# MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

# KIRILMA MEKANİĞİ

## PROBLEMLERİ

## -II-

**Prof.Dr.İrfan AY**

**Arş. Gör. T.Kerem Demircioğlu**

**2010-2011**

**BALIKESİR**

# GRİFFİTH TEOREMİ İLE İLGİLİ PROBLEMLER
# (1den 8 e kadar)

Fracture Mechanics Tutorials

(Cam bardaktaki kırılma problemi)

## PROBLEM 1 :

**Bu sorunun tamamlanması 10 dk kadar alır. Bu başlangıç seviye sorusudur.**

*****************************************************************

**( 2 m x 200 mm x 2 mm ) ölçülerindeki ince bardak 200 mm lik tarafa paralel merkezi bir çatlak içermektedir. Tabaka 500 kg lık ile yüklü gerilmede dengelenmiştir.**
**Çatlak meydana gelmeden önceki müsaade edilen max. çatlak uzunluğu nedir ?**

Verilen malzeme değerleri E = 60 GPa yüzey enerjisi 0,5 J/m$^2$ , poison oranı = 0,25 bardağın kopma gerilmesi 170 MPa

# ÇÖZÜM 1 :

Bu verileri basitçe Griffith denklemindeki yerine koymadır :

$$\sigma_f = \left[\frac{G_C E}{\pi \; a}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Burada kırılma gerilmesi **MPa** (SI mühendislik birim sistemi) kritik birim uzama enerji bırakma hızı **N/m**, E elastisite modülü **N/m²**,a ise **m** dir. Bu cevabın **N/m²** (Pa) olmasını sağlar. Cevabın $10^6$ ya bölünmesine ihtiyaç var. Böylece kritik çatlak uzunluğu :

$$G/A = F/A = \sigma_f = \frac{500x9.81}{0.2x0.002} = \left[\frac{2x0.5x60x10^9}{\pi \, a}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$i.e. \quad a = 1.27x10^{-4} \text{ m}$$

Bu hesaplamada ; uygulanan yükte kullanılan yerçekimi g ye kadar değişiklik yapabilirdik.(**Alan** çatlak olmadığı düşünülerek hesaplanmıştır. Çünkü gerilme yoğunluk faktörleri çatlağın olmadığı temel nominal gerilme üzerinden tanımlanmıştır.) Son ifade olarak plaka içerisindeki merkezi çatlağın ve tüm yırtık uzunluğu 2a olarak tanımlanarak verilmiştir.

Böylece max. yırtık uzunluğu **0.254 mm** olacak kadar izin verilebilinir..

Uygulanan gerilme sadece ($\sigma_{uy}$ =**12,26 MPa)** iken, uygulanan bu gerilme değerinin çatlaksız kopma gerilmesiyle mukayese edildiğinde, gevrek malzemeler içerisindeki küçük etkilerin nasıl kritik boyuta geldiğini belirtir. Bu örneğin amacı anlaşıldığı gibi **kopma gerilmesinin lüzumsuz olduğunu** göstermektir.

(Maraging çelik sac'larındaki kırılma problemi)

## PROBLEM – 2

Bu sorunun 10 dk civarında tamamlanması tavsiye edilir. Başlangıç seviye sorusudur.

*****************************************************

İçinde **40 mm** uzunlukta merkezi bir çatlak içeren büyük bir alaşımsız çelik tabakanın kırılma gerilme değeri **480 MPa**' dır. **100 mm** çatlak uzunluğu içeren tabakanın kırılma gerilmesini hesaplayınız ?

## ÇÖZÜM -2 :

Bu yine Griffith denklemi içerisinde verileri basit yerine koymadır ve malzeme sabitlerine ihtiyacımız yok çünkü iki bilinmeyenli iki denklem kurmaya yeterli bilgi var. Malzeme değerlerini yok ederek kırılma gerilme değerini çözebiliriz. Verilen kırılma gerilme denklemi ile ;

$$\sigma_f = \left[\frac{G_C\, E}{\pi\ a}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Verilen bilgiyi yerine koyduğumuzda ;

$$\sigma_{f\,40} = 480x10^6 = \left[\frac{G_C\, E}{\pi\ 0.04}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{f\,100} = \left[\frac{G_c\, E}{\pi\, 0.10}\right]^{\frac{1}{2}} \quad i.e. \quad \left[\frac{\sigma_{f100}}{480}\right]^2 = \frac{0.04}{0.10} \text{ where } \sigma_f \text{ is now in MPa.}$$

$$\therefore\ \sigma_{f100} = 303.6\ \text{MPa}$$

bulunur.

(Maraging çelik sac'ların içindeki çatlak önünde büyük plastik def ve büyük kırılma yüzey enerjisi olma hali)

## PROBLEM – 3 :

Bu sorunun tamamlanması için 10 dk tavsiye edilir. Başlangıç seviye sorusudur.

*****************************************************

İnce tabakalı alaşımsız bir çelik saç, **1950 MPa** çekme dayanımına sahiptir. **4 mm** uzunluğundaki yönlendirilmiş gerilme doğrultusundaki tabaka içindeki beklenen çatlağın varlığı sebebiyle dayanımdaki yüzde azalmayı hesaplayınız?

Bu çelik için **E= 200** GPa alınabilir. Yüzey çatlak enerjisi **2 J/m$^2$** ve her bir çatlak tipi için plastik deformasyon çalışması **(2 .104)** J/m$^2$ dir.

## ÇÖZÜM – 3

Griffith formülünün her bir çatlak tipi için,çatlak ucunda plastik bölge durum inklüzyonu boyunca sünek yapısal malzemelerin kırılmasını kapsayan yaygın bir kullanımı vardır. Çatlak kalınlığı veya kenar çatlağı boyunca çatlağın merkezde olup olmadığı ile ilgili burada bir varsayım kullanmaya ihtiyacımız var.

**Merkezi çatlak esas alındığında** ; düzlem birim uzama yada düzlem gerilmeye birlikte ihtiyacımız var. Fakat çeliğin ince tabakalı olduğunu söylediğimiz için düzlem - gerilme şartlarında olduğunu farzedeceğiz.

Kritik birim uzama enerji yayılma hızı ifadesi **Gc** yi düzenlemeye ihtiyacımız var. Böylelikle ;

$$\sigma_f = \left[\frac{(2\gamma + W_{pl})E}{\pi a}\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{(2x2 + 2x10^4)x200x10^9}{\pi x0.002}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \sigma_f = 797 \text{ MPa}$$

$$\text{Hence the reduction in strength} = \frac{1950 - 797}{1950} = 59\%$$

(Flexiglass bir levhada kırılma)

# PROBLEM – 4

Bu sorunun 15 dk civarında tamamlanması önerilir. Eğilme gerilmesi için düşünülen bazı model boyutlarını kullanmaya gereksinimimiz var.

*************************************************************

600 mm- 300 mm boyutlarında 6 mm kalınlığındaki dikdörtgensel hafif plastik bir levha, bıçakla iki eş kareye ayrılıyor. Kesme esnasında oluşan kesik derinliği 0,3 mm' dir.

500 J/$m^2$ kırma iş hızına haiz levhayı kırmaya çalışan eğilme gerilmesi değeri nedir?

Hafif plastik için verilen E = 2.5 GPa dır.

## ÇÖZÜM - 4 ;

Poison oranı değerini bilmediğimiz için (parça çok ince) bu yüzden bu soruda düzlem - gerilme durumunu kullanmak mantıklı olmasına rağmen tabakanın kalınlığı ve hafif plastik az çok ortam şartlarında kırılgandır. Bu problemin çözümünde iki bölüm var.

Birinci olarak, Griffith kırılma gerilmesi ($\sigma_F$) hesaplanacak,
İkinci olarak, bu değere uyan eğilme momenti($M_{eğ}$) bulunacak.
Verildiği gibi kırılgan ve yarı kırılgan malzemelerde (bardaklar, mermerler, polimerler) sık sık kullanılan teknik budur.

Bu sorunun cevabının hesabında üç yada dört nokta eğilme olup olmadığını eğme yükleme tipi ile ilgili varsayım yaparak anlayacağız. Yük tipi nominal uygulanan gerilme üzerinde etkili olur. Dört nokta eğilmede gerilme uniform ve nominal olarak iki iç yüklenen rulman arası plaka merkezi boyunca yayılacaktır. Bu durumda görülen yırtık olmadan önce uygulanan eğilme gerilmesinin tüm plaka derinliği boyunca kullanılarak hesaplanması mantıklıdır. Griffith denklemi hesabında kesmeden sonra oluşan çatlağın etkisini kullanmalıyız.

Bununla beraber alıştırmadaki plakanın kırılması muhtemelen katı yüzey kenarında kesimle oluşan çatlaktan dolayıdır. Bu yükleme manivela eğilmesidir ve kesim derinliğinde yapılan hesapta azalan enine kesitin kullanılması gerilme çözümünde daha mantıklı görülüyor. Şu anki durumda bu yapılmalıdır.

Griffith eşitliğini hatırlarsak :

$$\sigma_f = \left[\frac{G_C\,E}{\pi\,a}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Ve verilen bu kenar çatlağı **a = 0.3 mm**, bu değerleri yerine koyduğumuzda:

$$\sigma_f = \left[\frac{500x2.5x10^9}{\pi\,x0.0003}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$i.e.\ \ \sigma_f = 36.4\text{ MPa}$$

İhtiyacımız olan eğilme momentini eşitlikten kolayca bulabilirz:

$$M = \frac{\sigma_f \, I}{\frac{1}{2}(t - a)}$$

where t = thickness and $I = \frac{1}{12} bd^3$

$$\therefore \; M = \frac{36.4x10^6 x0.3x0.0057^3}{12x0.00285} = 59.2 \text{ Nm}$$

bulunur.

(Dökme demir'in kırılmasına örnek)

## PROBLEM – 5

Bu sorunun tamamlanması için 10 dk tavsiye edilir. Basit bir Griffith denklemi uygulamasıdır.

*************************************************************

A Sınıf 20 gri dökme demirin sahip olduğu grafit tane boyutu sınıf 60 ın 9 katı kadardır. Sınıf 60 gri dökme demirin kırılma gerilmesi 140 MPa dır. Griffith analizi akabindeki argümanların kullanılmasıyla ; sınıf 20 dökme demirin tahmini kırılma gerilmesi nedir?

## ÇÖZÜM ;

Problem 2 ye benzerdir. Gereksinim duyulan iki denklem kurularak, bilinmeyen olan malzeme özellikleri yok edildiğinde ; Griffith denklemini yazarsak;

$$\sigma_f = \left[\frac{G_C\, E}{\pi\ a}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Şöyle yazabiliriz :

$$\sigma_{f60} = \left[\frac{G_C\, E}{\pi\, a}\right]^{\frac{1}{2}} = 140\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{f20} = \left[\frac{G_C\, E}{\pi\, 9a}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \therefore \quad \sigma_{f20} = \frac{140}{\sqrt{9}}$$

Böylelikle sınıf 20 dökme demirin kırılma gerilmesi **46,7 MPa** olur.

(Kırılma ile akma mukavemeti ilişkisi)

## PROBLEM - 6 :

Bu problem, gevrek kırılmanın "**kırılma mekaniği kriteri**" ile geleneksel katı malzemelerin "**akma kriteri**" yaklaşımı kullanıldığında oluşacak hasar için yapılacak iki tasarım arasındaki farkı göstermek için güzel bir örnektir.

*******************************************************

6.1 m çapında 25.4 mm cidar kalınlığında bir silindirik basınçlı kap, 17.5 MPa 'lık iç basınca eriştiğinde çatırdıyarak kırılmaya maruz kalmıştır.

Basınçlı kap çelik malzemesinin,

$E = 210$ MPa
$\sigma_{ak} = 2450$ MPa
$Gc = 131$ kJ / $m^2$ olarak verilmiştir.

Eğer **Von Misses kriteri**, tasarım amacı ile kullanılmışsa hasarın beklenmeyeceğini gösterin?

Örnek $(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2 \leq 2\,\sigma^2_{ak}$

Griffith analizi esas alındığında, çalıştığınız durumdaki hataya neden olacak çatlak boyutunu tayin ediniz?

## ÇÖZÜM 6 :

Burada önceden 2 varsayım yapılmıştır.

**Birincisi ,** fabrikasyon ve kötü bir kusurun önceden var olması ile ilişkilidir. Bu basınçlı kap, hem dairesel hem de uzunlamasına gerilmelere dik şekilde çalışan kaynaklı levhalardan yapılmıştır. Dairesel gerilme maksimum asal gerilme kabul edilirken, kusurun bu gerilme yönüne dik olduğu kabulü yapılmalıdır.

**İkinci olarak** , poisson oranı burada verilmemesine karşılık 25.4 mm'lik levha, epeyce kalın bir levhadır ve gerilme halinde plane – strain (**kalın parça** halinde) yakın olduğu varsayılan, bu nedenle poisson oranı $\upsilon = 0.3$ olanak alınmalı ve plane - strain şartlarının uygulandığı farz edilmelidir.

a) -İnce cidarlı basınçlı kap teorisi kullanarak, Von Misses kriterinde 3 asal gerilmeyi bulmaya ihtiyacımız vardır.

$$\sigma_1 = \frac{p.D}{2t}$$

$$\sigma_2 = \frac{p.D}{4t}$$

$\sigma_3 = 0$ ( eğer t / D = 1/20 ise)

Buradan,

$$\sigma_1 = \frac{17.5.6100}{2.25.4} = 2101$$ MPa

$$\sigma_2 = \frac{17.5.6100}{4.25.4} = 1050$$ MPa

bulunan bu değerler **Von-Mises** kriterinde yerine konulursa,

$$(\sigma1-\sigma2)^2 + (\sigma2-\sigma3)^2 + (\sigma3-\sigma1)^2 \leq 2\,\sigma^2_{ak}$$

$$(2101-1050)^2 + (1050-0)^2 + (0-2101)^2 \leq 2.\ (2450)^2$$

Buradan $6.62\ 10^6 \leq 1.20\ 10^7$ bulunur.

Kriterinin sağlanması sebebiyle akma esas alındığında hata meydana gelmeyeceği umulmaktadır.

b) Eğer Griffith formülünü kullanacak olursak hataya sebep olacak kritik çatlak boyutunu belirlemek istersek ;

$$\sigma_f = \left[\frac{G_c.E}{\pi.a.\left(1-\vartheta^2\right)}\right]^2$$

Buradan değerler yerine konursa,

$$a_c = \left[ \frac{131.10^3.210.10^9}{\pi\left(2101.10^6\right)^2.\left(1-0.3^2\right)} \right]$$

m
buradan,

**$a_c$= 2.18 mm** bulunur.

(Griffith kırılma kriteri hk.da)

## PROBLEM 7 :

Bu soru sizin Griffith teorisini anlayıp anlayamadığınızı tespit edecek olan bir sorudur, ve bu alanda tipik bir imtihan sorusudur.

******************************************************************

Griffith teorisi, "**Çatlak büyümesi esnasında enerji bırakma hızı, istenen kritik enerji hızına eriştiği zaman gevrek kırılma olduğunu**" ileri sürer. Bu konuda orijinal analiz, cam gibi tam gevrek malzemelerde yapılır.

a) Bir çatlak büyürken, potansiyel enerjinin nasıl bırakıldığı, yüzey enerjisindeki gerekli değişikliğin nasıl olduğunu gösteren bir diyagram inceleyiniz?

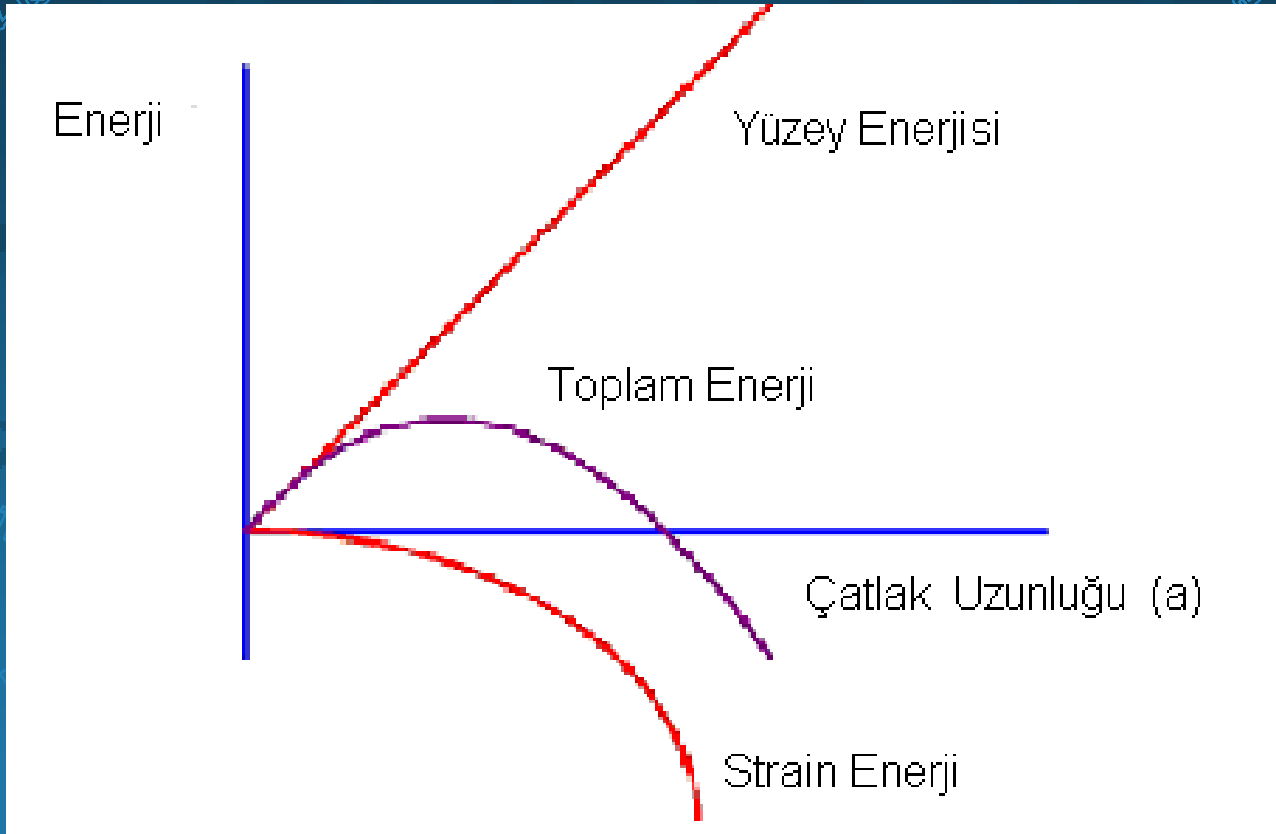
b) Çatlak boyunun uzaması ile ilgili R ve G parametrelerindeki değişmeleri kısaca tarif edip diyagramı çiziniz. R ve G parametrelerini tanımlayınız?

c) R ve G terimleri ile kırılma için ne gibi kritik şart vardır belirleyiniz?

# ÇÖZÜM – 7 :

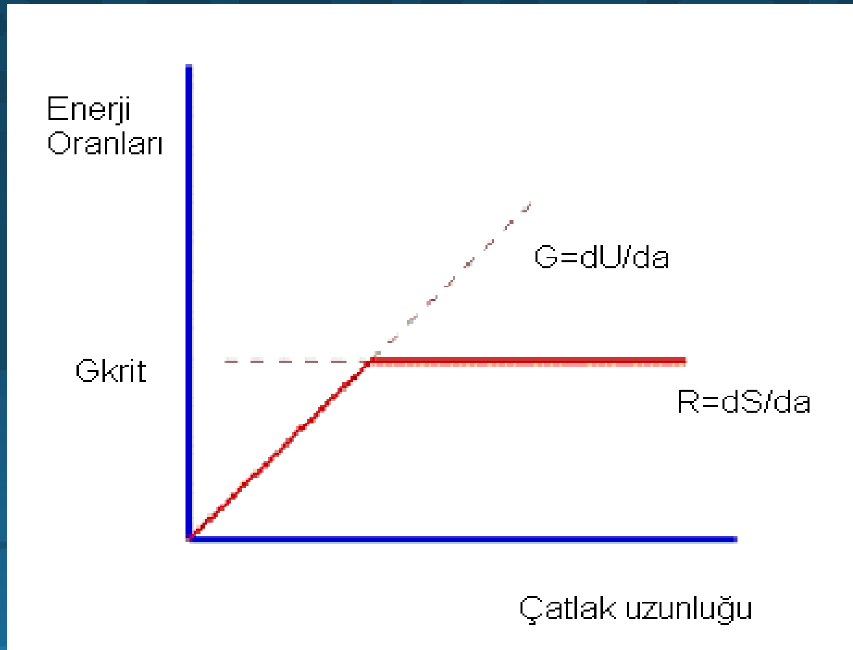
a) - Griffith teorisi, kırılmanın şiddeti ile ilgilidir ve azar azar artan çatlak büyümesi ile enerji değişimini göz önüne alır. Gittikçe artan çatlak uzamasına maruz kalan yük ile yüklü bir gevrek cisim için, yalnızca enerji değişimlerine katkı, iki tane yeni kırılma yüzeyi doğuran enerji (iki yüzey / çatlak ucu) ve cisimdeki potansiyel enerjideki değişmelerdir. Yüzey enerjisi terimi **(S)** çatlak büyümesinde absorbe edilen enerjiyi simgeler. **(U)** ise depolanmış strain enerjisini ifade eder ve çatlak büyürken bırakılan enerjidir ( yeni kırılma yüzeylerine komşu yüksüz bölgelerden dolayı).

Yüzey enerjisinin birim alan başına sabit bir değeri vardır. (veya cisim birim kalınlık için birim uzunluğu) ve bu yüzden enerjisi, çatlak uzunluğunun lineer bir fonksiyonudur. Çatlak büyümesi esnasında bırakılan depolanmış strain enerjisi, çatlak uzunluğunun bir parabolik fonksiyonudur. Bu değişikliler, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.


Enerji
Yüzey Enerjisi
Toplam Enerji
Çatlak Uzunluğu (a)
Strain Enerji

b) Griffith teorisinin geliştirilmesinde son adım çatlak uzaması ile enerji değişim hızının göz önüne alınmasıdır. Çünkü Kritik şart, toplam enerji ifadesindeki maksimum noktaya karşılık gelir. Örnek **dW/da = 0**. Buradan **a = a*.** Çünkü çatlak, bu değerden daha fazla uzar (verilen bir uygulama gerilmesi altında). Cisim daha düşük bir enerji seviyesinde olacaktır ki bu istenen en uygun bir haldir ve bundan dolayı da hızlı kırılma (gevrek) oluşur. R= **dS/da = 0** olur. Ve Aşağıda eğri enerjisi hızları veya (a) çatlak boyu ile ilgili **G = dU/da** ve R= dS/da 'yı gösterir.

Burada R, çatlağın büyümesine karşılık gelen direnç ifadesi (dS /da) ; G, Strain enerji bırakma hızı **(G = dU / da)** dır.




c) Kırılma oluştuğu zaman **R = G** dir, ve **$G = G_{crit}$** yazabiliriz. Yani G değeri strain enerji bırakmanın kritik değerine erişmiş demektir. Bu değer, R değerine eşittir. Bundan dolayı $G_{crit}$ değeri malzemenin kırılma tokluğu değerini gösterir.

(Alumina taşlama taşı'nın kırılması hk.da)

## PROBLEM - 8 :

Bu problem, malzemelerin işlenmesinde kırılma mekaniğinin kullanımını göstermektedir, ve ilgili parçadaki kusurun pozisyonunu ve kusurun kritik büyüklüğü hakkında biraz düşünmeyi gerektirir.

***************************************************************

Taşlama taşı, yüksek sıcaklık ve basınçta "**alümina**" tozu ile sinterlenir ve sıkıştırılır sonrada işlenir. Toz, tekerlek taşında sonradan kusur yaratmasın diye **impurite** ( istenmeyen yabancı partiküller) 'den sıkıştırma işlemi öncesi elekten geçirilir. Böylece arta kalan 'impuriteler' elek mesh ölçüsü veren boyutla ilişkilidir.

Özel "**alümina tekerlek**" in yoğunluğu 3800 kg/m$^3$ , delik çapı 140 mm ve dış çapı 1.0 m 'dir ve 3000 dev/dak ile dönmektedir.

Tekerlekte max. Gerilme;

$$\sigma = \left[\frac{\rho.\omega^2}{4}\right].\left[(1-\nu).R_1^2 + (3+\nu).R_2^2\right]$$

$N/m^2$ olarak yukarıdaki formül ile veriliyor.

Doç.Dr. İrfan AY / Arş.Gör. T.Kerem DEMİRCİOĞLU

ρ : Tekerlek malzemesinin yoğunluğu
ω : Radyal olarak dönme hızı
υ : Poisson oranı ( υ= 0.3)
$R_1$ : İç delik yarıçapı
$R_2$ : Dış yarıçapı

Tekerlek 3000 dev/dak çalışırken, kritik kusur boyutuna ulaşması için 2 kat emniyetli alınmış olsa, bu şartlarda müsaade edilebilecek elek mesh boyutu (bu elekten geçecek impurite parça boyutu) nu hesapalayın?

Not : Bu problem için kırılma tokluğu **R = 0.10 Kj /m²** ve **E = 371 GPa** alınacaktır. Plane –Strain (Kalın bir parça olarak) şartları gözönüne alınacaktır.

## ÇÖZÜM - 8 :

Burada yapmamız gereken, ihtiyacımız olan şey tekerlekteki max gerilmeyi bulmak ve bu gerilmeye karşılık gelen kritik çatlak tipini belirlemektir. Çatlak tipinin önemi Griffith denkleminde **(a) = ($a_{cr}$)** değerine ulaşacağından artar, ve gömülü çatlaklar için (2a) yüzey çatlakları için (a) terimini göz önüne almak zorundayız. Bundan dolayı eğer mesh (elek) gömülü çatlakların boyutunda ise yüzeyde böyle bir kusur oluşmuşsa, derhal kırılma oluşacaktır. Buradan da elek kritik değere sahip olan yüzey kusurunu esas alarak boyutlandırılacaktır.

$$\sigma = \frac{3800.(\frac{3000.2\pi}{60})^2}{4}.((1-0.3).(0.07)^2 + (3+0.3).(0.5)^2)$$

Sonuçta $\boxed{\sigma = 77.67}$

MPa bulunur.

Plain-Strain şartı için Griffith denklemini kullanırsak;

$$G_C = R = \frac{\pi.(1-\nu^2).\sigma^2.\alpha}{E}$$

$$a = \frac{E.R}{\pi.\sigma^2.(1-\nu^2)}$$

$$a = \frac{371.10^9.(0.1).10^3}{\pi.(77.67.10^6)^2.(1-\nu^2)}$$

a = 2.2 mm bulunur.

Çatlak boyu olarak 2 kat emniyet faktörü esas alınması istendiğinden çatlak boyu **1.1 mm** ‘den daha büyük olmamalıdır.

# GERİLME ŞİDDETİ FAKTÖRÜ VE KIRILMA TOKLUĞU TESTİ İLE İLGİLİ PROBLEMLER

(Çatlak ucuna yakın gerilmeler hk.da)

**PROBLEM - 1 :**

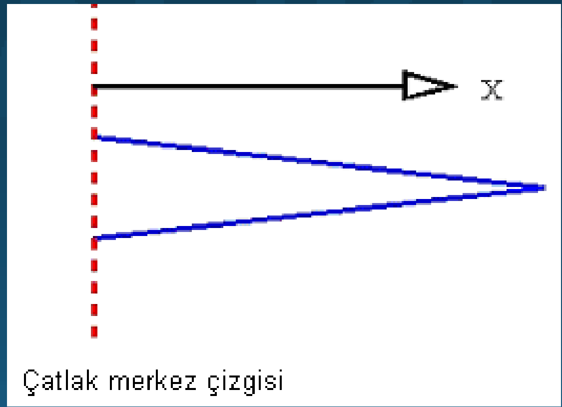
Bu soru, çatlak ucundaki gerilmeler ve gerilim şiddeti faktörü (K)’ yı esas alan yaklaşık çözüm arasındaki farkı göstermek için sorulmuştur.

*****************************************************

Sonsuz bir plakanın kalınlığı içinde bulunan bu çatlak ucu önündeki çeki gerilmesi dağılımı :

$$\sigma = \frac{\sigma_{nom}}{\left(1 - \frac{a^2}{x^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

denklemi ile doğru şekilde tanımlanır.




Burada x, çatlak merkezinden çatlak boyunca olan uzaklıktır. ( Diyagramda gösterildiği gibi.)

Gerilim şiddeti faktörü ifadesinde çatlak ucuna çok yakın gerilme değeri ise :

$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}$$

denklemi ile yaklaşık bulunabilir. Burada r çatlak ucu önü mesafesidir.

## ÇÖZÜM - 1 :

Bu problemi çözmek için aşağıdaki denklemde değerler yerine konursa ; x = 1.02 a, x = a + r

$$\sigma \frac{\sigma nom}{\left(1-\frac{a^2}{1.02a^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = 5.075\sigma nom$$

ve daha sonra 2. denklemde r = 0.02 a yerine konursa;

$$\sigma = \frac{\sigma nom.\sqrt{\pi a}}{\sqrt{2\pi.0.02a}} = \frac{\sigma nom}{\sqrt{0.04}} = 5\sigma nom$$

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{5.075\sigma nom}{5\sigma nom} = 1.015$$

bulunur. Aradaki fark % 1.5 dir.

(Cam'ın kırılması hk.da)

**PROBLEM - 2 :**

Bu soru, kırılmanın değerlendirilmesinde gerilim şiddeti yaklaşımının apaçık bir uygulamasıdır.Bu soru yük olarak kendi ağırlığını esas alan bir faraziye yapmayı gerektirir.

**************************************************************

Bir yardımsever size 50.000 sterlin kazanma şansınız olduğu teklifini yapıyor. "**Yalnızca bir dakika bir halatta asılı kalacaksın**". Halat 1.27 mm kalınlığında 10 cm genişliğinde, 300 cm uzunluğunda cam tabakadan yapılmış bir nesneye bağlıdır.

Karmaşık olan bu durumu biraz açıklarsak:

**1-)** Cam tabakanın en uzun tarafında dik vaziyette ve yere paralel olan 1.62 cm uzunluğunda bir merkezi çatlak vardır. Camın kırılma tokluğu K= 0.83 MPa m $^{-3/2}$ olarak biliniyor.

**2-)** Halat, içinde oldukça kızgın yeşil "**mamba yılan**"larının olduğu derin bir çukur üzerine asılıdır.

Yağmurlu havada gökkuşağının gözüktüğü esnada bir kap altın için bu denemeyi yaparmısınız?

**Verilenler :**

Kalın olan bu plaka içindeki var olan çatlak önündeki gerilim şiddeti faktörü :

$$K = Y.\sigma.\sqrt{\pi.a}$$

alınır. Burada (Y) ifadesi ;

$$Y = 1 + 0.256\left(\frac{a}{w}\right) - 1.152\left(\frac{a}{w}\right)^2 + 12.2\left(\frac{a}{w}\right)^3$$

dir.

a : Çatlak uzunluğu

W : Numune genişliği

## ÇÖZÜM - 2 :

Cam tabakanın boyutu, halatta asılı olan ağırlığınızdan dolayı tabakada oluşacak gerilme hesabı için şarttır. Bu gerilme, tabaka tam kesiti esas alınarak, çatlak yok farzedilerek hesaplanacaktır. Açıktır ki, bu cam tabaka sınırlı bir tabakadır. Bundan dolayı gerilim şiddeti denklemini düzeltmeye ihtiyacımız vardır.

Esas olarak;

$$K = Y.\sigma.\sqrt{\pi.a}$$

Burada sonlu geometri düzeltme fonksiyonu olan ;

$$Y = 1 + 0.256\left(\frac{a}{w}\right) - 1.152\left(\frac{a}{w}\right)^2 + 12.2\left(\frac{a}{w}\right)^3$$

şeklinde verilmiştir.

Buradan 2a = 16.2 mm

a = 8.1 mm
W = 100 mm alınırsa Y= 1.035 olur.
Uygulanan gerilme basit olarak;

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

formülünde F: Yük
A: Kesit alanı
Örneğin

$$\sigma = \frac{60.9,81}{100.1,27}$$

$N/mm^2$ (insan ağırlığı 60 kg alınırsa)
Gerilme = 4.63 MPa / $m^2$ olur.

K=1,035. 4,63. $\sqrt{\pi.8,1.10^{-3}}$

**K= 0,76 MPa m $^{-3/2}$** bu değer daha önce verilen **0.83 MPa m $^{-3/2}$** ‘den küçük olduğundan

**0,76 < 0,83**

Bu hesap benim kendi ağırlığımı esas alarak yapılmıştır.Eğer kendimi cesur hissedersem para için deneyebilirim. Emniyet sınırı düşüktür. Sizin için para kazanma öncelikli ise daha hafif ve daha genç olmam için verilecek daha iyi bir emniyet değeri olmalıdır.

(Yüksek mukavemet ile yüksek tok'luk arasındaki ilişki hk.da)

## PROBLEM - 3 :

Bu soru, yüksek tokluk değerini esas alan kırılma mekaniği ile klasik makine mühendisliği tasarımı arasındaki paradoksu (çelişkiyi) göstermek için sorulmuştur.

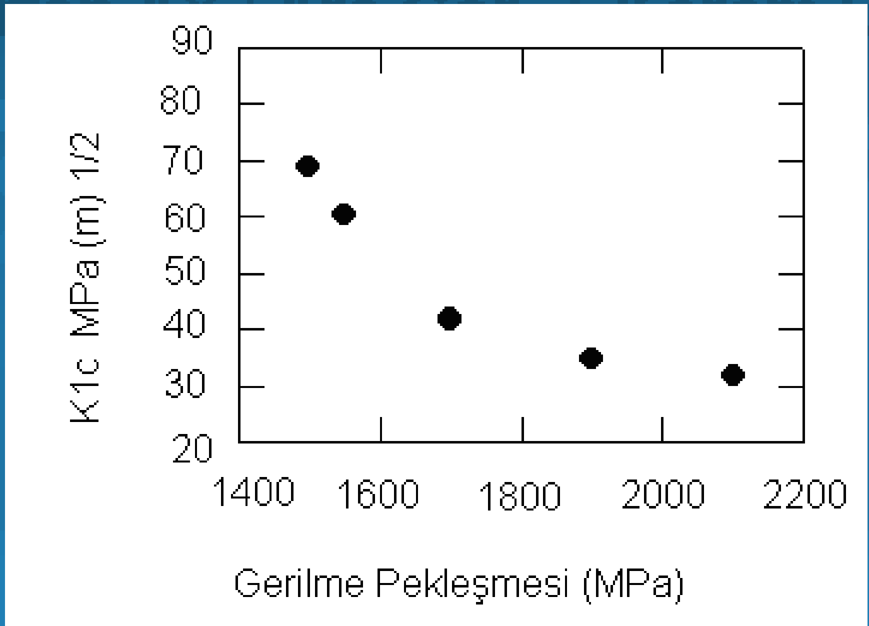
*****************************************************

Kaynaklı bir yapı 0.45 C ve Ni-Cr-Mo içeren büyük bir çelik saçtan imal edilmiştir. Mevcut NDT(Tahribatsız Muayene) tekniğinin kontrol sınırı, 3mm ile sınırlıdır. Bu değerden daha büyük çatlaklar bu yöntemle kontrol edilemez. $\sigma_{max}$ çekme gerilmesinin yarısına karşılık gelen tasarım gerilmesi istenir.

$$\sigma_{tas} = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

Kaynaklı yapının ağırlığını koruması için daha yüksek çeki mukavemet seviyesine ulaşabilmesi için ısıl işlem görmesi önemlidir. Mevcut çelik cinsi 1520 MPa çekme mukavemet seviyesi olmalıdır.

Bu değişiklik kırılma mekaniği ifadelerince de desteklenebilir mi? Kabul edilebilir mi?
Siz bütün bu hesaplamalarda plane-strain (kalın parça) şartlarında var olduğu farz edeceksiniz, ve bu çeliğin kırılma tokluğu ile çekme mukavemeti arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekil göstermektedir.
Başlangıçta yaklaşık 5 mm hata boyutuna  sahip her iki cins çelikteki hem ağırlık, hem de müsaade edilen gerilme değerini kıyaslayınız.



# ÇÖZÜM - 3 :

Bu soru, çekme mukavemetindeki bir artışa karşılık, kırılma tokluğu değerindeki kaybın ($a_{crit}$) kritik çatlak uzunluğu üzerine etkisinin ne olduğunu göstermektedir.

Şekilde verilenlerden;

Kc : 66 MPa m $^{-3/2}$ iken $\sigma_{max}$= 1520 MPa/m$^2$

Kc : 33 MPa m $^{-3/2}$ K= iken $\sigma_{max}$= 2070 MPa/m$^2$

olarak yazılır. Kalın bir plaka için yukarıdaki değerleri bulabiliriz. Büyük plakada kalınlık içindeki bir çatlağın durumunu, gerçekte sonsuz bir plakadaki bir çatlağın durumuna benzer işleme tabi tutabiliriz. Buradan;

$\sigma\sqrt{\pi . a}$ dır ve burada $\sigma = \sigma_{max}\dfrac{1}{2}$ alınırsa , a)- Isıl işlem gören alaşım için σ = 1520 / 2 = 760 MPa/m$^2$

Bu değeri denklemde yerine koyarsak,

$$66 \text{ MPa m}^{-3/2} = 760 \sqrt{\pi . a_{crit}} \text{ MPa m}^{-3/2}$$

Buradan $a_{crit}$ = 2.4 mm çatlağın yarısı olduğundan,

toplam çatlak boyu 2 $a_{crit}$ = 2 . 2,4 = 4,8 mm olur.

Bu kritik çatlak boyu, NDT yöntemiyle ölçülebilecek minimum çatlak boyundan daha büyük olduğundan bu çelik kullanım için emniyetlidir.

a)- 2070 MPa/m$^2$ çelik için aynı işlemi yaparsak,

$$33\ \text{MPa m}^{-3/2} = 1035 \sqrt{\pi . a_{crit}}\ \text{MPa m}^{-3/2}$$

denkleminden,

$a_{crit}$ = 0,33 mm buradan 2. $a_{crit}$ = 0,33 . 2 = 0,66 mm

toplam çatlak boyu elde edilir.

Bu çıkarılan ifadeden hızlı kırılma oluşmadan önce bu cins çelikte kritik çatlakları kontrol etmek mümkün değildir. Ayrıca, eğer biz her iki çelik cinsinde de 4,8 mm boyutundaki kritik çatlak boyuna müsaade edecek gerekli tasarım gerilmesi değişikliğini 2070 MPa/m$^2$ çelik cinsi için,

$$\sigma = \frac{33MPa\sqrt{m}}{(\pi .2.4.10^{3})m} \approx 380MPa$$

tasarım gerilmesi çıkar.

Böylece benzer çatlak tokluğu seviyesi için daha yüksek mukavemetli alaşımlarda müsaade edilebilecek gerilme 1570 $MPa/m^2$ ‘ın yarısıdır. Bu bir parçanın ağırlığında 2 kat artış ifade eder. Açıktır ki daha yüksek mukavemetli bir alaşım tasarımında kullanılmadan önce, hata kriterinin akma halinde mi yoksa kırılma halinde mi olup olmadığına kara vermek zorundayız.

(Soğutma ve "artık gerilme" ilişkisi hk.da)

## PROBLEM - 4 :

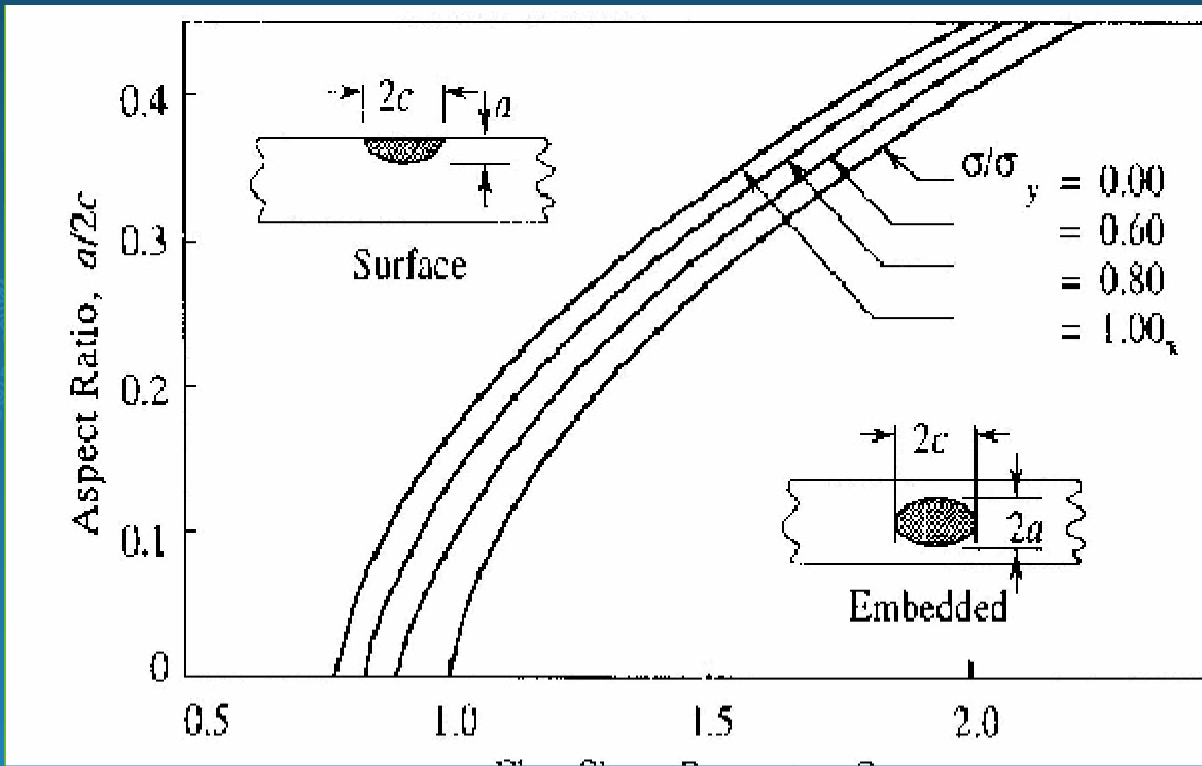
Bu soru hızlı kırılma (gevrek) üzerine "**artık gerilme**" lerin **ve** "**soğuma**" nın etkisini göstermektedir. 30 mm kalınlığa sahip çelik bir parçanın su ile soğutulması esnasında, ısı transferi hesaplanmasından, bu soğutulan kesitte max gerilmenin 130 MPa olduğu görülmüştür. Isıl işlem yapmadan önce, parçalar, kusurları ortaya çıkartmak için ultrasonik yöntemle muayene edilmişlerdi. Muayene tekniği, minimum 0,5 mm'lik boyuna kadar kontrol yapma yeteneğine sahiptir.

a)- En Kritik kusur tipi ne olacaktır.?

b)- Soğutma işlemi esnasında parçanın kırılmasına neden olacak kusur boyutunu hesaplayınız. ( **2c/a =10** verilmektedir.)

c)- Eğer soğutma ile ortaya çıkacak gerilmeleri, çeliğin işletme anında uygulanan gerilmelere eriştiği anda, bu muayene prosedürü parçanın bütünlüğünü garanti edecek mi?

İyice anlayın ki plane- strain kırılma tokluğu değeri Kıc= 30 MPa m $^{-3/2}$ ve uygulanan gerilme 620 MPa ‘dır. Bu çelik parça için gerilme şiddeti, kalibrasyonu ve çatlak geometrisi aşağıdaki diyagramda verilmiştir. Yüzey çatlakları için,



$$K = 1.1\,\sigma\left(\frac{\pi . a}{Q}\right)^{1/2}$$

ve gömülmüş haldeki çatlaklar için,

$$K = \sigma.\left(\frac{\pi . a}{Q}\right)^{1/2}$$ dır.

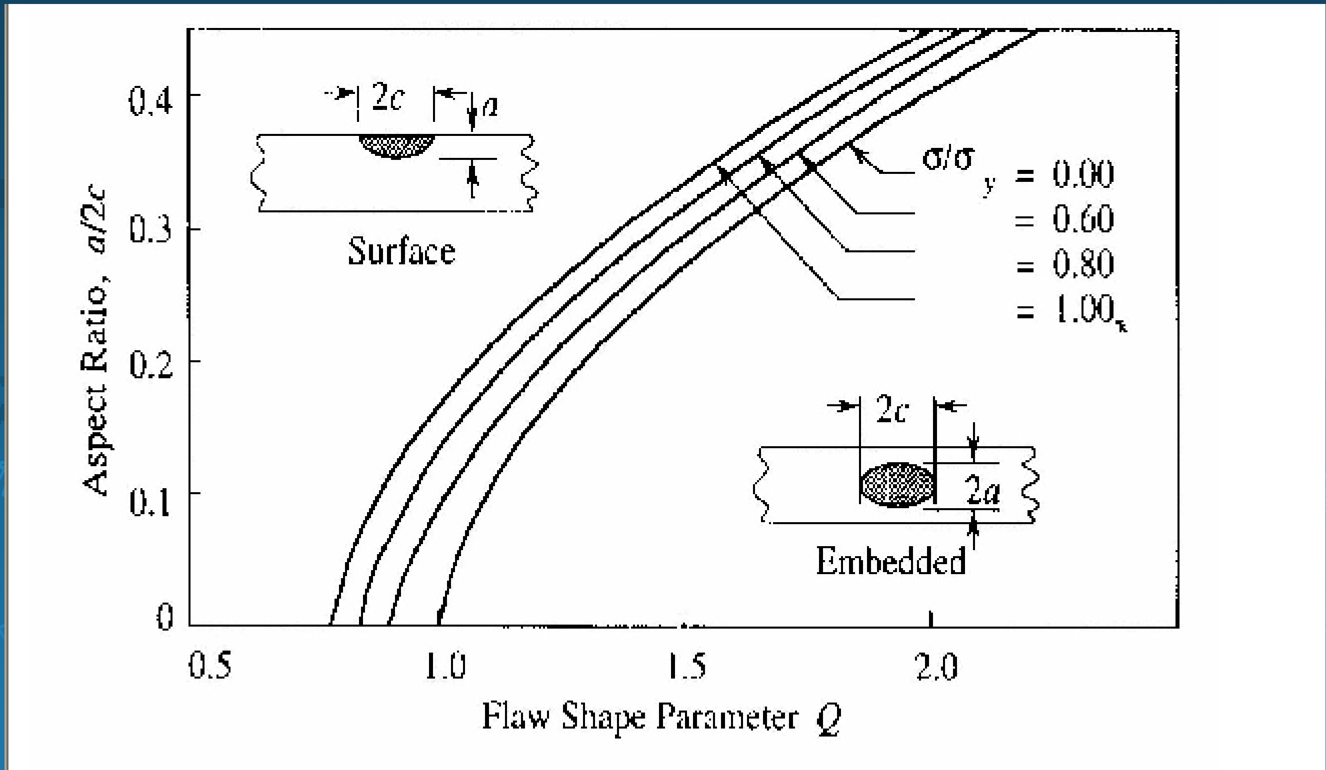
# ÇÖZÜM - 4 :

a) Yüzey ve gömülü çatlaklar için gerilim şiddeti (K) çözümü muayene yöntemlerinden görebiliriz ki yüzeydeki kusurlar için 1.1. faktörü sebebiyle çatlaklar, gömülmüş haldeki kusurdan daha küçük değerde kritik çatlak olarak sayılacaklardır.

b) Problemin bu kısmı, kusurları için (K) denkleminde bilinenlerin yerine koymayı gerektirir. Ama, bizim Q için uygun bir değere ihtiyacımız vardır. Grafikten,

$$\frac{\sigma}{\sigma y} = 0,21 \qquad \frac{a}{2c} = 0.1 \text{ buradan, } Q = 1.1 \quad \text{bulunur.}$$

$$a_c = \frac{1.1.K_{1C}^{-2}}{1.21.\pi.\sigma^2} = \frac{1.1.30^{-2}}{1.21.\pi.130^2} \qquad a_c = 15.4 \text{ mm olur.}$$


2c
a
Surface
2c
2a
Embedded
σ/σ y = 0.00
= 0.60
= 0.80
= 1.00
Aspect Ratio, a/2c
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.5
1.0
1.5
2.0
Flaw Shape Parameter Q

Bu çatlak NDT (Tahribatsız muayene tekniği) kontrol sınırından çok daha fazla büyüktür. Soğutma esnasında hata riski çok az olmalıdır.

c)- Eğer soğutma esnasında doğan gerilme, metalin uygulama gerilmesine erişmişse,

O zaman durum dramatik bir şekilde değişir.

Yüzey kusurları hala kritiktir, fakat Q değeri aşağıdaki gibi değişmiştir.

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = 0.21 \text{ and } \frac{a}{2c} = 0.1, \quad Q = 1.1$$

$$a_{cr} = \frac{0.88.K_{1c}^{-2}}{1.21.\pi.\sigma^2} = \frac{0.88.30^{-2}}{1.21.\pi.620^{-2}}$$

Buradan $a_c = 0.54$ mm bulunur.

Doğan kusurun kritik boyutu NDT ile ölçülen kusur sınırları civarında iken, muayene parçanın bütünlüğünü garanti edecektir. Soğutma prosedürü boyunca olan değişim, daha yavaş bir soğutucu kullanılarak yerine getirilerek tamamlanmak zorunda kalmayacaktır.

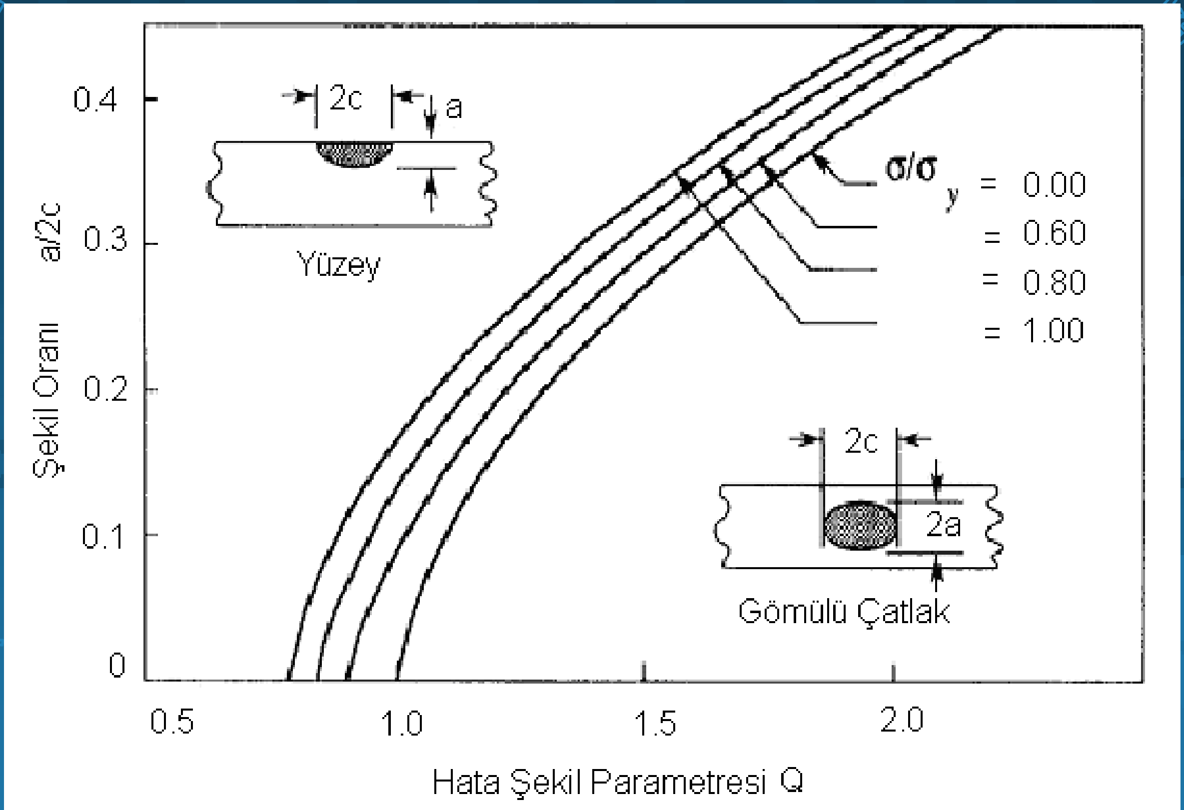
(Tepkili motor gövdesindeki kırılma hk.da)

## PROBLEM - 5 :

Bu problem, 1960'lı yıllarındaki "ICBM" roket motor probleminin gerçek hata analizi esas alınarak sunulmaktadır. Ve kırılma mekaniğinin ilk uygulamalarındandır. Hidrolik deneme testi esnasında 1260 MPa 'lık uygulama gerilmesinde roket motorunun hata verip vermediği problemini incelediğimizde, araştırmanın parça kırılmadan önce içeri de eliptik bir çatlağın boyutu ( 4.0 mm boy 1.6 mm en) 'na eriştiğini gördük.

Malzemeye ısıl işlem uygulandıktan sonra, **$\sigma_{uyg}$ = 1645 MPa** ve **K ıc = 60 MPa m $^{-3/2}$** olmuştur.

Aşağıda gösterilen K-Kalibrasyon eğrisini kullanarak kırılmaya neden olan $\sigma_{uyg}$ gerilmesini hesaplayın? Hesaplanan değer, kusur veren gözlediğimiz gerilme değeri ile uyumlu mu? Değil mi?



0.4
0.3
0.2
0.1
0
Şekil Oranı a/2c
2c
a
Yüzey
σ/σy = 0.00
= 0.60
= 0.80
= 1.00
2c
2a
Gömülü Çatlak
0.5
1.0
1.5
2.0
Hata Şekil Parametresi Q

Buradan yüzey çatlakları için,

$$K= 1.1.\sigma.\left(\frac{\pi.a}{Q}\right)^{1/2}$$

Gömülü çatlaklar için,

$$K= \sigma.\left(\frac{\pi.a}{Q}\right)^{1/2}$$ dir.

# ÇÖZÜM - 5 :

Bu problem de, gömülü çatlaklar için (K) denkleminde verilenleri yerine koymamız gerekir. Fakat Q için uygun bir değere ihtiyacımız vardır. Onu grafikten aşağıdaki şekilde elde ederiz.

$\frac{\sigma}{\sigma_y} = 0.77$ $\qquad \frac{a}{2c} = \frac{0.8}{4.0} = 0,2$

Buradan Q ≈ 1.04 bulunur.

$$\sigma = \sqrt{\frac{Q.K_{Ic}^{-2}}{\pi.a_c}} = \sqrt{\frac{1.04\ .60^{-2}}{\pi\ .0\ .0008}}$$

Buradan **σ = 1220 MPa** bulunur.

Bu değer bizim gözlemlediğimiz değer ile oldukça uyuşan bir değerdir.

( Kırılma Tokluğu testleri hk.da)

## PROBLEM – 6 ;

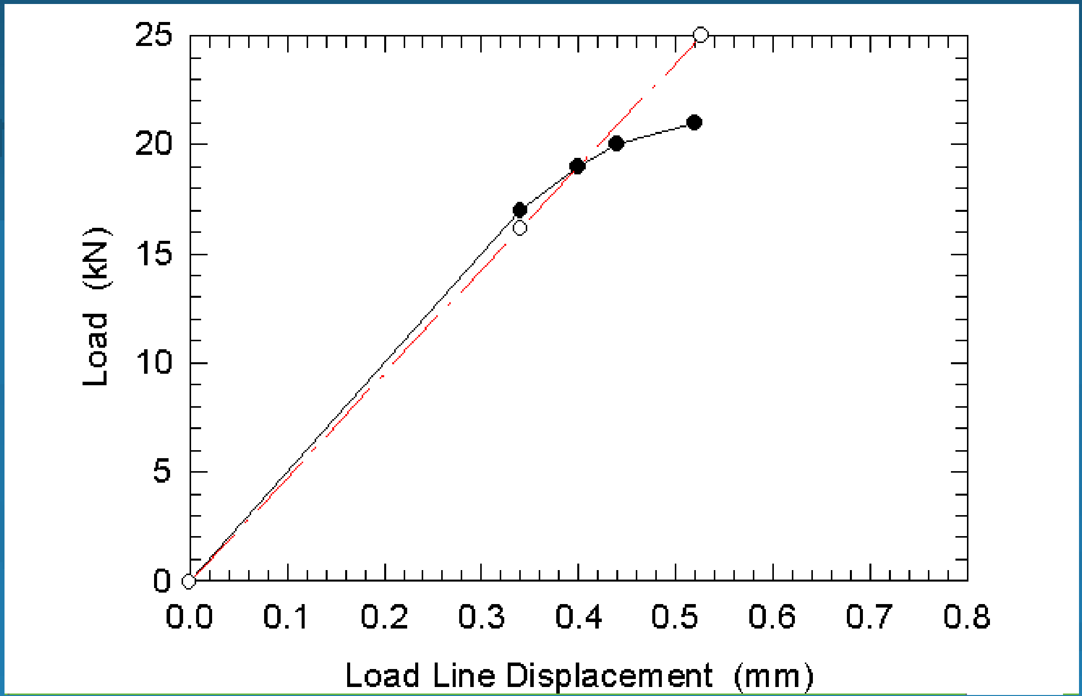
Bu sorunun amacı ( BS 7448 : Part 1 : 1991.) british standartlarına göre kırılma tokluk testlerinden Kıc sabit değerlerinin tanımlanışı üzerindeki kısıtlamaları uygulamalı olarak göstermektir. Tamamlanması için 15 dk tavsiye edilir.

*******************************************************

Alttaki grafik standart boyutlu "compact tension" kırılma tokluk numunesine ait yük etkisinde uzama çizgi izini gösterir. Numunenin kalınlığı 25 mm dir. Çatlak uzunluğu 25 mm de kırılmıştır ve alaşımlı çelik olan malzemenin akma dayanımı 650 MPa dır.

**a)-** FQ ve KQ değerlerini hesaplayınız. Plastik bölge boyutu üzerindeki istenilen kontrolleri yapınız. Gerilme bölgesi ve plastikliğin test boyunca Kq değerinin sabit plane strain kırılma tokluğu olup olmadığını tanımlayınız.

**b)-** 25 mm kalınlıklı bu çelik numunenin max Kıc değeri nedir?



Note that:

$$K_Q = \frac{F_Q}{B\,W^{0.5}} \times f\left(\frac{a}{W}\right) \quad \text{where:}$$

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(2 + \left(\frac{a}{W}\right)\right)\left(0.886 + 4.64\frac{a}{W} - 13.32\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14.72\left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5.6\left(\frac{a}{W}\right)^4\right)}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{1.5}}$$

# ÇÖZÜM – 6

a) FQ değerini bulmak için şekildeki verilen yük-uzama grafiğindeki ilk düz çizgiye %5 eğimli ve orijinden geçecek doğru çizmeye ihtiyacımız var. Bu doğru ilk grafiği iz karşılığı 19 kN a tekabül eden noktada kesmektedir. Böylelikle FQ = 19 kN olur. KQ değerini bulmak için; sadece q/w ifadesini hesaplamaya ihtiyacımız var ve bu değerleri verilen eşitlikteki yerlerine koyarız. Modelin standart boyutları bilindiği gibi W=2B=50 mm. Böylelikle a/W=25/50=0,5

$\phi$

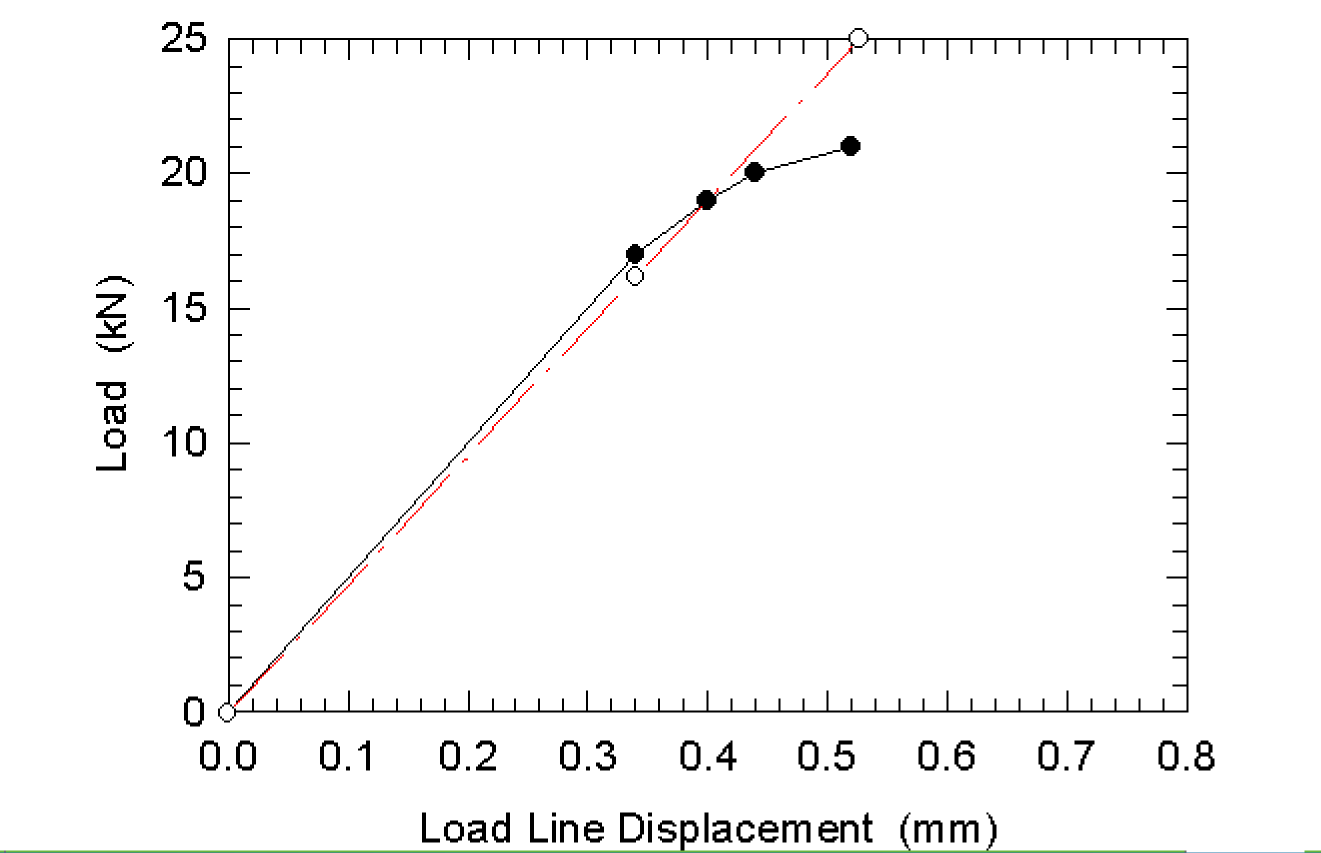
$$f\left(\frac{a}{W}\right) = 9.66$$

$$\therefore\ K_Q = \frac{19\,x10^{-3}\ x\ 9.66}{0.025\ x\ 0.05^{0.5}} = 32.8\ MPa\sqrt{m}$$

Bu tanımlanan . KQ değerinin Kıc sabit değeri alınıp alınamayaca ğını kontrol etmek zorundayız.

$$a,\ B,\ (W-a) > 2.5\left(\frac{K_Q}{\sigma_{YS}}\right)^2 = 2.5\left(\frac{32.8}{650}\right)^2,\ \text{i.e. } 6.4\ \text{mm}$$

esasen; plastik çatlak tipi çatlak uzunluğu üzerinde küçük bir yüzdeye sahip olmalıdır. B değeri üzerindeki kısıtlama plain strain şartlarını sağlamaya yardımcı olur. Bu şartlar esas plastik noktanın çatlak başından gelişimini engelleyecektir. Açıkça numune boyutları eşitlik içerisinde görüyoruz ve böylelikle Kıc değerini buluruz. Son kontrol olarak Fmax/FQ < 1.10 oranının kısıtlaması yapılmalıdır. İlk kırıktaki çatlak plastikliği çok fazla değil. Fmax = 21 kN ve oran 21/19 = 1,105 yeterince kapalıdır.


25
20
15
10
5
0
Load (kN)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Load Line Displacement (mm)

b) Bu tip çelik için tanımlanan bu kalınlık neticesindeki max Kıc değeri; B ve $K_Q$/Akma dayanımı oranı arasındaki eşitliğinden kolayca bulunabilir.

$$i.e.\,when \qquad K_Q > \sigma_{YS}\sqrt{\frac{B}{2.5}} = 650\sqrt{\frac{0.025}{2.5}} = 65MPa\sqrt{m}$$

(İnce çelik saçlarda Plastik bölge etkisi hk.da)

## PROBLEM – 7 :

Bu soru Kıc tanımlamasının iteratif yaklaşımla Irwının plastik bölge doğru çatlak uzunluğu kullanılarak hesaplanabileceğini gösterir. Tamamlanması için 15 dk tavsiye edilir.

*****************************************************

İnce çelik bir plaka merkezi boyunca 16 mm uzunluğunda çatlak içeriyor. Plakaya 350 MPa gerilme değeri uygulanmaktadır. Malzemenin akma dayanımı 1400 MPa dır.

Plastik bölge boyutunu ve çatlak tipindeki efektif gerilme yoğunluk seviyesini hesaplayınız. Sorunlu olası gerilme bölgesini belirleyiniz.

Eğer ısı uygulamasından sonra çeliğin akma dayanımı 385 MPa ya düşerse; uygulanan 350 MPa lık gerilme altında plastik bölge boyutu ne olur? LEFM uygulaması olarak ne yapılmalıdır?

# ÇÖZÜM – 7 :

Bu problem için iki basit varsayıma ihtiyacımız var ve daha sonra standart formülde yerine koyarak çözeriz. İlk varsayım plakadaki mukayese edilen çatlak boyutu; bu bize gerilme yoğunluk faktörü için basit plaka formülünü kullanmamıza izin verir.

$$K = \sigma\sqrt{\pi\, a}$$

$$\therefore\ K = 350\sqrt{\pi \times 0.008} \text{ in consistent units of MPa and m}$$

$$= 55.49 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Soruda tanımlanan çatlak uzunluğunun 2a olduğunu hatırlamak zorundayız. Böylelikle gerilme yoğunluk eşitliğinde uzunluğun yarısını kullanmalıyız.

İkinci varsayım çelik plakadaki plane stres gerilmesiyle ilgilidir. Parça ince olduğu için sorunlu olabilir. Gerilme değeri ile ilgili doğru karar verebilmek için plaka kalınlığı ve plastik bölge boyutu arasında mukayese yapılmalıdır. Bu oran 1 e yaklaşırsa plane stres, eğer 15 e yaklaşırsa plain strain kabulu yapılmalıdır. Plane stres konservatif varsayımdır. Plastik bölge büyükse K değerleri büyüyecektir.(Irwının çatlak hipotezi)

Irwının plastik bölge çatlak uzunluğu formülüne göre:

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K}{\sigma_{YS}}\right)^2 = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{55.49}{1400}\right)^2 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m (i.e. 0.25 mm)}$$

Bu çatlak uzunluğu ile küçük mukayase K üzerinde küçük bir etki gösterir:

$$K_{eff} = \sigma\sqrt{\pi(a + r_p)} = 350\sqrt{\pi(8.25 \times 10^{-3})} = 56.35 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Bu %1.5 değişikliğe neden olur ve böylelikle basit bir iterasyon hesabı yeterlidir.
Bununla beraber eğer ısı uygulamasından sonra akma gerilmesi 385 MPa ya düşseydi şartlar ciddi şekilde değişirdi. Plastik bölge boyutu ;

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{55.49}{385}\right)^2 = 3.31 \times 10^{-3} \text{ m (i.e. 3.31 mm)}$$

$$K_{eff} = \sigma\sqrt{\pi\left(a + r_p\right)} = 350\sqrt{\pi\left(11.31 \times 10^{-3}\right)} = 65.97 \text{ MPa}\sqrt{m}$$

Bu %18.9 civarında değişiklik olacağını gösterir ve LEFM uygulaması şüphe doğuracaktır. Aslında uygulanan gerilme olan 350 MPa akma gerilmesinin %91 i dir. kırılma mekaniği parametreleri kırılma için eğilim gösteren karakteristikler için kullanılmalıdır.

(Numune kalınlığının etkisi hk.da)

# PROBLEM - 8

Bu soru açıkça ve gerilme yeri görüş uygulamasının çatlak tipi plastik bölgesinin model kalınlığına oranı tarafından tanımlanmış olmasını gösterir. Bu görüşte problem 6 da görülen testteki sonuç şartlarıyla kontrol edilen ve british testinde seçilen model kalınlığı ile plain strain kırılma tokluğu kullanılacaktır. Tamamlanması 10 dk zaman alır.

**********************************************************************

Kalın çelik plakanın delil testi esnasında kötü bir kırılma meydana geldi. Uygulanan 700 MPa lık gerilme değeri 2,5 cm radius boyunca gömülü keskin kenar etkisi başlatmıştır. Bu çeliğin kırılma tokluğunu hesaplayınız.

Standart testlerden plain strain kırılma tokluğu tanımlanarak bu değerin kontrol edilmesi arzulanmıştır. Çeliğin akma dayanımı 1100 MPa dır. Çelik malzeme için nominal olarak 7,5 mm lik kalınlık uygun görülmüştür. Bu Kıc sabit değeri için yeterli kalınlığı sağlar mı? Eğer sağlamazsa kalınlık öneriniz nedir?

Gömülü çembersel çatlak için gerilme yoğunluk çözümü ;

$$K = \frac{2}{\pi}\,\sigma\sqrt{\pi a}$$

## ÇÖZÜM – 8 :

Formül içerisindeki değerler yerine konarak istenilen Kc hesaplanır.

$$K = \frac{2}{\pi}\,\sigma\sqrt{\pi a}$$

$$\therefore\ K = \frac{2}{\pi} \text{ x } 700 \text{ x } \sqrt{\pi \text{ x } 0.025}\ \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$= 124.9\ \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Eğer bu varsayılan sabit plain- strain kırılma tokluk değeri ise daha sonra minimum model kalınlığı verilen denklem ile bulunur.

$$B \geq 2.5\left(\frac{K_{1C}}{\sigma_{YS}}\right)^2$$

Verilen değerler eşitlikte yerlerine konarak kalınlık hesaplanır

$$B \geq 2.5\left(\frac{124.9}{1100}\right)^2 = 0.0322\ \text{m, i.e. } 32.2\ \text{mm}$$

Böylelikle verilen kalınlık değerinin sağlanan Kıc değeri için yetersiz olduğu görülür. Yapılacak öneri standart 32,2 mm değerinden büyük olmalıdır. Muhtemelen 35 mm lik kalınlık yeterli olacaktır.

(Yarı-eliptik çatlakların büyümesi hk.da)

## PROBLEM - 9 :

Bu soru yüzey kusurlarının kritik halini değerlendirmek ve niçin yarı küçük eksen kullanıldığını denemek için tasarlanmıştır. Geometrik düzeltme faktörleri tablosunu yorumlamada bazı düşüncelere gerek vardır. Bu zaten apaçık meydandadır.

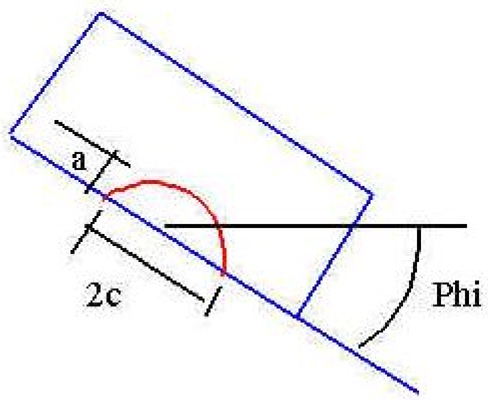
***********************************************************

İnce yaprak yay, tek yönlü eğilirse, çekme yüzeyinde yarı-elips şeklinde çatlak gelişir. Çatlağın

$$\left(\frac{2c}{a}\right)$$

oranı 0.2 dir. Çatlağın düzlemi, uygulanan eğme gerilme yönüne diktir. Yay tekrarlı sapmaya maruz kalırken çatlak, yorulma ile büyür.

$$K = \frac{Y\sigma\sqrt{\pi a}}{\Phi}$$



| Φ | a/c | Phi | Y | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | a/B | | | |
| | | | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 1.051 | 0.2 | 0° | 0.617 | 0.724 | 0.899 | 1.190 |
| | | 45° | 0.990 | 1.122 | 1.384 | 1.657 |
| | | 90° | 1.173 | 1.359 | 1.642 | 1.851 |
| 1.151 | 0.4 | 0° | 0.767 | 0.896 | 1.080 | 1.318 |
| | | 45° | 0.998 | 1.075 | 1.247 | 1.374 |
| | | 90° | 1.138 | 1.225 | 1.370 | 1.447 |
| 1.277 | 0.6 | 0° | 0.916 | 1.015 | 1.172 | 1.353 |
| | | 45° | 1.024 | 1.062 | 1.182 | 1.243 |
| | | 90° | 1.110 | 1.145 | 1.230 | 1.264 |
| 1.571 | 1.0 | 0° | 1.174 | 1.229 | 1.355 | 1.464 |
| | | 45° | 1.067 | 1.104 | 1.181 | 1.193 |
| | | 90° | 1.049 | 1.062 | 1.107 | 1.112 |

# ÇÖZÜM – 9 :

Bu problem, yukarıdaki tabloda görülen (Y) değerinin kontrol edilmesiyle çözülebilir. Aslında, bir çatlak, gerilme şiddeti faktörü (K) değerinin en yüksek (Bu eğriden log (da/dn 'ye karşılık yorulma çatlağı büyüme hızı ile ilişkisinden kolayca gözlenir.) olduğu yerdeki yorulma anında en hızlı şekilde büyüyecektir. Hem çatlağın şekli (Φ) hem de sonlu geometri (Y) nin gerilim şiddeti faktörü (K) üzerinde etkileri olmasına rağmen

$$\frac{a}{c}\langle 0.6, 0,2 \prec \frac{a}{b} \prec 0,6$$

ve (Y) değeri hepsi için 90 $^{0}$ 'de en yüksek olacaktır.

$$\left(\frac{a}{b}\right)$$

değeri (1.0) 'a yakınken bu (Y) değeri değişir ve en yüksek

(Y) değeri açı (0 $^{0}$C) 'ye karşılık gelir.

Tablodaki sütunlarda bu görülebilir. Buradan

$$\frac{a}{c} = 0.6$$

$$\frac{a}{b} = 0.8$$

ve tüm sütunlarda $$\frac{a}{c} = 1.0$$

görülür.Bu sınırlamanın kaybına karşılık, çatlak önünün serbest yüzey yaklaşımının (numunenin arka yüzü) dan dolayı oluşur. Böylece, (Y) değeri verilerinin yorumu , sabit çatlağın, değişken çatlağa oranı

$$\left(\frac{a}{c}\right)$$

'nın yaklaşık 0.8 (interpolasyonla 0.6 ile 1.0 arası) eşit olacağı şeklindedir.

Pratikteki bu oluşum çok sayıda deneysel çalışma ile gösterilmiştir. Unutulmamalıdır ki, eğme olayında çatlakların durumu, çekmedekinden biraz farklıdır.

Biz başlangıçta yay'ın kalınlığı ile çatlağı kıyasladığımızda çatlağın küçük olmasından dolayı çekme olduğunu farz ettik ve böylece makul bir düzgün gerilme alanında çatlağın büyük olduğunu farz ettik.

$$\left(\frac{a}{b}\right)$$

oranı 1'e doğru giderken, bu açıkça yanlıştır. Soru bize hesaplanan (K) değerleri için kritik çatlak uzunluğunun niçin yarı-minör ekseni alındığını göstermektedir.

(Kırılma öncesi çatlama-sızıntı başgöstermesi hk.da)

## PROBLEM - 10 :

Bu soru, basınçlı kap veya parçaların yapısal bütünlük dizaynında geniş şekilde kullanılan kırılma öncesi zayıflığı (çatlak) konu edinen bir problemdir.

*************************************************************

Kırılma öncesi zayıflık (çatlak) arkasındaki temel görüş, teori kısmında verilmiştir. Soru yarı-eliptik çatlakların ve kalınlık içi çatlakların çatlak uzunluğunun nasıl belirlendiği hakkında bazı bilgilere ihtiyaç duyar.

a) Yarı-eliptik bir çatlak için gerilim şiddeti çözümü aşağıda verilmiştir.

$\sigma_{ak}$= 910 MPa olan Ti-6Al-4V titanyum alaşımı için Kıc=115.4 MPa $m^{-3/2}$ dir.Akma mukavemet değerinin % 75 inin bu plakada etkili olduğu düşünülerek 40 mm kalınlıktaki bu plakada en büyük sabit yüzey çatlağının a/c = 0.4 olduğu nu belirleyiniz?

Bu ise başlangıçta (a/B) değerini farz etmeyi (kabul etmeyi) gerekli kılar ve eğer gerekli ise gerilim şiddeti (Kıc) yi tekrar hesaplayın?

$$K = \sigma\sqrt{\pi a}$$

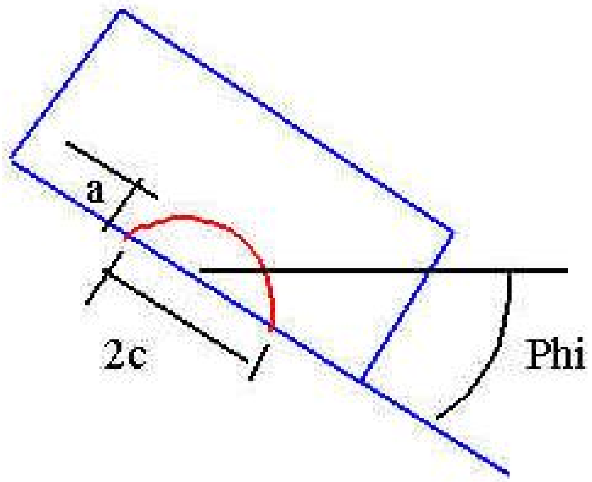
b)- Bazı alaşımlar ve tasarım gerilmeleri (uygulanan gerilimde) için, kırılma öncesi zayıflık (çatlama) kriteri üzerine tasarlanabilen basınçlı kabın max. cidar kalınlığını hesaplayın? Yüzey çatlağı sabiti oranını a/c = 0.4 farz edin. Kalınlık içersindeki çatlak için gerilim şiddetini de

$$K = \sigma.\sqrt{\pi.a}$$

olduğu şeklinde farz ediniz.

Basınçlı kabın siparişi için plaka kalınlığı ne olmalıdır?

$$K = \frac{Y\sigma\sqrt{\pi a}}{\Phi}$$



| Φ | a/c | Phi | Y | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | a/B | | | |
| | | | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 1.051 | 0.2 | 0° | 0.617 | 0.724 | 0.899 | 1.190 |
| | | 45° | 0.990 | 1.122 | 1.384 | 1.657 |
| | | 90° | 1.173 | 1.359 | 1.642 | 1.851 |
| 1.151 | 0.4 | 0° | 0.767 | 0.896 | 1.080 | 1.318 |
| | | 45° | 0.998 | 1.075 | 1.247 | 1.374 |
| | | 90° | 1.138 | 1.225 | 1.370 | 1.447 |
| 1.277 | 0.6 | 0° | 0.916 | 1.015 | 1.172 | 1.353 |
| | | 45° | 1.024 | 1.062 | 1.182 | 1.243 |
| | | 90° | 1.110 | 1.145 | 1.230 | 1.264 |
| 1.571 | 1.0 | 0° | 1.174 | 1.229 | 1.355 | 1.464 |
| | | 45° | 1.067 | 1.104 | 1.181 | 1.193 |
| | | 90° | 1.049 | 1.062 | 1.107 | 1.112 |

# ÇÖZÜM - 10

**a)-** Gerilim şiddeti faktörü (Kıc) 'nin çözümünden en yüksek (Kıc) değeri maksimum derinlik pozisyonu ile ilgilidir (Açı : 90 $^{0}$) bu pozisyon, çatlak derinliği (a) 'yi bulmak için kullanılır. Biz kritik çatlak derinliğini bilmezken, (Kıc) 'yi kullanarak ($a_{crit}$) 'yi hesaplamak için (a/B) değerini farz etmek zorunda kalacağız, ve sonra bizim başlangıçtaki hesabımız için bu değer (a/B) değerine mümkün olduğu kadar yakın olup olmadığını kontrol edeceğiz. Eğer bu değer yakın olmazsa, o zaman biz (a/B) değerini çok daha hassas kullanarak hesap yolu ile tekrarlamak zorunda kalacağız.

$$K\imath\imath = \frac{1.138.0.75.910.\sqrt{\pi.a_{crit}}}{1.151} = 115.4$$

buradan $a_{crit}$ = 9.3 10 $^{-3}$ m veya $a_{crit}$ = 9.3 mm bulunur.

$$K_{1C} = \frac{1.138x0.75x910\sqrt{\pi a_{crit}}}{1.151} = 115.4$$

$$\therefore\ a_{crit} = 9.3x10^{-3}\text{ m, or } 9.3\text{ mm}$$

Önce (a/B) yi 0.2 olarak göz önüne alalım. Bu bize

$$\therefore K_{1C} = \frac{1447 \text{x} 0.75 \text{x} 910 \sqrt{\pi a_{crit}}}{1.151} = 115.4$$

$$a_{crit} = 5.76 \text{ mm}$$

buradan acrit = 9.3 10 $^{-3}$ m veya acrit =9.3 mm bulunur.

$$K_{1C} = 0.75 \text{x} 910 \sqrt{\pi a_{crit}} = 115.4$$

$$\therefore a_{crit} = 9.1 \text{ mm}$$

$\sigma_{ak}$= 910 MPa olan Ti-6Al-4V titanyum alaşımı için Kıc=115.4 MPa $m^{-3/2}$ dir.Akma mukavemet değerinin % 75 inin bu plakada etkili olduğu düşünülerek 40 mm kalınlıktaki bu plakada en büyük sabit yüzey çatlağının a/c = 0.4 olduğu nu belirleyiniz?

Bu ise başlangıçta (a/B) değerini farz etmeyi (kabul etmeyi) gerekli kılar ve eğer gerekli ise gerilim şiddeti (Kıc) yi tekrar hesaplayın?

(Basınçlı kap'lar hk.da)

## PROBLEM - 11 :

Bu soru kırılma mekaniğinde yüksek dayanım ve yüksek tokluk arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.

************************************************************

Genel anlamda alaşımlarda dayanım arttıkça tokluk azalmaktadır. Bu durum akma orjinli tasarımlarla uğraşan uzmanlar için bazı problemlere yol açmaktadır. Belirli alaşımlar örneğin yüksek dayanımlı çeliklerde yüksek tokluk ve yüksek dayanım iç içe geçmektedir. Yüksek dayanımlı çelikler uçakların iniş takımları, güdümlü füzeler, jet motorlarında fan milleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Onlar 1500 MPa/120 MPa $m^{1/2}$ dan 2000 MPa/60 MPa.’ a kadar dayanım/tokluk değerlerine ulaşabilmektedir. Böyle çelikler yüksek oranda nikel, kobalt ve molibden, düşük oranda karbon içermektedirler. Bunların yüksek dayanım ve tokluğu düşük karbonlu demir-nikel martenzit matrisde yaşlandırma işleminden elde edilmektedir. Bu çelikler hakkında daha fazla bilgi (ASM Handbook Vol. 1.10 baskı (1990) Irons, Steels and High Performance Steels Alloys, American Societty Materials, Materials Park, Ohio pp793-800) den bulunabilir.

Bu problem ince cidarlı kaplar için gerilme analizlerinin belirlenmesinde çevresel gerilimi kullanmaktadır. Basınçlı kaplar mühendislik uygulamalarında çok sıklıkla bulunmaktadır ve kırılma mekaniği örneklerinde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.İnce cidar teorisi çap/ cidar kalınlığı oranının <10 da uygulanmaktadır. 4.4.1 numaralı örnekte yorulma sonucu çatlakla ilgili denklemler vardır. İç yüzeyinde çatlak olan basınçlı kaplarda iç basınç ve çevresel gerilimden yükselen gerilme artırıcı faktörlerin birleşmesi gerekmektedir.( K değerlerinin süperpozisyonu üzerinde bilgi için 2.16 daki örnekte Theory kartına bakınız.) Bu problemin çözümü 15 dakikanızı almalıdır.

Bu veriye dayanarak kaynak hataları olduğu zaman uygun bir materyal kullanabilmek için 18,5 mm cidar kalınlığında çalışma basıncı 6.6 M.Pa olan 6.6 mm çapındaki bir roket motorunun imalat ve tasarımıyla ilgilenmektesiniz. Akma dayanımı 1515 Mpa ve Kıc= 136.5 MPa $m^{1/2}$ 200 dereceden yüksek dayanımlı çelikten imal edilmektedir. Ağırlığı koruyabilmek için tasarımcı akma dayanımı 1650 Mpa, düzlem gerinim kırılma tokluğu değeri 72.5 Mpa $m^{1/2}$ 250 derece yüksek dayanımlı çeliği önermiştir ve yenilme gerilmesine karşı kabul edilebilir hata boyutunun kırılma analizini istemektedir.

Hasarın çevresel gerilime dik konumdaki gömülü eliptik hatalardan kaynaklandığı kabul edilmektedir. Tipik eliptik hatalar NTD vasıtasıyla belirlenen kaynak proseslerinden sonuçlanmaktadır ve boyutları 5.5 mm den 35.5 mmlik olduğu bilinmektedir. Büyük eksenin uzunluğu 20 mm den 50 mm ye kadar olan kabuledilebilir hata boyutuna karşı kırılma gerilmesinin bu alaşımlar için tasarım verisi olarak belirleyin.

tasarımcıya tavsiyelerde bulununuz? Hatanın verilen boyutlarının korunup korunamayacağını Kıc ye bağlı olarak LEKM'nin kullanılıp kullanılamayacağını belirleyin?

Çevresel gerilim pD/2t olarak veriliyor. Ve gömülü çatlak için gerilme arttırıcı faktörü elipsin küçük ekseninde altta veriliyor.

$$K = \frac{\sigma\sqrt{\pi a}}{\left(\frac{3\pi}{8} + \frac{\pi a^2}{8c^2}\right)}$$

# ÇÖZÜM - 11

Tasarımcı tarafından istenen kırılma analizinin sağlayabilmek için iki malzeme için hata boyutuna karşı kırılma gerilimi tablosu hesaplamamıza ihtiyaç vardır. Hesaplamalar elipsin küçük eksen uzunluğunun yarısına dayanmasına rağmen tabloda küçük eksen uzunluğunun tümünü göstermek kullanışlı olacaktır. Çünkü bu NDT den elde edilen bir paremetredir. Kırılma gerilmesi kaynak hatalarına uyumlu görünmektedir.(?)

Bu bileşende çevresel gerilme:

$$\sigma_H = \frac{pD}{2t} = \frac{6.6 \times 6.6}{2 \times 0.0185} = 1177 \text{ MPa}$$

Hata gömülü olduğundan motorda iç basınçtan ötürü ilave gerilme artışı yoktur. Bu yüzden tasarım gerilmesi çevresel gerilimle aynıdır. Alttaki tablo değişik 2a değerleri için kırılma gerilimlerini vermektedir. (20 mm < 2 c < 50 mm

| Defect Size (2a) mm | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.4 | 4.5 | 5.0 | **5.5** | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 12.1 |
| | 1931 | 1832 | **1747** | 1673 | 1607 | 1549 | 1496 | 1177 |
| 1177 | 1026 | 973 | **928** | 888 | 854 | 822 | 795 | |

Bu kolon tipik kaynak hatalarına varlığına uygun olarak kırılma gerilmelerini göstermektedir. Grade 200 çeliği bir tasarım gerilmesinde bir çatlak için kırılma gerilmesi 2a= 5.5mm akma dayanımından daha büyük iken , 2a =12.1 mm lik bir çatlağı tolere edebilmektedir.250 Grade çeliği sadece 2a = 3.4 mm lik çatlağı tolere edebilmektedir ve tasarımda kırılmaya sebebiyet verir.(?)

Tasarımcı mühendise yapılabilecek tavsiye 200 Grade'lik çelikle çalışmaktır.

Düzlem gerinim kırılma tokluğu, Kıc üç eksenli sınırlamaların geliştikleri yerlere ait olan durumlara uygulanabilen düşük kırılma tokluğu değeridir.Eğer bileşendeki koşullar daha az sınırlanırsa örneğin düzlem gerilmeye doğru bir yönelim, o zaman bir tasarım kriteri olarak $K_{1c}$ nin kullanımı korunumlu olacaktır.Tipik bir kaynak hatalarındaki gerilme tahminleri oransal değişiklikler tahmin edilerek yapılabilir.

Plastik bölgedeki çatlak
Rp/ çatlak uzunluğu (a)
a/t
a/çatlaksız bağ

gömük bir çatlak için yüzey çatlağı olmasına rağmen düzlem gerinim kullanımı daha amaca uygun olabilir.Ancak Grade 200 çeliği tok olduğundan kırılma düzlem gerilme koşulları altına olabilir. Bu yüzden Kıc yaklaşımı korunumludur.

(Aluminyumdan yapılmış Bira fıçılarındaki kırılmalar hk.da)

## PROBLEM -12

Kırılma analizi kırılmaya sebebiyet verecek boyut hatalarının kontrolunu gerektirmektedir. Bu yüzden onların kritiği kırılma tokluğu ve gerilmenin uygun koşullar altında kontrol edilmek zorunda olmalarıdır.Bu örnek basınçlı bir silindir için böyle bir durumu belirtiyor.

**************************************************

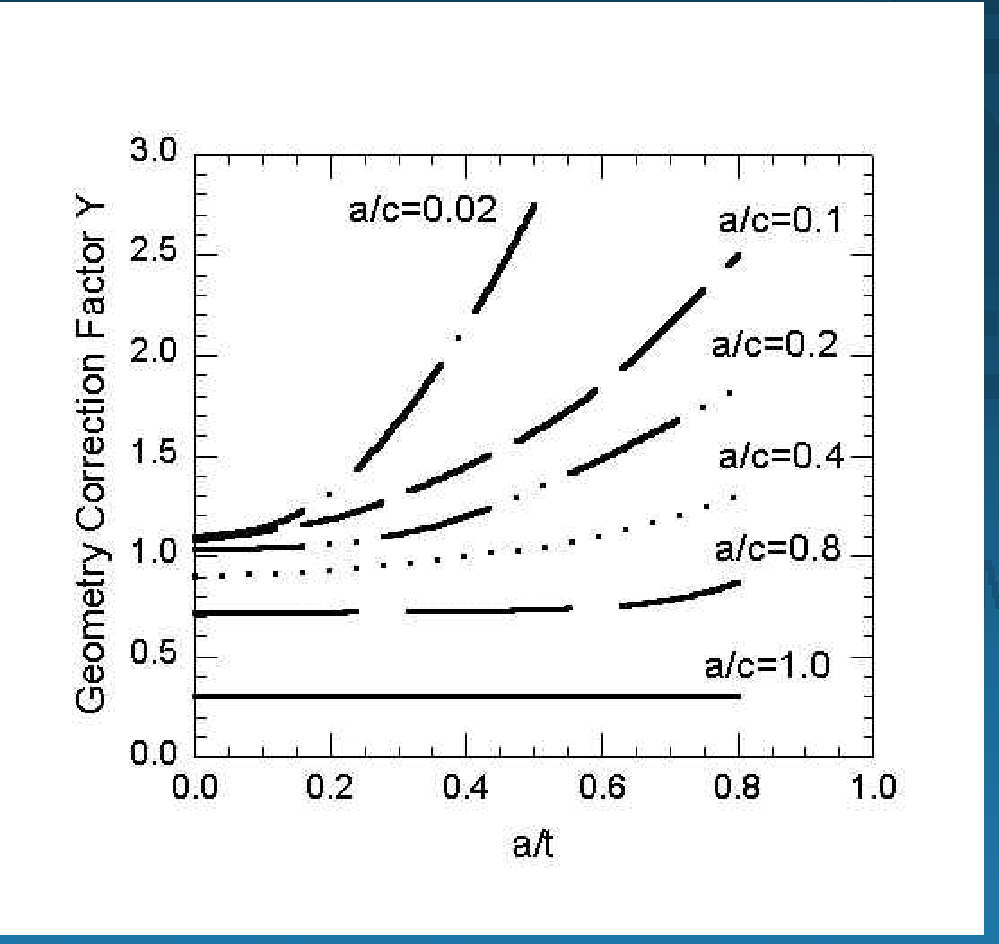
Bu soru tipik bir triangle of integrity (?) kavramına örnektir. Bununla birlikte iki yükleme durumundan yükselen K değerlerinin superposition ilkesinin giriş yapmaktadır.

3.2 mm cidar kalınlığında ve 380 mm çapındaki bir alüminyum alaşımdan bira fıçısı vana arızalı olup basınç düşüşü nedeniyle patladığında içerisindeki $CO_2$ basıncı 42 bar olarak ölçülmüştür

Kırılma analizleri göstermiştir ki çatlaklar fıçının içerisinde bulunmakta ve çevresel gerilime dik orijinli ve 1.5 -2.5 mm arasında derinlikleri ve 75-125 mm oranında (2c) uzunluğuna sahip bulunmakta idiler. Siz imalalatçıların hukuki tazminat iddialarına karşın böyle çatlakların uygulanan kritik gerilmeler altında oluşabileceğini göstermek zorundasınız.

Kırılma tokluğu testi alüminyum alaşımı için Kc= 56 MPa $m^{1/2}$ olarak göstermiştir.

Değişik çatlak derinlikleri için bulgularınızı bir tabloda sunun geometri doğrulama faktörlerinin gösterin a/t oranları ve a/c oranlarını. Uygun geometri doğrulama eğrileri aşağıda gösterilmekte ve çevresel gerilim pD/2t olarak verilmektedir.




$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

# ÇÖZÜM - 12

**Cevap :** Kritik yüzey uzunluğu > 150 mm ( a= 1.5 mm) yaklaşık 50 mm ( a= 2.5 mm)
1.5, 2.5 derinliğinde gözlemlenen çatlağa uygun Y geometri doğrulama değerlerini hesaplamak ve çalışma gerilimlerini belirlemek için kırılma tokluğu ile ilgili kavram olan ‘ triangle integrity (?) kavramını kullanmalıyız.Bu nedenle biz 2c uzunluğunun eşdeğer değerlerini soruda verilen geo. Doğrulama değerlerinin grafiği kullanılarak bulabiliriz.
Verilen basınç değerinin **SI** birim sistemini dönüştürülmesi gerekmektedir. $10^5$ Pa, 42 bar = 4.2 MPa. ( Bu arayı çeviremedim.) Biz iç basınçtan ve çevresel gerilimden olan artışı eklemek zorundayız. Çevresel gerilim şöyle verilmektedir.

$$\sigma_{Hoop} = \frac{pD}{2t} = \frac{4.2x380}{2x3.2} = 249.4 \text{ MPa}$$

Bu nedenle K'nın hesaplamada kullanılan toplam gerilme 249.4 + 4.2 = 253.6 MPa. Gerilme artırma denkleminden ;

$$K_C = Y\sigma\sqrt{\pi a} = Yx253.6\sqrt{\pi a} = 56 \text{ MPa}\sqrt{m}$$

A = 1.5, 2 ve 2.5 konursa Y için değerler sağlanır. Aşağıda tabloda verilmektedir.

| a (mm) | a/t | Y (calculated) | a/c (graph) | 2c (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 0.47 | 3.22 | < 0.02 | > 150 |
| 2.0 | 0.63 | 2.79 | 0.03 | 133 |
| 2.5 | 0.78 | 2.49 | 0.10 | 50 |

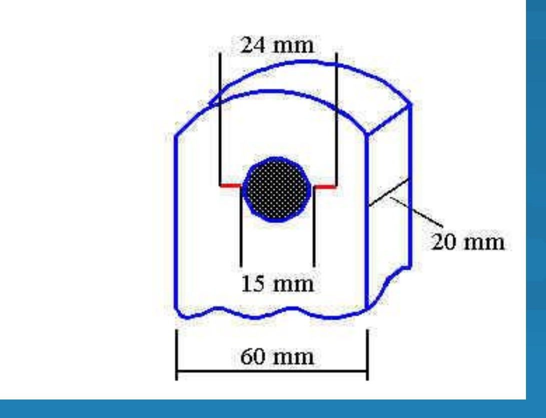
(Çekme yüküne maruz kalan pim hk.da)

## PROBLEM - 13

Çatlaklar saptandığı zaman yapının güvenli olarak çalışıp çalışmayacağı eğer çalışırsa hangi sınırlamalarının performans üzerinde etkili olacağı üzerine bilgi sağlayabilmek için kırılma mekaniği kullanılmaktadır.

*********************************************************

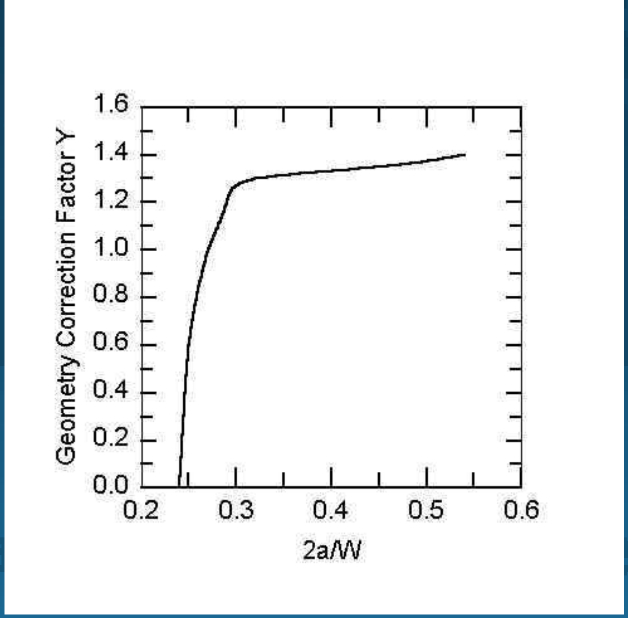
Aşağıdaki şekilde pim'le yüklenmiş bölge içeren küçük asma köprü gösterilmektedir. Kontroller sırasında deliğin merkezinden pin ve deliğin çevresine kadar bölgede ilerleyen çatlaklar tespit edilmiştir.



Bu yapının tamiri uzun süre alacağı için sizin bir an önce bu köprüden geçebilecek ağırlığın değerini hesaplamanız gerekmektedir. Bu bölgedeki sıcaklıklar -20 C ile 50 C arasında değişmektedir. -140 ile 150 derece arasında olan sıcaklıklarda düzlem- gerilme kırılma tokluğunun değeri $K_{1c}$= ( 0.2T+70) MPa $m^{1/2}$ olarak verilmektedir. Sıcaklığın fonksiyonuna bağlı olarak grafiksel olarak ağırlık kısıtlamasının gösterilmesine ihtiyaç vardır.
Y geometri düzeltme faktörü aşağıda verilmektedir.

## ÇÖZÜM - 13

Çatlaklar saptandığı zaman, kırılma mekaniği yapının güvenli olarak çalışıp çalışmayacağı hakkında bilgi sağlayacaktır. Bu problem kırılma mekaniğinin nasıl kullanıldığını göstermektedir.




$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

Uygun araç ağırlığı 0.551 MN -50 C ve 0.197 MN 20 C

Yaklaşık Y değerini bulabilmemiz için 2a/W = 24/ 60 = 0.4 değerini hesaplamamız gerekmektedir. Bu yüzden grafikten Y yaklaşık değeri Y= 1.35 . Buradan toplam gerilme (0.25 + 0.45 F ) / ( 0.06 x 0.02) M Pa ve çatlak uzunluğu a = 12 mm. Buradan :

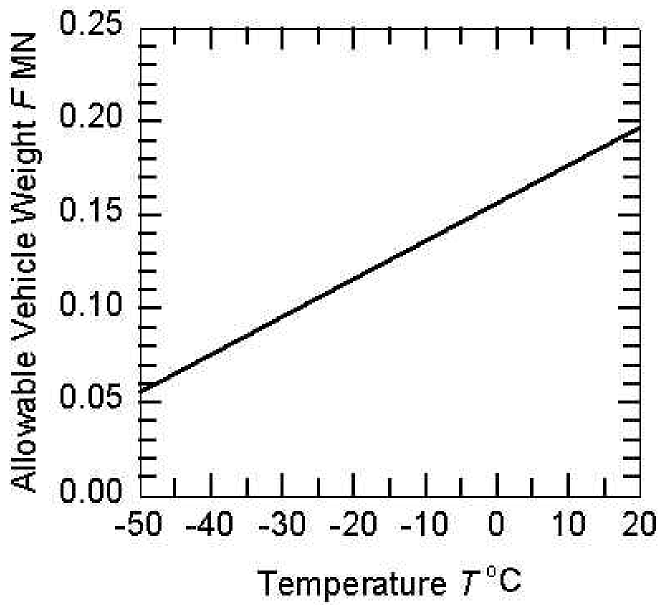
$$K_{1C} = 1.35\sigma\sqrt{\pi a} = 1.35\frac{(0.25+0.45F)}{0.0012}\sqrt{0.012\pi}$$

$$= (0.2T+70)\ MPa\sqrt{m}$$

Farklı sıcaklık değerleri için (T) maksimum araç ağırlığını bulabiliriz. İlişki doğrusaldır ve

-50 C de 0.0551 MN ve 20 C de 0, 197 MN dır.

Arka sayfadaki diyagrama bakınız.



Allowable Vehicle Weight F MN
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20
Temperature T °C

(Malzeme seçimi ve sıcaklık hk.da)

## PROBLEM- 14

Bu soru farklı sıcaklıklarda çalışacak basınçlı kap tasarımında malzeme seçimini göstermektedir. Bu nedenle sıcaklığın bir fonksiyonu olarak malzeme tokluğu tasarım prosesinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu soru da grafiksel olarak gösterilmektedir.

*****************************************************

Güçlü basınçlı kaplar genellikle kalın cidarlıdır. Sıcaklık $0^0$ C dan 300 C ye değiştiğinde iç basınç 40 M Pa dır. Önerilen cidar kalınlığı 100 mm ve çap (D) 2m. İki aday çelik önerilmektedir.

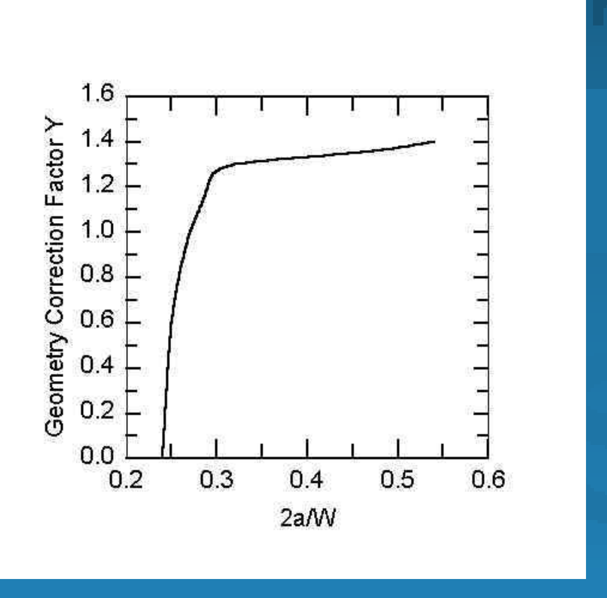
**Çelik A : Bu çelik için Kc**= (150+ 0.05 T) M Pa sıcaklığın C derece olarak alınıyor ve akma dayanımı $0^0$ C da 549 M Pa $300^0$ C da 300 M Pa

**Çelik B : Burada $K_C$**= ( 100+ 0.25 T) M Pa $m^{1/2}$ akma dayanımı doğrusal olarak $0^0$ C de 650 den $300^0$ C de 500 MPa a kadar değişmektedir.

Çatlakların kritik olduğu göz önüne alınmış ve böyle çatlaklar için gerilme artırıcı faktör bu geometride :

$$K_C^2 = \frac{\pi\sigma^2 a}{\left[1 - 0.5\left(\frac{\sigma}{\sigma_{YS}}\right)^2\right]}$$

Basınçlı kaplarda gerilme Pd / 4t olarak verilmektedir.




$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

# ÇÖZÜM - 14

Yaklaşık 212 $^{0}$ C nin altında çelik A, bu sıcaklıkların üstünde ise çelik B uygundur. Değişik sıcaklıklarda kırılmadan kaçın mak için kırılma tokluğunun gerekli değeri bulunması gerekir. Mühendislik verilerinin grafiksel sunumu bunların tabloda veya aynı bilgiyi analitik olarak sunmaktan daha iyidir. Prob lem analitik olarak çözülebilir ancak kırılma performansında güvenlik kaybı olabilmektedir.

Basitçe gerilme ;

$$\sigma = \frac{pD}{4t} = \frac{40x2.0}{4x0.1} = 200 \text{ MPa}$$

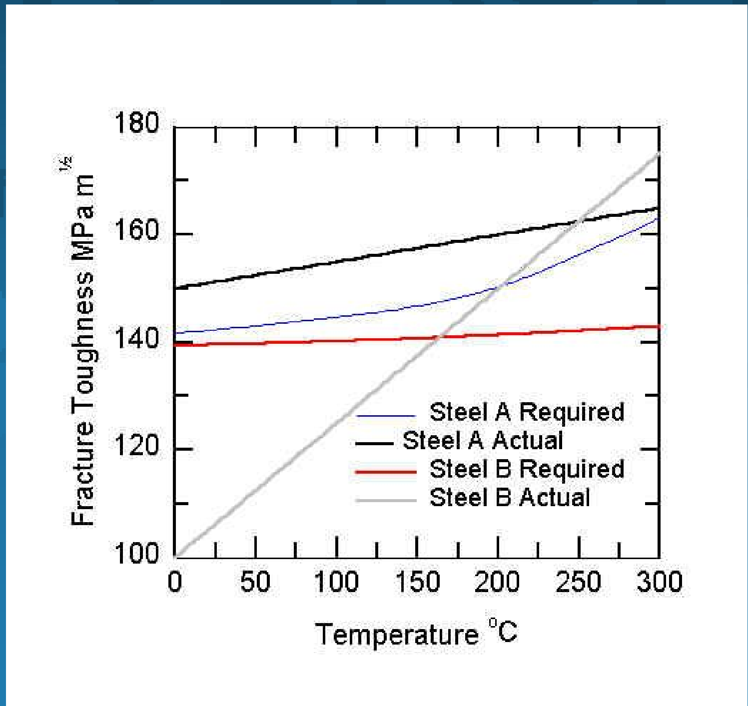
Tasarım durumu kırılma öncesine dayanmasına rağmen, kalınlık boyunca olan çatlak bilinmemektedir. Bu nedenle iç basıncın çatlak yüzeylerine baskı oluşturacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle iç basınç ve gerilimin toplamı kullanılarak toplam gerilme artırıcı faktör hesaplanacaktır. Çatlağın eliptik olup olmadığı bilinmemektedir, biz yarı dairesel olduğunu tahmin etmekteyiz ve t cidar kalınlığı olmak üzere 2a = 2t olduğunu farzetmekteyiz. Bu yüzden tokluğun gerekli değeri şuradan bulunmaktadır :

$$K_C^2 = \frac{\pi x 240^2 \, x 0.1}{1 - 0.5\left(\frac{240}{\sigma_{YS}}\right)^2}$$

Aşağıdaki tablo tokluk için uygun tokluk değerlerini vermektedir.

| | | 0ºC | 100ºC | 200ºC | 300ºC |
|---|---|---|---|---|---|
| **Steel A** | **Yield Strength** MPa | 540 | 460 | 380 | 300 |
| | **Required $K_C$** MPa m½ | 141.7 | 144.7 | 150.3 | 163.1 |
| | **Actual $K_C$** MPa m½ | 150 | 155 | 160 | 165 |
| **Steel B** | **Yield Strength** MPa | 650 | 600 | 550 | 500 |
| | **Required $K_C$** MPa m½ | 139.4 | 140.2 | 141.4 | 143.0 |
| | **Actual $K_C$** MPa m½ | 100 | 125 | 150 | 175 |

Bu veri aşağıdaki grafikte çizilmiştir. A çeliği için tokluk değeri en yüksek ve güvenlik $212^0$ C e kadar en yüksektir. Sıcaklıkla tokluktaki artış fazla olduğundan bu sıcaklığın üstünde B çeliği en iyi seçimdir.



(Kimyasal reaktör kap'larının kırılmaları hk.da)

## PROBLEM - 15

Şimdiye kadar ki sorular lineer elastik kırılma mekaniğinin basit uygulamalarına yönelikti. Daha olağan tasarım durumları elasto plastik kırılma durumlarını içermektedir.

****************************************************************

Tahminleri hala korunumlu olmasına rağmen,bu problem lineer elastik kırılma mekaniğinin gerçekte uygulanamadığı durumları göstermektedir.

Özel bir kimya fabrikası sıcaklığın **-70$^0$ ile 350$^0$** arasında değiştiği çalışma sıcaklıklarında basit bazı reaktörler içermektedir. Bütün reaktör kazanlarının imalatı için basit bir alaşım kullanmak gereklidir. Bu alaşımın değişen sıcaklıklarda kırılma tokluğu ve akma dayanımı aşağıda gösterilmiştir.

**(- 100$^0$ ) ve (+ 400$^0$) C** derece sıcaklıklarının üzerinde, Kc
Kc = ( 63+ T/10) M Pa m$^{1/2}$ şeklindedir.

| Temperature °C | -100 | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Yield Strength MPa | 550 | 450 | 412 | 400 | 362 | 300 |

Gerilme artırıcı faktör şu şekilde hesaplanabilir :

$$K = \sigma\sqrt{\pi a}$$

**a)-** Operesyon koşullarından ziyade malzeme durumlarına bağlı olarak kırılmadan ziyade akmanın başlayacağı sıcaklıkların belirlenmesi

**b)-** bu sıcaklığa kadar LEKM'nin kullanımı

Düzlem gerilme durumları olduğunu farzedin :

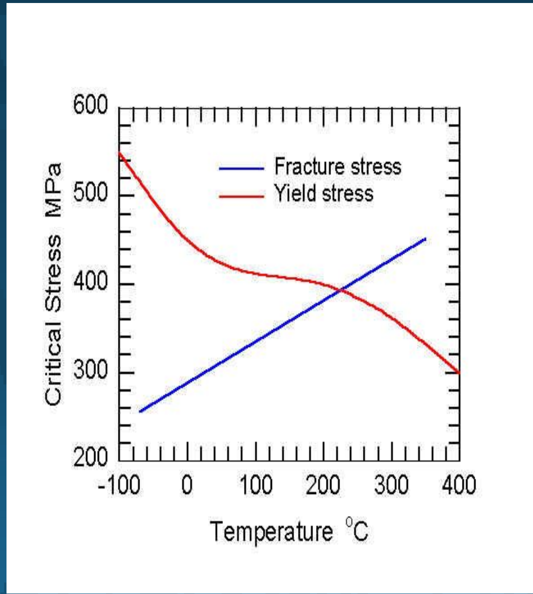
$$r_p = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K}{\sigma_{YS}}\right)^2$$

## ÇÖZÜM – 15 ;

**a)-** Sorunun bu kısmı açıktır ve sıcaklığın fonksiyonu olarak, kırılma gerilmesi ve akma dayanımı basit olarak çizilmektedir. Problem analitik olarak çözülebilmektedir, fakat grafk sunum mühendislik açısından daha kullanışlıdır. Kırılma tokluğundaki değişiklik lineerdir, bu nedenle biz sadece iki nokta değerlerine gereksinim duyacağız. ( $K_c$ $-70^0$ C de ve $350^0$ C de) çizimden ve K denkleminden kırılma gerilimi hesaplanacaktır. Hesaplamalar kırılma gerilmesinin $-70^0$ C de 258 MPa olduğunu, $350^0$ C de 450 MPa olduğunu göstermektedir.

$$K_C = \sigma\sqrt{\pi x 0.015} = 56 \ \ \mathrm{MPa}\sqrt{\mathrm{m}}\ \mathrm{at}\ \ -70^{\circ}\mathrm{C}$$

Çizim aşağıda gösterilmektedir ve kesişim noktaları **$221^0$C** de gösterilmektedir. Basitçe kırılma bu noktanın altında, akma bu noktanın üstünde olmaya eğilimlidir. Düzlem gerilme olarak görme bu açıklama için kritiktir. Bieksenel gerilme durumu akma noktası yükselmesine yol açmaz. Ancak lineer elastik kırılma mekaniğinin kullanılması için çatlak ucundaki plastik bölgenin küçük olup olmadığı sorusu hala mevcuttur.




**b)-** Bu alaşım için kırılma tokluğu sıcaklıkla artmaktadır ve akma dayanımı düşmektedir. Çatlak ucundaki plastik bölge değerlendirmesi, çalışma sıcaklıkları arttıkça bu iki etkinin her ikisinin de plastik boyutunu artıracağını göstermektedir. $220^0$ C de $K_C$ 0 85 MPa $m^{1/2}$ ve akma dayanımının 395 Mpa , buradan

$$r_p = \frac{1}{\pi}\left(\frac{85}{395}\right)^2 = 0.0147\,\text{m, i.e. } 14.7\,\text{mm}$$

Bu düzlem gerilme durumunun olduğu cidar kalınlığı ile aynıdır, fakat çatlak uzunluğu da aynıdır. YFM kırılma için daha güvenilir olmaktadır. Eğer LEFM  çalışma sıcaklıklarının herhangi bir değerinde uygun ise, şu durumu kontrol edebiliriz. 100 C de $K_c$= 53 MPa $m^{1/2}$ ve akma dayanımı 550 MPa buradan

$$r_p = \frac{1}{\pi}\left(\frac{53}{550}\right)^2 = 0.00296 \text{ m, i.e. } 2.96 \text{ mm}$$

LEFM cidar kalınlığının 1/5 dir.Ancak bu problemin en iyi çözümü YFM ve kırılma akmanın olasılığını değerlendirebilmek için iki fad paremetresi kullanılacaktır.

(Cam gibi,buz gibi malzemelerin kırılmaları hk.da)

## PROBLEM – 16

Bu son soru gerilme artırıcı faktörün süperpozisyon kavramını göstermektedir.

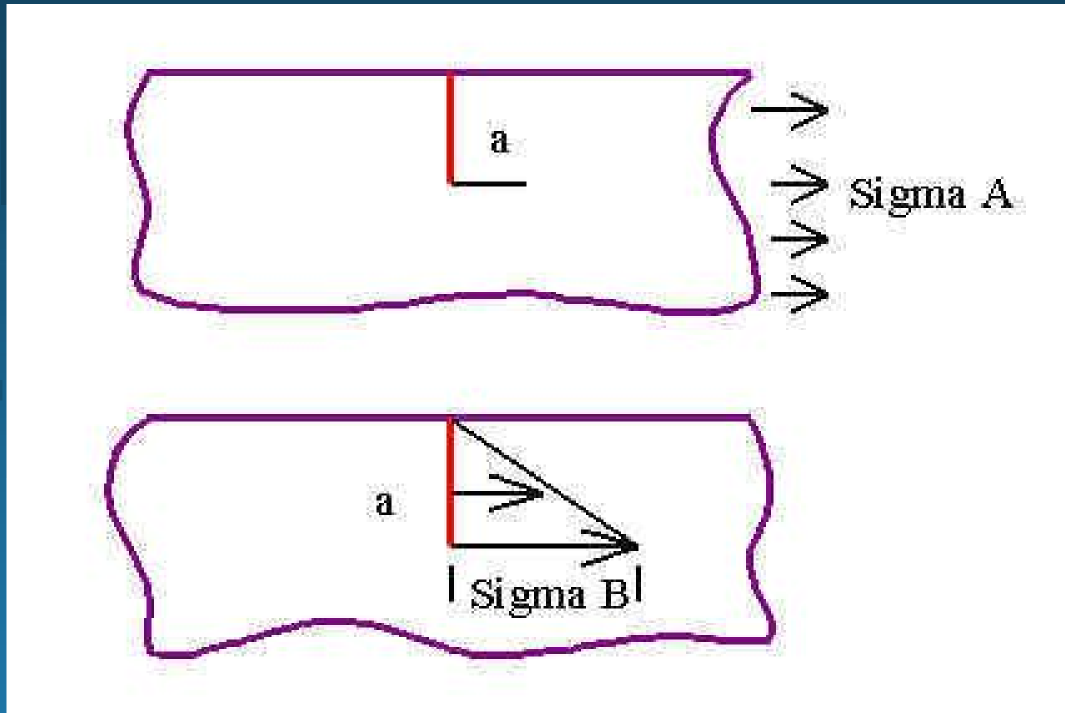
*****************************************************

Basınçlı kazanlardaki iç hatalar için çatlak yüzeylerindeki iç basınçtan yükselen gerilme yoğunluğu miktarını hesaplamalıyız. Bu durum LEFM nin uygulamasını göstermektedir.

Alttaki şekil sonlu bir cisimde düşey bir kenar çatlağının iki durumu ile ilgili olarak gerilme yoğunluk faktörlerini göstermektedir. İki gerilme yoğunluk denklemler :

$$\text{Case A}: K_A = 1.12\sigma_A\sqrt{\pi a}$$

$$\text{Case B}: K_B = 0.683\sigma_B\sqrt{\pi a}$$


a
Sigma A
a
Sigma B

# ÇÖZÜM – 16

Gerilme artırıcı faktörlerinin her ikisi de çekme durumundadır ancak bu durum direkt olarak çatlağa uygulanmamaktadır. Buzuldaki çatlak çekme zorlamasına maruz kalmaktadır. Çatlağın tutulabilmesi için buzdaki çekme zorlamasına karşı hidrostatik basınçtan artan sıkıştırmaya maruz kalmalıdır. K değerlerinin fiziksel bir anlamı olmamasına rağmen pozitif ve negatif gerilme artırıcı faktörleri cebirsel olarak eklenebilir.

$K_A - K_B = 0$ olduğunda çatlak tutulacaktır.

İki denkleme uygun değerler eklenerek cevap elde edilir.

$$\sigma_B = \rho_{ice} g a \quad \text{where } g = 9.81 \text{ m/ s}^2$$

Buradan ;

$$K_A = 1.12 x 200 x 10^3 \sqrt{\pi a} \text{ Nm}^{-\frac{3}{2}}$$

$$K_B = 0.683 x 0.92 x 10^3 x 9.81 a \sqrt{\pi a} \text{ Nm}^{-\frac{3}{2}}$$

$$i.e. \quad a = 36.34 \text{ m}$$

# ALT KRİTİK ÇATLAK BÜYÜMESİ İLE İLGİLİ PROBLEMLER

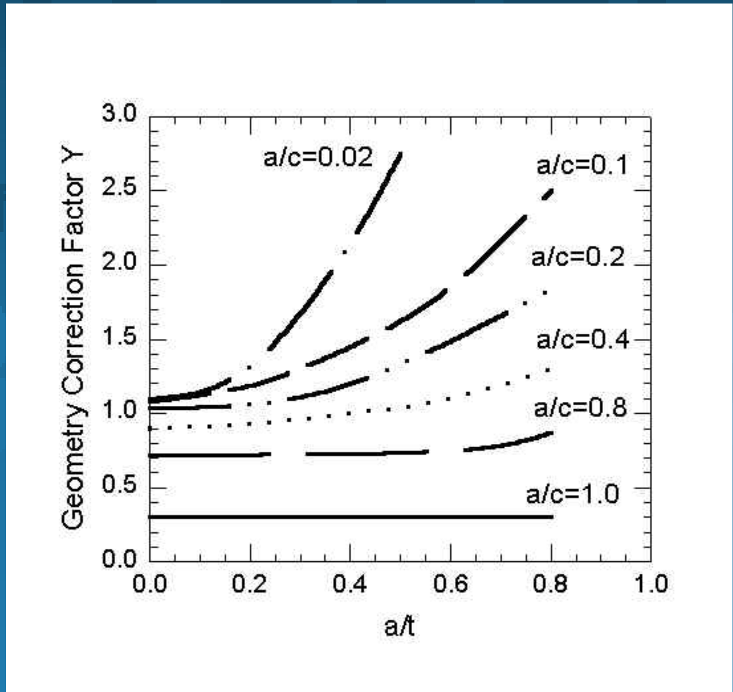
**Yorulma Ömrünün önceden bilinme isteği ile ilgili problemler –**
(Borularda basınç dalgalanmaları hk.da)

## PROBLEM – 1

**a)-**Dış çapı 90 mm, iç çapı 70 mm olan uzun bir boru 40 MPa basınç değerinde çalışmaktadır. Vanadaki hata boruyu yakacak bir basınç dalgasına neden olmuştur. Kırılma yüzeyi değerlendirildiği zaman borunun iç yüzeyinde 4.5 mm yüzey uzunluğunda, 1.6 mm derinliğinde metalurjik bir hata olduğu tespit edilmiştir. Bu hata borudki gerilime dik orjinlidir.

Cidar kalınlığı t, dış çap/ iç çap oranı L olan kalın cidarlı borularda $p(L^2+1)/(L^2-1)$ gerilim değeri iken, ince cidarlılarda $(pD/2t)$ olmaktadır.

Bu hataya neden olan basınç değeri nedir?
Düzlem gerilme durumlarında borunun kırılma tokluğu 25MPa $m^{1/2}$ , geometri doğrulama faktörü aşağıdaki denklemden bulunacaktır.



$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

**b)-** Aynı alaşımdan imal edilmiş yeni bir boru bulunmaktadır. 1.5 mm derinliğine sahip bir hata görülmektedir, ancak hatanın şekli yarı daireseldir.

Normal çalışma durumlarında 30 yıllık bir ömüre sahip olacak mıdır?

Sorunun ikinci kısmında geometri doğrulama faktörünün 0.7 sabit bir değeri olduğunu, çatlak derinlik oranının 6.25x10$^{-8}$ mm olduğunu 10 MPa lık bir K değeri uygulandığı göz önüne alınmıştır.

# ÇÖZÜM - 1

A)- İç çap ve dış çaptan biz kalınlığı t 10 mm olarak belirleyebiliriz. ( (90-70) : 2) İnce cidarlı silindirde gerilme :

$$\sigma_{Hoop} = \frac{p(ID)}{2t} = \frac{40x70}{20} = 140 \text{ MPa}$$

Bu formül dış çapın >10t den büyük olduğu durumlar için geçerlidir. Kalın cidarlı silindirlerde, çevresel ve radyal gerilmeler kalınlık boyunca sabit değildirler. En büyük değeri kabın iç yüzeyinde almaktadır.

$$\sigma_{Hoop,\, thick} = \left(\frac{L^2+1}{L^2-1}\right)p \text{ where } L = \frac{OD}{ID}$$

İnce cidar teorisi çevresel gerilimin kalınlık boyunca ortalama değerini verir. Paremetre içerisinde çevresel gerilimin maksimum ve ortalama değerleri arasında kıyaslama yapmak kolaydır.

$$S = \frac{L^2+1}{L+1}$$

Tablo L değerlerinin 1.01 den 2 ye kadar farklılıklarını göstermektedir.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***L*** | 1.01 | 1.05 | 1.10 | 1.20 | 1.50 | 2.00 |
| ***S*** | 1.005 | 1.026 | 1.052 | 1.109 | 1.300 | 1.667 |

L oranı bu soruda 1.29 dur ve burada ince cidarlı teoriyi kullanmalıyız.

$$\sigma_{Hoop,\, thick} = \left(\frac{L^2+1}{L^2-1}\right)p = \left(\frac{1.29^2+1}{1.29^2-1}\right)40 = 160.4 \;\; \text{MPa} \,(\text{or } 4.01p)$$

Gerilme artırıcı faktörün hesaplanmasında bu değeri iç basınca eklememiz gerekmektedir. Çatlak yüzeylerinin iç basınçla yüklenmesinden ve çevresel gerilimden K değerleri artmaktadır.

Şimdi :

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

Grafikten a/c = 1.6 / 2.25 = 0.71 ve a/ t = 1.6/10 = 0.6. Bu yaklaşık olarak 0.78. Bu yüzden kırılmada

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a} = 0.78x5.01p\sqrt{0.0016\pi} = K_{1C}$$

$$\therefore \quad p = \frac{25}{0.277} = 90.2\,\text{MPa}$$

90.2 MPA lık bir basınç borunun kırılmasına yol açacaktır. Eğer ince cidarlı silindir teorisi kullanılsaydı basınç değeri 100.5 MPa olarak belirlenecekti. Aradaki farklılık %11.4 dür.

**B)-** Hasar ömrünü belirlemek için Paris kanunun integre edilir, çatlak boyutlarında integrasyon sınırlarını integre etmemiz gerekmektedir. Bize başlangıç hata boyutu 1.5 mm olarak verilmiş ve K denklemine ekleyerek son boyutu bulabiliriz. Uygulanan zorlama 0 dan 40 MPa kadar değişmektedir. Gerilme oranı o dır. Bu nedenle uç gerilmeler 40 MPa ulaşacaktır.

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a} = 0.7x200.4\sqrt{\pi a_f} = K_{1C} = 25\ \mathrm{MPa}\ \sqrt{\mathrm{m}}$$

$$\therefore\ a_f = 10.2\ \mathrm{mm}$$

Bu aslında duvar kalınlığından bir miktar daha kalındır.Bu yüzden biz son uzunluğu 10 mm ye sınırlamak zorundayız. Paris kuralındaki C sabitini bulmamız gerekiyor.

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

$$\therefore \quad C = \frac{6.25\text{x}10^{-8}}{10^{4}} = 6.25\text{x}10^{-12}$$

Paris kuralındaki değişkenleri ayırıp çatlak büyüme sınırları içerisinde integre ederiz.

$$\frac{da}{dN} = C\Delta K^{m} = C\left(Y\Delta\sigma\sqrt{\pi a}\right)^{m}$$

$$\therefore \quad \int_{0}^{N_f} dN = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{CY^{m}\Delta\sigma^{m}(\pi a)^{\frac{m}{2}}} = \int_{0.0015}^{0.010} \frac{da}{6.25\text{x}10^{-12}\,\text{x}0.7^{4}\,\text{x}200.4^{4}(\pi a)^{2}}$$

$$\therefore \quad N_f = 41.864\int_{0.0015}^{0.010}\frac{da}{a^{2}}$$

$$\therefore \quad N_f = 41.864\text{x}_{0.0015}^{0.010}\left[-\frac{1}{a}\right] = 41.864\{-100-(-666.67)\}$$

Hence $N_f = 23\,723$ cycles

Birçok faktör büyüme oranlarını hızlandırmaktadır. N eğrisi değişik uzunlukların integre edilmesinden elde edilmiştir.

**Yorulma Ömrünün önceden bilinme isteği ile ilgili problemler –**
(Top namlusunun yorulması hk.da)

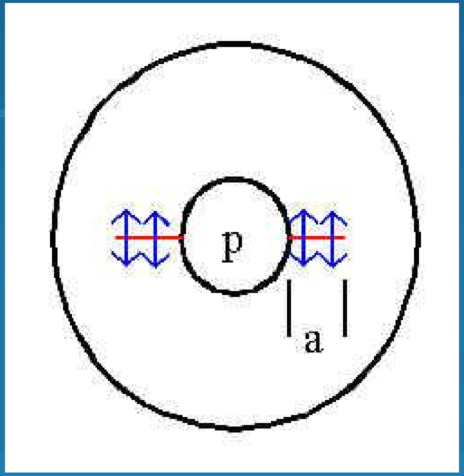
## PROBLEM – 2

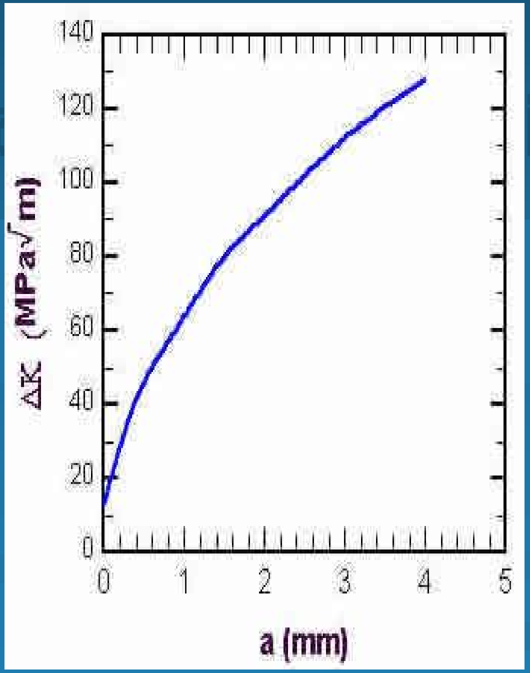
Bu soru bir fıçıdaki çatlak büyümesini ve gerilme artırıcı faktör oranının nümerik integrasyonunu gösterir.

************************************************************

Bu basit analizde 2789 cycle lik bir yaşam ömrü beklenmektedir ki bu ömür doğru analizlerle ve daha detaylı olarak analiz edebilmektedir.Olasılık metodları bu değerin % 25 daha korunumlu olduğunu gösterirler.

Alttaki şekil iki simetrik çatlağın, delikten itibaren tanımlanan çatlak uzunluğuna karşı gerilme artırıcı faktörü ve geometri doğrulama faktörüyle birlikte durumu gösterilmiştir. Bu çatlak geometrisi bir fıçı için en tehlikeli durumdur. Çevresel gerilim ve iç basınç katkısıyla birlikte gerilme artırıcı kalibrasyonu vardır.



Bu fıçının iç radyüsü 86 mm dış radyüsü 96.5 mm dir. 380 MPa lık bir basınçta çalışmaktadır. Akma dayanımı 1.13 GPa lık bir çelikten imal edilmiştir. Çekme gerilimi 1.13 GPa , düzlem gerilme kırılma tokluğu 125.8 MPa $m^{1/2}$ .
Hata boyutu 0.2 mm olarak verilen fıçının hata ömrünü hesaplayın? Çatlak uzunluğu 0.4mm ve 0.6 mm arasındaki artışla nümerik integrasyonu kullanın.

## ÇÖZÜM - 2

Bu problemin çözümü oldukça kolaydır. Çünkü gerilme artırıcı faktör kalibrasyonu verilmiştir. Çatlak uzunluğuna göre gerilme artırıcı faktörün oranı çizilmiştir ve nümerik integrasyondan oluşan azar azar artan çatlak uzunluğu, sonunda çatlak uzunluğunun gelişmesine imkan tanımaktadır.

Nümerik integrasyon bir blok serisi olarak eğri formunu içerir ve blok içerisindeki çatlağı geliştirecek yük sayısını hesaplayabilmek için bloktaki büyüme oranının ortalama değerini kullanır. Açıkçası bloklar küçüldükçe daha doğru sonuçlar olur. Ömrü bulabilmek için uygun bir tablo oluşturmalıyız. Delta K başlangıçtaki eğriden ve her bir bloğun sonundan elde edilir.

Paris kuralı hatırlanırsa ;

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

| a<br>m | Delta a<br>m/cycle | Delta K<br>MPa m½ | da/dN<br>m/cycle | Mean<br>da/dN | Delta N |
|---|---|---|---|---|---|
| $0.2x10^{-3}$ | | 22 | $9.01x10^{-8}$ | | |
| | $0.6x10^{-3}$ | | | $4.13x10^{-7}$ | 1 453 |
| $0.8x10^{-3}$ | | 55 | $7.35x10^{-7}$ | | |
| | $0.4x10^{-3}$ | | | $1.01x10^{-6}$ | 396 |
| $1.2x10^{-3}$ | | 70 | $1.28x10^{-6}$ | | |
| | $0.6x10^{-3}$ | | | $1.72x10^{-6}$ | 349 |
| $1.8x10^{-3}$ | | 88 | $2.16x10^{-6}$ | | |
| | $0.4x10^{-3}$ | | | $2.43x10^{-6}$ | 165 |
| $2.2x10^{-3}$ | | 97 | $2.69x10^{-6}$ | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $0.6x10^{-3}$ | | | $3.14x10^{-6}$ | 191 |
| $2.8x10^{-3}$ | | 110 | $3.59x10^{-6}$ | | |
| | $0.4x10^{-3}$ | | | $3.91x10^{-6}$ | 102 |
| $3.2x10^{-3}$ | | 118 | $4.22x10^{-6}$ | | |
| | $0.6x10^{-3}$ | | | $4.52x10^{-6}$ | 133 |
| $3.8x10^{-3}$ | | 125 | $4.81x10^{-6}$ | | |
| **Total** | | | | | 2 789 |

Ömrü bulabilmek için uygun bir tablo oluşturmalıyız. Delta K başlangıçtaki eğriden ve her bir bloğun sonundan elde edilir.

**Yorulma Ömrünün önceden bilinme isteği ile ilgili problemler –** (Yorulma ömrünün artırılması hk.da)

## PROBLEM – 3 ;

Bir yapı A514 çeliğini içermektedir. Yapının fabrikasyonundan sonra burada 7.6 mm derinliğinde bir kaynak hatası tespit edilmiştir. Bu hata bir kenar çatlağıdır ve yapının gerekli yaşam ömrü 100 000 cycles dır. 172 MPa dan 310 MPa a kadar değişen bir gerilime neden olan dinamik yükleme vardır.

A 514 çeliği için Malzeme özellikleri ;

Akma dayanımı 689 MPa,

$K_{1c}$ = 165 MPa $m^{1/2}$ ,

Geometri düzeltme faktörü Y= 1.12 ve Paris kuralı

$$\frac{da}{dN} = 1.36x10^{-10}\Delta K^{2.25}$$

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

1)- Kırılma için kritik hata boyutuna dayalı olan bu bileşenin hasar ömrünü hesaplayınız ?.

2)- Uygulanan zorlamalara göre çatlak uzunluğunu gösteren eğriyi oluşturunuz?

3)- 100000 cycle lik bir yaşam örü sunabilecek değişik ölçümler tartışın

4)- Başlangıçtaki hata boyutunu 5 mm ye indiren etki nedir? Çatlak uzunluğu eğrisinin şeklini açıklayın ?

# ÇÖZÜM - 3

Ömrü hesap edebilmek için çatlağa neden olabilecek kritik çatlak boyutuna ihtiyacımız var. K denklemine uygun veriyi eklemek suretiyle bunu elde edebiliriz.

$$a_c = \left( \frac{K_{1C}}{1.12\sigma_{max}\sqrt{\pi}} \right)^2 = \left( \frac{165}{1.12x310x\sqrt{\pi}} \right)^2 = 7.19x10^{-2} \text{ m}$$

Bu nedenle Paris kanundaki integrasyon limitleri 7.6 mm ve 71.9 mm dir. Gerilme ( 310- 172) = 138 MPa dır. Değişkenler ayrılıp Paris kuralı verilir.

$$\frac{da}{dN} = C\Delta K^m = C\left(Y\Delta\sigma\sqrt{\pi a}\right)^m$$

$$\therefore \int_0^{N_f} dN = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{CY^m\Delta\sigma^m(\pi a)^{\frac{m}{2}}}$$

İntegral sembolik (?) olarak yapılır ve sonra gerekli ömür için denklemin içine değerler konur.

$$N_f = \frac{1}{CY^m\Delta\sigma^m\pi^{\frac{m}{2}}}\left[\frac{a^{-\frac{m}{2}+1}}{-\frac{m}{2}+1}\right]_{a_i}^{a_f} = \frac{1}{CY^m\Delta\sigma^m\pi^{\frac{m}{2}}}\left[\frac{a_f^{1-\frac{m}{2}} - a_i^{1-\frac{m}{2}}}{1-\frac{m}{2}}\right]$$

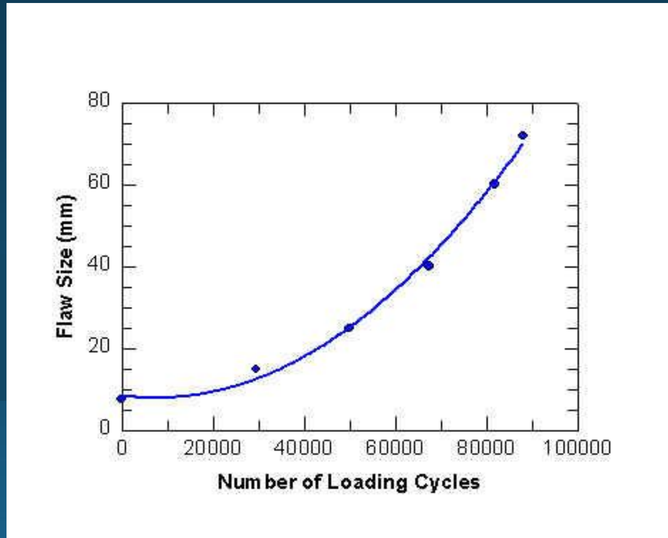
$$\therefore N_f = \frac{1}{1.36\text{x}10^{-10}\text{x}1.12^{2.25}\text{x}138^{2.25}\text{x}\pi^{1.13}}\left[\frac{0.0719^{-0.13} - 0.0076^{-0.13}}{-0.13}\right]$$

$$\therefore N_f = 87\,992 \text{ cycles}$$

**2)-** Çatlak uzunluğunu doğru çizebilmek için 7.6 mm ve 71.9 mm değişik uzunluklar arasında N hesaplanması gerekir.Değişik $a_r$ değerleri ile yukarıdaki değerler tekrar edilir.
Aşağıdaki tablo bazı tipik değerler

| ***a*** **(m)** | 0.015 | 0.025 | 0.04 | 0.06 |
|---|---|---|---|---|
| ***N*** | 29 421 | 49 850 | 67 486 | 81 857 |

verir ve eğri şekilde çizilir.




**3)-** Paris kuralındaki ilgili parametrelerde değişikliğe bağlı olarak bir dizi ölçü vasıtasıyla hasar ömrü uzatılabilir. Bunlar gerilim alanları, sondaki ve baştaki çatlak uzunluğudur. Yeni yapılar için uygun olmayan veya bile şen boyutları arttırılarak oluşturula yükün azaltılmasıyla gerilim alan ları düşürülebilir. Bir çatlak yapıda saptandığı zaman örneğin basınçlı kaplar belirli perioda kadar çalışma devam edebilir ve uygulanan gerilmeler azaltılabilir. Bölgesel olarak tokluğun arttırılabilseydi (örneğin çatlak bölgesinde ilave bir malzeme kullanarak), çatlak uzunluğu artabilirdi.

Çatlakların kritik boyuta ulaşması ve hızlı büyüme oranları yüzünden ömürdeki artış oldukça düşüktür. Bileşenleri yenilemekle veya onararak, başlangıçtaki hata boyutunu azaltmak en iyi çözümdür. Bu bileşen için fabrikasyon/ hata prosesinde başlangıçtaki hata boyutu bir iç probleme yakınsa, başlangıçtaki hata boyutunu azaltabilmek için, fabrikasyon prosesi kontrol edilmelidir.

**4)-** Başlangıçtaki hata boyutu 5 mm ye indirilerek 107423 cycle lik bir ömür verir. Yukarıdaki şekil çatlak büyüme oranı eğrisinin üstel olduğunu ve bu nedenle iç çatlak uzunluğunda küçük bir azalma büyük bir ömrü getirir.

**Gerilim Korozyon Çatlaması ile ilgili problemler –** (Cam raf'ların gerilim korozyon çatlaması hk.da)

## PROBLEM – 4

Gerilme korozyon çatlağı LEFM için diğer önemli kritik bir çatlak büyüme mekanizmasıdır.Çünkü bu çatlak rejiminde uygulanan gerilme artırıcı değerler genellikle düşüktür. Bununla ilgili problemlerden biri K nın artışıyla birlikte çok keskin bir şekilde çatlak büyüme hızının artmasıdır ve ömür kısa olabilmektedir. Çekme gerilmeleri gerilme korozyon çatlağının başlamasına neden olabilir. (Öndeki cümleyi çeviremedim.) Genellikle bu çatlağın oluşumundan kaçınmak gerekir. Alaşımda bir değişiklik veya yüzey koruması gereklidir. Ancak gerilme korozyon çatlağının yaşam ömrünün belirlenebilmesi için kırılma mekaniğinin uygulamasını göstermek gereklidir.

İlk problem açıktır ve tipik bir uygulamayı göstermektedir. Cam bir kabuk (?) kütüphanede üniform bir şekilde yüklenmiş bir kiriş tarafından desteklenmektedir. 1.5 m uzunluğunda, 200 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında kabuklarla bir imalatçı kütüphane imal etmektedir.

Maksimum derinliği 0.1 mm olan yarı eliptik bir görünüşte olduğu kabul edilen yüzey hatalarına fabrikasyon esnasında oluşabileceğini imalatçı bilmektedir.

Rutubetli bir hava gerilmeye sahip bir camda gerilme korozyon çatlaklarına neden olmaktadır. Bu koşullar altında sizin kabuğun yaşam ömrünün hesabında çatlaklar ilerlemeden önce bir bekletme periodu olmayacağını farzedin.

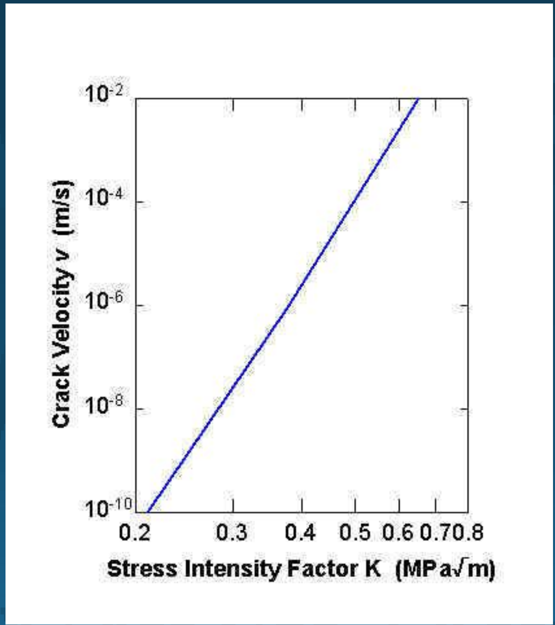
**1) -** Kirişte oluşan maksimum eğilme gerilmesi

$$\sigma = \frac{M\frac{t}{2}}{I}$$

where $I$ = second moment of area $= \dfrac{bt^3}{12}$

and the maximum bending moment $M = \dfrac{wL^2}{8}$

**2)-** Kabuklar E= 70 GPa ve R= 0.01 kj/m$^2$ olan soda camından yapılmaktadır. Nemli bir havadaki cam için çatlak hız eğrisi aşağıda verilmektedir.




3) Yarı eliptik bir çatlakta gerilme artırıcı faktör

$$K = 1.1\sigma\sqrt{\pi a}$$

Hatanın maksimum derinliğinin olduğu yer.

# ÇÖZÜM - 4

Gerilme artışı denkleminin içerisine eklenecek kırılma gerilmesinin değerine gereksinim vardır. Bu bize kritik hata boyutunun bulunmasına imkan sağlayacaktır.Ve bu yüzden v- K denkleminin integrasyonundaki sınırları sağlayan son ve ilk K değerlerini hesaplayabiliriz.

$$v = DK^n$$

Çatlak hızını da/dt= (da/dk)x( dk/dt) olarak tanımlıyoruz. Bu nedenle t ile ilgisi olan integrasyondan hatanın zamanını elde edebiliyoruz. Aşağıdaki bilgi kırılmaya neden olan kritik çatlak boyutunun hesaplanmasında kullanılan Griffth denklemini içeren E ve R yi dahil etmektedir. Eğilme denkleminden gerilme bulunur.

$$I = \frac{200\text{x}10^3}{12} = 16\,667 \text{ mm}^4$$

$$\therefore \quad \sigma = \frac{twL^2}{16I} = \frac{10\text{x}0.1\text{x}1500^2}{16\text{x}16667} = 8.43 \text{ MPa}$$

Grifth denklemi kritik çatlak boyutunu vermektedir.

$$a_f = \frac{ER}{\pi\sigma^2} = \frac{70x10^9 x10}{\pi x \left(8.43x10^6\right)^2} = 0.00314 \;\; \text{m, i.e. } 3.14 \text{ mm}$$

Buradan biz Ki ve Kf değerlerini hesaplayabiliriz.

$$K_i = 1.1x8.43x(\pi x\, 10^{-4})^{\frac{1}{2}} = 0.164 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$K_f = 1.1x8.43x(\pi x\, 3.14x10^{-4})^{\frac{1}{2}} = 0.92 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

v-K eğrisindeki sabitleri bulabilmek için lineer olarak çizim yapılır.

$$n = \frac{\Delta v}{\Delta K} = \frac{\log v_1 - \log v_2}{\log K_1 - \log K_2}$$

Eğri üzerinde iki nokta alınır K'nın 0.68 olduğu yerde 10-2 ve K'nın 0.29 olduğu yerde 10-8

N= 16.21 olarak veriliyor. ν- K denkleminin yerine yazılarak D sabiti elde edilir.

$$v = DK^n, \text{ i.e. } 10^{-2} = Dx0.68^{16.21}$$

$$\therefore \quad D = 5.188$$

Diğer seçilen noktalarla bu değerin kontrolü doğrudur ve (ν- K) denklemi

$$v = 5.188\,K^{16.21}$$

$$v = \frac{da}{dt} = \frac{da}{dK}\cdot\frac{dK}{dt}$$

where

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}, \quad \text{i.e. } a = \frac{K^2}{Y^2\sigma^2\pi}$$

$$\therefore \quad v = \frac{2K}{Y^2\sigma^2\pi}\frac{dK}{dt}$$

T ye göre integre edilir :

$$\int_0^{t_f} dt = \int_{K_i}^{K_f} \frac{2\,KdK}{Y^2\sigma^2\pi v}$$

$$\text{i.e. } t_f = \frac{2\left(K_i^{2-n} - K_f^{2-n}\right)}{(n-2)Y^2\sigma^2\pi D}$$

$$\therefore \quad t_f = \frac{2\left(0.164^{-14.21} - 0.92^{-14.21}\right)}{8.43^2 \text{x} 1.1^2 \text{x} 14.21 \text{x} \pi \text{x} 5.188} \quad \text{s}$$

$t_f = 1.44\text{x}10^7$ s or about 167 days