

YÜZEY ÇATLAKLI 5086 Al-Mg ALAŞIMININ EKSENEL YORULMA ÇATLAK İLERLEME DAVRANIŞI

Gürol ÖNAL*, Ahmet AVCI

Selçuk Üniversitesi Müh-Mim Fakültesi Makine Müh Bölümü, KONYA

Özet

Bu çalışmada, 5086 Al-Mg alaşımı levhalara farklı a/c ve a/t oranlarında eliptik yüzey çatlakları açıldı. Eksenel çekme yorulması ile çatlak ilerleme davranışları incelendi. Farklı parametrik açılarda çatlak ilerleme hızları ölçüldü. Newman-Raju denklemleri kullanılarak gerilme şiddet faktörleri elde edildi. Paris-Erdoğan eşitliği ile malzemenin yorulma çatlak ilerleme katsayıları C ve n değerleri belirlendi. Büyüme hızlarına ve gerilme şiddet faktörlerine bağlı olarak değişik geometri ve büyüklükteki çatlakların ilerleme davranışları incelendi.

Anahtar Kelimeler : Eksenel yorulma, eliptik yüzey çatlağı, çatlak ilerleme davranışı

AXIAL FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR OF 5086 Al-Mg ALLOY WITH SURFACE CRACK

Abstract

In this study, axial fatigue crack growth behavior of 5086 Al-Mg alloy plates was examined with elliptical surface crack for various a/c and a/t ratios. Crack growth rates were measured for different parametrical angles. Stress intensity factors were obtained by using Newman-Raju equations. n- fatigue crack growth exponent of material and C-crack growth coefficient were determined by using Paris-Erdogan equation. Crack growth behaviors were examined relating to growth rates and stress intensity factors for various crack geometries.

Keywords: Axial fatigue, elliptical surface crack., crack growth behaviour

* Corresponding author. Tel: 90.332.2232565; Fax: 90.332.2414220
E-mail address: gonal@selcuk.edu.tr

1. Giriş

Kolay şekil alabilme, yüksek kaynak kabiliyeti ve korozyona karşı dayanımından dolayı; uçaklar, uzay araçları, denizaltılar, zırhlı araçlar ve modern teknolojinin gerektirdiği bir çok yapı ve makinaların değişik bölümleri Al-Mg alaşımlarından meydana gelmiştir. Bu elemanlar çalışmaları esnasında yorulmaya maruz kalırlar, akabinde hasar ve kırılmalar meydana gelir. Yorulma sebebi ile meydana gelen yüzey çatlakları ani olarak yayılabilir, büyük hasar ve kırılmalar meydana gelir. Ekonomik kayıplara ve can kaybına neden olabilirler. Çatlak boyutları ve ilerleme tarzı bilinirse daha başlangıçta, dizayn sırasında gerekli önlemler alınabilir [1].

Çatlakların ilerleme davranışlarını belirleyen önemli iki husus vardır; bunlardan birisi uygulanan yük diğeri de ortam etkisidir. Bir malzemede uygulanan yükün çatlak düzlemine göre pozisyonuna bağlı olarak; ayrılma, kayma ve yırtılma şeklinde üç değişik hasar tipi görülebilir. Bunlar bir malzemede ayrı ayrı bulunabildiği gibi birlikte de oluşabilir. Yüzey çatlak ilerlemesi, malzemenin çalıştığı ortama, sıcaklığa ve gerilme durumuna bağlı olarak farklılık gösterir [2].

Uçaklarda ve basınçlı kaplarda sıklıkla görülen hataların başında yüzey çatlakları gelir. Yüzey çatlaklı parçaların kırılma dayanımlarının ve çatlak ilerleme hızlarının tahmininde kesin bir gerilme analizi yapılmalıdır. Bu gibi zorluklar arz eden problemlerin kesin çözümü bulunamadığından yaklaşık metotlar kullanılmaktadır. Browning ve Smith [3], Kobayashi [4], Smith ve Sorensen [5] çekme yükü altında, sonlu kalınlıktaki bir levhada yarı eliptik yüzey çatlağının analizinde alternatif metotlar kullanmışlardır. Kathiresan [6] ise çeşitli çatlak şekilleri için çatlak ucu boyunca Gerilme Şiddet Faktörü (GŞF) değişimlerinin elde edilmesinde sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Çekme yükü altında derin yarı eliptik yüzey çatlaklarının ($a/t=0,8$ $a/c=0,2$) Smith ve Sorensen [5], Kobayashi [4] ve Kathiresan [6] tarafından elde edilen GŞF değerleri arasında %50-100 uyumsuzluk vardır. Bu sonuçlar arasındaki uyumsuzluğun nedeni hala tam anlaşılammıştır.

Yaklaşık analitik yöntemler kullanarak Irwin [7], Paris ve Sih [8] yüzey çatlakları için GŞF bağıntılarını elde etmişlerdir. Her iki ifade arasında çok küçük bir fark bulunmaktadır. Bir levha üzerine uzunluğu $2c$, derinliği a olan yarı eliptik bir çatlak açılmış numuneye uygulanan tekrarlı çekme yükü etkisinde çatlak çevresinde

meydana gelen Mod I GŞF'nü hesap etmişlerdir. Gerilme şiddet faktörlerini veren bu ifadeler baz alınarak çeşitli çalışmalarda magnifikasyon (büyütme) katsayısı eklenmiştir [9]. Nishioka ve arkadaşları da yorulma çatlak ilerleme davranışlarında kullanılmak üzere GŞF'nü veren benzer bir ifade geliştirmişlerdir [2].

Bugüne kadar yüzey çatlakları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen, yüzey çatlakları için en doğru GŞF'nü veren ifade Newman-Raju tarafından tespit edilmiştir [10].

2. Yüzey Çatlaklarının Analizi

Kırılma mekaniğinin en önemli yönü, gerilme altındaki malzemelerde çatlak ve gerilme konsantrasyonunu artırıcı diğer faktörleri göz önüne alarak kırılma problemlerinin incelenmesidir. Makine ve konstrüksiyonlarda kullanılan malzemelerin çoğunda imalat sırasında meydana gelen görülebilir boyutta veya kılcal çatlaklar bulunabilir. Gerilme konsantrasyonu nedeniyle, kullanılan malzemenin akma gerilmesinden daha düşük gerilmelerde de çatlaklar oluşabilir. Yapısında kılcal çatlaklar ve plastik deformasyona uğrayan iri inkulizyon ihtiva eden malzemeler genellikle gevrek kırılma gösterirler [11].

Kırılma mekaniğinin geliştiği dönemlerde çatlak ucu gerilme bölgesi ile ilgili yapılan çalışmaların genellikle üç boyutlu çatlak problemlerini içerdiği dikkati çekmektedir. Servis anında en yaygın olarak kullanılan çatlak tiplerinden biri yüzey çatlaklarıdır. Yüzey çatlakları içeren makine ve yapı elemanlarında çatlak kinetiğinin yani çatlak ilerleme hızı, GŞF ve kırılma dayanımı gibi temel parametrelerin doğru olarak tespit edilmesi gerekir.

Bir levhada yüzey çatlaklarından dolayı oluşan gerilme şiddet faktörleri levhanın kalınlığına, levhanın genişliğine, çatlak derinlik ve uzunluğuna bağlı olduğu gibi, çatlak kenarını süpüren merkez açısına da bağlıdır. Çatlak ilerlemesi hem çatlak boyunca hem de çatlak derinliğince meydana gelmektedir. Çekme yükü altındaki izotropik malzemelerde yarı eliptik bir çatlak, ilerlemesi de yarı eliptik olarak kabul edilmektedir.

Newman ve Raju, üzerinde yarı eliptik yüzey çatlakları bulunan izotropik levhalarda çekme ve eğme yükünün etkisindeki GŞF'nü üç boyutlu sonlu elemanlar

yöntemi ile nodal kuvvet metodundan hesaplamışlardır. Eksenel çekme için K_I GŞF aşağıdaki denklemdeki gibi verilmiştir:

$$K_I = (\sigma_t) \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F\left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \phi\right) \quad (2.1)$$

Şekil 3.1 de görüldüğü gibi, a çatlak derinliği, $2c$ çatlak genişliği, t levha kalınlığı, ϕ parametrik açı olup; σ_t çekme gerilmesi, Q şekil faktörü, $F(a/c, a/t, \phi)$ düzeltme faktörüdür. (1) nolu ifade ile hesaplanan GŞF'nün detayları (Ek.1)' de verilmiştir. Çatlak büyüme hızı Paris Erdoğan eşitliğinden aşağıdaki gibi hesap edilir [8]:

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^n \quad (2.2)$$

Burada da/dN çatlak ilerleme hızı, (ΔK) GŞF değişimi, C ve n malzeme sabitleridir.

3. Deneysel Çalışmalar

Zırlı araçlarda gövde malzemesi olarak kullanılan 3 mm kalınlığında 1/4 hadde sertliği verilmiş (H32) ve stabilize edilmiş 5086 Al-Mg alaşımlı levhaların mekanik özellikleri incelendi. ASTM A 370 standartlarına uygun olarak çekme deney numuneleri hazırlandı. SÜ Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan MTS üniversal çekme cihazında 0,18 1/s çekme hızında, oda sıcaklığında yapılan çekme deneyi sonucunda $E= 69$ GPa, kopma uzaması= %12, $\sigma_{ak} = 196$ MPa, $\sigma_{max} = 286$ MPa elde edildi. Malzemenin kimyasal yapısına bakıldı. Bulunan değerler Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneye tabi tutulan 5086 Al-Mg alaşımının kimyasal analizi

Si	Mn	Fe	Mg	Cr	Cu	Al
0,080	0,45	0,24	3,51	0,088	0,065	kalan

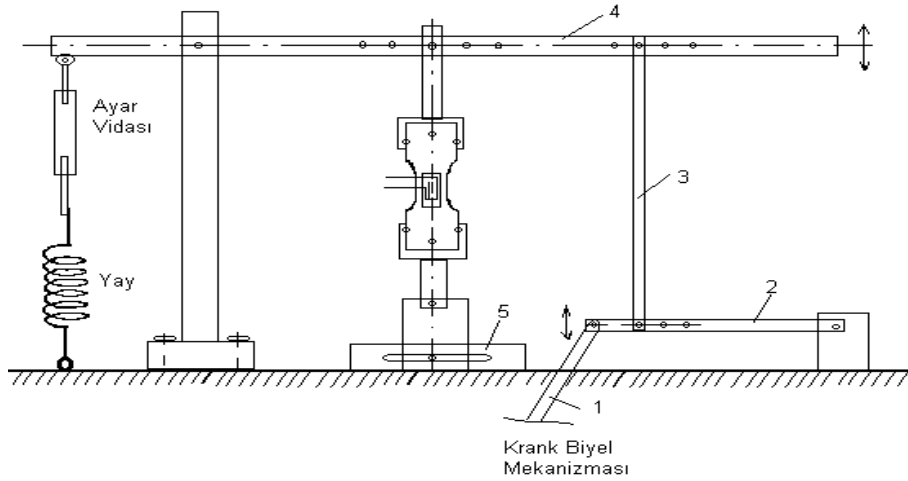
Şekil 3.1 da görüldüğü gibi, ASTM E740 standartlarına uygun olarak yorulma numuneleri hazırlandı. Açılacak olan eliptik çatlakların a/c , a/t oranlarına bağlı olarak W ve l_0 boyutları hesaplandı ve bir tablo haline getirildi. Elektro-

erozyon tezgahında çatlakların açılabilmesi için; daha önceden belirlenen a/c ve a/t oranlarına göre boyutları hesaplanmış ve imal edilmiş 3 mm kalınlıktaki bakırdan yapılmış uçlar kullanıldı.

Şekil 3.1 Eliptik çatlak açılmış eksenel yorulma numunesi

Deney Düzeneği:

Eksenel gerilmeli yorulma deney düzeneği Şekil 3.2 'de gösterildiği gibi tasarlanmış ve imal edilmiştir.



Şekil 3.2 Eksenel yorulma cihazı

Çekme gerilmesi, kontrollü olarak zaman içinde sıfır ile maksimum arasında değiştirilerek gerilme oranı $R=0$ alındı. Max. gerilme, kullanılan malzemenin akma sınırının yarısı olarak uygulandı. 5086 Al-Mg alaşımı malzemede, deneye tabi tutulan yorulma numunesinin boyu L_0 , 750 mm ve 3x20 mm levha kesiti için $\sigma_{max} =$

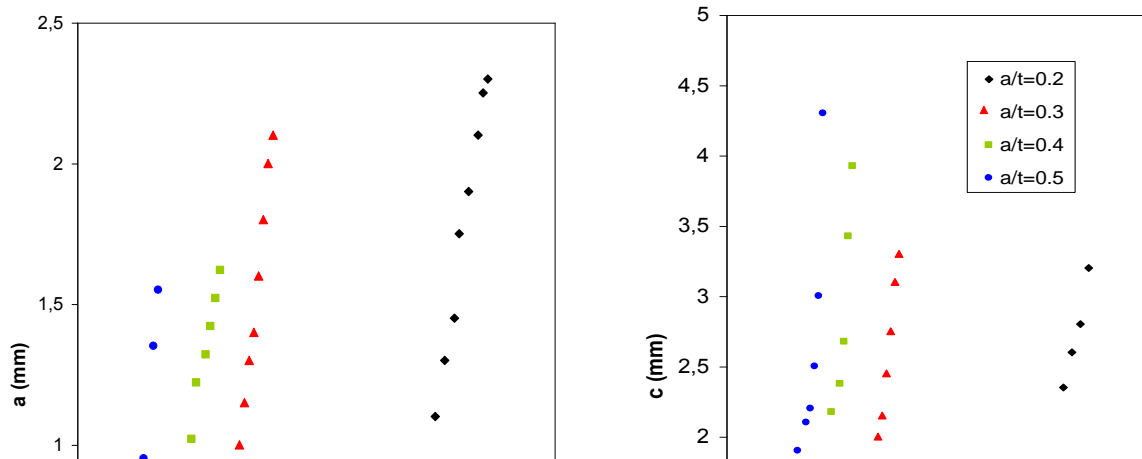
$0,5*\sigma_{akma} = 98$ MPa alınmıştır. Ele alınacak örneğe göre kuvvet değişimi, yük uygulama ve kontrol ünitesi ile sağlandı. Numune üzerine yapıştırılan strain-gage ile uzama miktarından uygulanan kuvvet bulundu. Osiloskop aracılığı ile verilen sinüsoidal gerilme dalgası gözlemlendi. Ayrıca endikatörden alınan voltaj değişimi bir I/Q kart aracılığı ile dijital forma sokularak PC bilgisayara aktarıldı.

EDM’de açılan eliptik çentik ucunda tam bir yorulma çatlaklığı oluşturuldu. Başlangıç çatlaklığı boyama tekniği ile belirlendi ve boyu (2c) ölçüldü. Numune kırılıncaya kadar belirli aralıklarla penetran boya emdirme yöntemi ile yüzeyde ölçülen değerlerin derinlikte hangi değere ulaştığı tespit edilir. Kırılma işlemi sonuçlandıktan sonra optik komparatör yardımıyla 0.005 hassasiyette kırık yüzeyin derinliğine ilerleme miktarı renk ayırımından faydalanılarak tespit edilir.

4. Deney Sonuçları ve Tartışma

Eliptik yüzey çatlaklığı K_I değerleri Newman-Raju denkleminden faydalanılarak bir program yazılmak sureti ile a/c , a/t ve ϕ ye bağlı olarak hesaplandı. Burada sadece bir numune için düzenlenen tablo örnek olarak verildi. a/c ve a/t oranlarına bağlı olarak diğer numuneler için de aynı durum tekrar edildi. Tablolar düzenlendi. a/c oranı sabit tutularak a/t artırılırsa; deney sonucunda çevrim sayısına bağlı olarak yüzeyde ve derinliğine çatlak ilerlemesinin değişimi Şekil 4.1’deki gibi elde edildi.

$a/c=0.5$ ve $a/t=0.5$ olması durumunda malzemenin yüzeyinde çatlak ilerlemesinin en düşük çevrim sayısında olduğu a/t oranı azaldıkça çevrim sayısının arttığı görülmektedir. Derinliğine ilerleme durumu içinde aynı durum söz konusudur. a/t oranı arttıkça çevrim sayısında bir azalma olmaktadır. Doğal olarak a/t arttığı zaman derinliğine açılmış çatlak boyutu artmakta, numune malzemenin üzerinde açılmış çatlaklığın GŞF değeri büyümekte ve daha az çevrim sayılarında kırılma mümkün olmaktadır.



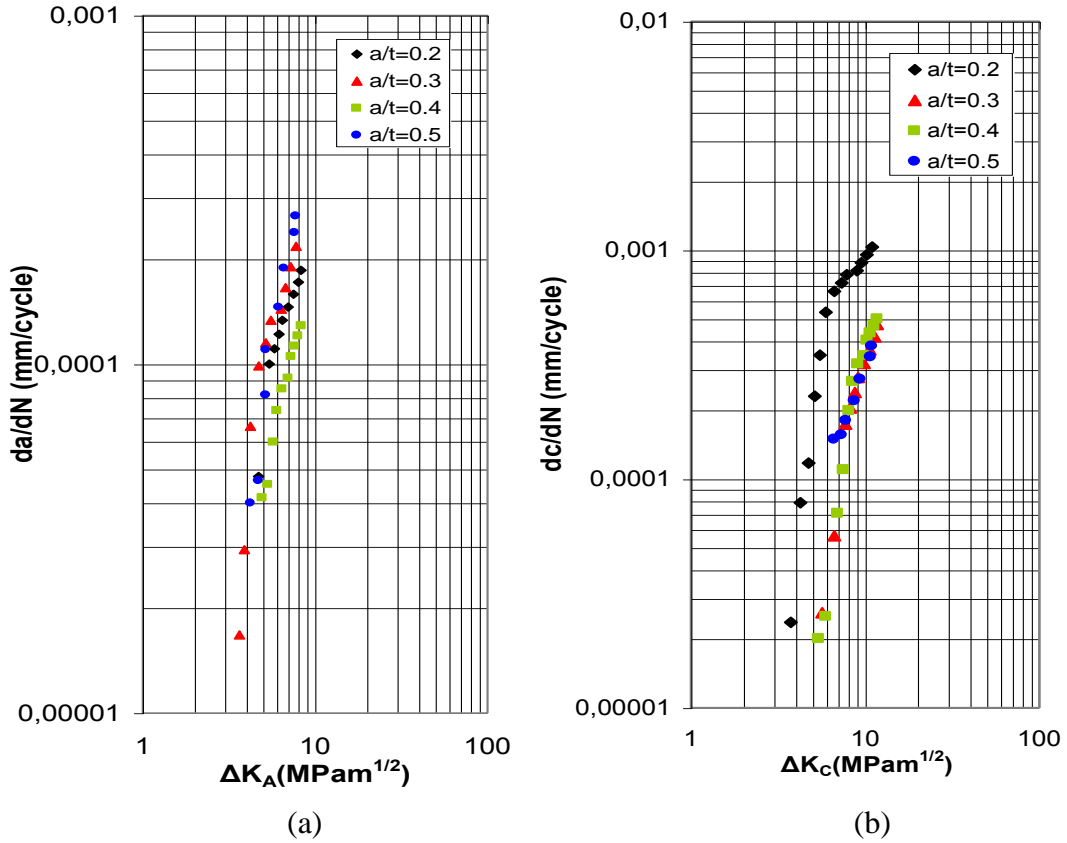
(a)

(b)

Şekil 4.1 a/c sabit tutularak a/t değiştirildiğinde çatlak ilerlemesinin çevrim sayısına bağlı değişimini veren grafikler a. derinliğine ilerleme ($\phi=90^0$ 'de) b. Yüzeydeki ilerleme ($\phi=0^0$ 'de)

Farklı a/c=0,5 ve a/t= 0.2-0.3-0.4-0.5 oranlarında yüzey çatlağı açılan numunelerin deneyleri sırasında yüzeyde, deney sonucunda ise derinlik doğrultusunda çatlak boyları ölçülerek; eliptik yüzey çatlağının ilerleme hızları hesaplandı. Bunlar bağlı olarak gerilme şiddet faktörleri hesaplandı. Yorulma çatlak ilerleme hızı-GŞF (da/dN- ΔK) grafikleri çizildi. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi; genel olarak ilerleme hızları birbirine yakın olarak bulundu. Yüzeydeki ilerleme hızı ($\phi=0^0$) derinliğine ($\phi=90^0$) ilerleme hızından daha yüksektir.

GŞF derinliğine ilerlemede 2-8 MPa \sqrt{m} arasında iken, yüzeyde 3-11 MPa \sqrt{m} arasında değişmektedir. Bu da yüzeydeki ilerlemenin derinliğine ilerlemeden yüksek olmasını açıklamaktadır. (Şekil 4.2).



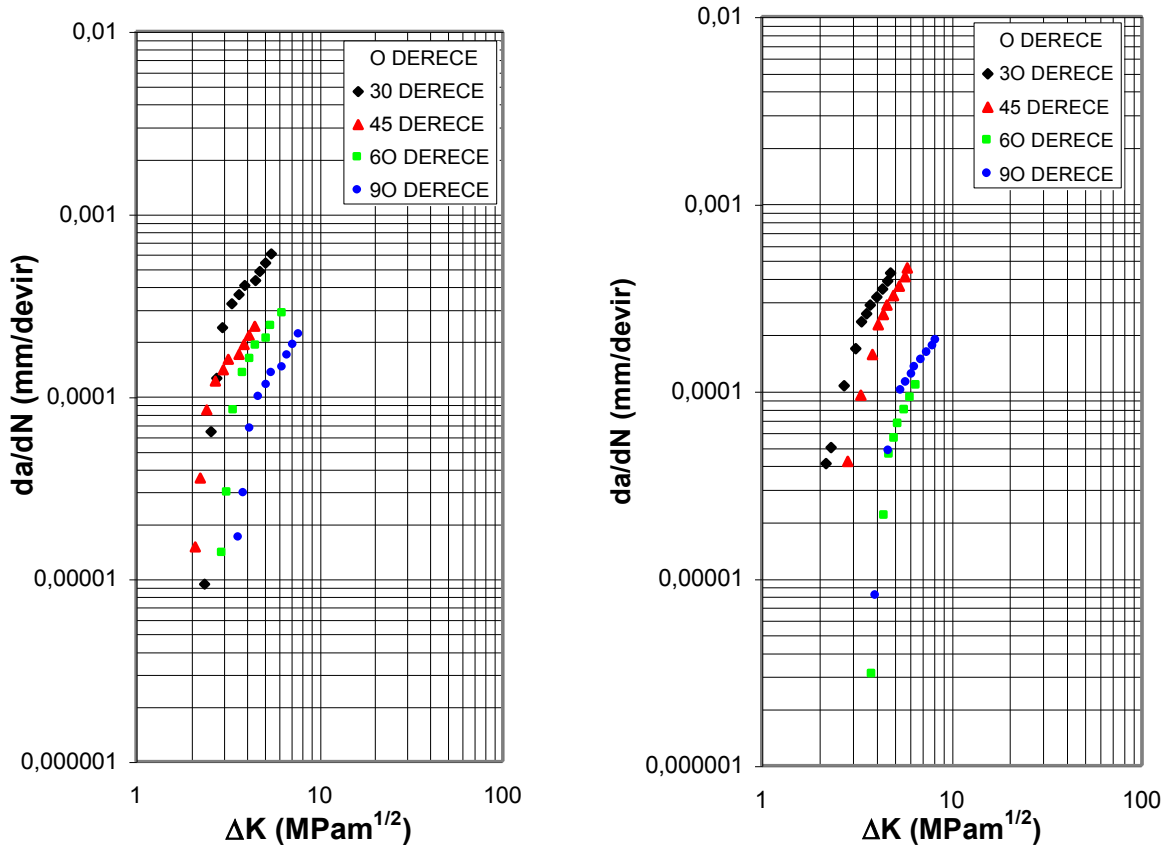
Şekil 4.2 Yüzey çatlaklarının derinliğine ve yüzeyde ilerleme hızlarının GŞF ile değişimi a- derinliğine ilerleme ($\phi=90^0$) b. yüzeydeki ilerleme ($\phi=0^0$)’de

Şekil 4.3’te görüleceği gibi, farklı a/c ve a/t ($a/c= 0.2-0.6$ $a/t= 0.2-0.5$) oranlarında ve farklı parametrik açılarda (0^0 , 90^0) eliptik yüzey çatlaklarının ilerleme hızları ve gerilme şiddet faktörleri bulunarak grafikleri çizildi. Şekil 4.3’te $a/c=0.5$ ve $a/t=0.5$ için çizilen grafiklerden (Şekil 4.3.a) görüldüğü gibi genel olarak en düşük ilerleme hızı sıfır derecededir. Daha sonraki açılarda ilerleme hızları artan sırada 90^0 , 60^0 , 45^0 , 30^0 ‘dir. Bu da çatlak ilerleme hızına bağlı olarak çatlak formunun ne şekilde ilerlediği konusunda bize bilgi vermektedir. SEM fotoğraflarından da çatlak formunun ne şekilde ilerlediği ve çatlakın ilerlemesinin hangi doğrultularda ve ne şekilde olduğunu görmek mümkündür. Çatlakın kırılma yönü ve mikro yorulma çatlakları parametrik açı yönünde olmaktadır. (Şekil 4.4).

Li ve Jin yapmış olduğu çalışmada 5083 Al-Mg malzemede ve bu malzemeye farklı oranlarda SiC katarak kompozit malzeme oluşturmak suretiyle deneyler yapmıştır. Kompakt çekme numuneleri hazırlayarak 25 Hz de yorulmaya tabi tutmuş

ve ilerleme hızı ile GŞF değerlerini tespit etmiştir. Katkısız 5083 Al-Mg malzemenin çatlak ilerleme hızının $da/dN=1.10^{-6}$ ile 1.10^{-3} mm/devir arasında GŞF'nün de $\Delta K=3$ ile $12 \text{ MPa}\sqrt{m}$ arasında değiştiğini deneysel olarak bulmuştur [12].

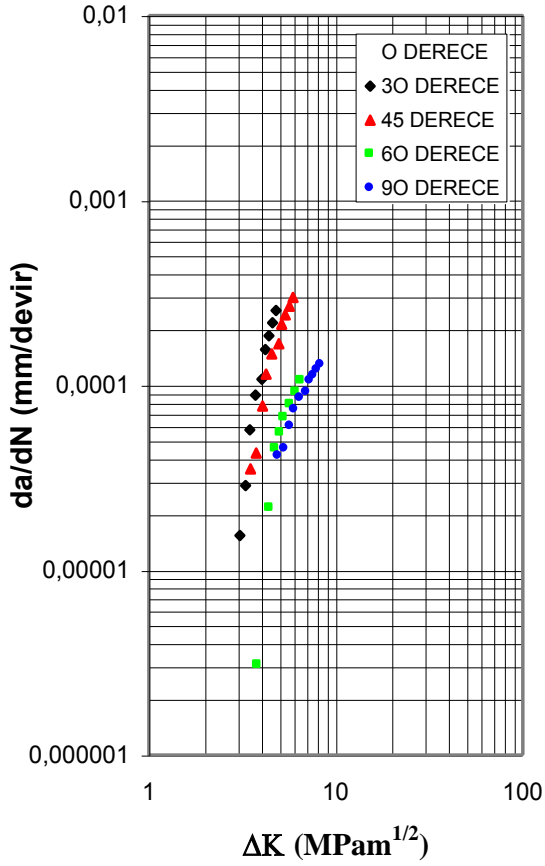
Yaptığımız çalışmada deneye tabi tutulan malzemenin yüzeydeki 0^0 çatlak ilerleme hızı $da/dN=1.10^{-4}$ - 1.10^{-2} mm/devir ve GŞF $\Delta K=4$ - $12 \text{ MPa}\sqrt{m}$ 'dir. 90^0 'deki $da/dN=1.10^{-5}$ - 1.10^{-2} mm/devir ve $\Delta K=3$ - $11 \text{ MPa}\sqrt{m}$ olarak bulunmuştur.



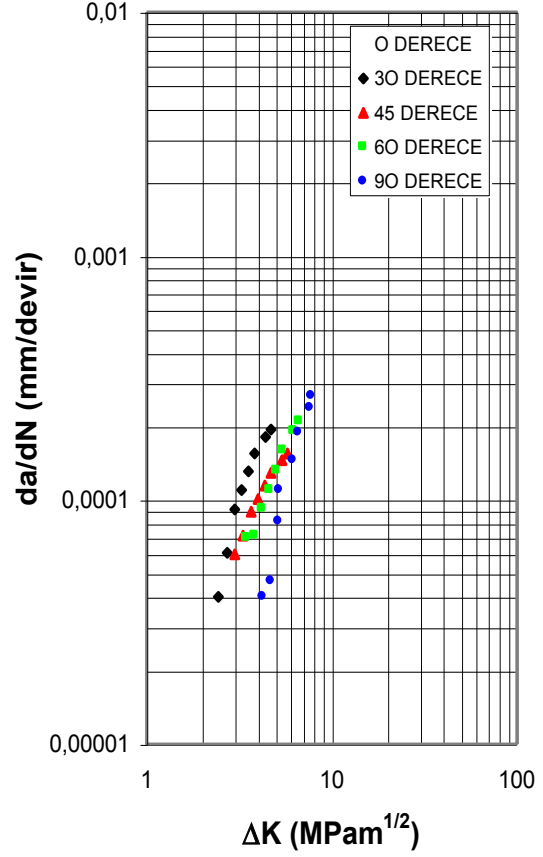
(a)

(b)

Şekil 4.3 $a/c=0.5$ sabit (a)- $a/t=0.2$, (b)- $a/t=0.3$, için eliptik yüzey çatağı ilerleme hızı (da/dN) ve GŞF (ΔK) değişim grafiği



(c)



(d)

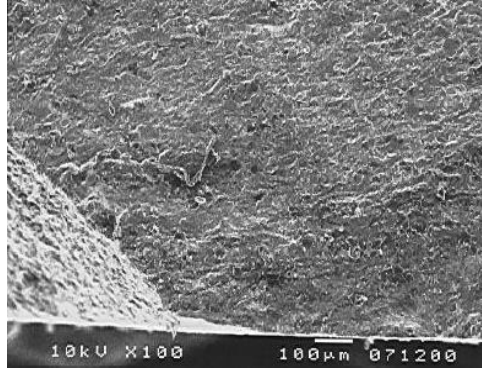
Şekil 4.3 a/c=0.5 sabit (c) a/t=0.4, (d)- a/t=0,5 için eliptik yüzey çatağı ilerleme hızı (da/dN) ve GŞF (ΔK) değişim grafiği

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi derinliğine ilerlemesi a/t=0.2 ve 0.3' de, çatlak önce içeriye doğru ilerlemekte yaklaşık yarı dairesel hale geldikten sonra yüzeyde ilerleme hızlı bir şekilde artmaktadır. a/t oranının 0.4 ve 0.5 olduğu durumlarda ise çatlakın ilerlemesi derinliğine ve yüzeyde benzer olarak ilerlemektedir. ϕ parametrik açıya bağlı olarak en yüksek ilerleme hızı $\phi=30^0$ 'de tespit edilmiştir. En düşük ilerleme hızı ise $\phi=0^0$ 'de bulunmuştur. Parametrik açı $\phi=30^0$ 'den $\phi=90^0$ 'ye giderken çatlaktaki ilerleme hızı düşmektedir [13].

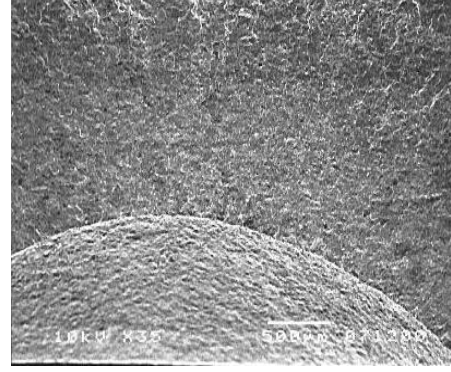
a/c oranı sabit kalmak üzere a/t oranı artırılırsa; her bir a/t oranında parametrik açılarda yapılan incelemede a/t oranının 0,2 ve 0,3 olduğu değerlerde ilerleme hızları sırası ile 30^0 , 45^0 , 0^0 , 60^0 , 90^0 şeklinde a/t oranının 0,4 ve 0,5 olduğu

durumlarda 30^0 , 45^0 , 60^0 , 90^0 , 0^0 şeklinde olmaktadır. GŞF değeri en yüksek olarak $\phi=0^0$ parametrik açının $\phi=90^0$ ye kadar artırılması durumunda ise GŞF değeri artarak devam etmekte, ancak yüzeydeki GŞF değerini geçmemektedir. Bunun sebebi de çok sığ çatlak olması ve yüzeyde verilmiş bulunan H32 temper haddesinden dolayı yüzey sertliğinin soğuk deformasyonla artması ve yüzeyde kalıcı basma gerilmelerinin oluşumudur. Yorulma çatlak başlaması ve ilerlemesinde kalıcı basma gerilmelerinin önemli etkisi bulunduğu, sertlik artışının ise çok etkili olmadığı bilinmektedir. İlerleme hızı en fazla 30^0 daha sonra 45^0 olmaktadır. GŞF büyüdüğü zaman eliptik çatlağın parametrik açılarda ilerlemesi $\phi=30^0$, $\phi=45^0$, $\phi=60^0$, $\phi=90^0$, $\phi=0^0$ şeklinde olmaktadır. Bu, çatlağın ilerleme formunun ne şekilde olduğunu çatlağın ne şekilde ilerlediğini bize göstermektedir.

a/c oranının sabit tutulup a/t oranının artırıldığı durumlarda a/t' nin 0.2 ve 0.3 olduğunda sığ bir eliptik çatlak açılmış olan numunede çatlağın ilerlemesi önce derinliğine eliptik çatlağın ortasında iç kısımlarında bir ilerleme olmakta çatlak yaklaşık yarı eliptik bir duruma geldikten sonra yüzeyde ve derinliğine doğru ilerleme devam etmektedir. Bunun sebebinin yüzeyde H32 sertliğinin olması ve çatlağın sığ olmasıdır. Eliptik çatlağın orta iç kısımlarında fazla olması sebebi ile buradan çatlağın başladığı, gerilme yığılmasının çatlağın her tarafına etki etmesi durumunda derinliğine ve yüzeyde çatlağın ilerlediği tespit edilmiştir. Buradan da malzemenin yüzey sertliği artırılarak çatlağın ilerlemesinin belli GŞF değerlerine kadar durdurulabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 4.4'de kırık yüzeyleri incelendiğinde çatlağın başlangıcında küçük yorulma çatlakları oluşmakta ve çatlakların çentik yüzeyine dik yönde ilerlediği görülmektedir. Şekil 4.4 a'da GŞF'nün büyük olması nedeniyle çatlak ilerlemesinin daha hızlı olduğu çatlak yüzeyinin pürüzlülüğünden anlaşılmaktadır. Çatlağın büyümesi ile GŞF değeri artacağından çatlak yüzeyi daha pürüzlü hal almaktadır. Şekil 4.5.a da düşük K_I değerleri nedeniyle daha düzlemsel bir kırık yüzeyi görülmektedir. Çatlağın ileri aşamalarında Şekil 4.5.a da sol alt köşede görüldüğü gibi statik çekme kırılmasına benzer kopma yüzeyleri görülmüştür [13].

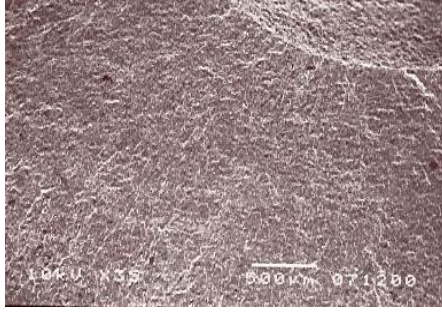


(a)

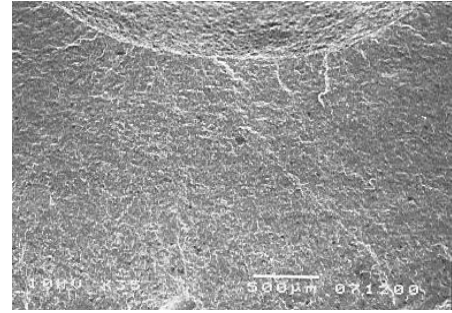


(b)

Şekil 4.4.a, b. $a/c=0.5$ $a/t=0.4$ $K_I(0^0)=5.42-11.79 \text{ MPa}\sqrt{m}$ ve $K_I(90^0)=3.83-7.34 \text{ MPa}\sqrt{m}$ olan numunenin SEM fraktografaları



(a)



(b)

Şekil 4.5.a, b. $a/c=0.5$ $a/t=0.2$ $K_I(0^0)=3.44-10.99 \text{ MPa}\sqrt{m}$ ve $K_I(90^0)=2.43-7.77 \text{ MPa}\sqrt{m}$ olan numunenin SEM fraktografaları

Numunelerde yorulma çatlaklarının levha düzlemine dik doğrultuda başladığı, çatlakların hemen hemen yarı eliptik bir şekil almasından sonra bu şekli koruyarak ilerlediği belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Eliptik yüzey çatlaklı 5086 Al-Mg alaşımının aksenal çekme yorulması altında, 10 Hz frekansta, $R=0$ gerilme oranında, $a/c=0.2-0.6$ ve $a/t=0.2-0.5$ aralığında yapılan deneyler sonucunda çatlak ilerleme davranışları ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1- a/c oranı sabit kalmak üzere a/t'nin artışıyla; numune üzerindeki eliptik çatlak daha düşük çevrimlerde kırılmaktadır.
- 2- a/c oranı sabit kalmak üzere a/t artırılırsa; eliptik çatlağın yüzeydeki ilerleme hızı derinliğine (90^0) ilerleme hızından yüksektir. GŞF derinliğine ilerlemede $2-8 \text{ MPa}\sqrt{m}$ arasında iken yüzeyde $3-15 \text{ MPa}\sqrt{m}$ arasında değişmektedir. Malzemenin yorulma katsayıları $C=1.10^{-6}$ ve $n=3,048$ olarak bulunmuştur.
- 3- a/c oranı sabit kalmak üzere a/t oranı artırılırsa; her bir a/t oranında GŞF değerleri açısal olarak büyükten küçüğe sırası ile 0^0 , 90^0 , 60^0 , 45^0 , 30^0 de elde edilmektedir.
- 4- a/c oranı sabit kalmak üzere a/t oranının 0.2 ve 0.3 olduğu değerlerde ilerleme hızlarındaki azalma sırası ile 30^0 , 45^0 , 0^0 , 60^0 , 90^0 şeklinde a/t oranının 0.4 ve 0.5 olduğu durumlarda 30^0 , 45^0 , 60^0 , 90^0 , 0^0 şeklinde elde edilmiştir. Bunun nedeni temper haddesiyle malzeme yüzeyinde yeterli derinlik ve büyüklükte kalıcı basma gerilmelerinin oluşumudur. Dolayısıyla yüzeyde gerçek GŞF değerleri daha düşük değerler almaktadır. Kalıcı basma gerilmelerinin hesaba katılmasıyla daha gerçek sonuçlar elde edilir.
- 5- Sığ çatlak açılmış numunelerde çatlak oluşumu 90^0 de başlayıp, çatlak yaklaşık yarı eliptik duruma geldikten sonra yüzeyde ve derinliğine devam etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Raju, I.S., Newman, J.C., Stress-Intensity Factors for a Wide range of Semielliptical Surface Crack in Finite-Thickness Plates, Engineering Fracture Mechanics, 1992, Vol.11, pp 817-829
- [2] Nishioka, K., Hirakawa, K., Kitaru, I., Fatigue Crack Propagation Behaviour of Various Steels, The Sumitomo Search, 1977, 17 May 1977, pp.39-55
- [3] Browning, W.M., Smith, F.W., An Analysis for Complex Three-dimensional Crack Problems, Developments in Theoretical and Applied Mechanics, 1976, vol. 8, Proc.8 th SECTAM Conf.
- [4] Kobayashi, A.S., Surface Flaws in Plates Bending, Proc. 12 th Annual Meeting of the Soc. Of Engng. Sci, Austin, 1975, Texas

- [5] Smith, F.W., Sorensen, D.R., Mixed mode Stress Intensity Factors for Semi-Elliptical Surface Cracks, 1974, Nasa, Cr-134684.
- [6] Kathiresan, K., Three-dimensional Linear Elastic Fracture Mechanics Analysis by a Displacement Hybrid Finite Element model, Ph.D. Thesis , Georgia Institute of Technology, 1976
- [7] Irwing, G.R., Analysis of Stress and Strains Near the end of Crack Traversing a Plate, Transactions ASME, J. Appl.Mech., 1957, 24
- [8] Paris, P.C. and Sih, G.C., Stress Analysis of cracks, Fracture Toughness Testing and Applications, 1965, ASTM, STP 381, Philadelphia, Pa., 30.
- [9] Kobayashi, A.S. and Moss, W.L., Stress İntensity Magnification Factors For Surface Flawed Tension Plate and Notched Round Tension Bar Proceed. 2.nd Int. Conference on Fracture, Brington, England 13-18 April, pp. 31-45, 1968.
- [10] Newman, J.C.Jr., and Raju, I.S., Analysis of Surface Cracks in Finite Plates Under Tension or Bending Loads, NASA TP 1578, 1979.
- [11] Kayalı, E.S., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ yayınları, 1983.
- [12] LI, K., Jin, B., Yan, D., Effect of SiC particles on Fatigue Crack Propagation in SiC/Al Composites, Composites, Vol.23, pp.54-58, 1991.
- [13] Önal, G., Yüzey Çatlaklı 5086 Al-Mg Alaşımının Yorulma Davranışları, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.

EK-1

Şu zamana kadar en etkili GŞF Newman ve Raju tarafından tespit edilmiştir [12].

$$K_I = (\sigma_t + H \sigma_b) \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F \quad (1)$$

Eğer sadece eğilme zorlanmasına maruz kalınıyorsa $\sigma_t = 0$, eğer sadece çekme ve basma zorlanmasına maruz kalıyorsa $\sigma_b = 0$ olarak alınır.

Burada $a/c < 1$ ise

$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c} \right)^{1.65} \quad (2)$$

olarak ifade edilir ve F ve H fonksiyon değerleri hesaplanır. Sınır düzeltme faktörü çekme ve basma için F eşitliğinden, eğilme için ise F ve H eşitliğinden bulunur.

F fonksiyonu ; a/c , a/t ve ϕ terimleri çift seri polinomları kullanılarak sistematik uygun normal eğriden elde edilir. Buradaki F fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$F = \left[M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right] f_\phi g f_w \quad (3)$$

Bu eşitlikte yer alan diğer ifadeler ise;

$$M_1 = 1.13 - 0.09 \left(\frac{a}{c} \right) \quad (4)$$

$$M_2 = -0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \left(\frac{a}{c} \right)} \quad (5)$$

$$M_3 = 0.5 - \frac{1.00}{0.65 + \left(\frac{a}{c}\right)} + 14 \left(1.00 - \frac{a}{c}\right)^{24} \quad (6)$$

$$g = 1 + \left[0.1 + 0.35 \left(\frac{a}{t}\right)^2\right] (1 - \sin\phi)^2 \quad (7)$$

f_ϕ ; açısıl fonksiyonda verilen eliptik çatlak çözümünden

$$f_\phi = \left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 \cos^2\phi + \sin^2\phi \right]^{1/4} \quad (8)$$

f_w fonksiyonu sonlu genişlik düzeltmesi

$$f_w = \left[\sec\left(\frac{\pi c}{2b} \sqrt{\frac{a}{t}}\right) \right]^{1/2} \quad (9)$$

elde edilir. H fonksiyonu mühendislik kararı ve eğri uydurma ile geliştirilmiş olup aşağıdaki gibidir.

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) \sin^p\phi \quad (10)$$

Burada H_1 , H_2 ve p sırası ile verilmiştir.

$$H_1 = 1 - 0.34 \left(\frac{a}{t}\right) - 0.11 \left(\frac{a}{c}\right) \left(\frac{a}{t}\right) \quad (11)$$

$$H_2 = 1 - G_1 \left(\frac{a}{t}\right) + G_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 \quad (12)$$

$$p = 0.2 + \left(\frac{a}{c}\right) + 0.6\left(\frac{a}{t}\right) \quad (13)$$

H₂ eşitliği için ;

$$G_1 = -1.22 - 1.12\left(\frac{a}{c}\right) \quad (14)$$

$$G_2 = 0.55 - 1.05\left(\frac{a}{c}\right)^{0.75} + 0.47\left(\frac{a}{c}\right)^{1.5} \quad (15)$$

olarak ifade edilir.