



BAÜ BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK
FAKÜLTESİ DERGİSİ

**JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING ARCHITECTURE
OF BALIKESİR UNIVERSITY**

1995/1

Balıkesir - Mayıs 1995

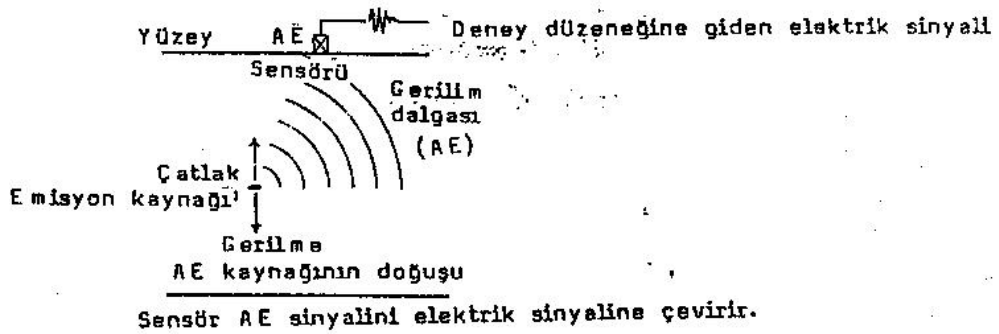
AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİNİN SENSÖRLERİ, STANDART - LARI VE UYGULAMA ALANLARI

** İrfan AY
* Sare ÇELİK

ÖZET : Akustik emisyon, çok hassas tahribatsız muayene yöntemidir. En önemli özelliği, yapının bütünü üzerinde gerçek şartlarda testin yapılabilmesidir. A.E. yönteminin değişik uygulama yerleri için KOD ve STANDARTLAR'ı belirlenmiştir. Ayrıca basınçlı kab ve tank'larda, kompozit malzemelerde ve yorulmanın izlenmesi gibi uygulama yerlerinde A.E kullanımının kazançları, sensörleri, yükleme şartları, deney düzeneklerinin kurulup çalıştırılması ve veri analizleri üzerinde durulmuştur.

SUMMARY : A.E is a susceptible NDT technique. The most important characterisation of A.E can be applied of test on structural integrity in real condition. Codes and Standards are described for different application areas of A.E. In this paper, it has been investigated sensors, loading the structure, instrumentation and capabilities and benefits in testing metal vessels and tanks, composite structures and fatigue monitoring.

1. GİRİŞ : Hemen hemen tüm malzemeler bünyelerinde hata verecek kadar yüklenip gerildikleri zaman akustik emisyon yada ses çıkartırlar. A.E gerçek zamanlı bir tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntem, çatlakların büyümesi sırasında, mikroyapı değişikliğinden ortaya çıkan geçici gerilme dalgalarını kullanır. Bu sayede hata olup olmadığı, hatanın yeri ve yapının bütünündeki kusurlar hakkında bir fikir sahibi oluruz. Şekil 1, A.E üreten kaynak ve sensörlerin bu akustik sinyalleri elektrik sinyallerine nasıl dönüştürdüğünü göstermektedir.



Şekil 1. Akustik Emisyon için temel diyagram.

** Yrd.Doç.Dr. Balıkesir Üniversitesi - Müh .Mim . Fak .Balıkesir.
* Arş Gör. Balıkesir Üniversitesi - Müh .Mim . Fak. Balıkesir.

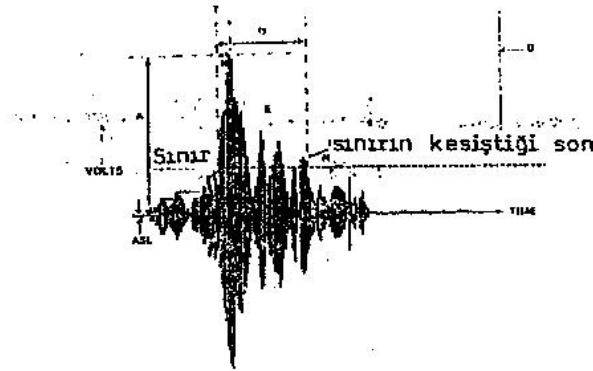
A.E , uzay parçalarının, dolun tanklarının, boruların ve kompozit parçaların çatlaklı yerlerinden,çatlakların büyümelerinden ve çeşitli deformasyon mekanizmaları esnasında ortaya çıkar.Burada asıl maharet, gerçek uygulamalara bu tekniği kusursuz adapte edebilmektir.

2. AKUSTİK EMİSYONUN TEMEL PRENSİPLERİ VE PARAMETRELERİ

A.E; malzemede mikroyapı değişimleri olduğu zaman strain (deformasyon) enerjisindeki hızlı boşalma sonucu doğan geçici gerilme dalgasıdır.Mühendislik malzemelerinde A.E kaynakları ;

- Mikro çatlaklar/çatlak büyümeleri
- Akma olayı/dislokasyon kayma bandları
- İkiz teşekkül etmesi
- Yapısal dönüşümler (martenzitik)
- İnklüzyon kırılmaları
- Lifli kırılma ve ayrılmaları (Kompozitlerde)
- Matrix çatlamları
- Tabaka tabaka ayrılmalar

dır. Bu gerilim dalgaları genellikle piezoelektrik sensör (algılayıcı) lerle algılanırlar.Sensör bu dalgaları elektrik sinyaline dönüştürürler.Şekil 2 'ye bakarsak;



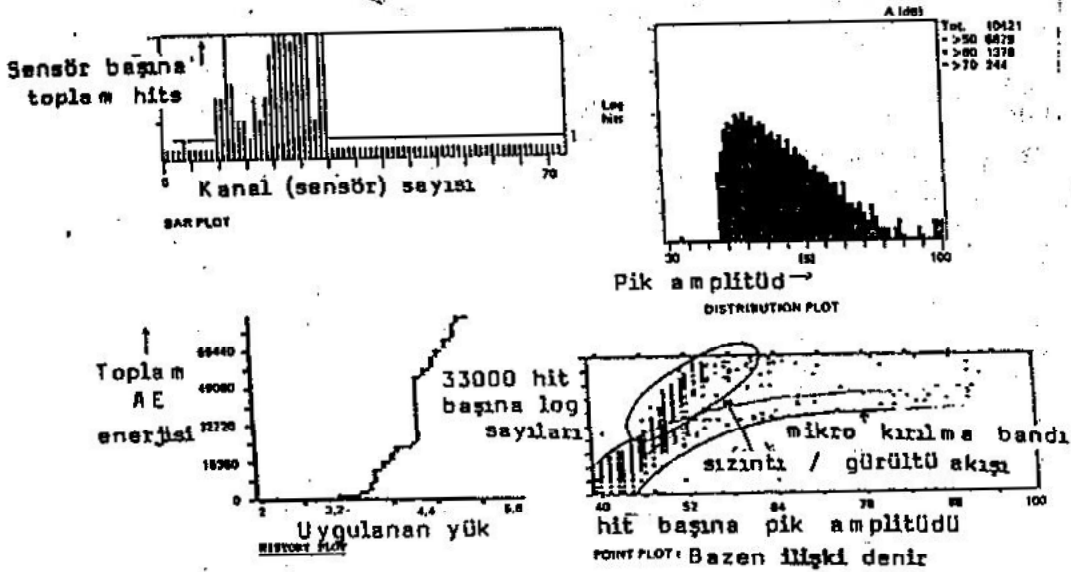
- T : Varış zamanı (mikrosaniyeler)
- A : Zirve amplitüd (Sensör kristalinde 1 mikrovolt'a dB karşılığı)
- R : Yükselme zamanı (mikrosaniyeler)
- D : Sona erme zamanı (mikrosaniyeler)
- E : Enerji (Dalga şekli altındaki amplitüd ağırlıklı alan)
- N : Counts (Sayılar) (Threshold kesitinin pozitif sayıları)

Şekil 2. Tek Akustik Emisyon geçici dalgası - Ölçülebilen parametreler (idealize edilmiş çok açık dalga formu).

A.E'nun geçici bir dalga olduğunu görürüz.Yalnızca birkaç mikrosaniye içerisinde oluşupta ortaya çıkan tek geçici gerilme dalgasına event adını veriyoruz.Bu event'lar rastgele oluşurlar, ölçülmeleri ve ortaya iyice çıkartılabilmeleri için özel düzenek gerekir(Bazen saniyede binlercesi olur).

Şekil 2 'de A.E'nu tanımlayacak parametreler görülmektedir.Test edilecek yapı üzerinde pek çok sensör kullanılır.Event birden fazla sensörle ortaya çıkabilir(4).Herbir sensörde ortaya çıkan şey hit adını alır.Yalnızca hit'ler bir düzencele ortaya çıkartılıp ölçülebilir.Istenirse dalgaların varış zamanı ile amplitüdlerinin kıyaslanması yapılarak event kaynaklarının orijinal yerini belirtmede hit'lerle aralarında ilişki kurmak olasıdır.

Her zaman yapılan A.E uygulamalarında (örneğin fiber glass tank testleri gibi) yalnızca özel parametreler (amplitüd, hits ve counts'lar) kullanılır.Genelde A.E'nun tek ve en iyi ölçümü enerjisidir.Fakat bu enerjili etkili bir şekilde ölçmek çok zordur.Zira A.E, çok geniş dinamik bir alan üzerinde ortaya çıkmaktadır.(Dislokasyon bandı ve gevrek çatlak büyümesi arasında event başına enerjideki farklılık, büyüklüğün 10 katını aşabilir).Ölçülebilecek en basit A.E parametresi counts (sayı'lar) dır.Şekil 3 te genel A.E yöntemi değerlendirme eğrileri görülmektedir.Toplam sayı (total counts) ;Tüm hit'lerin toplanması anlamında, count



Şekil 3. Genel A.E yöntemi değerlendirme eğrileri.

rate (sayı hızı) ; birim zamandaki sayı yada birim gerilim artışındaki sayı anlaşılır. Ayrıca eldeki verilerle history plot (Geçmiş değerlendirme eğrisi) ; uygulanan yük'e karşılık toplam A.E enerjisi eğrisi çizdirilebilir. Yada Dağılım eğrisi (Hits'lerin log. na karşılık tepe amplitüdüleri arasında), Point plot (Sayı eğrisi); hit başına log sayıları ile hit başına tepe amplitüdüleri arasında) ve bar plot; Çubuk eğrisi ; sensör başına toplam hit'ler ile sensör sayısı arasında) eğrileri çizdirilebilir. Bu eğriler hata'nın yeri ve özelliği hakkında bilgi vermek için kullanılır. (bak şekil 3).

A.E testinin bir özelliği de yapının bütününe uygulanabilmesi, tersinir olmamasıdır. Yani belli bir yük seviyesinde bir hata kaynağından A.E neşrettiği zaman bu test geri alınıp tekrarlanamaz. Bir diğer özelliği de test verilerinin depolanıp, çok hızlı bir şekilde değerlendirmeye sokulabilmesidir.

3. SENSÖRLER

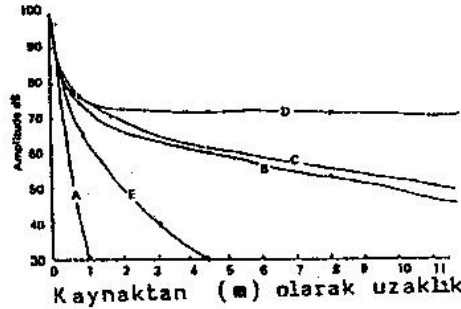
3.1 Sensör seçimi :

Sensör seçiminde sensörü hangi faktörlerin etkilediğini bilerek seçmek gerekir. Yanlış bir seçim, başarısız bir uygulamanın habercisidir. Laboratuvar uygulamalarının dışında, genellikle piezoelektrik sensörler kullanılır. Sensörleri şu aşağıdaki parametreler etkiler.

a)- Frekans : Bir A.E kaynağından dağılan emisyonun frekansı geniş bir band içerisinde Hz 'den Mhz mertebesine kadar yayılır. En uygun sensörün çalışma frekansı seçimini ;

- a 1)- Artan mesafe ile A.E'nun zayıflaması,
- a 2)- Çevredeki gürültü

etkiler. Bunun dışında cidar kalınlığı, sertlik, kaplama ve yüzey işlemleri gibi değişmeler de frekansı etkiler. Şurası bir gerçektir ki, hata kaynağı mesafesi uzadıkça frekanslar düşer. Şekil 4'te farklı frekanslarda test objeleri için zayıflama eğrileri görülmektedir. Bu durum kompozit malzemelerde, metallerinkinden daha da fazladır



- A = Karbon lifli kompozit - 150 kHz
- B = Çelik basınçlı kab (inç kalınlığında) - 150 kHz
- C = Çelik boru (0,8 m çapında) , 60 kHz
- D = Çelik boru (0,8 m çapında) - 30 kHz
- E = GRP kompozit malzeme - 60 kHz

Şekil 4 . Farklı frekans ve yapılarıdaki geçici sinyallerin zayıflama eğrileri.

150 kHz'lık frekans bölgesi içinde hata yeri birkaç metre mesafede olabilir. Pratik uygulamalarda 150 kHz'lık frekanslar kullanılır. Ancak çevre gürültüsü bu frekansı bastırırsa o zaman 500 kHz' yada 800 kHz'lık yüksek frekanslar tatbik edilir. Düşük frekans kullanımı 5kHz-70 kHz gibi büyük mesafeler içindir. Örneğin boru hatlarında böyle bir test için 30 kHz'de yaklaşık 100 m mesafeden hata yeri test edilebilir. Tabii ki gürültü analiz edilerek kontrol altına alınmalıdır.

b)- Elektromagnetik gürültüden muaf olma (EMI)

Şayet bağlantı kabloları mükemmel olursa, toprak loop'ları da olmazsa elektromagnetik diye bir problem olmaz. Ancak, gerçek uygulamalarda bu kablolar istenmeyen sinyalleri alarak problem olurlar. EMI için en hassas kısım sensör ile ön amplifikatör arasındaki kısa kablo (1-2m)'dur. Bu problemi ortadan kaldırmak için ön amplifikatör minyatür hale sokulmuş olup, sensör muhafazasına yerleştirilmiştir. Böylece problemsiz tek bir 50 'luk BNC güç/sinyal kablosu ile 1 km uzunluğa kadar güvenilir mesajlar verilebilir.

c)- Boyut :

Küçük test numuneleri üzerinde çalışılmak istendiği zaman, küçük boyutlu sensör seçilecek ve ayrı bir ön amplifikatör kullanılacaktır. Son zamanlarda 20 dB'lik tam elektronik bir sensör 40 dB'likten daha küçük boyuttadır. Daha da küçük boyut isteniyorsa, o zaman hassasiyetten fedakarlık gerekecektir. Küçük boyutlu sensörler yüksek çalışma frekanslarında çalışırlar.

d)- Sıcaklık :

Amplifikatörlerle birlikte olan sensörlerin sıcaklık aralığı (- 40°C ila +80°C) arasındadır. 20 dB'lik amplifikatörler için sıcaklık 115°C'dir. Ön amplifikatörleri ayrı olarak kullanılan piezoelektrik sensörler, negatif sıcaklıklarda +220°C'ye kadar çalışabilirler. Bu sıcaklık aralıklarının daha da dışında çalışılacaksa daha az hassas olmasına göz yumulması gerekir. Kablolar ve yapıştırıcılar problem yaratır. Kablo hassasiyetini artırmak için kabloların kısa tutulması gerekir.

3.2 Sensörlerin montesi :

A.E sensörleri, tıpkı ultrasonik çatlak dedektörlerinin sensörlerinde olduğu gibi, parçaya akustik olarak birleşme ihtiyacındadırlar. A.E sensörleri tek konumda kalırlar. Oysa ultrasonik çatlak dedektör sensörleri farklı konumlarda gezinirler. Bu nedenle yüksek viskozlu sabit birleşme gereklidir. Sıcaklık önemlidir. İstenen sıcaklığın üzerinde de çalışılacak bir birleşme olmalıdır. Birleşmenin kısa yada uzun ömürlü olmasına göre yapıştırıcılar seçilmelidir. Birleşmenin yağmurdan, sudan etkilenmemesi gerekir.

Genellikle birleştirme yüzeyleri kir, nem, pulcuk ve boyalardan temizlenmelidir. Magnetiklik sözkonusu olursa, magnetik toplayıcı konmalıdır. Ayrıca boru ve PVC musluklarının etrafı sarılabilir.

4. AKUSTİK EMİSYON KOD(CODE) VE STANDARTLARI

A.E'nun pek çok farklı uygulama yerleri için kod ve standartlar geliştirilmiştir(3).

4.1)- Uçaklar,helikopterler ve yük taşıyan uzay araçları için ASTM F 914-85

Bu standart, bahsedilen araçlardaki hem kompozit hem de metalik malzemelerin A.E'la nasıl test edileceğinden bahseder.16 değişik yere sensör yapıştırılabilir.Test edilen parça test yüküne kadar yüklenip elde edilen verilerle, hata kaynağı tesbit edilebilir.

4.2)- Fiber-Glas'tan yapılmış depolama tankları ve basınçlı kab'lar için ASTM 1067 - 85

Bu standart, fiber takviyeli plastik reçine ile imal edilmiş depolama tanklarının ve kab'larının A.E testi için pratik kullanım kurallarını açıklar (ASME BC - 83 - 16 'da aynı uygulamayı kapsar).Bu testte sensörler en gerilmeli kısma yapıştırılarak hata kaynağını ortaya çıkartırlar.Bu standartta işlemler sıra dahilinde yapılır.1982 yılında SPI KOD'u yayınlanmadan önce binlerce tank ve basınçlı kab test edilerek çok geniş bir veri elde edilmiştir.Bu verilerin sonucunda standartlar oluşturulmuştur.Bu standartın uygulanması için düşük fiatlı,portatif çok kanallı, hızlı çalışan cihazlar geliştirilmiştir.

4.3)- Özel basınçlı kab'ların testi

ASME'nin 1968 yılında buhar kazanı ve basınçlı kab'ların hidrolik testindeki radyografi testi yerine kullanılacak olan A.E kod'u, Mayıs 1985'te onaylanarak kullanıma müsaade edilmiştir.Bu uygulamadaki A.E sistemi, çok kanallı, komputer esaslı, hata yerini ve kaynağını tesbit edici şekildedir.

4.4)- Gaz silindirleri için (US DOT NO: DOT - E _8944)

Bu standart, Amerika'daki gaz dağıtıcısı durumundaki LINDE şirketinin normal dolum işlemleri ve söküm işlemleri esnasında periyodik olarak yaptığı A.E testlerinden elde edilen veriler üzerine oluşturulmuştur.Bu testin esası,yorulma çatlaklarının bulunmasında A.E etkisini gösteren kırılma mekanığı analizinin özel uygulaması ile birlikte pek çok veri eldesine dayanır.Testin dikkatle izlenmesi DOT'la yapılır.

4.5)- Nokta direnç kaynağının izlenmesi/kontrolü. (ASTM E 751 - 80)

Bu standart, nokta direnç kaynağının yapılışı esnasında A.E' larının açıklanması, işlevin ölçülmesi ile ilgili bölgeleri kapsar.Ayrıca istenmiyen durumların nasıl elimine edileceği de açıklanmaktadır (1).

4.6)- ASME CODE BC 85 - 033

Bu kod, 1986 yılında taslak halinden uygulamaya geçirilmiştir. Basınçlı kab'larla ilgili sensör yerlerinin konumlarını, kılavuzluk konularını içerir.A.E verilerinin cihaz özelliklerine uygun olup olmadığını da kapsar.

5. AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ UYGULAMALARI

5.1 Metal kab ve tank'larının test edilmesi

Depolama amacıyla, soğutma amacıyla kullanılan basınçlı metal kab ve tankların hacimlerinin tamamı hakkında birkaç sensörle test edilebilmesi çok önemli bir olaydır.Örnek vermek gerekirse, 12 000 ton'luk bir tank 64 sensörle

24 saat gibi bir zaman diliminde A.E'la test edilebilir (3).

5.1.1 Sensör'lerin yerleştirilmesi ve deney düzeneğinin kurulması

Basınçlı kab ve tankların A.E testinde ön amplifikatörlü 150 kHz frekansı alabilen sensörler kullanılır.Sensörler test edilecek kısmın üzerine yerleştirilir. Önceden sensörün konacağı mesafe-amplitüd ikilisi değerlendirilir.Sensörün yerleştirileceği yer belirlenir.Basınçlı kab ve tanklarda, max. sensör yerleştirme mesafesi 3 - 8 m arasındadır.

5.1.2 Metal kab ve tank'ların yüklenmesi

Depolama tankları %50 nisbetinde doldurulur.Yapının durumuna bağlı olarak bu iş saatler, günler alabilir.Basınçlı kablarda gerçek max. işletme basıncının % 110'una denk gelecek şekilde yüklenirler.Bu yükleme % 90 nisbetinde başlayarak kademe kademe devam eder.Emniyet için basınç düşürücü valf'lerin kullanma zorunluluğu vardır.

5.1.3 Verilerin analiz edilmesi

Yüzlerce kart verileri alınır.Bu veriler çoğunlukla ferritik ve ostenitik alaşımları, alüminyum, zirkonyum ve daha çeşitli ilginç malzemeleri kapsar. Elde edilen veriler, harici tesirlerden uzak, gerçek değerlerdir.Gittikçe artan gerilme ile yapıların gösterdiği davranış ve A.E enerjisine göre farklı farklı yerlerdeki hata-kusur yerleri yoğun ve koyu kart işlemlerinden ZIP (Zonal Intensity Plot) adı verilen diyagramdan anlaşılacak hale gelir.Tek dezavantaj, hatanın gerilme korozyonu, gevrek çatlama ve paslanma sonucu meydana gelip gelmediğinin belirlenememesidir.

5.2 Kompozit Yapıların Test Edilmesi

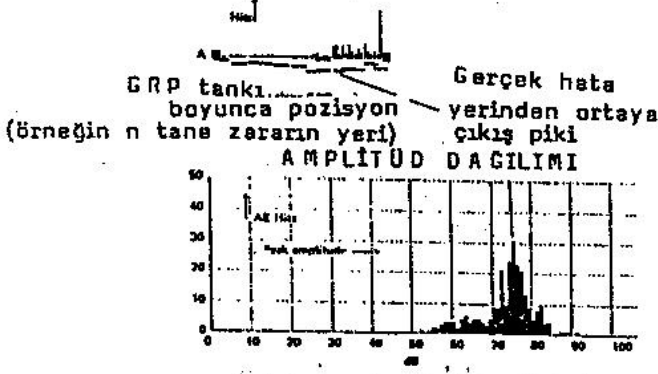
Kompozitler zarar gördükleri zaman bol miktarda A.E enerjisi neşrederler. Kompozitlerdeki A.E kaynakları matrix boyunca çatlama, lif çözümleri vs'dir. Bunların çoğu laboratuvarlarda ileri A.E sistemleri kullanılarak şekil 5 a,b'deki gibi belirlenebilir. Yada testler daha da geliştirilerek kusurun başlangıcı şekil 6 daki gibi belirlenebilir.

5.2.1 Sensörlerin yerleştirilmesi

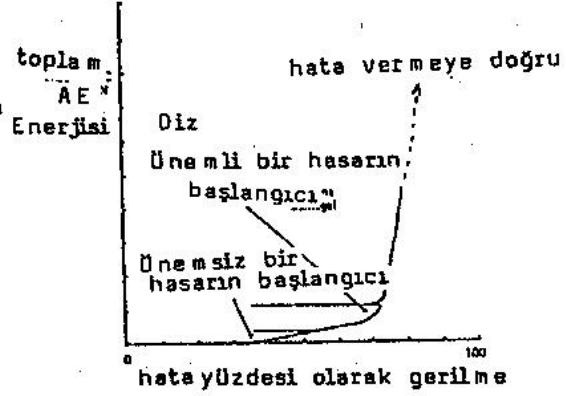
Metallerle kıyaslandığında tek fark, daha küçük alana daha fazla 150 kHz lik sensörlerin yerleştirilebilmesidir.Ayrıca, 60 kHz sensörler de çok kullanılır. Yüksek gerilme alanlarında yüksek frekanslı sensörler yerleştirilir.Şekil 7 de GRP tankları üzerine A.E sensörlerinin yerleştirilmesi görülmektedir. Şekil 8'de ise A.E testi için kullanılan 16 kanallı portatif bir cihaz görülmektedir.

5.2.2 Kompozit yapıların yüklenmesi

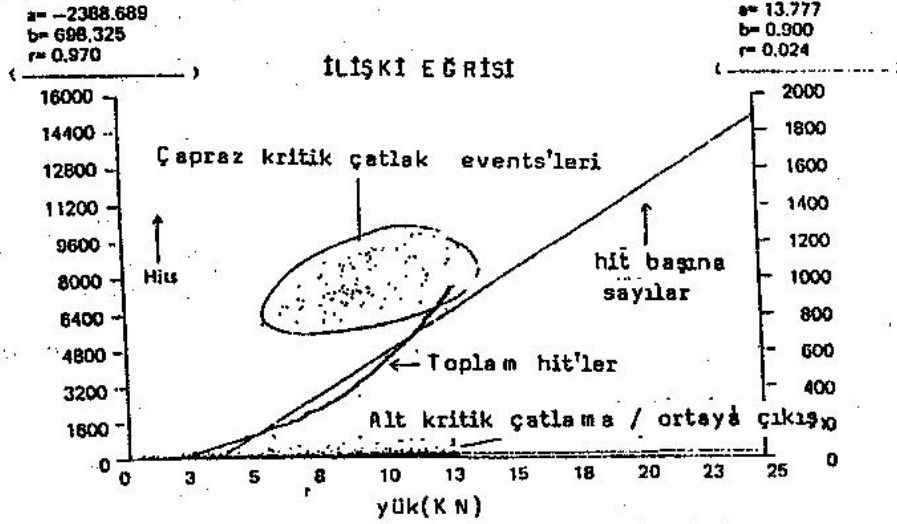
Metallere benzemeyen kompozit malzemeler gerçek max. işletme gerilmesi üzerinde yüklenemezler.Yüklenirse yapı zarar görebilir.Örnek olarak GRP tankları içlerinde akışkan barındırıyorsa % 100'ü doldurulur.A.E ; hem yükleme esnasında hem de belli periyotlardan sonra değerlendirilir.



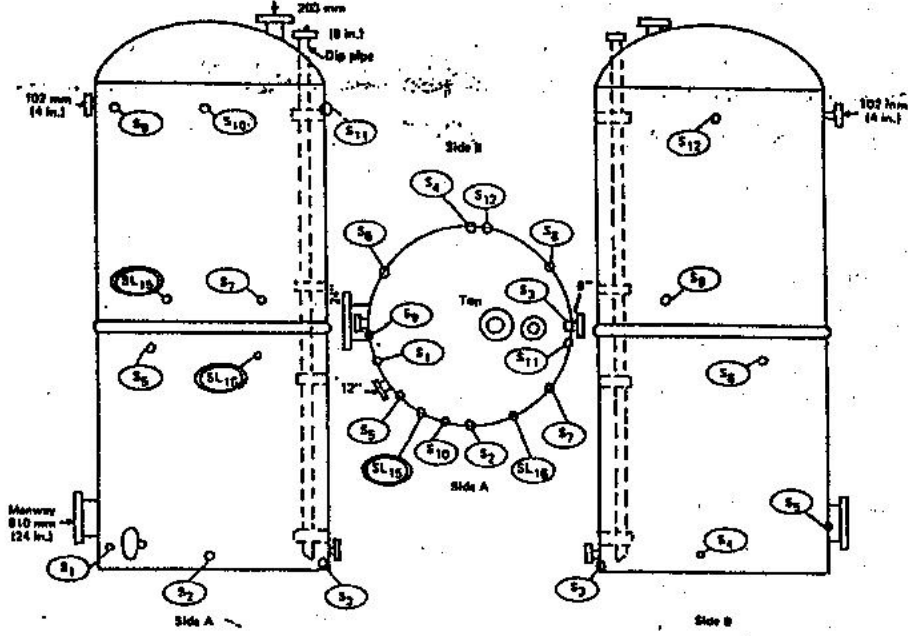
Şekil 5 a GRP çeki testinde hatanın belirlenmesi.



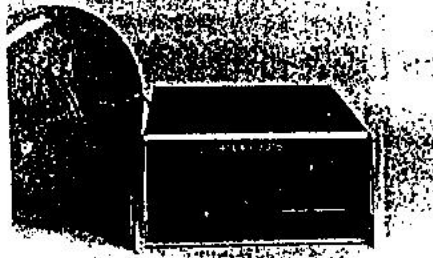
Şekil 5 b Kompozitlerin A.E 'la test edilmesi.



Şekil 5 b . Bir GRP numunesinin bu çeki testindeki hata mekanizmalarının A.E tarafından açıkça ayrılması.



Şekil 7. GRP tankında A.E sensörlerinin yerleşimi için klavuz.(SPI/CARP kod'undan)



Şekil 8. A.E'le fiber-glass test sistemi için taşınabilir 16 kanallı bir cihaz.

5.2.3 Verilerin analiz edilmesi

Bu malzemelerin testleri sabit kriterlere sahiptir. Şöyle ki;

- Sabit yükte 2 dakikadan sonra bir treshold seviyesi üzerinde hiç A.E bulunmaz.
- Test başlangıcında A.E sayı miktarı, önceden belirlenen sayıdan çok fazla değildir.
- Daha önceden belli bir yüksek referans treshold seviyesi üzerindeki A.E events sayıları belli bir değerden fazla değildir.

Eğer kompozit malzemede ciddi bir problem varsa, uygulanan yük altında bir uyarı verecektir.Örneğin gerilmenin %25-30 gibi bir değerinde uyarı alınır. Uzay araçlarında kullanılan kompozit malzemelerde ise % 50'lik bir gerilme değerinde uyarı alınır.

5.3 Yorulma olayının A.E yöntemiyle izlenmesi

Yorulma testlerinden elde edilen A.E verileri, çatlak büyümesi, çatlağın açılıp kapanması, fretting (aşınma) ve gürültüyü kapsar.A.E ; yorulmanın sürekli monitörden izlenmesinde ideal bir tekniktir.Fakat bunu yapmak kolay değildir(3).

5.3.1 Sensörler

Sensör seçimi, yorulmanın olduğu parçaya bağlıdır.Yorulmanın olduğu bölgeden çıkan ses, dışarıdan gelen sesi ve fretting(aşınmayı) minimize etmek için yüksek frekans sensörlerine ihtiyaç vardır.Örneğin otomatik ve gökyüzünde çalışan helikopter, uçak malzemelerindeki yorulma testlerinde 500-1000 kHz'lik sensörler kullanılır.Sensör yapıştırmak için silikon-lastik esaslı yapıştırıcılar kullanılarak uzun ömür sağlanır.A.E sensör frekansı, tatbik edilen titreşim frekansının iyice üzerinde olduğundan, yorulma testleri 100 Hz frekansta monitörden izlenebilir.Eğer akustik olarak diferansiyel sensörler, yüksek amplitüdü düşük frekanslı titreşimleri uzaklaştırmak maksadıyla kullanılıyorsa, 10 Hz'de 30cm lik yerdeğiştirmeler problem yaratmaz.

5.3.2 Yorulmanın izlenmesindeki özel analiz yöntemleri

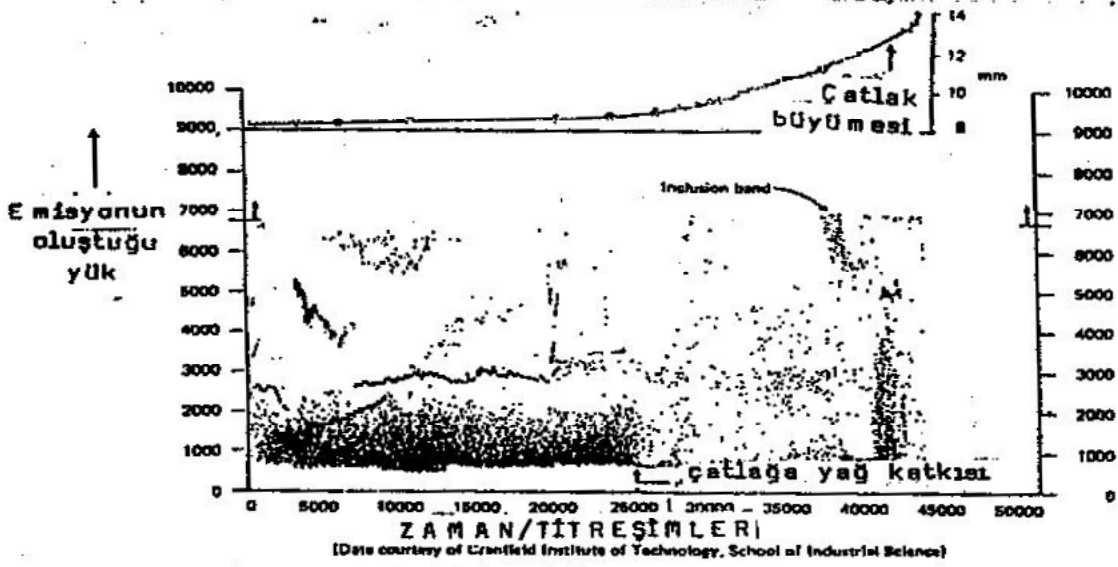
A.E'nun temel analiz yöntemleri, enerji eksenine karşılık zaman, amplitüd dağılımı ve uygun yer gibi parametrelerini esas alır.Fakat yorulmanın izlenmesinde çok faydalı iki yöntem ;

- a)- Parametrik analiz
- b)- Amplitüd - zaman ilişkisi

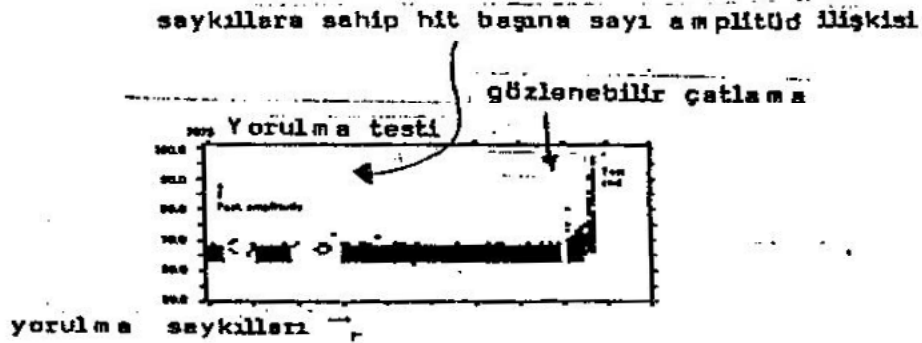
dir.

Parametrik analiz'de A.E'nun oluştuğu yük titreşimlere (zamana) bağlıdır. Bu yük, çatlağın açılıp kapanması anındaki emisyonlar ile ilk çatlak yayılması esnasında çıkan A.E'leri birbirinden ayırır.Şekil 9 parametrik analiz sonuçlarını göstermektedir.Çatlak yüzeylerine ilave yağın etkisiyle, çatlak yüzeyi fretting (aşınma) olan düşük yükteki emisyon kaynağı açıkça görülmektedir.

Şekil 10 ise; Amplitüd-zaman ilişkisinde çatlağın başladığı nokta açıkça göstermektedir.Bu, mevcut çatlaktan temiz A.E verisi almaya da bağlıdır.Diğer bir deyişle harici etkilerin filtreden geçmesi gerekir.



Şekil 9 . Yorulma testinde yük/zaman ilişkisi



Şekil 10 . A.E'la gerçek zamanlı yorulmanın izlenmesi.

6. SONUÇ

A.E çok geniş bir kullanım alanı sergilemeye başlamıştır. Pek çok uygulama için değişik kod ve standartları geliştirilmektedir. A.E , klasik tahribatsız muayene yöntemlerinin aşağıdaki sebeplerden dolayı tamamlayıcısı sayılır.

- a)- A.E , dinamik veya gerçek zamanlı bir olaydır.
- b)- A.E, kusur ve hataların volumetrik olarak uzaktan ortaya çıkışını gösterir.
- c)- A.E, bir yapının bütünü üzerine direkt bilgi verir.
- d)- Çok geniş malzemeler üzerinde çalışılma özelliği vardır.

A.E çok ilginç ve enteresan konuyla hızlı gelişen bir teknolojiye de sahiptir. Bu teknoloji doğru olarak kullanıldığında ileride çok daha anlam dolu sonuçların çıkması sağlanacaktır.

KAYNAKÇA

1. Talro C.A "A welder's introduction to Acoustic Emission Technology".
2. Williams R.V " Acoustic Emission Techniques and systems" pp 5-33 , 1980.
3. Scruty C.B "Quantitative Acoustic Emission Source characterisation "- Acta-Metallurgica vol 29, 1981 , pp 399.
4. Ay İ. Gölçe S. " Akustik Emisyon Yöntemi" II. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu 30-31 Mayıs 1991 , sayfa 79-86.
5. İşçi C. "Metallerde A.E ve faz geçişleri " Doğa bilim dergisi Temel bilim cilt 5, 1981.