

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
LABORATUAR FÖYÜ

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ DENEYİ
(PENETRAN VE ULTRASONİK MUAYENE)

Prof. Dr. Bülent ÖZTÜRK
Arş. Gör. Hamit Ali REİS

EYLÜL 2022
TRABZON

1.GİRİŞ

1.1.TAHRİBATSIZ DENEYLER

Bir malzemenin (veya bir parçanın) kullanımı için gerekli olan özelliklerine zarar verecek ölçüde hasar yapmadan uygulanan muayeneye "Tahribatsız muayene" adı verilir.

Tahribatsız muayene yöntemi ile malzemeler imalat esnasında veya belli bir süre kullandıktan sonra örneğin, korozyon veya aşınma gibi nedenlerden dolayı oluşan çatlak, iç yapıda meydana gelen boşluk, kesit azalması vb. hataların tespiti için ve araştırma -geliştirme çalışmalarında uygulanır. Bu işlemlerde, malzemelerden herhangi bir numune alma ihtiyacı yoktur. Testler doğrudan iş parçası üzerinde yapılır ve böylece parçaların % 100 muayenesi gerçekleştirilebilir.

Tahribatsız deneylerden en yaygın olarak uygulananlar şunlardır:

1.İşlıandırma deneyleri

a) X- Işınları deneyleri

- Radyografi, Radyoskopi

b) Gamına ışınları deneyleri

- Gammagrafi, Gammaskopi

2. Elastik dalga deneyleri

a) Ultrasonik deneyler

b) Sonik deneyler

3. Elektrik ve manyetik deneyler

a)Girdap akımı deneyleri

b)Manyetik toz deneyleri

4. Diğer deneyler

a) Sızdırma ve penetrasyon deneyleri

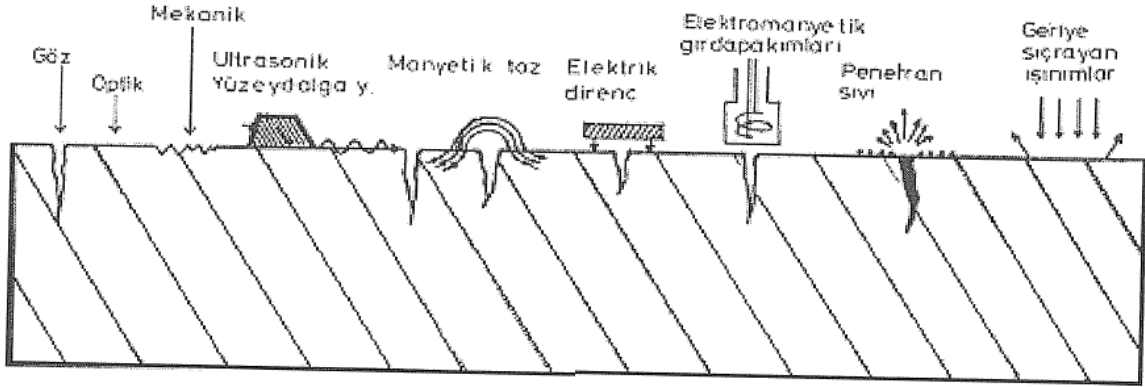
- Penetran sıvı deneyleri
- Basınçlı gaz ve basınçlı sıvı deneyleri

b) Mekanik deneyler (Sertlik, Mikrometri, Streyngeç v.b.)

c) Isıl deneyler (Isıl iletkenlik, Isıya duyarlı boya v.b.)

d) Göz ile muayene

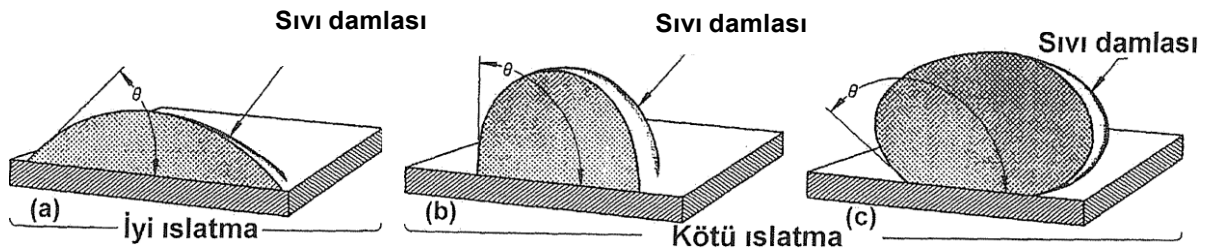
Malzemelerin yüzeyinde bulunan hataların incelenmesi için uygulanan yöntemler Şekil 1'de verilmiştir. Bu deneyin kapsamı içinde en yaygın olarak uygulanan yöntemler olan penetran sıvı ve ultrasonik muayene yöntemleri incelenecektir.



Şekil-1. Yüzeysel hataların incelenmesinde uygulanan tahribatsız muayene deneylerinin şematik gösterimi [1]

2. PENETRAN MUAYENE

Penetran muayenede çatlaklara kolaylıkla girebilen sıvılar kullanılır. Bu tür sıvılar malzeme yüzeyini ıslatırlar. Katı bir yüzey üzerinde serbest halde bulunan sıvı damlacığını oluşturan moleküller arasındaki çekme (kohezyon) kuvvetleri ve sıvı molekülleri ile katı arasındaki adhezyon kuvvetlerinin etkisi altında damla yüzeyi şekillenir..



Şekil-2. Islatma özellikleri sıvı damlası ile katı yüzeyi arasındaki açıyla (ıslatma veya temas açısı) belirlenir (a) Eğer ($0 < 90^\circ$) ise ıslatma iyidir. (b),(c) Eğer ($90 < \theta < 180^\circ$) ise ıslatma kötüdür. [2]

Eğer kohezyon (sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim) kuvveti, adhezyon (sıvı-katı yüzeyi arasındaki çekim) kuvvetinden küçük ise sıvı kılcal boru içerisinde yukarıya doğru yükselir (veya çatlak içine girer). Yukarıdaki şekilde (c) halinde ise kohezyon kuvveti adhezyon kuvvetinden büyük olduğu için sıvı çatlak içine girmez. Penetran muayenede (a) halindeki özelliğe sahip yani incelenen yüzeyi ıslatan sıvı kullanılır. Penetran sıvıların çatlakları kolay görülebilir hale getirebilmesi için genellikle renkli veya floresan (florışıl) özellikte üretilirler.

2.1. Penetran Sıvıda Bulunması İstenen Özellikler

Yukarıda açıklanan ıslatma özelliğinin yanında penetran (girici veya nüfuz edici) sıvıda bulunması istenen özellikler şunlardır.

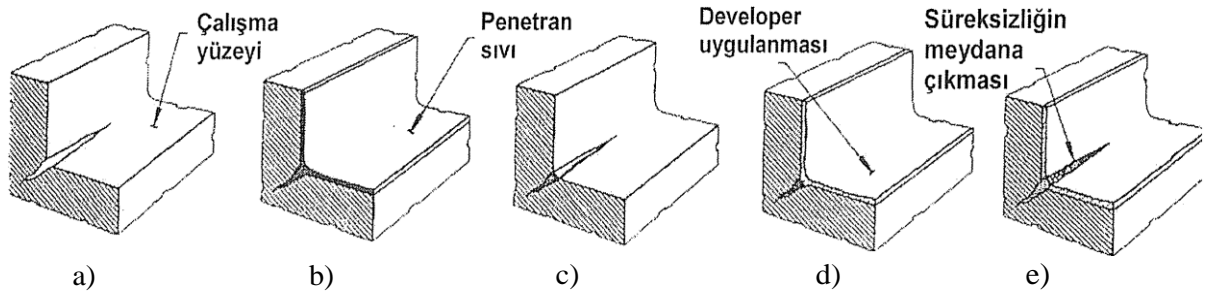
- a. Muayene edilen malzemeyi iyi ıslatmalı
- b. Kimyasal bakımdan kararlı ve üniform bir kıvamda olmalı
- c. Viskozitesi düşük olmalı
- d. Çatlaklara hızlı bir şekilde nüfuz edebilmeli
- e. Zehirsiz olmalı
- f. Parlak ve değişmeyen renkte olmalı
- g. Çabuk kurumamalı
- h. Yüzeiden yıkanması kolay olmalı
- ı. Kötü kokulu olmamalı
- J. Ucuz olmalı
- k. Tutuşma sıcaklığı 60°C nin üzerinde olmalı
- l. Ultraviyole ışık altında veya sıcakta rengini kaybetmemeli

Penetran sıvının çatlğa iyi girebilmesi için:

- a) Parça yüzeyi temiz olmalı
- b) Çatlağın içi temiz olmalı
- c) Çatlağı yüzeye açılan kısmı yeterli büyüklükte olmalı
- d) Penetran sıvı yüzeyi iyi ıslatmalı

2.2. Penetran Muayenenin Uygulanması

Penetran muayenenin uygulama aşamaları Şekil 3 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil-3. Penetran muayenenin uygulanma aşamaları: a) İncelenecek yüzeye ön temizlik uygulanması ve kurutma, b) Penetran sıvının yüzeye dökülerek bir müddet bekleme, c) Çatlak dışında kalan fazla penetranın temizlenmesi, d) Çatlak içindeki penetranı yüzeye çıkaran geliştirici (developer) uygulanması, e) İnceleme[2]

a) Ön Temizlik ve Kurutma: Muayene edilecek parçanın üzerinde bulunan ve ıslatmayı kötü yönde etkileyen yağ, kir vb. gidermek amacıyla muayenenin uygulanacağı

yüzeyin temizlenmesi ve kurutulması gereklidir. Yıkama; koşullara göre su, buhar , kimyasal temizleyici veya ultrasonik temizleme usullerinden herhangi biriyle yapılır.

b) Penetran Sıvının Tatbiki:

Temizlenen yüzeye penetran tatbiki aşağıdaki yöntemlerden herhangi biriyle yapılır.:

- Püskürtme : Aerosol kutularında taşınabilir yerel uygulamalar için
- Akıtma : Sabit tesisler için
- Daldırma : Küçük ebatta parçaların kütle muayeneleri için.

Penetranın developer üzerinde vereceği görüntünün kolay izlenebilmesi için penetrana ıyı kontrast veren boya (kırmızı) veya flouresan boya katılır. Penetranın yüzeye tatbik edilmesinden sonra penetranın yüzey hatalarına nüfuz etmesini sağlayacak sürenin geçmesini beklemek gerekir. Bu süreye penetrasyon süresi denir ve penetran çeşidine göre 5 dakikadan başlayarak 1 saate kadar sürebilir.

c) Temizleme:

Yüzeye tatbik edilen penetranın yüzey hatalarına (giren) nüfuz eden kısmının dışındaki fazla penetranın yüzeyden temizlenmesi işlemidir. Bu temizleme işlemi penetranın cinsine bağlı olarak su veya çözücü (solvent) ile yapılır.

e) Geliştirici (developer) Uygulanması:

Çatlak veya yüzeysel hata içine giren penetranın dışarıya çıkartılarak çatlağın görünür hale getirilmesi için yüzeye uygulanan, çatlaktaki penetranı emerek dışarı çıkartan (gözenekli) maddeye geliştirici (developer) denir. Geliştirici uygulandıktan sonra belirli bir süre beklenir. Bunun uygulaması üç şekilde yapılır.:

1) Doğrudan toz olarak : Muayene edilecek parça yüzeyine toz developer serpilir veya parça akışkan yatak halindeki toz banyoya daldırılır.

2) Su ile uygulama : Developer su içerisinde süspansiyon halindedir ve yüzeye tatbik edildikten sonra kurutmaya ihtiyaç vardır.

3) Solvent He uygulama : Developer solvent içinde çözülmüş haldedir.

f) İnceleme Aşaması:Flouresan olmayan normal boyalı penetran kullanılmış ise normal ışıkta , flouresanlı penetran kullanılmışsa karanlık odada ultraviyole ışık altında inceleme yapılır.

Örnek olarak su ile yıkanabilir penetranla yapılan muayenedeki işlemlerin sırası aşağıda akış diyagramı halinde verilmiştir.

Penetranların su ile yıkanabilmesi çok büyük bir avantaj olmakla birlikte su ile yıkanabilen penetranların giriciliği zayıftır ve sadece kaba muayenelerde kullanılabilir.

Yağlı penetranların uygulanmasında herhangi bir farklılık yoktur. Ancak, post-emulsifiable penetranlar için bir ara kademe vardır. Bu ara kademe , penetrasyon süresinden sonra penetranın su ile yıkanabilir hale getirilmesi gereklidir. Bu işlem püskürtme, akıtma veya daldırma yoluyla emulgatör tatbik edilerek yapılır. Emulgatör penetranla reaksiyona girerek penetranı suda erir hale getirir ve bundan sonra su ile yıkanabilir. Böylece yağlı penetran kullanılarak yüksek giricilik ve su ile kolay yıkanabilirlik sağlanmış olur.

Emulgatörler iki ana-gruba ayrılır :

a..Yağlı Emulgatörler: Penetrana difüzyon yoluyla etki ederler.

b. Sulu Emulgatörler: Penetrana deterjan etki yoluyla işlerler. .

Emulsifikasyon süresi kullanılan kimyasalın türüne bağlı olarak birkaç saniyeden bir kaç dakikaya kadar değişir.

Penetran muayenede kullanılan maddeler kendi içinde bir bütündür ve üretici bir serinin penetranı diğer bir serinin developeri veya emülgatörü ile birlikte kullanılamaz.

2. 3. 3 Temizleyiciler

Temizleyiciler iki esas gruba ayrılırlar.

a. Su

b. Solvent

i. Alevlenebilir Solventler

ii. Alevlenmeyen Solventler

Normal olarak su ile yıkanabilen penetranlardan başka post-emulsifiable penetranlar de emulsifikasyon işleminden sonra su ile, yıkanabilirler. Sadece solventle yıkanabilen penetranları su ile yıkamak mümkün değildir.

Alevlenebilir solventler sıcak koşullar altında tehlikelidirler, fakat alevlenmeyen solventler gibi halojen, içermezler ve toksit değildirler. Alevlenmeyen solventler tam havalandırma sağlanmış veya açık alanlarda kullanılmalıdırlar. Aksi taktirde şiddetli zehirlenmelere sebep olurlar. Temizleyici ve dolayısıyla penetran seçiminde bu kıstas önemle dikkate alınmalıdır.

2.3.4. Geliştiriciler (Developer)

a. Kuru geliştiriciler: Çok ince taneli, pudra şeklinde kuru olarak tatbik edilebilir. Bu tozun solunum sistemine geçmemesi gerekir. Yeterli havalandırma şarttır. Akciğer rahatsızlıkları yapabilir.

b. Sıvı taşıyıcılı geliştiriciler :

- Su içinde askıda (süspansiyon): Bu tür developerlerin sürekli olarak karıştırılması gereklidir. uygulamadan sonra suyun giderilmesi için kurutma sistemine ihtiyaç vardır.

- Su içinde erimiş durumda: Karıştırılma sorunu yoktur.Daha. iyi olduğu intibamı vermekle birlikte özellikleri bakımından iyi değildir.

- Kolay uçabilir bir çözücü içinde askıda: Pahalıdır, fakat kolay uçmasının getirdiği avantajları vardır, örneğin, sulu developerleri kullanmadığımız düşey yüzey tavan muayenelerinde solvent tipi developer, kullanmak zorunluluğu vardır.Çok küçük çatlaklar algılanabilir ve developman zamanı kısa olur.

Bazı imalat koşullarında, developerin parça üzerinden temizlenmesi bazen büyük önem arz eder. Bu duruma örnek olarak her pasodan sonra muayenenin gerekli olduğu kaynak işlemlerini gösterebiliriz..

Tablo 1 Yöntem seçimi tablosu [3]

Muayene Konusu	Önerilen Yöntem	Düşünceler
1. Değişik türde küçük parçaların kütle üretimi	A	Küçük parçacıklar sepet içerisinde toptan
2. Küçük parçaların kütle üretim	B	Büyük dövme ve extrüzyon parçaları
3. Küçük süreksizliklerin yüksek duyarlılıkla muayeneleri	B	Parlak (flouresan) penetranlarla
4. Kaba yüzeyli parçalar	A	
5. Orta pürüzlükte parçalar	A-B	İstenen duyarlılığa göre seçim yapılır.
6. İstenen bölgelerde kısmi muayene	C	
7. Taşınabilir muayenenin şart olduğu yerlerde	C	
8. Su ve elektrik yoksa	C	
9. Aynı parçalar üzerinde tekrar muayene	C	
10. Sızıntı muayenesi	A-B	

3. Yöntem Seçimi

Sıvı penetrant çalışmalarında 3 yöntem vardır. Bunlardan en hassas yöntem (daha ince çatlakların incelenebildiği) B yöntemi olup ondan sonra sırasıyla C ve A gelir.

Yöntem A : Su ile yıkanabilir penetrant kullanılması

Yöntem B : Sonradan su ile yıkanabilir hale dönüştürülen penetrant kullanılması

Yöntem C: Solventle yıkanan penetrant kullanılması

İncelenecek hataya göre yöntem seçimi Tablo 1 de verilmiştir

3.1. Penetrant Muayene İle Algılanabilir Hatalar

Genel olarak penetrant muayene ile incelenebilen hatalar Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2 Penetrant muayene ile incelenebilen hatalar [3]

Hata	Hatanın şekli	Malzeme
1. Çeleme çatlakları	Açık	Dökümde
2. Sıcak yırtılma	Açık	Dökümde
3. Soğuk yırtılma	Kapalı ve sığ	Dökümde(Kesit değişim bölgelerinde)
4. Katlanma (fold)	Kapalı ve sığ	Dökümde
5. Kalıntılar	Kapalı ve sığ	Dökümde
6. Gözenek (Mikroskobik çekme gözenekleri)	Süngerleşme	Dökümde
7. Binme (lap)	Kapalı ve sığ	Dövmede
8. Dövme çatlakları	Açık veya kapalı	Dövmede(Kesit değişim bölgelerinde)
9. Kanalcık (pipe)	Rasgele doğrultuda	Dövmede(Merkezi doğrultuda)
10. Katmer	Kapalı ve açık	Levha malzemedede(Levhakenarlarında)
11. Çatlak	Kapalı veya açık	Kaynakta (Kepte, ısı etki bölgesinde kraterde)
12. Yüzeğe ulaşmış gözenek	Küresel	Kaynak veya dökümde(Yüzeğe)
13. Taşlama çatlakları	Kapalı ve sığ rasgele doğrultuda	
14. Su verme Çatlakları	Kapalı veya açık	Isıl işlem gören malzemelerde
15. Gerilim korozyon çatlakları	Kapalı veya açık	Bütün malzemelerde
16. Yorulma çatlakları	Kapalı	Bütün malzemelerde

3. 2. Penetrasyon Süreleri

Tablo 3 Penetrasyon süreleri [3]

Malzeme	Şekillendirme yöntemi	Hata türü	Penetrasyon yöntemi (penetrasyonsüresi(dk))		
			A	B	C
Çelik	Döküm	Porozite	30	10"	5
Çelik	Döküm	Soğuk çatlama	30	10*	7
Çelik	Kaynak	Yan cidara kaynamama	60**	20	7
Çelik	Kaynak	Gözenek	30	10	5
Çelik	Dövme ve extrüzyon	Bindirme	Önerilmez	10	7
Çelik	Bütün imal usulleri	Çatlak	30	20	7
Çelik	Bütün imal usulleri	Yorulma çatlağı	Önerilmez	30	10
Alüminyum	Döküm	Gözenek	5-20	5	3
Alüminyum	Döküm	Soğuk çatlama	5-15	5	3
Alüminyum	Kaynak	Yan cidara kaynamama	30	5	3
Alüminyum	Kaynak	Gözenek	30	5	3
Alüminyum	Dövme	Bindirme	Önerilmez	10	7
Alüminyum	Bütün imal usulleri	Çatlak	30	10	5
Alüminyum	Bütün imal usulleri	Yorulma çatlağı	Önerilmez	30	5
Bütün Metaller	Bütün imal usulleri	Gerilmeli korozyon ve tane sınırları korozyonu	Önerilmez	240	240

Notlar:

* : Hassas dökümde kullanılmalı, ** : Kaynak muayenesi A yöntemiyle yapılmaz

3. 3.. Çalışma Sıcaklığı

Penetranlar muayene yüzeyine çevre sıcaklığında uygulanır.(20-30 °C).Bu sıcaklıkların dışındaki koşullar için gerekli penetrasyon süresi , algılamak istediğimiz hata türünü içeren bir deney parçası üzerinde deneysel olarak saptanmalıdır.Fakat her halükarda 50 °c nin üzerindeki koşullarda çalışma yapılmalıdır.Bu şartlarda eğer sulu penetran kullanılmış ise çabuk kurur, solventli penetran kullanılmışsa tutuşma tehlikesi artar.

Tutuşabilir penetranlar için şu genel kural yazılabiliriz.

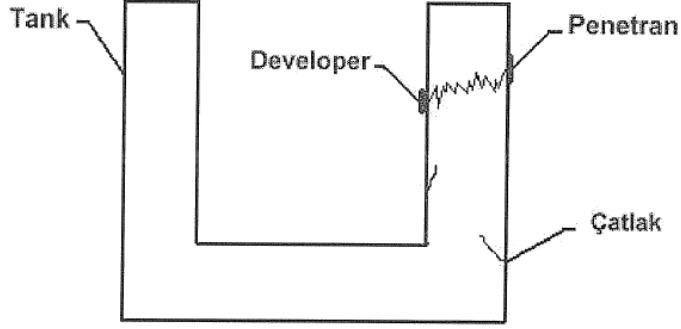
$$T_{max}(\text{Çalışma})::S T (\text{Alevlenme } (-6 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

Bütün penetranlar içinse :

$$T_{min} (\text{Çalışma}) 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. 4. Sızıntı Muayenesi

Yüksek akışkan özelliğe sahip kimyasal maddelerin muhafaza edileceği veya işleneceği tank ve benzeri ekipmanların kaynak çatlakları, sızıntı süreksizliklerinin en önemlilerinden biridir ve işletmeye alınmadan sızıntı muayenesi gereklidir



Şekil 5. Bir tankdaki muhtemel çatlaklar ve sızıntı muayenesi [3]

Şekil 5'de görüldüğü gibi malzeme kalınlığının belli bir derinliğine kadar inen çatlakların yanında cidarı bir yüzden diğer yüze geçen süreksizlikler de vardır ve sızıntıların kaynağını meydana getirirler.

Sızıntı muayenesinde penetran ve developer diğer muayenelerde olduğu gibi aynı yüzeye tatbik edilmeyip karşıt (iç-dış) yüzeylere tatbik edilirler. Bu muayenede sadece yüzeyleri birleştiren hatalar algılanabilir.

4. Penetran Muayenesinin Üstünlükleri ve Sakıncaları

a) Üstünlükleri:

1. Ucuzdur.
2. Her türlü malzemeye uygulanabilir.
3. Yöntemin uygulanması basittir.
4. Çatlağın yönü ve doğrultusu önemli değildir.
5. Parçanın geometrik yapısı ve kimyasal bileşimi muayeneyi etkilemez.
6. Çabuk sonuç verir.

b) Sakıncaları:

1. Çok pürüzlü ve gözenekli yüzeylere uygulanamaz.(Toz metalurjisi parçalarına özellikle hafif yoğunluklu parçalara uygulanamaz.)
2. Sadece yüzeye açılan süreksizlikler algılanabilir.
3. Çatlağı kapatan maddeler muayeneyi etkiler.
4. Dövme, taşlama veya iç gerilme nedeniyle kapanmış çatlakların incelenmesi zor, hatta imkansızdır.

5.Deneysel Çalışmalar

- 1.Yüzey temizleme işlemi solventle (BETA Process BT-69) yapılacaktır. 2.Solventle temizlenebilen (Floresan olmayan) penetran kullanılacaktır. (BETA Process BT-68),Penetrasyon süresi 5-30 dakikadır.
3. Fazla penetranın temizlenmesi solventle (BETA Process BT-69) yapılacaktır 4.Geliştirici (BETA Process BT-68, alevlenebilen solvent içinde askıda) uygulandıktan sonra 5-30 dakika beklenecektir.
5. İnceleme gözle yapılacaktır.

6. Kaynaklar

- 1.Tekiz, Y. "Tahribatsız Deneyler" İTÜ Makine Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi,1984
- 2.Metals Handbook, Vol. 17 ,9th Edition ASM İnternational 1989.
3. Şener,S.,İkizer, B. "Penetrent Muayene,Magnetik Parçacıklarla Muayene,Girdap Akımları ile Muayene ve Efrared Muayene" SEGEM, Yayın no:56 1979
Ankara

ULTRASONİK MUAYENE

1. Temel İlkeler

Ultrasonik dalgalarının malzeme içerisine; ultrasonik dalga üretebilme ve dalgaları algılayabilme özelliğine sahip olan "PROB" aracılığı ile bir (huzme) demet halinde gönderilmesi ve malzemenin iç yapısına bağlı olarak değişimlere uğrayan dalga demetinin malzemedan çıktığı anda kullanılan prob veya başka bir prob aracılığı ile alınarak değişimlerin saptanmasına" Ultrasonik Muayene" denir. Hertz ; saniye başına düşen devir sayısını (frekansı) ifade eder. 1 Hertz saniyede bir devir veya 1 MHz saniye başına bir milyon (1,000,000/s) devir şeklinde tanımlanır. 1MHz (10^6 Hz) veya giga hertz GHz (10^9 Hz) olarak ifade edilir. ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$) Ultrasonik muayene yöntemi insan kulağının duyacağı (20 Hz ile 20 kHz) seviyeden bir hayli yüksek (0.1 ile 25 MHz) frekansta olan ses dalgaları ile yapılmaktadır. Bu dalgalara bu nedenle "ultrasonik dalgalar veya ses ötesi dalgalar" adı verilmiştir. Frekans (f), dalga boyu (l) ve ses hızı (C) arasında $f \cdot \lambda = C$ bağıntısı vardır. Ultrasonik dalgalar ara yüzeylerden kuvvetle yansır. Çatlaklar, ince tabaka toplanmaları, büzölmeler, çukurlar, boşluklar, gözenekli kısımlar ve iç yapıda sürekliliği bozan yapılar (süreksizlikler) ara yüzey oluşturduklarından kolaylıkla incelenebilmektedir. Ultrasonik muayene, tahribatsız muayene yöntemlerinden en geniş uygulama alanına sahip olanıdır.

Ultrasonik yöntemle yapılabilen incelemeler ve ölçmeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

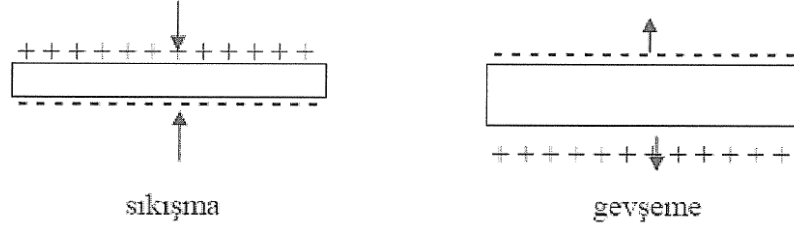
- Boy ve kalınlık ölçümleri (ultrasonik termometre, tankları v.b. kalınlığının ölçülmesi)
- Yüzey sertliği ölçümü
- Elastiki katsayıların tayini (elastiklik modülü, poisson oranı)
- Metallurjik yapının kontrolü (tane boyutu, yönelme dercesi, mikroskobik hatalar, ayrıışmış fazlar, inklüzyonlar, soğuk işlem derecesi...)
- İç gerilmelerin tayini
- Kalıp kumunda nem oranı tayini
- Beton kalitesinin tayini
- Mühendislik malzemelerinde süreksizliklerin (hataların) kontrolü
- Tıpta iç organların muayenesi
- Büyükbaş hayvanlarda deri altındaki yağ tabakası kalınlığının tayini
- Deniz altı sonar sistemleri
- Görme özürlüler için klavuz aletler
- Uzaktan kumanda aletlerinin yapımı
- Ultrasonik kaynak yapımı
- Ultrasonik temizleme işlemlerinin uygulanması.

2. Ultrasonik Dalgaların Üretimi

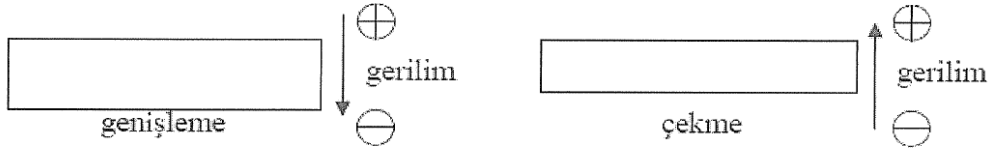
Ses üretimi titreşim enerjisi üretmek demektir. Bir teli, bir zarı veya hava moleküllerini titreştirmek günlük hayattan bildiğimiz ses üretimi yöntemleridir. Bütün ses üretim araçları bu yöntemlerden biriyle çalışır.

Ultrasonik dalgaların üretiminde ve algılanmasında "prob veya transduser" adı verilen düzenekler kullanılır. Probların yapımında çoğu zaman 'piezoelektrik" özelliğe sahip kristaller kullanılır. Piezoelektrite yüksek frekanslarda enerji üretimine uygun tek temel olaydır. Bu yüzden ultrasonik muayenede genellikle Piezoelektrik kristaller kullanılır. Piezoelektrik etki gösteren bazı malzemeler şunlardır: Kuvartz (SiO_2), Lityum sülfat (LiSO_4) Baryum titanat (BaTiO_3), Kurşun zirkonat titanat, Rochelle tuzu. Ultrasonik muayenede en çok kullanılan Baryum titanat

seramiğidir. Bu tür kristaller belirli yönlerde basma yada çekme kuvvetine maruz kaldıklarında elasti deformasyonla birlikte yüzeylerinde eksi yada artı elektriksel yüklenme oluşur. Bu olaya piezoelektrik olay denir. Diğer taraftan bu kristallere belirli frekanslarda elektriki gerilim uygulandığında o frekansta boyut değişimi (titreşim) yaparlar (ters piezoelektrik olay) Şekil 1, Şekil2.



Şekil 1. Doğrudan piezoelektrik olayı



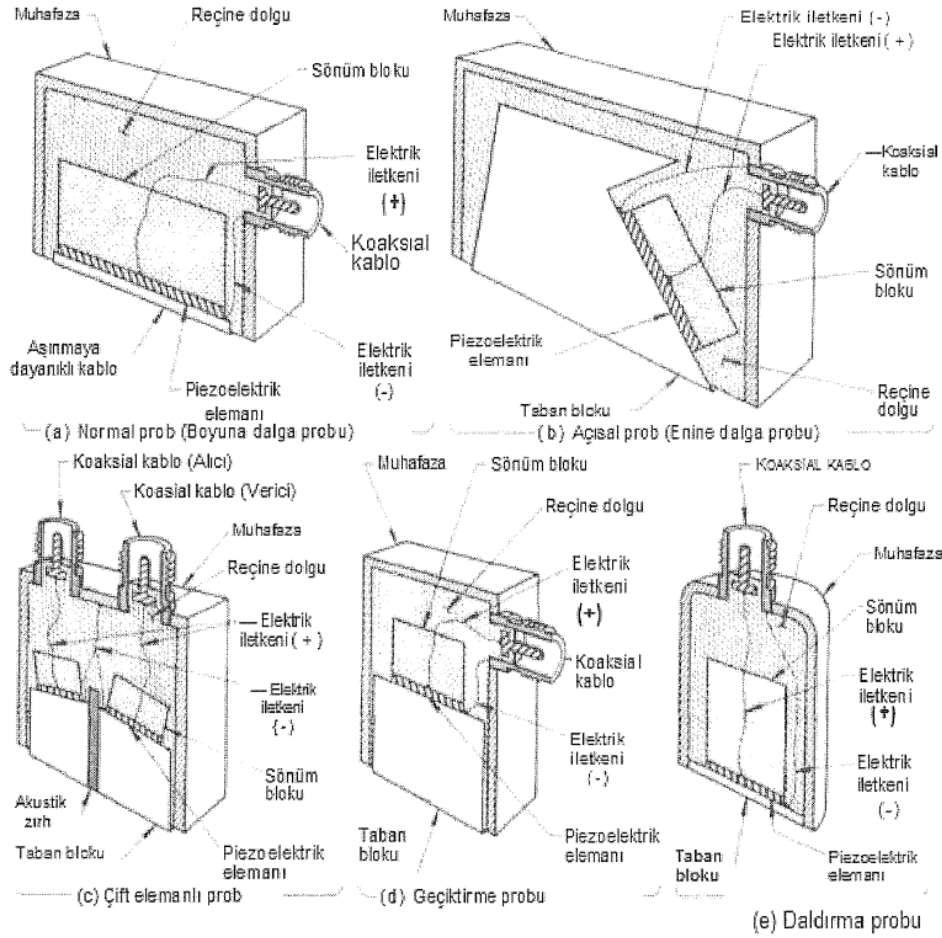
Piezoelektrik etki ile üretilen titreşimlerin malzeme içerisine gönderilebilmesi için prob doğrudan veya dolaylı olarak muayene yüzeyi ile temas etmelidir. Prob (transdüser), bir enerjiyi başka bir enerji sekline dönüştüren bir düzenektir. Ultrasonik transdüserler, elektrik enerjisini ultrasonik enerjiye (yani mekanik enerjiye) ve ultrasonik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu olaydan da titreşimlerin algılanmasında (alıcı prob yapımında) yararlanılır. Yani doğrudan piezoelektrik olay ultrasonik dalgaları algılamada, ters piezoelektrik olay ise ultrasonik dalgaları üretmede kullanılır.

Verici probdaki piezoelektrik kristalde elektrik titreşimlerinin mekanik titreşimlere dönüştürülmesi üretilen ultrasonik dalgalar malzeme içinde yayılırken farklı akustik özellikteki bölgelerin ara yüzeylerinden kısmen geçer veya yansır. Böylece alıcı proba gelen dalgalar probun piezoelektrik kristali tarafından tekrar elektrik titreşimlere dönüştürülür. Daha sonra ultrason cihazının ekranında elde edilen görüntüler ile parçada bulunan hatalar belirlenir.

2.1. Ultrasonik Muayene Probları ve Yapıları

Ultrasonik probu elektrik enerjisinin ultrasonik enerjiye dönüştüğü veya bunun tersinin yapıldığı yerdir. Bir ultrasonik cihazı devresinde ultrasonik enerjisi, devrenin en uç elemanı olan probda üretilir. Buradan muayene olunacak malzeme içine gönderilir ve gelen yankı yine bu elemanda ultrasonik enerjiden elektrik enerjisine çevrilir.

Aşağıda muayene problemlerinin kesit görüntüleri Şekil 3.'de verilmiştir.



Şekil 3. Çeşitli problemlerin yapılarının şematik gösterimi.

2.1.1. Normal Prob

Yüzey girişine dik bir şekilde ultrasonik titreşimler yayar. Darbe-yankı metodunda alıcı-verici, iletim usulünde ise alıcı veya verici olarak çalışırlar. Prob numune içerisine boyuna dalgalar göndererek arka yüzeyden ve çatlaktan dönen dalgalar ile malzeme muayenesi yapılır.

2.1.2. Açılı Prob

Açılı problemlerde sönüm bloku piezoelektrik elemanı ve temas yüzeyi arasında sabit bir açı vardır. Açılı problemler enine dalga üretirler. Özellikle kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılırlar. Örneğin; levha, ince tabaka, boru kaynağı ile tüplerin muayenesinde kullanılmaktadırlar.

2.1.3. Çift Kristalli Prob

Çift elemanlı problemlerde elemanları birisi verici diğeri ise alıcı olarak çalışır. Özellikle yüzeye yakın hataların incelenmesinde kullanılırlar. Boyuna dalga üretirler ve algırlarlar.

2.1.4. Geciktirme Probu

Geciktirme problemlerinin en önemli uygulama alanları; kalınlık ölçümü, ince malzemelerde ve yüzeye yakın hataların yüksek hassasiyetle incelenmesinde kullanılırlar. Bu problemlerde probun algılama yapamadığı yüzeye yakın ölü bölge probun içine alınmıştır.

2.1.5. Daldırma Probu

Su ortamında (parça ve prob suya daldırılarak) kullanılan problemlerdir. Hızlı muayeneye olanak verirler. Probun sızdırmaz olması önemlidir.

2.2. Prob Seçimi

Prob seçiminde; demet yönü, frekans ve kristal boyutu göz önüne alınır. Demet yönü seçiminde, önce normal veya açılı problemlerden birine karar verilir. Açılı prob kullanıldığında prob açısı hatadan maksimum yansıma elde edilecek şekilde seçilir; yani, beklenen hataya ses demetinin dik olarak çarpması düşünülür. Bunun için kaynak dikişlerinin muayenesinde açılı prob tercih edilir.

Frekans seçiminde, malzeme kalınlığı ve metalurjik yapı ile görülebilecek en küçük hata boyutu

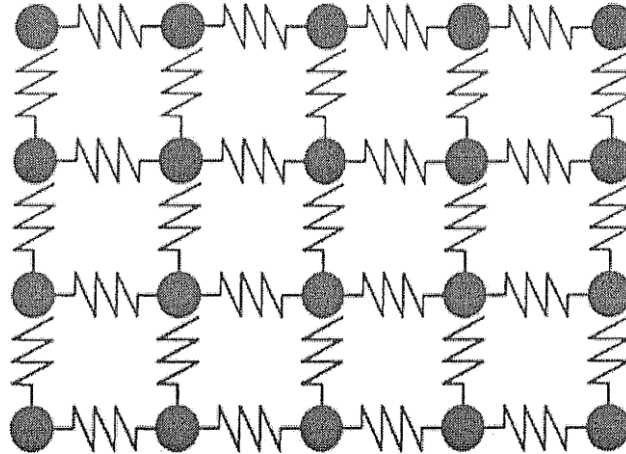
göz önüne alınır. Mümkün mertebe yüksek frekans ile çalışmak, hem daha küçük hataların algılanmasını sağlar hem de ayırma gücünü iyileştirir. Frekans seçiminde asıl belirleyici faktör malzemenin tane boyutudur. Tane boyutu büyüdükçe artan, saçılma ve soğurulmayı azaltmak için düşük frekansları seçmek gerekmektedir. Ayrıca, malzeme kalınlığı arttıkça frekans düşürülmelidir. Yüksek frekans, kaba taneli malzemede saçılmaya ve ekranda gürültü veya çimlenme denilen sinyallerin oluşmasına neden olur.

Sonuç olarak, malzemenin yapısı müsaade ettiği sürece, mümkün olan en yüksek frekans kullanılmalıdır. Kristal boyutu seçiminde yakın alan uzunluğu ve eğri yüzeyli malzemelerde temas yüzdesi göz önüne alınır. Prob çapı küçüldükçe yakın alan kısalmaktadır. Yakın alan içerisinde merkez demetin ses enerjisi karmaşık bir değişim gösterdiğinden, hataların uzak alanda değerlendirilmesi arzu edilir. Malzeme türüne göre prob frekansları aşağıda verilmiştir.

<u>Malzeme</u>	<u>Frekans (MHz)</u>
Özel işler ve uçak sanayi	6-15
İnce taneli çelikler	2-6
Dökme çelik	1-2
Dökme demir	0,5-1
Porselen izolatör	0,05-0,02
Beton	0,05-0,2
Ağaç	0,05

2.3. Ultrasonik Dalga Çeşitleri ve Özellikleri

Katı bir maddenin yapısı Şekil 4'de gösterilen basit modelle tanımlanabilir. Bu modele göre parçacıklar (atomlar veya moleküller) birbirlerine elastik yaylarla (enerji bağları) bağlıdır. Sıvı ve gazlarda parçacıklar arasındaki bağlar daha zayıftır ve parçacıkların hareketleri katılardakine oranla daha serbesttir. Böyle ortamlarda yoğunlukta meydana gelen değişimler birbirine karşı koyan elastik kuvvetlere neden olur ve ses dalgalarını iletirler.

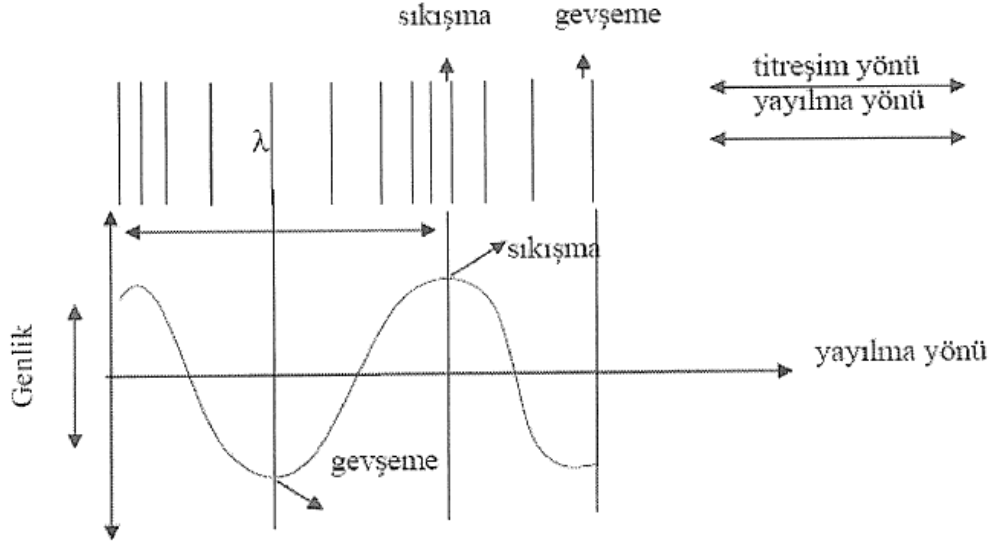


Şekil 4. Katı bir malzemenin iki boyutlu (düzlemsel) modeli

Malzeme içinde oluşan ultrasonik dalga çeşitlerinin en önemlileri, ortam parçacıklarının titreşim seklene ve yayılma yönüne göre boyuna, enine, yüzey (Rayleigh) dalgaları olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.3.1. Boyuna Dalgalar

Boyuna dalgalara basınç dalgaları da denir. Bu dalga türü yayıldığı ortamın parçacıklarını sıkışmaya ve gevşemeye zorlayarak hareket eder ve yayılma yönü titreşim yönü ile aynı, yani paraleldir. Boyuna dalga hızı C_b ile gösterilir.

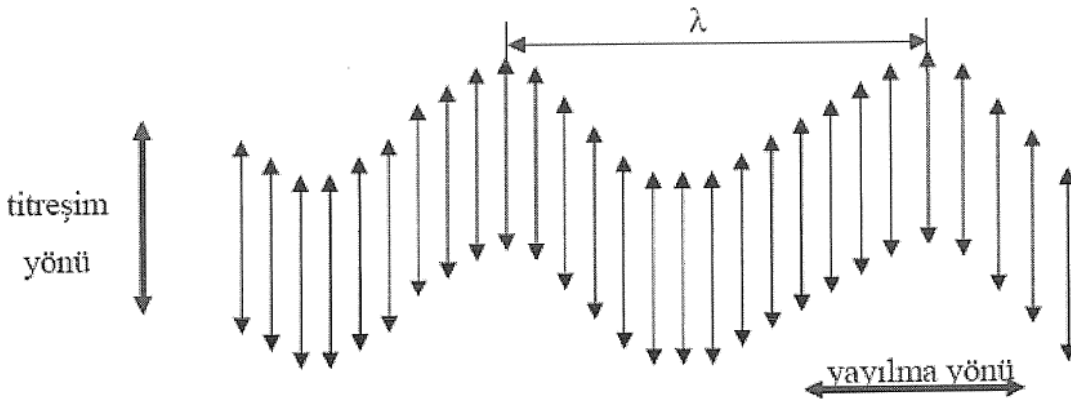


Şekil 5. Boyuna dalga ve mesafeye bağlı olarak yer değişimi

Şekil 5'de şematik olarak boyuna dalga ve mesafeye bağlı olarak yer değişimi gösterilmektedir. Üretimlerinin ve algılanmalarının kolay olmasından dolayı, boyuna dalgalar ultrasonik teste en çok kullanılan dalgalar. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler.

2.3.2. Enine Dalgalar

Titreşim yönü yayılma yönüne dik olduğundan dolayı, enine dalgalara kesme dalgaları da denir. Enine dalgalar, şematik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Enine dalgalar, yayıldıkları ortam parçacıklarını çapraz yönde çekmeye zorlarlar ve bu yüzden sadece katılarda yayılabilirler. Sıvı ve gazlarda moleküller veya atomlar arası mesafe katılara göre çok büyük olduğundan, bunlar arasındaki çekme kuvveti, birinin diğerini hareket ettirmesi için yeterli gelmemekte ve dalga hızla zayıflamaktadır. Enine dalga hızı ($C_e=C_b/2$), boyuna dalga hızının yaklaşık yarısıdır.

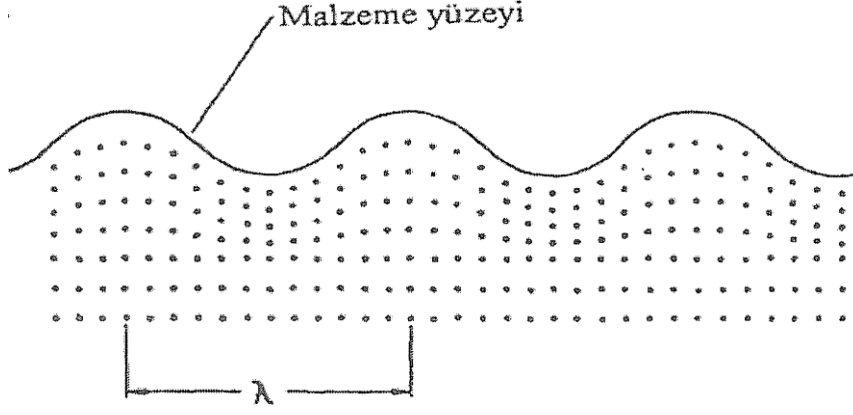


Şekil 6: Enine dalga

2.3.3. Yüzey dalgaları

Rayleigh dalgaları da denir. Bu dalga türü, sadece malzeme yüzeyinde yayılabilmektedir. Yüzey dalgalarının hızı, aynı malzemede enine dalgaları hızının yaklaşık %90'dır ve malzeme yüzeyinden en fazla 1 dalga boyu derinlikte yayılabilirler ($C_y=0,92C_e$ 'dir). Bu derinlikte, dalga enerjisi yüzeydeki enerjisinin yaklaşık yüzde dördüdür ve genlik, daha fazla derine inildiğinde çok küçük bir değere düşer. Yüzey dalgalarını, boyuna dalgaları malzeme yüzeyine belli bir kritik açı altında göndererek üretmek mümkündür. Bu, enine dalgaların malzeme içinde 90° kırılmasıyla sağlanır. Örnek olarak, çelikte yüzey dalgalarını üretmek için pleksiglas bir bloktan 57° geliş açısıyla boyuna dalgaları göndermek yeterlidir.

Yüzey veya yüzeye yakın çatlakların tespitinde yüzey dalgaları enine ve boyuna dalgalara göre daha kullanışlıdır. Karmaşık şekilli malzemelerin yüzey testinde kullanılabilirler.



Şekil 7. Yüze dalgaları

2.4. Ultrasonik Muayene Yöntemleri

Ses ötesi dalgaları, malzeme özelliklerinin (Örneğin E-modülü) tespitini konumuz dışında bırakılıp, sadece malzemedeki hataların tespiti ve kalınlık ölçümünde kullanmakla sınırlanırsa aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Geçiş veya iletim yöntemi,
- Rezonans yöntemi,
- Yansıma (darbe-yankı veya İmpuls-eko) yöntemi

2.5. Ultrasonik muayene yönteminin üstünlük ve sakıncaları

Üstünlükleri;

- 1-Geniş uygulama alanına sahiptir (hata, içyapı, elastiklik modülü, kalınlık ölçme v.b.).
- 2-Yüzey ve yüzey altı hatalar incelenebilir
- 3-Muayene derinliği diğer TMM yöntemlerinden fazladır. Daha kalın malzemeler incelenebilir.
- 4- Çok ince çatlakların (0.4 mm'ye kadar) muayenesine imkan verir. 5- Bir yüzeyden yanaşarak muayene yapılabilir.
- 5-Hızlı sonuç verir ve kalıcı kayıt yapma olanağı vardır.
- 6-Diğer tahribatsız deneylere göre iç çatlakları, hata büyüklüğünü ve yönlenmeleri daha doğru şekilde karakterize etmektedir.
- 7-Cihazlar taşınabilir, personel sağlığına ve çevre kirliliğine zararlı etkisi yoktur.
- 8-Yeni geliştirilen bilgisayar bağlantılı cihazlarla iç yapı hataları üç boyutlu olarak görüntülenebilir.

Sakıncaları;

- 1-Kaba yüzeyli, karmaşık şekilli, çok küçük ve çok ince çatlakların incelenmesi zordur.
- 2-Ultrasonik dalgaların malzemeye etkin bir biçimde girmesini sağlamak için yüzeyde kuplaj sıvısına ihtiyaç vardır.
- 3-Yüzeye çok yakın hatalardan dönecek ışınlar algılanamayabilir.
- 4-Muayene işlemi iyi yetişmiş ve teknisyen düzeyinde eleman gerektirir. 5- Dökme demirlerin ve iri taneli malzemelerin muayenesi zordur.
- 5-Ultrasonik dalgalara paralel veya belirli açısız pozisyondaki çizgisel hatalar incelenemez. Bu tür hatalar için açılı prob gerekir.
- 6-Cihazın kalibrasyonu ve hata karakterizasyonu için standartlara ihtiyaç vardır.

3.KAYNAKLAR

1. Özden, N., Ses ötesi (Ultrasonik) İle Muayene, Segem Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın no.48, Ankara Eylül 1981
2. Halmshaw, R., Non Destructive Testing
3. Helvacı, E., Ultrasonik Kontrol Yönteminde Hata Değerlendirmesi, Oerlikon Kaynak Bilimi, Sayı: 2, İstanbul, 1995, a.86-98
4. Dikicioğlu, A., Vural. M., Kaynak Hataları ve Nedenleri, Tahribatsız Muayeneler ve Kaynak Bağlantılarına Uygulanışı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Aralık 1993, s.35-68
5. Tekiz, Y., Tahribatsız Deneyler, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, 1984 Matbaası, İstanbul 1993
6. Yaylalı, G., Değirmenci, S. ve Şirin B."Demir Döküm.Sektöründe Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Uygulamaları"Metalurji,126, 200