor II tozu ile alaşımlandırılan numunelerin kısa sürelerde elde edilebilen yüksek sertlik değerlerinden, yüksek aşınma dirençlerinden dolayı endüstride tercih edilebileceği kanısına varılmıştır. Osmaniye Tosçelik ERW Boru Üretim fabrikasında “ERW Boru & Profil Üretim Makinelerinde Kullanılan Kalibre Makaralarının İyileştirilmesi ve Yeniden Tasarlanması” isimli 3160378 numaralı TÜBİTAK projesi ile deneme çalışmaları yapılmaktadır. . Fakat proses için optimum sıcaklık ve borlama süresinin proste yapılacak seri üretim esnasında deneysel çalışmalar sonucu kararlaştırılması uygun görülmüştür.

Makaraların çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda oksit, tufal vb. sert artıklar soğutma sisteminde var olduğundan, bu kaplamaların mikro abrasyon aşınma testleri incelenebilir.

6.KAYNAKLAR

Addemir, O., 2007. Bor ürünlerinin teknolojileri ve Türkiye'nin durumu.

Akıncıoğlu, 2012. Derin kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür matkap kullanılarak AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı parametreler ile delinebilirliğinin araştırılması , Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Anonim, Bor Raporu, 2003. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.

Barış, M., 2007. Farklı borlama sürelerinin transmisyon çeliğinde abrasiv aşınma davranışlarına etkisinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Bayça, S.U. ve Şahin, S., 2004. Borlama, Mühendis ve Makine, 532, 51-59.

Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan, D. 2005. Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, 45: 747–54.

Brensing, KH ve Sommer, B, 2015, "Steel Tube and Pipe Manufacturing Processes",

Bozkurt, N., 1984. Bor yayını ile çeliklerde yüzey sertleştirme, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

B. Venkataraman, G. Sundararajan, 1995. The high speed sliding wear behaviour of boronized medium carbon steel, *Surf. Coat. Technol.* 73, 177–184.

Campos, I., Ramı'Rez, G., Figueroa, U., Martı'Nez, J., Morales, O., 2007. "Evaluation of boron mobility on the phases FeB, Fe₂B and diffusion zone in AISI 1045 and M2 steels," *Appl. Surf. Sci.*, 253, pp. 3469–3475

Carrea-Espinoza, R., Figueroa-Lopez, U., Martinez-Trinidad, J., Campos-Silva, I., Hernandez-Sanchez, E., Motallebzadeh, A., 2016. Tribological behavior of borided AISI 1018 steel under linear reciprocating sliding conditions, *Wear*, 362-363. pp. 1–7,

Çalık, A., 2005. Östenitik paslanmaz çeliğin katı ortamda borlama özelliğinin araştırılması. 4th International advanced technologies symposium, 849-852, Konya

C.H. Xu, J.K. Xi, GaoW, 1997. Improving the mechanical properties of boronized layers by superplastic boronizing, *J. Mater. Process Technol.* 65, 94–98

Domínguez, M., M. Keddam, M. Elias-Espinoza, O. Damián-Mejía, M. A. Flores-Rentería, A. Arenas-Flores, and J. Hernández-Ávila 2014. "Investigation of boriding kinetics of AISI D2 steel", *Surface Engineering*

Garcia-Bustos, E., Figueroa-Guadarrama, M. A., Rodr_iguez-Castro, G.A., G_omez-Vargas, O. A., Gallardo-Hern_andez, E. A., and Campos-Silva, I., 2013, "The Wear

Resistance of Boride Layers Measured by the Four-Ball Test,” Surface and Coatings Technology, pp 241–246.

Gunen, 2012. Nano bor tozu ile yüzeyi alaşımlandırılan östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikler ve korozyon davranışının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ

Gunen, A., Kurt, B., Orhan, N., Kanca, E., 2014. "The Investigation of Corrosion Behavior of Borided AISI 304 Austenitic Stainless Steel With Nanoboron Powder, " Protection of Metals and Physical Chemistry of Surface, Vol. 50, No. 1, pp. 106–112,

Gunen, Kanca, 2017. Microstructure and Mechanical Properties of Borided Inconel 625 Superalloy, Revista Materia, Vol:2 no:2; doi: 10.1590/S1517-707620170002.0161

Gunen, Kanca, 2017. Farklı bor kimyasalları ile borlanmış Inconel 625 alaşımının karakterizasyonu, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg. Baskıdaki Makaleler: PAJES-56689 | DOI: 10.5505/pajes.2017.56689

Günen, E Kanca, M Demir, Y Er, G Sağlam, MS Gök, 2017. Micro-Abrasion Wear Behavior of Fast Borided Steel Tooth Drill Bits, Tribology Transactions, dx.doi.org/10.1080/10402004.2016.1159359,

Gunen, Kanca, Demir, Er, Sağlam, Gök, 2016. Micro-Abrasion Wear Behavior of Fast Borided Steel Tooth Drill Bits, Tribology Transactions, DOI: 10.1080/10402004.2016.1159359.

Gunen, Cemal, Kurt2, Orhan, 2013. Borlama İşleminde Kullanılan Bor Tozu Tane Boyutunun Kaplama Tabakası Üzerine Etkisi, NEÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 2(1) 12-19

Gunen, A., Ulutan, M., Gok, M.S., Kurt, B., Orhan, N., 2014. "Friction and wear behaviour of borided AISI 304 stainless steel with nano particle and micro particle size of boriding agents,"Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 20, No 3, pp. 362–379

Günen, Y. Küçük, Y.Er, V. V. Çay, M. Öge, M. S. Gök, 2015. Effect of the powder particle size on the wear behavior of boronized AISI 304 stainless steel, Material Testing 57(5) 468-473.

Gunes, I., 2013. "Wear behavior of plasma paste boronized of AISI 8620 steel with borax and B₂O₃ paste mixtures," J. of Mater. Science and Techn., 29, pp. 662-668

Gunes, I., Yildiz, I., 2016. "Investigation of adhesion and tribological behavior of borided AISI 310 stainless steel, " Materia-Rio De Janeiro, 21, (1), pp. 61-71

Gürkan, M., 2007. Östenitik ve martensitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

H.J. Hunger, G. Trute, 1994. Boronizing to produce wear-resistant surface layers, HeatTreat. Met. 21 (2), 31–39

Hunger, H. J., Lobig, G., 1997. Generation of boride layers on steel and nickel alloys by plasma activation of boron trifluoride, Thin Solid Films, 310, 244 – 250.

Karamış, M.B, Nair, F, Selçuk, B. 1995. Borlanmış malzemelerin tribolojik özellikleri, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı S:446-454.

Küper, A., Qiao, X., Stock, H. R., A Novel Approach to Gas Boronizing, Surface and Coatings Technology, 130 (2000) 87-94.

Matuschka, A.G., 1980. Boronizing, Carl Hanser Verlag, München.

Mobility on the phases FeB, Fe₂B and diffusion zone in AISI 1045 and M2 steels, Applied Surface Science, Volume 253, 3469-3475.

Motallebzadeh, A., Dilektasi, E., Baydogan, M., Atar, E., and Cimenoglu, H., 2015. "Evaluation of the Effect of Boride Layer Structure on the High Temperature Wear Behavior of Borided Steels," Wear, 328–329, pp 110–114

Oliveira, C.K.N., Casteletti, ., L.C., Lombardi Neto, A., Totten, G.E., Heck, S.C., 2010. "Production and characterization of boride layers on AISI D2 tool steel," Vacuum, 84, pp. 792–796

Ozdemir, M.A. Omar, M. Usta, S. Zeytin, C. Bindal, A.H. Ucisik, 2009.

An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel, Vacuum 83, 175–179.

Özdemir, Ö., Usta, M., Bindal, C., Üçışık, A.H., 2006. Hard iron boride (Fe₂B) on 99.97 wt. % pure iron, Applied Surface Science, 255, 2596–2602.

Özsoy, A., 1996. Çeliğin borlanması borür tabakası, geçiş zonu ve ana matrisin özelliklerinin iyileştirilmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Eskisehir.

Sahin, S., 2009. "Effects of boronizing process on the surface roughness and dimensions of AISI 1020, AISI 1040 and AISI 2714," Journal of Materials Processing Technology, 209, (4,) pp. 1736–1741

Selcuk, B., Ipek, R., Karamis, M.B., 2003. "A study on friction and wear behavior of carburised, carbonitrided and borided AISI 1020 and 5115 steels," J. Mater. Process. Technol. 141, pp. 189–196

S. Sen, 2005. The characterization of vanadium boride coatings on AISI 8620 steel, *Surface & Coatings Technology*, 190 (6) 1-6.

Sen, Ş., 1998. Termokimyasal borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performansının geliştirilmesi, Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakary

Sen, Ş., Özbek, İ., Şen, U., Bindal, C., 2001. Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel, *Surface and Coatings Technology*, 135, 173-177.

Sinha, A.K., 1991. Boriding (Boronizing), *ASM Handbook, J. Heat Treating*, Ohio, USA., 4, 437-447.

Tabur, M., İzçiler, M., Gül, F., Karacan, İ., 2009. Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel, *Wear*

Tabur, M., İzçiler, M., Gul, F., and Karacan, I., 2009. "Behaviour of Boride Layers Alloyed Steels," *Wear*, 266, pp 1106–1112.

Taktak, Ş., 2006. Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels, *Materials and Design*, 28, 1836–1843.

Taktak, 2007. Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials and Design*, 28 1836-1843.

Ulker, S., Gunes, I., And Taktak, Ş., 2011. "Investigation of Tribological Behavior of Plasma Paste Boronized of AISI 8620, 52100, 440C Steels," *Indian Journal of Engineering and Materials Science*, 18, pp 370–376.

Uluköy, A., 2005. 21NiCrMo2 (AISI 8620) çeliğinden yapılmış dişli çarklara karbürleme ile beraber borlama işleminin uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa

Ulutan, M., 2007. AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi (Ph. D.), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Ulutan, M., Yildirim, M. M., Celik, O. N., And Buytoz, S., 2010. "Tribological properties of borided AISI 4140 steel with the powder pack-boriding method," *Tribology Letters*, 38(231), pp. 231–236

Uslu I., Comert H., Ipek M., Ozdemir O., Bindal C., 2007. Evaluation of borides formed on AISI P20 steel, *Materials and Design*, 28, 55-61

Uzun, H.A., 2002. Borlama ile yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dayanımları, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Uzun, 2014 Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

İnternet Kaynakları

URL-1, www.maden.org.tr/resimler/ekler/55e31fa43e652cb_ek.pdf, 15 Mart 2008

URL-2, http://www.smrw.de/files/steel_tube_and_pipe.pdf

URL-3, <http://kimyaca.com/bor-bilesiklerinin-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari/>

URL-4, <http://www.birlikmakina.eu/detay-6-forming-group.html>



7.ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1990 yılında Antakya’da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Anadolu Lisesi eğitimini Antakya’da tamamladı. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2009 yılında kazandı. Üniversiteden 2013 yılında mezun oldu. 2013-2014 yıllarında vatani görevini tamamladıktan sonra 2014 yılında ASAŞ FİLTRE’de Ar-Ge Mühendisi olarak mühendislik hayatına ilk adımını attı. 2015 yılında şirket değişikliği yaparak TOSYALI HOLDİNG bünyesinde Ar-Ge departmanında mühendis olarak kariyer hayatına yön verdi. 2015 yılında İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTE’si Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Master Programına başladı. İskenderun Teknik Üniversitesi ile üniversite sanayi işbirliği kapsamında TÜBİTAK projeleri yürüterek araştırmacı kimliğine her geçen gün yeni deneyimler katan yazar, İskenderun Teknik Üniversitesi akademisyenlerinin de katkısı ile Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansında (IMSTEC’16) “1.2379 Soğuk Takım Çeliğinin Borlanması” bildirisini sundu.

Halen TOSYALI HOLDİNG bünyesinde çalışmaya devam eden yazar, Holding bünyesinde yer alan şirketlerden TOSÇELİK Ar-Ge Merkezi kurulumu çalışmalarını ile birlikte, üniversite ile sanayi arasında projeler yapmaya devam edecektir.