

Ti-6Al-4V ALAŞIMLARINDA ÇENTİKLERDE SÜPERPOZİSYON ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Asım GÜVEN^a, Tamer SINMAZÇELİK^{a,b}, Volkan GÜNAY^b

^a Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Veziroğlu Kampüsü, 41040, İzmit, Kocaeli, Türkiye

^b TÜBİTAK-MAM, Malzeme Enstitüsü, P.K. 21, Gebze, Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Titanyum alaşımları yüksek dayanım / ağırlık oranı, yüksek sıcaklıklara dayanımı, güçlü korozyon dirençlerine sahip olmakla birlikte çeliklere kıyasla % 60 daha hafiftir. Bu sebeple titanyum alaşımları özellikle havacılık, uzay ve medikal endüstride sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada titanyum levhalardan kesilen dikdörtgen kesitli deney numunelerine yan taraflarından (tek taraflı) yarım daireler şeklinde çentikler açılmıştır. Farklı gerilme yığılma kat sayılarına sahip bu çentiklerin NASTRAN paket programı kullanılarak 2,65 ile 1,70 arasında gerilme yığılma katsayılarına sahip oldukları analiz edilmiştir. Aynı zamanda yarım daireler şeklindeki çentiklerin hemen ucuna farklı yarıçaplarda yine yarım daire şeklinde ilave çentikler açılarak çentiklerde süperpozisyon etkisi olarak isimlendirilen teorinin sonlu elemanlar analizleri ile incelenmesi yapılmıştır.

Hazırlanan deney numuneleri üniversal çekme cihazında çekilerek elde edilen gerçek değerler ile teorik modellemeler arasındaki ilişki ve teorik modelin güvenilirliği sorgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Titanyum, Titanyum Alaşımları, Ti6Al4V, Çentik, Süperpozisyon Etkisi

INVESTIGATION OF SUPERPOSITION EFFECT OF NOTCHED Ti-6Al-4V ALLOY

ABSTRACT

Titanium alloys have a high strength-to-weight ratio with a density approximately 60% that of steel, high temperature properties, excellent corrosion resistance. For that reason Titanium continues to be widely used for aerospace and medical industries.

In this study, rectangular specimens, which were cut from titanium plate and semi-circular single end notches, were machined. The notches with a different stress concentrations were analyzed using NASTRAN and the theoretical stress concentration factors were calculated between 2,65 and 1,70. The smaller semi circular shaped notches were machined at root of main notches and theory of superposition effect was examined by the result of finite element method.

The machined notched specimens were tested by universal tensile test machine. Achieved experimental and theoretical results were discussed.

Keywords: Titanium, Titanium Alloys, Ti6Al4V, Notch, Superposition Effect.

1. GİRİŞ

Titanyum ve titanyum alaşımları çelikten daha dayanıklı fakat %60 daha hafif olması nedeniyle özellikle havacılık ve uzay sanayinde birçok parçanın üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca sahip olduğu güçlü korozyon direnci sebebiyle deniz suyunun tatlı suya dönüştürüldüğü işletmelerde ve deniz araçlarının denizle temas eden yüzeylerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Kimya sanayinde de sıkça kullanılan titanyum alaşımları bulunmaktadır. Titanyum ve titanyum alaşımları bio-uyumluluk özellikleri nedeniyle bio-medikal alanda implant ve kemik plakası olarak kullanılmaktadır [1].

Sanayinde kullanılan nerdeyse tüm parçalarda gerilme yığılmasına sebep olacak çentik, oyuk veya süreksizlikler mevcuttur. Bu süreksizlikler sebebiyle iki veya üç eksenli gerilme durumu oluşur. Bu sebepten dolayı çentik bölgesinde gerilme şekil değiştirme durumlarının bilinmesi gerekmektedir [2]

Çentik ucu gibi nispeten küçük bölgelerde büyük gerilme gradyanlarının oluşmasıyla gerilme yığılması meydana gelir. Her çentiğin geometrisine, çentiğin parça üzerindeki konumuna ve yüklemeye şekline bağlı olarak farklı gerilme yığılma katsayıları mevcuttur. Gerilme yığılma katsayısı kısaca çentik ucundaki gerilmenin, çentiksiz kesit alanına etki eden gerilmeye oranıdır [3,4].

Özellikle havacılık ve uzay sanayisi gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılan parçalar tekrarlı yüklemelere maruz kalmaktadır. Tekrarlı yüklemeye parçalarda yorulma hasarına sebep olmaktadır. Gerilme yığılma katsayı (K_t) değerleri aynı olan farklı geometri ve konumlarıdaki çentiklerin yorulma ömürleri farklı olmaktadır [5]. Tekrarlı yüklemeye esasen çok sayıda birbirini takip eden statik yüklemelerden oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı statik yüklemeye tekrarlı yüklemenin temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada tek taraflı yarım dairesel çentik açılmış Ti-6Al-4V alaşımı numuneler kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin teorik, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme yığılma katsayıları ve çentiklerde süperpozisyon etkisi incelenmiştir.

2. Ti-6Al-4V ÇENTİKLİ NUMUNELER

2.1 Deneysel Çalışma

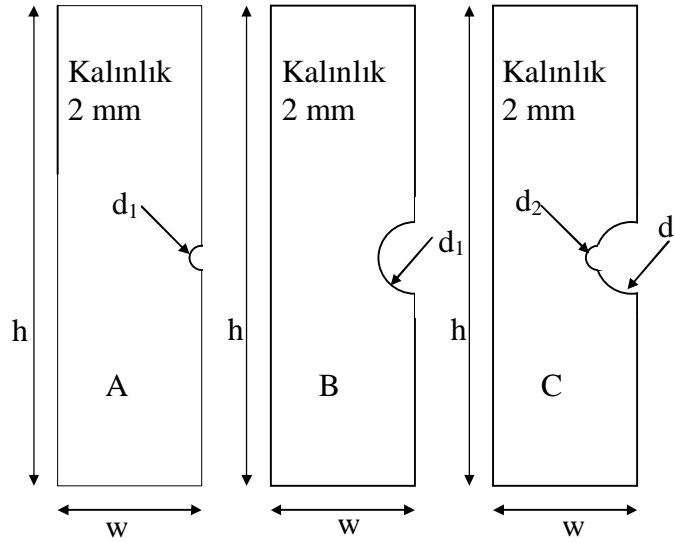
Tüm çentikli numuneler Çizelge 2.1 'de mekanik özellikleri ve Çizelge 2.2 'de kimyasal bileşimi gösterilen Ti-6Al-4V alaşımından hazırlanmıştır. Öncelikle Ti-6Al-4V levha ürünün haddeleme doğrultusuna paralel yönde dikdörtgen şeklindeki plakalar çıkartılmıştır. Daha sonra çıkartılan bu plakaların yan taraflarına talaşlı imalat yöntemiyle Şekil 2.1 'de gösterildiği gibi çentikler açılmıştır. Numune ve çentik boyutları Çizelge 2.3 'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Ti-6Al-4V çekme değerleri.

<i>Elastisite Modülü</i> kN/mm^2	<i>Akma Gerilmesi</i> N/mm^2	<i>Maksimum Gerilme</i> N/mm^2	<i>Maksimum Kuvvete Kadar Olan Enerji</i> Nmm	<i>Kırılma Enerjisi</i> Nmm
8,48	345,83	733,61	150.280,02	244.417,13

Çizelge 2.2. Ti-6Al-4V numunelerin kimyasal bileşimi.

<i>Bileşim (%)</i>						
<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>V</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Nb</i>
89,45	6,20	4,14	0,02	0,01	0,14	0,04



Şekil 2.1. Çentik tipleri.

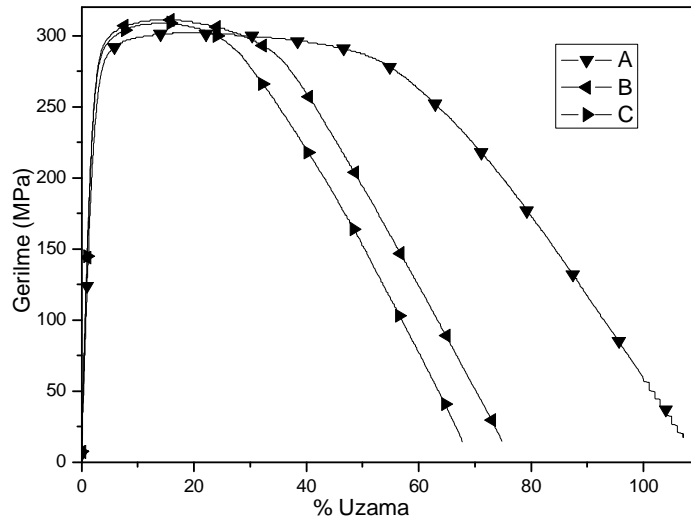
Çizelge 2.3. Numunelerdeki çentik boyutları.

Çentik Tipi	d_1 (mm)	d_2 (mm)	w (mm)	h (mm)
A	2	-	20	80
B	10	-	20	80
C	10	2	20	80

Hazırlanan çentikli numuneler Zwick Roell universal çekme test cihazında çekme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneylerinde 0,2 bar çene basıncı kullanılarak numunelerin izafi kayma hareketlerinin önüne geçilmiştir. Çekme hızı sabit 5 mm / dk alınarak numunelerin kopmasıyla çekme deneyi sonlandırılmıştır. Çekme deneyi esnasında uygulanan kuvvet load cell yardımıyla kaydedilirken numunelerin şekil değiştirme değerleri LVDT ile kaydedilmiştir. Çekme deneylerinden elde edilen değerler Çizelge 2.4 'te ve Şekil 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Çentikli numunelerin çekme deneyi sonuçları.

<i>Çentik Tipi</i>	<i>Elastisite Modülü kN/mm²</i>	<i>Akma Gerilmesi N/mm²</i>	<i>Maksimum Gerilme N/mm²</i>	<i>Maksimum Kuvvete Kadar Olan Enerji Nmm</i>	<i>Kırılma Enerjisi Nmm</i>
A	11,54	206,96	301,80	27.677,38	135.318,27
B	13,86	209,47	311,21	17.888,84	72.736,44
C	14,18	204,87	308,91	15.412,58	59.729,10

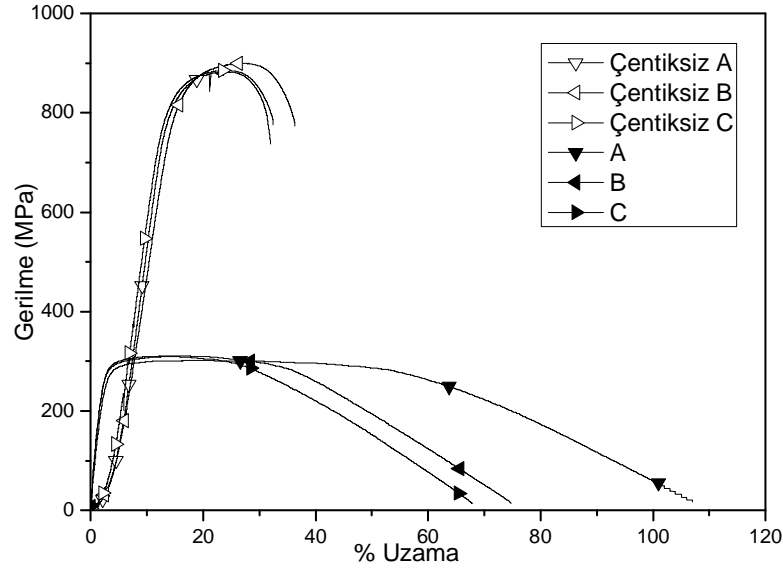


Şekil 2.2. Çentik tiplerine göre çekme değerleri.

Çentik tipine göre numunelerin net kesit alanlarıyla aynı kesit alanına sahip Ti-6Al-4V malzemeden hazırlanan dikdörtgen şeklindeki çentiksiz numuneler de aynı çekme koşullarında çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.5 'te ve Şekil 2.3 'te çentikli numuneler ile yapılan deneylerden elde edilen değerler ile birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. Çentiksiz numunelerin çekme deneyi sonuçları.

<i>Çentiksiz</i>	<i>Elastisite Modülü kN/mm²</i>	<i>Akma Gerilmesi N/mm²</i>	<i>Maksimum Gerilme N/mm²</i>	<i>Maksimum Kuvvete Kadar Olan Enerji Nmm</i>	<i>Kırılma Enerjisi Nmm</i>
A	7,03	700,93	847,73	139.199,30	220.775,19
B	8,25	708,30	877,19	114.385,80	183.595,19
C	7,15	747,71	900,00	106.683,95	153.812,53



Şekil 2.3. Çentik tiplerine ve net kesit alanına göre çekme değerleri.

Gerilme yığılma katsayısının hesaplanabilmesi için çentiksiz numuneden elde edilen gerilme değeri ile çentikli numuneden elde edilen gerilme değerini birbirleri ile oranlamak gerekmektedir. Bu oran yapıldığında Çizelge 2.6 'te de görüldüğü gibi deneysel yoldan elde edilen gerilme yığılma katsayıları bulunabilir.

Çizelge 2.6. Deneysel yöntemler ile elde edilen gerilme yığılma katsayıları.

Çentik Tipi	Gerilme Yığılma Katsayısı, K_t
A	3,40
B	3,38
C	3,71

2.2 Sonlu Elemanlar

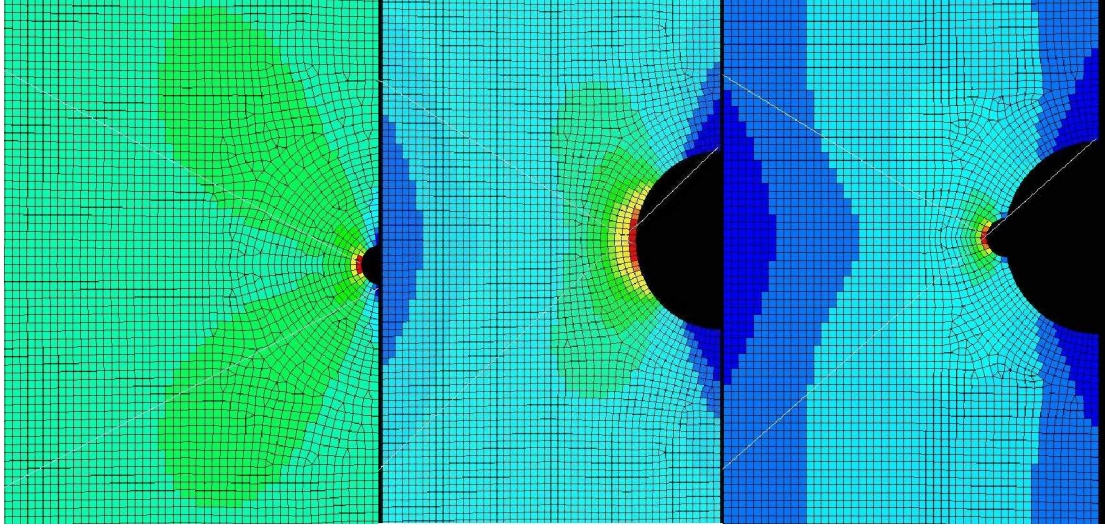
Çekme deneylerinden elde edilen verileri karşılaştırmak amacıyla tüm numune çeşitleri sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Numunelerin mesh modellerini hazırlamak amacıyla preprocessor olarak Hypermesh V7.0 yazılımı kullanılmıştır. Mesh modellemesi için numune boyutları için Çizelge 2.3 'teki veriler kullanılmıştır.

2 mm kalınlığındaki numunelerin "midsurface" i alınarak, bu "midsurface" üzerine öncelikle 1 mm, 0,7 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm boyutlarında mesh işlemi yapılmıştır. Yapılan mesh optimizasyon işlemi sonucunda 0,25 mm'lik mesh işlemi yapıldığında parça üzerindeki gerilme değerlerinin sabit kaldığı izlenmiştir. Bu işlem sonucunda 0,25 mm mesh boyutu bütün numunelere uygulanmıştır. Numunelerin boyutları sabit olduğu ve yalnız çentik boyutları değiştiği için çentik bölgeleri ve boyutları değiştirilerek numuneler modellenmiştir. Özellikle çentik bölgesi ve etrafındaki gerilme dağılımlarının daha önemli olması sebebiyle bahsedilen bu bölgelerde fine (ince) mesh yapılmıştır.

Sonuçların daha güvenilir olması amaçlandığından çentik bölgelerinde yamuk eleman kullanılarak çentik sınırlarından başlayarak içe doğru aynı sayıda dörtgen eleman kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerleri çekme deneyleri ile karşılaştırmak amacıyla numuneler çekme test cihazındaymış gibi düşünülüp mesh işlemi

yapıldıktan sonra numunelerin alt kısmının sabit tutulmuş (her noktanın 6 serbestlik derecesinde kısıtlanmıştır) üst kısımlardaki noktalara ise çekme kuvveti etki ettirilmiştir.

Mesh modelleri oluşturulan numunelerdeki gerilme dağılımlarını çözümlmek amacıyla MSC Nastran Version 2004.0.6 yazılımı kullanılmış, çözümlü yaptıktan sonra postprocessor olarak yine Hypermesh V7.0 yazılımından faydalanılıp sonuçlar yorumlanmıştır.



Şekil 2.4. Çentikli numunelerde sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme dağılımı.

Numunelere çentik haricinde kalan kesitlerde 100 MPa 'lık bir gerilme yaratacak büyüklükte kuvvetler tatbik edilmiştir. Kesit içinde oluşan gerilmelerin tamamının elastik seviyede kalması sağlanmıştır. Modelleme esnasında poisson oranı, yoğunluk, şekil değiştirme üsteli gibi değerler literatürden alınmış, diğer değerler ise çekme deneyi sonuçlarından alınarak işlem yapılmıştır. Numunelerdeki gerilme dağılımları Şekil 2.4 'te, gerilme dağılımlarına göre elde edilen gerilme yığılma katsayıları Çizelge 2.7 'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme yığılma katsayıları..

Çentik Tipi	Gerilme Yığılma Katsayısı K_t
A	2,29
B	3,93
C	6,98

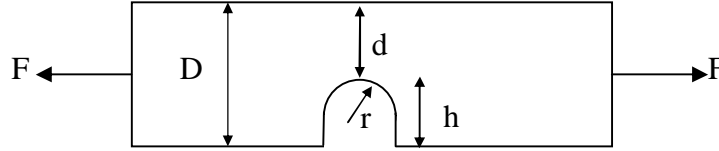
2.3 Teorik Çalışma

Büyük bir gerilme gradyanının küçük bir bölgede yoğunlaşması ile gerilme yığılması meydana gelmektedir [5]. Makine parçalarının neredeyse hepsinde gerilme yığılmasına sebep olabilecek çentik, delik veya ani kesit değişimleri mevcuttur. Çentik ucunda büyük gerilme gradyanı sebebiyle maksimum gerilme meydana gelirken çentikten uçundan uzaklaştıkça gerilme değeri azalarak nominal değerine ulaşmaktadır.

Gerilme yığılması katsayısı (K_t); çentik ucundaki gerilme değerinin çentiksiz net kesit alanına etki eden gerilme değerine oranıdır [1-6].

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

Her süreksizliğin kendi geometrisi, parça üzerindeki konumu ve parçaya uygulanan yükleme türüne göre bir gerilme yığılma katsayısı mevcuttur. Bu çalışmada kullanılacak çentik tipleri için gerilme yığılma katsayıları hesapları şekil 2.5 'te gösterilen notasyonlar ile şu şekildedir.



Şekil 2.5. Eksenel gerilmeye maruz tek taraftan çentikli numuneler için gerilme yığılma katsayısı hesaplama notasyonları.

$$K_t = C_1 + C_2 \left(\frac{h}{D} \right) + C_3 \left(\frac{h}{D} \right)^2 + C_4 \left(\frac{h}{D} \right)^3 \quad (2)$$

$$C_1 = 0,721 + 2,394 \sqrt{\frac{h}{r}} - 0,127 \frac{h}{r} \quad (3)$$

$$C_2 = 1,978 - 11,489 \sqrt{\frac{h}{r}} + 2,211 \frac{h}{r} \quad (4)$$

$$C_3 = -4,413 + 18,751 \sqrt{\frac{h}{r}} - 4,596 \frac{h}{r} \quad (5)$$

$$C_4 = 2,714 - 9,655 \sqrt{\frac{h}{r}} + 2,512 \frac{h}{r} \quad (6)$$

Ayrıca dairesel çentiğin merkezi parça kenarında ise $\frac{h}{r}$ oranı “1” olacağından gerilme yığılma katsayısı

$$K_t = 2,988 - 7,300 \left(\frac{h}{D} \right) + 9,742 \left(\frac{h}{D} \right)^2 - 4,429 \left(\frac{h}{D} \right)^3 \quad (7)$$

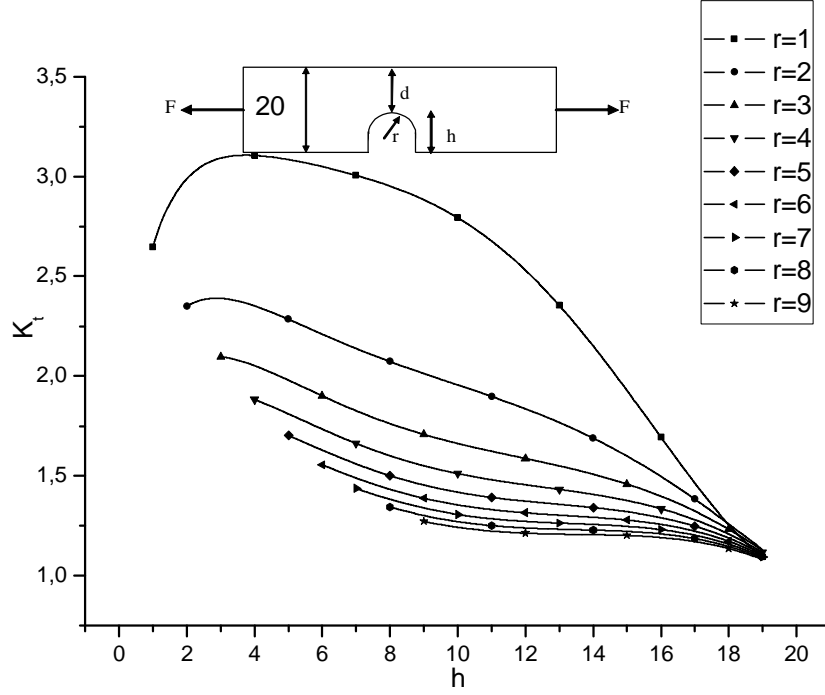
formülü ile bulunabilmektedir [4].

A ve B tipi çentik için gerilme yığılma katsayısı Çizelge 2.8 'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.8. Çentik tipine göre gerilme yığılma katsayıları.

Çentik Tipi	Gerilme Yığılma Katsayısı, K_t
A	2,65
B	1,70

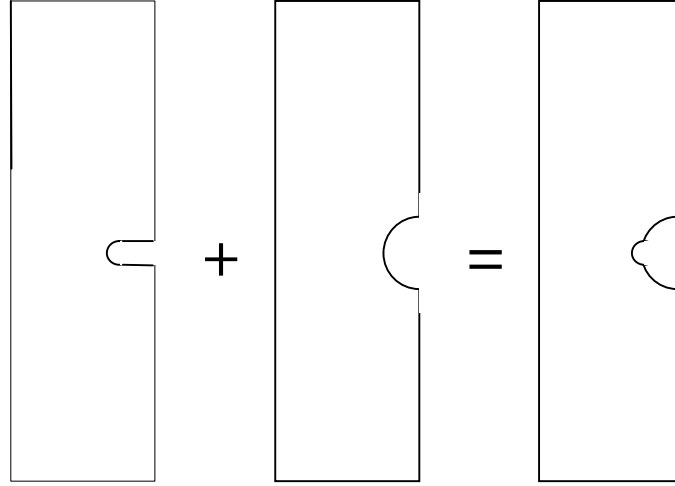
Dairesel çentiğin yarıçapı ve merkezinin parça kenarı ile arasındaki mesafe değiştirilerek elde edilen gerilme yığılma katsayıları Şekil 2.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Dairesel çentik boyutu ve parça üzerindeki konumuna göre gerilme yığılma katsayısı değeri.

Şekilden de anlaşılacağı gibi çentik yarıçapı arttıkça gerilme yığılma katsayısı azalmaktadır. Aynı şekilde çentik yarıçapı sabit kalıp çentik merkezi parça kenarından uzaklaştıkça gerilme yığılma katsayısı değeri azalmaktadır. Meydana gelen bu azalma nominal gerilmedeki artış ile açıklanmaktadır. Çentik boyutu arttıkça parçadaki net kesit alanı azalmaktadır. Kesit alanının azalması gerilme yığılma katsayısı formülünde paydada bulunan nominal gerilme değeri arttırdığı için yığılma katsayısı değeri azalmaktadır [5].

Deneylerde kullanılan C tipi çentik A ve B tipi çentiklerin bir arada bulunmasıyla oluşmaktadır. Bu sebeple C tipi çentik için gerilme yığılma katsayısı hesaplanırken A ve B tipi çentiklerin gerilme yığılma katsayıları birlikte kullanılmalıdır. C tipi çentik oluşturmak için Şekil 2.7 'de görüldüğü gibi merkezi parça kenarında olan 5 mm yarıçaplı dairesel çentik açılmış daha sonra merkezi parça kenarından 6 mm içeride olan 1 mm yarıçaplı dairesel çentik açılmıştır.



Şekil 2.7. C tipi çentiği oluşturmak için yapılan süperpozisyon.

Farklı iki çentiğin süperpoze edilmesiyle elde edilen yeni çentiğin gerilme yığılma katsayısı bulunurken her iki çentiğin gerilme yığılma katsayıları da süperpoze edilmelidir. K_{t1} ve K_{t2} süperpoze edilecek çentiklerin gerilme yığılma katsayıları ise oluşan yeni çentiğin gerilme yığılma katsayısı;

$$K_t = K_{t1} K_{t2} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır [6].

Hesaplamalar sonucunda $K_{t1} = 3,05$ $K_{t2} = 1,70$ olarak bulunmuştur. Böylece C tipi çentik için gerilme yığılma katsayısı

$$K_t = 3,05 * 1,70 = 5,19 \quad (9)$$

olarak hesaplanmıştır.

Parça üzerine uygulanan yükleme sonucu gerilme yığılması olan bölgedeki gerilme malzemenin akma sınırını aşarsa gerilme dağılımı farklılık gösterir. Bu durumda bir numaralı formül geçerliliğini kaybeder. Hesaplama yapılırken gerilme kadar şekil değiştirme değerleri de kullanılmalıdır. Efektif gerilme yığılma katsayısı

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}} \quad (10)$$

Şeklinde hesaplanırken efektif şekil değişimi yığılma katsayısı

$$K_\epsilon = \frac{\epsilon_{\max}}{\epsilon_{nom}} \quad (11)$$

Şeklinde hesaplanır ve non linear durumda Neuber formülü ile maksimum gerilme bulunur.

$$K_t = \sqrt{K_\sigma K_\epsilon} \quad (12)$$

$$\sigma_{\max} \epsilon_{\max} = K_t^2 \sigma_{nom} \epsilon_{nom} \quad (13)$$

3. BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel, sonlu elemanlar ile modelleme ve teorik yöntemler ile elde edilen veriler çizelge 3.1 verilmiştir. Bu verilere göre sonlu elemanlar ve teorik yöntemler birbirleri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Fakat deneysel yöntemler ile elde edilen değerler diğer iki yöntemden elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışmada elde edilen gerilme yığılma katsayıları.

<i>Çentik Tipi</i>	<i>Deneysel Yöntem</i>	<i>Sonlu Elemanlar Yöntemi</i>	<i>Teorik Yöntem</i>
A	3,40	2,29	2,65
B	3,38	3,93	1,70
C	3,71	6,98	5,19

2 mm çaplı çentik açılmış numunenin gerilme yığılma kat sayılarının hesaplanmasında deneysel yöntem en büyük değer olan 3,40 değerini vermesine rağmen tüm yöntemler bir birlerine yakın değerler vermiştir. 2 mm çaplı çentik açılmış numunenin gerilme yığılma katsayısından 10mm çaplı çentik açılmış numunenin gerilme yığılma katsayısına geçerken hem deneysel hem de teorik yöntem ile hesaplanmış verilere göre bir azalma mevcuttur. Sonlu elemanlar yönteminde ise bir artış meydana gelmiştir. Tüm yöntemlere göre süperpozisyon etkisi olan C tipi çentik açılmış numunenin gerilme yığılma katsayısı diğer çentik tiplerine göre en büyük değerdedir. C tipi çentik açılmış numunelerin değerlerinde sonlu elemanlar yöntemi ve teorik yöntem ile yapılan hesaplamalarda yüksek değerler elde edilirken deneysel yöntem ile hesaplama yapıldığında bu artış daha az olmaktadır. Teorik ve sonlu elemanlar hesaplamaları malzeme parametrelerinin yetersiz olması nedeniyle ve özellikle soğuk haddelenmiş sac malzeme kullanılması sonucuyla anizotropi parametrelerinin gerilme değerlerini değiştirerek, üç eksenli gerilme durumunu oluşturmaktadır. Bu gibi hesaba katılmayan parametreler neticesinde deneysel yöntemlerin daha doğru sonuç verdiği ve sonlu elemanlar yöntemi ile teorik yöntemin kullanılırken malzeme parametrelerinin arttırılması daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

4. SONUÇLAR

Yapılan tüm deneyler neticesinde elde edilen veri göre

- 2 mm çaplı çentik açılan numunenin gerilme yığılma katsayısı hesaplanması ve gerçekleşmesi öngörülene yakın sonuçlar verilmiştir.
- Art arda çentik açılmasıyla malzemede süperpozisyon etkisi gerçekleşmekte, yeni çentiğin gerilme yığılma katsayısı aynı net kesit alanına sahip tek bir çentiğin gerilme yığılma katsayısına göre çok daha büyük ve diğer iki katsayının çarpımı büyüklüğünde olmaktadır.
- Deneysel yöntemleri ile elde edilen verilerin göstermiş olduğu eğilim, hem teorik hem de sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen verilerde de görülmekte iken sayısal değerlerinde farklılıklar görülmüştür.
- Soğuk haddelenmiş sac malzemelerde anizotropi etkisiyle çentik bölgesinde gerilme dağılımı değişmekte ve teorik yöntemler ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplamalarda parametre sayısının arttırılmasının sonuçların güvenilirliğini arttıracığı düşünülmektedir

- Deneysel sonuçlarda çentik yığılma katsayısı hesabı çentik ucunda akmanın başladığı anda (akma gerilmesi) ki değerinin nominal gerilmeye bölünmesi ile yapılmaktadır. Fakat işleme sonrası çok küçük çatlaklar, işleme hataları, kalıntı gerilmeler nedeniyle çentik ucunda beklenenden daha erken akma oluşmakta ve bu nedenle K_t değerleri teorik değerlerinden daha küçük çıkmaktadır.
 - Teorik hesaplamalarda kullanılan değerler ile malzemenin genel mekanik özellikleri arasındaki farklılıklar, haddeme ve imalattan kaynaklanan süreksizlikler vb. teorik ve deneysel değerler arasında farklılıklar oluşmasına neden olmuştur.
- Sonuçlarına ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü Müdürlüğü DPT destekli “Titanium Hassas Döküm” projesi çerçevesinde çalışmalarımıza verdiği katkıdan ötürü teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Vadiraj, A., Kamaraj, M. “Effect of surface treatments on fretting fatigue damage of biomedical titanium alloys”, **Tribology International** Vol. 40, (2007) 82–88
2. Medekshas, H., Balina, V. “Assessment of low cycle fatigue strength of notched components”, **Materials and Design**, Vol. 27 (2006) 132–140
3. Haritos, G. K., Nicholas, T., Lanning, D. B., “Notch size effects in HCF behavior of Ti-6Al-4V”, **International Journal of Fatigue**, Vol 21 (1999) 643-652
4. Young, W. C., Budynas, R. G., “Roark’s Formulas for Stress and Strain”, **McGraw-Hill**, New York, 1989
5. Lanning, D. B., Haritos, G. K., Nicholas, T., “Influence of Stress State on High Cycle Fatigue of Notched Ti-6Al-4V Specimens”, **International Journal of Fatigue**, Vol. 21 (1999) 87-95
6. Schijve, J., “Fatigue of Structures and Materials”, **Kluwer Academic Publishers**, New York, 2001