



BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

METALİK MALZEMELERİN YORULMA DENEYİ

Prof. Dr. Deniz UZUNSOY
Arş. Gör. Cantekin KAYKILARLI
Malzeme Bilimi Yüksek Mühendisi Burcu Aslı ÖZKAN

2017 - 2018 Akademik Yılı Güz Yarıyılı
Malzeme Proses Laboratuvarı I Dersi

METALİK MALZEMELERİN YORULMA DENEYİ

Deneyin Amacı

Tekrarlı yüklemelere maruz kalan malzemelerin yorulma davranışının incelenmesi, hasar oluşumunun deneysel olarak belirlenmesi ve malzemelerin yük-çevrim sayısı verilerinin elde edilmesi.[1]

Teorik Bilgi

Mühendislik malzemelerinin birçoğu, kullanım esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadırlar. Klasik elastisite teorisine göre akma gerilmesinin altında yüklemeye maruz kalan parçalarda sadece elastik deformasyon meydana geleceği kabul edilmektedir. Bu bölgede bilindiği gibi malzemede herhangi bir tahribat meydana gelmez. Buna karşın dinamik yükler altında akma gerilmesinin altında çalıştırılan malzemelerde bir süre sonra tahribat meydana geldiği saptanmıştır. Bu şekilde değişen yükler altında malzemenin yüzeyinde çatlakların oluşması ve bunu takiben kopma olayı, Yorulma olarak adlandırılır.

ASTM standartları yorulmayı "Bir malzemede bazı bölge veya bölgelerdeki değişken gerilme ve şekil değişiminin meydana getirdiği ve belli sayıda yüklemeye sonra çatlak veya kırılma ile sonuçlanan işlem" olarak tanımlamaktadır. Mühendislik malzemelerini % 80 bu nedenle kırılmaktadır. Yorulma olayında çatlama, genellikle yüzeydeki bir pürüzde bir çentikte, bir çizikte, bir kılcal çatlakta veya ani kesit değişimlerinin olduğu yerde başlar. Çatlak oluşumu için genellikle şu üç ana etken gereklidir:

- Yeterli derecede yüksek bir maksimum çekme gerilmesi,
- Uygulanan gerilmenin oldukça geniş değişimi veya dalgalanması,
- Uygulanan gerilmenin yeteri kadar büyük tekrarlanma sayısı.

Bu ana faktörlerin yanında çok sayıda yan faktörlerde sayılabilir. Örneğin yüzey kalitesi, korozyon, sıcaklık, aşırı yükleme, kalıcı iç gerilmeler, bileşik gerilmeler, gerilim konsantrasyonu, frekans, mikroyapı (tane boyutu, fazların dağılımı, inklüzyon gibi)

Laboratuarda, standart boyut ve belirli yüzey özelliğindeki numuneye, belirli türde sabit gerilmeler uygulanarak deneyler yapılır. Endüstride kullanılan parçalarda ise koşulların hepsi değişiklik gösterir. Karmaşık olmalarından dolayı bu koşulların analizi de güçtür. Bu nedenle yorulma deneyi sonuçları, mühendislik uygulamalarında çekme deneyi sonuçları gibi kesin, tam ve güvenilir bir şekilde kullanılamazlar. Yorulma deneyi sonuçları belirli koşullar için fikir verirler ve benzer koşulların bulunabileceği parça dizaynında gerekli önlemlerin alınmasında yardımcı olur. [1]

Yorulma Deney Türleri

Deneyde kullanılan gerilme türü, yorulma deneyine de adını vermektedir. Gerilme türüne göre başlıca yorulma deneyleri;

1. Eksenel Gerilmeli Yorulma Deneyi: En basit sistem olan bu tip deneyde numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune eni boyunca da üniform olarak dağılır. Bu tip etkilerin olduğu uygulamalara en iyi örnek, içten yanmalı motorların bağlantı rotlarıdır (biyeller). Ancak burada eksenel gerilme yanında eğme kuvvetleri de oldukça etkilidir.

2. Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi: Bu deney türü kendi arasında ikiye ayrılır.

a) Düzlemsel Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi

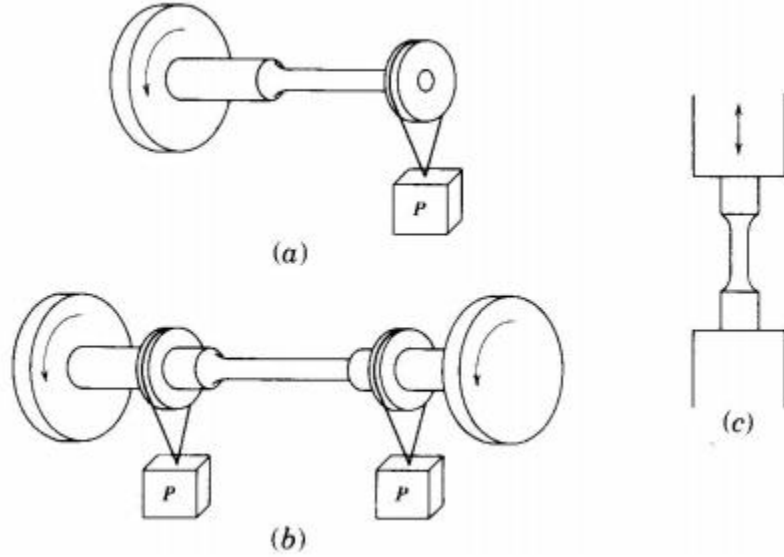
b) Dönen Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi

Birinci deney türünde, numune nötr bir düzleme (veya eksene) göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelerin olduğu en güzel örnek, taşıtlarda kullanılan 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.

3. Burma Gerilmeli Yorulma: Burada deney numunesi sabit bir eksene göre tekrarlanan burma gerilmesi altındadır. Araçların süspansiyon yaylarında ve çekme-basma kuvvetlerinin uygulandığı tüm helisel yaylarda bu tür burma gerilmeleri oluşur.

4. Bileşik Gerilmeli Yorulma Deneyi: Yukarıda sayılan farklı türdeki gerilmelerin ikisinin veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlarda bileşik gerilmeler söz konusudur. Uygulamada en çok, eğme-burma gerilmeli ve eksenel-burma gerilmeli bileşik durumlar gözlenmektedir. Motorların krank mili başlıklarında gerilme,

eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu gerilme türüne ait en güzel örnektir.



Şekil 1. Temel yorulma deney makinelerinin prensip şemaları. (a) Tek uçtan yüklemeli dönel eğmeli, (b) iki uçtan yüklemeli dönel eğmeli ve (c) aksenal gerilmeli (çeki-bası) [Hertzberg], [2]

Yorulmayı Etkileyen Faktörler

Bir makine elemanının yorulmaya karşı emniyetli olabilmesi için işletme sırasında doğabilecek anma gerilmelerinin malzemenin yorulma dayanımının altında seçilmesi yeterli olmayabilir. Diğer bir deyişle, zorlanma şartları gerek malzemenin yorulma dayanımını indirgeyici, gerekse gerilme genliğini arttırıcı bazı faktörleri de içerebilir.[2]

Bu faktörler;

a) Yorulma Dayanımını İndirgeyici Etkisi Olan Faktörler

1. Ortalama gerilme
2. Boyut
3. Yüzey durumu
4. Kesit biçimi

b) Gerilme Genliğini Arttırıcı Etkisi Olan Faktörler

1. Darbeli yükler
2. Çentik etkisi

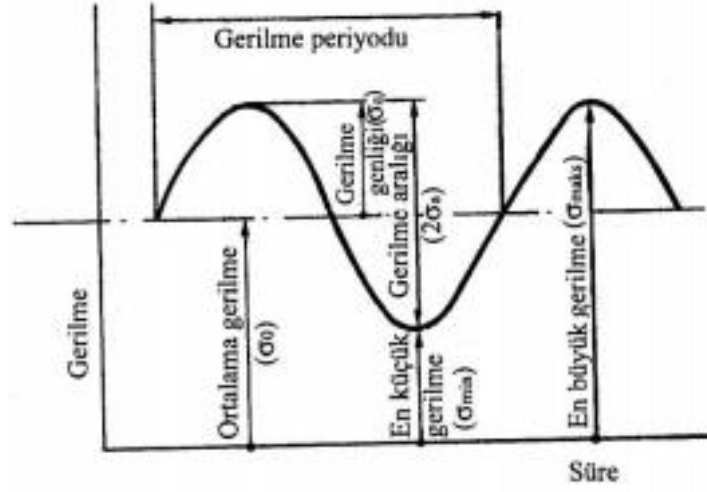
Yorulma deneyi ile ilgili terimler

- **Çevrim (gerilme periyodu):** Gerilme-zaman eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasına bir çevrim denir.
- **Maksimum gerilme (σ_{max}):** Uygulanan gerilmeler arasında en büyük cebirsel değeri olan gerilmedir.
- **Minimum gerilme (σ_{min}):** Uygulanan gerilmeler arasında en küçük cebirsel değeri olan gerilmedir.
- **Ortalama Gerilme (σ_0):** Maksimum ve minimum gerilmelerin cebirsel ortalamasıdır.

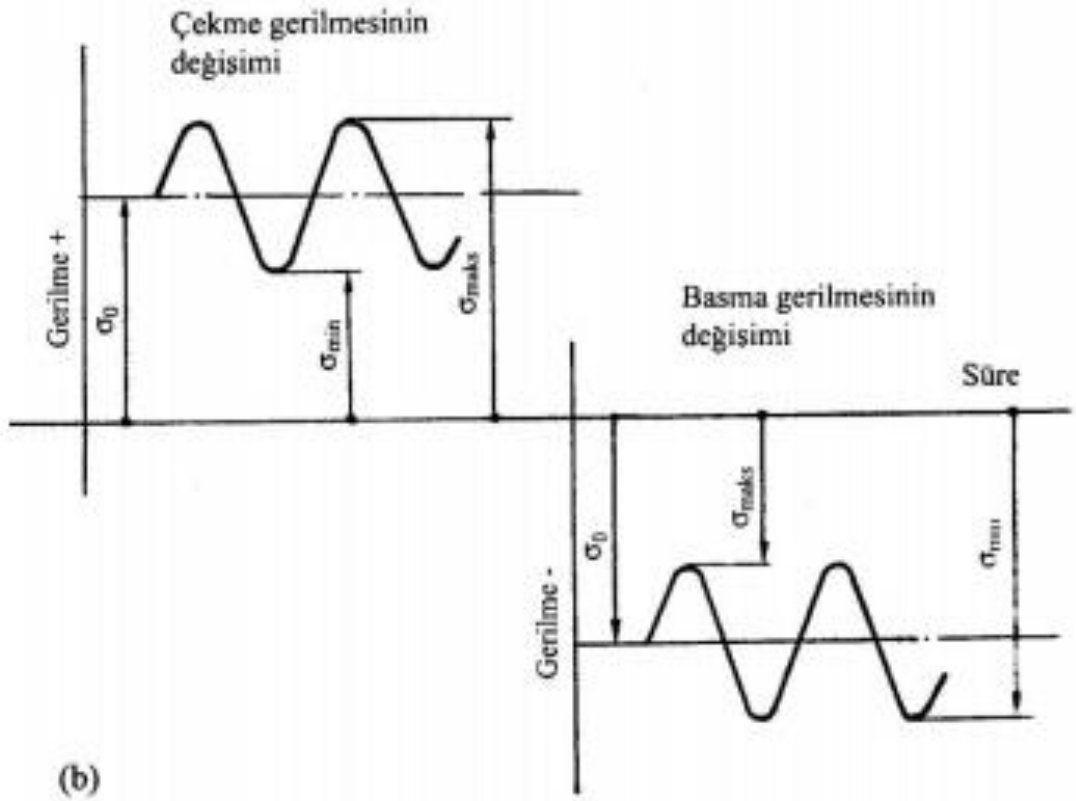
$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{maks} + \sigma_{min}}{2}$$

- **Gerilme aralığı (σ_{Δ}):** Maksimum ve minimum gerilmeler arasındaki cebirsel farktır. $\sigma_{\Delta} = \sigma_{maks} - \sigma_{min}$
- **Gerilme Genliği (σ_a):** Gerilme aralığının yarısına eşittir. Maksimum ve minimum gerilme ile ortalama gerilme arasındaki farktır.[2]

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2}$$



(a)

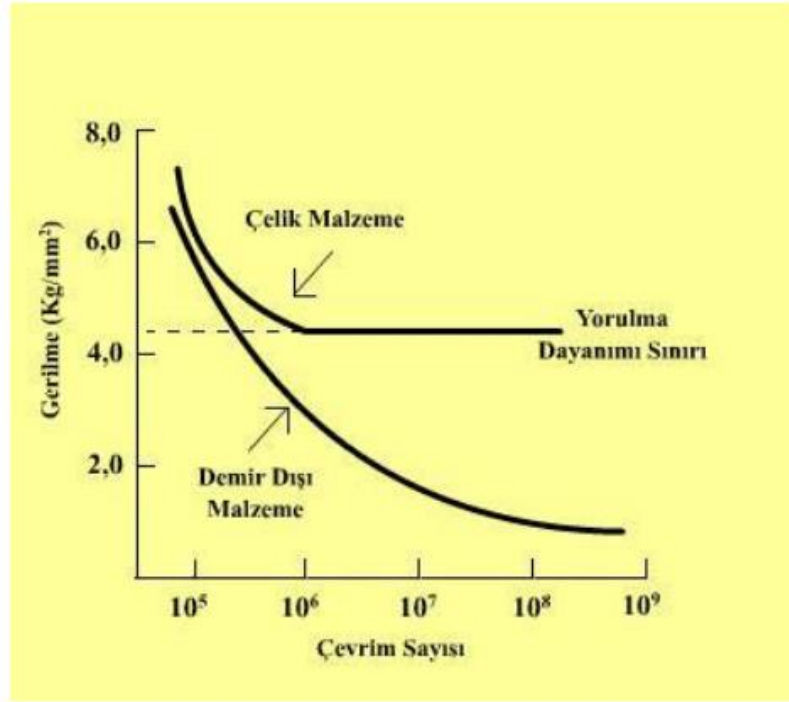


(b)

Şekil 2.(a) Yorulma deneyi ile ilgili tipik bir gerilme-zaman eğrisi ve (b) basma gerilmelerinin değişimi [Savaşkan], [2]

S - N Diyagramı (Wöhler Diyagramı)

Bu diyagram, farklı sabit gerilmeler altında malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağını veya kırılacağını gösteren bağıntıyı verir. S - N eğrisinin çizilmesi için genellikle 8 ila 12 benzer numune kullanılır. Ortalama gerilme (S_m) tüm deneylerde sabit kalmak üzere numunelerin herbirine farklı periyodik gerilmeler uygulanarak numunenin çatlamasına (veya kırılmasına,) kadar geçen çevrim sayısı (N) tesbit edilir. Küçük gerilmeler için çatlamanın görüleceği çevrim sayısı çok büyük olduğundan, önceden belirlenen çevrim sayısına kadar deney devam ettirilerek malzemenin davranışı izlenir. Deneylerin tümünde gerilme genliği (S_a) deney süresince sabit tutulur. Gerilme eksenini olan ordinatta genellikle doğrusal, bazı hallerde ise logaritmik skala kullanılır ve bu ekseninde ya max. gerilme (S_{max}), ya min. gerilme (S_{min}) veya gerilme genliğinden (S_a) biri kaydedilir. Çevrim sayısı eksenini olan absiste ise genellikle logaritmik skala kullanılır. S - N eğrileri 10^6 çevrimden sonra genellikle apsis eksenine asimptotik bir durum gösterirler. [3]



Şekil 3. Demir ve Demir - Dışı Malzemelere Ait Tipik S – N Diyagramı

Deneyin Yapılışı

Yorulma deneyinde izlenecek en basit yol malzemenin belirli koşullar altında S-N diyagramının elde edilmesidir. Bunun için benzer şekilde hazırlanmış 8 - 12 numune alınır.

Numunelere farklı gerilmeler uygulanarak çatlamanın (veya kırılmanın) görüldüğü N çevrim sayısı tespit edilir. Burada numunenin ya tamamen kopması veya önceden belirtilen belirli boyuttaki çatlak kriter olarak alınır. S-N eğrisi elde etmek için genellikle aşağıdaki deney sırası takip edilmelidir:

a) Önce bir veya iki numuneye küçük çevrim sayısında çatlama (veya kırılma) gösterecek şekilde nispeten yüksek gerilmeler uygulanır.

b) Daha sonra bir numuneye çok büyük çevrim sayısında çatlatacak (veya kopacak), bir diğerine “Yorulma Dayanım Sınırı” altında kalacak şekilde nispeten düşük gerilmeler uygulanır.

c) En son arada kalan gerilmeler için deney yapılır.

Bir malzemenin “Yorulma Dayanım Sınırı” için çekme dayanımı ve Brinell sertlik değerlerinden faydalanılarak yaklaşık değerler seçilebilir.

Demir-çelik grubu malzemelerde

Yorulma dayanım sınırı $\approx \pm 0.15$ Çekme Dayanımı $\approx \pm 0.18$ Brinell Sertlik Değeri

Demir dışı metal ve alaşımlarda:

Yorulma dayanım sınırı $\approx \pm 1/3$ Çekme Dayanımı

Nispeten yüksek gerilmelerin uygulandığı ilk deneylerde çekme dayanımının yaklaşık 2/3'ü değerinde bir gerilme seçilir.

Deney Sırasında Dikkat Edilecek Hususlar :

1. Numune cihaza yerleştirilirken aksinel kesim sağlanmalı çalışma esnasında simetri ekseninin sapmamasına dikkat edilmelidir.

2. Gerilme, deneyde öngörülen değerde hassas olarak uygulanmalı ancak darbe yada başka türlü gerilmelerin oluşması önlenmelidir. Gerilme, deney süresince sabit tutulmalıdır.

3. Deney uygun ortam koşullarında (özellikle uygun sıcaklık ve uygun nem miktarlarında) gerçekleştirilmelidir. Deney esnasında numunenin ısınmasını engellemek için asitsiz yağlar ve basınçlı hava kullanılabilir.

4. Yorulma deneylerinde gerilme frekansı önemli bir faktördür. Frekansın deney şartlarını etkilememesi için genellikle 10000 çevrim / dk frekansların altında çalışılmalıdır. [1]

Raporda İstenilenler

1.Malzemelerde yorulma olayına etki eden faktörleri ve yorulma ömrünü etkileyen metalurjik faktörleri açıklayınız.

2.Yorulma deneyinde kullanılan cihazlar nelerdir, açıklayınız.

Referanslar

[1]- İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalurji Mühendisliği Laboratuvarı II, Deney Föyleri

[2]- Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Prof.Dr.Gençağa Pürçek Metalik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler (Ders Notları)

[3]-Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Laboratuvarı II Mekanik-2 Deney Föyü