

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LASTİK KORUYUCU ZİNCİRLERİNDE KULLANILAN 20MnCr5 VE 8620
MALZEMELERİNİN FARKLI ISIL İŞLEM ŞARTLARI İÇİN YORULMA VE
AŞINMA DİRENÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Batuhan BOZBAY**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kenan GENEL

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LASTİK KORUYUCU ZİNCİRLERİNDE KULLANILAN 20MnCr5 VE 8620
MALZEMELERİNİN FARKLI ISIL İŞLEM ŞARTLARI İÇİN YORULMA VE
AŞINMA DİRENÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Batuhan BOZBAY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 15.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Cema Bıçıl

Jüri Başkanı


Prof. Dr. Kenan Genç

Üye


Prof. Dr. Selim Avcı

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin, akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet Batuhan BOZBAY

15.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, beni titizlikle yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Kenan GENEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım esnasında beraber çalıştığım Anıl GÜLVER'e Yunus Emre GÜLAY'a, Coşkun AKBULAK'a, her daim çalışmarıma destek veren Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş. yönetimine ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve bugüne kadar hep yanımda olup daima beni cesaretlendiren hayat arkadaşım Hanife BOZBAY'a ve çocuklarıma teşekkürü borç bilir ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
SEMENTASYON VE SERTLEŞTİRME.....	4
2.1. Sementasyon Çelikleri.....	5
2.2. Sementasyon Metodları.....	5
2.2.1. Kutı sementasyonu.....	5
2.2.2. Tuz bayosunda sementasyon.....	7
2.2.3. Gaz sementasyonu.....	8
2.3. Sertleştirme Yöntemleri.....	10
2.3.1. Doğrudan sertleştirme.....	10
2.3.2. Basit sertleştirme.....	11
2.3.3. Basit sertleştirme (Ara tavından sonar).....	12
2.3.4. Basit sertleştirme (İzotermik dönüşümden sonar).....	12
2.3.5. Çift sertleştirme.....	13
2.4. Menevişleme.....	13

2.5. Sementasyon Kabuk Kalınlığı.....	14
2.6. Yüzey Sertliği.....	14
2.7. Çekirdek Sertliği.....	14
2.8. Suverme ve Soğutma Hızı.....	15
2.8.1. Suverme ortamı.....	16
2.8.2. Suverme ortamı sıcaklığı.....	16
2.8.3. Parça ebatı.....	17
2.9. Martenzit Dönüşüm.....	17
2.9.1. Kalıntı ostenit.....	19
2.9.2. Sıfırlatı işlem.....	20
2.9.2.1. Sıfırlatı işlem tanımı ve uygulaması.....	20
2.9.2.2. Sıfırlatı işlemin etkileri.....	20
 BÖLÜM 3.	
AŞINMA HASARI.....	21
3.1. Aşınmanın Tanımı.....	21
3.2. Aşınmanın Temel Unsurları ve Triboloji.....	21
3.3. Aşınma Mekanizmaları.....	22
3.3.1. Abrasif aşınma.....	23
3.3.2. Adhezif aşınma.....	23
3.3.3. Eroziv aşınma.....	24
3.3.4. Koroziv aşınma.....	24
3.3.5. Yorulma aşınması.....	24
 BÖLÜM 4.	
YORULMA HASARI.....	25
4.1. Yorulma Tanımı.....	25
4.2. Yorulma Zorlaması.....	25
4.3. Yorulma Kırılması.....	27
4.3.1. Yorulma kırılmasına sebep olan etkenler.....	28
4.3.1.1. Dış etkenler.....	28
4.3.1.2. İç etkenler.....	29

4.3.2. Eğmeli yorulma kırılmasının görünümü.....	30
4.4. Sementasyon İşleminin Yorulma Dayanıma Etkisi.....	30
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	33
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	33
5.2. Yorulma Deneyi.....	34
5.3. Aşınma Deneyi.....	35
5.4. Numunelerin Isıl İşlemi.....	36
5.5. Numune Şahitlerin İnceleme Öncesi Hazırlanması.....	37
5.6. Numune Şahitlerin Mikroyapı ve Sertlik Değerlerinin incelenmesi.....	39
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
6.1. Sertlik Değerleri ve Mikroyapı Görünümleri.....	41
6.2. Yorulma Deneyi Sonuçları.....	44
6.3. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	49
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

μm	: Mikrometre
$\Delta\sigma$	: Gerilme aralığı
σ_a	: Gerilme genliği
σ_m	: Ortalama gerilme
$\sigma_{\max}$	: Maksimum gerilme
$\sigma_{\min}$	: Minimum gerilme
A_1	: Ostenitin oluşmaya başlama sıcaklığı
A_3	: Ötektoid altı çeliklerde tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı
$A_3(M)$	: Çelik parçanın çekirdeğinin tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı
$A_3(YB)$	: Çelik parçanın yüzeyinin tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı
D	: Parça çapı
HMK	: Hacim merkezli kübik
HV	: Mikrovickers sertlik birimi
M_f	: Martenzit bitiş sıcaklığı
M_s	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
N	: Yorulma ömrü
$N_{\text{ç}}$	: Yorulma çatlağının çekirdeklenmesi için geçen süre
N_i	: Yorulma çatlağının ilerleme süresi
R_a	: Ortalam yüzey pürüzlülük değeri
R_t	: Pürüzlerin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki uzaklık
t	: Sementasyon kabuk kalınlığı
YMK	: Yüzey merkezli kübik
ZSD	: Zaman sıcaklık dönüşüm

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Lastik koruyucu zinciri oluşturan bakla ve halkaların katı model gösterimi.....	2
Şekil 1.2. Lastik koruyucu zincir kullanım görseli.....	2
Şekil 2.1. Nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.2. Koruyucu atmosferdeki CO oranı %20 ve H ₂ oranı %40 olarak sabitlenmişken yoğunlaşma sıcaklığının çelik yüzeyünde elde edilecek karbon oranına etkisi.....	9
Şekil 2.3. Sementasyona ilişkin doğrudan suverme programı.....	11
Şekil 2.4. Sementasyona ilişkin basit sertleştirme programı.....	11
Şekil 2.5. Sementasyona ilişkin ara tavlamadan sonra basit sertleştirme programı...	12
Şekil 2.6. Sementasyona ilişkin izotermik dönüşümden sonra basit sertleştirme programı.....	12
Şekil 2.7. Sementasyona ilişkin çift sertleştirme programı.....	13
Şekil 2.8. a) Hacim merkezli kübik yapı, b) Yüzey merkezli kübik yapı, c) Hegzagonal yapı	18
Şekil 2.9. Karbon oranına bağlı olarak çeliklerde M _s ve M _f sıcaklıklarının değişiminin gösterimi.....	19
Şekil 3.1. Tribolojik sistemin elemanları.....	21
Şekil 4.1. Yorulma olayı ile ilgili gerilme – zaman çevrimi.....	26
Şekil 4.2. Eğmeli yorulma kırılmasında çatlak başlangıç, yorulma ve kırılma bölgelerinin gösterimi.....	30
Şekil 4.3. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin sertleştirme sonucu mikroyapı mukavemet değerleri.....	31
Şekil 4.4. Sementasyon işlemi sonrası malzemelerde meydana gelen artık gerilmeler. a) Radyal yöndeki artık gerilmeler. b) Eksenel yöndeki artık gerilmeler.....	32

Şekil 5.1. Yorulma deneyi makinası.....	34
Şekil 5.2. Yorulma deneyi numuneleri şekilsel gösterimi.....	34
Şekil 5.3. Aşınma test cihazı.....	35
Şekil 5.4. Aşınma deneyi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan aşınma izinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 5.5. Numunelere uygulanan ısıtma işlem programı.....	37
Şekil 5.6. Metkon Metacut 251 kesme makinası.....	37
Şekil 5.7. Metkon Ecopress 50 bakalit cihazı.....	37
Şekil 5.8. Metkon Forcipol 2V zımpara ve parlatma cihazı ile Forcimat otomatik tutucu kafa.....	38
Şekil 5.9. Bulut Makine Microvickers sertlik ölçüm cihazı.....	39
Şekil 5.10. Nikon LV150N metalografi optic mikroskopi.....	39
Şekil 6.1. 20MnCr5 çeliğinin ham halinin optik mikroskopta 100x büyütmede mikroyapı görüntüsü.....	40
Şekil 6.2. 8620 çeliğinin ham halinin viptic mikroskopta 100x büyütmede mikroyapı görüntüsü.....	40
Şekil 6.3. 20MnCr5 numunelerin sementasyon işlemi sonrası sıfırlı işlem görmüş ve görmemiş olarak sertlik dağılım grafikleri.....	41
Şekil 6.4. Sementasyon işlemi uygulandıktan sonra 20MnCr5 çeliğinin 100x büyütülmüş kabuki bölgesi görünümü. a) Sıfırlı işlem uygulanmış numune, b) sıfırlı işlem uygulanmamış numune.....	42
Şekil 6.5. 8620 numunelerin sementasyon işlemi sonrası sıfırlı işlem görmüş ve görmemiş olarak sertlik dağılım grafikleri.....	43
Şekil 6.6. Sementasyon işlemi uygulandıktan sonra 8620 çeliğinin 100x büyütülmüş kabuki bölgesi görünümü. a) Sıfırlı işlem uygulanmış numune, b) sıfırlı işlem uygulanmamış numune.....	43
Şekil 6.7. Sementasyon işlemi sonrası numunelerin 200x büyütülmüş çekirdek bölgesi görünümü. a) 20MnCr5 çeliğine ait mikroyapı görünümü, b) 8620 çeliğine ait mikroyapı görünümü.....	44
Şekil 6.8. Yorulma deneyi sonucu 20MnCr5 çeliğinde oluşan kırık yüzeyler. a) Düşük anma gerilmeli yorulma numunesi, 0.6 mm kabuki kalınlığı ve 805 MPa gerilme, b) Yüksek anma gerilmeli yorulma numunesi, 0.6	

mm kabuki kalınlığı ve 930 MPa gerilme.....	45
Şekil 6.9. Yorulma deneyi sonucu 8620 çeliğinde oluşan kırık yüzeyler. a) Düşük anma gerilmeli yorulma numunesi, 0.6 mm kabuki kalınlığı ve 800 MPa gerilme, b) Yüksek anma gerilmeli yorulma numunesi, 0.6 mm kabuki kalınlığı ve 950 MPa gerilme.....	45
Şekil 6.10. Çatlak başlangıç detaylı gösterimi.....	46
Şekil 6.11. 20MnCr5 çeliği numunelerin Wöhler eğrileri.....	46
Şekil 6.12. 8620 çeliği numunelerin Wöhler eğrileri.....	46
Şekil 6.13. Efektif sementasyon kalınlığının numune çapına oranının yorulma dayanımına etkisi.....	48
Şekil 6.14. 20MnCr5 aşınma izi görünümleri. a) sıfırlı işlem öncesi aşınma izi görünümü, b) sıfırlı işlem sonrası aşınma izi görünümü.....	49
Şekil 6.15. 8620 aşınma izi görünümleri. a) sıfırlı işlem öncesi aşınma izi görünümü, b) sıfırlı işlem sonrası aşınma izi görünümü.....	50
Şekil 6.16. Aşınma hızı değerleri.....	51

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 5.1. Kullanılan 20MnCr5 çeliğinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu.....	33
Tablo 5.2. Kullanılan 8620 çeliğinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu.....	33
Tablo 5.3. Efektif sementasyon kabuk kalınlıkları için sementasyon sıcaklıkları ve süreleri.....	36
Tablo 6.1. Sementasyon kabuğunun yorulma dayanımına etkisinin gösterimi.....	47
Tablo 6.2. Aşınma deneyi sonucu aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.....	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sementasyon, sıfırlıtı işlem, eğmeli yorulma mukavemeti

Sementasyon iřlemi, dūřuk karbonlu çeliklerin yūzeyine karbon yayındırma ve suverme suretiyle elik parça yūzeylerinin ařınma ve yorulma direncini arttırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yōntem lastik koruyucu zincirlerinin de ařınma ve yorulma direncini arttırmak amacıyla uzun sūredir uygulanmaktadır. Ancak iřlemin uygulanmasında, zinciri oluřturan halkalarda elde edilen kabuk kalınlıęının dūřuk olması, ařınma dayanımını ve yorulma dayanımını olumsuz yōnde etkilemekte, dolayısıyla da ūrūnün kullanım ōmrūnū dūřurmektedir. Ařınma ōmrūnūn uzatılabilmesi için çok daha kalın kabuklar elde edinilmesi durumunda ise yorulma dayanımı olumsuz yōnde etkilenmektedir. Bu nedenle, uygun/kabūl edilebilir bir servis ōmrū için uygun sementasyon kalınlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Yorulma ve ařınma dayanımı sadece sementasyon kabuk kalınlıęı ile deęil, aynı zamanda kalıntı ostenit ve martenzit oranlarıyla da doęrudan iliřkilidir.

Bu çalışmada, lastik koruyucu zincirde kullanılan 8620 ve 20MnCr5 eliğinin sementasyon kabuk kalınlığı ve sıfırlıtı işlemin yorulma ve aşınma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan yorulma ve aşınma deneyleri sonuçlarından, efektif sementasyon kalınlığının malzeme çapına oranı olan, t/D değeri:0,15 için en uygun olduğu tespit edilmiştir. Sıfırlıtı işlem ile 8620 eliğinde %86, 20MnCr5 eliğinde %47 oranında aşınma dayanımında artış sağlanmıştır. Bu işlemin yorulma dayanımında da dikkat ekici oranda iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

IMPROVEMENTS OF FATIGUE AND WEAR RESISTANCES OF 20MnCr5 AND 8620 MATERIALS USED IN TIRE PROTECTION CHAIN FOR VARIOUS HEAT TREATMENT CONDITIONS

SUMMARY

Keywords: Carburizing, subzero processing, bending fatigue strength

Carburizing is used commonly for increasing wear and fatigue strengths of low carbon steel by diffusing carbon to their surface. This technique has been also used for a long time in tire protection chains to increase wear and fatigue strengths. However, wear and fatigue performance of the rings are affected negatively due to the low case depth, as a result of which service life decreases. On the other hand, thicker case depth with respect of wear strength results in reduces in fatigue life/strength. It is therefore necessary to determine suitable case depth for the appropriate service life. Not only case depth, also retained austenite as well as martensite ratio are directly related to wear and fatigue performances of treated part.

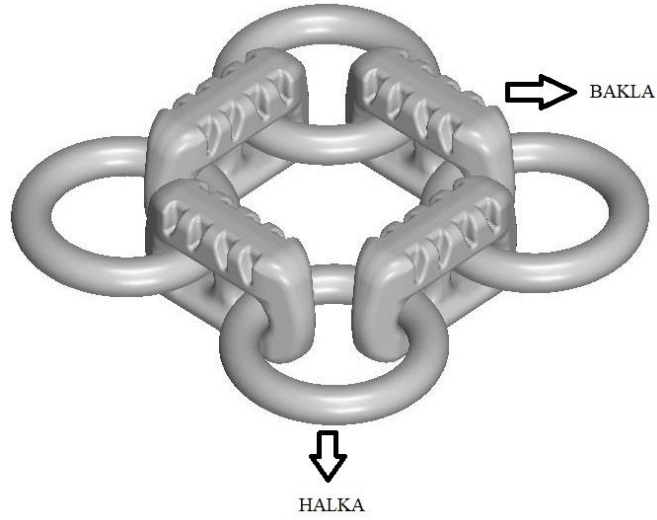
In this study, the effects of carburising case depth and sub-zero process on fatigue and wear resistances of 8620 and 20MnCr5 steels used in tire protection chain have been investigated. From the results of wear and fatigue tests, it was determined that the ratio of effective carburizing depth to diameter is most suitable for $t/D:0.15$. Application of subzero treatment enhanced 86% improvement in wear resistance for 8620 steel and 47% improvement in wear resistance for 20MnCr5 steel. It has been determined that this process also provides remarkable improvement in fatigue strength.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Lastik koruyucu zincirleri iş makinalarının lastiklerini aşınma, yırtılma ve çeşitli yıpranmalara karşı koruma amacı ile baklalar ve halkaların birleştirilmesi ile üretilmiş çelik ürünlerdir. Şekil 1.1.'de lastik koruyucu zinciri oluşturan bakla ve halkaların gösterimi verilmiştir. Lastik koruyucu zincirleri lastiklerin ömrünü beş kata kadar uzatabilmektedirler. Özellikle sert ve aşındırıcı çalışma alanına sahip olan krom, bakır ve altın gibi maden ocaklarında lastikli iş makineleri koruyucu zincirsiz çalıştırılmamaktadır.

Genel olarak çalışma alanları;

- Maden ocakları
- Hurda fabrikaları
- Mermer ocakları
- Taş ocakları
- Tünel ve inşaat çalışmaları
- Çelik fabrikaları olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 1.1. Lastik koruyucu zinciri oluşturan bakla ve halkaların katı model gösterimi

Baklalar, genellikle dövme metodu ile üretilmektedir. Zemin ile doğrudan temas ettiği için ıslah çeliği gurubundan üretilmektedirler. Dövme malzemesi olarak 4140, 5140 gibi ıslah çeliği gurubu malzemeler tercih edilmektedir. Halka malzemesi olarak ise genellikle sementasyon çelikleri tercih edilir. Sementasyon çeliği tercih edilmesinde iki ana sebep bulunmaktadır; birincisi, iş makinelerinin kepçeleri yüke girdiğinde sementasyon çelikleri tok yapısı sayesinde daha fazla enerjiyi sönümleyebilmektedir. İkinci sebep ise kazandırılan yüzey sertliği ve sementasyon kabuğu sayesinde baklalar ile temas yüzeyinde halkaların aşınma direncinin yüksek olmasının istenmesidir. Tercih edilen sementasyon çelikleri ise 20MnCr5, 16MnCr5, 8620, 23MnNiCrMo5-4 çelikleridir.



Şekil 1.2. Lastik koruyucu zinciri kullanım görseli

Lastik koruyucu zincirlerinde ürünü oluşturan iki ana öğeden biri olan halkalarda tekrarlı gerilmeler sonucunda yorulma kırılması meydana gelebilmektedir. Halkalar bir yandan tekrarlı gerilmelere maruz kalırken diğer yandan ürünü oluşturan ikinci ana öğe olan baklalara sürtünerek zamanla aşınmaktadır. Çelik parçalarda çalışma sırasında en yüksek gerilme yüzeyde meydana gelmektedir. Yorulma çatlakları ve aşınmalar genellikle yüzeyde başlamakta olup sementasyon işlemi yorulma ve aşınma dayanımını arttırmaktadır [1].

Lastik koruyucu zinciri üretirken hangi malzemenin kullanılacağını seçimi ile beraber seçilen halkalara sementasyon işlemi uygularken, efektif sementasyon kalınlığı, kalıntı ostenit oranı ve homojen mikroyapı oluşumu gibi etkenler ürün kullanım ömrünü belirlemektedir.

Bu çalışmada halka malzemesi olarak kullanılan 20MnCr5 ve 8620 çeliklerine ilk etapta 0,3 mm, 0,6 mm, 1,2 mm ve 1,5 mm efektif sementasyon kalınlığı verilip yorulma dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca bazı numunelere sıfırlı işlem uygulayıp yorulma mukavemetine ve aşınma dayanımına olan etkisi incelenmiştir

BÖLÜM 2. SEMENTASYON VE SERTLEŞTİRME

Sementasyon işlemi, yüzyıllardır kullanılan en yaygın yüzey sertleştirme yöntemlerinden biridir. Asıl olarak sementasyon ve soğutma ortamında hızlı şekilde soğutulularak sertleştirme işlemlerinden oluşmaktadır. Gerek maliyeti gerekse verimliliği sayesinde sanayide en yaygın olarak kullanılan yüzey sertleştirme işlemlerinin başında gelir [1, 2].

Karbürizasyon olarak ta adlandırılan işlem, ostenit sıcaklığına kadar ısıtılmış olan çeliğin yüzeyine karbon monoksit içeren bir ortamda gaz metal reaksiyonu ile karbon emdirilmesidir. Karbürizasyon genel olarak 850-950°C sıcaklık değerlerinde yapılır. Bu sıcaklığa sementasyon sıcaklığı denir.



Sementasyon sıcaklığında ostenit faza kadar ısıtılan çelik bünyesinde yukarıdaki reaksiyon sonucunda (Denklem 2.1) ortaya çıkan karbon monoksit (CO) parçalanır ve oluşan karbon (C) emilir. Aşağıdaki reaksiyon (Denklem 2.2), çözünen karbon monoksitin çelik bünyesinde emilimini göstermektedir [2, 3, 4]. Burada CO₂ karbon dioksiti, Fe demiri, Fe_(C) ise ostenit fazda çözünen karbonu ifade etmektedir.



2.1. Sementasyon Çelikleri

Sementasyon çeliklerinde karbon oranı genellikle %0,10 ila %0,20 arasında olmakla beraber bu oran %0,25'e kadar çıkabilmektedir. Sementasyon çelikleri alaşımlı veya alaşımsız kimyasal kompozisyona sahip olabilirler. Sementasyon işlemi sonucunda çekirdek bölgesindeki karbon oranı değişmez iken yüzey bölgesinde bu oran %0,80 değerlerine kadar çıkabilmektedir [2, 5].

Sementasyon çelikleri, yüzey bölgesinde karbon oranının artırılması ile sert ve aşınma dayanımı yüksek, çekirdek bölgesinin yumuşak ve tokluk özellikleri içeren bir yapıya sahip olmasıyla, değişken ve darbeli yüklere karşı dayanıklı parçaların imalatında kullanılan çeliklerdir [6].

2.2. Sementasyon Metodları

Sementasyon işlemi genel manada üç farklı ortamda yapılır. Bununla birlikte üç yöntemde de karbürizasyon gaz vasıtasıyla olur. Fakat her bir metodun farklı özellikleri vardır. Bu özellikler sonucu farklı sıcaklıklarda farklı sertlikler, farklı sementasyon derinlikleri ve farklı diğer mekanik değerler oluşur. Bu üç yöntem aşağıdaki gibidir;

- Kutu sementasyonu (katı ortamda sementasyon)
- Tuz banyosunda sementasyon
- Gaz sementasyonudur [3].

2.2.1. Kutu sementasyonu

Kutu sementasyonunda karbon kaynağı olarak genellikle kömür kullanılır. Sement edilecek çelik parçalar genellikle ısı direnci yüksek alaşımlardan yapılmış kutular içerisine kömürlerle birlikte yerleştirilir. Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte kutu

içerisinde oksijen yardımı ile tepkime meydana gelir. Tepkime sonucu karbon dioksit (CO_2) içeren gaz karışımı meydana gelir. Bunun kömür ile tepkimesi (Denklem 2.1) ise aşağıdaki gibidir;



Karbon (C) ile tepkime sonucu ortaya çıkan karbon monoksit (CO) miktarı sıcaklık arttıkça daha da artar. Çeliğin yüzeyindeki karbon monoksit aşağıdaki tepkimeye (Denklem 2.2) göre ayrışır.



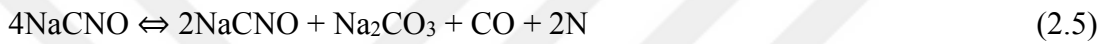
Yukarıdaki tepkime sonucu çeliğin ostenit fazında atomal karbon kolayca çözünerek çeliğin bünyesine girer. Böylece çelik yüzeyinden içeri doğru karbon yayınması başlar. Açığa çıkan karbon dioksit odun kömürü ile tekrar reaksiyona girer ve bu olay sürekli tekrar eder. Reaksiyonlar sonucu ortamdaki kömür tozları arasındaki oksijen miktarı sürekli azalmakta olup sementasyon için yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle reaksiyon hızlandırıcı alkali metal karbonatları kullanılır. Genellikle kullanılan ise baryum karbonattır (BaCO_3). Aşağıdaki tepkimeler sonucunda meydana gelen karbon dioksit (CO_2) (Denklem 2.3) kömür karbonu ile tepkimeye girerek karbon monoksiti oluşturur. Böylelikle tepkimeler çift yönlü olarak aşağıdaki şekilde sürekli devam eder. Burada BaO baryum oksittir.



Kutu sementasyonu küçük parçalar için ekonomik olmakla beraber önceden gaz atmosferi için ön hazırlık gerektirmesi, hassas sementasyon kabuk kalınlığı toleransının olmaması, karbon oranının zor ayarlanabilir olması ve çevre pisliği gibi dezavantajlara sahiptir [2,3].

2.2.2. Tuz banyosunda sementasyon

Tuz banyosunda ergiyik tuzlar kullanılarak karbon difüzyonu için gerekli olan sıcaklıklar sağlanır. Karbon sağlayıcı olarak genellikle sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) gibi tuzlar kullanılır. Aklifleştirilmiş banyolarda genellikle baryum klorür (BaCl₂) veya stronsiyum klorür (SrCl₂) kullanılır. Bu metodla karbürizasyon işlemi aşağıdaki tepkimeler ile gerçekleşir (Denklem 2.4, 2.5, 2.6).



Birinci tepkime siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında oluşur. İkinci ve üçüncü tepkime ise tuz bayosu ve çelik arasında oluşur. Birinci tepkimede meydana gelen Sodyum siyanür (NaCNO) ayrışarak karbon monoksit (CO) ve azot (N) oluştur. ostenit fazdaki çelik CO ile tepkimeye girerek karbonu bünyesine alır. Çeliğin karbonu bünyesine alma miktarı, tuz banyosunun sıcaklığı ve siyanür miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Tuz banyosunda istenilen sıcaklık ve sementasyon kabuk kalınlığına göre iki çeşit tuz banyosu kompozisyonu vardır. Burada Na₂CO₃ sodyum karbonat, Fe demir, Fe₃C ise sementittir.

İnce sementasyon kabuk kalınlığı oluşturan tuzlar ki sementasyon sıcaklıkları genellikle 845°C ila 900°C aralığıdır. 0,9 mm'ye kadar sementasyon kabuk kalınlığı elde edilebilmektedir.

Yüksek sementasyon kabuk kalınlığı veren tuzlar ise 900°C ila 955°C arasında sıcaklık ile 0,5 mm ile 6 mm arasında sementasyon kabuk kalınlığı oluşturabilirler. Genellikle 1 mm ile 2 mm arasında istenen derinliklerde kullanılırlar.

Tuz banyosuna alınacak olan parçalar hem verimi arttırıp maliyeti düşürmek hem de parçaların üzerindeki nemin alınması amacı ile 100°C ila 400°C arasında ön ısıtmaya alınmalıdır.

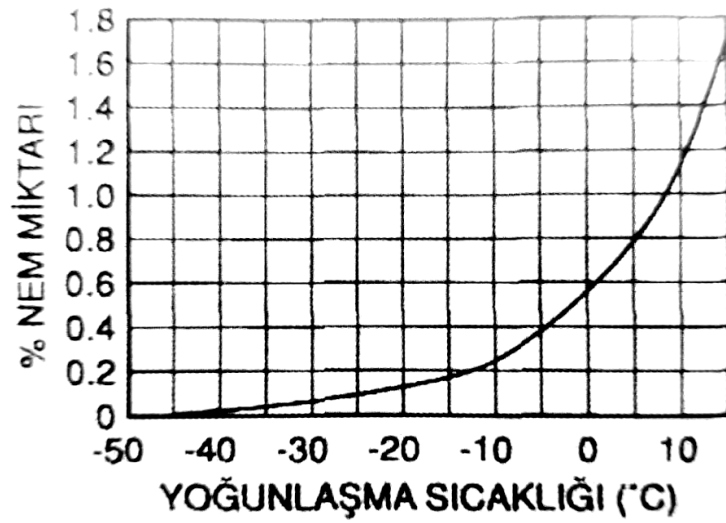
Tuz banyosunda sementasyon metodu, hızlı sementasyon sıcaklığına ulaşabilme ve homojen sıcaklık dağılımı elde edilebilmesinden dolayı avantajlı olsa da yüksek sementasyon kabuk kalınlığı maliyeti, parça yüzey kirliliği sonrası temizlenme maliyeti, karbon oranının ayarlanması ve takip zorluğu gibi dezavantajlara sahiptir. Karbon ayarı düzgün ayarlanmadığı takdirde kalıntı ostenitin oluşması sebebiyle istenen maksimum sertliğe de ulaşamaz. Tuz banyosunun diğer bir dezavantajı ise önemi son zamanlarda daha net anlaşılan iş sağlığı ve güvenliği konusunda ciddi riskler içermesidir [2,7].

2.2.3. Gaz sementasyonu

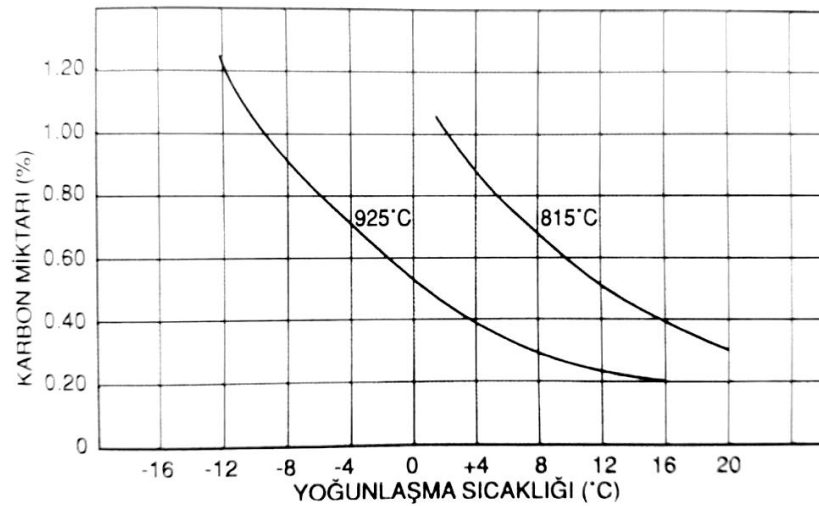
Son yıllarda yüzey sertleştirme metodlarının en popüler haline gelen gaz sementasyonu oldukça verimli ve güvenli sonuçlar vermektedir. Propan, etan ve metan (CH₄) gibi gazlar karbon kaynağı olarak kullanılırlar. Aşağıdaki reaksiyonlar sementasyon sıcaklığında gerçekleşir ve meydana gelen atomik karbon ostenit fazdaki çelik bünyesine girerek sementasyonu gerçekleştirir (Denklem 2.2, 2.7, 2.8).



Atmosfer kontrollü fırınlarda yapılan sementasyon işlemlerinde çelik yüzeyindeki karbon oranının belirlenmesinde gaz atmosfer kompozisyonunun özellikle de nem miktarının önemli etkisi vardır. Burada H_2 hidrojenidir. Nem oranı, su (H_2O) damlacıklarının gaz karışımında çökeldiği sıcaklık olan yoğunlaşma sıcaklığı ile tespit edilebilir. Şekil 2.1.'de nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki [2].



Şekil 2.2. Koruyucu atmosferdeki CO oranı %20 ve H_2 oranı % 40 olarak sabitlenmişken yoğunlaşma sıcaklığının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon oranına etkisi [2].

Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere çelik yüzeyinde %0,8 karbon elde edebilmek için sementasyon sıcaklığını 925°C yoğunlaşma sıcaklığı ise yaklaşık -6°C veya sementasyon sıcaklığını 815°C yoğunlaşma sıcaklığı ise yaklaşık +5°C olmalıdır [2, 3].

Gaz sementasyon metodunun diğer sementasyon metodlarına göre kurulum maliyeti yüksek olsa da işletme maliyeti çok daha düşüktür. En önemli avantajı ise karbon oranının istenen oranda sabit tutulabilmesidir. Bu ise gerek istenen sertliğin elde edilmesi gerekse martenzitik dönüşümün sağlıklı gerçekleşmesi için çok önemlidir. Geleneksel tuz banyosunda karbon oranını ayarlamak çok zordur. Bu sebeple genellikle kalıntı ostenit oranı yüksek çıkar. Gaz sementasyonun diğer bir avantajı ise normalizasyon gibi diğer tavlama çeşitlerinin çok daha kolay yapılabilmesidir. Yine aynı şekilde çift sertleştirme gibi sertleştirme metodları da kolaylıkla yapılabilir. Gaz sementasyonu çevre temizliği ve iş sağlığı ve güvenliği açısından da çok daha avantajlıdır. Tuz banyosunda kullanılan siyanür tuzlarının birçok ülkede kullanımı yasaklanmış olup insan ve çevre sağlığını tehdit etmektedir. Atık tuzların bertaraf edilmesi de hem maliyet açısından hem de sağlık açısından gaz sementasyonunu tuz banyosuna karşı avantajlı kılar.

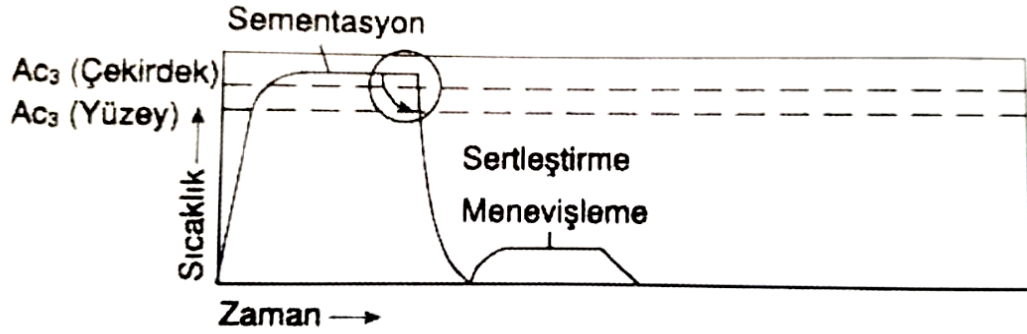
2.3. Sertleştirme Yöntemleri

Sementasyon ile sertleştirme yöntemi sementasyon ve akabindeki su verme işlemini içermektedir. Dolayısıyla sementasyon işleminin tamamlanabilmesi, istenen sertlik ve mekanik değerlerin sağlanabilmesi için sertleştirme yöntemleri çok önemlidir.

2.3.1. Doğrudan sertleştirme

Karbürizasyon sonrası, işlem sıcaklığından parçaya su vererek gerçekleştirilir. Normal su verme sıcaklığı üzerinde uzun süre tutulduğunda ise tane irileşmesine yol açar ve hem yüzey bölgesinde malzemeden beklentiye düşürür hem de iç bölgedeki tane irileşmesinden dolayı tokluğu önemli derecede düşürür. Bu problemi önlemek için parça önce yüzey sertleştirme sıcaklığına kadar bir miktar

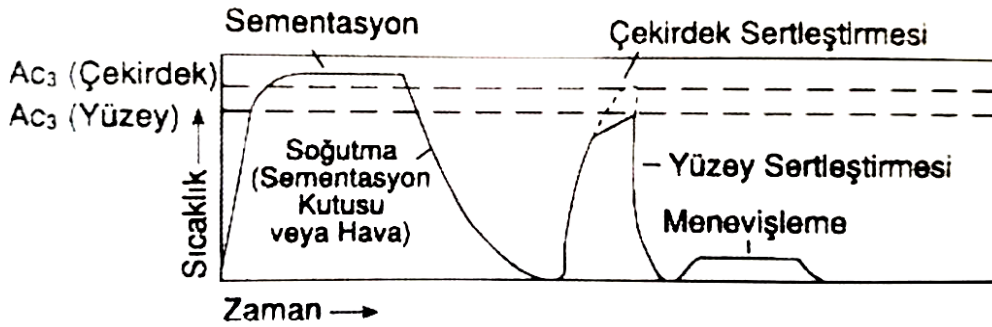
soğutulduktan sonra su verme işlemine tabi tutulur. Uygulamanın maliyeti düşüktür. Özellikle ince taneli yapıdaki çelikler için piyasada yaygın olarak kullanılır [2, 7, 8].



Şekil 2.3. Sementasyona ilişkin doğrudan su verme programı [2].

2.3.2. Basit sertleştirme

Bu işlemde parça önce sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulur. İç bölgelerin ince tane yapısına kavuşması için merkeze ait A_3 sıcaklığı esas alınarak normalize edilir. Bunu takiben, çeliğin karakteristik su verme sıcaklığına kadar ısıtılıp hızla soğutulur. Ayrıca yine temperleme işlemi takip edebilir. Doğrudan su vermeye göre ek masraf olarak tekrar ısıtma işlemi vardır. Fakat normalizasyon sayesinde ince taneli içyapıya kavuşturulmuş olur. Yüzey bölgesindeki martenzitik yapı da daha ince olur.



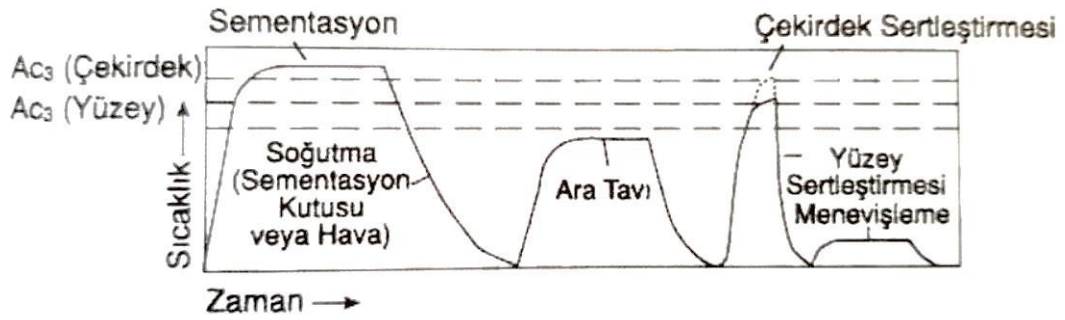
Şekil 2.4. Sementasyona ilişkin basit sertleştirme programı [2].

Burada parçanın yüzey bölgesine veya temel malzemenin karbon oranına göre iki farklı şekilde su verme işlemi yapılır.

Parça yüzeye göre sertleştirilirse, iç bölgelerde nispeten düşük bir mukavemet artışıyla birlikte yüzeyde en iyi sertlik değerine ulaşılır. Malzemenin iç bölgesine

göre sertleştirme işlemi yapılır ise de en yüksek mukavemet artışına ulaşılırken yüzey bölgelerde kalıntı ostenit problemi oluşacaktır. Genellikle her iki durum da göz önünde bulundurularak iki sıcaklık arasında bir bir sıcaklıktan suverilmektedir [2, 7, 8].

2.3.3. Basit sertleştirme (Ara tavından sonra)

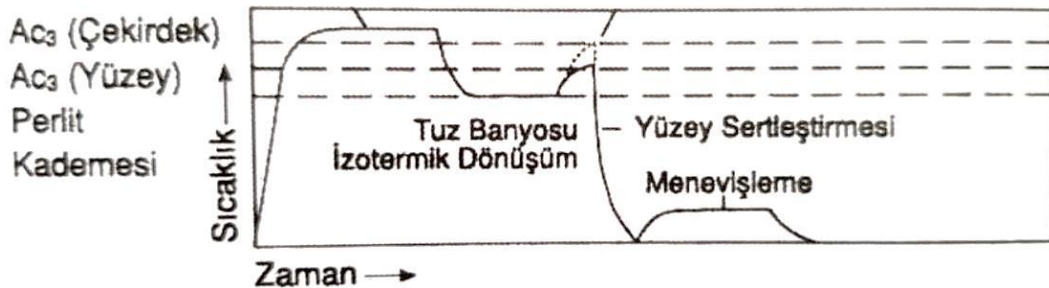


Şekil 2.5. Sementasyona ilişkin ara tavlama sonrası basit sertleştirme programı [2].

Sementasyon sonrası parçalar normalize edilmek üzere havada soğumaya bırakılır. Bu programda yüzey ve çekirdek sertliğine ulaşılabilmesi için tekrar ısıtılıp suverilmesinin öncesinde A_1 sıcaklığının altında genellikle $630-650^{\circ}\text{C}$ 'de ara tavlama yapılır.

Ara tavlama sayesinde iç gerilmeler azaltılır ve perlit lamellerindeki sementit, taneli sementit olacak şekilde şekillendirilir [2, 7, 8].

2.3.4. Basit sertleştirme (İzotermik dönüşümden sonra)



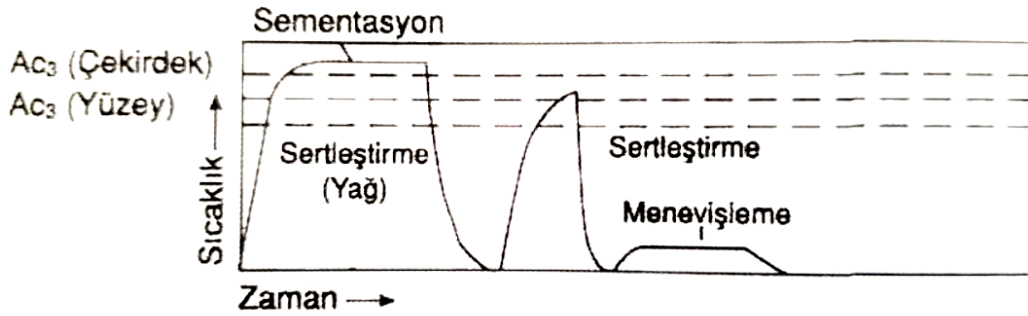
Şekil 2.6. Sementasyona ilişkin izotermik dönüşümden sonra basit sertleştirme programı [2].

Karbürizasyondan sonra parça hızlı bir şekilde A_1 altında bir sıcaklığa kadar soğutulup bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulursa ostenitin izotermik dönüşümüyle iç bölgelerinde ince lamelli perlitik bir yapı elde edilir. Bu dönüşümün akabinde parça tekrar suverme sıcaklığına kadar ısıtılıp soğutulur [2, 7, 8].

2.3.5. Çift sertleştirme

Çift sertleştirme işlemi, karbürizasyon işleminden sonra malzemenin hem iç hem de yüzey bölgelerine en iyi mekanik özellikleri kazandırmak için yapılan bir işlemdir.

Karbürizasyon sıcaklığından yavaşça soğutulan parça $A_3(M)$ üzerindeki bir sıcaklıktan birinci defa suverilir. Bu sayede çekirdek bölgesi sertleştirilir. İkinci sertleştirme işlemi uygulanmadan önce parçaya gerilim giderme tavlaması yapılır. Akabinde $A_3(YB)$ üzerinden tekrar su verilir. Bu sayede yüzey bölgesinde ince martenzitik yapı oluşturulur [2, 7, 8].



Şekil 2.7. Sementasyona ilişkin çift sertleştirme programı [2].

2.4. Menevişleme

Sementasyon işleminin tamamlanmasından sonra ostenitin martenzite dönüşmesi esnasında iç gerilmeler meydana gelir. Bu iç gerilmeler sebebiyle malzemeyi işlemek zorlaşır ve kırılmalar meydana gelebilir. Bu sebeple iç gerilmeleri gidermek amacıyla menevişleme işlemi yapılır [10]. Menevişleme işlemi sementasyon çeliklerinde 150 ila 220°C sıcaklık değerlerinde 1 ila 2 saat süre ile uygulanır.

Menevişleme işlemi ile malzemenin sünekliği ve tokluğunda artış gözlemlenir ve sertleşmeye bağlı olarak meydana gelen iç gerilmeler giderilir. Menevişleme süresini ve sıcaklığını iyi ayarlamak gerekir çünkü tokluk ve süneklik arttırılıken malzeme sertliğinde bir miktar düşüş olmaktadır [2, 7].

2.5. Sementasyon Kabuk Kalınlığı

Sementasyon sonucu oluşan kabuk kalınlığının özellikleri üzerinde en etkili parametre karbon oranıdır. Parçanın yüzeyi, işlem sırasında karbon yayınımına uğrar. Elde edilecek yayınma bölgesinin derinliği ve profili işlem sıcaklığı ve süresiyle ilişkili olarak değişmektedir. 550 HV sertliğe kadar olan bu derinliğe sementasyon kabuk kalınlığı veya efektif sementasyon kalınlığı adı verilir. Elde edilecek kabuk ve çekirdek bölgesinin özellikleri başta çeliğin karbon içeriği olmak üzere, diğer alaşım elementlerinin varlığı ve miktarıyla değişim gösterecektir [3, 4]. Karbürleme kademesi sonrası uygulanacak ısıtma işlem adımları ve ilgili sıcaklıkların seçilmesi de diğer önemli değişkenleri oluşturmaktadır.

2.6. Yüzey Sertliği

Yüzey sertliğini belirleyen en önemli faktör ostenit fazda çözünen karbon miktarıdır. Yüzeyde istenen karbon oranı %0,8 ile %1 arasındadır. Yüzeyde karbon oranı %0,7'yi aştığı takdirde M_s sıcaklığı ciddi miktarda düşer. M_s 'in düşmesi su verme sonrasında kalıntı ostenitin oluşmasıyla birlikte sertlik düşüşüne sebep olur. Çeliğin yüzeyi maksimum sertlik için yeterli karbon konsantrasyonuna sahip olduğunda, tane boyutu değişmediği sürece su verme sıcaklığının sertliğe etkisi çok azdır. Ayrıca yüksek oranda karbon nüfuz ettirilmiş çeliklere uygun su verme sıcaklığı seçilirse kalıntı ostenit miktarının azaltılmasıyla da yüksek sertlik elde edilebilir [2, 3, 4].

2.7. Çekirdek Sertliği

Parçanın boyutları ve karbürizasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı çekirdek sertliğinin belirlenmesinde oldukça etkilidir. Jominy bantlarına göre her malzemenin kendine

özgü belirli derinliklerde alabileceği sertlik değerleri vardır. Dolayısıyla boyutları küçük olan parçaların boyutları büyük olan parçalara göre çekirdek sertliği daha yüksektir [2, 3].

2.8. Suverme ve Soğutma Hızı

Çeliklerin ostenitleme sıcaklığından soğutularak sertleştirme işlemi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Suverme deyiminin kaynağı eskiden çeliklerin sadece su ortamında sertleştirilmesi olsa da genel manada sertleştirme sağlayacak her türlü soğutma için kullanılır. Bu sebeple soğutma işlemi için su verme ortamı sadece su olmamakla beraber gerekli sertliği sağlayabildiği takdirde hava ve yağ da olabilir [7, 9].

Ostenitleme sonrasında çeliğin soğutma hızına bağlı olarak çeşitli içyapılar oluşmaktadır ve bu dönüşümlere bağlı olarak da çeliğin mekanik özellikleri değişmektedir.

Soğutma hızının artmasıyla beraber, denge diyagramında ön görülen kristal dönüşümlerin başlama sıcaklığı düşer. Düşen dönüşüm sıcaklıkları difüzyonun gerçekleşmesini tamamen engeller veya kısmen gerçekleşmesine izin verir. Sonuç olarak atom hareketlerinin dönüşüm esnasında sınırlandırılması ile beynitik ara yapı, tamamen engellenmesi ile de martenzitik yapı meydana gelir [7, 9].

Sertleştirme işleminin asıl amacı olan tamamen martenzite dönüşmüş yapı minimum soğutma hızında gerçekleşir. Bu minimum soğutma hızına ise kritik soğutma hızı adı verilir. Kritik soğutma hızı, malzemenin kimyasal kompozisyonuna ve ostenit tane boyuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Malzeme, suverme ortamında kritik soğutma hızından daha hızlı bir şekilde soğutulursa yüksek sertlikte martenzit yapı elde edilir. Bununla beraber soğutma hızı kritik soğutma hızından yavaş olursa ostenitin bir kısmı ya da tamamı ferrit veya perlite dönüşür [7]. Parçanın soğutma hızına etki eden bir takım parametreler vardır. Bunlar;

- Suverme ortamı
- Suverme ortamının sıcaklığı
- Parça ebatıdır [2, 9].

2.8.1. Suverme ortamı

İstenen suverme ortamı, ZSD eğrileri burun bölgesinden kesmeyecek şekilde ilk soğutmada hızlı ve sonrasında ise çatlama olasılığını azaltabilmek için oldukça yavaş soğutmalıdır. Fakat gerçekte bu özellikleri sağlayan bir suverme ortamı yoktur. Su ve tuzlu su soğutma ortamları hızlı soğutma hızları sayesinde çarpılma ve çatlamaya sebep verebilirler. Suverme yağları ise daha uzun süren ince buhar film tabakası ve kısa süreli kaynama sağlar. Malzemenin soğutulması üç aşamada gerçekleşir.

- İlk aşamada yüksek sıcaklıktaki çeliğin yüzeyine temas eden su buharlaşır ve ince bir film tabakası oluşturur. Bu film tabakası ısı iletimi düşük olması sebebiyle malzemenin soğutma hızını yavaşlatır.
- İkinci aşamada malzeme yeterince soğuduğunda film tabakası dengeli durumda kalmaya devam edemez ve parçalanır. Bu safhada soğuma en hızlı seviyede gerçekleşir.
- Son aşama ise malzemenin yüzey sıcaklığı suverme ortamının kaynama sıcaklığına ulaşır. Soğuma ısı iletimi şeklinde gerçekleşir ve oldukça yavaştır [2, 9].

2.8.2. Suverme ortamı sıcaklığı

Soğutma hızını etkileyen parametrelerden biri de suverme ortamının sıcaklığıdır. Soğutma ortamının sıcaklığı yükseldikçe soğuma hızı da azalır. Bunun asıl sebebi ise buhar filminin çok daha uzun bir müddet dengeli kalıp soğutmayı yavaşlatmasıdır.

Soğutma ortamındaki sıvının sıcaklığının kaynama noktasına yaklaşması buharlaşma için gereken ısıyı da azaltacağından malzemenin soğuma hızı yavaşlar. Soğutma sıvısı olarak kullanılan yağlarda ise tersi durum söz konusu olabilir. Bunun sebebi ise sıcaklığın artmasıyla yağların viskoziteleri düşer, yağlar daha akışkan hale gelir ve ısı iletimleri artar. Gerçek soğuma hızı ise akışkanlığın artmasından dolayı artan ısı iletimi ile uzun süreli buhar filminin soğutmayı yavaşlatması, parametrelerinden hangisinin baskın olduğuna bağlıdır [2, 7, 9] .

Suverme ortamındaki maddelerin yeterince bulunması ortamın sıcaklığının yükselmesini önlemek ve yeterli soğutma hızını sağlayabilmek için önemlidir. Yağ ile soğutulan soğutma ortamlarında ise soğutma hızının dışında yangın gibi risklerin önüne geçebilmek önem arz eder. Sanayide genellikle 1/10 kuralı uygulanır yani bir ton çelik malzemeyi soğutabilmek için on ton soğutma yağına gereksinim duyulur.

Suverme ortamında soğutmaya etki eden parametrelerden biri de karıştırma olup olmamasıdır. Karıştırma buhar filmini yırtacağından soğumayı hızlandıracaktır.

2.8.3. Parça ebatı

Suverme ortamına daldırılan parçada soğuma ilk olarak parça yüzeyinden başlar. Bu sebeple parçanın yüzey alanı kütle oranı soğuma hızının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Yüzey alanın kütlesine göre oranı büyük olan parçalar daha hızlı soğuma hızına sahiptir.

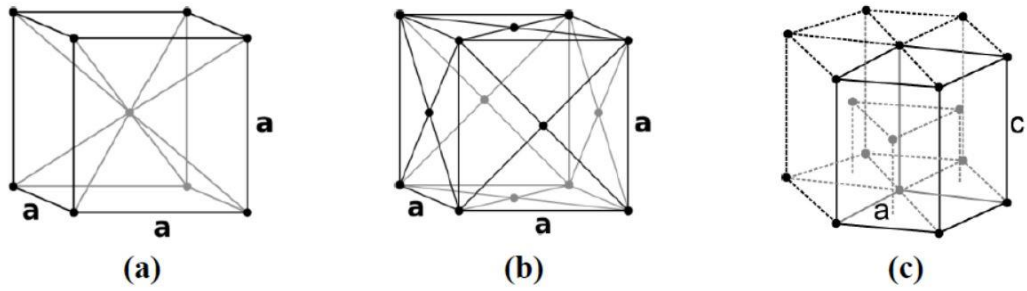
Çelik parçalarda yüzeyden itibaren parçanın çekirdeğine doğru soğuma hızı düşecek ve haliyle sertlik değerleri düşük olup farklı içyapılar oluşacaktır. Çelik kalitelerinin kendilerine has sertleşebilirlik değerleri vardır [2, 9].

2.9. Martenzit Dönüşümü

Ostenit sıcaklığına kadar ısıtılan çelikler çok hızlı bir şekilde soğutulduğunda martenzit adı verilen içyapıya sahip olurlar. Oda sıcaklığında ferritik yapıdaki

Çelikler hacim merkezli kübik kafes (HMK) sistemine sahiptir. HMK yapısında atomik dolgu faktörü %68 mertebesindedir. Ostenitik sıcaklıkta ise yüzey merkezli kübik kafes (YMK) sistemine sahip olurlar. YMK yapısında ise atomik dolgu oranı %74 mertebesindedir [7, 11].

Ostenit sıcaklıktaki elik bünyesindeki karbon atomları, hızlı bir soğutma ile soğutulma esnasında YMK yapılı kristal kafes içersinde erimiş olarak bulunan karbon atomları, ostenit – ferrit dönüşümünden sonra da kafes içerisinde bulunurlar. Karbon atomlarının HMK yapılı ferrit kafesi içinde sıkışıp kalması, kübik yapının çarpılıp tetragonal yapıya dönüşmesine sebebiyet verir. Çarpılma derecesi olan c/a oranı eliğın yapısındaki karbon oranına bağlıdır. Oluşan sert ve gevrek yapıya martenzit denir [7]. Kafes yapıları şekil 2.8.'de gösterilmektedir.



şekil 2.8. a) Hacim merkezli kübik yapı, b) Yüzey merkezli kübik yapı, c) Hegzagonal yapı [11].

Hem demir hem de karbon atomunun difüzyonunun tamamen engellendiği bu yüksek hızdaki soğutma hızına kritik soğutma hızı denir. Malzemenin kimyasal kompozisyonuna ve ostenitin tane boyutuna bağlı olarak, kritik soğutma hızından daha büyük soğutma hızında ostenit – martenzit dönüşümü çok daha düşük sıcaklıklarda meydana gelir.

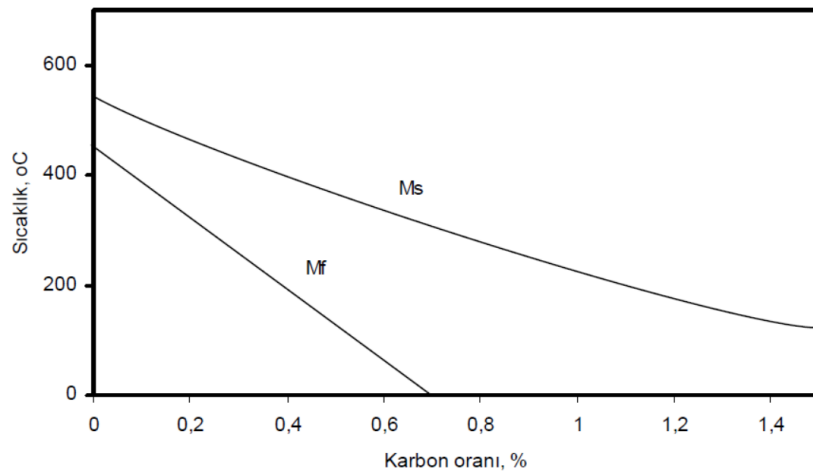
Ostenit – martenzit dönüşümü atom yayınması içermeyen bir dönüşümdür ve hızı ses hızına yakındır. Martenzit dönüşüm kristal düzlemler üzerinde bir dizi kayma hareketleri sonucu meydana gelir. Bu sebeple martenzit dönüşüme kayma dönüşümü de denir. Bu dönüşümün bir özelliği de atom yayınması gerektirmediği için sreye bağlı olmamasıdır. Martenzit dönüşümün başladığı sıcaklığa martenzit start (M_s)

dönüşümün bittiği sıcaklığa ise martenzit finish (M_f) sıcaklığı denir. Bu dönüşüm başlangıç ve bitiş sıcaklıkları sadece malzeme kompozisyonuna bağlıdır. M_s ve M_f sıcaklıkları soğutma hızından bağımsız olsa da martenzit oluşumu için soğutma hızı kritik soğutma hızından büyük olmalıdır.

Martenzit yapılarını incelediğimizde, masif ve iğnesel martenzit olmak üzere iki farklı martenzit yapının olduğunu görürüz. Masif martenzit %0,6'ya kadar karbon içeren yapılarda birbirlerine paralel olarak uzanmış ince plakalar şeklinde meydana gelir. %1'den fazla karbon içeren yapılarda ise iğnesel martenzit oluşur bu yapı masif martenzite benzer görünümlü fakat ostenit matriksi içerisinde düzensiz sıralanmış plakalardan oluşur. %0,6 ile %1 arası karbon içeren yapılarda ise hem masif hem de iğnesel martenzit karışık olarak bulunur [3, 7, 9].

2.9.1. Kalıntı ostenit

Tam sertleşme olarak da adlandırılan %100 martenzit dönüşümü, M_f sıcaklığı altında bir sıcaklıkta soğutulursa meydana gelir. Çelik parçası M_f sıcaklığı üzerinde bir sıcaklıkta su verilirse içyapısında martenzite dönüşmemiş ostenit fazı bulunacaktır ki bu faza kalıntı ostenit denir. Şekil 2.9.'da martenzit dönüşüm sıcaklıklarına ilişkin sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Kalıntı ostenit oranı ne kadar artarsa suverilmiş çeliğin sertliğini o kadar düşürür. Kalıntı ostenitin aşınma direnci ve yorulma dayanımına ciddi olumsuz etkileri vardır [3, 7, 9].



Şekil 2.9. Karbon oranına bağlı olarak çeliklerde M_s ve M_f sıcaklıklarının değişiminin gösterimi [9]

2.9.2. Sıfırlı işlem

2.9.2.1. Sıfırlı işlem tanımı ve uygulaması

Sıfırlı işlem, ostenit – martenzit dönüşümünün oda sıcaklığında veya M_f sıcaklığı üzerinde suverme işlemiyle gerçekleştirilmesi durumunda ortaya çıkan kalıntı ostenitin martenzite dönüşümünü sağlamak amacıyla malzemenin -50°C ile mutlak sıfır değeri olan -273°C 'de soğutulması işlemidir [13, 14].

Sıfırlı işlem, suverme işlemi sonrası çeliğin ısı yalıtımlı kabin içerisine konularak kabin içerisine sıvı azotun fan ile püskürtülmesi ve ısıl değiştiriciler sayesinde sıcaklığın belirli müddet sabit tutulmasıyla gerçekleştirilir. İstenilen işleme göre farklı sıcaklık değerlerinde; soğuk işlem adı ile -80°C 'ye kadar kriyojenik işlem adıyla -80°C ile -196°C arasında yapılır [15].

2.9.2.2. Sıfırlı işlemin etkileri

Sıfırlı işlem, özellikle $\%0,8$ 'den fazla karbon içeren ötektoid üstü çeliklerde daha etkili sonuçlar vermektedir. Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi $\%0,7$ ve üzeri karbon içeren çeliklerde M_f sıcaklığı 0°C 'nin altına düşmektedir ve haliyle sıfırlı işlem harici işlemler ile ostenitin tamamen martenzite dönüşmesi olanaksızdır [13, 16].

Ostenit – martenzit dönüşümü sırasında bir miktar karbon atomu arayer katı eriyiğinin dışında çökelerek karbürleri oluşturur. Oluşan bu karbürler homojen yapının bozulmasına sebebiyet vererek kırılma direnci artırır. Sıfırlı işlem ile karbürlerin oluşumlarının yavaşlamasıyla birlikte boyutlarının küçülmesi ve karbon atomlarının yapı içinde daha fazla dağılması sağlanır. Böylelikle daha az boşluk içeren daha sık bir tane yapısı elde edilir [16].

Sonuç olarak sıfırlı işlem sayesinde, kalıntı ostenitin martenzite dönüşmesi, ince karbür oluşumu ve homojen karbür dağılımı sağlanır. Mekanik olarak malzemenin aşınma direnci yükselir, sertlik değeri artar ve dağılımı düzenlenir [17].

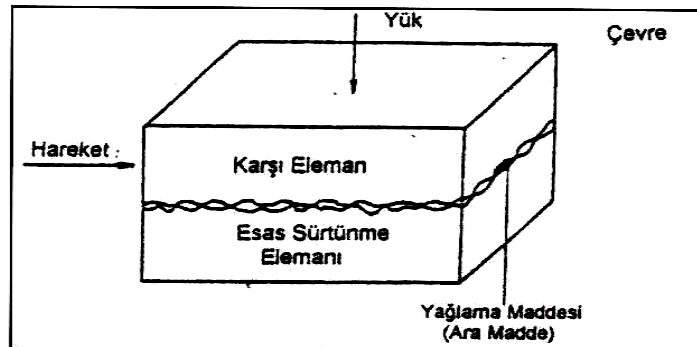
BÖLÜM 3. AŞINMA HASARI

3.1. Aşınmanın Tanımı

Malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların, bir başka malzemenin yüzey temasıyla mekanik zorlamalar veya kimyasal sebepler ile ayrılarak değişim meydana getirmesine; aşınma denir. Bunun sonucunda parçanın şekli ve yapısı bozularak performans kaybı meydana gelir. Kullanıcı bakımından; azalan çalışma ömrü ve kalitesiz üretim, yüksek enerji tüketimi ve verimsizlik, çalışanlar için yüksek riskli çalışma ortamı gibi sonuçları vardır [18].

3.2. Aşınmanın Temel Unsurları ve Triboloji

Birbirleriyle etkileşime giren yüzeylerin incelenmesi ve bu etkileşimin sürtünme ve yıpranmaya etkisini inceleyen bilim ve tekniğin adı tribolojidir. Aşınma, akma mukavemeti veya sertlik değerleri gibi malzemenin karakteristik özelliği değildir. Aşınma olayını ancak tribolojik sistemi oluşturan temel unsurları inceleyerek belirleyebiliriz [19].



Şekil 3.1. Tribolojik sistemin elemanları [19]

Bir aşınma olayının gerçekleşebilmesi için Şekil 3.1.'de gösterilen altı temel unsurun bir arada bulunması gerekmektedir. Bunlar;

- Karşı ve esas elaman olarak adlandırılan sürtünme elemanları
- Sürtünme elemanları arasındaki katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilen ara madde
- Sisteme etki eden yük, kuvvet
- Sıcaklık, nem gibi etkili sebepleri oluşturan çevre
- Sürtünme elemanlarının birbirlerine etkileşimini oluşturan harekettir [19, 20].

3.3. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma dış etkilerin, fiziksel kimyasal etkilerin çeşitliliğinden dolayı birden fazla şekilde gerçekleşir. Oluşum mekanizmalarına göre aşınma çeşitleri;

1. Abrasif aşınma
2. Adhezif aşınma
3. Erozif aşınma
4. Korozyon aşınma
5. Yorulma aşınmasıdır [18].

3.3.1. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, sert partiküllerin sürtünme elemanlarının yüzeyleri arasında meydana getirdiği aşınma türüdür. Abrasif aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelir. Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya neden olabilmektedir. Sert partiküller sisteme ya dışarıdan girmekte ya da aşınma ürünleri olarak sistem tarafından üretilmektedir. Aşınmanın yalnızca sürtünen iki yüzey arasında meydana gelmesiyle oluşan abrasif aşınma modeline iki cisimli abrasif aşınma, iki cisim arasına dışarıdan üçüncü bir sert partikülün girerek oluşturduğu abrasif aşınma modeline ise üç cisimli abrasif aşınma denir [21].

Abrasif aşınma; mikro kesme, mikro kırılma, yorulma ve tane sökülmesi şeklinde gerçekleşir. Sert parçacıklar malzeme yüzeyindeki çıkıntılara basınç uygular ve keser. Bu durumda mikro kesme ile abrasif kesme meydana gelmiş olur. Aşınan malzeme gevrek ise mikro kırılmayı oluşturur. Aşınan malzeme gevrek değil sünek ise sert partiküller malzemeyi kesemez, tekrarlı hareketlerle malzemenin yorulmasıyla kopmasına sebebiyet verir ve yorulma sonucu abrasif aşınma meydana gelmiş olur. Çok gevrek malzemelerde ise tane sınırlarındaki zayıflıktan dolayı tane kopması şeklinde aşınma meydana gelir ki bu abrasif aşınma türüne tane sökülmesi ile gerçekleşen abrasif aşınma denir [22].

3.3.2. Adhezif aşınma

Adhezif aşınma, aşınma mekanizmalarının en yaygın ve önemlilerindendir. Metal parçalarının birbirlerine temas yüzeylerinde yüksek mekanik gerilmeler ile mikrokaynak bölgeleri oluşturması ile meydana gelir. Meydana gelen bu kaynamalar, tekrarlı hareketler sonucunda zayıf noktalardan koparak malzeme yüzeylerinden parçacıklar koparak adhezif aşınmayı meydana getirir [23]. Kopan parçalar bazen malzeme yüzeyine yapışırken bazen de iki malzeme arasında kaymaya başlar.

Böylelikle üçüncül cisim durumuna geçerek abrasif aşınmaya da sebebiyet verebilmektedir. Adhezif aşınma en yaygın aşınma türü olmasına karşılık aşınma hasarlarını hızlandırıcı etkisi abrasif aşınmaya kıyasla daha azdır [24].

3.3.3. Erozif aşınma

Erozif aşınma, abrasif partiküllerin akışkan ortamlarda malzeme yüzeyine çarparak parça koparması ile meydana gelen aşınma türüdür [25]. Bu aşınma türü daha çok kumlu, çamurlu ve tozlu ortamlarda çalışan; pervane, pompa gibi elemanlarda gözükmemektedir. Erozif aşınmada; parçacık malzemesi, çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık boyutu aşınma mekanizması için önemli etkenlerdendir [26].

3.3.4.Korozif aşınma

Korozif aşınma, metallerin çevreleri ile kimyasal reaksiyona girerek yüzeyler üzerinde film tabakaları oluşturması ve devam eden sürtünmeyle bu film tabakasını parçalaması sonucu meydana gelen aşınma türüdür. Korozyon aşınmasının meydana gelebilmesi için korozif etkinin ve sürtünmenin beraber bulunması lazımdır. Reaksiyon sonucu korozyon tabakası oluşur ve sonrasında ise sürtünme ile tabaka çatlayıp aşınma meydana gelir. Korozyon yavaş seyreden bir aşınma türü olması sebebiyle zararlı sonuçlarının ortaya çıkması uzun zaman alır [27, 28].

3.3.5. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, tekrarlı ve değişken yüklerin malzeme yüzeyinde veya yüzeyin hemen altında mikro çatlaklar oluşturması, bir süre sonra da bu mikro çatlakların ilerleyerek malzeme yüzeyinden parçalar kopmasına sebebiyet vermesiyle meydana gelir. Yorulma aşınması daha çok, dişli çarklarda, rulman yataklarında ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeyinde görülmektedir [29].

BÖLÜM 4. YORULMA HASARI

4.1. Yorulma Tanımı

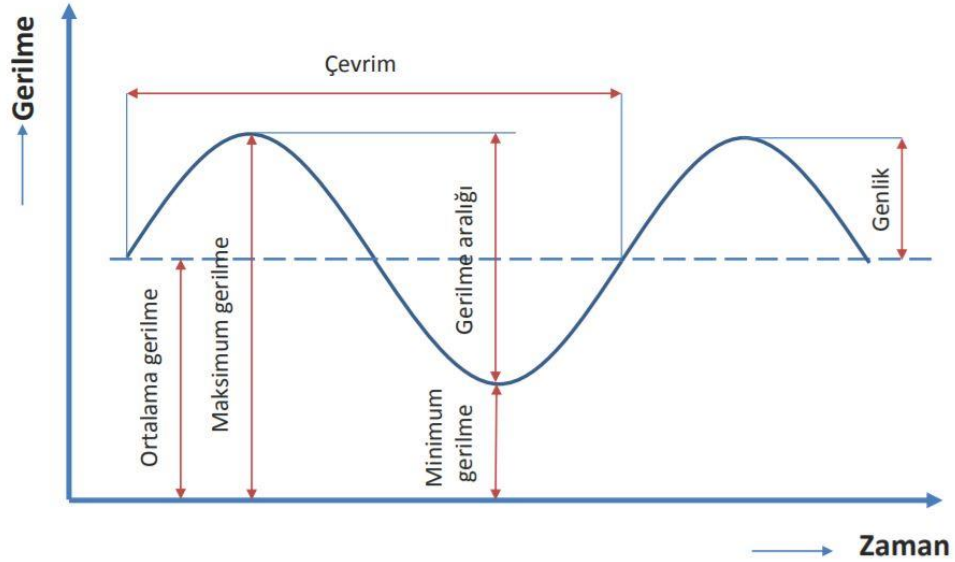
Makine parçaları statik zorlanmalardan çok, genellikle dinamik zorlanmaların etkisindedir. Makine parçalarının, akma sınırının çok altındaki tekrarlı dinamik zorlamalar sebebiyle kırılmasına da yorulma kırılması adı verilir. Sonsuz tekrara rağmen kırılmaya sebebiyet vermeyen en büyük gerilmeye de yorulma dayanımı denir [1].

Öncelerinde makine parçaları tasarlanırken anma gerilmelerinin kesitteki dağılımı dikkate alınırdı. 19.yy'ın ortalarında ise tekrarlı yükelemler sonucunda malzemenin dayanımının azaldığı ve yorulmanın gerçekleştiği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Sistematik hale getirecek çalışmayı yapan kişi ise August Wöhler dir. August Wöhler, tren vagon aksları üzerinde yaptığı çalışmada aks üzerinde çatlakların oluştuğunu ve bu çatlakların yavaşça ilerlediğini keşfetti. Çatlakların, kritik bir boyuta ulaştıktan sonra aniden yayıldığını ve hasara yol açtığını buldu. Hasara yol açan yüklerin büyüklüğü malzemenin çekme mukavemetinden daha azdı. Wöhler, ilk defa gerilme-çevrim grafiğini çizerek belirli bir gerilme altında sonsuz çevrimde dahi kırılmanın olmadığını tespitiyle yorulma dayanımı kavramını ortaya atmıştır [30].

4.2. Yorulma Zorlaması

Büyüklüğü ve yönü düzenli ya da düzensiz bir şekilde sürekli değişen kuvvet veya momentlerin (eğme, burma) etkimesi yorulma zorlaması olarak adlandırılır. Zorlama sırasında yük istendiği kadar tekrarlanabilir veya farklı zorlama aralıkları mevcut olabilir [1].

Değişken yüklerin etkisi altında, malzemede oluşan etkiler de zamanla değişmektedir. Malzemenin bir noktasında, gerilme, şekil değiştirme veya enerji dağılımı gibi birçok farklı değişken tanımlanabilmektedir. Bir yük çevrimi, incelenen değişkendeki bir maksimum gerilme ile bir sonraki maksimum gerilme arasındaki bölge olarak tanımlanmaktadır. Gerçek hayatta ise tüm çevrimlerin genliği genellikle aynı olmamaktadır. Bununla birlikte yüzeysel bir inceleme yapabilmek için yorulmayı kontrol eden değişkenin her bir yük çevriminin başında ve sonunda aynı değere sahip olduğu varsayılmaktadır. Elastik seviyedeki zorlamalarda malzemelere uygulanan periyodik yük, periyodik-çevrimsel gerilmelere neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda, çevrimsel zorlama kolayca tanımlanabilmektedir. Şekil 4.1.'de yorulmaya sebep olan gerilmenin zamanla değişimi gösterilmektedir [31].



Şekil.4.1. Yorulma olayı ile ilgili gerilme-zaman çevrimi [32]

Gerilme, bir yük çevrimi sırasında maksimum ($\sigma_{\max}$) ve minimum ($\sigma_{\min}$) değerler arasında değişmektedir. Yorulma hesaplamalarında, gerilmenin değişimi genellikle gerilme genliği (σ_a), ve ortalama gerilme (σ_m) kullanılarak tanımlanmaktadır. Gerilme aralığı $\Delta\sigma$ ile gösterilmektedir. R değeri ise minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranı olup bir gerilme çevrimini tanımlamak için kullanılmaktadır. Farklı yorulma değişkenleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Denklem 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (4.1)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (4.2)$$

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (4.3)$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (4.4)$$

Yorulma hasarının en önemli parametresi gerilme genliğidir. Bununla birlikte, detaylı bir yorulma analizi için ortalama gerilme de hesaba katılmalıdır. Ortalama gerilme, çekme gerilmesi ise yorulmaya karşı duyarlılık artarken, basma gerilmesi olduğunda yapı daha yüksek gerilme genliklerine dayanabilmektedir.

4.3. Yorulma Kırılması

Uygulamada makine parçalarında meydana gelen gerilmeler genellikle kesit alanına düzgün dağılmış, eğme ve burma gerilmeleri yüzeye doğru doğrusal şekilde ortaya çıkmış şekilde olmaz. Malzemenin içyapısında bulunan kusurlar, ön yükleme hatası, dış ortamda korozyon olması gibi etkenlerle malzemede gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu gerilmelerin sebebiyle plastik deformasyonlar meydana gelir. Bu plastik deformasyon sonucu malzemede mikro çatlaklar tekrarlı gerilmelerin etkisi ile yayılarak ani yorulma kırılmasını meydana getirir.

Yorulma kırılması olayı meydana gelinceye kadar tekrarlı yük sayısı yorulma ömrünü verir. Yorulma ömrü başlıca iki aşamanın sonunda meydana gelmektedir (Denklem 4.5).

$$N = N_C + N_i \quad (4.5)$$

Burada N_C , yerel ve tersinir olmayan plastik şekil değiştirmeler sonucu yüzeyde girintilerin oluşma safhası olan yorulma çatlaklarının çekirdeklenmesi ile çekirdeklenen

çatlağın kayma gerilmelerinin mevcut olduğu kayma bandı içinde ilerlemesi olan çatlak ilerleme safhasının toplamında geçen tekrar sayısıdır. N_i , makro çatlağın maksimum çekme gerilmesinin etki ettiği düzlemde ilerlemesindeki tekrar sayısıdır. Bu iki safha sonucu kırılma olayı meydana gelir ve çevrim sayısı yorulma ömrü olan N yi oluşturur [1].

4.3.1. Yorulma kırılmasına sebep olan etkenler

Yorulma kırılmasına sebebiyet veren etkenler iç etkenler ve dış etkenler olmak üzere ikiye ayrılır. Pratikte yorulma kırılması meydana gelirken genellikle birçok etken aynı anda etki eder. Yorulma kırılmalarının çoğunluğunu da malzeme hatalarından ziyade çentik etkisi oluşturan yüzey etkileri, yükleme ve diğer sebepler oluştururlar. Aşağıdaki listeler uygulamada en yaygın görülen yorulmaya sebebiyet veren etkenlerdir [1, 33].

4.3.1.1. Dış etkenler

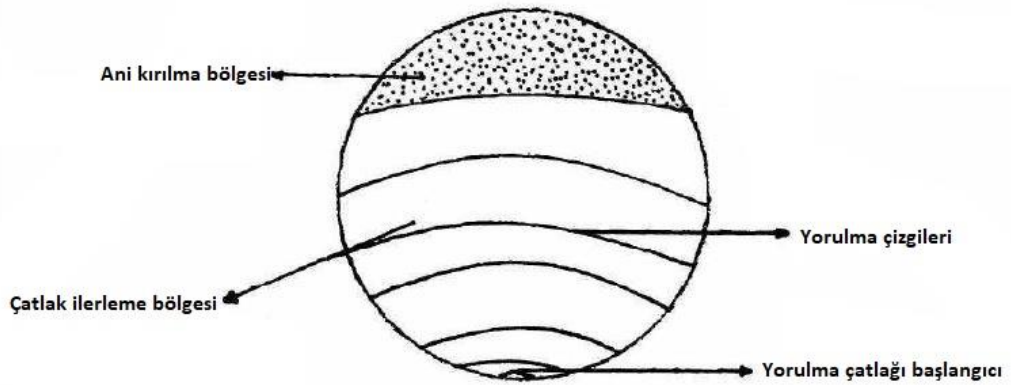
- Konstrüksiyon ile ilgili çentikler; yağ delikleri, kama yuvaları, keskin kesit değişimleri, faturalar, enine delikler v.b.
- Kuvvetlerin doğrultu değiştirdiği yerler; cıvata başları, krank millerin dirsekleri, sıkı geçmeler v.b.
- Kuvvet etki noktaları; toleranslı veya sıkı geçmeler ve diğer noktasal veya çizgisel kuvvetler
- Talaşlı imalat sırasında oluşan yüzey zedelenmeleri; torna izleri, taşlama çatlakları v.b.
- Diğer yüzey zedelenmeleri; korozyona uğramış noktalar, aşınmış bölgeler v.b.

4.3.1.2. İç etkenler

- Her türden segregasyonlar
- Döküm veya soğuk şekillendirme esnasında meydana gelen mikroboşluklar
- Tane sınırlarında oksitlenme veya tane içlerinde oksijen miktarının artması
- Özellikler haddelme ve dövme işlemlerinde meydana gelen iç çatlaklar
- Çelik mikroyapısının ileri düzeyde heterojen olması
- Kaba taneli yapılar ve widmannstaetten yapısı
- Bant veya ağ şeklinde bulunan yoğunlaşmış karbürler
- Çelik yüzeylerindeki dekarbürizasyon
- Sertleştirilmiş yüzey ile yüzey altı sertlik geçişinin keskin olması iç çentik etkisi oluşturarak gerilme yığılmalarını meydana getirir.
- Sementasyon uygulanmış çeliklerde yüksek miktarda kalıntı ostenit bulunması
- Kaynak bölgelerinde meydana gelen boşluklar, çatlaklar ve yanlış kaynatma yöntemi sebebiyle meydana gelen gerilim yığılmaları

4.3.2. Eğmeli yorulma kırılmasının görünümü

Bir eğmeli yorulma neticesinde oluşan kırık yüzeyi incelendiğinde gerilme türü ve seviyesi, kırılmanın başlangıç yeri, varsa çentik etkileri belirlenebilir. Çeliklerde yorulmanın etkisi ile kırılan parçalarda iki farklı bölge meydana gelir; yorulma çatlağının başlayıp, tekrarlı yüklerin etkisinde ilerleyerek yorulma çizgileri meydana getirmektedir. Bu bölge yorulma bölgesi olarak adlandırılır. Yorulma bölgesinde çatlak ilerleyip yorulma çizgilerini meydana getirirken karşılıklı yüzeylerin temas edip sürtünmesi neticesinde yorulma bölgesi parlak görünür. Yorulma çatlakları ilerledikçe bir müddet sonra kalan kesit zorlanmaları taşıyamaz ve ani kırılma meydana gelir. Taneli görünümlü bu bölge de ani kırılma bölgesini oluşturur. Şekil 4.2.'de yorulma kırılmasının genel görünümü verilmiştir [1, 34, 35].



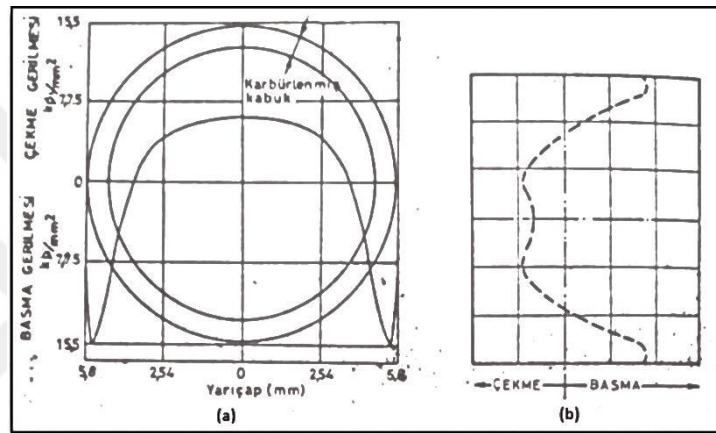
Şekil 4.2. Eğmeli yorulma kırılmasında çatlak başlangıç, yorulma ve ani kırılma bölgelerinin gösterimi [34]

4.4 Sementasyon İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi

Sementasyon işlemi yüzeyi sertleştirilen parçaların aşınma direncinin artmasıyla beraber yorulma mukavemeti de yükselir. Yorulma mukavemetinin artmasının iki önemli sebebi vardır. Bu sebeplerden birincisi, sementasyon sonucu malzemenin yüzeyinde faz dönüşümüyle meydana gelen sert ve dayanımı yüksek bölgenin çok daha fazla gerilme taşıyabilmesidir. İkinci sebebi ise yüzey bölgesinde basma iç gerilmelerinin meydana gelmesiyle açıklanabilir [36].

bölgesi tarafından çekilerek yüzeyde basma çekirdekte ise çekme gerilmesini meydana getirir [38].

Sementasyon işlemiyle malzeme yüzeyinde basma gerilmesinin oluşmasıyla eğme veya burma zorlaması uygulanan parçaların yüzeyindeki çekme gerilmeleri düşük seviyede kalacaktır. Çatlağın başlamasının ve ilerlemesinin ana sebebi olan çekme gerilmeleri azalacağından parçanın yorulma dayanımı artacaktır. Şekil 4.4.'te sementasyon işlemi sonrası meydana gelen artık gerilmeler gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Sementasyon işlemi sonrası malzemelerde meydana gelen artık gerilmeler. a) Radyal yöndeki artık gerilmeler, b) Eksenel yöndeki artık gerilmeler [39]

Sementasyon işleminin bilinçsiz ve kontrolsüz yapılması ise yorulma dayanımını arttırmak yerine tam tersi azalmasına da neden olabilir. Mikroyapıya ve artık gerilmelere etki eden; tane irileşmesi, kalıntı ostenit, dekarbürizasyon, iç oksitlenme gibi olumsuz durumlara ayrıca dikkat edilmelidir. Aynı şekilde kabuk kalınlığı da yorulma dayanımı üzerinde önemli bir etkindir. Düşük sertlik derinliğinin (kabuk kalınlığının düşük sertlikte olması) yorulma dayanımına olumsuz etkisi olduğu gibi, yüksek sertlik derinliği de (kabuk kalınlığının aşırı sertlikte olması) aynı şekilde yorulma dayanımına olumsuz etki etmektedir. En yüksek yorulma dayanımı için optimum bir kabuk kalınlığı söz konusudur [38] ve genelde belirli bir çekirdek sertliği değeri elde edilmesi gerekir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Lastik koruyucu zincirlerine hem mukavemet kazandırmak hem de aşınma dayanımını yükseltmek amacıyla sementasyon işlemi yapılmaktadır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında, koruyucu zinciri oluşturan iki farklı halka malzemesinin sahip oldukları farklı sementasyon derinliklerinde yorulma dayanımları ile sıfırlı işlem uygulayarak, sıfırlı işlemin hem yorulma dayanımına hem de aşınma direncine olan etkisi yorulma ve aşınma deneyleriyle incelenmiştir.

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Malzeme olarak lastik koruyucu zincirlerinin halkalarının en yaygın malzemesi olan SAE 8620 ve 20MnCr5 çelikleri seçilmiştir. Tablo 5.1. ve 5.2.'de sırasıyla bu iki çeliğe ait kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan 20MnCr5 çeliğinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

	C	Si	S	P	Mn	Cr
	%					
Değer	0,19	0,25	0,003	0,012	1,25	1,14

Tablo 5.2. Kullanılan 8620 çeliğinin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

	C	Si	S	P	Mn	Mo	Cr	Ni
	%							
Değer	0,20	0,22	0,010	0,017	0,83	0,22	0,57	0,50

Deneyi numunleri 8620 ve 20MnCr5 malzemelerden olup yorulma ve aşınma deney gerekliliklerine göre işlenmiştir. Ardından sementasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Bazı numunelere sıfırlı işlem uygulanmıştır. Tüm numunler için numune şahit alınmış olup sertlik değerleri ve mikroyapı görüntüleri numune şahitler üzerinden incelenmiştir.

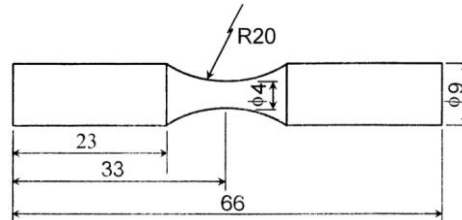
5.2 Yorulma Deneyi

Yorulma deneyleri Sakarya üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarına ait döner eğme şartlarında 95 Hz frekanslı (5700 d/dk) Şekil 5.1.'de gösterilen HI-TECH marka deney makinasında Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. Yorulma deneyi makinası

Yorulma deneyi numuneleri Şekil 5.2.'de görüldüğü ölçülerde 8620 ve 20MnCr5 malzemelerden ayrı ayrı olarak CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Sonrasında ise 800 kum zımpara ile zımparalanmıştır. Yorulma deneyi numuneleri ısıtılma işleminden sonra tekrar aynı şekilde 1000 kum zımpara ile zımparalanmıştır. Ardından sırasıyla 3 μm ve 1 μm çuha ile parlatılmış olup maksimum ve minimum dikey yüzey pürüzlülük yüksekliği olan R_t 5,2 μm , ortalama pürüzlülük değeri olan R_a ise 2,8 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Yorulma deneyi numuneleri şekilsel gösterimi

Yorulma deneyi numuneleri 8620 ve 20MnCr5 malzemelerden işlenip 0,3 mm, 0,6 mm, 1,2 mm ve 1,5 mm sementasyon kabuk kalınlığı vererek ve her bir derinlik değeri için 8'er adet hazırlanmıştır. Ayrıca her bir çelik kalitesi için üçer adet

numune sementasyon işlemine tabi tutulmayıp sadece ıslah işlemi uygulamak için işlenmiştir.

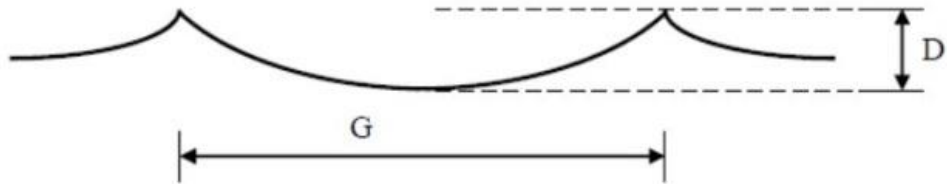
5.3 Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüzey Teknolojieri Laboratuvarına ait CSM marka lineer pin on disk tekniği ile çalışan aşınma cihazında yapılmıştır. Şekil 5.3.'te aşınma cihazının gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.3. Aşınma test cihazı

Aşınma cihazında aşındırıcı malzeme olarak 1650 HV sertliğindeki alüminyum oksit (Al_2O_3) bilya kullanılmıştır. Şematik aşınma izi görünüşü Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Aşınma deneyi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan aşınma izinin şematik görünümü [42].

Burada D , malzeme yüzeyinden giren bilyanın oluşturduğu aşınma derinliğini G ise aşındırıcı bilyanın aşınan malzemenin yüzeyinde oluşturduğu genişliği ifade eder.

Aşınma parametreleri olarak 10 mm çapındaki alüminyum oksit (Al_2O_3) bilya, 5 N kuvvet, 10 cm/s hız, 10 mm genlik ve 100 metre hareket mesafesi olarak belirlenmiştir.

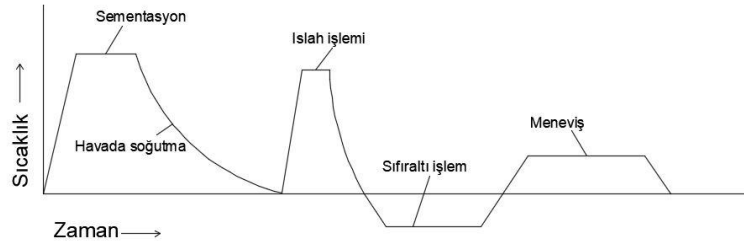
Aşınma deneyinde numuneler, 20MnCr5 ve 8620 çeliğinden 20 x 10 x 40 mm boyutlarında işlenmiştir. Deney öncesi tüm numunelere 0,6 mm sementasyon kabuk kalınlığı verilmiş olup her çeliğin birer numunesine sıfırlı işlem uygulanmıştır.

5.4. Numunelerin Isıl İşlemi

Tüm numunelere öncelikle Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş. bünyesinde tuz banyosunda belirli sürelerde karbon nüfuz ettilip numuneler yavaşça havada soğutulmuştur. Tuz banyosunun karbon oranı %0,8 dir. Efektif sementasyon kalınlığı için sementaston sıcaklığı ve tutma süreleri Tablo 5.3.'te verilmiştir. Daha sonra İnan Makine A.Ş. bünyesinde atmosfer kontrollü fırında %0,4 karbon ortamında 850°C'ye kadar ısıtılıp 2 saat tutulduktan sonra 60°C'deki yağ banyosunda sertleştirilmiştir. Sonrasında ise de 150°C'de 1 saat meneviş uygulanmıştır. Bazı numunelere ise meneviş öncesi -80°C'de 1 saat sıfırlı işlem uygulanmıştır. Şekil 5.5.'te uygulanan ısıl işlem programı verilmiştir. Bazı numunelere ise sementasyon işlemi uygulanmayıp diğer numuneler sertleştirilirken bu numuneler de sadece ıslah edilmiştir. Isıl işlem değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi için herbir ısıl işlem varyasyonuna numune şahit koyulup bu incelemeler numune şahitler üzerinden yapılmıştır.

Tablo 5.3. Efektif sementasyon kabuk kalınlıkları için sementasyon sıcaklıkları ve süreleri

Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
0,3	910	75
0,6	910	180
1,2	910	360
1,5	910	480



Şekil 5.5. Numunelere uygulanan ısıtma işlem programı

5.5. Numune Şahitlerin İnceleme Öncesi Hazırlanması

Tüm incelemeler Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş. laboratuvarında yapılmıştır. Numune şahitler ilk olarak Metkon marka Metacut 250 model kesme cihazı ile kesilmiştir. Kesilirken Treno M kesme taşı kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Metkon Metacut 251 kesme makinası

Kesilen numune şahitler Metkon Ecopress 50 Bakalit cihazında bakalite alınmıştır.



Şekil 5.7. Metkon Ecopress 50 bakalit cihazı

Bakalite alınan parçalar daha sonra Metkon Forcipol 2v cihazı ile aşağıdaki adımlarla zımparalanmıştır;

- 2 dk 180 kum zımpara ve Forcimat cihaz ile 25 Kn kuvvet ve hızı 75 mm/sn, tabla devir hızı 250 mm /sn
- 2 dk 320 kum zımpara ve Forcimat cihaz ile 30 KN kuvvet ve hızı 80 mm/sn, tabla devir hızı 270 mm /sn
- 2 dk 600 kum zımpara ve Forcimat cihaz ile 30 KN kuvvet ve hızı 100 mm/sn, tabla devir hızı 300 mm /sn
- 2 dk 1000 zımpara ve kum Forcimat cihaz ile 30 KN kuvvet ve hızı 100 mm/sn, tabla devir hızı 300 mm /sn

Ardından aşağıdaki adımlarla parlatılmıştır;

- 2 dk 3 μ m çuha ve Forcimat cihaz ile 15 KN kuvvet ve hızı 50 mm/sn, tabla devir hızı 150 mm /sn
- 1 dk 1 μ m çuha Forcimat cihaz ile 15 KN kuvvet ve hızı 50 mm/sn, tabla devir hızı 150 mm /sn



Şekil 5.8. Metkon Forcipol 2V zımpara ve parlatma cihazı ile Forcimat otomatik tutucu kafa

Parlatılan numune şahitler %5 Nital ile dağlanmıştır.

5.6. Numune Şahitlerin Mikroyapı ve Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Numunelerin sertlik taramaları Bulut Makine Mikrovickers sertlik ölçme cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 5.9. Bulut Makine Microvickers sertlik ölçüm cihazı

Numunelerin mikroyapı incelenmesi Nikon LV150N marka model metalografi optik mikroskopi ile yapılmıştır. Kalıntı ostenit oranı ise Nikon LV150N metalografi optik mikroskopunun Clemex yazılımı ve karşılaştırma metodu ile belirlenmiştir.

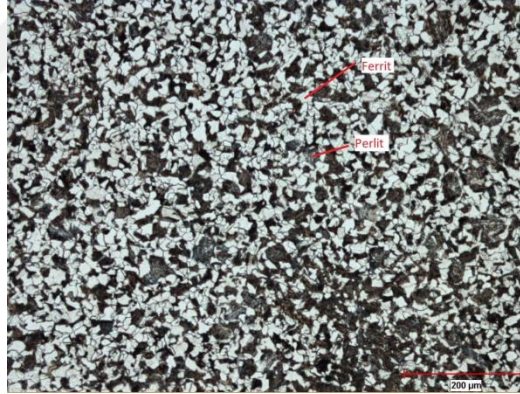


Şekil 5.10. Nikon LV150N metalografi optik mikroskopi

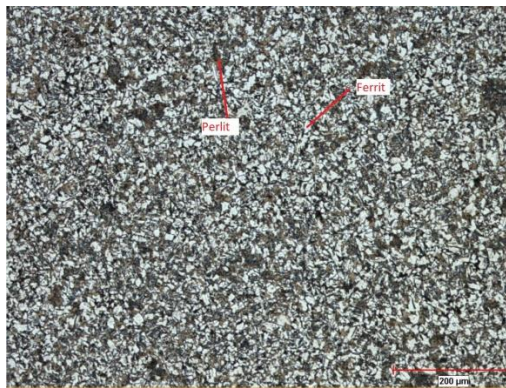
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sertlik Değerleri ve Mikroyapı Görünümleri

20MnCr5 çeliğinin ısıtıl işlem öncesi ham mikroyapı görünümü Şekil 6.1.'de verilmiştir. Yapının ferrit ve perlitten oluştuğu görülmektedir. 8620 çeliğinin de ısıtıl işlem öncesi mikroyapı görünümü Şekil 6.2.'de verilmiştir ve yapının aynı şekilde ferrit ve perlitten oluştuğu görülmüştür. ASTM E112 tane boyutu ölçüm standartına göre yapılan ölçümde 20MnCr5 çeliğinin tane boyutu 5 olarak belirlenmiştir. 8620 çeliğinde ise tane boyutu 6 olarak ölçülmüştür.

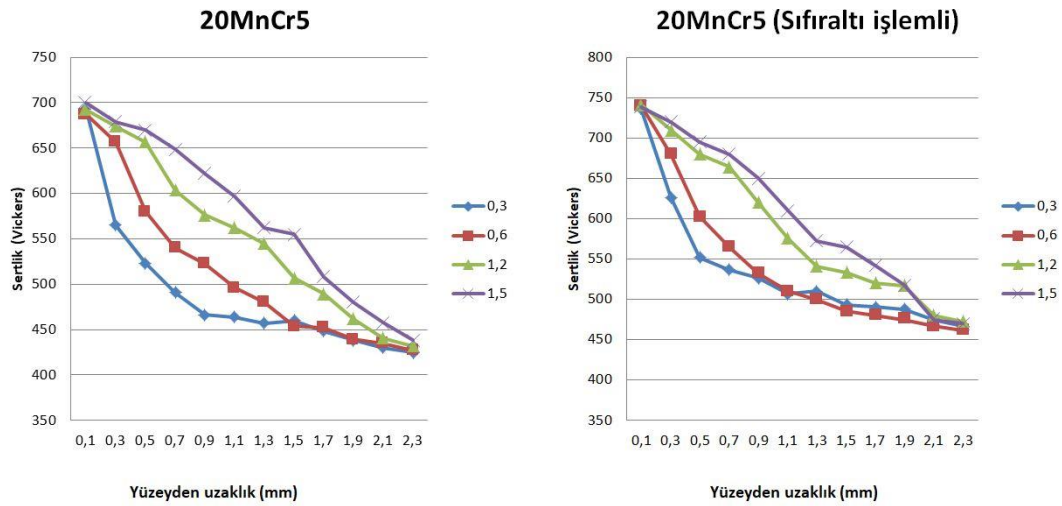


Şekil 6.1. 20MnCr5 çeliğinin ham halinin optik mikroskopta 100x büyütmede mikroyapı görünümü



Şekil 6.2. 8620 çeliğinin ham halinin optik mikroskopta 100x büyütmede mikroyapı görünümü

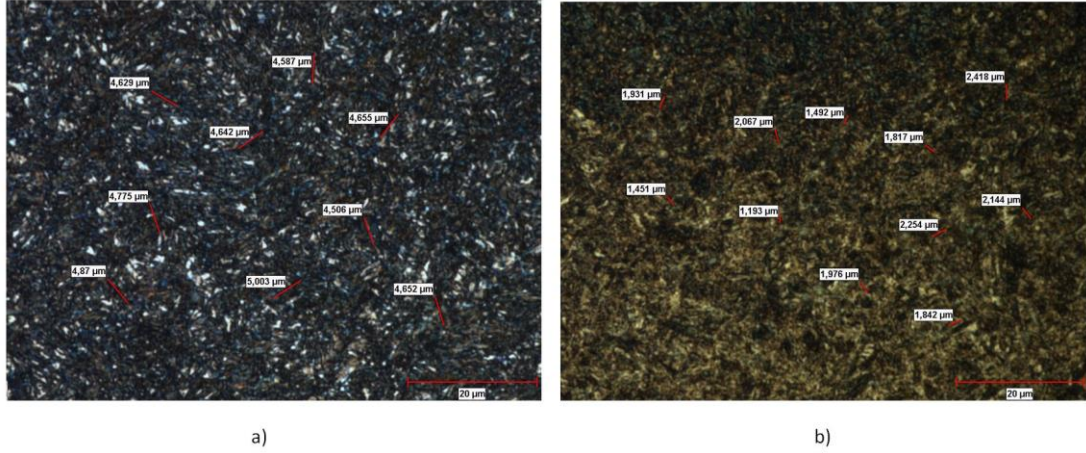
Isıl işlemler sonrası sertlik değerleri incelendiğinde 20MnCr5 çeliğinin tüm numunelerde yüzey sertliğinin 700 HV sertlik değeri civarında olmuş olup, efektif sementasyon kalınlığı alt limiti olan 550 HV sırasıyla yüzeyden 0,3 mm, 0,6 mm, 1,2 mm ve 1,5 mm derinlikte yaklaşık olarak elde edilmiştir. 2,3 mm derinlikte ise tüm 20MnCr5 numunelerinde 430 HV sertlik değeri civarında sonuçlar elde edilmiştir. 20MnCr5 çelik malzemeler sıfırlı işlem uygulanan numunelerde de yüzey sertliğinde yaklaşık 40 HV lik sertlik artışıyla 740 HV lik sertlik değerleri elde edilmiştir. 2,3 mm de ise yine yaklaşık 40 HV sertlik artışı ile yaklaşık 470 HV sertlik değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.3.'te 20MnCr5 numuneleri için sertlik değerleri grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.3. 20MnCr5 numunelerinin sementasyon işlemi sonrası sıfırlı işlem görmüş ve görmemiş olarak sertlik dağılım grafikleri

20MnCr5 numuneler incelendiğinde kabuk bölgesi mikroyapının martenzit olduğu görülmektedir. Şekil 6.3.'te sertlik değerleri incelendiğinde 0,6 mm sertlik verilmek istenen numunede sıfırlı işlem öncesi 610 μ m olan efektif sementasyon kalınlığı sıfırlı işlem uygulanan numunelerde 720 μ m değerine yükselmiştir. Şekil 6.4.'te kabuk bölgesi mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde kalıntı ostenit oranı %10 değerlerinden %4 değerlerine düşüş göstermiştir. Martenzit tane boyutları ise, ikinci dönüşüme ait ortalama 4,7 μ m'dan 2 μ m'ye küçülmüştür. Martenzit ortalama tane boyutlarının küçülmesi, sıfırlı işlem öncesin mikroyapı içerisinde bulunan kalıntı

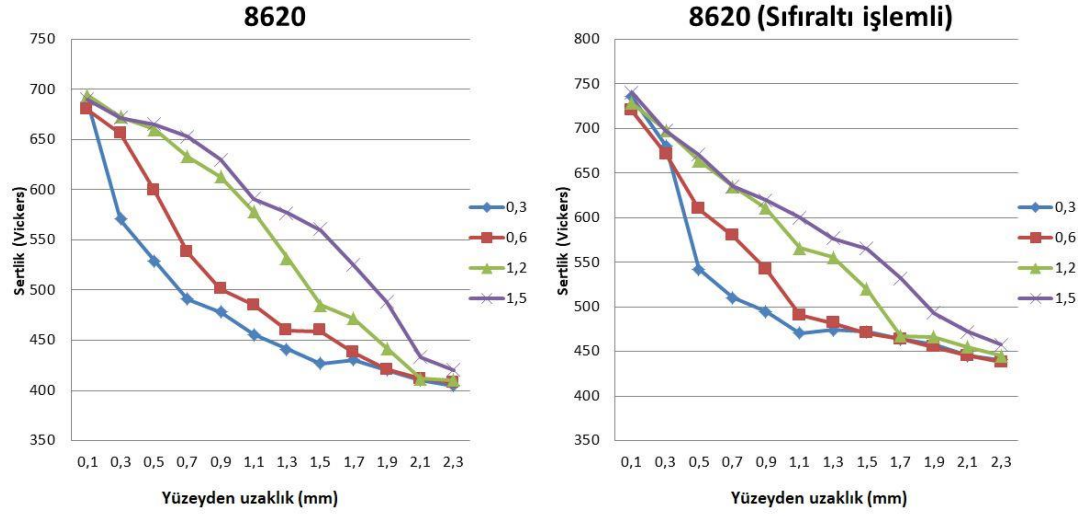
ostenitlerin sıfırtaltı işlem ile martenzite dönüşürken daha ince taneli martenzite dönüşmesiyle açıklanmaktadır [12].



Şekil 6.4. Sementasyon işlemi uygulandıktan sonra 20MnCr5 çeliğinin 1000x büyütülmüş kabuk bölgesi mikroyapı görünümü. a) Sıfırtaltı işlem uygulanmamış numune, b) Sıfırtaltı işlem uygulanan numune

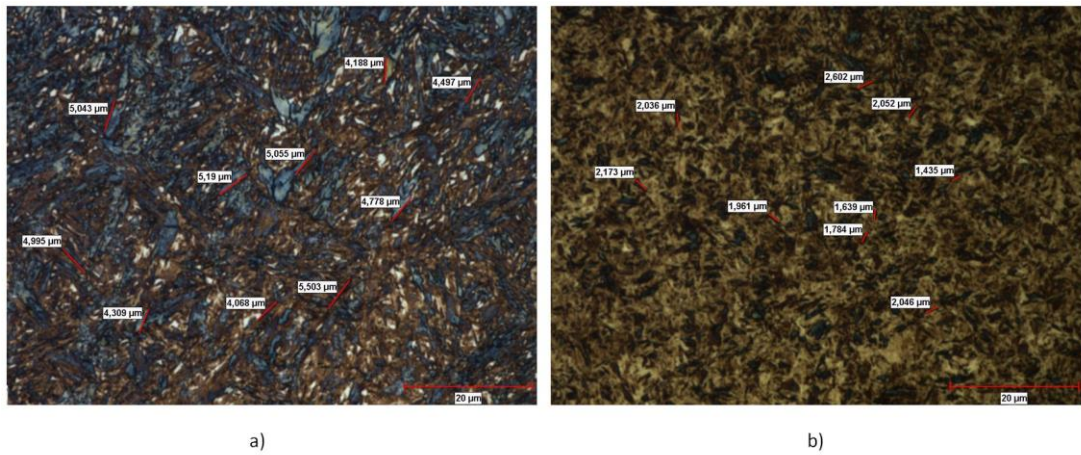
Diğer 20MnCr5 numunelerde de sıfırtaltı işlem ile birlikte %10 bandında olan kalıntı ostenit oranı %3-4 oranlarına düştüğü ve martenzit tane boyutlarının da aynı şekilde küçüldüğü görülmüştür ve sıfırtaltı işlem sayesinde efektif sementasyon kalınlığı yaklaşık 100 µm artmıştır.

8620 çeliğinin numuneleri incelendiğinde ise tüm numunelerde yüzey sertliğinin 690 HV sertlik değeri civarında olmuş olup, efektif sementasyon kalınlığı alt limiti olan 550 HV sırasıyla yüzeyden 0,3 mm, 0,6 mm, 1,2 mm ve 1,5 mm derinlikte yaklaşık olarak elde edilmiştir. 2,3 mm derinlikte ise tüm 8620 numunelerde 410 HV sertlik değeri civarında sonuçlar elde edilmiştir. 8620 çelik malzemeler sıfırtaltı işlem uygulanan numunelerde de yüzey sertliğinde yaklaşık 40 HV lik sertlik artışıyla 730 HV lik sertlik değerleri elde edilmiştir. 2,3 mm de ise yine yaklaşık 35 HV sertlik artışı ile yaklaşık 445 HV sertlik değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.5.'te 8620 numuneleri için sertlik değerleri grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.5. 8620 numunelerinin sementasyon işlemi sonrası sıfırlı işlem görmüş ve görmemiş olarak sertlik dağılım grafikleri

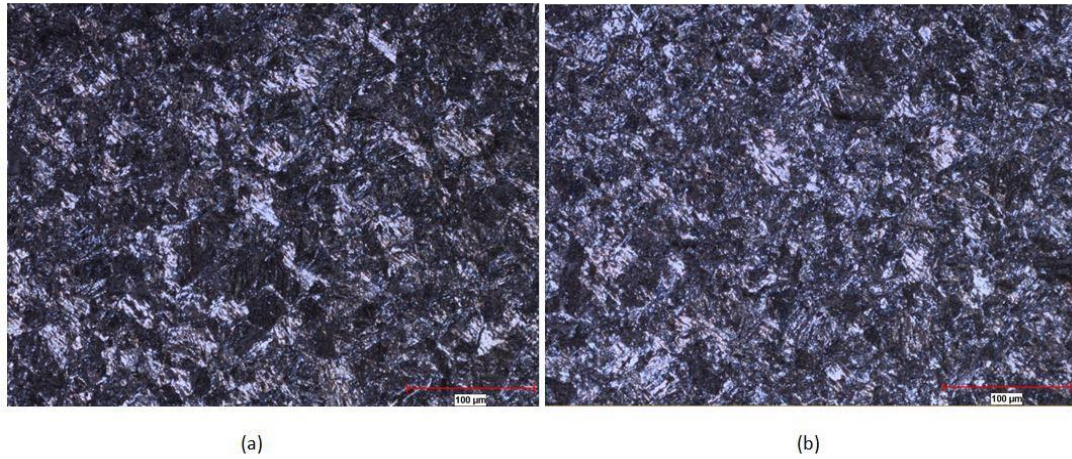
8620 çelik numuneleri incelendiğinde kabuk bölgesindeki mikroyapının aynı şekilde martenzit olduğu görülmektedir. Şekil 6.5.'te sertlik değerleri incelendiğinde 0,6 mm sertlik verilmek istenen numunede sıfırlı işlem öncesi 660 μm olan efektif sementasyon kalınlığı sıfırlı işlem uygulanan numunelerde 780 μm değerine yükselmiştir. Şekil 6.6.'da kabuk bölgesi mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde kalıntı ostenit oranı %12 değerlerinden %3 değerlerine düşüş göstermiştir. Martenzit tane boyutları ise, ikinci dönüşüme ait ortalama 4,8 μm 'dan 1,9 μm 'a küçülmüştür.



Şekil 6.6. Sementasyon işlemi uygulandıktan sonra 8620 çeliğinin 1000x büyütülmüş kabuk bölgesi mikroyapı görünümü. a) Sıfırlı işlem uygulanmamış numune, b) Sıfırlı işlem uygulanan numune

Diğer 8620 numunelerde de sıfırlı işlem ile birlikte %12 bandında olan kalıntı ostenit oranı %2-3 oranlarına düştüğü ve martenzit tane boyutlarında aynı şekilde küçüldüğü görülmüştür. Ve sıfırlı işlem sayesinde efektif sementasyon kalınlığı yaklaşık 100 μm artmıştır.

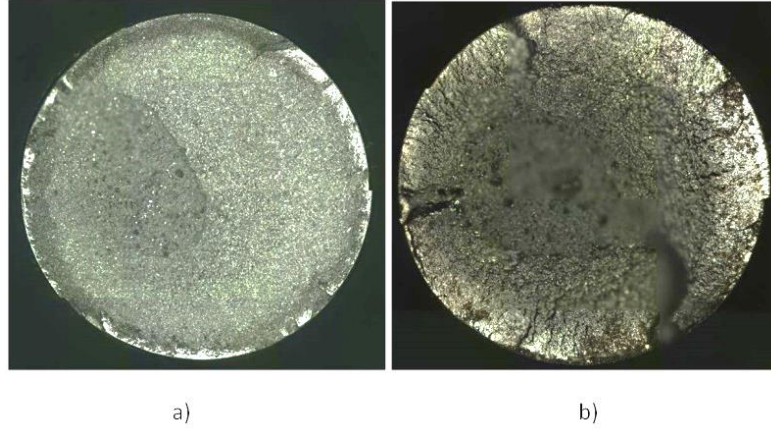
Her iki malzemenin de ısıtıl işlemler sonrası çekirdek bölgesinin mikroyapı görünümleri incelendiğinde yapının ferritik ve beyritik olduğı görülmüştür. İlgili mikroyapı görünümleri Şekil 6.7.'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Sementasyon işlemi uygulandıktan sonra numunelerin 200x büyütülmüş çekirdek bölgesi mikroyapı görünümü. a) 20MnCr5 çeliğine ait mikroyapı görünümü, b) 8620 çeliğine ait mikroyapı görünümü

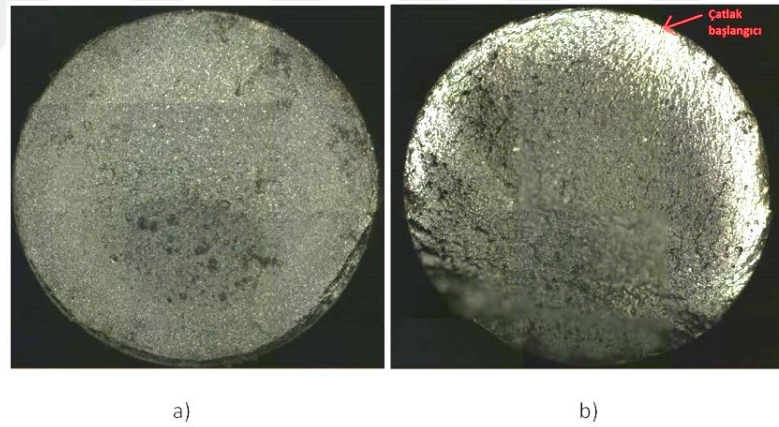
6.2. Yorulma Deneyi Sonuçları

Yorulma deneyi numunelerinin kırık yüzeyleri optik mikroskopta 50x büyütmede incelendiğinde 20MnCr5 çeliklerde yüksek ve düşük anma gerilmelerinin oluşturduğu kırılma yüzeyleri Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Yorulma deneyi sonucu 20MnCr5 çeliğinde oluşan kırık yüzeyler. a) Düşük anma gerilmeli yorulma numunesi, 0,6 mm kabuk kalınlığı ve 805 MPa gerilme, b) Yüksek anma gerilmeli yorulma numunesi, 0,6 mm kabuk kalınlığı ve 930 MPa gerilme.

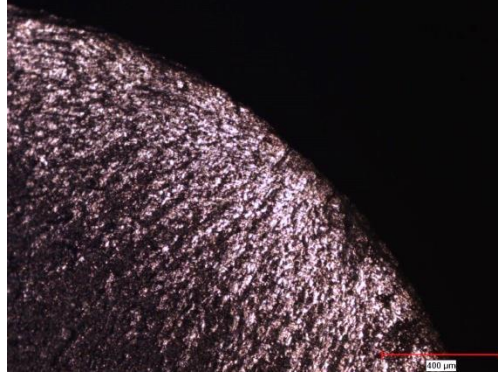
8620 çeliğinin yorulma deneyi numunelerinin kırık yüzeyleri optik mikroskopta 50x büyütmede incelendiğinde yüksek ve düşük anma gerilmelerinin oluşturduğu kırılma yüzeyleri Şekil 6.9.'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Yorulma deneyi sonucu 8620 çeliğinde oluşan kırık yüzeyler. a) Düşük anma gerilmeli yorulma numunesi, 0,6 mm kabuk kalınlığı ve 800 MPa gerilme,, b) Yüksek anma gerilmeli yorulma numunesi, 0,6 mm kabuk kalınlığı ve 950 MPa gerilme.

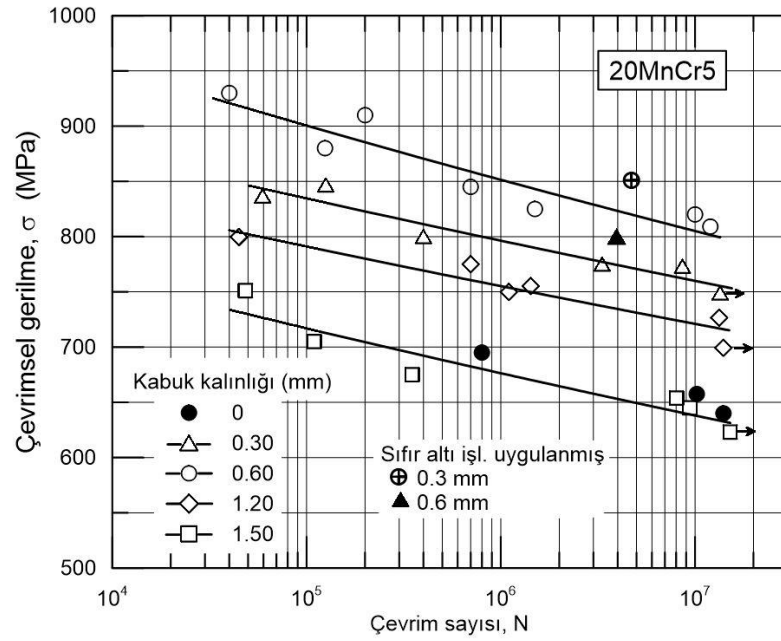
Her iki kalite çeliğin de kırılma yüzeyleri incelendiğinde düşük anma gerilmeli kırılmalarda büyük çatlak ilerleme bölgesi ve çeliğin oluşun gerilmeyi taşıyamayıp kırıldığını gösteren küçük ani kırılma bölgesinin olduğu görülmüştür. Yüksek anma gerilmeli yorulma kırılmalarında ise küçük çatlak ilerleme bölgesi ile beraber ani kırılma bölgesinin büyük olduğu görülmüştür [1]. Özellikle Şekil 6.9.'da 8620 çeliğinin yüksek anma gerilmeli kırılma numunesinde çatlak başlangıcının sağ üst

köşeden başladığı görülmektedir. Şekil 6.10.'da çatlak başlangıcı 50x büyütme ile detaylı gösterimi verilmiştir.

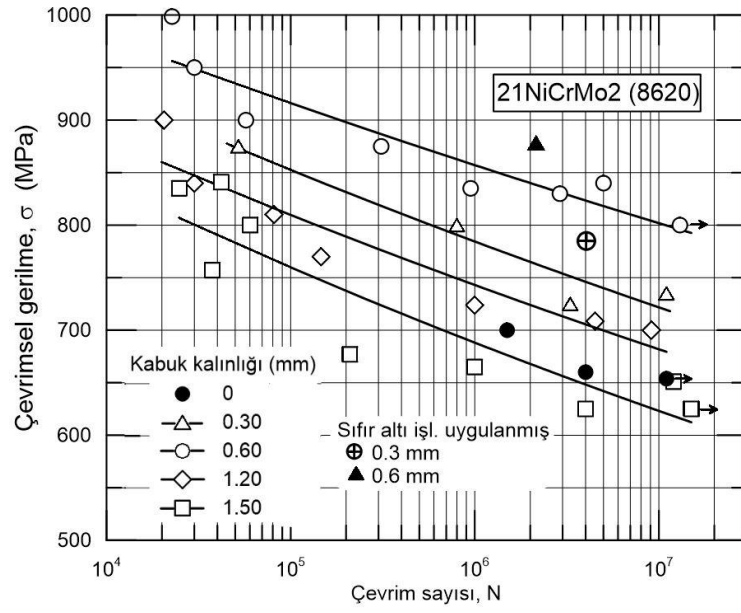


Şekil 6.10. Çatlak başlangıcının detaylı gösterimi

Yorulma deneyleri sonucunda Wöhler eğrileri ise Şekil 6.11.'de 20MnCr5 çeliğine ait olarak Şekil 6.12.'de 8620 çeliğine ait olarak verilmiştir.



Şekil 6.11. 20MnCr5 çeliği numunelerin Wöhler eğrileri

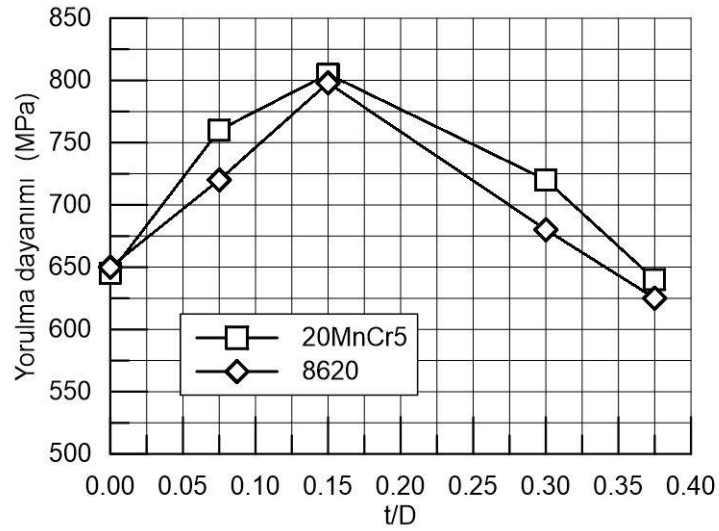


Şekil 6.12. 8620 çeliği numunelerinin Wöhler eğrileri

Her iki Wöhler eğrisi beraber incelendiğinde sementasyon işlemi belirli bir kabuk kalınlığına kadar yorulma dayanımının artmasında önemli bir etken olmuştur. Tablo 6.1.'de efektif sementasyon kalınlığı ve derinliğin çapa oranının değişmesi sonucu meydana gelen yorulma dayanımları gösterilmiştir. Yorulma dayanımı olarak 10^7 çevrim sayısı için elde edilen yorulma dayanımları verilmiştir.

Tablo 6.1. Sementasyon kabuğunun yorulma dayanımına etkisinin gösterimi

Efektif sementasyon kalınlığı t (mm)	Efektif sementasyon kalınlığı çap oranı t/D	20MnCr5 için yorulma dayanımı (MPa)	8620 için yorulma dayanımı (MPa)
0 (karbürlemeden su verilmiş)	0	645	640
0,3	0,075	760	725
0,6	0,15	805	800
1,2	0,3	725	680
1,5	0,375	640	625



Şekil 6.13. Efektif sementasyon kalınlığının numune çapına oranının yorulma dayanımına etkisi

Tablo 6.1. ve Şekil 6.13.'deki değerler birlikte incelendiğinde, yorulma dayanımının 0,6 mm efektif sementasyon kalınlığına sahip numunelerde en yüksek olduğu görülmüştür. 0,6 mm efektif sementasyon kalınlığı t/D oranı 0,15 olarak ifade edilmiştir. Bu oranın üzerindeki sementasyon kabuğunda yorulma dayanımının düştüğü görülmüştür. Asi ve ark. [40] yaptığı çalışmalarda da belirli t/D oranından sonra yorulma dayanımının düştüğü görülmüştür. Luther ve Williams [41] yaptıkları çalışmada belirli efektif sementasyon kalınlığı sonrası yorulma dayanımının düşme sebebinin çekirdek malzemesi ile artık çekme gerilme arasındaki ilişkiden meydana geldiğini belirtmişlerdir. Çekirdekdeki karbon oranı, dolayısıyla martenzit miktarı artarken yüzeydeki basma gerilmesini düşürmektedir. Böylelikle belli bir çekirdek dayanımından sonra yüzeydeki artık gerilme çekme gerilmesine dönüşerek eğme yorulma dayanımını düşürmektedir [41].

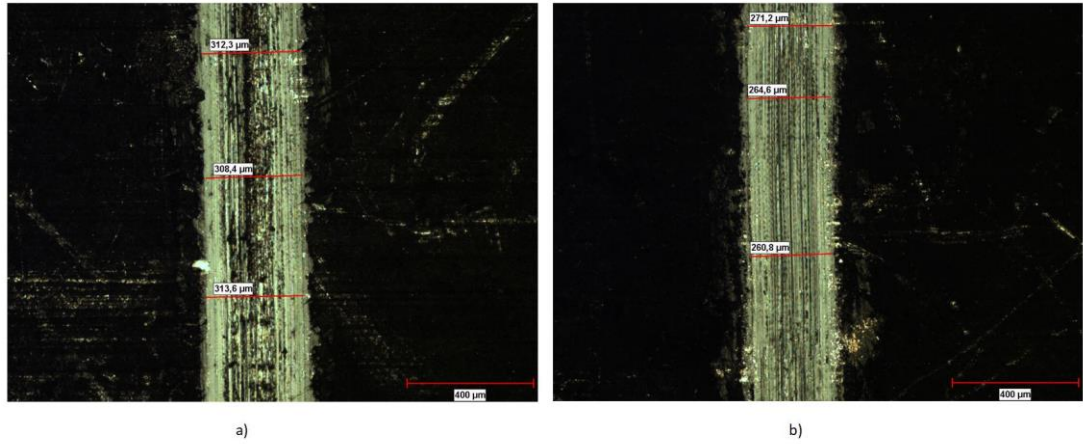
Sementasyon işlemiyle yüzeydeki basma gerilmeler arttığından yorulma dayanımında yukarı yönlü artış gözükmemektedir. Bununla birlikte sementasyon esnasında meydana gelen kalıntı ostenitler basma gerilmesini düşürerek yorulma dayanımını düşürmektedir. Şekil 6.11. ve Şekil 6.12.'de wöhler eğrileri incelenirken sıfırlı işlemi etkisi ile martenzit tane boyutu küçülmüş ve kalıntı ostenitin düştüğü numunelerde yorulma mukavemetinin artmış olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.11.'de görüldüğü üzere 20MnCr5 malzemed 0,3 mm kabuk kalınlığı olan

numunede sıfırlı işlem öncesinde 800 MPa gerilme altında yaklaşık olarak 400 bin olan yorulma ömrü, sıfırlı işlem sonrası yaklaşık 4 milyon çevrime ulaşmıştır. 0,6 mm kabuk kalınlığındaki numunede, sıfırlı işlem öncesinde yaklaşık 1 milyon olan çevrim sayısı yaklaşık 5 milyon olarak elde edilmiştir.

Aynı Şekilde 8620 malzemede Şekil 6.12.'de görüldüğü üzere 0,3 mm kabuk kalınlığı olan numunede sıfırlı işlem öncesinde 780 MPa gerilme altında yaklaşık olarak 800 bin olan yorulma ömrü sıfırlı işlem sonrası yaklaşık 4 milyon çevrime ulaşmıştır. 0,6 mm kabuk kalınlığındaki numunede sıfırlı işlem öncesi yaklaşık 300 bin olan çevrim sayısı yaklaşık 2 milyon olarak elde edilmiştir. Sıfırlı işlemin yorulma dayanımına olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

6.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

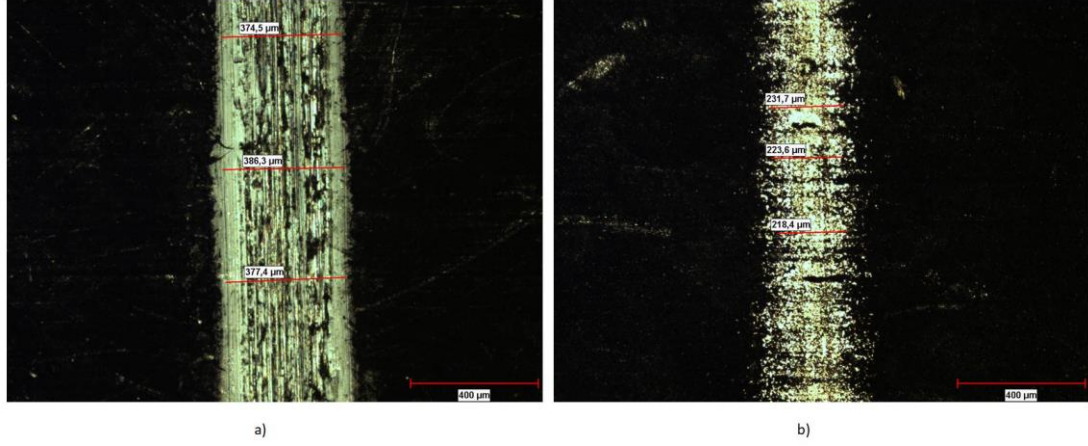
Aşınma deneyi sonucunda 20MnCr5 malzemelerde optik mikroskopta 50x büyütmede yapılan incelemede Şekil 6.14.'deki görünümeler elde edilmiştir.



Şekil 6.14. 20MnCr5 aşınma izi görünümeleri. a) sıfırlı işlem öncesi aşınma izi görünümü, b) sıfırlı işlem sonrası aşınma izi görünümü

20MnCr5 malzemede sıfırlı işlem öncesi aşınma genişliği ortalaması 311,4 μm iken sıfırlı işlem sonrası ortalama aşınma genişliği 265,5 μm 'a düşmüştür.

Aşınma deneyi sonucunda 8620 malzemelerde optik mikroskopta 50x büyütmede yapılan incelemede Şekil 6.15.'deki görünümeler elde edilmiştir.



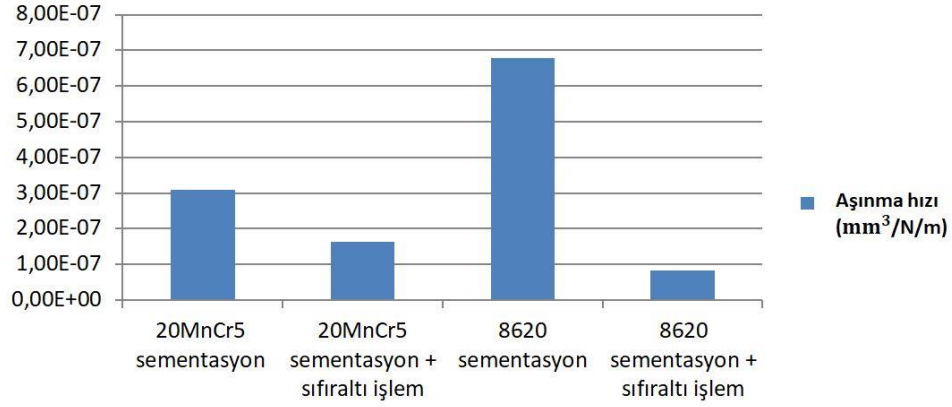
Şekil 6.15. 8620 aşınma izi görünümeleri. a) sıfırlı işlem öncesi aşınma izi görünümü, b) sıfırlı işlem sonrası aşınma izi görünümü

8620 malzemede sıfırlı işlem öncesi aşınma genişliği ortalaması 379,4 µm iken sıfırlı işlem sonrası ortalama aşınma genişliği 224,5 µm'a düşmüştür.

Aşınma genişlik izlerini aşınma cihazının yazılım programına girdiğimizde ortaya çıkan aşınma direnci değerleri ve sürtünme katsayıları Tablo 6.2.'de verilmiştir. Şekil 6.16.'da da aşınma direncinin grafiksel görünümü verilmiştir.

Tablo 6.2. Aşınma deneyi sonucu aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri

Deney numunesi	Sürtünme katsayısı (μ)	Aşınma hızı ($\text{mm}^3/\text{N/m}$)
20MnCr5 0,6 mm etikili derinlik	0,136	3,08E-007
20MnCr5 0,6 mm etikili derinlik + sıfırlı işlem	0,112	1,63E-07
8620 0,6 mm etikili derinlik	0,145	6,793E-07
8620 0,6 mm etikili derinlik + sıfırlı işlem	0,053	8,320E-08



Şekil 6.16. Aşınma hızı değerleri

Aşınma deneyi sonucunda 20MnCr5 çeliğinde sıfırlı işlemin etkisiyle aşınma direnci %47 artmıştır. 8620 çeliğinde ise bu değer %86 olmuştur. Uluğ [16] yaptığı çalışmada 8620 çeliği için bu oranı %82 olarak bulmuştur.

Sıfırlı işlem görmemiş 20MnCr5 çeliği sıfırlı işlem görmemiş 8620 çeliğine göre %120 daha fazla aşınma direnci gösterse de sıfırlı işlem sonrası 8620 çeliği 20MnCr5 çeliğine göre %96 daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Sonuç olarak sıfırlı işlem aşınma direnci etkisi açısından her iki çelik için de olumlu sonuç verse de 8620 çeliğinde 20MnCr5 çeliğine göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada lastik koruyucu zincirlerinde kullanılan 8620 ve 20MnCr5 kalite sementasyon çeliklerinin farklı sementasyon süreleri ve sıfırlı işlem uygulamaları için yorulma ve aşınma davranışları araştırılmış ve aşağıda listelenen genel sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1- Genel olarak, uygulanan sementasyon işlemi malzemenin yorulma dayanımı arttırmıştır. Tüm kabuk kalınlıklarında 20MnCr5 çeliği için yorulma dayanımdaki artış oranı, 8620 çeliğine göre nispeten daha yüksektir.
- 2- $t=0,6$ mm kalınlık değerine kadar dayanımda doğrusal bir artış görülmekle birlikte, bu kabuk kalınlığından sonra davranış değişmiştir. Bu kalınlık değeri t/D oranının 0,15 değerine karşılık gelmekte olup, her iki çelik de aynı kalınlıklar için en iyi yorulma dayanımı elde edilmiştir. Daha büyük t/D değerleri için, muhtemelen yüzeydeki basma gerilmelerinin azalması nedeniyle yorulma dayanımı düşme eğilimine girdiği gözlenmiştir. Çok daha kalın kabuk değerleri için ($t/D>0,375$) belirlenen yorulma dayanımı, kabuk kalınlığı içermeyen sadece su verilmiş durumda elde edilen değerin de düşme durumu gözlenmiştir.
- 3- Sıfırlı soğutma uygulaması yorulma dayanımını ciddi oranda iyileştiren ilave bir işlem olduğu, pahalı bir önlem olmakla birlikte kritik parçalar için uygulanabileceği anlaşılmıştır.
- 4- Lastik koruyucu zincirlerinde ise genel olarak kullanılan halka malzemelerinin çapı 10, 12, 14 ve 16 mm civarındadır. 12 mm için bu değer

1,8 mm sementasyon derinliğine denk gelmektedir ki bu pratik sementasyon işlemi uygulama aralığındadır.

- 5- Aşınma direnci bakımından, sıfırlı işlem uygulamaları 8620 çeliğinde %86, 20MnCr5 çeliğinde ise %47 oranında malzemenin performansını arttırmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Aran, A., Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı, Tübitak, Gebze, 1983.
- [2] Asil Çelik Teknik Yayınları., Bursa, 2007.
- [3] Thelning, K-E., Tekin, A., Çelik ve Isıl İşlemi Bofors El Kitabı (Tercüme), İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1984.
- [4] Tekin, E., Çeliklerin Yüzey Sertleştirme Yöntemleri, O.D.T.Ü., Ankara, 1986.
- [5] Şanlı, M., İnce taneli sementasyon çeliklerinde sıcak şekil verme ve ısıt işlemin ostenit tane büyüklüğüne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1987.
- [6] Pamuk, Ö., Yüzeyi karbürlenmiş AISI 8620 sementasyon çeliğinin merkezinde çift fazlı çelik yapısının üretimi ve bu yapının çekme özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [7] Demirci, A. H., Mühendislik Malzemeleri Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl işlemleri, Aktüel Akademi, Bursa, 2004.
- [8] Topbaş, M. A., Çeliğin Isıl İşlemleri, Y.T.Ü., İstanbul, 1992.
- [9] Tekin, E., Çeliklerin Isıl İşlemleri, O.D.T.Ü., Ankara, 1986.
- [10] Turgut, O. K., Ç 1040 çeliklerinde ısıt işlem ve kaynağın mekanik özelliklerine olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2013.
- [11] Svete, M., Hexagonal close packed, png, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hexagonal_close_packed.png, Erişim Tarihi: 02.04.2019.
- [12] Novikov, İ. İ, Said, G., Metallerin Isıl İşlem Teorisi (Tercüme), Nobel Yayın, Ankara, 2012.

- [13] Krauss, G., Microstructure and Performance of Carburized Steel, ASM International, Metal Park OH, 1995.
- [14] Kıvak, T., Kesivi takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6AL-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [15] Arslan, F. K., Soğuk iş takımı çeliklerinde sıfırlı işlem derecesinin mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
- [16] Uluğ, B., Sıfırlı / kriyojenik işlemin 100Cr6 ve 8620 kalite çeliklerin özellikleri üzerine etkisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [17] Alava, L.A., Multistage Cryogenic Treatment Of Materials: Process Fundamentals And Example Of Application, Cryobest International, S.L., Vitoria, Spain.
- [18] Akkurt, M., Makine Elemanları Cilt 2, İ.T.Ü., İstanbul, 1992.
- [19] Keleştimur, M. H., Makine yapı çeliklerinin abrasiv aşınma direncine yüzey sertliğinin etkisi ve diğer mekanik özelliklere ilişkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1989.
- [20] Demirci, A. H., Ötektoidaltı alaşımsız çeliklerin ısıtılı işlemlere bağlı olarak aşınma davranışlarının incelenmesi ve optimizasyonu, Doçentlik çalışması, E. Ü. Makine Fakültesi, Erciyes, 1982.
- [21] Kruschof, M. M., Conf. Lubrication and wear, p.46, London, 1957.
- [22] Islak, S., 45Mn5 Islah çeliğinin ısıtılı işlem ve ergitme yöntemleri ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005.
- [23] Soydaş, S., Ünlü aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.
- [24] Özkader, M. Ç., Isıtılı işlemli AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, 2015.
- [25] Kalkan, E., Borlanmış yüksek krom ve nikelli dökme çeliğin korozif aşınma davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.

- [26] Dağışan, E., Çift fazlı çeliklerin erozif aşınma davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007.
- [27] Selçuk, B., Borlanmış AISI 1020 ve 5115 çeliklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1994.
- [28] Arabacı, U., Subağ yüzeylerinin TIG kaynak yöntemi ile kaplanması ve aşınma özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [29] Karataşoğlu, F., Demiryollarında monoblok tekerlerin çalışmaları sırasında aşınan kısımların MIG-MAG kaynağı ile değişik elektrot kompozisyonlarında yapılan dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [30] Msc. Fatigue User's Guide, Chapter 13, Fatigue Theory.
- [31] Roylance, D., Mechanical Properties Of Materials, 2008.
- [32] Kalyoncu, İ., Makine Elemanları 1 Ders Notları, Atatürk Üniversitesi.
- [33] Güvenç, M. A., Gürel, E. G., Akd, S., Birol, Y., Otomotiv Süspansiyon Sistemlerinde Kullanılan Küresel Mafsalların Dinamik Yük Altında Yorulma Isıl İşlem Tekniklerinin Etkisi, 15th International Materials Symposium, Denizli, 2014.
- [34] Smith, W. F., Principles Of Materials Science and Engineering, International Edition, Choung Moh Offset Printing, Singapore, 1986.
- [35] Meyers, M., Chawla, K. K., Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall, USA, 1999.
- [36] Tauscher, H., Çelik ve Dövme Demirlerin Yorulma Dayanımı (Tercüme), MBEAE Matbaası, Gebze, 1983.
- [37] Parrish, G., The Influence of Microstructure on the Properties of Case Carburised Components, Heat Treat. Met., 1977.
- [38] Can, A. Ç., Aksoy, T., Yüzeyi Sementasyonla Sertleştirilen Parçalarda Sertleşen Kabuk ve Çekirdek Mikroyapılarının Yorulma Mukavemetine Etkisi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Malzeme ve İmalat Sempozyumu, Denizli, 1987.

- [39] Can, A. Ç. ,Yüksek sıcaklıkta 1000 °C sementasyonla yüzey sertleştirmenin yorulma mukavemetine etkisi, Doktora Tezi, İzmir, 1986.
- [40] Asi, O., Can. A. Ç., Pineault, A. J., Belassel, M., The relationship between case depth and bending fatigue strength of gas carburized SAE 8620, Scence Direct, 2006.
- [41] Luther, R. G., Williams, T. R.G., Influence of surface condition of the fatigue strength of low carbon steel, Metallurgia and Metal Forming, 1974.



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Batuhan BOZBAY 1988’da İstanbul’da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2005 yılında Beylikdüzü 75.yıl Cumhuriyet Lisesi’nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2010 yılında tamamladı. 2011 yılında Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş.’de makine mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisansa başladı. Evli ve üç çocuk babası olup halen Las Zırh Zincir San. Ve Tic. A.Ş.’de İmalat Müdürü olarak çalışmaktadır.