

47056

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİLME YIĞILMA FAKTÖRÜNDEN
ÇENTİK FAKTÖRÜNE GEÇİŞ ÖNERİLERİNİN
MUKAYESELİ OLARAK İRDELENMESİ

Makina Müh. Özgen Ümit ÇOLAK

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atilla Bozacı

İSTANBUL , 1995

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

SEMBOL LİSTESİ.....	iv
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
GİRİŞ.....	1

I. BÖLÜM

I.1. GERİLME YIĞILMALARININ ANALİZİ	2
I.1.1. Yığılmaların Kaynağı.....	2
I.1.2. Gerilme Yığılmalarının Kuvvet Çizgileriyle Açıklanması.....	3
I.1.3. K_t 'nin Tanımı.....	4
I.2. TEORİK GERİLME YIĞILMA FAKTÖRÜNÜN (K_t) BELİRLENMESİ.....	4
I.3.GERİLME YIĞILMASININ KONSTRÜKSİYONDA GÖZÖNÜNE ALINMASI.....	16
I.3.1. Bir Çentik Faktörü Tanımlanmasının Gereği.....	16
I.3.2.Çentik Faktörü Hesaplama Yöntemleri.....	18
I.3.2.1.Thum Yaklaşımı.....	18
I.3.2.2.Neuber Yaklaşımı.....	19
I.3.2.3. Bollenrath / Troost Yaklaşımı.....	20
I.3.2.4.Petersen Yaklaşımı.....	21
I.3.2.5.Siebel Yaklaşımı.....	23
I.3.2.6.Heywood Yaklaşımı.....	26

II. BÖLÜM

II.1. ÖNERİLERİN VERDİĞİ SONUÇLARIN GERÇEK ÇENTİK FAKTÖRÜNE YAKINLIKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....28

II.1.1. Çevresel Kanal Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin.....28

II.1.2. Fatura Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin33

II.1.3. Enine Delik Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin.....36

II.2. SÜNEK MALZEMELERİN STATİK YÜKLENMESİNDE ÇENTİK ETKİSİ.....39

II.3. TABLO DEĞERLERİNİN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ.....43

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....51

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
A	Neuber malzeme sabiti	mm
D	Çentiksiz numune çapı	mm
E	Elastiklik modülü	daN / mm ²
E _s	Katılık modülü	daN /mm ²
K _ç	Çentik faktörü	-
K _t	Teorik gerilme yığılma faktörü	-
n _x	Destek katsayısı	-
S _g	Referans çentik yarıçapı	mm
a	Delik yarıçapı	mm
b	Plaka genişliğinin yarısı	mm
d	Çentikli numunenin çentik kökü çapı	mm
r	Çentik yarıçapı	mm
t	Çentik derinliği	mm
q	Çentik duyarlılığı	-
σ _k	Kopma dayanımı	daN / mm ²
σ _{max}	Çentik kökündeki maximum gerilme	daN / mm ²
σ _n	Nominal gerilme	daN / mm ²
σ _{yçentiksiz}	Çentiksiz numunenin yorulma dayanımı	daN /mm ²
σ _{yçentikli}	Çentikli numunenin yorulma dayanımı	daN /mm ²

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
σ_{ort}	Ortalama gerilme	daN /mm ²
$\sigma_{üst}$	Max. gerilme	daN /mm ²
χ	Gerilim düşmesi	mm ⁻¹
χ_0	Orjinal Gerilim düşmesi	mm ⁻¹



ÖZET

Makina mühendisliğinde karşılaşılan problemlerin en önemlilerinden biri dinamik zorlamaların oluşturduğu yorulma kırılmalarıdır. Bu kırılmaları kolaylaştıran nedenlerin başında şekil , yüzey durumu ve zorlanma şekli gibi dış etkenler gelmektedir. Özellikle parça üzerindeki çentik adı verilen geometrik düzgünlükler bu etkenlerin başında gelmektedir.

Günümüzde, malzeme mukavemeti ve ömrünü etkileyen faktörler üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir. Devam eden bu çalışmalardan biride teorik gerilme yığılması faktöründen çentik faktörüne geçiş konusudur. Bazı araştırmacılar çentik faktörüne geçiş yaklaşımları önermişlerdir. Önerilen bu yaklaşımların sonuçları arasında farklılıklar olduğu gibi gerçek çentik faktörü değeri ile bu sonuçlar arasında da farklılıklar bulunmaktadır.

Bu çalışmanın birinci bölümde, teorik gerilme yığılma faktörü K_t ve K_t 'den çentik faktörü K_c ' ye geçiş yaklaşımları incelendi.

İkinci bölümde, çeşitli malzeme ve çentik tipleri için deneysel K_c değerleriyle önerilen çentik faktörü yaklaşımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada gerek literatürde mevcut deneysel sonuçların derlenerek kullanılması gerekse bunlara ilave olarak tarafımızdan yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarından yararlanma yoluna gidilmiştir.

Deneylerde üç değişik malzemedeki yapılmış deney çubukları iki çentik tipi ve iki zorlanma türü için statik koşullarda test edildi.

Sonuçta, önerilen çentik faktörü yaklaşımlarının her tür malzeme , çentik tipi ve zorlanma şekli için gerçek K_c değerine, kabul edilebilir sınırlar içinde bir yakınlık göstermediği görüldü. Bununla birlikte çoğu durumda Petersen yaklaşımının iyi sonuçlar verdiği belirlendi.

Ayrıca statik yüklemelerde, sünük malzemelerde çentikli numunenin dayanımının çentiksiz numunenin dayanımından daha fazla olduğu yapılan deneyler sonuçunda belirlendi.

SUMMARY

One of the most important problems which is faced in mechanical engineering is fatigue fracture that the dynamic forces make. The main reasons which make easy these fractures are ex - actives as shape, the situation of surface and forcing type. Specially , geometrical discontinuities which are called as notch, is the most important reason of these actives.

Nowadays , studies on factors which affect material resistance and life are going on. One of this continuing studies is transition from teorique stress concentration factor to notch factor. Some researchers suggested approachments of noth factor. There are diffrences between results of suggesting approachments. And also, there are diffrences between these results and real notch factor.

In the first section of this study, the teorique stress concentration factor (K_t) and transition approachments from teorique stress concentration factor to notch factor , are examined.

In the second section , for various material and notch types, experimental K_c values and the results of notch factor approachment are compared . In this comparison , present experimental results are used. In addition , the results of experiments which were made are examined.

In these experiments, specimens made from three different material were tested for two notch types and two forcing types.

As a result , It was seen that only one notch factor approachment hadn' t given good results for every material, notch type and forcing type. But , It was determined that Petersen approachment had given very close results to real notch factor for many material, notch type and forcing type.

In addition , It was determined that resistance of notch specimen was bigger than resistance of un - notch specimen in the ductile material at the static loading

GİRİŞ

Dinamik zorlanmalarda gerilmelerin hesaplanmalarında ve emniyet sınırlarının belirlenmesinde sürekli mukavemet diyagramlarından yararlanır. Ancak bu diyagramlar standart deney çubukları kullanılarak elde edilmişlerdir. Gerçek makina parçaları ise yüzey pürüzlülüğü , fatura kavşakları, delikler,kama yuvaları gibi geometrik süreksizliklere sahip olduklarından deney çubuklarından çok farklı olurlar. Bu geometrik süreksizlikler birer gerilme yığılma noktaları olarak karşımıza çıkarlar.

Tasarımcı açısından problemin iki önemli yönü vardır. Birincisi gerilme yığılma noktalarındaki gerilmelerin hesaplanması, ikincisi ise bu kesitler için emniyet gerilmelerinin belirlenmesidir.

Gerek gerçek gerilmelerin hesaplanmasında gerekse emniyet gerilmelerinin belirlenmesinde bilinen hesap yöntemlerini deneysel verilerle takviye etmek veya gerekirse bazı düzeltmeler yapmak mümkündür.

Geometrik düzgünlüklerin olduğu noktalardaki gerilme yığılmaları deneysel olarak foto- elastik modellerin analizinden veya strengage yardımıyla belirlenirken analitik olarak sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmektedir.

Bu konuda ilk araştırmalar Petersen tarafından yapılmıştır. Ve çeşitli çentik tipleri için K_t teorik gerilme yığılma faktörleri belirlenmiş ,ayrıca sınırlı sayıda çentik tipi için de matematiksel ifadeler bulunmuştur. Elastik sınırlar içinde sadece parça geometrisine ve gerilme şekline bağlı olan K_t 'den K_c ' ye geçişin zorunlu olduğu görülmüştür. Çünkü aynı geometriye sahip ve aynı gerilme ile zorlanan farklı malzemenin yapılmış parçalarda farklı ömürler tesbit edilmiştir. Buda malzemenin çentiğe karşı farklı duyarlılığa sahip olduğunu göstermiştir.

Thum,Neuber,Siebel,Bollenratlı - Troost, Heywood ,Petersen deneysel ve teorik çalışmalarla yaklaşık olarak eşdeğer sayılabilecek yöntemlerle teorik gerilme yığılma faktörü K_t ' den çentik faktörü K_c ' ye geçiş yapmışlardır. Önerilen bu yaklaşımların sonuçları arasında farklılıklar olduğu gibi, gerçek K_c değeri ile bu sonuçlar arasında da farklılıklar bulunmaktadır.

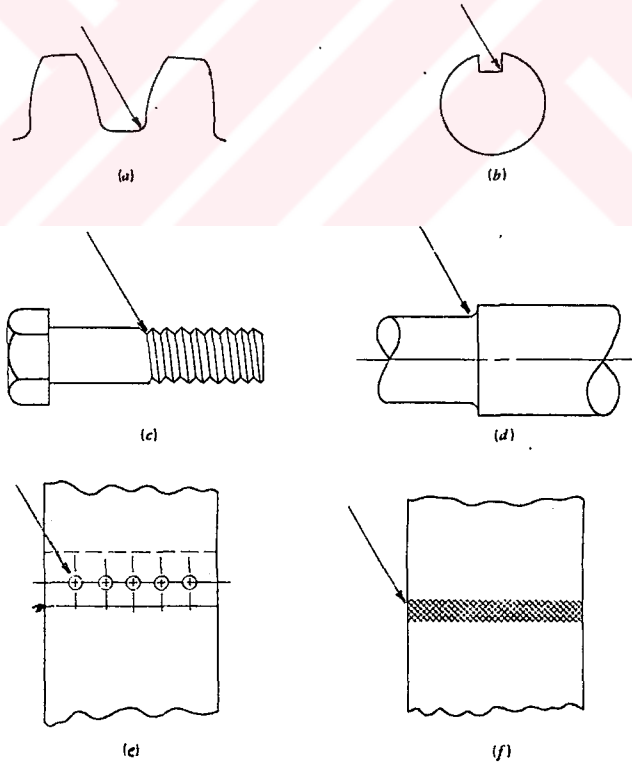
I. BÖLÜM

I.1. GERİLME YIĞILMALARININ ANALİZİ

I.1.1. Yiğilmaların Kaynağı

İdeal olarak parça kesitine eşit gerilmelerin geldiği kabul edilir. Ancak çeşitli sebeplerden dolayı bu ideal durum gerçekleşmez. Çekme ve basma gerilmeleri parça kesitine eşit dağılmayabilir, eğme ve burma gerilmeleri de yüzeyden merkeze doğru doğrusal bir azalma göstermeyebilir. Parça şekli, yüzey kalitesi, malzeme hatası, mikroyapının büyük ölçüde heterojen olması gibi nedenler ile bölgesel gerilme yığılmaları meydana gelir. Yorulma çatlakları gerilme yığılmalarının bulunduğu yerlerden başlar. Yorulma sonucu oluşan keskin çatlak ek bir çentik etkisi ortaya çıkardığından gerilmeler bakımından durum daha da kötüleşecek ve bu suretle oluşan yüksek gerilme yığılmaları çatlakların hızla ilerlemesine ve büyümesine neden olacaktır. Ayrıca yük taşıyan kesit sürekli olarak küçüldüğünden kırılma meydana gelecektir.

Parça şekli kuvvet çizgilerinin değişiminde oldukça önemli bir rol oynar ve gerilme yığılmalarının oluşmasına neden olur. Gerilme yığılmaları, kuvvet çizgilerinin değişmesine neden olan yivlerin, yuvarlatmaların, deliklerin ve köşelerin olduğu yerlerde her zaman vardır. Konstrüksiyonda bu tür geometrik düzensizliklerden sakınmak zordur..

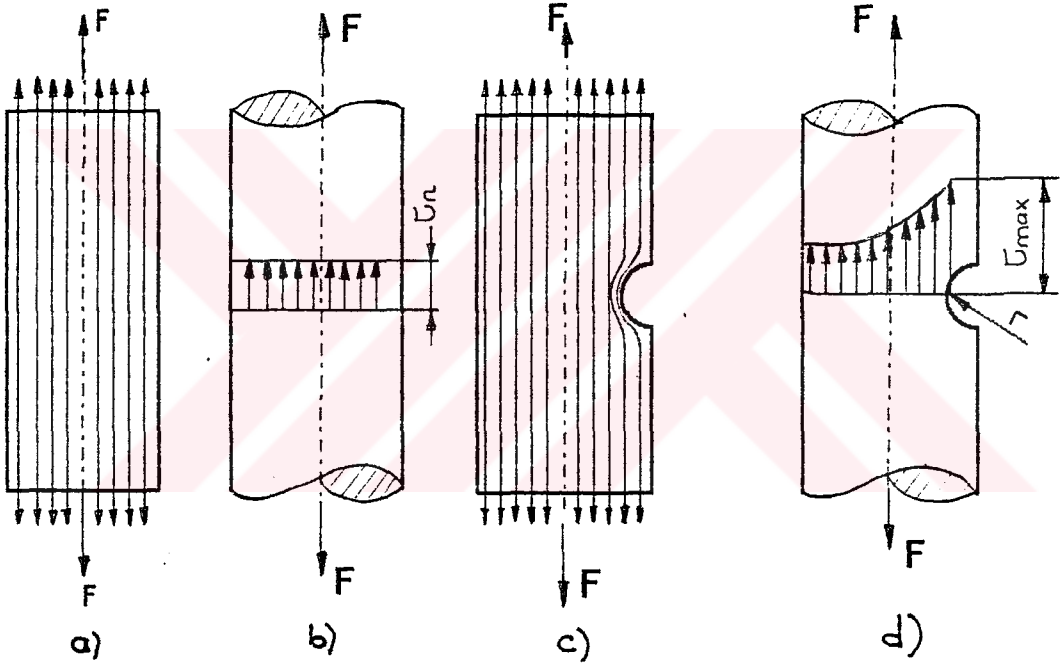


Şekil 1. Gerilme yığılmalarına örnekler a) Dişli çark diş dibi kavşağı, b) Kama kanalı, c) Vida dişi, d) Fatura kavşağı, e) Perçin bağlantısı, f) Kaynak bağlantısı

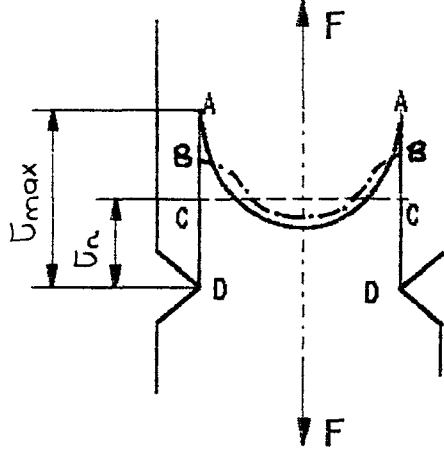
Kısaca konstrüksiyondaki yağ delikleri,kama kanalları,faturalar,çevresel kanallar gibi geometrik düzensizliklerin olduğu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelir. Civata başları, krank millerinin dirsekleri, sıkı geçmeler gibi kuvvetlerin doğrultu değiştirdiği yerler yine birer gerilme yığılma kaynağıdır.Şekil 1 'de gerilme yığılma kaynaklarına bir kaç örnek verilmiştir.

I.1.2 Gerilme Yığılmalarının Kuvvet Çizgileriyle Açıklanması

Kuvvet akış çizgilerini değiştiren etkilere çentik adı verilir. Şekil 2 'de çentiksiz ve çentikli bir çubuktaki kuvvet akışı ve gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 2. a) Çentiksiz bir çubukta kuvvet akışı
b) Çentiksiz bir çubukta gerilme dağılımı
c) Çentikli çubukta kuvvet akışı
d) Çentikli çubukta gerilme büyümesi

I.1.3 K_t 'nin Tanımı

Şekil 3. Yassı bir çubuğun çentikli kesitindeki gerilme dağılımı

Şekil 3 'de çift taraflı sivri çentikler içeren yassı bir çubuğun çekme zorlamaları altında çentikli kesitindeki gerilme dağılımı görülmektedir. Burada AA eğrisi statik zorlama altında gerilme dağılımını, CC doğrusu ise anma gerilmesini vermektedir. Aynı şekilde statik ve değişken zorlamalarda çentik etkisini karşılaştırmak için, BB eğrisi ile yorulma zorlamaları altındaki hayali gerilme dağılımında çizilmiştir. (Güleç , Aran , 1983)

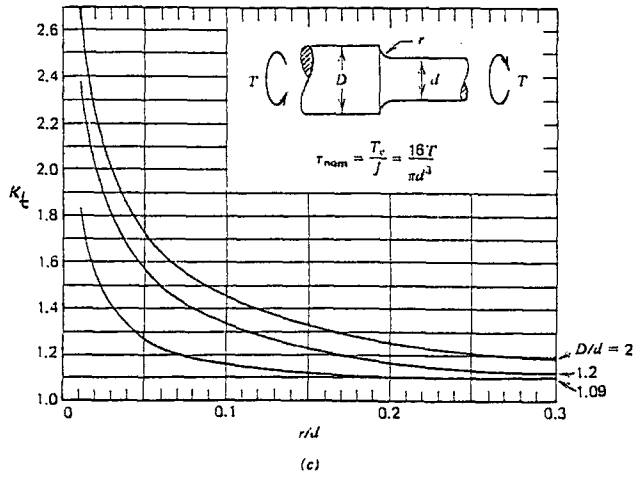
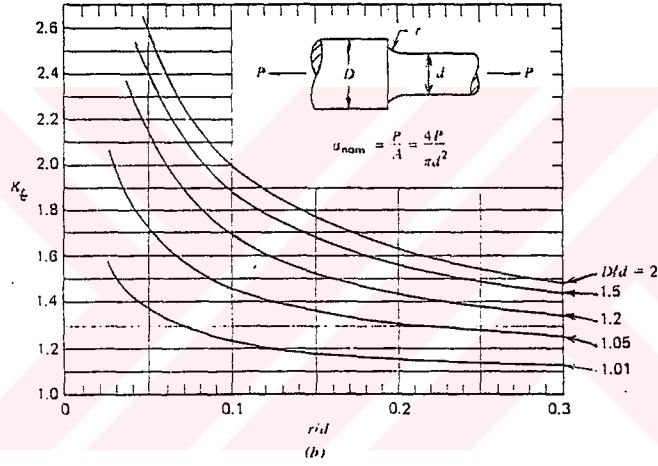
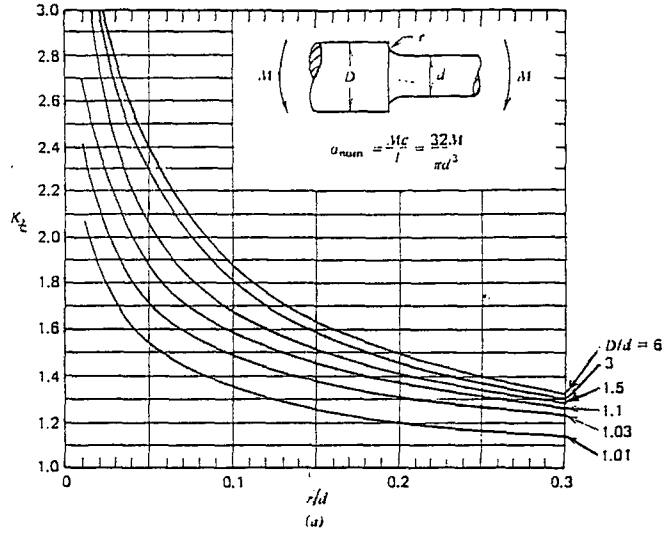
Çentik kökündeki en yüksek gerilme σ_{max} , σ_n nominal gerilmeden büyüktür. σ_{max} 'ın σ_n 'e oranı teorik gerilme yığılma faktörü (K_t) olarak adlandırılır.

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$$

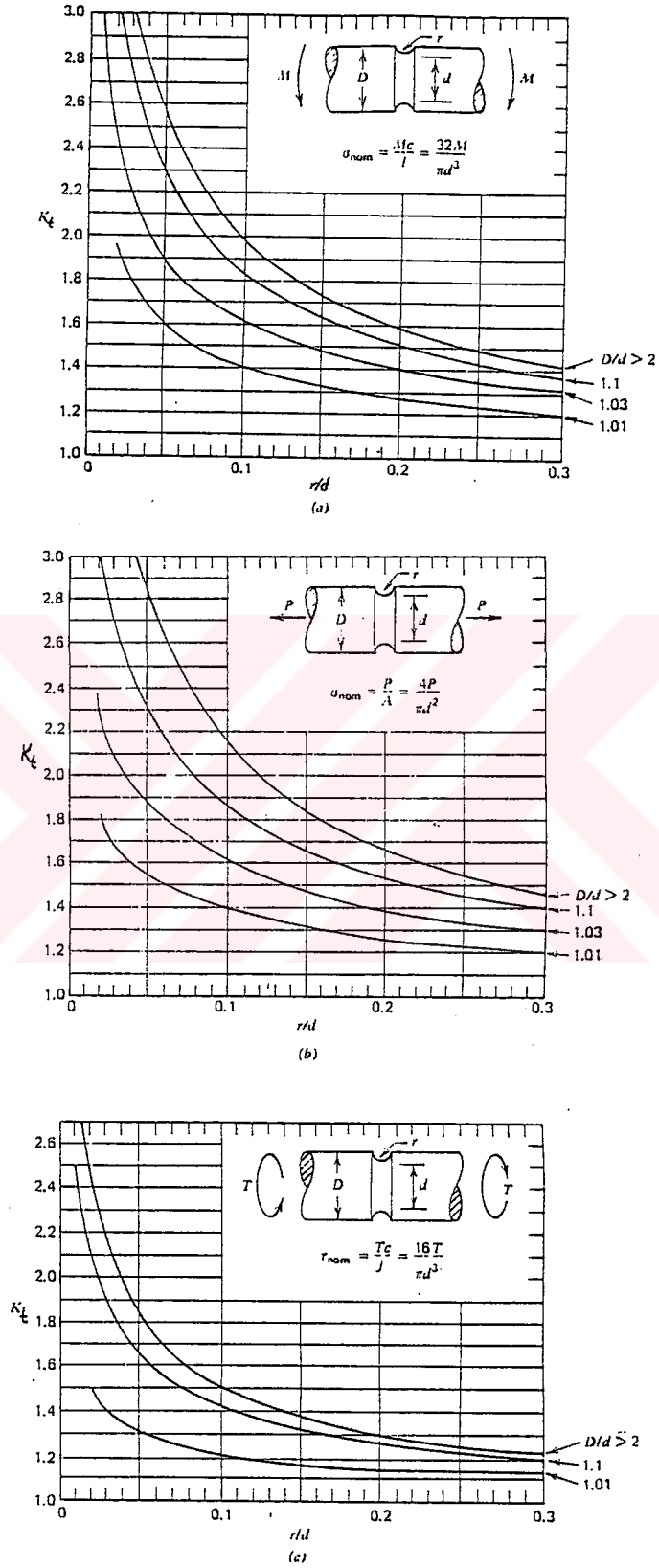
I.2 . TEORİK GERİLME YIĞILMA FAKTÖRÜNÜN (K_t ' NİN) BELİRLENMESİ

Çentik kökünde meydana gelen en büyük gerilmenin nominal gerilmeye oranı olan K_t , teorik bir faktördür. Çünkü teorikte gerilme dağılımının elastik olduğu kabul edilir. Oysaki dağılım elasto-plastiktir. K_t faktörü, elastiklik teorisinden çıkarılan sonuçlar yardımıyla çeşitli basit çentik şekilleri için elde edilir. Daha karmaşık durumlarda deneysel olarak foto-elastik modellerin analizlerinden veya strengage yardımıyla ölçümlerden belirlenmektedir. Aynı çentik tipi ve boyutlarda numuneler , aynı tip gerilmeler altında denenerek gerilme yığılma faktörü belirlenmektedir. Ayrıca analitik olarak sonlu elemanlar yönteminden yararlanılır. Şekil 4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14 ve Tablo 1 'de çeşitli çentik tipleri için K_t teorik gerilme yığılma faktörü verilmiştir.

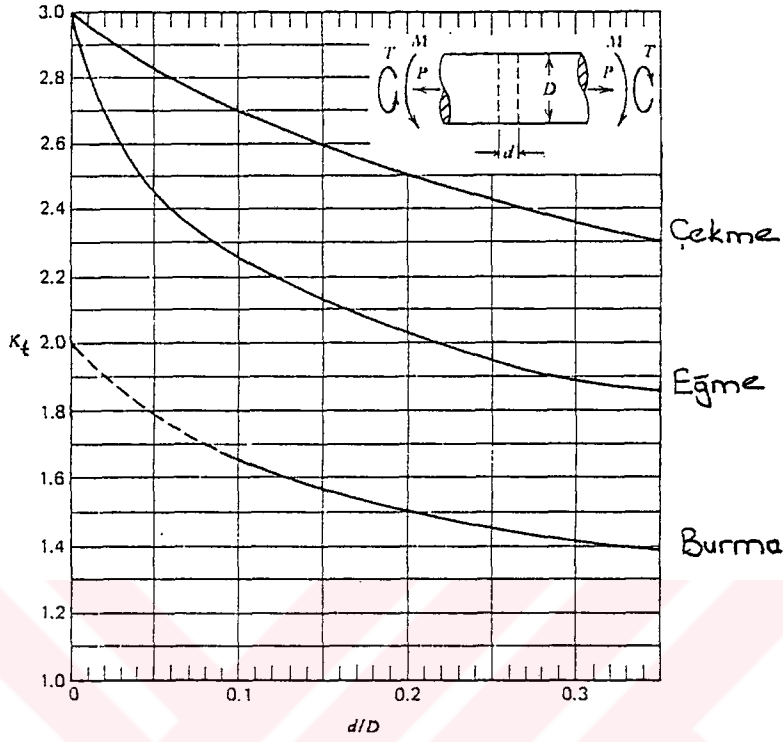
(Vollaça , Doughtie , 1964)



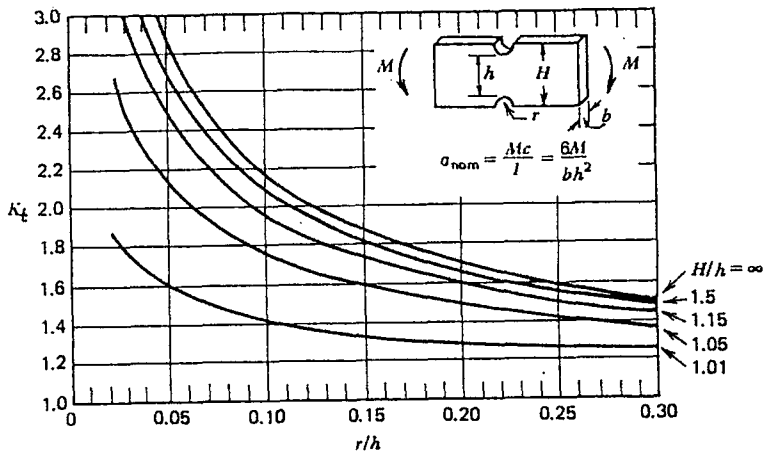
Şekil 4. Faturalı millerde K_t teorik gerilme yığılma faktörü
a) Eğme durumu ,b.) Çekme durumu, c) Burma durumu



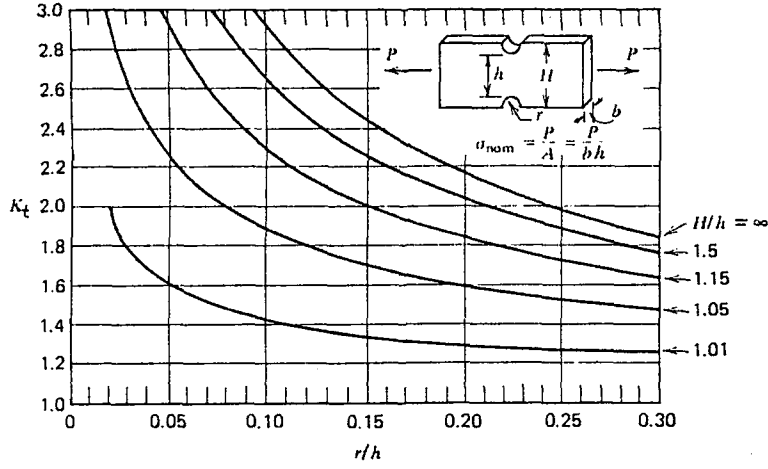
Şekil 5. Çevresel kanallı millerde K_t teorik gerilme yığılma faktörü
a) Eğilme durumu, b) Çekme durumu, c) Burulma durumu



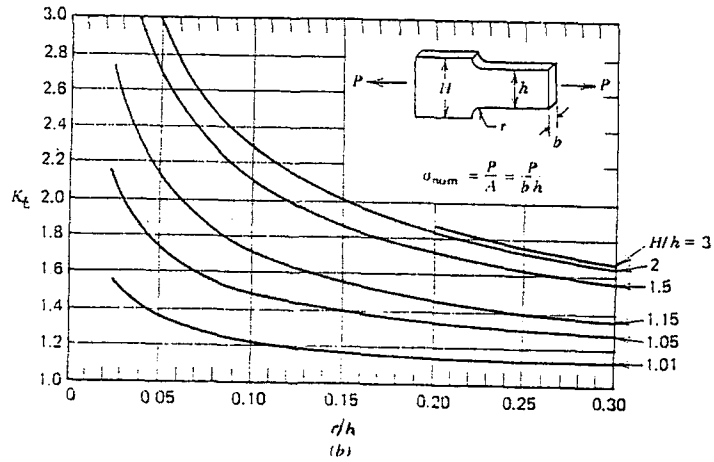
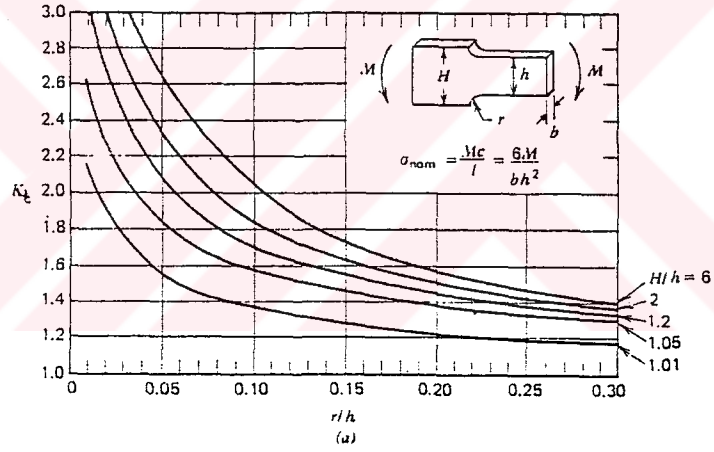
Şekil 6. Delikli millerde çekme , eğme ve burulma durumları için K_t teorik gerilme yığılma faktörü



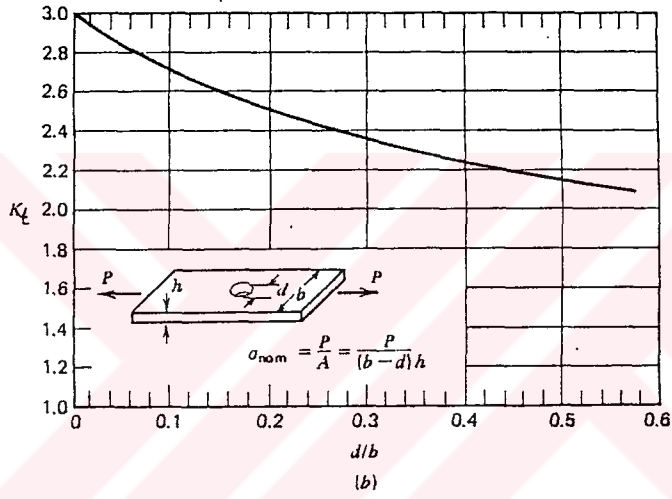
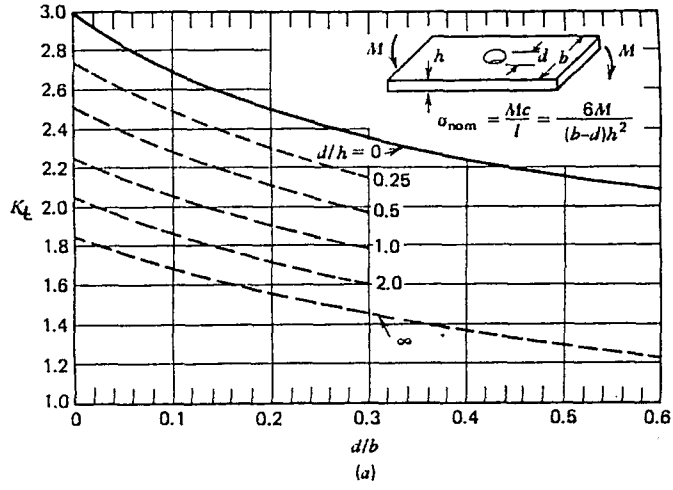
Şekil 7. a. Dikdörtgen kesitli çentikli parçalarda eğme durumu için K_t teorik gerilme yığılma faktörü



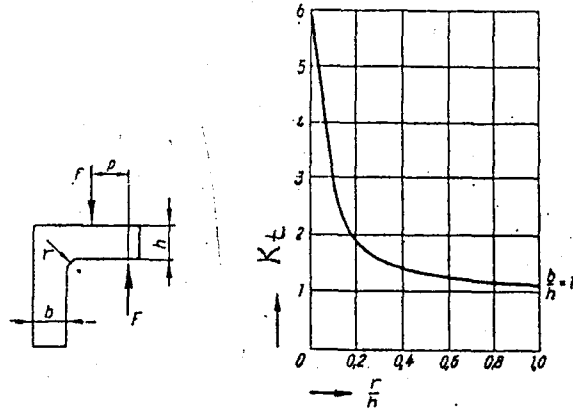
Şekil 7. b. Dikdörtgen kesitli çentikli parçalarda çekme durumu için K_t teorik gerilme yığılma faktörü



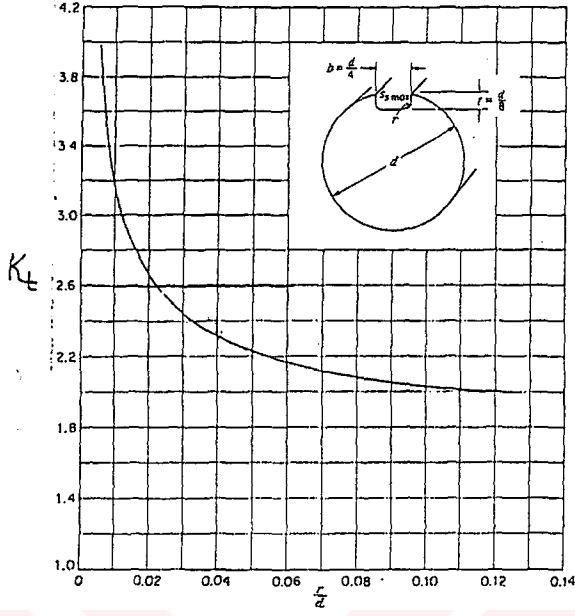
Şekil 8. Dikdörtgen kesitli çentikli parçalarda K_t teorik gerilme yığılma faktörü
a) Eğme durumu b) Çekme durumu



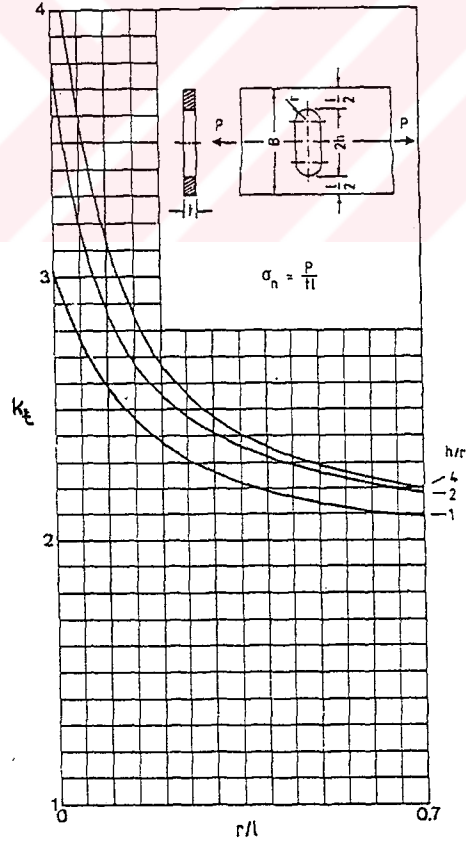
Şekil 9. Dikdörtgen kesitli delikli parçalarda K_t , a) Eğme durumu b) Çekme durumu



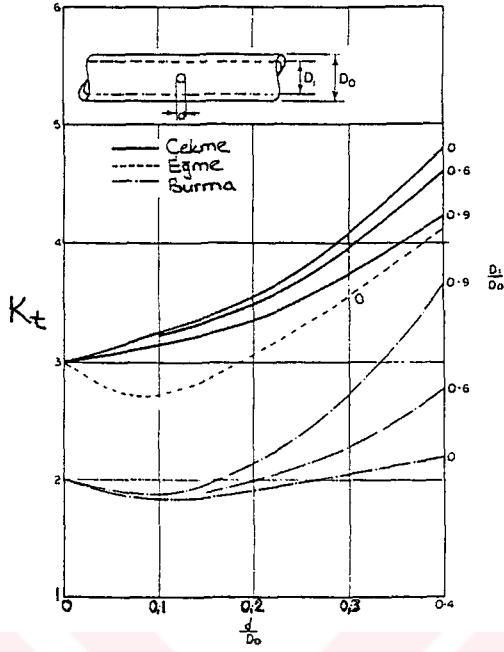
Şekil 10. Eğme zorlaması altındaki köşelerin K_t teorik gerilme yığılma faktörü



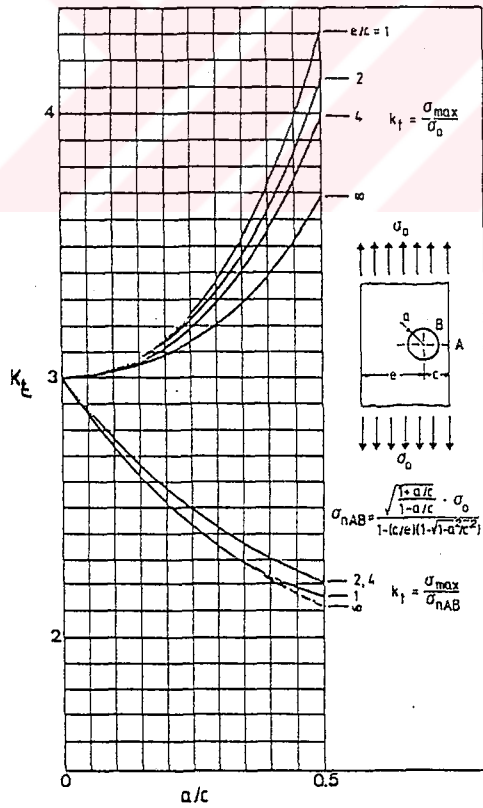
Şekil 11. Kama yuvalı millerde burulma durumunda K_t teorik gerilme yığılma faktörü .



Şekil 12. Çekme zorlamalarında enine yarıklar bulunan çubukların K_t teorik gerilme yığılma faktörü (Buch , 1988)

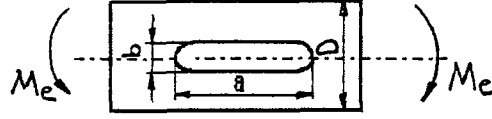


Şekil 13. Delikli borularda çekme, eğme ve burulma durumunda K_t teorik gerilme yığılma faktörü (Forrest , 1966)



Şekil 14. Çekme zorlamalarında eksantrik delik içeren plakada K_t teorik gerilme yığılma faktörü (Buch , 1988)

Tablo 1. Boyuna yarıklar içeren çubukların eğme zorlamaları altındaki K_t teorik gerilme yığılma faktörü (Güleç , Aran , 1983)



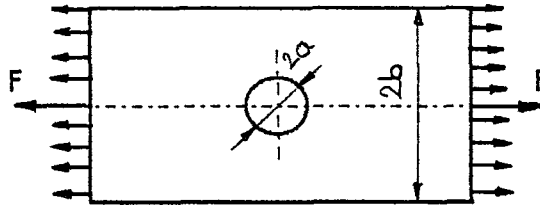
a / b	b / D	Gerilme Yığılma Faktörü K_t	a / b	b / D	Gerilme Yığılma Faktörü K_t
1,0	0,1115	2,067	2,0	0,1	1,32
	0,239	2,027		0,2	1,322
	0,364	2,060		0,3	1,320
	0,485	2,18		0,4	1,410
	0,6	-		0,5	1,672
	0,1	1,43		0,1	1,160
1,5	0,2	1,44	2,5	0,2	1,176
	0,3	1,52		0,3	1,300
	0,4	1,648		0,4	1,280
	0,5	1,91		0,5	1,235

Teorik Gerilme Yığılma Faktörünün Matematiksel İfadesi

Gerilme yığılma faktörünün matematiksel olarak ifade edilmesi oldukça zordur.

Çözümler sadece birkaç tip çentik için belirlenebilmiştir.

1. Sonlu genişlikteki bir plakadaki silindirik bir delik için K_t değeri bir seriye açılarak ifade edilir. (Frost et al , 1974)



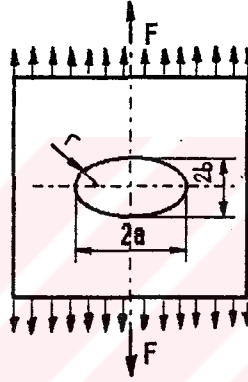
Şekil 15 . Sonlu genişlikteki bir plakadaki çembersel delik

$$K_t = 3 \left[1 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{a}{b} \right)^2 - 4 \cdot \left(\frac{a}{b} \right)^2 \dots \dots \dots \right]$$

$$0 < \frac{a}{b} < \frac{1}{2} \quad 2a : \text{Delik } \phi \text{ açısı}$$

2b : Levha genişliği

2. Büyük bir düzlemdeki, küçük eliptik bir delik etrafında gerilme dağılımı için çözüm İnglis tarafından belirlenmiştir. Max. kuvvet ana eksen üzerindeki deliğin kenarlarında meydana gelir. (Forrest , 1966)



Şekil 16. Büyük bir düzlemdeki küçük eliptik bir delik

$$K_t = 1 + \frac{2a}{b}$$

2a ve 2b ana ve küçük eksenlerin boyudur. Aynı eşitlik $K_t = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}$ şeklinde

yazılabilir.

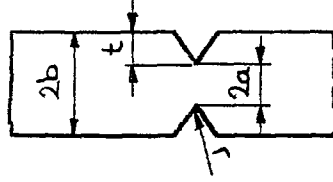
r : Elips yayınının min. radyusu

Bu eşitlik aynı zamanda çeki ve eğilmeye zorlanan miller ve bir plakadaki sığ çevresel kanallar içinde geçerlidir. a : Çentik derinliği, r : Çentik radyusu

Burulmaya maruz kalan sığ faturalı miller için ;

$$K_t = 1 + \sqrt{\frac{a}{r}}$$

3. Bir plakanın her iki kenarındaki dış çentikler (Frost et al , 1974)



Şekil 17. Bir plakanın her iki kenarındaki dış çentikler

2a : Plaka genişliği , 2b:Çentik dibi genişliği, t : Çentik derinliği , r : Çentik radyusu olmak üzere,

Derin çentiklerde;

a) Çekmede;

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = \frac{2 \cdot \left(\frac{a}{r} + 1\right) \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}}{\left[\left(\frac{a}{r} + 1\right) \text{tg}^{-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}\right] + \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}}$$

b) Eğmede.

$$K_t = \frac{4 \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^{3/2}}{3 \left[\left(\frac{a}{r}\right)^{1/2} + \left(\frac{a}{r} - 1\right) \text{tg}^{-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}\right]}$$

Sonsuz büyüklükteki numunelerdeki sığ çentikler

a) Çekmede (Yuvarlatılmış dış çentikler)

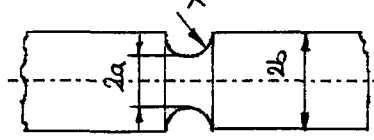
$$K_t = 3 \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot r}\right)^{1/2} - 1 + \frac{4}{2 + t/2 \cdot r}$$

b) Çekmede (Keskin dış köşeler)

$$K_t = 1 + 2 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$$

c) Eğilmede , K_t çekme ile aynıdır.

4. Çevresel kanallı silindirik çubuklarda, (Frost et al, 1974)



Şekil 18. Çevresel kanallı silindirik çubuk

a) Derin çentiklerde

Çekmede,

$$K_t = \frac{1}{N} \left[\frac{a}{r} \left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2} + (0,5 + \nu) \frac{a}{r} + (1 + \nu) \left[\left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2} + 1 \right] \right]$$

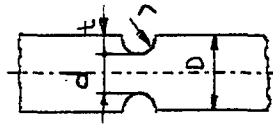
$$N = \frac{a}{r} + 2 \cdot \nu \left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2} + 2 \quad \nu \text{ Poisson oranı}$$

Eğmede;

$$K_t = \frac{3}{4 \cdot N} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{1/2} + 1 \right] \left[3 \cdot \frac{a}{r} - (1 - 2 \cdot \nu) \left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2} + 4 + \nu \right]$$

$$N = 3 \cdot \left(\frac{a}{r} + 1 \right) + (1 + 4 \cdot \nu) \left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2} + \frac{1 + \nu}{1 + \left(\frac{a}{r} + 1 \right)^{1/2}}$$

5. Bir plakadaki U şeklindeki çentikler için



Şekil 19. Bir plakadaki U şeklinde çentik

Barrata ve Neal' e göre;

$$K_t = \left(0,78 + 2,243 \sqrt{\frac{t}{r}} \right) \left[0,993 + 0,18 \left(\frac{2 \cdot t}{D} \right) - 1,060 \left(\frac{2 \cdot t}{D} \right)^2 + 1,71 \left(\frac{2 \cdot t}{D} \right)^3 \right] \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D} \right)$$

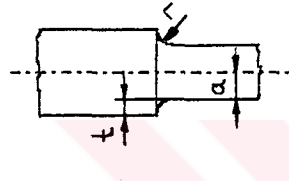
Heywood' a göre,

$$K_t = 1 + \left[\frac{t/r}{1,55.(D/d) - 1,3} \right]^n$$

$$n = \frac{D/d - 0,5\sqrt{t/r}}{D/d - 1 + \sqrt{t/r}}$$

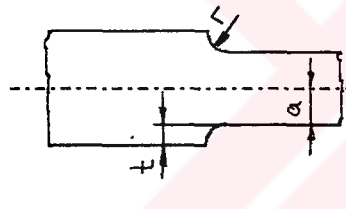
6. Faturalı dolu çubukların K_t gerilme yığılma faktörleri

a) Yuvarlak çubuk



$$K_t = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{A}{t/r} + \frac{H(1+a/r)^2}{(a/r)^3} + c \cdot \frac{a/r}{(t/r)^2 \cdot (a/r + t/r)}}$$

b) Yassı çubuk



$$K_t = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{A}{t/r} + \frac{H(1+a/r)^2}{(a/r)^3}}}$$

Çubuk şekli	Yassı çubuk		Yuvarlak çubuk			
Sabitler	A	H	A	H	C	n
Çekme	0,77	(1,3)	0,77	(2,1)	*	*
Eğme	0,77	(3,5)	0,77	3,86	0,2	3
Burma	-	-	3,14	14,3	0,2	3

*) C ve n belli olmadığından, bu durumda formül $t/r > 1$ için geçerlidir. Parantez içindeki değerler tahmin edilmiştir. (Güleç, Aran, 1983)

I.3. GERİLME YIĞILMASININ KONSTRÜKSİYONDA GÖZÖNÜNE ALINMASI

I.3.1 Bir Çentik Faktörü Tanımlanmasının Gereği

Maximum gerilme elastik alanda kaldığı sürece, yani malzeme davranışları Hooke kanununa uyduğu sürece, gerilme yığılma faktörü sadece çentik biçimi ve zorlama şekline bağlıdır. Dolayısıyla gerilme yığılma faktörü malzemedен bağımsızdır.

K_t geometrik olarak benzer numuneler için sabittir (d/D oranı sabit , çentik tipi ve zorlama şekli aynı ise).

Ancak keskin çentikli numune veya makina parçasında, çentik kökünde meydana gelen gerilme artışı bölgesel olarak malzemenin akma sınırını aşabilir. Bu bölgesel akma, gerilmelerin tekrar bir dağılımına neden olur. Ve teorik elastik gerilme yığılma faktörü K_t artık gerçek gerilmenin nominal gerilmeye oranı olarak tanımlanamaz. Gerçek max. gerilme nominal gerilmeyle karşılaştırıldığında , malzemenin elastik kaldığı zamankinden kısmen daha küçüktür. Çünkü gerilmenin bir bölümü şekil değiştirme için harcanmıştır. Böylece, gerilme yığılma faktörü local plastik akışın olmasıyla azalır. Çentik çevresindeki gerilme dağılımları ve elastik plastik uzamaların matematiksel çözümünün eldesi, nümerik çözümler ve digital bilgisayar teknikleri kullanılmasına rağmen zordur.

Çeki gerilmesi etkisi altındaki çok geniş bir plaka üzerindeki çembersel bir delikten dolayı oluşan gerilme yığılma faktörü için en başarılı yaklaşımlardan biri aşağıda verilmiştir. (Vollanca , Doughtie , 1964)

$$K_t = 1 + 2 \cdot \frac{E_s}{E}$$

E : Elastiklik modülü

E_s : Katı modülü

K_t : Gerilme yığılma faktörü

Yorulma zorlamaları altındaki parçalarda malzemenin biçim ve yüzey etkisine karşı duyarlılığı malzemedeki malzemeye değişir. Söz konusu davranışın ölçütü olarak çentik faktörü tanımlanır. Çentikli bir numunenin $N=10^7$ 'de yorulma limiti (σ_{dn}) genellikle, çentiksiz bir numuneninkinden (σ_d) daha düşüktür. İşte düzgün, yüzeyi parlatılmış dolu bir numunenin dayanabileceği gerilmenin, çentikli bir numuneninkine oranı K_ϕ çentik faktörü olarak adlandırılır.

$$K_\phi = \frac{\sigma_{y\phi \text{ entiksiz}}}{\sigma_{y\phi \text{ entikli}}}$$

Tam değişken zorlamada $\sigma_{ort} = 0$ olduğundan, yorulma dayanımı $\sigma_y = \sigma_{üst}$ alınır. Bu özel durum için,

$$K_\phi = \sigma_d / \sigma_{dn}$$

Çentik kökünde plastik bir bölgenin oluşması halinde yukarıda tanımlanan çentik faktörü tam bir sonuç vermez. Yeni bir K_{ϕ} faktörü tanımlanmak zorundadır. Herhangi bir geometrik düzensizlik için plastik gerilme yığılma faktörü K_p tanımını yapan denklem aşağıdaki gibi verilmektedir. Bu denklem birçok durum için doğru tahminler vermektedir.

$$K_p = 1 + (K_t) \frac{E_s}{E}$$

Çentik faktörünün belirlenmesinde aynı malzemeden yapılmış çentikli (yuvarlak veya sivri çentikli, çevresel kanallı, faturalı v.s.) ve çentiksiz numuneler kullanılır. Çentik faktörü, teorik gerilme yığılma faktöründen daha küçüktür. $K_t - K_{\phi}$ farkı, keskin çentik için daha büyüktür, ayrıca bu fark malzemeden malzemeye değişir. Malzeme özelliklerinden çentik duyarlılığının direct olarak belirlenmesi için herhangi bir metod henüz bulunmuş değildir. Ancak çentik katsayısı bilinen parçalar için belirlenebilir. Çentik duyarlılığı I.3.2.1 bölümünde anlatılmıştır.

I:3.2. Çentik Faktörü Hesaplama Yöntemleri

I:3.2.1. Thum Yaklaşımı

$$\sigma_{max} = K_t \cdot \sigma_n$$

K_t : Teorik gerilme yığılma faktörü

$$K_t = f(\text{Çentik geometrisi})$$

$$K_{\phi} : \text{Çentik faktörü} \quad K_{\phi} = f(\text{Malzeme, çentik geometrisi})$$

$$q = \frac{K_{\phi} - 1}{K_t - 1}$$

$$K_{\phi} = 1 + q(K_t - 1)$$

q : Çentik hassasiyeti

Tanım olarak q , çentikten ötürü gerçek gerilme yükselmesinin teorik gerilme yükselmesine oranıdır.

Malzemenin çentik duyarlılığı malzeme özelliklerinden direct belirlenmemektedir. Ancak çentik katsayısı belli olan parçalar için belirlenebilir. Bununla birlikte malzemenin çentiğe karşı duyarlılığı, malzemenin sünek veya gevrek oluşuna bağlıdır. Buda çekme deneyi ile belirlenen karakteristiklerden biri olan akma sınırına göre belirlenir. Akma sınırı , elastiklik sınırı aşıldığında gerilme sabit kalmasına rağmen uzamanın devam ettiği noktadır. Sünek malzemelerde akma sınırı bellidir. Ancak gevrek malzeme herhangi bir uzama göstermeden koptuğu için bu sınır belli değildir.

Dolayısıyla çentik duyarlılığı, genlik, yükleme tipi, parça boyutu ve çentik şekli gibi çok sayıda faktöre bağlı olduğundan malzemeleri çentik duyarlılığına göre sınıflandırmak zordur. Bununla birlikte çentik duyarlılığını etkileyen faktörler arasında, çentik yarıçapı en önemli faktördür. Radyus arttıkça kuvvet çizgilerinde yumuşama olduğundan q düşer. Tablo 2. 'de çelik ve alüminyum alaşımları için q çentik hassasiyeti verilmiştir.

Çentiğe duyarsız malzemeler için $q = 0$ ' dir. Ve $K_{\text{ç}} = 1$ olur. Çentik duyarlılığı çok iyi olan malzemeler için de $q = 1$ ' dir. ($K_{\text{ç}} = K_{\text{t}}$) Örneğin düşük kalitedeki dökme demirin çentik hassasiyeti sıfıra yakındır. Çünkü, yapıdaki lameller birer çentik etkisi yapmaktadır. Camın q ' su 1' dir. katsayısı verilmiştir. (Bozacı , 1989)

Tablo 2. Çelik ve alüminyum alaşımları için " q " çentik hassasiyeti katsayısı.

r (mm)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
ÇELİKLER σ_k (daN/mm ²)	140	0.88	0.91	0.92	0.94	0.95	0.955	0.96	0.96
	105	0.80	0.85	0.88	0.90	0.91	0.915	0.92	0.92
	70	0.67	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86
	42	0.56	0.64	0.68	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI		0.40	0.55	0.64	0.70	0.75	0.77	0.80	0.83

I:3.2.2 Neuber Yaklaşımı

Geometrik süreksizliklerin neden olduğu çentik faktörünü belirlemek için yapılan çok sayıda deneyin sonucunda Neuber K_t ile $K_{\text{ç}}$ arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi vermiştir.

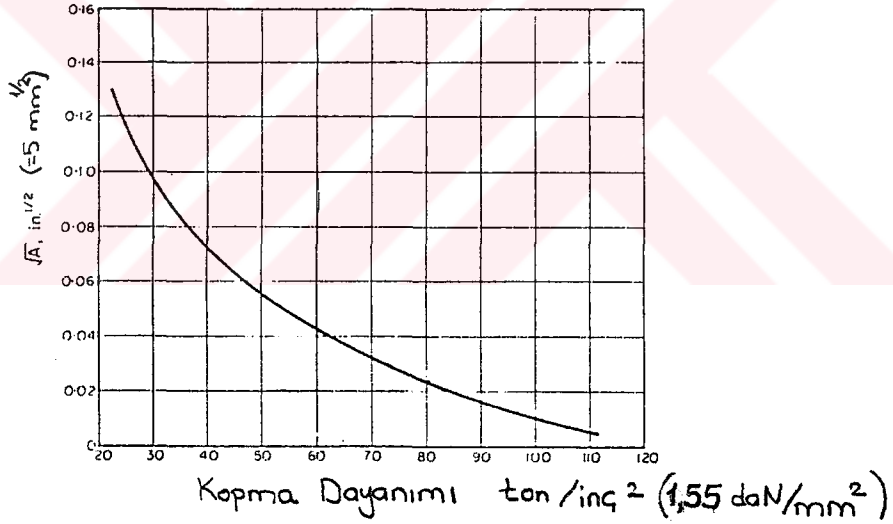
$$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{A/r}}$$

$$\frac{K_f - 1}{K_t - 1} = q = \frac{1}{1 + \sqrt{A/r}}$$

r : Çentik radyusu

A :Neuber malzeme sabiti

A malzeme sabiti kopma dayanımına göre belirlenir veya çentik radyusu ve Brinell sertlik değerine göre tablodan alınır. Sertlik değerinin belirli bir yüzdesi kopma dayanımını verdiğiinden sonuçlar aynı çıkmaktadır. Ancak plastik deformasyon, soğuk işleme, bölgesel gerilmeler gibi çentik hassasiyetini etkileyen faktörler A 'yı etkilemektedir. A malzeme sabiti kopma dayanımına göre Şekil 20. de verilmiştir.



Şekil 20. A malzeme sabitinin yaklaşık değeri

(Forrest , 1966)

1:3.2.3 Bollenratlı / Troost Yaklaşımı

Bollenratlı ve Troost çekme - basma değişken zorlamada aşağıdaki denklemi önermişler. Burada çentik faktörü, gerilme yığılma faktörü K_t , çekme dayanımı σ_k ve çentik yarıçapı r yardımıyla saptanmaktadır.

$$K_{\varphi} = K_t \left(1 - \frac{\frac{1540}{\sigma_k}}{\frac{1}{1 + \frac{\sigma_k}{13700}} + r} \right)$$

Yukardaki denklem eğme değişken zorlaması için kullanıldığında , r çentik yarıçapı yerine $\frac{r}{1 + \frac{r}{2,3.a}}$ terimi gelir. Burada a değeri cm olarak, yassı çubuğun genişliği veya çubuğun yarıçapıdır.

Denklemden σ_k daN/cm² ve r cm olarak alınmalıdır. Denklem çentik uç radyusu ne kadar keskin ve çeliğin çekme dayanımı ne kadar düşük olursa K_{φ} ile K_t arasındaki farkın o kadar artacağı ifade etmekte ve deneysel sonuçlarla uyum halindedir. Ancak K_{φ} değerine etki eden faktörlerin çokluğu düşünülürse sadece K_t , σ_k ve r değerlerinin kullanıldığı denklem yardımıyla çentik etkisinin tam olarak belirlenemeyeceği ortaya çıkmaktadır. (Güleç , Aran , 1983)

I:3.2.4. Petersen Yaklaşımı

$$K_{\varphi} = \frac{K_t}{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi}}$$

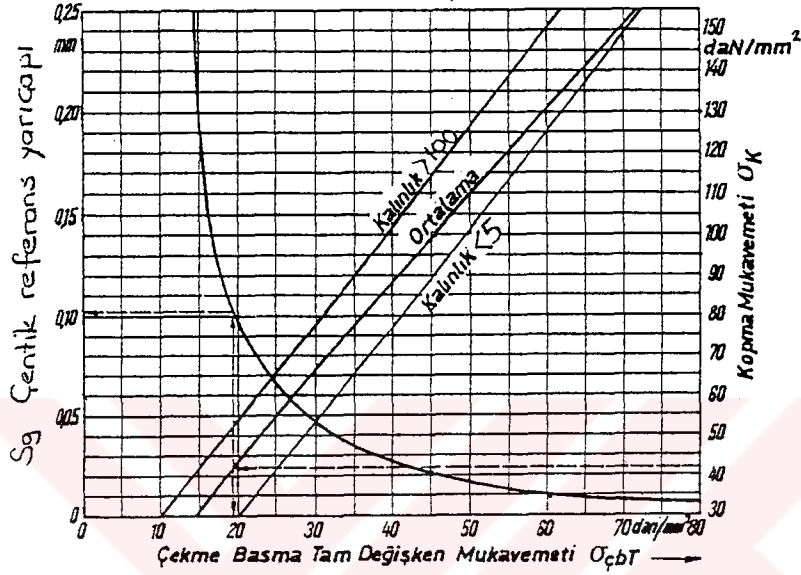
K_t : Şekil sayısı (Teorik gerilme yığılma faktörü) $K_t = f (\text{Zorlama tarzı, çentik şekli})$

S_g :Referans çentik yarıçapı ,

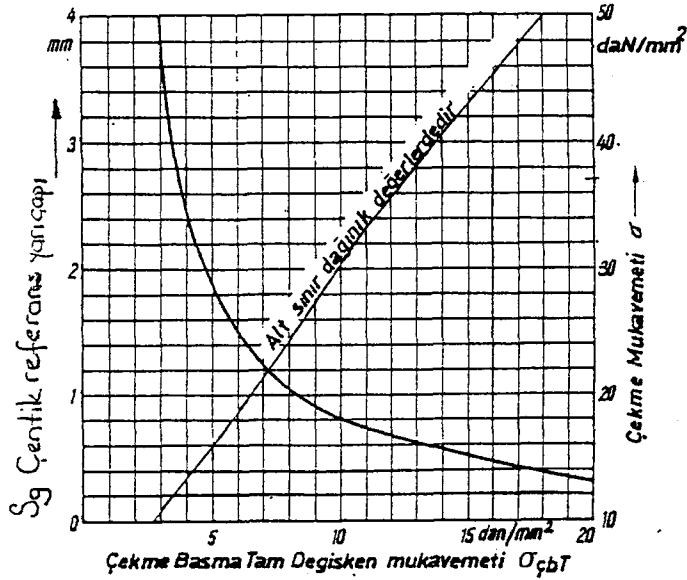
S_g , parça kalınlığına ve malzemeye bağlıdır. S_g referans çentik yarıçapı malzemenin kopma mukavemetine ve çekme - basma tam değişken gerilmesine göre Şekil 21.1 ve 21.2 ' de verilmiştir. Şekil 21.1' de kalınlık faktörü gözönüne alınmıştır. Ancak Şekil 21.2 'de dökme demir için malzeme kalınlığının rolü olmadığından kalınlık dikkate alınmamıştır..

χ : Gerilim düşmesi

χ , değeri deney parçası kalınlığı arttıkça sifira yaklaşır ve parça kalınlığı azaldıkça yükselir. Gerilme gradyanı χ .çentik şekline ve gerilme türüne bağlı olarak belirlenir.Gerilme düşmesinin seçimi Tablo 3 ' de gösterilmiştir.

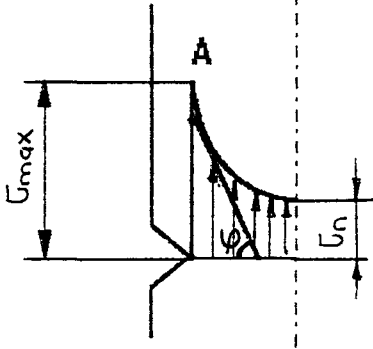


Şekil 21.1. Çentik referans yarıçapı çelik , çelik döküm, temperdöküm ve sphere (küresel) grafitli dökme demir için



Şekil 21.2.Çentik referans yarıçapı lamel grafitli dökme demir için
(Çakmak, 1986)

I:3.2.5. Siebel Yaklaşımı



$$n_x = \frac{K_t}{K_\varphi} \quad K_\varphi = \frac{K_t}{n_x}$$

n_x : Destek katsayısı

n_x ,destek katsayısı yalnız gerilmeye ve malzemeye bağlı olup çentiğin bulunduğu yerdeki gerilme eğim derecesiyle (χ) yakın ilişkisi vardır.

χ : Gerilim düşmesi (Gerilme eğim derecesi)

$$\chi = \frac{1}{\sigma_{\max}} \left(\frac{d\sigma}{dx} \right)_{\max} \quad \left(\frac{d\sigma}{dx} \right)_{\max} = \text{tg}\varphi$$

Ayrıca çentik faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$K_\varphi = \frac{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi_o}}{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi}} \cdot K_t$$

$$K_\varphi = \frac{K_t}{n_x} \quad \frac{1}{n_x} = \frac{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi_o}}{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi}}$$

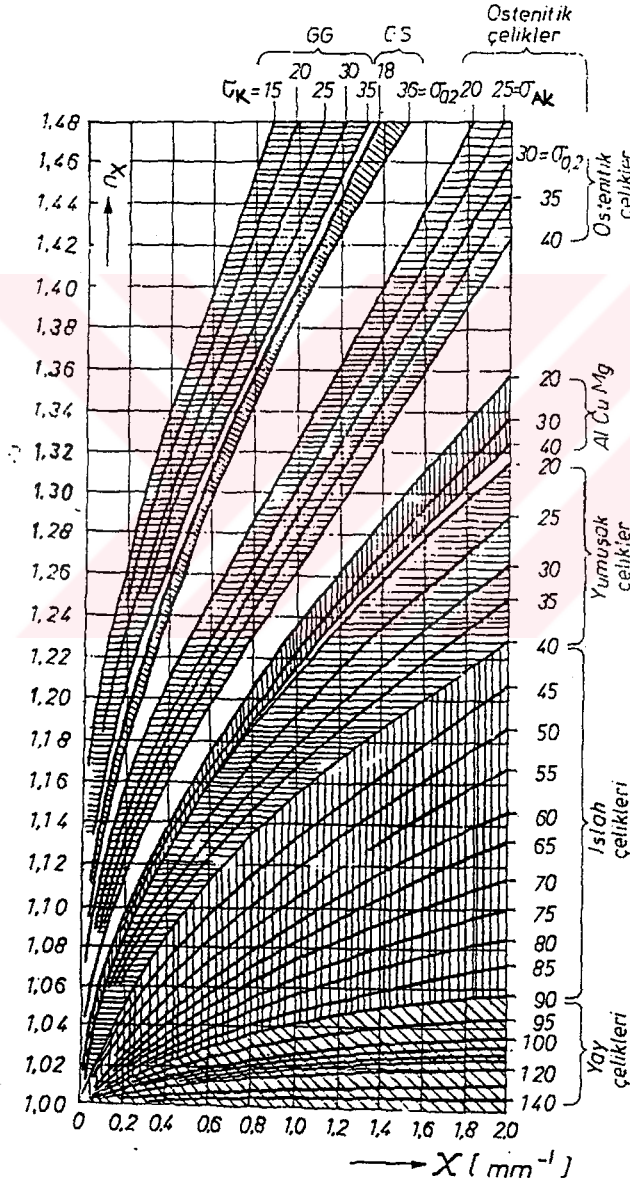
χ_o : Orjinal gerilim düşmesi

S_g : Referans çentik yarıçapı

S_g , malzemenin kristal yapısındaki olayları basit bir şekilde hesaplamalara dahil etmeye yarayan S_g değeri mm. boyutunda olup malzemenin iç yapısına bağlıdır.

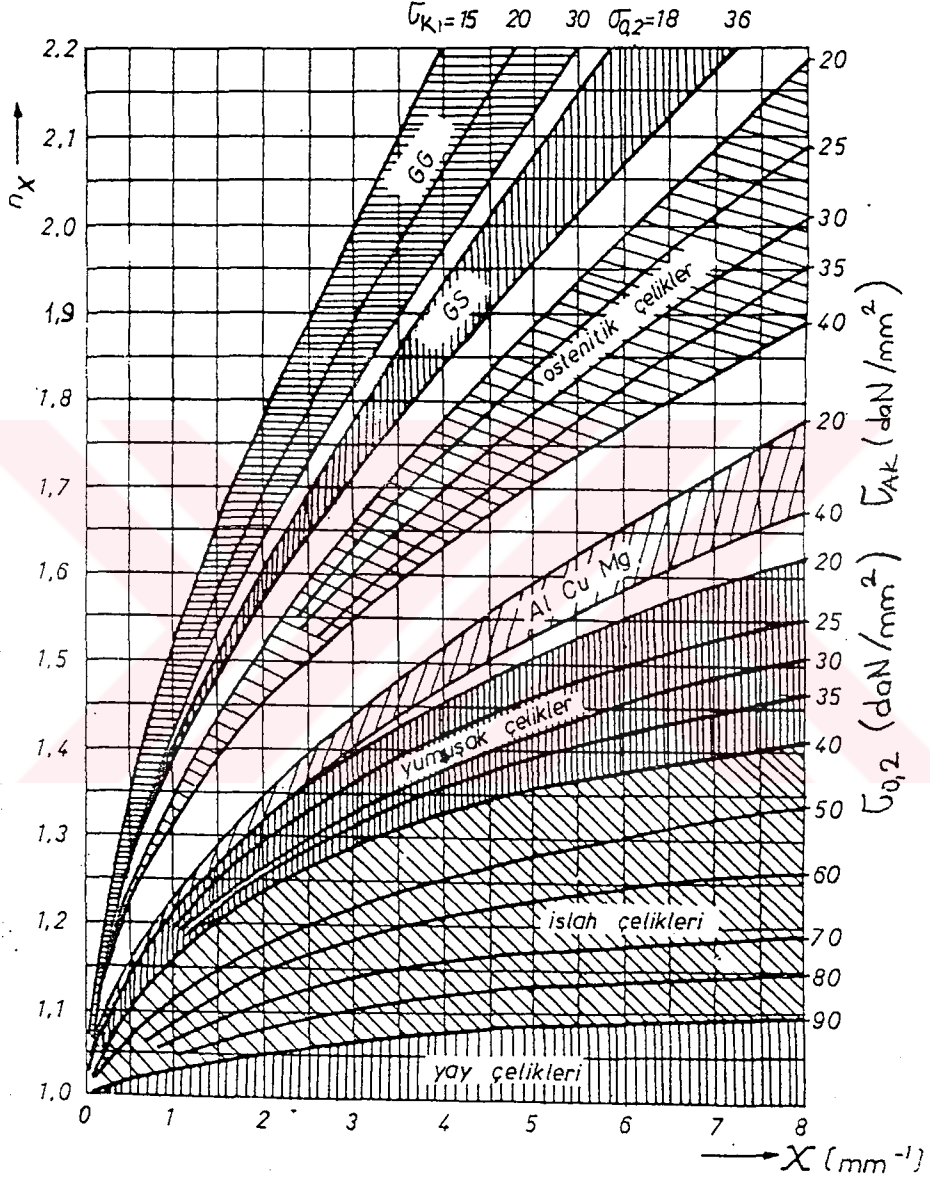
Matematiksel olarak ifade edilmesine veya ölçümler yapılarak izlenmesine olanak yoktur. Bu değer ancak yorulma deneyleriyle saptanabilir. Şekil 21.1 ve 21.2 'den alınır.

Çentik şekli ve zorlanma türüne göre χ , χ_0 değeri Tablo 3 'den hesaplanır. Sonra kullanılan malzemeye göre destek katsayısı (n_x) grafiklerden okunur. (Şekil.22, 23)



Şekil 22. Çeşitli malzemelerde $\chi = 0...2$ değerine karşılık gelen n_x destek katsayıları.

(Oktay , 1984)



Şekil 23 Çeşitli malzemelerde $\chi = 0 \dots 8$ değerine karşılık gelen n_x destek katsayıları
(Oktay, 1984)

Tablo 3. Çentik şekline ve zorlanma türüne göre χ, χ_0 değerlerinin hesaplanması

Çentik şekli	Zorlanma türü	χ (mm ⁻¹)	χ_0 (mm ⁻¹)
	Çeki - bası	$2/r$	0
	Eğilme	$2/b+2/r$	$2/b$
	Çeki - bası	$2/r$	0
	Eğilme	$2/d+2/r$	$2/d$
	Burulma	$2/d+1/r$	$2/d$
	Çeki - bası	$2/r$	0
	Eğilme	$\frac{4}{D+d} + \frac{2}{r}$	$\frac{4}{D+d}$
	Burulma	$\frac{4}{D+d} + \frac{1}{r}$	$\frac{4}{D+d}$
	Burulma	$2/D+1/r$	$2/D$
	Eğilme	$2/d+4/r$	$2/d$
	Burulma	$2/d+3/r$	$2/d$

(Mertens, 1988).

I:3.2.6..Heywood Yaklaşımı (Buch, 1988)

$$K_{\varphi} = \frac{K_t}{1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{r}}}$$

A : Malzeme sabiti

r : Çentik radyüsü

A, malzeme sabiti Neuber malzeme sabiti ile aynıdır. Şekil 20' deki grafikten alınır.

Tablo 4 ' de çentik faktörü yaklaşımları toplu halde verilmiştir.

Tablo 4.Çentik faktörü yaklaşımları

Denklem	Malzemeye bağlı parametre	Araştırmacı
$K_{\varphi} = 1 + q \cdot (K_t - 1)$	$q = f(\sigma_k, r)$ q : çentik duyarlılığı	Thurn
$K_{\varphi} = \frac{K_t}{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi}}$	Sg (Çentik referans yarıçapı) Sg = f (σ_k , kalınlık)	Petersen
$K_{\varphi} = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{A/r}}$	$q = \frac{1}{1 + \sqrt{A/r}}$ $q = f(\sigma_k, r)$ A : Neuber malzeme sabiti	Neuber
$K_{\varphi} = \frac{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi_0}}{1 + \sqrt{S_g \cdot \chi}} \cdot K_t = \frac{K_t}{n_x}$	$n_x = f(\chi, \sigma_{Ak})$ Sg : Yapısal çentik (Çentik referans yarıçapı) = f (σ_k , kalınlık).	Siebel
$K_{\varphi} = K_t \cdot \left[1 - \frac{154 / \sigma_k}{r + \frac{1}{1 + \sigma_k / 1370}} \right]$	[.....] = f (σ_k, r)	Bollenrath / Troost
$K_{\varphi} = \frac{K_t}{1 + 2 \cdot (A/r)^{1/2}}$	A: Neuber malzeme sabiti	Heywood

II. BÖLÜM

Bu bölümde önerilen çentik faktörü yaklaşımlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapıldı. Değişik malzemelerle , farklı zorlanma türleri ve çeşitli çentik tipleri için yapılmış mevcut yorulma deney sonuçlarından yararlanılarak çentik faktörü yaklaşımlarının sonuçlarıyla karşılaştırma yapıldı. Buna ek olarak ,üç değişik malzemeden yapılmış deney çubukları iki çentik tipi ve iki zorlanma türü için statik koşullarda test edildi.

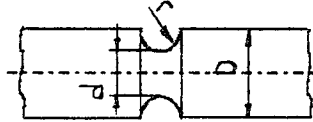
İkinci bölümdeki çalışmalar , Anabilim dalımızda deneysel çalışma imkanı olmadığından, Metalurji Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki çekme deney düzeneğinden yararlanılarak yapıldı. Ayrıca aynı sistem üzerindeki eğme düzeneğiyle eğme deneyleri yapıldı.

Malzeme olarak ,iki kopma dayanımı düşük malzeme (Fe 37 ve saf Al) ve bir kopma dayanımı yüksek ıslah çeliği (42CrMo4) seçildi.

Çentik geometrisi olarak, kolay imal edilebilecek ve uygulamalarda en sık rastlanılan geometri olan çevresel kanallar ve faturalar seçildi. Çentik faktörü, çentiksiz bir numunenin yorulma dayanımının çentikli bir numunenin yorulma dayanımına oranı olduğundan her bir deney grubunda bir adet çentiksiz numune ve en az üç adette çentikli numune deneye tabi tutuldu. Mekanik özellikleri iyi bilinen malzemeler kullanıldığından çentiksiz numune adedi az tutuldu.

II.1. ÖNERİLERİN VERDİĞİ SONUÇLARIN GERÇEK ÇENTİK FAKTÖRÜNE YAKINLIKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

II.1.1 Çevresel Kanal Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin



Şekil 24. Çevresel Kanal Şeklindeki Çentik Geometrisi

Çentik faktörüne, değişik faktörlerin etkisine örnek olarak X22CrMoV 12.1 ısıya dayanıklı alaşım çeliği için, oda sıcaklığında ve 550 ° C sıcaklıkta, eğme değişken, çekme- basma değişken ve burma değişken zorlamaları altında çevresel sivri çentikli ($r = 0,1$) deney parçalarında saptanan yorulma çentik katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 5. X22CrMoV 12.1 çeliğinde,yorulma dayanımının ve çentik faktörünün zorlama şekliyle ve sıcaklıkla değişimi

Düzgün şekilli deney parçasının çapı 7 mm, çentikli deney parçasının çekme için gerilme yığılma faktörü $K_t = 5,5$, $\sigma_k = 90$ daN /mm²

Zorlama türü (değişken)	Deney sıcaklığı ° C	Yorulma dayanımı σ_y daN /mm ²		Çentik faktörü K_σ
		Düz çubuk	Çentikli çubuk	
Eğme	20	± 49	± 21	2,3
	550	± 27	± 13	2,1
Çekme - basma	20	± 45	± 13,5	3,3
	550	± 25	± 9,5	2,6
Burma	20	± 33	± 21	1,6
	550	± 22	± 14	1,6

Parça kesitinin büyüklüğü ve çentik biçimi aynı kaldığı sürece çekme için en büyük, burma için en küçük ve eğme için ikisinin ortasında bir çentik faktörü elde edilir.Zorlama türünün yarattığı fark doğrudan malzemeye bağlıdır.Çünkü söz konusu durum az zorlanan bölgelerin çentik dibinde çok zorlanan bölgeleri koruyucu etkisinden kaynaklanmaktadır.Koruyucu etki ise malzemenin çentik duyarlılığının azalması ile artar.Yumuşak çeliklerde koruyucu etki sert çeliklere göre daha belirgin olduğundan değişik zorlama türleri için çok farklı çentik katsayıları elde edilir.Çekme zorlamasında yüzey gerilmeleri ile kesitteki gerilmeler arasındaki fark, eğme zorlamalarına göre çok azdır.Dolayısıyla çekmede çentik katsayısı eğmeye göre daha fazladır.Aynı zorlama türü için en yüksek çentik faktörü en tehlikeli gerilme tipi olan tam değişken gerilmede meydana gelir. (Güleç , Aran , 1983)

Sıcaklık arttıkça çekme ve eğmede K_σ azalmış burulmada herhangi bir değişim olmamıştır.

Tablo 6. ' da X22CrMoV 12.1 çeliği için çekme , eğme ve burulma zorlamalarında, çentik katsayıları verilip karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 6. X22CrMoV 12.1 çeliğinde çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi için çekme, eğme, burulma zorlamalarında deneysel olarak bulunan K_{σ} ile analitik yaklaşımların karşılaştırılması

Çekme için $K_t = 5,5$, Düzgün deney parçası çapı : $D = 7$ mm.

Zorlama şekli	Çentiksiz numunenin dayanımı daN / mm ²	Çentikli numunenin dayanımı daN / mm ²	K_{σ}	K_{σ} Yaklaşımları					
				Thum	Neuber	Petersen	Bollen.	Siebel	Heywood
Çekme	45	13,5	3,33	4,078	3,0385	3,3066	3,966	3,3	2,2597
Eğme	49	21	2,3	3,052	2,74	2,39	2,883	2,6	1,64
Burulma	33	21	1,6	2,026	1,8736	1,6923	1,8702	1,84092	1,02716

37Cr4 çeliğinin çeki zorlanmasında aynı gerilme yığılma faktörüne sahip parçalarda farklı çap ve radyuslerde K_{σ} ' nin değişimi ve K_{σ} yaklaşımlarının karşılaştırması Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. 37Cr4 çeliği için çevresel kanallı numunelerle yapılan çekme deneyinin sonuçlarının çentik faktörü yaklaşımlarının sonuçlarıyla karşılaştırılması ($K_t = 2,16$)

d mm	r mm	Deneysel K_{σ}	K_{σ} yaklaşımları					
			Thum	Neuber	Peterson	Siebel	Bollen./ Troost	Heywood
4,6	0,6	1,48	1,9396	1,94483	1,7165	1,7165	1,6540	1,4838
7,7	1	1,57	1,986	1,98606	1,8	1,8	1,6844	1,59646
13,9	1,8	1,68	2,0324	2,02520	1,87979	1,87979	1,7354	1,71027
21,6	2,8	1,84	2,06024	2,04937	1,9294	1,9294	1,7855	1,78389

Tablo 8.. 37Cr4 ve 30CrNiMo8 çelikleri için çentik radiusunun ve parça boyutunun yorulma sınırına ve çentik faktörüne etkisi (Buch , 1988)

d (mm)	r (mm)	K_t	Zorlama şekli	Çelik türü	K_σ
6,8	0,66	2,1	Dönel eğme	30CrNiMo8	1,52
20,4	1,8	2,17	Dönel eğme	30CrNiMo8	1,63
80,	7,1	2,17	Dönel eğme	30CrNiMo8	1,72
100,	8,9	2,17	Dönel eğme	30CrNiMo8	1,75
21	2,75	2,22	Çekme	30CrNiMo8	1,7
38	5,05	2,22	Çekme	30CrNiMo8	1,72
4,6	0,6	2,16	Çekme	37Cr4	1,48
7,7	1	2,16	Çekme	37Cr4	1,57
13,9	1,8	2,16	Çekme	37Cr4	1,68
21,6	2,8	2,16	Çekme	37Cr4	1,84
5,7	0,5	2,0	Dönel eğme	37Cr4	1,64
13,6	1,2	2,0	Dönel eğme	37Cr4	1,69
28,3	2,5	2,0	Dönel eğme	37Cr4	1,73
40,8	3,6	2,0	Dönel eğme	37Cr4	1,79
6,9	0,2	3,08	Dönel eğme	37Cr4	2,37
17,2	0,5	3,08	Dönel eğme	37Cr4	2,39
34,4	1	3,08	Dönel eğme	37Cr4	2,44
41,3	1,2	3,08	Dönel eğme	37Cr4	2,46

Tablo 9. $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için çevresel kanallı yuvarlak çubukların eğme değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması

$D = 13 \text{ mm.}$, $d = 7,5 \text{ mm}$

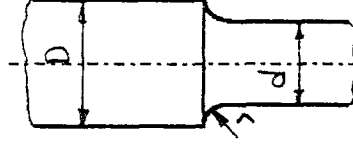
r / d	Deneysel K_σ	K_t	K_σ Yaklaşımları					
			Thum	Peterson	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,1	1,8	1,9	1,765	1,622	1,7739	1,6638	1,7059	1,433
0,2	1,5	1,56	1,504	1,3848	1,5021	1,2609	1,4562	1,2679
0,3	1,32	1,4	1,37	1,264	1,3656	1,1534	1,3293	1,1783

Tablo 10. 30CrNiMo8 çeliği için çevresel kanallı yuvarlak çubukların çekme ve eğme zorlamalarında deneysel olarak bulunan K_σ ile analitik yaklaşımların karşılaştırılması

d (mm)	r (mm)	K_t	Deneysel K_σ	K_σ Yaklaşımları					
				Thum	Neuber	Peterson	Bollen.	Siebel	Heywood
(1)6,8	0,66	2,17	1,52334	2,00386	2,04085	1,83536	1,7221	2,1548	1,65718
(1)20,4	1,8	2,17	1,6903	2,0857	2,0882	1,9550	1,7921	2,01623	1,8865
(1)80,4	7,1	2,17	1,71816	2,1583	2,1273	2,0561	1,95075	2,0886	2,0173
(2)21	2,75	2,22	1,6983	2,1468	2,1312	2,04556	2,0118	2,0455	1,9277
(2)38	5,05	2,22	1,72	2,1712	2,1676	2,0885	2,0428	2,0885	2,0372

(1) 30CrNiMo8 ve dönel eğme durumu için , (2) 30CrNiMo8 ve çekme durumu için

II.1.2. Fatura Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin



Şekil 25. Fatura şeklindeki çentik geometrisi

Faturalı yuvarlak çubukların eğme ve burma için geçerli olan çentik katsayıları ve yaklaşımlar ile karşılaştırılması aşağıda verilmiştir. Çentik faktörü değerleri, çentik radyüsünün faturalı kısmın çapına oranına göre değişmektedir ve çentik radyüsü arttıkça azalmaktadır. Ayrıca heriki zorlama şekli içinde çeliğin kopma dayanımı arttıkça çentik faktörü değeri artmaktadır.

Tablo 11. $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların burma değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması

$d = 12 \text{ mm.}$, $D / d = 1,4$

r / d	Deneysel Kç	K_t	Kç yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,05	1,6	1,65	1,5395	1,4548	1,5498	1,29296	1,5088	1,2094
0,15	1,23	1,23	1,252	1,1815	1,2533	1,04963	1,225	1,0575
0,2	1,2	1,2	1,186	1,116	1,1833	1,0008	1,1584	1,015

Tablo 12. $\sigma_k = 100 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların burma değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması

$d = 12 \text{ mm.}, D / d = 1,4$

r / d	Deneysel K_c	K_t	K_c yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,1	1,25	1,4	1,3448	1,2286	1,34047	1,09114	1,2932	1,0373
0,2	1,1	1,2	1,182	1,0856	1,1779	0,9740	1,1427	0,9621
0,3	1,08	1,15	1,138	1,0538	1,1362	0,9612	1,10934	0,9568

Tablo 13 $\sigma_k = 40 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların burma değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması

$d = 12 \text{ mm.}, D / d = 1,4$

r / d	Deneysel K_c	K_t	K_c Yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,05	1,38	1,65	1,377	1,3865	1,31846	0,8883	1,38655	0,5353
0,1	1,18	1,4	1,264	1,22874	1,3543	0,7971	1,2932	1,1132
0,2	1	1,29	1,2088	1,27924	1,2657	0,8002	1,27924	1,0912

Tablo 14. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların eğme değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması
 $d = 30 \text{ mm.}$, $D / d = 2$

r / d	Deneysel K_σ	K_t	K_σ yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,1	2,1	1,74	1,68968	1,5928	1,68426	1,4719	1,6296	1,49627
0,2	1,6	1,43	1,4214	1,3397	1,4065	1,26803	1,3705	1,2823

Tablo 15 Kopma dayanımı $\sigma_k = 100 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların eğme değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması
 $d = 30 \text{ mm.}$, $D / d = 2$

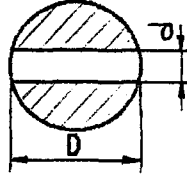
r / d	Deneysel K_σ	K_t	K_σ yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,1	1,87	1,74	1,6771	1,5546	1,6663	1,43482	1,6007	1,4249
0,2	1,45	1,43	1,404	1,3156	1,3988	1,2430	1,3546	1,2366

Tablo 16. Kopma dayanımı $\sigma_k = 40 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çelikler için faturalı yuvarlak çubukların eğme değişken zorlaması altında deneysel olarak belirlenen çentik faktörü ile önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması
 $d = 30 \text{ mm.}$, $D / d = 2$

r / d	Deneysel K_σ	K_t	K_σ yaklaşımları					
			Thum	Petersen	Neuber	Bollen./ Troost	Siebel	Heywood
0,1	1,42	1,74	1,555	1,5546	1,5049	1,11626	1,60092	0,9010
0,2	1,25	1,43	1,3526	1,3157	1,3235	1,0293	1,3549	0,8622

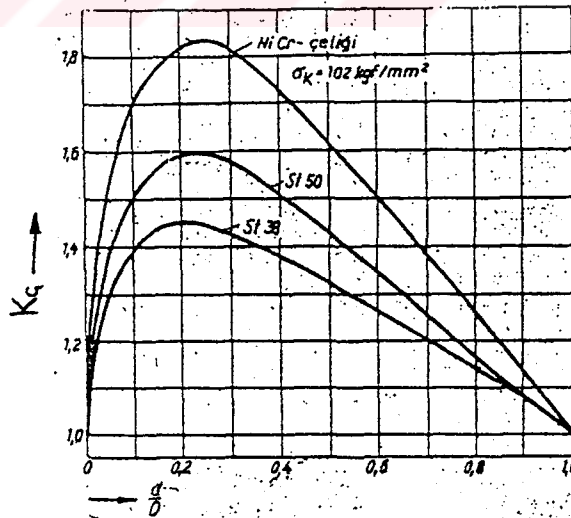
Mil üzerine faturanın hemen yanına preslenmiş bir rulmanlı yatak bulunması halinde yorulma kırılması tehlikesi artar. Faturalı kısmın doğurduğu çentik etkisine pres geçme rulmanlı yatağın etkisinde eklenmesiyle yorulma dayanımı % 50 düşer.

II.1.3 Enine Delik Şeklindeki Çentik Geometrisi İçin



Şekil 26. Enine delik şeklinde çentik geometrisi

Şekil 27 'de Hempel tarafından enine delikli yuvarlak çubuklar üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen çentik faktörleri verilmiştir. Tavllanmış Fe 38 ve Fe 50 çelikleri ile ıslah edilmiş kopma dayanımı $\sigma_k = 102 \text{ daN/mm}^2$ olan Cr - Ni çelikleri dönel eğme deneyine tabi tutulmuştur. Değişken eğme zorlaması için K_ç değerleri delik çapı d 'nin, mil çapı D 'ye oranına bağlı olarak verilmiştir. (Güleç , Aran , 1983)



Şekil 27. Enine delikli yuvarlak çubukların eğme değişken zorlamaları için K_ç çentik faktörleri

Tablo 17 ' de , d/D oranı 0,146 , 0,213 ve 0,532 ve Fe 38 malzemesi için elde edilen çentik faktörleri ile analitik yaklaşımların karşılaştırması yapılmıştır.

Mil çapı $D = 30$ mm .dir.

Tablo 17. Fe 38 malzemesi ile farklı d/D oranları için yapılan dönel eğme deney sonuçlarının, yaklaşımların sonuçlarıyla karşılaştırılması

d/D	r mm	K_t	Deneysel K_c	K_c Yaklaşımları					
				Thum	Peterson	Neuber	Siebel	Bollen. Troost	Heywood
0,146	2,19	2,08	1,4	1,756	1,3938	1,7666	1,5226	1,4933	1,1445
0,213	3,195	1,8	1,4	1,6	1,2756	1,5977	1,3937	1,3846	1,0735
0,532	7,98	1,63	1,3	1,567	1,2838	1,5189	1,2989	1,3663	1,1413

Tablo 18. Enine delikli çubuklarda , Fe 50 malzemesi ile farklı d/D oranları için yapılan dönel eğme deney sonuçlarının, yaklaşımların sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yuvarlak çubuk çapı $D = 30$ mm.

d/D	r mm	K_t	Deneysel K_c	K_c Yaklaşımları					
				Thum	Peterson	Neuber	Siebel	Bollen. Troost	Heywood
0,1	1,5	2,25	1,5	1,88875	1,5487	1,90673	1,6581	1,4648	1,2804
0,2	3	2,3	1,6	2,0176	1,7372	2,0254	1,8562	1,6139	1,4979
0,3	4,5	1,88	1,58	1,7216	1,483	1,72215	1,5878	1,3903	1,30815

Tablo 19 .Enine delikli çubuklarda , kopma dayanımı $\sigma_k = 102 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan Cr - Ni çeliği ile farklı d / D oranları için yapılan dönel eğme deney sonuçlarının, yaklaşımların sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yuvarlak çubuk çapı $D = 30 \text{ mm}$.

d / D	r mm	K_t	Deneysel K_c	K_c Yaklaşımları					
				Thum	Peterson	Neuber	Siebel	Bollen./ Troost	Heywood
0,1	1,5	2,25	1,7	2,1	1,8236	2,0809	1,8330	1,8507	1,7140
0,2	3	2,3	1,82	2,1895	1,9703	2,1705	2,0422	1,9619	1,8835
0,3	4,5	1,88	1,82	1,8184	1,6516	1,8071	1,78119	1,6442	21,5924

Tablo 20. Enine delikli yuvarlak çubuklarda çeki zorlanmasında deneysel çentik faktörü değeri ile yaklaşımları karşılaştırılması

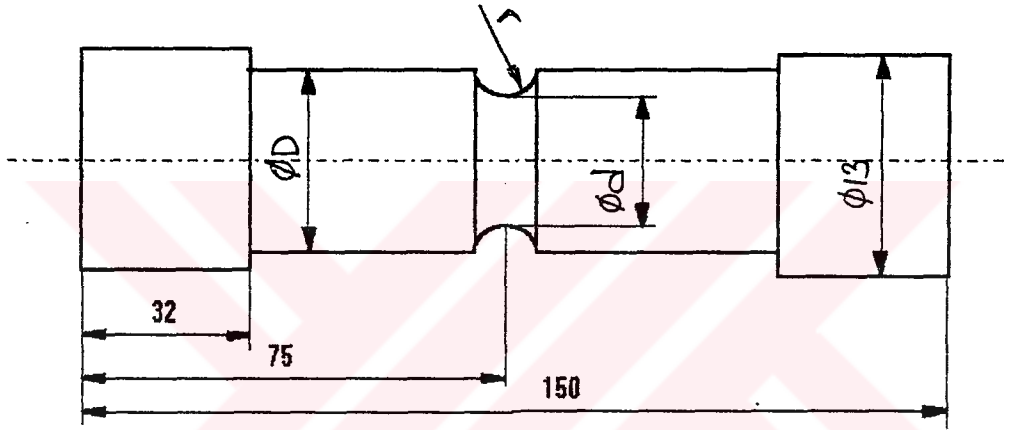
Çubuk çapı $D = 30 \text{ mm}$.

Malzeme	d / D	Deneysel K_c	K_t	K_c Yaklaşımları					
				Thum	Petersen	Neuber	Siebel	Bollen/ Troost	Heywood
Fe 38	0,217	1,8	2,48	2,1396	1,76244	2,1084	1,92443	1,5732	1,4846
Fe 50	0,217	1,9	2,48	2,2136	1,8906	2,1774	2,0242	1,7581	1,6380

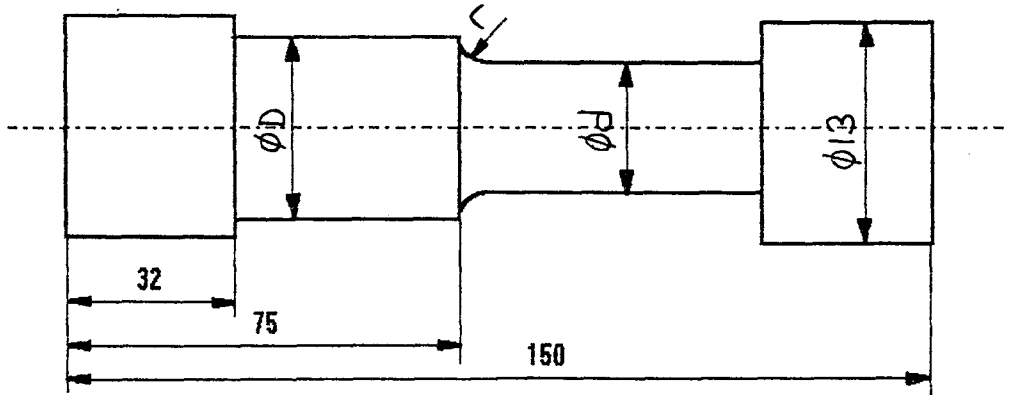
II.2. SÜNEK MALZEMELERİN STATİK YÜKLENMESİNDE ÇENTİK ETKİSİ

Sünek malzemelerde çentik etkisini incelemek üzere Fe 37 , saf Al ve 42CrMo4 ıslah çeliği seçildi. Fe 37 ve 42CrMo4 çeliğinden yapılan numuneler ayrıca tavlama işlemine tabi tutuldu. Yapılan çekme ve eğme deneylerinin sonuçları aşağıda verilmiştir. İki tip çentik türü üzerinde deney yapıldı.

1. Tip : Çevresel kanallı çentik tipi
2. Tip : Faturalı çentik tipi



Şekil 28 Çevresel kanallı numune



Şekil 29 Faturalı numune

Tablo 21.. Fe 37 malzemesi için oda sıcaklığında çekme statik zorlaması altında çevresel kanallı çentikli parçaların dayanımı ile çentiksiz numunenin dayanımının karşılaştırması ve radyüsün etkisinin incelenmesi .

Çentik kökü çapı : $d = 6,95$ mm

Zorlama şekli	Düz deney parçası çapı (mm)	Düz deney parçası dayanımı daN / mm^2	Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm^2) $r = 4$ mm			Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm^2) $r = 1$ mm		
			1.numune	2.numune	3.numune	1.numune	2.num.	3. num.
Çekme	9,24	37,59	48,50	46,75	48,22	54,39	60,45	52,63

Tablo 22.. Fe 37 malzemesi için oda sıcaklığında çekme statik zorlaması altında faturalı çentikli deney parçalarının dayanımları ile çentiksiz numunenin dayanımının karşılaştırılması

Çentiksiz numune çapı : $D = 8,94$ mm

Çentik radyüsü : $r = 4$ mm.

Çentik kökü çapı : $d = 6,7$ mm.

Zorlama şekli	Düz deney parçası dayanımı daN / mm^2	Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm^2)		
		1.numune	2.numune	3 numune
Çekme	37,59	43,63	42,98	43,32

Tablo 23.. Al sünek malzemesi için oda sıcaklığında çekme statik zorlaması altında çevresel kanallı çentikli parçaların dayanımı ile çentiksiz numunenin dayanımının karşılaştırması

Çentiksiz numune çapı $D = 9,24$ mm , Çentik kökü çapı : $d = 7$ mm.

Çentik radyüsü : $r = 1$ mm.

Zorlama şekli	Düz deney parçası dayanımı daN / mm^2	Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm^2)		
		1.num.	2 num.	3.num.
Çekme	22,23	24,76	28,38	25,98

Tablo 24.. Al sünek malzemesi için oda sıcaklığında çekme statik zorlaması altında çevresel kanallı çentikli parçaların dayanımı ile çentiksiz numunenin dayanımının karşılaştırması

Çentiksiz numune çapı $D = 10,42$ mm , Çentik kökü çapı : $d = 7,94$ mm.
Çentik radyüsü : $r = 4$ mm.

Zorlama şekli	Düz deney parçası dayanımı daN / mm ²	Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm ²)		
		1.num.	2 num.	3.num.
Çekme	22,23	26,65	28,80	26,25

Tablo 25. Eğme statik zorlanmasında Fe 37 için faturalı çentikli numunenin dayanımı ile çentiksiz numunenin dayanımının karşılaştırılması

Çentiksiz numune çapı : $D = 12,93$ mm
Çentik kökü çapı . $d = 9,7$ mm.
Çentik radyüsü $r = 4$ mm

Düz parçanın eğme dayanımı daN / mm ²	Çentikli numunelerin dayanımı daN / mm ²		
81,45	85,79	84,79	87,88

Tablo 26.. 42CrMo4 ıslah çeliği için oda sıcaklığında çekme statik zorlaması altında faturalı çentikli deney parçalarının dayanımları . $D = 10$ mm , $d = 6,82$ mm.

Zorlama şekli	Düz deney parçası çapı (mm)	Düz deney parçası dayanımı daN / mm ²	Çentikli deney parçası dayanımı (daN / mm ²) $r = 0,5$ mm		
			1.numune	2.numune	3 numune
Çekme	10	103,14	112,46	110,59	112,23

Deney numunesi olarak kullanılan ıslah çeliği sertleştirilmiş ve tavlannmıştır. Dayanımı yüksek ve sünekliliği fazladır. Yüzey sertleştirme ile yorulma dayanımı artırılmakta, aynı zamanda çentik duyarlılığında azalması sağlanmaktadır. Dolayısıyla yüzeyleri sertleştirilmiş çentikli parçaların çentik katsayıları yüzeyleri sertleştirilmemiş olanlardan daha düşüktür.

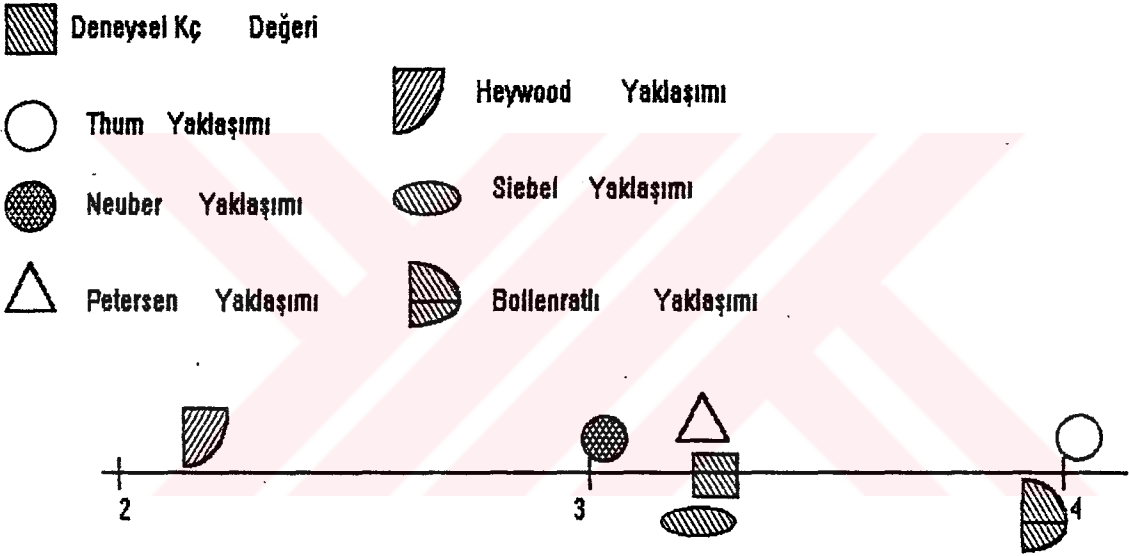
Deney sonuçlardan da görüldüğü gibi çekme ve eğmede sünek malzemelerin statik dayanım değerleri çentik etkisiyle yükselmektedir. Yani çentiksiz bir numunenin dayanımı çentikli bir numunenin dayanımından daha düşüktür.

Sünek malzemelerde çentikli numunenin statik zorlama altında dayanımının çentiksizinkinden daha büyük olmasının nedeni, çentik kökünde meydana gelen gerilmelerin malzemenin akma sınırının üstüne çıkması ve bu noktalarda plastik şekil değişimlerinin meydana gelmesidir. Hem bu plastik bölge kırılmayı geçiktirmektedir. Hemde çentik kökündeki gerilmelerin bir bölümü plastik şekil değişimi için harcıdığından gerilmeler düşmektedir.

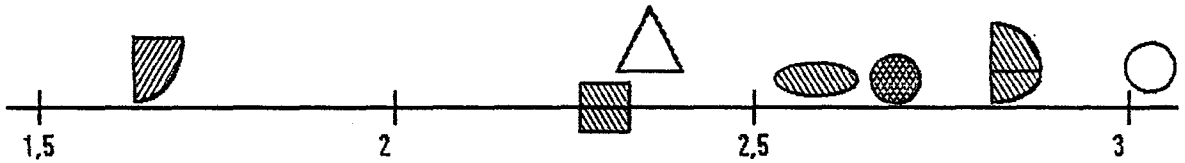
Dikkat çekici diğer bir nokta, gevrek malzemelerde ve dinamik zorlamalardaki gibi radyus attıkça dayanım artmamaktadır. Küçük radyüslerde dayanım daha yüksek çıkmaktadır. Küçük radyüslü çentiklerde çentik kökünde meydana gelen gerilme yığılması, büyük radyüslüye göre daha fazladır. Dolayısıyla gerilmenin büyük olduğu durumda oluşan plastik bölge daha büyük olduğundan çatlak ilerlemesi zorlaşacaktır. Büyük bir plastik bölgede çatlak ilerleme hızı azalacaktır. Bu durum dayanımı artırmaktadır.

II. 3. TABLO DEĞERLERİNİN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ

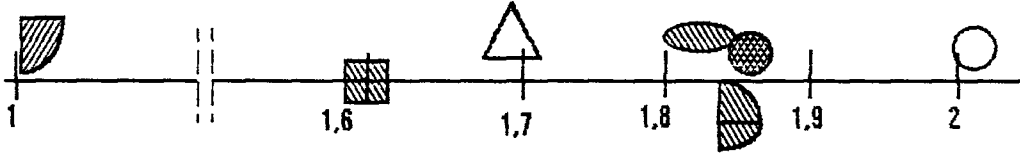
Değişik malzeme, çeşitli çentik tipleri ve farklı zorlanma türlerine göre yapılan karşılaştırmaların tablo halindeki sonuçlarının bir skala üzerinde gösterilmesi aşağıda verilmiştir. Her bir grupta yapılan karşılaştırmalar, aynı malzeme, aynı zorlanma türü ve aynı çentik geometrisi için farklı teorik gerilme yığılma faktörlerine göre (K_t) yapıldı. Ancak farklı K_t için, çentik faktörü (K_c) yaklaşımlarının sonuçlarının gerçek çentik faktörüne yakınlığında bir değişme olmamışsa sadece iki K_c değeri için sonuçlar skala üzerinde gösterildi.



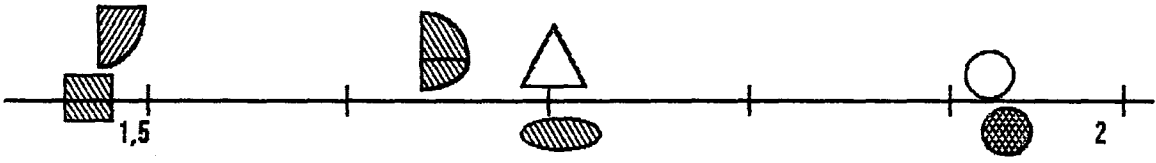
Şekil 30. X22CrMoV 12.1 çeliğinde çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve çeki durumu için çeşitli K_c önerilerinin deneysel K_c değerine yakınlıkları



Şekil 31. X22CrMoV 12.1 çeliğinde çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli K_c önerilerinin deneysel K_c değerine yakınlıkları



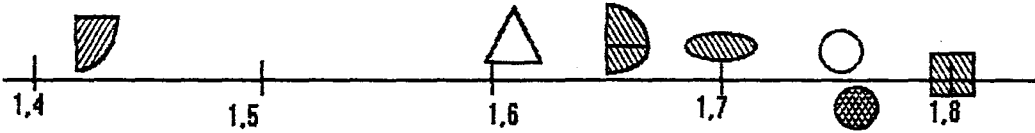
Şekil 32. X22CrMoV 12.1 çeliğinde , çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları



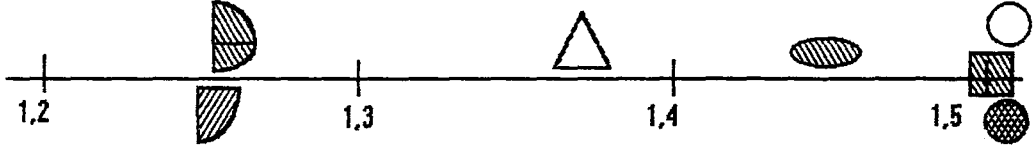
Şekil 33. 37Cr4 çeliği için çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve çekme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_C = 1,48$, $K_t = 2,16$)



Şekil 34 . 37Cr4 çeliği için çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve çekme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_C = 1,57$, $K_t = 2,16$)



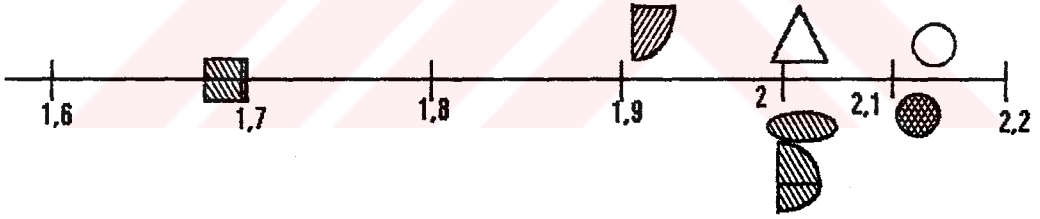
Şekil 35. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN / mm}^2$ çeliklerde çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,9$)



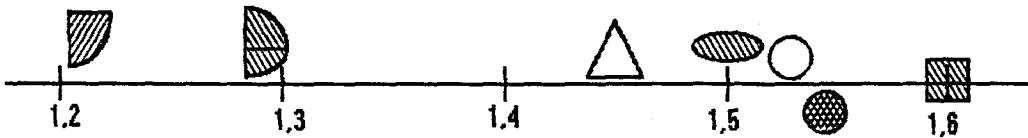
Şekil 36. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çeliklerde çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,56$)



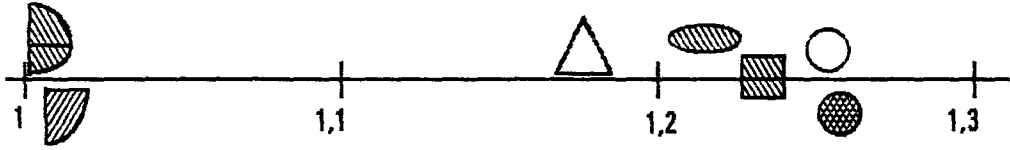
Şekil 37. 30CrNiMo8 çeliği için çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 2,17$)



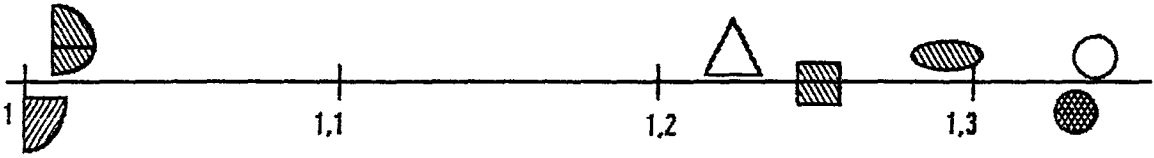
Şekil 38 30CrNiMo8 çeliği için çevresel kanal şeklindeki çentik geometrisi ve çekme durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 2,22$)



Şekil 39. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çelikler için fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,65$)



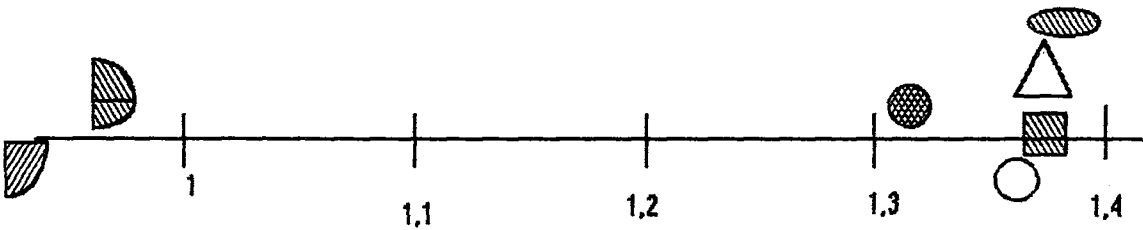
Şekil 40. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,23$)



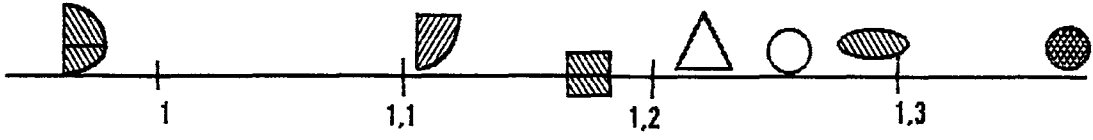
Şekil 41. Kopma dayanımı $\sigma_k = 100 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,4$)



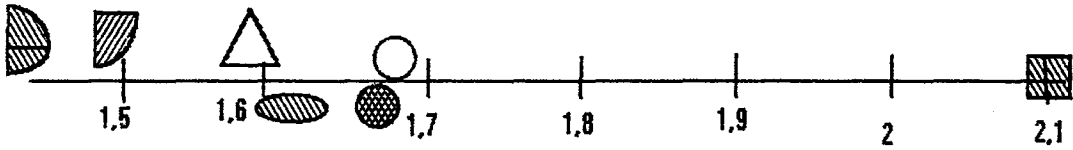
Şekil 42. Kopma dayanımı $\sigma_k = 100 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çelikler için fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,2$)



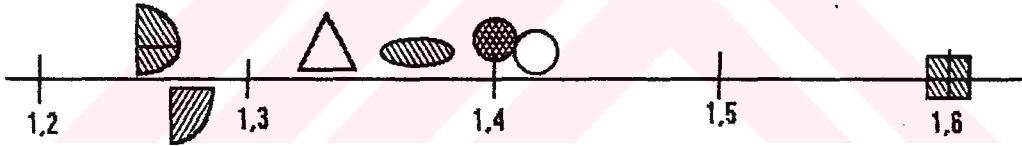
Şekil 43. Kopma dayanımı $\sigma_k = 40 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çelikler için fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli K_C önerilerinin deneysel K_C değerine yakınlıkları ($K_t = 1,65$)



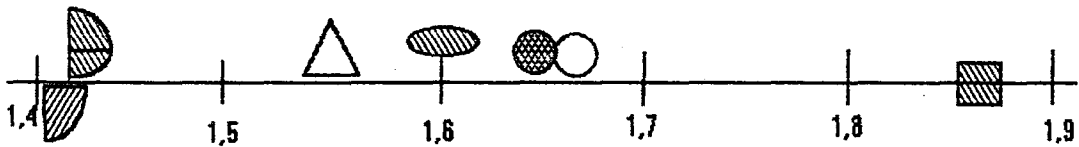
Şekil 44. Kopma dayanımı $\sigma_k = 40 \text{ daN/mm}^2$ çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve burma durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,4$)



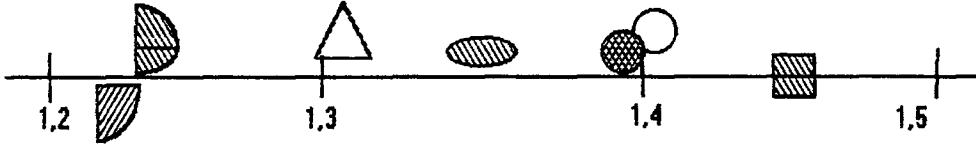
Şekil 45. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN/mm}^2$ çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,74$)



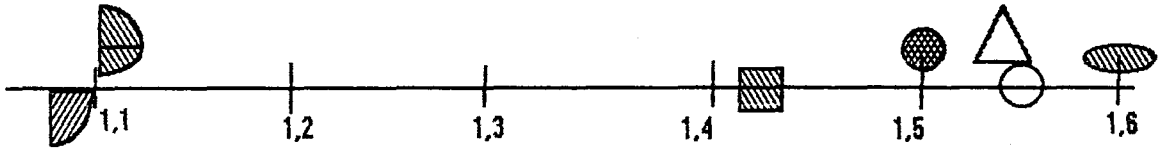
Şekil 46. Kopma dayanımı $\sigma_k = 120 \text{ daN/mm}^2$ olan çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,43$)



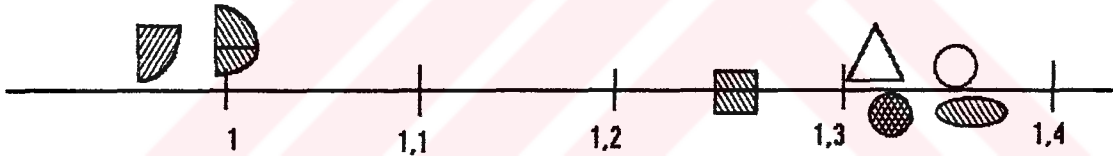
Şekil 47. Kopma dayanımı $\sigma_k = 100 \text{ daN/mm}^2$ çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,74$)



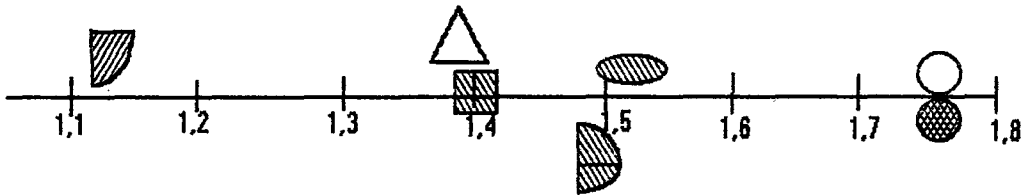
Şekil 48. Kopma dayanımı $\sigma_k = 100 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,43$)



Şekil 49. Kopma dayanımı $\sigma_k = 40 \text{ daN} / \text{mm}^2$ çelikler için fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,74$)



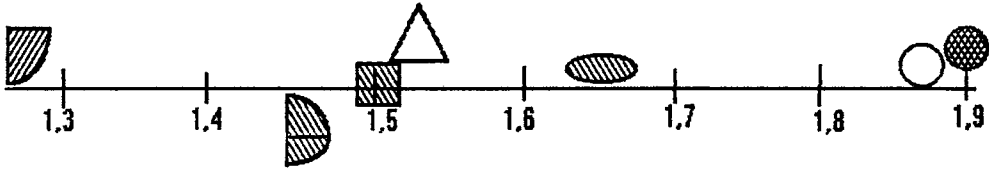
Şekil 50. Kopma dayanımı $\sigma_k = 40 \text{ daN} / \text{mm}^2$ olan çeliklerde fatura şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,43$)



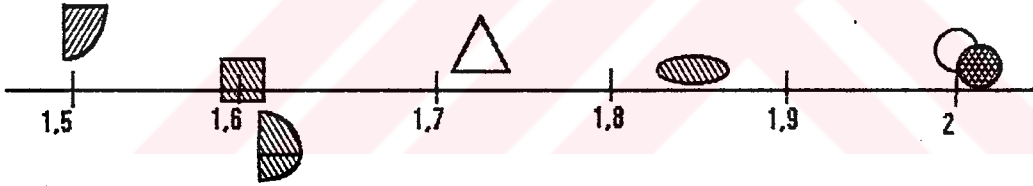
Şekil 51. Fe 38 malzeme için enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,08$)



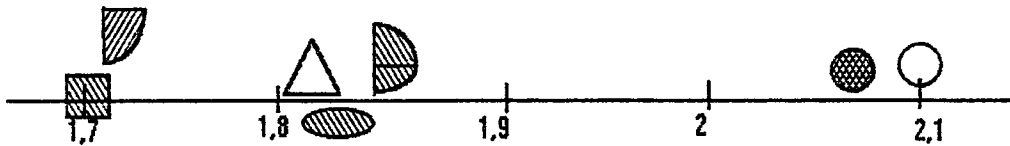
Şekil 52. Fe 38 malzeme için enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,63$)



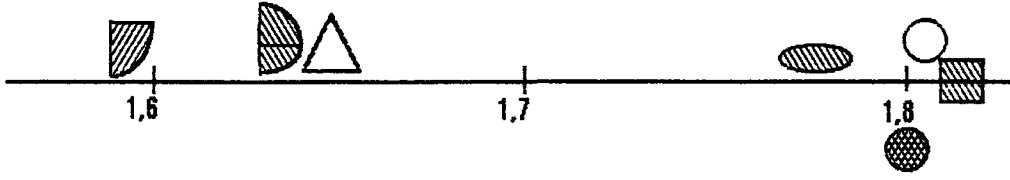
Şekil 53. Fe 50 malzeme için enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,25$)



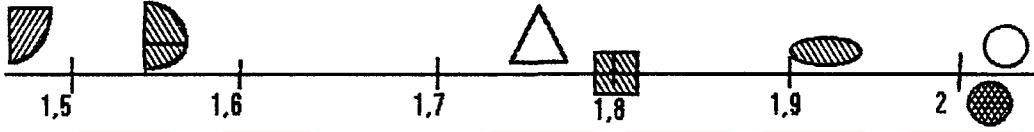
Şekil 54. Fe 50 malzemede enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,3$)



Şekil 55. Kopma dayanımı $\sigma_k = 102 \text{ daN / mm}^2$ Cr - Ni 'li çeliklerde enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,25$)



Şekil 56. Kopma dayanımı $\sigma_K = 102 \text{ daN / mm}^2$ Cr - Ni' li çeliklerde enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve eğme durumu için çeşitli $K_{\text{Ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{Ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 1,88$)



Şekil 57. Fe 38 çeliği için enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve çeki durumu için çeşitli $K_{\text{Ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{Ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,48$)



Şekil 58. Fe 50 çeliğinde, enine delik şeklindeki çentik geometrisi ve çeki durumu için çeşitli $K_{\text{Ç}}$ önerilerinin deneysel $K_{\text{Ç}}$ değerine yakınlıkları ($K_t = 2,48$)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değişik malzeme, farklı çentik tipleri ve çeşitli zorlanma türlerine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda tek bir çentik faktörü yaklaşımının her tür malzeme, çentik tipi ve zorlanma şekli için gerçek K_c değerine kabul edilebilir sınırlar içinde bir yaklaşıma göstermediği görüldü.

Tablo 27. Çentik tipi, malzemenin kopma dayanımı ve zorlanma türüne göre en yakın sonucu veren yaklaşımlar

Çentik Tipi	Kopma Dayanımı daN /mm ²	Zorlanma Türü	K_c Yaklaşımları
Çevresel Kanal	$\sigma_k = 90$	Çekme	Petersen, Siebel
	$\sigma_k = 105$	Çekme	Heywood, Bollenrath
	$\sigma_k = 130$	Çekme	Heywood, Bollenrath
	$\sigma_k = 90$	Eğme	Petersen, Siebel
	$\sigma_k = 105$	Eğme	Neuber, Thum
	$\sigma_k = 130$	Eğme	Heywood, Bollenrath
	$\sigma_k = 90$	Burma	Petersen, Siebel
	Fatura	$\sigma_k = 40$	Eğme
$\sigma_k = 100$		Eğme	Thum, Neuber
$\sigma_k = 120$		Eğme	Thum, Neuber
$\sigma_k = 40$		Burma	Petersen, Siebel
$\sigma_k = 100$		Burma	Petersen, Siebel
$\sigma_k = 120$		Burma	Neuber, Thum
Enine delik		$\sigma_k = 38$	Eğme
	$\sigma_k = 50$	Eğme	Petersen, Siebel
	$\sigma_k = 38$	Çeki	Petersen, Siebel
	$\sigma_k = 50$	Çeki	Petersen, Siebel

Tablo 27 ' den de görüldüğü gibi Petersen yaklaşımı diğer yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar vermekle birlikte bazı çentik tipi , zorlanma şekli ve malzeme için gerçek K_C değerinden sapmalar göstermektedir.

Petersen ile Siebel yaklaşımı sadece çeki zorlanma türünde aynı sonucu vermektedir. Çeki dışındaki zorlanmalarda Siebel orjinal gerilim düşmesi sıfırdan farklı olduğu için K_C değeri , Petersen yaklaşımının verdiği sonuçtan daha büyük çıkmaktadır.

Neuber ve Thum yaklaşımları çoğu durumda birbirine yakın değerler vermekte ve gerçek çentik faktörü değerine de yaklaşmaktadır. Thum yaklaşımındaki q çentik hassasiyeti zorlanma şekli , malzeme yapısı, çentik şekli ve geometrisi gibi çok sayıda parametreye bağlı olmasına rağmen sadece çentik yarıçapı ve kopma dayanımına göre belirlendiğinden bazı durumlar için gerçek K_C ' den sapma göstermektedir.

Neuber yaklaşımında da malzemeye bağlı parametre kopma dayanımına göre belirlenmekte ayrıca çentik radyüsünde dikkate alınarak K_C hesaplanmaktadır. Dolayısıyla Neuber ve Thum ' ın yaklaşımlarının verdiği sonuçlar her durum için birbirine çok yakındır.

Bollenrath ve Heywood yaklaşımları genellikle gerçek K_C değerinden çok farklı sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte Tablo 27 ' den de görüldüğü gibi bazı durumlarda iyi sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak, Petersen yaklaşımının Tablo 27 ' de görülen malzeme, çentik tipi ve zorlanma şekli için gerçek K_C ' ye çok yakın sonuçlar verdiği belirlendi. Ancak tek bir çentik faktörü yaklaşımı her tür malzeme , her tür çentik ve her tür zorlanma şekli için gerçek K_C değerine kabul edilebilir sınırlar içinde bir yakınlık gösteremediği görüldü.

Bu durumda , her durum için genelleştirilebilecek K_C çentik faktörü yaklaşımının ortaya konulabilmesi için her tür çentik tipi , malzeme ve zorlanma şekli için yorulma deneylerinin yapılması ve bir iyileştirme katsayısının tanımlanması gerekir.

KAYNAKLAR

1. BOZACI A. Makina Elemanlarının Tasarımı 1 . 1989, Sakarya
2. BUCH A. Fatigue Strength Calculation 1988, Switzerland
3. ÇAKMAK S. Makina Elamanların Mukavemet Hesapları 1986 , İstanbul
4. FORREST P.G. Fatigue of Metals 1966 Newyork
5. FROST N.E / MARSH K.J. / POOK L.P. Metal Fatigue 1974, Oxford
6. GÜLEÇ Ş. / ARAN A. (çeviri) Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı 1983 ,Gebze
7. MERTENS H. Kerbgrund - und Nennspannungskonzepte zur Dauerfestigkeitsberechnung - Weiterentwicklung des Konzepts der Richtlinie VDI 2226 , 1988, Berlin.
8. OKTAY Ş. Makina Elemanları Cilt 6 1984, İstanbul
9. PETERSON R.E. Stress Consentration Factors 1964 ,Newyork
- 10.VOLLANCE A. / DOUGHTIE V.L Design and Machine Members 1964 Tokyo

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 1971 / İmranlı (SIVAS)

Öğrenim Durumu :

1988 / Haziran : İmranlı Lisesi ' nden birincilikle mezuniyet

1988 / Ekim : Y.T.Ü. Makina Mühendisliği ' ne başlangıç

1992 / Haziran : Y.T.Ü. Makina Mühendisliği ' nden üçüncülükle mezuniyet

1992 / Ekim : Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İngilizce hazırlık sınıfına başlangıç

1993 / Ekim Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü derslerine başlangıç

Akademik Görevler :

1993 / Haziran : Y.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Müh. Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı ' nda Araştırma Görevliliği ' ne başlangıç

Halen aynı görevi sürdürmekte