

**YÜKSEK SICAKLIK VE BORİK ASİT ORTAMININ
OTOMAT ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

RAHİM ÖZGÜN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
MART – 2014**

**YÜKSEK SICAKLIK VE BORİK ASİT ORTAMININ
OTOMAT ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

RAHİM ÖZGÜN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ**

**MERSİN
MART – 2014**

Rahim ÖZGÜN tarafından Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ danışmanlığında hazırlanan “Yüksek Sıcaklık ve Borik Asit Ortamının Otomat Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

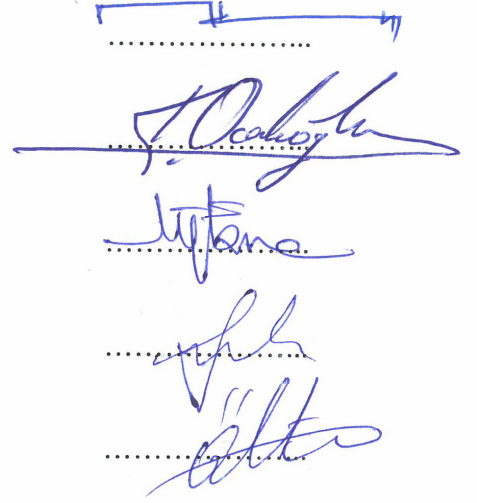
Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

Doç. Dr. Kasım OCAKOĞLU

Doç. Dr. Uğur EŞME

Doç. Dr. Funda KAHRAMAN

Doç. Dr. Berdan ÖZKURT



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.05.2014 tarih ve 2014.11.310 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü


YÜKSEK SICAKLIK VE BORİK ASİT ORTAMININ OTOMAT ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Rahim ÖZGÜN

ÖZ

Bu çalışmada, borik asit ortamında yüksek sıcaklıkta bekletilmiş otomat çeliklerinin mekanik davranışları incelenmiştir. Borik asit ortamında 900 °C’ de, 3, 6, 9, 12 ve 15 saat süre ile bekletilen numunelerin yorulma, çekme ve mikrosertlik testleri gerçekleştirilerek mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yüksek sıcaklığa ve zamana bağlı olarak mikroyapıdaki değişiklikler taramalı elektron mikroskobu yardımıyla araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bor ile yüzey sertleştirme işleminde borik asidin kullanabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları 900 °C sıcaklıkta bekletilen numunelerin tane boyutunun büyüdüğünü ortaya koymaktadır. Gerçekleştirilen mekanik testler yüksek sıcaklıkta borik asit ortamında bekletilen numunelerde yorulma, çekme ve akma dayanımlarının düştüğünü göstermektedir. Yüksek sıcaklık etkisiyle malzemedeki kalıntı gerilmelerin yapıdan atıldığından sertliğin düştüğü tespit edilmiştir. Malzemenin şekillendirilebilirlik özelliğini ifade eden süneklik ile kırılmadan taşıyabileceği enerji miktarını ifade eden tokluk değerlerinde artış meydana gelmiştir. Malzemenin mikro yapısı ve sertlik değerleri incelendiğinde borik asit ortamında bekletilen numunelerde borür tabakasının oluşmadığı, bu nedenle borik asitin, borlama tekniğinde bor verici ortam olarak katkı sağlamadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomat Çeliği, Yorulma Davranışı, Borlama

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, Mersin Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

INVESTIGATION THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE AND BORIC ACID ENVIRONMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FREE CUTTING STEELS

Rahim ÖZGÜN

ABSTRACT

In this study, mechanical behaviors (fatigue, tensile and hardness properties) of free cutting steels exposed to boric acid environment at elevated temperature (900 °C) under the waiting time of 3, 6, 9, 12 and 15 hours had been investigated. Microstructure transformation related to high temperature and time dependent had been investigated using Scanning Electron Microscope (SEM) images taken on Nital aged surfaces. Also, the usability of the boric acid had been investigated.

The results of the experimental study showed that grain sizes increases in the microstructure of specimens exposed to 900 °C. Fatigue, tensile and yield strength properties decreased on the same specimens. Micro hardness of the materials which exposed to 900 °C under different time span reduced as a result of remove of residual stress. Ductility and toughness of materials increased due to high temperature effect. Finally, it was concluded that boric acid environment has no effect on hardenability of free cutting steels.

Key Words: Free Cutting Steels, Fatigue Behavior, Boronizing

Advisor: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, University of Mersin, Department of Mechanical Edutacation

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince sürekli destek olarak bilimden keyif almamı sağlayan, zaman kısıtlaması olmadan birlikte çalışma şansı tanıyan ve maddi manevi sürekli desteğini gördüğüm danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal Külekci'ye, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ercan Köse ve Doç. Dr. Kasım Ocakoğlu'na, işletme olanaklarını kullanmamızı sağlayan Adana İndüksiyon Sulama Isıl İşlem Merkezi sahibi Sayın Mustafa Kemal Hunu'ya, akademik eğitimim boyunca sürekli yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
EKLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI.....	3
2.1. ÇELİK	3
2.1.1. Kimyasal Bileşenlerine Göre Çelikler	3
2.1.2. Kullanım Alanlarına Göre Çelikler	4
2.1.2.1 Otomat çelikleri	4
2.2. BOR	5
2.3. BORLAMA	7
2.3.1. Katı Ortamda Borlama	9
2.3.2. Sıvı Ortamda Borlama	10
2.4. METALİK MALZEMELERDE YORULMA	10
2.4.1. Yorulma Çatlağı Oluşumu.....	11
2.4.2. Yorulma Deney Türleri	12
2.4.2.1. Eksenel gerilmeli yorulma deneyi	12
2.4.2.2. Eğme gerilmeli yorulma deneyi	12
2.4.2.3. Burma gerilmeli yorulma deneyi	13
2.4.2.4. Birleşik gerilmeli yorulma deneyi.....	13
2.4.3. Yorulma Deneyi ile İlgili Temel Kavramlar	13
2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER.....	16
3.2. DENEY NUMUNELERİNİN BORLANMASI.....	19

3.3. MİKROSERTLİK TESTİ	22
3.4. ÇEKME TESTİ.....	22
3.5. YORULMA TESTİ.....	23
3.5.1. Yorulma Test Düzeneği Kalibrasyonu	23
3.5.1. Yorulma Testlerinin Yapılması.....	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	30
4.1. NUMUNELERİN MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ	31
4.2. ÇEKME TESTLERİ	33
4.3. MİKRO SERTLİK TESTLERİ	45
4.4. YORULMA TESTLERİ	46
4.5. KIRILMA YÜZEYLERİNİ SEM FOTOĞRAFLARI	52
4.6. XRF (X-RAY FLORESANS) ELEMENT ANALİZİ	56
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. B ₂ O ₃ bazında dünya bor rezervleri	5
Çizelge 2.2. Ticari öneme sahip bor mineralleri	6
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi	16
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri.....	16
Çizelge 3.3. Skala kolu üzerinde gerilme-uzaklık çizelgesi	26
Çizelge 4.21. Numunelerin mikro sertlik testi sonuçları.....	46
Çizelge 4.22. Yorulma testleri tekrar sayıları aritmetik ortalamaları.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum aşaması.....	8
Şekil 2.2. Borun malzeme yüzeyine difüzyonu	8
Şekil 2.3. Basit bir katı borlama düzeneği	9
Şekil 2.4. Yorulmanın başlangıç ve gelişim eğrileri	12
Şekil 2.5. Yorulma deneyinde periyodik yükleme eğrisi	14
Şekil 3.1. Yorulma deneyi numune ölçüleri	17
Şekil 3.2. Yorulma test numuneleri	17
Şekil 3.3. Çekme testi numunesi ölçüleri.....	18
Şekil 3.4. Çekme testi numuneleri.....	18
Şekil 3.5. Katı borlama işleminin yapıldığı fırın	19
Şekil 3.6. Katı borlama yapılan fırının dijital göstergesi	20
Şekil 3.7. Borlama süresi dolan numunelerin fırından çıkarılması	21
Şekil 3.8. Fırından çıkarılmış ve üzeri borik asit ile kaplanmış numuneler.....	21
Şekil 3.9. Sertlik testinin yapıldığı cihaz	22
Şekil 3.10. Yorulma deney düzeneği şematik görünüşü	23
Şekil 3.11. Deney düzeneğinin izometrik görünüşü	27
Şekil 3.12. Yorulma test düzeneği.....	28
Şekil 3.13. Devir ölçer ile sistemin dakikadaki devir sayısının kontrolü	29
Şekil 3.14. Numunelerin kırılması ve devir ölçer durdurma anahtarı	29
Şekil. 4.1. Isı tesiri altında zamana bağlı olarak malzemenin mekanik özellikleriyle mikroyapısında meydana gelen değişiklikler	30
Şekil 4.2. Çalışılan numunelere ait mikroyapılarına ait fotoğraflar	32
Şekil 4.3. Isıl işlem görmemiş ve 900 °C’de 15 saat ısıl işlem görmüş numuneye ait mikroyapı görüntüleri	33
Şekil 4.4. Borlanmamış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları	34
Şekil 4.5. Borlanmamış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları	34
Şekil 4.6. 3 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	35
Şekil 4.7. 3 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	35
Şekil 4.8. 6 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	36
Şekil 4.9. 6 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	36
Şekil 4.10. 9 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	37
Şekil 4.11. 9 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	37
Şekil 4.12. 12 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	38
Şekil 4.13. 12 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	38
Şekil 4.14. 15 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	39
Şekil 4.15. 15 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları.....	39
Şekil 4.16. Çekme dayanımı toplu sonuçlar	40
Şekil 4.17. Akma dayanımları toplu sonuçlar	40
Şekil 4.18. Süneklik toplu sonuçlar	43
Şekil 4.19. Numunelere ait tokluk grafiği.....	44
Şekil 4.20. Mikro sertlik testi numunesi test noktaları	45
Şekil 4.21. Isıl işlem görmemiş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi.....	48
Şekil 4.22. 3 saat ısıl işlem görmüş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi.....	48

Şekil 4.23. 6 saat ısıtma işlem görmüş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi.....	49
Şekil 4.24. 9 saat ısıtma işlem görmüş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi.....	49
Şekil 4.25. 12 saat ısıtma işlem görmüş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi	50
Şekil 4.26. 15 Saat ısıtma işlem görmüş numunenin yorulma testi wöhler eğrisi	50
Şekil 4.27. Tüm numunelere ait yorulma test sonuçları	51
Şekil 4.28. Isıtma işlem görmemiş numunenin kırılma yüzeyi.....	52
Şekil 4.29. 3 saat ısıtma işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi.....	53
Şekil 4.30. 6 saat ısıtma işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi.....	53
Şekil 4.31. 9 saat ısıtma işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi.....	54
Şekil 4.32. 12 saat ısıtma işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi.....	54
Şekil 4.33. 15 saat ısıtma işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi.....	55
Şekil 4.34. Isıtma işlem görmemiş ve 900 °C’de 15 saat ısıtma işlem görmüş numuneye ait mikroyapı görüntüleri	55
Şekil 4.35. Isıtma işlem görmemiş (a) ve 15 saat süreyle borik asit ortamında 900 °C’de bekletilen numunelere (b) ait kırılma yüzeyi görüntüleri	56
Şekil 4.36. Ana malzemeye ait XRF element analizi fotoğrafı	57
Şekil 4.37. 15 saat ısıtma işlem görmüş numuneye ait XRF element analizi fotoğrafı ..	57
Şekil 4.38. Ana malzemeye ait X ray miktarı- enerji seviyesi grafiği	58
Şekil 4.39. 15 saat ısıtma işlem görmüş numuneye ait X ray miktarı- enerji seviyesi grafiği.....	58

EKLER DİZİNİ

Sayfa

EK 1. Üretici firmadan alınan otomat çeliği kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri.....	64
EK 2. Üretici firmadan alınan borik asit kimyasal analizi	65
EK 3. Ana malzemeye ait XRF analiz sonuçları.....	66
EK 4. 3 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait XRF analiz sonuçları.....	67
EK 5. 6 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait XRF analiz sonuçları	68
EK 6. 9 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait XRF analiz sonuçları	69
EK 7. 12 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait XRF analiz sonuçları	70
EK 8. 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait XRF analiz sonuçları	71
EK 9. Ana malzemeye ait çekme testi raporu	72
EK 10. 3 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 1. çekme testi raporu	74
EK 11. 3 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 2. çekme testi raporu	75
EK 12. 6 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 1. çekme testi raporu	76
EK 13. 6 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 2. çekme testi raporu	77
EK 14. 9 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 1. çekme testi raporu	78
EK 15. 9 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 2. çekme testi raporu	79
EK 16. 12 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 1. çekme testi raporu	80
EK 17. 12 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 2. çekme testi raporu	81
EK 18. 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 1. çekme testi raporu	82
EK 19. 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait 2. çekme testi raporu	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Bor
C	: Karbon
Cu	: Bakır
dak	: Dakika
dev	: Devir
e	: Birim uzama
HB	: Brinell sertliği
HV	: Vickers sertliği
I	: Atalet momenti
Li	: İlk boy
Ls	: Son boy
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Tekrar Sayısı
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Re	: Akma dayanımı
Rm	: Çekme dayanımı
S	: Kükürt
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
T	: Tokluk
XRF	: X-ray Floresans
Zr	: Zirkonyum
σ	: Eğilme gerilmesi

1. GİRİŞ

Tekrarlı yüke maruz kalan makine elemanlarında hasarların tamamına yakını yorulmadan kaynaklanmaktadır. Belirli bir gerilme altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler malzemenin statik dayanımının altında olsa da, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda malzeme yüzeyinde bir çatlama ve bunu takip eden kopma meydana gelir. Bu olaya yorulma denir [1-4].

Yorulma olayı ilk defa 1850-1860 yılları arasında Alman mühendis Wöhler tarafından incelenmiş ve o günden bu yana da yorulma ömrünü artırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bir makine elemanının belirli bir gerilmede, kopmadan dayanabildiği tekrar sayısına yorulma ömrü denir. Bir makine elemanının yorulma durumunda çatlak oluşumu genellikle yüzeyde başlar. Bu olay eğme ve burma gerilmelerinin maruz kalındığı durumlarda en yüksek gerilmenin yüzeylerde oluşmasından kaynaklanmaktadır. Makine elemanlarının yorulma dayanımları, yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ile artırılabilir. Malzemenin yorulma dayanımını arttırmak büyük ölçüde yüzey çatlaklarının oluşumunu engellemekle mümkün olur. Çatlağa engel olma yüzey özelliklerinin artırılması ile mümkündür [6-10].

Malzeme yorulma ömrünü tamamladığında, yüzeyde başlayan bu çatlaklar zamanla ilerleyerek malzemenin kırılmasına neden olur.

Bu nedenle tasarımda, malzemenin yorulma toplam ömrü dikkate alınmaktadır. Fakat makine elemanları işletme şartlarında, çizikler ve çatlaklar gibi kusurlar içerebilir. Dinamik yükler altında çalışan yapısal elemanda, yorulma çatlakları bu kusurlardan başlayabilir [8-9]. Yorulma mukavemeti, parçaya belli bir tekrar sayısı (N) uygulandıktan sonra parçayı kırarak gerilmedir. Yorulma mukavemeti tekrar sayısına bağlıdır [8].

Yorulma mukavemetini tekrar sayısı aracılığıyla değerlendirebilmek için; standart boyut ve yüzey özelliğine sahip malzemelere sabit bir gerilme ile yorulma testi yapılmaktadır. Yorulma deney sonuçları belirli koşullar için fikir verir ve benzer

koşulların bulunabileceği parça tasarımında gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olur.

Bu çalışmada borik asit (H_3BO_3) kullanılarak borlamanın otomat çeliklerinde yorulma davranışına etkisi incelenecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. ÇELİK

Genel bir tanım ile %2'den daha az karbon içeren metal alaşımlara çelik denir. % 2'den daha fazla karbon içeren metal alaşımlarına ise dökme demir denir. Çeliğin içerisindeki karbon miktarı malzeme özelliklerini değiştirmektedir. Karbon oranındaki çok küçük değişimler bile malzemede önemli değişimler yaratmaktadır [5-6].

Çelik içerisindeki karbon miktarı değiştirilerek malzemenin sertliği, esnekliği, sünekliği ve gerilme miktarı da değiştirilebilir.

2.1.1. Kimyasal Bileşenlerine Göre Çelikler

Çelik alaşımını oluşturan her bir elementin malzemeye farklı bir özellik kazandırmasından dolayı çelikler kimyasal bileşenlerine göre de sınıflandırılmaktadır. Kimyasal bileşenlerine göre çelikler sade karbonlu ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

Sade karbonlu çelikler ötektoid oranlarına göre iki grupta incelenmektedir. Karbon oranı % 0,8'den az olan alaşımlara ötektoid altı çelikler; % 0,8'den fazla olan alaşımlara ise ötektoid üstü çelikler denmektedir.

Çeliklerde karbon oranının artması sertlik ve mukavemeti artırır. Fakat süneklik ve tokluk gibi özellikler düşer. Bu yüzden karbon ile sertlik ve mukavemet özellikleri geliştirilebilirken, süneklik ve tokluğu iyileştirmek için ise çeliğe farklı alaşım elemanları katılmaktadır. Bu şekilde endüstride geliştirilen iki binden fazla çelik türü bulunmaktadır.

Alaşımli çeliklerde alaşım elementlerinin oranı % 5’den daha az ise az alaşımli çelikler; % 5’ den daha fazla ise yüksek alaşımli çelikler denmektedir.

2.1.2. Kullanım Alanlarına Göre Çelikler

Çeliklerin geniş bir kullanım alanına sahip olmasından dolayı, kullanım alanlarına göre sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çelik hangi alan için üretiliyorsa o alanın isimini alarak sınıflandırılır. Buna en çok bilinen inşaat çelikleri örneği verilebilir. Kullanım alanlarına göre çelikleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- İmalat çelikleri,
- Yay çelikleri,
- Takım çelikleri,
- Kazan çelikleri
- Ray çelikleri
- Korozyona ve ısıya dayanıklı çelikler
- Yapı çelikleri
- Otomat çelikleri’dir.

2.1.2.1. Otomat çelikleri

Otomat çelikleri yüksek oranda Mn (Mangan) ve S (kükürt) ihtiva eden alaşımsız yani sade karbonlu çeliklerdir. Talaş kaldırmaya elverişlidirler. Talaş kaldırma işleminde çok düşük kesme kuvveti gereği yüksek kesici kalem ömrü ve işlenen parçada iyi bir yüzey kalitesi sağlamaktadır [7].

Otomat çelikleri konstrüksiyon elemanları üretiminde, otomotiv endüstrisinde, makine ve teçhizat üreten endüstri kollarında, inşaat sektöründe ve optik yada ölçü cihazları parçaları gibi hassas mekanik parçalar üreten endüstri kollarında kullanılmaktadır.

Otomat çeliklerinde S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangisi varsa bu sırayla gösterilir. Karbon ve kükürdün yüzde oranı yüz ile çarpılarak yazılır. Örneğin; otomat çeliği % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 Pb içeriyorsa 45SPb20 şeklinde gösterilir.

2.2. BOR

Peryodik tablonun 3A grubunda “B” ile gösterilen borun atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan bir geçiş elementidir. Doğada ortalama 230 bor minerali olduğu bilindiği gibi serbest halde bulunmamaktadır [10]. Dünya bor rezervinin ortalama % 63’ü ülkemizde bulunmasıyla birlikte mineral çeşitliliği açısından da doğal bir zenginliğe sahiptir. Bor bileşikleri gübre ve ilaç sanayi, temizlik sektörü, nükleer endüstri, otomotiv sektörü gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [8].

Çizelge 2.1. B₂O₃ bazında dünya bor rezervleri [11]

Ülke	Rezerv	% Oranı
Türkiye	803.000	63
ABD	209.000	16,4
B.D.T. (Eski SSCB)	136.000	10,7
Çin	36.000	2,8
Arjantin	9.000	0,7
Bolivya	19.000	1,5
Şili	41.000	3,2
Peru	22.000	1,7
TOPLAM	1.275.000	100

Çizelge 2.2. Ticari öneme sahip bor mineralleri [14]

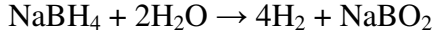
Mineral	Formülü	%B ₂ O ₃	Bulunduğu Yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,6	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51	Kırka,A.B.D., Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43	Kırka, Emet, Bigadiç, Arjantin
Propertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	Emet, Bigadiç, Küçükler, A.B.D.
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2	Almanya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41,4	B.D.T. (Eski SSCB)
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ .6H ₂ O	50,5	Emet

Bor, yoğunluğu 2,84 gr/cm³, erime nokta 2300 °C, kaynama noktası 2550 °C, vickers sertliği 5000 HV gibi fiziksel özelliklere sahip metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir [12].

Saf bor karbon gibi elektriği iletirken, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır. Görünüm ve optik özellikleri elmasa benzer ve nerdeyse elmas kadar da serttir [12-13].

Bor elementinin kimyasal özellikleri, şekline ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir. Kristalize bor kolay reaksiyon vermezken, mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla reaksiyona girer. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünler açığa çıkarır [12, 14].

Bor; malzeme özelliklerinin istenilen hale getirilmesi, nükleer reaksiyonlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır [15]. Özellikle son yıllarda bor “bor ile çalışan otomobil yapıldı” başlığıyla sosyal medya aracılığıyla gündeme yeniden gelmiştir. Hidrojen çok küçük atom çapına sahip olduğundan depolanamamaktadır. Hidrojen enerjisi ile çalışan araçlarda bor, hidrojen tutucu olarak kullanılmaktadır. Sodyum bor hidrür bileşiği suyla tepkimeye sokularak 4 mol hidrojenin açığa çıkması sağlanmaktadır [16-17].



2.3. BORLAMA

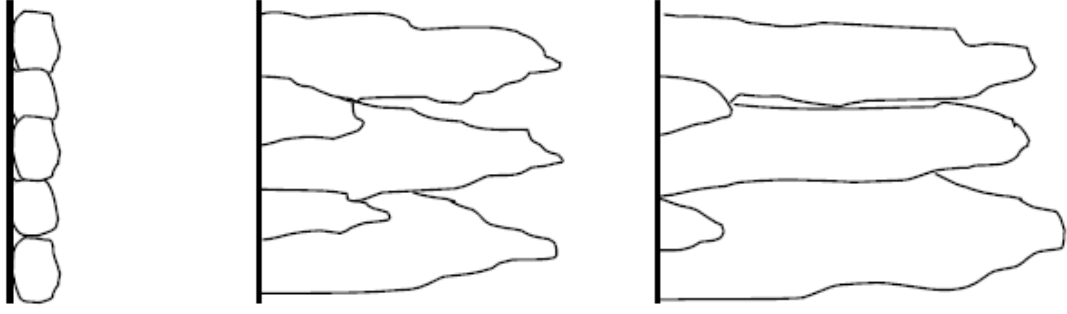
Termokimyasal bir yüzey sertleştirme olan borlama, metal yüzeyine bor atomu difüzyonu esasına dayanır [15]. Isı enerjisi etkisiyle bor atomları metal yüzeyine yayınrlar ve esas metal atomlarıyla uygun borürler oluştururlar. Oluşan borürler alt tabaka çeliğinin tribolojik davranışlarını geliştirir [1, 17].

Yirminci yüzyıl ile birlikte borlama üzerine çalışmalar başlamış ve uygulanmıştır. Bu çalışmalarda borlama sayesinde korozyon ortamlara karşı dirençli, yüksek sıcaklık ortamına karşı mukavemeti yüksek, düşük sürtünme katsayısına sahip, çok sert malzeme yüzeylerinin elde edilebildiği görülmektedir [11-12, 17].

Borlama işlemi farklı yöntemlerle (katı, sıvı, gaz yada plazma) dökme demirlere, alaşımlı ve alaşımsız çeliklere, bazı metal (Ni, Co, Mo, Ti gibi) ve alaşımlarına uygulanabilmektedir.

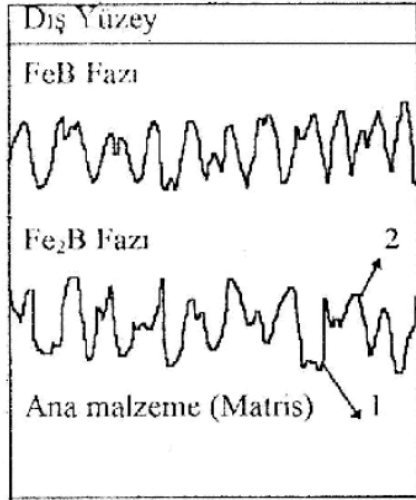
Borlama işlemi sonrası alaşımsız çeliklerde malzeme yüzeyinde FeB, Fe₂B ve iki bileşiğin karışımından oluşan tek veya çift fazlı borür tabakaları oluşur. Alaşımlı çeliklerde ise alaşım elementlerinin borürleri meydana gelir. Yüksek karbonlu çelik ve dökme demirlerde Fe₃(B₂C) bor karbür fazları oluşur [18].

Borlama ilk olarak bor ile tepkimeye girecek olan alaşım elementleri arasındaki reaksiyon orta seviyede, malzeme yüzeyinde meydana gelir. Borür tabakası sıkı, ince ve hızlı bir şekilde yüzeyde oluşur. Bu oluşumun süresi sıcaklığa bağlı olarak değişmekle birlikte 900 °C’de ortalama 10 dakikadır. İlk borür çekirdeğinin oluşumu Şekil 2.1’deki gibi yüzeyde oluşmaktadır [20].



Şekil 2.1. Borlama sırasında borür tabakasının oluşum aşaması [19]

Borür tabakalarının yapısı borlama yöntemine, süresine, alaşım elementlerine ve işlem şartlarına bağlı olarak değişir. Bu şartlara bağlı olarak borür tabakalarının veya parmaklı uzantıların kalınlıkları Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi değişir [22].



Şekil 2.2. Borun malzeme yüzeyine difüzyonu [22]

Borlamanın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek yüzey sertliği ve düşük sürtünme katsayısı,
- Bazı asit, metal çözeltilerine ve yüksek sıcaklıkta oksidasyona karşı direnç kazanılması

- Yorulma ömrünün %25 oranında artması en önemli avantajlarıdır [20, 23].

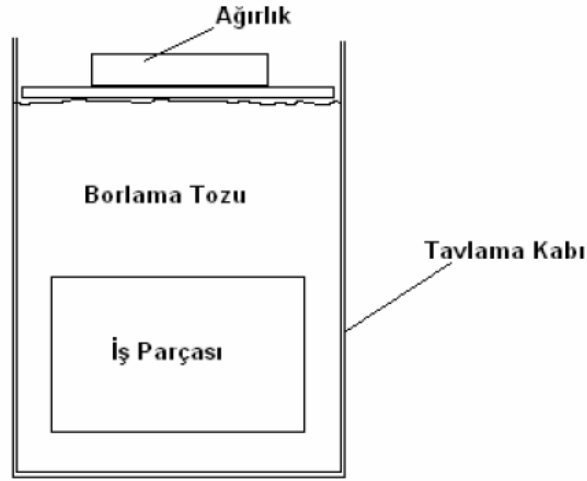
Borlamanın demir esaslı T/M (toz / metal) malzemelerde yorulma dayanımı artırdığı

gözlenmiştir. Eğmeli yorulma testinde, Borlanmış FeCu-Grafit demir malzemeden üretilen numunelerde yorulma dayanımının arttığı tespit edilmiştir [23].

Borlamanın en büyük dezavantajı ise gaz sementasyonu ve plazma nitrürasyonu borlamaya göre daha kolay ve ucuzdur.

2.3.1. Katı Ortamda Borlama

Bu yöntemde yüzeyi borlanacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam, yüksek ısıya dayanıklı çelik kaplarda içinde 4 - 10 saat 800 - 1000 °C sıcaklıkta bekletilerek gerçekleşir. Borlama tozu çelik kabın içine konur. Borlanacak malzeme de bu tozun içine kenarlarında en az 10 mm kalacak şekilde yerleştirilir. Numunenin yerleştirildiği çelik kap fırına yerleştirilerek işlem yapılır. Ucuz bir yöntemdir. Özel bir teknik gerektirmez.



Şekil 2.3. Basit bir katı borlama düzeneği

Borlama tozunu oluşturan bileşik bor karbür, ferrobor veya amorf bordur. Amorf bor ve ferrobor çok iyi bor kaynaklarıdır. Fakat çok pahalıdırlar. Termo kimyasal bir yöntemdir.

2.3.2. Sıvı Ortamda Borlama

Bir sıvı banyosu kullanılarak yapılan bu yöntem 700 -1000 °C arasında gerçekleştirilir. Elektroliz ve normal sıvı borlama olmak üzere iki grupta toplanır.

Elektroliz sıvı borlama işlemi 800-1000 °C’ de 4-6 saat sürede gerçekleşmektedir. Elektroliz sıvı borlama işleminde katot olarak borlanacak malzeme, anot olarak grafit ve elektrolit olarak da boraks kullanılmaktadır. İşleminde malzemenin her tarafında eşit tabaka olması için malzeme döndürülür. Elektrolizin esas bileşikleri boraks ve borik asittir. Ayrıca ek olarak NaF, NaCl gibi aktivatörler kullanılır.

Normal sıvı borlama işleminde sıvı banyosuna %30 B₄C eklenir. Diğer aktivatörler ise SiC, Zr, B’ dur. 800-1000 °C’ de 2-6 saat sürede gerçekleşir. Bu yöntemde iş parçası tuz ile kaplanır ve bu tuzu temizlemek oldukça masraflıdır.

2.4. METALİK MALZEMELERDE YORULMA

Tekrarlı yüklere maruz kalan makine parçalarında meydana gelen hasarların tamamına yakını yorulmadan kaynaklanmaktadır. Tekrarlı yükler sonucu oluşan gerilmeler malzemenin iç yapısında değişikliklere neden olmaktadır. Tekrarlı gerilmeler sonucu malzemenin akma dayanımının çok altında kırılma olayı gerçekleşebilir. Bu olaya “yorulma kırılması” denmektedir. Yorulma üzerine çalışmalar ilk defa 1852-1870 yılları arasında Alman mühendis August Wöhler tarafından yapılmıştır [6, 23-24].

Metalik malzemelerin statik yük altında çalışırken konstrüksiyon hesabında esas alınan değer akma sınırıdır. Tekrarlı yük altında çalışma durumunda ise malzemelerin konstrüksiyon hesabı yorulma mukavemeti esas alınarak yapılır. Malzemeyi belirli bir yük altında kırarak gerilmeye yorulma mukavemeti denir [6, 24-26]. Yorulma olayına sadece tekrarlı yük etki etmez. Malzemenin mikroyapısı, kimyasal bileşimi, yüzey kalitesi gibi özellikler de yorulmaya etki eder [23-24].

Yorulma olaylarında çatlak oluşumu genellikle yüzeyde başlar. Çünkü eğme ve burma gerilmelerine maruz kalan makine elemanlarında en yüksek gerilme yüzeylerde oluşur. Bu nedenle malzemenin yorulma dayanımını arttırmak büyük ölçüde yüzey çatlaklarının oluşumunu engellemekle olur. Çatlağa engel olma yüzey özelliklerinin artırılması ile mümkündür [24-26].

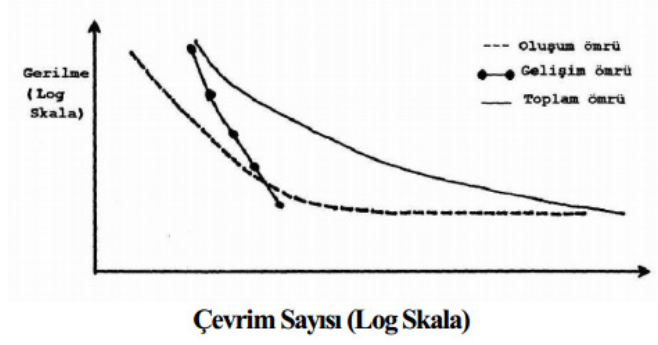
Malzeme yorulma ömrünü tamamladığında, yüzeyde başlayan bu çatlaklar zamanla ilerleyerek malzemenin kırılmasına neden olur.

Bundan dolayı bir tasarımda, malzemenin yorulma toplam ömrü dikkate alınmaktadır. Fakat makine elemanları işletme şartlarında, çizikler ve çatlaklar gibi kusurlar içerebilir. Dinamik yükler altında çalışan yapısal elemanda, yorulma çatlağı bu kusurlardan başlayabilir [25-27]. Yorulma mukavemeti (S), parçaya belli bir tekrar sayısı (N) uygulandıktan sonra; parçayı kıracak gerilmedir. Yorulma mukavemeti tekrar sayısına bağlıdır [26-27].

2.4.1. Yorulma Çatlağı Oluşumu

Sabit deformasyonda önce yorulma sertleşmesi gerçekleşir. Sonra da yumuşama başlamaktadır. Yüzeyde bulunan kalıcı kayma bantları sürekli girinti ve çıkıntıları oluşturmakta bu şekilde çatlak da oluşmaya başlamaktadır [29]. Malzeme üzerinde talaşlı imalat esnasında veya başka nedenlerle ortaya çıkan çizgiler çatlak oluşumu için en uygun yerlerdir [25-27].

Malzemede gerilmenin artması ile tekrar sayısındaki düşüş şekil 2.4.'de görülmektedir. Dolayısıyla gerilmenin artması veya tekrar sayısındaki değişim çatlak oluşumunu etkilemektedir [25-30].



Şekil 2.4. Yorulmanın başlangıç ve gelişim eğrileri [30]

2.4.2. Yorulma Deney Türleri

Çalışma esnasında malzeme değişik tür ve şiddette gerilmeye maruz kalabilir. Yorulma deneylerinde tekrarlı yüke karşı, malzemenin göstereceği direnç hakkında nicel bilgi edinebilmek için en sık rastlanan gerilme türleri şunlardır [6].

- Eksenel gerilmeli yorulma deneyi
- Eğme gerilmeli yorulma deneyi
- Burma gerilmeli yorulma deneyi
- Bileşik gerilmeli yorulma deneyi

2.4.2.1. Eksenel gerilmeli yorulma deneyi

Malzemeye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri etki eder. Bu tür gerilmeye en iyi örnek içten yanmalı motorların bağlantı rotlarıdır [6, 33].

2.4.2.2. Eğme gerilmeli yorulma deneyi

Düzlemsel eğme gerilmeli ve dönen eğme gerilmeli yorulma deneyi olarak ikiye ayrılır [6, 33].

Düzlemsel eğme gerilmeli yorulmada malzeme nötr bir düzleme göre tekrarlanan eğme gerilmesine maruz kalır. Örneğin otomotiv sanayinde kullanılan makas yaylarda da düzlemsel eğme gerilmesi söz konusudur.

Dönen eğme gerilmeli yorulmada malzeme nötr bir eksene göre tekrarlanan eğme gerilmesine maruz kalır. Buna en iyi örnek araçların akslarında oluşan gerilmedir. Wöhler'i yorulma üzerine çalışmaya iten de budur [6,25-29].

2.4.2.3. Burma gerilmeli yorulma deneyi

Bu yorulma deneyinde malzeme sabit bir eksene göre burma (dönme) işlemine maruz kalır. Çekme basma gerilmesinin olduğu bütün helisel yaylarda bu yorulma türüyle test edilebilir [6, 33].

2.4.2.4. Birleşik gerilmeli yorulma deneyi

Yukarıda anlatılan deney türlerinde oluşan gerilmelerin ikisinin veya daha fazlasının bir araya gelmesiyle oluşan gerilmeye birleşik gerilme denir. En basit örnek araçların krank milleridir [6, 33].

2.4.3. Yorulma Deneyi ile İlgili Temel Kavramlar

Çevrim: Gerilme-zaman eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasında çevrim denir [Şekil 2.5.] [25-29].

Maksimum gerilme ($\sigma_{\max}$): Gerilme periyodundaki en büyük gerilmeye denir.

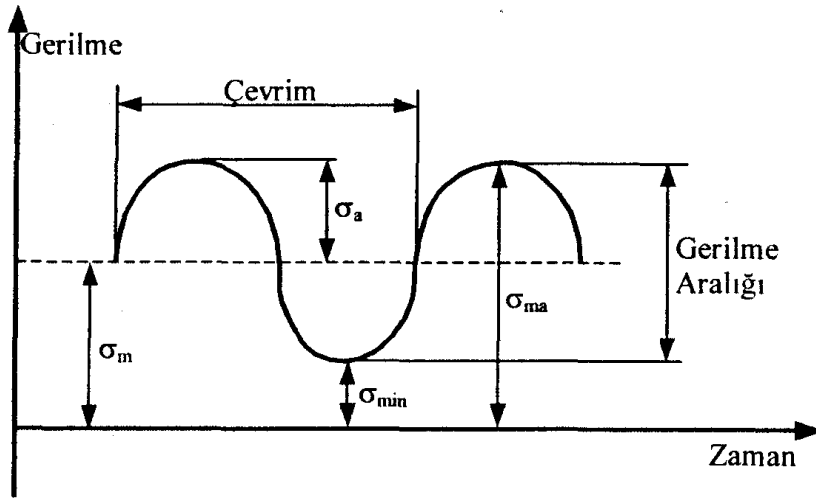
Minimum gerilme ($\sigma_{\min}$): Gerilme periyodundaki en küçük gerilmeye denir.

Ortalama gerilme (σ_m): Maksimum ve minimum gerilmenin ortalamasıdır.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1)$$

Gerilme aralığı: En büyük gerilme ile en küçük gerilme arasındaki farktır.

$$\sigma_m = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (2)$$



Şekil 2.5. Yorulma deneyinde periyodik yükleme eğrisi [31-32]

2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Saygın [6] AISI 1020 çeliklerinde borlamanın yorulma dayanımını incelemiştir. Yapılan çalışmada yorulma deney numuneleri AISI 1020 çeliğinden hazırlanmıştır. Numunelerin borlanması için katı ortamda borlama tercih edilmiştir. Bor verici olarak $B_4C - SiC - KBF_4$ bileşiklerinden oluşan karışım kullanılmıştır. Bu şekilde malzeme yüzeyinde borür tabakası oluşması sağlanan numuneler dönen eğme gerilmeli yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçlarına göre borlanmış numunelerin sertlik değerlerinde iyileşme olmasına rağmen yorulma dayanımında bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Uzun [34] yaptığı çalışmada borlama ile yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin aşınma ve korozyon karşısındaki davranışını incelemiştir. Bu çalışmada da katı ortamda borlama tercih edilmiş ve bor verici olarak susuz boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) kullanılmıştır. Literatürde bor verici olarak yurt dışından ithal edilen ekabor kullanıldığı görülmektedir. Fakat bu çalışmada maliyeti çok fazla olan ekabor yerine, ülke kaynaklarının değerlendirilmesi düşünülerek susuz boraks kullanılmıştır. Borlama işleminden sonra numuneler aşınma ve korozyon testine tabi tutulmuştur. Testlerde borlanmış numunelerin ağırlık kaybının daha az olduğu yani aşınma ve korozyona karşı daha dirençli oldukları görülmüştür.

Ersöz [35], elektrokimyasal borlama yöntemi ile borür tabakası elde edilmiş çeliğin yüzey özelliklerini incelemiştir. Deney numuneleri AISI 4140 tipi çelik malzemeden hazırlanmıştır. Numuneler farklı sıcaklık, süre, akım yoğunluğu, ilave banyo bileşenleri kullanılarak ergimiş tuz elektrolizi yöntemi ile borlanmışdır. Farklı parametrelerde gerçekleştirilen borlama yöntemiyle numuneler üzerinde borür tabakası elde edilmiştir. Oluşan borür tabakasının kalınlığı sürenin ve akım yoğunluğunun artması ile parabolik artış gösterirken; sıcaklıkla artış lineere yakın olduğu görülmüştür. Borlanan malzemelerin sertlik değerlerinin 4-5 kat arttığı görülmüştür. H_2SO_4 , HNO_3 , HClO_4 ve H_3PO_4 kullanılarak yapılan korozyon deneylerinde ise borlanmış numunelerin korozyona karşı daha dayanıklı oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Yılmaz ve ark. [23] yaptıkları çalışmada borlamanın demir esaslı T/M malzemelerde yorulma davranışına etkisini incelemişlerdir. Borlanmış ve borlanmamış demir esaslı FeCu-grafit T/M kompozit malzeme eğmeli yorulma deneyine tabi tutularak; borlamanın yorulma davranışına etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre borlanmış numunelerin yorulmaya karşı daha dayanımlı ve sertliklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca yorulma deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelenmiş ve kırılmanın gevrek kırılma olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada otomat çeliğinden hazırlanan deney numuneleri katı borlama yöntemiyle borlama işlemine tabi tutulması amaçlanmıştır. Bu amaçla Bor Enstitüsü'nden bor karbür temini yoluna gidilmiştir. İlgili enstitü söz konusu malzemenin Eti Maden İşletmeleri kurumundan temin edilebileceği yönünde bilgilendirmede bulunmuştur. Bor karbürün kendilerinde bulunmadığını ancak borik asit (H_3BO_3) temin edebilecekleri bilgisini vermişlerdir. Çalışmanın tamamlanabilmesi için Bor karbür ile yüzey sertleştirme yerine, borik asit ortamında yüksek sıcaklıkta bekletilen otomat çeliğinin yorulma davranışı incelenmiştir. Yorulma testi verilerinin yorumlanabilmesi için, yüksek sıcaklıkta borik asit ortamında yüksek ısıya maruz kalan numunelerin element analizi (EDX), çekme testi, yorulma testi, sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yorulma testi sonucunda kırılan numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Borür tabakasının oluşup oluşmadığını görebilmek için malzemenin mikroyapı fotoğrafları da incelenmiştir.

3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Deney numunelerinin hazırlanacağı otomat çeliği piyasadan tedarik edilmiştir. Malzemenin üretici firmadan temin edilen kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1.'de; mekanik özellikleri de Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

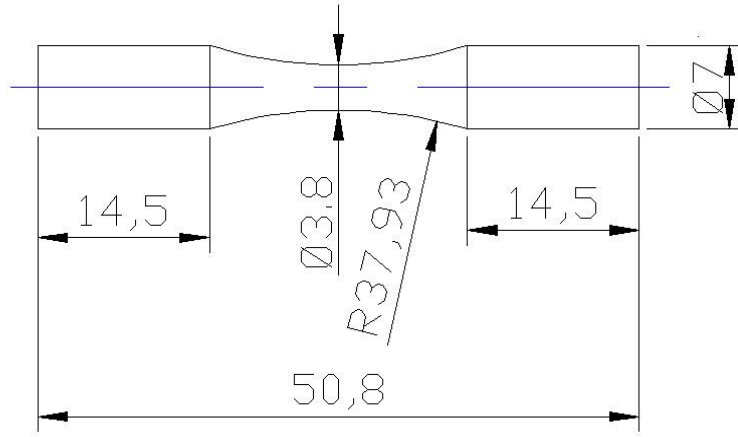
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Pb	Fe
0,074	0,005	1,203	0,045	0,294	0,04	0,02	0,08	0,12	0,30	kalan

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

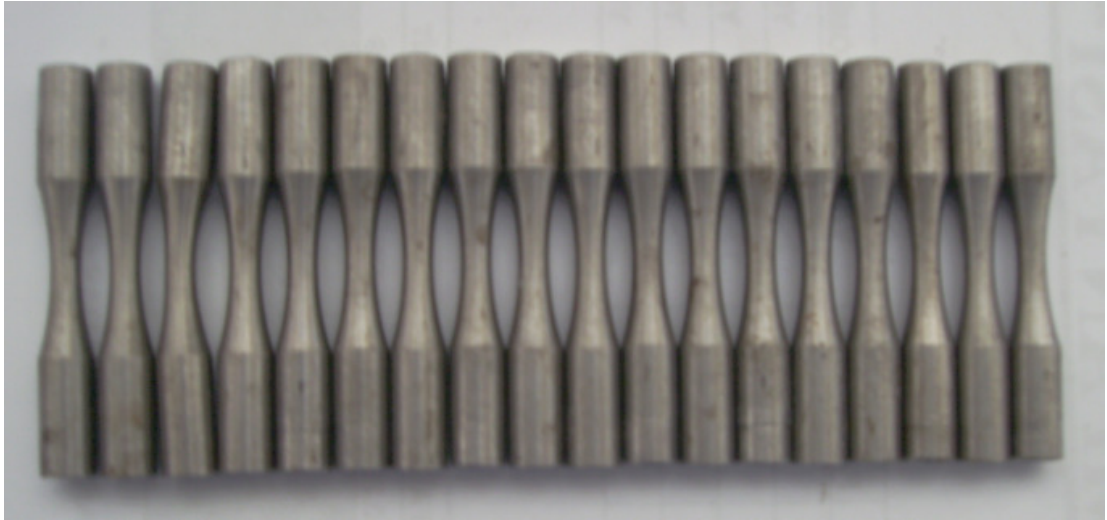
Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama (%)	Sertlik
465 N/mm ²	587 N/mm ²	12	150 HB

Yorulma testi numuneleri Şekil 3.1.'de verilen boyutlarda TS ISO 1143 standardında üretilmiştir [33].



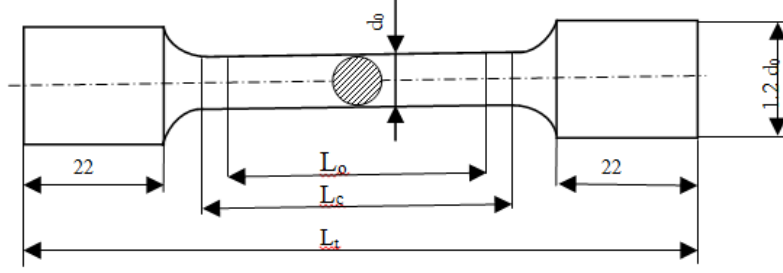
Şekil 3.1. Yorulma deneyi numune ölçüleri

Ölçüleri verilen numuneden her ısıl işlem süresi için 12 adet üretilmiştir [Şekil 3.2.].



Şekil 3.2. Yorulma test numuneleri

Ayrıca 3, 6, 9, 12, 15 saat her katı borlama aşamasına maruz kalacak malzemeler ve borlanmamış malzeme için ikişer adet olmak üzere toplam 12 adet çekme testi numunesi hazırlanmıştır. Çekme testi numuneleri Şekil 3.3.' deki gibi TS EN ISO 6892-1 standardında hazırlanmıştır [34] [Şekil 3.3.].



Şekil 3.3. Çekme testi numunesi ölçüleri

- $d_1 = 10 \text{ mm}$
- $d_0 = 8 \text{ mm}$
- $L_0 = 40 \text{ mm}$
- $L_c = 48 \text{ mm}$
- $L_t = 100 \text{ mm}$



Şekil 3.4. Çekme testi numuneleri

Katı borlama yönteminde bor verici malzeme olarak literatürde genellikle bor karbür kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada bor karbürün Türkiye’de

üretilmemesi ve yüksek maliyetli olmasından kaynaklı, ülke kaynaklarının değerlendirilebilmesi adına Eti Maden işletmesinden temin edilen borik asit kullanılmıştır. Bu şekilde borik asidin katı borlama prosesinde bor verici olarak kullanıp kullanılamayacağı da incelenmiş olacaktır.

3.2. DENEY NUMUNELERİNİN BORLANMASI

Hazırlanan numuneler katı borlama yöntemiyle 900 °C’de 3, 6, 9, 12 ve 15 saat süre ile borlanmıştır.

Borlamanın yapılacağı fırına (Şekil 3.5.) borik asit konulmuştur. Borik asitin içerisine de hazırlanan numuneler her aşama için kat kat yerleştirilmiştir. Katı borlama için hazırlanan fırın çalıştırılmış ve iç sıcaklığının 900 °C’ye çıkması beklenmiştir [Şekil 3.6.]. İstenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra kronometre çalıştırılmıştır.



Şekil 3.5. Katı borlama işleminin yapıldığı fırın



Şekil 3.6. Katı borlama yapılan fırının dijital göstergesi

Kronometre 3 saati doldurduktan sonra fırın durdurulmuş ve kapağı açılarak, 3 saatlik borlamaya tabi tutulan numuneler alınmıştır [Şekil 3.7.]. Dışarı alınan numuneler serbest soğumaya bırakılırken, fırın kapatılarak tekrar çalıştırılmıştır. Yine aynı şekilde fırının 900 °C'ye ulaşması beklenmiş ve ardından kronometre tekrar çalıştırılmıştır. Bu işlem 15 saat dolana kadar, her 3 saatte bir tekrar edilmiştir.



Şekil 3.7. Borlama süresi dolan numunelerin fırından çıkarılması

Fırın çalıştırıldıktan sonra iç sıcaklık 450 °C ulaştığından fırından gaz çıkışı olduğu gözlenmiştir. Fırının 900 °C'ye ulaşması ise yaklaşık 1 saat sürmüştür.

Fırından çıkarılıp serbest soğutmaya bırakılan numunelerin kristalleşmiş borik asit ile kaplandığı görülmüştür [Şekil 3.8.]. Numuneleri kaplayan kristalize yapıdaki borik asit serbest soğutmadayken zamanla numunelerden ayrılmıştır.



Şekil 3.8. Fırından çıkarılmış ve üzeri borik asit ile kaplanmış numuneler

3.3. MİKROSERTLİK TESTİ

Mikrosertlik testi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi makine laboratuvarında bulunan MICROHARDNESS TESTER HV-1000 marka ve modelli cihazda yapılmıştır [Şekil 3.9].



Şekil 3.9. Sertlik testinin yapıldığı cihaz

Her borlama süresi için ayrı ayrı hazırlanmış olan sertlik testi numunelerine 9 noktada sertlik testleri uygulanmıştır. Test koşulları oda sıcaklığında 1000 gr ağırlığındaki batıcı ucun 20 saniye bekleme süresi ile gerçekleştirilmiştir.

3.4. ÇEKME TESTİ

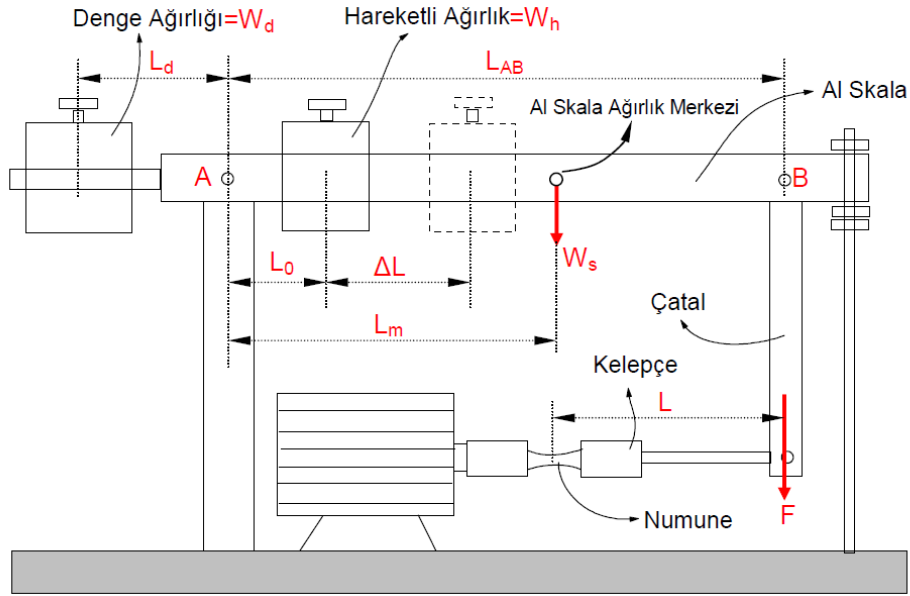
Çekme testinin yapıldığı cihaz Baz markadır. Çekme testi cihazı 60 ton kapasitelidir. Çekme testi cihazı barındırdığı yazılım sayesinde akma noktası, çekme

noktası, akma dayanımı (R_e) ve çekme dayanımının (R_m) yanı sıra % uzama değerlerini bilgisayar ortamında vermektedir.

Her borlama süresi için iki çekme testi uygulanmıştır.

3.5. YORULMA TESTİ

Yorulma testleri Şekil 3.10'daki gibi tasarlanmış olan yorulma deney düzeneğinde yapılmıştır. Şekil 3.10.'da görülen hareketli ağırlık sayesinde numuneye belirli bir gerilme uygulayarak, yüksek hızda dönmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10. Yorulma deney düzeneği şematik görünüşü

Tasarlanmış olan deney düzeneğinin kalibrasyon ayarları yapıldıktan sonra testlere başlanmıştır.

3.5.1. Yorulma Test Düzeneği Kalibrasyonu

Şekil 3.10.'da görülen denge ağırlığı sayesinde sistem dengeye getirilerek gerilmenin sıfır olması sağlanmıştır. Hareketli ağırlık A noktasından uzaklaştıkça numuneye uygulanacak gerilmenin büyüklüğü hesaplanmıştır. Sistem dengedeysen

denge ağırlığının (W_d) A noktasına olan uzaklığı, A noktasına göre moment alınarak tayin edilebilir. Bu hesaplamayı yapabilmek için de sistem üzerinde yer alan dengeleme ağırlığı (W_d), hareketli ağırlık (W_h), skala kolu ağırlığı (W_s), çatal, bağlı olan mil ve mandrenin (W_k) ağırlığına, aynı zamanda aşağıda ölçülmüş olan uzunluklara ihtiyaç vardır. İlgili ağırlıklar ve uzunluklar aşağıdaki gibidir.

W_d : 5050 gram	L_d : ?
W_s : 2600 gram	L_m : 268.43 mm
W_h : 2000 gram	L_o : 25 mm
W_k : 1150gram	L_{AB} : 600 mm

A noktasına göre aşağıdaki gibi moment alınmıştır.

$$\Sigma M_A = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} W_d \times L_d - W_h \times L_o - W_s \times L_m - W_k \times L_{AB} &= 0 \\ 5050 \times L_d - 2000 \times 25 - 2600 \times 268.43 - 1150 \times 600 &= 0 \\ L_d &= 284.73 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sistemin dengede olabilmesi için denge ağırlığı A noktasından itibaren 284.73 mm mesafeye ayarlanmıştır.

Yorulma test düzeneğinde skala kolu 50 MPa gerilmeye karşılık gelen bölüntülere ayrılmıştır. 50 MPa gerilme oluşması için hareketli ağırlığın (W_h), skala kolu üzerinde ne kadar hareket ettirileceği (ΔL) bulunmuştur [Şekil 3.10.].

Eğilme gerilmesi formülünden, ilk önce çatala uygulanan kuvvet tayin edilmiştir.

$$\sigma = \frac{MxC}{I} \quad (4)$$

σ : Eğilme gerilmesi (N/mm²=MPa)

I: Atalet momenti

$$\sigma = \frac{FxLx(d/2)}{\frac{\pi d^4}{64}} \quad M = F \times L ; \quad C = d/2 ; \quad I = \pi \cdot d^4 / 64$$

M: Eğilmeye etki eden eğilme momenti (N.mm)

F: Numuneyi eğmeye zorlayan kuvvet (N)

d: Numune çapı (mm)

Formülün sadeleşmiş şekli:

$$\sigma = 10.18x \frac{FxL}{d^3} \text{ N/mm}^2(\text{MPa}) \quad (5)$$

Sistemdeki verileri ve 50 MPa gerilmeyi formülde uygularsak;

$$\sigma = 10.18x \frac{FxL}{d^3}, \quad 50 = 10.18x \frac{Fx228.9}{3.8^3} \quad F = 1.17 \text{ N}$$

Şeklinde hesaplanmıştır.

Sistemde 50 Mpa gerilme elde etmek için Şekil 3.9.'de görülen çatala 1.17 N kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bu aşamada her bir 50 Mpa gerilme için (F=1,17 N) hareketli ağırlığın ne kadar hareket ettirileceği aşağıdaki hesaplanmıştır.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F \times L_{AB} = W_h \times \Delta L \quad (6)$$

$$F = \frac{W_h \times \Delta L}{L_{AB}} \quad (7)$$

$$\Delta L = \frac{FxL_{AB}}{W_h} \quad (8)$$

$$W_h = 2000 \text{ gr.} = 2 \text{ Kg}$$

$$W_h = 2 \times 9.806 = 19.612 \text{ N}$$

$$\Delta L = \frac{1.17 \times 600}{19.612} = 36.008 \text{ mm}$$

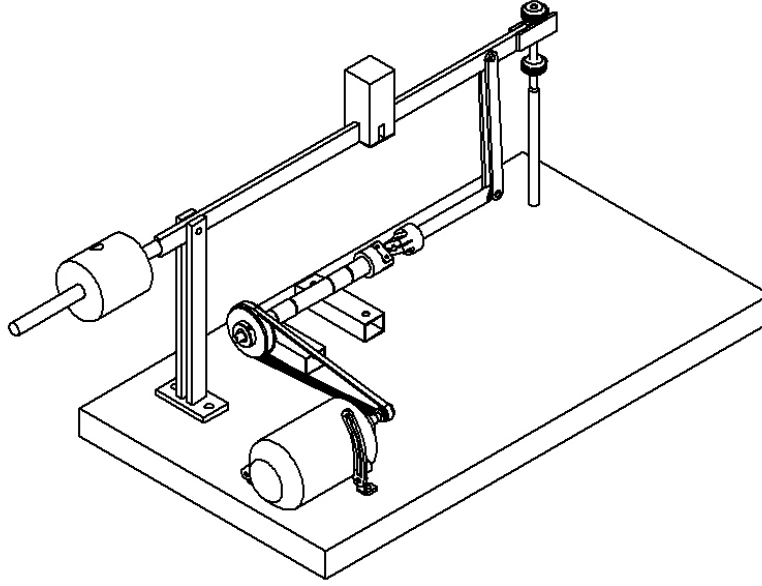
Yapılan hesaplama sonucu hareketli ağırlığın 36,008 mm'lik her hareketinde, yorulma deney numunesine 50 Mpa gerilme uygulayacağı görülmektedir [Çizelge 3.3.].

Çizelge 3.3. Skala kolu üzerinde gerilme-uzaklık çizelgesi

σ (MPa)	ΔL (mm)
0	L_0
50	$L_0 + 36.008$
100	$L_0 + 72.016$
150	$L_0 + 108.024$
200	$L_0 + 144.032$
250	$L_0 + 180.04$
300	$L_0 + 216.048$
350	$L_0 + 252.056$
...	...

Yorulma deney düzeneğinde kullanılan AC motor 220 V, 450 Watt, 9200 dev/dk. özelliklerine sahiptir.

Motorun bu devirde dönmesi halinde, oluşabilecek vibrasyon ve oluşabilecek tehlikeli olumsuz etkilerden dolayı numunenin dönme hızı 1000- 9000 dev/ dk. olması uygun olacaktır [36]. Bu nedenle Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi kayış - kasnak mekanizması yardımıyla sistemin dakikadaki devir sayısı 2300'e düşürülmüştür.



Şekil 3.11. Deney düzeneğinin izometrik görünüşü

D_m : Motorun çıkış miline bağlı olan kasağın çapı (mm),

D_k : Numunenin bağlı olduğu mili döndüren, kasağın çapı (mm),

N_m : Motorun devir sayısı (dev/ dakika),

N_k : Kasağın çapı (dev/ dakika),

D_m : 20 mm

D_k : 80 mm

N_m : 9200 dev / dk.

N_k :? dev / dk.

$$N_m \times D_m = N_k \times D_k \quad (9)$$

$$9200 \times 20 = N_k \times 80$$

$$N_k = 2300 \text{ dev. / dk.}$$

Bu şekilde sistemin dakikadaki devir sayısı teorik olarak 2300 bulunmuştur.

Deney düzeneğinde çevrim sayısını görebilmek için Şekil 3.12’de görüldüğü gibi mikro denetleyici kontrollü bir devir sayacı deney düzeneğine eklenmiştir.



Şekil 3.12. Yorulma test düzeneği

Sistemin uygulamadaki devir sayısı Kımo-kct 100 modeli takometre ile ölçülmüştür. Takometre ile yapılan ölçümlerde test başladığında sistemin devir sayısı 1436 dev/dk iken, test sonunda Şekil 3.13.’de görüldüğü gibi 1511 dev/dk olduğu ölçülmüştür. Ölçüm sonucu deney düzeneği üzerindeki sayaçta görünen devir sayısı ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3.13. Devir ölçer ile sistemin dakikadaki devir sayısının kontrolü

3.5.2. Yorulma Testlerinin Yapılması

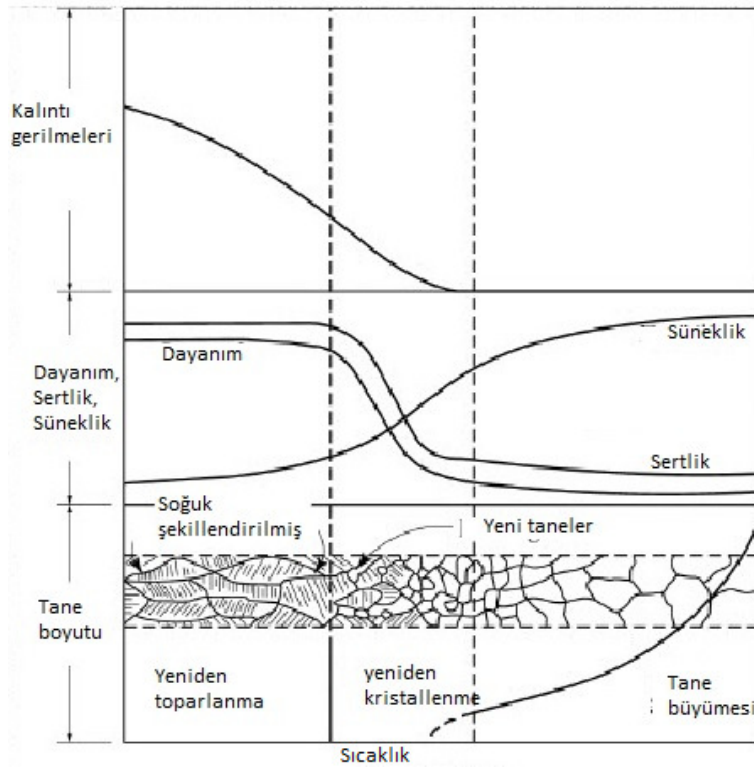
Kalibrasyon ayarları yapılan deney düzeneğinde her borlama süresi (3, 6, 9, 12, 15 saat) ve gerilme için ikişer test yapılmıştır. Testler 300, 350, 400, 450, 500 ve 550 MPa gerilmelerde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ilgili gerilmelerde kırılması gerçekleştikten sonra Şekil 3.14.’de görüldüğü gibi düzenekteki devir ölçer durdurma anahtarı sayesinde takometredeki çevrim sayısı kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.14. Numunelerin kırılması ve devir ölçer durdurma anahtarı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Borik asit ortamında değişik sürelerde 900 °C’de bekletilen otomat çelik numunelere sertlik testleri, yorulma deneyleri, çekme deneyleri uygulanmıştır. İçyapıya ait mikroyapı fotoğrafları ile kırılma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskop görüntülerine ait fotoğraflar alınmıştır. Testlerden ve görüntülerden elde edilen sonuçlar aşağıda ayrıntılarıyla değerlendirilerek elde edilen sonuçlar rapor halinde sunulmuştur. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ısı ve zaman tesiri ile otomat çeliğindeki mekanik ve mikroyapı özelliklerinin literatürde tanımlandığı gibi değiştiği tespit edilmiştir. Fidan ve arkadaşları 2013’de yaptıkları çalışmalarında [38], Şekil 4.1.’de görüldüğü gibi ısı tesiri altında zamana bağlı olarak malzemenin; kalıntı gerilmelerinin azaldığı, çekme ve akma dayanımları ile sertliğin düştüğünü, sünekliğin arttığını, tanelerin büyüdüğünü ifade etmektedirler.

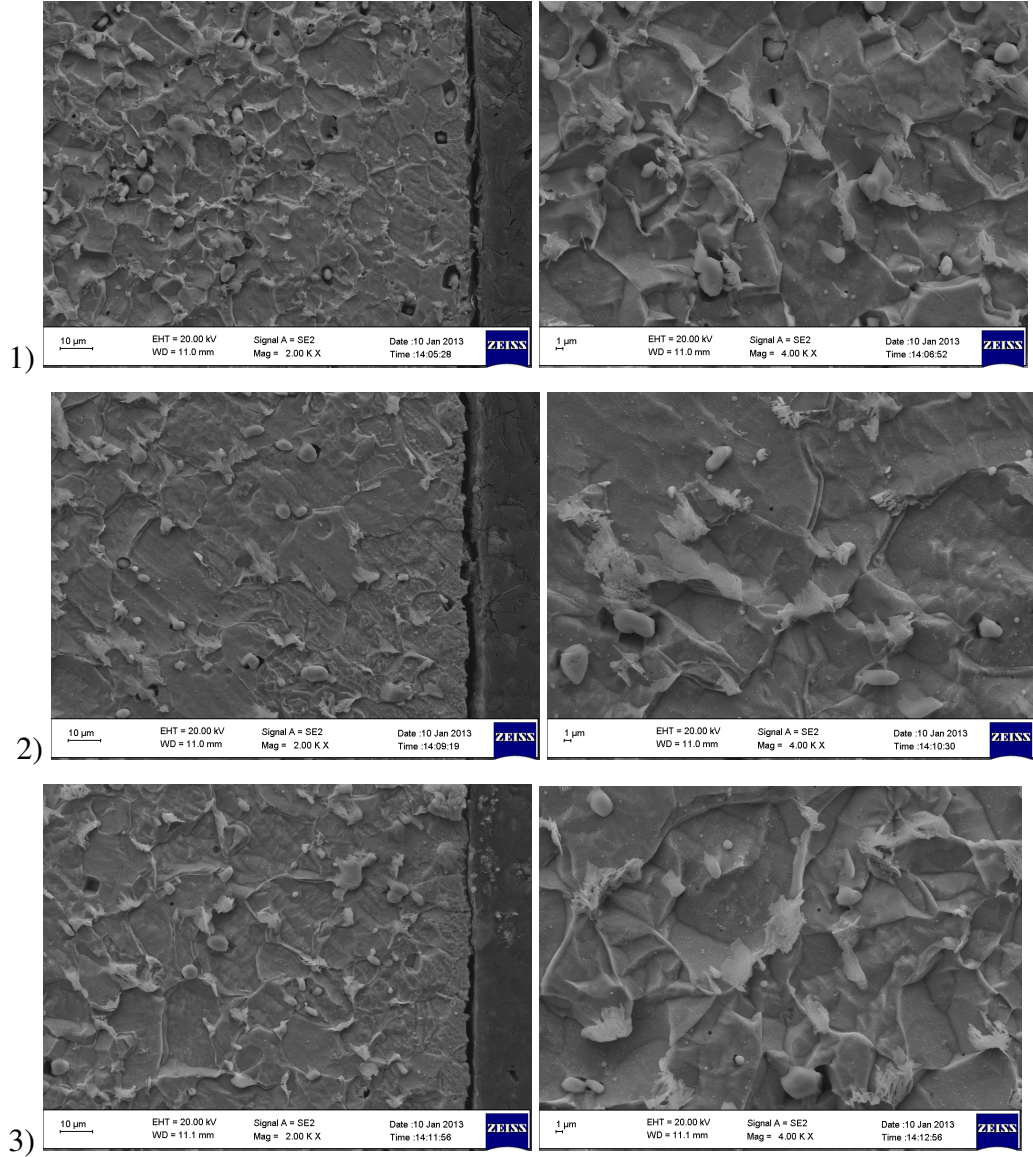


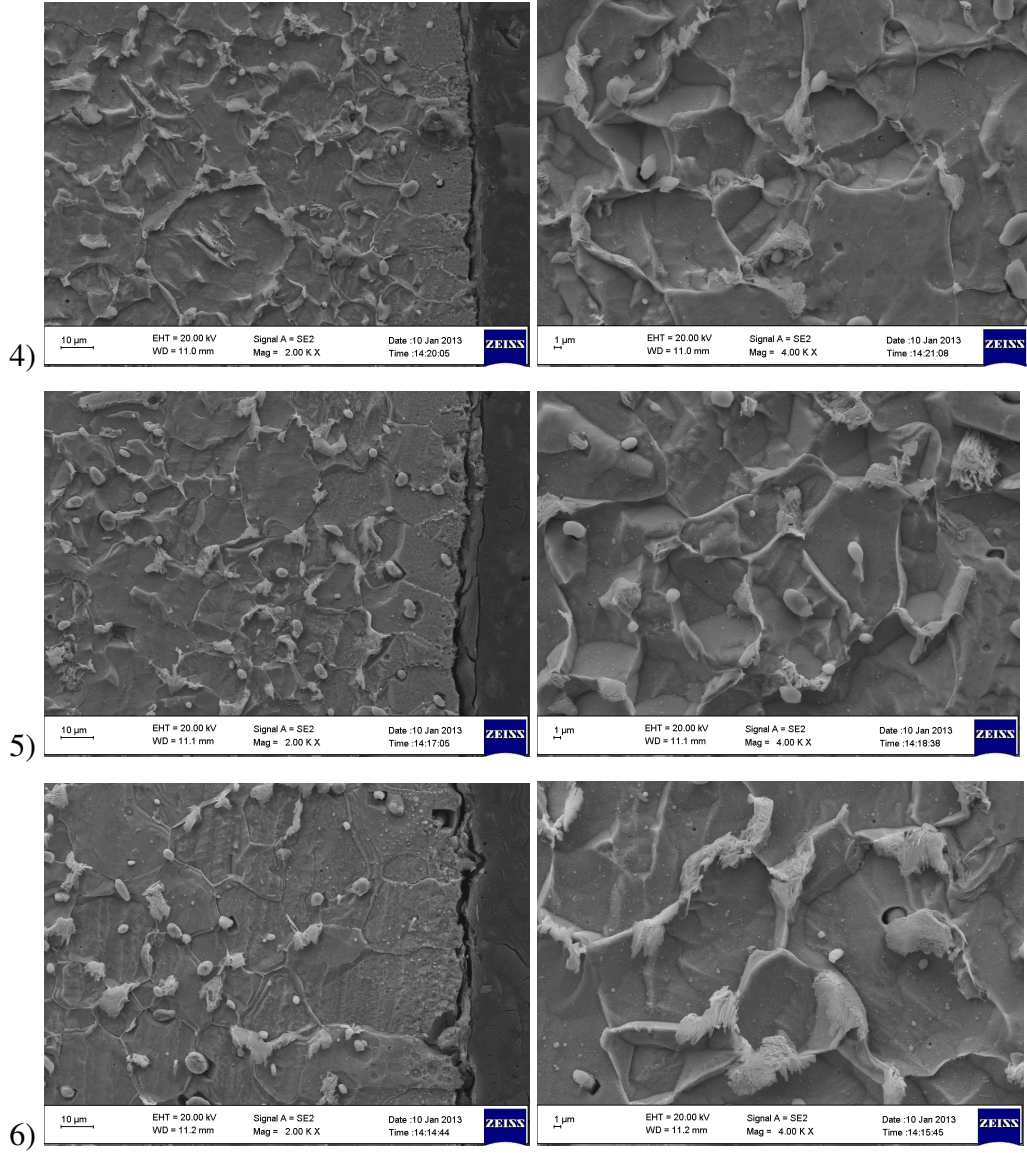
Şekil. 4.1. Isı tesiri altında zamana bağlı olarak malzemenin mekanik özellikleriyle mikroyapısında meydana gelen değişiklikler [3].

Deneysel çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlar literatürdeki tespitlerle uyumludur.

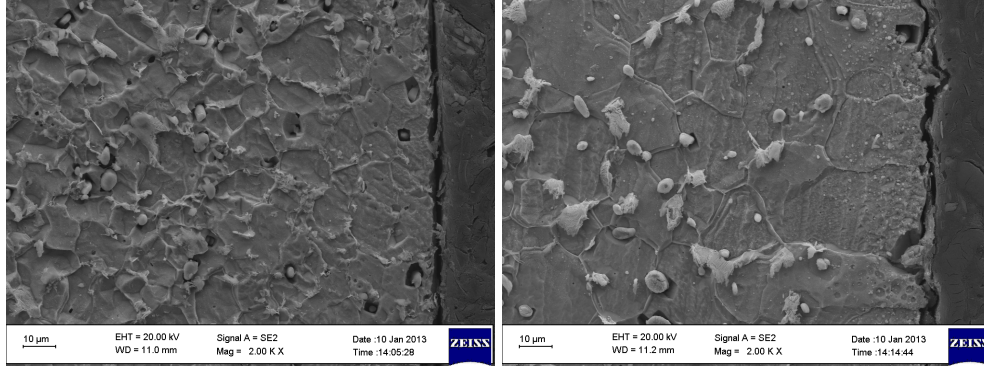
4.1. NUMUNELERİN MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

Farklı ısıtıl işlem görmüş ve görmemiş numuneler metalografik incelemeye hazırlamak için önce zımparalama, parlatma ve % 2 nital dağlama işlemleri uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerin farklı büyütme oranlarındaki (2000X ve 4000X) SEM görüntüleri Şekil 4.2. ve 4.3’de verilmiştir.





Şekil 4.2. Çalışılan numunelere ait mikroyapılarına ait fotoğraflar (1: borlanmamış malzeme, 2: 3 saat süre ile, 3: 6 saat süre ile, 4: 9 saat süre ile, 5: 12 saat süre ile, 6: 15 saat süre ile, 900 °C' de borik asit ortamında bekletilen numuneler)



a)

b)

Şekil 4.3. Isıl işlem görmemiş (a) ve 900 °C’de 15 saat ısıl işlem görmüş numuneye (b) ait mikroyapı görüntüleri (2000x)

Isıl işlem görmemiş numunedeki tane boyutu 8 µm olarak ölçülmüştür. 15 saat ısıl işlem görmüş numunenin tane boyutu ise 20 µm olarak ölçülmüştür. Isıl işlem sonucunda tanelerin büyümesi dayanımı olumsuz etkilemiştir. Çekme dayanımı ve yorulma dayanımı değerlerindeki düşüş tane boyutunun büyümesi ile açıklanabilir. Kalpakjian dayanım ile tane boyutu arasında ters bir orantının olduğunu ifade etmektedir [3]. Bu ifade yapılmış olan deneysel çalışmaların sonuçlarını doğrulamaktadır.

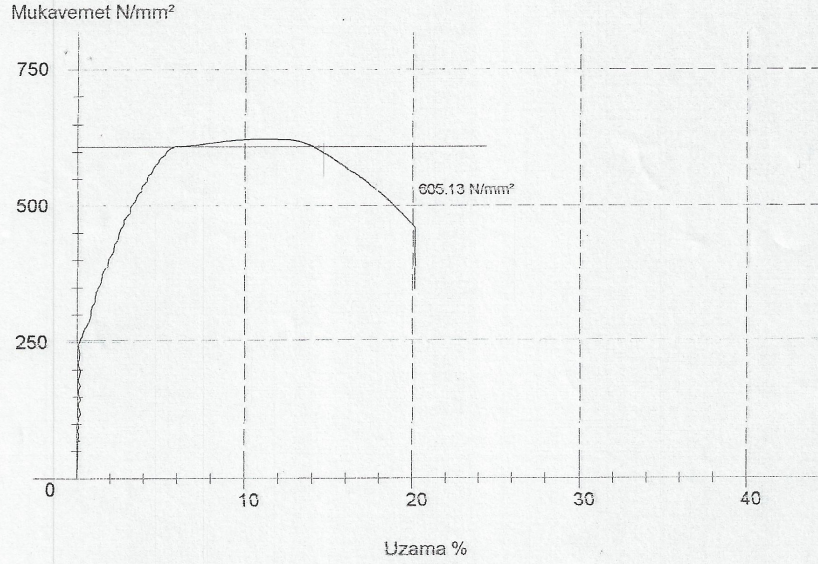
4.2. ÇEKME TESTLERİ

Borlanmamış ve farklı borlanma sürelerine tabi tutulmuş her numuneden ikişer çekme testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara ait çekme-uzama grafikleri Şekil 4.4.- 4.5 - 4.6. - 4.7. - 4.8. - 4.9 - 4.10. - 4.11. - 4.12. - 4.13. - 4.14 - 4.15’ de verilmiştir.

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
2.	49.00	40.	46.4	605.13	610.	30.	1.02	16.

Grafikler

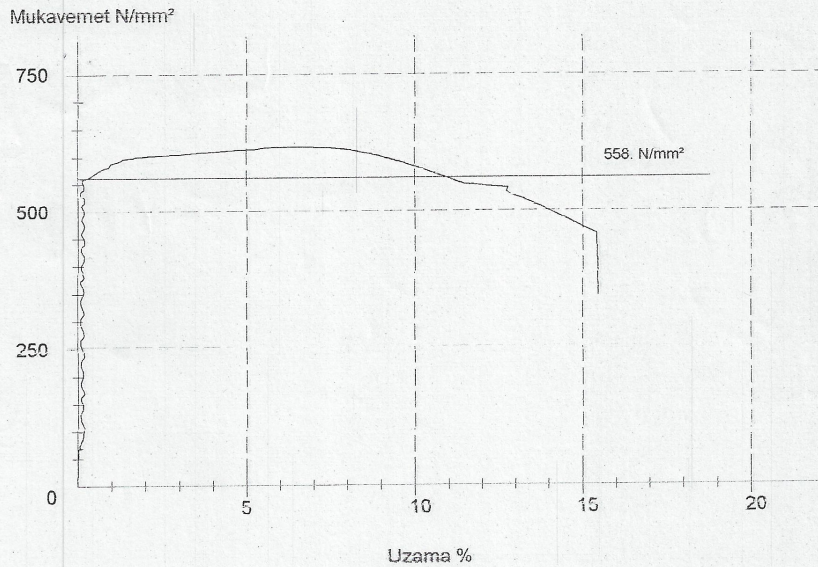


Şekil 4.4. Borlanmamış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
1.	51.12	40.	47.03	558.	613.	31.	1.1	17.58

Grafikler

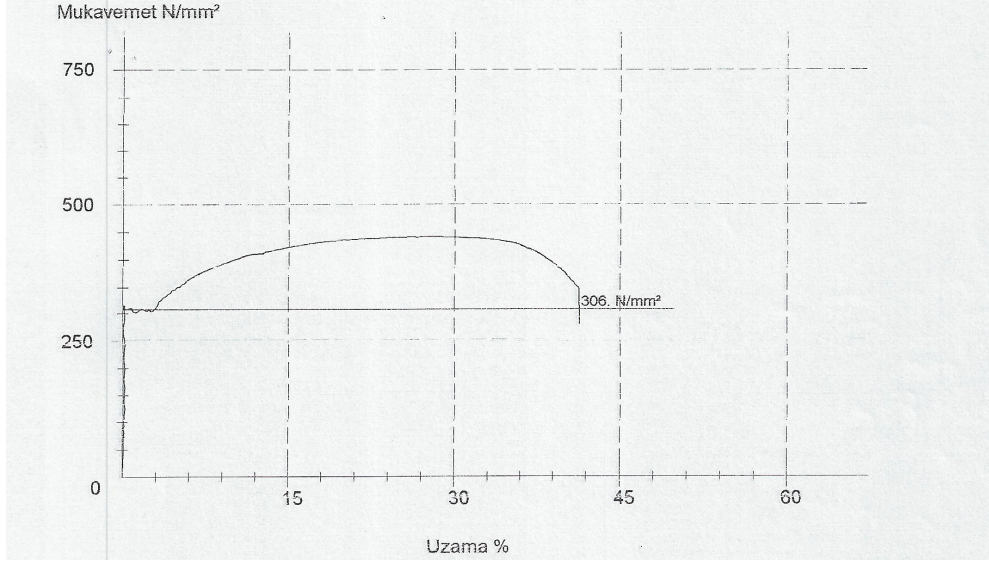


Şekil 4.5. Borlanmamış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
12.	48,62	40.	54,16	306.	438.	21.	1,43	35,4

Grafikler

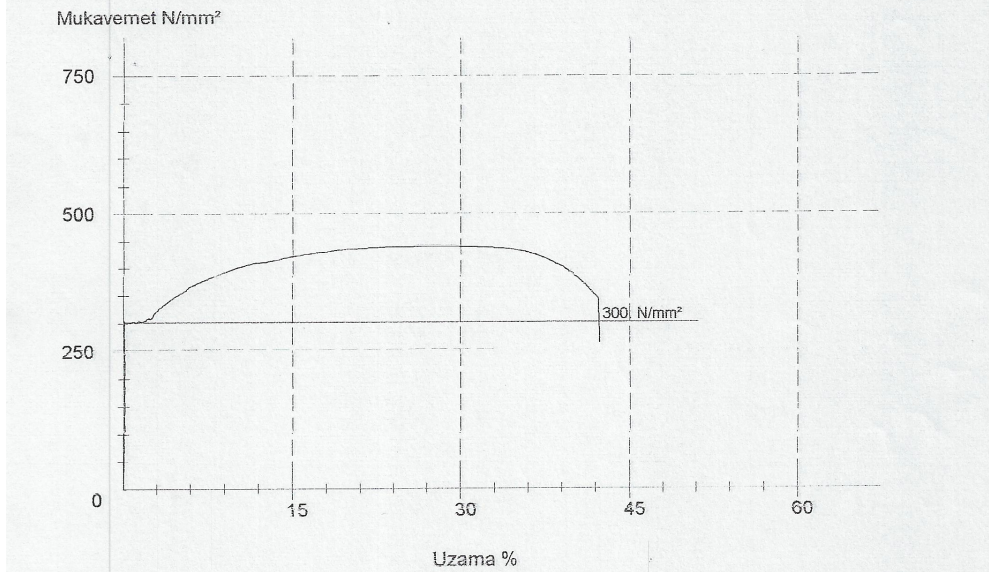


Şekil 4.6. 3 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
11.	50,87	40.	54,11	300.	437.	22.	1,46	35,28

Grafikler



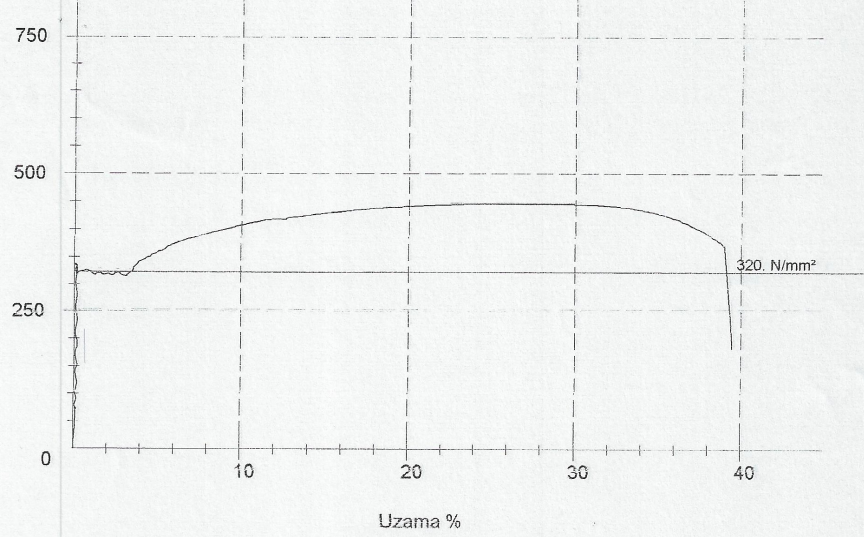
Şekil 4.7. 3 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
10.	49.74	40.	55.11	320.	443.	21.	1.38	37.78

Grafikler

Mukavemet N/mm²



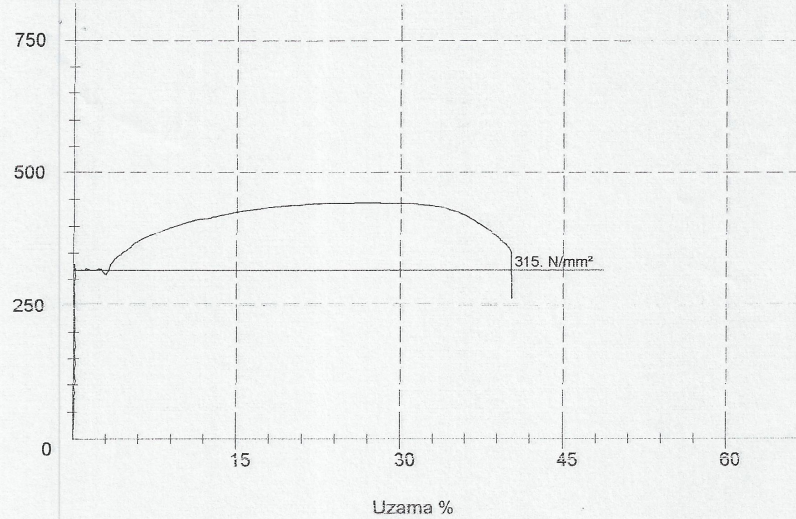
Şekil 4.8. 6 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
9.	47.76	40.	55.22	315.	440.	21.	1.4	38.05

Grafikler

Mukavemet N/mm²

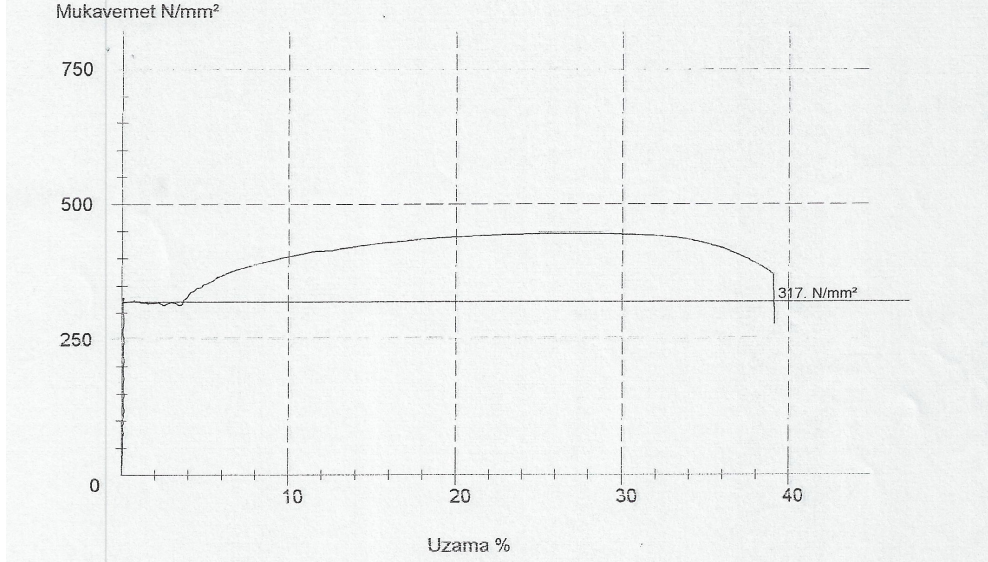


Şekil 4.9. 6 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
8.	47.88	40.	53.58	317.	441.	21.	1.39	33.95

Grafikler

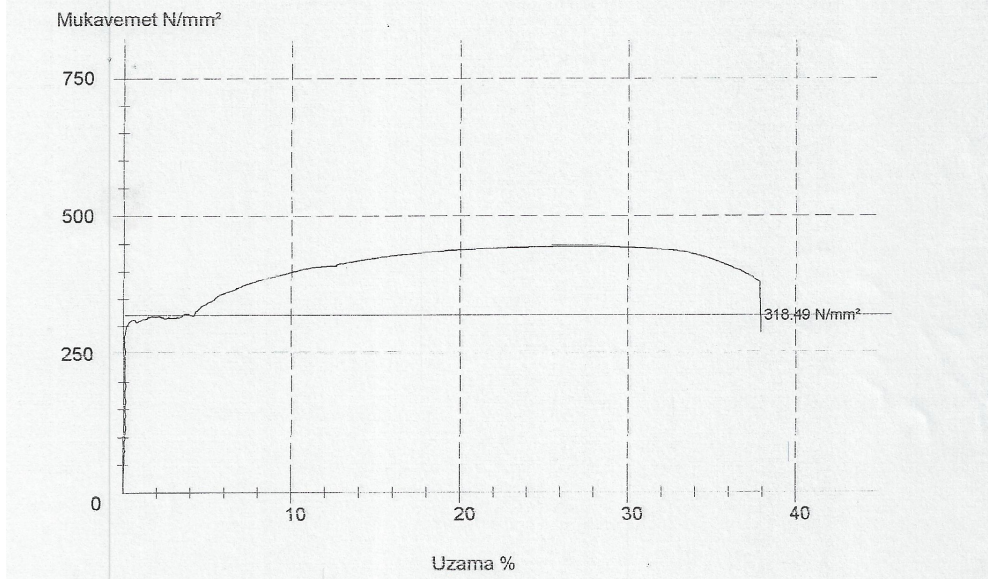


Şekil 4.10. 9 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
7.	47.88	40.	53.26	318.49	441.	21.	1.38	33.15

Grafikler

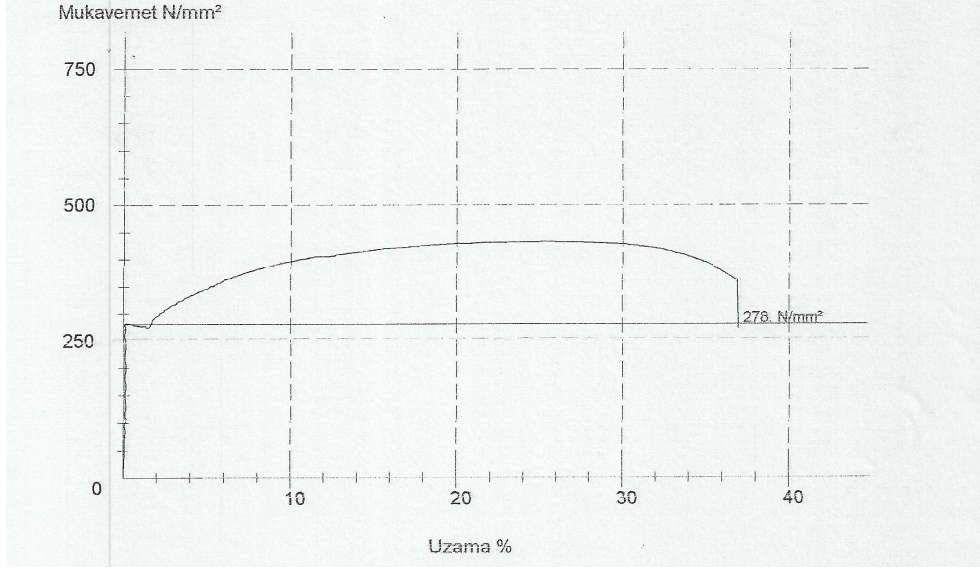


Şekil 4.11. 9 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
6.	48.	40.	53.65	278.	430.	20.	1.54	34.13

Grafikler

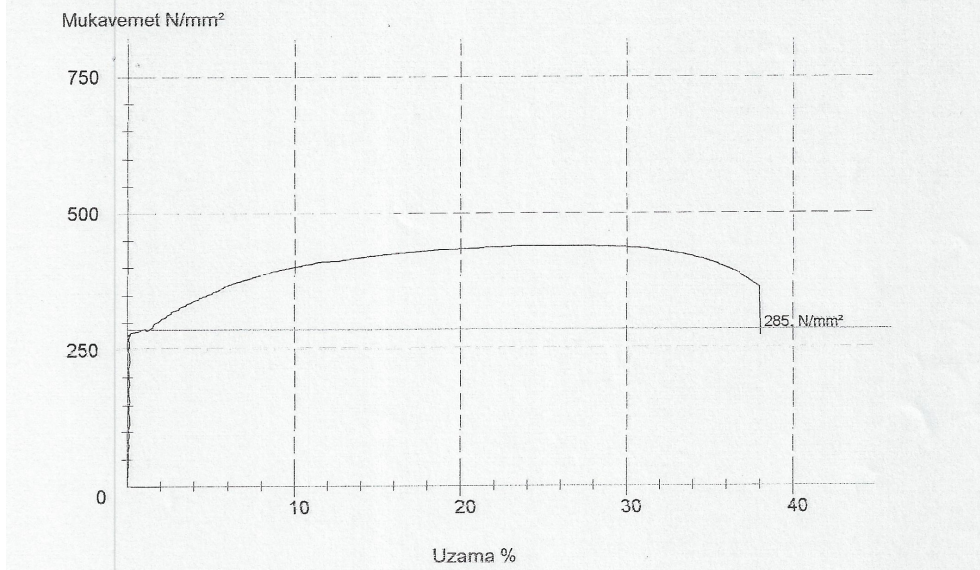


Şekil 4.12. 12 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları

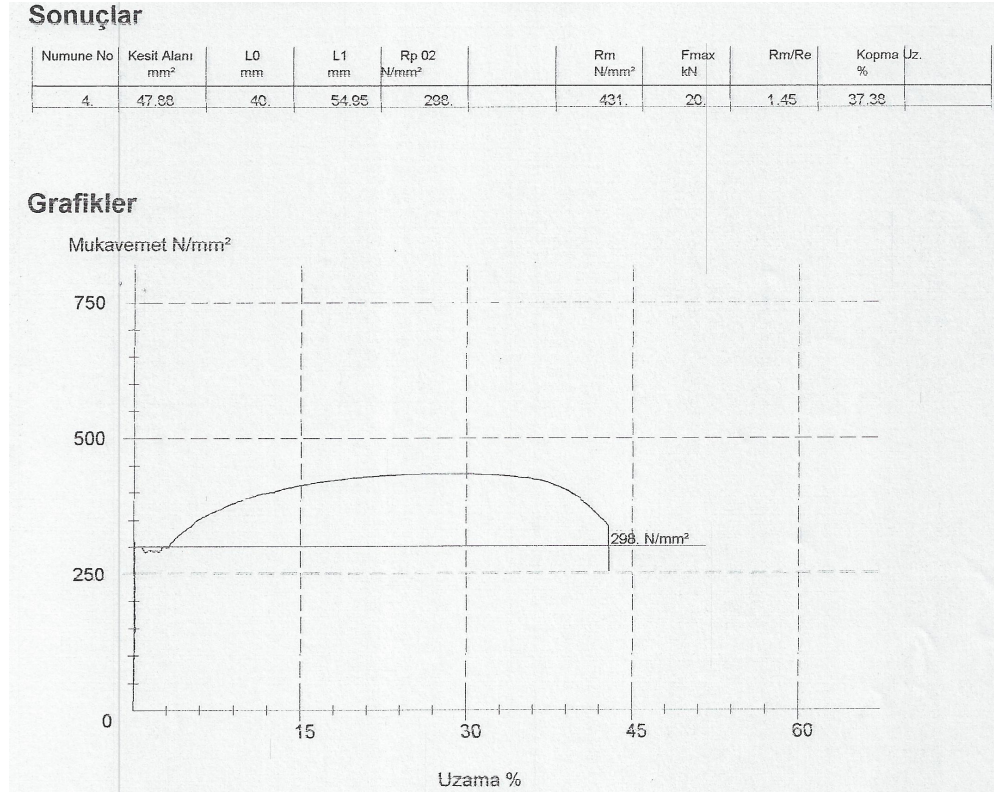
Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
5.	48.98	40.	53.65	285.	436.	21.	1.53	34.13

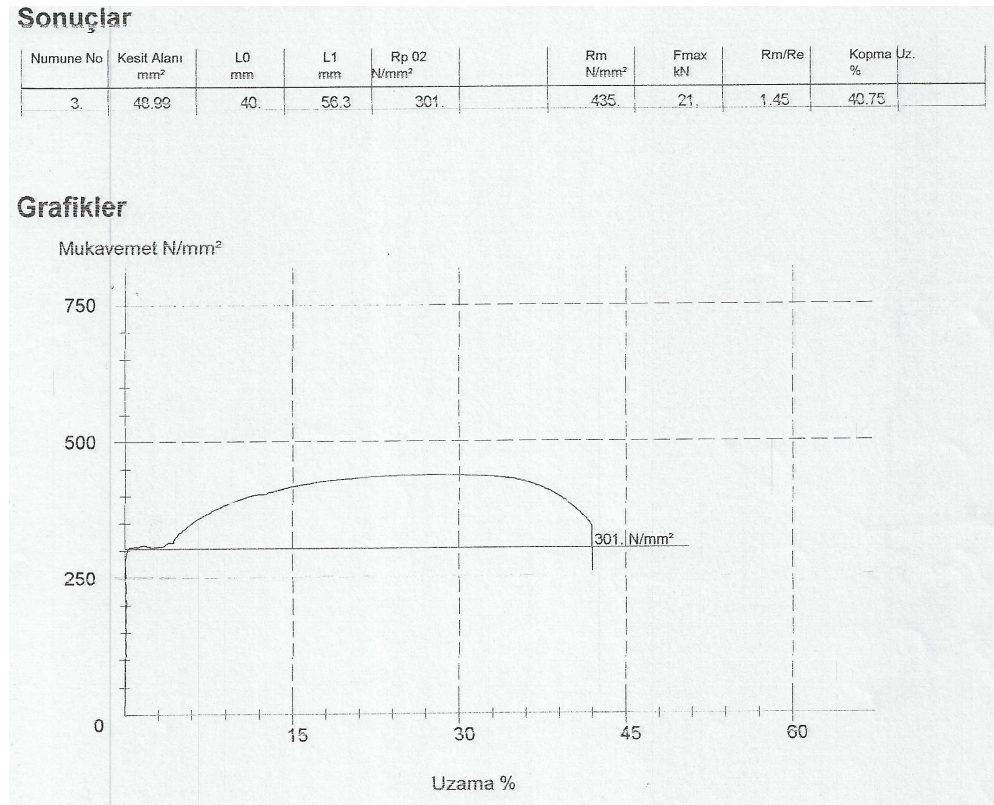
Grafikler



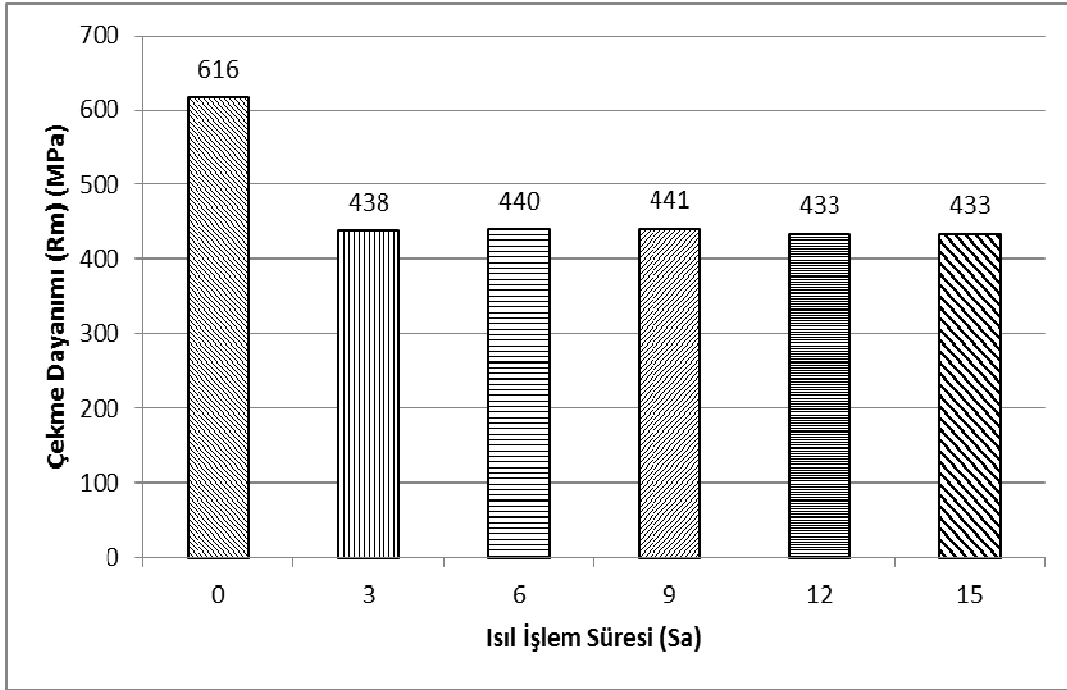
Şekil 4.13. 12 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları



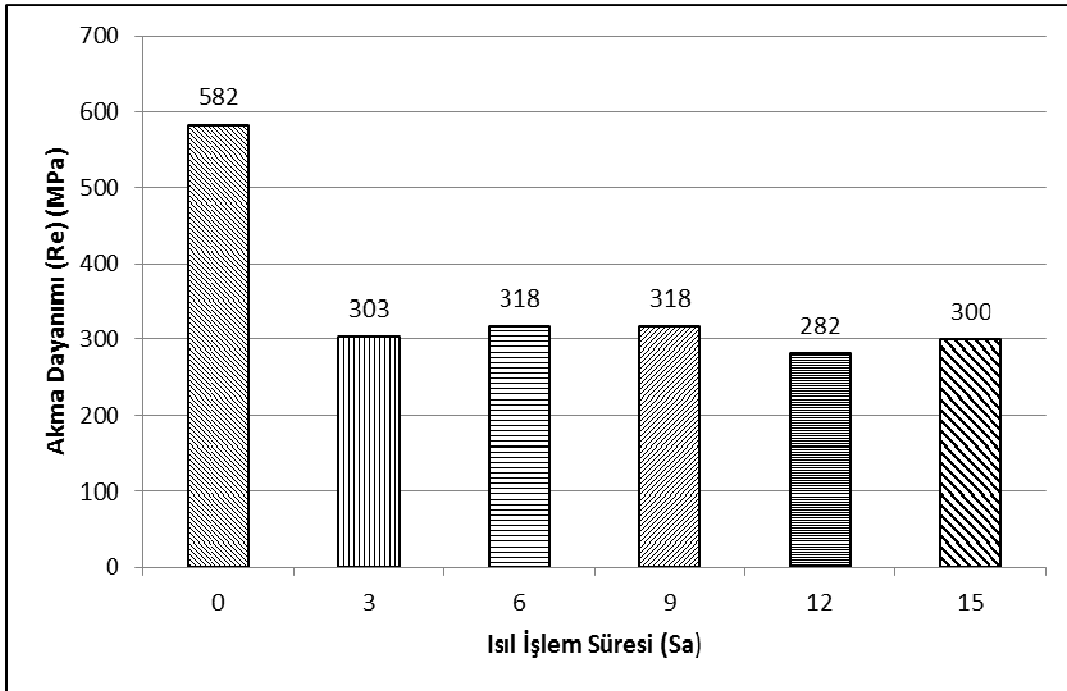
Şekil 4.14. 15 saat borlanmış numuneye ait 1. çekme testi grafiği ve sonuçları



Şekil 4.15. 15 saat borlanmış numuneye ait 2. çekme testi grafiği ve sonuçları



Şekil 4.16. Çekme dayanımı toplu sonuçlar



Şekil 4.17. Akma dayanımları toplu sonuçlar

Yapılan çekme testleri sonucu borlanmamış numunenin çekme mukavemeti, malzemenin katalog değerlerinde yer alan çekme mukavemetinden yüksek olduğu

tespit edilmiştir. Borik asit ortamında 900 °C’ de tutulan numunelerin çekme mukavemetlerinde %29 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir.

$$R_m \% \text{ azalma} = [616 - (438 + 440 + 441 + 433 + 433) : 5] \times 100 : 616 = 29,058$$

Borik asit ortamında 900 °C’ de tutulan numunelerin akma mukavemetlerinde % 47,7 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir.

$$R_e \% \text{ azalma} = [582 - (303 + 318 + 318 + 282 + 300) : 5] \times 100 : 582 = 47,7$$

900 °C sıcaklıkta farklı sürelerde bekletilen numunelerin çekme ve akma dayanımlarında tespit edilen düşüşün nedeni sıcaklık tesiri ile tane boyutundaki büyüme ile açıklanabilir. Bu bulgunun doğrulanması için çalışılan malzemelerin mikroyapılarına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.3.’ teki görüntüler değerlendirildiğinde borlanmamış numunelerde tane boyutu küçük iken yüksek sıcaklıkta uzun süre bekletilmiş numunelerde tane boyutunun daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Kalpakjian tane boyutu ile malzemenin dayanımı arasında ters orantı olduğunu ifade etmektedir [2-3]. Tane boyutu büyüdükçe birim hacim başına düşen tane yüzey alanı azalmaktadır. Bu durum tanelerin yük taşıma kapasitesini azaltmaktadır [4-5].

Farklı sürelerde borlama işlemine tabi tutulan numuneler kendi aralarında değerlendirildiklerinde çekme ve akma mukavemetlerinde kayda değer farklılıklar olmadığı tespit edilmiştir.

Borlanmamış numunenin katalog değerlerine göre akma dayanımı 465 N/mm² iken, yapılan çekme testlerinde akma dayanımı 605,13 ve 558 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Borlama sürelerinin farklılığı ise akma dayanımlarını çok etkilememiştir.

Verilen sonuçlarda çekme testi sırasındaki uzama miktarlarını incelediğimizde borlama işlemine tabi tutulan numunelerin borlanmamış numunelere

göre ortalama iki kat daha fazla uzamıştır. Yüksek sıcaklıkta bekletilen numunelerin süneklikleri artmaktadır [9].

$$\text{Süneklik} = [(L_s - L_i) : L_i] \times 100 \quad (8)$$

Borlanmamış numune için ortalama süneklik:

$$[(46,715-40) : 40] \times 100 = 16,78$$

3 Saat borlanmış numuneye ait ortalama süneklik:

$$[(54,135-40) : 40] \times 100 = 35,3375$$

6 saat borlanmış numuneye ait ortalama süneklik:

$$[(55,165-40) : 40] \times 100 = 37,9125$$

9 saat borlanmış numuneye ait ortalama süneklik:

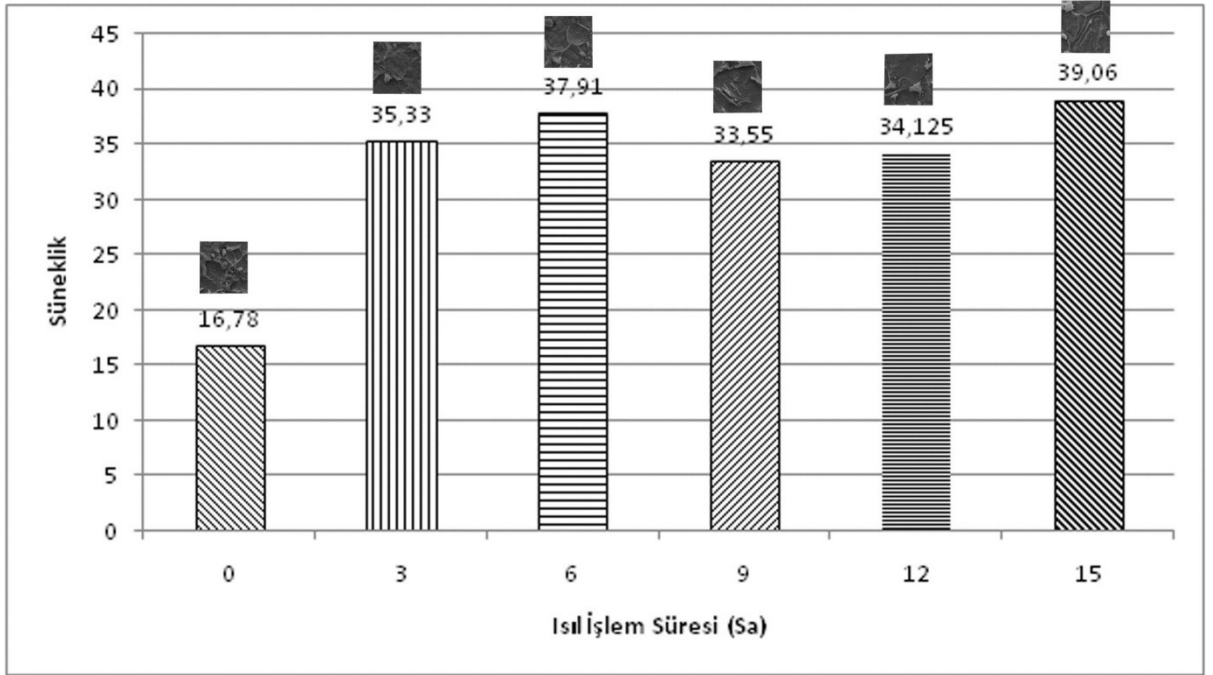
$$[(53,42-40) : 40] \times 100 = 33,55$$

12 saat borlanmış numuneye ait ortalama süneklik:

$$[(53,65-40) : 40] \times 100 = 34,125$$

15 saat borlanmış numuneye ait ortalama süneklik:

$$[(55,625-40) : 40] \times 100 = 39,062$$



Şekil 4.18. Süneklik toplu sonuçlar

Yüksek sıcaklıkta bekletilen numuneler süneklikleri 16'dan 39'a çıkmıştır. Sonuçlardan görüldüğü gibi sıcaklığın etkisiyle süneklik %150 düzeyinde artmıştır. Sıcak ortamda bekletilen malzemede, malzemenin üretimi esnasında yapıda hapsolan kalıntı gerilmeleri kaybolmaktadır. Kalıntı gerilmelerin bu şekilde giderilmesi malzemenin mukavemet değerlerini düşürürken sünekliğini artırmaktadır. Malzemenin sünek davranışını değerlendirmek için deneysel olarak çekme testine tabi tutularak elde edilen veriler ile teorik olarak hesaplanan sonuçlar malzemenin sünekliğinin, sıcaklık etkisiyle arttığını göstermektedir. Bu sonuçlara ilave olarak yorulma testleri yapılan malzemelerin kırılma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları alınmıştır. Kırılma görüntüleri de (Şekil 4.2.) sıcaklık tesiri ile malzemenin sünek tarzda kırıldığını doğrulamaktadır. Malzemenin çekme dayanımı azalırken sünekliğin artmasıyla tokluğu artmıştır. Sünek malzemelerin toklukları aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır [3].

$$T = \frac{Re + Rm}{2} \cdot e \quad (9)$$

$$e = (L_s - L_i) : L_i \quad (10)$$

Burada;

T: Tokluk (MPa)

R_m: Çekme Dayanımı (MPa)

Re: Akma Dayanımı (MPa)

e: Birim uzama (Birimsiz)

Borlanma sürelerine göre numunelere ait tokluk değerleri:

$$T_0 = (582 + 616) : 2 \cdot 0,1678 = 100,51 \text{ MPa}$$

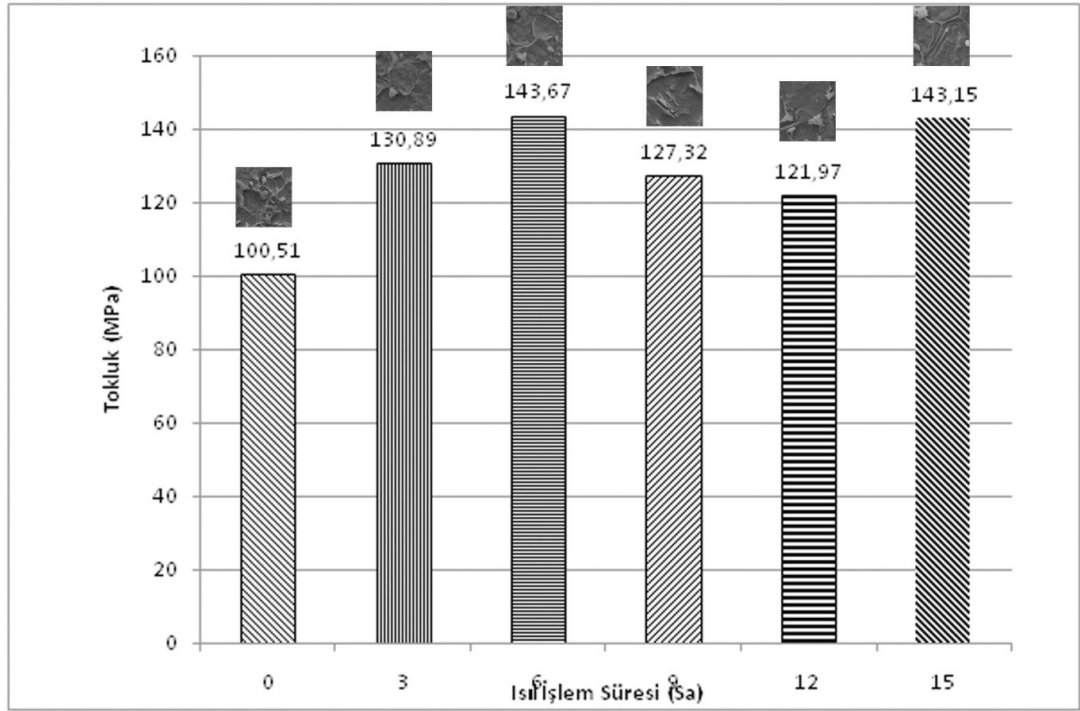
$$T_{3 \text{ saat}} = (438 + 303) : 2 \cdot 0,3533 = 130,89 \text{ MPa}$$

$$T_{6 \text{ saat}} = (440 + 318) : 2 \cdot 0,3791 = 143,67 \text{ MPa}$$

$$T_{9 \text{ saat}} = (441 + 318) : 2 \cdot 0,3355 = 127,32 \text{ MPa}$$

$$T_{12 \text{ saat}} = (433 + 282) : 2 \cdot 0,3412 = 121,97 \text{ MPa}$$

$$T_{15 \text{ saat}} = (300 + 433) : 2 \cdot 0,3906 = 143,15 \text{ MPa}$$

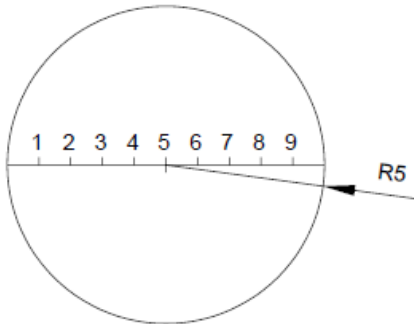


Şekil 4.19. Numunelere ait tokluk grafiği

Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi borik asit ortamında 900 °C'de bekletilen otomat çeliğinin tokluk değerleri artmış olmakla beraber, 6 saate kadar arttığı, 6 saatten sonra düştüğü gözlenmiştir.

4.3. MİKROSERTLİK TESTLERİ

Sertlik ölçümü için numunenin çapı boyunca doğrusal bir şekilde, 1 mm aralıklarla 9 noktadan sertlik testleri yapılmıştır [Şekil 4.20.]. Borlanmamış ve farklı borlanma sürelerine tabi tutulan numunelerin sertlik değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Mikrosertlik testi numunesi test noktaları

Çizelge 4.21. Numunelerin mikrosertlik testi sonuçları (HV₁₀₀₀)

Test noktaları Borlanma süresi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ort.	
Ana malzeme	172	185	257	224	219	229	224	197	205	212	212
3	129	125	133	127	127	116	133	123	135	127	Ortalama 151,6
6	143	145	138	138	150	145	140	123	145	140	
9	129	131	135	129	145	133	131	138	138	134	
12	185	197	193	193	182	189	189	175	172	186	
15	153	159	156	197	219	182	153	172	156	171	

1000 gr batıcı uç ile (HV₁₀₀₀) gerçekleştirilen Vickers mikrosertlik testlerinde, borlanmamış veya farklı borlanma sürelerine sahip numunelerin sertliklerinde kayda değer değişiklikler gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta bekletilen numunelerin sertliklerinde ana malzemeye göre % 28,49 oranında azalmıştır. Sertlikteki düşüşün nedeni ana malzemedeki soğuk deformasyon sonucu yapıda hapsolan kalıntı gerilmelerinin ısı ve zamana bağlı olarak yapıdan atılması ile açıklanabilir.

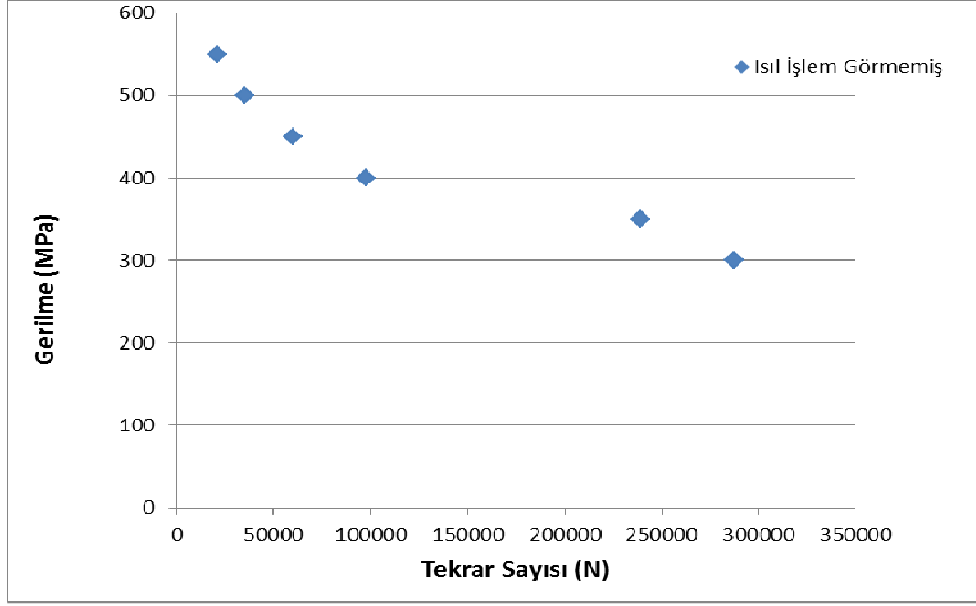
4.4. YORULMA TESTLERİ

Her gerilme değeri için iki ve ısıtma işlem süresi için toplam 12 adet yorulma testi gerçekleştirilmiştir. Farklı gerilmelerde gerçekleştirilen yorulma testlerinde elde edilen çevrim sayılarının aritmetik ortalamaları Çizelge 4.22.'deki gibidir.

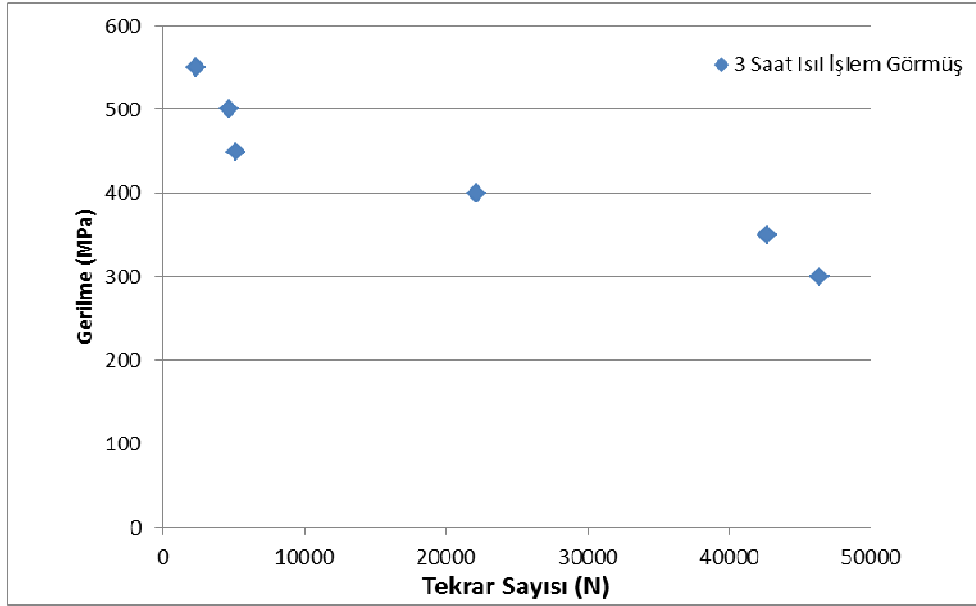
Çizelge 4.22. Yorulma testleri tekrar (çevrim) sayıları aritmetik ortalamaları

Gerilme (Mpa) Borlanma süresi	300	350	400	450	500	550
Ana malzeme	287453	238833	97599,5	60240	34977	21088
3	46380,5	42677	22112,5	5153	4686,5	2368,5
6	53726,5	23386	19895	8328	4119,5	2696
9	47132	41542	15900,5	9424,5	4662	2658,5
12	63869	32635	23914,5	8870	5430	2834,5
15	41076	27959	19013	7761	4031,5	2570

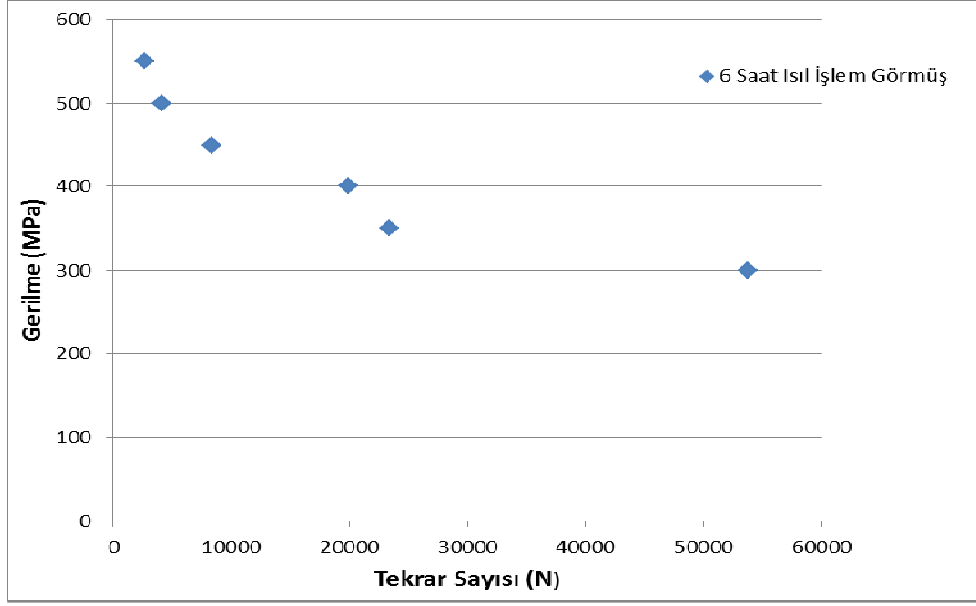
Farklı sıcaklıklarda borik asit ortamında bekletilen numunelerin yorulma davranışları wöhler eğrileri ile incelenmiştir. Yorulma testlerine ait veriler Şekil 4.21., 4.22, 4.23., 4.24., 4.25., 4.26.’ da verilmiştir. Şekil 4.20. incelendiğinde ısıtıl işlem görmüş numunelerin 300 MPa gerilme altında 50000 tekrar sayısında kırıldıkları görülmektedir. Isıtıl işlem görmemiş ana malzeme ise aynı gerilme altında 300000 tekrar sayısında kırılmıştır. Isıtıl işlem görmüş numunelerin 300 MPa gerilme altındaki ömürleri ana malzemenin % 16’sı kadardır. Isıtıl işlem görmüş numunelerin ısıtıl işlem görmemiş numunelere göre yorulma kırılmaları daha düşük çevrimlerde gerçekleşmiştir. Yorulma dayanımında meydana gelen düşüşün nedeni malzemenin sertlik ve çekme-akma dayanım değerlerinde meydana gelen düşüş ile açıklanabilir. Numunelerin yüksek sıcaklıkta farklı sürelerde bekletilmesinin yorulma davranışına etkisi arasında Şekil 4.27.’de görüldüğü gibi anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.



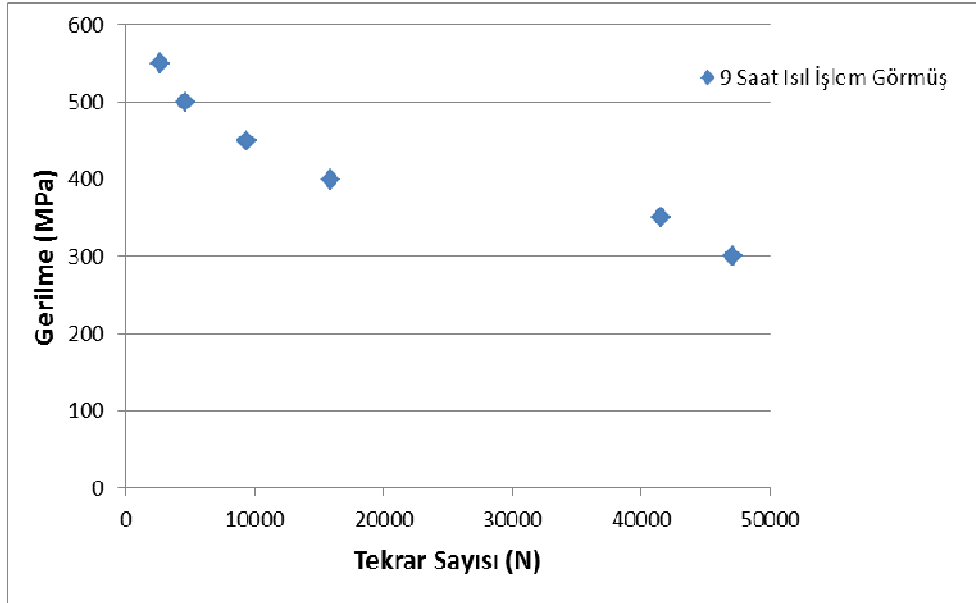
Şekil 4.21. Isıl işlem görmemiş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



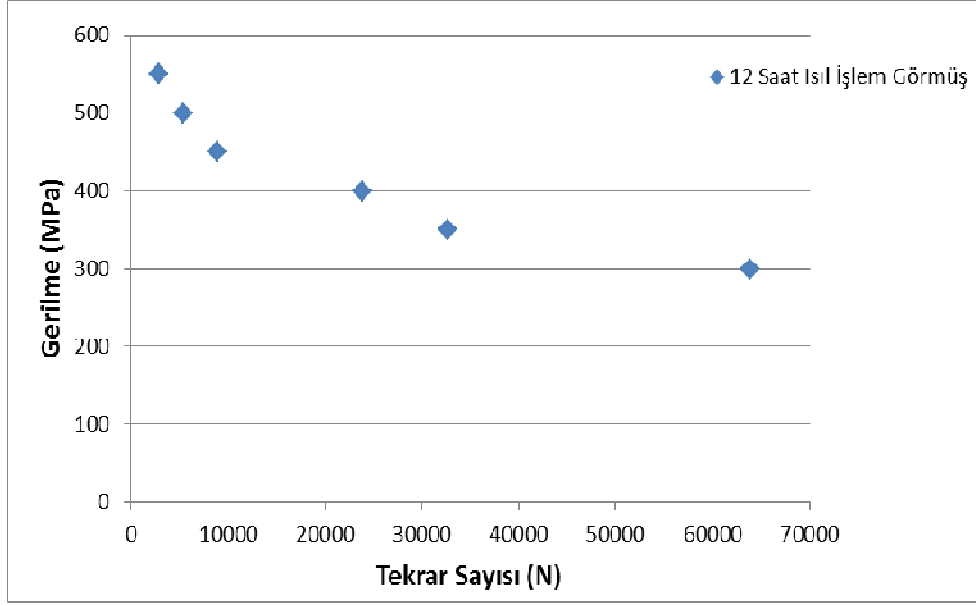
Şekil 4.22. 3 saat ısıtıl işlem görmüş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



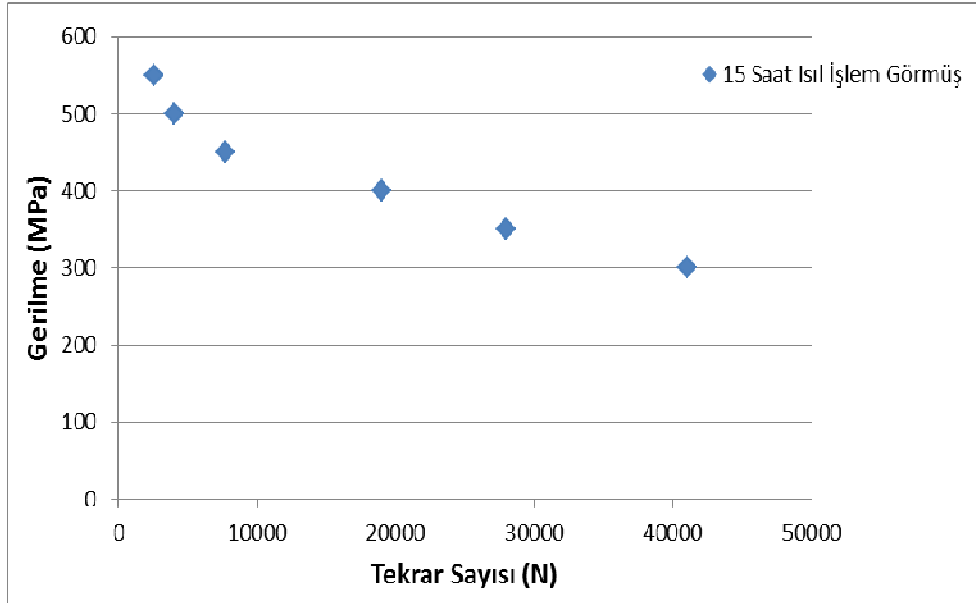
Şekil 4.23. 6 saat ısıt işlem görmüş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



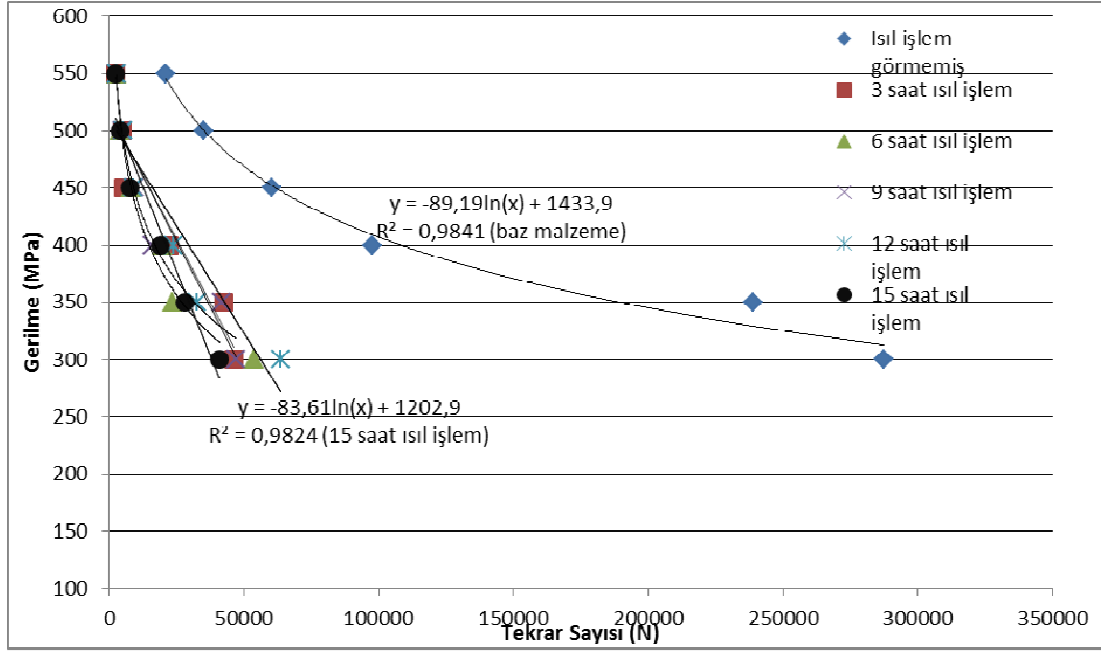
Şekil 4.24. 9 saat ısıt işlem görmüş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



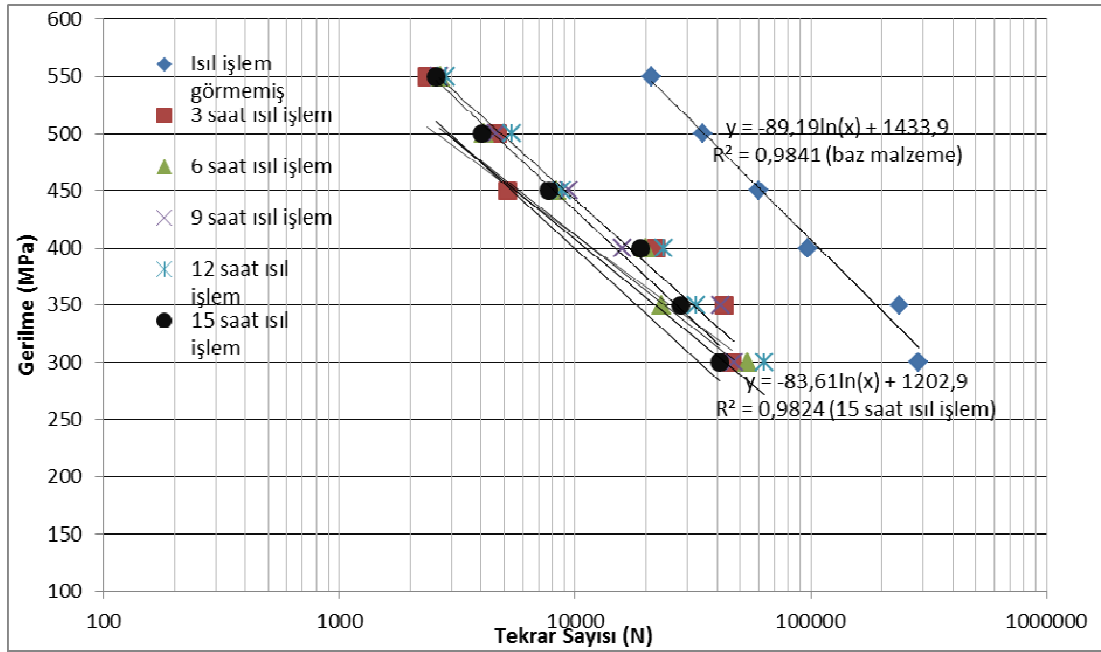
Şekil 4.25. 12 saat ısıtıl işlem görmüş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



Şekil 4.26. 15 Saat ısıtıl işlem görmüş numunenin yorulma testi Wöhler eğrisi



a)

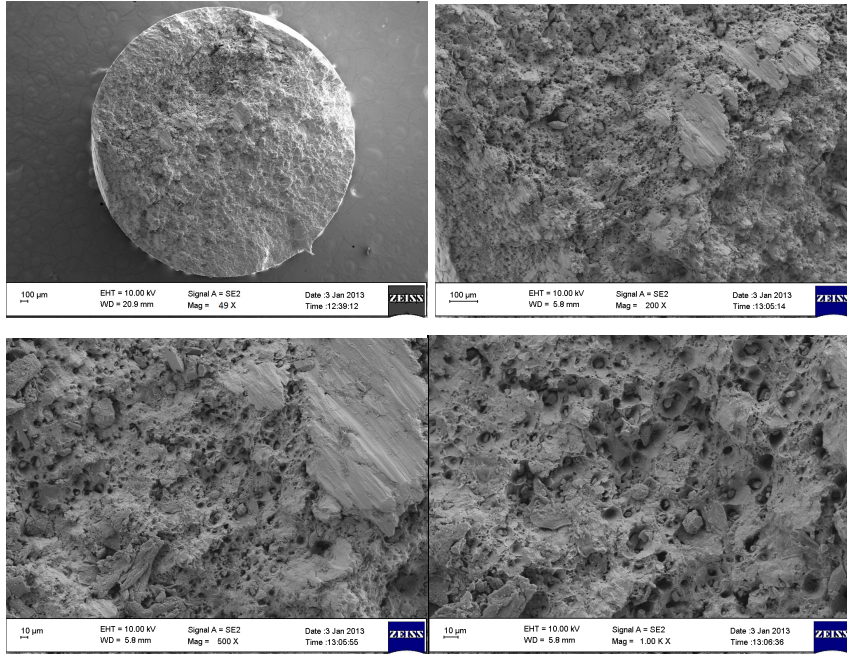


b)

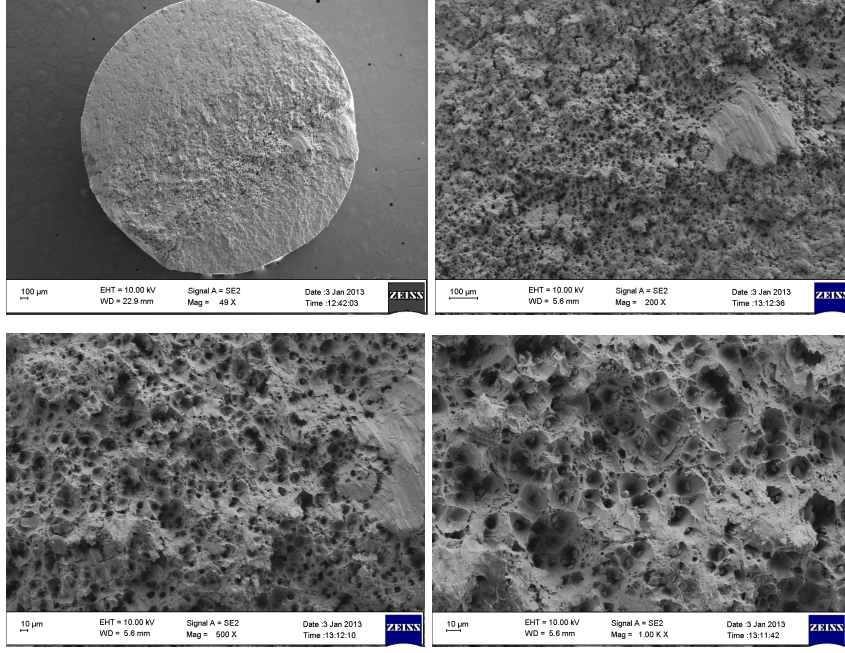
Şekil 4.27. Tüm numunelere ait yorulma test sonuçları, a) Tekrar sayısı normal ölçekte, b) Tekrar sayısı logaritmik ölçekte

4.5. KIRILMA YÜZEYLERİNİN SEM FOTOĞRAFLARI

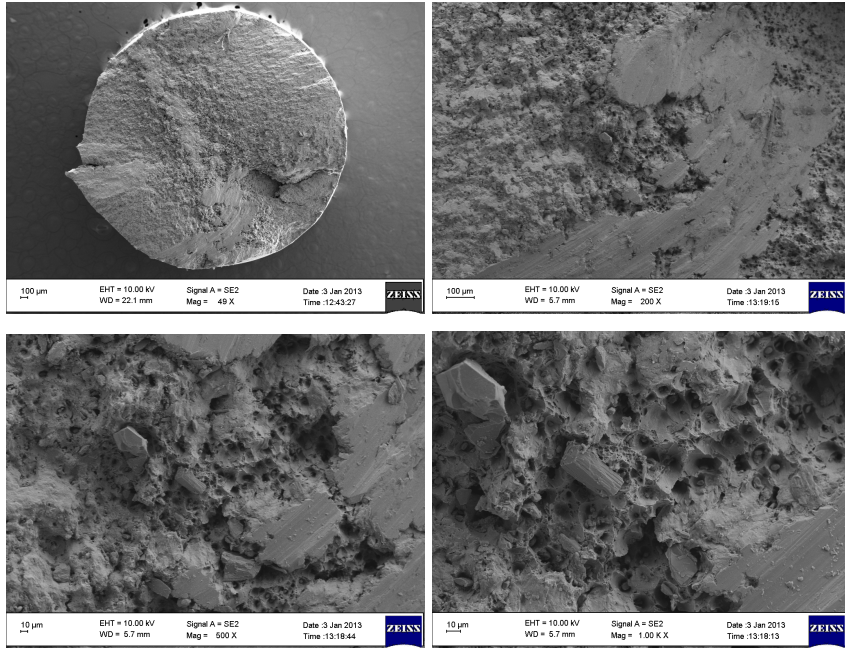
Yorulma testine maruz bırakılmış numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobun (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Isıl işlem görmemiş ve farklı sürelerde ısıl işlem görmüş numunelerin kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri farklı büyütme oranlarında (49X, 200X, 500X, 1000X) alınmıştır.



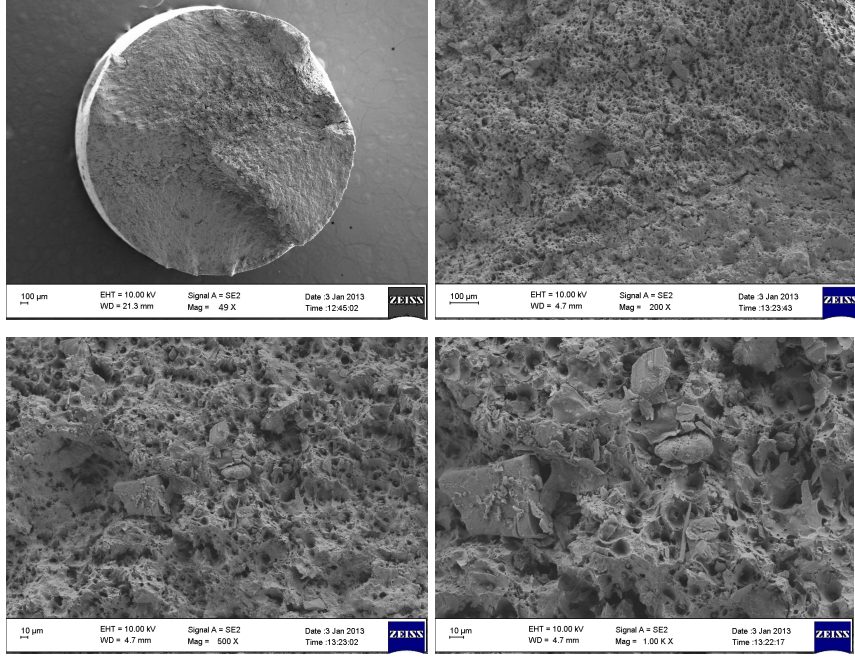
Şekil 4.28. Isıl işlem görmemiş numunenin kırılma yüzeyi



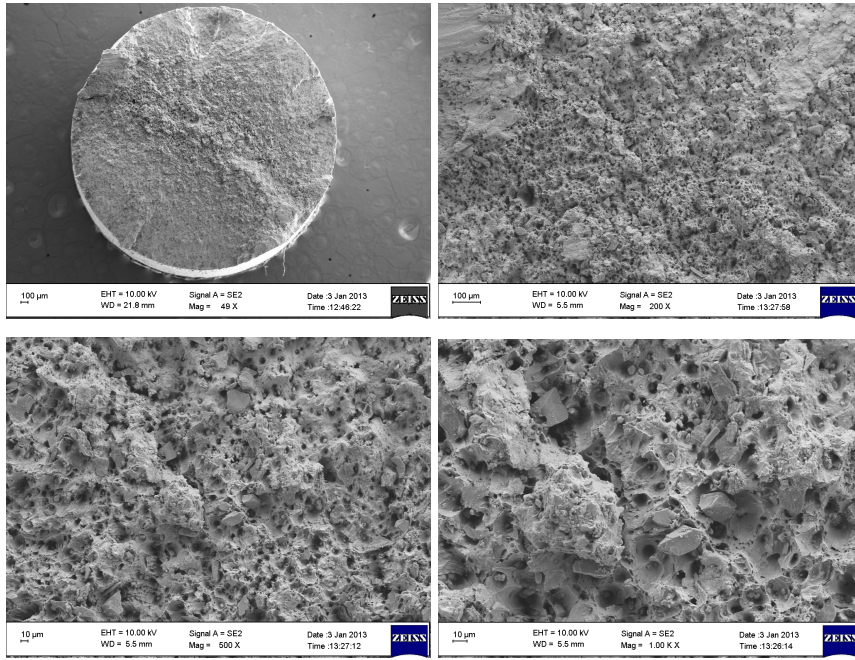
Şekil 4.29. 3 saat ısıt işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi



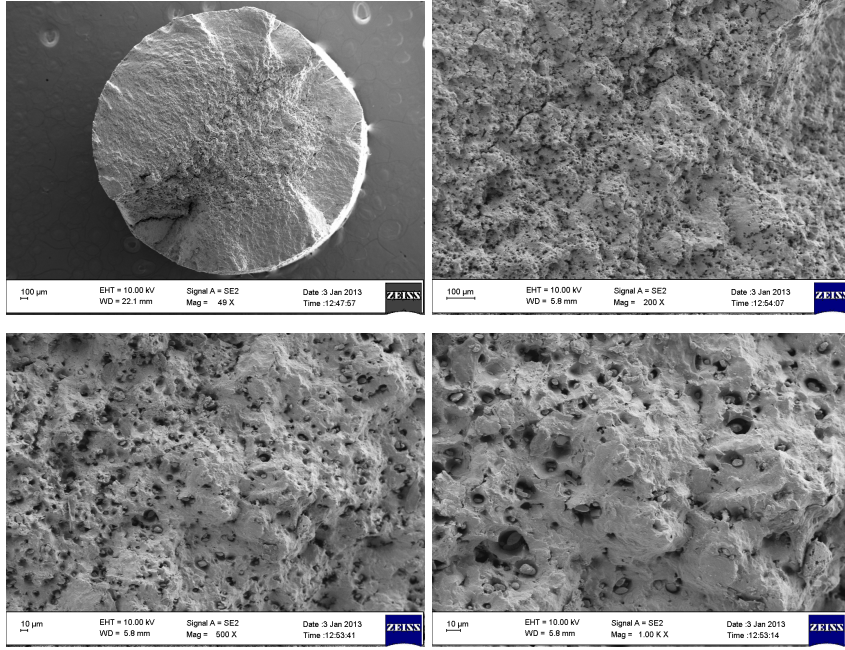
Şekil 4.30. 6 saat ısıt işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi



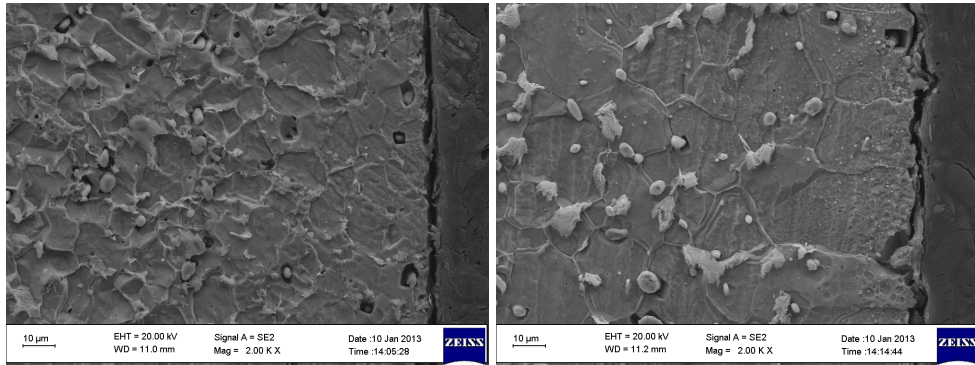
Şekil 4.31. 9 saat ısıtıl işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi



Şekil 4.32. 12 saat ısıtıl işlem görmüş numunenin kırılma yüzeyi



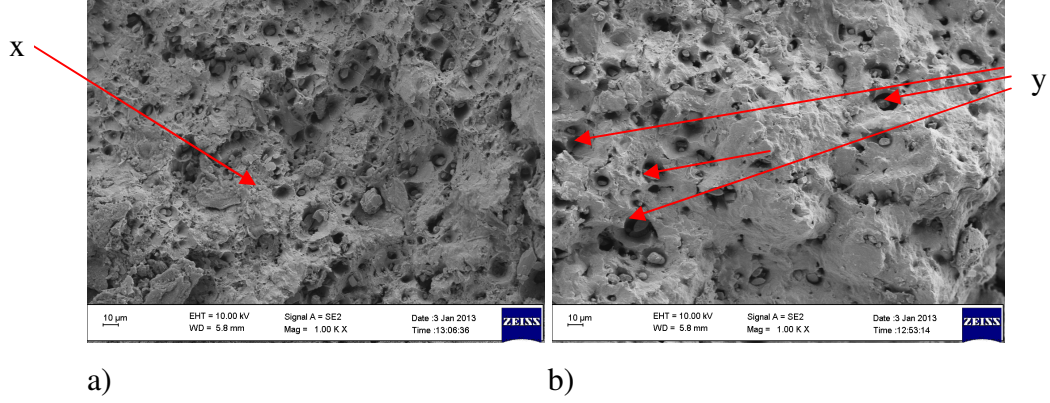
Şekil 4.33. 15 saat ısıtılmış numunenin kırılma yüzeyi



a)

b)

Şekil 4.34. Isıl işlem görmemiş (a) ve 900 °C’de 15 saat ısıtılmış numuneye ait, (b) %2 nital dağlama (HNO_3) yapılmış yüzeylerin mikroyapı görüntüleri (2000X)

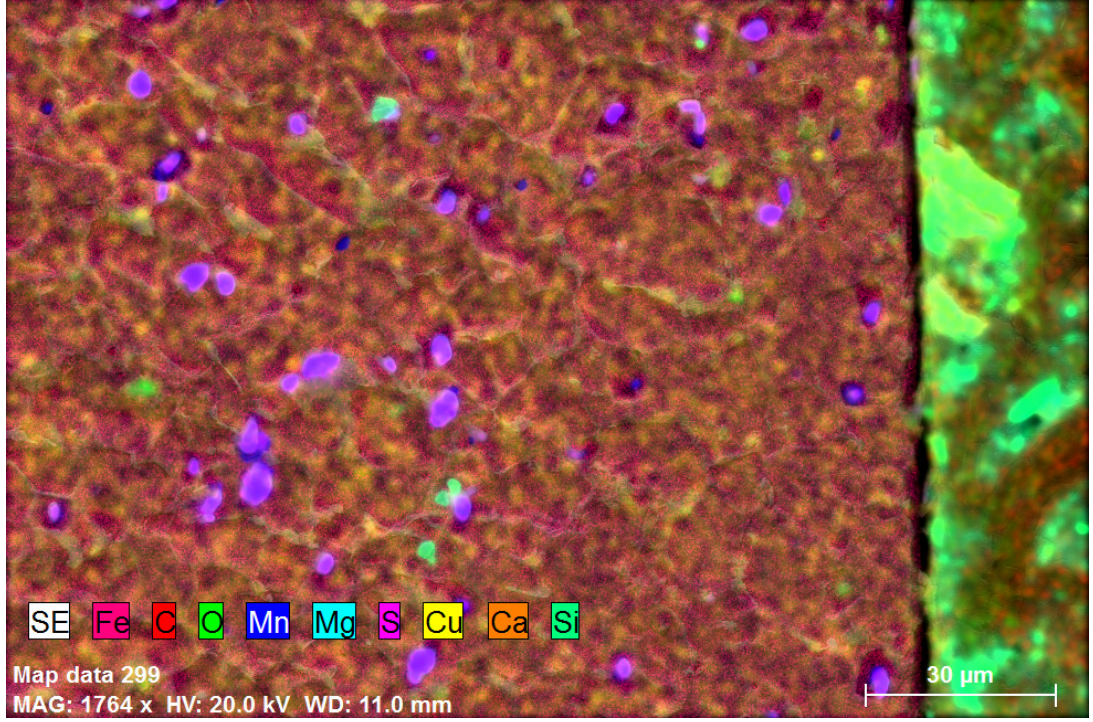


Şekil 4.35. Isıl işlem görmemiş (a) ve 15 saat süreyle borik asit ortamında 900 °C’de bekletilen numunelere (b) ait kırılma yüzeyi SEM görüntüleri (1000x)

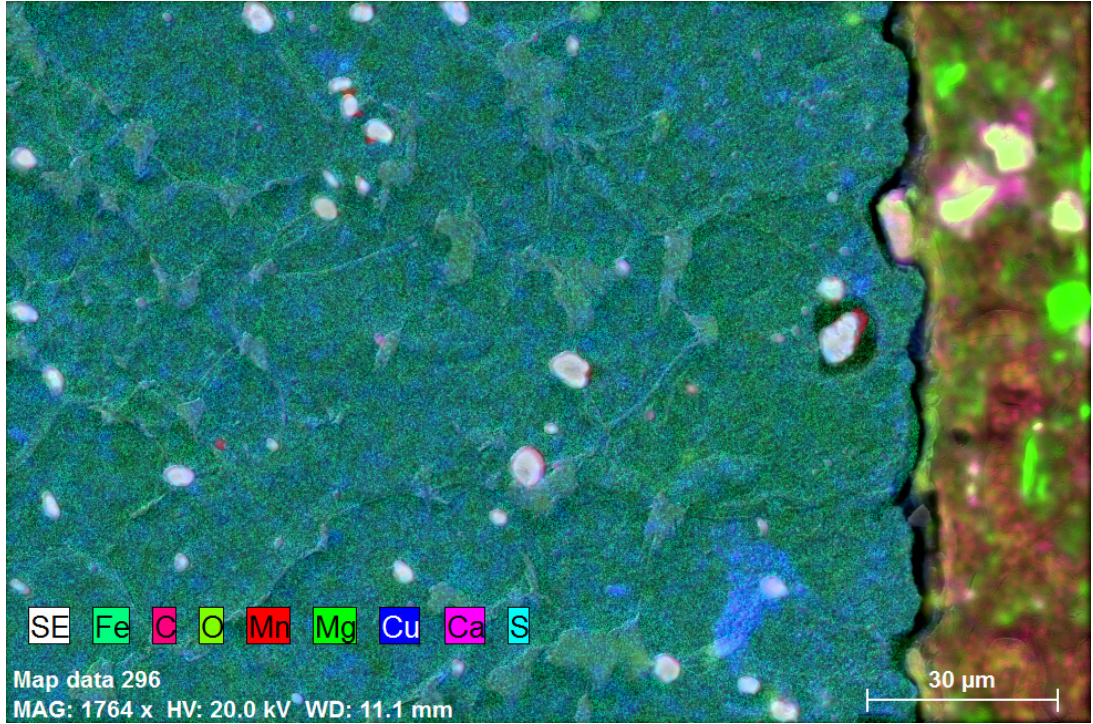
Şekil 4.34. (a) ve (b)’ de verilen görüntüler yorulmaya tabi tutulmamış mikroyapı fotoğraflarıdır. Yorulma testinden sonra kırılan yüzeylerin SEM fotoğrafları incelendiğinde Şekil 4.35. a ve b’ de görüldüğü gibi, ısıl işlem görmüş numunelerde yapı içerisinde yer alan takviye elemanının, yükleme çevrimleri sırasında kendisini çevreleyen matris yapıda daha büyük deformasyonlar meydana getirdiği tespit edilmiştir. Şekil 4.35.’de görülen y deformasyonları x deformasyonlarının 3 katıdır. Buradaki bu oran sünek tarzda bir kırılma olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 4.34. a ve b’de bu tarz bir deformasyon söz konusu değildir.

4.6. EDX (ENERGY-DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY) ELEMENT ANALİZİ

Dalgaboyu Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi (WDXRF) kullanılarak ısıl işlem görmemiş ve 15 saat ısıl işlem görmüş numunenin element analizi yapılmıştır. Böylece her elementin farklı bir renkle gösterildiği Şekil 4.36. ve 4.37.’ deki mikroyapı fotoğrafları elde edilmiştir. Numunelerde bor elementinin olmadığı tespit edilmiştir.



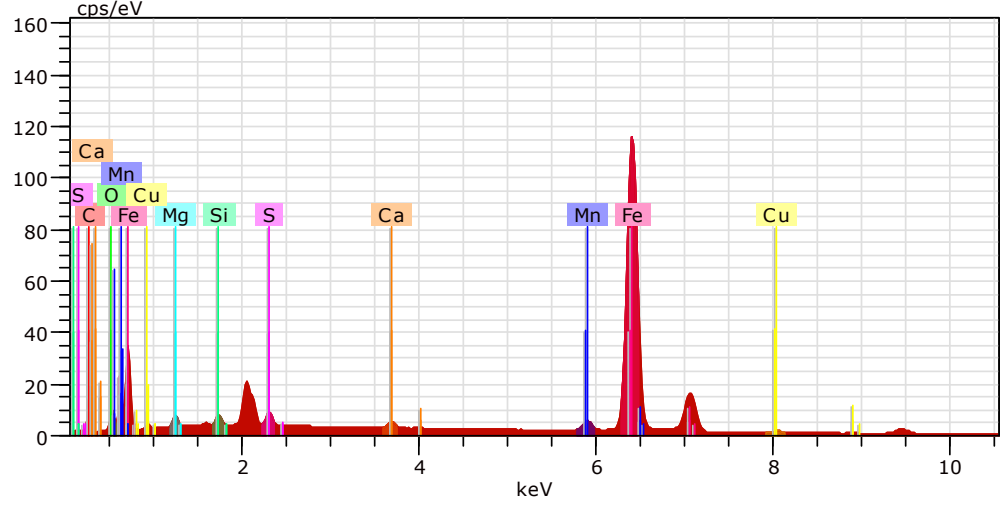
Şekil 4.36. Ana malzemeye ait XRF element analizi fotoğrafı



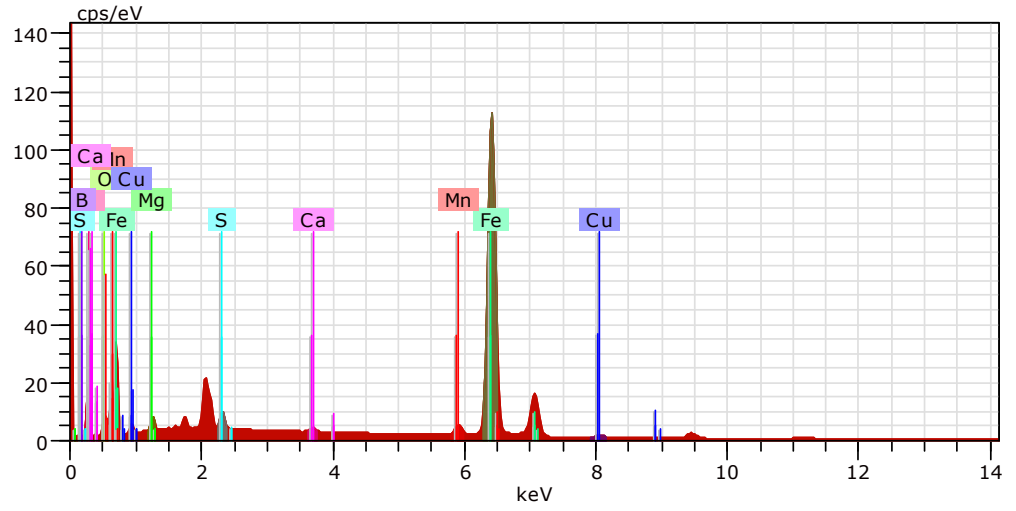
Şekil 4.37. 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait EDX element analizi fotoğrafı

Ana malzeme ve 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait EDX element analizinden elde edilen X ray ve enerji seviyesi grafiği Şekil 4.38 ve 4.39.’da

verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi bor elementine rastlanmamıştır. Isıl işlem sonrası da malzemede bulunan elementlerde herhangi bir değişim olmamıştır.



Şekil 4.38. Ana malzemeye ait X ray miktarı- enerji seviyesi grafiği



Şekil 4.39. 15 saat ısıtıl işlem görmüş numuneye ait X ray miktarı- enerji seviyesi grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

- 1) Otomat çeliğinin 900 °C’de 3 saatin üzerinde bekletilmesi mikroyapıda değişikliklere neden olmaktadır.
- 2) 15 saatlik ısıtma işlemi sonucunda tane boyutu 8 µm’den 20 µm’a çıkmıştır.
- 3) Tane boyutunun büyümesi yorulma, çekme ve akma dayanımını düşürmüştür.
- 4) Isıtma işlemi sonucunda malzemenin çekme dayanımı % 29 oranında düşmüştür.
- 5) Isıtma işlemi sonucu malzemenin akma dayanımı % 47,7 oranında düşmüştür.
- 6) Isıtma işlemi görmüş numunelerin 300 MPa gerilme altındaki ömürleri ana malzemenin % 16’sı kadardır.
- 7) Soğuk deformasyonla malzemede bulunan kalıntı gerilmeleri ısıtma işlemi sonucunda yapıdan atıldığından malzemenin sertliği düşmüştür.
- 8) Isıtma işlemi sonucunda kalıntı gerilmelerinin yapıdan atılması malzemenin sünekliğini %150 oranında artırmıştır.
- 9) Isıtma işlemi ile sünek bir yapının elde edilmesi malzemenin tokluğunu % 30 oranında arttırmıştır.
- 10) Numunelerin yüksek sıcaklıkta farklı sürelerde bekletilmesinin yorulma davranışına etkisi arasında bir fark gözlemlenmemiştir.
- 11) Kullanılan borik asidin çalışılan deneysel şartlarda numunelere katkısı gözlemlenmemiştir.
- 12) Isıtma işlemi görmüş numuneler sünek, ısıtma işlemi görmemiş numuneler gevrek tarzda kırılmıştır. Isıtma işlemi görmüş numuneler yorulma deneyleri sonucunda sünek tarzda kırılmışlardır.

GELECEK ÇALIŞMALAR

Gelecek çalışmalarda 900 °C'nin altında çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Bor ihtivasının daha yüksek olduğu bor bileşikleri ile çalışmaların yapılması bu alana katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Bhushan, B. Gupta, B.K. “Handbook of Tribology”, McGraw-Hill Inc., USA, 1088 p., (1991).
2. Black, J.T., Kohser, R.A. “Materials and Process in Manufacturing”, John Wiley & Sons, USA, 1240 p., (2007).
3. Kalpakjian, S. “Manufacturing Engineering and Technology”, Addison Wesley Pub., USA, 1279 p., (2001).
4. Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing” John Wiley & Sons, USA, 1012 p., (2007).
5. Onaran, K. “Malzeme Bilimi”, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 383 s., (2009).
6. Saygın, M., “AISI 1020 Çeliklerinde Borlamanın Yorulma Dayanımına Etkisi”, Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46 s., (2006).
7. Nayar, A. “The Metals Databook”, McGraw-Hill Inc., USA, (1997).
8. Uluköy, A. ve Can, A. Ç. “Çeliklerin Borlanması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **12(2)**: 189-198, (2006).
9. Habashi F. “Handbook Extractive Metallurgy” Wiley-VCH, Weinheim New York, (1998).
10. Helvacı C., “Türkiye Borat Yatakları jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 11-27, (2003).
11. DPT, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara, (2001).
12. Kalafatoğlu, İ. E. ve Örs, S. N. “21. Yüzyılda Bor Teknolojileri Ve Uygulamaları”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi, **5(1)**: 59-71, (2003).
13. Tabakoğlu F. Ö., Kurtuluş G., Türe İ. E., “Hidrojen Enerjisi ve Türkiye için Borhidrürün Önemi”, Dünya Enerji Konseyi 10. Hidrojen Kongresi, İstanbul, 467-474, (2006).
14. Matuschka A.G., “Boronizing”, Heyden & Son Inc., Philadelphia, (1980).
15. Klaar, H.J. and Raffies, I. “Mechanical properties and microstructure of boron alloyed steel 19 MnB₄”, Steel Research, **62 (11)**: 518-521, (1991).
16. Fichtl, W. “Boronizing and its Practical Application”, Materials in Engineering,

- 2(1):** 276-286, (1981)
17. Palombarini, G. and Carbucicchio, M. “On the morphology of thermochemically produced Fe₂B/Fe interfaces”, Journal Of Materials Science Letters, **3(9)**: 791-794, (1984).
 18. Özsoy, A. “Çeliğin Borlanması Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana Matriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101 s., (1991).
 19. Bozkurt, N. “Bor Yayınımla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113 s., (1984).
 20. Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S. ve Varol, R. “Borlamanın demir esaslı T/M malzemelerde yorulma davranışına etkisi”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **3(1)**: 16-22, (2007).
 21. McKelvey, S.A. and Fatemi, A. “Surface Finish Effect on Fatigue Behaviour of Forged Steel”, International Journal of Fatigue, **36(1)**: 130-145, (2011).
 22. Aviles, R., Albizuri, J. and Lamikiz, A. “Influence of laser polishing on the high cycle fatigue strength of medium carbon AISI 1045 steel”, International Journal of Fatigue, **33(11)**: 1477-1489, (2011).
 23. Shen, H. and Guo, W. “3D fracture mechanichs investigation surface fatigue crack propagation”, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, **34(9)**: 682-688, (2011).
 24. Jin, O., “The Characterization of Small Fatigue Crack Growth in PH13-8 Molybdenum Stainless Steel”, Georgia University Instuty of Technology, Doktora tezi, 202 s., (2000).
 25. Suh, C.M., Suh, M. S. and Hwang N.S. “Growth Behaviour of Small Surface Fatigue Cracks in AISI 304 Stainless Steel”, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, **35(1)**: 22-29, (2012).
 26. Al, İ., “Dual Fazlı Çeliklerin Kısa Ömürlü Yorulması”, Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1996).
 27. Yaşar, M., “Dizel Pompa Milinin Yorulma Kırılması Analizi”, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 544-553, (2007).
 28. Ünal E., “Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 4340 Çeliği İle Paslanmaz Çeliklerin Yorulma Dayanımının Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri

- Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2003).
29. Öncel E., “Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Aıısı 4140 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2011).
30. Kayalı, E.S., Ensari, C., ve Dikeç F. “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri” İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1996).
31. Uzun H.A., “Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma Ve Korozyona Karşı Dayanımları”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s., (2002).
32. Ersöz A., “Elektrokimyasal Borlama İle Çeliklerin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 s., (2008).
33. Türk Standartlar Enstitüsü, “Metaller-Dönen Çubuk Eğme Yorulma Deneyleri”, TS ISO 1143, Ankara, (2002).
34. Türk Standartları Enstitüsü, “Metallerin Mekanik Muayenesi”, TS EN ISO 6892-1, Ankara, (2011).
35. Fidan S., Avcu E., Karakulak E., Yamanoglu R., Zeren M. and Sınmazçelik T., “Effect of heat treatment on erosive wear behaviour of Ti6Al4V alloy”, Materials Science and Technology, **29(9)**: 1088-1094, (2013).

EKLER


Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
KALİTE BELGESİ / MILL TEST CERTIFICATE


DIN EN
ISO 9001:2008
EN 10204 3.1

Müşteri Adı	ÖZNUR PASLANMAZ ÇELİK SAN. TIC. LTD. ŞTİ		
İrsaliye No	100000000690275	Döküm No	321176
Tarih	10.07.2012	Evrak No	2011-10-9427
Miktar(kg)	158		
Stok Adı	Y016.00X000.00 HOT(11SMnPb30)A 0 C0/EN 10278 h9/SC P2		

KİMYASAL KOMPOZİSYON / CHEMICAL COMPOSITION IN PRODUCT

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	N	Pb	V	Ti
0,074	0,005	1,203	0,045	0,294	0,04	0,02	0,08	0,12	-	-	0,30	-	-

MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES

Akma Mukavemeti Yield Strength	Çekme Mukavemeti Tensile Strength	Uzama (%) Elongation (%)	Sertlik Hardness
465 N/mm ²	587 N/mm ²	12	150 HB

2011-10-9421

C: Vakumlu+U.T.Kontrollü+Yüzey Çatlak Kontrollü
M: Vakumsuz
Görsel Muayene : Uygun

A: Vakumlu
D: Dövmeye Uygun (Vakumlu+Yüzey Çatlak kontrollü)
Çelik Yapım Metodu : Elektrik Ark Ocağı

Bu belge yukarıda tanımlanan malzeme için ıslak imzalı olarak düzenlenmiştir. Çoğaltılmış kopyaların güvenilirliğinden Hasçelik sorumlu değildir. Malzemenin test edildiği ve sipariş şartlarına uygun olduğu onaylanır. Kuşku durumunda geçerli belge olarak Hasçelik'deki kaynak kopyaya başvurulmalıdır. Bu malzeme AT900-4400 cihazı ile %100 radyoaktif testten geçirilmiş hammadde ile üretilmiştir. HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş., vakumlu / çatlak kontrollü / tamamlamalı ürünlerine kimyasal kompozisyon garantisini ile birlikte tedarikçilerinin HASÇELİK'e verdiği garanti kapsamındaki garanti şartlarını müşterilerine sunmaktadır. Vakumlu/ Vakumsuz ürünler için kimyasal kompozisyon dışında herhangi bir garanti verilmemektedir. Hasımlı ürünlerde ve tamamlamalı ürünlerde kimyasal kompozisyon garantisi verilmektedir. Çıkacak herhangi bir kalite sorunu HASÇELİK sadece malzeme bedeli kadar sorumludur. Garanti şartları dışında müşteri veya sonraki proseslerde ortaya çıkan olumsuz durumlarda boy kesilmemiş / işlenmemiş malzemenin teknik / ticari olarak iade alınması dışında HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş herhangi bir konuda yükümlü tutulamaz.

C: Vacuum degassed + U.T.Controlled+Eddy Current Controlled
M: Non-vacuum degassed
Visual Control : OK

A: Vacuum degassed
D: For Forging(Vacuum degassed+Eddy Current Controlled)
Steel Making Method : Electric Arc Furnace

This certificate is issued originally signed for the material described above. Hasçelik does not take any responsibility for the non-authorized copies. We hereby confirm that above mentioned material has been tested and the results meet the order requirements. In case of doubt, the original copy at Hasçelik should be consulted as authoritative test. This material is produced from 100% radioactive tested raw material with AT900-4400. HASÇELİK San.veTic.A.Ş.presents to its customers chemical composition and guarantee conditions of its suppliers for vacuum degassed / U.T.Controlled/Processed products. Vacuum degassed/Non-vacuum degassed products are not guaranteed except for chemical composition. Chemical composition guarantee is given for Hasımlı and Processed products. HASÇELİK is responsible for only at the value of materials in case of any quality problem which will occur. For any unfavorable out of guarantee condition arising in customers or during follow up processes, HASÇELİK is not responsible for any other issue than accepting technical and commercial restitutions of uncut/unprocessed materials.

İSTANBUL
GEBZE
KONYA
İZMİR
ANKARA
ÇAKMAKLI
ADANA

Memerciler Organize Sanayi Bölgesi 2.Sanayi Caddesi No:10 Tuzla
TOSB O.S.B. 1.Cadde No:17 Şekerpınar,Çayırova
Ankara Yolu Üzeri No:262 Karatay
Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi Gazi Bulvarı No:136 Ulucak
İstanbul Yolu 24.Km.110 Sokak No:11 Saray,Kazan
Hadımköy Gişeler Bağlantı Yolu,Opet Karşısı No:94/B Kırąg/Esenyurt
Yeşiloba Mahallesi Öğretmenler Bulvarı 46012 Sokak no :6 Seyhan

www.hascelik.com **T: + 90 444 4140 F: +90 262 444 5140**



ETİ MADEN İŞL. GENEL. MÜD. EMET BOR İŞLETME MÜD. ÜRÜN İZLEME VE LAB. BİRİMİ		Rapor Tarihi : 27/07/2012	
KİMYASAL ANALİZ RAPORU			
NUMUNE ADI MİKTARI		: NORMAL SÜLFATLI BORİK ASİT : 20 KG.	
Safiyet	%	100,36	
B ₂ O ₃	%	56,50	
SO ₄	ppm	325	
ELEK ANALİZ RAPORU			
+1	mm. %	0,14	
-0,063	mm. %	1,40	
Ürün İzleme ve Lab. Sorumlusu Özgür KARAYAKA 		Ürün İzleme ve Lab. Birimi Sorumlusu Muradiye DEREKÖY 	

2013- 4-12 13:59

Analyzed Result			
Analysis type	Qual analysis	Sample name	Ana malzeme
Analysis code	Metal-10mm	File name	404
Analysis date	2013- 1-11 09:25		
No.	Component	Unit	Result
1	C	mass%	4.4505
2	O	mass%	3.8131
3	Na	mass%	0.2911
4	Mg	mass%	0.0770
5	Al	mass%	0.0642
6	Si	mass%	0.1086
7	P	mass%	0.0509
8	S	mass%	0.2847
9	Cl	mass%	0.0754
10	K	mass%	0.0412
11	Cr	mass%	0.0437
12	Mn	mass%	1.3903
13	Fe	mass%	88.7163
14	Ni	mass%	0.0718
15	Cu	mass%	0.1590
16	Pd	mass%	0.1001
17	Pb	mass%	0.2623

Rigaku

2013- 4-12 13:59

Analyzed Result			
Analysis type	Qual analysis	Sample name	3 saat ısıt işlemli
Analysis code	Metal-10mm	File name	406
Analysis date	2013- 1-11 09:49		
No.	Component	Unit	Result
1	C	mass%	3.8200
2	O	mass%	2.8451
3	Al	mass%	0.0259
4	Si	mass%	0.0664
5	P	mass%	0.0498
6	S	mass%	0.2676
7	Cl	mass%	0.0221
8	Cr	mass%	0.0351
9	Mn	mass%	0.8831
10	Fe	mass%	91.2612
11	Ni	mass%	0.0720
12	Cu	mass%	0.1750
13	Pd	mass%	0.1292
14	Pb	mass%	0.3474

Rigaku

2013- 4-12 13:59

Analyzed Result			
Analysis type	Qual analysis	Sample name	6 saat ısıt ilşlemi
Analysis code	Metal-10mm	File name	408
Analysis date	2013- 1-11 10:14		
No.	Component	Unit	Result
1	C	mass%	3.8326
2	O	mass%	2.3587
3	Al	mass%	0.0385
4	Si	mass%	0.0752
5	P	mass%	0.0467
6	S	mass%	0.3068
7	Cl	mass%	0.0235
8	K	mass%	0.0124
9	Cr	mass%	0.0515
10	Mn	mass%	1.6479
11	Fe	mass%	90.9928
12	Ni	mass%	0.0761
13	Cu	mass%	0.1893
14	Zr	mass%	0.0301
15	Nb	mass%	0.0246
16	Mo	mass%	0.0437
17	Pb	mass%	0.2495

Rigaku

Rigaku

2013- 4-12 13:59

Analyzed Result

Analysis type	Qual analysis
---------------	---------------

Sample name	12 saat ısıtılmış
-------------	-------------------

Analysis code Metal-10mm

File name 412

Analysis date 2013- 1-11 11:02

No.	Component	Unit	Result
1	C	mass%	2.9721
2	O	mass%	3.6891
3	Si	mass%	0.0413
4	P	mass%	0.0381
5	S	mass%	0.2637
6	Cl	mass%	0.0227
7	Cr	mass%	0.0484
8	Mn	mass%	1.1333
9	Fe	mass%	90.6310
10	Co	mass%	0.0287
11	Ni	mass%	0.0614
12	Cu	mass%	0.1779
13	Rb	mass%	0.0247
14	Zr	mass%	0.0287
15	In	mass%	0.1381
16	La	mass%	0.3749
17	Pb	mass%	0.3258

Rigaku

2013- 4-12 13:59

Analyzed Result			
Analysis type	Qual analysis	Sample name	15 Saat ısıt işlemli
Analysis code	Metal-10mm	File name	414
Analysis date	2013- 1-11 11:27		
No.	Component	Unit	Result
1	C	mass%	4.6466
2	O	mass%	4.5550
3	Mg	mass%	0.0508
4	Si	mass%	0.0671
5	P	mass%	0.0396
6	S	mass%	0.2654
7	Cl	mass%	0.0393
8	Ca	mass%	0.0334
9	Cr	mass%	0.0526
10	Mn	mass%	1.0532
11	Fe	mass%	87.9631
12	Ni	mass%	0.0659
13	Cu	mass%	0.1829
14	Rb	mass%	0.0218
15	Pd	mass%	0.2431
16	Te	mass%	0.1718
17	La	mass%	0.3049
18	Pb	mass%	0.2436

Rigaku

BERDAN ÇİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

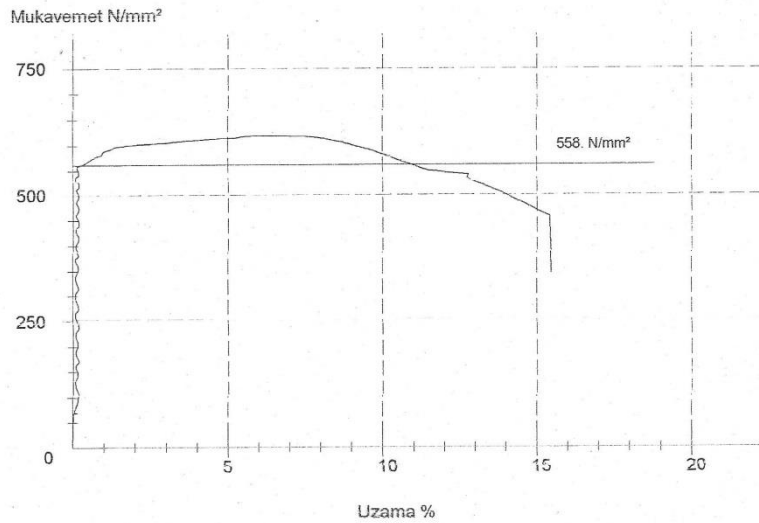
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN ÇİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-2020 Numune cinsi : BORLANMAMIŞ
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO : 

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re %	Kopma Uz. %
1.	51.12	40	47.03	558	613	31	1.1	17.58

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min — 20.04 mm/dk
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Deney süresi 62 S.

Explanation: Red of area (%) :

* 1 kN/s

Deneyi Yapan: Nasip TANIRERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

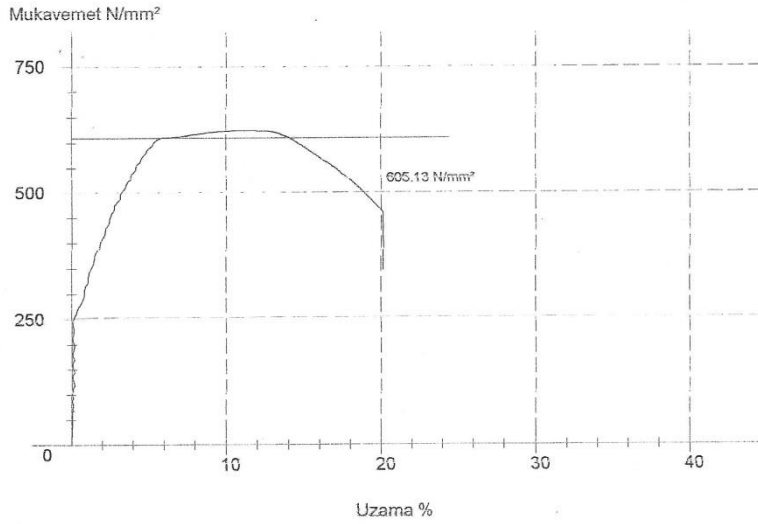
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMAMIŞ
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re %	Kopma Uz. %
2.	49.99	40.	46.4	605.13	619.	30.	1.02	16.

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²

Deney hızı : 5 mm/min

Akma aralığı hızı : 5 mm/min

16.8 mm/dk

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTIYLAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

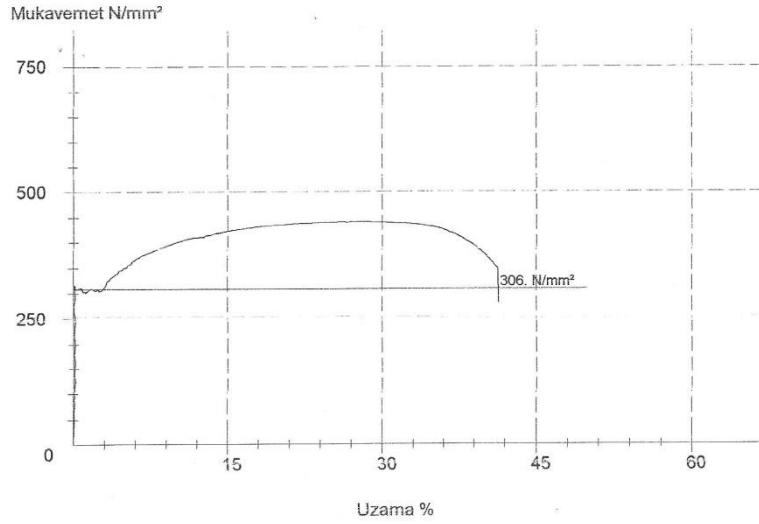
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 3 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
12.	49.62	40.	54.16	306.	438.	21.	1.43	35.4

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞAL TILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

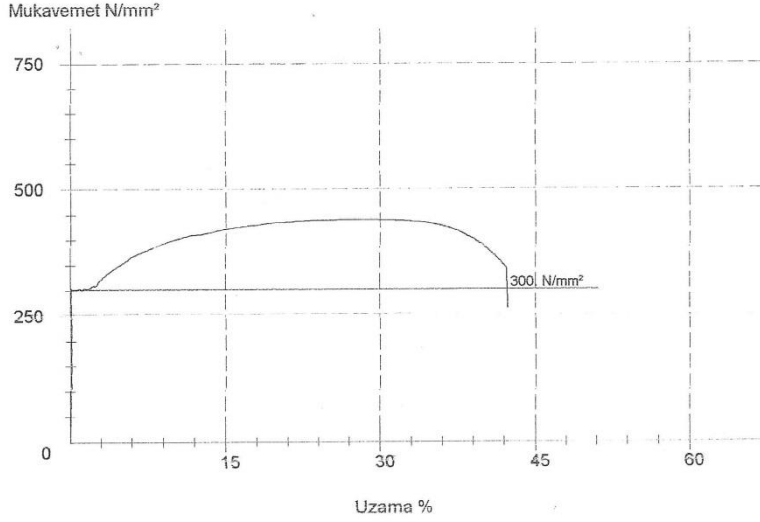
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 3 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
11.	50.87	40.	54.11	300.	437.	22.	1.46	35.28

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞAL TILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

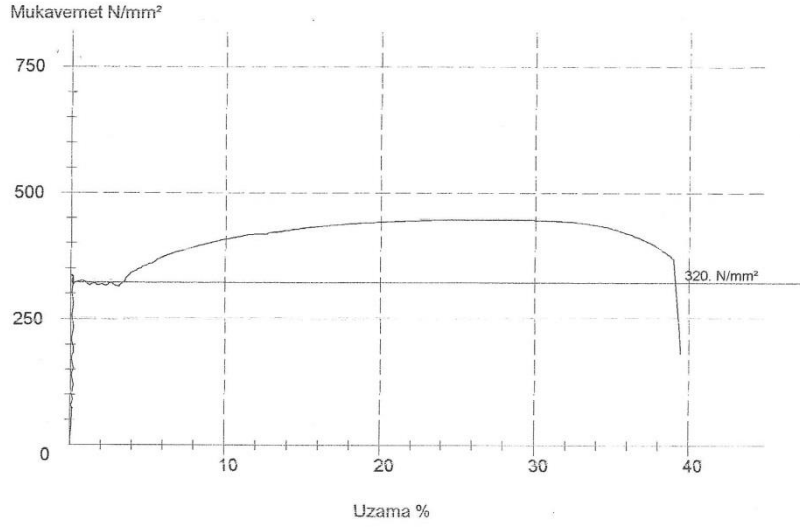
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 6 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re %	Kopma Uz. %
10.	48.74	40.	55.11	320.	443.	21.	1.38	37.78

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön-yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan:Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan:Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTI LAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

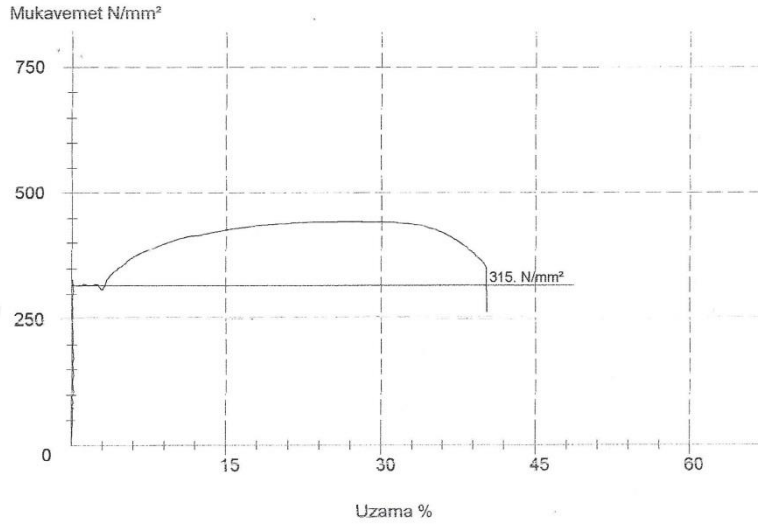
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 6 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
9.	47.76	40.	55.22	315.	440.	21.	1.4	38.05

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTUK

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

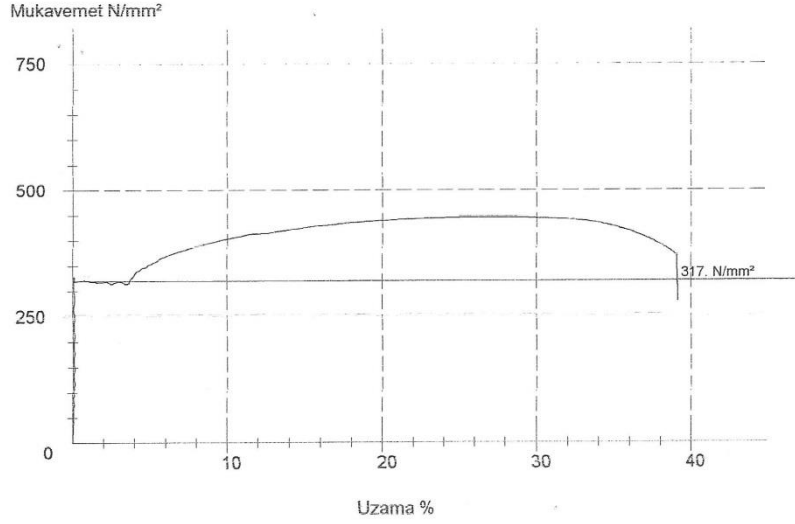
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 3 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma %	Uz.
8.	47.88	40.	53.58	317.	441.	21.	1.39	33.95	

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

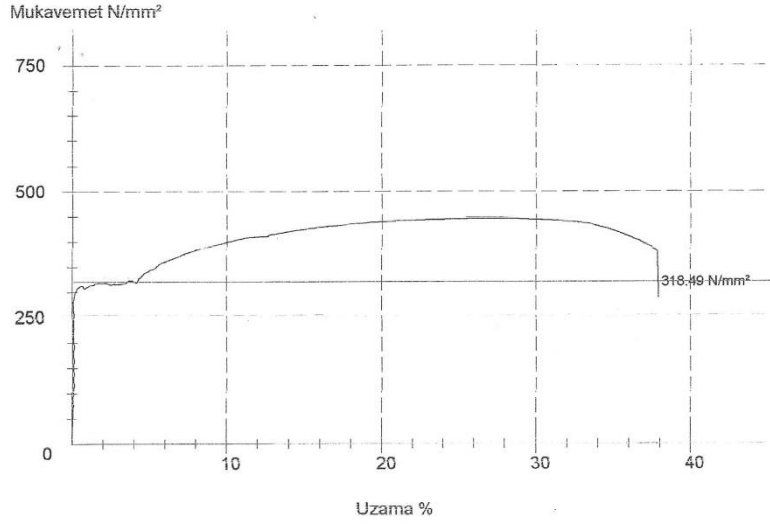
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 9 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
7.	47.88	40.	53.26	318.49	441.	21.	1.38	33.15

Grafikler



Deneysel hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deneysel hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

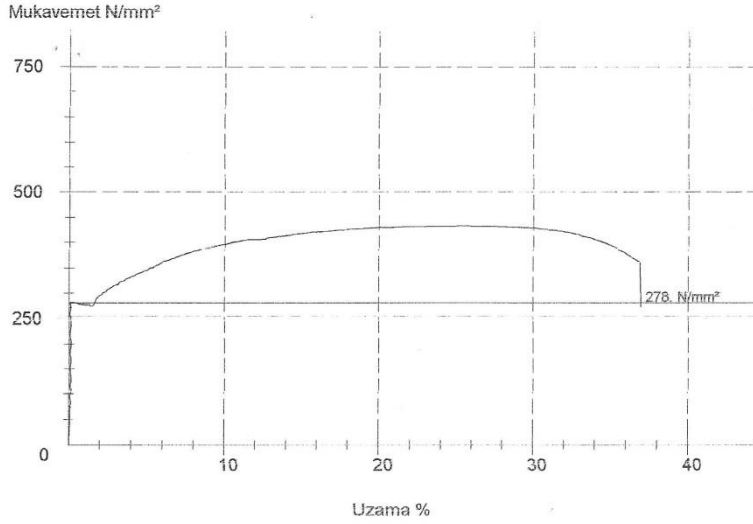
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 12 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma %	Uz.
C.	48.	40.	53.65	278.	430.	20.	1.54	34.13	

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Expfanatron:

Deneyi Yapan:Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan:Haluk SALTEKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

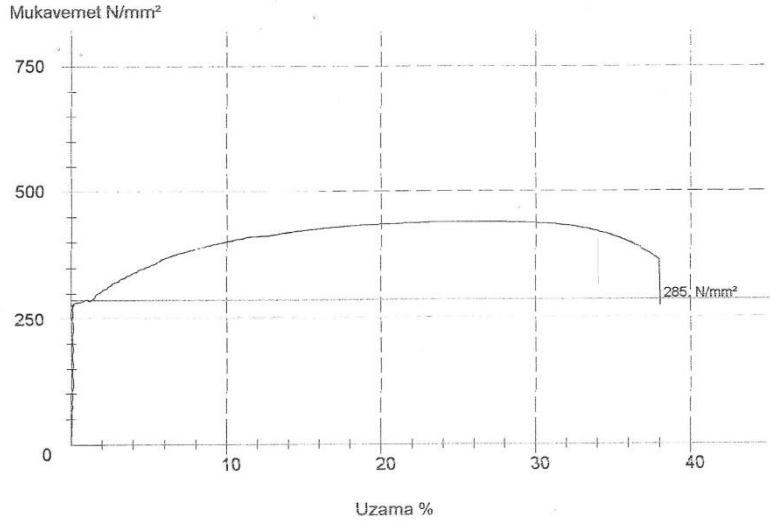
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 12 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
5.	40.00	40	53.65	285	436	21	1.53	34.13

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN CİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

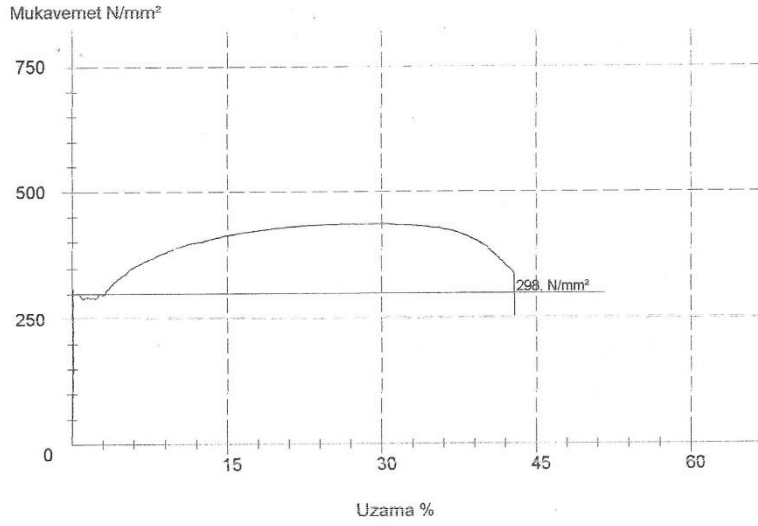
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN CİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 15 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
4.	47.88	40.	54.95	298.	431.	20.	1.45	37.38

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Explanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRVERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞAL TILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

BERDAN ÇİVATA SOM. SAN. A.Ş

Mekanik Test Raporu

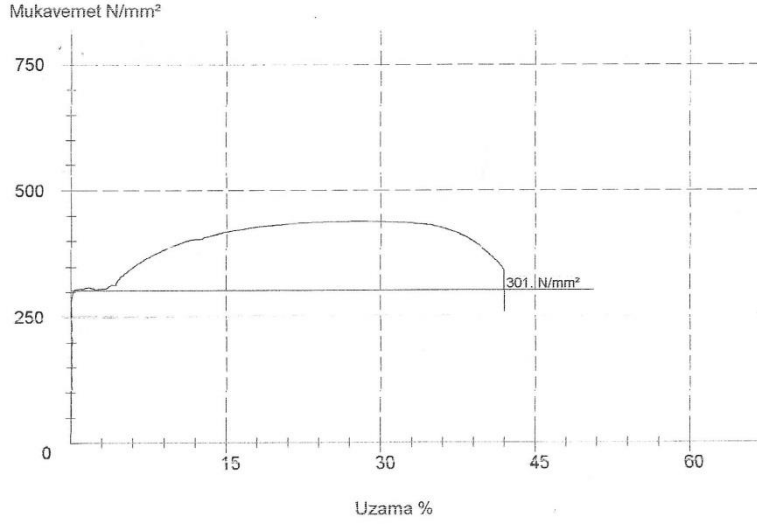
Malzeme Bilgileri

Müşteri : TARSUS TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
Tedarikçi : BERDAN ÇİVATA A.Ş. Tarih : 13.12.2012
Standart : EN 6892-1 KKG No :
Kayıt No : 12-3930 Numune cinsi : BORLANMIŞ 15 SAAT
Malzeme/Kalite/Sertlik : OTAMAT ÇELİĞİ RAPOR NO :

Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm ²	L0 mm	L1 mm	Rp 02 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fmax kN	Rm/Re	Kopma Uz. %
3.	48.99	40.	56.3	301.	435.	21.	1.45	40.75

Grafikler



Deney hız parametreleri :

Ön yük : 3 N/mm²
Deney hızı : 6 mm/min
Akma aralığı hızı : 5 mm/min

Expfanation:

Deneyi Yapan: Nasip TANIRERDİ

Onaylayan: Haluk SALTİKİN

Not 1: BU RAPOR İZİNSİZ OLARAK ÇOĞALTILAMAZ ÜZERİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILAMAZ
Not 2: BU RAPOR SADECE DENEYİ YAPILAN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR

Rp: 02 Akma
Rm: Çelme

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Rahim ÖZGÜN

Doğum Tarihi: 01/06/1984

Öğrenim Durumu: Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Tarsus Anadolu Tek. Lis./ Kimya		1998-2002
Lisans	Tarsus Teknik Eğitim Fak./ Makine Eğitimi	Mersin Üniversitesi	2004-2008
Yüksek Lisans	Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2010-