YORULMA KIRILMASI

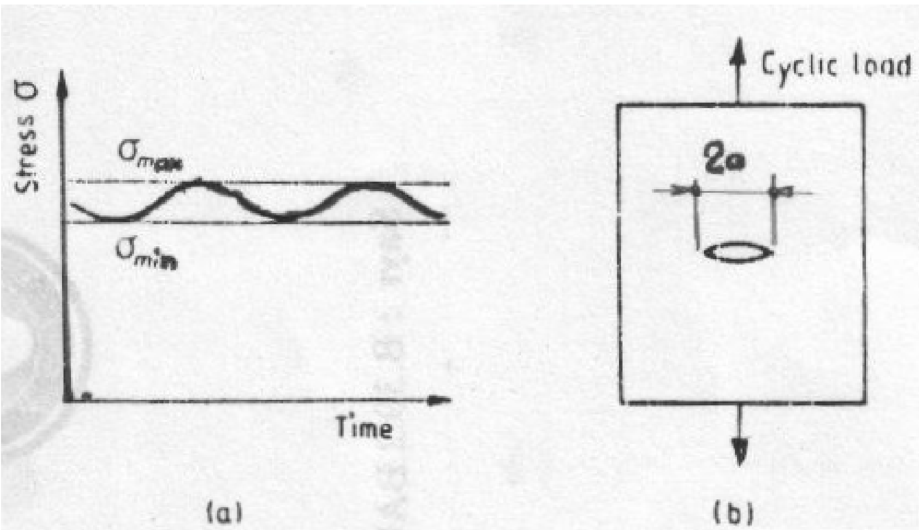
Yorulma Çatlağının Büyümesi:

Daha önce bir yapı içersindeki çatlaklara bir yük uygulandığında bu yük kritik bir K_{IC} gerilim şiddeti doğurduğunda hata meydana geldiğini görmüştük.

Bir malzemenin yorulma ömrü, çatlak oluşumu ve kritik boya kadar büyümesine yardımcı olan yük tekrar sayısı ile belirlenir Bilindiği gibi yorulma ömrü klasik yaklaşımda S-N eğrisinden çıkarılmaktadır. Fakat bu deney için hazırlanan numuneler konstrüksiyon parçasına uymayabilir. Ayrıca parçada çentik yüzey pürüzlülüğü gibi düzgünsüzlükler de olabilir. Bu durumda **Wöhler** eğrisi gibi tam bir garanti vermez. Bu durumdaki çatlağın oluşumunu ve ilerlemesini kırılma mekaniği açısından incelemek gerekmektedir. Zira malzeme içindeki bir çatlağın, ilk uzunluğundan daha önce belirtilen uzunluğa erişmesi için ne kadar yük gerekir? sorusu dizayncılara enteresan gelebilir.

Gerilim Şiddeti Faktörü Alanı:

Çatlak uzunluğu 2a olan bir cisim max. ve min. gerilme değerleri arasında sabit amplitüdlü tekrarlı bir yüke maruz kaldığını düşünelim



Burada $\sigma_{max} > \sigma_{min} > 0$ dır.

Şekil b deki çatlak simetrik olsun .Bu durumda ;

$$K_{max} = Q.\sigma_{max}(\pi.a)^{1/2}$$
$$K_{min} = Q.\sigma_{min}(\pi.a)^{1/2}$$
$$Q = \text{Şekil doğrultma faktörü}$$

Yorulma tıpkı tel raptiyenin öne, arkaya, sağa, sola eğrilmesi gibi cereyan eder.Bu esnada çatlak ucunda plastik gölge oluşur.bu bölgenin yarı çapı λ

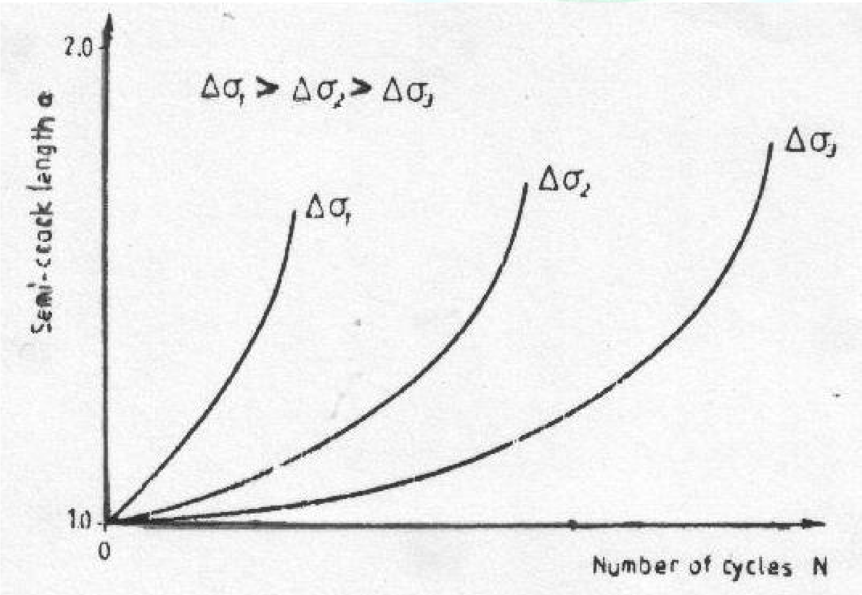
$$\lambda = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_{max}}{\sigma_{ak}}\right)^2$$

Çatlak bu bölge içinde yayılacaktır. Plastik bölge boyutları K ile karakterize edilebilir. Şöyle ki ,

$\Delta K = K_{max} - K_{min} = Q.\Delta\sigma(\pi a)^{1/2}$ olur.

DENEYSEL ÇATLAK BÜYÜME HIZININ SONUÇLARI

Çatlaklı bir numune sabit genlikli tekrara yüklenmeye maruz bırakılsın gerilme alanı $\Delta\sigma_1=(\sigma_{1max}-\sigma_{1min})$ ve çatlak uzunluğu artışları not edilmiş olan yük tekrar sayılarına göre ölçülür. Sonuçlar N ye karşılık yarı çatlak uzunluğu a'nın bir fonksiyonu şekilde görüldüğü gibi çizilir.

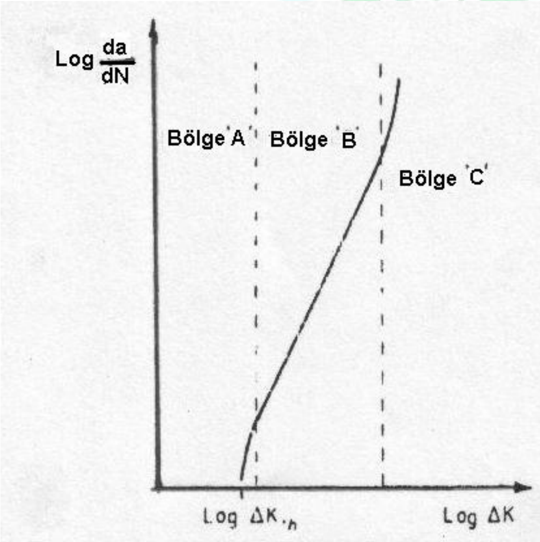


Not : *Numune ömrünün çok önemli bir kısmı kısa çatlak uzunluklarında harcandığı unutulmamalıdır.*

Aynı numune gerilme alanları değiştirilerek $\Delta\sigma_2$ ve $\Delta\sigma_3$ alanları ile yapılan denemeler

şekildeki gibi 2 veya daha fazla eğri elde edilebilir. Sırayla her 3 eğriden birisini alarak $\frac{da}{dN}$

ve aynı çatlak uzunlukları için ΔK değerleri çıkartılabilir. Bunların logaritmaları esas alınarak aşağıdaki şekilde ki eğri elde edilir.



ΔK hem çatlak uzunluğundaki değişimleri hem de plastik bölge boyutlarındaki yük tekrarlarının büyüklüğünü içerir. Bundan önceki 3 eğri $\text{Log}\frac{da}{dN}$ ye karşılık log ΔK olarak çizildiğinde tek eğriye indirgenmiş olur. Şekildeki eğride yorulma çatlağının büyümesi 3 sınırlı bölge içine düşer.

A bölgesi ; log ΔK_{cr} ile başlar ve eğrinin eğilimi lineer olunca ya kadar devam eder bu bölgenin altında çatlak yayılması olmaz. Bu bölge çatlak oluşumu bölgesidir.

B bölgesi, Kararsız çatlak yayılmasını ve nihayet kırılmayı gösterir. Zira $\frac{da}{dN}$ şiddetle büyümektedir. Burada eğri lineerdir, O halde bundan istifadeyle yorulma çatlağı büyümesini bir bağıntı ile ifade edebiliriz.

$$\frac{da}{dN} = C.(\Delta K)^m$$

Burada c ve m deneysel sabitlerdir.

m=3 $\Rightarrow$ Çelikler için

m=3 veya 4 $\Rightarrow$ Alüminyum alaşımlar için

Genel mühendislik malzemelerinin ömürleri yalnızca bu bölgede düşünülebilir. Çıkarılan formül **PARİS KANUNU** olarak bilinir. Unutmamak gerekir ki bu denklem yalnızca deneysel bir bağıntıdır.

PARİS KANUNU'nun UYGULAMASI

$$\frac{da}{dN} = C.(\Delta K)^m$$

denkleminin tekrar düzenlenip integre edilmesiyle yük tekrar sayısı ΔN başlangıç çatlağı a_o dan kritik çatlak boyu a_{cr} kadar çatlağın yayılması için ;

$$\Delta N = \int_{a_0}^{a_{cr}} \frac{1}{c(\Delta K)^m} da \quad \Delta K \text{ değerini yerine koyarsak;}$$

$$\Delta N = \frac{1}{C(\Delta\sigma)^m \pi^{m/2}} . \int_{a_o}^{a_{cr}} \frac{1}{Q^m a^{m/2}} da \quad \text{yazılır}$$

(Q) nun (a) dan bağımsız olduğunu farzedersek

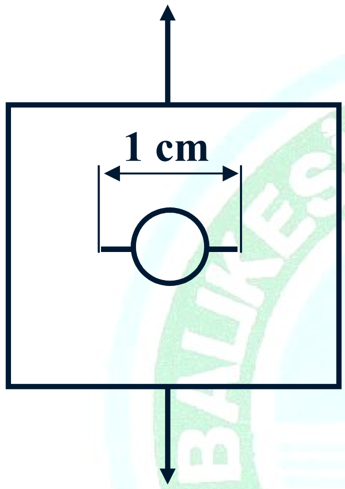
$$\Delta N = \frac{1}{C.Q^m \pi^{m/2} (\Delta\sigma)^m} \int_{a_o}^{a_{cr}} a^{-m/2} da \quad \text{integralini çözmekle,}$$

$$\left[N = \frac{1}{C.Q^m .\pi^{m/2} (\Delta\sigma)^m} . \frac{a_0^{1-m/2} - a_{cr}^{1-\frac{m}{2}}}{\frac{m}{2} - 1} \right] \quad \text{bulunur}$$

Bu bağıntılar ΔK nın 2.ci bölgesi için geçerlidir. ΔK, K_{IC} veya Kc'ye çok yakınsa yani 3.cü bölgede ise kullanılamaz .

Örnek 1

Şekilde görüldüğü gibi Alüminyum alaşımlı bir plakada dairesel şekilde bir parça çıkarılmış ve her iki tarafın uzunluğu 1 cm'e varan bir çatlak oluşmuştur. Plaka (6) MNm^{-2} den (60) MNm^{-2} ye kadar sabit amplitüdlü çekme tekrarlı yüküne maruz bırakılmıştır. Paris kanununa göre m=3 Çatlağın 2cm olması için tekrarlı yük sayısı ne olmalıdır?



$$\frac{da}{dN} = 10^{-9}\, m/saykıl \text{ olduğunda}$$

$$\Delta K = 2{,}8\, MN\, m^{-3/2}$$

$$Q = 1{,}02 \quad \text{olsun}$$

Çözüm : Önce Paris Kanunu 'dan (C) sabitini bulalım.

$$\frac{da}{dN} = C.(\Delta K)^m$$

$$C = \frac{(da/dN)}{(\Delta K)^m}$$

$$C = \frac{10^{-9}}{2{,}8^3} = 4{,}55.10^{-11}\, m/saykıl$$

Gerilme sahası :

$$\Delta\sigma = (60-6) = 54\, MNm^{-2}$$

Şimdi bu değerleri ömür (N) denkleminde yerine koyarak

$$N = \frac{1}{\underbrace{4{,}55.10^{-11}}_{C}.\underbrace{1{,}02^3}_{Q}.\pi^{3/2}.(54)^3} \times \left(\frac{0{,}005^{-1/2} - 0{,}010^{-1/2}}{\frac{3}{2} - 1} \right)$$

buradan N = 195,675 saykıl bulunur.

Not : Çatlak yayılma denkleminin çıkartılmasında Q' yu sabit kabul etmiştik Oysa Q , hem yüklemenin hem de çatlak geometrisinin bir fonksiyonu olduğunu vurgulamıştık. Demek ki (Q), (a) ya tesir etmektedir. Bu durumda ;

$$\Delta N = \frac{1}{C(\Delta\sigma)^m \pi^{m/2}} \int_{ao}^{ak} Q(a)^m\, a.^{-m/2} da \qquad \text{yazılmalıdır.}$$

Örnek 2

Eksenel olmayan çekme gerilmesine maruz bırakılan, belirsiz düzendeki bir çatlak için (K) gerilim şiddeti faktörü;

$$K = \sigma\left[2b.tg\left(\frac{\pi a}{2b}\right)\right]^{1/2} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Burada : 2a Çatlak uzunluğu

2b Çatlak merkezleri arasındaki mesafe

a=5 mm   b=20 mm

olan bir çelik plaka düşünelim. Bu plaka, 0'dan 130 MNm^{-2} sabit genlikli tekrarlı yüke maruz bırakılırsa ;

Eğer m=3,3

$$\frac{da}{dN} = 10^{-9}\, m/saykıl$$

$$\Delta K = 6{,}1\ MNm^{-3/2} \quad \text{ise ;}$$

Çatlağı 5mm den 7 mm 'ye yaymak için gerekli yük tekrar sayısını? yine çatlağı 10mm'den 12mm'ye çıkarmak için gerekli yük tekrarı sayısını hesaplayınız ?

ÇÖZÜM:

$$C = \frac{10^{-9}}{6{,}3^{3,3}} = 2{,}56.10^{-12}\, m/saykıl$$

Çatlak büyümesi için $C = 2{,}56.10^{-12}$ olmalıdır.

$$K_{5mm} = 130.\left[2(0{,}02).tg\left(\frac{\pi\times(0{,}005)}{2\times(0{,}02)}\right)\right]^{1/2}$$

$$K_{5mm} = 16{,}73\, MNm^{-3/2} \quad \text{benzer olarak ;}$$

$$K_6 = 18{,}56\, MNm^{-3/2}$$

$$K_7 = 20{,}35\, MNm^{-3/2} \quad \text{olur.}$$

Çatlak büyüme hızı ilgili bütün değerler tabloda gösterilmiştir.

a(m)	da(m)	ΔK=MNm$^{-3/2}$	$\frac{da}{dN}$(m/saykıl)	$\frac{da}{dN}$ geometrik an.	N
0,005		16,736	2,79x10^{-8}		
	000,1			3,36 x10^{-8}	39762
0,006		18,56	3,93 x10^{-8}		
	000,1			4,63 x10^{-8}	21598
0,007		20,35	5,33 x10^{-8}		
				TOPLAM	51360

Geometrik anlamdaki $\frac{da}{dN}$ değerleri, bir önceki $\frac{da}{dN}$ değerleri toplamının yarısı olarak bulunmuştur. Geometrik anlamdaki $\frac{da}{dN}$ adesi esas alınarak , Ortalama ömür N hesaplanmıştır.

a(m)	da(m)	ΔK=MNm$^{-3/2}$	$\frac{da}{dN}$(m/saykıl)	$\frac{da}{dN}$ geometrik an.	N
0,010		26,00	1,20x10^{-7}		
	000,1			1,375 x10^{-7}	7273
0,011		28,13	1,55 x10^{-7}		
	000,1			1,79 x10^{-7}	5587
0,012		30,50	2,03 x10^{-7}		
				TOPLAM	12860

Örnek 3

A514 Çeliğinde σ_{akma}= 49 kp/mm^2 ve K_{IC}=500 kp/mm$^{3/2}$ dir. Malzeme üzerinde a_0 = 7,6 mm boyunda kenar çatlağına rastlanmıştır. Bu malzeme σ_{max}=25 kp/mm^2 σ_{min}=15 kp/mm^2 olacak şekilde tekrarlı yüklemeye maruzdur.

a) Malzeme ömrünü hesaplayın ?
b) Bu ömrü 300000 saykıla çıkarmak istersek ne yapmalıyız ?

$$(K = 1{,}12.\sigma_{max}\sqrt{\pi a}, \qquad \frac{da}{dN} = 2{,}3.10^{-10} \quad \text{dur.})$$

ÇÖZÜM:

a)

$$K_{Ic} = 1{,}12.\sigma_{max}.\sqrt{\pi.a_{cr}}$$

$$500 = 1{,}12.25.\sqrt{\pi.a_{cr}}$$

$$a_{cr} = 100\,\text{mm}$$

Ömür denkleminde

$$N = \frac{1}{\underbrace{2{,}3.10^{-10}}_{C}.\underbrace{(1{,}12)^3}_{Q}.\pi^{3/2}.\underbrace{10^3}_{(\Delta\sigma)^m}}.\frac{7{,}6^{\left(1-\frac{3}{2}\right)} - 100^{\left(1-\frac{3}{2}\right)}}{\frac{3}{2}-1}$$

$$N = 289\,000 \text{ saykıl bulunur.}$$

b) malzeme ömrünü 300 000 devire çıkarmak için ;

1) Kritik çatlak boyunu (a_{cr}) artırabiliriz.

$$300000 = \frac{1}{2{,}3.10^{-10}.1{,}12^3\pi^{3/2}.10^3}\left(\frac{7{,}6^{1/2} - a_{cr}^{1/2}}{\frac{1}{2}}\right)$$

$$a_{cr} \cong 116\,\text{mm}$$

$$K_{IC} = 1{,}12.25\sqrt{\pi.116}$$

$$K_{IC} = 535\,\text{kp}/\text{mm}^{3/2}$$

Yani, daha tok bir malzeme seçmek gerekir.

2) σ_{max}' ı azaltarak dayanımı artırabiliriz.

$$\sigma_{max} = 20\,kp/mm^2 \text{ seçersek;}$$
$$K_{IC} = 1{,}12.\sigma_{max}.\sqrt{\pi.a_{cr}} \qquad (K_{IC} = 500)$$
$$a_{cr} = 158{,}6 \text{ mm} \quad \text{olur.}$$

3) Daha küçük $\Delta\sigma$ seçebiliriz.

K_{IC} ise a_{cr} hiç değişmeden

N= 300 000 , iken $\Delta\sigma$ hesaplanır.

4) İmalat kalitesini arttırarak, malzeme içindeki çatlakları sayıca azaltmayı sağlayabiliriz.