

## **DENEYİN ADI: Yorulma Deneyi**

### **DENEYİN AMACI: Makina Parçalarının Yorulma Dayanımlarının Saptanması**

**TEORİK BİLGİ:** Makine parçaları ve yapı elemanları kullanılırken tekrarlanan gerilme ile çalışır. Yinelenen gerilme altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmasına rağmen belirli bir tekrarlamaya sayısı sonunda metal yüzeyinde bir çatlama ve bu çatlama sonucunda metalde kopma olayına neden olur. Bu olaya **yorulma** adı verilir. Otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile kompresör, pompa, türbin gibi makinelerin parçalarında görülen mekanik hasarların büyük bir kısmı yorulma olayının etkisi sonucudur.

Yorulma olayında parçaya dışarıdan uygulanan mekanik kuvvetlerin yanında ısı genleşme ve büzölmelerden doğan ısı gerilmelerinde etki eder.

Genelde yorulma olayında çatlama yüzeydeki bir pürüzde, bir çentikte, bir çizikte, bir kılcal çatlakta veya kesit değişimlerinin olduğu yerde başlar.

Yorulma gerilmesi gevrek bir kırılmadır, nerede ve ne zaman olacağını önceden tahmin etmek mümkün değildir. Yorulma kırılmalarını gevrek kırılmadan ayırt etmemizi sağlayan kırılma yüzeyindeki durak çizgileridir. Yorulma bütün malzemelerde gevrek türden kırılma meydana getirir. Tekrarlanan zorlamalar altında belirgin plastik şekil değiştirmeden çatlak ve bu çatlak zamanla yayılır, ani kırılma ile son bulur.

Yorulmaya genellikle içyapıda mevcut kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmaları neden olur. Bunun için yorulma olayının içyapıya ilgisi fazladır. İçyapıda mevcut kusurlar (çatlak, çentik, boşluk gibi) civarında gerilmeler ortalama gerilmeden daha büyüktür. Gerilmeden dolayı yerel plastik şekil değiştirmeler oluşur. Diğer taraftan dislokasyonlar hareket ederek kayma bantlarını oluştururlar ve bu bantlarda yüzeyde çıkıntılar ve çöküntülerin oluşmasında gerilme yığılmalarının nedenidir. Bu olaylar sonucunda malzeme pekleşir, gevrekleşir ve neticede mikro çatlaklar oluşur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerler ve ani yorulma kırılmasına neden olur.

**Yorulmaya Etkiyen Faktörler:** Yorulma mukavemetine etki eden faktörler iyi bilinmelidir. Yorulma deneyinin sonuçlarını yorumlamak için bilinmesi gerekir.

1- Malzemenin özellikleri

a ) Malzeme cinsi

b ) Malzemenin piyasaya sunuluş durumu ( levha, çubuk, döküm )

c ) Eritme ve döküm şartları

- d ) Son mekanik işlemler
- e ) Kimyasal bileşim
- f ) Yüzey durumu ve kalitesi

- 2- Deney çubuğunun şekil ve boyutları
- 3- Deney cihazının çeşidi, çalışma prensibi ve deneyin yapılışı esnasında uygulanan gerilme ( çok eksenli veya ortalama gerilme ) ile frekansı
- 4- Deneyin yapıldığı ortamın koşulları, çevrenin kimyasal etkisi (korozyon ) ve sıcaklığı(sıcaklık genellikle mukavemeti azalttığından yorulma mukavemetini de azaltır)

Son zamanlarda özellikle önemli parçaların yorulma özelliklerini elde edebilmek için standart bir deney çubuğu yerine parçanın kendisi özel cihazlarda çalışma şartlarına benzer şartlarda deneye tabi tutulmaktadır. Böylece daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

Çok eksenli gerilme hali yorulma mukavemetine etki eder. Özellikle değişken kesitli parçalarda çok eksenli gerilme hali doğar. Parçanın mukavemetini azaltan bu tür gerilme yığılmalarını önlemek için kesit değişmelerine mümkün olduğu kadar büyük eğrilik yarıçapı verilir ve ani kesit daralmalarından kaçınılır.

**Çevrim ( N ):** Gerilme zaman eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasına bir çevrim denir.

**Maksimum gerilme ( $\sigma_{max}$ ):** Uygulanan gerilmeler arasında en büyük cebirsel değeri olan gerilmedir. Genel olarak çekme gerilmeleri ( + ), basma gerilmeleri ( - ) ile gösterilir.

**Minimum gerilme (  $\sigma_{min}$  ):** Uygulanan gerilmeler arasında en küçük cebirsel değeri olan gerilmedir.

**Ortalama gerilme ( $\sigma_m$ ):** Maksimum ve minimum gerilmelerin cebirsel ortalamasıdır.

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$$

**Gerilme aralığı (  $\sigma_r$  ):**

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

**Gerilme genliği (  $\sigma_a$  ):** Gerilme aralığının yarısıdır.

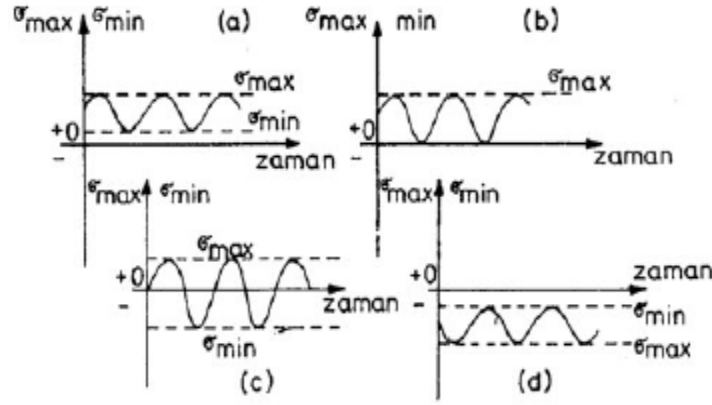
$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2$$

**Gerilme oranı:** Genellikle iki tür gerilme oranı kullanılır. En çok kullanılanı R ile gösterilen maksimum gerilmenin minimum gerilmeye oranıdır.

$$R = \sigma_{max} / \sigma_{min}$$

İkincisi ise A ile gösterilip gerilme genliğinin ortalama gerilmeye oranıdır.

$$A = \sigma_a / \sigma_m$$



**Şekil 1.** Değişken Zorlama Şekilleri

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

- 1- Aksenal çekme - basma gerilmeleri uygulanan cihazlar
- 2- Eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
- 3- Burma gerilmesi uygulayan cihazlar
- 4- Bileşik gerilme uygulayan cihazlar

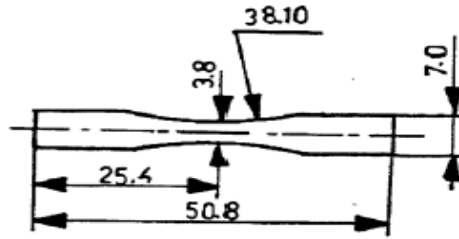
Bu cihaz grubu içerisinde en çok kullanılan çalışma prensibi basit olan eğme gerilmesi uygulayan cihazlardır. Bunlar içinde düzlemsel eğme gerilmesi uygulayanlar genellikle yassı ürünler için kullanılmaktadır. Malzemesi deneye tabi tutulacak parça çalışma esnasında ne tür gerilmelere uğrayacaksa, o tür gerilmelerin uygulandığı deney cihazının seçilmesi gerekir. Aksi takdirde elde edilen sonuçlar güvenceli olmaz.

Kullanılacak numune tipi ve boyutu genellikle cihazın tipine, kapasitesine ve boyutuna bağlıdır. Son yıllara kadar değişik araştırmacılar kullandıkları cihaza uygun farklı numune tipleri geliştirmişlerdir. Buna rağmen yine de numune boyutları için aşağıdaki genel kurallara dikkat edilmesi istenmektedir.

- 1- Numune öylesine dizayn edilmeli ki çatlama numunenin daraltılmış kesitinde olsun.
- 2- Numunenin daraltılmış kesiti öylesine seçilmelidir ki maksimum gerilmenin mutlak değeri deney cihazının çalışma kapasitesinin en çok %25 inde, minimum gerilmenin mutlak değeri ise cihazın çalışma kapasitesinin en az %2.5 inde oluşsun.
- 3- Numune boyutları öylesine seçilmelidir ki numunenin doğal frekansı, cihazın frekansının en az iki katı olsun.

## DENEY ÖNCESİ HAZIRLIK:

**Deney Numunesi:** Malzemelerin yorulma dayanımlarının saptanması için eksene paralel doğrultuda mekanik veya elektrolitik olarak parlatılmış düzgün deney parçaları kullanılır. Dış yüzeyi düzgün olmayan ve ani kesit değişikliği olan makine elemanlarında yorulma ömrü daha kısadır. Yorulma çatlakları, genellikle yüzeyde başlar ve iç kısımlara doğru büyür. Dolayısıyla yüzey işleme kalitesinin önemi büyüktür. Yüzeydeki pürüzler çentik etkisi yaparak çatlak oluşumunu kolaylaştırır. Yüzey işleme kalitesi yükseldikçe yorulma dayanımı artar. Yüzey sertleştirme yöntemleri ile yapılan yüzey sertleştirmelerde yorulma dayanımını yükseltir.



Şekil 2. Deney Numunesi

Yorulma deneyinde uygulanacak gerilmeler, deney numunesi malzemesinin akma gerilmesinin 2/3 ile 1/3 oranları arasında seçilir. Bunun için yorulma dayanımı saptanacak olan malzemenin akma dayanımının bilinmesi gerekmektedir. Ya da, çekme deneyi ile akma gerilmesi bulunmalıdır. Cihazın yük yükleme kapasitesi, 0-140 MPa arasındadır. Deney, değişik gerilmelerde gerçekleştirilir. Gerilme, cihaz üzerindeki skaladan sürgülü olarak ayarlanır. Deney numunesi cihazın çenelerine salgı yapmayacak şekilde bağlanmalıdır.

**DENEYİN YAPILMASI:** Yorulma dayanımı normal olarak Wöhler yöntemiyle saptanır. Bu yöntemde, deney numuneleri farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın oluştuğu çevrim sayıları saptanır. Bir deney serisinde aynı özellikte çoğunlukla 6...8 adet, numuneler kullanılır. Wöhler yönteminde bir deney serisinde tüm parçalar için ortalama gerilme ( $\sigma_{ort}$ ) veya alt gerilme ( $\sigma_{alt}$ ) sabit tutularak her deney için ayrı gerilme genliği ( $\sigma_g$ ) seçilir. İlk deney numunesi üst gerilme, genellikle akma sınırına yakın olacak şekilde yüksek düzeyde zorlanır. Daha sonraki deney numunelerine ise azalan şekilde zorlama uygulanarak kırılma çevrim sayısının çok yüksek değerlere ulaşması sağlanır. Bir deney serisi sonunda uygulanan gerilme genlikleri ve kırılmanın görüldüğü çevrim sayılarının bir eğri olarak çizimi ile Wöhler eğrisi (S-N, Gerilme-Ömür eğrisi) elde edilir. Sonsuz çevrim sayısında kırılmanın görülmediği en büyük gerilme genliği yani egrinin asimtotuna karşılık olan değer, yorulma dayanımı olup  $\sigma_y$  veya  $\tau_y$  ile gösterilir. Diğer yandan belirli bir çevrim sayısından sonra ( $N_s$ : sınır çevrim sayısı)



yarısıdır. Hafif metallerin veya alaslmların (alüminyum alaslmları vb) yorulma egrilerinde asimptotik değer olmayıp, sürekli düsme görölür. Böyle malzemeler için yorulma dayanımı veya süreli yorulma dayanımı tanımı yapılır. Genellikle  $N = 10^8$  sayısına karsıt gelen gerilme değeri malzemenin yorulma dayanımı olarak alınır. Bu tür malzemeler için yorulma gerilmelerinin, çekme dayanımlarının yaklasık üçte biri olduğu kabul edilir. Literatürde verilen yorulma değerleri genellikle %50 kırılma ihtimali olan değerlerdir.

Sürekli dayanım gerilmesi,  $\sigma_o$  sabit gerilmesi ile birlesince,

$$\sigma_{u(s)} = \sigma_o + \sigma_g(s)$$

$$\sigma_{a(s)} = \sigma_o - \sigma_g(s)$$

gibi iki sınır gerilme (alt ve üst gerilme değeri) elde edilir. Bunlara malzemenin sürekli dayanım sınırları denir. Yukarıdaki açıklamalardan anlasılacağı gibi, sürekli dayanım sınırları belirli bir ortalama gerilme için bulunmustur. Bu ortalama gerilme değistirilecek olursa asimptotik genlik gerilmesi ve dolayısıyla cismin sürekli dayanım sınırları da değisir.

#### **DENEY RAPORU:**

1. Yorulma olayı hangi şartlarda gerçekleşir
2. Yorulma dayanımına etki eden faktörler nelerdir.
3. Yorulma deneyi nasıl gerçekleştirilir.
4. Deney sonuç tablosundaki verilere göre;

Deney Malzemesi: SAE 4140 Islah çeligi,  
Akma gerilmesi:  $\sigma_a = 512$  MPa olduğu durumda;

- a) Verilecek gerilme değeri aralığını bulunuz.  $\sigma_{max} = ?$   $\sigma_{min} = ?$
- b) Wöhler Egrisini (S-N) milimetrik kağıda ölçekli olarak çiziniz ve rapora ekleyiniz.

Numune No	Uygulanan Gerilme(MPa)	Deney Süresi(Dakika)
1	370	24
2	320	42
3	250	85
4	240	136
5	230	185
6	225	2347

**Önemli Not:** Deney raporu el ile yazılacaktır. Bilgisayar ortamında hazırlanan deney raporları Yorulma Deneyi için geçerli olmayacaktır.

Sorularınız için: [emre.hitit@gmail.com](mailto:emre.hitit@gmail.com)