



T. C.
Uludağ Üniversitesi
Balıkesir Mühendislik Fakültesi

II. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu

30 - 31 MAYIS 1991

İmalat ve Konstrüksiyon Grubu

AKUSTİK EMİSYON - KIRILMA MEKANİĞİ İLİŞKİSİ

*** A.Naci Otmanbölük
** İrfan Ay
* Sare Gülaç

ÖZET : Akustik Emisyon tekniğinde ve kırılma mekaniğinde kullanılan parametreler vardır. Aralarında ilişki kurmak için çalışmalar yapılmaktadır. Kurulan ilişkiler arasındaki tutarsızlıklar, bu sahada çok çalışma gerekmektedir.

SUMMARY : There are many parameters which are used in Acoustic Emission technique and fracture mechanic. Investigations have been doing to correlate among them. In this subject it is needed work too much because of falsing in correlates with them.

1. GİRİŞ : Kırılma mekaniği tekniklerinin amacı, max. müsaadeedilebilir hata boyutu veren, max. işletme gerilmelerini bulmak, böylece yapılardaki belirsiz ve tehlikeli kırılma riskini minimuma indirmektir. Genellikle işletme gerilmeleri uygulanan yapıya düzensiz yükler (tekrarlı) ya da korozyonlu bir çevre içinde uygulanıyorsa, bu gerilmeler çatlak hızlı bir şekilde büyütmesi için gereken gerilme değerinin altında iken bile, stabil çatlak büyüme mekanizması ile çatlak yaymayı başarır. Her zaman çatlakın başlama ve büyümesini oluşturan pratik şartları iyice bilemiyebiliriz. Bu nedenle yapıda periyodik olarak bir çatlak büyümesinin olup olmayacağını kontrol etmek gerekir. Bu amaçla kullanılan klasik tahribatsız muayene teknikleri (ultrasonik, x ışınları, magnetik roz yöntemi vs.) hatanın tipini, yerini ve boyutunu tesbit ederler. Fakat bu teknikler, incelenen yapının sınırlı bir alanı için geçerlidirler. Çatlama mekanizmasını tanımlayamazlar. Yapının incelenen kısmı, bu yöntemlerde pasif durumdadır. Enerji incelenen malzeme-ye dışarıdan verilir ve sonra malzemenin bu enerjiyi nasıl yayınladığı gözlenir. Karmaşık yapılara uygulamada çeşitli zorluklar doğar. Oysa malzemelerdeki kusurların yayılma

*** Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bornova-İzmir

** Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Balıkesir

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Balıkesir

mekanizmalarının belirlenmesi, hatanın boyutu ve yerinin uzaktan tesbiti arzu edilir. İşte bu durumda, son derece güçlü tahribatsız muayene yöntemi olmaya namzet akustik emisyon tekniği önem kazanır(6).

Akustik emisyon tekniğinde, incelenen yapı pasif durumdan kurtarılmakta, testin etkili bir parçası olmaktadır. Bu teknikte asıl enerji, malzemeye yük uygulayarak verilmekte ve akustik emisyon kaynakları ikincil bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle yapının tümü kontrol edilebilir. Hayli duyarlı bir yöntemdir.

Bu makalede, akustik emisyon tekniğinde ve kırılma mekaniğinde en çok kullanılan parametreler tanımlanarak, aralarındaki ilişkiler incelenmiş ve pratikteki uygulamalarda karşılaşılan tutarsızlıklar sergilenmeye çalışılmıştır.

2. Akustik Emisyon Tekniğindeki kavramlar :

Piezoelektrik seramik ve kurşun zirkonat-titanat genellikle akustik emisyon tekniğinde en çok kullanılan (sensör) algılayıcılardır. Uygun boyuttaki piezoeleman, metal yüzeyine direkt temas edecek tarzda yerleştirilir. Uygun kablo sistemi ile donatılır. Ön amplifikatöre bağlanır. Ön amplifikatör sinyali yeteri kadar yüksek amplitüd'e ve yeteri kadar düşük empedansa sahip kılar. Eğer sinyalin istenen kademe sınırları içersinde olması isteniyorsa, ana amplifikatöre gönderilir. Bu aşamadan sonra sinyal artık işlenmeye hazır hale gelmiştir. Bunun için çeşitli yollar mevcuttur. Bu aşamada tüm işlem proseslerinin temel özelliği, akustik emisyonlar ile mühendislik parametreleri (zaman, gerilme, sıcaklık, basınç, strain vs.) arasındaki ilişkiyi çıkartmaktır(7).

Bu amaçla sinyal ya;

a)- Tek kanal kullanarak, ya da,

b)- Çok kanal kullanarak işleme sokulur(8).

Tek kanallı proseslerde A.E. sinyali , ya önceden belirlenen bir zaman aralığında (emisyon rate) emisyon hızı , ya da tüm test süresi içinde (Total emission count) toplam emisyon sayısı bir eşik seviye değeri üzerinden geçirilerek işlem görür. Tek kanallı proses'lerde sinyal amplitüd değerinin kullanımı sınırlanır. Özellikle akustik emisyonun kaynak tekniğine uygulamalarında kısa zaman aralıklarında elde edilen sinyalin karesi anlamında "Akustik Emisyon enerjisi " ölçümü ya da karekökü anlamında "Akustik Emisyonu sinyal amplitüd'ü " ölçümü , en geçerli parametrelerdir. Biraz daha karışık işlemlerde ise mühendislik parametreleri (T^0 , P , G , ξ , vs.) nin fonksiyonu olarak "amplitüd dağılımı" ya da "enerji dağılımı" kullanılır.

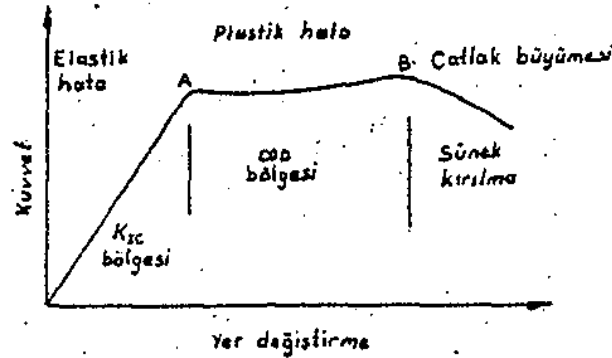
Çok kanallı proseslerde, birden fazla sensör (algılayıcı) kullanılarak malzeme içersindeki hatanın yerini, A.E. dalgalarının ses hızlarını kullanarak ortaya çıkartmak olasıdır. A.E. dalgaları çeşitli yönere dağılırlar. Ulaştığı ilk transducer (sensör) ile diğerlerine varış zamanları arasındaki fark belirlenir. Bu bilgi hata yerinin tesbitinde kullanılır.

3. Kırılma Mekanikğinde en çok kullanılan parametreler :

Lineer elastik kırılma mekaniği, genellikle gevrek malzemelere uygulanır. Değerlendirme terimi olarak (K) gerilim şiddeti faktörü kullanılır. Kural ;

$$\sigma_c = K_{IC} (\pi \cdot a \cdot Q)^{-1/2}$$

formülü ile açıklanacak olursa, çatlak ,gerilim şiddeti faktörü (K),kritik değeri olan (K_{IC})'ye eriştiğinde yayılmaya başlayacaktır. a : yarı çatlak uzunluğu , Q : Geometrik düzeltme faktörüdür. K ve K_{IC} basınçlı kaplar gibi yavaş plastik bölge oluşturarak hata veren durumlarda uygulanamaz. Bunun yerini COD (δ) (Crack Opening Displacement) parametresi alır. COD : çatlak ucunda doğan kütleşmenin bir ölçüsüdür. Bu değer kritik bir (δ_c) değerine ulaştığında, çatlak yayılmaya başlayacağı kabul edilir. Çatlak ucunda plastik bölgenin çok büyük olması halinde bu parametre'de geçersiz kalır. Şekil 1. de kabaca K_{IC} - COD - Aşırı plastiklik ilişkisi gösterilmiştir(9).



Şekil 1. Hata kriteri olarak COD - K_{IC} ve Aşırı plastiklik bölgeleri

4. Akustik Emisyon - Kırılma Mekanikliği ilişkisi için modeller :

Kırılma olaylarının büyük ekseriyeti, elasto-plastik bölgede cereyan eder. Plastik akma esnasında çatlak büyür, ucundaki bölge plastik olarak deforme olurken bu bölgeyi itmeye başlar, akma daha da ilerlerken, çapraz kısımlarda mikroçatlaklar oluşur. İşte bu esnada oluşan akustik emisyon modelini kurmak eğitici ve öğretici olabilir.

a)- (K) Gerilim şiddeti faktörü ile ilgili model :

Bu konuda Palme, Dunegan ve Yung adlı araştırmacıların çalışmaları incelendiğinde emisyon orijinlerinin elasto-plastik saha olduğunu görürüz(9). Toplam akustik sayısı (N) , plastik bölge lineer boyutu (s) alınır ; iki parametre arasındaki ilişkinin;

$$N = D \cdot s$$

olacak şekilde orantılı olduğu kabul edilmiştir. Bu ifadede ; D : Mikroyapıya, sıcaklığa ve deformasyon hızına bağlı bir sabittir. Dugdale, bu lineer boyut(s)' i merkezi çatlığa sahip geniş bir plakanın tek eksen yönünde çekilmesi halinde ;

$$s = c \cdot \left[\text{Sec} \left(\sigma \cdot \pi / 2 \sigma_1 \right) - 1 \right]$$

ifadesi ile göstermiştir (9). Burada ;

- c : Yarı çatlak uzunluğu
- σ : Uygulanan gerilme
- σ_1 : Akma gerilmesi

(s) in değerini yerine koyar yazarsak ;

$$N = D \cdot c \left[\text{Sec} \left(\sigma \cdot \pi / 2 \sigma_1 \right) - 1 \right]$$

olur. Bu denklemin eğrisi, logaritmik temel üzerine çizilirse;

$$N = \sigma^m$$

denklemini ile yaklaşık uyuşabilir. Araştırmacılar m = 2-8 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Her iki denklemin sonuçlarının tamamen uyumlu olduğu söylenebilir.

Lineer Kırılma Mekaniğinde kırılma gerilmesi ;

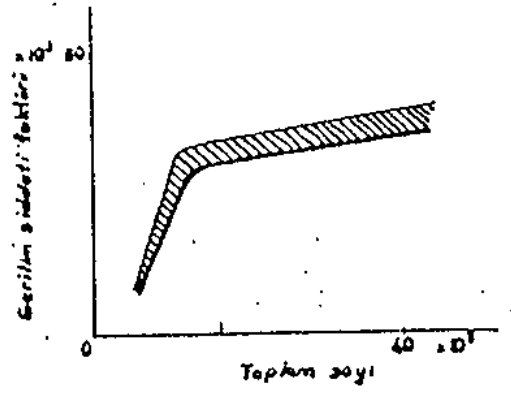
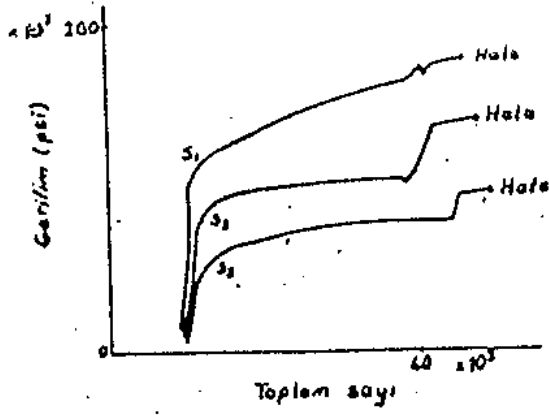
$$\sigma_f = (2/\pi) \cdot \sigma_1 \cdot \text{sec}^{-1} \exp \left(\pi \cdot K_{IC}^2 / 8 \sigma_1^2 \cdot c \right) \quad \text{olduğundan}$$

$$N_f = D \cdot c \left[\exp \left(\pi \cdot K_{IC}^2 / 8 \sigma_1^2 \cdot c \right) - 1 \right]$$

olduğunu Palmer ve Heald 1973 yılında bulmuşlardır. Her iki denklem küçük gerilme sınırlarında ;

$$N_f = D \cdot \pi K_{IC}^2 / 8 \cdot \sigma_1 \quad \text{'e indirgenir.}$$

Şekil 2. de farklı çatlak boylarına sahip, vakumda ergitilmiş karbon çeliği numuneleri üzerinde denenmiş, Toplam A.E.sayıları - Gerilme ilişkisi ve K_{IC} ilişkisi gösterilmiştir. Eğrilerin incelenmesinden, s_1, s_2, s_3 ile gösterilen σ_{ak} değerlerinin hemen akabinde hızla arttıkları, K_{IC} ile ilişkisinde ise, çatlak boyutundan bağımsız kritik bölgede hızla arttığı görülmektedir.



Şekil 2. A.E.sayıları ile gerilim arasındaki ilişki

A.E.toplam sayıları ile gerilim şiddeti arasındaki ilişki

Gerilim şiddeti faktörü (K) ile A.E. sayısı (N) arasında diğer bir ilişki Dune gan tarafından ;

$$N = D \cdot K^4$$

şeklinde 2.ci bir model olarak ifade edilmiştir. Ve bu ifade ilk ifadenin karesi anlamında değildir.

b)- COD (Crack Opening Displacement) ile ilgili model :

Kırılma mekanizmasının önemli parametrelerinden olan COD ile A.E. arasındaki ilişkiyi gösteren çalışmalara Aril et al , Mirabile ve Palmer adlı araştırmacılar katılmışlardır. COD'un çatlak uzunluğu (a) , plastik bölge boyutu (s) ile ilgili Bilby et al tarafından geliştirilen ifadesi ;

$$\delta = \left[4 (1-\nu) \sigma_1 \cdot a / \pi G \right] \ln \left[1 + (s/a) \right] \quad \text{şeklindedir.}$$

Burada G : Kayma modülü, ν : Poisson oranı'dır. Yine $N = D \cdot s$ kabulünü yaparsak;

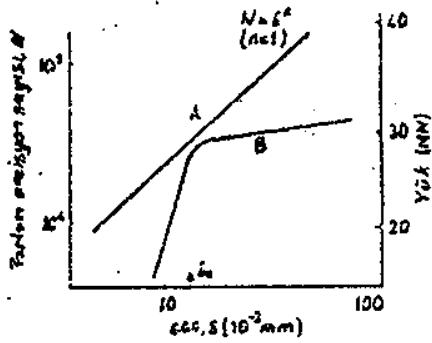
$$N = D \cdot a \left\{ \exp(\pi \cdot G \cdot \delta / 4(1-\nu) \cdot \sigma_1 \cdot a) - 1 \right\}$$

yazılır. Küçük üstel değerler için ;

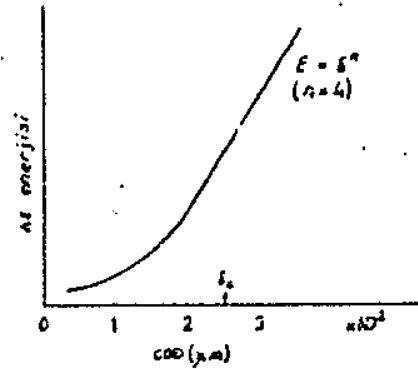
$$N = D \cdot (\pi \cdot G \cdot \delta / 4(1-\nu) \sigma_1$$

yazılır(9).

Şekil 3. te Palmer et al tarafından (C-Mn) basınçlı kaplarda kullanılan bir çelik için COD - (N) ve COD - Yük eğrisi çizilmiştir. Bu sonuç Bentley'in aynı çelikte yaptığı araştırma ile uyuşurken, Mirabile'in aynı malzemeden elde ettiği sonuçla çelişmektedir. (Bak şekil 4). Değişik malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarda kurulan formül'ün üstel değerleri tablo 1 de verilmiştir. Görülen tutarsızlıkların bu sahada çok çalışma gereğini sergilemektedir.



Şekil 3. Toplam Akustik Emisyon sayısı ile COD ilişkisi çizilmiştir.



Şekil 4. C-Mn çeliğinde COD-AE enerjisi ilişkisi (Mirabile).

Tablo 1. $N = b.δ^n$ ilişkisinde değişik malzemeler için n değerleri

| Kaynak | Çelik cinsi | Çentik tipi | n |
|--------------|-------------|--------------|------|
| Arii et al | Düşük C'lu | makinala | 2,15 |
| | | kıvılcımla | 0,97 |
| | Q \$ T | makinala | 1,89 |
| | | kıvılcımla | 3,48 |
| | Yüksek C'lu | makinala | 6,0 |
| Palmer et al | C - Mn | Ön yorulmalı | 1,0 |
| Mirabile | C - Mn | Ön yorulmalı | 4,0 |

5. SONUÇ

1. Özellikle basınçlı kapların işletme şartlarında denenmesinde A.E.'lerin sünek çatlak büyümesi esnasında doğdukları ortaya konmuştur.
2. Laboratuvarlardaki deneme testlerinde ve oda sıcaklığında A.E.'lerin (σ_{ak})'ya kadar boşaldıkları gözlenmiştir.
3. Akustik Emisyon parametreleri ile kırılma mekaniği parametreleri arasında kurulmaya çalışılan matematiksel modellerin henüz tam oturmamış olduğu, daha fazal çalışma gerektiği, ayrıca ;
4. Akustik Emisyonun, malzemenin hangi olayı (dislokasyon hareketi, faz değişimi, curuf kalıntısı vs.) sonucu ortaya çıktığının tam olarak betirlenmesi için deneyimli araştırmacılara ihtiyaç gösterdiği söylenebilir.

K A Y N A K Ç A

1. Aril m.Kashiwaya H. " Engineering Fracture Mechanic" Vol 7. pp 551 , 1975.
Yanuki T.
2. Mirabile M. " Proc.Conf. Fracture Mechanics" Hong Kong 1977 .
3. Palmer I.G. " Material Science Eng." Vol. 1. pp 227-236 1973.
4. Bartle P. " Final Report ECSC project 7210 GA8803 , 1979.
5. Bentley P. " Acoustic Emission and Pressure Vessel Failure, Inst.Mech. Engineers (London) Conf ". Public 8. 1974.
6. Doruk M.Alanyalıoğlu A. "Kırılma konferansı (2.Ulusa)) 1987".
7. Swindlehurst W. "Acoustic Emission -I Introduction" NDT , 1973.
8. Tatro C.A. " A welder's introduction to Acoustic Emission Technology".
9. Williams R.V, " Acoustic Emission related to Metallurgical effects" Acoustic Emission 1980.