

**SEMENTASYON ISIL İŞLEMİNE TABİ
TUTULMUŞ FARKLI DERİNLİKLERDEKİ
16MnCr5 (1,7131 DIN) ÇELİĞİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Habibe YURDAKUL

**SEMENTASYON ISIL İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ FARKLI
DERİNLİKLERDEKİ 16MnCr5 (1,7131 DIN) ÇELİĞİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Habibe YURDAKUL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Mayıs 2016

Habibe YURDAKUL tarafından hazırlanan “SEMENTASYON ISIL İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ FARKLI DERİNLİKLERDEKİ 16MnCr5 (1,7131 DIN) ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. A.Cahid KARAOĞLANCI (BÜ)

İmzası

17/06/2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Habibe YURDAKUL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEMENTASYON ISIL İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ FARKLI DERİNLİKLERDEKİ 16MnCr5 (1,7131 DIN) ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Habibe YURDAKUL

Karabük Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

Mayıs 2016, 39 sayfa

Bu çalışmada, farklı sementasyon derinliği veren farklı sürelerde gaz sementasyonu yapılmış 16MnCr5 (ve/veya DIN 1,7131) çeliğinin sementasyon derinliğine bağlı olarak mekanik davranışları (sertlik taraması ve yorulma gibi) incelenmiştir.

Sementasyon ısıl işlemi ile yüzey sertlikleri aynı (700 HV 0,2), sementasyon derinlikleri sırasıyla 1,25 ve 1,80 mm ve çekirdek sertliği 391 ve 426 HV 0,2 olan malzeme üretilmiştir.

Sementasyon kalınlığının artmasıyla mikroyapı ve mekanik özelliklerdeki değişim yorulma dayanımının iyileşmesine yol açmıştır.

Anahtar Sözcükler : 16MnCr5, Gaz semantasyon, ECD, sert doku derinliği,
AGMA, Amerika Dişli Üreticileri Birliği.

Bilim Kodu : 915.1.092

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF CEMENTATION DEPTH ON THE FATIGUE BEHAVIOR OF 16MNCr5 QUALITY

Habibe YURDAKUL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

May 2016, 39 pages

In this study, mechanical behavior of case hardening heat treated 16MnCr5 (DIN 1.7131) quality steel by the gas carburizing at different times were analyzed depending on the cementation depth. Samples case hardening heat treated at 930 °C for 5 hours and 8,5 hours exhibited the same surface hardness (700 HV 0.2), two different hardening depths of 1.25 and 1.80 mm and core hardnesses of 391 and 426 HV 0.2, respectively. Changing in microstructure and mechanical properties with increasing carburising depths has led to improved fatigue resistance.

Keywords : 16MnCr5 , Gas carburizing, ECD, effective case depth, AGMA, American Gear Manufacturers Association.

Science Code : 915.1.092

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yorulma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaları yapmam için olanak sağlayan Ankas Isıl İşlem Mak. Müh. LTD. ŞTİ. firmasına ve firma müdürü Ali DEMİRTAŞ'a ve firma Metalurji ve Malzeme Mühendisi Güzide Buse TÜREDİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 4 |
| SEMENTASYON..... | 4 |
| 2.1. SEMENTASYON | 4 |
| 2.1.1. Sementasyon Sonrası Çeliklerde Görülen Hatalar | 6 |
| 2.2. SEMENTASYON METODLARI..... | 7 |
| 2.2.1. Kutu Sementasyonu..... | 7 |
| 2.2.2. Tuz Banyosunda Sementasyon | 8 |
| 2.2.3. Gaz Sementasyonu..... | 9 |
| 2.2.3.1. Sıcaklığın Etkisi | 10 |
| 2.2.3.2. Zamanın Etkisi | 11 |
| 2.2.3.3. Atmosferin Kontrolü..... | 11 |
| 2.3. DİFÜZYON (YAYINMA) OLAYI | 12 |
| 2.3.1. Difüzyonun Şekli | 12 |
| 2.3.2. Makroskobik Difüzyon Akışı | 12 |
| 2.4. HOMOJENLEŞTİRME TAVLAMASI..... | 12 |
| 2.5. SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ..... | 13 |
| 2.5.1. Direkt Sertleştirme..... | 14 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.5.2. Basit Sertleştirme..... | 14 |
| 2.5.3. Basit Sertleştirme (Ara Tavından Sonra)..... | 14 |
| 2.5.4. Basit Sertleştirme (İzotermik Dönüşümden Sonra)..... | 15 |
| 2.5.5. Çift Sertleştirme..... | 15 |
| 2.6. MENEVİŞLEME | 15 |
| 2.7. SEMENTASYON DERİNLİĞİNE, YÜZEY SERTLİĞİNE VE ÇEKİRDEK SERTLİĞİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER | 16 |
| 2.7.1. Sementasyon Derinliği..... | 16 |
| 2.7.2. Yüzey Sertliği | 16 |
| 2.7.3. Çekirdek Sertliği | 17 |
| | |
| BÖLÜM 3 | 18 |
| YORULMA | 18 |
| 3.1. YORULMANIN TANIMI | 18 |
| 3.2. YORULMA OLAYINDA ÇEVİRİMLİ YÜKLEME..... | 19 |
| 3.3. YORULMA ÇATLAĞI | 20 |
| 3.4. YORULMA KIRIK YÜZEYİ..... | 21 |
| 3.5. YORULMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER..... | 21 |
| 3.5.1. Malzemenin Çekme Mukavemeti..... | 21 |
| 3.5.2. Çentik Etkisi | 22 |
| 3.5.3. Korozyon Etkisi..... | 22 |
| 3.5.4. Yükleme Şeklinin Etkisi | 22 |
| 3.5.5. Frenkans Etkisi | 23 |
| 3.5.6. Boyut Etkisi | 23 |
| 3.5.7. Sıcaklık Etkisi..... | 23 |
| 3.5.8. Gerilme Genliğinin Etkisi..... | 24 |
| 3.5.9. Yüzey İşlemlerinin Etkisi | 24 |
| 3.6. YORULMA HASARININ ÖNLENMESİ..... | 24 |
| | |
| BÖLÜM 4 | 26 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 26 |
| 4.1. NUMUNE HAZIRLAMA | 26 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.2. MİKRO YAPI İNCELENMESİ..... | 28 |
| 4.3. SERTLİK..... | 29 |
| 4.4. DÖNEL EĞMELİ YORULMA DENEYİ | 29 |
| | |
| BÖLÜM 5 | 31 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 31 |
| 5.1. MİKROYAPI ÇALIŞMASI..... | 31 |
| 5.2. MİKROSERTLİK ÇALIŞMASI..... | 34 |
| 5.3. DÖNEL EĞMELİ YORULMA DENEY SONUÇLARI..... | 35 |
| 5.4. SONUÇLAR | 37 |
| KAYNAKLAR | 38 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | 39 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Direk sertleşme grafiği..... | 14 |
| Şekil 2.2. Basit sertleşme grafiği | 14 |
| Şekil 2.3. Basit sertleşme grafiği (İzotermik dönüşümden sonra) | 14 |
| Şekil 2.4. Çift sertleşme grafiği | 15 |
| Şekil 3.1. Dinamik yüklemde zamana göre yükün değişimi | 20 |
| Şekil 4.1. İPSEN Marka TQ-10 model ısıtma fırını..... | 27 |
| Şekil 4.2. İPSEN Marka DRL 7 model ısıtma fırını | 27 |
| Şekil 4.3. Mikro test otomatik parlatma ve zımparalama cihazı..... | 28 |
| Şekil 4.4. Metkon Marka IMM901 model metalografi mikroskobu..... | 28 |
| Şekil 4.5. Shimadzu Marka HVM model mikro sertlik cihazı..... | 29 |
| Şekil 4.6. ISO 1143 standardına göre yorulma numunesi teknik resmi..... | 29 |
| Şekil 4.7. Dönel eğmeli yorulma cihazı | 30 |
| Şekil 5.1. 1,25 mm derinliğe sahip yüzey ve çekirdek mikroyapıları | 31 |
| Şekil 5.2. 1,80 mm derinliğe sahip yüzey ve çekirdek mikroyapıları | 32 |
| Şekil 5.3. 510 sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden önce yüzey mikroyapısı | 32 |
| Şekil 5.4. 510 Sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden önce çekirdek mikroyapısı | 33 |
| Şekil 5.5. 510 sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden sonra yüzey mikroyapısı | 33 |
| Şekil 5.6. 510 sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden sonra çekirdek mikroyapısı | 34 |
| Şekil 5.7. 1,25 mm derinliğine ve 1,80 mm derinliğine ait sertlik sonuçları | 35 |
| Şekil 5.8. İncelenen numunelerin gerilme-çevirim sayısı sonucu..... | 36 |
| Şekil 5.9. Yorulma deneyi sonrası kırılmış numunelerin yüzey görünümü..... | 36 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. 16MnCr5 sementasyon çeliğinin kimyasal bileşimi 26

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çelikler endüstride kullanım amaçlarına göre farklı özelliklerde üretilmektedirler. Çeliklerin mekanik özellikleri, kimyasal bileşimdeki alaşım elementlerine, içyapılarına, tane büyüklüklerine ve uygulanan ısı işlemlere bağlı olarak önemli oranlarda değişir. Bunun için çeliklere sementasyon, normalizasyon, tavlama, östemperleme, martemperleme, borlama gibi daha birçok işlem uygulanarak bu malzemelerin özellikleri geliştirilmekte ve hedeflenen amaçlara uygun malzemeler üretilmektedir [1–3].

Bu işlemlerin en önemlilerinden birisi olan sementasyon yüzey sertleştirme işlemi, makine parçalarının yorulma mukavemetini arttırmak için pratikte yaygın olarak kullanılır. Sementasyon neticesinde yüzeyde faz dönüşümü ile meydana gelen sert ve sağlam kabuk daha fazla gerilme taşıyabilir. Faz dönüşümü ve farklı soğumadan dolayı meydana gelen yüzeydeki basma gerilmeleri, uygulanan çekme gerilmesinin etkisini azaltır.

Sementasyon işlemine tabii tutulan malzemenin yüzeyi, esas malzemeninkinden daha fazla karbon konsantrasyonuna sahiptir. Sertleşme esnasında karbon konsantrasyonuna ve soğutma hızına bağlı olarak, meydana gelen mikroyapı ve mukavemet değişir. Makine parçalarında çalışma esnasında en büyük gerilme yüzeyde meydana gelir. Ayrıca malzemenin yüzeyi daha çabuk hasara uğrar ve yorulma çatlakları da genellikle yüzeyden başlar. Bu yüzden malzeme yüzeyinin sert ve sağlam bir mikroyapıya sahip olması yorulma mukavemetini artırır.

Sementasyon çeliğin iç kısmında yüksek tokluk yüzeyinde ise yüksek sertlik olması istenilen durumlarda uygulanan bir ısı işlemidir. Sementasyon işlemi, katı, sıvı veya gaz ortamlarda yapılabilir. Sementasyon ısı işlemi diğer yüzey sertleştirme ısı

işlemlerine kıyasla daha ekonomiktir. Gaz sementasyon yöntemi, yüzeyde imalat kalitesini bozmayacak temiz bir yöntem olup koruyucu gaz ortamında çeliğin karbon alması daha hızlı gerçekleşir ve karbon miktarı istenilen seviyede tutulabilir [4,5].

Malzemenin tekrarlı gerilmeler veya birim şekil değiştirmeler sonucu kırılmasına 'yorulma' adı verilir. Yorulma ömrü, kırılmaya kadar uygulanan tekrar sayısı ile verilir. Bu ömür;

- Çekirdeklenme
- Mikro çatlak ilerlemesi
- Makro çatlak ilerlemesi
- Kırılma

Olmak üzere 4 safhada meydana gelir.

Yorulma, hem çekirdeklenme hem de çatlak ilerlemesi safhasında plastik deformasyon sonucu oluşur. Her safhaya karşılık gelen tekrar sayısı kolaylıkla saptanamaz. Kırılma, ömrün en son tekrarında oluşur. Yorulma çatlağı genellikle malzemenin yüzeyinde oluşur.

Yorulma kırılmalarının ilk başlangıç yeri yüzeydeki, çekirdek ve sertleştirilmiş tabaka arasındaki bölgedir. Bu sınır bölgesinde başlayan yorulma çatlağı, çekirdeğin içinde çok çabuk ilerler ve sertleşmiş tabakada adım adım artan bir gerilme oluşturur. Çatlaklar burada görünmeye başlar ve sonunda malzeme aniden kırılır. Bu olaydan çekirdek mukavemetinin yorulma sınırı üzerinde önemli bir etkisi olduğu açıkça görülebilir. Çünkü çatlaklar genellikle, yorulma sınırı karbürize olmuş tabakadan daha düşük olan çekirdekte başlamaktadır.

Bununla beraber, optimum bir çekirdek mukavemetinin varlığı söz konusudur. Bu değer aşılsa yorulma azalır. Çekirdeğin mukavemeti karbon ilavesi ile arttırılır. Çünkü karbon ilavesi; çeliğin sertleşme sıcaklığından soğuması esnasında östenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür. Bunun sonucu olarak çekirdeğin mukavemeti artar. Optimum çekirdek mukavemeti de yorulma kırılmasını olumlu yönde etkiler [4].

Bu çalışmada dūřuk karbonlu şanzıman dişlisi yapımında kullanılan 16MnCr5 kalite çeliğin gaz ortamında farklı nūfuziyet derinliklerinde sementasyon tabakası oluşturulduktan sonra yorulma davranışı incelenmiştir.

BÖLÜM 2

SEMENTASYON

2.1. SEMENTASYON

En tanınmış ve en eski kabuk sertleştirme yöntemlerinden biri olan sementasyon işlemi, içerisinde % 0.10 – 0.25 Karbon bulunan alaşımsız ve alaşımlı çeliklere uygulanır. Yüzeyleri karbonca zenginleştirildikten sonra yapılan sertleştirme işlemi ile istenilen amaca uygun malzemelerin üretimi mümkündür. Yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çeliklerdir.

Malzemelerde bileşiği oluşturan atomlar, hangi ortam olursa olsun aynı kimyasal bileşime sahip olmak için difüzyon olarak isimlendirilen yayılma eğilimindedir. Bu durum boşluk ve ara yer atomu gibi mekanizmalarla gerçekleşir. Sıcaklık yükselmesi yayılmayı hızlandırır. Difüzyon, atomun çevresi ile bağlarını kurtarması, sonra atomların arasındaki boşluklardan geçmesi ve yeni çevresi ile yeniden bağ kurması aşamaları ile gerçekleşir. Genelde atomlar yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye yayılma eğilimindedir.

Sementasyon işlemi katı, sıvı ve gaz ortamlarında yapılabilir. Semente işleminden sonra malzeme genellikle yağda su verilerek sertleştirilir. Malzemenin cinsine veya kullanım amacına göre basit veya karmaşık olabilir. Sonuçta; parça yüzeyinde sert ve aşınmaya dayanıklı bir kabuk, çekirdek kısmı ise yüzeye göre yumuşak fakat tok; yani darbelere karşı dayanıklı bir malzeme elde edilir.

Karbon emdirilmesi işlemi çelik parçasının CO ihtiva eden bir ortamda, östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur. Genellikle 850-950 derece arası bir sıcaklık kullanılır. Bu sıcaklığa 'Sementasyon Sıcaklığı' denir.

Sementasyon işleminin östenit bölgesinde yapılanması, bu bölgenin % 2 oranına kadar karbon çözebilmesi ile yakından ilgilidir. Fakat ikincil sementit (Fe_3C) ayrışımı arzu edilmediğinden, sementasyon tabakası genellikle ötektoid noktasına uygun olarak karbonlanır.

Eğer ortam karbonu çelik parçasının karbonundan daha fakirse reaksiyon tersine işler ve çelik parçasının yüzeyinden karbon kaybetmesine neden olur. Bu duruma Dekarbürizasyon denir. Çelik yüzeyinde dekarbürizasyon tabakası, sementasyon sonrası yapılacak sertleşme işleminde martenzit yapıya dönüşmeyeceği içinde yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturur. Dekarbürizasyon neticesinde yüzey sertliğinde ve yorulma mukavemetinde düşme olur. Bu ise çoğu zaman istenmeyen bir durumdur. Dekarbürizasyon oluşumunu önlemek için fırın atmosferinde endotermik gaz karışım sağlayarak, çelik parçasının yüzeyini CO_2 , O_2 ve su buharından koruyarak sağlanabilir.

Kullanılan sementasyon sıcaklığında, östenit fazda çözünebilen maksimum karbon miktarı Fe-C denge diyagramında A_{cm} çizgisinden bulunabilir. Örneğin $925^{\circ}C$ östenit fazda çözünebilen maksimum karbon miktarı % 1,3 civarındadır. Bu sıcaklıkta çelik parçanın yüzeyi yaklaşık olarak % 1,3 e kadar karbon emmesi yaparken, parçanın çekirdek kısmı düşük karbon miktarını korumaya devam eder. Bu sebeple, karbon atomları parçanın yüzeyinden çekirdeğe doğru difüzyon ederek denge durumuna gelmek isteyeceklerdir. Östenit fazda karbon atomlarını difüzyon hızı, verilen sıcaklıkta, parçanın yüzeyinde oluşan karbon kontrasyonuna ve difüzyon katsayısına bağlıdır.

Çelik parça, sementasyon sıcaklığında karbon difüzyonunun arzu edilen derinliğe kadar ilerlemesi için yeterli süre tutulur. Bu süreye "sementasyon zamanı" denir. Sementasyon zamanı boyunca çelik parçanın yüzeyinden içeriye doğru difüzyon eden karbonun ilerleme derinliğine sementasyon derinliği denir. Çelik karbon yüzdesi ne kadar düşük olursa o kadar daha yüksek sıcaklıkları kaldırabilir. Genel olarak süreyi

çok uzun yapmamak için A₃ sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır. Bu süreyi daha da kısaltmak için sıcaklığı çok yüksek tutmak hiçbir şekilde tavsiye edilmez.

Sementasyon ortamı ile denge halindeki çeliğin içindeki karbon oranına karbon potansiyeli denir. Karbon potansiyeli ne kadar yüksek ise sementasyon tabakasındaki karbon oranı o kadar yüksek olur. Pratikte karbon potansiyeli % 0,8-1,2 arasında seçilir. Sıcaklık, süre ve karbon potansiyeli sabit tutulduğu halde semente edilen çeliklerin, kimyasal bileşimlerine bağlı olarak yüzeyde farklı karbon oranlarına sahip oldukları görülür. Çeliğin karbon aktivitesini düşüren Cr, Mn, Mo gibi elementler daha fazla karbon almasına yol açarlar. Aşırı karbonlama denilen bu olay istenmeyen bir durumdur. N, Si, Ni karbonlamayı azaltıcı etkiye sahiptir [6].

Sementasyon işlemi yapılan çeliklerden şu özellikler beklenir;

- Uygun sertleştirme sonucunda iyi derecede aşınma ve erozyon direnci göstermeleri,
- Oluşturulan yeterli kanlınlıktaki sert kabuk boyunca elde edilen uygun dayanım sonucunda, yüksek yüzey basınçlarına karşı koyma direnci ve kabiliyeti, uygun stres dağılımı sonunda yorulma dayanımının artması.
- Karşılışılan servis şartlarına bağlı olarak dış yüzeyde uygun dayanım ve iç kısımda yeterli tokluk olması.

2.1.1. Sementasyon Sonrası Çeliklerde Görülen Hatalar

- Yüzeyin yumuşak olması; Yorulma dayanımı düşük olur, çalışan parçalar birbirlerini aşındırır.
- Yüzeyde yer yer yumuşak lekeler; Yüzeyde yer yer yumuşamalar meydana gelir.
- Yüzeyde serbest karbürler oluşması; Sert ve kırılğan olur.
- Dönüşüm gerilimi çatlakları; Çekirdeğin dönüşümü sırasında yüzeyde çekme gerilmeleri oluşabilir. Gerilme çatlağın ilerlemesini sağlayacak kadar büyük ise çatlak gevşek yerlerden ilerler ve gevrek kopma meydana gelir.

- Çekirdeğin kaba taneli olması; Malzeme kırılıgandır ve tokluğu düşüktür.
- Sementasyon tabakasının kaba taneli olması; Malzeme yüke dayanamaz.
- Taşlama sırasında yırtılmalar; Semente edilen malzeme taşlanırken yüzeyinde ince çizgiler halinde yırtılmalar oluşabilir (taş çatlağı) [6].

2.2. SEMENTASYON METODLARI

Sementasyon işlemi değişik karbon verici ortamlarda yapılabilir.

Bunlar:

- Kutu sementasyonu (Kati ortamda sementasyon)
- Tuz banyosunda sementasyon
- Gaz sementasyonudur.

Uygulanan metod ne olursa olsun, sementasyon işlemi, çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur ve her metod çelik yüzeyinde farklı sementasyon derinlikleri ve sementasyon sonrası uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak, farklı sertlik neticeleri verir.

2.2.1. Kutu Sementasyonu

Kutuda yapılan sementasyon işlemi için karbon verici olarak genellikle odun kömürü kullanılır. Semente edilecek parçalar çelik yada dökme demirden yapılmış kutu içerisindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağızı sıkıca kapatılarak fırına yerleştirilir. Sıcaklığın yükselmesiyle odun kömürü, kutu içindeki havanın oksijeniyle reaksiyona girerek CO₂ oluşturur. CO₂' de tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir.



Sıcaklığın artmasıyla, yukarıdaki reaksiyona göre CO oluşumu artar. Ortaya çıkan CO çelik yüzeyinde ayrışarak CO₂ ve atomik karbon meydana getirir. Atomik karbon, östenit faza gelmiş olan çelik tarafından emilerek bünyede çözülür. Böylece

çelik parçanın yüzeyi karbonca zenginleştirilmiş olur. Açığa çıkan CO₂ tekrar odun kömürü ile reaksiyona girer, CO meydana getirir ve reaksiyonlar aynen tekrar eder.

Kutu sementasyon genellikle büyük parçaların sementasyonunda kullanılır ve önemli avantajlı önceden hazırlanması gereken gaz atmosferine gerek olmamasıdır.

2.2.2. Tuz Banyosunda Sementasyon

Tuz banyosunda sementasyon için, karbon verici olarak NaCN yada KCN gibi tuzlar kullanılır. Ancak, tuz seçimi istenilen sementasyon derinliğine buna bağlı olarak çalışılacak sementasyon sıcaklığına göre yapılmalıdır. İnce sementasyon derinliği veren tuzlarla 0,9 mm 'ye kadar sertlik derinliği elde edilmesinin yanında sementasyon derinliğini arttıran tuzlarla 3 mm hatta bazen 6 mm derinliğe kadar ilerlemek de mümkündür.

Bu metodla sementasyon işlemi aşağıdaki reaksiyonlara göre cereyan eder.



İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında olur. Açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve atomik azot verir.Östenit fazdaki çelik, CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır.Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce 100-400 °C arasında ön ısıtma yapılmalıdır.

Tuz banyosu genellikle küçük orta büyüklükteki parçaların sementasyonu için kullanılır. Tuz banyosunda homojen sementasyon derinliği banyo kompozisyonunun sık sık kontrol edilerek ayarlanmasını gerektirir. Siyanür tuzları zehirli olduklarından bu metodun kullanımında dikkatli olunmalıdır.

2.2.3. Gaz Sementasyonu

Gaz sementasyonu son yıllarda yüzey sertleştirme metodlarının en popüler olanı haline gelmiştir. Bu metodla oldukça iyi ve güvenilir neticeler elde edilmektedir.

Gaz sementasyonu için karbon verici olarak metan (CH₄) etan (C₂H₆), propan (C₃H₈) gibi hidrokarbonlar kullanılır. Sementasyon sıcaklığında çeşitli reaksiyonlar oluşur. Aşağıdaki reaksiyonların soldan sağa doğru ilerlemesi sonucu, ortaya çıkan atomik karbon, östenit fazdaki çelik bünyesine girerek yüzeyde karbonca zengin kabuk bölgesini meydana getirir.



Fırın atmosferinde oluşan gaz kompozisyonunun, özellikle nem miktarının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarına önemli tesirleri vardır. Nem miktarı ise, gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespiti ile ölçülebilir.

Sementasyon derinliği, çelik parçasının fırında kalış süresine bağlı olarak değişir. İşlem tamamlandıktan sonra kullanılan çelik çeşidine bağlı olarak uygun sertleştirme yöntemi seçilir. Bu metod, hassas toleranslı sementasyon derinliği istendiği haller için çok elverişlidir. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme için, hızlı hareket kolaylığı ve temiz çalışma ortamı sağlaması gaz sementasyonunun diğer avantajları olarak sayılabilir [5].

Gaz sementasyon işleminin başarılı olabilmesi 3 temel değişkene bağlıdır. Bunlar:

- Sıcaklık
- Zaman
- Atmosfer 'dir.

2.2.3.1. Sıcaklığın Etkisi

Çeliğe ilave edilebilen karbonun maksimum oranı östenit bölgesinde karbonun difüzyon oranı ile sınırlı olup bu difüzyon oranı sıcaklıkla önemli ölçüde artar. Örneğin; 1700 °F'de ilave edilen karbon oranı 1600 °F'de ilave edilen karbon oranından % 40 oranında daha fazla olmaktadır.

Sementasyon için en yaygın kullanılan sıcaklık 1700 °F (926 °C) dir. Bu sıcaklık, kısmen ısıya karşı dirençli fırın ekipmanlarının aşırı bozulmasına izin vermeden hızlı bir sementasyon imkanı sağlar. Son zamanlarda, belirli derinlikde kabuk gereksinimini sağlamak için bu sıcaklık 1750 °F ve hatta 1800 °F'a kadar çıkarılmıştır.

Sementasyonda birbirine, uygun sonuçlar için sıcaklığın eş dağılımlı olması önemlidir. İş parçalarının değişik yerlerindeki eş dağılımlılık fırının dizaynına bağlıdır. Ayrıca fırının yükleme yoğunluğuna, fırının ısınma oranı ve sirkülasyonuna da bağlıdır. Yüksek yoğunlukta yükleme halinde banyo fırınlarını etkili olması için sirkülasyon fanı gereklidir.

Banyo fırınlarının kontrolünün en iyi yapılabilmesi için termokupl yerleştirilmesi gerekir. Böylece sıcaklık kontrol edilebilir. Sürekli fırınlarda termokupl iş parçalarına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Fakat fırın içerisinde iş akışına engel olmamalıdır. Kontrol kolaylığı için termokupl ve koruma tüpü genellikle sürekli fırınların duvar kenarına yerleştirilir. Çünkü sürekli fırınların ilk bölümü sıcaklık kontrol bölgesidir. Bu bölmenin termokuplu parçayı aşırı ısınmaya karşı emniyet altına almak için bölmenin son kısmına yakın bir yere yerleştirilmelidir. Sementasyon bölgesindeki termokupl yaklaşık bölmenin ortasında olmalıdır. Son bölmenin sıcaklığı sementasyon sıcaklığından daha düşük olduğu zaman soğutma maksadıyla bölmenin sonunda boşaltma kısmı yanında kontrol termokuplu ile en iyi kontrol sağlanabilir.

Şu anda kullanımda olan hemen hemen tüm sementasyon fırınları yeterli otomatik sıcaklık kontrolüne sahiptirler.

2.2.3.2. Zamanın Etkisi

F.E. Harris normal sementasyon için kabuk derinliğinde sıcaklık ve zamanın etkisi için bir formül geliştirmiştir.

$$\text{Kabuk Derinliği} = \frac{31.6\sqrt{t}}{10^{(5700/T)}} \quad (2.8)$$

$$\text{Kabuk derinliği inç olarak, } t = \text{zaman (saat)} \quad (2.9)$$

$$T = \text{mutlak sıcaklık (Rankine (} ^\circ\text{F} + 460)) \quad (2.10)$$

F.E. Harris aynı zamanda difüzyon ve sementasyon süresini hesaplamak için bir metod daha geliştirmiş böylece önceden belirlenen bir semente edilmiş kabuk derinliği ve yüzeydeki karbon konsantrasyonu elde etmiştir.

$$\text{Sementasyon Süresi} = \text{Toplam Süre} \left(\frac{C - C_t}{C_0 - C_t} \right)^2 \quad (2.11)$$

Difüzyon süresi = Toplam süre - Sementasyon süresi

C – İstenilen son yüzey karbon konsantrasyonu

C₀ – Sementasyon işlemi sonundaki yüzey karbon konsantrasyonu

C_t – Çekirdekteki karbon konsantrasyonu

2.2.3.3. Atmosferin Kontrolü

Sementasyon reaksiyonu için hazır karbon temin edilebildiği gibi hidrokarbon gazlarında sementasyon bölgesindeki atmosferin karbon potansiyelini artırabilir. Buda suyun çığ noktasını ve aşağıdaki reaksiyona göre CO₂ ihtivasını azaltarak mümkün olmaktadır.



Bu reaksiyonlar oldukça yavaştır. Bununla beraber çoğu kez gereğinden daha fazla metan gereklidir [7].

Fırın atmosferinde oluşan gaz kompozisyonunun, özellikle ne miktarının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarına önemli tesirleri vardır. Nem miktarı ise, gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespiti ile ölçülebilir. Burada yoğunlaşma sıcaklığı olarak tarif edilen, su damlacıklarının gaz karışımından çökeldiği sıcaklıktır.

2.3. DİFÜZYON (YAYINMA) OLAYI

2.3.1. Difüzyonun Şekli

Metal ya da alaşımları, mutlak sıfırın üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılırsa, iki tarz hareket görülür. Bunlardan biri, atomların kristal kafesindeki yerini değiştirmeksizin yaptıkları titreşimdir. Diğer ise, bazı atomların kristal kafesindeki yerlerini değiştirerek, malzeme içerisinde hareket etmeleridir. Difüzyon olayı olarak adlandırılan bu durum, tek tek atomların yer değiştirmesi nedeniyle, makroskobik malzeme akışının meydana geldiği tesadüfi bir olaydır. Difüzyon olayları, metallerin ısı işlemlerinde birçok durumda görülür, hatta eğer ani soğutma prosesi istisna tutulursa, bütün ısı işlemler difüzyon olayı ile meydana gelmektedir denebilir.

2.3.2. Makroskobik Difüzyon Akışı

Her atom, kafes içerisinde belirli bir yer işgal eder. Sıcaklığın artmasıyla atomların enerjileri artar ve kafesteki yerini değiştirebilir. Çok sayıdaki kaidesiz atom sıçramalarına karşılık, her hacim birimi kütle için sabittir. Bileşim farklarının takibi ile olay belirlenebilir, ancak bileşim değişmeden de bu olay meydana gelebilir. Ana metal içerisindeki birkaç atom radyoaktif olarak yüklenirse, bu atomların zamana bağlı olarak hacim dağılması kolaylıkla gözlenebilir. Bu durumdaki bir metalin kendi atomlarının yayınması, “kendi kendine difüzyon” ya da “öz difüzyon” olarak adlandırılır.

2.4. HOMOJENLEŞTİRME TAVLAMASI

Çelikte segrasyonlar (birikintiler) çok fazla veya az miktarda meydana gelirler. Oldukça yüksek bir sıcaklıkta uygulanan bir homojenleştirme tavlama sonucu segrasyon oluşturan elementlerin konsantrasyonlarındaki farklılıklar azaltılabilir.

Söz konusu segrasyon elementlerinin konsantrasyonlarındaki değişimlerin sinüsoidal olması koşulu ile homojenleştirme tavlama için gerekli datayı aşağıdaki bağintıdan saptamak mümkündür.

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{D \cdot t \cdot \pi^2}{\lambda^2}\right) \quad (2.14)$$

Burada;

C = tavlama sonrası konsantrasyon

C_0 = tavlama öncesi konsantrasyon

t = zaman

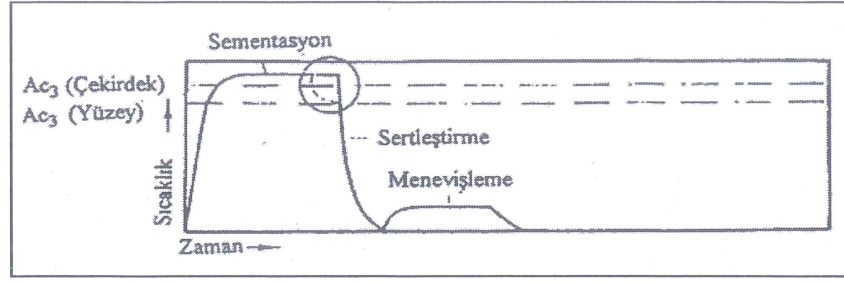
D = difüzyon katsayısı

λ = ısı iletkenlik katsayısı (malzeye bağımlı)

2.5. SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Sementasyon sonrasında çelik parçalar bir sertleştirme işleme tabi tutulurlar. Sertleştirme işlemi parçanın yüzeyinde veya çekirdeğin veya beraberce her iki bölgesinde elde edilmesi istenen sertlik değerlerine bağlı olarak çeşitli şekillerde yapılır.

AŐağıda, sertleştirme yöntemleri 5 başlıkta incelenmiştir.

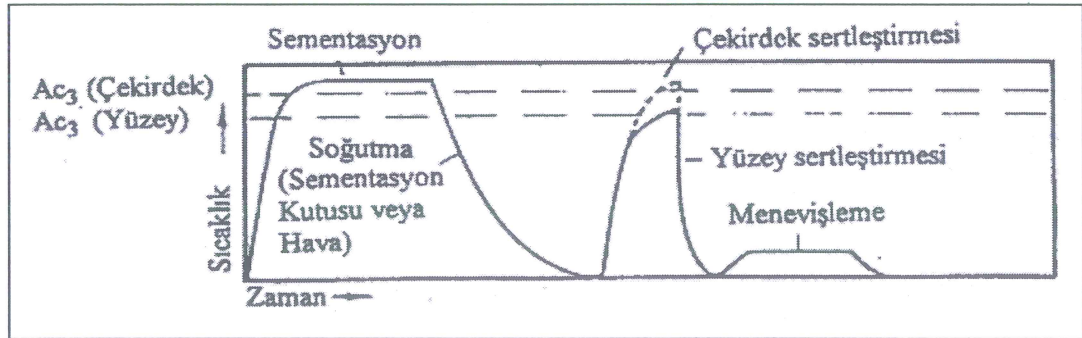


Şekil 2.1. Direkt sertleştirme grafiği [4,5].

2.5.1. Direkt Sertleştirme

Sementasyon sonrası, çelik parça sementasyon sıcaklığından direkt olarak uygun ortamda (yağ, su, sıcak banyo) soğutularak sertleştirilir ve menevişlenir. Şekil 2.1'de yuvarlak içine alınmış bölgede kesik çizgi ile belirtilen yol, sementasyon sıcaklığının uygun sertleştirme sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda parçanın çarpılmasını önlemek için yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar yavaş soğutulmasını ifade etmektedir. Bu yöntem ince taneli yapıdaki çelikler için uygulanır. Oldukça pratik ve ekonomik bir yöntemdir.

2.5.2. Basit Sertleştirme



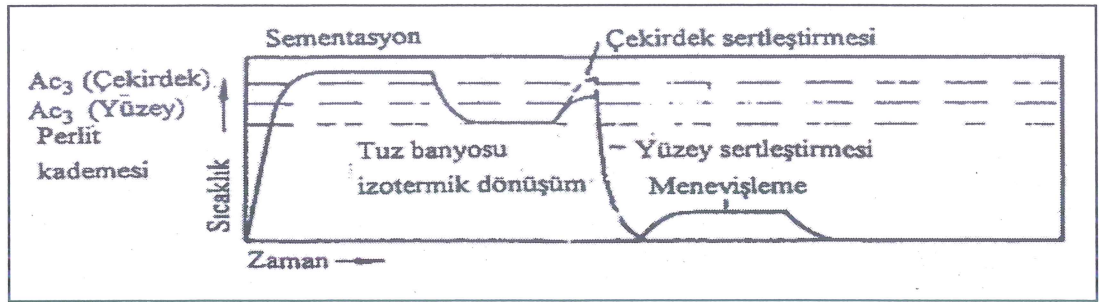
Şekil 2.2. Basit sertleştirme grafiği [4,5].

Sementasyon sonrası parça sementasyon fırınında soğumaya bırakılır. Daha sonra, isteğe göre parçanın yüzeyinin sertleştirilmesi için, yüzey dönüşüm sıcaklığına veya yüzey ve çekirdeğin beraberce sertleştirilmesi için çekirdek dönüşüm sıcaklığına ısıtılır, uygun ortamda [yağ, su veya sıcak banyo] soğutulur ve menevişlenir. Bu yöntem değişik kesitli parçalarda, çarpılmaların istenmediği hallerde uygulanır.

2.5.3. Basit Sertleştirme (Ara Tavından Sonra)

Çelik parçalar sement edildikten sonra, sementasyon kutusu veya havada soğumaya bırakılır. Sonra A_1 ötektoid sıcaklığı altında, genellikle 630-650 °C'de aratavı yapılır. Bunu takiben yüzey veya beraberce yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir.

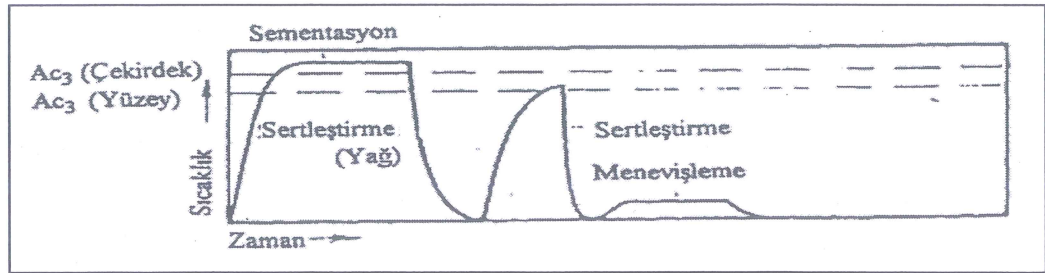
2.5.4. Basit Sertleştirme (İzotermik Dönüşümden Sonra)



Şekil 2.3. Basit sertleştirme grafiği (izotermik dönüşümden sonra) [4,5].

Sementasyon sonrası, parçalar yüzey dönüşüm sıcaklığı altında (500-600 °C) perlit yapının izotermik dönüşümü tamamlanincaya kadar bekletilir. Tekrar yüzey veya yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda yağ, su ve sıcak banyo soğutularak menevişlenir.

2.5.5. Çift Sertleştirme



Şekil 2.4. Çift sertleştirme grafiği [4,5].

Sementasyon fırınından çıkan malzeme, direkt sertleştirilir. Daha sonra, yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılarak tekrar sertleştirilir ve menevişlenir. Bu yöntemle çok iyi neticeler elde edilebilir. Ancak, ard arda yapılan sertleştirmelerde parçada çarpılmalar olabilir.

2.6. MENEVİŞLEME

Bu işlemin gayesi, sertliği bir miktar düşürerek sertleştirme sonrası çelik parçadaki gerilmeleri gidermektir. Sertleştirme sonrasında çelik parçalar genellikle 160-220 °C arasındaki sıcaklıklarda menevişlenir. Menevişleme zaman 1-2 saattir. Eğer sonuçta parça yüzeyindeki sertlik 60 HRC'den düşük istenmiyor ise, menevişleme sıcaklığı 180 °C'den fazla olmamalıdır.

2.7. SEMENTASYON DERİNLİĞİNE, YÜZEY SERTLİĞİNE VE ÇEKİRDEK SERTLİĞİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER

Bu bölümde, sementasyon edilecek çelik cinsinin, parça ebatlarının, sementasyon sıcaklığı ve zamanının, sementasyon sonrası sertleştirme metodunun, sertleştirme sıcaklığı ve soğutma ortamının, sementasyon derinliğine, yüzey sertliğine ve çekirdek sertliğine olan etkileri incelenmiştir.

2.7.1. Sementasyon Derinliği

Sementasyon işlemi sonunda çelik parçası, yüzeyden belli bir derinliğe kadar karbon emmesi yapar. Bu derinliğe Sementasyon Derinliği adı verilir.

Etkili sementasyon derinliği, yüzeyden 50 HRc sertliğe kadar olan bölge olarak tarif edilebilir. AGMA'ya göre ECD sertlik 530 Hv'ye düştüğü nokta olarak değerlendirilir.

Ayrıca sementasyon derinliği, parçanın ebadına ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı ile soğutma ortamına da yakından bağlıdır. Dişli malzemelerde dişli modülünün 0,10-0,40 katlarının aralığında kalmalıdır.

Sementasyon derinliği bir dereceye kadar elik kalitesine de bağlıdır. İnce kesitli parçalarda da bu faktör fazla önem taşımamasına karşılık, büyük kesitli parçalar için derin sertlik istendiği durumlarda, sementasyon zamanı açısından önem kazanır.

2.7.2. Yüzey Sertliği

Ostenit fazda çözünen karbon miktarı, yüzey sertliğini belirleyen kesin faktördür. Yüzeydeki karbon miktarı % 0,80 ile % 1 arasında olabilecek şekilde kontrol edilmelidir. Yüzeyde karbon miktarının fazla olmasının (ötektoid üstü bölgede), iki önemli sebeten dolayı sakıncaları vardır. Birincisi, eğer elik parça sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa, perlit tane sınırlarında sementit ağı teşekkül edecektir. Sonra yapılacak sertleştirme işleminde, özellikle parça Acm çizgisinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra sertleştirilirse, sonuçta yapıda sementit ağı olduğu gibi kalacak ve bu bazı olumsuz neticeler verecektir. İkinci olarak yüzeydeki karbon miktarı % 0,70' i geçerse, sertleştirme sonrasında martenzit yapıda artık ostenit kalmasına ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerde yüzeydeki karbon miktarının % 0,80' den fazla olmamasına dikkat edilmedilir.

Fazla semente edilmiş çeliklerin sertleştirme sıcaklıklarının uygun seçilmesi ile, ostenit fazda çözünen karbon miktarı kontrol edilerek, sertleştirme sonucu artık ostenit miktarı azaltılarak, yüksek sertlik elde edilebilir. Fakat eğer, elik yüzeyinde sementasyon sonucu uygun karbon konsantrasyonu sağlanırsa, maksimum sertlik için sertleştirme sıcaklığının fazla önemi kalmaz [5].

2.7.3. Çekirdek Sertliği

İnce kesitli parçalarda karbürizasyon tabakasının özellikle hemen altındaki farkedilebilir sertlik artışı, malzemenin çekirdeğinin sertleştirme sonrası işlenmesi sırasında zorluk çıkarılabilir. Bu durumlarda çekirdek sertliği su verme sıcaklığının ayarlanması ile kontrol edilebilir. Bunun yanında çekirdek sertliğini en fazla kesit boyutu etkilemektedir [8].

BÖLÜM 3

YORULMA

3.1. YORULMANIN TANIMI

Uygulamada yani servis şartlarında malzemeler çoğunlukla statik olarak zorlanmaz. Makine ve ekipmanları genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli ya da düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetlere maruz kalırlar. Bu yüklemelere çevrimli yükleme adı verilir [9].

Çevrimli yüklemelere maruz kalan malzemelerde oluşan gerilmeler akma mukavemetlerinin altında olsa bile belli bir çevrim sayısını aştıktan sonra yüzeyde bir çatlak oluştururlar. Çatlağın ilerlemesi neticesinde de malzeme hasar görür. Yorulma adı verilen bu olay ilk olarak 1829 yılında W.A.S. Alber tarafından, demir zincirler üzerine tekrar eden yükler uygulanarak, incelenmiştir. Servis şartlarında gözlenen ilk yorulma kırılmaları araba ve tren akslarında meydana gelmiştir. 19. Yüzyılda demiryolu sistemlerinin gelişmesiyle de akslarda meydana gelen bu kırılmaların incelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Akma noktasının altında fakat tekrarlı yüklemelerle çalışan bu parçaların kırılma şartları laboratuvar ortamında yeniden canlandırılmış ve sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır [10].

1852 ve 1870 yılları arasında Alman demir yolları mühendisi August Wöhler ilk sistematik yorulma incelemesini yapmıştır. Ağırlıklı olarak demiryolu aksları üzerinde çalışan Wöhler, küçük miktarda eğilme, burulma ve radyal olarak tekrarlanan yükler uygulayarak bu malzemelerin davranışlarını kaydetti. Elde ettiği veriler neticesinde ismi ile de anılan S-N (gerilme-çevrim sayısı) eğrilerini oluşturdu. Bu eğriler sayesinde ilgili malzemenin ne kadar yük altında kaç çevrim yapabileceği yani ömrü bilinir hale gelmiştir [10].

Geçen zaman içerisinde yorulma konusu önem kazanmaya devam etmiş, gerek servis gerekse laboratuvar şartlarında yapılan incelemelerle sebep sonuç ilişkileri kurulmaya çalışılmıştır. Geliştirilen dislokasyon teorileri ile yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bununla beraber teknolojik ilerlemeler sayesinde inceleme ve veri toplama hassasiyeti artmış ve güvenilir sonuçlar ortaya çıkmıştır. Son olarak kırılma mekaniği fikri, farklı şartlarda çalışan malzemelerin ömürlerini hesaplamada temel olmakla beraber çatlakların oluşumu ve ilerlemesi konusunda da aydınlatıcı olmuştur [10].

Mühendislikte deformasyon sebeplerinin en yaygın olanı yorulmadır. Çekme, basma, sürünme ve kırılma testlerinde yüklemeler statik ya da sürekli artan kuvvetler şeklindedir. Yorulma yüklemeleri ise; ileri-geri kuvvet değişimi, açık-kapalı basınç değişimine benzer yüklemelerdir. Yorulmaya sadece dışarıdan etki eden kuvvetler sebep olmaz. Isıl genişleme ve büzülme neticesinde oluşan gerilmelerde yorulma hasarına sebep olabilir. Bu olaya da termal yorgunluk adı verilir. Yorulma olayında hasar bir çatlak sonucu oluşur. Bu çatlak da yüzeydeki bir süreksizlikten kaynaklanır. Yüzeyde pürüz, çentik, çizik, kılcal çatlak ya da ani bir kesit değişimi yorulma çatlaklarının oluşumu için yeterlidir [10].

Yorulma hasarı çevrimsel gerilme, çekme gerilmesi ve plastik deformasyon gibi eş zamanlı hareketlerden kaynaklanmaktadır. Çevrimsel gerilmeden kaynaklanan plastik deformasyon etkisiyle enine çatlaklar çekirdeklenmeye başlar. Yorulma sırasında yavaş bir şekilde mikro çatlaklar haline gelir. Çekme gerilmesi çatlak büyümesine ve yayılmasına destek olur. Çıplak gözle görülebilecek makro çatlaklar oluşuna kadar bu dönüşüm devam eder. Bir mikro çatlak kritik boyuta ulaştığında kararsız hale gelir. Sonuçta numunenin kırılması felaketle sonuçlanabilir. Basma gerilmeleri yorulmaya sebep olmamakla birlikte, basma yükleri lokal çekme gerilmeleri oluşturabilir [11].

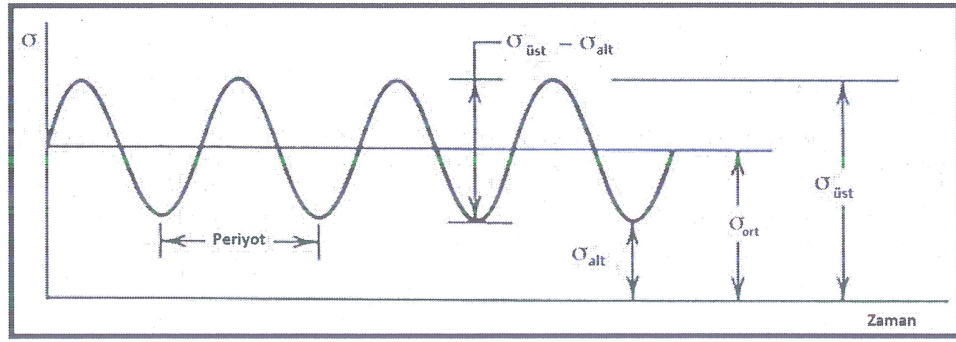
3.2. YORULMA OLAYINDA ÇEVİRİMLİ YÜKLEME

Malzemelere etkiyen yükleri zamanın fonksiyonu olarak üç grupta inceleyebiliriz. Bunlar; sürekli artan yükler, statik yükler ve dinamik yüklerdir.

Sürekli artan yükler; malzeme muayenelerinde rastlanabilecek yükleme şeklidir. Çekme veya basma deneyi sırasında numuneye sıfırdan itibaren artan bir yük uygulanır ve kopma gerçekleştiğinde yük kaldırılır.

Statik yükler; zamana göre değeri değişmeyen yüklerdir. Uygulanan yük malzemenin akma mukavemetinin altında ise hasar görmeyecektir. Üstünde ise plastik deformasyona ya da kopmaya sebep olacaktır.

Dinamik yükler; değeri zamana göre değişen yüklerdir. Yorulmaya sebep olan dinamik yükler çoğunlukla periyodiktir. Mesela; bir taşıt mili taşıtın ağırlığından dolayı eğilmeye zorlanır [9].



Şekil 3.1. Dinamik yüklemede zamana göre yükün değişimi [10].

3.3. YORULMA ÇATLAĞI

Yorulma genellikle içyapıda oluşan kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmalarından kaynaklanır. Bundan dolayı yorulma olayı içyapıya çok bağlıdır. İçyapıda bulunan çatlak, çentik, boşluk ve ani kesit değişimleri civarındaki gerilmeler ortalama gerilmelerden daha büyüktür. Bu gerilmeler etkisinde yerel plastik şekil değiştirme meydana gelir. Diğer taraftan başlangıçta hiçbir kusur içermeyen yüzeyi parlatılmış homojen kesitli bir metalde elastik sınır altında da dislokasyonlar yerel olarak hareket ederek kayma bantları oluştururlar. Bu bantlar da yüzeyde girinti ve çıkıntılarının oluşmasına, dolayısıyla gerilme yığılmalarına neden olur. Bütün bu hallerde tekrarlı gerilmeler etkisinde oluşan plastik şekil değiştirme sonucu malzeme sertleşir, gevrekliği artar ve sonunda mikro çatlaklar doğar. Bu

mikro çatlaklar zamanla yayılarak ani yorulma kırılması meydana getirir. Yorulma çatlakları genellikle yüzeyde başlar ve malzemenin iç kısımlarına doğru ilerler [12].

3.4. YORULMA KIRIK YÜZEYİ

Yorulma kırılması yüzeyinin ilginç bir görünüşü vardır. Yüzeyde çatlağın başladığı nokta, onu çevreleyen midye kabuğu görünümlü aynı merkezli eğriler ve bunların yanında taneli bir bölge görülür. Çatlak zamanla yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılması yüzeyi parlak görünür. Çatlak ilerleyip geri kalan kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelir ve kırılma yüzeyi taneli görünüştedir [12].

3.5. YORULMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yorulma olayının mekanizması hayli karışık olduğundan ve hala tam olarak çözülemeyen konuları olduğundan aynı gerilme genliklerinde bile farklı çevrim sayılarında kırılmalar olabilir. Buradan da görüleceği gibi, malzeme özelliklerinden çalıştığı ortama kadar, yorulma olayına etki eden birçok faktör söz konusudur [9].

3.5.1. Malzemenin Çekme Mukavemeti

Genellikle malzemelerin çekme mukavemetleri arttıkça yorulma dayanımları da artar. Mesela demir alaşımları ve titanyum alaşımlarında arayer atomu halindeki alaşım elementleri çekme mukavemetini artırarak yorulma dayanımı da artırır. Sadece yorulma dayanımını artıran bir aşım elementi mevcut değildir [13].

Malzemelerin çekme mukavemetlerini artıran tüm işlemler aynı zamanda yorulma dayanımına da artırır. Özellikle uygun su verme ve menevişleme neticesinde sertliği ve çekme mukavemeti artan çeliklerin yorulma dayanımları da artar. Alaşım elementleri ile su alma derinlikleri artan çeliklerde de ısıtma işlemi neticesinde yorulma dayanımında artış görülmektedir. Sünek malzemelerin son mekanik işlemleri, inklizyon, segregasyon gibi çekme mukavemetini düşüren olumsuzlukların

giderilmesi de yorulma dayanımını artırır. Kısacası malzemenin mekanik mukavemet değerlerini artıran işlemlerin hemen hepsi yorulma dayanımı da artırır [13].

3.5.2. Çentik Etkisi

Yorulma kırılmaları her zaman gerilmelerin yoğun olduğu noktalardan başlar. Parça kesitinde çentik, delik, kama kanalı, ani kesit değişimleri gibi durumlar gerilme yığılmalarına sebep olduğu için yorulma dayanımını düşürür. Ayrıca malzemeler üretilirken yüzeylerinde oluşan pürüzlerde çentik etkisi oluşturabilir. Bunu önlemek için malzemeler ana çekme gerilmesi yönünde taşlanırlar. Çizikler gerilme eksenine paralel olduğunda gerilme dayanımı en yüksek değere ulaşır [9].

3.5.3. Korozyon Etkisi

Malzemenin yorulma zorlamasına moruz kalırken korozyona uğramasına “korozyonlu yorulma” adı verilir. Korozyon malzeme yüzeyinde oyuklar ya da çukurlar oluşmasına sebep olur. Oluşan çukurlar da çentik etkisi oluşturarak yorulma dayanımını düşürür. Korozif ortamda yapılan yorulma deneylerinde frekans da önem kazanır. Düşük frekanslarda yapılan deneylerde süre artacağı için korozif ortam çatlak içerisinde de etki gösterir. Böylece yorulma dayanımını düşürür [13].

Vakum altında yapılan deneylerde malzemeler, normal deneylere göre daha büyük yorulma dayanımı sergiler. Korozif etki oluşturacak gazların çok küçük miktarları bile sonucu oldukça fazla etkiler. Sulu çözeltilerde yapılan deneylerde ise Wöhler eğrilerinin daha aşağıya indiği görülmüştür [9].

3.5.4. Yükleme Şeklinin Etkisi

Yorulma olayında aksenal, eğilme ve burulma olmak üzere üç temel yükleme vardır. Tam değişken aksenal yorulma ile saptanan yorulma dayanımı eğilme ile saptanan değerlerin % 85'i kadardır. Tam değişken burulmada ise bu değer % 58'dir. Bu nedenle test edilecek parça servis şartlarında ne tür yüklemelere maruz kalacaksa ona göre yükleme biçimi seçilmelidir. Parçaların tek tip yüklemelere maruz kalmadığı da göz

önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle ilgili parçaların servis şartlarında nasıl yüklemelere maruz kaldığı kaydedilip teknolojik yorulma cihazlarında testler yapılabilir [14].

3.5.5. Frekans Etkisi

Metallerde 104 tekrar/dakikaya kadar ısınma meydana gelmediğinden frekansın bir etkisi yoktur. Plastik malzemelerde ise 10 Hz civarındaki çevrimlerde bile ısınma meydana geldiğinden frekans oldukça düşük tutulmalıdır [9].

3.5.6. Boyut Etkisi

Eğilme ve burulma şeklindeki yüklemeler parça kesitinde uniform olmayan gerilemelere neden olduğundan, parça boyutunun artması yorulma dayanımını olumsuz etkiler.

3.5.7. Sıcaklık Etkisi

Oda sıcaklığının altındaki deneylerde sıcaklık düştükçe yorulma dayanımı artar. Ancak oda sıcaklığının altındaki değerlerde malzemelerin çentik hassasiyeti artmaktadır. -200 °C ve -400 °C aralığında yorulma dayanımında fark edilir bir artış meydana gelir [9]. 2000 °C'ye kadar sıcaklığın bir etkisi yoktur. Düşük karbonlu çeliklerde 200-3000 °C aralığında yorulma dayanımında artış görülür. Bu etkinin nedeni düşük karbonlu çeliklerin bu sıcaklıklarda deformasyon yaşlanmasına uğrayarak çekme mukavemetinin artmasıdır. Bunun haricindeki durumlarda yorulma dayanımı düşer [13].

Deney sıcaklığı belirli bir değerin üstüne çıktığında yorulmadan ziyade sürünme devreye girer. Kopma, yorulmadan çok sürünmeden kaynaklanır. İki olay arasındaki fark kırılma türleridir. Yorulmada kırılma tane içinde, sürünmede ise taneler arasındadır [13]. Makine elemanlarının kullanım esnasında sıcaklık değişmelerine maruz kalmaları ısıl gerilmelere yol açarak malzemede yorulmaya neden olabilir. Bir defalık ısıl değişimler bile malzemede çatlamaya yol açabilir. Buna "termal şok"

adı verilir. Çatlak birkaç ısı değişim neticesinde oluşursa buna “termal yorulma” adı verilir. Isıl genleşme katsayısı büyük olan malzemeler termal yorulmaya karşı son derece hassastır [13].

3.5.8. Gerilme Genliğinin Etkisi

Gerilme genliği yorulma olayında birinci derece değişkendir. Gerilme genliğindeki en ufak bir değişim yorulma ömrü üzerinde büyük değişimlere sebep olur [13].

3.5.9. Yüzey İşlemlerinin Etkisi

Yüzeyde sertleştirme işlemi uygulandığında yorulma dayanımında artış görülmektedir. Fakat bu işlem tüm yüzeye uygulanmalıdır. Aksi halde kesişim noktasından çatlak oluşabilir. Nitrasyonla yüzey sertleştirilmesi sonucunda eğme yorulması % 20-35 aralığında iyileşme görülür [9]. Yüzeyin bilyalanarak dövülmesi neticesinde oluşan artık basma gerilmeleri yorulma dayanımını % 27-33 aralığında artırır. Haddeleme ile yüzeye basınç uygulanması da yorulma dayanımına % 10-25 aralığında katkı sağlar [9]. Yüzeye yapılan krom kaplama işlemi ise aşınma ve korozyona karşı koruma sağlarken yorulmaya karşı aynı etkiyi oluşturamaz. Metal püskürtme işlemi yüzeyde küçük boşluklar ve tabakalar meydana getirdiğinden yorulma dayanımını düşürür. Mesela metal püskürtme yolu ile kaplanmış Al-Cu-Mg alaşımlarının yorulma dayanımları % 14 oranında düşmektedir [9].

3.6. YORULMA HASARININ ÖNLENMESİ

Uygulamada kullanılan birçok makine parçası ve yapı elemanı tekrarlı yüklere ve titreşimlere maruz kalmaktadır. Yorulmaya etki eden faktörlerin fazla olması ve uygulamada statik yüklemeye nadir rastlanması ile günümüzde meydana gelen hasarların % 25 gibi büyük bir kısmı yorulmadan kaynaklanmaktadır [14].

Çalışmalar çeliklerin yorulma dayanımlarının genellikle sertlik ve çekme dayanımlarıyla orantılı olduğunu göstermekle birlikte, malzemenin yük taşıma kapasitesinin, tokluğu ve kritik çatlak boyutuyla belirlendiği yüksek çekme

dayanımına sahip malzemeler için bu genelleme doğru değildir. Üretim prosesi, ısıl işlem, yüzey işlemleri ve servis şartları çevrimsel gerilmeye maruz kalan çeliğin nihai davranışına önemli derecede etki eder.

Malzemeler, yükleme koşulları, gerilme konsantrasyonları ve diğer pek çok faktördeki çok küçük değişikliklere duyarlı oldukları için bir metal parçasının yorulma ömrünü tahmin etmek çok zordur. Bir yapısal metal elemanın yorulmaya karşı direnci soğuk şekillendirme, kaynak gibi üretim yöntemleriyle, yüzey pürüzlüğü ve kalıntı gerilmeler gibi yüzey koşullarından da etkilenmektedir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. NUMUNE HAZIRLAMA

Bu çalışmada 16MnCr5 (DIN 1.7131) kalitede çeliklerin yüzeyinde farklı kalınlıkta sementasyon nüfuziyeti elde edilebilecek şekilde Ankas Isıl İşlem Mak. Müh. LTD. ŞTİ. firmasında sementasyon ısıl işleme tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik numuneleri sementasyon çeliğinden olup kimyasal kompozisyonu Çizelge 4-1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 16MnCr5 sementasyon çeliğinin kimyasal bileşimi.

| 16MnCr5 | C | Mn | Si | S | P | Ni | Cr |
|---------|------|------|------|-------|-------|----|------|
| | 0,16 | 1,18 | 0,17 | 0,014 | 0,011 | - | 0,89 |

Farklı kalınlıkta sementasyon tabakası oluşturmak için sementasyon süresi 340' ve 510' olarak seçilmiştir. Toplam da 340' sementasyona tabi tutulan numuneler, İPSEN marka DRL 7 model fırında (Şekil 4.1) 400 °C'de 60' ön ısıtma yapılmış ardından İPSEN marka TQ-10 model fırında (Şekil 4.1) 940 °C'de 180' 1152 MV(%1,1)C'da, 940 °C'de 120' 1148 MV(%0,9)C'da, 840 °C'de 40' 1102 MV(%0,65)C'da sementasyon işlemi yapılmış ardından 80 °C'de ISORAPID yağda 20' sertleştirme yapılmıştır.

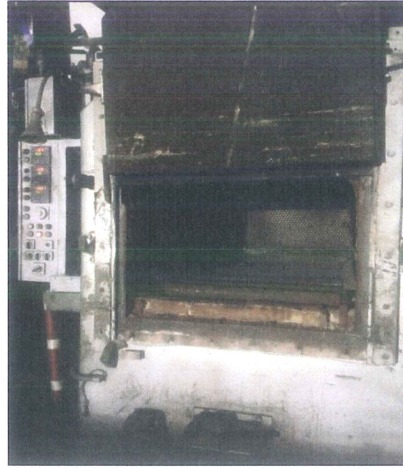
Daha kalın doku derinliği elde etmek için 510' sementasyon süresi kullanılmış olan numuneler, İPSEN marka DRL 7 model fırında 400 °C'de 60' ön ısıtma yapılmış ardından İPSEN marka TQ-10 model fırında 940 °C'de 300' 1152 MV(%1,1)C'da, 940 °C'de 150' 1148 MV(%0,9)C'da, 840 °C'de 60' 1102 MV(%0,65)C'da sementasyon işlemi yapılmış ardından 80 °C'de ISORAPID yağda 20' sertleştirme

yapılmıştır. Farklı sementasyon derinliklerindeki numunelere sertleştirme işleminin ardından marka DRL 7 model fırında 180 °C'de 90' temperleme yapılmıştır.

Fırına propan gazı girişi mV birimi ile kontrol edilmektedir; örneğin 1152 mV %1,1 C'a karşılık gelmektedir. Sementasyon ısıl işlemi süresince çarpılma şeklinde deformasyonu ve yüzeyde kalıcı östenit oluşumunu engellemek için sırası ile sementasyon sıcaklığı ve karbon oranı azaltılmıştır.



Şekil 4.1. İPSEN Marka TQ-10 model ısıl işlem fırını.

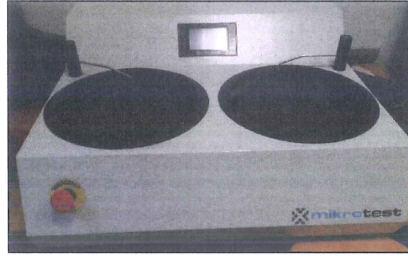


Şekil 4.2. İPSEN Marka DRL 7 model ısıl işlem fırını.

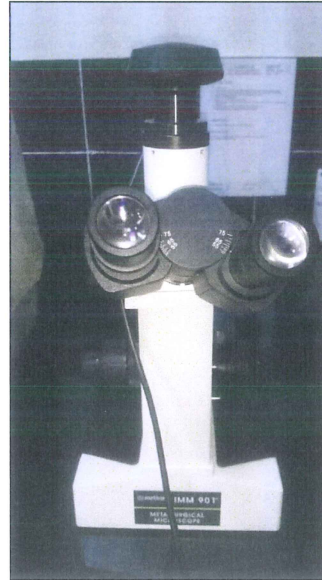
Sementasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler üzerinde makro ve mikro yapı incelemesi, kesit üzerinden sertlik taraması ve yorulma testleri gerçekleştirilmiştir.

4.2. MİKRO YAPI İNCELEMESİ

Mikroyapı çalışması, standart metalografik prosedüre göre numuneleri hazırladıktan sonra optik ışık mikroskobunda (Şekil 4.4) gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür, numuneleri 180, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla parlatma işlemini içermektedir. Mikroyapı resimleri, Metkon Marka IMM 901 model metalografi mikroskobu nda % 3 Nital ile dağlanmış numuneler üzerinden çekilmiştir.



Şekil 4.3. Mikro test otomatik parlatma ve zımparalama cihazı.



Şekil 4.4. Metkon Marka IMM 901 model metalografi mikroskobu.

4.3. SERTLİK

İki farklı sürede sementasyon ısıl işlemine tabii tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğine sertlik kesiti üzerinden yüzeyden merkeze doğru taraması yapılmıştır.

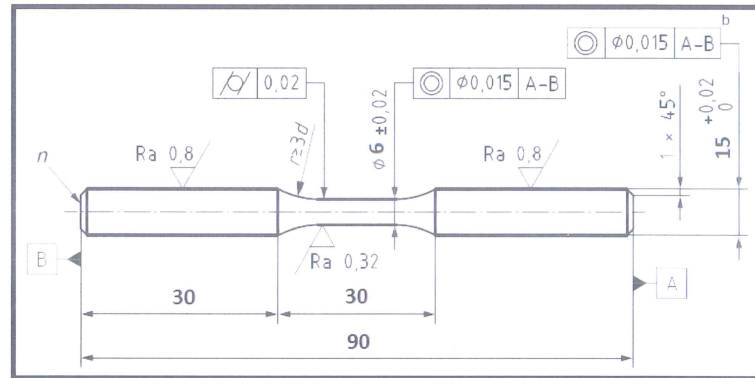
Numuneler kütleli sertlikleri Schimadzu marka HMV model mikro sertlik test cihazında (Şekil 4.3) 10" süreyle ve 200 gr yük uygulayarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Schimadzu Marka HMV model mikro sertlik cihazı.

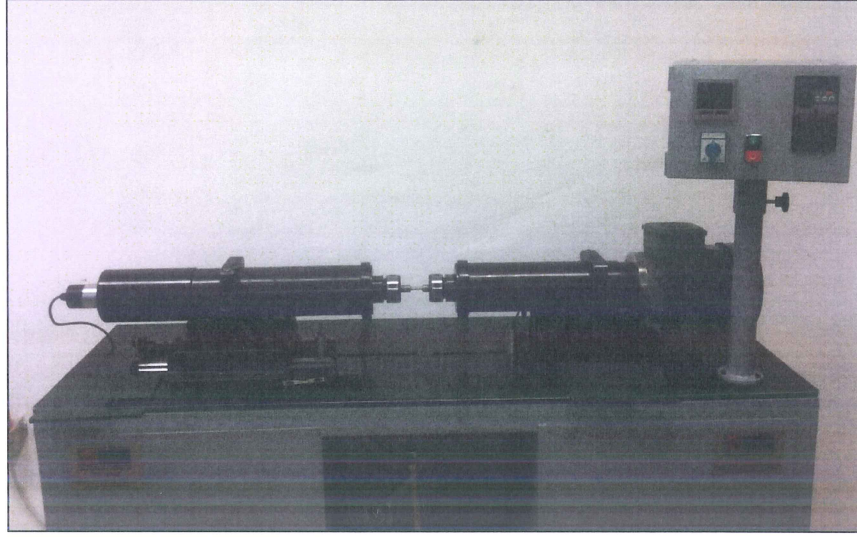
4.4. DÖNEL EĞMELİ YORULMA DENEYİ

Yorulma deneyi için dönel eğmeli yorulma cihazına uygun 90 mm uzunluğunda ISO 1143 standartlarında belirtilen geometride yorulma numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 4.6). Yorulma testleri ISO 1143 dönel eğmeli yorulma standardına göre dört noktalı yükleme (four-point bending) yöntemiyle yapılacaktır. Yorulma deneyleri için imal edilen dönel eğmeli yorulma cihazı Şekil 4,7'de görülmektedir.



Şekil 4.6. ISO 1143 standardına göre yorulma numunesi teknik resmi.

Yorulma deneyi sonucunda her bir numunenin belirli yük altındaki dayandığı çevrim sayısı kaydedilerek S-N eğrisi çizilmiştir (Şekil 5.8). Yorulma sırasında uygulanacak yüklerin belirlenmesi için çekme eğrilerinden yararlanılmış olup akma sınırının altında çalışılmıştır.



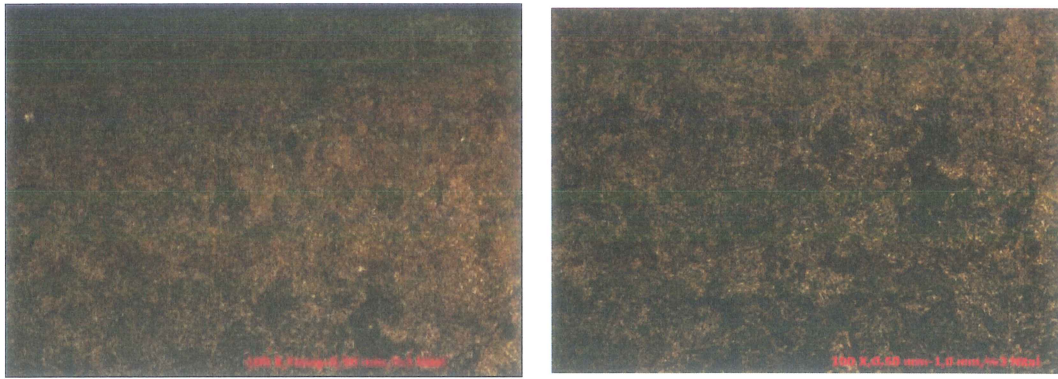
Şekil 4.7. Dönel eğmeli yorulma cihazı.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. MİKROYAPI ÇALIŞMASI

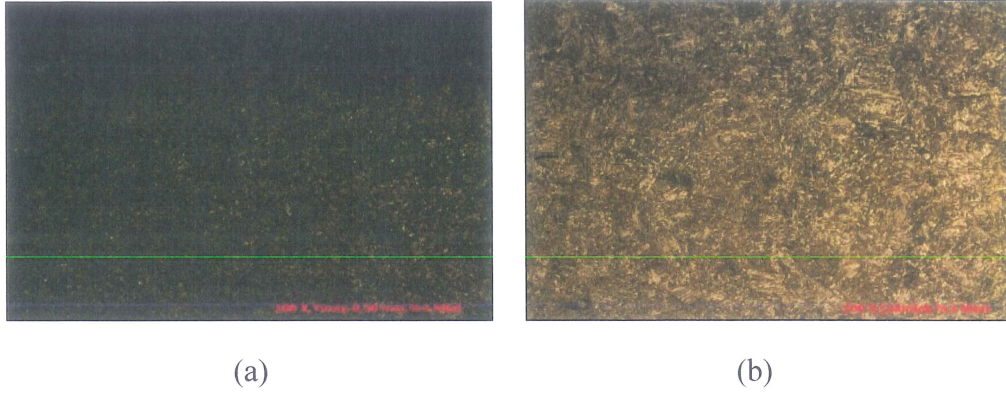
Deneyleerde kullanılan 340' ve 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin mikro yapıları sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de gösterilmektedir. Şekil 5.1 ve 5.2'den görüldüğü gibi karbürleme sürelerinin artışı ile sementasyon işlemi yapılan malzemenin yüzeyden derinliğe doğru karbon yoğunluğu artmakta olup yüzeydeki yapının tamamında martensite dönüşüm gerçekleşmiştir (Şekil 5.2). 340' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunenin yüzeyinde ince martenzitik yapı görülürken sementasyon süresinin artmasıyla 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunede martenzit yapıda bir miktar kabalaşma meydana gelmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde kalıntı östenit görülememektedir. Benzer sonuçlar literatürde rapor edilmiştir [11].



(a)

(b)

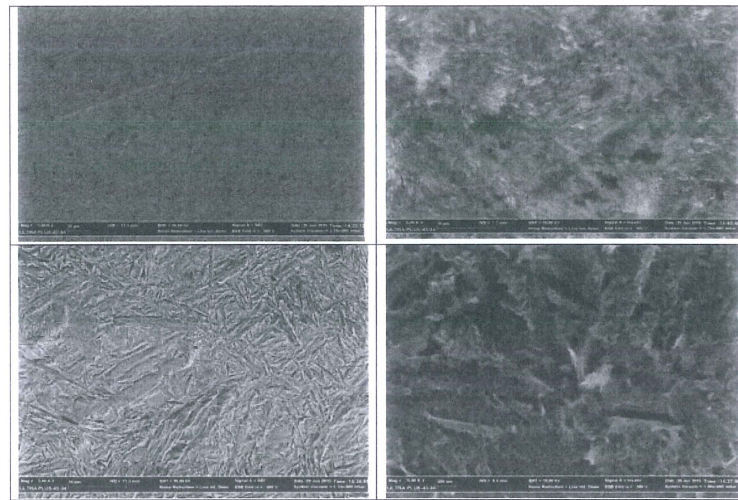
Şekil 5.1. 340' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunenin mikroyapı görüntüleri. a) Yüzey-0,5 mm derinlikteki mikroyapı, b) Çekidek mikroyapısı.



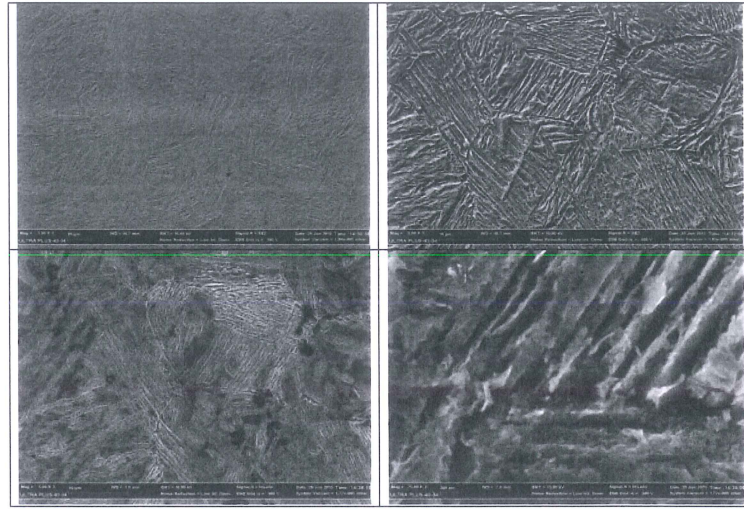
Şekil 5.2. 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunenin mikroyapı görüntüleri. a) Yüzey-0,5 mm derinlikteki mikroyapı, b) Çekidek mikroyapısı.

340' ve 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 kalite çelik numunelerinin merkez bölgelerinde ihtiva edilen C oranına göre merkeze yakın bölgelerde perlitik ve ferritik yapılar göze çarparken, merkez bölgesinde ferrit miktarının yüksek olduğu görülmektedir.

Deneylerde kullanılan 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden önce ve sonra SEM ile farklı büyütmelerde mikroyapıları incelenmiş ve Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.

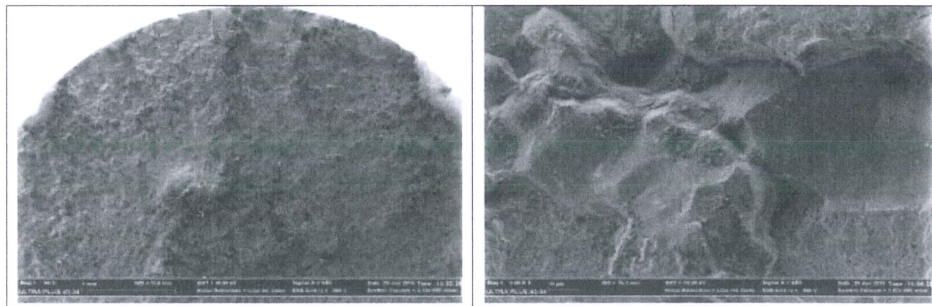


Şekil 5.3. 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden önce yüzey mikroyapısı.

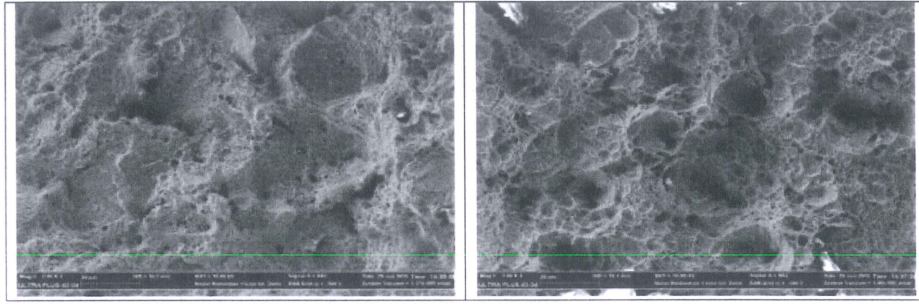


Şekil 5.4. 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden önce çekirdek mikroyapısı.

Deney numunesinden alınan SEM görüntülerinden yüzeyde martenzitik tabaka mevcut olduğu görülmektedir. SEM büyütme oranı arttırıldıkça ince tane büyüklüğü ve martenzit ağı net bir şekilde görülmektedir. Yüzeyden çekirdeğe indikçe mevcut martenzit yerini perlitik yapıya bırakmaktadır. Numune çekirdeğinden alınan görüntülerde yüzeydeki sert martenzit tabakanın yerini sünek perlitik+ferritik yapıya bıraktığı anlaşılmaktadır. Yine görüntülerden anlaşılacağı gibi yüzeydeki ince tane büyüklüğü çekirdeğe doğru artan iri tane büyüklüğüne dönüşmektedir.



Şekil 5.5. 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden sonra yüzey mikroyapısı.

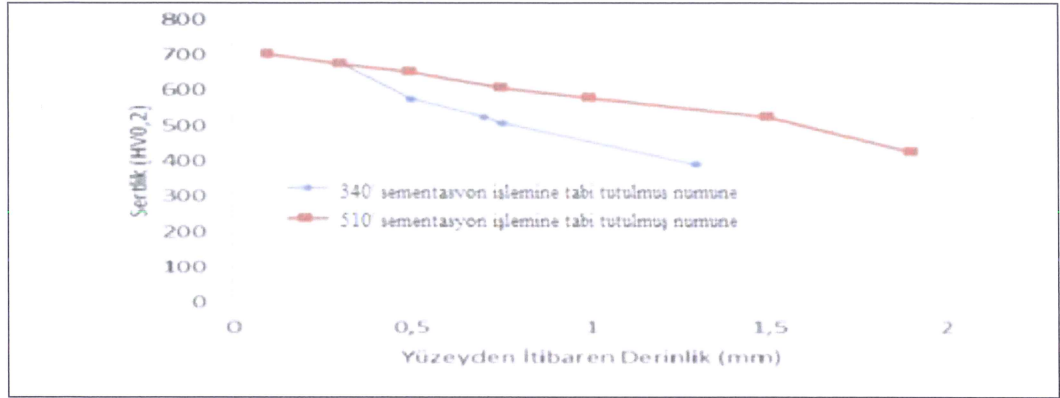


Şekil 5.6. 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 sementasyon çeliğinin yorulma deneyinden sonra çekirdek mikroyapısı.

Deney numunesinden, yorulma deneyinden sonra kırık yüzeyden alınan SEM görüntülerinde yüzeyde sementasyon işleminden dolayı oluşan sert martenzitik tabakada gevrek kırılma oluşmuş, çekirdeğe doğru artan perlitik+ferritik yapı ve iri tane büyüklüğünden dolayı kırılma sünekleşmiştir. Çekirdekte ise perlitik+ferritik yapının sert olmaması ve tane büyüklüğünün iri olmasından dolayı kırılma tamamen süneklerdir.

5.2. MİKROSERTLİK ÇALIŞMASI

Standart parlatma işlemleriyle hazırlanan 15 mm çapındaki 340' ve 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş 16MnCr5 Sementasyon çeliğinin 200 g yük altında ve vickers ucu ile alınan mikro sertlik sonuçları Şekil 5.9.'da gösterilmiştir. Şekil 5.7.'den görüldüğü gibi yüzeyden 0,3 mm derinliğe kadar hem 340' sementasyon işlemine tabi tutulmuş hem de 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzey sertlikleri aynı olup yüzeylerinde yaklaşık 700 HV_(200 g) ölçülmüştür. Sertlik dönüşüm tablolarına bakıldığında 700 HV_(200 g) değeri 60 HRC sertlik değerine karşılık gelmektedir. Yüzeyden itibaren belirli bir derinlikte 510' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunede sertlik 340' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunedeki sertlikten daha yüksektir. Bu durum sementasyon süresinin artmasına dayandırılabilir. Buna ilave olarak sementasyon süresinin artması ile çekirdek sertlik değerinin de arttığı görülmüştür. 340' sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunenin sertlik değerinin daha az olması numunenin östenit bölgesi sıcaklığında çözülebilen karbon yoğunluğunun azlığını göstermektedir [11]. Buda mikroyapının ince martenzitik bir yapının oluşmasına yol açmıştır.



Şekil 5.7. 340' ve 510' sementasyona tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden merkeze doğru sertlik sonuçları.

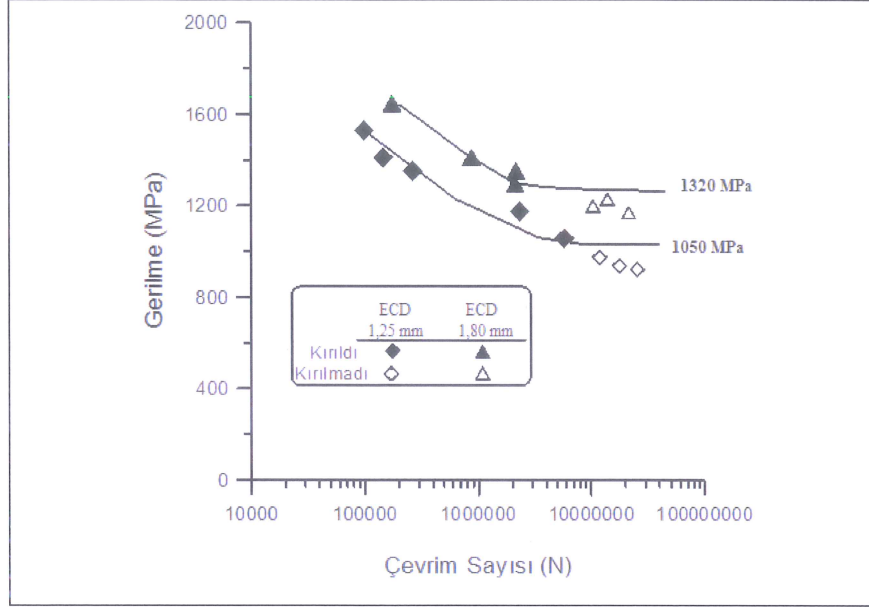
5.3. DÖNEL EĞMELİ YORULMA DENEY SONUÇLARI

Numuneler 90 mm boyunda dönel eğmeli yorulma cihazına uygun şekilde CNC torna ile hazırlanmıştır. Daha sonra boyutu çapı 1,25 mm ve 1,80 mm sementasyon derinliğine sahip olan numunelerin çaplarına uygun pens takımları sipariş edilmiştir ve yukarıdaki formül kullanılarak ağırlık hesabı yapıp ağırlıklar ayarlanmıştır.

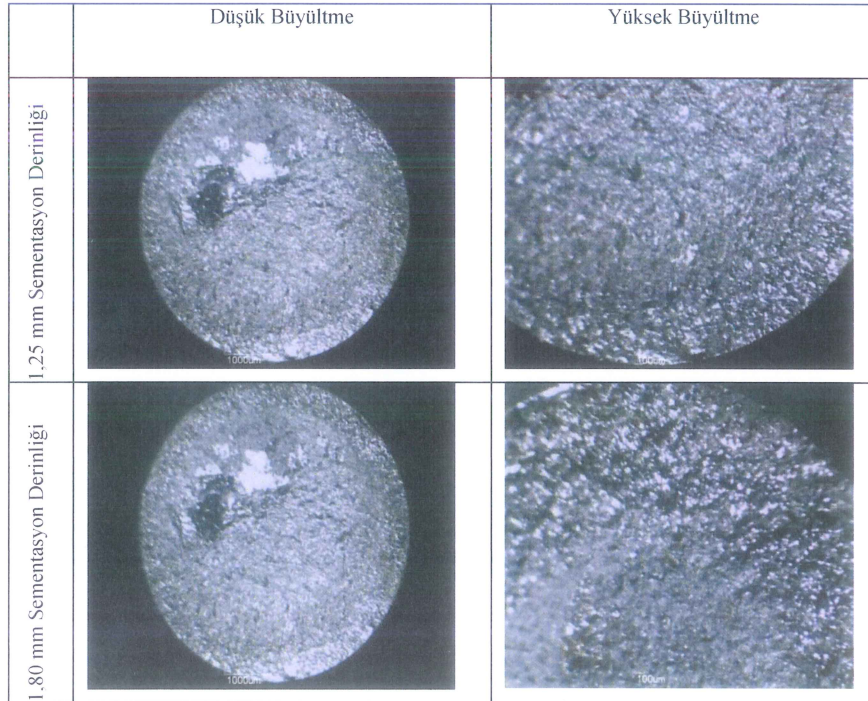
Yaklaşık olarak 15 kg yüke kadar test edilen sementasyonla yüzeyleri sertleştirilmiş numunelerin 1,25 mm ve 1,80 mm sementasyon derinliğine sahip numuneler yorulma deneyine tabii tutulmuştur. Şekil 5.8'de deney sonuçları gösterilmiştir.

Herhangi bir gerilme değerinde ECD 1,80 mm olan numune ECD 1,25 mm olan numuneden daha uzun çevrim sayısına sahiptir. Gerilme-çevrim sayısı grafiği yaklaşık 3×10^6 çevrim sayısında sabit gerilmeye sonsuz ömür sergilemiştir. Yorulma ömrü olarak tanımlanan sabit gerilme değeri ECD 1,25 mm olan numune için 1050 MPa iken, ECD 1,80 mm olan numune için 1320 MPa'dır. ECD 1,80 mm olan numunenin yorulma dayanımının yüksek çıkması yüzeydeki sert tabakanın daha derin olması, çekirdek sertliğinin yüksek olması ve martenzit yapının daha yoğun olmasına dayandırılabilir. Çevrim sayısı hemen hemen 3×10^6 'ya karşılık gelen kırılmış numunelerin kırık yüzeyleri Troniz marka stereo mikroskop altında incelenmiş olup Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi sementasyon derinliğinin artmasıyla donuk ve lifli görünümde hızlı kırılma bölgesi azalmakta ve

yavaş yorulma çatlak ilerleme bölgesi genişlemektedir. Bu durum ECD 1,80 mm olan numunenin yorulma dayanımının daha yüksek olmasını açıklamaktadır.



Şekil 5.8. İncelenen numunelerin gerilme- çevrim sayısı sonucu.



Şekil 5.9. Yorulma deneyi sonrası kırılmış numunelerin yüzey görünüm.

5.4. SONUÇLAR

- ECD 1,25 mm olan numunelerin çekirdek sertlikleri ECD 1,80 mm olan numunelerin çekirdek sertliklerinden daha düşük gelmiştir, dolayısı ile yüksek nüfuziyet ile iyi bir aşınma direncinin yanında yüksek bir tokluk elde edilebilir.
- Kesitten çekirdeğe doğru yapılan sertlik taramasındaki sertliğin düşüşü ECD 1,25 mm olan numunede ECD 1,80 mm olan numuneden daha hızlıdır.
- Sertleştirme sonucunda oluşan martenzit miktarı ECD 1,80 mm olan numunede % olarak daha fazladır ki bu oran ECD 1,80 mm olan numunede yüzeyde % 94, ECD 1,25 mm olan numunede ise % 89'dur.
- Sertleştirme sonucunda oluşan ferrit-perlit oranı ECD 1,80 mm olan numunede sırası ile % 63-%37 iken ECD 1,25 mm olan numunede yüzeyde bu oran % 76-% 24'tür.
- ECD 1,80 mm olan numune ECD 1,25 mm olan numuneden daha uzun çevim sayısına sahiptir.
- Yorulma ömrü olarak tanımlanan sabit gerilme değeri ECD 1,80 mm olan numunede 1320 MPa, ECD 1,25 mm olan numunede 1050 MPa'dır.
- Numunelerin kırılma yüzeyleri karşılaştırıldığında ECD 1,80 mm olan numunedeki sert doku derinliğinden kaynaklı gevrek kırılma oluştuğu gözlemlenmektedir.
- Sert martenzitik tabakada gevrek kırılma oluşmuş, çekirdeğe doğru artan perlitik+ferritik yapı ve iri tane büyüklüğünden dolayı kırılma sünekleşmiştir.
- Çekirdekte perlitik+ferritik yapının sert olmaması ve tane büyüklüğünün iri olmasından dolayı kırılma tamamen süneklerdir.

KAYNAKLAR

1. Özçatalbaş, Y. and Ercan, F., “The effects of heat treatment on the machinability of mild steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 136 (1–3): 227–238 (2003).
2. Boğaziçi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü ‘*Isıl İşlemler*’ (2009).
3. Thelking, K. E. ve Tekin, A., “Çelik ve Isıl İşlemi Bofors El Kitabı (Tercüme)”, *İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, (1984).
4. ASİL ÇELİK TEKNİK YAYINLARI No 5
5. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, ‘*Çeliklerin Isıl İşlemi*’, (2012).
6. ASM, “Metals Handbook Volume 2”, *American Society for Metals*, US (1964).
7. Tarakçılar, A. R, Can, A. Ç. ve Aksoy, T., “Yüzeyi sertleştirilen çentikli parçalarda sertlik derinliğinin yorulma mukavemetine etkisi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Malzeme ve İmalat Sempozyumu*, Denizli (1987).
8. Taşkın, V., “Takım çeliklerinde çekme basma yorulma özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (1996).
9. Özçelik, S., “Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışı incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
10. Bernstein, M. L. and Zaimovsky, V. A., “Mechanical Properties of Metals”, *MIR Publishers*, Moskova (1983).
11. Dodd, L. L., and Restrepo-Posada J. I., “Model for Predicting Cyclic of Reinforcing Steel”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 121 (3) 433-444 (1995).
12. Kayalı, E. S., Ensari, C., ve Dikeç, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, *İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul (1990).
13. ASM International, “Fatigue Resistance of Steels”, *ASM*, Boardman (1990).

ÖZGEÇMİŞ

Habibe YURDAKUL 1988'de Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'ne girdi. 2010'da "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Avrasya Endüstriyel Mak. Müh. LTD. ŞTİ.'de kalite kontrol mühendisi olarak göreve başladı. 2012'de Ankas Isıl İşlem Mak. Müh. LTD. ŞTİ.'nde kalite kontrol mühendisi olarak başladığı görevine devam etmektedir. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nde başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Şeker Mah. 1409 Sok. Golden Life Sitesi No: 3/27
Etimesgut / ANKARA
Tel: (542) 5543171
E-posta: habibe_yurdakul@hotmail.com