

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORLAMA İŞLEMİNİN 34CrNiMo6 ÇELİĞİNİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

Mehmet YİĞİT

**Danışman
Prof. Dr. Nazım UÇAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI
ISPARTA - 2021**



© 2021 [Mehmet YİĞİT]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	6
3. TEORİK BİLGİLER.....	11
3.1. Giriş	11
3.2. Mekanik Özellikler.....	11
3.2.1. Çekme İşlemleri	11
3.2.2. Sertlik İşlemleri	13
3.2.3. Darbe İşlemleri	17
3.2.4. Yüzey İşlemleri.....	18
3.2.5. Borlama İşlemi	19
3.2.5.1. Borlama nedir, niçin yapılır?	19
3.2.6. Borlama Yöntemleri.....	21
4. MATERYAL ve METOD.....	24
4.1. Numuneleri Yapılacak Test Standartlarına Uygun İşleme	24
4.2. Isıl işlem ve Borlama.....	26
4.3. Çekme Testi	28
4.4. Çentik Darbe Testi	29
4.5. Hassas Kesme İşlemleri	30
4.6. Bakalite Alma İşlemleri.....	30
4.7. Zımparalama ve Parlatma İşlemleri	31
4.8. Mikro Sertlik Ölçme	33
4.9. Dağlama	34
4.10. Mikroyapı İnceleme.....	34
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	35
5.1. Mikro yapı.....	35
5.2. Bor Tabakası	36
5.3. Faz yapısı.....	39
5.4. Sertlik	42
5.5. Çekme Özellikleri	43
5.6. Kinetik özellikler	44
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORLAMA İŞLEMİNİN 34CrNiMo6 ÇELİĞİNİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Mehmet YİĞİT

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nazım UÇAR

Bu çalışmada orta karbonlu çelik sınıfından 34CrNiMo6 (AISI 4340) çelikleri kullanılmıştır. Uygun ebatlarda kesilen çelikler ön bir ısıtma işleminden sonra çelik parçalar fırında Ekabor II tozu ortamında 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda ve her bir sıcaklık için 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde borlama işlemine maruz bırakılmışlardır. Uygun şekilde soğutulan, yüzey temizleme ve kalıplama işlemine tabi tutulan borlanmış çeliklerin yüzey analizleri optik ve SEM ile faz yapısı ise XRD ve EDS ile belirlenmiştir. Borlanmış çeliklere uygulanan çekme işlemi ile çeliklerin akma, çekme ve uzama özellikleri yanında çarpma enerjisi de belirlenerek borlama işleminin etkisi ortaya konulmuştur. Mekanik özellikler açısından çelikler üzerinde bir başka özellik olan sertlik değerleri de belirlenmiştir. Çelik yüzeylerinde borlamanın oluşturduğu ciddi değişimleri görmek için çeliklere sertlik testleri de uygulanmıştır. Uygulanan Vickers sertlik testleri sonucunda borlanmış çeliklerin makine elemanı olarak kullanılıp kullanılamayacağı bilgisi elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda borlama işleminin başarıyla gerçekleştirildiği gözlenmiş ve borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak 22 to 145 µm aralığında bir bor tabakası elde edilmiştir. Bu tabakalar içinde baskın olarak FeB ve Fe₂B fazlarına ilave olarak (Cr, Fe)₂₃C₆(Cr_{15.58}Fe_{7.42}C₆), Fe₃O₄ magnetit ve Fe-Ni elemental fazlar elde edilmiştir. Bu elde fazların bir sonucu olarak borlanmış 34CrNiMo6 çeliklerinde yaklaşık 12 kat lık bir sertlik artışı elde edilmiştir. Bu iyileşme çekme işlemi ile elde edilen değerler ile de doğrulanmıştır. Yapılan kinetik çalışmalar sonucu elde edilen difüzyon sabiti ve aktivasyon enerjisi değerleri orta karbonlu çelikler için elde edilen değerlere yakın olmakla birlikte bu değerlerin çalışma şartlarına (borlama ortamı, borlama yöntemi vs) bağlı olduğu gösterilmiştir. Elde edilen kinetik değerlere bakarak, bu sınıf çelikler için uygun bir borlama şartlarının elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Borlama, Yüzey işlemleri, Sertlik, Bor tabakası, Çarpma enerjisi

2021, 52 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF BORONIZATION PROCESS ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF 34CrNiMo6 STEEL

Mehmet YİĞİT

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Prof. Dr. Nazım UÇAR

In this study, medium carbon steel grade 34CrNiMo6 (AISI 4340) steels were used. After a preliminary heat treatment, steel parts cut in appropriate sizes were subjected to the boriding process at temperatures of 850, 900 and 950 °C and for 2, 4 and 6 hours for each temperature in an oven environment containing Ekabor II powder. The surface analysis of the borided steels, which are properly cooled and subjected to surface cleaning and molding processes, were determined by optical and SEM and phase structure was determined by XRD and EDS. With the tensile process applied to borided steels, the effect of the boring process has been revealed by determining the yield, tensile and elongation properties of the steels as well as the impact energy. Hardness tests were also applied to steels to see the serious changes caused by boring on steel surfaces. As a result of the applied Vickers hardness tests, it has been tried to obtain information whether borided steels can be used as machine elements.

As a result of the analysis, it was observed that the boriding process was successfully carried out and a boride layer in the range of 22 to 145 µm was obtained depending on the boriding temperature and time. In these layers, Cr, Fe) 23C6 (Cr15.58Fe7.42C6) in addition to the predominantly FeB and Fe2B phases. Fe3O4 magnetite and Fe-Ni elemental phases were obtained. As a result of these obtained phases, an approximately 12-fold increase in hardness was obtained in the borided 34CrNiMo6 steels. This improvement was confirmed by the values obtained by the tensile process. The diffusion constant and activation energy values obtained as a result of the kinetic studies are close to the values obtained for medium carbon steels, but it has been shown that these values depend on the working conditions (boring environment, boring method, etc.). By looking at the kinetic values obtained, it was concluded that a suitable boring conditions can be obtained for this grade of steels.

Keywords: Boriding, Surface processes, Hardness, Boride layer, Impact energy

2021, 52 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmalarında deneysel ve teorik bilgi yönünden yararlandığım, Yüksek Lisans öğrenciliğimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Nazım UÇAR hocama teşekkür ederim.

Ayrıca tüm eğitim hayatımda desteğini esirgemeyen eşim Pınar YİĞİT'e ve bütün hayatım boyunca bana destek olan ve beni bugünlere getiren aileme ömür boyu müteşekkirim.

FYL-2019-7320 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Mehmet YİĞİT
Isparta, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çekme cihazının şematik görünümü.....	12
Şekil 3.2. Tipik bir zor-zorlanma eğrisi.....	13
Şekil 3.3. Vickers ucunun şematik görünümü	15
Şekil 3.4. Vickers ucu ile elde edilen ve yüzeyde oluşan sertlik izleri	15
Şekil 3.5. Standart bir çarpma deneyinin şematik görünümü.....	17
Şekil 3.6. Charpy V çentik deneyi için açılan V çentik ve darbe sonucu malzemenin görünümü	18
Şekil 3.7. Borlama işlemi ile yüzeylerde oluşan borur fazlarının görünümü	20
Şekil 3.8. Bor fazlarının sertlik değerlerinin şematik görünümü.....	21
Şekil 3.9. Katı borlamanın şematik görünüşü.....	22
Şekil 3.10. Gaz ortam da borlamanın şematik görünümü.....	23
Şekil 4.1. ASTM E 8/E 8M – 08 çekme testi standardı ölçüleri	24
Şekil 4.2. ASTM E 8/E 8M – 08 standardına göre işlenmiş parça	25
Şekil 4.3. ASTM E23 Charpy metal testi standardı ölçüleri	25
Şekil 4.4. ASTM E23 Charpy metal testi standardına göre işlenmiş parça	25
Şekil 4.5. Mikroyapı incelemeleri için işlenmiş parça	26
Şekil 4.6. 4340 numunelerinin Ekabor II tozu içerisine yerleşimi	26
Şekil 4.7. Protherm HLF100 ısıtma işlem fırını ve numunelerin yerleşimi	27
Şekil 4.8. Shimadzu AGS-X 10kN çekme cihazı.....	28
Şekil 4.9. Çekme numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanması	28
Şekil 4.10. Instron Ceast 9350 cihazı	29
Şekil 4.11. Çentik darbe testi deney düzeneği.....	29
Şekil 4.12. ATM GMBH Brillant220 cihazı.....	30
Şekil 4.13. ATM GMBH Opal 410 cihazı.....	31
Şekil 4.14. Bakalite alma işlemi sonrası numuneler	31
Şekil 4.15. ATM GMBH Saphir 520 cihazı.....	32
Şekil 4.16. Parlatma işlemi sonrası numuneler	33
Şekil 4.17. TTS Matsuzawa HWMMT-X3 cihazı.....	33
Şekil 4.18. Olympus BX51TRF-6 optik mikroskop	34
Şekil 5.1. 34CrNiMo6 çeliğinin borlama işleminden önce (a) ve sonraki mikro yapısı (b).....	35
Şekil 5.2. 950°C'de (a) 2, (b) 4 ve (c) 6 saatlik borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan borur tabakasının optik mikroskop ile elde edilen görüntüleri.	37
Şekil 5.3. (a) 850, (b) 900 ve (c) 950 °C de sıcaklıklarında 6 saatlik süre boyunca borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan borur tabakasının elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri.....	38
Şekil 5.4. Bor tabakası genişliğinin borlama süresi ve zamanı ile değişimi.....	39
Şekil 5.5. 6 saat için 850 °C ve 950 °C de borlama işlemine tabi tutulan 34CrNiMo6 çeliğinden elde edilen X ışını kırınım (XRD) desenleri.....	40
Şekil 5.6. 850°C ve 4 saat boyunca borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinden alınan EDS sonuçları.....	41
Şekil 5.7. 900°C de 4 saat borlanan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan sertlik izleri.....	42

Şekil 5.8. 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinden iç kısımlara doğru sertlik değerlerinin borlama sıcaklığı ve süre ile değişimi	43
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Sertlik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	16
Çizelge 3.2. Bor fazlarının bazı özellikleri	21
Çizelge 4.1. Deneysel işlem aşamaları	24
Çizelge 4.2. 34CrNiMo6 numeneler ısıtıl işlem parametreleri.....	27
Çizelge 4.3. Zımparalama ve parlatma işlemi adımları.....	32
Çizelge 5.1. Borlanan çeliklerde elde edilen mekanik özellikler	43
Çizelge 5.2. 34CrNiMo6 çeliği için hesaplanan K ve Q değerleri	44
Çizelge 5.3. Bazı orta karbonlu çelikler için elde edilen Q aktivasyon enerjisi değerlerinin borlama sıcaklığı ve borlama yöntemi ile değişimi	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
AISI	Amerikan demir çelik enstitüsü
Al	Aliminyum
ASTM	Standart oluşturan kuruluş
B ₄ C	bor karbür
C	Karbon
C	Harpy vurma muayenesi
Cr	Krom
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
EDS	Enerji dağılım spektrometrisi
Fe	Demir
Fe ₃ O ₄	Manyetit
KBF ₄	Potasyum tetraflorabor
Mo	Molibden
Ni	Nike
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
SAE	Sementasyon çeliği
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyum dioksit
XRD	X-ışını kırınımı
W	Volfram (tungsten)

1. GİRİŞ

Malzemelerin üretilmesi ve kullanılması geniş ölçüde mukavemet, sertlik ve süneklik gibi mekanik özelliklere dayanır. Bu özellikleri belirleyen sayısal değerler standart çekme ve sertlik testi deneyleri ile belirlenir. Mikroskopik düzeyde bu olaylara bakıldığında malzemelerde deformasyon olayının bir şekilde gerçekleşmiş olduğunu görmek mümkündür.

Malzemenin yüzeyine uygulanan bir dış kuvvet etkisi ile şeklinde meydana gelen değişime deformasyon (şekil değişikliği) denir. Deformasyon olayında malzemenin hacminde bir değişiklik olmaz. Belirli bir uygulama için malzeme, o malzemenin deformasyon davranışlarına göre seçilir. Bu nedenle malzemenin deformasyon davranışlarının bilinmesi büyük önem arz eder.

Katı bir malzemede dışarıdan uygulanan bir kuvvet ile oluşturulan şekil değişimi elastik ve plastik olmak üzere iki aşamalıdır. Katıya uygulanan kuvvet belli bir noktada durdurulduğunda katı eski haline dönüyor ise şekil değişimi elastik olarak (elastik deformasyon) bilinir. Eğer dış kuvvet artırılmaya devam ederse belli bir değerden sonra kuvvet geri çekilse bile artık cisim eski haline gelemez. Bu durum kalıcı şekil değişikliği (plastik deformasyon) olarak bilinir. Elastik deformasyon tersinir iken plastik deformasyon tersinir olmayıp, malzemede kalıcı şekil değişikliği meydana gelir. Elastik ve plastiklik sınırını dislokasyon denen çizgisel kusurlar belirler (Uçar, 1991). Zira çizgisel kusurun hareketi plastik deformasyonun başlangıcına karşılık geldiği bilinmektedir. Bu aşamada atomlar arasındaki bağlar kopmuş, çizgisel kusur hareket etmiştir. Çizgisel kusuru eski haline geri getirmek, (malzemedeki şekil değişimini sıfırlamak) çeşitli etkilere oluşan bir atmosfer tarafından (diğer çizgisel kusurlar, noktasal kusurlar, yabancı atomlar vb) engellenir. Hareket bir miktar geri dönse de tamamıyla geriye dönüş söz konusu değildir. Bu nedenle bir malzemenin mekanik özellikleri belirlenirken o malzemenin geçmişi iyi tetkik edilmelidir.

Malzemelerin gerç ek ve teorik mukavemetleri arasındaki farkın çizgisel kusurlardan kaynaklandığı bilinir (Hull, 1975).       çizgisel kusurlar plastik deformasyonun çok d      kuvvetler ve gerilmeler ile ortaya çıkabildiğini g  stermi tir. Bu nedenle çizgisel kusurlar üzerine oluşturulan teoriler malzemelerin birçok mekanik özelliklerinin izah edilmesinde ve davranışlarının bilinmesinde önde gelen etkidir.

Mekanik  zelliklerin kaynağı atomlar arası bağı kuvvetleri olmakla birlikte iç yapıya ve  evre koşullarına b            bağıdır. Atomsal teoriler birçok olayları doğırudan niteliksel y  nden açıklamada yararlıdır. Ancak nicelik y  n  nden yetersizdir.  rneğ n bir çeliğin bileşimi ve atomlar arası bağılar ayrı kaldığı halde ısı  işlemlerle sertlik ve mukavemeti 2-3 kat artırılabilir (Tayanç ve Zeytin, 2000). Aradaki b      fark, yalnız atomlar arası bağı kuvvetleri esas alan teorilerle açıklanamaz. Bunun için içyapıdaki değı meleri de dikkate almak gerekir. Şekil değı iminde atomların nasıl davrandıklarını bilmek gerekir. Bu g  steriyor ki malzemelerin özellikleri iç yapıya b      oranda bağıdır. İyi bilinir ki atomların bağılanmasında temel etken elektronlardır. Özellikle en dış y  r  ngedeki elektronlar (valans elektronları) malzemelerin mekanik fiziksel, kimyasal özelliklerini belirler.  rneğ n bir cismin kimyasal bileşimi aynı kalmakla birlikte atomsal dizilimini değı tirmek mukavemet başta olmak üzere birçok mekanik özelliğı değı tirir.

Malzemelerin mekanik özellikleri incelenirken homojen ve s  rekli ortam oldukları varsayılır. Dış kuvvetlerin denge halindeki malzeme içinde olu turduğı iç kuvvetlerin b          denge kuralları yardımı ile bulunur. Davranışlar incelenirken parça boyutlarından soyutlamak için kuvvet yerine kuvvet şiddeti anlamına gelen gerilme kullanılır. Dolayısıyla deneylerde elde edilen gerilme- ekil değıştirme grafikleri malzemelerin mekanik özellikleri hakkında birçok bilgi verir.

Cisimlerin etkiyen kuvvetler altındaki davranışlarını rasyonel olarak inceleme fikri öncelikle fizikçilerden çıkmıştır. Fizikçiler ilk olarak cisimlerin moleküler yapısını g  z       tutarak bir takım istatistiksel yaklaşım metotları ile

malzemelerin global davranışlarını belirlemeye çalışmışlardır. Fakat moleküller arasındaki kuvvetlerin bilinmemesi, moleküller arasındaki uzaklıkların fazla olması nedeniyle kuvvetlerin etkisinin fazla olmadığı gazlar dışında başarıya ulaşamamışlardır.

Kristal cisimlerin plastik deformasyonu ve onunla birlikte gelişen olaylar (sertleşme, çatlama, vs) son yarım asırda çok çeşitli çalışmalara neden olmuştur. Ancak elde edilen bilgiler kısıtlı olmuştur. Bunun nedeni malzemenin izotropik ve sürekli olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmasıdır. Oysa izotrop, homojen ve sürekli bir yapı bulmak malzemeler açısından mümkün değildir. Bu nedenle içyapılardaki düzensizliklerin de dikkate alınması gerekmektedir (Gücer, 1969).

1912’de Laue’nin x-ışınlarını keşfi ile malzemelerin kısmen iç yapılarını gözlemek mümkün olmuş ve mükemmel kristal teorileri gerçekleştirilmiştir. Ancak yine de malzemelerin özellikle deformasyon davranışları mükemmel kristal teorileri ile izah edilememiştir. Nihayet 1934 yılında çizgisel kusurların (dislokasyonlar) gözlenmesi ve varlığının tam olarak tespit edilmesi ile plastik deformasyon çalışmaları hız kazanmıştır.

Malzemelerin mekanik özellikleri anlatılırken olayı sadece dislokasyonlara indirgemek doğru değildir. Olay bir kristal kusuru olayıdır ve kusurlarda gerek noktasal gerekse çizgisel, hacimsel kökenli olsun birlikte düşünmek gerekir. Malzemelerin mekanik özelliklerinde kristal kusurlarının etkisinin bilinmesinden sonra, bu kusurların çeşit, miktar ve davranışları ile malzemeleri, kontrol edebilme ve istenilen vasıfta malzeme üretme üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Bununla ilgili örnekler, malzeme içine çeşitli içerik ve miktarda başka cins atom sokarak yapının özelliklerini değiştirmek olarak düşünülebilir. Elde edilen mekanik özellik etkilerindeki artık ciddi oranda hissedilebilir düzeydedir. Fakat günümüzde teknolojinin gelişmesi, dev yapıların oluşturulması, hassas ve sürekli etkileşim halindeki malzemelere ihtiyacın artması nedeni ile malzeme üretimi ve mekanik özelliklerin devamı önemli bir sorun haline gelmiştir. İç yapı ile oynayarak elde edilen mekanik özellikler

yetersiz hale gelmiştir. Diğer bir deyişle günümüzde teknolojinin gelişmesi ile malzemelerin çalışma şartları ağırlaşmış ve özellikle aşınma, korozyon, yorulma ve sıcaklığa dayanım taleplerinin tam olarak karşılanamadığı gözlenmiştir. Bu özelliklerin karşılanabilmesi için malzemelerin bazı yüzey özelliklerine sahip olması beklenmelidir. Eğer bu özellikler malzeme de yoksa bir şekilde dışarıdan bu özellikler kazandırılmalıdır. İşte bu noktada devreye malzemelerin yüzey işlemleri konusu girmektedir. Yüzey işlemi (kaplama), bir malzeme yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek amacıyla yapılmaktadır ve bu işlem, optik, elektrik-elektronik, tribolojik, korozyondan korunma ya da dekoratif amaçlı olabilmektedir.

Yüzey kaplama teknikleri genelde iki grup halinde düşünülmelidir: Bunlardan birincisi, yüzey işlemleri olup, bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin difüzyonu ile yüzeyde bileşik bir tabaka oluşturma esasıdır. Nitrürleme, sementasyon, borlama, karbürleme bu işleme örnek verilebilir. İkinci teknik ise, yüzey kaplama olup, bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması ya da çöktürülmesidir.

Yüzey kaplama tekniklerinden en bilineni ve en çok kullanılan yöntem borlama işlemidir (Er ve Par, 2004). Bu işlem, bor atomlarının malzeme yüzeyine difüzyonu ile malzeme yüzeyinin güçlendirildiği bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemi olarak bilinir. Borlama işlemi, özellikle sertlik, aşınma direnci ve korozyon direncini artırmak için baş vurulan bir yöntemdir. Demir esaslı alaşımlar, her tür çelik malzemelere uygulanabilmektedir. İşlem, genellikle 700-1000°C sıcaklık aralığında ve 1-12 saat süre ile borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir (Alpaslan, 2011). Borlama işlemi katı, sıvı gaz, plazma ve iyon implantasyonu gibi yöntemlerle yapılmaktadır. En çok kullanılan yöntem katı borlama olup, genellikle patentlerle korunan yaklaşık %5 B₄C, %5 KBF₄ ve %90 SiC içeren karışımlar ile yapılmaktadır (Güneş ve Taktak, 2012). Bu yöntemde toz karışım sızdırmaz bir kutuya doldurulur ve içine yüzeyi kaplanacak malzeme yerleştirilir. Kutu gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta gerektiği kadar tutulur ve soğutulur.

Bu çalışmada orta karbonlu elik sınıfına giren 34CrNiMo6 elięi 850, 900 ve 950°C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen borlanmış çeliklerin süre ve sıcaklığa bağlı olarak mikro yapıları, sertlik değerleri ve kinetik özellikleri araştırılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzey işlemleri; malzemenin mekanik özellikleri olarak bilinen çekme özellikleri, sertlik, aşınma, korozyon, ve çarpma özelliklerinden bir ya da bir çoğunu iyileştirmek için kullanılır (Sarıca, 2005). Böylelikle amaca uygun malzeme üretmek, kullanım maliyetini düşürmek mümkün olabilmektedir. Özellikle korozyon ve aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi ile çevreye uygun malzemeler üretmek mümkün olabilmektedir (Kaftan, 2006). Termo kimyasal bir işlem olan daldırma usulü ile yüzey işlemine (kaplama) en uygun yöntemlerden birisi olan “Borlama” işlemidir (Yapar, 2003). Ülkemizin zengin bor rezervlerine sahip olduğu düşünülürse, bazı malzemelerin bor ve bor bileşikleriyle kaplanmasını ile malzemelerde üstün mekanik özelliklerle elde etmek mümkün olabilecektir.

Borlama işlemi uzun bir geçmişe sahiptir. Çelikler de bor’ un difüzyonu ile yüzey sertleştirme, ilk kez 1895 yılında Moissan tarafından yapılmıştır (Er ve Par, 2004). 1970’ li yıllardan itibaren borlama konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Günümüzde borlama, teknolojik olarak gelişmiş ve endüstride, özellikle alternatif bir yüzey sertleştirme yöntemi haline gelmiştir (Uzun, 2002).

Borlama işleminde, borlayıcı ortam ile malzemenin yüzeyinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan reaksiyon neticesi çekirdekleşmeler oluşur ve bu çekirdekleşmeler borlama süresi ile artar ve ince bir bor tabakası oluşur. Bor, Fe₂B ve FeB yapısında malzeme yüzeyinde yayılır (Er ve Par, 2004). Bor atomları kafes yapısına bağlı olarak bu tabaka büyür. Diğer bir deyişle, Fe₂B ve FeB yapısı malzemenin kafes yapısına bağlı olarak borlama süresi ve borlama sıcaklığına bağlı olarak malzeme içlerine doğru yayılırlar. Bu yayılma geride kolonsal, testere dişi şeklinde bir oluşum bırakır (Yapar, 2003). Yılmaz, (1997) SAE 1020 çeliği üzerinde yaptığı bir çalışma da, 950 °C altındaki borlama işleminde bor tabaka kalınlığının çok az olduğunu, bu sıcaklığın üzerinde ise bor tabakasının bozulduğunu belirtmiştir. Aynı çalışma da 950 °C ve 4 saatlik borlama işleminde en uygun bor tabakasının elde edilebileceği gösterilmiştir. Bir başka çalışma da ise az karbonlu çeliklerde aynı borlama şartlarında daha

kalın bir bor tabakasının elde edildiği belirtilmiştir (Turku vd., 2014). Bor difüzyonunun zaman ve süreye bağlı olduğu düşünülürse, bor tabakasının da bu parametrelere bağlı olacağını düşünmek gerekir. Nitekim, orta karbonlu borlanmış çelik numuneler (AISI 4340 and AISI 1020) için Şen vd., (2005) ve Altınsoy vd. (2013) tarafından elde edilen bor tabakası genişlikleri borlama sıcaklığı ve borlama süresine bağlı olarak sırasıyla 21-238 µm ve 20.5-216 µm arasında elde edilmiştir. Borlama işlemi termokimyasal bir difüzyon işlemi olduğuna göre, borlama sıcaklığı ve süresinin artması ile bor tabaka kalınlığının artması beklenen bir olaydır. Ancak, malzeme içinde yer alan alaşım elementlerinin cins ve miktarları ile ve yüzey kaplama da kullanılan borlama yönteminin de bor tabaka kalınlığında önemli bir etken olduğu bilinmektedir. Nitekim yapılan çalışmalarda, malzeme içinde var olan alaşım elementlerinden C, Mo ve W ın tabaka kalınlığında etkili olduğu, Si, Cr ve Al un ise fazla bir etkisinin olmadığı kaydedilmiştir (Alpaslan, 2011). Öte yandan, Ekabor II tozu kullanarak, mikro dalga ve geleneksel fırında kutu borlama yöntemi ile borlanan AISI P20 çeliklerinde borür tabaka kalınlıkları hemen hemen aynı değerlerde elde edilirken, bor tabaka kalınlığının mikrodalga fırının çalışma şartlarına önemi derecede bağlı olduğu gösterilmiştir (Kayalı, 2015).

Yapılan çalışmalar, borlama işlemi ile Fe esaslı malzemelerde %25 e varan ölçüde çekme ve akma değerlerinde bir iyileşmenin ortaya çıktığını göstermektedir. Nitekim, Bekteş vd., (2010), Fe-Mn üzerinde yaptıkları bir çalışma da 900 °C de 4 saat borlama işlemi ile malzemelerde akma zorunda %21, çekme zorunda ise %27 ye yakın bir iyileşme elde etmişlerdir. Bu iyileşmeye borlanmış malzemelerin yüzeyinde oluşan bor tabakası ve bu tabakada oluşan sert borür fazlarının neden olduğu belirtilmiştir. Ancak, iki fazlı (FeB+Fe₂B) borür tabakalarında, farklı genleşme katsayılarına sahip olduğu için iki faz arasında önemli ölçüde iç gerilmeler meydana gelebilmektedir. Çünkü, borlama işleminden sonra parçaların soğuması sırasında Fe₂B fazında basma, FeB fazında ise çekme gerilmeleri meydana gelebilmektedir. Bu gerilmeler, hızlı soğutulma ya da mekanik zorlanmalar esnasında çatlak oluşumuna sebep olabilir. Çatlaklar ve tane büyümesi nedeniyle borlanmış numunelerde istenilen iyileşme elde edilememektedir (Alpaslan, 2011).

Borlama işleminin en büyük etkisi malzemelerin aşınma dirençleri ile sertlik değerlerinin iyileştirilmesinde ortaya çıktığı görülmektedir. Bununla ilgili yapılan bütün çalışmalarda sertlik değerlerinin matris değerlerine göre oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Güneş vd., (2015) yaptıkları bir çalışma da bu sonucu açıkça ortaya koymaktadırlar. Adı geçen araştırmacılar, Ni 201 alaşımı üzerinde yaptıkları borlama işleminde, borlanmamış malzemenin sertlik değerleri ortalama olarak 185 HV0.05 civarında iken 850-950 °C ve 2-6 saat aralığında yapılan borlama işlemi ile sertlik değerlerinin bor tabakası üzerinde 1642 ile 1854 HV0.05 değerlerine kadar çıkabildiğini tespit etmişlerdir. Yaklaşık 10 kat olarak görülen bor ile kaplanan Ni 201 alaşımlarının yüzeylerinde ortaya çıkan sertlikteki bu iyileşmenin bor işlemi ile Ni 201 alaşımlarının yüzeylerinde oluşan NiB, Ni₂B, Ni₃B and Ni₄B₃ fazlarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Günümüzde birçok mühendislik malzemesi, kullanım alanlarında korozyon, aşınma ve oksitlenme gibi istenmeyen koşullara maruz kaldığından dolayı malzemelerin ömürlerinde ve performanslarında azalma ile karşılaşmaktadır. Sertlik değerlerinde borlama işlemi ile oluşturulan iyileşme yanında, işlemin malzemelerin aşınma ve korozyon dirençlerinde de oldukça iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. AISI 8620 çeliğinde yapılan bir çalışmada borlanmış yüzeylerin aşınma ve korozyon dirençlerinde yaklaşık sırasıyla 25 ve 95 kat'lık bir iyileşme ortaya çıkarılmıştır (Yılmaz vd., 2011). Tabur vd., (2009) tarafından AISI 8620 çeliğinde borlama işlemi ile abrazif aşınmada ortaya konulan iyileşme %500'e ulaşmaktadır. Aşınma ve korozyon direncinde ortaya çıkan bu iyileşmenin, yüzey kaplama işleminin malzeme dizaynının da önemli bir yer tutacağını iddia eden araştırmacılar, endüstriyel borlama işlemi ile vanalar, brülör memesi vs. malzemelerin çok ekonomik ve uzun ömürlü olarak kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak, borür tabakasının yüksek sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olması, aşınma direncinin oldukça yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu özellikler, kalıp imalatında ana malzemenin işlenmesi sırasında kolaylık, maliyetinde ucuzluk ve orjinal yapıya göre mekanik özellikler açısından çok daha üstün özellikler sağlamaktadır.

Borlama işlemi üzerinde yapılan çalışmalar, bor tabaka kalınlığının artması ile kaplamanın kırılabilirliği, porozitesi ve çatlak sayısının artış göstermesi yanında yapışma mukavemetinin de zayıfladığını göstermektedir (Yapar, 2003). Yapılan çalışmalar, 100µm' nin altında kalınlığa sahip bor tabakasının matrise iyi bir şekilde bağlandığını göstermektedir (Fichtl, 1987). Öte yandan, yüzeyi kaplanacak malzemenin yüzeyinde yeni fazın oluşması, örgü boyunca bor atomlarının difüzyonu ve difüzyon tabakasının (bor tabakası) yoğunluğu kinetik çalışmalarla karakterize edilmektedir (Efe vd., 2008; Kayalı, 2015; Keddām ve Kulka, 2018). Öte yandan dislokasyonlar, tane sınırları, yüzeyler ve ara yüzeyler ve bu yapı hatalarının kombinasyonları difüzyon kinetik olayını karmaşıktırmaktadır.

Brakman vd, (1989), borlama işlemi sırasında bor konsantrasyonlarının yüzey ile ara yüzey boyunca değişiklik göstermediklerini kabul ederek ilk kez kinetik çalışmalar üzerinde çalışma başlatmışlardır. Daha sonraki çalışmalarda ise, borlama işleminin borlama sıcaklığı ve süresinin borür tabakasının büyüme kinetiği üzerine olmuştur. Yapılan çalışmalar, borlama işleminde elde edilen borür tabakası kalınlığı, borlama işleminin yapıldığı sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak değiştiğini göstermekte ve bor tabakası malzeme içinde Arrhenius denkleminde uygun olarak ilerlemektedir (Dybkov vd., 2008; Rodrigues-Castro vd., 2012; Güneş vd., 2015). Burada atomların yer değiştirme eğilimi için bir ölçü olan yayınma katsayısı (D) ile sıcaklık arasında üstel bir ilişki mevcuttur. Yayınma katsayısı malzemeye özgü bir değer olup yayınmanın hızını da belirleyen faktördür (Doğan, 2016). Bu nedenle borlama işlemini kontrol edebilmek için kinetik parametreleri bilmek önemli bir kazanımdır. Literatürde, endüstriyel çeliklerin borlama işleminde yararlanılmak amacıyla bor kalınlığını optimize edebilmek için bazı modeller ortaya atılmıştır (Dybkov vd., 2008; Kulka vd., 2013; Zuno-Silva vd., 2018; Keddām ve Kulka, 2018; Ortiz-Domínguez vd., 2019). Bu modellerden biri, zamandan bağımsız ve zamana bağlı Fick 2. yasasının çözümü ile ilgili olup, modelin esas matris/Fe₂B ara yüzeyindeki kütle dengesi ve FeB+Fe₂B toplam ara yüzeyinin oluşma süresine dayanmaktadır (Dybkov vd., 2008; Kulka vd., 2013; Zuno-Silva vd., 2018; Ortiz-Domínguez vd., 2019). Gerek bu model gerekse daha sonra ileri sürülen (Keddām ve Kulka,

2018) integral metodunun ortak özelliği bor tabakasının büyüme kinetiğinin parabolik büyüme kanununa uymasındır. Ancak, yapılan kinetik çalışmalar, borlama ortamının ve malzeme bileşiminin bulunan kinetik değerler üzerinde etkisinin olduğunu göstermektedir (Jain ve Sundararajan , 2002; Litoria vd., 20020; Ortiz-Domingues vd., 2019). Bununla ilgili olarak, AISI 420 ve AISI 5140 çeliklerinde Barut vd., (2014) tarafından aynı şartlarda yapılan borlama çalışmalarında, AISI 420 çeliğinin yapısında yer alan yüksek krom içeriği nedeni ile yüksek bir aktivasyon enerjisi elde edilmiştir. Bu sonuç, alaşım elementlerinin, bor atomlarının malzemenin yüzeyinden iç kısımlara doğru termokimyasal işlem esnasında doğru difüzyon hızını düşürerek borür tabakası oluşumunu engellediği sonucunu vermiştir. Böylelikle malzeme içine farklı cins atom sokarak difüzyon hızını kontrol etmek olası gözükmemekte ve istenilen vasıfta malzeme üretmenin yolu açılmaktadır. Özellikle malzemelerin yapısı ile oynayarak onların mikroyapıları değiştirmek ve böylece onların elektrik, optik, manyetik ve mekanik özellikleri değiştirme üzerine yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

3. TEORİK BİLGİLER

3.1. Giriş

Malzemeciler malzeme seçimine karar vermek için o malzemenin mekanik özelliklerine bakmak zorundadır. Mekanik özelliklere bakmak için seçilen malzemeye bazı testler uygulamak gerekir. Amaca uygun olarak malzemeye yapılacak testlerin en bilinenleri: çekme, sertlik, çarpma, yorulma ve sünme testi olarak sıralanabilir. Kullanılacak mühendislik malzemesinin statik yüklere dayanma sınırı çekme ve sıkıştırma testleri ile belirlenir. Materyalin kalıcı şekil değişiminin de ortaya çıkacağı bu testler malzeme biliminin olmaz ise olmazıdır. Malzemenin kalıcı şekil değişimine karşı direncinin değerlendirilebileceği başka bir test ise sertlik testidir. Çarpma testleri malzemenin çarpmalara karşı şekil değişimini belirlemek için kullanılırken, materyalin değişik zorlanma değerleri altındaki davranışlarını belirlemek için yorulma deneylerine başvurulur. Sünme deneyleri ise malzemenin uzun süre yük taşıması durumunda ortaya çıkabilecek olumsuzlukları belirlemede yerine alır (Elçi, 2005).

3.2. Mekanik Özellikler

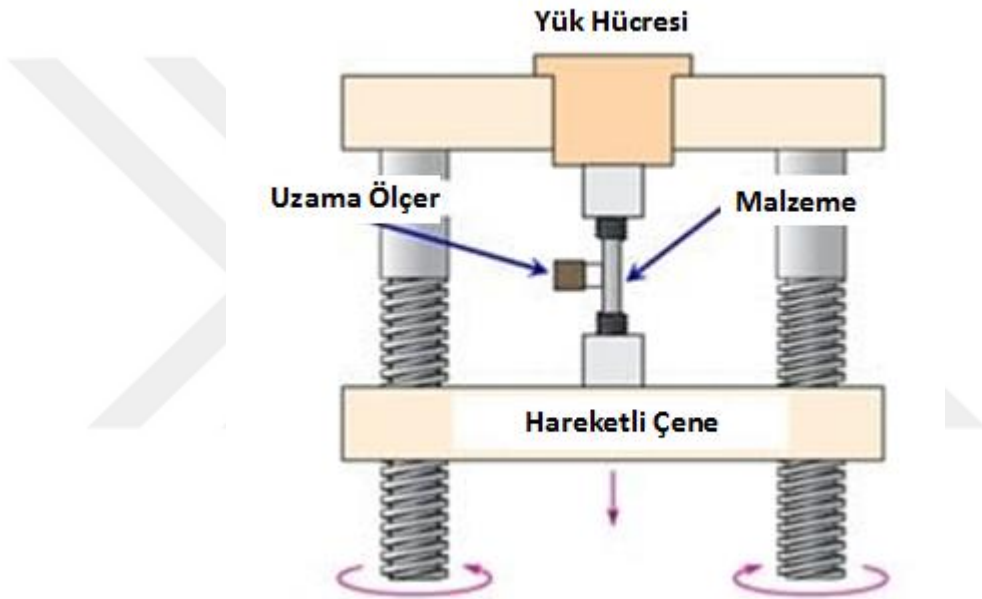
3.2.1. Çekme İşlemleri

Malzeme biliminde en iyi bilinen ve en yoğun kullanılan testlerden birisi çekme testi olup, eksensel bir kuvvet ile malzemenin davranışını bilmek adına kullanılır. Metal, alaşım, plastik, kauçuk gibi çok geniş bir malzeme grubuna uygulanır.

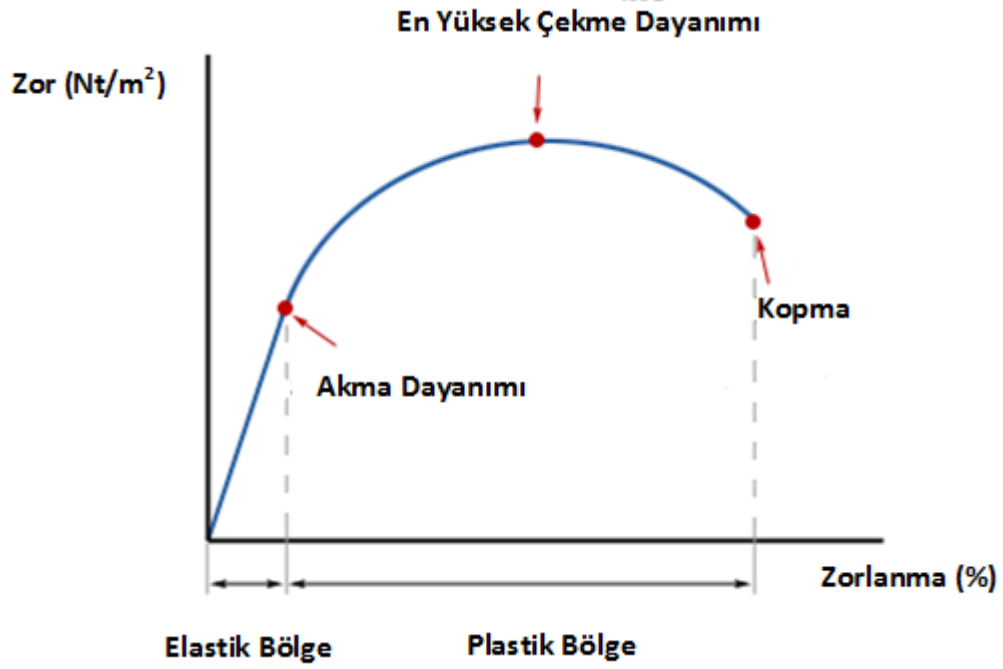
Tüm malzemeler atomlardan oluşur. Atomları yaylarla bağlı kütleler gibi düşünerek uygulanan kuvvet altında atomların davranışlarını anlamak kolaydır. Kuvvet artırılırken yaylar uzar ve dolayısıyla malzeme uzar. Bu uzama elastik bölge denilen bir bölge için uygulanan kuvvet ile doğrusaldır. Uygulanan kuvvet artırılırsa belli bir aşamadan sonra plastik bölge ortaya çıkar. Plastik bölge malzeme bilimcilere önemli bilgiler verir. Plastik bölgenin devamında kopma ortaya çıkar ki, bu da bize malzemenin süneklilik, gevreklik ve tokluk değerleri

hakkında bilgi verir. Şekil 3.1’de şematik olarak çekme test cihazı ve Şekil 3.2’de malzemeye uygulanan kuvvet ile ortaya çıkan tipik zor-zorlanma eğrisini göstermektedir. Zor, şekil değişimine neden olan kuvvet ile orantılı bir niceliktir. Diğer bir deyişle zor, malzeme üzerine birim kesit başına etki eden dış kuvvettir. Zorlanma ise şekil değiştirmenin derecesinin bir ölçüsüdür.

Küçük zor değerleri için; zor ile zorlanma arasında lineer bir ilişki vardır. Bu ilişki malzemenin yapısı yanında başka özelliklere de bağlı olup esneklik sabiti (veya esneklik modülü) olarak adlandırılır.



Şekil 3.1. Çekme cihazının şematik görünümü



Şekil 3.2. Tipik bir zor-zorlanma eğrisi

Bu eğri üzerinde malzeme bilimcilerin önemle vurguladıkları iki değer;

Akma mukavemeti (yield strength), uygulanan kuvvet altında malzemenin plastik olarak şekil değiştirmeden dayanabileceği maksimum yük miktarıdır. Malzemeye akma dayanımından daha fazla yük uygulandığında malzeme üzerinde kalıcı şekil değişimi meydana gelir.

Çekme Mukavemeti (tensile strength) ise malzemeye aynı doğrultuda fakat zıt yönlü iki kuvvet uygulandığında malzemenin kırılmadan dayanabileceği maksimum yük miktarıdır. Uygulanan kuvvet malzemenin çekme mukavemetini geçtiği anda malzemedede kopma meydana gelir.

3.2.2. Sertlik İşlemleri

Uygun olarak seçilen sert bir cisim, başka bir cismin yüzeyine batırılmaya çalışılırsa o malzeme üzerinde iz bırakır. Bırakılan izin büyüklüğü malzemenin sertliği ile orantılıdır. Bu düşünceden hareketle sertlik testleri geliştirilmiştir. Kısaca tanımlamak gerekirse sertlik, bir malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlamak mümkündür. Sertlik deneylerinde batırılan uç genellikle sertleştirilmiş çelik, sinterlenmiş

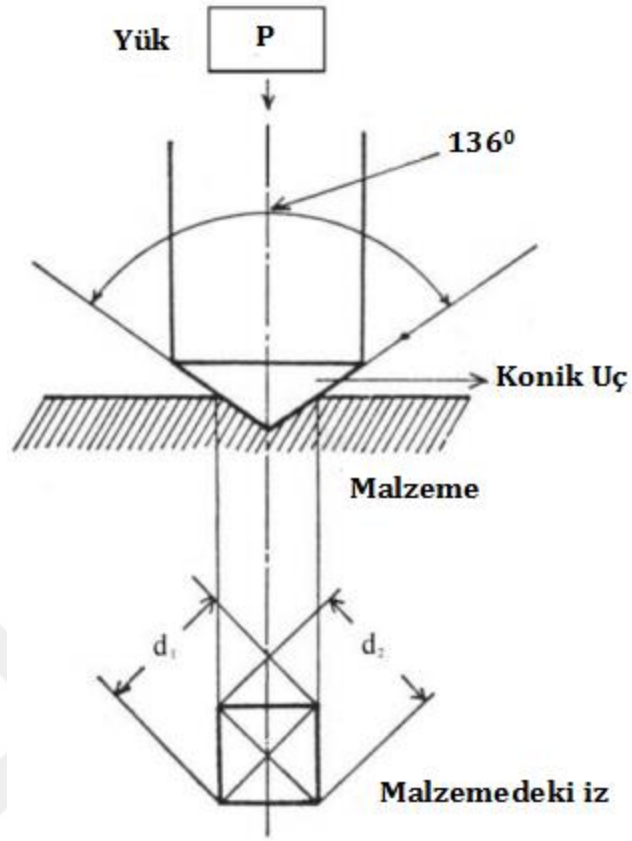
tungsten veya elmas gibi sertliği test edilecek malzemenin sertliğinden çok daha yüksek bir malzemededen seçilir. Öte yandan batırılan uç, bilya, piramit veya koni şeklindedir.

Sertlik deneyleri basit ve tahribatsız bir uygulama olduğu için yaygın olarak kullanılmakta ve malzemenin geçmişı ile işlenebilirliği hakkında bilgi vermektedir. Sertlik testleri, genellikle yüzeyi çizmek (Mohs sertlik skalası), yüzeye sert bir cisim ile kuvvet uygulamak ve oluşan deformasyon ölçmek (Brinell, Vickers, Knoop ve Rockwell sertlik ölçme yöntemi) ya da yüzeye sert bir bilya düşürmek (Shore sertlik ölçümü) suretiyle uygulanır. En yaygın kullanılan ve bilinen sertlik ölçme yöntemi Vickers sertlik testi olarak bilinmektedir. Vickers sertlik testinde şekilde görüldüğü gibi batıcı ucu kare kesitli ve tepe açısı 136° olan elmas piramit bir uç kullanılır. Vickers sertlik değeri ise aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

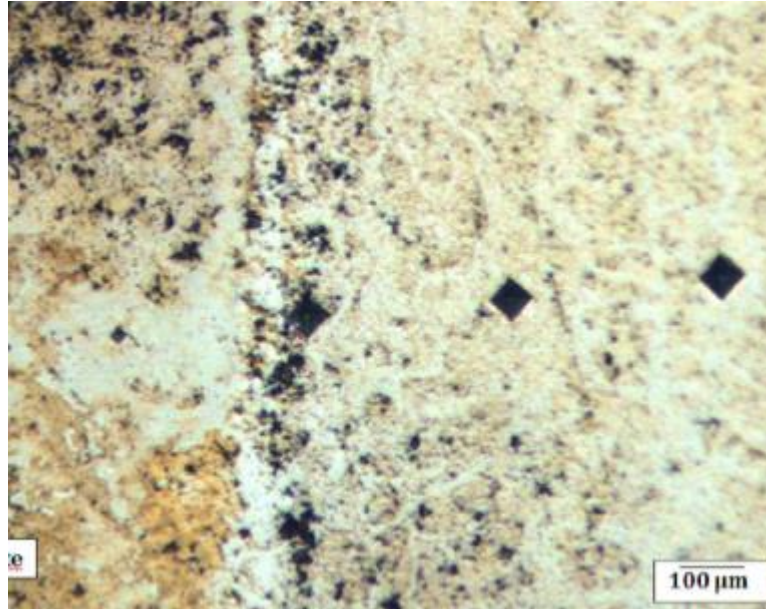
$$VSD = \frac{P}{S} \quad VSD = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2}$$

$$VSD = \frac{1.854 \times P}{d^2}$$

Şekil 3.3 Vickers sertlik testi iğnesinin şematik olarak gösterilmiş ucu, Şekil 3.4'de borlanmış bir malzeme yüzeyinden elde edilen deneysel Vickers sertlik izleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Vickers ucunun şematik görünümü



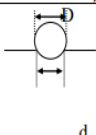
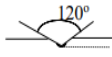
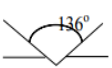
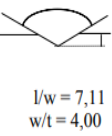
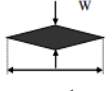
Şekil 3.4. Vickers ucu ile elde edilen ve yüzeyde oluşan sertlik izleri (Uçar, 2016)

Vickers sertlik testinin metaller yanında seramik malzemeler için en güvenilir ve en duyarlı sertlik değerlerin verdiği belirtilmektedir. Vickers sertlik testine

benzer bir başka test çeşidi Rockwell olup Vickers a benzemektedir. Bu yöntemde çeşitli çaplarda sert küresel toplar yanında tepe açısı 120° olan batırma uçları kullanılır. Brinell sertlik testinde ise sert bir bilye bir kuvvet ile malzeme yüzeyine batırılır.

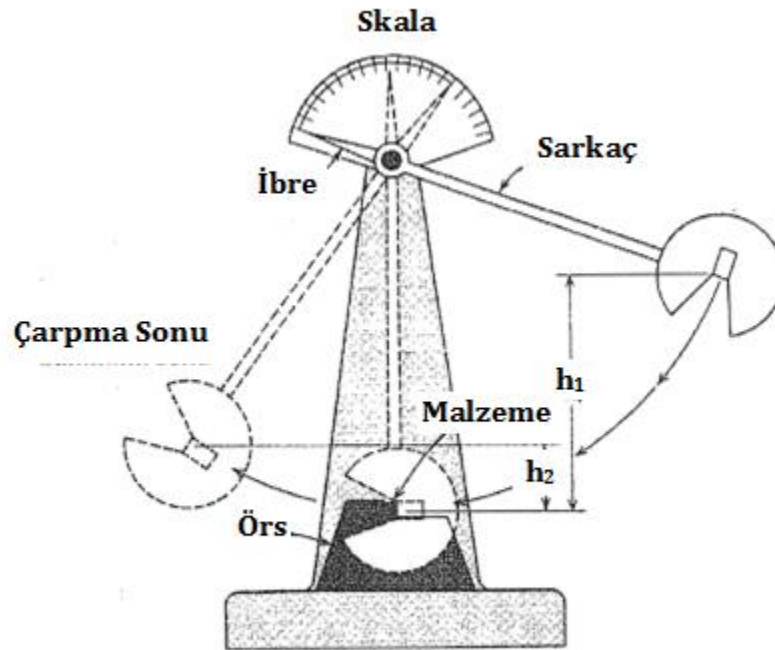
Bir malzemenin sertliğinin ölçümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biriside Knoop sertlik ölçme yöntemidir. Bu yöntemde tepe açısı 130° ve 172° 30' olan piramit piramit şekilli elmas bir uç malzeme üzerine batırılır. Vickers sertlik testine göre daha düşük kuvvetler uygulanır ve cam ve seramik gibi gevrek malzemelerde iyi sonuçlar vermektedir. Çizelge 3.1'de bütün sertlik testlerinin bir özeti verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sertlik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması (Btü, 2019)

Sertlik		Simge	Batıcı Uç	İz Şekli		Yük	Sertlik Değeri Formulu	Prensip	Uygulama
				Ön Görünüş	Üst Görünüş				
Brinell		H _B	10 mm çapında çelik veya tungsten karbür bilya			500-3000 kg	$BHN = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle kg/mm ²	Dökme demir, çelikler ve demir dışı alaşımlar
Rockwell	A	R _A	Elmas koni			60 kg	100-500 t	Batıcı ucun malzemeye batma derinliği	Çok sert malzemeler
	C	R _C				150 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	D	R _D				100 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	B	R _B	1/16 inç. Çapında çelik bilya			100 kg	130-500 t		Pirinç ve düşük mukavemetli çelikler
	F	R _F				60 kg			Çok yumuşak malzemeler
	G	R _G				150 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
	E	R _E				100 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
Vickers		HV, DPH	Elmas pramit			10-30kg	$VHN = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle kg/mm ²	Sert malzemeler
Knoop Mikrosertlik	KHN	Elmas pramit			25-10000 gr	$KHN = 14,2 \cdot \frac{F}{l^2}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle kg/mm ²	Yapıyı oluşturan bileşenler,nitrüz e edilmiş parçalar, elektrolitik kaplanmış malzemeler	

3.2.3. Darbe İşlemleri

Malzeme tasarımcılar ve mühendisler, malzeme seçimi yaparken malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek ya da gevrek kırılacağını, kırılırken ne kadarlık bir enerji soğuracağını diğer bir deyişle kırılma enerji miktarının ne kadar olabileceğini bilmek isterler. Bu nedenle, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde sıkça başvurulanan yöntemlerden biriside çarpma deneyleridir. Şekil 3.5’de şematik olarak gösterilen çarpma cihazı ile standart çentikli bir çubuğu bir vuruşta kırmak için gereken enerji ölçülür. Bu deney sonucunda malzeme içindeki tane sınırlarında çökelen veya oluşan fazlar, iç çatlaklar ve ikinci fazlar gibi iç gerilmeleri artıran faktörlerin varlığından kaynaklanan çentik duyarlılığı belirlenir.



Şekil 3.5. Standart bir çarpma deneyinin şematik görünümü

Çentik malzemenin tam ortasından açılırsa ve test cihazının kırma çekici çentikli numunenin çentik hizasının arka tarafından çarparak kırarsa, deneyin adı CHARPY çentik darbe deneyi, çentik, malzemenin ortasından daha uzak bir bölgede oluşturulur ve test cihazının kırma çekici, çentikli malzemenin uç kenarına yakın yerden çarparak kırar ise, deneyin adı IZOD çentik darbe deneyi

adını alır. Her iki çentik darbe deneyinde kullanılan malzemelerin boyutları ve çentik geometrileri, standartlarda belirtilen geometrik ebatlarda yapılması gerekir. Charpy V çentik deneyi için açılan V çentik ve darbe sonucu malzemenin görünümü Şekil 3.6’da gösterilmiştir..



Şekil 3.6. Charpy V çentik deneyi için açılan V çentik ve darbe sonucu malzemenin görünümü

3.2.4. Yüzey İşlemleri

Yüzey işlemleri, bir amaç için kullanılacak malzemenin bazı özelliklerini geliştirmek için uygulanır. Bu işlem, yeni bir malzeme oluşturmaz; malzemenin sonraki kullanımları için o malzemenin yüzey özelliklerini değiştirir, geliştirir. Başlıca kullanım yeri, malzemenin sertlik, aşınma ve korozyon direncini artırmak olarak söylemek mümkündür. Öte yandan günlük yaşantımızda dekorasyon, yansıtıcılık, boyama ve ışığa duyarlı yüzeyler elde etmek için de başvurulan bir yöntemdir. Günümüzde yüzey kaplama işlemlerine sağladığı ekonomik ve teknik avantajlar yüzünden büyük önem verilmektedir.

Yüzey kaplama işlemi kullanılacak malzeme yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek malzemeyi geliştirmek amacıyla yapılır. Yani malzeme yüzeyinin ve kaplanacak malzemenin tek başlarına sağlayamadığı özellikleri birlikte başarmak adına yapılır ve yüzey kaplama işlevi yüzey işlemleri olarak da isimlendirilir.

Yüzey kaplama teknikleri temelde iki gruba ayrılır;

1. Yüzey işlemleri:_Bir malzeme yüzeyine başka bir malzeme difüzyonu ile yüzeyde bir bileşen tabakası oluşturma esasına dayalı teknikler. Nitrürleme, sementasyon, borlama, karbürleme.
2. Yüzey kaplamaları: Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması yada çöktürülmesi esasına dayanır. Kaplama malzemesi bulunduğu fiziksel hale göre, bu kaplamaları üçe ayırabiliriz.
 - a. Gaz halinde yapılan kaplamalar(kimyasal buhar biriktirme yöntemi, fiziksel buhar biriktirme yöntemi ve plazma destekli diğer kaplamalar) (PVD; CVD)
 - b. Çözeltiden gerçekleştirilen kaplamalar (Elektro kimyasal kaplama, kimyasal redüksiyon işlemleri, akımsız kaplamalar; sol jel metodu)
 - c. Sıvı veya yarı sıvı halden yapılan kaplamalar (Lazer, kaynak, termal sprey yöntemleri).

Mühendislik uygulamalarında en sık başvurulanan yüzey işlemleri, nitrürleme, sementasyon, borlama, karbürleme olarak sıralanabilir. Ülkemizin mükemmel bor deposu olduğu ve kimyasal özellikleri açısından oldukça kolay uygulanabilmesi adına borlama işlemi iyi bilinen ve yoğunlukla uygulanan bir yüzey işlemidir.

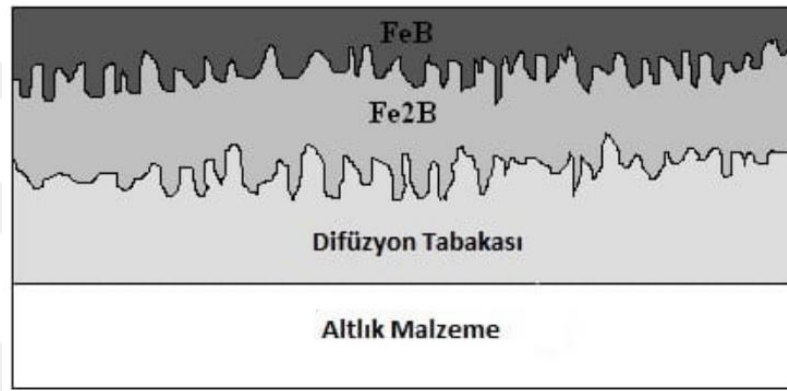
3.2.5. Borlama İşlemi

3.2.5.1. Borlama nedir, niçin yapılır?

Borlama işlemi, bor atomlarının malzeme yüzeyine difüzyonu ile malzeme yüzeyini güçlendirmek için yapılan bir yüzey sertleştirme işlemi olarak tanımlanır. Termokimyasal bir yüzey işlemi olarak da bilinen borlama işlemi, 700-1000°C sıcaklık aralığında, 1-12 saat süre ile borlama ortamlarında gerçekleştirilir. Ortamı; katı, sıvı, gaz ve plazma olabilmektedir. Bu işlem ile metal ve alaşım malzemelerin yüzeylerinde ciddi sertlik değerleri oluşturmak mümkündür. Öte yandan, bu işlem malzemenin korozyon direncini artırması yanında yüksek sıcaklıklarda malzemenin belirtilen özelliklerini korumak içinde

kullanılır. Borlama işlemi, endüstriyel olarak metal ve demir tabanlı alaşımlar (alüminyum, silisyum vb içeren çelikler ile) takım çelikleri, paslanmaz çelikler, döküm çelikleri gibi yaygın bir malzeme grubuna uygulanabilir.

Borlama işlemi sonucunda bor yüzeylerinde borür tabakası oluşur. Bu tabaka, çok yüksek bir sertlik değerine (1500-2300 HV), yüksek ısı direnç, matrise yüksek tutunma özelliği, düşük sürtünme katsayısı ve asidik ortamlara dayanıklılık gibi üstün özelliklere sahiptir. Borür tabakası ile ana malzeme (matris) arasında ise geçiş bölgesi yer almaktadır (Şekil 3.7)

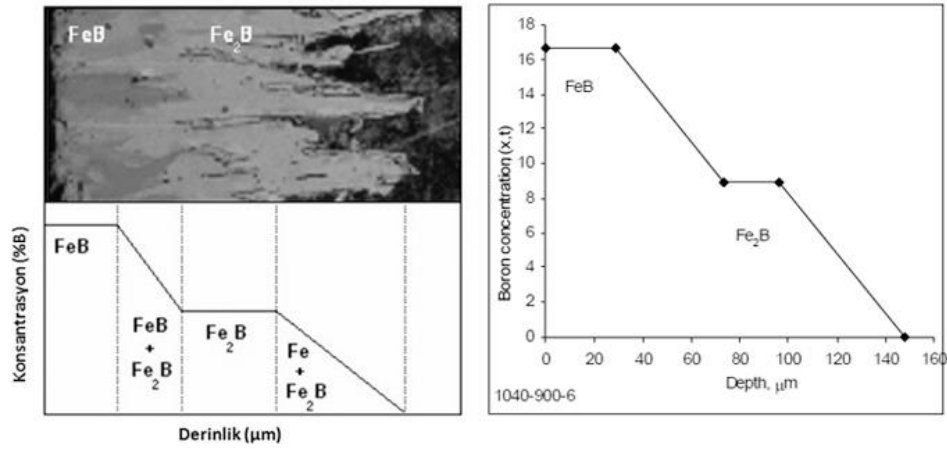


Şekil 3.7. Borlama işlemi ile yüzeylerde oluşan borür fazlarının görünümü

Şekil 3.7’de ise AISI 1040 çeliği için borür tabakası elemanları FeB (dış kısım) ve Fe₂B (iç kısım) fazlarının bazı özellikleri ve bor konsantrasyonu şematik olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bor fazlarının bazı özellikleri (Selçuk, 1994).

Özellik	Fe ₂ B	FeB
Ergime noktası (°C)	1390	1550
Mikro Sertlik (HV)	1600-2000	1600-2400
Uzama Katsayısı (1000 °C)	$8.10^{-6} 1/^{\circ}\text{K}$	$10-16.10^{-6} 1/^{\circ}\text{K}$
Termal İletkenlik (1000 °C)	0.2-0.3 W/(cm °C)	0.1-0.2 W/(cm °C)
Küri Noktası (°C)	742	325
Yoğunluk (gr/cm ³)	7.00	6.3
Kristal Sistem	Tetragonal hacim merkezli	Ortorombik
Kafes Parametreleri (Å)	a:5.078, b:4.249	a:4.053, b:5.495, c:2.496

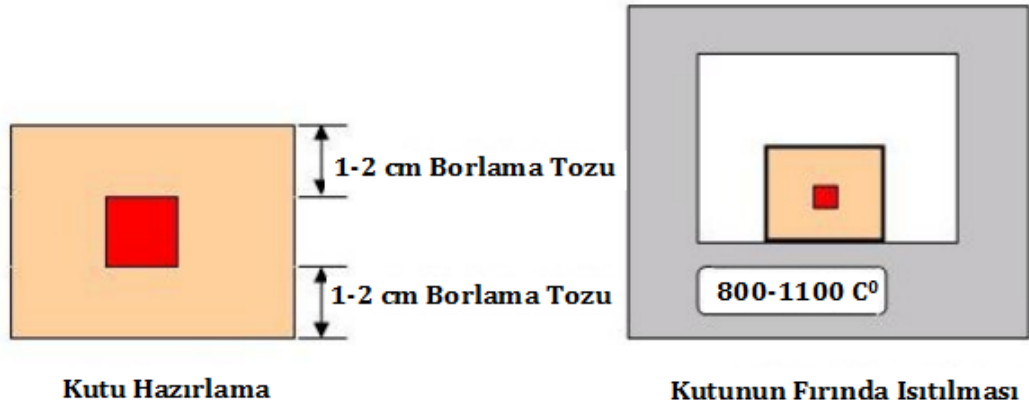


Şekil 3.8. Bor fazlarının sertlik değerlerinin şematik görünümü (Alper, 2012)

3.2.6. Borlama Yöntemleri

Borlama yöntemi olarak, katı (paket) borlama, sıvı borlama, gaz borlama ve plazma borlama yöntemlerinden bahsetmek mümkündür.

Katı borlama yönteminde, borlama ortamı olarak katı maddeler kullanılır. Genel olarak B₄C, KBF₄ ve SiC içeren toz veya granürden oluşan bir karışım ile borlama işlemi yapılacak malzeme bir fırın içine yerleştirilir ve 800-1100°C sıcaklık aralığında ve 2-10 saat süreyle inert bir atmosferde fırın içinde karışımın malzeme içlerine nüfuz etmesi sağlanır.



Şekil 3.9. Katı borlamanın şematik görünüşü (Mathuschka, 1980).

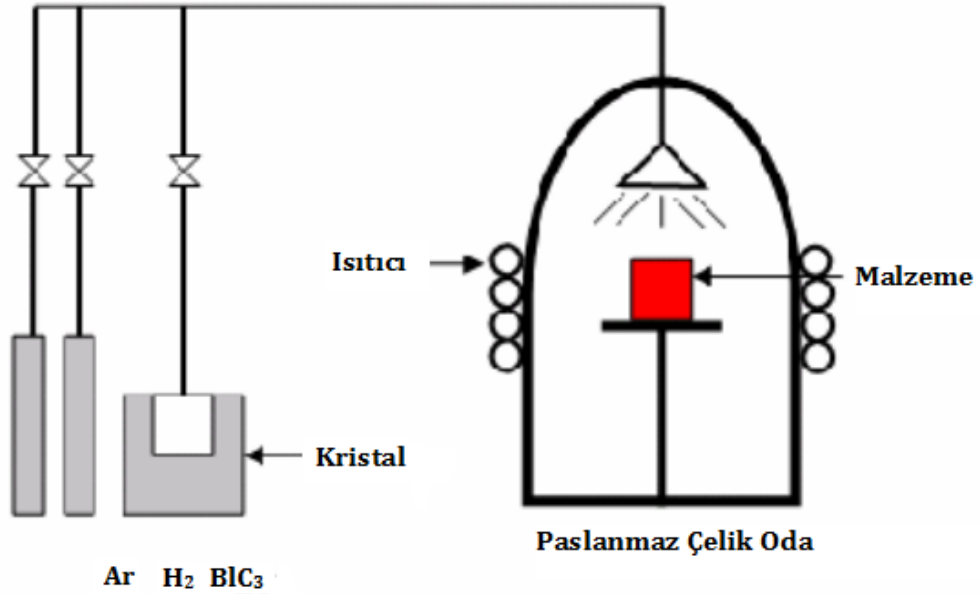
Uygulaması kolay, basit ve ekonomik bir borlama yöntemi olan katı borlamada bir çok borlama bileşiklerinin elde edildiği belirtilmektedir. Ancak, H. P. Kehler bor kaynağı olarak B C, aktivatör olarak KBF, deoksidant ve dolgu malzemesi olarak SiC kullanıldığı zaman tek fazlı borür tabakaları elde edilebildiğini göstermiştir. Yöntemin tek dezavantajı yüzeydeki bor tabakasının homojen olmaması olarak gösterilebilir.

Sıvı borlamada, adından da anlaşılacağı üzere verici ortam genel olarak boraks ve borik asit den oluşan bir sıvıdır. İşlem borlanacak malzemenin sıvı orama daldırılması ile gerçekleştirilir. Daldırma süresi borlama süresi olup bu süre 900-1100 °C sıcaklıkta ve 2-9 saat kadardır. Sıvı ortamda yapılan borlama elektrik akımı uygulanarak gerçekleştiriliyor ise "elektroliz ile borlama" adını alır.

Sıvı borlama işlemini pahalı bir işlemdir ve borlama işlemi sonunda borlanmış malzeme yüzeylerinde tuz tabakası birikir. Öte yandan, borlama banyosundaki ısı dağılımı homojen olmadığında yüzeyde oluşan borür tabaka kalınlığı da homojen olmaz. Literatürde akım yoğunluğu ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkiden de bahsedilmektedir.

Gaz ortamda borlamada bor kaynağı olarak, bor halojenürleri, diboran ve organik bor bileşikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde daha homojen bir bor dağılımı elde edilebilmektedir. Ayrıca, gaz ortamda yapılan borlama işleminde,

bor potansiyelinin ayarlanabilmesinden dolayı, tek fazlı bir borür tabakası elde etmek mümkündür. Bu işlemin bir avantajı olarak görülebilir.



Şekil 3.10. Gaz ortam da borlamanın şematik görünümü (Küper vd., 2000).

Bu borlama yönteminde kullanılan diboran temel bileşiktir ve çok zehirlidir. Ayrıca diboran hidrojen ile karıştırıldığında çok pahalıdır. Öte yandan, trimetilbor $[(CH_3)_3B]$ ve trietilbor $[(C_2H_5)_3B]$ ile yapılan gaz ortam borlamaların da, bu bileşiklerin yüksek oranda karbon içermeleri nedeniyle karbürizasyon gerçekleşebilmektedir. Bu konular yöntemin dezavantajları olarak görülür.

Gaz durumdaki maddeye enerji vererek plazma haline getirmek mümkündür. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren karışımdır. Uygulamada plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma borlama BCl_3 , BF_3 , B_2H_6 ve TEB (trietyl boran) gibi bor bileşikleri ve redüktan olarak hidrojen gaz kullanılarak, 800-1100°C sıcaklıkta, yaklaşık 10^{-2} Pa gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş bir plazma içerisinde yapılan borlamadır ve son yıllarda bu borlama yöntemi yoğun olarak çalışılmaktadır. En önemli avantajı, borür tabakasının bileşim ve kalınlık kontrolünün sağlanabilmesi, dezavantajı ise dezavantajları BCl_3 ve B_2H_6 gazları kullanılmasıdır. Bu gazlar, pahalı, zehirli, patlayıcıdır ve korozyona neden olmaktadır.

4. MATERYAL ve METOD

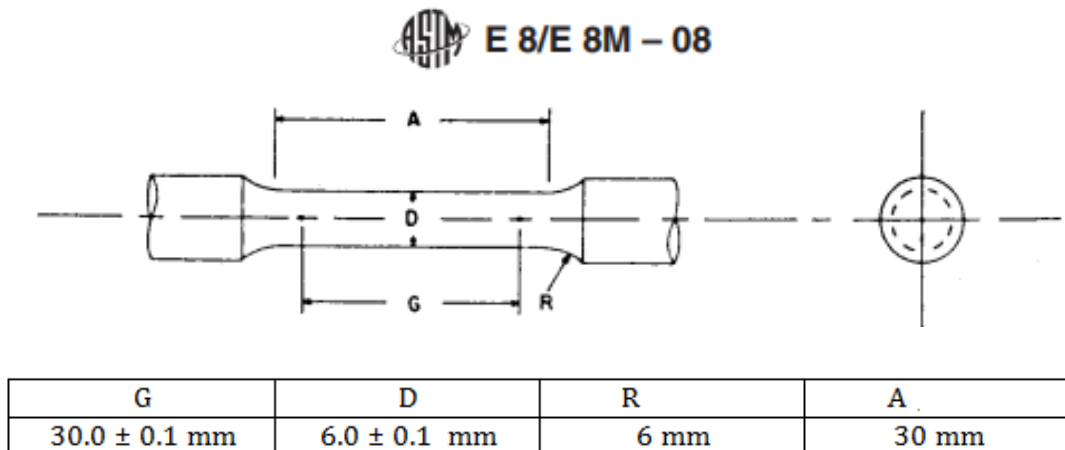
Bu çalışmada, malzeme olarak orta karbonlu çelik grubundan AISI 4340 (34CrNiMo6) çeliği kullanılmıştır. Çalışma da kullandığımız 34CrNiMo6 çeliğine Çizelge 4.1'deki deneysel işlem aşamaları sırasıyla uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Deneysel işlem aşamaları

Prosesler
Numuneleri yapılacak test standartlarına uygun işleme
Isıl işlem ve Borlama
Çekme testi
Çentik darbe testi
Hassas kesme
Bakalite alma
Zımparalama ve parlatma
Mikro sertlik ölçme
Dağlama
Mikroyapı inceleme

4.1. Numuneleri Yapılacak Test Standartlarına Uygun İşleme

Numuneler ASTM E 8/E 8M – 08 standardına göre işlenmiştir. Standart ölçüleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



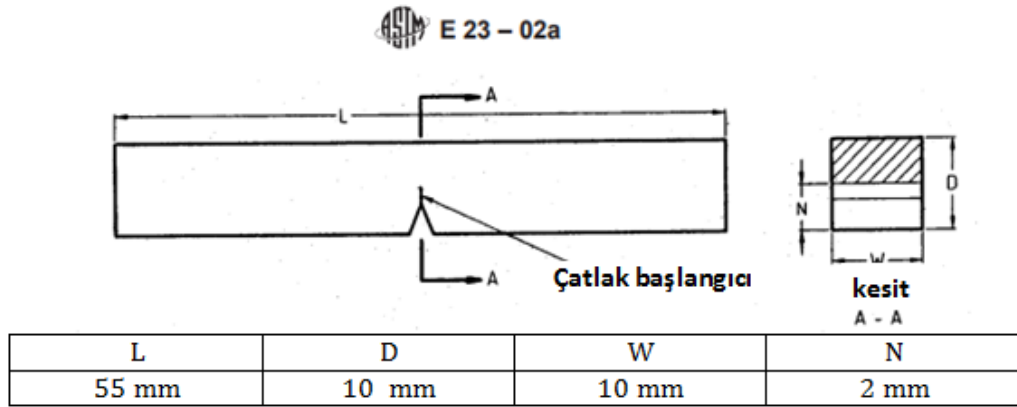
Şekil 4.1. ASTM E 8/E 8M – 08 çekme testi standardı ölçüleri

Şekil 4.2’de ise ASTM E 8/E 8M-08 standardına göre işlenmiş parçanın resmi verilmiştir.



Şekil 4.2. ASTM E 8/E 8M – 08 standardına göre işlenmiş parça

Numunelere ASTM E23 Charpy metal testi standardına göre işlenmiştir. Standart ölçüleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. ASTM E23 Charpy metal testi standardı ölçüleri

Şekil 4.4’de ASTM E23 Charpy metal testi standardına göre işlenmiş parçanın resmi verilmektedir.



Şekil 4.4. ASTM E23 Charpy metal testi standardına göre işlenmiş parça

Mikroyapı incelemeleri için ölçüleri (kalınlık x genişlik x uzunluk) 10 x 10 x 55 mm olan numeneler hazırlanmıştır. Şekil 4.5'de işlenmiş parçanın resmi görülmektedir.



Şekil 4.5. Mikroyapı incelemeleri için işlenmiş parça

4.2. Isıl işlem ve Borlama

Uygun ebatlarda kesilen ve ön bir ısıtıl işleminden geçirilen 34CrNiMo6 Ekobor-2 tozunun içerisine Şekil 4.6'daki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6. 4340 numunelerinin Ekabor II tozu içerisine yerleşimi

Isıl işlem için Protherm HLF100 marka kül fırını kullanılmıştır. Şekil 4.7'de fırın ve numunelerin fırına yerleşimi verilmiştir.



Şekil 4.7. Protherm HLF100 ısıtım fırını ve numunelerin yerleşimi

4340 numuneleri Çizelge 4.2'de verilen parametrelerde Ekabor-2 tozu içerisinde ısıtım işlemine tabii tutulmuştur. Soğuma işleminde numuneler; fırın sıcaklığı, oda sıcaklığına düşüne kadar fırın içerisinde bekletilmiştir.

Çizelge 4.2. 34CrNiMo6 numuneler ısıtım işlem parametreleri

Sıcaklık (°C)	Süre(saat)
850	2
	4
	6
900	2
	4
	6
950	2
	4
	6

4.3. Çekme Testi

Numunelere ASTM E 8/E 8M – 08 standardına göre çekme testi yapılmıştır. Çekme deneyleri Shimadzu AGS-X 10kN cihazıyla yapılmıştır. Cihazın resmi Şekil 4.8 'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Shimadzu AGS-X 10kN çekme cihazı

Çekme numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanması Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Çekme numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanması

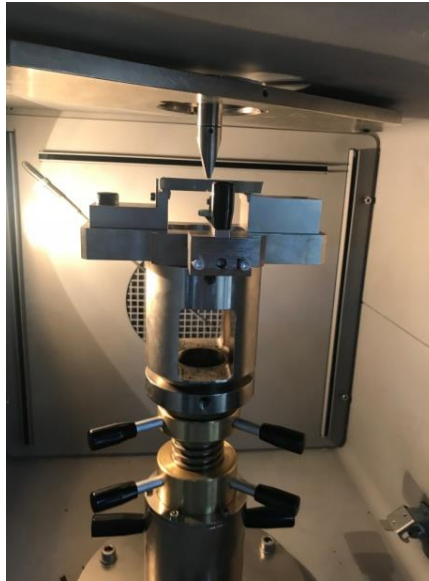
4.4. Çentik Darbe Testi

Numunelere ASTM E23 Charpy metal testi standardına göre çentik darbe testi yapılmıştır. Çentik darbe deneyleri Instron Ceast 9350 cihazıyla yapılmıştır. Cihazın resmi Şekil 4.10'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Instron Ceast 9350 cihazı

Çentik darbe testi yapılacak numunelerin deney düzeneği Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Çentik darbe testi deney düzeneği

4.5. Hassas Kesme İşlemleri

Kaplanmış ve kaplanmamış 34CrNiMo6 numunelerinin mikroyapı incelemelerini yapmak için numunelerden (kalınlık x genişlik x uzunluk) (10x10x10 mm) kesitinde numunelere kesilmiştir. Hassas kesme işlemi Şekil 4.12 'de verilen ATM GMBH Brillant220 cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.12. ATM GMBH Brillant220 cihazı

4.6. Bakalite Alma İşlemleri

Hassas kesme cihazı ile (kalınlık x genişlik x uzunluk) (10x10x10 mm) ölçülerine kesilmiş kaplanmış ve kaplanmamış 34CrNiMo6 numunelerinin zımpara ve parlatma işlemi öncesinde zımparalama ve parlatma cihazına montesi için sıcak bakalite alınmıştır. Bakalite alma işlemi Şekil 4.13'da verilen ATM GMBH Opal 410 cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.13. ATM GMBH Opal 410 cihazı

Bakalite alma işlemi sonrası numuneler Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. Bakalite alma işlemi sonrası numuneler

4.7. Zımparalama ve Parlatma İşlemleri

Zımparalama ve parlatma işlemi bakalite alınmış numunelerin mikroskopik incelemeye uygun hale getirilmesi için yapılan işlemdir. Parlatma işleminin temel amacı, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak suretiyle, ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmek ve yüzey bölgesinde oluşan deformasyon bölgesinin azaltılması

hedeflenmektedir. Zımparalama ve parlatma işlemi Şekil 4.15'de verilen ATM GMBH Saphir 520 cihazı ile yapılmıştır.



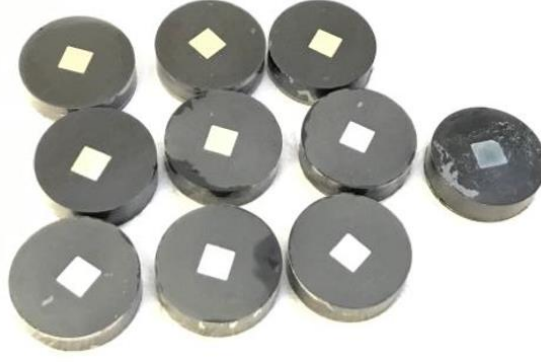
Şekil 4.15. ATM GMBH Saphir 520 cihazı

Zımparalama ve parlatma işleminin her adımında daha ince aşındırıcılar kullanılmaktadır. İşlem adımları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Zımparalama ve parlatma işlemi adımları

STEP	MEDIUM		 rpm	 N	 min	
 Planar grinding	SiC-paper/foil P320 (280)	H ₂ O	250-300	▶▶	30	Until plane
 Pre-polishing	ALPHA/BETA	Dia Complete Poly, 9µm	120-150	◀▶	25	5:00
 Polishing	GAMMA	Dia Complete Poly, 3µm	120-150	▶▶	25	5:00
 Final polishing	LAMBDA/OMEGA	Eposal 0.06µm	120-150	◀▶	20	2:00 (H ₂ O for last 0:30)
 Etching (chem.)	V2A reagent					0:05-0:30

Parlatma işlemi sonunda numuneler alkolle temizlenip, hava püskürtülerek kurutulmuştur ve Şekil 4.16'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Parlatma işlemi sonrası numuneler

4.8. Mikro Sertlik Ölçme

Parlatma işlemi sonrası numunelere en dıştaki kaplama tabakasından ana matrise doğru her kaplama katmanında 3'er adet iz alınarak mikro vickers sertlik ölçümüne tabii tutulmuştur. Mikro vickers sertlik işlemi Şekil 4.17'de gösterilen TTS Matsuzawa HWMMT-X3 cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.17. TTS Matsuzawa HWMMT-X3 cihazı

Her numuneden toplamda 9 adet Vickers sertlik ölçümü alınmıştır.

4.9. Dağlama

Parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığından yapının detayları gözlenemez; bunu sağlamak için yapıda kontrast oluşturmak gerekir; bunun için dağlama yapılır. 50ml %1-2 Nital ve 50ml %4 Pikral çözeltisi hazırlanmıştır. Nital çözeltisi: 1-5 ml HNO₃, 100ml %95 etil veya metil alkol kullanılarak hazırlanmıştır. Pikral çözeltisi: doymuş pikrik asit etil veya metil alkol %95 kullanılarak hazırlanmıştır. Numunenin mikroyapı olarak incelenecek yüzeyleri bu çözelti içerisinde 30sn kadar bekletilip kuru hava ile kurutulmuştur.

4.10. Mikroyapı İnceleme

Parlatma ve/veya dağlama işlemi sonucunda numuneler kalıntı, çatlak, porozite ve kaplama incelemesi gibi işlemler için Şekil 4.18'da verilen Olympus BX51TRF-6 marka optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

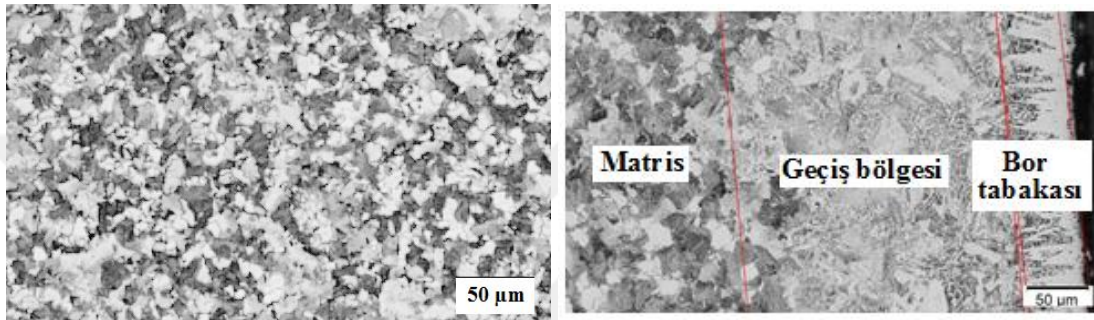


Şekil 4.18. Olympus BX51TRF-6 optik mikroskop

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

5.1. Mikro yapı

Uygun biçimlerde kesilen ve iç zorlanmalardan arındırmak için ön ısıtıl işleminden geçirilen 34CrNiMo6 çeliğinin mikro yapısı dağlandıktan sonra Şekil 5.1.a'da verilmiştir. Şekil 5.1.b'de ise borlama işlemi yapıldıktan sonra elde edilen mikro yapı görülmektedir.



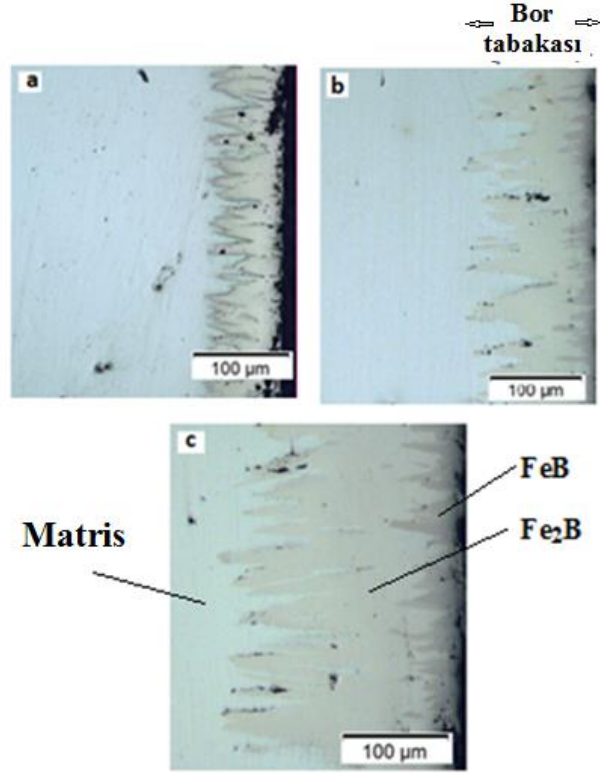
Şekil 5.1. 34CrNiMo6 çeliğinin borlama işleminden önce (a) ve sonraki mikro yapısı (b)

Çeliklerde borlama işlemi yapıldıktan sonra 3 farklı bölgenin oluştuğu açıkça görülmektedir. Bu bölgeler bor tabakası, geçiş bölgesi ve bor atomlarının etkilemediği matris bölgesidir. Bor tabakası sıcaklık ve borlama süresinin bir etkisi olarak bor atomlarının nüfuz ettiği bölge olarak tanımlanabilir. Geçiş bölgesi ise kısmen bor atomlarından etkilenen bölgedir. Bor atomlarının yarıçapı kısmen küçük olduğu için 34CrNiMo6 çeliğinin örgüsünde rahatlıkla içerilere doğru nüfuz edebilmektedirler. Zaten borlama işleminin temel özelliği de budur.

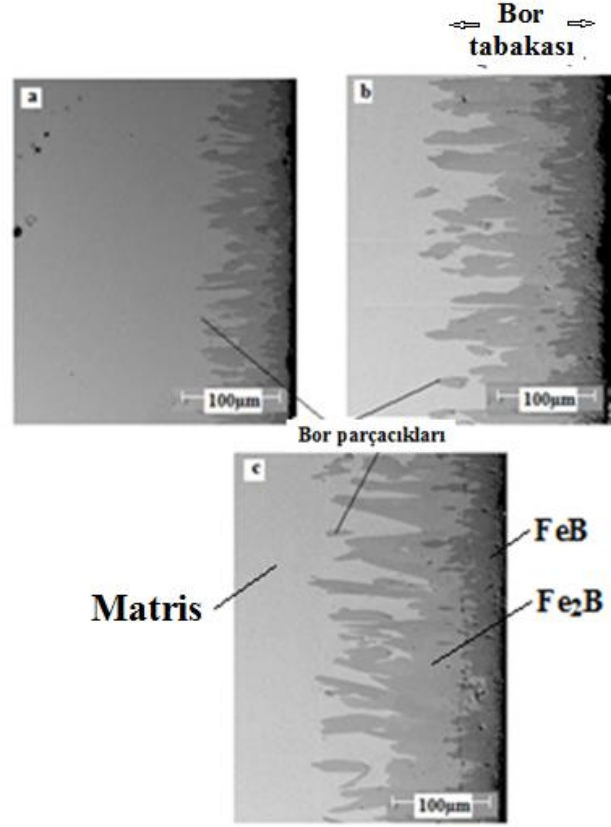
Şekil 5.1 bakıldığında, bor tabakasının ferrit (açık renkli kısımlar) ve perlit fazlarından (karanlık bölgeler) meydana geldiği gözükmemektedir. Geçiş bölgesinde ise, aşırı derecede bir tane büyümesinin oluştuğu ve yapının çoğunlukla ferrit ve perlit fazlarından meydana geldiğini söylemek mümkündür. Bu bölgede, bu bölgede az sayıda da olsa Cr matrisli karbürlere de rastanmıştır.

5.2. Bor Tabakası

850, 900 ve 950°C’de sıcaklıklarda ve her sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saatlik süre boyunca borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çelikleri, deneysel kısımda belirtilen işlemlerden sonra optik ve elektron mikroskopu ile kesit taraması için uygun hale getirilmiştir. Uygun hale getirilen çeliklerin kesitlerinden alınan optik ve SEM fotoğrafları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekil 5.2’de de görüleceği üzere borlama süresinin artması ile borür tabakasının genişliği artmaktadır. Aynı durum Şekil 5.3 de de görülmektedir. Bu kez borlama süresinin artması ile borür tabakası genişliği belirgin şekilde artmaktadır. Borlama süresi ve borlama sıcaklığının artması ile enerji kazanan bor atomlarının çelik içinde daha iç noktalara ulaşması zaten olası bir ihtimal olarak düşünülmelidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda da belirtildiği üzere, borlama sıcaklığı ve süresinin artması mevcut çalışmada da elde edildiği üzere bor tabakası genişliğini artırmaktadır (Güneş, 2013; Çetin ve Demirel, 2018; Güneş ve Yıldız, 2015).

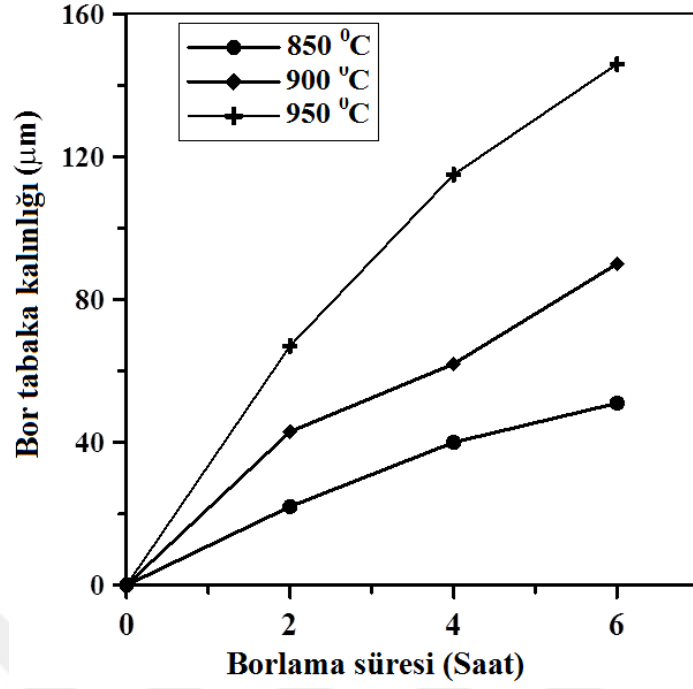


Şekil 5.2. 950°C'de (a) 2, (b) 4 ve (c) 6 saatlik borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan borür tabakasının optik mikroskop ile elde edilen görüntüleri.



Şekil 5.3. (a) 850°C, (b) 900°C ve (c) 950 °C’de sıcaklıklarında 6 saatlik süre boyunca borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan borür tabakasının elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri.

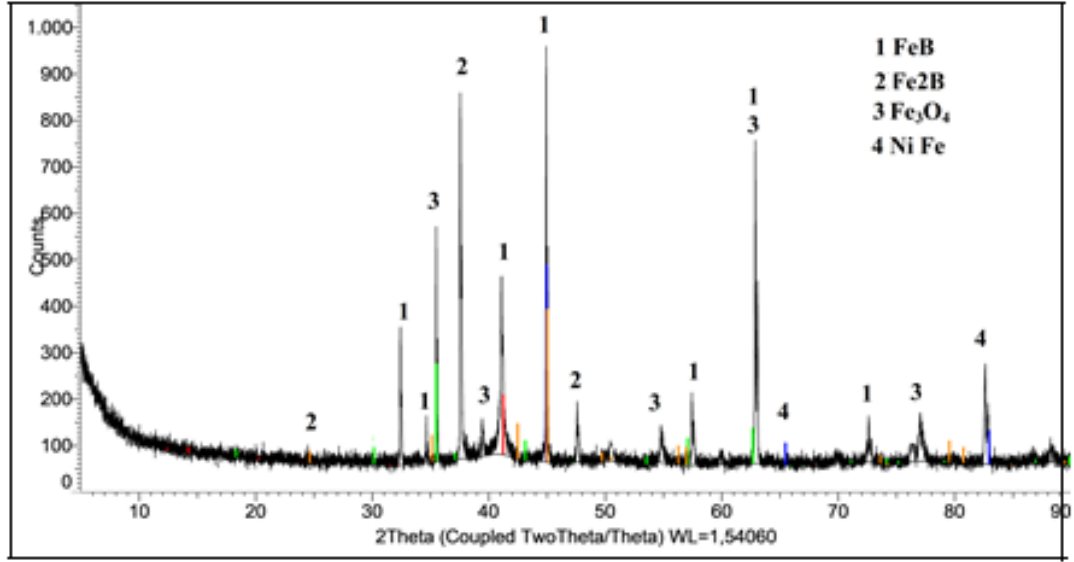
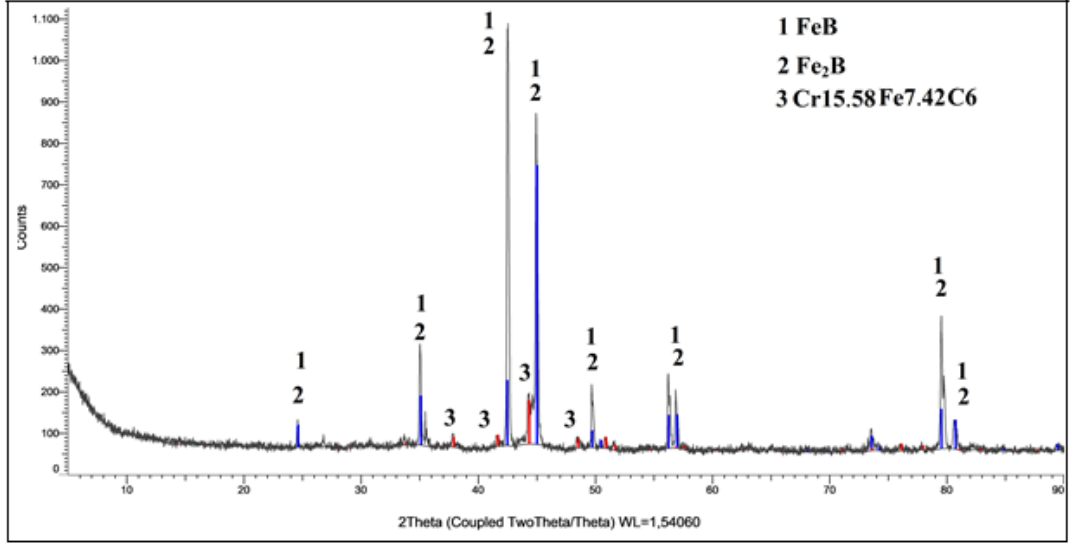
Borlama işlemi ile bor yüzeylerinde oluşan ve Şekil 5.2 ve 5.3’de bir kısmı verilen fotoğraflar yardımıyla borür tabakası genişlikleri Yu vd. (2005) tarafından verilen yöntemle ölçülmüştür. Ölçüm hatalarının en aza indirilmesi için birçok tekrardan sonra değerler kaydedilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları bir grafik halinde Şekil 5.4’de verilmiştir. Elde edilen değerler orta karbonlu çelikle için elde edilen değerlere oldukça yakın olarak bulunmuştur (Şen vd., 2005; Efe vd., 2008; Altınsoy vd., 2013; Topuz vd., 2019;).



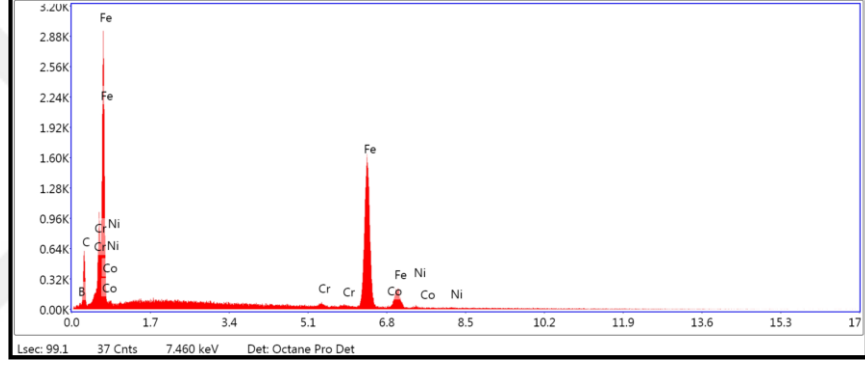
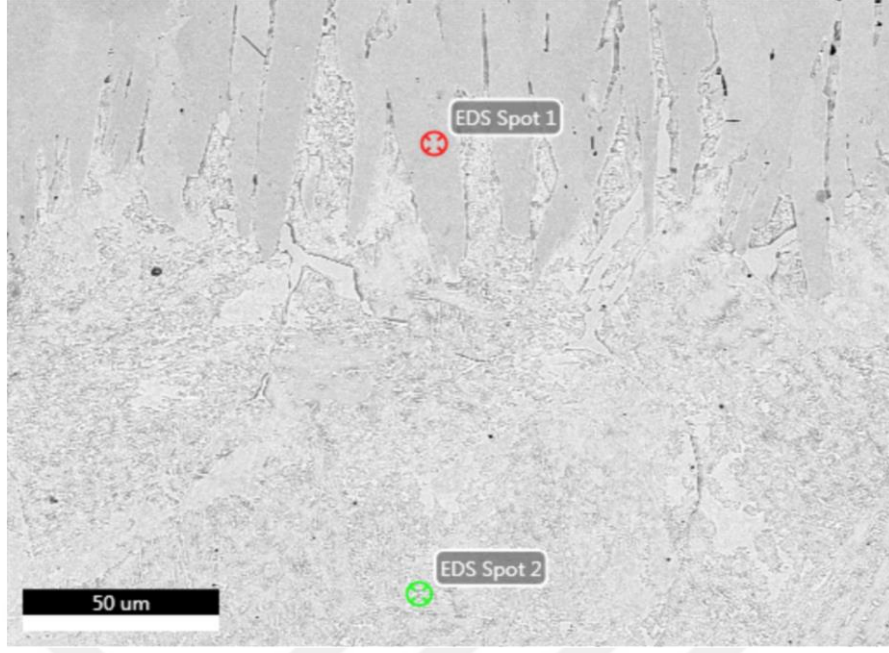
Şekil 5.4. Bor tabakası genişliğinin borlama süresi ve zamanı ile değişimi

5.3. Faz yapısı

Borlanan 34CrNiMo6 çeliklerinin bor tabakalarında oluşan faz yapıları XRD ve EDS analizleri ile belirlenmiştir. Şekil 5.5 ve 5.6'den de görüleceği üzere borlanan çeliklerin borür tabakalarında FeB ve Fe₂B fazları baskın olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'dan da görüleceği üzere, bu fazların dışında bir takım özel fazlarında oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.5. 6 saat için 850 °C ve 950 °C'de borlama işlemine tabi tutulan 34CrNiMo6 çeliğinden elde edilen X ışını kırınım (XRD) desenleri



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
B K	19.78	33.46	4.28	14.16	0.0579	1.0737	0.9141	0.2726	1.0000
C K	33.69	51.30	31.50	11.33	0.0631	1.1309	0.9275	0.1656	1.0000
CrK	0.43	0.15	4.02	25.64	0.0056	0.8450	1.0549	1.0136	1.5279
FeK	45.07	14.76	213.78	2.52	0.3966	0.8408	1.0610	1.0147	1.0315
CoK	0.58	0.18	2.33	41.76	0.0050	0.8216	1.0631	1.0075	1.0385
NiK	0.45	0.14	1.55	59.15	0.0038	0.8494	1.0645	0.9579	1.0457

Şekil 5.6. 850°C ve 4 saat boyunca borlama işlemine maruz bırakılan 34CrNiMo6 çeliğinden alınan EDS sonuçları

Şekil 5.5.a'da görüleceği üzere 850°C'de 6 saat borlanan 34CrNiMo6 çeliğinde FeB ve Fe₂B fazlarına ilaveten krom demir karpit (Cr, Fe)₂₃C₆(Cr_{15.58}Fe_{7.42}C₆) pikinide rastlanmıştır. Bu pik Ohta vd. (2000) ve Yamazaki vd. (2002) nin çalışmalarında da gözükmemektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda (950 °C) yapılan borlama işleminde ise FeB ve Fe₂B fazı yanında Fe₃O₄ magnetit fazı da gözükmemektedir (Şekil 5.5.b). Bu fazın gözükmesi yapının sıcaklıkla birlikte

kısmen oksitlendiğini göstermektedir. Öte yandan, Şekil 5.5.b ve Şekil 5.6'dan da görüleceği üzere bu sıcaklıkta, Fe-Ni elemental fazı da gözlenmiştir.

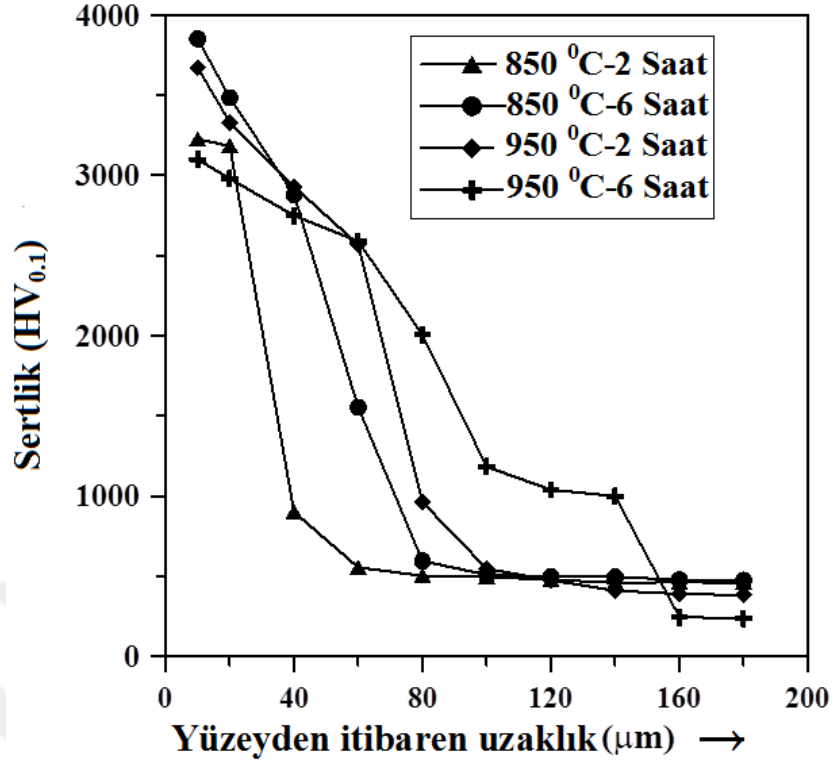
5.4. Sertlik

Borlama işlemi sonunda sertlik için uygun şekilde hazırlanan çeliklerin sertlik değerleri deneysel kısımda verilen TTS Matsuzawa HWMMT-X3 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7. 900°C'de 4 saat borlanan 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinde oluşan sertlik izleri

Bu cihaz ile yüzeylerde oluşturulan izlerden (Şekil 5.7) hareketle belirlenen sertlik değerleri Şekil 5.8'de grafik olarak verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere sıcaklık ve süre bor tabaksının sertliğini de artırmaktadır. Yüzeye yakın kısımlarda kısmen çelişkiler olmakla birlikte (oksitlenme gerekse kırılganlıklardan dolayı) yüzeyden içerilere doğru gidildikçe bu artış net bir şekilde gözükmemektedir. Öte yandan borlanmamış çeliklere göre borlanmış çeliklerin sertliklerinde yaklaşık 12 kata varan bir artış elde edilmiştir. Bu artışın literatürde de belirtildiği üzere bor tabakasında ortaya çıkan fazların bir neticesi olduğu söylenebilir (Altıntaş vd., 2016; Nora vd., 2019).



Şekil 5.8. 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyinden iç kısımlara doğru sertlik değerlerinin borlama sıcaklığı ve süre ile değişimi

5.5. Çekme Özellikleri

Borlanan 34CrNiMo6 çelikleri üzerinde yapılan çekme ve Charpy çarpma testleri sonucunda aşağıdaki tabloda verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Borlanan çeliklerde elde edilen mekanik özellikler

	Akma Zoru (Mpa)	Çekme Zoru (Mpa)	Uzama (%)	Çarpma enerjisi (J)
Original (Borlanmamış)	479,8	701,1	21,7	31
950 °C 2 saat borlanmış	1000,2	790,1	7,2	4,3

Bu çizelgeden de açıkça görüleceği üzere, borlama işlemi 34CrNiMo6 çeliğinde akma zoru, çekme zoru ve çarpma enerjisi değerlerinde ciddi bir artış meydana getirirken, uzama değerlerinde (süneklik) bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum borlama işleminin 34CrNiMo6 çeliğinde aşırı sertleşmeden dolayı yapının gevrekleştiğini göstermektedir.

5.6. Kinetik özellikler

Borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak bor tabakasının oluşum mekanizması bir çok araştırmacının ilgisi çekmiş ve bu konuda bu tabakanın borlama işlemi esnasında büyümesini açıklayan bir çok teori ortaya atılmıştır. Bu teorilere göre, bor tabakasının genişliği borlama süresine bağlı olarak,

$$d^2 = Kt \quad 1$$

şeklinde verilen parabolik bir büyüme arz etmektedir . Bu ifadede d , bor tabakasının genişliği, K bor tabakasının büyüme hızı sabiti ve t ise borlama süresidir. Öte yandan, bor atomlarının aktivasyon enerjisi (Q) ile büyüme hızı (K) arasında ilişki Arrhenius eşitliği ile verilmektedir (Dybkov vd., 2008; Rodrigues-Castro vd., 2012; Güneş vd., 2015).

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad 2$$

İfadede R evsensel gaz sabiti, T ise borlama sıcaklığıdır. $\ln K$ nın $1/T$ ye grafiğinin eğimi bor atomlarının aktivasyon enerjisini verir. Bu çalışmada bor atomlarının aktivasyon enerjileri de hesaplanmış ve literatürde bu çelik için elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bunun için Şekil 4.3 deki deneysel değerler Eşitlik 1 de kullanılarak K değerleri elde edilmiş ve sonra Eşitlik 2 kullanılarak Q değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. 34CrNiMo6 çeliği için hesaplanan K ve Q değerleri

Borlama Sıcaklığı T (K)	Büyüme hızı sabit K (m^2/s)	Activasyon enerjisi Q (kJ/mol)
1123	0.12×10^{-12}	239.4
1173	0.34×10^{-12}	
1223	0.98×10^{-12}	

K büyüme hızı sabiti bor difüzyonu ile kontrol edilir. Daha öncede belirtildiği üzere K , çeliklerdeki borlama işleminde bor tabakasının oluşumun hızına karşılık gelir. Tablodan da görüleceği üzere daha yüksek bir sıcaklık daha büyük bir K

demektir. Elde edilen Q aktivasyon enerjisi bu çalışma da 239.4 kJ/mol olarak hesap edilmiş olup, orta karbonlu çelikler için elde edilen değerlere yakın olduğu gözükmemektedir. Ancak, Q değerinin borlama işlemimde sıcaklık, alaşım elementi konsantrasyonu ve borlama yöntemi ile borlama ortamı ile sıkı sıkıya bağlı olduğu unutulmamalıdır. Aşağıdaki çizelge de bazı orta karbonlu çelikler için elde edilen Q değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3. Bazı orta karbonlu çelikler için elde edilen Q aktivasyon enerjisi değerlerinin borlama sıcaklığı ve borlama yöntemi ile değişimi

Çelikler,	Sıcaklık aralığı (°C)	Q (kJ/mol)	Borlama işlemi	Kaynak
AISI 4340	800-950	234	Tuz banyosunda borlama	Şen vd. (2005)
32NiCrMo6.4	850-950	294.3	Ekabor II tozu ile katı borlama	Gunes (2013)
AISI P20	850-1223 850-950	256.4 213.9	Ekabor II tozu ile katı borlama Micro-wave ile borlama	Kayalı (2015)
34CrAlNi7	850-950	270	Ekabor II tozu ile katı borlama	Efe vd. (2008)
34CrAlNi7	850-1050	169	Ekabor I tozu ile katı borlama	Topuz vd. (2019)
AISI P20	800-950	200	Ekabor II tozu ile katı borlama	Uslu vd. (2007)
AISI 1035	1073-950	227.5	Tuz banyosunda borlama	Kaouka vd. (2013)
34CrNiMo6	850-950	239.4	Ekabor II tozu ile katı borlama	Mevcut çalışma

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada orta karbonlu çelik sınıfından AISI 4340 (34CrNiMo6) çeliği kullanılmıştır. Yüksek dayanım, mükemmel korozyon direnci ile iyi bir işlenebilirlik özelliğine sahip olan bu çeliğin yüzey işlemi (borlama) ile mevcut özelliklerinin daha da üst düzeye çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç için, 34CrNiMo6 çeliği 3 farklı sıcaklık (850, 900 ve 950 °C) ve bu sıcaklık değerlerinde üç farklı süre (2, 4 ve 6 saat) boyunca Ekabor II ortamında borlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Yapılan literatür araştırmasında bu sıcaklık ve bu borlama ortamında bu çelikler üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle elde edilecek sonuçların literatüre katkısının önemli olacağı düşüncesi ile titiz bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda bu çelikle üzerinde borlama işleminin başarıyla gerçekleştirildiği ve baskın olarak FeB ve Fe₂B fazlarının oluştuğu gözlenmiştir. Bu fazlar yanında krom demir karpit (Cr,Fe)₂₃C₆ (Cr_{15.58}Fe_{7.42}C₆) fazı ile elemental Fe-Ni fazlarının oluştuğu ve bu fazlar nedeniyle matrise göre yaklaşık 12 kat lık bir sertlik değerinde artış gözlenmiştir. Ancak 950°C gerçekleştirilen borlama işleminde 34CrNiMo6 çeliklerde Fe₃O₄ fazından dolayı oksitlenme belirtileri gözlenmiştir. Elde edilen borür tabakası genişlikleri orta karbonlu çelikler için elde edilen değerler mertebesinde olup, artan bor diffüzyonu nedeniyle o çalışmalarda da elde edildiği gibi artan borlama sıcaklığı ve süresi ile bu tabaka genişliğinin arttığı gözlenmiştir.

Borlama işleminin 34CrNiMo6 çeliğinin mekanik özellikleri üzerine etkisine bakıldığında, açıkça görülmektedir ki, zaten üstün mekanik özelliklere sahip olan bu çeliğin mekanik özelliklerinde çok ciddi artışlar elde edilmiştir. Örneğin 950 °C de 2 saatlik bir borlama işleminin bu çeliğin akma zoru, çekme zoru ve çarpma enerjisinde önemli artışlar elde edilmiştir. Özetle borlama işlemi bu çeliği daha sert bir yapıya büründürmüştür.

Bu çalışmada ilave olarak, borlama sıcaklığı ve süresinin borür tabakasının büyüme kinetiği üzerine etkisi de araştırılmıştır. Araştırma bulgularında da açıkça görüleceği üzere, borür tabakası kalınlığı, borlama işleminin yapıldığı sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak artmaktadır. Ölçülen bor tabaka kalınlığının borlama süresi ile değişiminin parabolik olduğunu göstermektedir. Bu düşüncede hareketle hesaplanan bor tabaka büyüme hızı (difüzyon katsayısı) değerleri orta karbonlu çelikler için elde edilen değerler ile uyuşması yanında bu çeliğin ilk kez yapılan borlama işleminin gelişimi hakkında da bilgi vermektedir. Zira difüzyon sabitinden yararlanarak hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri 239.4 kJ/mol değerindedir. Bor atomlarının borlama işleminde yapı içinde yayılmasının bir ölçüsü olan bu değer Çizelge 3 de görüldüğü gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen değere bakarak, orta karbonlu çeliklerin borlama işlemi için ileride yapılacak çalışmalarda kullanılmak üzere uygun bir borlama sıcaklığı, süresi ve bor ortamı seçmek mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- Alparslan, E., 2011, Tekstil Endüstrisinde Borlama Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Alper, 2012, Alper Isıl İşlem Sanayi ve Tic. Şirketi. İstanbul. <https://www.alper.com.tr/hizmetler/isil-islem/borlama.html>.
- Altınsoy, I., Çelebi Efe, F.G., İpek, M., Özbek, I., Zeytin, S., Bindal. C., 2013, An Investigation on Borided AISI 1020 steel, International Advanced in Applied Physics and Materials Sciences, 1569 (43), 43-48.
- Altıntaş, A., Sarıgün, Y., Çavdar, U., 2016, Effect of Ekabor 2 Powder on the Mechanical Properties of Pure Iron Powder Metal Compacts, Revista de Metalurgia, 52(3), 1-7.
- Barut, N., Yavuz, F., Kayalı, Y., 2014, Borlanmış AISI 5140 ve AISI 420 Çeliklerinin Difüzyon ve Adhezyon Davranışlarının İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 1-8.
- Bektes, M., Çalik, A., Ucar, N., Keddari, M., 2010, Pack-boriding of Fe-Mn binary alloys: Characterization and Kinetics of The Boride Layers, Materials Characterization, 61 (2), 233-239.
- BtÜ, 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarı, Sertlik Ölçme Deney, Föyü, Bursa.
- Brakman, C. M., Gommers, A. W. J., Mittemeijer, E.J., 1989, Bonding of Fe and Fe-C, Fe-Cr, and Fe-Ni Alloys; Boride-Layer Growth Kinetics, J. Mater. Res., 4 (6), 1354-1370.
- Cervantes-Sodid, F., Oseguera-Peña, J., De-Diosf, L.D.F., Gomez-Vargasf, O.A., 2018, Kinetics of Formation of Fe₂B Layers on AISI S1 Steel, Materials Research, 21 (6), 1-10
- Çetin, M., Demirel, Ç., 2018, A Study on Abrasive Wear and Corrosion Behaviour of Boronized AISI 8640 Cast Steel, European International Journal of Science and Technology, 7 (9), 14-32.
- Doğan, Ş., 2016, Ni-Ti ikili alaşımlarının borlama özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dybkov, V. I., Goncharuk, L.V., Khoruzha, V.G., Meleshevich, K. A., Samelyuk, A.V., Sidorko, V.R., 2008, Diffusional Growth Kinetics of Boride Layers on Iron-Chromium Alloys. Solid State Phenomena, 138, 181-188.
- Efe, G., İpek, M., Özbek, I., Bindal. C., 2008, Kinetics of borided 31CrMoV9 and 34CrAlNi7 steels. Materials Characterization, 59 (1), 23-31.

- Elçi, H., Terzi, M., 2005, Betonarme Yapılarda Sünmenin Kesit Tesirlerine Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 7(1), 43-63.
- Er, Ü., Par, B., 2004, Bor Yayınıyla Yüzeyi Sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17 (1), 1-9.
- Gücer, D. E., 1989, Sürekli Ortamlar Mekaniği, Yaz Okulu, 19-24 Ağustos, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Güneş, İ., Taktak, Ş., 2012, Kutu ve plazma pasta borlanmış 21NiCrMo2 çeliğinin yüzey karakterizasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.27 (1), 99-108
- Günes, I., 2013, Kinetics of Borided Gear Steels. Sadhana, 38 (3), 527–541.
- Güneş, İ., Yıldız, İ., 2015, Rate of Growth of Boride Layers on Stainless Steels, Oxidation Communicat, obs, 38 (44), 2188-2199.
- Gunes, I., Keddarn, M., Chegroune, E., Özcatıl. M., 2015, Growth Kinetics of Boride Layers Formed on 99.0% Purity Nickel. Bulletin of Materials Science, 38(4) 1113–1118.
- Hull, D., 1975, Introduction to Dislocations, Pergamon Press, New York.
- Jain, V., Sundararajan, G., 2002, Influence of the Pack Thickness of the Boronizing Mixture on the Boriding of Steel. Surface Coating Technology, 149 (1), 21-26.
- Kaftan, M.A., 2006, Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Kayalı, Y., 2015, Investigation of Diffusion Kinetics of Borided AISI P20 Steel in Micro-Wave Furnace. Vacuum, 121, 129-134.
- Kaouka, A., Allaoui, O., Keddarn. M., 2013, Growth Kinetics of the Boride Layers Formed on SAE 1035 Steel. Mat'eriaux and Techniques, 101 (7), 705-712.
- Keddarn, M., Kulka. M., 2018, Simulation of the Growth Kinetics of FeB and Fe2B Layers on AISI D2 Steel by the Integral Method, Physics of Metals and Metallography, 119, 842–851.
- Kulka, M., Makuch, N., Pertek, A., Maldzinski. L., 2013, Simulation on Growth Kinetics of Boride Layers Formed on Fe During Gas Boriding in H₂– BCl₃ Atmosphere, Journal of Solid State Chemistry, 199, 196–203.
- Küper, A., Qiao, X., Stock, H. R., 2000, A Novel Approach to Gas Boronizing, Surface and Coatings Technology, 130, 87-94.
- Litoria, A. K., Figueroa, C.A., Bim, L.T., Pruncu, C.I., Joshi, A.A., Hosmani. S.S., 2020, Pack boriding of low alloy steel: Microstructure Evolution and

Migration Behaviour of Alloying Elements. Philosophical Magazine, 100 (83), 353–378.

Mathuschka, A., G., 1980, Boronizing, Carl Hanser Verlag, München Wien. Almanya.

Nora, R., Zine, T.M., Abdelkader, K., Youcef, K., Ali, O., Jiang, X., 2019, Boriding and Boronitrocarburising Effects on Hardness, Wear and Corrosion Behavior of AISI 4130 Steel, Matéria, 24 (1), 120, 131.

Ohta, J., Kako, K., Mayuzumi, M., Kusanagi, H., Abiko, K., 2000, In situ Transmission Electron Microscopy of Carbide Precipitation in Fe-50%Cr Alloys at Elevated Temperatures. Materials Transactions, 41 (1), 130-135.

Ortiz-Domínguez, M., Gómez-Vargas, O.A., Ares de Parga, G., Torres-Santiago, G., Velázquez-Mancilla, R., Castellanos-Escamilla, V.A., Mendoza-Camargo, J., Trujillo-Sánchez, R., 2019, Modeling of the Growth Kinetics of Boride Layers in Powder-Pack Borided ASTM A36 Steel Based on Two Different Approaches. Advances in Materials Science and Engineering, 1, 1-12.

Rodríguez-Castro, R., Campos-Silva, I., Martínez-Trinidad, J., Figueroa-López, U., Arzate-Vázquez, I., Hernández-Sánchez, E., Hernández-Sánchez, J., 2012, Mechanical Behavior of AISI 1045 Steels Subjected to Powder-Pack Boriding, Kovove Mater, 50 (5), 357–364.

Sarıca, B., 2005, Farklı Kalite Çeliklere Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemlerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Selçuk, B., 1994, Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Şen, S., Şen, U., Bindal, C., 2005, An Approach to Kinetic Study of Borided Steels, Surface & Coatings Technology, 191(2-3), 274-285.

Tabur, M., İzçiler, M., Gül, F., Karacan, I., 2009, Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel, Wear 266 (11- 12), 1106–1112.

Tayanç, M., Zeytin, G., 2000, Yüksek hız çeliklerinin iç yapı ve ısıtılma özellikleri, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (1), 103-122.

Topuz, P., Aydogmu, T., Aydın, O., 2019, Kinetic Investigation of Boronized 34CrAlNi7 Nitriding Steel. International Journal of Engineering and Natural Sciences, 2 (1), 17-22.

Turku, N., Doğan, Ş., Uçar, N., Çalık, N., 2014, Borlama Süresinin Düşük Karbonlu Mikro Alaşımlı Çeliklerin Sertlik Değerleri Üzerine Etkisi, SDU Journal of Science (E-Journal), 9 (2), 147-151.

- Uçar, N., Turku, N., Özdemir, A.F., Çalık, A., 2016, Boriding of Binary Ni–Ti and Ternary Ni–Ti–Cu Shape Memory Alloys, *Acta Polonica A*, 130 (1), 492-495.
- Uçar, N., 1991, Cd Monokristalinde Kritik Makaslama Zoru σ_k Değerleri Ve Kimyasal Kuvvetin Hesaplanması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Uslu, I., Cömert, H., Ipek, M., Özdemir, O., Bindal, C., 2007, Evaluation of borides formed on AISI P20 steel. *Materials and Design*, 28 (1), 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.
- Yapar, U., 2003, Düşük ve Orta Karbonlu Çeliklerin Termokimyasal Borlama İle Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Yamazaki, Y., Sugihara, M., Takaki, S., Abiko, K., Iijima, Y., 2002, Volume and Grain-Boundary Self-Diffusion in a High-Purity Fe50 mass% Cr Alloy *physica status solidi (a)*, 189 (1), 97–105.
- Yılmaz, S. S., 1997, Çeliklerde Bor ile Yüzey Sertleştirme, Yüksek Lisans Tezi, Celal Basyar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Yılmaz, E., Çalık, A., Karakaş, S., Uçar, N., Selbaş, R., 2011, Boronizing Effect on the Corrosion and Wear Behaviour of AISI 8620 steel, *Balkan Tribological Association*, 17(4), 536-543.
- Yu, L. G., Chen, X.J., Khor, K. A., Sundararajan, G., 2005, FeB/Fe2B phase Transformation During SPS Pack-Boriding: Boride Layer Growth Kinetics. *Acta Materialia*, 53 (8), 2361-2368.
- Zuno-Silva, J., Keddani, M., Ortiz-Domínguez, M., Elias-Espinosac, M.C., Cervantes-Sodi, F., Oseguera-Peña, J., De-Dios, L.D.F., Gomez-Vargas, O.A., 2018, Kinetics of formation of Fe2B layers on AISI S1 steel, *Materials Research*, 21(5), 1-7.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet YİĞİT
Doğum Yeri ve Yılı : Konya, 1981
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yigittmehmett@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Meram Muhittin Güzelkılınç Lisesi,KONYA

Lisans :Hacettepe Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği

Yayınları

- Uçar, N., Yiğit, M., (2020). Boriding of 34CrNiMo6 Steels, Chemistry Research, Tonural, 5(2):71-74.
- Uçar, N., Yiğit, M., Çalık, A., (2020). Metallurgical Characterization and Kinetics of Borided 34CrNiMo6 Steels, Advances in Materials Science, Vol 20, No: 4(66).