



T.C

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ'İ

KONUSU : ULTRASONİK İLE TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ
ENSTİTÜ NR. : 12.07.83-1
ADI SOYADI : TEKİN ARDA
YÖNETİCİ : PROF.DR.RÜŞEN GEZİCİ
TESLİM TARİHİ : 30.5.1984

Kabul edilmes'i
teklif olunuz. 5.7.1984
Osman Yağcıoğlu
Yard. Doç. Dr.
Osman Yağcıoğlu

ÖNSÖZ

Günümüz endüstrisinde, malzemelerin iş gördükleri yerlerde güvenle çalışabilmesi için yapılarının kontrol edilmesi gerekir.

Bu kontroller dış görünüşe bakarak göz ile yapılabilir ise'de gerçek anlamda kontrol: imâl edilecek veya imâl edilmiş malzemeyi tahribatsız olarak kontrol etmekle mümkündür.

Sadece Ultrason tekniği ile malzeme bünyesindeki hata tespiti yeterli olmayabilir. Bu takdirde; Radyografi +^mMagnetik tozlar ve Penetrant sıvılarla yapılacak tahribatsız kontrollerle kesin güvenliğe varmak mümkündür.

Tez çalışmamda, önderlik eden Hocam Sayın Prof. Dr. Rüsen Gezici'ye, tecrübelerinden istifade ettiğim Sayın Mak. Yük. Müh. Ethem Helvacı'ya, daktilo yazımında yardımcı olan kardeşim Sibel Ferme'n'e teşekkür ederim.

20.5.1984

Tekin Arda

İÇİNDEKİLER

| ULTRASONİK İLE TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ | | <u>Sayfa</u> |
|--|--|--------------|
| 1. | GİRİŞ | 1 |
| 1.2 | ULTRASONİK TEST YÖNTEMİNİN GÖREVLERİ | 1-2 |
| 2. | ULTRASONUN KULLANIM ALANI | 2 |
| 3. | ULTRASONİK CİHAZIN TANITIMI | 2-3 |
| 4. | ULTRASONİK KONTROLDA FİZİKSEL ESASLAR | 4 |
| 4.1 | BOYUNA(DOĞRUSAL) DALGALAR | 4 |
| 4.2 | ENİNE DALGALAR | 5 |
| 5. | SES HIZI, FREKANS, DALGA BOYU | 5 |
| 6. | PIEZO-ELEKTRİK OLAYI | 7 |
| 7. | PROBLAR | 7 |
| 7.1 | NORMAL DOĞRULTUDA SES DEMETİ GÖNDEREN PROBLAR | 7 |
| 7.2 | AÇILI PROBLAR | 11 |
| 7.3 | SE PROBLAR | 16 |
| 8. | TEST UYGULAMALARI | 18 |
| 8.1 | TEST PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜMÜ | 18 |
| 8.2 | İMPULS-ECHO TANIMI | 23 |
| 9. | KALİBRASYON | 30 |
| 9.1 | DÜŞEY DOĞRULTUDA SES DEMETİ GÖNDEREN PROBLARLA KALİBRASYON | 30 |
| 9.1.1 | PARELEL KAYDIRMA KALİBRASYONU | 35 |
| 9.1.2 | KİSMİ ALAN KALİBRASYONU | 37 |
| 9.2 | AÇILI PROBLARLA KALİBRASYON | 38 |
| 9.2.1 | AÇILI PROBLARLA SES YÖNÜNE GÖRE KALİBRASYON: S | 48 |
| 9.2.2 | PROJEKSİYON UZAKLIĞINA GÖRE KALİBRASYON: PU | 53 |
| 9.2.3 | KISALTILMIŞ PROJEKSİYON UZAKLIĞINA GÖRE KALİB- RASYON : KPU | 59 |
| 9.3 | SE PROBLARLA KALİBRASYON | 61 |
| 10 | FORMÜLLER | 65 |
| 11 | ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN SES HIZLARI | 71 |
| 12 | ULTRASON'LA İLGİLİ STANDARTLAR | 72 |
| 13 | KAYNAKLAR | 74 |

1. GİRİŞ

1950 yılına kadar yüzeysel hataların tahribatsız muayenesinde manyetik tezlar ve penetrant sıvılar, malzeme içindeki hatalar ise sadece röntgen ışınları ile muayene edilebiliyordu.

Ultrasoniğin tahribatsız malzeme muayenesi alanında ilk uygulaması ikinci Dünya Savaşının son yıllarına rastlar. İkinci Dünya Savaşından sonra yeterli röntgen cihazları ve tesislerinin olmayışı, ses ötesi dalgalar ile malzeme içini görme ve cihazlarının keşfi Ultrasonik yöntemin gelişmesine sebep olmuştur.

Bilhassa Alman Krautkraemer kardeşler ses ötesi fiziğini incelemişler ve 1949 yılında Ultrasonik kontrol cihazını Endüstriye hediye etmişlerdir. O tarihten bugüne kadar Ultrasoniğin uygulama alanları genişlemiş ve uygulama kolaylığı sağlanmıştır.

Bugün bütün metallerin ve metal olmayan malzemelerin kontrolünde başarı ile uygulanabilmekte, en hızlı ve kesin neticeye ulaşılmaktadır.

Malzeme içindeki hacimsel hatalar gurubunun testinde Radyografina atlaması düşünülemez.

Ama malzeme içindeki katmer hatası, çatlakları ve malzeme yüzeyindeki eğik, dik çatlakları Radyografi yöntemi ile görmek mümkün olmayabilir.

Malzeme yüzeyindeki eğik ve dik çatlakları manyetik tezlar ve penetrant sıvılarla tespit etmek mümkündür, ama hacimsel hataları görmek mümkün değildir.

Diğer taraftan malzeme içindeki katmer hatası, çatlakları ve malzeme yüzeyindeki eğik ve dik çatlakları Ultrasonik yöntemle tespiti kesindir, fakat keskin köşeli hacimsel hatalarda Ultrasonik atlayabilir veya sesi küçümseyebilir.

Malzemenin tahribatsız muayenesinde kesin bir Teknik güvenlik için:

Teknik Güvenlik= Manyetik Tezlar ve +Ultrasonik + Radyografi
Penetrant sıvılar
formülünü benimsememiz lazımdır.

1.2 Ultrasonik test Yönteminin Görevleri:

1.2.1 Devamsızlık yerini bulma(Hataların tespiti)

1.2.2 Devamsızlık yerini tespit etme(Hatanın yerinin tespiti)

- 1.2.3 Devamsızlık değerlendirilmesi (Hataların değerlendirilmesi)
1.2.4 Devamsızlık tespit etme (Hataların nedeni ve araştırılması)

2. ULTRASONUN KULLANIM ALANI

Ultrasonik muayene: sesle görme, Ultra-Son ses ötesi anlamını taşır. Işık ve ses birer dalga enerjisidir. Bir saniye içerisinde oluşan mekanik titreşimlerin sayısına frekans denir ve "f" harfi ile simgelenir. Frekans birimi Cycle, Hertz veya periyot/saniye kullanılır.

Anglo-Sakson ülkeleri frekans birimi olarak Cycle'yi, Almanlar ise Alman fizikçinin adına izafeten Hertz (Hz) kullanmaktadır.

Katı, sıvı, gaz ortamında ses yayılır, bu ortamın dışında ses yayılmaz. Duyulabilen ses dalgalarının frekans alanlarının üstündeki frekanslarla titreşen ses dalgalarına Ultrasonik dalgalar denir.

Genellikle duyulabilen ses dalgalarının frekans alanları 16~16000 Periyot/saniye arasındadır. Bu frekansın üstündeki sesleri herkes duyamaz, ancak algılayabiliriz.

16000 Periyot/Saniye sese Baz, 20000 Periyot/saniye sese Tiz ses denir. Baz-Tiz arasındaki algılanan sese SOKTAV'lık ses denir.

Endüstride 20000 frekansın üzerinde işitilmeyen sesle, yani ses ötesiyle çalışılır. Ses ötesinde, kulağımız devre dışı kaldığında Ultrasonik cihazla ses dalgalarını ekranda görebiliyoruz.

Ses'te amaca göre frekans kullanılır. Ultrasonik test tekniğinin çalıştığı frekans alanları 0,5 ila 15 MHz'lik ses dalga alanlarıdır.

Misal olarak:

Ağaç ve beton'un Ultrason ile muayenesinde 20 ilâ 200 KHz, Metallerin Ultrason ile muayenesinde 500 ila 6000 KHz (0,5 ilâ 6 MHz) kullanılmaktadır. Metallerde en fazla 2000 ila 4000 KHz (2 ilâ 4 MHz) kullanılır. Burada 1000 Hz = 1 KHz, 1000 KHz = 1 MHz eşit olduğunu hatırlamakta fayda vardır.

3. ULTRASONİK CİHAZIN TANITIMI

Ultrasonik cihaz:

Ses dalgalarının prob kristalinden gönderildiği andan itibaren

malzeme içersindeki gidiş ve dönüş zamanını elektronik olarak ölçen bunu elektronik olarak değerlendiren düzendir. Cihazı şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

Gönderici tarafından belli aralıklarla gönderilen elektriksel Impuslar, probun kristali tarafından ses impusları haline dönüştürülür.

Ses dalgaları kristalden hareket ettiği an ekranın sol köşesindeki ışık noktası malzeme içindeki ses hızına bağlı olarak belli bir hızla ekranın sağ köşesine doğru hareket eder. Malzemenin tabanından geriye dönüp gelen ses impusları prob tarafından algılanana kadar bu hareket devam eder.

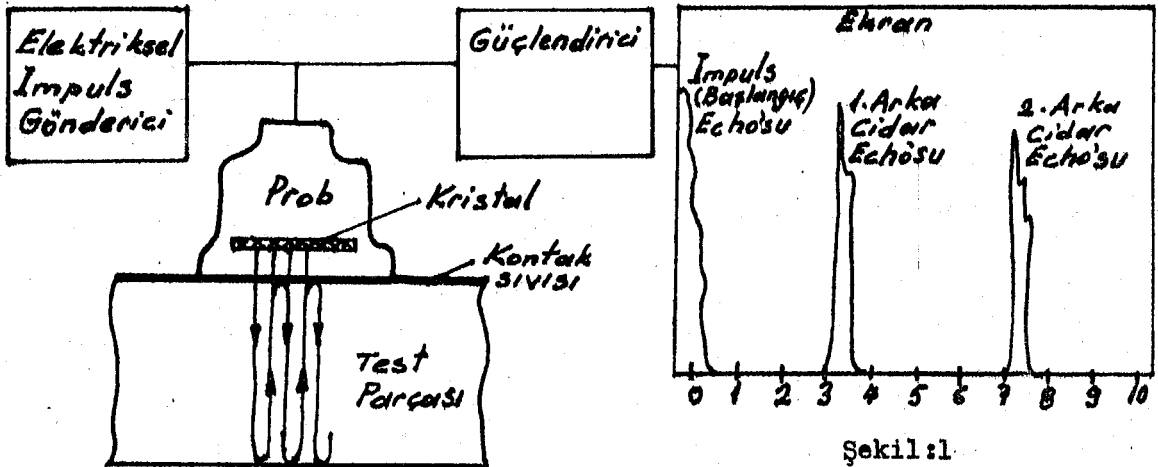
Prob tarafından algılanan ses impusları kristal tarafından tekrar elektriksel impuslara dönüştürülürler. Bu impuslar elektronik olarak değerlendirilir ve bu anda ışıklı nokta yukarıya çekilir. Ekran üzerinde ECHO adı verilen şekli görürüz. Buna birinci arka cidar echo'su diyoruz.

Arka cidardan geri dönen ses demetinin tamamı prob tarafından algılanmaz. Çünkü ses demetinin büyük bir kısmı üst cidardan yansarak tekrar alt cidara doğru hareket eder ve ışıklı noktamız yatay eksen doğrultusunda yine harekete başlar.

Ses demeti arka cidardan geriye geldiğinde bir kısım ses demeti proba girer ve bir kısmında üst cidardan geriye yansır. Bu esnada ikinci arka cidar echo'sunu görürüz.

Bu şekilde ses demeti malzeme içersinde sönmülene kadar alt ve üst cidar arasındaki yansıma sürer ve her kat ettiği ses yolundan bizim echo almamız mümkün olur.

Ultrasenik cihaza akım verilince ekranın sol köşesinde Impuls echo'su görürüz. Buna Başlangıç Echo'su da denir. Şekil:1



Şekil:1

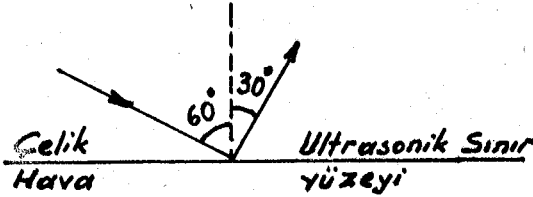
4. ULTRASONİK KONTROLDA FİZİKSEL ESASLAR

Ultrasenik tekniğinin çalıştığı 0,5 ila 15 MHz frekans alanları içerisinde kalan boyuna ses dalgaları sıvı ve katı cisimler içerisinde değişik hızlarla yayılırlar. Hava ve gaz ortamında yayılamazlar.

Ses dalgalarının yayıldığı ortam değiştiğinde; değişik ortam şartları ise: ses dalgaları optik yansıma kanunlarında olduğu gibi yansır.

Bu iki ortam arasındaki sınıra Ultrasenik sınır yüzeyi diyoruz.

Şekil:2



Şekil:2

Katı cisim içerisinde yayılan ses dalgaları sınır yüzeyine gelince diğer ortama girmeden yansır. Katı cisimlerin atomlardan ve moleküllerden teşekkül ettiğini, moleküller veya atomlar arası bir kuvvetle bağlandığını, ancak çok güçlü kuvvetlerle fermlarında kalıcı deformasyonlar olabildiğini biliyoruz. Atomlar arasındaki bu bağlar kuvvetler elastik kuvvetlerdir.

Katı ve sıvılar içerisinde iki değişik dalga cinsine rastlanır.

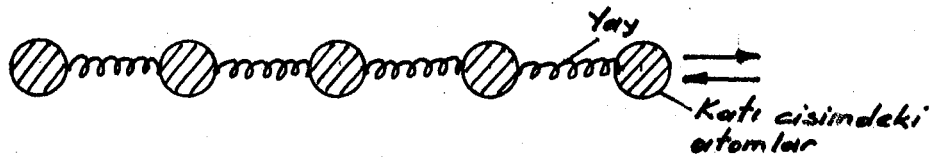
4.1 Doğrusal Dalgalar

4.2 Enine dalgalar

4.1 Boyuna(Doğrusal) Dalgalar

Katı ve sıvılar içerisindeki eluştirulan mekanik titreşimler, yayılma yönü ile aynı olması halindeki dalga çeşidine (Doğrusal) dalgalar diyoruz. Bu dalgalara basınç dalgaları da denilir.

Bunu şu şekilde izaha çalışalım: Katı cisimdeki atomları bilya şeklinde ve birbirine yaylarla bağlanmış olduklarını düşünelim. Şekil: 3.



Şekil:3

En baştaki bilyayı sağa doğru çekelim ve bırakalım. Mekanik bir salınım hareketi başlar, bu salınımı komşu bilyalarda takip eder. Bütün bu hareket başlağıdı ortam içerisinde, komşu atomların titreşmesi ile yayılır.

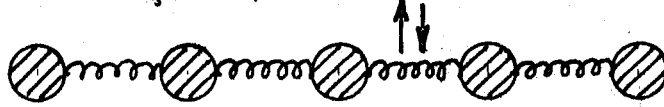
Bu titreşim hareketinin yayılma hızı, atomların arasındaki bağlama kuvvetlerine, uzaklığına yani yoğunluğuna bağlı olarak her malzeme içerisinde değişiktir. Buna malzeme içerisindeki ses hızı diyoruz.

Burada yayılma yönü ile titreşim yönü aynı doğrultuda olan bir hareket izliyoruz ve buna boyuna dalgalar diyoruz. Boyuna dalgalar en çok kullanılan dalga çeşididir.

Aynı titreşim konumunda olan iki atom veya molekül arasındaki uzaklığa bir dalga boyu denir ve λ ile gösterilir. Boyuna dalgalar bir ortamdan diğer bir ortama geçerken kırılarak enine ve boyuna dalga demetlerinden iki ayrı dalga çeşidine ayrılırlar.

4.2 Enine dalgalar

Yine birbirine yaylarla bağlı bilyalar modelini ele alalım. Bu kez ortadan bir bilyayı tutarak, bağ doğrultusuna dik bir doğrultuda çekerek bırakalım. Şekil:4



Şekil:4

Salınım hareketi bu doğrultuda olur. Aradaki yay bağlantılar yardımı ile salınım hareketi yay bağlantılar doğrultusunda komşu bilyalara iletilir. Burada yayılma yönü, titreşim yönüne dik yöndedir. Bu tip yayılan dalgalara enine dalgalar diyoruz.

Dalga boyu : yine aynı titreşim konumundaki iki atom arasındaki mesafedir ve λ ile gösterilir.

Enine dalgalar sadece katı ortamda yayılırlar. Boyuna dalgalara göre daha yavaşlar ve daha çabuk sönümlenirler.

Ultrasonik ile malzeme muayenesinde her iki dalga çeşidiyle çalışılır.

5. SES HIZI, FREKANS, DALGA BOYU

Doğrusal ve enine dalgalar; her malzeme ortamında, malzeme özelliklerine bağlı olarak değişik hızlarda yayılırlar. Ses hızına malzeme sabiteside denilir ve " C " harfi ile simgelenir. Hangi dalgaya ait ses hızı olduğunu hangi malzeme içerisinde yayıldığını göstermek için malzeme ve dalga cinsine ait Indexler aşağıdaki gibi gösterilir.

SI
CBSt = 5920 m/sn Çelik içersinde boyuna dalganın hızı

CBPl = 2730 m/sn Plexglass içersinde boyuna dalganın hızı

CESt = 3250 m/sn Çelik içersinde enine dalganın hızı

Herhangi bir malzeme içersinde yayılan ses dalgalarının hızı ses dalgalarını oluşturan kristalin frekansına bağlı değildir. Dalga boyu ise kristalin frekansına ve malzeme içersindeki ses hızına bağlıdır.

Frekans " f " harfi ile gösterilir. Bir saniye içersinde titreşim sayısını belirler, birimi " Hz " oinsinden ifade edilir.

Ses hızı, frekans ve dalga boyu arasındaki bağıntıyı fizik kurallarına göre ifade edersek:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : Dalga boyu (mm)

c: Ses hızı (m/sn)

f: Bir saniyedeki titreşim sayısı (Hz)

Bir kristalin 1 MHz ile titreştiğini ve üretilen ses dalgalarının çelik içersinde yayıldığını düşünürsek, Dalga boyunu hesaplamak için:

Veriler: CBSt = 5920 m/sn

f = 1 MHz = 1.000.000 1/sn (Hz)

$$\lambda = \frac{CBSt}{f} = \frac{5920}{1.000.000} = 0,00592 \text{ m} = 5,92 \text{ mm.}$$

hesaplanır.

Aynı kristalin plexglass içersinde yayıldığını düşünürsek; dalga boyu:

Veriler:

CBPl = 2730 m/sn

Dalga boyu:

$$\lambda = \frac{CBPl}{f} = \frac{2730}{1.000.000} = 0,0027 \text{ m} = 2,7 \text{ mm. dir}$$

6. PIEZO-ELEKTRİK OLAYI

Tabiattaki silisyum kristalleri Baryum Titanak gibi bazı kristaller kendilerine bir darbe uygulandığı zaman atomlar arasındaki kuvvet dengesi bezularak titreşirler ve bir elektriksel gerilim verirler. Mesala Manyetolu çakmaktaki gibi...

Bunun tersi olarak bu kristallere bir gerilim uygulanırsa yine atomlar arasındaki değrusallık bezulur. Kristal enine veya boyuna ebat değiştirerek titreşmeye başlar.

Bu titreşimler neticesi ultrasonik ses dalgaları elde edilir. Aynı kristale ses dalgaları çarptığında titreşmeye başlar ve bir gerilim eluşturur. Bu olaya PIEZO ELEKTRİK olayı diyoruz.

Piezo elektrik kristal kalınlığı, çapı ve diğer parametrelerin düzenlenmesi ile istenilen frekans alanında yapılır.

Bu özelliğinden ultrasonikte büyük ölçüde yararlanılır.

7. PROBLAR

Kendisine uygulanan elektriksel impulsları ses dalgalarına ve algıladığı ses impulslarını tekrar elektriksel impulslara dönüştüren düzeneğe prob denir.

Bu düzeneğe malzeme üzerine kontaklıyarak ürettiği ses dalgalarını, kısa ses Impulsları halinde malzeme içersine göndeririz.

Ultrason dalgalar hava ve gaz ortamında yayılmadığından, Prob tabanı ile malzeme yüzeyi arasına yağ, su gibi kontak sıvısı sürmek gerekir.

Probları üç gruba ayırarak incelemek mümkündür:

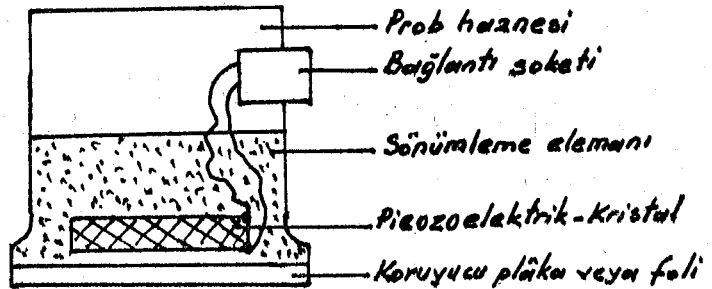
7.1 Normal deęrultuda ses demeti gönderen problar

7.2 Açılı Problar

7.3 SE Problar

7.1 Normal Deęrultuda ses demeti gönderen Problar

Bu Problar boyuna dalga impulsları gönderirler ve algırlarlar. Aşağıdaki şekilde normal prob kesidi görülmektedir.Şekil:5



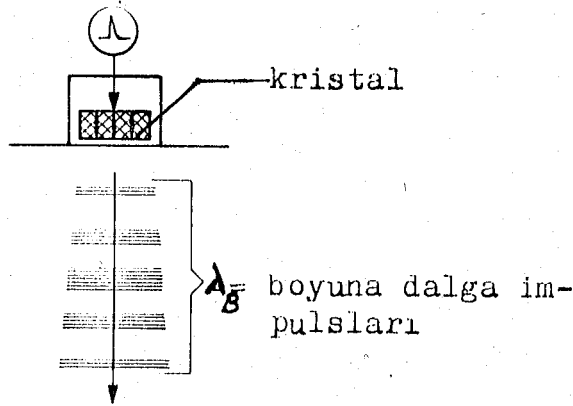
Şekil:5

Normal preblar 0,5 MHz den 15 MHz kadar geniş bir frekans seçim alanı vardır. Bu preblarla 5000 mm kalınlığa, hatta daha kalın malzemeye ses demeti gönderilebilir.

Büyük ve kalın parçalar test edilebilir. Geniş seçim alanı ve prebların formu sayesinde test parçasının yüzey ve yapısal özelliklerine rahatlıkla uyum sağlar.

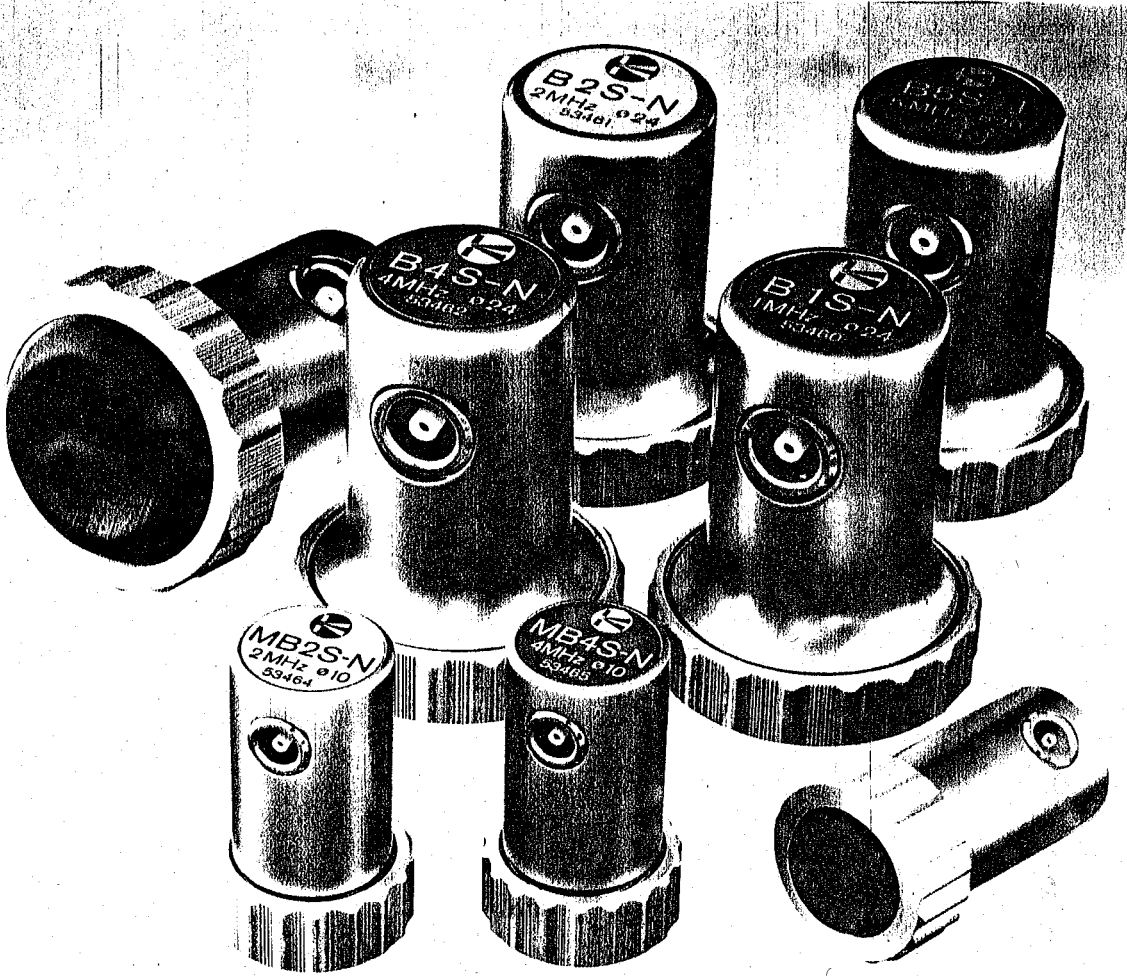
Normal prebların dezavantajı yüzeye çok yakın olan devamsızlıkları algılaması zordur. Bu gibi hallerde devamsızlıktan gelen echo, impuls echo'su içerisinde kaybolur.

Beyuna dalga impulsları, malzemedeki, incelme ve kalınlaşmaya göre uyum gösterirler. Şekil:6



Şekil:6

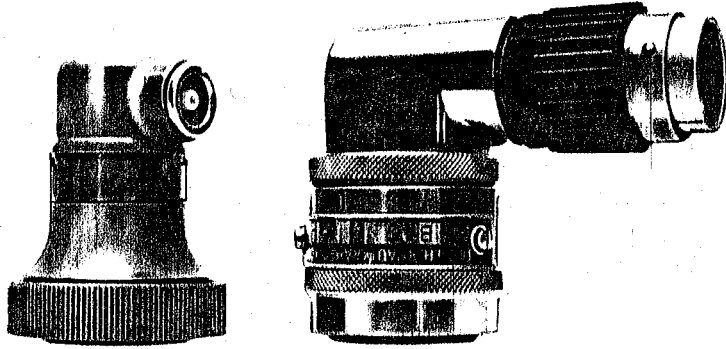
Krautkrümer firmasının ürettiği D serisi Normal preblar görülmektedir. Şekil : 7



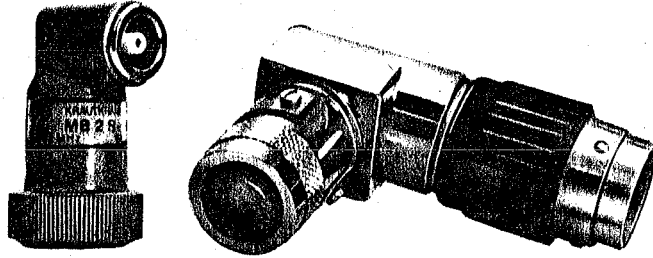
Şekil:7

Krautkrömer-D serisi normal Prob spesifikasyonu

| Modeli | Kod'u | Frekansı | Boyutları | Ağırlığı | Numarası |
|-------------|--------|----------|-----------|----------|----------|
| Normal | B1S-N | 1 MHz | ∅43 x 54 | 94 gr. | 53460 |
| Problar | B2S-N | 2 MHz | | | 53461 |
| | B4S-N | 4 MHz | | | 53462 |
| | B5S-N | 5 MHz | | | 53463 |
| Mini | MB2S-N | 2 MHz | ∅25 x 47 | 28 gr. | 53464 |
| Normal | MB4S-N | 4 MHz | | | 53465 |
| Problar | MB5S-N | 5 MHz | | | 53466 |
| Parmak tipi | B2F | 2 MHz | 38x30x11 | | |
| Problar | B4F | 4 MHz | (LxwxH) | 22 gr. | |
| Mini | MB2F | 2 MHz | 25x18x11 | | |
| Parmak tipi | MB4F | 4 MHz | (LxwxH) | 10 gr. | |
| problar | | | | | |

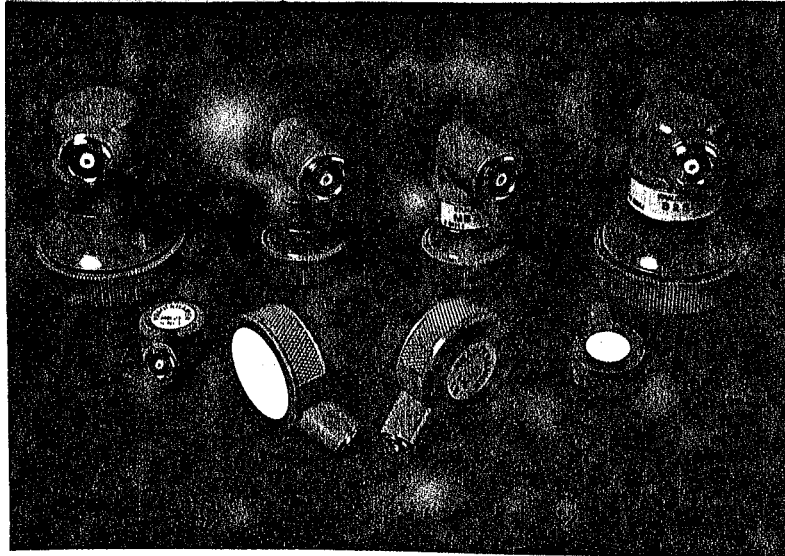


B4S-N Normal Prob Şekil:8



MB2S-N Mini Normal Prob.Şekil:9

Çeşitli Modelde Normal Problar

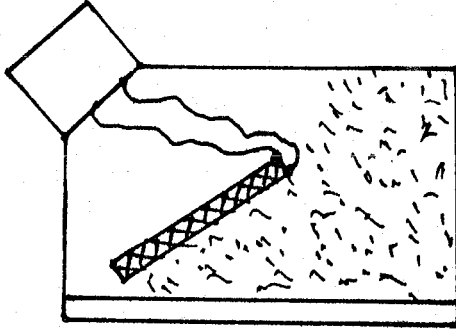


Şekil:10

7.2 Açılı Problar

Malzeme içine belli bir açı altında ses demeti gönderen problara açılı problar denir.

Prob haznesi içersinde kristal belli bir açı altında yerleştirilmiş yüzeye eğik bir geliş açısı altında ses demeti gönderirler. Aşağıdaki şekilde açılı prob kesidi görülmektedir. Şekil:11
Açılı problar Standart olarak 35° , 45° , 60° , 70° , olarak imâl edilirler.

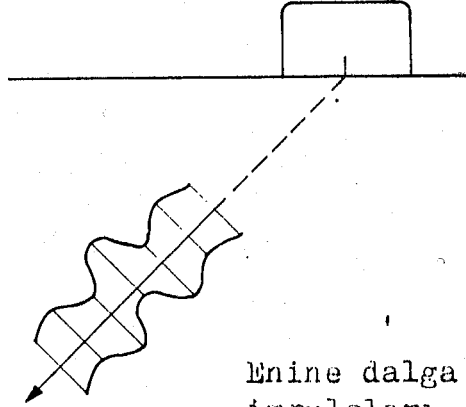


Şekil:11

Genelde boyuna dalga üretirler. Boyuna dalgalar kırılmadan delayı malzeme içersinde enine ve boyuna dalgalara ayrışırılar. Kırılma kanunlarından yararlanılarak boyuna dalgalar yüzeysel dalgalar haline getirilir.Yani malzeme içinde yayılmaları önlenir.

Bu nedenle açılı probların enine dalgalarla çalıştığı kabul edilir.Her açılı probun üzerinde malzeme içersine gönderdiği ses demetinin ve kırılma açısının açısı belirtilmiştir.

Enine dalgalar ses demetinin gönderi doğrultusuna dik doğrultuda oluşan titreşimlerdir.Şekil:12

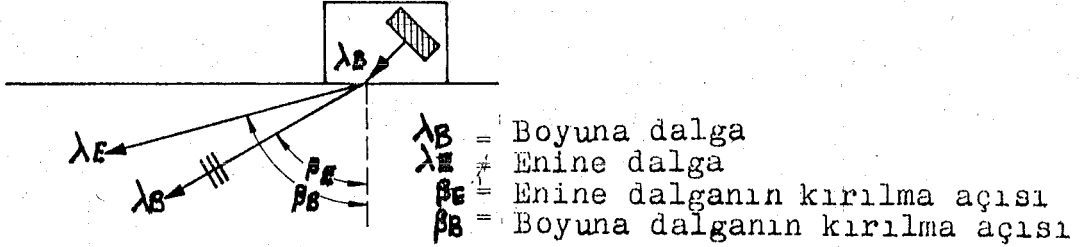


Şekil:12

Enine dalga
impulsları

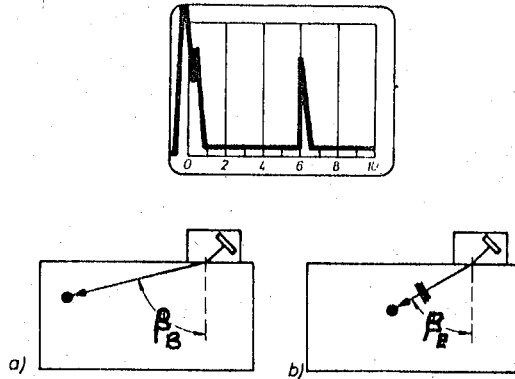
Açılı probların neden boyuna dalga üretmediğini inceleyelim: Boyuna bir dalga eğim altında malzeme içine gönderilmeğe çalışılırsa, sadece boyuna dalgalar değil,enine dalgalarda oluşur.

Şekil:13



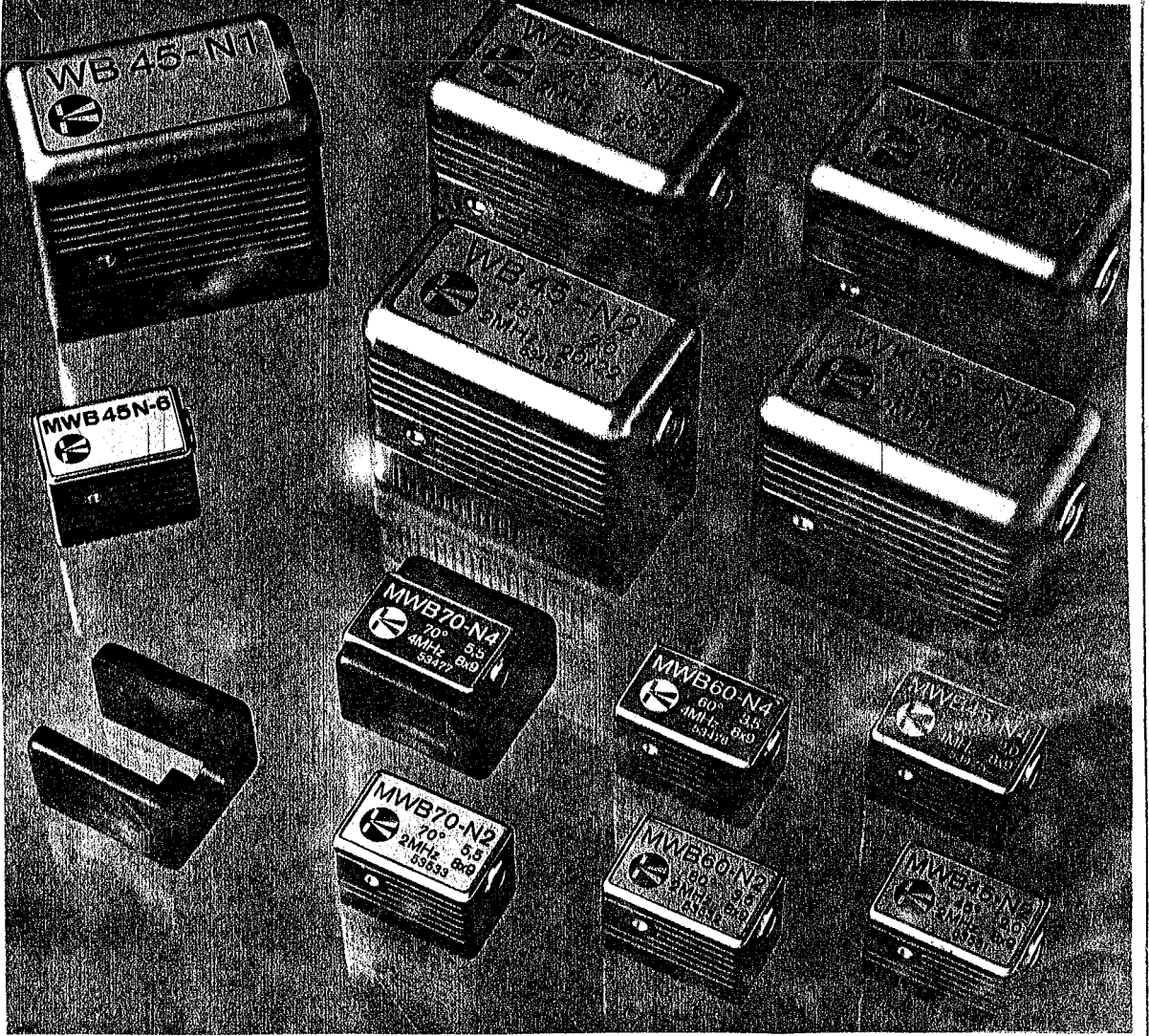
Şekil:13

Enine dalgalar aynı malzeme içinde boyuna dalgalara göre daha yavaştır. Boyuna dalgalarla enine dalgalar aynı kristalden oluşmalarına rağmen hareket doğrultuları değişiktir. Eğim altında dalga gönderen problarda şayet dalgaların dağılımı göz önüne alınmaz ise devamsızlığın yerini tespit ve değerlendirmesini yapmak birçok halde imkansızdır. Bazen de devamsızlıkların bulunması sorun olur. Çeşitli ölçüdeki bir devamsızlık bir echo verirse, bu ya boyuna veya enine dalga echosudur. Bundan başka boyuna dalgalar, enine dalgalara göre büyük bir gönderme açısı altında malzeme içine düz olarak yayılırlar. Şekil:14



Şekil:14

Krautkrömer firmasının ürettiği D Serisi açık problemler
görülmektedir. Şekil:15



Şekil:15

Krautkrömer D Serisi açılı prob Spesifikasyonu

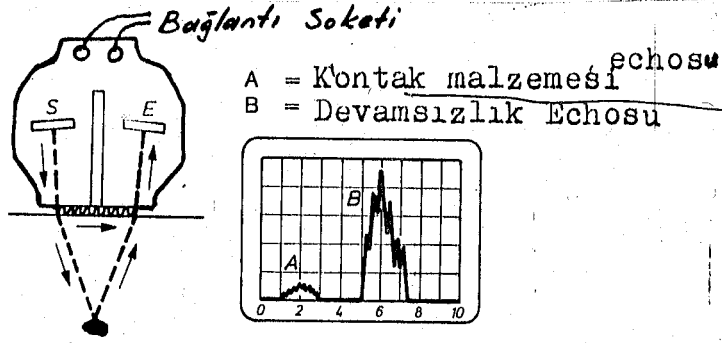
| Modeli | Kodu | Açısı | Frekansı | Boyutları | Ağırlığı | Numarası | | |
|----------------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------|----------|---------------------|-------|----------------|
| AÇILI PROBLAR | WB35-N2 WK35-N2 | 35°(çelik) | 2 MHz | 58x32x45 (LxwxH) | 100 gr | 53468 | | |
| | WB45-N1 WK45-N2 | 45°(çelik) | 1 MHz | | | 53512 | | |
| | WB45-N2 WK45-N2 | 45°(çelik) | | | | 53469 | | |
| | WB60-N2 WK60-N2 | 60°(çelik) | | | | 53470 | | |
| | WB70-N2 WK70-N2 | 70°(çelik) | 2 MHz | | | 53471 | | |
| | WB80-N2 WK80-N2 | 80°(çelik) | | | | 53472 | | |
| | OB - N2 | 90°(çelik) | | | | 53473 | | |
| | MWB35-N4 | 35°(çelik) | 4 MHz | | | 35x17x22 (LxwxH) | 14 gr | 53474 |
| | MWB45-N2 MWB45-N4 | 45°(çelik) | 2 MHz 4 MHz | | | | | 53531 53475 |
| MWB60-N2 MWB60-N4 | 60°(çelik) | 2 MHz 4 MHz | 53532 53476 | | | | | |
| MWB70-N2 MWB70-N4 | 70°(çelik) | 2 MHz 4 MHz | 53533 53477 | | | | | |
| MWB80-N4 | 80°(çelik) | 4 MHz | 53478 | | | | | |
| MOB-N2 MOB-N4 | 90°(çelik) | 2 MHz 4 MHz | 53479 | | | | | |
| MINİ AÇILI PROBLAR | | | | | | | | |

7.3 S E . Probları

Gönderici ve algılayıcı kristalleri ayrı ayrı olan problemlerdir. Bunlara çift kristalli problemler denir.

SE problemleri genel olarak beyuna dalgalar gönderirler. ve algırlarlar. Yüzeğe yakın hataların aranmasında ve ince cidarlı malzemelerin kalınlık ölçümünde başarı ile kullanılır. Gönderici kristalin algılama fonksiyonu olmadığı için yüzeğe sürtünmeden delayı kristalin rahatsız olması söz konusu değildir.

Kristalin temas yüzeyinden uzak olması delayısiyle ekran üzerinde bir TEMAS ÜSTÜ ECHO' su görüldür. Bu echoların oluşum nedeni göndericiden gelen ses dalgaları temas yüzeyinden yansıyarak algılayıcı tarafından algılanır. Şekil:16



Şekil:16

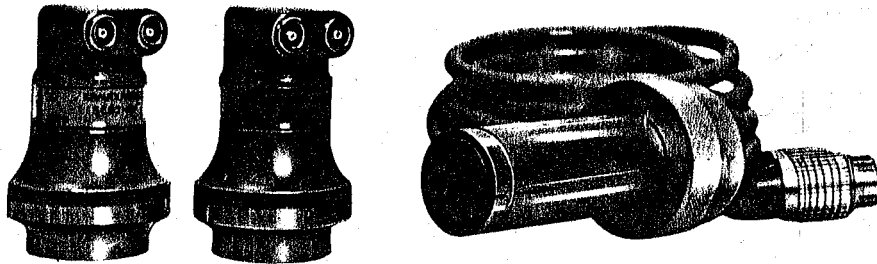
S:Gönderici prob (Sender)

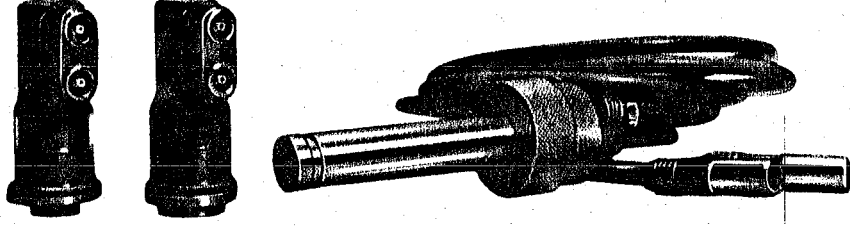
E:Algılayıcı prob (Empfänger)

Temas üstü echoları gerçekte çok küçüktürler.

SE problemlerinin dezavantajı dar bir dalga yayılma menziline sahip olmalarıdır.

Krautkrömer firmasının ürettiği SE problemleri Şekil:17





Şekil:17

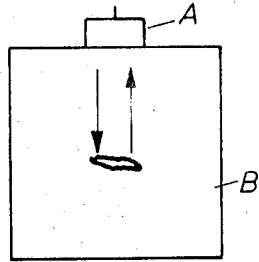
Krautkrömer SE Spesifikasyonu
prob

| Modeli | Kodu | Frekansı | Beyutları | Ağırlığı |
|---------------------|---------------------------------|----------|-----------|----------|
| SE PROBLARI | SEB 2H SEB 2H ⁰ | 2 MHz | ø38 x 55 | 98 gr |
| | SEB 4 H SEB 4 H ⁰ | 4 MHz | | |
| MINI SE-PROBLARI | MSEB 4H | 4 MHz | ø22 x50 | 35 gr |
| | MSEB 6 H | 6 MHz | | |

8. TEST UYGULAMALARI

8.1 Test Problemleri ve çözümü

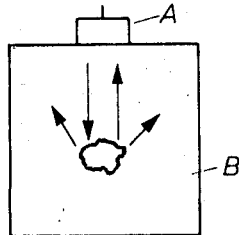
Prob malzemedeki hataları değerlendirmez, malzeme içerisine ses ötesi dalgalar gönderir. Malzeme içinden geri yansıyan dalgaları algılar. Şekil:18 Görüldüğü gibi devamsızlık ses demetine dik bir pozisyonda ise devamsızlığı algılama ihtimali çok yüksektir. Devamsızlığı algılama malzeme içindeki kapalı kalmış düzlem devamsızlıklar için geçerlidir.



A = prob
B = test parçası

Şekil:18

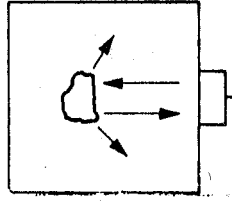
Probun temas yüzeyi altından malzeme içine doğru belli bir etki doğrultusu vardır. Ses dalgaları bir demet halinde malzeme içerisinde yayılır. Ses demetinin orta demetine " Merkez Demet " denir. Hacmi olan bir malzeme içindeki devamsızlıklar kendilerine gelen ses dalgalarını bir çek yöne yansıtırlar. Şekil:19



A = prob
B = test parçası

Şekil:19

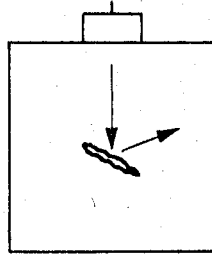
Sadece ses demetinin bir kısmı proba geri döner. Fakat bu dönüş ses demetinin devamsızlığa gelirken yaptığı deşrultuya bağılı değildir. Şekil:20



Şekil:20

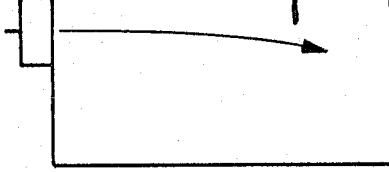
Proba geri dönen ses dalgaları devamsızlığı tanımlamaya yeterlidir. Testçi, prob ile malzemenin diğeryüzeylerinden bakarak devamsızlığı değerlendirmelidir.

Malzeme içindeki düz devamsızlıklar(iki boyutlu) yüzeylerine gelen ses demetini belli bir yöne yansıtırlar.Şekil:21



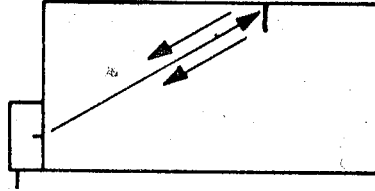
Şekil:21

Şayet devamsızlıktan yansıyan ses demeti proba geri gelmez ise bu devamsızlığı algılamak mümkün değildir. Malzeme yüzeyinden malzeme içine doğru uzayan çatlakların testinde arzu edilen devamsızlığı algılamada başarı elde edilemez. Ses demeti alanındaki katlanmalara çatlak ucu demetin yolunu değiştirecek etki yapar. Şekil:22



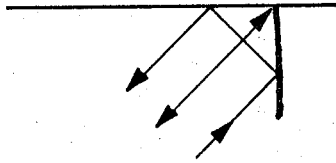
Şekil:22

Malzeme yüzeyinden, malzeme içine doğru uzayan çatlakların testinde devamsızlığı algılama ihtimali açılı yansıma problemlerinden yararlanmak suretiyle mümkündür. Şekil:23



Şekil:23

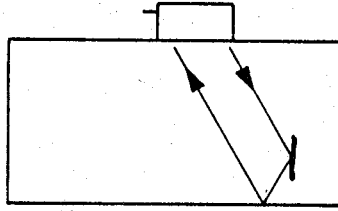
Devamsızlığa çarpan ses demeti ile devamsızlıktan yansıyan ses demeti arasında 90° bir açı var ise, bir miktarı geldiği yöne geri döner, köşelerde ise değrultusunda devam eder. Şekil:24 'de ses demetlerinin yansıma yaparak proba geri döndüğü görülmektedir.



Şekil:24

Ses demetinin geldiği açı kadar normal ile açı yaparak yansımından yararlanabilmek için devamsızlığın yüzeye dik olmaması ve yüzeye kadar çıkmamış olması gerekir. Şekil:25

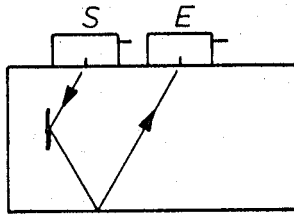
Yüzeye yakın olan böyle devamsızlıklar kendilerinden geri yansıyan ses demetleri sayesinde ses dalgalarını üreten prob tarafından algılanabilir.



ŞEKİL:25

Şayet içersinde düzlem devamsızlıklar bulunan kalın parçaların testinde, sesi üreten prob algılayamıyor ise TANDEM TEKNİĞİ uygulanır.

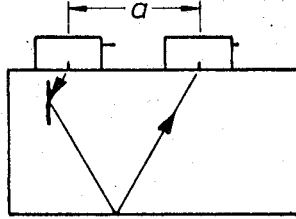
Tandem tekniğinde ses demetlerini gönderen ve ses demetlerini algılayan iki ayrı prob çalışır.Şekil:26



S:Gönderici prob(Sender)
E:Algılayıcı prob(Receiver)

ŞEKİL:26

Gönderici ve algılayıcı prob arasındaki (a) uzaklığına göre tarama derinliği malzeme yüzeyine dik doğrultuda değişir. Şekil:27



Şekil:27

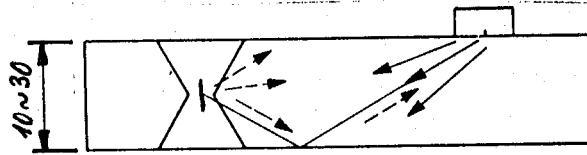
Tandem Tekniğinin kullanılması ve uygulaması çok kolay olmasına rağmen, testçi daima tek prob ile çalışmayı tercih eder. Tek prob ile çalışırken: Düzlem devamsızlıklarda 90° lik yansıma açısına erişilir, yansıma efekti test yararına kullanma imkanı ortadan kaldırır.

X kaynak ağı açılarak kaynatılmış orta kalınlıktaki kaynak diğışinin kontrolünde kaide olarak:

Malzeme içine gönderilen ses demeti parçasına bağlı olarak aşağıdaki hususlara dayanılır:

- Devamsızlığın uzantısı
- Test malzemesinin geometrisi
- Devamsızlığın yüzey yapısı (düz, püzüzlü gibi)
- Ses demetinin açıklığına

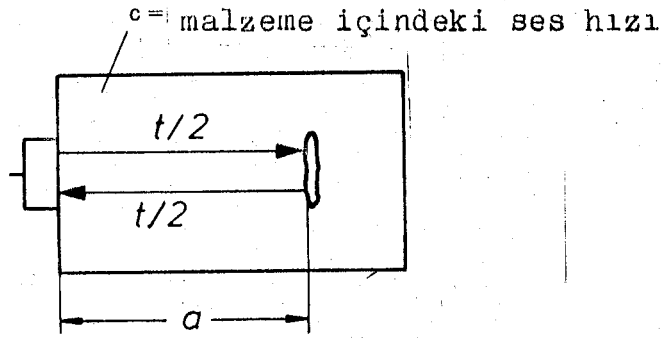
bağlı olarak az veya çok, en kötü ihtimal tesadüfte olsa, devamsızlıklardan yansıyan ses demeti proba geri döner. Şekil:28



Şekil:28

8.2 Impuls-ECHO TANIMI

Devamsızlığın bulunabilmesi için malzeme içindeki yere mümkün olduğu kadar kısa ses impulsları göndermemiz gerekir. Kısa impuls'lu ses dalgaları yolu üzerindeki devamsızlıklardan geri dönerek proba gelir. Ses dalgalarının gidip gelme zamanını ölçebiliriz. Malzeme içindeki dalga hızını biliyorsak devamsızlığın proba olan uzaklığı hakkında fikir elde ederiz. Şekil:29



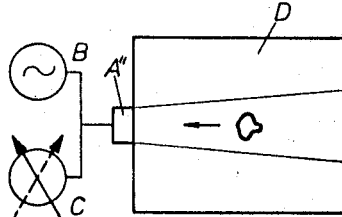
$t =$ ses impulsunun hareket zamanı

$a =$ devamsızlığın yüzeye olan uzaklığı.

Şekil:29

Duyulabilen alandaki ses dalgalarını bir yere çarparak geri dönmesi ve bunun kulak tarafından algılanmasına ECHO(yankı) denir. Metodu ismi: Impuls-Echo metodu olarak isimlendirilir.

Bir proba malzeme içersine ses ötesi dalgaları gönderiyoruz. Devamsızlığa çarparak geri dönen ses demetini aynı gönderici olan proba veya başka proba algılıyoruz. Şekil:30



A# prob

B= gönderici

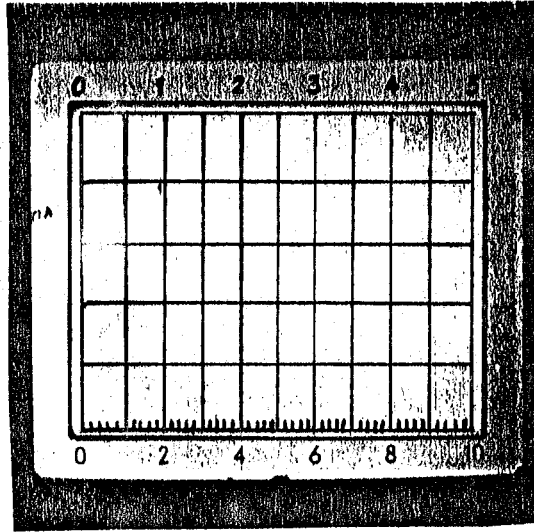
C= ekran

D= test malzemesi

Şekil:30

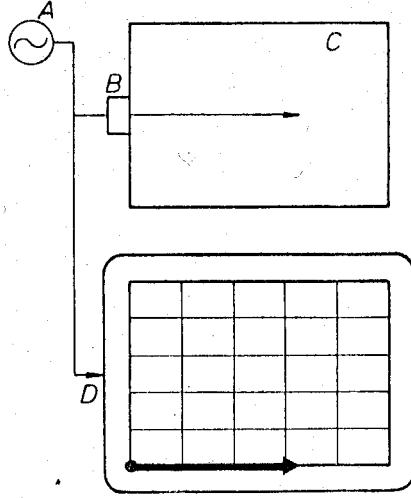
Gönderici elektriksel impulsları gönderir, prob bu impulsları önceden belirlenmiş frekansta ses ötesi dalgalara dönüştürür. Elektriksel algılayıcı olarak Oszillograf veya Osziloskop kullanılır. Test neticelerinin ekranda görünümü için graviere edilmiş açılı bir nokta skala üzerinde gelen elektriksel impulslardaki değişikliğe uygun olarak ekranda hareket eder.

Şekil:31 Ekran görülmektedir.



Şekil: 31

Bu ekrandaki görüntü sayesinde devamsızlıkları değerlendirmek mümkündür. Göndericiden elektrik impulsları gönderilir. Prob da ses dalgalarına dönüştürülür ve malzeme içine geçer geçmez ekranda temel bir çizgi oluşur. Şekil:32



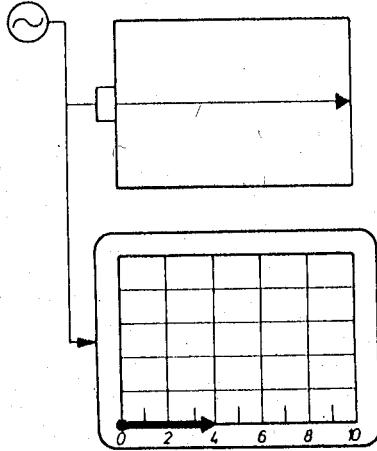
A = gönderici
B = prob
C = test parçası
D = ekran

Şekil : 32

Ses hızı tamamen yayıldığı malzeme ortamına bağlıdır.
(Ses hızı=malzeme sabitesi). Ekran üzerindeki ışıklı göstergenin hızı
ses hızına göre ayarlanmıştır.

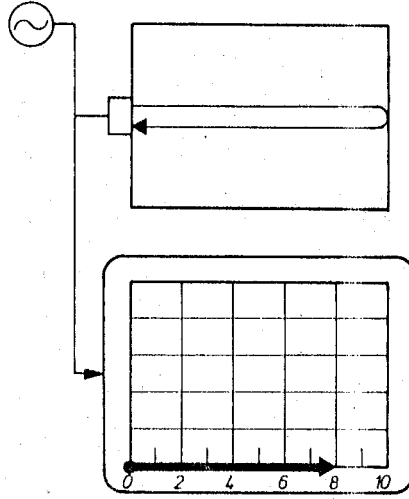
Misal olarak ışıklı noktanın hareketini ayarlayalım:

Ses demeti malzeme kesitini bir kere geçerse ışıklı nok-
tanın hareketi skalanın dördüncü bölmesine gelsin.Şekil:33



Şekil: 33

Ses demeti malzemenin alt cidarına çarpıp tekrar proba geri döndüğü zaman ışık sekizinci bölmeye gelsin. Şekil:34.



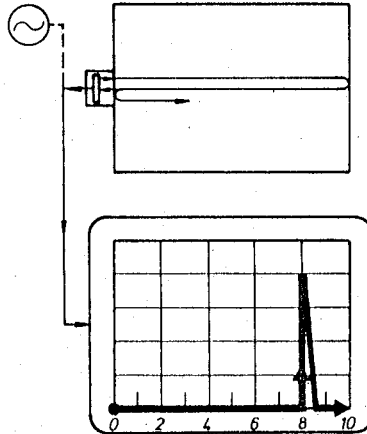
Şekil : 34

Proba geri gelen ses dalgaları PIEZO-ELEKTRİK EFEKTI üzerinden impulsları (gerilim impulsları) çözer. Bu gerilim impulsları ekran üzerinde ışıklı noktanın düşey doğrultudaki hareketini sağlar.

Şekil:35 de duruma göre:

- Echo 8 nci taksimat üzerinde
- Echo'nun 4 ü taksimat yüksekliği vardır.

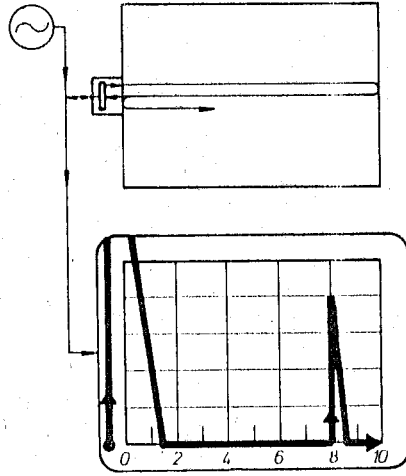
Bu echo bize henüz birşey ifade etmez. Ekrandaki echo görünümü tam değildir.



Şekil: 35

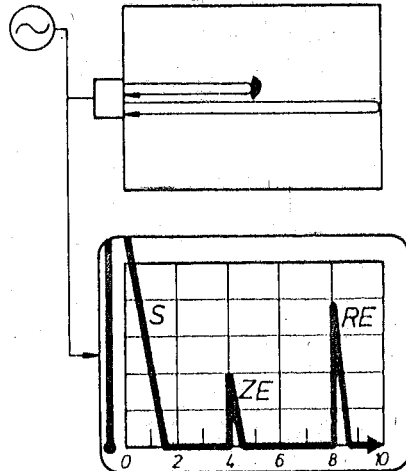
Yukarıdaki şekilde elektriksel göndericinin impulslarının ekran üzerindeki başlangıç echosunu dikkate almadık. Elektriksel göndericinin impulsları probda ses dalgalarına dönüşür. Malzeme içine girer girmez impulsların yüksek bir gerilimi vardır. Işıklı nokta skala üzerinde bir taban çizgisi ve bir başlangıç Echo' su oluşturur.

Skala üzerinde ışıklı noktanın bağlama yeri sıfır noktasında değil özellikle sıfır noktasının önündedir. Şekil:36 da görüldüğü gibi geniş tabanlı echo nun adı: Gönderici impuls echo'su yani Başlangıç echo'sudur. Sağdaki echo malzemenin arka cidarından gelen echo yani arka cidar echo'sudur.



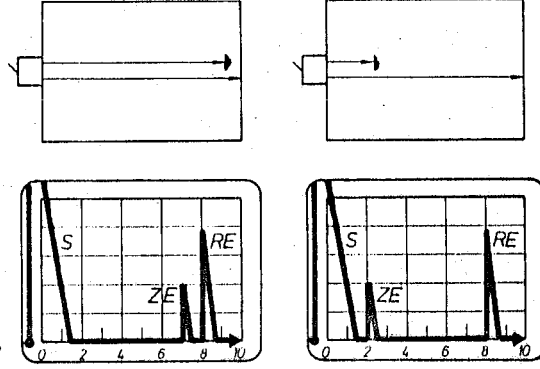
Şekil : 36

Şayet malzeme içinde bir devamsızlık olsaydı, başlangıç echo'su ile alt cidar echo su arasında devamsızlıktan gelen sese impulslarının verdiği bir echo görülür. Bu echo'ya ara echo denir. Şekil:37



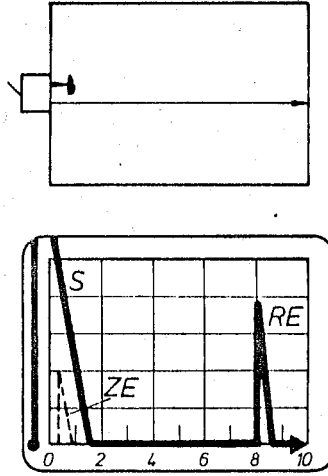
Şekil: 37

Bu ara echenin yerini değiştirmesi bize devamsızlığın değişik derinliklerde olduğunu gösterir.şekil:38



şekil : 38

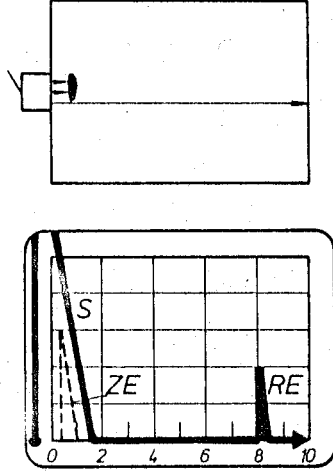
şayet devamsızlık yüzeye ek yakın hemen probun altında ise ara eche'su yani devamsızlık eche'su başlangıç eche'su içersinde kaybolur. Herhangibir bir devamsızlık eche'su habercisi olmaktan uzaklaşır.şekil:39



şekil: 39

Yüzeye yakın devamsızlığın habercisi olarak ekranımızda birkaç belirti vardır. Birinci Belirti:

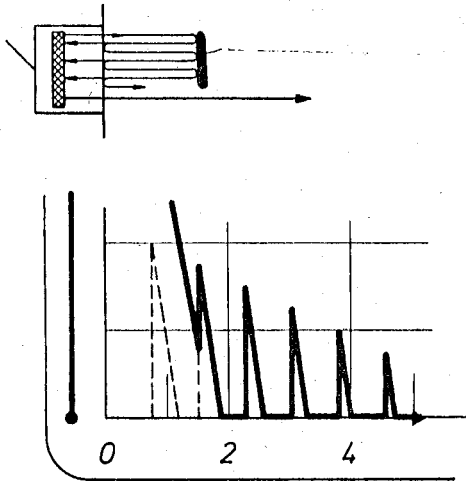
Başlangıç echosu içerisinde kaybelan echo, arka cidar echo'sunun yükseklik kaybetmesine sebep olur. Bunun nedeni arka cidara giden ses demeti; Başlangıç echo'su içerisinde kaybelan devamsızlığın nedeni olduğu ara echo'su tarafından zayıflatılır. Şekil:40



Şekil: 40

İkinci belirti: Şayet devamsızlık hemen üst düzey altında ve yüzeye paralel, düz ise ekranda tekrarlama echoları görülür. Şekil:41 Devamsızlıktan dönen ses impulsları zayıflıyacağından eşit aralıklarda oluşan echolar giderek yükseklik kaybederler.

Devamsızlık yüzeye ne kadar yakın ve küçükse bu oranda echolar başlangıç echosu içinde kaybolur. Bu oranda ara echolar birbirine yakın olur.



Şekil : 41

Devamsızlıkları bulma ihtimalinin sınırlı olması dolayısıyla başlangıç echosunun ekranda görülmesi istenmez.

Başlangıç echosunu mümkün olduğu kadar dar ve ekranda eluşan müteakip echoları rahatsız etmemesi arzu edilir.

9. KALİBRASYON

Ekranın 0 ile 10 skala taksimatı arasında range ve sıfırlama düğmeleri yardımı ile belli bir malzemenin kalınlığını doğrusal olarak ayarlamaya Ultrasonikte kalibrasyon denir.

9.1 Düşey doğrultuda ses demeti gönderen problara KALİBRASYON

Bir ultrasonik cihazı kalibre edebilmek için test edilecek malzemenin kalınlığı gözönüne alınarak bir test alanı tespit edilir. Tespit edilen alana cihazı kalibre edebilmek için, test edilecek malzeme özelliklerini, iç yapı aşım elementleri aynı olan bir kalibrasyon bloku seçilir.

Kalibrasyon blokunda aranan şartlar şunlardır:

- Kalibrasyon blokunun ölçüleri bilinmelidir.
- Kalibrasyon bloku ve test malzemesi aynı malzemeden olmalıdır. Yani: Her ikisinde aynı ses hızına sahip olmaları gerekir. Buna göre çelik malzemeler için DIN 54120 ve DIN 54122 de normlaştırılmış K1 ve K2 kalibrasyon standart blokları seçilir.

- Kalibrasyon blokunun karşılıklı yüzeyleri paralel, düzgün ve taşlanmış olması gerekir.

- Kalibrasyon bloku hatasız olmalıdır.

Cihazın kalibrasyonuna başlamadan önce bazı teorik bilgileri hesaplamamız gerekir.

Hesaplanması gerekli teorik bilgiler şunlardır:

- 1- Test alanının belirlenmesi: $TA(mm)$
- 2- Skala faktörünün hesaplanması: $k(mm/Skt)$
- 3- Ses yolunun hesaplanması : $S(mm)$
- 4- Skala pezisyenlerinin hesaplanması: $T(Skt)$

2. Skala faktörünün hesaplanması: k

$$k = \frac{TA}{10} \cdot \frac{TA}{Skt}$$

Skala taksimat sayısı 10 Skt

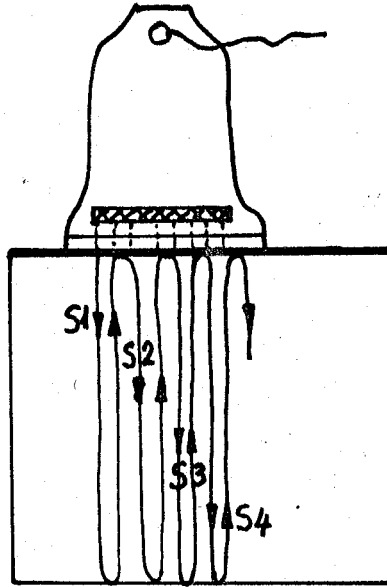
Böylece bir taksimat kaç mm test malzemesi derinliğe eşit olduğunu hesaplamış oluruz.

3. Ses yolunun hesaplanması:S

Malzemenin arka cidarına ses demetinin gidiş ve gelişine, ses yolu denir.Şekil:42

Mesela: 25 mm kalınlığındaki K1 blokunun yatay kesitinde:

| | |
|-------------|----------------------|
| S1 = 25 mm | 1. Echo'nun ses yolu |
| S2 = 50 mm | 2. Echo'nun ses yolu |
| S3 = 75 mm | 3. Echo'nun ses yolu |
| S4 = 100 mm | 4. Echo'nun ses yolu |



Şekil : 42

Arka cidardan dönen ses dalgaları üst cidara gelir, bir kısmı preba gider algılanır. Fakat büyük bir kısmı üst cidardan geri döner.

Böylece ses dalga demeti iki cidar arasında sınımlanana kadar gelir gider.

4. Skala pozisyonlarının hesaplanması:T

Arka cidar echo'larının, ekranın yatay skalası üzerinde hangi taksimatlar üzerinde olması gerektiğini hesaplama işlemine skala pozisyonlarının hesaplanması diyoruz.

$$T = \frac{S}{k} = \frac{\text{mm}}{\text{mm/Skt}} = \text{Skt}$$

Kalibrasyon işlemini kolaylaştırmak için hesaplarımızı çizelgede göstermede fayda vardır:

| 1. TEST ALANI: TA = 100 mm | 3. SES YOLU | | 4. SKALA POZİSYONU |
|--|-------------|-----|--|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ | S | mm | T = $\frac{S}{k}$ |
| $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | | | |
| $k = \frac{100}{10} = 10 \text{ mm/Skt}$ | S1 | 25 | $T_1 = \frac{S_1}{k} = \frac{25}{10} = \frac{\text{mm}}{\text{mm/Skt}} = 2,5 \text{Skt}$ |
| | S2 | 50 | $T_2 = \frac{S_2}{k} = \frac{50}{10} = 5 \text{ Skt}$ |
| | S3 | 75 | $T_3 = \frac{S_3}{k} = \frac{75}{10} = 7,5 \text{ Skt}$ |
| | S4 | 100 | $T_4 = \frac{S_4}{k} = \frac{100}{10} = 10 \text{ Skt}$ |
| | S5 | - | - |

Bir misal ile kalibrasyonun nasıl yapıldığını görelim:

TEST ALANI : TA = 0 - 100 mm

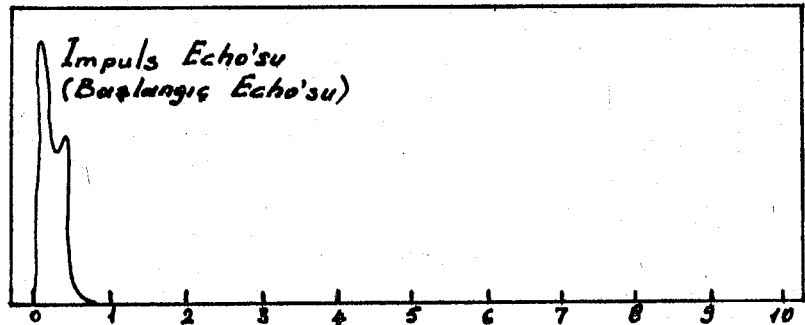
PROB : MB 4 S- N

KALİBRASYON BLOKU: K1'in 25 mm kesiti

İşlemler:

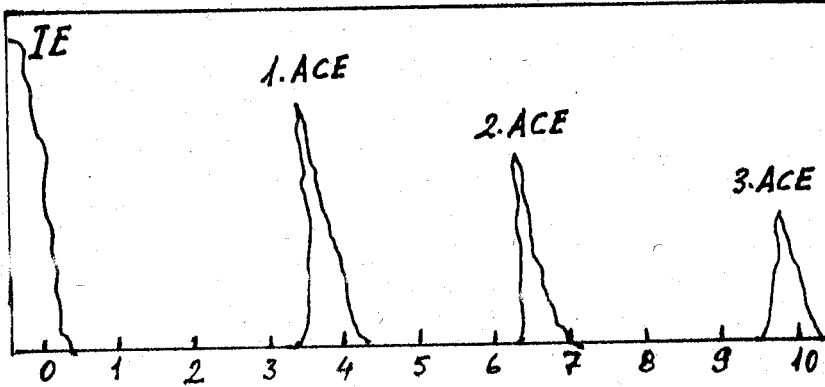
1- Test alanı cihazın range (alan) düğmesi ile kaba olarak seçilir. 50 mm veya 100 mm kademesine getirilir.

2- Sıfırlama düğmesi ile ekranın sol köşesine başlangıç echo'su getirilir. Şekil: 43



Şekil: 43

3. Preb, blokun üzerine biraz yağ sürülerek ve hafif bastırılarak kontaklanır. Ekranda başlangıç echo'su ve arka cidar echoları görülecektir. Şekil:44



IE: İmpuls Echo'su
ACE: Arka Cidar Echo'su

Şekil:44

Kalibre etmek istediğimiz test alanı içerisinde, kalibrasyon blokunun kalınlığını kaç defa görebiliyorsa kaç echo'yu, echoların aralarını açıp daraltan kademesiz range düğmesi ile ekrana getirmeliyiz.

İki tane kalibrasyon echosu seçilir. Bu echolar 0 - 1 ve 9 - 10 taksimatları arasında olmasına ve mümkün olduğu kadar birbirinden uzak olmasına dikkat edilmelidir.

4. Seçilen kalibrasyon echoları skala üzerindeki pozisyonlarına şu şekilde getirilir:

Birinci kalibrasyon echosu sıfırlama düğmesi yardımı ile 2,5 taksimatı üzerine getirilir.

5. İkinci kalibrasyon echomuz üçüncü echo olsun. Kademesiz range düğmesi ile skala üzerinde 7,5 pozisyonuna getirilir.

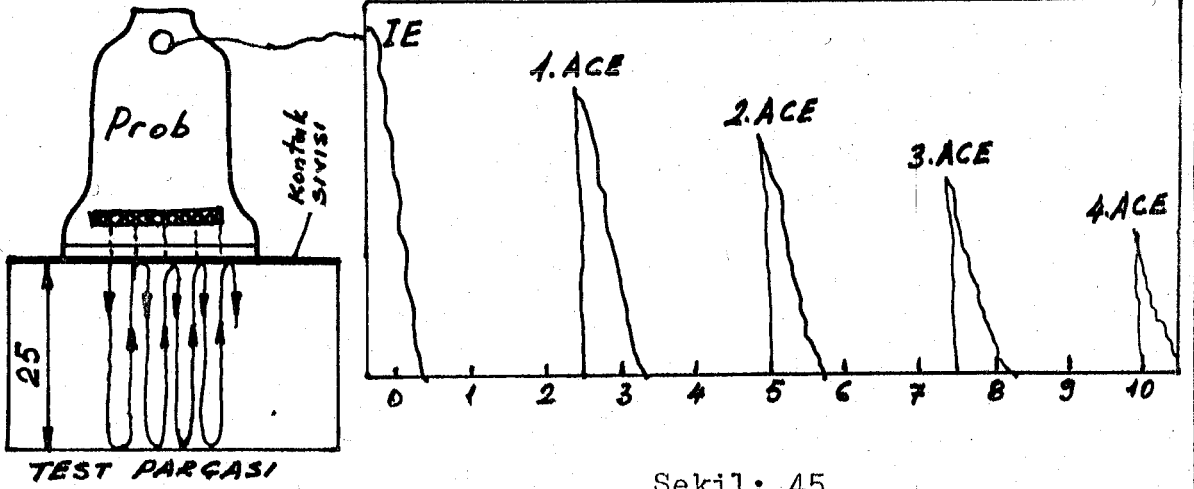
6. Bu iki düğme yardımı ile, iki kalibrasyon echosu ilgili pozisyonlara gelene kadar işleme devam edilir. Diğer echolar otomatikman taksimatları üzerine gelmiş olur. Şekil:45

Yani:

| | | |
|---------------|------|-------|
| Birinci Echo | 2,5 | 1.ACE |
| İkinci Echo | 5,0 | 2.ACE |
| Üçüncü Echo | 7,5 | 3.ACE |
| Dördüncü Echo | 10,0 | 4.ACE |

Böylece cihaz 0 - 100 mm test alanına çeliğe göre kalibre edilmiştir. 100 mm ye kadar olan çelik malzemeleri bu kalibrasyon ile test edebiliriz.

Ekrandaki görüntü şöyledir:



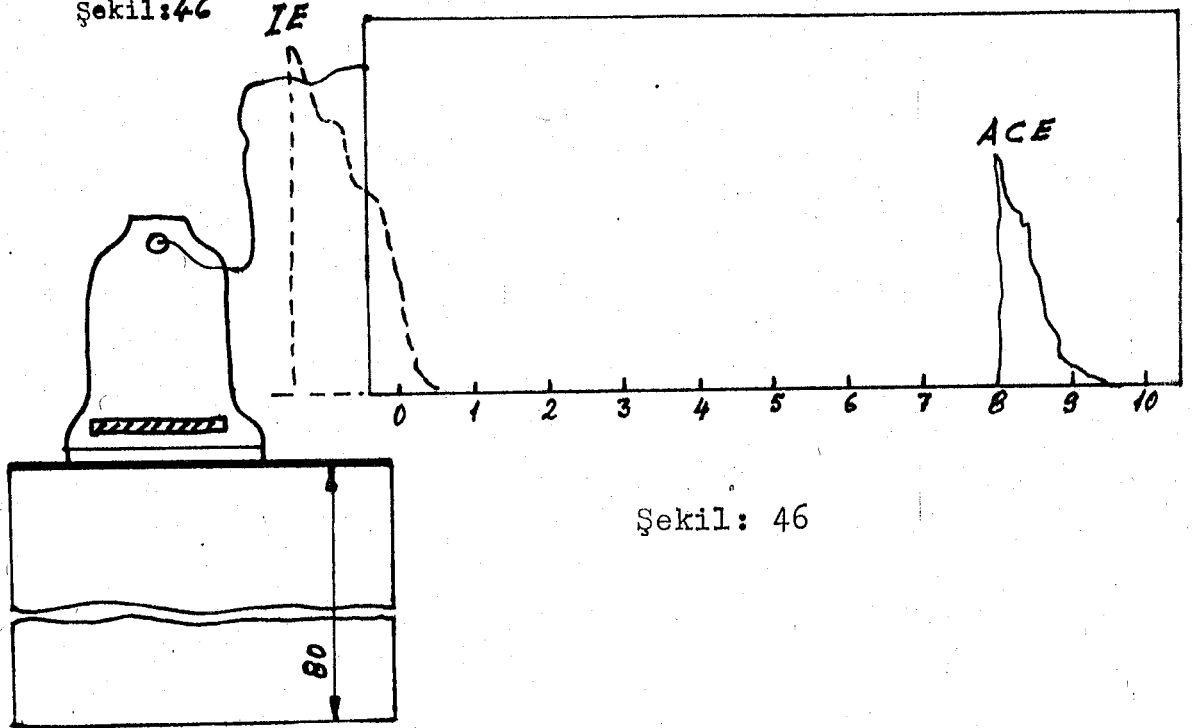
Şekil: 45

Echoların daima yükselen ayakları ilgili pozisyonlara getirilir ve değerlendirilirken echoların yükselen ayakları gözönüne alınır.

Bu kalibrasyondan sonra probumuzu 80 mm kalınlığındaki bir malzeme üzerine yerleştirelim:

Sekizinci skala taksimatı üzerinde bir arka odayar echosu alırız. Cihazı kalibre ettikten sonra Impuls echosunun yükselen ayağını "0" taksimatı üzerinde göremeyiz. "IE" sola kaymış vaziyettedir.

Şekil:46



Şekil: 46

Bunun nedeni probun kristali ile malzeme yüzeyi arasındaki mesafedir. Bu mesafe yükseldikçe bu impuls echosunun sela doğru kayması o kadar fazla olur. Hatta Plexglas tabanlı probun giriş echosu görülür. Cihaz doğru kalibre edildiği zaman test edilen malzemenin üst yüzeyi " 0 " taksimatına gelecek şekilde ayarlanmıştır.

9.1.1 Paralel kaydırma kalibrasyonu

Kalibrasyon için gerekli şartlar:

- En az iki arka cidar echosu ekranda görmemiz gerekir.
- Kalibrasyon bloğunun kalınlığı test alanına eşit veya daha küçük olması gerekir.
- Hiçbir zaman Impuls echosu kalibrasyon için kullanılamaz. Cihazı kalibre edebilmek için en az iki arka cidar echosu görmemiz gerektiğini biliyoruz.

Şimdi paralel kaydırma kalibrasyonu ile kalibrasyon bloğunun kalınlığına denk test alanını kalibre edebiliriz.

| 1. TEST ALANI: TA = 25mm | 3. SES YOLU | 4. SKALA POZİSYONU |
|--|-------------|---|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | S mm | $T = \frac{S}{k}$ |
| $k = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ mm/skt}$ | S1 25 | $T_1 = \frac{S_1}{k} = \frac{25}{2,5} = 10 \text{ Skt}$ |
| | S2 50 | $T_2 = \frac{S_2}{k} = \frac{50}{2,5} = 20 \text{ Skt}$ |

Bu çizelgeyi hazırladıktan sonra, ekrandaki yatay skalamız sadece 10 taksimatlı olduğundan 2. arka cidar echosunu ekran içinde görmemiz mümkün değildir. Birinci ve ikinci arka cidar echosunun ekranda görülebilmek için Paralel kaydırma kalibrasyonu uyguluyoruz.

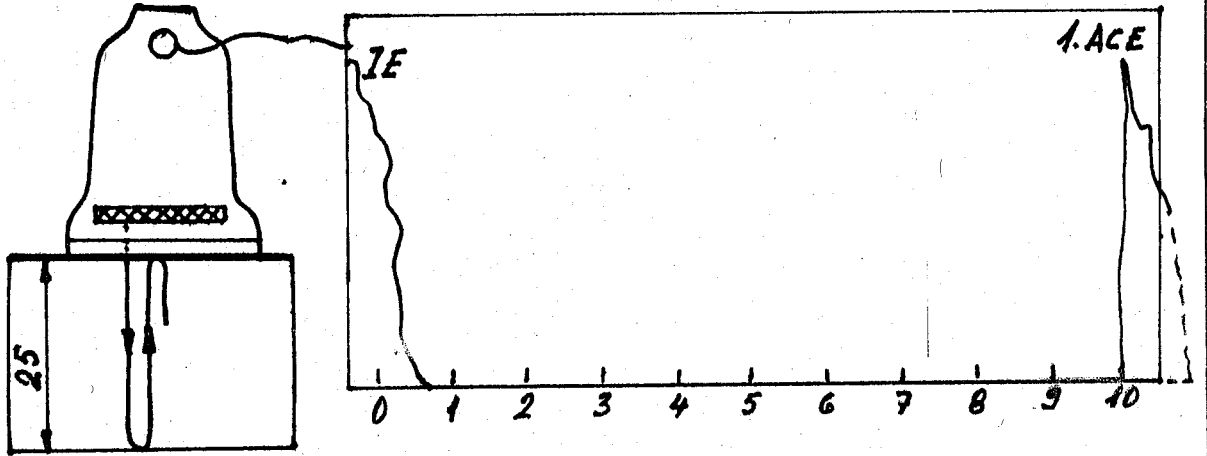
Kalibrasyonun uygulamasını şu şekilde yapıyoruz:

- Kademeli range düğmesi ile 25 mm test alanı seçilir.
- Prob Kl bloğunun veya alt ve üst cidarı birbirine paralel bir parçanın yüzeyine kontaklanır.
- Alınan 1. arka cidar echosu, skala üzerinde "10" taksimatı üzerine getirilir. Şekil: 47
- Sıfırlama düğmesi ile "10" taksimatı üzerindeki 1. arka cidar echosu " 0 " taksimatı üzerine getirilir. Kademesiz range düğmesi ile ekran üzerinde 2. arka cidar echosu bulunur ve "10" taksimatı üze-

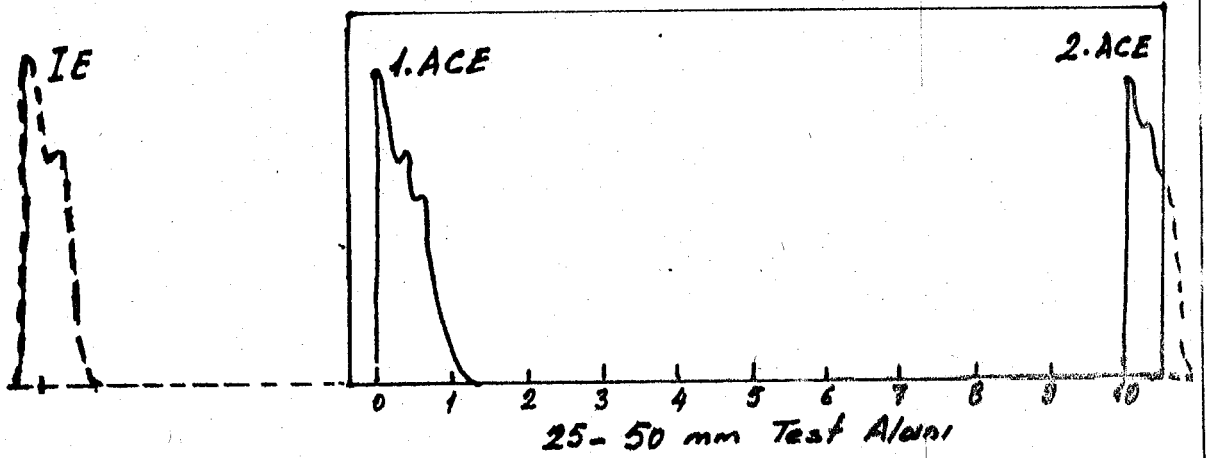
rine getirilir.Şekil:48

Böylece 1.arka cidar echosu sıfırlama 2.arka cidar echosu range düğmesi ile hesap edilen pozisyonlara getirilmiş olur.

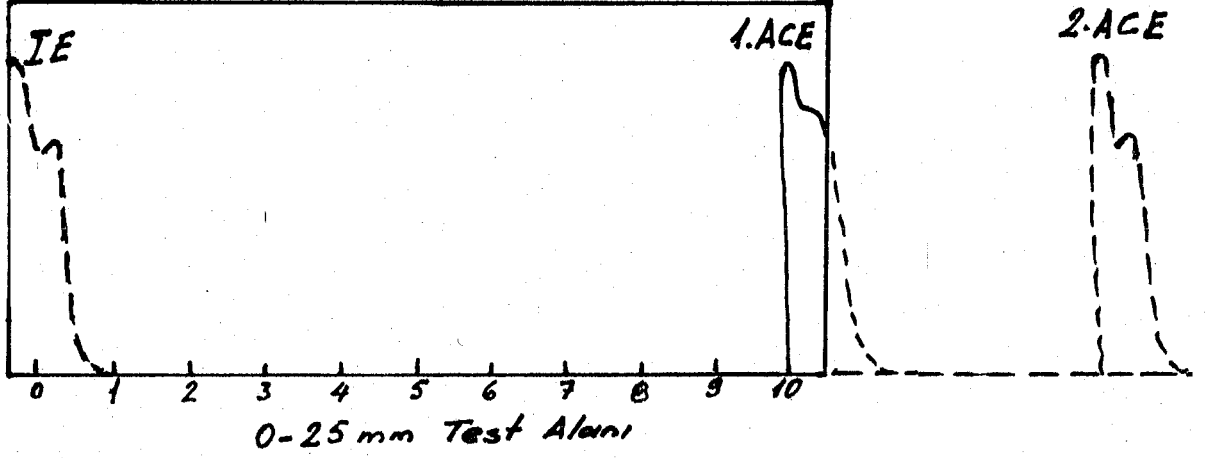
Bu andan itibaren Range düğmesine dokunulmaz. Sıfırlama düğmesi ile 1.arka cidar echosu skala üzerinde " 0 " taksimatından "10 " taksimatı üzerine kaydırılır.Böylece cihazımız 0-25 mm test alanına kalibre edilmiş olur.Şekil:49



Şekil : 47



Şekil : 48



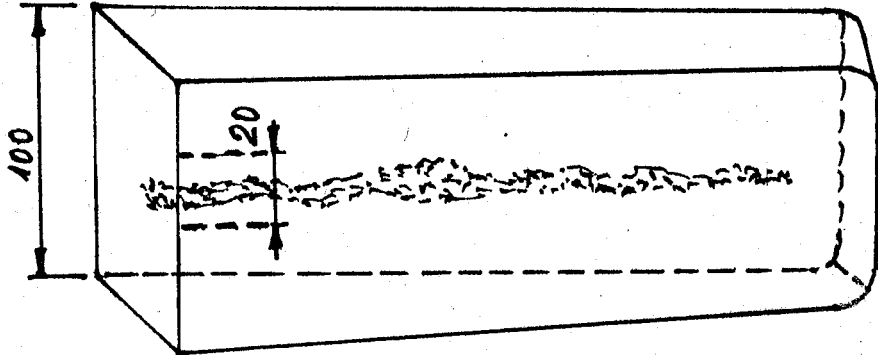
Şekil : 49

9.1.2 Kısmi alan kalibrasyonu

İmalat usulu delayisiyle bazı malzemelerde sadece malzemenin belli bölgelerinde hatalar aranır.

Mesela: Döküm ingotlarda olduğu gibi.

Bu durumda cihazın test hassasiyetini artırmak için cihaz hatanın beklendiği genişlik kadar bir test alanına kalibre edilmelidir.

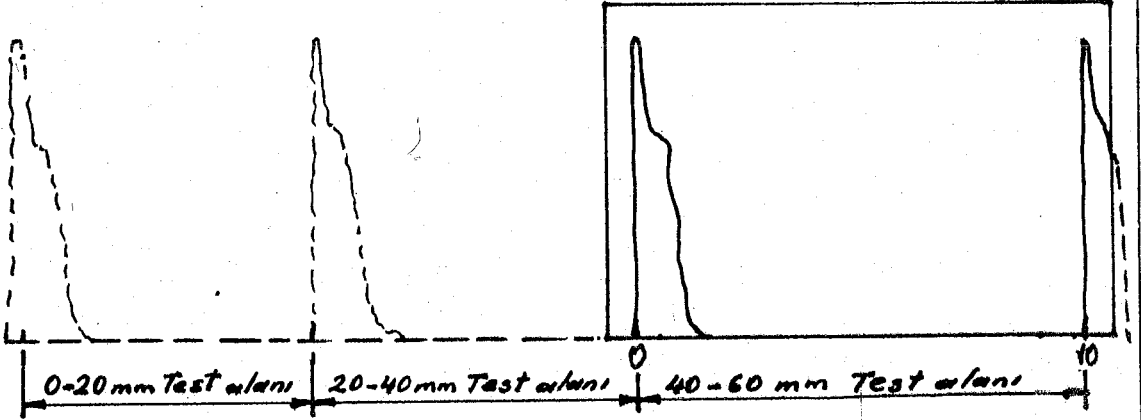


Şekil: 50

Şekil: 50 görülen 100 mm kesit boyundaki ingot'un 20mm kalınlıktaki orta bölgesinde bir sahada hata arayalım. Hata tespit hassasiyetinin en iyi olabilmesi için cihazımızı sadece 20 mm'lik bir test alanında kalibre etmeliyiz.

Önce cihazımızı 20 mm'lik bir test alanına kalibre edelim.

Sıfırlama düğmesi ile ekranı iki defa sola paralel kaydırırız. Böylece 40-60 mm bir test alanımız ekran üzerindedir. Şekil:51



Şekil:51

Bu kaydırma işleminden sonra 0-40 mm alanda ses yolunu kapatacak veya ses demetlerini başka yöne yansıtacak hiçbir devamsızlık olmamalıdır.

0-40 mm alanda devamsızlık olsa bile hiçbir şekilde hata echo'su almamız mümkün değildir.

40-60 mm. alandaki hatayı da kapatır echo alamayız. Test esnasında arka cidar echo'su ekran üzerinde görülmez. Misal olarak verdiğimiz ingottan, cihaz ancak 100 mm test alanına kalibre edildiği zaman arka cidar echo'su alabilir.

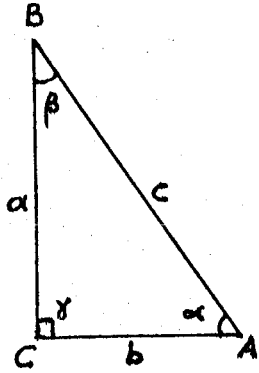
Fakat 0-40 mm. alanın hatasız olması halinde 40-60 mm alandaki bütün devamsızlıklar bize hata echo'su verecektir.

9.2. Açılı problemlerle kalibrasyon

Açılı problemlerle kalibrasyonu izah edebilmek için açı fonksiyonlarını ve kırılma kavramını incelememiz gereklidir.

AÇI FONKSİYONLARI (TRİGONOMETRİK FONKSİYONLAR):

Malzeme içersine açılı ses demeti gönderirken, cihazı doğru olarak kalibre edebilmek ve devamsızlıkları doğru olarak değerlendirebilmek için, bu trigonometrik fonksiyonlardan yararlanmamız gerekir. Şekil:52



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

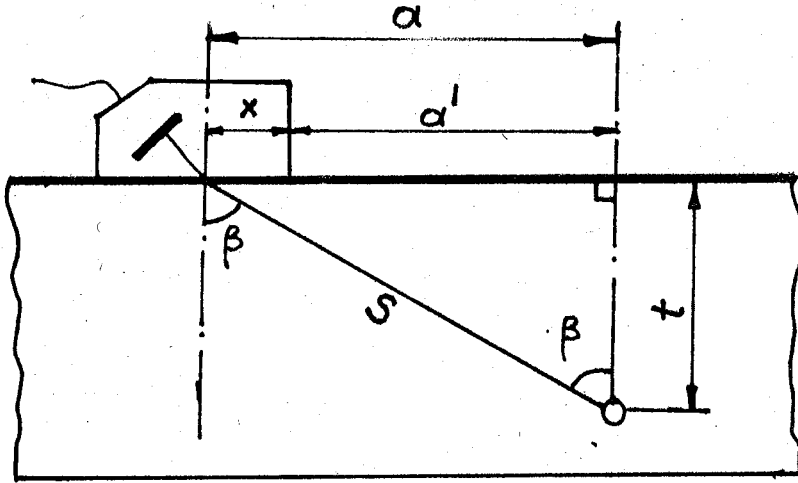
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\operatorname{Cotg} \alpha = \frac{b}{a}$$

Şekil:52

Şekil:53'de görülen "t" derinliğindeki devamsızlığı tespit için açılı prob'la malzememizi tarayalım.

Buradaki " β " açısının trigonometrik fonksiyonları:



$$\cos \beta = \frac{t}{S} \implies t = S \cdot \cos \beta$$

$$\sin \beta = \frac{a}{S} \implies a = S \cdot \sin \beta, \quad a' = S \cdot \sin \beta - x$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{t} \implies a = t \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad a' = t \cdot \operatorname{tg} \beta - x$$

Şekil:53

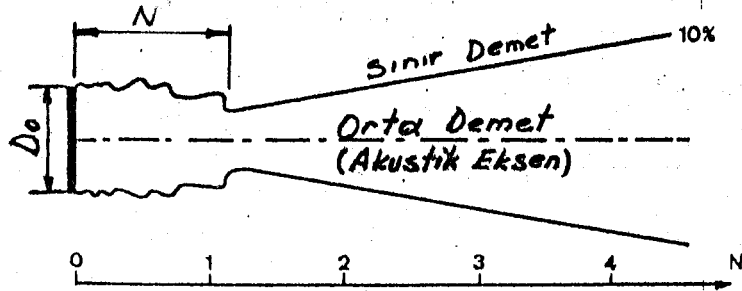
Trigonometrik fonksiyonları kısaca hatırlattıktan sonra, ses demetlerinin ortam değiştirirken uğradıkları kırılmayı inceleyebiliriz.

SES DALGALARININ KIRILMASI:

Ultraseniğin temel prensiplerinden biri şudur:

Devamsızlıklara dik olarak ses demeti gönderildiğinde, devamsızlıklardan en yüksek ve en iyi eche alınır.

Bu temel prensip, malzeme içersine değişik açılar altında ses demeti göndermeye zorlanmıştır. Ses demeti, bir ortamdaki değişik bir ortama girdiğinde, girdiği doğrultudan kırılarak ve ayrılarak yeluna devam eder. Misal olarak: Su içine batırılan uzunca bir sopanın, suda kırılmış olduğunu görürüz. Ses demeti şekillerimizde değrusal bir çizgi halinde gösterilmiştir. Aslında ses demeti ses üreten kristalin çapına bağlı olarak Şekil:54'deki form'da yayılma gösterir.

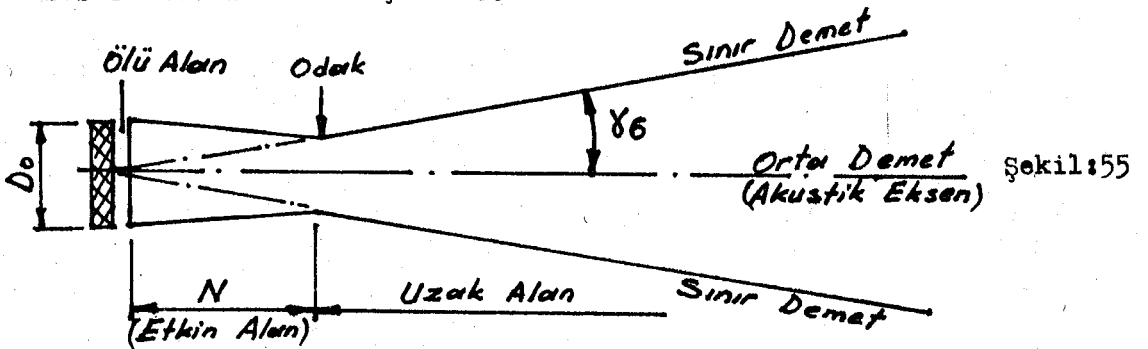


N: Etkin alan

D₀: Gerçek kristalin çapı

Şekil:54

Bu ses formu karışık olduğu için pratikte yaklaştırılmış bir ses formu kullanılır.Şekil:55



Etkin alan: $N = \frac{D_{eff}^2 \cdot f}{4 \cdot C}$ formülü ile hesap edilebilir.

$D_{eff} = 0,97 \cdot D_0$ eşitliği yazılır.

- D_{eff} = Ses üreten kristalin çapı
 D_0 = Gerçek kristalin çapı
 f = Prob'un frekansı
 C = Test malzemesindeki sesin yayılma hızı
 4 = Costant sabitesi
 γ_6 = Açılma açısı

Örnek: MB 4S-N probu için $D_{eff} = 9,6$ mm, prob frekansı
 $f = 4$ MHz, sesin yayılma hızı $C = 5,92$ km/sn olursa,
Etkin alan mesafesini ve açılma açısını bulalım:

$$N = \frac{D_{eff}^2 \cdot f}{4 \cdot C} = \frac{(9,6)^2 \cdot 4}{4 \cdot 5,92} = \frac{368,64}{23,68} = 15,56 \text{ mm}$$

$N = 15,56$ mm. olur.

Açılma açısı $\sin \gamma_6 = 0,51 \frac{C}{f \cdot D_{eff}}$ formülünden hesap edilir.

$$\sin \gamma_6 = 0,51 \cdot \frac{5,92}{4 \cdot 9,6} = \frac{3,0192}{38,4} = 0,078625$$

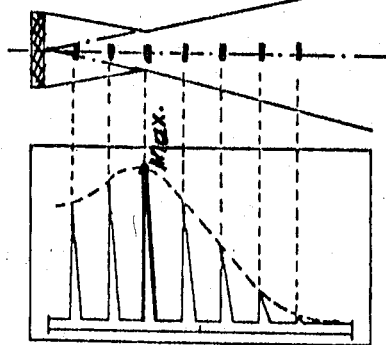
$$\sin \gamma_6 = 0,078625$$

$$\gamma_6 = 4,5^\circ$$

Malzeme içinde çok hassas devamsızlıklar aranıyorsa açılma açısı " γ_6 " genelde 6 dB(desibel) sınırla çalışılır.

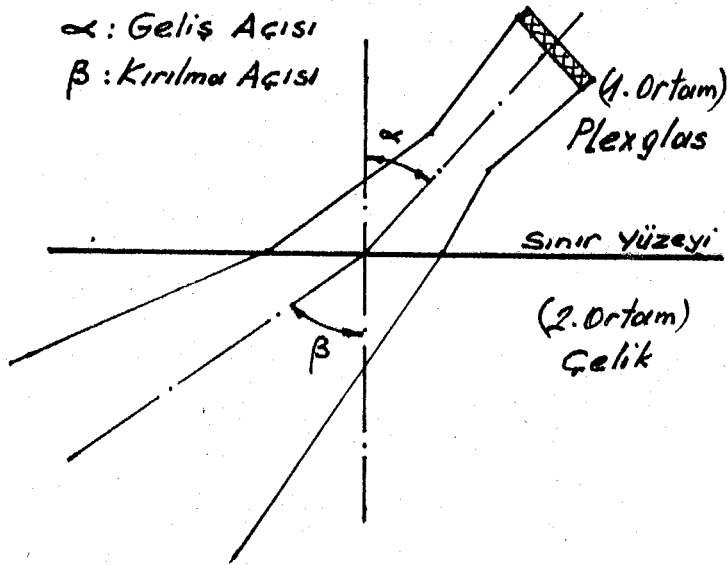
Ses demetinin odak yerinde en yüksek ses basıncı mevcuttur.

Şekil: 56



Şekil:56

Bir ses demetinin bir ortamdan diğer bir ortama girdiğini düşünelim. Ses demetinin sınır yüzeyine gelen kısmı, geldiği ortamdaki; ses hızına göre daha erken yavaşlayacak veya hızlanacaktır. Bunun neticesinde kırılma olayı elur. Şekil: 57



Şekil:57

Geliş Açısı: α

Probdan gönderilen ses dalgalarının sınır yüzeyinin normali ile yaptığı açıya geliş açısı denir.

Kırılma açısı: β

Gelen ses demetinin sınır yüzeyinden geçerek kırıldıktan sonra malzeme içersinde yayılmaya devam eden merkez demetinin, sınır yüzeyinin normaline yaptığı açıya kırılma açısı denir.

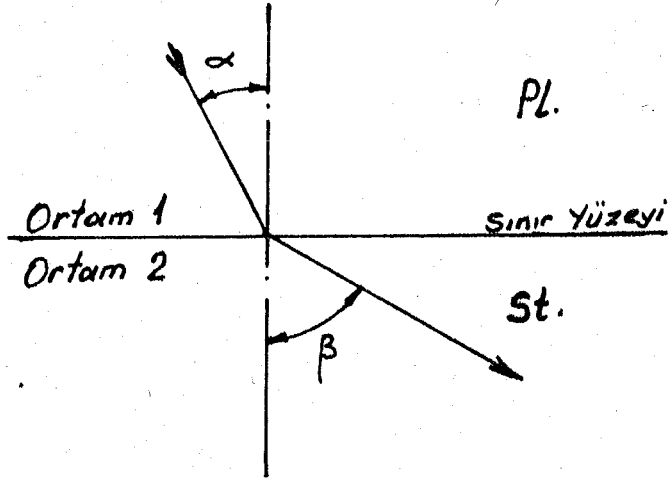
Fizikteki kırılma kanunu, ses fizigi içinde geçerlidir, ve ortamdaki ses hızına bağlıdır.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C_1}{C_2}$$

C1: Birinci ortamdaki ses hızı

C2: İkinci ortamdaki ses hızı

Bunu bir misal'le inceleyelim:



Şekil:58

Şekil:58'deki Plexglas içersinde ses demetinin geliş açısı $\alpha = 15^\circ$, ses demetinin yayıldığı 2. ortam çeliktir. Çelik içersinde ses demetinin kırılma açısını bulalım.

Formülümüzü $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{CBPL}{CBSt}$ şeklinde yazabiliriz.

CBPL : 2730 m/sn Plexglas içersinde boyuna dalganın hızı
CBSt : 5920 m/sn Çelik içersinde boyuna dalganın hızı
 $\sin 15^\circ = 0,259$

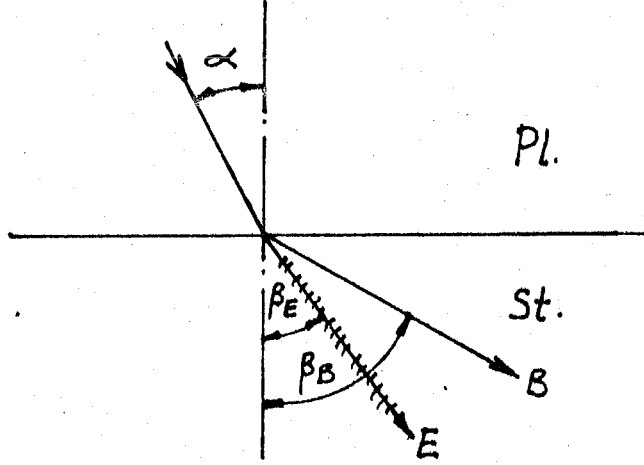
$$\sin \beta = \frac{CBSt}{CBPL} \cdot \sin \alpha = \frac{5920}{2730} \cdot 0,259 = 0,561$$

$$\sin \beta = 0,561$$

$$\beta = 34,1^\circ$$

Misalde plexglas ortamından, çelik ortamına geçen boyuna dalgaların kırılma açısını hesapladık. Ancak; bir sınır yüzeyine normalle açı yaparak gelen ses demetleri enine ve boyuna dalgalara ayrılır.

Bunun için kırılma açılarını/hangi dalga çeşidine ait olduğunu belirtmek lazımdır. Aynı misal üzerinde ayrılan enine dalgaların kırılma açısını düşünelim. Şekil:59



Şekil:59

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_E} = \frac{CBPL}{CESt}$$

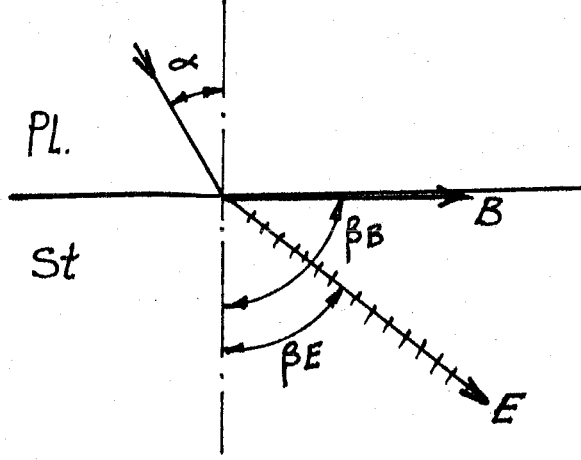
$$\sin \beta_E = \frac{CESt}{CBPL} \cdot \sin \alpha = \frac{3250}{2730} \cdot 0,259 = 0,308$$

$$\sin \beta_E = 0,308$$

$$\beta_E = 17,9^\circ$$

Standart açılı prebların enine dalgalarla çalıştığını ve enine dalgaların sadece katı ortamda yayıldığını biliyoruz. Probu gönderdiği ses demeti kontak sıvısı yardımıyla, sınır yüzeyden sesin yayılma hızı daha değişik olan bir ortama girer.

Geliş açısı " α " öyle seçilirki, malzeme içerisinde ayrılan boyuna dalga demetleri yüzeysel dalgalar haline getirilir. Boyuna dalgalar, enine dalgalardan daha hızlı ve kırılma açısı daha büyüktür. Boyuna dalgaların kırılma açısı 90° olması için, ses demetinin geliş açısının ne olacağını bulalım. Şekil:60



Şekil:60

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_B} = \frac{CBPL}{CESt}$$

$$\sin \alpha = \frac{CBPL}{CESt} \cdot \sin \beta_B = \frac{2730}{5920} \cdot 1 = 0,461$$

$$\sin \alpha = 0,461$$

$$\alpha = 27,47^\circ$$

$$\beta_B = 90^\circ$$

$$\sin \beta_B = \sin 90^\circ = 1$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_E} = \frac{CBPL}{CESt}$$

$$\sin \beta_E = \frac{CESt}{CBPL} \cdot \sin \alpha = \frac{3250}{2730} \cdot 0,461 = 0,549$$

$$\sin \beta_E = 0,549$$

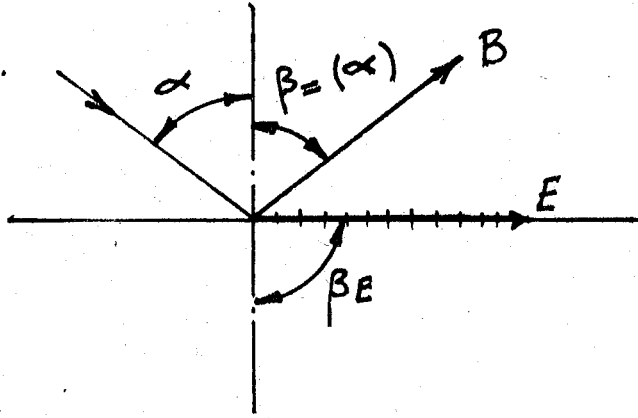
$$\beta_E = 33,3^\circ \text{ Bu açıya Birinci kritik açı denir.}$$

Prebların üzerinde yazılı açılar, daima sınır yüzeyinin normali ile enine ses demeti arasındaki " β_E " açısıdır. Prob tabanı genellikle plexglas malzemeden yapılmıştır. " β_E " açısı Plexglas-Çelik ortamına göre verilmiştir. Açılı preblarla başka bir malzeme içerisinde test yapmamız halinde, o malzeme ortamının test hızını formüle yerine koyarak, enine ve boyuna dalgaların kırılma açılarını yeniden hesaplamamız gerekir.

Boyuna dalgaların kırılma açısının en az 90° olmasına dikkat etmemiz lazımdır. Aksi halde malzeme içersinde her iki dalga demetide görülerek, devamsızlıktan bize echo verir. Hangi dalga demetinden, hangi echoyu aldığımızı ayırmak zor olduğundan, iyi bir değerlendirme için bilinen bir dalga demetinin verdiği devamsızlık echo'su tercih edilir.

Malzeme içersinde, enine dalga demetleri kalmasına rağmen, boyuna dalga demetlerini yok etmek daha kolaydır.

$\beta_E = 90^\circ$ elması için geliş açısının ne olacağını bulalım:
Şekil:61



Şekil:61

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_E} = \frac{CBPL}{CESt}$$

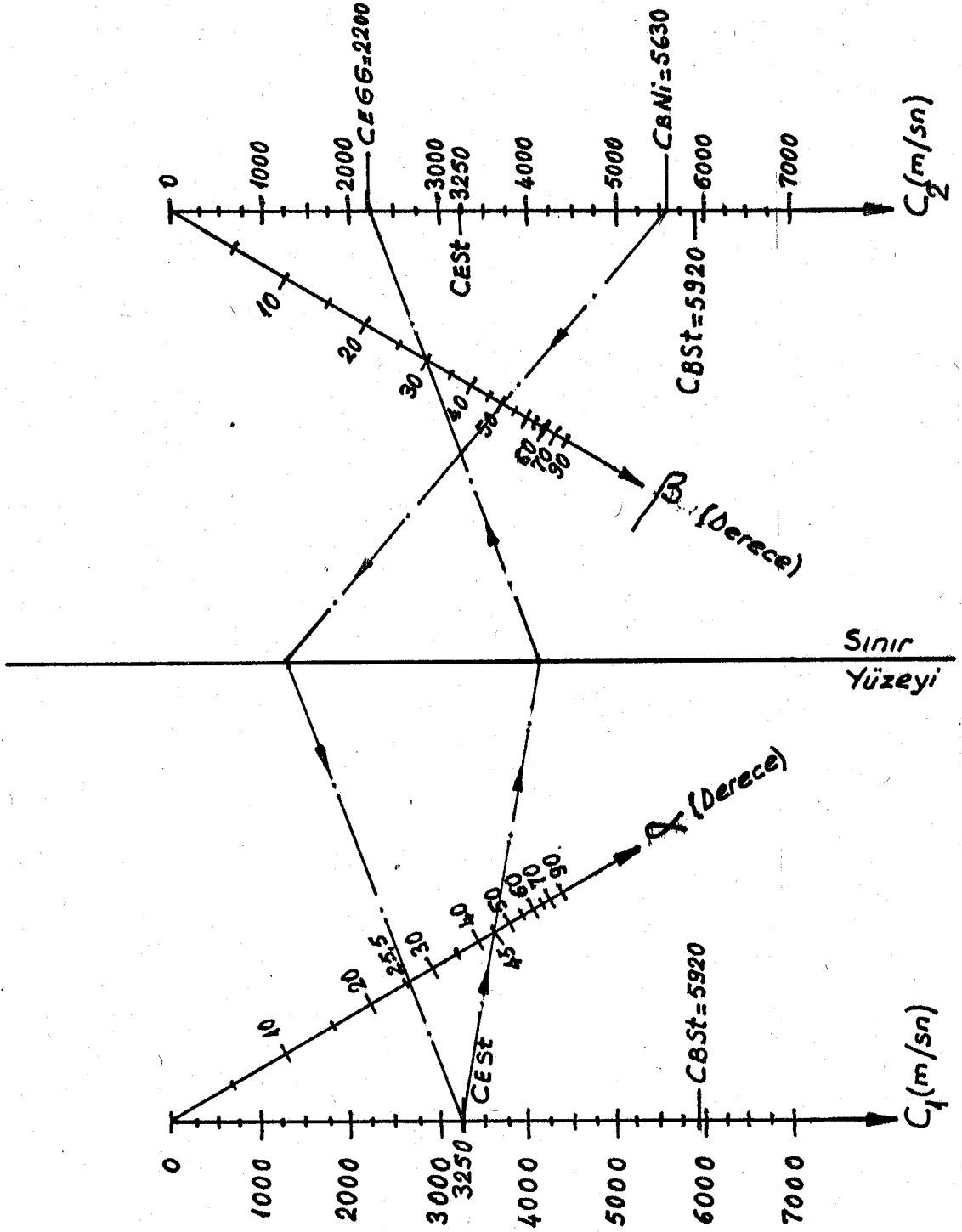
$$\sin \alpha = \frac{CBPL}{CESt} \cdot \sin \beta_E = \frac{2730}{3250} \cdot 1 = 0,84$$

$$\sin \alpha = 0,84$$

$\alpha = 57,1^\circ$ Bu açıya ikinci kritik açı denir.

Ses demetinin geliş açısı, ikinci kritik açıdan büyük olmamalı, daha küçük olmalıdır. Kırılma açılarını NOMOGRAM eğrisi üzerinden hesaplamak mümkündür.

nomoqram



Uygulama:1 İ ikinci ortam boyuna dalga ve Nikel, boyuna dalgaların kırılma açısı 50° , birinci ortam enine dalga ve çelik olsun, Geliş açısının kaç derece olduğunu Nomogram'dan bulalım:

Veriler:

CENi = 5630 m/sn Nikel içersinde boyuna dalganın hızı

$$\beta = 50^\circ \quad \text{Kırılma açısı}$$

CESt = 3250 m/sn Çelik içersinde enine dalganın hızı

$$\alpha = ?$$

C2 ortamında CE Ni = 5630 ve $\beta = 50^\circ$ işaretlenir. İşaretlenen noktalar birleştirilir ve sınır yüzeyi kestirilir.

C1 ortamındaki CE St = 3250 işaretlenerek, sınır yüzeyi kesen nokta ile birleştirilir.

Geliş açısı $\alpha = 25,5^\circ$ okunur.

Uygulama:2 Birinci ortam enine dalga ve çelik, enine dalgaların geliş açısı 45° , ikinci ortam enine dalga ve dökme demir olsun, kırılma açısının kaç derece olduğunu Nomogram'dan bulalım:

Veriler:

CESt = 3250 m/sn

$$\alpha = 45^\circ$$

CEGG = 2200 m/sn

$$\beta = ?$$

C1 ortamında CE St = 3250 ve $\alpha = 45^\circ$ işaretlenir. İşaretlenen noktalar birleştirilir ve sınır yüzeyi kestirilir.

C2 ortamındaki CEGG = 2200 işaretlenerek, sınır yüzeyi kesen nokta birleştirilir.

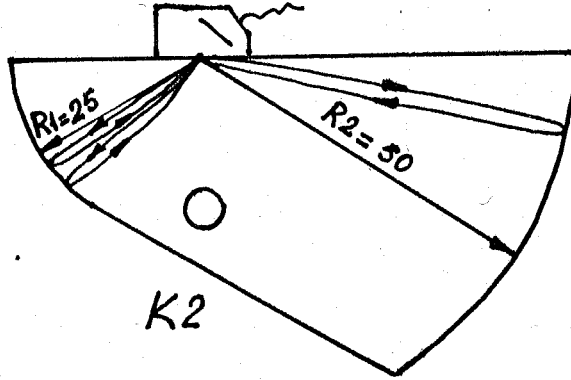
Kırılma açısı $\beta = 30^\circ$ okunur.

9.2.1 Açılı problarla ses yeluna göre kalibrasyon:S

Açılı problarla kalibrasyon için K1 blokunun R= 100 mm ve K2 blokunun R1 = 25, R2= 50 mm yarıçaplı dörtte bir daire parçaları yapılmıştır.

Bir daire merkezinden gönderilen ses demeti, daire çemberinin teğet noktasından dik olarak, geldiği yönde geriye yansır. Bu şekilde daire eche'leri almamız mümkün olur.

Açılı problemlerle kalibre ederken, arka cidar echo'larından değil, daire echo'larından söz edilir. Ses yoluna göre kalibrasyonda, ekranın yatay skalası üzerinde, sesin kat ettiği yolun zaman cinsinden skala taksimatı biriminden ifadesini okuyoruz.



Şekil:62 K2 Kalibrasyon Bloku

Şekil:62'de görüldüğü gibi K2 kalibrasyon blokunda her iki daire parçasının da merkezi aynı noktadır.

K2 kalibrasyon bloku üzerinde açılı bir prob ile 100 mm test alanına cihazımızı kalibre edelim. Önce aşağıdaki teorik hesabımızı yapmamız gerekir.

| 1. TEST ALANI: $TA = 100 \text{ mm}$ | 3. SES YOLU | | 4. SKALA POZİSYONU |
|--|-------------|-----|---|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | S | mm | $T = \frac{S}{k}$ |
| $k = \frac{100}{10} = 10 \text{ mm/skt}$ | S1 | 25 | $T_1 = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ Skt}$ |
| | S2 | 100 | $T_2 = \frac{100}{10} = 10 \text{ Skt}$ |
| | S3 | 175 | $T_3 = \frac{175}{10} = 17,5 \text{ Skt}$ |

Yaptığımız teörük hesapta görüyoruz ki 100 mm test alanına açılı probila test ederken iki tane daire echo'su alıyoruz.

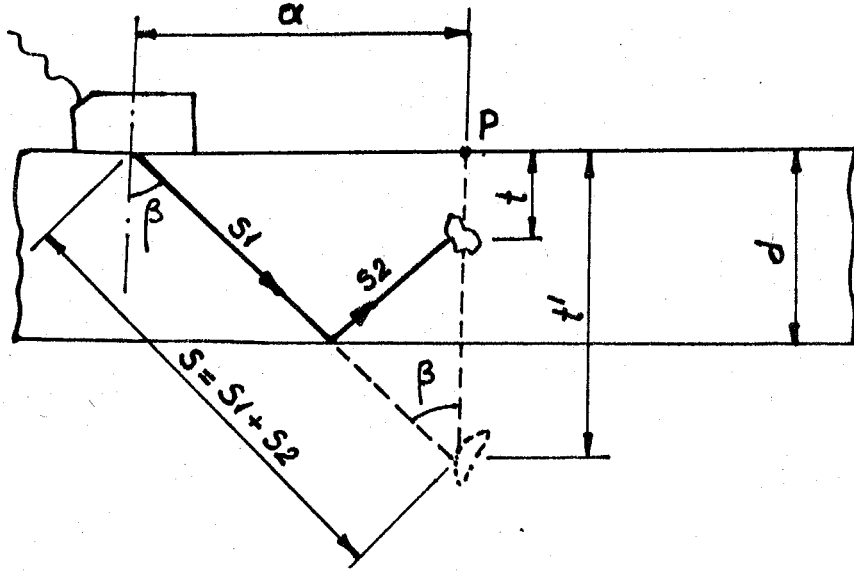
Önce cihazın alan düğmesiyle 100 mm. test alanını kaba olarak ayarlarız. Probumuzun ses demetini R1 = 25 daire parçasına gönderecek şekilde, ses demetinin çıkış noktasını daire merkezine yerleştiririz. Ekran üzerinde max. echo' yu alana kadar probu hareket ettiririz. Max. Echo'yu aldıktan sonra probumuzu e noktada tutarız ve iki echo'yu ekran içine getiririz.

Sonra " 1.DE " Birinci daire echo'sunu sıfırlama düğmesiyle skala üzerindeki 2,5 skala taksimatı üzerine, " 2.DE" ikinci Daire echo'sunu range düğmesiyle 10 skala taksimatı üzerine getiririz.

Echo'lar ilgili pezisyenlara gelene kadar bu işleme devam ederiz. Echo'lar ilgili pezisyona geldikten sonra cihazımız yatay olarak kalibre edilmiştir. Hiçbir zaman range ve sıfırlama düğmelerine dokunmayız. Yapılacak test problemine göre cihazın hassasiyet kalibrasyonu gerekir. Bu kalibrasyonda sadece referans hatalara göre, güç düğmesi yardımı ile yapılır.

Bu şekilde kalibre ettikten sonra sadece ses demetinin kat ettiği yolu ekran üzerinde zaman olarak ölçmekteyiz.

Şimdi şekil üzerinde inceleme yapalım:



Şekil:63

Şekil:63, Şekil:64 ile yer değiştirilerek dikkate alınacaktır.

Açıklama:

P : Hatanın yüzeydeki projeksiyon noktası

a : Ses demetinin çıkış noktası ile projeksiyon noktası arasındaki uzaklık (Projeksiyon uzaklığı)

S : Ses yolu

β : Prob üzerindeki verilmiş olan çelik içersindeki kırılma açısı.

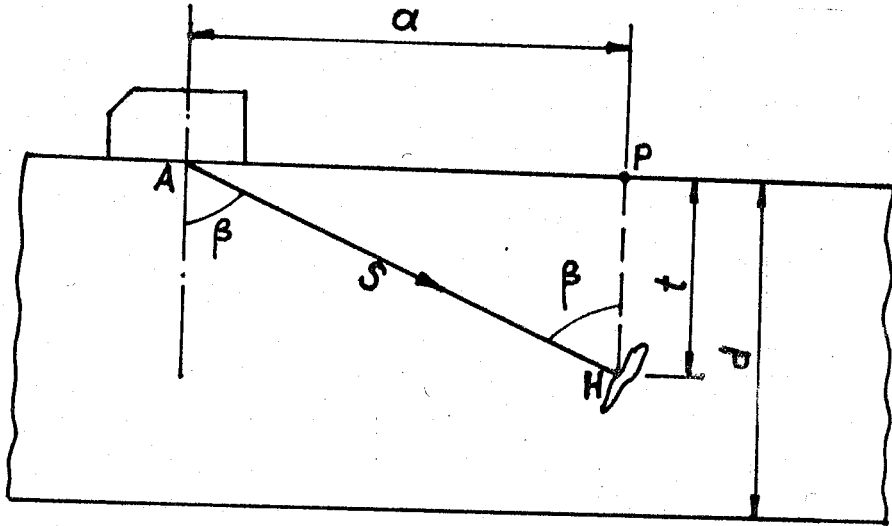
t : Hata derinliği

t' : Zahiri derinlik

d : Malzeme kalınlığı

$$\cos \beta = \frac{t'}{S} \quad t' = S \cdot \cos \beta \text{ formülüyle zahiri derinlik hesap edilir.}$$

$$\sin \beta = \frac{a}{S} \quad a = S \cdot \sin \beta \text{ formülü ile projeksiyon uzaklığı bulunur.}$$



Şekil:64

Şekil:64, Şekil:63 ile yer değiştirilerek dikkate alınacaktır.

AHP üçgenini gözönüne alırsak;

$$\sin \beta = \frac{a}{S} \quad a = S \cdot \sin \beta \text{ formülüyle projeksiyon uzaklığı aynıdır.}$$

$$\cos \beta = \frac{t}{S} \quad t = S \cdot \cos \beta \text{ Hata derinliği bulunur.}$$

Bulunan "t" değeri:

$t < d$ ise gerçek derinliktedir.

$t > d$ ise zahiri derinliktir, bu durumda;

$t = 2 \cdot d - t'$ formülü ile gerçek derinlik hesap edilir.

Yukarıda yaptığımız ses yeluna göre kalibrasyonu K2 bloğunun önce R2=50 daire paçasına bakarak da yapabiliriz.

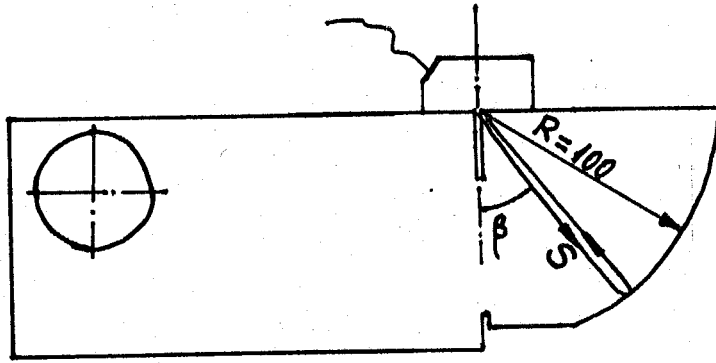
Bu durumda ses yolları aşağıdaki gibi çıkacaktır.

$$S1 = 50 \text{ mm.}$$

$$S2 = 125 \text{ mm.}$$

$$S3 = 200 \text{ mm.}$$

En az iki daire echo'su gerektiğine göre, kalibre edebileceğimiz en küçük test alanı 125 mm.lik test alanıdır.



K1

Şekil:65

Şekil:65'deki K1 bloku üzerinde yapılan kalibrasyon, K2 blokundaki kalibrasyondan çok farklı değildir. Alacağımız daire echo'larının ses yollarını hesaplamakla bunu anlayabiliriz.

Ses Yolları:

S1 = 100 mm

S2 = 200 mm

S3 = 300 mm

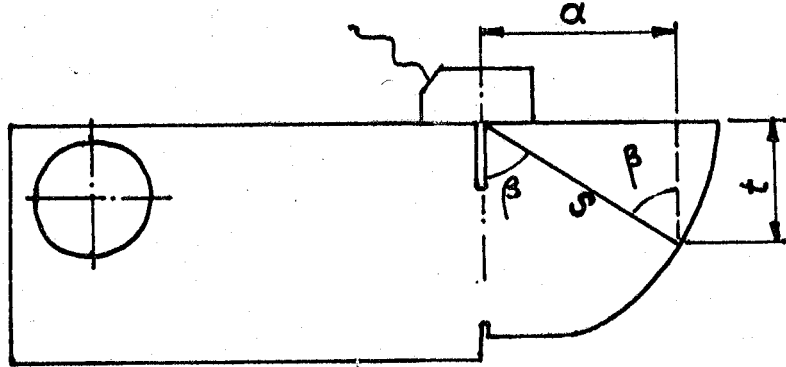
S4 = 400 mm

Görüldüğü gibi 100 mm. aralıklarla eche alıyoruz. Cihazımızı ses yoluna göre kalibre ettikten sonra ekran üzerinde aldığımız her eche'yu matematiksel olarak değerlendirmemiz gerekir.

Halbuki cihazımızı projeksiyon uzaklığına göre kalibre ederek yatay eksen üzerinde doğrudan doğruya projeksiyon uzaklığını okumak mümkündür.

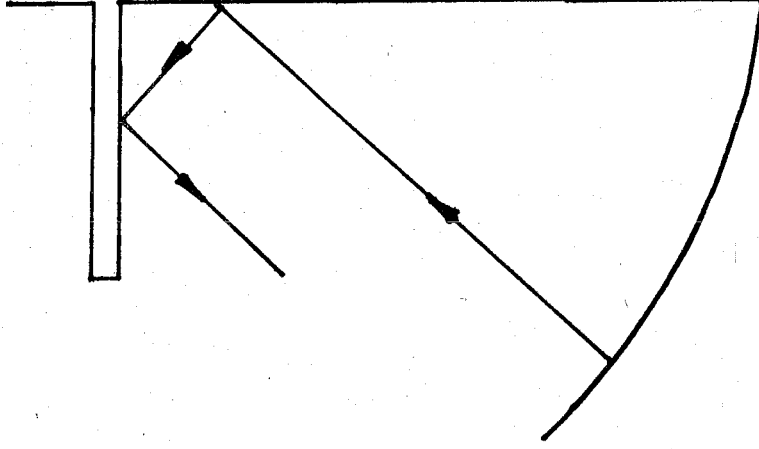
9.2.2. Projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyon: PÜ

Ekranın yatay eksen üzerinde, doğrudan doğruya projeksiyon uzaklığının okunabildiği bir kalibrasyon yöntemidir. Bu yöntemi K1 kalibrasyon bloğu üzerinde inceleyelim Şekil:66



Şekil:66

K1 blokunda ses çıkış noktasına, çemberden geri dönen ses demetlerinin, normale geliş açısı kadar açı yaparak yansımaları düşünülür. Bu yansımaları önlemek için daire merkezine bir kертik açılmıştır. Köşe yansımaları olayı nedeniyle, ses demetleri bu köşeden tekrar daire çemberine geriye yansır. Şekil:67'de görüldüğü gibi her seferinde bir kısım ses dalgası prob kristaline ve bir kısmında daire çemberine gider.



Şekil 67

Şekil:67'de K1 kalibrasyon blokunun daire merkezine açılmış kertiğin büyütülmüş şekliyle köşe yansıma elayı görülmektedir.

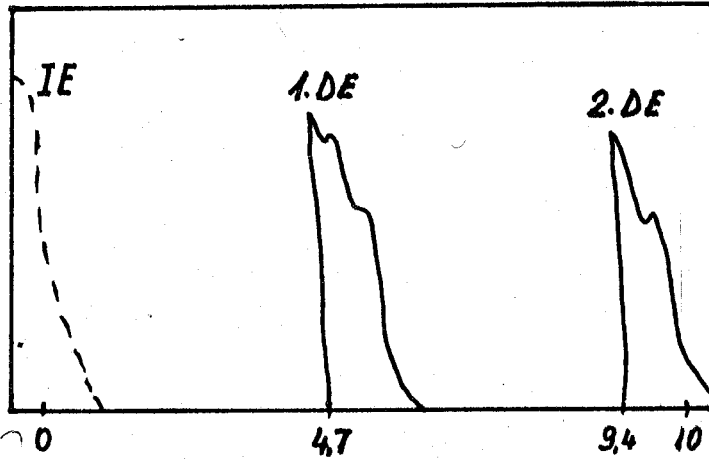
Cihazın kalibrasyonuna geçmeden önce, eksen üzerinde eche-ları veren ses yollarının projeksiyon uzaklıkları hesap edilir. Bu projeksiyon uzaklıkları yardımıyla eche pozisyonları hesaplanır ve sonra cihazın kalibrasyonu yapılır.

Test alanı 200 mm, MWB 70 N4 prebla, projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyonun teorik hesabını yapalım:

BLOK: K1

| 1. TEST ALANI: TA=200mm | 3. SES YOLU DAİRE ECHOLARI | | 4. PROJeksiYON UZAKLIĞI | 5. SKALA POZİSYONU |
|---|-------------------------------|-----|-------------------------------|--|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ $k = \frac{TA}{\text{Sket sayısı}}$ | S | mm | $\alpha = S \cdot \sin \beta$ | $T = \frac{\alpha}{k}$ |
| $k = \frac{200}{10} = 20 \text{ mm/sket}$ | 1.DE S1 | 100 | $\alpha_1 = 94 \text{ mm}$ | $T_1 = \frac{\alpha_1}{k} = \frac{94}{20} = 4,7 \text{ sket}$ |
| | 2.DE S2 | 200 | $\alpha_2 = 188 \text{ mm}$ | $T_2 = \frac{\alpha_2}{k} = \frac{188}{20} = 9,4 \text{ sket}$ |
| | 3.DE S3 | 300 | - | - |

Şekil:66'da görülen K1 blokunun $R=100$ mm. yarıçaplı daire çemberinden alınan, birinci ve ikinci daire echo'larının, echo pozisyonlarını hesapladıktan sonra cihazımızın test alanını kaba olarak seçeriz. Probumuzun ses çıkış noktasını daire merkezine yerleştiririz. Daireden alınan iki echo'yu ekranda gördükten sonra, sıfırlama düğmesiyle 1.Daire echo'sunu $T_1=4,7$ Skt, Range düğmesiyle 2.Daire echo'sunu $T_2= 9,4$ Skt üzerine getiririz. Şekil:68



Şekil:68

Böylece cihazımız, projeksiyon uzaklığına göre 200 mm. test alanına kalibre edilmiş olunur.

K2 bloku ile projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyonda yapılacak işlem farklı değildir.

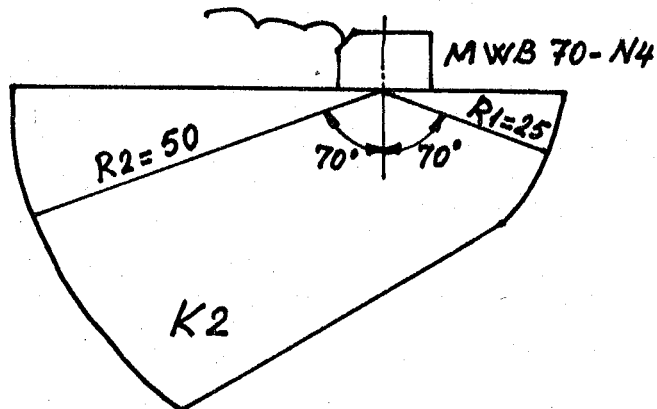
K1 blokunda 100mm, K2 blokunda 75 mm. aralıklarla echo' lar alırız. Malzeme kalınlığına ve olabilecek hataları direkt ve indirekt olarak görebilecek şekilde test alanı seçilir. Bu test alanını kalibre ederken, en iyi hangi blok üzerinde ve daire çemberine, önce ses demeti gönderileceği tespit edilmelidir.

K2 blokunda 1.Daire echo'sunu $R_1 = 25$ mm.lik daireden alacak şekilde, probun ses çıkış noktasını ayarlayalım ve teorik hesabımızı yapalım:

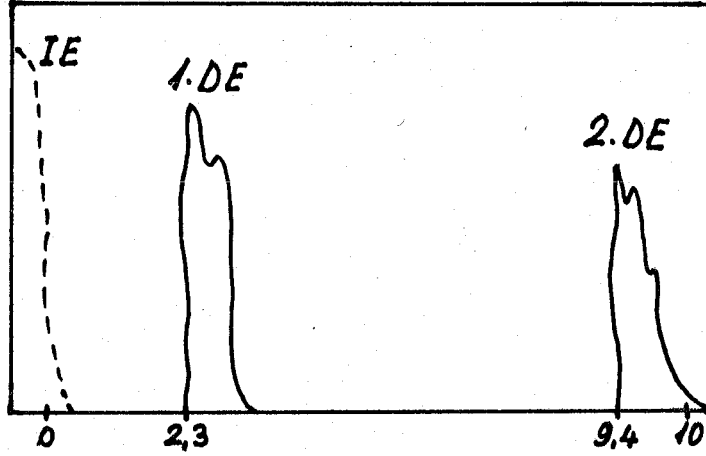
BLOK: K2 R1=25 mm

| 1. TEST ALANI: 100 mm | 3. SES YOLU DAİRE ECHOLARI | | 4. PROJeksiYON UZAKLIĞI | 5. SKALA POZİSYONU |
|--|-------------------------------|-----|---------------------------------------|---|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | S | mm | $\alpha = S \cdot \sin \beta$ (mm) | $T = \frac{\alpha}{k}$ |
| $k = \frac{100}{10} = 10 \text{ mm/skt}$ | 1.DE S1 | 25 | $\alpha_1 = 25 \cdot 0,9396 = 23$ | $T_1 = \frac{23}{10} = 2,3 \text{ Skt}$ |
| | 2.DE S2 | 100 | $\alpha_2 = 100 \cdot 0,9396 = 94$ | $T_2 = \frac{94}{10} = 9,4 \text{ Skt}$ |
| | 3.DE S3 | 175 | $\alpha_3 = 175 \cdot 0,9396 = 164$ | $T_3 = \frac{164}{10} = 16,4 \text{ Skt}$ |
| | 4.DE S4 | 250 | $\alpha_4 = 250 \cdot 0,9396 = 234$ | $T_4 = \frac{234}{10} = 23,4 \text{ Skt}$ |
| | 5.DE S5 | 325 | $\alpha_5 = 325 \cdot 0,9396 = 305$ | $T_5 = \frac{305}{10} = 30,5 \text{ Skt}$ |

Teorik hesabımızda görüldüğü gibi 1.DE'sunu T1=2,3 Skt, 2.DE'sunu T2= 9,4 Skt üzerine getirmeliyiz. Şekil:69



Şekil:69



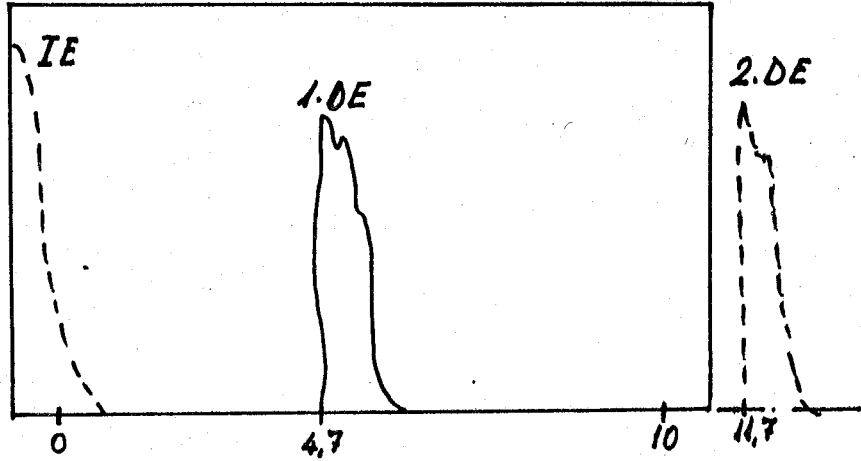
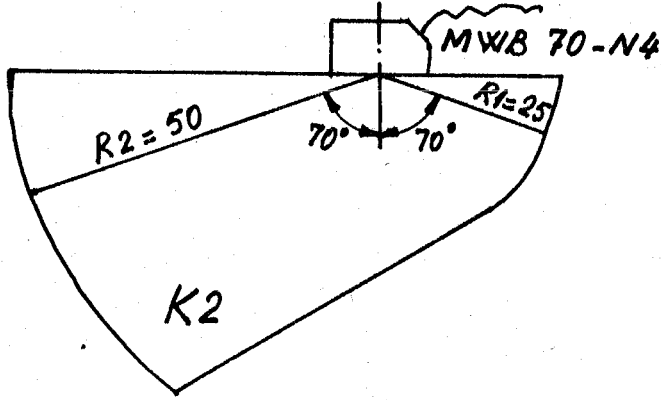
Şekil:69

Şimdi K2 blokunda 1.Daire echosunu R2=50 mm.lik daireden alacak şekilde, probun ses çıkış noktasını ayarlayalım ve teorik hesabımızı yapalım:

BLOK: K2 R2 = 50 mm

| 1. TEST ALANI : TA = 100 mm | 3. SES YOLU DAİRE ECHOLARI | | 4. PROJeksiYON UZAKLIĞI | 5. SKALA POZİSYONU | |
|--|----------------------------|----|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 2. SKALA FAKTÖRÜ | S | mm | $\alpha = S \cdot \sin \beta$ (mm) | $T = \frac{\alpha}{k}$ | |
| $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | | | | | |
| $k = \frac{100}{10} = 10 \text{ mm/Skt}$ | 1.DE | S1 | 50 | $\alpha_1 = 50 \cdot 0,9396 = 47$ | $T_1 = \frac{47}{10} = 4,7 \text{ Skt}$ |
| | 2.DE | S2 | 125 | $\alpha_2 = 125 \cdot 0,9396 = 117$ | $T_2 = \frac{117}{10} = 11,7 \text{ Skt}$ |
| | 3.DE | S3 | 200 | $\alpha_3 = 200 \cdot 0,9396 = 188$ | $T_3 = \frac{188}{10} = 18,8 \text{ Skt}$ |
| | 4.DE | S4 | 275 | $\alpha_4 = 275 \cdot 0,9396 = 258$ | $T_4 = \frac{258}{10} = 25,8 \text{ Skt}$ |
| | 5.DE | S5 | 350 | $\alpha_5 = 350 \cdot 0,9396 = 329$ | $T_5 = \frac{329}{10} = 32,9 \text{ Skt}$ |

Bu hesabımızda ise, 1 DE'sunu $T1 = 4,7$ Skt, 2.DE'sunu $T2 = 11,7$ Skt üzerine getirmemiz gerekmektedir.Şekil:70



Şekil:70

2.DE'su ekran dışında olduğundan, cihazı kalibre etmem mümkün değildir. Bunun için K2 blokunda, 1.DE'sunu $R1=25$ mm.lik daireden alacak şekilde, probun ses çıkış noktasını ayarlamak lazımdır.

Ses Çıkış Noktası

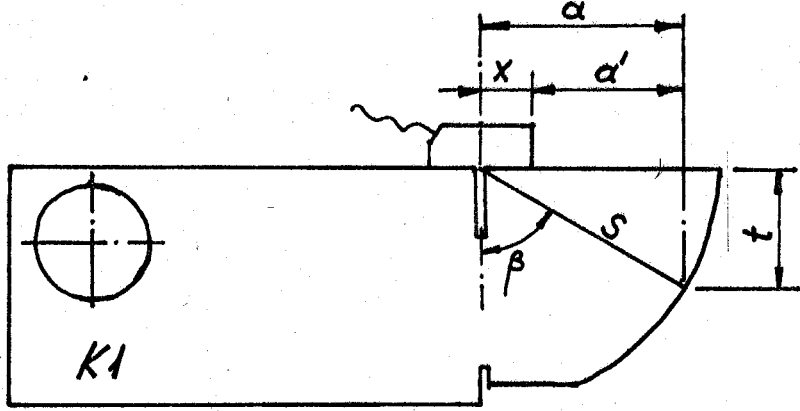
Açılı problemlerin tabanlarında, ses demetinin çıkış noktası işaretlenmemiştir. Çünkü prob tabanının farklı aşınması nedeniyle zamanla ses çıkış noktasının yeri değişebilmektedir.

Her kalibrasyondan önce ses çıkış noktası tespit edilmelidir. Prob K1 veya K2 bloku üzerine yerleştirilir, bir daire eche'su alınır. Bu esnada cihazın kalibre edilmiş olması gerekmez. Alınan daire

echo'su en yüksek pozisyona geldiği an prob tutulur ve prob tabanının daire merkezine geldiği yer işaretlenir. İşte bu nokta ses demetinin çıkış noktasıdır.

X Değeri

Ses demetinin çıkış noktası ile prob alanına olan uzaklığa x değeri denir. X değerinin her kalibrasyonda olmasa bile, belli kul- lanma aralıkları ile saptanması doğru bir iş olur. Şekil:71



Şekil:71

9.2.3. Kısaltılmış projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyon:KPU

Projeksiyon uzaklığından, X değeri çıkarıldıktan sonra "a'" değerine kısaltılmış projeksiyon uzaklığı denir.

$$a' = a - X$$

a' = Kısaltılmış projeksiyon uzaklığı.

Test esnasında pratiklik sağlayan bir kalibrasyon yöntemi- dir.Çünkü; hatanın prob alanından uzaklığını, kısaltılmış projeksiyon uzaklığı olarak ölçmek çok basittir. Ölçülmüş X değerini ilave ederek gerçek projeksiyon uzaklığını hesaplamak kolaydır.

Ekran üzerinde echo pozisyonlarını hesaplamak:

$$T = \frac{a'}{k} = \frac{\text{mm}}{\text{mm/Skt}}$$

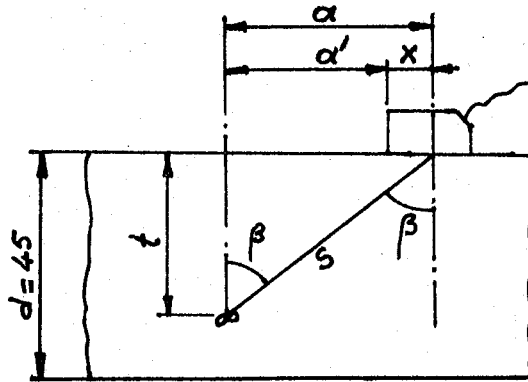
Formülüyle skala pozisyonları he- saplanır.

Bundan sonra kalibrasyon işlemi projeksiyon uzaklığında olduğu gibidir. Birinci daire echo'su sıfırlama, ikinci daire echo'su range düğmeleriyle, echo pozisyonlarına getirilir.

Echo' lar, hesap edilen echo pozisyonlarına gelene kadar bu işleme devam edilir. K2 blokunun R1 = 25 mm.lik daireden alınacak 1DE de, Test alanı 200 mm, $\beta = 60^\circ$, X = 13 mm. "KPU" göre kalibrasyonu teorik hesabını yapılır.

| 1. TEST ALANI TA = 200 mm | 3. SES YOLU Daire Echoları S mm | 4. PROJeksiYON UZAKLIĞI $\alpha = S \cdot \sin \beta$ (mm) | 5. KPU $\alpha' = \alpha - X$ (mm) | 6. SKALA POZİSYONU $T = \frac{\alpha'}{k}$ |
|--|---------------------------------------|---|--|--|
| $k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$ | | | | |
| $k = \frac{200}{10} = 20 \text{ mm/Skt}$ | 1.DE S1 25 | $\alpha_1 = 25 \cdot 0,866 = 21,7$ | $\alpha'_1 = 21,7 - 13 = 8,7$ | $T_1 = \frac{8,7}{20} = 0,4 \text{ Skt}$ |
| | 2.DE S2 100 | $\alpha_2 = 100 \cdot 0,866 = 86,6$ | $\alpha'_2 = 86,6 - 13 = 73,6$ | $T_2 = \frac{73,6}{20} = 3,7 \text{ Skt}$ |
| | 3.DE S3 175 | $\alpha_3 = 175 \cdot 0,866 = 151,5$ | $\alpha'_3 = 151,5 - 13 = 138,5$ | $T_3 = \frac{138,5}{20} = 6,9 \text{ Skt}$ |
| | 4.DE S4 250 | $\alpha_4 = 250 \cdot 0,866 = 216,5$ | $\alpha'_4 = 216,5 - 13 = 203,5$ | $T_4 = \frac{203,5}{20} = 10,2 \text{ Skt}$ |

1.DE skala pozisyonu 0,4 Skt olduğundan, ekranda görünmeyebilir. 4.DE Skala pozisyonu 10,2 Skt olduğundan test alanımızın dışındadır. Kısaltılmış projeksiyon uzaklığına göre cihazımı kalibre ettiğime göre devamsızlık derinliğinde hesap etmem lazımdır. Şekil:72



Şekil:72

$$T3 = \frac{a'}{k}$$

$$a' = T3 \cdot k = 6,9 \cdot 20 = 138 \text{ mm.}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{a}{t}$$

$$t = \frac{a}{\text{tg } \beta}$$

$$a = a' + X$$

$$t = \frac{a' + X}{\text{tg } \beta} \text{ olur.}$$

$$t = \frac{138 + 13}{1,732} = \frac{151}{1,732} = 87,1 \text{ mm}$$

Malzeme kalınlığı 45 mm. olduğu için, bulunan 87,1 mm.lik derinlik gerçek olmayan derinliktir. $t' > d$ gerçek olmayan derinlik.

Eğer bulunan derinlik, malzeme kalınlığından küçük olursa o zaman gerçek derinlik olarak alınır.

Hesaplamamızda gerçek derinlik:

$$t = 2d - t' \text{ formülünden hesap edilir;}$$

$$t = 2 \cdot 45 - 87,1 = 90 - 87,1 = 2,9 \text{ mm.}$$

$t = 2,9$ mm olarak gerçek derinlik bulunur.

9.3 SE Problarla kalibrasyon

Yüze yakın devamsızlıkların testini veya ince cidarlı malzeme kalınlığının tebitini, normal problemlerle yaparsak neticeye varamayız. Çünkü: Yüze yakın devamsızlığın veya ince cidarlı malzemenin

ARKA CİDAR ECHO'SU, BAŞLANGIÇ ECHO'SU içersinde kaybolur.

Yüze yakın devamsızlıkların testi ve ince cidarlı malzemelerin kalınlık ölçümü için SE- problemleri geliştirilmiştir.

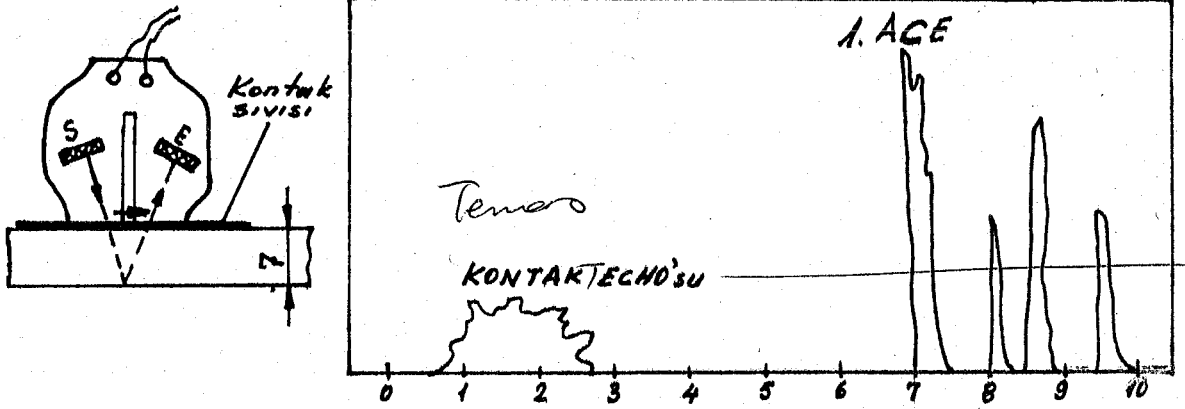
SE-Problarında sesin test malzemesine girmesine kadar olan hareket yolu yüksektir. Bu avantajından dolayı başlangıç echo'su ekranın soluna doğru itilmiş olur, arka cidar ve devamsız echo'larının görülmesi sağlanır.

SE-Probuyla cihaz kalibre edildikten sonra, başlangıç echo'su ekran içinde görülmez. Ekran üzerinde bir tane arka cidar echo'su alınır. Arka cidar echo'sundan sonra görülen echo' lar bizim için entere-san değildir. Şekil:73

Arka cidar echo'sundan sonraki oluşan echo'ların sebebi:

Malzeme içine gönderilen ses dalgaları, belli bir açı altında gönderilmektedir. Sınır yüzeyinden giren ses dalgaları boyuna ve

enine dalgalara ayrılmaktadır. Aynı anda kontak sıvısı içersinden , yüzeysel dalgalar halinde geçen ses dalgalarında KONTAK ECHO'su dediğimiz Şekil:73'de görülen echo'yu eluşturmaktadır.

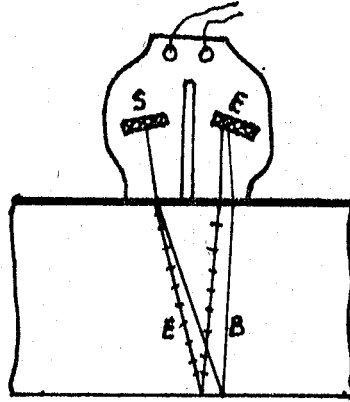


Şekil:73

Boyuna dalgalar, enine dalgalarından daha hızlı oldukları için enine dalgaların verdiği echo'lar 1.ACE'sundan sonra ekranda görülecektir. Bizim değerlendirmeye alanımız skalanın "0" taksimatı ile 1.ACE arasındır.

Ses demetinin boyuna ve enine dalga demetlerine ayrışma-

sı:



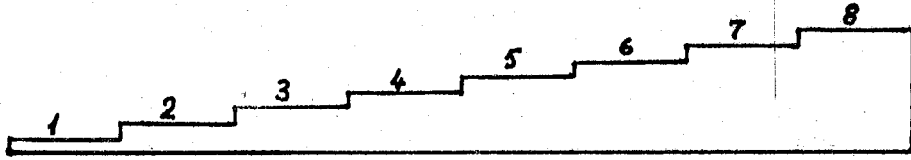
Şekil:74

Şekil:74'de görülen SE probunda enine dalgaların verdiği arka cidar eche' su hep 1.Arka cidar Echo'sundan sonraki kısımdadır. Bundan dolayı değerlendirme alanımız 1.ACE'nun sol tarafıdır.

Kalibrasyon işlemi için iki arka cidar eche'su şartını hatırlarsak, bu durumda; 1.ACE'sundan sonra hangisi 2.ACE olduğunu bilmez çok zordur.

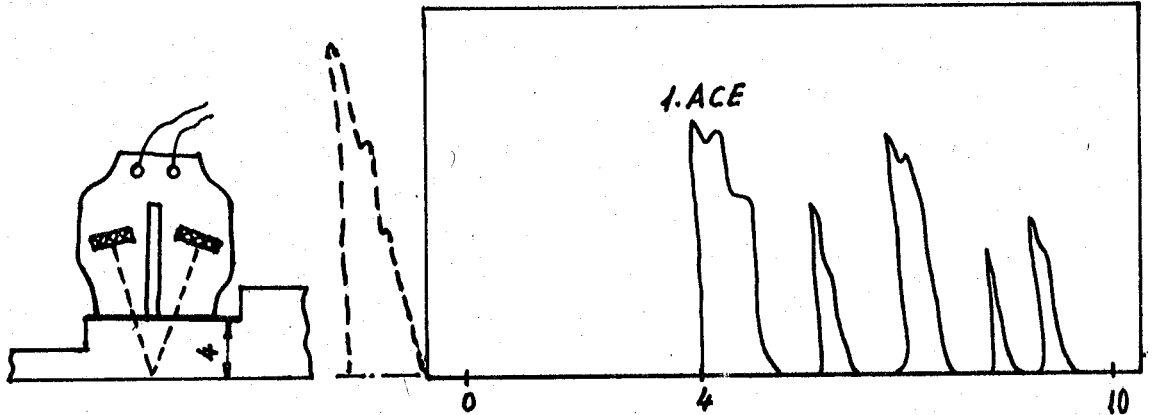
2.ACE'sunu aramakta zaten anlamsızdır.Aynı cidar kalınlığından, iki arka cidar eche'su alacağız diye şartlanamayız.O halde aynı malzemenin iki değişik kalınlıktaki cidarını kalibrasyon için kullanabiliriz.

Bu amaç için 8 kademeli merdiven ayağı kontrol bloku(VW) geliştirilmiştir.Şekil:75



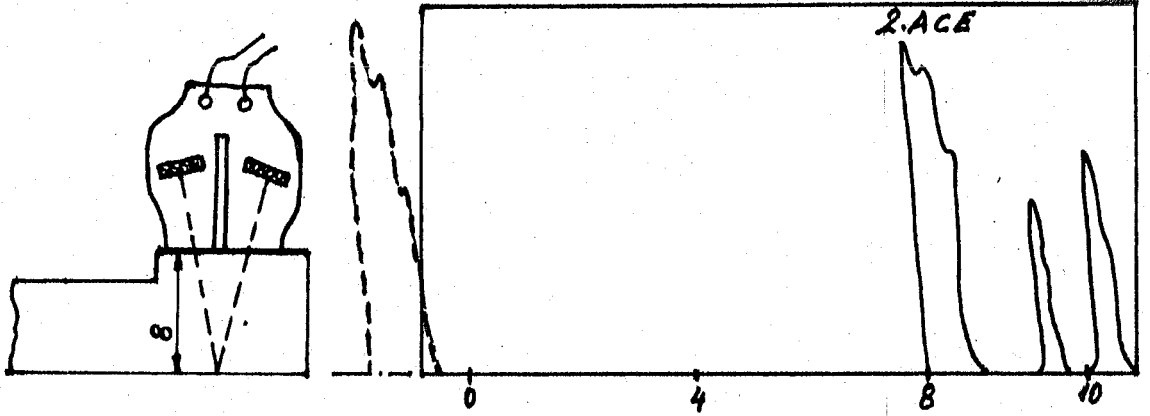
Şekil:75

Merdiven ayağı kontrol bloku 1 ila 8 mm aralıklarla kademlendirilmiştir. Misal olarak; Ölçmek istediğimiz malmeze kalınlığı 6 mm.olsun.Cihazımızı 0-10 mm. alana kalibre etmeliyiz.Şu halde cihazın Range düğmesini 10 mm.alana getiririz.Impuls echosunu ekranın sol köşesinde gördükten sonra probu 4 mm. " VM" ayağına yerleştiririz. Bifırlama düğmesiyle 1.ACE'sunu 4 taksimat üzerine getiririz.Şekil:76



Şekil:76

Bu kez probu 8 mm. "VM" ayağına kontaklarız. Range düğmesiyle 8 taksimatı üzerine getiririz. Şekil:77



Şekil:77

Bu işleme her iki eche ilgili pozisyonlarda görülene kadar devam ederiz. Cihazımızı 4-8 mm aralıkta doğru olarak ölçüm yapmaya hazırdır.

SE-Probonun gönderdiği ses demetinin yolunu incelersek bir "V" yelü yapmaktadır. Cihazımızı belli kalınlık alanlarına kalibre ederek "V" yelundan dolayı olabilecek hataları önlemiş oluruz.

Cihazımızı 4-8 mm aralıkta kalibre ettik. Daha ince cidarlı malzemeden ölçüm yaparsak, yanlış bir işlem yaptığımızı kesinlikle söyleyebiliriz. Çünkü; Malzeme incelidikçe "V" yelü genişlemekte, ses yelü uzamaktadır. 2 mm kalınlıkta 2,2 mm gibi bir değer elde edilmektedir.

SE-Probları genellikle ince malzemeler için tavsiye edilirler. 4-8 mm aralıkta kalibre edilen cihazla, 12 mm'lik kalınlık ölçersek "V" yelü açısı daralacak ve ses yelü kısalacaktır. Yine az da olsa bizi hatalı neticeye götürmektedir. Bu bakımdan test edilecek malzemenin max. ve min. kalınlıkları kalibre kalınlıkları arasında kalacak şekilde kalibre etmemizdir.

10. FORMÜLLER

HERTZ'in üst katları

$$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ KHz}$$

$$1000 \text{ KHz} = 1 \text{ MHz}$$

Dalga Formülü:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

 λ = Dalga boyu (mm)

c = Ses hızı (m/sn)

f = Frekans (1/sn, Hz)

Ses yolu, skala pozisyonu:

$$k = \frac{TA}{\text{Skt sayısı}}$$

$$T = \frac{S}{k}$$

$$T = \frac{a}{k}$$

k = Skala faktörü (mm/Skt)

TA = Test alanı (mm)

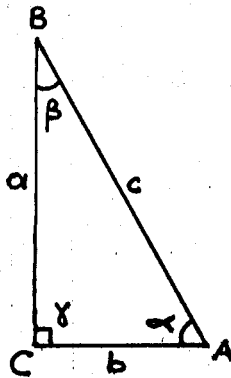
Skt = Skala taksimat sayısı (10)

T = Skala pozisyonu (Skt)

S = Ses yolu (mm)

a = Projeksiyon uzaklığı (mm)

Açı Fonksiyenleri: (Dik üçgen için)



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

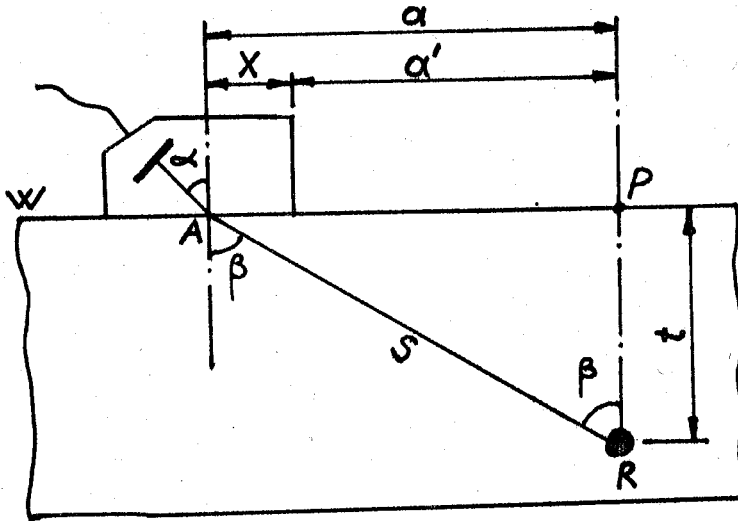
$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\operatorname{Cotg} \alpha = \frac{b}{a}$$

| α° | $\sin \alpha$ | $\cos \alpha$ | $\operatorname{tg} \alpha$ |
|----------------|---------------|---------------|----------------------------|
| 30° | 0,5 | 0,866 | 0,577 |
| 45° | 0,707 | 0,707 | 1 |
| 60° | 0,866 | 0,5 | 1,732 |
| 70° | 0,939 | 0,342 | 2,747 |
| 80° | 0,984 | 0,173 | 5,671 |
| 90° | 1 | 0 | - |

Açılı ses demeti gönderme:



$$t = S \cdot \cos \beta$$

$$a = S \cdot \sin \beta$$

$$a' = S \cdot \sin \beta - X$$

$$a = t \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$a' = t \cdot \operatorname{tg} \beta - X$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{t} = \frac{a+X}{t}$$

A = Ses demetinin çıkış noktası

R = Yansıtıcı

P = Hatanın yüzeydeki projeksiyon noktası

t = Derinlik(mm)

α = G eliş açısı

β = Kırılma açısı

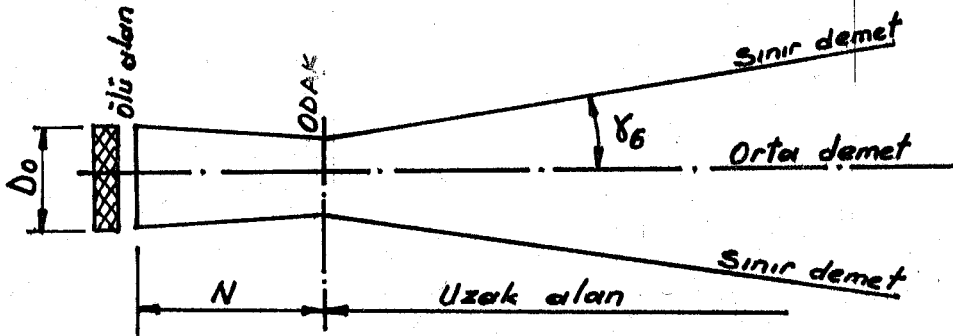
S = Ses yolu(mm)

a = Kısaltılmış projeksiyon uzaklığı

a = Projeksiyon uzaklığı

W = Sınır yüzeyi

Ses fermunda etkin alan, Açılma açısı:



$$N = \frac{2}{4C} \cdot D_{\text{eff}} \cdot f$$

$$D_{\text{eff}} = 0,97 \cdot D_0$$

$$\sin \gamma_6 = 0,51 \cdot \frac{C}{f \cdot D_{\text{eff}}}$$

N = Etkin alan(mm)

D_{eff} = Ses üreten kristalin çapı(mm)

D_0 = Gerçek kristalin çapı(mm)

f = Proben frekansı

C = Test malzemesindeki sesin yayılma hızı(km/sn)

4 = Costant sabitesi

γ_6 = Açılma açısı

Ses hızı:

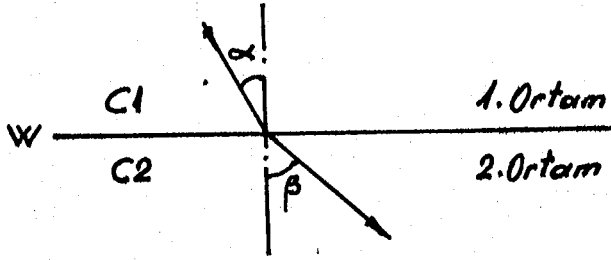
$$C = \frac{S}{t}$$

C = Ses hızı (m/sn)

S = Ses yolu (m)

t = Zaman (sn)

Kırılma Kanunu:



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C1}{C2}$$

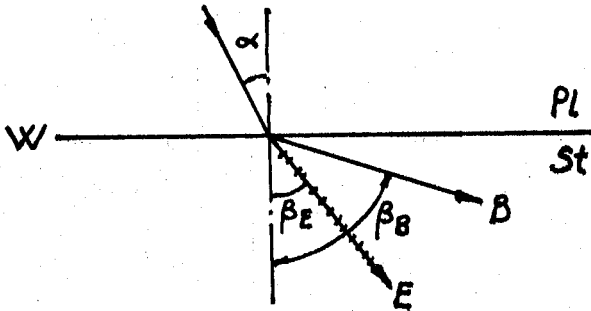
α = Geliş açısı

β = Kırılma açısı

C1 = 1. ortamdaki ses hızı

C2 = 2. ortamdaki ses hızı

W = Sınır yüzeyi



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_E} = \frac{CBPL}{CESt}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_E} = \frac{CBPL}{CESt}$$

β_E = Enine dalgaların kırılma açısı

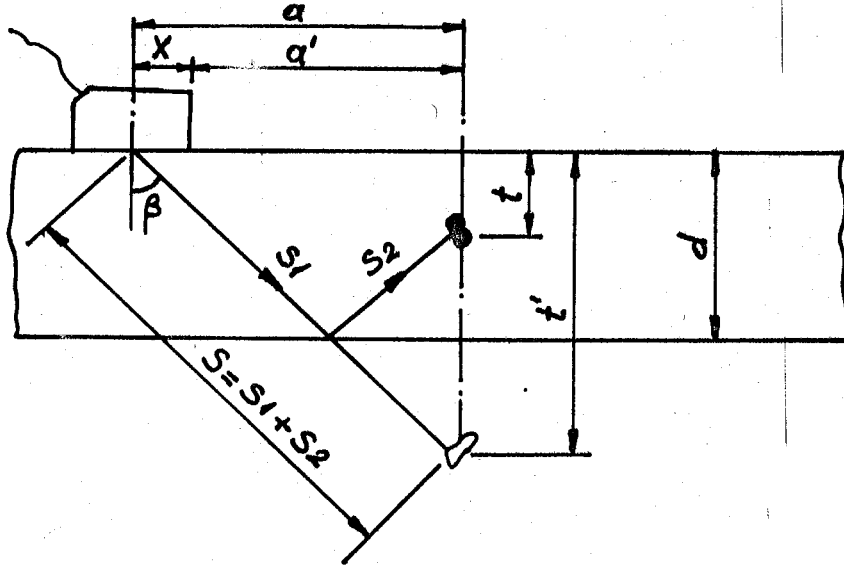
β_B = Boyuna dalgaların kırılma açısı

CBPL = Plexglas içersindeki boyuna dalganın hızı

CESt = Çelik içersindeki enine dalganın hızı

CESt = Çelik içersindeki boyuna dalganın hızı

INDIREKT ses demeti ile hata yerinin tespiti:



$$a = S \cdot \sin \beta$$

$$t = S \cdot \cos \beta$$

$$t' = 2 \cdot d - t' \quad t' > d \text{ ise}$$

$$t' \leq d \quad \text{Gerçek derinlik}$$

$$t' = S \cdot \cos \beta$$

a = Projeksiyon uzaklığı

S = Ses yolu

β = Kırılma açısı

t = Hata derinliği
 t' = Zahiri derinlik
 d = Malzeme kalınlığı
 $t' > d$ ise Zahiri derinlik
 $t' \leq d$ ise Gerçek derinlik

Kısaltılmış Projeksiyon Uzaklığı:

$$a' = a - X$$

$$T = \frac{a'}{k}$$

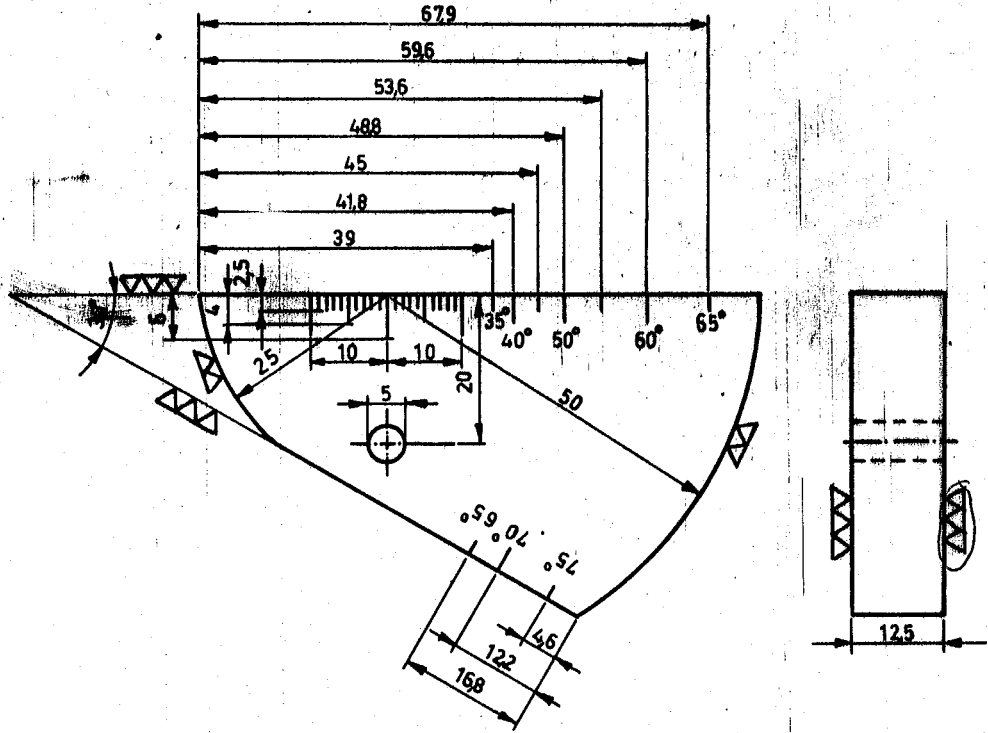
a' = Kısaltılmış projeksiyon uzaklığı (mm)

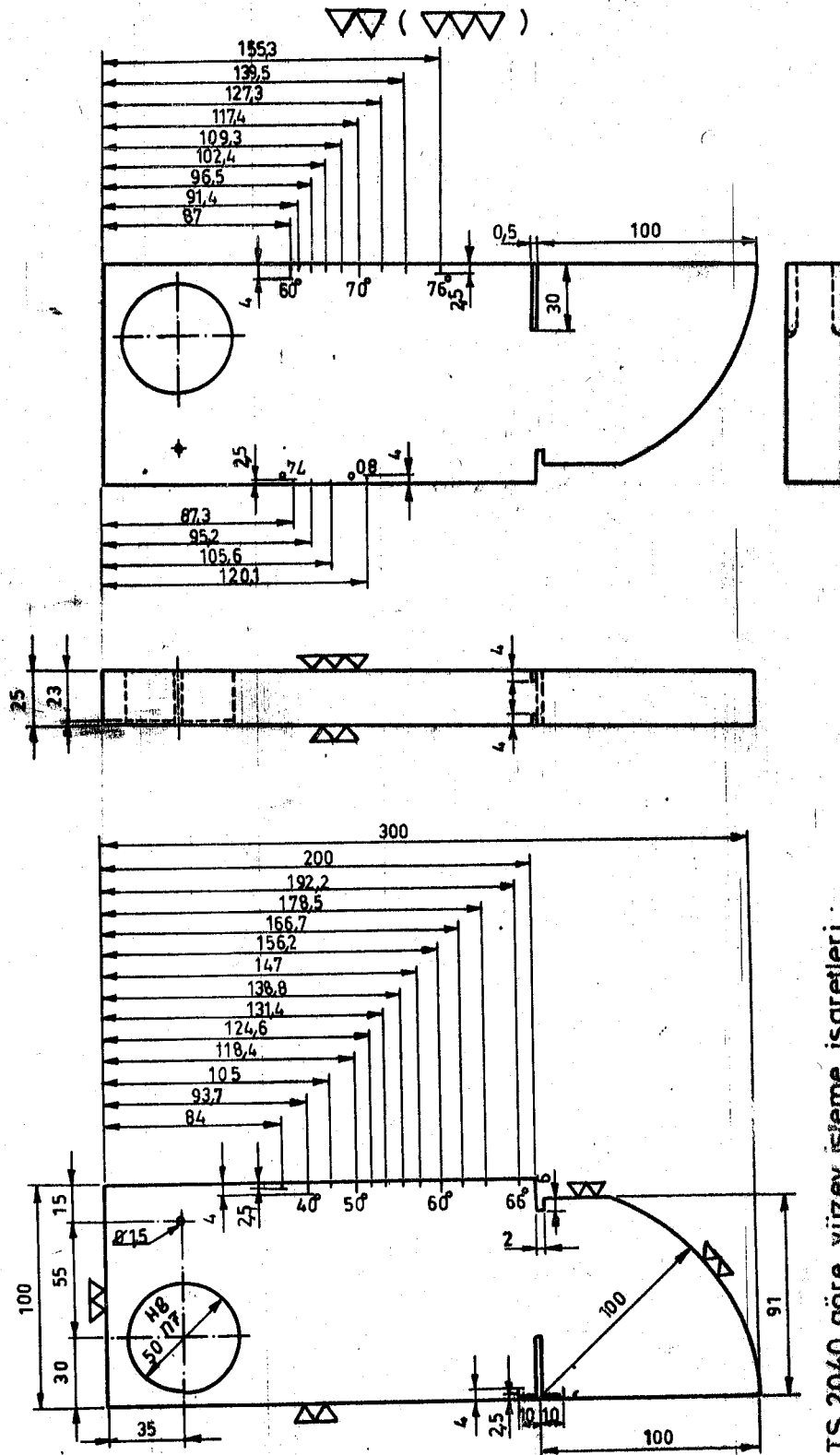
X = Sınır yüzeyi normali ile prob kenarı mesafesi (mm)

11. ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN SES HIZLARI

| <u>MALZEME</u> | <u>Çenine (m/sn)</u> | <u>C Beyuna (m/sn)</u> |
|---------------------------|----------------------|------------------------|
| Alüminyum | 3130 | 6320 |
| Alüminyum Oksit | 5500-6500 | 9000-11000 |
| Alma Gümüşü | 2160 | 4760 |
| Altın | 1200 | 3240 |
| Bakır | 2260 | 4700 |
| Buz | 1990 | 3980 |
| Baryum Titanate | - | 6050 |
| Beryllium | 8650 | 12400 |
| Bismuth | 1100 | 2180 |
| Civa | - | 1450 |
| Çinke | 2410 | 4170 |
| Çam | 2500-3400 | 4200-5700 |
| Çelik-Demir | 3250 | 5920 |
| Dökme Demir | 2200-3200 | 3500-5800 |
| Dizel Yağı | - | 1250 |
| Gümüş | 1590 | 3600 |
| Glycerin <i>gliserin</i> | - | 1920 |
| Kurşun | 700 | 2160 |
| Kalay | 1670 | 3320 |
| Motor yağı (SAE 20-30) | - | 1740 |
| Mangan | 2350 | 4660 |
| Magnezyum | 3050 | 5770 |
| Messing (Ms 58) | 2200 | 4400 |
| Nikel | 2960 | 5630 |
| Lastik | - | 1500-2300 |
| Platin | 1670 | 3960 |
| Palladium <i>Paladyum</i> | - | 3000 |
| Plexglas | 1430 | 2730 |
| Polistrene | - | 2670 |
| Polyamid | 1100-1200 | 2200-2600 |
| Porselen | 3500-3700 | 5600-6200 |
| Sert Metal | 4000-4700 | 6800-7300 |
| Su (20°C) | - | 1483 |
| Teflen | 550 | 1350 |
| Titanium | 3215 | 6240 |
| Tantalum | - | 3350 |
| Wolfram (Tungsten) | 2620 | 5460 |
| Quartz | - | 5760 |
| Zircen | 1960 | 4310 |

12. ULTRASONLA İLGİLİ STANDARTLAR





TS 2040 göre yüzey işleme işaretleri :



13. KAYNAKLAR

- 1- Krautkrämer, Nondestructive testing of materials using Ultrasonics, Introduction to Basics, SD 218 Köln
- 2- Cersepius, H.W., Krautkrämer Ultraschallprüfungen an austenitischen Schweißverbindungen SD 227 Köln
- 3- Cersepius, H.W., Krautkrämer Ultraschall-Prüfung an Schmiedestücken SD 228 Köln
- 4- Krautkrämer, J. & H., Ultrasonic testing of materials Cologne 1968 *and*
- 5- Krautkrämer, Grey-Series Probes for Precision Ultrasonic testing GP 2112 Köln
- 6- Krautkrämer, The echo 30 11/82 Köln
- 7- Krautkrämer, Probe standard program GP9-1 Köln
- 8- Krautkrämer, Probes of the D series are true-to-specification and reliable Köln
- 9- Krautkrämer, Die normalprüfköpfe der Serie D Köln
- 10- Krautkrämer, Die Winkelprüfköpfe der Serie D Köln
- 11- Krautkrämer, Produkt-Übersicht 82/83 Köln
- 12- Deutsch, K., Non-Destructive testing of materials W. Germany
- 13- KLN Ultraschall-Gesellschaft MEH, Probes Non Destructive Material testing 6148 Heppenheim
- 14- Ultraschall von Bransen, D-6056 Heusenstamm
- 15- DIN 54120 Kontrollkörper 1 und seine Verwendung zur Justierung und Kontrolle von Ultraschall-Impulsecho-Geräten Köln Juli 1973
- 16- DIN 54122 Kontrollkörper 2 und seine Verwendung zur Justierung und Kontrolle von Ultraschall-Impulsecho-Geräten Köln Dezember 1973
- 17- Helvacı, E., Oerlikon Ultrasonik ile Tahribatsız malzeme Muayesi, İstanbul 1983
- 18- Oerlikon Ultrasonik Muayene metodu seminer notları, İstanbul 1983