

PİMLİ BAĞLANTILARDA ÇATLAK İLERLEME YÖNÜNÜN SONLU ELEMENLAR METODU İLE BULUNMASI

Alaattin AKTAŞ*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uşak Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 64300,
UŞAK, alatinaktas@yahoo.com

Sadettin ORHAN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 71450, KIRIKKALE

ÖZET

Bu çalışmada, içinde pim bulunan, yamuk şekilli bir levhanın çatlak ilerleme yönü (θ) ve gerilme şiddeti faktörleri (KI, KII) sonlu elemanlar metodu (SEM) ile bulundu. Sonlu elemanlar analizi için Frank2DL programı kullanıldı. Levhanın delik kenarında 0° , 30° , 45° , 60° , 90° , 120° , 135° , 150° , 180° açılarında, 2 mm uzunluğunda çatlak oluşturulup; her bir açı değeri için gerilme şiddeti faktörleri ve ilk çatlak ilerleme açıları tespit edildi. Ayrıca ilk çatlak ilerleme açısı analitik olarak da bulunup, sonuçlar çizelge halinde verildi. SEM ve analitik olarak bulunan ilk çatlak ilerleme açıları birbirine yakın değerlerde olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Çatlak ilerleme açısı, gerilme şiddeti faktörü, pim bağlantı, kırılma

DETERMINATION OF THE CRACK GROWTH DIRECTION BY FINITE ELEMENT METHOD IN PINNED JOINTS

ABSTRACT

In this study, the crack growth direction (θ) and stress intensity factors (KI, KII) of a trapezium shaped plate containing pinned joint were found by means of finite element method (FEM). For the finite element calculations, Frank2DL program code was used. A crack which has 2 mm precrack length and 0° , 30° , 45° , 60° , 90° , 120° , 135° , 150° , 180° angle direction was formed in the border of the plate hole, and the stress intensity factors and the direction of the first crack growth angle were found for each angle directions. In addition, the first crack growth angle was also found analytically and the results were given in a table. The crack growth angle calculated by FEM and by analytic approach were found to be close to each other.

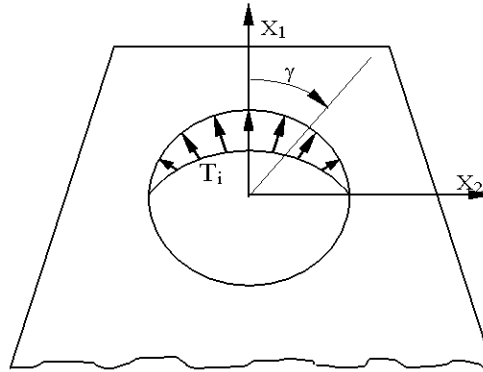
Key Words: Crack propagation angle, stress intensity factor, pin joint, fracture

üstesinden gelmek için kosinüs yük dağılımı kullanılır. Bickley (6) izotropik malzemelerdeki gerçek yük dağılımı ile kosinüs yük dağılımının birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir. Buna göre kosinüs yük dağılımı;

$$T_i = \frac{4P}{Dt\pi} \cos \gamma n_i \quad [1]$$

şeklinde verilir (7,8). Burada; P: pime uygulanan kuvvet, γ : levha düzleminde, saat ibreleri yönünde X_1 eksenine yaptığı açı, T_i : pimin iç yüzeyine uygulanan yayılı yük ve n_i : delik yüzeyine normal olan birim vektördür (şekil 2.). Yapılan bu çalışmada pimin plakaya boşluksuz geçtiği kabul edilmiştir.

Bunun için; γ açısı $-\frac{\pi}{2} \leq \gamma \leq \frac{\pi}{2}$ arasında alındı (9).



Şekil 2. Kosinüs yük dağılımının pime uygulanması

3. Gerilme Şiddeti Faktörlerinin Sem ile Bulunması

Sonlu elemanlar analizinde gerilme şiddeti faktörleri (Mode I yada Mode II veya her ikisi için) çeşitli yaklaşımlarla bulunabilir. Bunlar; çatlak ucunda özel çatlak ucu elemanlar kullanmak, J integrali ve virtuel çatlak açılması metotlarıdır. Bunların dışında en kolay metod çatlak yüzeyleri açılma metodudur. Bu metod aşağıdaki gibi verilir (10).

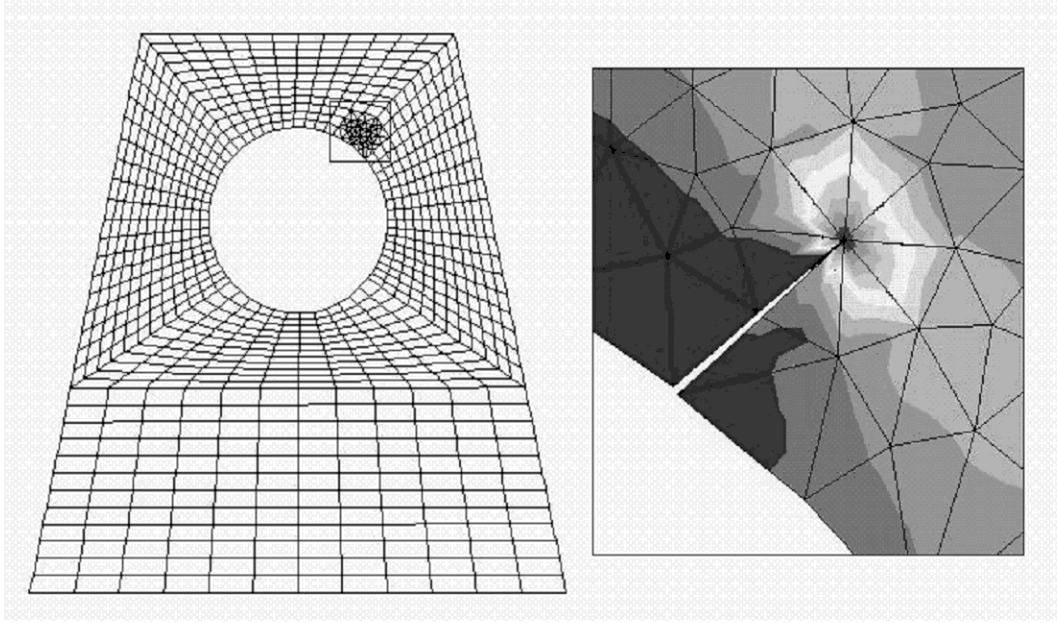
$$K_I = \sqrt{\frac{2\pi}{l_c}} \frac{G}{(\kappa+1)} [4(u'_a - u'_d) - (u'_b - u'_c)] \quad [2]$$

$$K_{II} = \sqrt{\frac{2\pi}{l_c}} \frac{G}{(\kappa+1)} [4(v'_a - v'_d) - (v'_b - v'_c)] \quad [3]$$

Burada G : kayma modülü, l_c : çatlak ucundaki elementin uzunluğu, κ : sırasıyla düzlem şekil değiştirme ve düzlem gerilme için, $(3-4\nu)$ ve $(3-\nu)/(1+\nu)$ dir, ν =Poisson oranı; ve u'_c , v'_c değerleri Şekil 3'de gösterildiği gibi çatlak ve çatlağa dik yönlerdeki yerdeğiştirmelerdir. u'_a , v'_a , u'_b , v'_b ve u'_d , v'_d değerleri benzer düşünceyle sırayla A, B ve C noktalarının çatlak ve çatlağa dik yönlerdeki yerdeğiştirmelerdir.

Bu çalışmada verilen geometri için gerilme şiddeti faktörlerini analitik olarak bulmak oldukça zordur. Bu nedenden dolayı gerilme şiddeti faktörleri sonlu elemanlar metoduyla bulundu (Çizelge 1). Daha sonra bu değerler kullanılarak ilk çatlak ilerleme yönü SEM'in yanı sıra analitik olarak da bulundu. Gerilme şiddeti faktörleri analitik olarak aşağıdaki gibi bulunur.

4. Sonlu Elemanlar Analizi

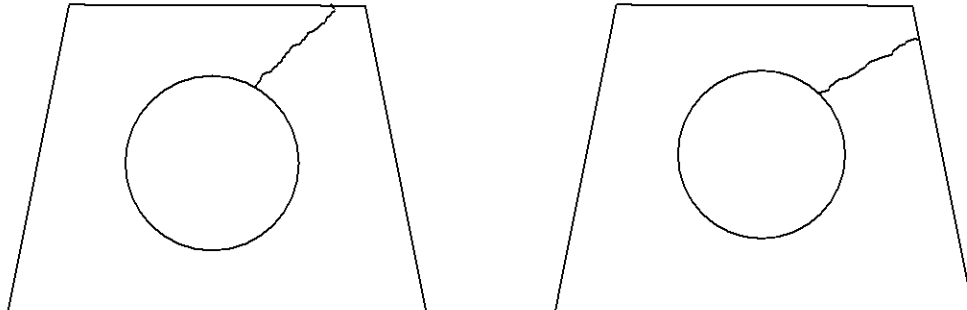


Şekil 4. Modelin sonlu elemanlar ağı

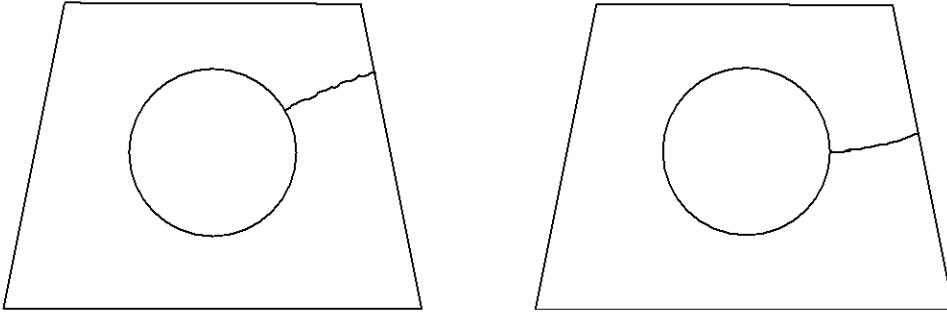
Sonlu elemanlar analizinde çatlak analizi yapmak için 2 mm uzunluğunda çatlak boyu alındı. Modelde 8 düğümlü 852 adet shell eleman kullanıldı. Çatlak oluşturulurken, program çatlak ucu etrafında otomatik olarak QPE (Quarter Point Element) elemanları yerleştirmektedir (Şekil 4.). Sonuçların hassas olması için delik ve çatlak kenarında daha yoğun elemanlar kullanıldı. Sonra program çalıştırılıp, her bir durum için ($\beta=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 180^\circ$) K_I , K_{II} değerleri ve Maksimum Çevresel Gerilme teorisiyle açılırları hesaplandı (Çizelge 1). Daha sonra oluşturulan bu çatlaklar ilerletilerek çatlakın geometri içinde nasıl ilerleyeceği tespit edildi. (Şekil 5-6 ve 7).

Çizelge 1. Gerilme şiddeti faktörleri ve β 'nin çatlak açısına göre dağılımı

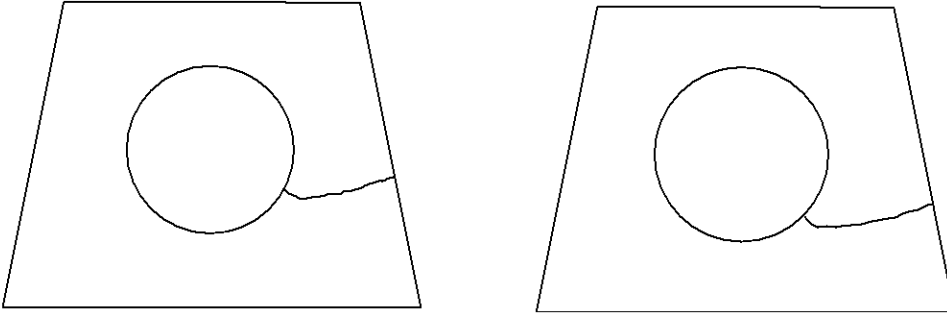
$\beta(^\circ)$	0	30	45	60	90	120	135	150	180
$K_I (MPa\sqrt{m})$	-1,46	10,39	16,92	22,28	24,4	11,89	4,75	-0,88	-5,47
$K_{II} (MPa\sqrt{m})$	0	3,04	2,69	1,96	0	-3,32	-2,84	-2	0
$\theta(0^\circ)$	SEM	-	-28,63	-17,49	-10,08	0,8	28,33	44,14	-
	Analitik	-	-29,2	-16,3	-9,75	0	29,2	44,75	-



Şekil 5. $\beta=30^\circ$ ve $\beta=45^\circ$ için çatlak ilerleme yolu



Şekil 6. $\beta = 60^\circ$ ve $\beta = 90^\circ$ için çatlak ilerleme yolu



Şekil 7. $\beta = 120^\circ$ ve $\beta = 135^\circ$ için çatlak ilerleme yolu

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada mafsallarda herhangi bir açıda oluşan çatlakların gerilme şiddeti faktörleri ve çatlak ilerleme yönünün nasıl değiştiği incelendi. Sonuç olarak yamuk şekilli pim bağlantılarda en kritik çatlak açıları $\beta = 60^\circ$ ve 90° olduğu görüldü. Çünkü bu açılarda K_I ve K_{II} nin bileşkesi büyük değerde ve bu değerler ise malzemenin kritik gerilme şiddeti faktörüne (KIC) ilk ulaştığı değerlerdir (11, 12). Bu değerlerin bileşkesi K_{IC} 'ye ulaştığı anda çatlak ani olarak ilerleyip, plaka yırtılır. K_p , $\theta = 0^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ açılarında negatif değerde olduğundan çatlak, açılmayıp aksine kapanmaktadır. Bunun sonucunda çatlak bu açılarda ilerlememektedir. Diğer açı durumları için, ilerleme açılma

moduyla (Mod I) olmaktadır. Çünkü çatlakın ilerlediği durumlar için $\frac{K_{II}}{K_I} \leq 2.45$ dir (2).

Şekil 5-6 ve 7'de $\theta = 30$ haricinde görüleceği gibi çatlak, tüm açı durumları için, deliğin kenara en yakın olduğu mesafede ilerlemeye çalışmaktadır. Pratikte çatlakın ilerlememesi için bu yönlerde plakaya takviye yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Wu, C., "Fracture Under Combined Loads By Maximum-Energy-Release-Rate Criterion"; *Journal of Applied Mechanics*, (45):553-558 (1978)
2. Sutton, M., Zhao, W., Boone, M. And Reynolds, A., "Prediction of Crack Growth direction for mode I/II Loading Using Small-Scale Yielding and Void Initiation Growth Concepts"; *International Journal of fracture Mechanics*, (83): 275-290 (1997)
3. Koo, J. And Choy, S., A., "New Mixed Mode Fracture Criterion: maximum Tangential Strain Energy Density Criterion", *Engineering Fracture Mechanics*, (39): 443-449 (1991).
4. Cotterall, B., Rice, J., "Slightly Curved or Kinked Cracks", *International Journal of Fracture*, 16 (2): 155-169.
5. Fu-Kuo, C., Scott, R., Springer, S., "Strength of Mechanically fastened Composite Joints", *Journal of Composite materials*, (16): 470-494 (1982)
6. Bickley, W., "The Distribution of Stress Round a Circular Hole in a plate", *Phil. Roy. Soc.*, (227): 383-415 (1982)
7. Aktaş, A., Karakuzu, R., "Failure Analysis of Two-Dimensional Carbon-Epoxy Composite Plate Pinned

- Joint", *Mechanics of Composite Materials and Structures*, 6(4): 347-361 (1999b)
8. Aktaş, A., "Failure Analysis of Trapezium Shaped Carbon-Epoxy Plate Pinned-Joint", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (1): 27-31 (2000).
9. Fu-Kuo, C., "The Effect of Pin load Distribution on the Strength of Pin Loaded in Laminated in Laminated composites", *Journal of Composite Materials*, (20) : 401-407 (1986)
10. Murti, V., Valliappan, S., Lee, I., "Stress intensity factor using quarter point element", *Journal of Engineering Mechanics*, (8) :137-150 (1984)
11. Aktaş, A. Dirikolu, M. H., "Üzerinde entikli Delik Bulunan Levhalarda atlak İlerleme Yöünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi", *4. Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri*, Yıldız Teknik Üniversitesi, 39-44(1999).
12. Miyamoto, H., Fukuda, S., Kageyama, K., "Finite Element Analysis of Crack Propagation Under Compression", *Fracture*, (3): 491-500 (1977)

Geliş Tarihi:04.10.2002

Kabul Tarihi:04.06.2003

