



84837

T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1.2080 (X210Cr12), 1.7225 (42CrMo4) ve
Ck45 ÇELİKLERİNİN YORULMA DAYANIMI AÇISINDAN
OPTİMUM ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

OKAN BAŞUSLU

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

84837

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA - 1999

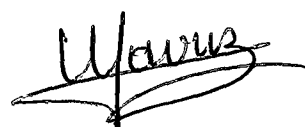

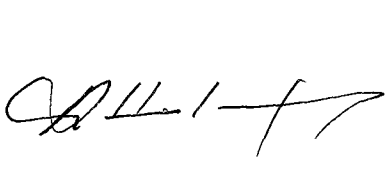
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1.2080 (X210Cr12), 1.7225 (42CrMo4) VE Ck45 ÇELİKLERİNİN YORULMA
DAYANIMI AÇISINDAN OPTİMUM ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

OKAN BAŞUSLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 20.04.1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. A. Halim DEMİRCİ Doç. Dr. Agah UĞUZ Doç. Dr. Nurettin YAVUZ
(Danışman)

ÖZET

Mühendislik malzemeleri genellikle kullanım esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadırlar. Malzemelerde tekrarlanan gerilmeler ve titreşimlerin meydana getirdiği ve belirli bir sayıda yüklemeden sonra oluşan çatlak veya kırılma ile sonuçlanan işleme yorulma denir. Yorulma olayında malzemenin bir süre sonra gevrek ve önceden habersiz olarak kırılması ekonomik kayıplarla birlikte can kaybına da yol açmaktadır. Bu nedenle makine elemanlarının tasarım aşamasında yorulma mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada 1.2080, 1.7225 ve Ck45 çeliklerinin yorulma dayanımı açısından optimum ısıtma işlem parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için malzemeler sırasıyla normalizasyon, sertleştirme ve temperleme işlemlerine tabi tutulmuş ve çeşitli yükleme değerlerinde yorulma ömürleri araştırılmıştır. Ayrıca mukayese bakımından 1.2080 çeliğinin numuneleri borlanarak aynı parametreler altında deneye tabi tutulmuşlardır.

Anahtar Kelimeler : Yorulma, Yorulma Ömrü, Yorulma Dayanımı, Metallerde Yorulma, Yorulma Deneyleeri

ABSTRACT**DETERMINATION OF OPTIMUM HEAT TREATING PARAMETERS OF STEELS OF 1.2080 (X210Cr12), 1.7225 (42Cr Mo4) AND Ck45 REGARDING TO FATIGUE STRENGTH.**

Engineering materials usually function under repeating stresses and vibrations. The mechanical failure appearing because of repeating stresses and vibrations, and resulting with a crack fracture after a certain number of loadings, is called fatigue.

Fatigue can cause brittle fracture and is difficult to notice before the fracture, that is why it can give economical damages and cause death. So, it must be considered during the design of the mechanical components.

In this study the purpose is to determine the optimum heat treating parameters for the 1.2080, 1.7225 and Ck45 steels according to the fatigue lives. These materials have been normalized, hardened and tempered respectively and their fatigue lives have been searched under different loads. In addition, the specimens of 1.2080 steel have been boronized and the test has been applied to these specimens under the same parameters.

Key Words : Fatigue, Fatigue Life, Fatigue Strength, Material Fatigue, Fatigue Tests

İÇİNDEKİLER

Özet	I
Abstract	II
İçindekiler	III
Şekiller Dizini	V
Çizelgeler Dizini	VI
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Malzemelerde Yorulma	3
2.1.1 Yorulmanın Tanımı	3
2.1.2 Yorulmanın Tarihçesi	4
2.1.3 Yorulmada Çatlak Oluşumu	5
2.1.4 Yorulma Kırılmaları	6
2.1.5 Yorulma Olayına Etki Eden Faktörler	7
2.1.5.1 Malzeme Cinsinin, Bileşiminin ve Yapısının Etkisi	7
2.1.5.2 Yüzey Özelliklerinin Etkisi	8
2.1.5.3 Çentik Etkisi	9
2.1.5.4 Gerilmelerin Etkisi	10
2.1.5.5 Korozyonun Etkisi	11
2.1.5.6 Sıcaklığın Etkisi	11
2.1.5.7 Frekansın (Deney Hızının) Etkisi	12
2.2 Malzemelerde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi	13
2.2.1 Yorulma Dayanımının Tanımı	13
2.2.2 Yorulma Deney Türleri	13
2.2.2.1 Eksenel Gerilmeli Yorulma Deneyi	13
2.2.2.2 Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi	14
2.2.2.3 Burma Gerilmeli Yorulma Deneyi	14
2.2.2.4 Birleşik Gerilmeli Yorulma Deneyi	14
2.2.3 Yorulma Deney Cihazları	15
2.2.4 Sinüzoidal Yükleme ve S-N Eğrisi	17
2.2.5 Smith Diyagramı	20
2.2.6 Pohl Diyagramı	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1 Materyal	23
3.1.1 1.2080 Soğuk İş Takım Çeliği	23
3.1.2 1.7225 Islah Çeliği	23
3.1.3 Ck45 Islah Çeliği	24

3.1.4 Yorulma Deney Cihazı	24
3.2 Yöntem	26
3.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması	26
3.2.2 Uygulanan Isıl İşlemler	27
3.2.2.1 Normalizasyon	27
3.2.2.2 Sertleştirme	27
3.2.2.3 Temperleme	28
3.2.2.4 Yük Tayini	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	30
4.1 1.2080 Çeliğinin Test Sonuçları	30
4.2 Ck45 Çeliğinin Test Sonuçları	33
4.3. Tartışma	34
KAYNAKLAR	35
TEŞEKKÜR	36
ÖZGEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yorulma Ömrünün ve Bunun Gerilme Seviyelerine Bağımlılığının Şematik Görünümü	4
Şekil 2.2. Bir Extrusion ve Bir Intrusion Meydana Getiren Kayma Hareketi	6
Şekil 2.3. Numunenin Dört Noktasına Kuvvet Gelen ve Dönen Eğme Gerilmeleri Uygulanan Schenk Modeli Yorulma Deney Cihazının Çalışma Prensibi	15
Şekil 2.4. Aksenal Çekme ve Basma Gerilmeleri Uygulanan, Sabit Gerilme Genlikli Deney Cihazının Şeması	16
Şekil 2.5. Düzlemsel Eğme Gerilmesi Uygulanan Sonntag Modelli Yorulma Deneyi Cihazının Şeması	16
Şekil 2.6. Yorulma deneyinde Sinüzoidal Yükleme	17
Şekil 2.7. S-N veya Wöhler Eğrisi	18
Şekil 2.8. Sinüzoidal Yüklemede Yorulma Eğrileri	19
Şekil 2.9. Çekme-Basma Yüklemelerine Ait Yorulma Mukavemeti Diyagramı.	21
Şekil 2.10. Pohl'a Göre Yorulma Mukavemeti Diyagramı	22
Şekil 3.1. Yorulma Deney Cihazı	24
Şekil 3.2. Yorulma Cihazında Yük Denge Sistemi	25
Şekil 3.3. Yorulma Deney Numunesi	26
Şekil 4.1. 1.2080 Çeliğinin Temperleme İşlemleri Sonucu Sertlik Değişimleri	32
Şekil 4.2. 1.2080 Çeliğinin Normalizasyon Sonucu Yorulma Deney Sonuçları	32
Şekil 4.3. 1.2080 Çeliğinin Temperleme İşlemleri Sonrası 440 N/mm ² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları	33
Şekil 4.4. Ck45 Çeliğinin normalizasyon sonucu yorulma deney sonuçları	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. TS3921'e Göre 1.2080 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu	23
Çizelge 3.2. TS2525'e Göre 1.7225 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu	23
Çizelge 3.3. TS2525'e Göre Ck45 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu	24
Çizelge 3.4. Numunelerin Normalizasyon Sıcaklık ve Süreleri	27
Çizelge 3.5. Numunelerin Su Verme Sıcaklık ve Ortamları	28
Çizelge 3.6. Numunelerin Temperleme Sıcaklık ve Süreleri	29
Çizelge 4.1. 1.2080 Çeliğinin Sertlik Ölçümleri	31
Çizelge 4.2. 1.2080 Çeliğinin Temperleme Sonrası Sertlik Ölçümleri	31
Çizelge 4.3. 1.2080 Çeliğinin Normalizasyon Sonrası Yorulma Deney Sonuçları	32
Çizelge 4.4. 1.2080 Çeliğinin Temperleme İşlemleri Sonrası 440 N/mm ² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları	33
Çizelge 4.5. 1.2080 Çeliğinin Sertleştirme ve Borlama İşlemleri Sonucunda 400N/mm ² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları	33
Çizelge 4.6. Ck45 Çeliğinin Sertlik Ölçümleri	34
Çizelge 4.7. Ck45 Çeliğinin Normalizasyon Sonrası Yorulma Deney Sonuçları	34

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemelerinin bir çoğu zamanla değişen yükler altında çalışırlar (Kayalı ve Ark. 1990). Makinalara ve dolayısıyla makine parçalarına, genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetler ile eğme ve burma momentleri etki ederler. Değişen zorlamalardan dolayı kırılma, söz konusu malzemenin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde oluşabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir (Anonim 1984).

ASTM standartları yorulmayı, bir malzemede bazı bölge ve bölgelerdeki değişken gerilme (stress) ve şekil değişimi (strain)'in meydana getirdiği ve belirli bir sayıda yüklemekten sonra çatlak veya kırılma ile sonuçlanan işlem şeklinde tarif etmektedir (Anonim 1967).

Klasik elastisite teorisine göre, akma gerilmesi altındaki yüklemeye maruz malzemelerde sadece elastik deformasyonun meydana geleceği kabul edildiği gibi, yüklemeye hızının tesirli olmadığı hallerde, gerilmenin değeri maksimum çekme gerilmesini aşmadığı müddetçe malzemede tahribat beklenmez. Buna rağmen, maksimum çekme gerilmesinin, hatta akma gerilmesinin altında değişken ve tekrarlı yükler altında çalışılan malzemelerin bir süre sonra tahrip olduğu mühendislik uygulamalarında çok sık bir şekilde rastlanmaktadır (Anonim 1984).

Konstrüktörler tasarımlarında malzemelerin ekonomik olarak kullanımını göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Mukavemet elastisite bilgisinin gelişmesi, giderek daha düşük güvenlik katsayılarının seçimi ve yüklerin daha kesin olarak tahmin edilebilmesiyle, malzeme değişikliğine gitmeden de makine ve yapı elemanlarının daha küçük kesitli olarak boyutlandırılabilmesi mümkün olmuştur. Ancak bu durumda gerilmelerin akma sınırını aşmamasına yeterince özen gösterildiği halde, işletme sırasında makine parçalarında kırılmalar gözlenmeye başlanmıştır. Her hangi bir şekil değiştirme meydana getirmeden ortaya çıkan bu kırıkların, yüksek yüklerin bir kez ve tek bir yönde uygulanması ile oluşan kırılma yüzeylerinden, görünüşleri bakımından tamamıyla farklı oldukları saptanmıştır. Bu gözlemlere dayanarak kısa bir süre sonra, yüklerin veya momentlerin büyüklüğü ve yönünde zamanla değişmelerin söz konusu olduğu

durumlarda, statik dayanım değerlerinin malzemenin davranışını belirlemede yetersiz kaldığı anlaşılmıştır.

Böylece bütün bu deneyimler “yorulma dayanımı” kavramının doğmasına neden olmuş ve deneysel olarak yorulma dayanımının, statik dayanım değerlerinden çok daha düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Ancak işletme yüklerine göre hesaplanan gerilmeler, kullanılan malzemenin düzgün yüzeyli ve parlatılmış deney parçaları yardımıyla bulunan yorulma dayanımının çok altında kalmasına rağmen makine parçalarının yine hasara uğradığı gözlenmiştir. Bunun üzerine yapılan deneylerle, şekil, yüzey durumu, kuvvet, iletimi, makine parçasının bulunduğu ortama ve malzemenin iç yapısı gibi değişik malzeme özelliklerinin iç ve dış etkenlerin yorulma dayanımını değiştirdiği; dolayısıyla bu etkenleri dikkate almadan bulunan yorulma dayanımı değerlerinin mukavemet hesaplarında aynen kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Güleç ve Ark 1983).

Etken büyüklüklerin çok ve çeşitli oluşu bir malzemenin yorulma dayanımını, söz konusu çalışma şartlarında deneysel belirlemeyi zorunlu kılar.

Bu çalışmada otomotiv sanayinde makine parçası ve /veya üretim kalıpları olarak kullanılan 1.2080 ve 1.7225 çelikleriyle Ck45 çeliğinin ısıtma işlem şartları sonrası yorulma dayanımlarının nasıl değiştirdiği, bu çelikler için yorulma dayanımı açısından uygun ısıtma işlem koşullarının optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla söz konusu malzemelerden hazırlanan yorulma deneyi numuneleri normalizasyon, sertleştirme ve temperleme işlemlerine tabi tutulmuştur ve ısıtma işlemler sonunda uygulanan yüke bağlı olarak kaç çevrim sonra bu malzemelerin koptukları veya hasara uğradıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca mukayese bakımından 1.2080 çeliğinin numuneleri borlanarak aynı parametreler altında deneye tabi tutulmuşlardır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Malzemelerde Yorulma

2.1.1 Yorulmanın Tanımı

Mühendislik malzemelerinin bir çoğu kullanım esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadırlar (Kayalı ve Ark 1990).

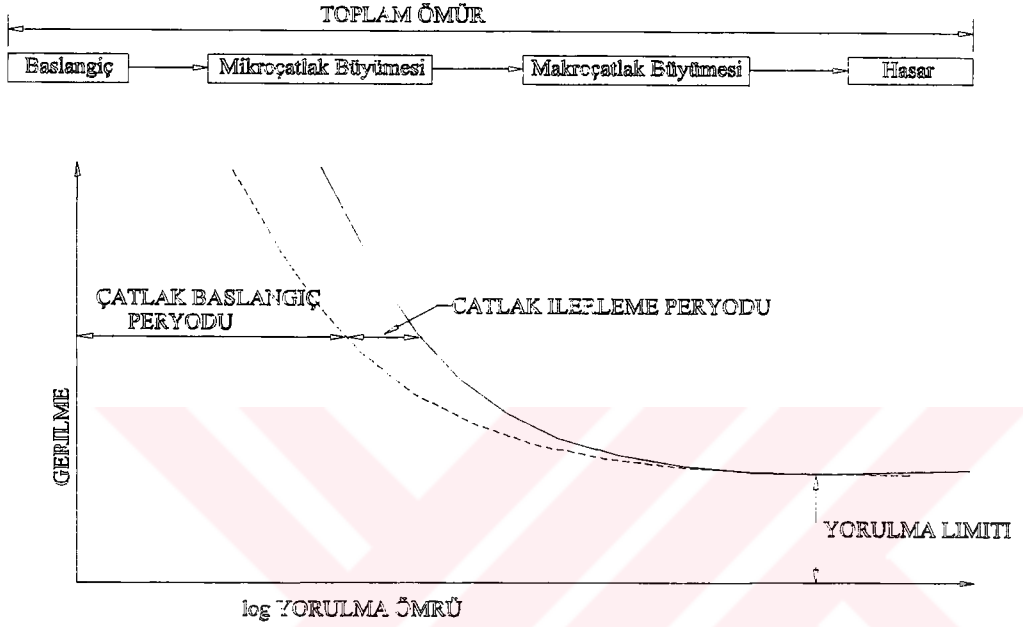
Klasik elastisite teorisine göre, akma gerilmesi altındaki yüklemeye maruz malzemelerde sadece elastik deformasyonun meydana geleceği kabul edildiği gibi, yükleme hızının tesirli olmadığı hallerde, gerilmenin değeri maksimum çekme gerilmesini aşmadığı müddetçe malzemede tahribat beklenmez. Buna rağmen, maksimum çekme gerilmesinin, hatta akma gerilmesinin altında dinamik yükler altında çalışılan malzemelerin bir süre sonra tahrip olduğu mühendislik uygulamalarında çok sık bir şekilde rastlanmaktadır. Bu şekilde değişen yükler altında malzemenin tahribine **yorulma** denir. ASTM standartları yorulmayı, bir malzemede bazı bölge ve bölgelerdeki değişken gerilme (stress) ve şekil değişimi (strain)'in meydana getirdiği ve belirli bir sayıda yüklemeden sonra çatlak veya kırılma ile sonuçlanan işlem şeklinde tarif etmektedir.

Yorulma olayı esas itibarıyla iki kısımdan ibarettir: *i*) Çatlak başlangıcı, *ii*) Çatlak ilerlemesi (Anonim 1984).

Yorulma çatlama genellikle bir curuf inkluzyonu veya aşırı keskin pervaz yarıçapı gibi malzeme içersindeki bazı gerilim arttırıcılarda başlar. Çatlak önce yavaşça ilerler fakat çatlağın yayılma hızı kademeli olarak artar. Bir zaman sonra çatlak odenli büyür ki kesitin kalan kısmındaki gerilme malzemenin maksimum çekme gerilmesini geçerek nihai kırılma meydana gelebilir (Anonim 1984).

Düzgün veya çentikli parçalarda, belirli bir ortalama gerilme için parçanın kırılmadan veya belirli bir şekil değiştirmeyi aşmadan sonsuz çevrim sayısında taşıyabileceği gerilme genliğine **yorulma dayanımı** adı verilir. Müsaade edilebilir şekil değiştirmenin miktarı yorulma deneyinin yapıldığı şartlara veya deney malzemesi cinsine bağlıdır (Güleç ve Ark 1983).

Benzer numunelerin sabit koşullarda belirli bir gerilme altında çatlama (veya kopma) gösterdikleri (N) çevrim sayılarının mediyen ortalamasına **yorulma ömrü** denir (Kayalı ve Ark 1990). Şekil 2.1'de yorulma ömrünü ve bunun gerilme seviyelerine bağlılığının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1 Yorulma Ömrünün ve Bunun Gerilme Seviyelerine Bağlılığının Şematik Görünümü (Ewalds 1985).

Çoğu zaman muayyen bir süre sonra malzemenin gevrek ve önceden habersiz olarak kırılması şeklinde ortaya çıkan malzeme yorulması ekonomik kayıplarla birlikte can kaybına da yol açmaktadır. Bu nedenle makine elemanlarının tasarım aşamasında yorulma mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Güleç ve Ark 1983).

2.1.2. Yorulmanın Tarihçesi

Yorulma ile ilgili ilk laboratuvar çalışmaları 19. Asrın ilk yarısında Alman Mühendisi W.A.J. ALBERT ve Fransız Topçu Subayları ARNOUX ve MARCOUX tarafından yapıldığını göstermektedir. Yorulma terimi ise ilk defa 1839 senesinde PONCELET tarafından kullanılmıştır.

Yorulma hakkında ilk sistematik araştırma ve yayını 1858 yılında Alman demiryolları Mühendisi WÖHLER yapmıştır. Wöhler'in araştırmaları, kırılmaya sadece statik mukavemeti aşmanın sebep olmadığı, malzemenin elastik limiti altındaki gerilmelerin tekrarlı olarak etkisi halinde de kırılmanın meydana gelebileceğini göstermiştir. EGLESTON, 1879 senesinde Malzeme Yorulmasının kanunlarının mevcut olduğunu ileri sürerek, Yorulma ile ilgili Amerika'da ilk yayını yaptı.

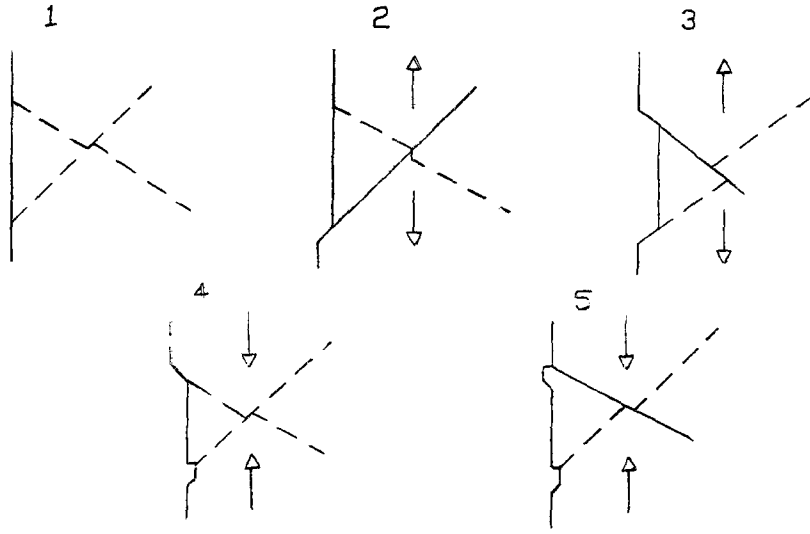
1879 senesinde T.ANDREW'ın yorulma kırılmasını metal mikroskobu ile incelemesinden sonra, metalografinin yorulma araştırmalarında kullanılması, EWING ve HUMFREY ile GOUGH ve arkadaşları tarafından geliştirildi. Müteakiben x-Işınları difraksiyonu ile, tekrarlı yüklere maruz metallerdeki iç yapı değişimi incelenmeye başlandı.

İkinci Dünya Savaşı yıllarında ve sonraki senelerde yapılan araştırmalar, makine parçalarının ve yapı elemanlarının yorulma mukavemetini iyileştirici faktörlerin bulunmasına ve yorulma mukavemeti iyileştirilmiş malzemeler ile yeni bulunan malzemelere ait ampirik bilgilerin elde edilmesine yönelmiştir (Anonim 1984).

2.1.3 Yorulmada Çatlak Oluşumu

Malzemelerde yorulma, iki safhada gelişerek kırılmaya yol açar: i) Çatlak teşekkülü, ii) Mikroskobik ebattaki çatlağın büyüyerek makroskobik boyuta ulaşması. Malzemelerde belirli bir yüklemeye sayısından sonra meydana gelen kayma bantları çatlak teşekkülüne yol açar. Yüzeyde görülen bu kayma bantları, zamanla numune yüzeyinden içeriye nüfus etmektedirler. Tekrarlı yüklemenin başlangıcında meydana gelen Kayma bantları, yüklemeye süresince artmaktadır. Çok hafif bir elektrolitik parlatma yüzeydeki kayma bantlarını kaldırarak, kalıcı kayma bantlarını ortaya çıkarmaktadır. Malzeme ömrünün yaklaşık %5'inden sonra görülen kalıcı kayma bantlarında çatlak meydana gelmektedir.

Yorulma olayında yüzeyde görülen en önemli değişiklik kayma bantlarının hareketine bağlı olarak ortaya çıkan "extrusion" ve "intrusion" adı verilen girinti ve çıkıntılarının meydana gelmesidir (Anonim 1984).



Şekil 2.2. Bir extrusion ve bir intrusion meydana getiren kayma hareketi

2.1.4 Yorulma Kırılmaları

Sürekli artan zorlamalarda şekil değiştirmenin tek yönlü olmasına karşın, yorulma zorlamasında kuvvet veya moment, dolayısıyla şekil değiştirme sürekli yön değiştirerek artma - azalma gösterir. Söz konusu şekil değiştirmeler malzemenin kristal kafesi tarafından tam elastik olarak karşılanabildikleri sürece tehlikeli değildir. Küçük kalıcı şekil değiştirmelerde kırılma olmadan kristal kafesi tarafından taşınabilirler. Kalıcı şekil değiştirmeler kristal kafesin çarpılması ile değil, kafesin değişik bölümlerinin yeni bir denge durumu sağlanıncaya kadar ötelenmesi yoluyla oluşurlar. Kafes kısımlarının birbirlerine göre ötelenmelerine kayma adı verilir ve olay kayma düzlemleri olarak adlandırılan tercihli bazı düzlemlerde olur. Kayma düzlemlerinin kristal kafesindeki konumu kristal yapısı ile ilgilidir.

Yorulma zorlamaları sonucu meydana gelen kayma, tek yönlü zorlamalardaki gibi dislokasyonların oluşumu ve ilerlemesi ile açıklanır. Bu şekil değiştirme mekanizması, parlatılmış deney parçalarının yüzeyinde yorulma sınırına yakın zorlamalar altında kayma çizgileri oluşmasıyla görünür duruma gelebilir. Tek yönlü zorlamalarda olduğu gibi yorulma zorlamaları sırasında da pekleşme olayı görülür. Pekleşme sadece şekil değiştirmenin miktarına değil, ayrıca az da olsa frekansa bağlıdır. Yorulma zorlaması

uygulanan malzemelerde yapılan metalografik incelemeler, pekleşme sonucu yapı değişikliklerinin oluştuğunu kanıtlamıştır. Bazı gözlemlerde ancak kayma ve yerel sıcaklık artışlarının varlığı ile açıklanabilecek çökelmeler görülmüştür. Tekrarlanan şekil değiştirmeler kristal kafes tarafından sürekli olarak taşınmadığı için, yorulma zorlamasının pekleşme dışında hasar etkisi de vardır. Kaymaların miktarına ve bir ölçüde de frekansa bağlı olarak belirli bir çevrim sayısından sonra ortaya çıkan hasara, malzeme yapısıyla ilgili olarak hangi olayların yol açtığı yeterince araştırılmış ve tatmin edici bir kuramsal açıklama yapılmış değildir. Bununla birlikte örneğin x-ışını araştırmaları hasar başlangıç kademeleri hakkında bazı bilgiler sağlamış ve yorulma sırasında iç gerilmelerin meydana geldiğini göstermiştir.

Şimdiye kadar elde edilen bilgilere dayanarak, yorulma zorlaması sırasında tekrarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yeteri kadar birikimi sonucu, malzemenin ayrılma dayanımının aşıldığı noktalarda mikroskobik boyuttan da küçük çatlaklar oluştuğu söylenebilir. Zorlama sırasında dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak bunlar mikro ve makroçatlaklar olarak birleşir ve sonunda bu çatlaklar herhangi bir yorulma kırılmasına neden olur.

Hasar çok küçük ve sınırlı bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerlediğinden dışarıdan herhangi bir kalıcı şekil değiştirme görülmez ve bu nedenle yorulma kırılmaları şekil değiştirmesiz olarak nitelenir. Hasarın ilk oluştuğu nokta çoğunlukla yüzeyde veya yüzeyin hemen altındadır, ancak heterojenliklerin veya malzeme hatalarının durumuna göre malzemenin iç kısmında da bulunabilir (Güleç ve Ark 1983).

2.1.5 Yorulma Olayına Etki Eden Faktörler

2.1.5.1 Malzeme Cinsinin, Bileşiminin ve Yapısının Etkisi

Genellikle malzemenin statik çekme dayanımı arttıkça, malzemenin yorulma dayanımı sınırida yükselir.

Çeliklerde alaşım elementleri statik çekme dayanımını artırarak, yorulma dayanımını da arttırlar. Çekme dayanımını arttırmadan sadece yorulma dayanımını arttıran alaşım elementi yoktur.

Alaşım elementlerinin (karbon hariç) çeliklerin yorulma dayanımını artırması aynı zamanda çeliklerin içyapısını da değiştirmelerine bağlıdır. Özellikle uygun su verme ve menevişleme işlemleri ile statik çekme dayanımı da artmaktadır. Isıl işlem uygulanacak çelik paçalarda alaşım elementlerinin en önemli rolü çeliklerin su alma derinliğini arttırarak, sertliğin yüzeyden itibaren daha derin kısımlara kadar artmasını sağlamak ve dolayısıyla yorulma dayanımını arttırmaktır. Bu eğrilerden izleneceği gibi, statik çekme dayanımları yüksek olan malzemelerin yorulma dayanımı da yüksektir. Çelik malzemelerde, genellikle 10^6 çevrim civarında Yorulma Dayanımı Sınırına varılmaktadır. Demir- dışı malzemelerde ise, örneğin şekilde Al - Cu alaşımı için, belirli bir yorulma sınırı yoktur.

Sünek malzemelere uygulanan son mekanik işlemlerin de yorulma dayanımına etkisi vardır. Soğuk işlem ile sertliği ve yüzey düzgünlüğü arttırılan malzemenin yorulma dayanımı sıcak işlem görmüş aynı malzemeye oranla daha yüksektir.

Tane boyutunun yorulma olayına etkisi birçok malzemeler için ihmal edilebilecek durumdadır.

Malzeme yapısındaki inklüzyon ve segregasyonlar yorulma dayanımı ile yorulma ömrünü azaltmaktadır. Örneğin vakum altında ergitilip dökülen çelikler inklüzyonlarından arttırılmış olduklarından yorulma dayanımları da yükseltir (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.2 Yüzey Özelliklerinin Etkisi

Yorulma olaylarında çatlak oluşumu genellikle yüzeyde başlar. Çünkü eğme ve burma gerilmelerinin uygulandığı durumlarda en yüksek gerilme yüzeylerde oluşur. Eksenel gerilme halinde, gerilmenin tüm kesimde üniform olarak dağılması beklenirken rasgele yönlenmiş çok taneli malzemelerde gerilme üniform dağılmayıp yüzeyde max. değerler alabilir.

Yüzeyde başlayan yorulma çatlağının kendisi daha sonra çentik etkisi göstereceğinden gerilme konsantrasyonuna ve dolayısıyla çatlağın hızla ilerlemesine yol açacaktır. Bu nedenle malzemenin yorulma dayanımını arttırmak büyük ölçüde yüzey çatlaklarının oluşumunu engellemekle olur. Çatlağa engel olma yüzey özelliklerinin arttırılması ile mümkündür.

Özellikle sert malzemelerde yüzeyin düzgünlüğü yorulma dayanımını büyük ölçüde artırmaktadır. Örneğin yüzeyi parlatılmış bir numunenin yorulma dayanımı sınırı, tornada kabaca işlenmiş bir numuneye oranla %15 ila %40 daha yüksektir. Yüzeydeki pürüzlülükler birer çentik etkisi yaparak, gerilme konsantrasyonuna ve dolayısıyla çatlak oluşumuna neden olmaktadır.

Yüzey düzgünlüğü yanında, yüzey sertliğinin artırılması da, çatlama karşı direnci arttıracığından, yorulma dayanımının artmasını sağlarlar. Çeliklerde sementasyon, nitrürasyon ve benzeri yüzey sertleştirme işlemleri yorulma dayanımı açısından oldukça fayda sağlamaktadır. Öte yandan karbon çeliklerinin tavlama ve sıcak işlenmesi esnasında yüzeyde karbon azalması oluşur. Yüzeydeki 1 mm'lik bir tabakada böyle bir olayın görülmesi yorulma dayanımını oldukça düşürür. Karbon azalması ile yüzeyde yumuşak tabaka elde edileceğinden çatlak küçük gerilmelerde dahi oluşacaktır (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.3 Çentik Etkisi

Parça kesidinde çentik, delik ve ani değişimlerin bulunması yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü büyük ölçüde azaltmaktadır. Parça kesidinde görülen bu tür süreksizlikler gerilme konsantrasyonuna ve dolayısıyla çatlak başlangıcına neden olurlar. Çentik etkisi çentiğin şekil ve boyutlarına bağlıdır.

Makine parçalarındaki ani kesit daralmaları, yağ deliği, yolluk, vida dişi ve benzeri kısımlar daima çentik etkisi gösterirler.

Mühendislik uygulamalarında, yorulma dayanımının saptanması için daha gerçekçi bir yaklaşım, gerilme konsantrasyonlarının etkisini göz önünde bulundurmakla yapılır. Bu amaç için bazı faktör veya katsayılar tanımlanmıştır. Bunlardan birisi (K_f) ile gösterilip *Çentik Faktörü* veya *Yorulma Dayanımı Küçültme Faktörü* adını alır.

$$K_f = \frac{\text{Çentiksiz Yorulma Dayanımı Sınırı}}{\text{Çentikli Yorulma Dayanımı Sınırı}}$$

K_f değeri çentiğin şekline, çentiğin etkinliğine, malzeme cinsine, gerilme türüne ve gerilme şiddetine bağlı olup değişen bir değerdir. Çentik hassasiyetini sağlamak için,

çentik türünün etkili olmadığı bir katsayı veya faktörün kullanılması daha uygun görülmüştür.

Basit geometrik şekilli çentiklerde elastisite teorisinden faydalanılarak yapılan hesaplamalarla, diğer durumlarda foto-elastisite tekniğinden faydalanılarak yapılan ölçümlerle, çentik tabanındaki max. gerilme saptanmaktadır. Buna göre (K_t) ile gösterilip *Teorik Gerilme Konsantrasyonu Faktörü* adı verilen bu faktör tanımlanmaktadır.

$$K_t = \frac{\text{Çentik tabanındaki max. gerilme}}{\text{Çentik kesitindeki ortalama (anılan) gerilme}}$$

(K_f) ve (K_t) değerlerinden faydalanılarak (q) *Çentik Hassasiyeti İndeksi* tanımlanmaktadır.

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1}$$

$K_f=1$ durumunda $q=0$ olup, malzeme çentikten etkilenmemektedir. $K_f=K_t$ durumunda ise $q=1$ olup, malzeme çentiğe aşırı derecede hassastır. (q) değeri numune boyutu ve çentiğin geometrik şekline bağlı olduğundan, malzemeye ait sabit değer olarak alınamaz (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.4 Gerilmelerin Etkisi

Yorulma deneylerinde gerilme türünün etkisi önemlidir. Genellikle aksenal gerilme ile düzlemsel eğme gerilmelerinin uygulandığı durumlarda sonuçlar birbirine çok yakındır. Burma gerilmelerinin uygulandığı durumlarda sonuçlar çok farklıdır. Burma gerilmelerinin uygulanması ile bulunan Yorulma Dayanım Sınırının, düzlemsel eğme gerilmesinin uygulanması ile bulunan Yorulma Dayanım Sınırına oranı, karbonlu çeliklerde 0.48 ila 0.64, alaşımli çeliklerde 0.44 ila 0.71, demir dışı metallerde 0.52 dir.

Aynı tür gerilme için ortalama gerilme, gerilme genliği ve gerilme oranının etkileri de önemlidir. Ortalama gerilme arttıkça, malzemenin belirli bir çevrim sayısına dayanabileceği gerilme genliği (veya gerilme aralığı) azalmaktadır. Gerilme genliğinin büyük olduğu durumlarda, malzemenin büyük çevrim sayılarına dayanabilmesi için ortalama gerilmenin sifra yaklaşması gerekir. Gerilme aralığı küçüldükçe malzemenin Yorulma Dayanım Sınırı yükselmektedir.

Deney öncesi numunede oluşan kalıcı iç gerilmeler de yorulma olayını etkilerler. Genellikle numune yüzeyinde oluşturulan basma yönünde kalıcı iç gerilmeler yorulma dayanım sınırı ve yorulma ömrünü artırmaktadırlar (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.5 Korozi Ortamının Etkisi

Korozyonun kimyasal etkisi ile yorulmanın mekanik etkisinin aynı anda oluşmasına *Korozyonlu Yorulma* olayı denir.

Yorulma olayından önce malzemenin korozyona uğraması, yorulma dayanımını azaltır. Burada, korozyonun sebep olduğu yüzeydeki çok küçük oyuklar (pürüzler) çentik etkisi yaparak malzemenin yorulma dayanımının düşmesine neden olurlar.

Korozyon ve yorulma olaylarının beraber olduğu durumlarda, yorulma dayanımında daha büyük düşüşler görülür. Korozyonun buradaki etkin rolü çatlak teşekkülünü ve çatlağın ilerlemesini hızlandırmasıdır.

Korozyon, yorulma deneyinde uygulanan frekansın etkisini de değiştirmektedir. Korozi ortamlarda, frekansın etkisini azaltmak için mümkün olduğu kadar yüksek hızlarda çalışılmalıdır. Küçük hızlarda, deney zamanı uzayacağından korozyon daha etkili olacak ve frekansın etkisini dolaylı olarak etkileyecektir (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.6 Sıcaklığın Etkisi

Oda sıcaklığının altında yapılan deneylerde, sıcaklık düştükçe yorulma dayanımı artmaktadır. Ancak sıcaklığın oda sıcaklığının altına inmesi malzemenin çentik hassasiyetini arttırmaktadır.

Oda sıcaklığının üstünde yapılan deneylerde genellikle sıcaklık yükseldikçe, yorulma dayanımı düşmektedir. Sadece düşük karbonlu çeliklerde 200 ila 300°C arasında yorulma dayanımında artış görülür. Bu olay 200-300°C arasında düşük karbonlu çeliklerin deformasyon yaşlanmasına uğrayarak çekme dayanımlarının artmasına bağlıdır.

Deney sıcaklığı belirli bir sıcaklığa çıktığında sürünme olayı daha etkili olur. Kopma, yorulmadan çok sürünme sonucunda gerçekleşir. Bu iki olayı birbirinden ayıran

kırılma türüdür. Yorulmada kırılma tane içinde (transgranüler), sürünmede tane sınırında (intergranüler) olmaktadır.

Makine parçalarının kullanılma esnasında sıcaklık değişimlerine uğramaları, ısısal gerilmelere yol açarak yorulmaya neden olabilirler. Sıcaklığın ΔT kadar değişmesiyle, malzemede oluşan gerilme;

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta T \text{ dir.}$$

α = lineer ısı genleşme katsayısı

E = elastisite modülü

Şayet bir defalık ani sıcaklık değişimi malzemenin çatlamasına yol açmışsa bu olaya *Isıl (Termal) Şok* adı verilir. Şayet çatlama çok sayıda tekrarlanan ısısal gerilmeler sonucunda olmuşsa bu olaya *Isısal (Termal) Yorulma* adı verilir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde ısı iletim katsayısı küçük, ısı genleşme katsayısı büyük olduğundan, bu malzeme Termal Yorulma Olayına çok hassastır (Kayalı ve Ark 1990).

2.1.5.7 Frekansın (Deney Hızının) Etkisi

Frekansın yorulma deney sonuçlarına etkisi kesin olarak saptanamamıştır. Deney cihazlarının çoğunda uygulanan 200 ila 10.000 çevrim /dakika'lık frekansın deney sonuçlarını pek etkilemediği kabul edilmektedir.

Düşük karbonlu çeliklerde, alüminyum alaşımlarında ve bakırda çok yüksek deney hızlarında Yorulma Dayanımı Sınırının da yükseldiği görülmüştür. Çok düşük deney hızlarında da Yorulma Dayanımı Sınırının azaldığı kabul edilmektedir.

Öte yandan çok yüksek frekanslarda, malzemede oluşan ısıların kısa zamanda yayınamaması, yorulma deneyi sonuçlarını olumsuz yönde etkileyeceği kabul edilmektedir (Kayalı ve Ark 1990).

2.2 Malzemelerde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi

2.2.1 Yorulma Dayanımının Tanımı

Yorulma dayanımı teriminden düzgün veya çentikli parçalarda, belirli bir ortalama gerilme için parçanın kırılmadan veya belirli bir şekil değiştirmeyi aşmadan sonsuz çevrim sayısında taşıyabileceği gerilme genliği anlaşılır. Müsaade edilebilir şekil değiştirmenin miktarı yorulma deneyinin yapıldığı şartlara (örneğin deney sıcaklığı) veya deney malzemesi cinsine bağlıdır (Güleç ve Ark 1983).

Sonsuz sayıda yük tekrarını kırılmadan veya aşırı şekil değişimine uğramadan taşıyabilen bir yapı elemanı, yorulmaya karşı dayanıklıdır denir. Taşınabilir en büyük anma gerilmesi genliği de yapı elemanının yorulma dayanımı olarak adlandırılır. Bir yapı elemanının yorulma dayanımı sadece bir malzeme özelliği olmayıp, bunun yanında parçanın büyüklüğü, biçimi ve üretim şekline bağlı olduğundan, anma gerilmesi ile verilen yorulma dayanımı, belirli bir biçim ve yüzey kalitesindeki parçanın konstrüktif dayanımı diye de tanımlanır (Güleç ve Ark 1983).

2.2.2 Yorulma Deney Türleri

Çalışma esnasında bir parçaya gelecek gerilme değişik tür ve şiddette olabilir. Ancak yorulma deneylerinde, malzemelerin tekrarlanan dinamik zorlamalar karşısında göstereceği direnç hakkında kantitatif bilgiler edinebilmek için, uygulamada en sık rastlanan belirli gerilme türleri ele alınmıştır. Bu tür gerilmelerin düzgün periyotlarla uygulanması halinde elde edilen sonuçlar kriter kabul edilerek teknik yorumlar yapılabilmektedir.

Deneyde kullanılan gerilme türü, yorulma deneyine de adını vermektedir. Gerilme türüne göre başlıca yorulma deneyi türleri şunlardır (Kayalı ve Ark 1990):

2.2.2.1 Eksenel Gerilmeli Yorulma Deneyi

En basit sistem olan bu sistemde numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve

basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune enince de üniform olarak dağılır.

Eksenel gerilmelerin söz konusu olduğu bir örnek, iç yanmalı motorların bağlantı rotlarıdır. Ancak burada eksenel gerilme yanında eğme kuvvetleri de oldukça etkilidir (Kayalı ve Ark 1990).

2.2.2.2 Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi

Bu deney türü kendi arasında ikiye ayrılır;

a - Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyi,

b - Dönen eğme gerilmeli yorulma deneyi.

Birinci deney türünde, numune nötr (tarafsız) bir düzleme (veya eksene) göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelerin oluştuğu en güzel örnek taşıtların yaprak yaylarıdır (makas yayları).

İkinci, deney türünde numune devamlı dönen bir (tarafsız) eksene göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelere örnek olarak, hareket halindeki taşıtların akslarında meydana gelen gerilmeler gösterilebilir. Aks başlıklarına (yatakları içinde kalan kısım) gelen yükün etkisi ve tekerleklerdeki tepkiden dolayı aksın herhangi bir ekseni her turda bir çekme bir basma gerilmesine uğrar. Bu olay bir demiryolu mühendisi olan Wöhler'i YORULMA üzerindeki çalışmalara yöneltten olaydır (Kayalı ve Ark 1990).

2.2.2.3 Burma Gerilmeli Yorulma Deneyi

Burada deney sabit bir eksene göre tekrarlanan burma (dönme) işlemi uygulanmaktadır. Araçların süspansiyon yaylarında ve çekme - basma kuvvetlerinin uygulandığı tüm helisel yaylarda bu tür burma gerilmeleri oluşur (Kayalı ve Ark 1990).

2.2.2.4 Birleşik Gerilmeli Yorulma Deneyi

Yukarıda sayılan farklı gerilme türünde ikisinin veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlarda bileşik gerilmeler söz konusu olur. Uygulamada en çok

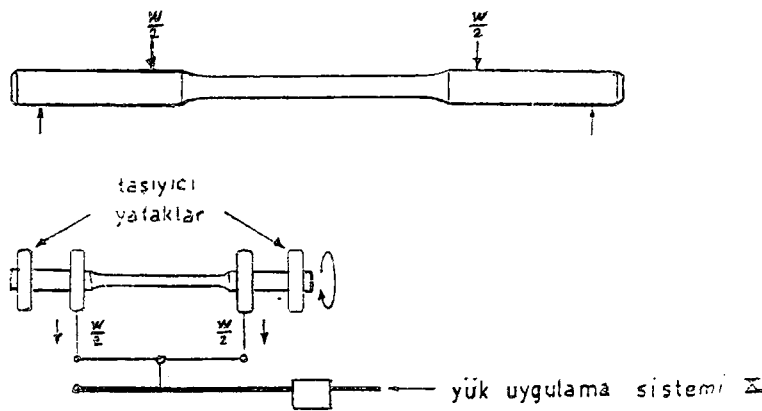
rastlanan bileşik gerilme durumu eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durum ile aksenal ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durumdur. Motorların krank mili başlıklarındaki gerilme eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu gerilme türüne ait güzel bir örnektir (Kayalı ve Ark 1990).

2.2.3 Yorulma Deney Cihazları

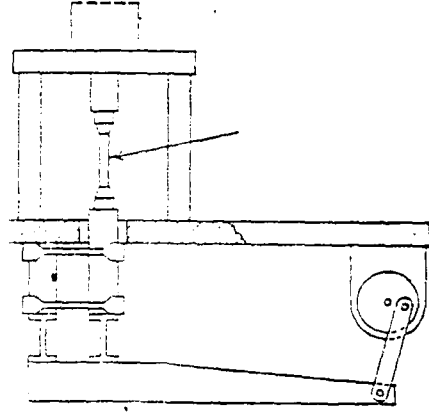
Yorulma deneyinde kullanılan cihazlar çok çeşitli olmalarına rağmen, bu cihazları numuneye uyguladıkları gerilme türü açısından 4 ana grupta toplamak mümkündür;

- 1-Eksenel çekme- basma gerilmeleri uygulayan cihazlar
- 2-Eğme gerilmeleri uygulayan cihazlar
 - a) Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan
 - b)Dönen eğme gerilmesi uygulayanlar
- 3- Burma gerilmesi uygulayan cihazlar
- 4- Birleşik gerilme uygulayan cihazlar

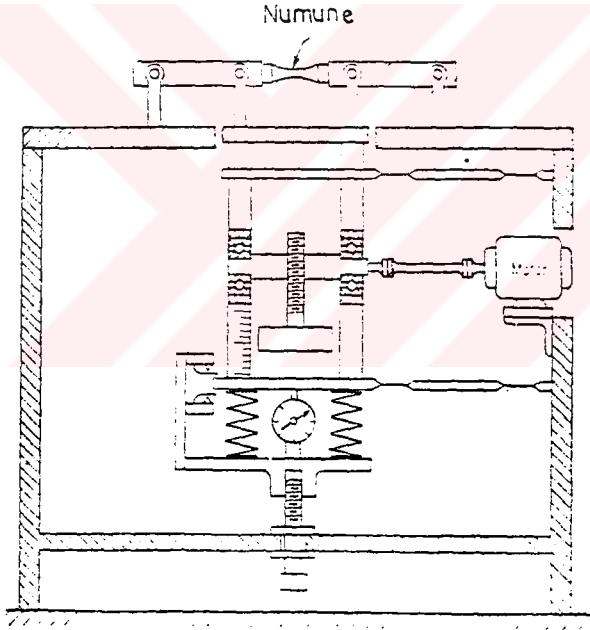
Yukarıda belirtilen her bir grup için değişik firma ve araştırma merkezlerince farklı cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlardan bazılarının çalışma prensipleri Şekil2.3, Şekil2.4 ve Şekil2.5’de verilmektedir.



Şekil 2.3. Numunenin dört noktasına kuvvet gelen ve dönen eğme gerilmeleri uygulanan Schenk (Simplex) modeli yorulma deneyi cihazının çalışma prensibi (Kayalı ve Ark 1990)



Şekil 2.4. Eksenel çekme ve basma gerilmeleri uygulanan, sabit gerilme genlikli yorulma deney cihazının şeması (Kayalı ve Ark 1990).



Şekil 2.5. Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan Sonntag modeli yorulma deneyi cihazının şeması (Kayalı ve Ark 1990).

Bu cihaz grupları içinde en çok kullanılan, çalışma prensibi en basit olan eğme gerilmesi uygulayan cihazlardır. Bunlar içinde düzlemsel eğme gerilmesi uygulayanlar genellikle yassı ürünler için kullanılmaktadır.

Malzeme çalışma esnasında ne tür gerilmelere uğrayacaksa, o tür gerilmelerin uygulandığı deney cihazının seçilmesi gerekir. Aksi takdirde elde edilen sonuçlar güvenilir olamaz.

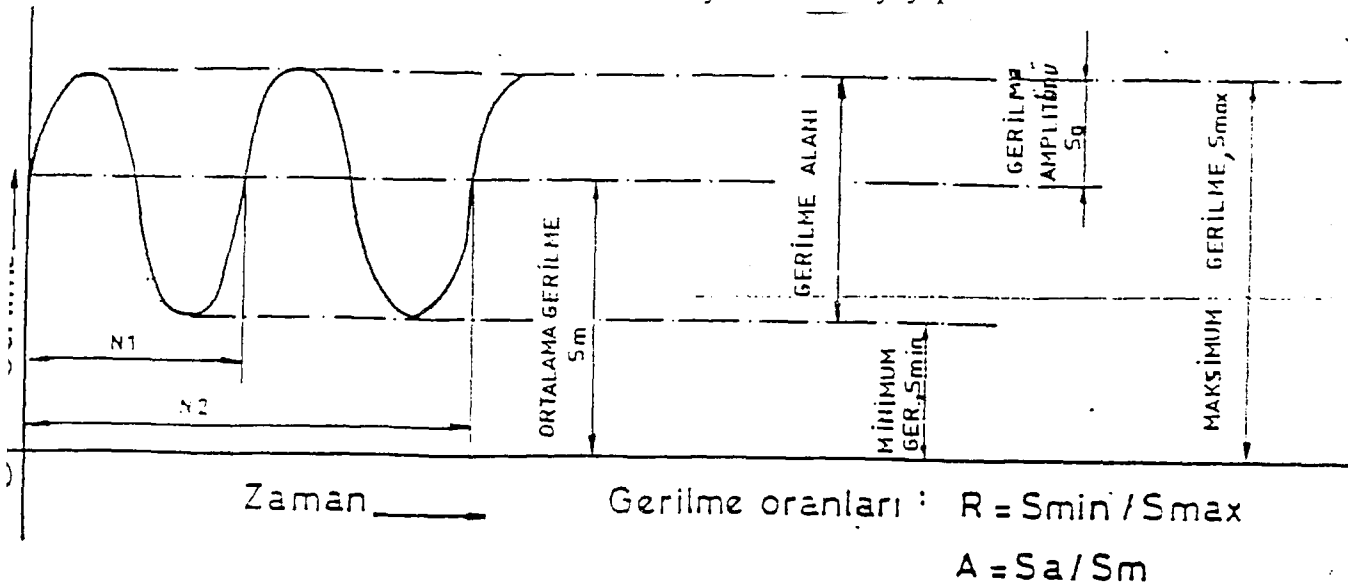
Yorulma deneyi cihazları, çalışma prensiplerine göre de mekanik, elektro mekanik, manyetik, hidrolik ve elektro hidrolik cihaz diye sınıflandırılabilir.

Yorulma deneyi cihazlarının tümünde en önemli özellik deney süresince istenen türde ve istenen mertebede gerilmenin sağlanabilmesidir. Deney süresince, uygulanan yükte meydana gelecek değişim, cihazın çalışma kapasitesinin %2'sini aşmamalıdır. Cihazlarda uygulanan kuvvetleri gösterebilecek ve kontrolünü sağlayabilecek düzen bulunmalıdır.

Deney cihazlarına çevrim sayısını kaydeden sayaç bulunmalıdır. Sayaç, numune kırıldığı anda otomatik olarak durabilecek özelliğe sahip olmalıdır (Kayalı ve Ark 1990).

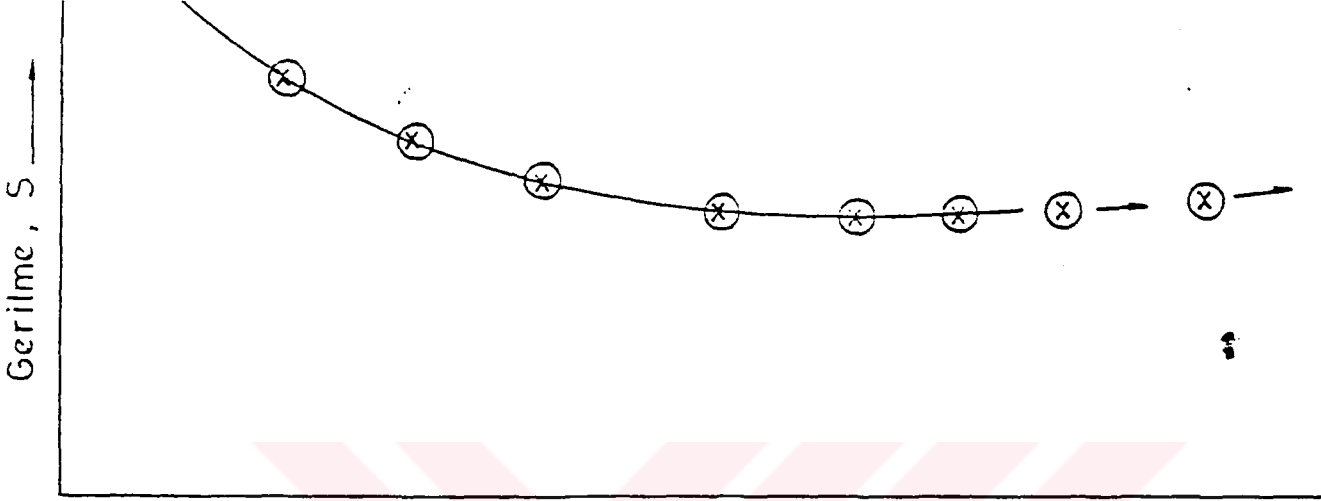
2.2.4 Sinüzoidal Yükleme ve S-N Eğrisi

Alışılmış, klasik, yorulma deneyleri, gerilmenin veya şekil değişiminin zamanla sinüzoidal bir fonksiyona uyacak tarzda değiştirilmesi ile yapılmaktadır (Şekil 2.6). Yükleme frekansını sabit alarak, Şekil 2.6'da görülen, beş adet gerilme parametresinden sadece biri ve bir gerilme oranı seçilerek deneye başlanabilir. Pratikte aşağıda belirtilen metotlardan biri kullanılarak laboratuarda yorulma deneyi yapılır:



Şekil 2.6. Yorulma deneyinde sinüzoidal yükleme

- 1- Minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranı, R 'yi, sabit alarak her bir sabit R değeri için farklı numunelerde, S_{max} , maksimum gerilme değiştirilerek kırılmaya kadar geçen, N , yükleme sayısı kaydedilir.
- 2- S_m , ortalama gerilmeyi sabit alarak, her bir S_m değeri için, S_a , gerilme genliği değiştirilir. Kırılmaya kadar geçen, N , yükleme sayısı kaydedilir.

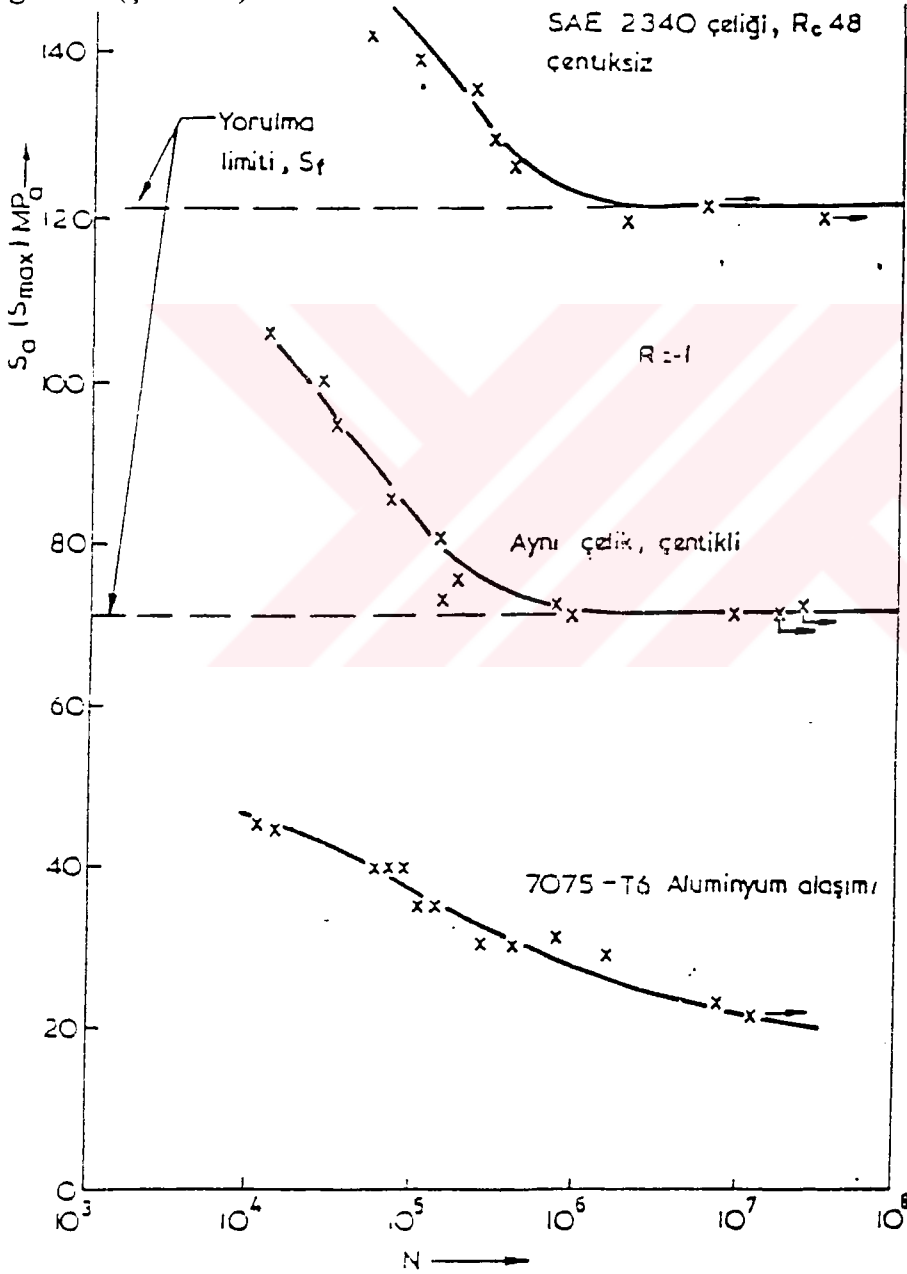


Kırılmaya kadar geçen yükleme sayısı, N —————
Şekil 2.7. S-N veya Wöhler eğrisi

Kırılmaya kadar geçen yüklemeye sayısı, N , absizde, gerilme değeri, S , ordinatda olmak üzere çizilen diyagramlara "S-N" eğrisi ismi verilir (Şekil 2.7). S , İngilizce gerilme manasına gelen "Stress" kelimesinin, N , İngilizce sayı manasına gelen "Number" kelimesinin baş harfidir. Yorulmada "S-N" eğrisi için, yorulmada ilk sistematik araştırmacı kişi olarak bilinen August Wöhler'in ismine izafeten, "Wöhler" eğrisi de denir. "S-N" eğrisindeki gerilme, S_{max} , maksimum gerilme olabileceği gibi, S_a gerilme amplitüdü de olabilir. Her iki halde de ordinatdaki gerilmenin hangi gerilme olduğu açıkça belirtilmelidir. "S-N" eğrisi üzerinde bulunan her nokta, deney şartları altında malzemeyi kırarak gerilme değeri "S-N" eğrisi kullanılmak suretiyle bulunabilir. Böylece "S-N" veya "Wöhler" eğrisi altındaki bölge, deney şartları altında malzemenin tahrip olmadan çalışabileceği, "gerilme ve yüklemeye sayısı" değerleri içinde bulunur. Diğer bir deyişle "S-N" eğrisi üzerindeki bölgede çalışıldığında malzemenin tahribi kaçınılmaz olur.

Bazı malzemelerde bilhassa demir - çelik alaşımlarında belirli bir, "gerilme - yüklemeye sayısı" noktasından sonra eğri, yatay eksene paralel hale gelir. Böylece "S-

N eğrisine asimptot olan gerilme değerinin altında kaldıkça sonsuz sayıda yükleme dahi malzemenin tahrip olmayacağı kabul olunabilir. Bu gerilme değerine “Yorulma Limiti” adı verilir (Şekil 2.8). “Yorulma Limiti” değerinin sadece ve sadece deney şartları için geçerli olduğu, aynı malzeme deney şartları dışında çalıştırıldığında “Yorulma Limiti” değerinin tam olarak geçerli kabul edilmemesi gerektiği gözden çıkarılmamalıdır. Kaldıkça aynı deney şartlarında malzemenin geometrisindeki ufak bir değişiklik “Yorulma Limiti” değerini değiştireceği gibi, bazı malzemelerde, “S-N” eğrisi absis eksenine paralel hale gelmez. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Sinüzoidal yüklemde yorulma eğrileri

“S-N” eğrilerinin kırılmaya kadar geçen yüklemeyi gösteren absis eksenini genellikle logaritmiktir. Eğri üzerinde bazı deney noktalarında “ok” bulunması numunelerin gösterilen, N yükleme sayısında kırılmadığını gösterir.

Bazen ordinat ekseninde maksimum gerilme amplitüdünün maksimum çekme gerilmesine oranı da yazılabilir. Bu takdirdeki en büyük rakam “1” den büyük olamaz. Bu tür bir çizim “Yorulma Mukavemeti” ile çekme deneyiyle bulunan “Maksimum Çekme Gerilmesi”nin kolayca yapılmasını sağlar.

“S-N” eğrilerinin elde edilmesi için uygulanan yükleme alternatif çekme ve basma şeklinde olabileceği gibi, torsiyon, eğme ve diğer bir yükleme tarzında da olabilir. Yükleme şekli ne olursa olsun, gerilmenin artışı ile malzeme için “Yorulma Limiti” veya “Yorulma Mukavemeti” adı verilen bir gerilme değeri elde edilir; bu gerilmenin altındaki yüklemelerde malzeme tahrip olmaz (Anonim 1984).

2.2.5. Smith Diyagramı

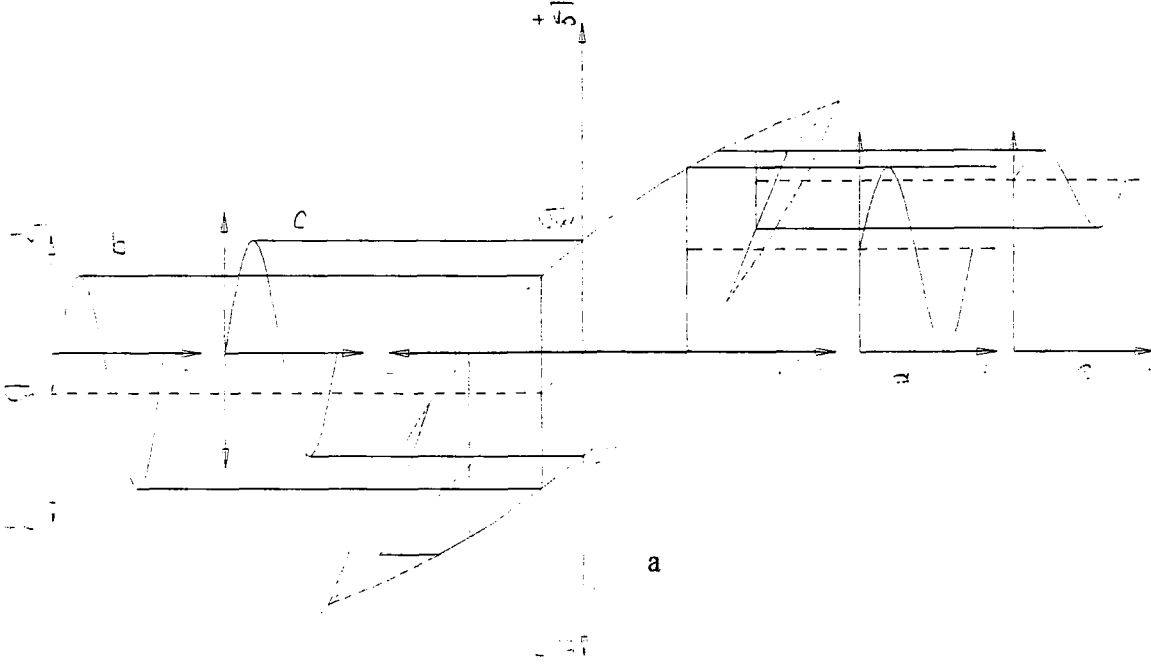
Bir malzemenin çeşitli ortalama gerilmelerdeki sürekli titreşim davranışı ile ilgili kesin bir genel görüntüyü yorulma mukavemeti diyagramları verirler. Bunların arasında en tanınmış *Smith* tarafından çizilenidir.

Bu diyagram, malzemenin dayanabileceği üst ve alt gerilmeleri (ordinat), ortalama gerilmenin üzerine (apsis) çizilmiş olarak gösterir. Ordinat değerleri üstten ve alttan akma ve ezilme sınırları ile sınırlanmıştır. Üst ve alt gerilme eğrilerinin uzantıları bir noktada kesişir. Bu nokta statik mukavemeti gösterir.

Malzemenin dayanabileceği gerilme genişlikleri, her ortalama gerilme için eksenlere 45° lik açı yapan doğrudan o noktada yatay eksene dik çizgiler inerek (çıkarak) tespit edilir.

Kesiksiz kalın çizgi ile sınırlandırılmış bölge içerisindeki gerilmelerde yorulma kopması meydana gelmez.

Şekil 2.9 yorulma mukavemeti diyagramı yanında bazı dinamik yükleme durumlarına ait gerilme-zaman diyagramları da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Çekme-Basma yüklemelerine ait yorulma mukavemeti diyagramı

Kısım a: Yorulma mukavemeti diyagramı. Dört farklı ortalama gerilmeye ait gerilme genişlikleri yardımcı doğrularla gösterilmiş ve izdüşümleri yan taraflarda gösterilmiştir.

Kısım b: Zıt yönlü yükleme bölgesinde basma zorlaması. Alt gerilme çekme bölgesine kadar uzanmıştır.

Kısım c: Çekme-basma zıt yönlü yüklemesi. Ortalama gerilme sıfırdır. Gerilme genişlikleri eşit olup, zıt yönlü yükleme mukavemetine erişmiştir.

Kısım d: Çekme tek yönlü yüklemesi. Alt gerilme sıfırdır. Ortalama gerilme genişliğine eşittir. Üst gerilme çekme tek yönlü yükleme mukavemetine eşittir.

Kısım e: Yüksek ortalama gerilmeye sahip tek yönlü yükleme bölgesinde çekme yüklemesi. Malzemenin dayanabileceği gerilme genişliği çok küçüktür. Üst ve alt gerilme aynı yöne sahiptir (Weissavach 1993).

2.2.6. Pohl Diyagramı

Pohl'e göre değişken ve tekrarlı yüklemenin yorulma sınırının işaretlenmesi için σ_m ortalama gerilmenin σ_{max} maksimum gerilime oranları uygulanmakta ve r değeri tanımlanmaktadır.

$$r = \frac{\sigma_m}{\sigma_{max}}$$

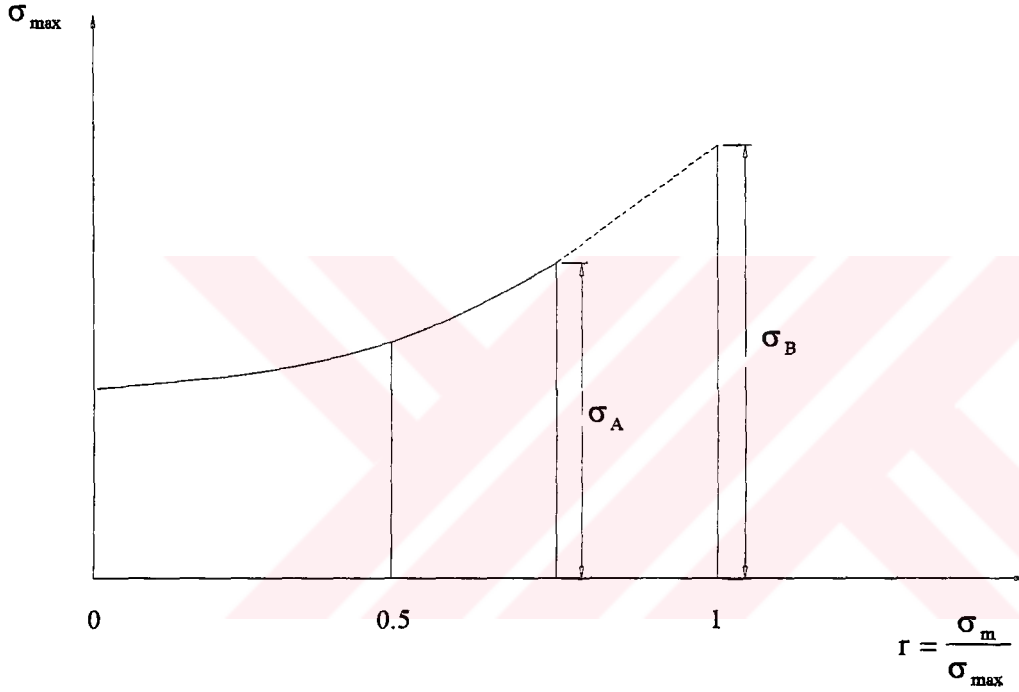
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$\sigma_m = 0$ durumunda $r = 0$, $\sigma_{\min} = 0$ durumunda $r = 0.5$ ve $\sigma_{\max} = \sigma_B$ (Çekme Dayanımı) durumunda $r = 1$ 'dir.

Pohl'a göre yorulma dayanımının üst limiti r 'ye bağlı olarak gösterilmektedir. Sınır çizgisinin alt kısmında malzemede yorulma görülmemektedir. (Wellinger 1971)

σ_A = Akma Gerilmesi

σ_B = Çekme Gerilmesi



Şekil 2.10. Pohl'a göre yorulma mukavemeti diyagramı (Wellinger 1971)

Benzer şekilde $\sigma_{\max} = f\left(\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right)$ şeklinde ifadelerin gösterilmesini esas alan

diyagramlarda mevcuttur (Moore, Jasper Diyagramı)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 1.2080 Soğuk İş Takım Çeliği

Standart No: 1.2080

DIN Sembolü : X210Cr12

Yüksek karbonlu, yüksek kromlu soğuk iş takım çeliği. Kullanım yerleri; yüksek güçlü kesme ve pres kalıpları, stampa, makas ağzı, kesici ağzı, tahta frezesi, çekme matrisi mandrel (Topbaş 1993).

Çizelge 3.1. TS3921'e göre 1.2080 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Sembol	Malzeme Numarası	Bileşim (% Ağırlık)			
		C	Si	Mn	Cr
X210Cr12	1.2080	1.90-2.20	0.10-0.40	0.15-0.45	11.0-12.0

3.1.2. 1.7225 Islah Çeliği

Standart No: 1.7225

DIN Sembolü: 42CrMo4

Krom-molibden alaşımlı ıslah çeliği. Kullanım yerleri; otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovana, yivli mil vb. sünekliği yüksek parçalar, dişli çark ve bandaj (Topbaş 1993).

Çizelge 3.2. TS2525'e göre 1.7225 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Sembol	Malzeme Numarası	Bileşim (% Ağırlık)						
		C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo
42CrMo4	1.7225	0.38-0.45	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30

3.1.3 Ck45 Islah Çeliği

Standart No: Ç1045

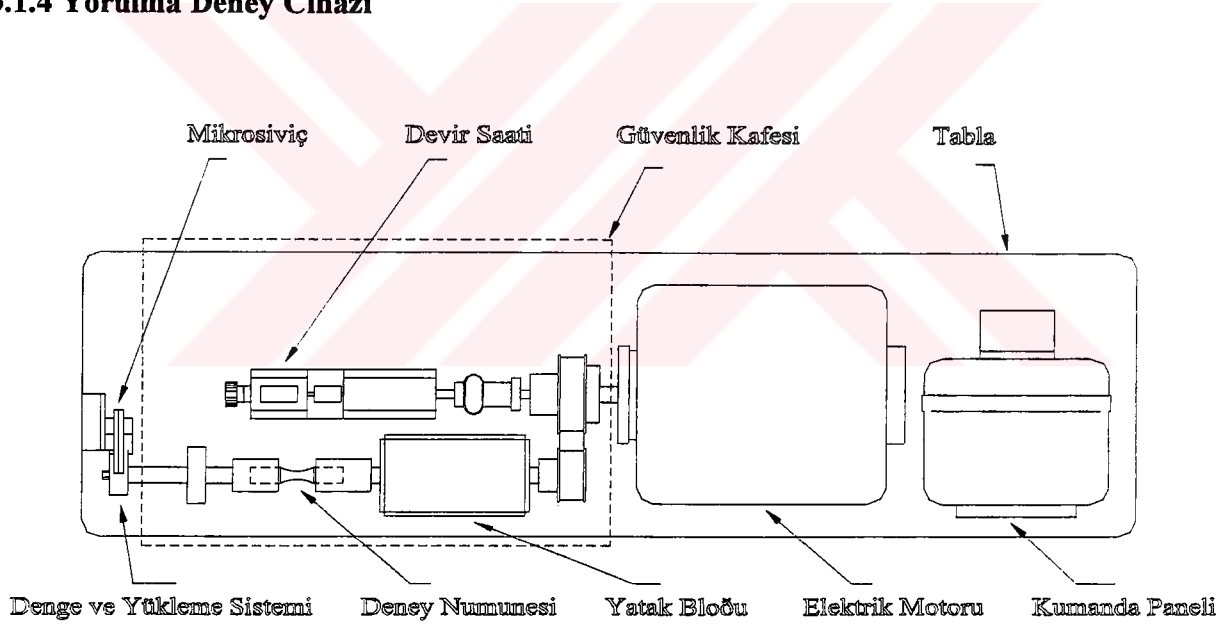
DIN Sembolü: Ck45

%0.45 karbon içeren imalat çeliği. Kullanım yerleri; taşıt, makine, motor ve aparat yapımında, orta zorlanan ve talaşlı işlenecek parçalar.

Çizelge 3.3. TS2525'e göre Ck45 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Sembol	Malzeme Numarası	Bileşim (% Ağırlık)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Ck45	Ç1045	0.42-	0.4	0.50-	0.035	0.035	0.40	0.10	0.40
		0.50	max	0.80	max	max	max	max	max

3.1.4 Yorulma Deney Cihazı

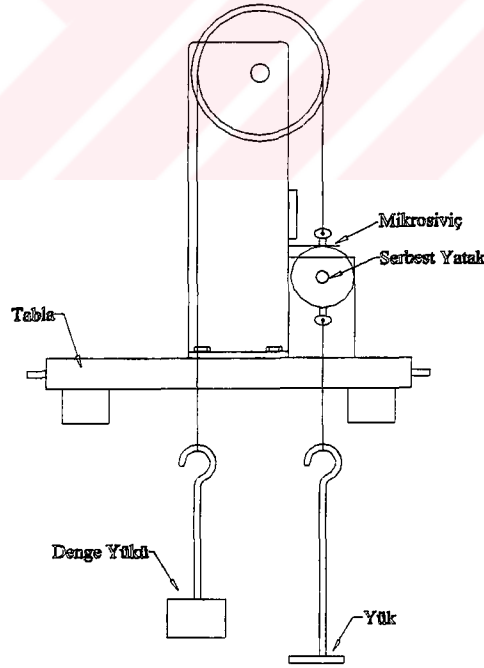


Şekil 3.1. Yorulma deney cihazı

1.2080 (X210 Cr12), 1.7225 (42Cr Mo4), Ck45 çeliklerinden hazırlanan numunelerin yorulma dayanımı açısından optimum ısıl işlem parametrelerinin belirlenmesi

amacıyla yapılan bu çalışmada Bölüm 2.2.2.2’de deney prensibi anlatılan dönel eğme gerilmeli yorulma deney yöntemi kullanılmıştır.

Labaratuvardaki yorulma deneyleri için kullanılan cihazın (HI-TECH Limited (İngiltere) yapımı) şematik görünümü Şekil 3.1 de verilmiştir. 2870 dev/dak. ile dönen deney numunesi biri yatak bloğundan diğeri ise yükün uygulandığı serbest uçta olmak üzere iki çene arasına bağlantılıdır. Yük ise cihazın sol tarafında bulunan serbest rulmanlı yatak üzerine bağlanmaktadır. Dönme esnasında uygulanan yükün daha dengeli ve titreşime maruz kalmadan iletilebilmesi amacıyla Şekil 3.2’de gösterildiği gibi 2N’luk yapılan bir dengeleme sistemi mevcuttur. Deney numunesi yorulur kırıldıktan sonra cihazın otomatik olarak durması için serbest yatağın üzerinde bir mikrosviç bulunmaktadır. Numunenin deney esnasında döndüğü süre ise cihazdaki sayaç tarafından ölçülmektedir. Daha sonra dönme süresi devir sayısına çevrilerek numunenin devir cinsinden ömrü tespit edilmiş olur (Anonim 1993).

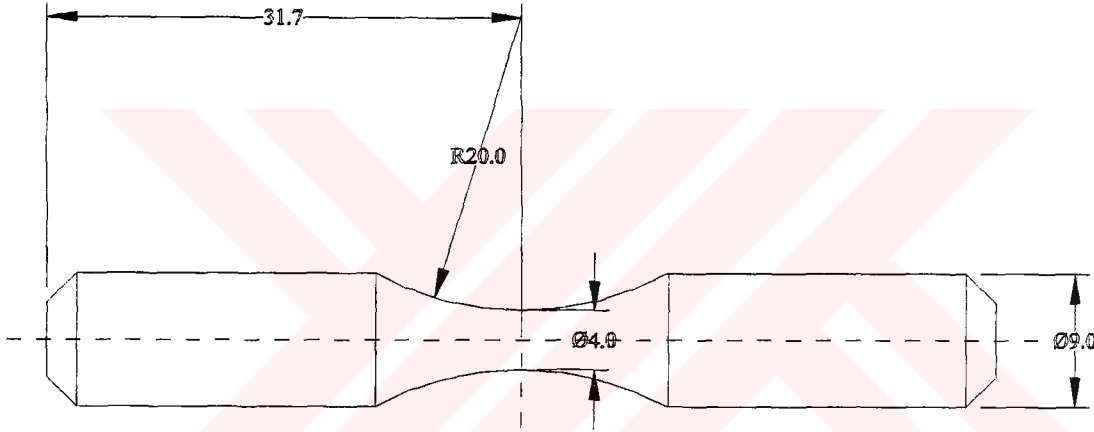


Şekil 3.2. Yorulma Cihazında Yük Denge Sistemi

3.2 Yöntem

3.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yorulma deneyinde 1.2080, 1.7225 ve Ck45 çeliklerinden hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Numuneler (Şekil 3.3) 10mm çaplı milden, 70 mm boyda kesilerek üniversal torna tezgahında özel kalem bilenererek hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Yorulma Deney Numunesi

Numuneler, her kaliteden 15 adet olmak üzere 45 adet hazırlanmıştır. Yüzey özelliklerinin kötü etkisini azaltmak amacıyla numunelerin her birisine sırasıyla 300-500-1000-1200 numaralı zımparalar kullanılarak yüzey pürüzlüğü olabildiğince düşürülmüştür. Zımparalama işlemi yine üniversal bir torna tezgahında elle yapılmıştır. Talaşlı imalat ile numuneler bu şekilde işlemlerden geçtikten sonra diğer ısıl işlem ve yüzey işlemlerine hazır olmuşlardır.

3.2.2. Uygulanan Isıl İşlemler

3.2.2.1. Normalizasyon

Normalizasyon tavlama işlemi malzemenin normal yapısını (eşit boydaki yuvarlak tanelerden oluşan ince taneli yapı) yeniden kazanmasıdır. Döğülmüş, haddelenmiş, çekilmiş, dökülmüş, iri taneli ve eş yönlendirilmiş yapılar düzelir ve malzeme her zaman yeniden kazanabileceği özelliklere (çekme mukavemeti, süneklik v.s.) geri döner (Weissavach 1993).

Normalizasyon kısaca, çeliğin östenitleme sıcaklığına kadar (çeliğin sertleştirme sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar) ve bu sıcaklıkta 30 - 45 dakikalık bir süre tutulması ve sonra durgun havada soğutulması işlemidir. Normalizasyon sonucu oluşan ince taneli yapı ferritik - perlitiktir. Normalizasyon işlemi; kontrolsüz şekilde soğuyan döküm veya sıcak dövme parçaları, yüksek sıcaklıkta uzun zaman tavlanan parçalar (difüzyon tavlama gibi), yüksek derecede soğuk şekil değiştirmiş parçalar (haddeleme gibi) ve kaynak edilmiş parçalarda uygulanmaktadır.

Normalizasyon genellikle C çeliklerine, uygulanacak diğer işlemlerden önce eşdeğer çıkış şartlarına ulaştırmak için alaşımli çeliklere uygulanır.

1.2080 ve Ck45 kalitelerinden hazırlanan yorulma numunelerine Çizelge 3.4'teki sıcaklık ve sürelerde normalizasyon tavlama işlemi uygulanmıştır.

Çizelge 3.4. Numunelerin Normalizasyon Sıcaklık ve Süreleri

Malzeme	Normalizasyon Sıcaklığı (°C)	Bu Sıcaklıkta Tutma Süresi (dak)
1.2080	700	45
1.7225	860	45
Ck45	840	45

3.2.2.2. Sertleştirme

Sertleştirme işlemi öncelikle çelik parçanın ostenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak, uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Ostenit sıcaklığında tutma süresini, çelik parçanın ostenit fazda homojen bir yapıya ulaşması belirler ve bu süre çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişir.

Ötektoidaltı çelikler için tavsiye edilen ostenitleştirme sıcaklığı A_3 çizgisinin 30-50°C üzerindedir. Ötektoidüstü çelikler için ise, ostenitleştirme sıcaklığı genellikle A_{cm} ile A_1 çizgileri arasındadır. Ötektoidüstü çelikler için, bu sınırlar arasındaki sıcaklıktan yapılacak sertleştirme işlemi sonucunda, mikro yapıda çözülmemiş karbür taneleri görülür. A_{cm} çizgisi büyük bir açıyla yükseldiği için ostenit fazda proötektoid sementitin çözülmesi için yüksek sıcaklığa çıkmak gerekir. Bu durum ostenit tane büyümesine sebep olacağından, soğutma esnasında parçanın çatlama tehlikesini arttıracaktır.

Ostenit faz sıcaklığında homojenliği sağlamak için yeterli süre bekletilmiş çelik parça, yüksek hızla soğutulursa martenzite dönüşür. Dönüşüm esnasında çeliğin kristal yapısında, yüzey merkezli kübikten hacim merkezli tetragonal kristal yapısına değişiklik olur. Hacim merkezli tetragonal kristalin boyutlarındaki oran (c/a oranı) çeliğin kimyasal bileşimindeki karbon miktarındaki artışa bağlı olarak büyür. Martensit sertliğinin esas çeliğin kristal yapısındaki bu değişikliktir.

1.2080 ve Ck45 kalitelerinden hazırlanan yorulma numunelerine normalizasyon işlemi sonrası Çizelge 3.5.'de belirtilen sıcaklık ve ortamlarda sertleştirme işlemi uygulanmıştır.

Çizelge 3.5. Numunelerin Su Verme Sıcaklık ve Ortamları

Malzeme	Su Verme Sıcaklığı (°C)	Su Verme Ortamı
1.2080	950	Yağda
1.7225	840	Yağda
Ck45	840	Su

3.2.2.3. Temperleme

Sertleştirme sonrası elde edilen martensit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevreklerdir. Aynı zamanda, ostenitin martensite dönüşümü, parçada yüksek gerilmeler bırakır. Bu sebeplerden, hem parçanın gevrekliğini giderek tok bir yapı kazandırmak ve hemde ortaya çıkmış gerilmeleri ortadan kaldırmak amacıyla temperleme adı verilen ısıtma işlemi uygulanır.

Temperleme, çelik parçasının A_1 sıcaklığı altında belli bir süre ısıtılması işlemidir. A_1 sıcaklığına (723°C) kadar geniş bir sıcaklık alanında yapılabileceğinden, çeliğin mekanik özellikleri ve mikro yapısındaki bazı değişiklikler söz konusu olacaktır. Temperleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak sertlikte azalma ve toklukta artma gözlenir. Ancak, yükselen sıcaklıkta tokluğun artması, çekme deneyinde kesit daralması veya uzama olarak ölçüldüğünde doğrudur. Fakat eğer tokluk çentik darbe deneyi ile ölçülecek ise temperleme işleminde yükselen sıcaklıkla tokluğun artacağı genellemesine gidilemez (Asil çelik 6).

1.2080, 1.7225 ve Ck45 çeliklerinden hazırlanan numuneler Çizelge 3.6'da belirtilen sıcaklık ve sürelerde temperlenmiştir.

Çizelge 3.6. Numunelerin Temperleme Sıcaklık ve Süreleri

Malzeme	Temperleme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Temperleme Süresi (Saat)
1.2080	200-400-600	2
1.7225	200-400-600	2
Ck45	200-400-600	2

3.2.2.4. Borlama

Borlama sadece 1.2080 malzemelerinden hazırlanan numunelere, sert ve aşınmaya dayanıklı borür tabakasının yorulmaya etkisinin gösterilmesi amacıyla (sadece karşılaştırmak bakımından) uygulanmıştır. Borlama B_4C esaslı ortamda 900°C ' de (4

saat), Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Borlama işleminde tek fazlı borür tabakasının üretilmesine (Fe_2B) dikkat edilmiştir.

3.2.3 Gerilme Tayini

Yorulma cihazında 4 mm'lik standart numunenin kullanılması halinde kritik kesitle yükün etki ettiği nokta arasındaki uzaklık 125.7 mm'dir. Yük P ile gösterilirse, yükün uygulayacağı gerilme aşağıdaki şekilde formülize edilebilir.

$$\sigma = \text{Gerilme (N/mm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Yük (N)}$$

$$\sigma = \frac{125.7 P \times 32}{\pi \times 4^3} = 20 P \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. 1.2080 Çeliğinin Test Sonuçları

1.2080 çeliğinin normalizasyon ve sertleştirme öncesi ve sonrası Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

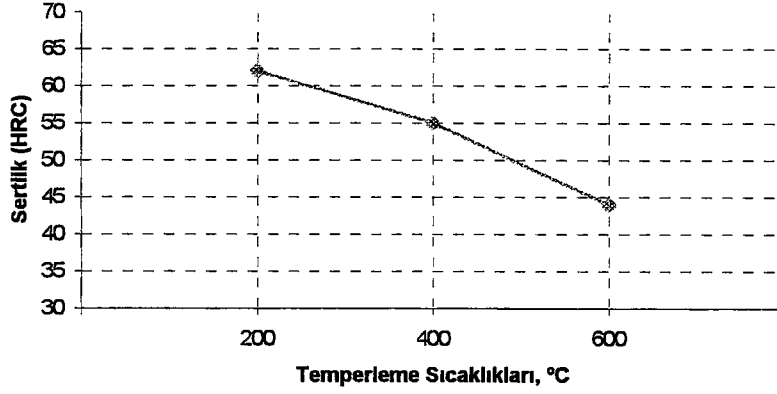
Çizelge 4.1. 1.2080 Çeliğinin Sertlik Ölçümleri, HRC

Ölçüm	Isıl İşlem Öncesi	Normalizasyon Sonrası	Sertleştirme Sonrası
1	23	44	65
2	22	41	62
3	23	45	64
4	23	43	63
5	25	45	64
Ortalama	23	44	64

1.2080 çeliğinin 2 saat süre ile sırasıyla 200°C - 400°C - 600°C sıcaklıklarda temperlenmesi sonrası sertlik ölçümleri sırasıyla Çizelge 4.2'de,de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 1.2080 Çeliğinin Temperleme Sonrası Sertlik Ölçümleri, HRC

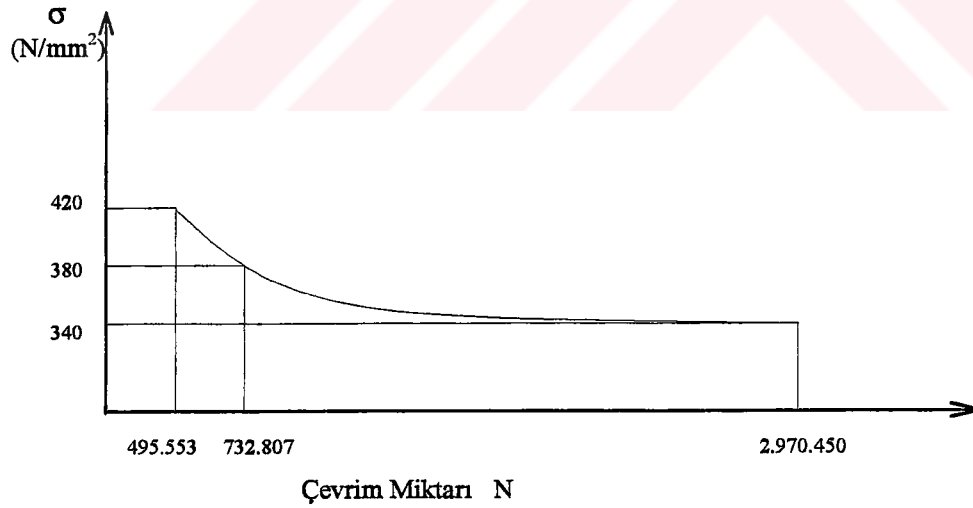
Ölçüm	200°C	400°C	600°C
1	62	56	44
2	64	56	45
3	62	54	43
4	63	55	43
5	61	54	44
Ortalamalar	62	55	44



Şekil 4.1. 1.2080 Çeliğinin temperleme işlemleri sonucu sertlik değişimleri

Çizelge 4.3. 1.2080 Çeliğinin Normalizasyon Sonrası Yorulma Deney Sonuçları

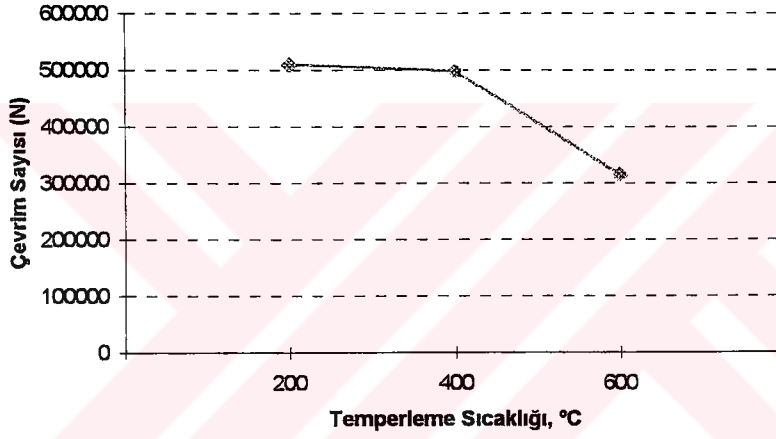
Gerilme (N/mm ²)	Çevrim Sayısı
340	2.970.450
380	732.807
420	495.553



Şekil 4.2. 1.2080 Çeliğinin normalizasyon sonucu yorulma deney sonuçları

Çizelge 4.4. 1.2080 Çeliğinin Temperleme İşlemleri Sonrası 440 N/mm² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Çevrim Sayısı (Devir)
200	510.094
400	497.003
600	314.361



Şekil 4.3. 1.2080 Çeliğinin Temperleme İşlemleri Sonrası 440 N/mm² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları

Çizelge 4.5. 1.2080 Çeliğinin Sertleştirme ve Borlama İşlemleri Sonucunda 400N/mm² Gerilme Değerinde Yorulma Deney Sonuçları

Uygulanan İşlem	Çevrim Sayısı (Devir)
Sertleştirme	41.328
Borlama	41.041

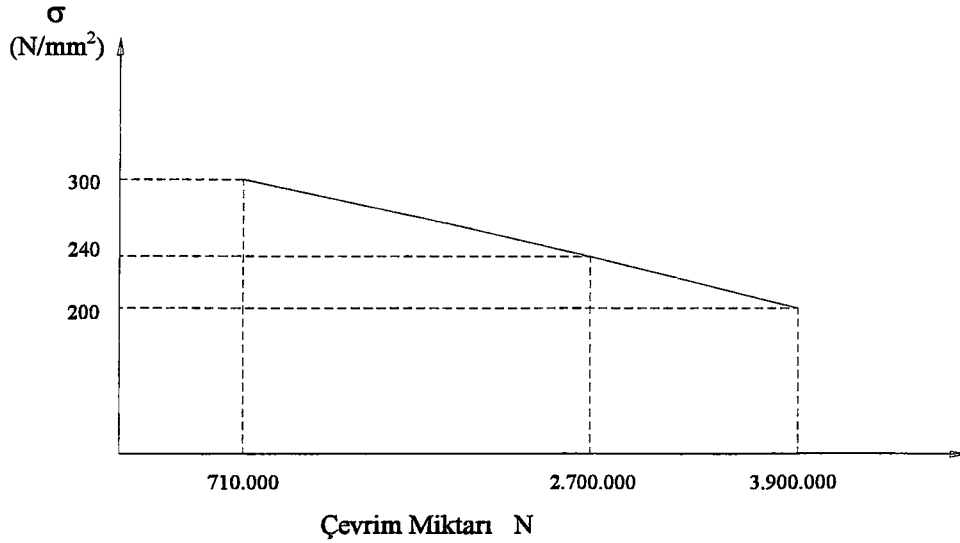
4.2. Ck45 Çeliğinin Test Sonuçları

Çizelge 4.6. Ck45 Çeliğinin Sertlik Ölçümleri, HRC

Ölçüm	Isıl İşlem Öncesi	Normalizasyon Sonrası	Sertleştirme Sonrası
1	20	14	60
2	18	13	61
3	21	13	63
4	21	12	62
5	18	14	61
Ortalama	20	13	62

Çizelge 4.7. Ck45 Çeliğinin Normalizasyon Sonrası Yorulma Deney Sonuçları

Gerilme (N/mm ²)	Çevrim Sayısı
200	3.900.000
240	2.700.000
300	710.000



Şekil 4.4. Ck45 Çeliğinin normalizasyon sonucu yorulma deney sonuçları

4.3. Tartışma

1. Yorulma deneyini veya yorulma ömrünü tekrarlanan gerilme büyüklüğü dışında bir çok faktör etkilemektedir. En iyi sonuçların elde edilebilmesi için çalışmada belirtilen bu faktörlerin kontrol altına alınması gerekmektedir. Bunun için cihazda parça bağlama sisteminin revize edilmesi, cihazın mümkün olduğunca titreşime maruz kalmayacağı, yüklerin dış etkenlerle sallanmayacağı bir ortam olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun dışındaki deneyin gidişatını etkileyen ve bu tezde açıklanmaya çalışılan tüm olumsuz faktörlerin elimine edilmesi gerekmektedir.

2. Deneysel çalışmalar sonucunda - beklenildiği gibi - artan gerilme ile birlikte yorulma ömrünün düştüğü ve 1.2080 çeliğinde 340 N/mm^2 gerilme değerinde sürekli mukavemet değerine ulaştığı görülmektedir. ($N \approx 3 \cdot 10^6$)

Ck45'de ise yapılan deney aralığında düşüş lineer olup sürekli mukavemet değerine ulaşamamıştır. Davranışın belirlenebilmesi için çok sayıda numune ve deney gerekmektedir.

3. Sertlik değerinin temperleme sıcaklığı ile nasıl değiştiği Şekil 4.1'de görülmektedir. Sabit yüklemde (440 N/mm^2) aynı şartlarda temperleme sonucunda yorulma ömrünün temperleme sıcaklığı ile düştüğü görülmektedir. Bu sonuç belirtilen ölçme aralığında sabit yüklemde çevrim sayısının sertlik değeriyle arttığını göstermektedir.

Temperleme sıcaklığının artmasıyla yapı içersinde artarak oluşan sert ikincil fazların, sertliği düşürürken (muhtemelen yapı içersinde çentik etkisiyle) yorulma dayanımını olumsuz etkilediği düşünülebilir.

4. 1.2080 çeliğinin 400 N/mm^2 gerilme altında, setleştirilmiş ve borlanmış numunelerinin yorulma değerleri aynı çıkmıştır.

Kesin ifadeler için bu sonuçların teyit edilmesi ve tekrarlanabilir olduğunun gösterilmesi amacıyla hem farklı hem de aynı parametreler altında deneylerin tekrarlanması ve/veya kapsamının genişletilmesi gerekir. Laboratuvarımızdaki zikredilen cihazda yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı bu genişletme mümkün olmamıştır.

KAYNAKLAR

- Anık, S.,S.Anık,M.Vural.1993** Malzeme Bilgisi ve Muayenesi,Birsen Yayınevi, İstanbul, s254-264
- Anonim 1967.** Book of ASTM Standarts, Part 31, p 639-665
- Anonim 1984.** Malzeme Teknolojisinde Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi Seminer Notları. Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bölüm 5, İstanbul, 19s.
- Anonim 1986.** Takım Çelikleri, Asil Çelik Teknik yayınları, Cilt 7, 62 s
- Anonim 1993.** Rotating Fatigue Machine. Hi-Tech Scientific Instruction Manual. 7 s.
- Avser, S.H.1974.** Introduction to Physical Metallurgy. McGRAW-HILL Book Company, New York. P 640-657.
- Boyley,H.E, Kubbs,J.J. 1982.** Heat Treaters Guide. Standart Practices and Procedur for Steel, ASM Metals, Editör Paul M. Unterweiser, Park Ohio. P 52-337
- Callister,W.D.1996.** Materials Science and Engineering. John Wiley and Sons. Inc. Kanada. P203-227
- Dieter,G.E.1961.** Mechanical Metallurgy. McGRAW-HILL Book Company. New York. P 296-334
- Ewalds,H.L.,R.J.H, Wanhill.1985.** Fracture Mechanics. Edward Arnold Publisher Ltd. USA. p 170
- Grouer,H.J.1973.** Fatigue of Aircraft Structures. Naval Air System Command U.S. Printing Office.
- Güleç, Ş.,A.Aran.1983.** Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı. MBEAE Matbaası, Gebze. S 7-33
- Kayalı,E.S.,C.Ensari, F.Dikeç.1990.** Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleleri. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul. s143-170
- K.Wellinger und E.Krageloh.1971.** Werkstoffe und Werkstoff-Prüfung Grundlagen 1, Hamburg. p120
- Topbaş,A.1993.** Endüstri Malzemeleri 1.Cilt Prestij Basım Yayın ve Hizmetleri, İstanbul. s38-409

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her konuda bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. A. Halim DEMİRCİYE, Deneysel çalışmalarım sırasında bana her konuda yardımcı olan Araştırma Kurtuluş YİĞİT'e ve bana en büyük desteği veren aileme teşekkürleri borç bilirim

Okan BAŞUSLU

ARAŞTIRMA KURTULUŞ KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Giresun'da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1991 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 1995 yılında lisans eğitimini tamamladı. 1996 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Özel sektörde çeşitli kuruluşlarda Makine Mühendisi olarak görev yaptı, evli.

