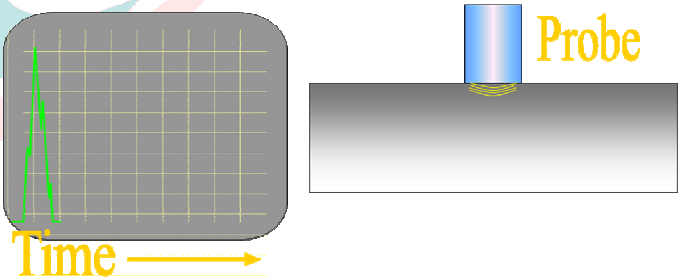
شرکت بازرسی فنی و مهندسین مشاور
ایمن جوش پویان

دوره بین المللی تست التراسونیک سطح I,II



مدرس: مهندس حسن حمیدی ASNT Level III (MT-PT-RT-UT-VT)

به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com

فهرست

فصل اول

مقدمه.....۳

فصل دوم

تئوری امواج التراسونیک.....٦

فصل سوم

تولید امواج التراسونیک.....15

فصل چهارم

روش های تست التراسونیک.....۲٦

فصل پنجم

کالیبراسیون.....۳۸

فصل ششم

اصول اساسی کار با دستگاه التراسونیک.....٤۳

فصل هفتم

آزمایشات با استفاده از بلوک‌های استاندارد.....٥۷

فصل هشتم

کاربرد تست التراسونیک در صنایع مختلف.....٦۷

فصل اول

مقدمه[1]

شاید برای کسی که برای اولین بار با تست التراسونیک آشنا می شود، تصور می نماید که استفاده از صوت برای عیب یابی روش خیلی جدیدی باشد، ولی در واقع چنین نیست و اگر قدری به عقب برگردیم ملاحظه خواهیم نمود که از گذشته های دور نیز انسان ها با دقت در صدای اجسام جامدی مثل فلزات، شیشه یا سفال در مقابل ضربه، به سالم و بدون عیب بودن آنها پی می بردند.

چنین روش هایی را ما نیز امروزه در زندگی روزمره خود بکار می بریم. اما به دلیل اینکه صوت در حد شنوایی انسان صرفا جهت شناسایی عیوب بزرگ قابل استفاده است، لذا برای تشخیص عیوب خیلی ریز فکر دانشمندان معطوف استفاده از امواج ماوراء صوت[2] گردید. چرا که اندازه کوچکترین عیب قابل تشخیص با یک صوت مشخص، کسری از اندازه طول موج صوت مزبور می باشد. طول موج صوت در حد متوسط شنوایی انسان در حدود ۲-۱ متر می باشد در حالیکه طول موج های التراسونیک ۲-۱ میلیمتر است.

تکنیک های تولید و اندازه گیری امواج صوتی با فرکانس های خیلی بالا در دهه های اخیر میسر گردیده است و این امر با کشف پدیده مهم پیزوالکتریک صورت گرفت. البته کشف مزبور در سال ۱۸۸۰ میلادی توسط برادران کوری به عمل آمد. آنها گزارش دادند که ورقه های نازکی از بعضی کریستالها در صورتیکه به شکل خاصی برش داده شوند، در اثر اعمال فشار مکانیکی ایجاد یک پتانسیل الکتریکی می نماید. معمول ترین کاربرد این پدیده امروزه در فندک های گازی برای ایجاد جرقه صورت می گیرد. یک سال بعد لیپمن[3] پدیده معکوس پیزوالکتریک را تئوریزه نمود. بدین معنی که با اعمال پتانسیل الکتریکی، کریستالهای مزبور تغییر شکل می دهند. او همچنین پیشنهاد کرد با اعمال ولتاژ متناوب می توان این کریستالها را به نوسان درآورد و یا بر عکس با نوسان کریستال می توان سیگنال های الکتریکی متناسب دریافت نمود.

یکی از عوامل دیگری که به گسترش اصول استفاده از انعکاس امواج صوتی منجر شد فاجعه غرق شدن کشتی مسافربری تایتانیک در اثر برخورد با کوه یخی در سال ۱۹۱۲ میلادی بود که ذهن دانشمندان را متوجه کشف روشی مناسب برای شناسایی کوه های یخی از فواصل

---

[1] Introduction

[2] Ultrasonic

[3] Lipman

دور نمود. این ایده در طی جنگ جهانی اول به علت جنگ زیر دریایی ها قوت گرفت تا اینکه در فاصله دو جنگ جهانی به اختراع سونار[۴] منجر گردید. بنابراین کشف پدیده پیزوالکتریک، توسعه اصول انعکاس امواج مورد استفاده در سونارهای زیر دریایی، اختراع لامپ اشعه کاتد و رادار همگی امکان اختراع اولین دستگاه عیب یاب التراسونیک را در سال ۱۹۴۲ توسط فیزیک دان معروف اسپرول فراهم نمود.

البته در سال ۱۹۲۹ میلادی سوکلو[۵] روسی برای اولین بار یافته های خود را در مورد استفاده از کریستالهای کوارتز برای ارسال امواج التراسونیک به داخل فلزات به منظور عیب یابی ارائه نمود. تلاش های بعدی وی و چند دانشمند آلمانی بر اساس تکنیک انتشار متوالی امواج استوار بود و این روش اگر چه برای تست قطعات ریختگی با موفقیت همراه بود ولی در تست قطعات آهنگری شده و یا در تست ورق به علت خاصیت جذب کمتر این نوع اجسام اثرات تداخلی امواج عملا روش مزبور را غیر قابل استفاده می ساخت. تا اینکه بالاخره تلاش های اسپرول[۶] و موفقیت وی در ابداع تکنیک انعکاس امواج مشکل مزبور را نیز از سر راه برداشت.

از سال ۱۹۴۷ اسپرول موفق به ساختن پروب های امواج برشی[۷] گردید که به کمک آنها امکان ارسال امواج صوتی تحت زوایای مختلف به درون قطعه نیز فراهم شد.

در دهه های اخیر تست التراسونیک کاربردهای پزشکی نیز پیدا کرد و با استفاده از دستگاه های موسوم به سونوگرافی پیشرفت های زیادی در علم پزشکی در جهت تشخیص بیماریها و مشاهده اعضای داخلی بدن انسان حاصل شد. امروزه التراسونیک صنعتی کاربردهای وسیعی در بازرسی مواد هادی صوت مثل فلزات، سرامیک ها، پلاستیک و غیره به منظور شناسایی عیوب داخلی و خارجی قطعات کسب کرده است. علاوه بر این تست التراسونیک در وسایل اندازه گیری نظیر ضخامت سنج ها، تعیین میزان جذب یا اندازه گیری سرعت صوت در جسم به منظور کنترل کیفیت آن نیز می تواند پاسخگو باشد.

---

[4] Sonar

[5] Soklov

[6] Sprool

[7] Shear Wave

فصل دوم

تئوری امواج التراسونیک

نوسانات[8]

امواج صوتی در واقع عبارت است از نوسان ذرات ماده در یکی از سه حالت جامد، مایع و یا گاز می باشد. ذرات مزبور در یک موقعیت مشخصی نوسان نموده و تعداد نوسانات، هر یک از ذرات در مدت یک ثانیه فرکانس نوسان نامیده می شود. فرکانس[9] بر حسب سیکل بر ثانیه یا هرتز[10] مشخص می گردد و آن را با f نشان می دهند.

برای نوسان یک جسم دو شرط زیر همواره ضروری است:

الف) **جرم**: چون امواج صوتی در خلأ منتشر نمی شود لذا همواره ماده ای که دارای جرم باشد مورد نیاز است.

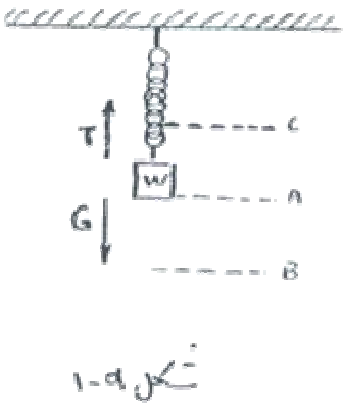
ب) **الاستیسیته**: همواره یک نیروی بازدارنده مورد نیاز است تا جرم مزبور را به حالت اولیه خود بازگرداند.

در شکل زیر به وزنه w در حالت عادی دو نیروی جاذبه زمین (G) و کشش فنر (T) در دو جهت مخالف وارد می شود. هر گاه وزنه را به سمت پایین حرکت دهیم مقدار T بیش از G شده و تلاش خواهد نمود وزنه را به حالت اولیه برگرداند و هر گاه وزنه را به سمت بالا جابجا کنیم مقدار T کاهش یافته و G تلاش خواهد کرد تا وزنه را به حالت اولیه خود برگرداند.

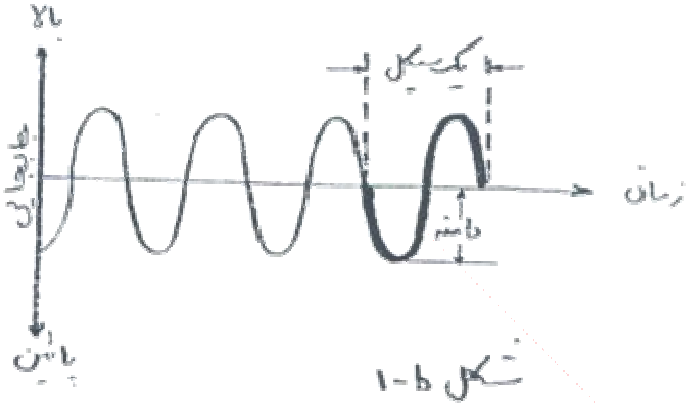
[8] Oscilation

[9] Frequency

[10] Hertz(HZ)



شکل ۱-۹



شکل ۱-۱۰

بنابراین در سیستم مزبور دو شرط مورد نیاز یعنی وجود جرم وزنه W و نیروی بازدارنده یعنی کشش فنر T تامین گردیده است. زمانی که وزنه W را از حالت تعادل آن در نقطه A تا موقعیت B جابجا می کنیم در واقع T را افزایش می دهیم. پس موقعی که آن را رها می کنیم با شتاب از موقعیت B به سمت A حرکت می کند. در موقعیت A، مقدار نیروهای T و G مجدداً برابر می شود ولی هنوز وزنه W دارای سرعت است و به حرکت خود تا نقطه C ادامه می دهد که در این نقطه T کاهش یافته و در اثر افزایش مقدار G وزنه مجدداً به موقعیت A بر می گردد. در این نقطه وزنه دارای انرژی جنبشی بوده و به حرکت خود تا B ادامه می دهد. در نقطه B مجدداً مقدار T بیش از G شده و کلیه مراحل تکرار می گردد.

اگر منحنی جابجایی وزنه W به سمت بالا و پایین را نسبت به زمان رسم نماییم منحنی مشابه شکل زیر بدست خواهد آمد. همانطور که ملاحظه می شود گراف بدست آمده یک منحنی سینوسی است. فاصله بین دو نقطه معادل روی منحنی سینوسی یک سیکل نوسان را نشان می دهد و تعداد سیکل های نوسان در هر ثانیه نشان دهنده فرکانس نوسان می باشد. حداکثر فاصله جابجایی وزنه از محور مبنا را دامنه نوسان می نامند.

طیف آکوستیک[11]

همانطوری که ذکر شد امواج صوتی عبارت است از نوسان ذرات ماده (جامد، مایع و یا گاز) می باشد. اصواتی که ما می شنویم در واقع نوسانات ذرات هوا است و این نوسانات دارای فرکانس و دامنه می باشند. البته گوش انسان به نوسانات در هر فرکانسی حساس نیست و تنها به نوسانات در محدوده فرکانس خاصی عکس العمل نشان می دهد. این محدوده معمولاً بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ سیکل بر ثانیه می باشد

[11] Acoustic Spectrum

که آنرا حد شنوایی انسان می نامند. فرکانس های زیر ۲۰ هرتز اصوات زیر صوت[۱۲] و فرکانس های بالای ۲۰ هزار هرتز اصوات مافوق صوت را تشکیل می دهند. البته حد شنوایی در حیوانات مختلف فرق می کند. مثلا سگ امواج مافوق صوت را تا حدود ۲۵۰۰۰ هرتز می شنود و حد شنوایی خفاش بین ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰۰ هرتز می باشد.

در تست التراسونیک بتن از محدوده فرکانسی ۲۵۰-۲۵ کیلوهرتز استفاده می شود ولی برای تست فلزات از فرکانس های بالاتر بین ۵۰۰ کیلوهرتز استفاده می شود. البته معمول ترین باند فرکانسی مورد استفاده برای عیب یابی بین ۲ تا ۵ مگاهرتز می باشد.

الاستیسیته و صلبیت[۱۳]

مقاومت در برابر کشش یا فشار را الاستیسیته جسم می گویند. با افزایش مقاومت، میزان الاستیسیته نیز بیشتر می شود. الاستیسیته را با ترسیم منحنی تغییر ابعاد در برابر نیروهای وارده بر واحد سطح می توان اندازه گیری نمود. شیب این منحنی را مدول الاستیسیته می گویند. جامدات، سیالات و گازها این مقاومت را در مقابل کشش و فشار از خود نشان می دهند به عبارت دیگر مواد مزبور دارای الاستیسیته هستند.

جامدات، سیالات و گازها نوسان از خودشان نشان می دهند و ذرات تشکیل دهنده آنها دارای جرم بوده و همچنین خاصیت الاستیکی دارند. جامدات دو خاصیت الاستیکی از خودشان نشان می دهند: الاستیسیته و صلبیت، در حالیکه سیالات و گازها فقط خاصیت الاستیسیته دارند.

انتشار امواج

در بررسی انتشار امواج صوتی به دو جهت برخورد می کنیم: جهت نوسان یعنی جهتی که ذرات منفرد ماده در این جهت نوسان می کنند و جهت انتشار که موج در این جهت به جلو حرکت می کند. دو نوع اصلی امواج صوتی عبارتند از:

[12] Infrasound

[13] Elastisity & Stiffness

الف: **موج طولی یا فشاری**[14]: در این نوع از امواج، جهت نوسان ذرات جسم در جهت انتشار موج می باشد. به عنوان مثال می توان انتشار موج معمولی صوت در هوا را نام برد که تحت نوسانات فشاری قرار دارد. امواج فشاری در جامدات، مایعات و گازها می توانند انتشار یابند.

ب: **موج عرضی یا برشی**[15]: در این نوع از امواج، جهت نوسان ذرات ماده عمود بر جهت انتشار موج می باشد و به علت اینکه تنها جامدات در برابر نیروی برش از خود مقاومت نشان می دهند لذا امواج برشی فقط در جامدات انتشار می یابد. از نظر شباهت موج برشی را می توان به انتشار امواج در سطح آب تشبیه نمود. البته این مثال از نظر فیزیکی صحیح نیست چرا که امواج برشی در مایعات انتشار نمی یابند. در شکل زیر دو نوع موج طولی و عرضی با یکدیگر مقایسه شده است.

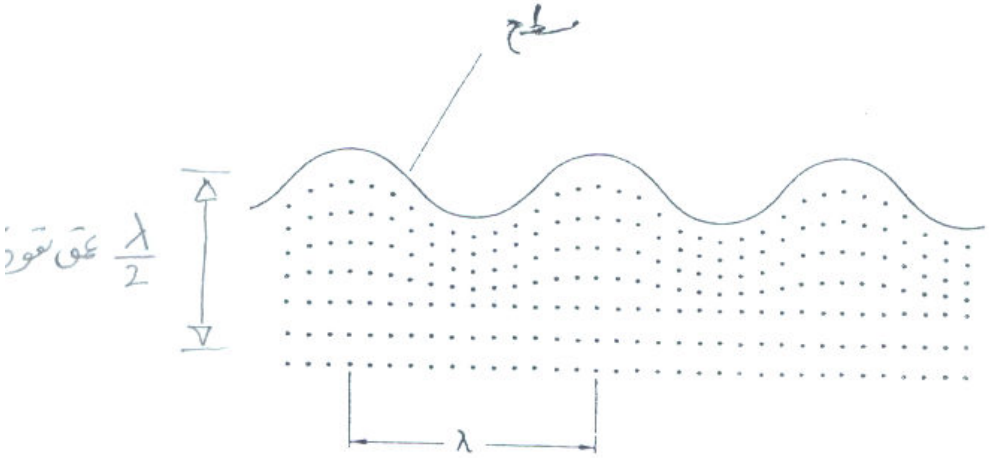
شکل ۷ : موج طولی و عرضی

[14] Longitudinal Waves

[15] Shear or Transvers Waves

ج) **امواج لمب**[16]: این نوع موج در سطوح خیلی نازک انتشار می یابد به طوری که کل حجم ماده به نوسان در آمده و در واقع نقش هدایت کننده موج را ایفا می کند. این نوع موج به ندرت در عیب یابی مورد استفاده قرار می گیرد و کاربرد آن صرفاً در تست ورق های خیلی نازک می باشد و به جهت مشکل بودن تنظیم پروب اغلب در سیستم های تست اتوماتیک بکار برده می شود.

د) **امواج سطحی**[17]: در این نوع از امواج صوتی، حرکت ذرات به شکل بیضی است به طوری که قطر بزرگ بیضی در جهت عمود بر جهت انتشار موج می باشد. این نوع موج فقط در امتداد سطوح ایجاد می شود ولی قادر است در سطوح منحنی نیز جریان یابد. عمق نفوذ امواج سطحی در حدود نصف طول موج صوت می باشد. امواج سطحی فقط در جامدات منتشر می شود.



شکل ۹ : موج سطحی

[16] Lamb Waves

[17] Surface Waves

سرعت انتشار امواج صوتی

سرعت انتشار امواج طولی، عرضی و سطحی از پارامترهای ثابت هر ماده ای محسوب می شود که مستقل از فرکانس و ابعاد قطعه می باشد و از روابط زیر قابل محاسبه است.

$$V_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

$$V_t = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2(1+\mu)}}$$

$$V_s \approx 0.9\, V_t$$

V_l = سرعت امواج طولی

V_t = سرعت امواج عرضی

V_s = سرعت امواج سطحی

E = مدول الاستیسیته یانگ

ρ = چگالی

$$V = \lambda \cdot f$$

V = سرعت (میلی متر بر ثانیه)

λ = طول موج (میلی متر)

f = فرکانس (هرتز)

سرعت انتشار امواج لمب به ابعاد جسم، نوع موج و فرکانس موج نیز بستگی دارد.

فاصله ای را که صوت در یک پریود (زمان یک نوسان) طی می کند طول موج[18] صوت نامیده می شود و آنرا با λ نشان می دهند.

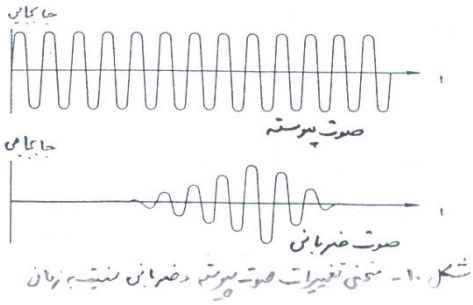
تمرین ۱: موج فشاری با فرکانس 5 MHZ در فولاد انتشار می یابد طول موج آن را محاسبه کنید.

[18] Wavelength

تمرین ۲: موج برشی با فرکانس 2 MHZ در آلومینیم انتشار می یابد. طول موج آن را محاسبه کنید.

صوت پیوسته و صوت ضربانی

صوت پیوسته[19] صوتی است که در آن زمان تداوم صوت خیلی طولانی تر از زمان نوسان می باشد.



در صوت ضربانی[20] زمان تداوم صوت تنها چند مرتبه طولانی تر از زمان نوسان می باشد. در ضمن فاصله بین دو ضربان صوت نیز خیلی طولانی تر از زمان تداوم ضربان می باشد.

امپدانس آکوستیک[21]

نسبت انرژی صوتی انتقال یافته و منعکس شده بستگی به امپدانس آکوستیک در محیط مزبور دارد. امپدانس آکوستیک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Z = \rho \times v$$

ρ= چگالی جسم

V= سرعت صوت در جسم

درصد انرژی صوتی که در برخورد به جسم دیگر انعکاس می یابد برابر است با:

[19] Continuous Sound

[20] Pulsed Sound

[21] Acoustic Ampedance

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \times 100\%$$

درصد انرژی صوتی که به محیط دوم انتقال می یابد برابر خواهد بود با:

$$T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \times 100\%$$

تمرین: درصد انرژی صوتی را که بعد از برخورد از فولاد به آب انعکاس می یابد محاسبه نمایید.

هر گاه امپدانس آکوستیک دو محیط با هم برابر باشند ($Z_1 = Z_2$) در این حالت هیچ انعکاسی رخ نمی دهد ($R=O$) و صوت از مرز مشترک بین دو محیط بدون انعکاس عبور می کند ($T=1$)

کوپلنت[۲۲]

همان طوری که بعدا ملاحظه خواهید نمود در مرز بین گاز و جامد کلیه انرژی صوتی انعکاس می یابد و بدین جهت است که امواج صوتی حساسیت زیادی نسبت به ترک دارند که در واقع یک فاصله هوایی بین دو لایه از جامد محسوب می شود. اما همین مساله در زمان ارسال امواج صوتی به داخل قطعه کار باعث ایجاد مشکل می شود چرا که ناچاریم فاصله هوایی بین پروب و قطعه کار را از بین ببریم که این کار را با افزودن یک ماده واسط که امپدانس آکوستیک آن بیش از هوا باشد می توان انجام داد. این ماده معمولا از سیال هایی نظیر آب، گلیسیرین، روغن، گریس، نفت و غیره انتخاب می شود.

بر خورد مایل صوت به مرز دو محیط

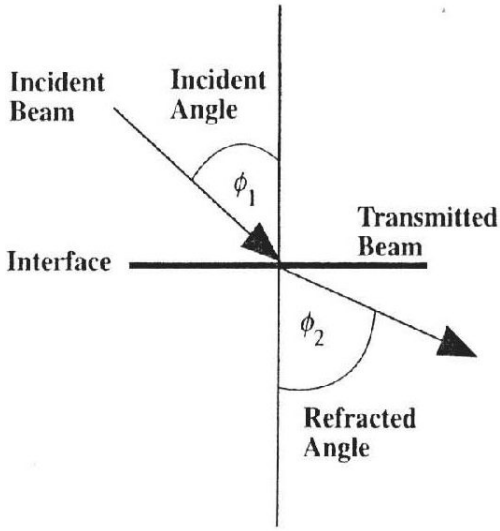
هر گاه امواج صوتی به صورت مایل به مرز بین دو محیط برخورد کند، پدیده ایجاد شده پیچیده تر از حالت برخورد موج با زاویه قائم خواهد بود. در این حالت نیز مجددا مولفه های انعکاسی و انتقالی وجود خواهد داشت. البته قسمتی از انرژی صوتی انتقالی و انعکاسی به انواع دیگر از امواج نیز تبدیل خواهد شد.

[22] Couplant

هرگاه موج فشاری تحت زاویه i به مرز بین دو محیط ۱ و ۲ برخورد نماید، با زاویه r که مساوی i می باشد انعکاس پیدا خواهد کرد.

به طوری که:

$$\sin I = \sin r$$



صوت انتقال یافته به محیط دوم به علت متفاوت بودن سرعت صوت در دو محیط ۱ و ۲ شکسته می شود و زاویه موج فشاری در محیط دوم برابر R_L خواهد بود و طبق رابطه اسنل خواهیم داشت:

$$\frac{\sin\phi_1}{\sin\phi_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

البته بعد از برخورد صوت به مرز بین دو محیط مقداری امواج برشی نیز در داخل محیط دوم بوجود می آید که تحت زاویه شکست دیگری به مسیر خود ادامه می دهد و علت متفاوت بودن زاویه آن با امواج فشاری اختلاف در سرعت امواج فشاری و برشی می باشد. هرگاه زاویه تابش صوت کم باشد، دامنه موج برشی نیز کمتر شده و می توان این موج را نادیده گرفت ولی با افزایش زاویه تابش، دامنه امواج برشی در محیط دوم نیز رو به ازدیاد می گذرد.

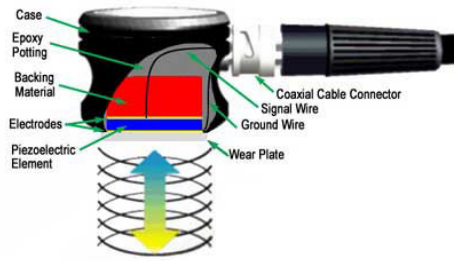
با افزایش مقدار i، زاویه R_L نیز افزایش می یابد تا جایی که اندازه آن به ۹۰ درجه برسد که در این حالت فقط امواج برشی در محیط دوم انتشار می یابد. مقدار زاویه i را در این حالت زاویه اول بحرانی می نامند که مقدار آن در تابش صوت از پرسپکس به فولاد ۲۸ درجه و در مرز آب و فولاد برابر ۱۵ درجه می باشد. با این مقدار i زاویه موج برشی در فولاد یعنی R_T در حدود ۳۳ درجه است. با افزایش بیشتر زاویه i زاویه R_T نیز رو به ازدیاد می گذارد تا جایی که اندازه آن به ۹۰ درجه برسد. در این حالت امواج روی سطح جسم حرکت می کنند که آن را موج سطحی می گویند. اندازه زاویه i را در این حالت زاویه دوم بحرانی می نامند که در مرز بین پرسپکس و فولاد برابر ۵۸ درجه می باشد.

فصل سوم

تولید امواج التراسونیک

۳-۱ اثر پیزوالکتریک[۲۳]

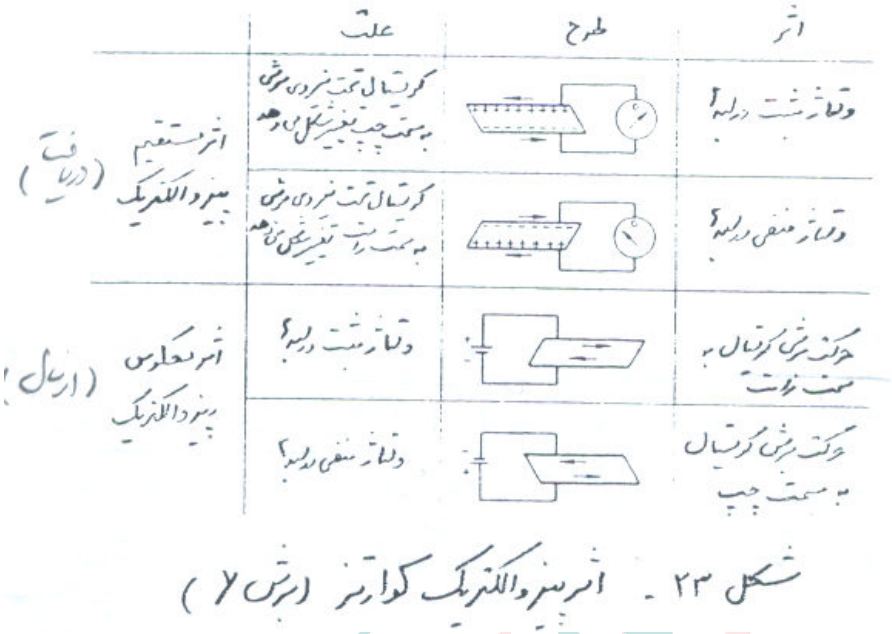
در سال ۱۸۸۰ برادران کوری متوجه شدند که یک صفحه کریستال که از مقطع خاصی برش خورده باشد در اثر اعمال فشار مکانیکی شروع به تولید پتانسیل الکتریکی می کند. این پدیده در بعضی کریستال های طبیعی مثل کوارتز، تورمالین، نمک روشلیه و امثال آن ها مشاهده می شود. در سال ۱۸۸۱ همچنین اثر معکوس پدیده مزبور را مورد توجه قرارداد. بدین معنی که از کریستال های مزبور برای تولید امواج صوتی می توان استفاده نمود. این نوع کریستال ها را ترانسدیوسر[۲۴] می نامند و در تست التراسونیک معمولاً از ترانسدیوسر و الکتریسیته استفاده می شود. بنابراین اثر پیزوالکتریک بدین صورت تعریف می شود که هرگاه کریستالی تحت کشش و فشار قرار گیرد، یک ولتاژ AC در سطوح آن بوجود می آید. اثر معکوس پیزوالکتریک نیز بدین صورت خواهد بود که با اعمال پتانسیل الکتریکی به کریستال مزبور تغییر شکل های مکانیکی (یعنی فشار و کشش) بین سطوح متقابل آن ایجاد خواهد گردید. اثر معکوس پیزوالکتریک برای ارسال امواج ماوراء صوت و اثر مستقیم پیزوالکتریک برای دریافت آنها مورد استفاده قرار می گیرد. یعنی در واقع از یک کریستال هم به عنوان فرستنده و هم به عنوان گیرنده استفاده می شود.



[23] Pizoelectric Effect

[24] Transducer

کریستال های کوارتز دارای شکل معینی هستند و بوسیله محورهای کریستالوگرافیک مشخص می شوند که همانند سیستم مختصات دکارتی دارای سه محورX و Y و Z می باشند.



شکل ۲۳ - اثر پیزوالکتریک کوارتز (برش Y)

اثر پیزوالکتریک تنها زمانی ایجاد می شود که صفحات کوچک در جهت عمود بر یکی از محور های X یا Y از کریستال کوارتز برش داده شوند. در حالت اول تغییر شکل مکانیکی کریستال در جهت میدان الکتریکی و در حالت دوم در جهت عمود بر میدان الکتریکی خواهد بود. این صفحات را به ترتیب کریستال برش X و کریستال برش Y می نامند. کریستال برش X امواج طولی و کریستال برش Y امواج عرضی ایجاد می کند. کوارتز برش X در اکثر تست های التراسونیک مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که کریستال برش Y به علت مشکلات پیوند آن با قطعه کار فقط برای امور آزمایشگاهی از نظر اقتصادی مناسب می باشد.

ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک مصنوعی

بعضی سرامیک های پلی کریستالی نیز از خود خاصیت پیزوالکتریک نشان می دهند. این سرامیک ها را می توان ترکیبی از تعداد زیادی کریستال کوچک پیزوالکتریک تصور نمود. در شرایط عادی این کریستال های ریز بطور نامنظم قرار گرفته و اثر همدیگر را خنثی می کنند ولی اگر این سرامیک را تا درجه حرارت بحرانی (دمای کوری) حرارت دهیم، کریستال های ریز نسبت به یکدیگر شروع به حرکت می کنند. اگر سرامیک مزبور بعداً در یک میدان الکترواستاتیک قوی قرار گیرد کریستال های ریز نسبت به میدان مذبور به حالت منظم قرار می گیرند. حال اگر در حین خنک شدن سرامیک تا دمای محیط میدان الکترواستانیک حفظ شود، یک قطعه سرامیک پلاریزه شده بدست خواهد آمد که نقش یک ترانسدیوسر پیزوالکتریک را ایفا می کند.

برای تست التراسونیک، عملکرد ترانسدیوسرهای مصنوعی بهتر از کوارتز می باشد و به همین دلیل امروزه کمتر از کوارتز استفاده می شود. از مواد جدیدتر تیتانات زیرکونات سرب[۲۵] بهترین فرستنده صوت محسوب می شود ولی به دلیل چسبندگی ضعیف آن به نمونه تست های تماسی مناسب نبوده و صرفاً در تست های غوطه وری از آن استفاده می شود. سولفات لیتیم بهترین گیرنده امواج صوتی است ولی به علت حلالیت آن در آب در تست های معمولی به صرفه نمی باشد. تیتانات باریم ماده خیلی مناسبی است و در اغلب موارد مورد استفاده قرار می گیرد. متانیوبات سرب دارای درجه حرارت کوری ۵۵۰ درجه سانتیگراد می باشد که به همین دلیل برای تست های در درجه حرارت های بالا مناسب می باشد.

لوله اشعه کاتد[۲۶]

لوله اشعه کاتد در واقع سیستم نشان دهنده یک دستگاه عیب یاب التراسونیک محسوب می شود. این وسیله اطلاعات مربوط به زمان عبور (فاصله) و دامنه امواج را به ما نشان می دهد. در یک انتهای لوله خلا شیشه ای فیلامان گرم کننده و در انتهای دیگر آن پوشش فلورسنت قرار داده شده است. فیلامان (کاتد) در اثر گرم شدن از خود الکترون آزاد می کند به طوری که یک ابر الکترونی در مقابل آن ایجاد می شود. شتاب حرکت این الکترونها را می توان با اعمال یک پتانسیل مثبت قوی در سمت فلورسنت لوله تشدید نمود. الکترونهایی که با سرعت زیاد به پوشش فلورسنت برخورد می کنند متوقف شده و انرژی حاصله از این توقف به شکل نور فلورسنت ظاهر می شود.

میزان روشنایی این نور را می توان با کنترل جریان الکترونها تنظیم نمود. این کار توسط شبکه کنترل صورت می گیرد، بدین ترتیب که با منفی نمودن شبکه می توان از عبور بخشی از الکترونها به لوله جلوگیری نمود. هر چه شبکه را بیشتر منفی کنیم تعداد کمتری الکترون از لوله عبور خواهد کرد و در نتیجه از شدت روشنایی تصویر کاسته خواهد شد. برای ایجاد یک نقطه روشن روی صفحه فلورسنت کافی است با گذراندن الکترونها از لوله فوکوس آنها را در یک کانون متمرکز نمود. برای جابجا نمودن نقطه روشن از دو سری صفحات استفاده می کنیم: صفحات X برای حرکت افقی و صفحات Y برای حرکت عمودی. با تغییر دادن ولتاژ در صفحات X و Y می توانیم نقطه نورانی را در جهت افقی یا عمودی حرکت داده و آن را در موقعیت دلخواه مستقر سازیم.

---

[25] PZT

[26] Cathodic Ray Tube(CRT)

کنترل های صفحه CRT

الف) کنترل شدت روشنایی تصویر

ب) کنترل فوکوس تصویر

ج) جابجا کننده افقی X

د) جابجا کننده قائم Y

سیستم پالس اکو[۲۷]

در این سیستم، مولد پالس[۲۸] پالس هایی تولید می کند که بطور همزمان ترانسدیوسر فرستنده و دستگاه مولد پایه زمانی[۲۹] را به کار می اندازد به طوری که همزمان با شروع حرکت نقطه نورانی در لوله اشعه کاتد، پالس صوتی نیز شروع به حرکت در داخل قطعه کار می نماید. پیچش اولیه و نوسانات بعدی ترانسدیوسر وارد آمپلی فایر شده و باعث حرکت عمودی نقطهٔ نورانی بر روی صفحه CRT می گردد.

همزمان با عبور صوت از داخل قطعه کار، نقطه نورانی بر روی محور افقی صفحه CRT حرکت می کند تا زمانی که صوت به اولین مانع منعکس کننده بر خورد نماید. در اینجا بخشی از صوت انعکاس یافته و بقیه آن به حرکت خود ادامه می دهد تا به منعکس کننده بعدی برخورد نماید. بخش انعکاس یافته از اولین منعکس کننده به کریستال گیرنده صوت بر می گردد و باعث حرکت عمودی نقطه نورانی می شود.

اگر قطعه کار از جنس فولاد و ضخامت آن ۲۵ میلیمتر باشد، زمانی حدود ۸ میلیونیم ثانیه (8μS) طول خواهد کشید تا کلیه مراحل مذکور انجام شود. واضح است که ثبت این اطلاعات دریافتی در مغز انسان در چنین زمان خیلی کوتاه غیر ممکن می باشد. بنابراین برای دریافت اطلاعات به حالت پایدار روی صفحه CRT لازم است که کلیه مراحل مزبور بر فعالیت خیلی زیادی در هر ثانیه تکرار شود.

---

[27] Pulse Echo System

[28] pulse generator

[29] Time Base Generatar

معمولا این مراحل را به تعداد ۱۰۰۰ بار در ثانیه در یک قطعه کار به ضخامت ۲۵ میلیمتر تکرار می کنیم. به بیان دیگر باید در هر ۰/۰۰۱ ثانیه یک پالس جدید به ترانسدیوسر و مولد پایه زمانی تغذیه شود. در این حالت می گوییم که فرکانس تکرار پالس[۳۰] برابر ۱۰۰۰ پالس در ثانیه می باشد. در پایان هر حرکت مجددا نقطه نورانی به منتهی الیه سمت چپ صفحه CRT بر می گردد و منتظر تغذیه پالس بعدی می شود. تنظیم PRF در اغلب عیب یاب های التراسونیک با تنظیم عمق اندازه گیری بطور اتوماتیک صورت می گیرد و در اغلب دستگاه ها PRF از ۵۰ الی ۱۲۵۰ تغییر می کند.

استهلاک صوت و سیستم دسی بل[۳۱]

در اغلب دستگاه های التراسونیک کنترل حساسیت بر حسب واحد دسی بل صوت می گیرد. به بیان دیگر با کلیک بر روی کلید مربوطه می توان ارتفاع اکوها را کم و زیاد نمود. در این بخش نحوه استفاده از این کنترل و مفهوم کالیبراسیون بر حسب دسی بل تشریح می شود.

روی صفحه CRT ما معمولا به دو دسته اطلاعات دسترسی پیدا می کنیم:

الف- محل سیگنال بر روی محور افقی که نشان دهنده عمق عیب می باشد و دامنه یا ارتفاع سیگنال که می تواند اطلاعاتی در مورد اندازه عیب به ما بدهد.

ب- ارتفاع سیگنال به خودی خود مفهوم مطلقی ندارد و باید بصورت مقایسه از آن استفاده نمود. مثلا اگر دستگاه را طوری تنظیم کرده باشیم که از یک سوراخ به قطر $\frac{1}{8}$ اینچ در عمق یعنی از قطعه کار سیگنالی به ارتفاع $\frac{1}{3}$ ارتفاع صفحه دریافت می نماییم. حال اگر از یک عیب نامشخص در همان عمق سیگنالی مثلا به ارتفاع $\frac{2}{3}$ ارتفاع صفخه دریافت کنیم قادر خواهیم بود اندازه این عیب را برآورد نماییم.

بنابراین برای اینکه اطلاعات بدست آمده مفهوم پیدا کند باید دامنه اکوها را با دامنه اکو یک عیب مشخص به عنوان مرجع مقایسه نماییم.

[30] Pulse Repeatation Frequency(PRF)

[31] Sound Attenuation & dB System

دامنه اکو مربوط به عیب ممکن است از اکو مرجع بزرگتر یا کوچک تر باشد. هر گاه این سیگنال خیلی کوچکتر از اکو مرجع باشد، می توانیم حساسیت دستگاه را افزایش داده و ارتفاع سیگنال را تا حد قابل رویت بالا ببریم. البته با این کار دامنه اکو مرجع نیز افزایش پیدا خواهد نمود و ممکن است از ارتفاع کامل صفحه نیز تجاوز کند. واضح است کار در چنین حالتی قادر به مقایسه دامنه اکوها نخواهیم شد. بدلیل اینکه در یک حساسیت مشخص بر دو سیگنال در محدوده ارتفاع صفحه CRT می گنجد. بر عکس ممکن است دامنه اکو دریافتی از عیب به قدری بزرگ باشد که اگر بخواهیم ارتفاع آن را کم کرده و در حد گنجایش صفحه CRT بیاوریم در این حالت سیگنال مرجع ما محو می شود. می دانیم که اختلاف دامنه این دو اکو برابر است با ارتفاع کامل صفحه به اضافه یا منهای مقدار تغییر در میزان حساسیت بنابراین لازم است که کنترل حساسیت دستگاه اولا مستقل از فرکانس عمل نماید یعنی با افزایش یا کاهش دامنه سیگنال ها میزان فرکانس تغییر نکند. ثانیا حساسیت بصورت کالیبره شده باشد. این کنترل کننده با مستهلک کننده[۳۲] که امروزه در کلیه دستگاه های تست التراسونیک نصب می شود در واقع از یک سری مقاومت های متغیر تشکیل می شود. به طوری که با افزایش مقاومت مقدار جریان کاهش یافته در نتیجه از دامنه سیگنال کاسته می شود و برعکس با کاهش مقاومت دامنه سیگنال افزایش می یابد.

تعریف دسی بل (dB)

می خواهیم دو سیگنال التراسونیک به شدت های I_0 و I_1 را با یکدیگر مقایسه کنیم. اگر با این سیگنال ها یک ترانسدیوسر را به ارتعاش در آوریم و سیگنال های الکتریکی به p_0 و p_1 ایجاد شود، نسبت این دو سیگنال $\frac{I_0}{I_1}$ با نسبت قدرت الکتریکی آزمایشی $\frac{P_0}{P_1}$ برابر خواهد بود:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{P_0}{P_1}$$

ولی قدرت الکتریکی با مجذور ولتاژهای ایجاد شده متناسب است یعنی:

$$\frac{P_0}{P_1} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2$$

بنابراین می توانیم بگوییم که شدت صوت متناسب با ولتاژ ایجاد شده در ترانسدیوسر می باشد یعنی:

[32] Attenuator

$$\frac{I_0}{I_1} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2$$

ولی چون تعداد این نسبت ها خیلی بزرگ خواهد شد لذا از مقیاس لگاریتمی استفاده می کنیم:

$$\lg \frac{I_0}{I_1} = \lg \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2$$

$$\lg \frac{I_0}{I_1} = 2 \lg \frac{V_0}{V_1}$$

این نسبت را بل[33] می گویند که به علت بزرگ بودن این واحد از یک دهم آن یا از دسی بل استفاده می کنند. یعنی هر بل برابر ده دسی بل می گردد لذا خواهیم داشت:

$$\text{دسی بل} \quad \lg \frac{I_0}{I_1} = 20 \lg \frac{V_0}{V_1}$$

چون ارتفاع سیگنال روی صفحه CRT بستگی به تعداد ولتاژ اعمال شده توسط ترانسدیوسر دارد، لذا در رابطه بالا به جای مقادیر ولتاژ می توان ارتفاع سیگنال ها را جایگزین نمود مثلاً هر گاه دو سیگنال با ارتفاع های ۴۰ و ۲۰ میلیمتر را با یکدیگر مقایسه کنیم رابطه دسی بل آنها چنین خواهد شد:

$$dB = 20 \lg \frac{H_0}{H_1} = 20 \lg \frac{40}{20} = 20 \lg 2 = 6 \quad dB$$

بنابراین ۶ دسی بل به معنی نسبت دو به یک دامنه ها خواهد بود برای مقایسه این دو سیگنال با استفاده از کنترل حساسیت دستگاه می توانیم اکو ۴۰ میلیمتری را به حد ۲۰ میلیمتر رسانده و اختلاف دسی بل را که در این حالت ۶ دسی بل خواهد بود از روی کنترل دستگاه بخوانیم البته اختلاف ۶ دسی بل چون اندازهٔ کوچکی است لذا اندازه گیری آن مستقیماً از روی صفحه بر اساس اختلاف ارتفاع ها و یا از روی درجه بندی کنترل حساسیت امکان پذیر است ولی حالتی را اندازه بگیرید که سیگنال کوچک دارای ارتفاع ۱۰ میلیمتر و سیگنال بزرگ ۱۰۰ برابر آن باشد واضح است که ارتفاع سیگنال بزرگ خارج از گنجایش ارتفاع صفحه خواهد بود در این حالت ناچاریم از کنترل حساسیت برای مقایسه سیگنال ها استفاده کنیم اگر برای سیگنال کوچک مقدار دسی بل برابر۲۰ باشد، باید کنترل حساسیت را

[33] Bel

طوری تنظیم نماییم که سیگنال بزرگ به حد ارتفاع سیگنال کوچک یعنی ۱۰ میلیمتر برسد و مقدار جدید دسی بل را بخوانیم که برابر ۶۰ دسی بل خواهد شد. حال می توانیم بگوییم سیگنال کوچک به اندازهٔ ۴۰ دسی بل از سیگنال بزرگ کوچکتر است یا بر عکس سیگنال بزرگ ۴۰ دسی بل از سیگنال کوچک بزرگتر می باشد.

تمرین

سیگنالی به اندازهٔ ۲۰ دسی بل از سیگنال دیگر کوچکتر است دامنه این سیگنال چند برابر کوچکتر می باشد؟

در بعضی موارد مثلاً در مورد تست یک ورق نورد شده برای پیدا کردن عیب تورق داخلی که به موازات سطح ورق می باشد می توانیم ارتفاع اکو دریافتی از عیب را با یک سوراخ مشخص مقایسه نموده و سطح عیب یا قطر سوراخ معادل را که سیگنالی معادل همان عیب ایجاد خواهد نمود محاسبه نماییم. این روش را متد سوراخ معادل می نامند. اگر نسبت سطح سوراخ مرجع به سطح سوراخ معادل با عیب برابر $\frac{A_0}{A_1}$ باشد خواهیم داشت:

$$\text{اختلاف dB} = 20 \lg \frac{V_0}{V_1} = 20 \lg \left(\frac{D_0}{D_1}\right)^2 = 40 \lg \frac{D_0}{D_1}$$

تمرین

اکو دریافتی از یک عیب دوازده دسی بل کمتر از اکو حاصل از یک سوراخ ۱/۴ اینچی می باشد قطر سوراخ معادل عیب مزبور را پیدا کنید.

پرتو امواج التراسونیک

پرتو امواج صوتی که از یک پروب التراسونیک منتشر می شود شباهت کامل با پرتو نور منتشر از یک چراغ قوه دارد. صوت شکل مخروطی منتشر شده و با افزایش فاصله از منبع از شدت آن کاسته می شود. بنابراین برای آگاهی از چگونگی تاثیر پرتو صوتی در کیفیت بازرسی لازم است که شکل پرتو صوتی را به دقت مورد مطالعه قرار داده و میزان کاهش شدت آن را در جهت طولی و عرضی بررسی نماییم.

بر اساس یک اصل کلی با افزایش فاصله ترانسدیوسر از شدت صوت کاسته می شود. این تضعیف صوت در واقع بیانگر اتلاف انرژی است به بیان دیگر صوت در اثر حرکت در داخل جسم مستهلک می شود. علت استهلاک یا میرایی صوت عوامل زیر می باشد:

الف: جذب[۳۴] انرژی صوتی به علت حرکت ملکول های در حال نوسان

ب: تفرق[۳۵] امواج صوتی در اثر انعکاس از مرز دانه ها

ج: اثرات تدافعی[۳۶] در مجاورت ترانسدیوسر

د: گسترش پرتو صوتی[۳۷]

میزان انرژی تلف شده به علت جذب در جسم بستگی به خواص الاستیکی جسم دارد. به طوری که فولاد و آلومینیوم دارای خاصیت جذب کمتر از سرب یا پرسپکس می باشند. میزان تفرق نیز بستگی به نوع جسم مورد آزمایش دارد بطوریکه هر چه اندازه دانه ها بزرگتر باشد، میزان تفرق نیز بیشتر خواهد شد. در مواد ساخته شده به روش فورجینگ یا نورد معمولا تفرق کمتر از قطعات ریختگی است در اثر عملیات حرارتی اندازه دانه ها کوچکتر شده و از میزان تفرق نیز کاسته می شود و در نتیجه تست آسانتر می گردد. درست موادی که از میزان جذب یا تفرق زیادی برخوردار هستند باید از فرکانس های پایین تر استفاده نمود. می توان گفت که استهلاک صوت (جذب و تفرق) با کاهش فرکانس کمتر می شود و یا به بیان دیگر قدرت نفوذ صوت در مواد با استفاده از فرکانس های کمتر افزایش می یابد.

میدان نزدیک[۳۸]

همانطور که مشاهده کردیم تغییرات شدت صوت به علت اثرات تداخل امواج در فاصله یعنی ترانسدیوسر رخ می دهد که این فاصله را میدان نزدیک پروب می نامند. در این فاصله پرتو صوتی به حالت موازی انتشار می یابد و بلافاصله وارد میدان دور[۳۹] پروب می شود که پرتو صوتی به حالت مخروطی منتشر می شود. فاصله میدان نزدیک پروب از رابطه زیر قابل محاسبه است:

---

[34] Absorption

[35] Scatter

[36] Interference Effcts

[37] Beam Spread

[38] Near Field

$$\text{میدان نزدیک} \quad NF = \frac{D^2}{4\lambda}$$

به مخروطی بودن انتشار پرتو صوتی شدت صوت نیز همانند پرتوهای نور از قاعده عکس مربع فاصله پیروی می کند. یعنی با دو برابر شدن فاصله از پروب شدت صوت به $\frac{1}{4}$ مقدار اولیه کاهش می یابد. البته مقدار واقعی شدت صوت عملا کمتر از $\frac{1}{4}$ نیز خواهد بود که دلیل آن جذب، تفرق و سایر تلفات داخلی می باشد.

رابطه فوق فقط در مورد ترانسدیوسر با سطح مقطع دایروی صدق می کند و در ترانسدیوسرهای چهار گوش طول میدان نزدیک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$NF = \frac{1}{\pi \cdot \lambda} (a^2+b^2)\left(1-\frac{a}{2b}\right)$$

البته در این حالت مقطع میدان التراسونیک نیز به شکل دایره نخواهد بود و زاویه بزرگتر پرتو صوتی بوسیله عرض کریستال ایجاد می شود.

همان طوری که قبلا ذکر شده حداکثر فشار صوت همواره بر روی محور ترانسدیوسر بوده و این فشار متناسب با افزایش فاصله از کریستال کاهش می یابد انحراف از روی محور به طرفین نیز با کاهش فشار صوت همراه است. اگر در فاصله معینی از پروب فشار صوت در روی محور ۱۰۰٪ در نظر گرفته شود. متناسب با فاصله گیری از محور به طرفین از فشار صوت کاسته خواهد شد. معمولاً فاصله ای را که در آن شدت صوت بر روی لبه نسبت به محور به $\frac{1}{10}$ کاهش می یابد، مشخص می سازند. زاویه مخروط در این حالت برابر خواهد بود با:

$$\sin \theta_{.10} = \frac{1.08\,\lambda}{D}$$

[39] Far Field

فصل چهارم

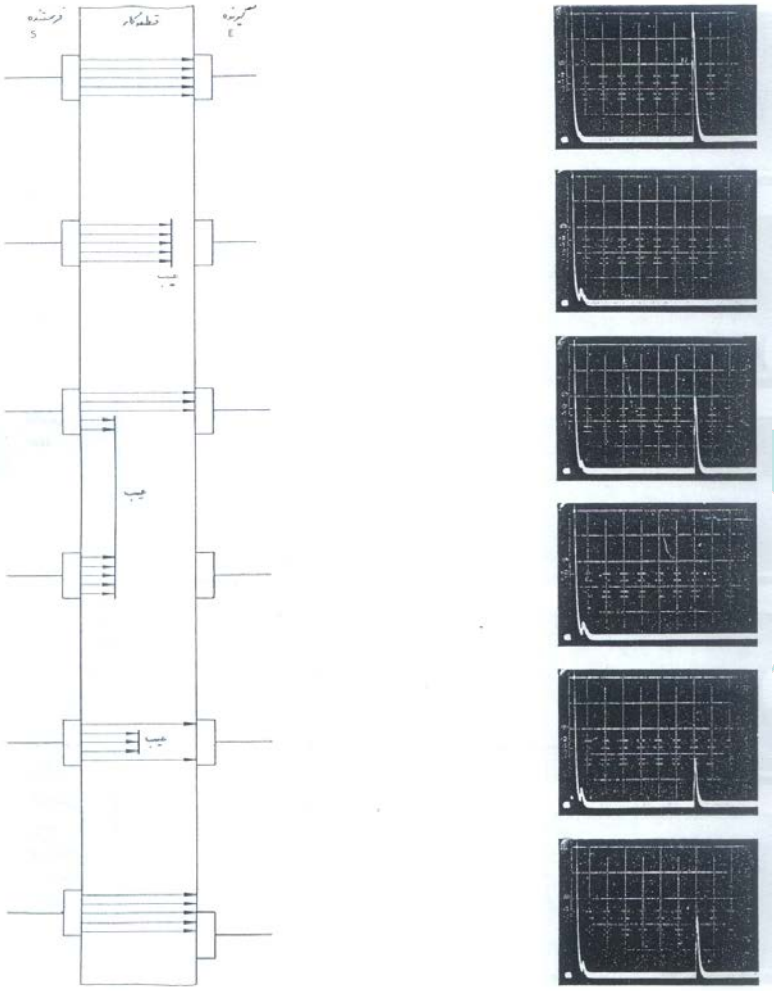
روش های تست التراسونیک[۴۰]

امواج التراسونیک بعد از برخورد به مرز مشترک دو محیط که دارای امپدانس آکوستیک مختلف هستند تجزیه شده، قسمتی از آن به محیط دوم انتقال می یابد و قسمتی دیگر انعکاس یافته و به محیط اول بر می گردد. مرز مشترک مزبور می تواند هر گونه ناخالصی یا عیبی در قطعه کار باشد که باعث می شود امپدانس آکوستیک در آن ناحیه با خود جسم متفاوت باشد. اما بر اساس اینکه موج انتقال یافته و یا موج برگشتی مورد ارزیابی قرار بگیرد دو روش مختلف به شرح زیر جهت تست بکار می رود:

روش انتقال امواج

در این روش پروب فرستنده در یک سطح جسم و پروب گیرنده در سطح مقابل آن قرار داده می شود و بخش انتقال یافته امواج مورد بررسی قرار می گیرد. عیوب موجود در فاصله بین دو پروب فوق باعث انعکاس جزئی یا کامل موج شده، در نتیجه موج دریافتی توسط پروب گیرنده تضعیف شده و یا بطور کامل محو می گردد. اصولاً در این روش انتخاب موج صوتی پیوسته یا ضربانی تفاوتی نمی کند چرا که فرستنده و گیرنده از نظر الکتریکی کاملاً مجزا از یکدیگر می باشند. البته با این روش تعیین عمق عیب امکان پذیر نیست و علاوه بر این هماهنگی دقیق فرستنده و گیرنده در محل های مربوطه از الزامات تست می باشد.

[40] Ultrasonic Test Methods



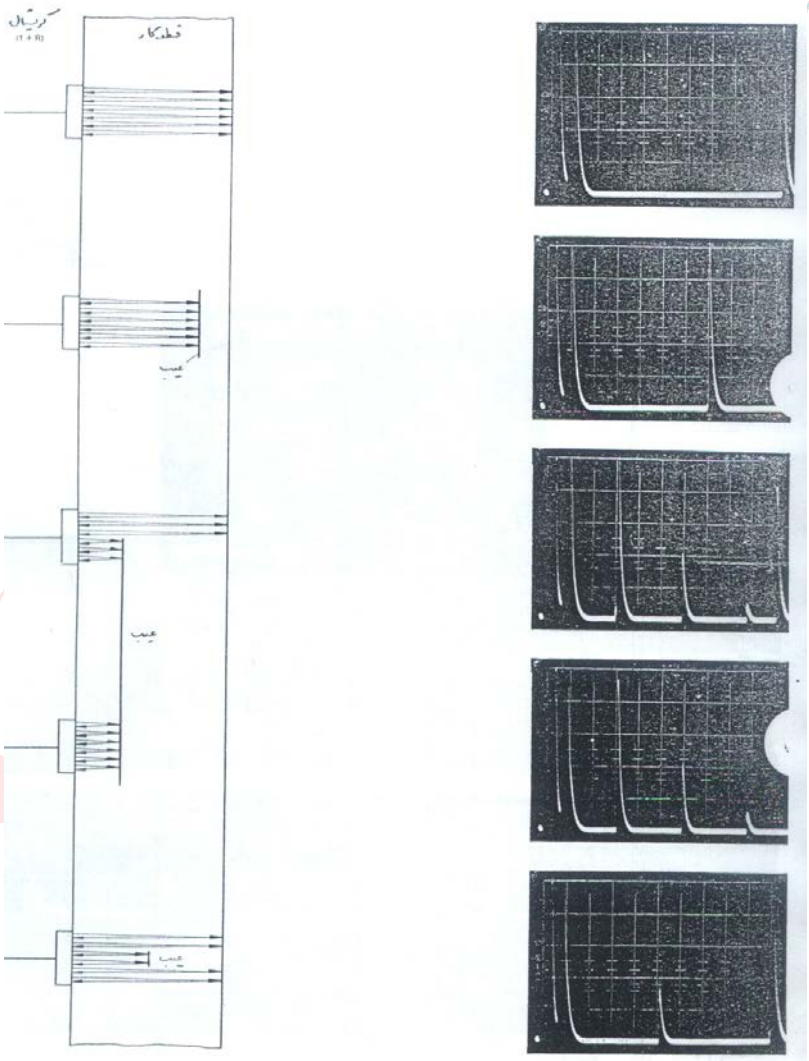
شکل ۴۷ : روش انتشال امواج (Transmission)

روش انعکاس امواج (پالس اکو[41])

در این روش برای تشخیص عیب در قطعه کار از بخش انعکاس یافته امواج التراسونیک استفاده می شود. در این حالت یک ترانسدیوسر هم به عنوان فرستنده و هم به عنوان گیرنده عمل می کند. در این روش فقط از صوت ضربانی استفاده می شود. پالس های الکتریکی خیلی کوتاه تولید امواج التراسونیک مناسبی می کنند که بلافاصله در حالی که موج هنوز در جسم در حال انتشار همان ترانسدیوسر به عنوان گیرنده نیز عمل می کند. امواج التراسونیک در اثر برخورد به سطوح منعکس کننده، انعکاس کلی یا جزئی می یابند. هرگاه سطح منعکس کننده در جهت عمود بر مسیر موج باشد موج به نقطه اولیه خود برگشت خورده و بعد از مدت زمان معینی به ترانسدیوسر می رسد که این زمان بستگی به سرعت صوت در جسم و به فاصله بین ترانسدیوسر و سطح منعکس کننده دارد. پس

[41] Pulse Echo

ترانسدیوسر ارتعاشات التراسونیک را به پالس های الکتریکی تبدیل می کند. البته تنها بخشی از انرژی التراسونیک به انرژی الکتریکی تبدیل می شود و بخشی دیگر از مرز مشترک بین قطعه کار و ماده واسط تست مجدداً انعکاس یافته و به درون قطعه کار بر می گردد. در این مسیر برای چند بار تکرار می شود و نتیجه آن دریافت اکوهای متوالی بر روی صفحه CRT است. باید توجه داشت که نه تنها سطح پشت قطعه کار بلکه هر نوع منعکس کننده ای مثل عیوب داخل جسم نیز چندین اکو متوالی ایجاد خواهند نمود. از آنجایی که زمان عبور موج را می توان اندازه گیری نمود لذا با در دست داشتن سرعت صوت فاصله عیب از پروب قابل محاسبه می باشد. در این روش بر خلاف روش انتقال امواج تعیین محل عیب امکان پذیر می گردد و به همین دلیل است که در اغلب موارد از این روش استفاده می شود و مزیت دیگر آن این است که تنها به یک سطح تماس نیاز می باشد لذا روش تست تا حدود زیادی ساده شده و شرایط نسبتاً ثابتی در حین تست ایجاد می شود.



شکل ۳۸ - روش انعکاس امواج (Pulse Echo)

پروب‌های التراسونیک[۴۲]

همان طوری که قبلا گفته شد برای تولید امواج التراسونیک از پروب‌هایی استفاده می‌شود که جزء اصلی آن ترانسدیوسر می‌باشد. این ترانسدیوسر توسط یک پالس الکتریکی به حالت ضربانی تحریک می‌شود تا شروع به نوسان کند. این ارتعاشات در فرکانس طبیعی کریستال به آرامی مستهلک می‌شوند که آن را می‌توان به استهلاک صدای ناقوس تشبیه کرد. برای کنترل فرکانس ضخامت ترانسدیوسر را طوری انتخاب می‌کنیم که به یک فرکانس نوسان طبیعی مشخصی دست یابیم.

بنابراین ترانسدیوسر برای هر ضخامتی دارای فرکانس نوسان طبیعی خاصی خواهد بود که در آن امپدانس الکتریکی حداقل بوده و دامنه نوسانات مکانیکی حداکثر مقدار خود را خواهد داشت. هر چه ضخامت ترانسدیوسر کم باشد فرکانس نوسان بیشتر خواهد بود.

رابطه بین ضخامت ترانسدیوسر و فرکانس طبیعی نوسان چنین است:

$$f \cdot t = \frac{V}{2}$$

t: ضخامت ترانسدیوسر

f: فرکانس طبیعی

V: سرعت صوت

مقدار *V/2* در هر ماده‌ای را ضریب ثابت فرکانس- ضخامت آن ماده می گویند.

به علت این که در روش پالس اکو ترانسدیوسر بعد از ارسال پالس بلافاصله باید به عنوان گیرنده عمل کند لذا لازم است که نوسانات تولید شده در کمترین زمان ممکن مستهلک شوند. البته این استهلاک نباید بدان حد شدید باشد که حساسیت پروب به مقدار زیادی کاهش یابد. متاسفانه نیاز به قدرت و حساسیت زیاد همزمان با نیاز به پالس‌های باریک به منظور نیل به تفکیک پذیری خوب، عملا با یکدیگر در تناقض می باشند. تفکیک پذیری به معنی توانایی پروب و به تبع آن کل سیستم عیب‌یابی در نشان دادن علایم جداگانه از عیوبی است که تقریبا دارای فاصله یکسانی هستند.

ترانسدیوسر با استهلاک ضعیف، دارای قدرت و حساسیت زیاد بوده ولی به علت عریض بودن پالس‌های آن از تفکیک پذیری کمتری برخوردار خواهد بود.

ترانسدیوسر با استهلاک قوی، به علت باریکی پالس‌ها دارای تفکیک پذیری زیاد ولی در عین حال از قدرت و حساسیت کمتری

[42] Ultrasonic Probes

برخوردار خواهد بود.

البته قدرت و تفکیک‌پذیری پروب بستگی به جنس ترانسدیوسر نیز دارد. سازندگان پروب‌های التراسونیک سعی می‌کنند بهترین حالت ترکیبی بین عوامل تعیین کننده را ایجاد کنند. در موارد خاص پروب‌های مخصوص برای ایجاد قدرت زیاد و یا تفکیک پذیری بالا نیز ساخته می‌شود.

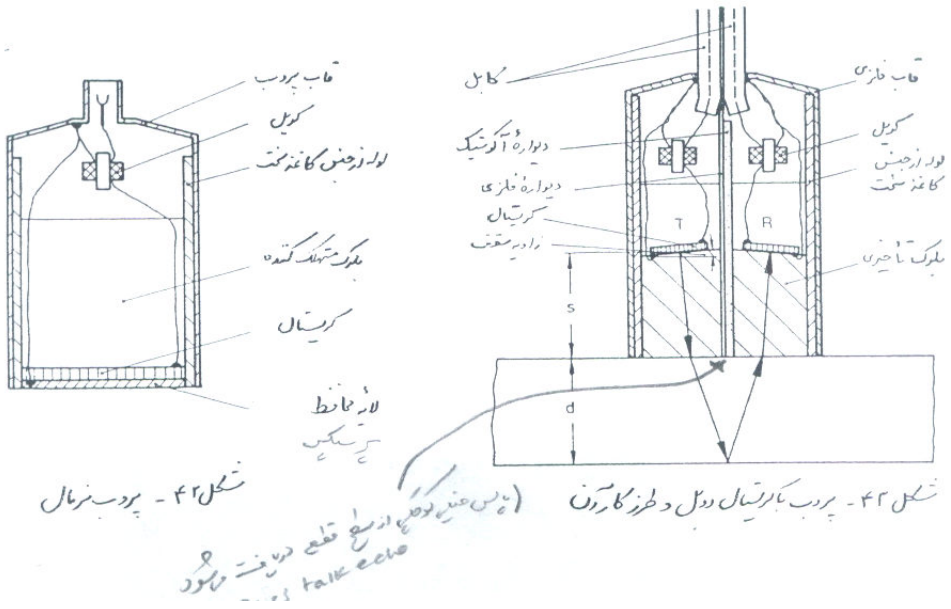
پالس‌های ایجاد شده توسط پروب‌های فرکانس پایین پهن تر از پالس‌های پروب‌های با فرکانس بالا می‌باشد.

ساختمان پروب‌های التراسونیک

پروب نرمال[۴۳]

عنوان پروب نرمال به علت جهت ورود امواج صوتی به داخل قطعه کار به این پروب‌ها اطلاق می‌شود.

به منظور اعمال پالس‌های الکتریکی، سطوح کریستال ترانسدیوسر روکش فلزی داده می‌شود. یکی از این سطوح به بلوک مستهلک کننده متصل می‌شود و سطح دیگر یا مستقیما با قطعه کار تماس دارد (کریستال بدون حفاظ) و یا توسط یک لایه محافظ از جنس پلاستیک یا سرامیک پوشانده می‌شود (کریستال حفاظ دار). خصوصیات پروب تا حدود زیادی بستگی به خواص بلوک مستهلک کننده دارد. سیم‌های رابط که به روکش فلزی کریستال لحیم شده‌اند از بلوک مزبور عبور کرده و به بالای آن می‌رسند. در این قسمت کویل کوچکی تعبیه شده که کریستال را با مشخصات الکتریکی فرستنده پالس هماهنگ می‌نماید.



شکل ۴۲ - پروب با کریستال دوبل و طرز کار آن

شکل ۴۲ - پروب نرمال

[43] Normal probe

پروب با کریستال دوبل[۴۴]

در پروب با کریستال دوبل دو ترانسدیوسر به عنوان فرستنده[۴۵] و گیرنده[۴۶] در یک پروب تعبیه می‌شوند. یک عایق صوتی نیز بین دو ترانسدیوسر در نظر گرفته می‌شود تا به هنگامی که یک ترانسدیوسر به عنوان فرستنده و دیگری به عنوان گیرنده عمل می کند تداخلی در عملکرد آنها صورت نگیرد. این سیستم را در واقع می‌توان ترکیبی از دو متد انتقال امواج و انعکاس امواج فرض نمود. بین کریستال‌ها و سطح قطعه کار یک بلوک تاخیری وجود دارد که از جنس پرسپکس و برای سطوح داغ از مواد سرامیکی ضد حرارت ساخته شده است و وظیفه آن جلوگیری از تطبیق پالس ورودی صوت با نقطه صفر صفحه *CRT* (که در واقع مطابقت با سطح قطعه کار دارد) می‌باشد. بنابراین پالس ورودی در سمت چپ نقطه صفر قرار می‌گیرد و زمانی که تنظیم دستگاه به طور دقیق صورت گیرد از دید خارج می‌شود. طرز کار پروب *T/R* در تماس با قطعه کار به ضخامت *d*، به شرح زیر می‌باشد:

امواج التراسونیک توسط کریستال فرستنده *T* تولید شده بعد از عبور از بلوک تاخیری به ضخامت *S* به سطح قطعه کار می‌رسد. بعد از برخورد به سطح قطعه کار بخشی از آن انعکاس یافته و مجددا به کریستال *T* بر می‌گردد. ولی چون این کریستال اتصال به گیرنده ندارد لذا بر خلاف پروب نرمال در این جا هیچ علامتی از این انعکاس دریافت نخواهد شد. بخش دیگر امواج به داخل قطعه نفوذ کرده و تا پشت آن حرکت می‌کند و در اثر برخورد با این سطح مجددا قسمتی از آن انعکاس یافته و از طریق بلوک تاخیری گیرنده به کریستال *R* می‌رسد. در نتیجه اولین سیگنال دریافتی از پشت قطعه مشاهده خواهد شد. بخش دیگری از امواج قبل از نفوذ در بلوک تاخیری مجددا از سطح قطعه به داخل آن انعکاس یافته و اکو دوم از پشت قطعه را به وجود می‌آورد. چنین پدیده‌ای به طور متوالی تکرار شده و اکوهای متوالی از پشت قطعه بر روی صفحه دستگاه ظاهر می‌شود.

پروب با کریستال دوبل به علت ساختمان کلی آن و وجود بلوک‌های تاخیری از نظر تئوریک در مقایسه با پروب‌های نرمال از حساسیت کمتری برخوردار است اما به اندازه غیر قابل مقایسه‌ای قدرت تفکیک پذیری آن در فواصل کوتاه بهتر است به طوری که پالس ورودی در یک دستگاه کاملا تنظیم شده روی صفحه ظاهر نمی‌شود. بدین ترتیب کشف عیوبی که فقط چند میلیمتر زیر سطح باشند، امکان‌پذیر می‌شود یعنی برای شناسایی عیوب نزدیک به سطح این نوع پروب‌ها از دقت بیشتری برخوردار است. کاربرد دیگر این پروب‌ها در ضخامت سنجی می‌باشد.

---

[44] Dual Crystal Probe

[45] Transmitter

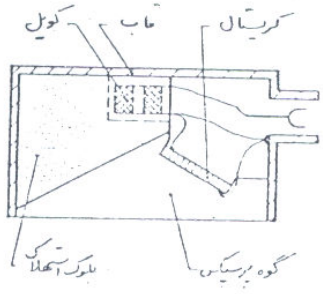
[46] Receiver

برخورد مایل امواج صوتی

همان طوری که قبلا گفته شد امواج صوتی در برخورد مایل به مرز دو محیط می‌توانند ۴ نوع موج جدید در جهات و سرعت‌های مختلف ایجاد کنند که بر طبق روابط اسنل می‌توان آن‌ها را محاسبه نمود.

پروب زاویه ای[۴۷]

پروب مایل یا پروب زاویه ای تشکیل شده از کریستالی که به یک گوه از جنس پرسپکس چسبانده شده است. بدین ترتیب برخورد مایل امواج صوتی به سطح قطعه کار صورت می‌گیرد. بخش انعکاس یافته امواج التراسونیک که در گوه پرسپکس باقی می‌مانند یا توسط بلوک مستهلک کننده جذب شده و به گرما تبدیل می‌شود و یا انتخاب گوه با شکل مناسب از بازگشت آن‌ها به ترانسدیوسر جلوگیری می‌شود چرا که ممکن است در آنجا تولید اکوهای تداخلی نمایند. بعد از ورود موج به داخل قطعه کار امواج انعکاسی طولی و عرضی تولید می‌شود که بر اساس قوانین اسنل این دو نوع موج به علت سرعت‌های متفاوت دارای جهت‌های مختلف نیز خواهند بود.



شکل ۴۷ - پروب مایل

پروب‌های زاویه ای تجاری در محدوده‌ای عمل می‌کنند که منحصرا امواج عرضی در قطعه کار ایجاد می‌شود که در اغلب موارد فولاد می‌باشد. امواج التراسونیک عملا به صورت یک مجموعه پرتو صوتی در داخل قطعه کار نفوذ می کنند و خط هندسی که برای نشان دادن امواج به کار می‌رود در واقع محور این پرتو صوتی را نشان می‌دهد. روابط مشابه با پروب‌های نرمال در مورد میدان نزدیک، میدان دور و زاویه پرتو صوتی در مورد پروب‌های مایل نیز صدق می‌کند. محور پرتو صوتی که نشان‌دهنده حداکثر فشار صوت می‌باشد در کنار پروب مایل حک می‌شود که آن را نقطه خروج پرتو صوتی یا ایندکس پروب می‌نامند و به عنوان مبنایی برای محاسبات و اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در عمل معمولا زوایای ۳۵، ۴۵، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه (پروب امواج سطحی) مورد استفاده قرار گیرد. زوایای زیر ۳۵ درجه به علت دقت کم نتایج به دست آمده فقط در حل بعضی مسائل خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

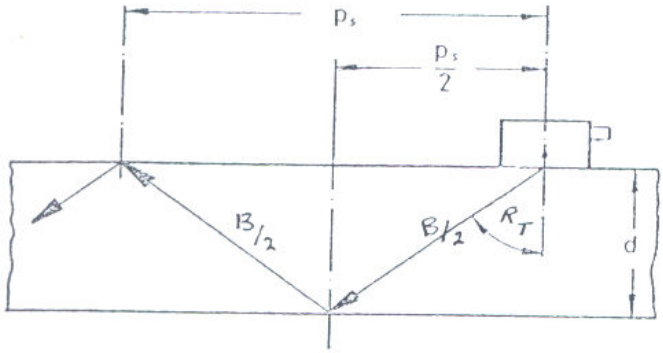
---

[47] Angle Probe

پروب‌های زاویه ای نیز مشابه پروب‌های نرمال دارای یک قاب و یک کوپل هماهنگ کننده می‌باشند اما بلوک مستهک کننده معمولا در این نوع پروب‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند چرا که گوه پرسپکس از قدرت مستهلک کنندگی کافی برخوردار می‌باشد.

منطقه اسکن[۴۸]

یک فاکتور مهم در استفاده از پروب‌های زاویه ای منطقه اسکن می‌باشد. موقعی که پروب زاویه ای با یک ورق فلزی به ضخامت d تماس پیدا می‌کند امواج التراسونیک بعد از برخورد به سطح پایینی ورق کاملا انعکاس یافته و بعد از طی فاصله معینی مجددا در قطعه مشخصی به سطح بالایی ورق می‌رسند. فاصله بین نقطه ایندکس پروب و نقطه فوق الذکر را منطقه اسکن می‌نامند



شکل ۴۹-۹ تعریف فاصله جهش Ps

فاصله جهش از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_S = 2 \text{ tg } R_T \cdot d$$

P_S: منطقه اسکن

R_T: زاویه پرتو صوتی

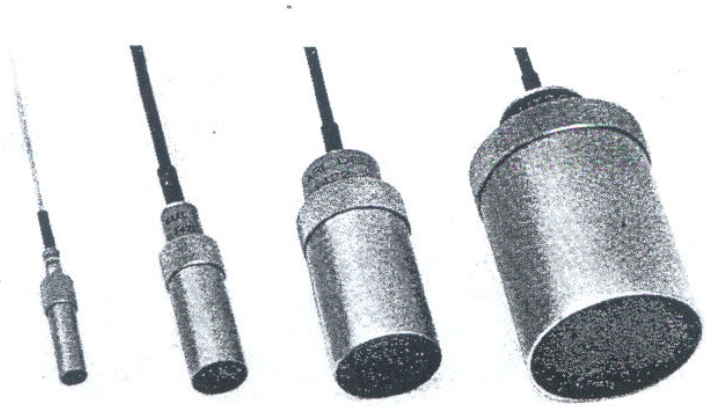
d: ضخامت ورق

برای ساده‌تر نمودن محاسبات معمولا اندازه ضریب $2Tg\ R_T$ بر روی پروب زاویه ای حک می‌شود.

[48] Skip Distance

پروب تست غوطه‌وری[۴۹]

این نوع پروب‌ها در واقع مشابه پروب نرمال می‌باشد، با این تفاوت که کاملا آب‌بندی بوده و کابل اتصال آن با خود پروب یکپارچه ساخته می‌شود. در نتیجه پروب که همواره در داخل محلول تست قرار می گیرد از هر گونه صدمه‌ای مصون خواهد ماند.



شکل ۵۸ - پروب تست غوطه ور در چند اندازه

دستگاه‌های تست التراسونیک[۵۰]

امروزه دستگاه‌های مزبور با در نظر گرفتن کاربردهای مورد نظر در انواع مختلف از مدل‌های ساده پرتابل و دستگاه‌های مجهزتر آزمایشگاهی تا سیستم‌های مخصوص تست اتوماتیک در خطوط تولید ساخته می‌شود. در اینجا کنترل‌های اصلی یک دستگاه تست التراسونیک به طور خلاصه تشریح می گردد.

قدرت پالس ورودی

به وسیله این کنترل می‌توان قدرت پالس الکتریکی جهت تحریک ترانسدیوسر را تغییر داد. در کلیه تست‌های معمولی توصیه می‌شود که از قدرت کم استفاده شود چرا که در این حالت بهترین تفکیک‌پذیری (پالس‌های باریک) بدست خواهد آمد. قدرت‌های بالاتر باید در مواردی به کار رود که نویز الکتریکی شدیدی در محیط وجود داشته باشد و یا جسم مورد آزمایش استهلاک شدیدی در مقابل امواج التراسونیک در اثر جذب یا تفرق از خود نشان دهد. در چنین حالت‌هایی طبیعی است که با افزایش قدرت از میزان تفکیک پذیری کاسته خواهد شد و دلیل آن این است که در قدرت‌های بالاتر ارتعاشات کریستال در مدت زمان طولانی‌تری مستهلک می‌شوند لذا پالس‌های دریافتی پهن‌تر خواهد شد. بنابراین همواره باید سعی نمود از قدرت کمتری استفاده نمود تا بهترین کیفیت تفکیک‌پذیری ایجاد شود.

---

[49] Immersion Probe

[50] Ultrasonic Equipment

حساسیت (dB)

با این کنترل می‌توان ارتفاع اکوها را طوری تغییر داد که نسبت دامنه‌ها ثابت بماند. درجه‌بندی این کنترل بر حسب dB صورت می‌گیرد به طوری که افزایش یا کاهش حساسیت به اندازه ۶dB باعث تغییر در ارتفاع پالس با ضریب ۲، ۱۲dB با ضریب ۴ و بالاخره تغییر ۲۰dB موجب تغییر ارتفاع با ضریب ۱۰ می‌گردد.

شکل اکوها[51]

با تغییر در شدت فیلتر r.f، شکل اکوها را می‌توان تغییر داد. معمولا در قسمت التراسونیک نیل به تفکیک‌پذیری بالا یعنی دریافت پالس‌ها در باریک‌ترین حد خود مورد نظر است لذا در موقع کار با عمق‌ها زیاد (مثلا در حد متر) ارزیابی نتایج روی صفحه CRT مشکل خواهد شد چرا که اکوهای دریافتی به شکل خیلی نازک و سوزنی ظاهر خواهد شد. در چنین مواردی بهتر است با افزایش شدت فیلتر r.f پالس‌های بهتر و واضح‌تر دریافت شود. البته تا حدودی تفکیک‌پذیری دریافت پالس‌ها واضح‌تر می‌شود ولی در عوض تفسیر و بررسی علائم ساده تر خواهد شد. غالبا در دستگاه‌های مدرن با تغییر عمق اندازه‌گیری روی دستگاه شدت فیلتر r.f نیز به طور اتوماتیک تنظیم می‌شود.

عمق اندازه‌گیری

به وسیله این کنترل می‌توان عمق اندازه‌گیری مورد نظر را بر روی محور افقی صفحه تصویر تغییر داده و در نتیجه رنج مورد توجه را در صفحه بسط داد. کالیبره کردن دستگاه با این کنترل باید با توجه به نکات زیر صورت گیرد:

الف- روش پالس اکو یعنی ارسال موج به داخل قطعه کار و برگشت آن مورد استفاده قرار گیرد.

ب- کالیبراسیون فقط برای سرعت خاصی اعتبار دارد که معمولا فولاد و سرعت موج طولی در آن ۵۹۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد.

تغییر مکان افقی علائم یا تنظیم صفر

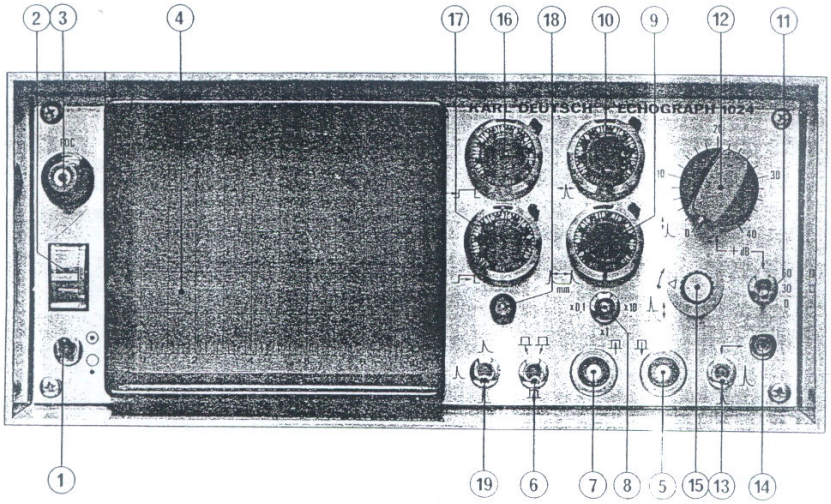
به کمک این کنترل می‌توان علائم روی صفحه را بدون تغییر در مقیاس و یا هر گونه بسطی به سمت چپ جابجا نمود. بدین ترتیب قسمت‌های غیرقابل توجه در مسیر امواج التراسونیک (مثلا آب موجود بین پروب و سطح قطعه کار در روش تست غوطه‌وری) را می‌توان به سمت چپ و به خارج از صفحه انتقال داده و سپس محدوده مورد نظر را در عرض صفحه بسط داد.

[51] Echo Shapes

تنظیم سرعت صوت

البته این کنترل قادر به تغییر سرعت صوت در داخل قطعه کار نیست چرا که این سرعت برای هر جسم خاصی دارای مقدار ثابتی می‌باشد ولی این کنترل به ما امکان می‌دهد که بتوانیم ضخامت به دست آمده از روی صفحه تصویر و کنترل عمق اندازه‌گیری را با ضخامت واقعی قطعه کار که دارای سرعت صوت متفاوتی است هماهنگ نماییم. برای این کار کنترل عمق اندازه گیری را مطابق با ضخامت واقعی قطعه کار قبلا تنظیم نموده و سپس فاصله بین دو اکو متوالی از پشت قطعه را به وسیله تنظیم صفر و کنترل سرعت صوت در پهنای کل صفحه تصویر بسط می‌دهیم. کاملا واضح است نقش تنظیم کننده سرعت صوت کاملا مشابه با کنترل کننده عمق اندازه‌گیری می‌باشد.

معرفی یک دستگاه عیب‌یاب آلترسونیک



شکل ۶۶ - یک عیب یاب آلتراسونیک پرتابل

در شکل یک دستگاه عیب‌یاب التراسونیک قابل حمل نشان داده شده که کنترل‌ها و کلیدهای آن عبارتند از:

۱- کلید روشن و خاموش کردن دستگاه

۲- عقربه نشان‌دهنده میزان باطری و شارژ دستگاه

۳- تنظیم وضوح *FOC*

۴- صفحه *CRT*

۵- محل اتصال پروب فرستنده

۶- کلید انتخاب روش تست و نوع پروب

۷- محل اتصال پروب گیرنده

۸- کنترل عمق اندازه‌گیری (تغییرات بزرگ)

۹- کنترل عمق اندازه‌گیری (تغییرات ظریف)

۱۰- کنترل نقطه صفر برای تغییر مکان افقی علائم

۱۱- حساسیت (تغییرات بزرگ)

۱۲- حساسیت (تغییرات ظریف)

کلیه حساسیت معمولا برای تنظیم دسی‌بل روی ۵، ۳۰ و ۶۰ در نظر گرفته می‌شود ولی توسط کنترل ۱۲ می‌توان آن را به طور دقیق‌تر به اندازه ۲ دسی‌بل بین صفر تا ۴۰ دسی‌بل نیز تنظیم نمود. بنابراین حساسیت کلی دستگاه با حجم مقادیر دو کنترل ۱۱ و ۱۲ بدست می‌آید.

۱۳- قدرت پالس ورودی: به کمک کلید ۱۳ در حالت قدرت کم و زیاد برای تست را می‌توان انتخاب نمود و با کلید ۱۴، پتانسیومتر تغییرات پیوسته ظریف‌تر را نیز می‌توان انجام داد.

۱۵- حذف علائم اضافی و نمایش رکتیفای نشده علائم

۱۶- تغییر مکان دریچه مانیتور

۱۷- تغییر پهنای دریچه مانیتور

۱۸- لامپ راهنمای مانیتور

۱۹- کلید انتخاب تفکیک‌پذیری

وقتی کلید ۱۹ در حالت پایین قرار می‌گیرد شرایط مناسب برای دریافت بهترین تفکیک‌پذیری در تست با امواج ضربانی و فرکانس‌های بالا و همچنین عمق‌های اندازه‌گیری کمتر فراهم می‌شود. در حالی که موقعیت بالای کلید یعنی تفکیک‌پذیری کم برای پروب‌های با فرکانس کم و عمق‌های اندازه‌گیری بزرگتر توصیه می‌شود.

فصل پنجم

کالیبراسیون[۵۲]

همان طوری که قبلا ذکر شد و با انجام آزمایشات عملی بیشتر ملاحظه خواهید نمود درجه بندی روی محورهای افقی و عمودی صفحه *CRT* هیچ مفهوم مطلقی ندارد. محور افقی را می‌توان برای فواصل زمانی متفاوتی تنظیم نمود که به مفهوم تغییر عمق قطعه کار در یک جسم با سرعت صوت مشخص می‌باشد. محور عمودی دامنه سیگنال‌های دریافتی را مشخص می‌کند که بستگی به میزان حساسیت مورد استفاده دارد ولی لزوما اندازه عیب را مشخص نمی‌سازد. مناسب‌ترین روش برای کسب اطلاعات در مورد یک قطعه از روی صفحه تصویر عبارت از مقایسه سیگنال‌های دریافتی از قطعه کار با سیگنال‌های دریافتی از بلوک‌های مخصوص ماشینکاری شده می‌باشد. این نوع بلوک‌ها را متناسب با کاربرد آن‌ها به دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌کنند:

بلوک‌های کالیبراسیون و بلوک‌های مرجع.

بلوک‌های کالیبراسیون[۵۳]

بر اساس تعریف استاندارد *BS 2704* بلوک کالیبراسیون عبارت است از: قطعه‌ای با جنس، عملیات حرارتی، شکل هندسی و صافی سطح مشخص که به وسیله آن می‌توان دستگاه التراسونیک را مورد ارزیابی قرار داده و آن را برای تست قطعات با همان جنس کالیبره نمود. بنابراین یک بلوک کالیبراسیون می‌تواند یک بلوک پله‌ای با ضخامت‌های مشخص و از جنس معین باشد که به منظور ضخامت سنجی می‌توان به کمک این بلوک پایه زمانی دستگاه را کالیبره نمود یا ممکن است یک بلوک با شکل پیچیده‌تر مثل بلوک *V1* باشد که به وسیله آن می‌توان کالیبراسیون‌های متعددی را انجام داد.

---

[52] Calibration

[53] Calibration Blocks

بلوک‌های مرجع[54]

بر اساس تعریف استاندارد *BS 2704* بلوک مرجع عبارت است از: وسیله‌ای کمکی برای تفسیر نتایج به شکل یک قطعه کار که جنس، ابعاد مهم و شکل آن مشابه با قطعه مورد آزمایش می‌باشد ولی لزوما دارای عیوب طبیعی یا مصنوعی نیست. مثلا مقطعی از بال یک هواپیما را می‌توان به عنوان بلوک مرجع برای تست بال‌های هواپیما مورد استفاده قرار داد به طوری که اپراتور تست با کلیه سیگنال‌های ناشی از تغییرات در مقطع بال آشنا شده و در حین تست بال هواپیما به سرعت می‌تواند سیگنال ناشی از یک عیب را تشخیص دهد. البته در اغلب موارد بلوک مرجع دارای عیوب مصنوعی نیز می‌باشد که به کمک آن حساسیت تست را می‌توان تنظیم نمود.

بلوک کالیبراسیون V1 (استاندارد DIN 54 120)

این بلوک به عنوان بلوک *IIW*[55] شناخته می‌شود و بیشترین کاربرد را در کالیبراسیون سیستم تست التراسونیک دارد. از این بلوک برای موارد زیر می‌توان استفاده نمود:

۱- کالیبراسیون پایه زمانی بر حسب ضخامت

۲- بررسی ناحیه مرده

۳- کنترل خطی بودن پایه زمانی

۴- کنترل خطی بودن آمپلی‌فایر

۵- بررسی حساسیت کل پروب و آمپلی‌فایر

۶- کنترل تفکیک‌پذیری

۷- تعیین ایندکس پروب مایل

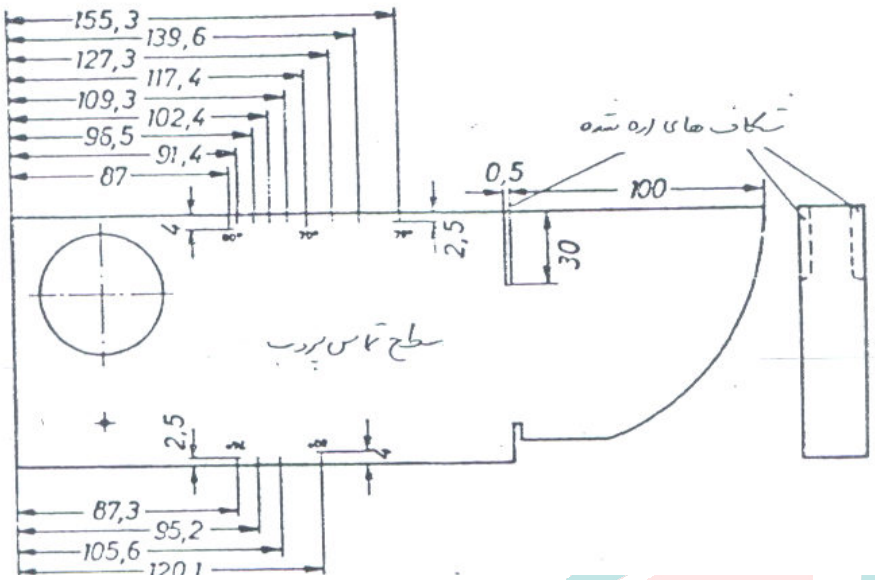
۸- تعیین زاویه شکست صوت

۹- پیدا کردن نقطه صفر به طور دقیق

۱۰- تعیین مشخصات پرتو صوتی

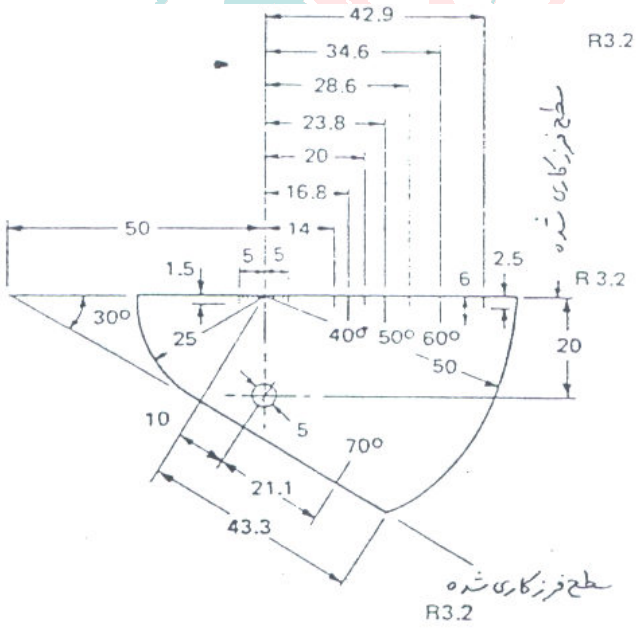
[54] Reference Blocks

[55] International Institute of welding



بلوک کالیبراسیون V2 (استاندارد DIN 54 122)

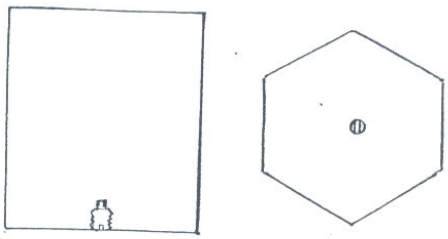
این بلوک در واقع نوع خلاصه شده بلوک *V1* می‌باشد که اگرچه از کارایی نسبتا کمتری در مقایسه با بلوک *V1* برخوردار است ولی به علت کوچکی و سبک بودن آن کاربرد زیادی در تست‌های التراسونیک دارد.



شکل ۶۸ - بلوک V2

بلوک‌های مرجع AIC (شورای صنایع آلومینیم[56])

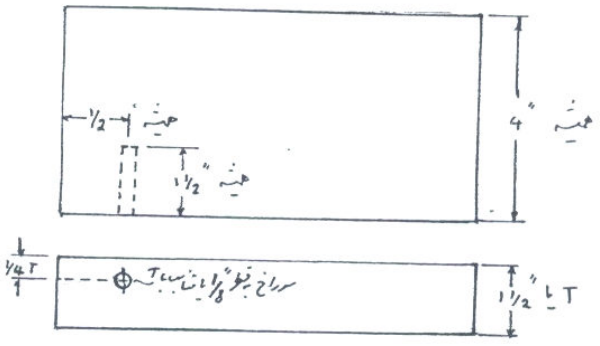
این بلوک‌ها عمدتا برای تنظیم حساسیت و مشخص نمودن حد رد/ قبول عیوب با توجه به ارتفاع اکوها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر سری این بلوک‌ها در ۲ اندازه مختلف ساخته می‌شود که هر سری دارای یک سوراخ مشخص در کف بلوک می‌باشد. این سوراخ‌ها در سه اندازه ۳/۶۴ و ۵/۶۴ و ۸/۶۴ اینچ می‌باشد. بنابراین کیت اصلی این بلوک‌ها شامل سه سری می‌باشد که مجموعا ۶۶ بلوک می‌گردد. البته ممکن است شما متناسب با محدوده کاری خود تنها به چند بلوک نیاز داشته باشید.



شکل ۷۰ - بلوک A.I.C

بلوک مرجع ASME

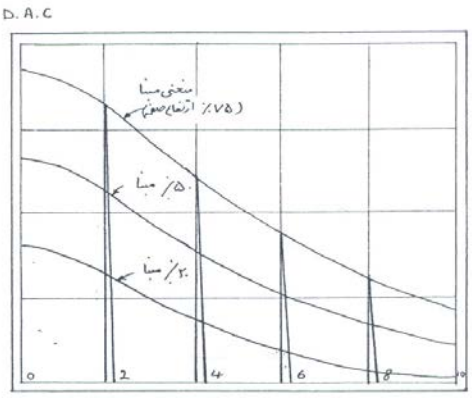
این بلوک با ضخامت و جنس مشابه با قطعه کار اصلی تهیه می‌شود و دارای یک عیب مصنوعی می‌باشد. تغییرات ارتفاع اکو با تغییر فاصله تابش موج (به صورت ضرایب منطقه اسکن) به شکل منحنی تصحیح – فاصله– دامنه[57] بر روی صفحه *CRT* رسم می‌شود و بدین ترتیب می‌توان حد ارتفاع سیگنال رد/ قبول برای محدوده ضخامت مورد نظر را مشخص نمود.



شکل ۷۱ - بلوک ASME

[56] Aluminium Industries Council

[57] Distance- Amplitude correction(DAC)



شکل ٧٢ - منحنی D.A.C

تنظیم دستگاه التراسونیک

در این جا تنها روش کلی تنظیم دستگاه التراسونیک به طور خلاصه ذکر می‌شود و جزئیات امر را باید در دستورالعمل مربوطه که توسط سازنده دستگاه تهیه می‌شود مطالعه نمود. تنظیم دستگاه شامل دو بخش است:

۱- تنظیم محور افقی

۲- تنظیم حساسیت

تنظیم محور افقی باید قبل از تنظیم حساسیت صورت گیرد. تنظیم محور افق یا طول اندازه گیری خود از دو مرحله زیر تشکیل می‌شود:

الف- بسط رنج مورد نظر: به منظور سهولت در امر خواندن مقدار عمق از روی صفحه *CRT*

ب- دومین گام در تنظیم دستگاه عبارت از تنظیم حساسیت می‌باشد. اگر دستورالعمل خاصی در مورد روش تست ارائه نشده باشد بهتر خواهد بود که ابتدا با تنظیم اکو پشت قطعه در حد ۸۰ ٪ ارتفاع صفحه شروع نماییم. هرگاه شناسایی عیوب خیلی کوچک نیز مورد نظر باشد، حساسیت را آنقدر افزایش می‌دهیم که علائم مربوط به ساختمان دانه بندی قطعه نیز مشاهده شود.

البته این نویزهای ساختاری علائم مزاحم محسوب می‌شوند و به وسیله کنترل حذف علائم می‌توان آنها را محو نمود. در مواردی که قصد داشته باشیم عیوب کشف شده را به کمک ارتفاع اکوهای مربوطه مورد ارزیابی قرار دهیم کلیه حذف علائم باید کاملا بسته بوده و روی صفر باشد تا تصاویر به صورت غیرخطی نشوند. در سایر موارد مثلا در تست با پروب‌های زاویه ای و یا در حالتی که نتوان از پشت قطعه اکو دریافت نمود. استفاده از یک قطعه کار نمونه با عیوب مصنوعی (مثل یک سوراخ به قطر ۲ میلیمتر) مفید خواهد بود.

برای دریافت پالس‌های باریک (یعنی تفکیک پذیری بالا) توصیه می‌شود که تست را با حداقل تعداد قدرت پالس ورودی انجام دهید و تنها بعد از رسیدن به حداکثر میزان حساسیت و یا در مواردی که تست در محل آلوده به نویزهای الکتریکی شدید (مثل جوشکاری و ...) صورت می‌گیرد می‌توان قدرت ورودی را افزایش داد.

فصل ششم

اصول کار با دستگاه التراسونیک

هر اپراتور مبتدی تست التراسونیک علیرغم داشتن دانش اولیه، قبل از کسب تجربه کافی به هنگام کار مواجه با مشکلات متعددی خواهد شد. در این بخش سعی می‌شود با ارائه روش‌های عمومی کار حتی‌الامکان گامی در جهت کاهش مشکلات مزبور برداشته شود. توصیه می‌شود اصول و روش‌های ارائه شده را به طور عملی و با استفاده از بلوک‌های کالیبراسیون به کار ببندید تا تجربیات عملی اولیه را کسب نمایید.

نحوه تماس پروب با قطعه کار[۵۸]

در تست التراسونیک، انتقال امواج از پروب به داخل قطعه کار و بالعکس باید به آسانی صورت گیرد تا نتایج دقیق و مطمئن بدست آید. بنابراین باید حتی کمترین مقدار هوای موجود در محل تماس پروب با قطعه کار را از بین برد که این کار با خیس کردن سطح قطعه کار با مایع یا خمیر صورت می‌گیرد.

مواد واسط مختلفی در بازار عرضه می‌شود ولی در بیشتر موارد خواص آنها تفاوتی با یکدیگر ندارد. معمولا در تست‌های دستی از گریس، چسب کاغذ دیواری و روغن موتور استفاده می‌شود در حالی که در تست‌های اتوماتیک از آب به عنوان کوپلنت استفاده می گردد.

مشخصات سطح قطعه کار

زبری[۵۹]

اگر زبری سطح قطعه کار مساوی یا بزرگتر از طول موج صوت باشد، صوت در اثر شکست در سطح قطعه کار متفرق خواهد شد. همین قاعده در مورد سطح پشت قطعه کار نیز صادق است که در این حالت تفرق صوت در اثر پدیده انعکاس صورت خواهد گرفت. در نتیجه حساسیت کلی علائم دریافتی در مقایسه با قطعه کاری مشابه از نظر جنس و ابعاد ولی با سطوح صاف کمتر خواهد شد.

---

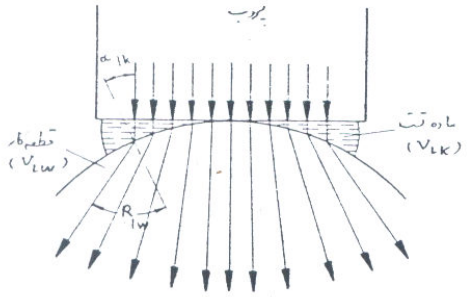
[58] Coupling

[59] Roughness

اثر کاهش حساسیت به علت زبری سطح را می‌توان با پرداخت کردن سطح قطعه کار و یا با افزایش قدرت پالس ورودی تعدیل نمود. علاوه بر این زبری سطح قطعه کار باعث دشواری پیوند پروب با آن نیز می‌گردد که برای حل این مشکل از کلاهک‌های نازک لاستیکی استفاده می‌کنند که به پیشانی پروب وصل نموده و چند قطره مایع واسط تست نیز بین پروب و لاستیک مزبور افزوده می‌شود. این لاستیک به علت انعطاف آن پستی و بلندی‌های سطح قطعه کار را پر نموده و عبور صوت را نیز تسهیل می‌کند. همچنین پیشانی پروب را در برابر ضربه‌های وارده محافظت می‌نماید. اگر چه بخشی از انرژی التراسونیک توسط کلاهک مزبور جذب می‌شود ولی در عوض افزایش حساسیت تست به علت پیوند خوب پروب با قطعه کار در اغلب موارد بیشتر از این تلفات خواهد بود.

انحنای سطح[60]

در تست سطوح خمیده با امواج التراسونیک معمولا پهن شدن پرتو صوتی صورت می‌گیرد که به علت شکست امواج می‌باشد. علاوه بر این سطح تماس پروب با قطعه کار نیز کاهش یافته و انتقال انرژی صوتی صرفا از این سطح تماس صورت می‌گیرد. بدین ترتیب عملا تنها قسمتی از سطح کریستال مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین در اثر دو عامل فوق یعنی تساعد پرتو صوتی و کاهش سطح تماس حساسیت تست به مقدار زیادی در مقایسه با سطوح مسطح کاهش می‌یابد. برای افزایش سطح تماس پروب با قطعه کار اغلب از بلوک‌های آداپتور و یا از کلاهک‌های لاستیکی که قبلا اشاره شد استفاده می‌شود. البته اصولا با استفاده از بلوک آداپتور یا کلاهک‌های لاستیکی تنها می‌توان سطح تماس را کامل نمود و مانع از تساعد صوت نمی‌توان شد.



شکل ۷۳ - تساعد صوت در مرزبین ماده واسط تست و قطعه کار

میزان تساعد صوت بستگی به سرعت صوت در ماده واسط تست و قطعه کار دارد. از این موضوع برای انتخاب جنس مناسب برای بلوک آداپتور می‌توان استفاده نمود.

البته انعکاسات متوالی که در سطح تماس ایجاد می‌شود ممکن است باعث مزاحمت در تفسیر علائم دریافتی روی صفحه *CRT* گردد. به همین جهت باید ضخامت بلوک آداپتور حتی‌المقدور کم باشد تا انعکاسات متوالی نزدیک به هم بوده و پالس ورودی به قطعه کار در حد خیلی کمی پهن شود (به خصوص در مواردی که از مواد با استهلاک زیاد استفاده می‌شود و این نوع مواد تنها چند اکو متوالی ایجاد می‌کنند) و یا این که ضخامت بلوک آداپتور به اندازه‌ای زیاد باشد که اکوهای متوالی در محدوده تست صفحه *CRT* دیده نشود.

[60] Curvature

پوشش سطوح[۶۱]

در تست التراسونیک هر قطعه‌ای با پوشش روی سطح باید دقت کافی مبذول داشت. قاعده کلی این است که پوشش‌های با چسبندگی زیاد مثل رنگ، پوسته‌های نورد و یا لایه‌های رنگ‌زدگی که کاملا به قطعه کار چسبیده باشند مزاحمتی برای تست ایجاد نخواهند کرد و یا اثر آنها خیلی کم خواهد بود. ولی هرگاه پوشش‌های مختلف روی سطح اتصال کامل نداشته باشند مثل پوسته‌های مختلف که در این حالت فضاهای خالی باعث حبس شدن هوا گردیده در نتیجه عبور صوت ممکن نخواهد شد. در این موارد باید سطوح مزبور به وسیله برس، سوهان یا سنگ سنباده تمیز شود. البته وجود رطوبت یا چربی در سطح تست نه تنها مشکلی ایجاد نمی‌کند بلکه به پیوند پروب با قطعه کار نیز کمک می‌کند.

انتخاب پروب‌های التراسونیک[۶۲]

ممکن است در ابتدای امر انتخاب پروب مناسب برای یک تست خاص از بین انواع متنوع پروب‌های موجود امر پیچیده ای به نظر برسد ولی اگر به روشی که در زیر توضیح داده می‌شود عمل نمایید، انتخاب پروب تا حدود زیادی آسان خواهد شد. بدین ترتیب که ابتدا روش تست (روش انتقالی یا انعکاسی) را مشخص نموده و سپس با در نظر گرفتن جهت تابش صوت، فرکانس تست و اندازه کریستال پروب مناسب را می‌توان انتخاب نمود.

انتخاب روش تست

معمول ترین روش تست التراسونیک روش پالس اکو می‌باشد که در صورت امکان توصیه می‌شود همواره از این روش استفاده شود. زیرا با استفاده از این روش محل و موقعیت عیوب را نیز می‌توان مشخص نمود. در صورت استفاده از روش انتقال امواج برآورد محل عیب مقدور نخواهد بود. روش انتقال امواج در مواردی به کار می‌رود که نتوان از روش پالس اکو استفاده نمود. مثلا در حالت جذب زیاد یا تفرق قوی در قطعه کار که رفت و برگشت صوت باعث استهلاک شدید آن خواهد شد و ناچارا باید از روش انتقال امواج استفاده نمود که صوت صرفا یک مسیر ساده یک طرفه را طی می‌کند.

کاربرد اصلی پروب‌های با کریستال دوبل در شناسایی ترک‌های نزدیک به سطح و همچنین در ضخامت سنجی و یا در تست‌های

---

[61] Coating

[62] Probe Selection

خوردگی می‌باشد.

انتخاب جهت انتشار صوت

به طور کلی جهت صوت باید طوری انتخاب شود که عیوب مورد نظر حداکثر مقدار انعکاس را ایجاد کنند. یعنی امواج التراسونیک به حالت عمود بر سطح عیب برخورد نماید. باید دقت زیادی نمود تا از ایجاد انعکاسات در اثر شکل قطعه جلوگیری شود. محل تماس پروب با قطعه کار باید حتی‌المقدور صاف و بدون پستی و بلندی باشد تا از تساعد بیش از حد صوت و همچنین تلفات در اثر تفرق ممانعت به عمل آید.

علاوه بر این نوع پروب و جهت صوت را باید طوری انتخاب نمود که بتوان اکو پشت قطعه کار و یا یک اکو مرجع دیگری به دست آورد تا در عیب‌یابی غیر مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. بدین معنی که در مواردی با محو اکو پشت قطعه یا هر اکو مرجع دیگر می‌توان به وجود عیب پی برد. مثلا محو اکو پشت قطعه می‌تواند دلیل بر ساختمان متخلخل و اسفنجی داخل یک قطعه کار چدنی باشد.

انتخاب فرکانس تست

در دستگاه‌های التراسونیک مدرن، فرکانس تست کاملا توسط پروب تعیین می‌شود و خود دستگاه مجهز به گیرنده‌ای با باند وسیع می‌باشد و هیچ عضو موثر در فرکانس ثابت در آن تعبیه نمی‌شود. یک قاعده سر انگشتی می‌گوید که یک عیب با شکل تقریبا کروی زمانی توسط یک سیستم تست التراسونیک نشان داده خواهد شد که قطر آن مساوی یا بزرگتر از ۱/۳ طول موج صوت باشد. طول موج را می‌توان با استفاده از فرمول ساده بر اساس فرکانس پروب و سرعت صوت در جسم مورد آزمایش محاسبه نمود. باید توجه داشت که سرعت انتشار صوت مورد استفاده را در فرمول وارد نمود مثلا در موقع استفاده از پروب مایل باید سرعت موج عرضی را در نظر گرفت.

برای کشف ریزترین عیوب، حتی‌الامکان باید از فرکانس‌های بالاتر استفاده کرد. علاوه بر این پروب‌های فرکانس بالا پالس‌ها را باریکتر نشان می‌دهند و در نتیجه تفکیک‌پذیری خیلی بهتری ایجاد خواهد شد.

برای انتخاب فرکانس تست قاعده زیر نتیجه می‌شود:

فرکانس تست باید حتی‌الامکان بالا باشد تا عیوب ریز شناسایی شده و تفکیک‌پذیری خوبی نیز حاصل شود. حد بالایی فرکانس بر اساس ساختمان کریستالی و در نتیجه خاصیت جذب ماده مورد تست تعیین می‌شود و تا حدی مجاز به افزایش فرکانس هستیم که اکو پشت قطعه محو نشود. در موارد مشکوک با چند تست ساده اولیه با فرکانس‌های مختلف می‌توان مشکل را حل نمود.

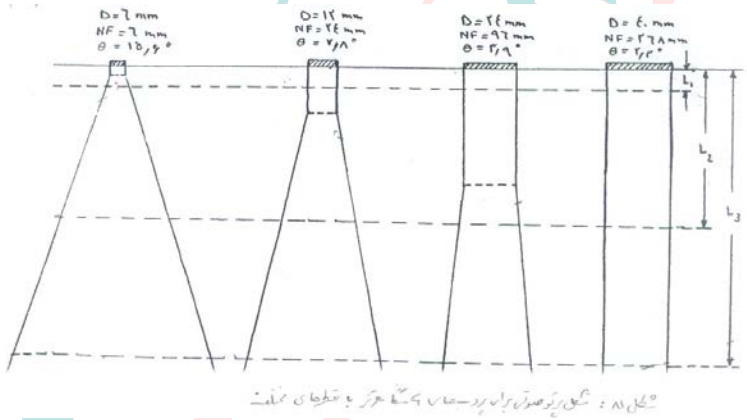
معمولا فلزات نورد یا پرس شده با فرکانس ۲ تا ۶ مگا هرتز تست می شوند. قطعات ریختگی احتیاج به فرکانس‌های بین ۰/۵ تا ۲

مگاهرتز دارند. سرامیک‌ها (مثل عایق‌های الکتریکی) هادی خوبی برای صوت هستند و در اغلب موارد با فرکانس ۲ تا ۴ مگاهرتز قابل تست می‌باشند. مواد مصنوعی را متناسب با خاصیت جذب و ضخامت آنها می‌توان با فرکانس ۱ تا ۴ مگاهرتز تست نمود. فرکانس مورد استفاده در تست بتن و مواد مشابه بین ۵۰ تا ۲۰۰ کیلو هرتز می‌باشد که برای این کار نیاز به دستگاه‌های تست مخصوص می‌باشد.

انتخاب اندازه ترانسدیوسر

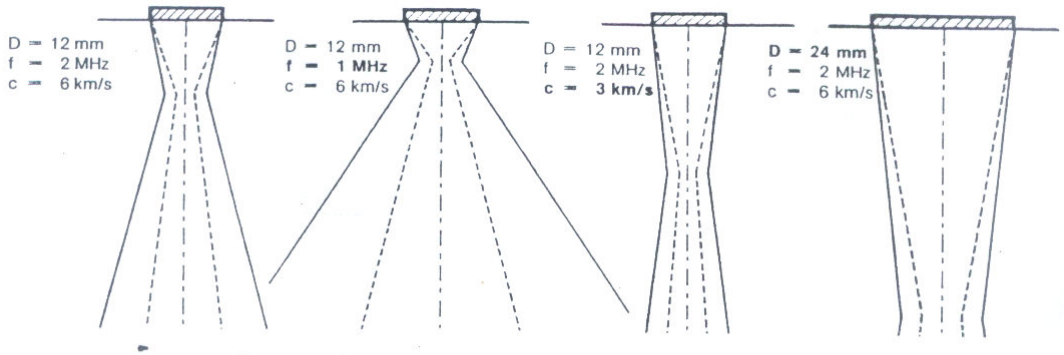
معمولا کریستال‌ها در ابعاد خیلی متنوعی ساخته می‌شود و لازم است که اندازه مناسب آن را متناسب با تست مورد نظر انتخاب نماییم. هرگاه محدودیتی از نظر ابعاد قطعه کار برای انتخاب اندازه پروب وجود نداشته باشد باید قبل از هر چیز توجه نمود که آیا تعیین اندازه معادل عیب لازم است یا نه در صورتی که برآورد اندازه عیب ضرورت داشته باشد باید اندازه کریستال را طوری انتخاب نمود که طول میدان نزدیک پروب کمتر از عمق عیب مورد نظر باشد چرا که تعیین اندازه معادل عیب تنها در محدوده میدان دور پروب ممکن است. قطر پرتو صوتی در محدوده میدان نزدیک تقریبا با قطر کریستال برابر است یعنی:

$$\emptyset = D \qquad L \leq NF$$



به طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای تست قطعات کوچک از پروب‌های کم قطر و برای تست قطعات بزرگ از پروب‌های بزرگ باید استفاده نمود.

در شکل زیر تاثیر فرکانس، قطر پروب و جنس قطعه مورد آزمایش در شکل پرتو صوتی با چهار مثال نشان داده شده است.



شکل ۸۲ : چند مثال از تأثیر فرکانس، قطر پروب و جنس قطعه در شکل پرتو صوتی

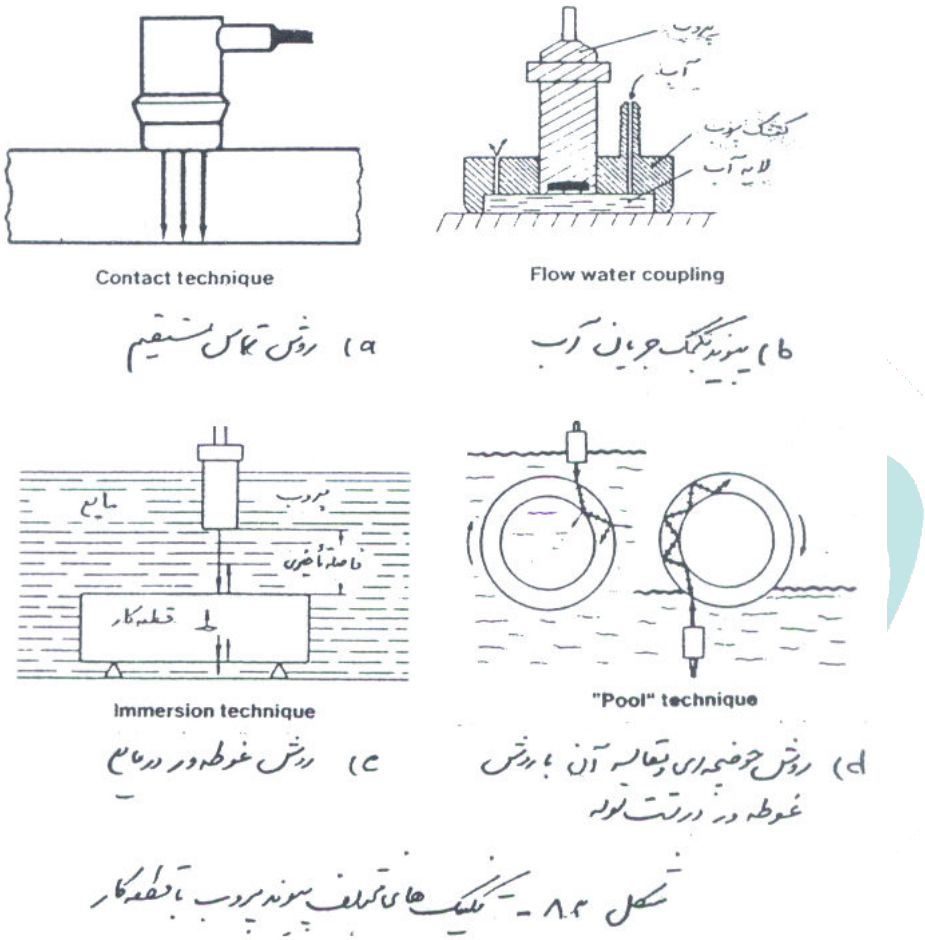
تکنیک‌های تماس پروب با قطعه کار

از روش‌های مختلفی برای تماس پروب التراسونیک با قطعه کار برای حذف هوای بین پروب و سطح قطعه استفاده می‌شود:

a- روش تماس مستقیم[۶۳]

در این روش که در تست‌های دستی معمول است پروب به وسیله چند قطره کوپلنت مستقیما به سطح قطعه تماس داده می‌شود. مزیت این روش سادگی و امکان کاربرد آن به طور دستی در کلیه موارد تست می‌باشد و عیب این روش نیاز به دقت زیاد در حرکت دست و تماس پروب با قطعه کار می‌باشد چرا که با کمترین لغزش دست تماس کامل پروب با قطعه مختل می‌شود.

[63] Contact Technique



شکل ۸.۴ - تکنیک های تماس پروب با قطعه کار

b- روش غوطه وری[64]

در این روش قطعه کار و پروب در یک مایع که معمولا آب است کاملا غوطه‌ور می‌شوند و در نتیجه پیوند کامل بین پروب و قطعه کار به وجود می‌آید. از آن جایی که مکانیزم‌های مخصوصی برای هدایت پروب در این روش لازم است لذا صرفا در تست‌های اتوماتیک از این متد استفاده می‌شود.

[64] Immersion Technique

روش های مختلف نمایش عیوب

عیوب مختلف متناسب با شکل، اندازه و موقعیت آنها در داخل قطعه کار به طرق مختلف به نمایش در می‌آیند.

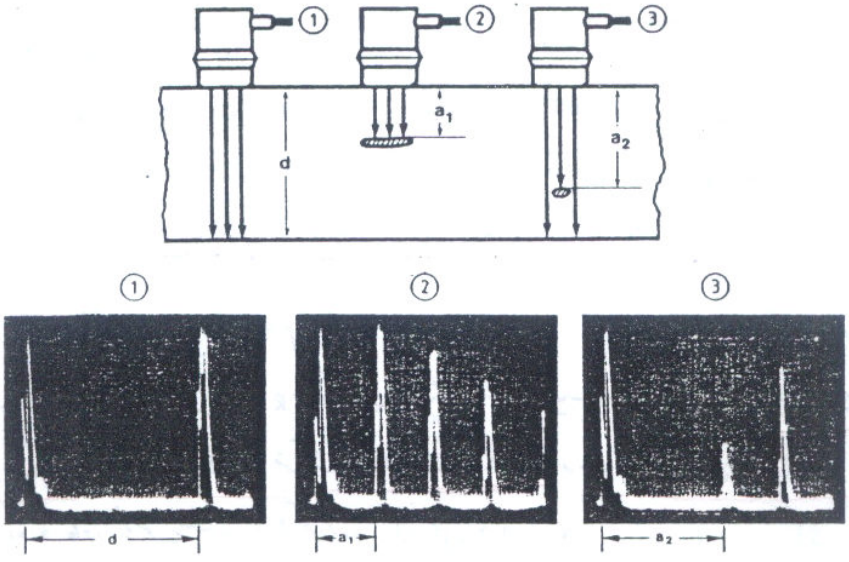
نمایش مستقیم عیوب

نمایش مستقیم عیوب معمولترین و مطمئن ترین روش دریافت اطلاعات مربوط به عیوب می‌باشد. لذا همواره باید سعی نمود حتی‌الامکان از این روش استفاده کرد که چرا از نظر شناسایی و ارزیابی عیوب بهترین نتایج را به دست می‌دهد. در این روش یک پالس اضافی که ناشی از عیب می‌باشد، روی صفحه ظاهر می‌شود.

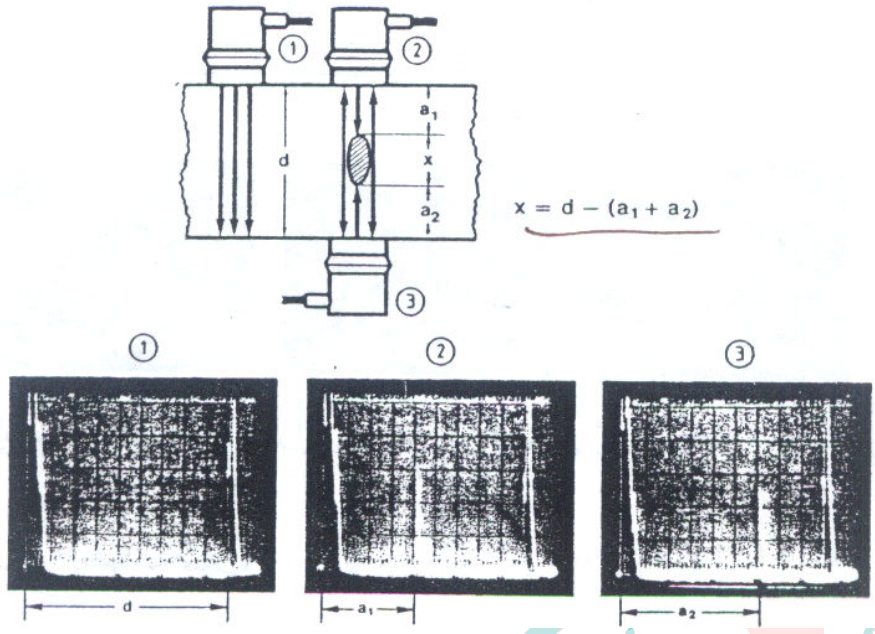
موقعیت اکو ناشی از عیب

اگر محدوده عمق دستگاه را قبلا تنظیم کرده باشیم موقعیت یک عیب یعنی عمق آن را در داخل قطعه می‌توان مستقیما از صفحه CRT خواند. برای این کار پهنای کلی صفحه CRT را معادل با کل طول اندازه‌گیری تنظیم می‌کنیم و بدین ترتیب می‌توان موقعیت هر اکو را به صورت کسری از طول کلی اندازه‌گیری به راحتی از روی صفحه خواند.

در مواردی که از پروب زاویه ای استفاده می‌شود غالبا آسان‌تر خواهد بود که به جای طول مسیر مایل صوت مولفه افقی (یعنی تصویر فاصله) یا مولفه قائم پرتو مایل التراسونیک را در نظر بگیریم. با استفاده از توابع مثلثاتی قوانین مشابه با آنچه ذکر شد در مورد موقعیت عیوب در این حالت نیز صادق خواهد بود.



شکل ۹۲ - نمایش مستقیم عیب در عمق های مختلف

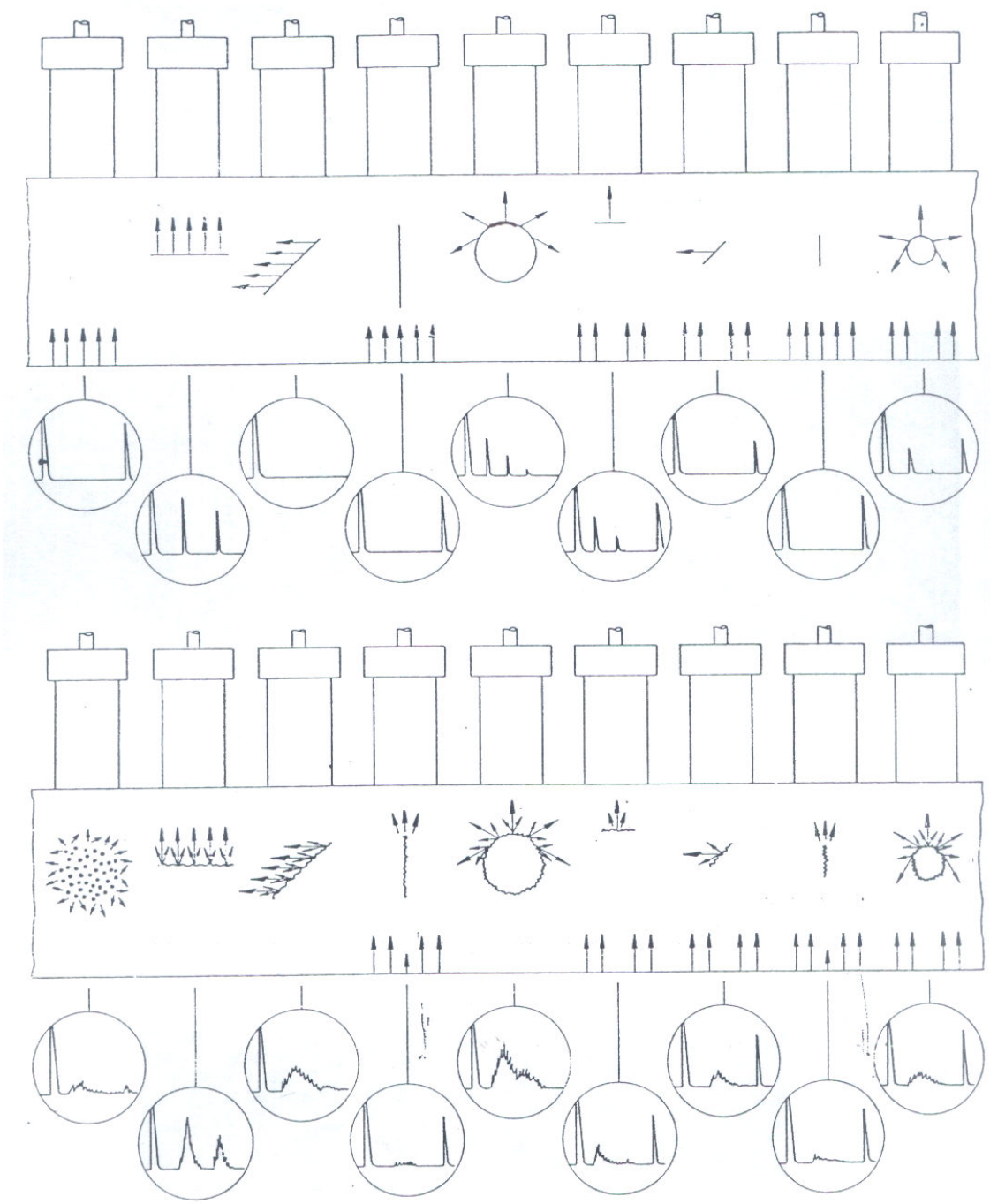


ارتفاع اکو[65]

به طور کلی می‌توان گفت که تعیین اندازه دقیق عیب به وسیله ارتفاع اکو غیر ممکن است. ارتفاع اکو بستگی به عوامل متعددی مثل: جهت عیب، زبری آن (در مقایسه با طول موج)، شکل عیب (کروی، استوانه‌ای، مسطح و ...) و همچنین به نوع و جنس عیب (حباب‌های گاز، ناخالصی‌های غیرفلزی و ...) نیز دارد. البته از طریق تجربه (به خصوص در تولید انبوه و تست‌های مخرب اضافی تجربیات ویژه‌ای در مورد عیوب خاص به دست آورده و می‌توان اظهار نظر دقیق در مورد اندازه عیوب ارائه داد. گرچه واضح است این قضاوت‌ها صرفا در قسمت‌های مشابه صادق خواهد بود.

ارتفاع اکوها را می‌توان با ارتفاع علائم دریافتی از عیوب مصنوعی مشخص (مثل سوراخ‌های با انتهای صاف عمود بر جهت صوت، سوراخ‌های استوانه‌ای، شیار و ...) مقایسه نمود. این روش کمک خواهد نمود تا بتوان روش‌های تست را استاندارد نموده و یک سری عیوب مصنوعی به عنوان مرجع بوجود آورد و از این طریق دستورالعمل‌های تست مخصوصی تهیه نمود.

[65] Echo Hight



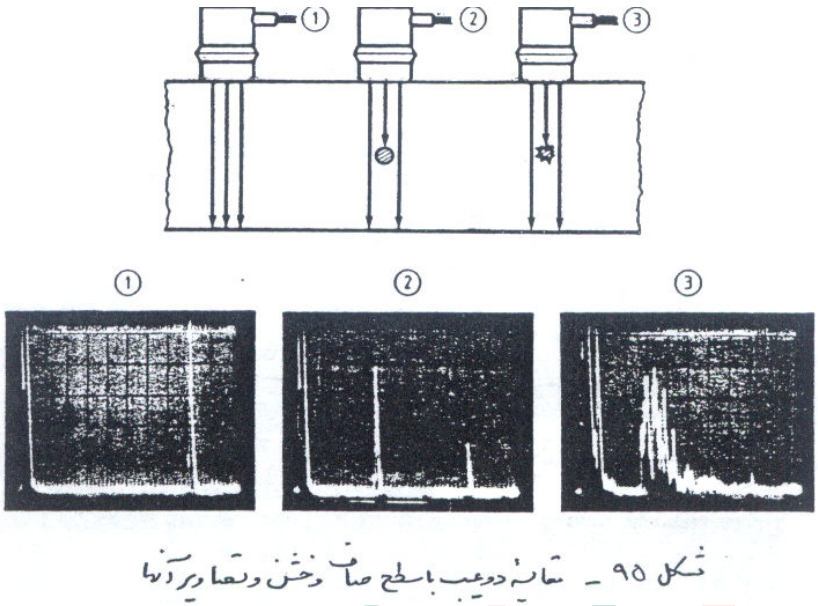
شکل ۹۴ - انعکاسات دریافتی از عیوب مختلف و نمایش آن ها در صفحه تصویر

شکل اکو[٦٦]

بر اساس شکل اکو دریافتی روی صفحه *CRT* می‌توان شکل عیب را تخمین زد. تجربه نشان می‌دهد که عیوب دارای سطح صاف،

[66] Echo Shape

مسطح یا خمیده اکوهای باریک منفرد و عیوب با سطح زبر و خشن اکوهای نامنظم و پهن و گسترده ایجاد می کنند.



شکل ۹۵ ـ مقایسهٔ دو عیب با سطح صاف و خشن و تصاویر آنها

تست از جهات مختلف

هر گاه بعد از آشکار شدن یک عیب آن را از جهات مختلف تحت تابش امواج التراسونیک قرار داده و تغییرات اکوها را مورد بررسی قرار دهیم اطلاعات بیشتری از شکل و اندازه عیب مزبور بدست خواهیم آورد. البته عیوب کروی تقریبا پاسخ یکسانی از جهات مختلف می‌دهند. یعنی امواج التراسونیک از هر جهتی که انتشار یابد ارتفاع اکوهای دریافتی یکسان خواهد بود. ولی عیوب مسطح در حالت تابش عمود امواج حداکثر مقدار ارتفاع و در حالت تابش موازی با سطح عیب حداقل مقدار ارتفاع اکو را نشان می‌دهند.

علائم غیر مرتبط با عیب[۶۷]

این نوع علائم مربوط به اکوهایی است که در اثر عواملی غیر از عیوب واقعی ایجاد می‌شود. این نوع علائم در اثر عوامل زیر می‌تواند به وجود آیند:

- شکل هندسی قطعه کار و انتخاب محل نامناسب برای پروب
- تغییر نوع موج و اکوهای غیر مرتبط ناشی از *PRF* زیاد

به علت اینکه ارزیابی و تفسیر نتایج تست در چنین مواردی پیچیده می‌شود لذا با به کار بستن نکات زیر باید از بروز این گونه علائم

---

[67] Non Relevant Indications

حتی‌المقدور جلوگیری نمود:

الف- انتخاب محل صحیح برای قرار دادن پروب و جهت مناسب تابش امواج التراسونیک

ب- محدوده ارزیابی باید بین پالس ورودی و اکو اول از پشت قطعه کار باشد چرا که علائم غیر مرتبط با عیب غالبا بعد از اکو پشت قطعه ایجاد می‌شود و علت آن طولانی شدن مسیر صوت می‌باشد.

در مواردی که حذف این علائم در محدوده تست مورد نظر ممکن نباشد باید محل بروز این علائم را از قبل پیش بینی نموده و مورد توجه قرار داد.

امواج سطحی

هر گاه از پروب‌های مایل با زاویه بزرگ استفاده شود در اثر تساعد پرتو صوتی امواج سطحی نیز تولید خواهد شد که با سرعتی متفاوت با سرعت موج عرضی در سطح قطعه کار حرکت می‌کند. امواج سطحی معمولا از حساسیت زیادی برخوردار هستند به طوری که در مقابل کوچکترین زبری سطح قطعه نیز عکس‌العمل نشان می‌دهند و در نتیجه علائم روی صفحه تصویر ظاهر می‌شود. طرز شناسایی این نوع علائم بدین ترتیب است که هر گاه سطح قطعه کار را در مقابل پروب با انگشت آغشته به روغن تماس دهیم ارتفاع اکوهایی که توسط امواج سطحی ایجاد شده‌اند تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

امواج لمب

زمانی که صفحات و ورق‌های فلزی نازک توسط پروب‌های مایل مورد بازرسی قرار می‌گیرند غالبا به جای امواج عرضی معمولی، امواج لمب ایجاد می‌شود. سرعت امواج لمب تابعی از ضخامت ورق و فرکانس صوت می‌باشد و همچنین بستگی به نوع موجب لمب نیز دارد. در این گونه موارد باید بازرسی را منحصرا به روش امواج لمب و با استفاده از پروب‌های زاویه ای مناسب انجام داد. علاوه بر این امواج لمب خیلی کمتر از موج عرضی در داخل جسم مستهلک می‌شود و در نتیجه تست از حساسیت بالایی برخوردار خواهد بود.

شکل قطعات

علائم دریافتی روی صفحه تصویر در بعضی موارد ممکن است توسط لبه‌هایی از قطعه کار که به حالت قائم یا مایل در مسیر صوت قرار گرفته‌اند ایجاد شود. در اغلب موارد با انتخاب پروب و روش تست مناسب و همچنین با تابش صوت در جهت مناسب می‌توان این نوع علائم را از بین برد. البته با توجه به شکل قطعه پیش‌بینی دریافت چنین علائمی در صفحه *CRT* کار نسبتا آسانی است.

تکنیک‌های کاربردی تست التراسونیک

تکنیک‌های کاربردی تست التراسونیک که در اغلب دستورالعمل‌های تست مورد استفاده قرار می‌گیرد نتایج حاصل از روش‌هایی کلی می‌باشد که در زیر توضیح داده می‌شود.

در اغلب موارد عیوب قطعه کار شناخته شده است و یا حداقل با در نظر گرفتن خواص مواد و روش ساخت قطعه می‌توان ناحیه، شکل و جهت عیوب را تخمین زد. تعیین جهت ارسال صوت با توجه به جهت استقرار عیب نسبت به سطح قطعه کار صورت می‌گیرد. در عیوب کروی هیچ محدودیتی در انتخاب جهت صوت وجود ندارد و در عیوب استوانه‌ای شکل می‌توان صوت را از کلیه جهات عمود بر محور استوانه به داخل قطعه فرستاد. اغلب محدودیت‌ها شامل عیوب سطح می‌شود که تنها از یک جهت قابل شناسایی هستند.

شرط دیگر آن است که سطح مورد نظر برای تست قابل دسترسی باشد یعنی پیوند پروب با قطعه کار در آن ناحیه مقدور باشد. در این صورت تکنیک تست را می‌توان مستقیما استنتاج نمود. بر اساس زاویه عیب با سطح قطعه، از برخورد قائم یا مایل صوت به سطح و همچنین از روش تماس مستقیم با تکنیک تست غوطه‌ور استفاده می‌شود. در روش تماس مستقیم برای مسیرهای کوتاه صوت پروب‌های کریستال دوبل *(T/R)* مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش تست غوطه‌وری باید دقت نمود که فاصله پروب تا سطح قطعه کار از ضخامت قطعه کار کمتر نباشد تا از ایجاد اکوهای متوالی متداخل در محدوده تست جلوگیری شود.

هر گاه سطح مورد نظر قابل دسترسی نباشد و یا در مواردی که امکان ایجاد علائم شبه‌عیب در ناحیه تست پیش‌بینی شود باید از سایر روش‌های تست استفاده نمود. راه‌حل‌های زیر را باید مورد بررسی قرار داد:

۱- اگر سطح مورد نظر قابل دسترسی نباشد ولی در مسیر مایل صوت قرار داشته باشد با استفاده از قوانین انعکاس می‌توان جهت جدیدی را انتخاب کرد که به ناحیه دیگری از سطح منتهی شود (که امکان دسترسی آن بهتر باشد) و سپس مواد مشابه فوق‌الذکر را می‌توان نسبت به این ناحیه مد نظر قرار داد.

۲- انتخاب جهت متفاوت صوت به طوری که عمود بر عیب نباشد در حالتی که عیب نزدیک به سطح باشد از اثر لبه بتوان استفاده نمود به طوری که در این حالت جهت رفت و برگشت امواج التراسونیک تقریبا بر هم منطبق می‌گردد و در نتیجه با یک پروب می‌توان تست را انجام داد.

۳- اگر نتوان از اثر لبه[68] استفاده نمود یک عیب سطحی را می‌توان تحت تابش مایل امواج قرار داد که بر اساس قوانین انعکاس، منعکس می‌گردد. در این حالت خط عمود بر سطح عیب نیمساز زاویه بین جهت تابش و انعکاس خواهد شد. این روش که به تکنیک

[68] Edge Effect

تاندم[۶۹] معروف است عموما نیاز به پروب‌های فرستنده و گیرنده جداگانه دارد. موارد مذکور در فوق برای سطح قطعه باید در این حالت در مورد هر یک از پروب‌ها به طور جداگانه مورد توجه قرار گیرد.

۴- برای تست عیوبی که تفرق شدید ایجاد می‌کنند از سیستم مشابه حالت ۳ ولی به شکل نامتقارن می‌توان استفاده نمود. این روش به تکنیک دلتا[۷۰] موسوم است و در این حالت نیز مشابه حالت ۳ نیاز به پروب‌های فرستنده و گیرنده جداگانه و نیز توجه به هر دو ناحیه ورود و خروج صوت می‌باشد.

در اغلب موارد از چندین تکنیک تست می‌توان برای حل یک مساله تست استفاده نمود. در این گونه موارد توصیه می‌شود اولویت‌های زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱- عیوب مسطح را باید به شکل عمود تحت تابش امواج صوتی قرار گیرد که روشی ساده و سهل و به کمک تنها یک پروب می‌باشد.

۲- با در نظر گرفتن سطح قطعه کار استفاده از پروب‌های نرمال در اغلب موارد ساده‌تر از پروب‌های زاویه ای است و بدین جهت همواره استفاده از پروب نرمال ترجیح داده می شود.

۳- باید حتی‌المقدور سعی نمود از مسیر صوت مستقیم و بدون تغییر جهت در داخل قطعه کار استفاده نمود.

۴- تکنیک‌های تست با یک پروب عموما آسان‌تر از تکنیک‌های تاندم و دلتا می‌باشد بنابراین ارجحیت همواره با روش یک پروب می‌باشد.

۵- تکنیک‌هایی که اکوهای مرجع اضافی از انتهای ناحیه تست ایجاد می کنند از اطمینان و اعتماد بیشتری برخوردارند.

۶- از روش‌هایی که باعث ایجاد علائم نامرتبط با عیب می‌شوند حتی‌المقدور باید اجتناب نمود.

۷- به دلایل اقتصادی باید سعی نمود با کمترین سطح تماس بیشترین حجم قطعه را مورد بازرسی قرار داد.

۸- در مواردی که جهت عیوب صفحه ای نسبت به سطح قطعه نامشخص باشد باید تست را از چندین نقطه روی سطح قطعه تکرار نمود.

---

[69] Pitch-and-Catch

[70] Delta

فصل هفتم

آزمایشات با استفاده از بلوک‌های استاندارد

در این فصل آزمایشات اولیه‌ای را که برای کالیبره کردن دستگاه و همچنین برای کنترل حساسیت دستگاه در حین تست مورد استفاده قرار می‌گیرد، تشریح خواهد شد. انجام این آزمایشات برای مبتدیان تست التراسونیک اولین تجربه‌های عملی محسوب می‌شود که لازم است با دقت زیاد آنها را انجام داده و برای تست قطعات دیگر آمادگی لازم را کسب کند.

آزمایشات با استفاده از پروب‌های نرمال و بلوک V_1

تمرین اول: کالیبره کردن پایه زمانی با ضخامت ۲۵ میلیمتر فولاد کم کربن

تمرین دوم: کنترل خطی بودن آمپلی‌فایر

آمپلی‌فایر دستگاه زمانی خطی عمل می‌کند که نسبت ارتفاع اکوهای متوالی با تغییر حساسیت ثابت بماند. در مواردی که دامنه اکوهای دریافتی برای برآورد اندازه عیوب مورد استفاده قرار می‌گیرد لازم است که خطی بودن آمپلی‌فایر حتما کنترل شود. در این حالت با افزایش حساسیت به میزان ۶ دسی‌بل ارتفاع اکوها دو برابر و با کاهش حساسیت به میزان ۶ دسی‌بل ارتفاع اکوها نصف خواهد شد.

تمرین سوم: کنترل حساسیت نسبی

پروب نرمال را بر دیواره جانبی بلوک *V1* قرار داده و در مقابل سوراخ ۱/۵ میلیمتری آن را اندکی جلو و عقب می‌بریم تا اکو با حداکثر دامنه را از سوراخ مزبور دریافت نماییم. این ارتفاع اکو اندازه نسبی حساسیت را در حالت مزبور از تنظیم کنترلی حساسیت نشان می‌دهد که در هر زمان در حین تست می‌توان آن را کنترل نمود.

تمرین چهارم: کنترل ناحیه مرده

ناحیه مرده در هر تستی بستگی به مشخصات دستگاه و پروب مربوطه دارد و لازم است که برای هر پروبی آن را محاسبه نمود چرا که علائم عیوب در این ناحیه دریافت نمی‌شود.

تمرین پنجم: کنترل قدرت تفکیک‌پذیری

پروب را در نقطه *G* قرار داده و سه اکو از فواصل ۸۵، ۹۱ و ۱۰۰ میلیمتری قطعه کار در صفحه تصویر دریافت می‌کنیم. هر گاه سه

اکو مزبور به شکل کاملا واضح و منفک از یکدیگر ظاهر شوند در این صورت دستگاه دارای قدرت تفکیک‌پذیری خوبی است. در غیر این صورت یعنی هرگاه اکوها آمیخته با یکدیگر و فاقد مرز مشخص باشند دستگاه دارای قدرت تفکیک‌پذیری پایینی است.

آزمایشات با استفاده از پروب‌های امواج عرضی و بلوک V1

سه آزمایش زیر تست‌های اساسی برای پروب‌های زاویه ای محسوب می‌شود چرا که ایندکس پروب و زاویه انتشار موج را باید با اندازه‌گیری عملی بدست آورد و نباید به محاسبات تئوریک یا علامت گذاری‌های روی پروب اطمینان نمود به دلیل این که مشخصات پروب در اثر سایش مرتبا تغییر می کند و باید آنها را همواره کنترل نمود. نتایج به دست آمده را می‌توان با اطمینان خاطر برای بررسی اندازه و محل عیوب مورد استفاده قرار داد.

تمرین اول: تعیین ایندکس پروب

ایندکس پروب معمولا توسط سازنده آن بر روی پروب مشخص می‌شود. برای کنترل صحت آن به طریقه زیر عمل نمایید:

پروب را در نقطه *H* قرار داده و آن را جلو و عقب نمایید تا سیگنال دریافتی از قوس ۱۰۰ میلیمتری بلوک به حداکثر مقدار دامنه خود برسد. نقطه تطبیق علامت وسط در درجه‌بندی بلوک با پروب محل خروج پرتو صوتی یعنی ایندکس پروب خواهد بود.

تمرین دوم: تعیین زاویه پروب

پروب را در نقطه *J* قرار داده و آن را به طرف جلو و عقب به آرامی حرکت دهید تا سیگنال با حداکثر ارتفاع از پرسپکس دریافت نمایید. سطح بلوک *V1* از ۴۰ تا ۷۰ درجه مدرج شده و زاویه حک شده روی پروب باید با مقدار خود بر روی درجه‌بندی بلوک تطبیق نماید. البته برای کسب نتایج دقیق باید ابتدا طبق روش تمرین اول ایندکس پروب را دقیقا مشخص نموده و در این تمرین از آن استفاده نمود.

چند تمرین با استفاده از بلوک V_2

تمرین اول: کالیبراسیون پایه زمانی تا ۲۵۰ میلیمتر به وسیله پروب نرمال

پروب نرمال را بر سطح بلوک V_2 قرار داده و به کمک کنترل‌های تنظیم صفر و عمق اندازه‌گیری پایه زمانی را برای ضخامت مورد نظر کالیبره نمایید.

تمرین دوم: کالیبراسیون پایه زمانی برای ۱۰۰ یا ۱۲۵ میلیمتر به وسیله پروب زاویه ای

در این تمرین از پروب زاویه ای استفاده می‌شود بدین ترتیب که برای کالیبره کردن دستگاه روی ۱۰۰ میلیمتر پروب را به سمت قوس کوچک بلوک دریافت می‌کنیم و برای کالیبره کردن روی ۱۲۵ میلیمتر پروب را به سمت قوس بزرگ بلوک مستقر نموده و دو اکو در

فواصل ۵۰ و ۱۲۵ میلیمتری محور افق صفحه تصویر دریافت می‌نماییم.

تمرین سوم: کنترل حساسیت به کمک پروب‌های نرمال

پروب را در موقعیت *a* قرار داده و از ارتفاع اکوهای متوالی که در صفحه تصویر ظاهر می‌شود به عنوان مرجعی برای کنترل حساسیت در حین تست استفاده می‌کنیم. همچنین با قرار دادن پروب در موقعیت *b* و دریافت انعکاس از سوراخ ۵ میلیمتری نیز می‌توان حساسیت را دائما کنترل نمود. در این حالت پروب را باید در موقعیتی قرار داد که اکو دریافتی با حداکثر دامنه خود ظاهر شود.

تمرین چهارم: کنترل حساسیت با استفاده از پروب زاویه ای

پروب را در موقعیت *a* قرار داده و با استفاده از اکو ماکسیمم دریافتی از سوراخ ۱,۵ میلیمتری حساسیت را همواره کنترل می‌نماییم. همچنین برای این کار می‌توان از قوس ۲۵ یا ۵۰ میلیمتر بلوک V_2 نیز استفاده نمود که اکوهای متوالی دریافت شده برای کنترل حساسیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تمرین پنجم: تعیین محل ایندکس پروب

پروب زاویه ای را بر دیواره بلوک قرار داده و اکو با دامنه ماکسیمم را از قوس ۵۰ میلیمتری دریافت می‌کنیم. در این حالت ایندکس پروب منطبق بر علامت وسط از درجه بندی میلیمتری بلوک خواهد شد.

تمرین ششم: تعیین زاویه پروب زاویه ای

برای این کار از سوراخ ۵۰ میلیمتری استفاده می‌شود. پروب را بر دیواره بلوک قرار داده و آن را آن قدر جابجا می‌کنیم تا ارتفاع اکو دریافتی از سوراخ مزبور به حداکثر مقدار خود برسد. در این حالت زاویه پروب را از روی درجه بندی سطح بلوک می‌توان تعیین نمود.

ارزیابی مشخصات فنی دستگاه التراسونیک

کلیه اجزای هر دستگاه عیب‌یاب التراسونیک دارای مشخصات فنی خاصی است که لازم است آنها را کنترل نموده و از صحت آن عملا کسب اطمینان کرد. به علاوه با گذشت زمان و کارکرد دستگاه ممکن است این مشخصات دستخوش تغییر شود و از این نظر لازم است که همواره کنترل‌های ضروری روی دستگاه صورت گیرد تا از هر گونه تغییری به موقع کسب اطلاع گردد.

لازم به یادآوری است که بعضی از مشخصات عملکرد یک سیستم تست التراسونیک بستگی به عملکرد مجموعه دستگاه عیب‌یاب و پروب مورد استفاده دارد. مثلا کنترل تفکیک‌پذیری حساسیت و یا قدرت نفوذ باید بر روی مجموعه دستگاه و پروب صورت گیرد. اگر نتیجه کنترل‌های انجام شده حاکی از عدم کفایت مجموعه مزبور باشد باید تصمیم بگیرید که پروب یا دستگاه عیب‌یاب را عوض نمایید. این تصمیم را می‌توان با انجام همان تست با ترکیبات مختلفی از پروب‌ها و دستگاه‌های مختلف اتخاذ نمود. استاندارد *BS 4331* چند

کنترل ساده برای ارزیابی مشخصات فنی دستگاه التراسونیک را توصیه می کند که با استفاده از بلوک V_1 انجام می‌شود.

این کنترل‌ها عبارتند از:

۱- خطی بودن محور زمانی

۲- خطی بودن آمپلی‌فایر

۳- تفکیک‌پذیری

۴- قدرت نفوذ

خطی بودن محور زمانی

در این روش هدف آن است که ثابت بودن سرعت حرکت الکترون‌ها در صفحه CRT مورد بررسی قرار گیرد. اگر سرعت مزبور ثابت باشد سیگنال‌های دریافتی در فواصل زمانی مساوی (مثلا اکوهای متوالی از پشت قطعه کار) در فواصل مساوی روی صفحه CRT ظاهر خواهد شد. هر گاه سرعت حرکت الکترون‌ها در حین حرکت در صفحه CRT کم و زیاد نشود اطلاعات دریافتی در مورد عمق قطعه کار دقیق نخواهد بود و در این حالت گفته می‌شود که محور زمانی غیر خطی است. کنترل خطی بودن محور زمانی باید برای عمق‌هایی صورت گیرد که غالبا با آن‌ها سر و کار داریم.

پروب را بر روی سطح بلوک V_1 و یا هر قطعه فاقد عیب که حداقل ۴ اکو متوالی از پشت قطعه ایجاد نماید قرار می‌دهیم. دستگاه را طوری تنظیم می‌کنیم که ۴ یا ۵ اکو متوالی از پشت قطعه کار دریافت نماییم به طوری که اکو اول در فاصله ۲/۵ محور افقی (در حالت ۴ اکو) و یا در فاصله ۲ (در حالت ۵ اکو) قرار گیرد. سپس موقعیت سایر اکوها را به دقت یاداشت نموده و نمودار حالت واقعی را نسبت به حالت ایده‌آل ترسیم می‌نماییم. حداکثر خطای مجاز ۱٪ انحراف برای محدوده مورد نظر می‌باشد. با این حال در دستگاه‌های التراسونیک مدرن غیرخطی بودن محور زمانی به ندرت مشاهده می‌شود.

خطی بودن آمپلی‌فایر

هرگاه آمپلی‌فایر دستگاه سیگنال‌های ضعیف را نیز با نسبت یکسان با سیگنال‌های قوی تقویت نماید کمک موثری برای تست خواهد نمود. در این صورت ارتفاع سیگنال‌ها در صفحه CRT مناسب با شدت صوت منعکس از عیب یا هر منعکس‌کننده دیگر خواهد بود.

لازم است که در فرکانس‌های مورد استفاده خطی بودن آمپلی‌فایر را کنترل نمود به عنوان مثال اگر شما پروب‌های ۲ و ۵ مگاهرتز را در لابراتوار خود دارید کنترل خطی بودن آمپلی‌فایر را باید در هر دو فرکانس مزبور انجام دهید. نحوه این کنترل با استفاده از پروب نرمال و بلوک V_1 به طریقه زیر می‌توانید عمل نمایید:

الف- یک یا دو اکو از پشت بلوک به دست آورید.

ب- دامنه اکو اول را در ارتفاع مشخصی از صفحه (مثلا۵۰٪ یا ۸۰٪ ارتفاع صفحه) تنظیم نمایید.

ج- حساسیت را به اندازه ۶ دسی‌بل کاهش دهید. دقت نمایید که دامنه اکو اول نصف می‌شود.

د- این سیگنال را مجددا به اندازه ۶ دسی‌بل کاهش دهید و دقت نمایید که دامنه آن به ۱/۴ حالت اولیه می‌رسد.

هـ- باز هم سیگنال مزبور را به اندازه ۶ دسی‌بل به صورت متوالی کاهش دهید و کنترل نمایید که آیا هر بار دامنه سیگنال نصف می‌شود یا نه در صورت مثبت بودن، آمپلی‌فایر خطی است.

تکنیک‌های تست با امواج طولی

یکی از کاربردهای مهم تست التراسونیک ضخامت‌سنجی است که اهمیت آن به دلیل سرعت، دقت و سهولت کار می‌باشد که در عین حال نیازی به دسترسی به پشت قطعه کار نیست و اندازه‌گیری از یک طرف آن صورت می‌گیرد. دستگاه‌ها و روش‌های مختلفی عرضه شده که صرفا برای ضخامت‌سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد و امروزه دستگاه‌های جیبی مجهز به سیستم‌های آنالیز اطلاعات و حافظه‌های متنوع ساخته می‌شود که ضخامت قطعات را به صورت دیجیتال و با دقت صدم میلیمتر نشان می‌دهد. این دستگاه‌ها کاربرد وسیعی در بررسی خوردگی فلزات کسب نموده است. در اینجا صرفا در مورد تکنیک‌های ضخامت‌سنجی با دستگاه‌های عیب‌یاب التراسونیک و به روش پالس اکو بحث خواهد شد.

نمایش رکتیفای شده علائم

این حالت معمول‌ترین متد نمایش علائم از دستگاه‌های التراسونیک می‌باشد که از حذف قسمت منفی امواج سینوسی به نمایش در می‌آید.

الف- کالیبراسیون

کالیبراسیون پایه زمانی به منظور استقرار دقیق نقطه صفر و همچنین برای کنترل خطی بودن پایه زمانی صورت می‌گیرد. بلوک کالیبراسیون باید از جنس قطعه کار اصلی باشد. البته در صورتی که بلوک هم‌جنس با قطعه کار در دسترس نباشد می‌توان با تصحیح سرعت صوت این مشکل را جبران نمود به شرط آن که جنس قطعه کار و بلوک کالیبراسیون مشخص باشد. روش تصحیح سرعت صوت بعدا توضیح داده خواهد شد.

برای کسب نتایج دقیق‌تر محدوده مورد انتخاب برای کالیبراسیون باید مینیمم مقداری باشد که اجازه می‌دهد اولین اکو پشت قطعه در

صفحه تصویر ظاهر گردد. به عنوان مثال اگر ضخامت اسمی قطعه کار ۹ میلیمتر باشد و دستگاه التراسونیک شما قادر به نمایش ۱۰ میلیمتر در پهنای کل صفحه باشد باید محدوده تست را ۱۰ میلیمتر انتخاب نمود. از آنجایی که پهنای صفحه تصویر اغلب دستگاه‌ها به ۱۰۰ قسمت کوچکتر قابل تقسیم‌بندی است لذا در این حالت محور زمانی طوری کالیبره شده که ۱۰۰ واحد مزبور نشان‌دهنده ۱۰ میلیمتر بوده و دقتی برابر ۰/۱ میلیمتر در هر قسمت به ما خواهد داد. بر عکس اگر کالیبراسیون طوری باشد که ۱۰۰ واحد نشان‌دهنده ۲۵ میلیمتر باشد در این صورت دقت خواندن نتایج برابر ۰/۲۵ میلیمتر در هر قسمت خواهد بود.

ب- دامنه (تنظیم حساسیت)

دامنه اکو کالیبراسیون و همچنین دامنه اکوهای مربوط به ضخامت قطعه کار را باید به یک اندازه یکسان که قبلا در نظر گرفته شده تنظیم نمود. این مقدار معمولا بین یک دوم تا دو سوم ارتفاع صفحه تصویر می‌باشد.

ج- تصحیح سرعت صوت

فرض کنید که از شما خواسته شده قطعات فورج از آلیاژ آلومینیوم با ضخامت اسمی ۲۰ میلیمتر را به دقت ضخامت‌سنجی نمایید و شما فقط بلوک V_1 را جهت کالیبراسیون در اختیار دارید. روش کار به شرح زیر خواهد بود:

۱- دستگاه را برای ضخامت ۲۵ میلیمتر بلوک V_1 کالیبره کنید.

۲- ضخامت قطعه آلومینیومی را با فرض این که جنس آن از فولاد است اندازه‌گیری نمایید (فرض می‌کنیم در این مثال ضخامت به دست آمده ۱۸/۵ میلیمتر باشد).

۳- با استفاده از رابطه زیر تصحیح لازم را با توجه به اختلاف سرعت صوت انجام دهید:

$$T_{\text{ضخامت قطعه کار}} = \frac{\text{سرعت صوت فرضی در قطعه کار} \times \text{ضخامت اندازه‌گیری شده}}{\text{سرعت صوت فرضی در بلوک کالیبراسیون}}$$

در این مثال:

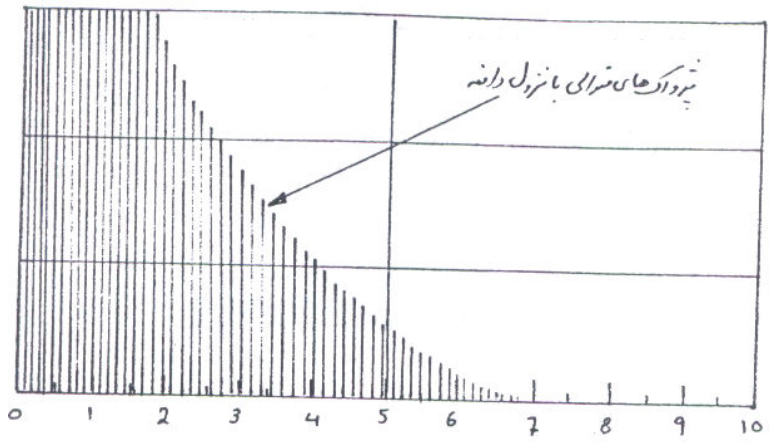
$$T = \frac{18.5 \times 6400}{5960} = 19.866mm$$

تست تورق[71]

تست تورق در ورق و لوله‌های با ضخامت کمتر از ۱۰ میلیمتر با استفاده از روش استاندارد فوق ممکن است مشکل باشد چرا که اکوهای متوالی به قدری به یکدیگر نزدیک هستند که تشخیص سیگنال ناشی از عیب در بین اکوهای پشت قطعه غیر ممکن می شود. در چنین مواردی از روش موسوم به اکو متوالی استفاده می‌شود که به وسیله پروب نرمال تک کریستال انجام می‌دهد. روش کار به شرح زیر می‌باشد:

الف- پروب را بر روی ناحیه‌ای از قطعه کار که فاقد عیب است و یا بر روی بلوک کالیبراسیون قرار دهید.

ب- محور زمانی و حساسیت را طوری تنظیم نمایید که تعداد قابل توجهی اکوهای متوالی با دامنه‌های رو به کاهش در نیمه اول محور زمانی دریافت کنید.



شکل ۱۵۳ - تصویر روش سایه

ج- حال قطعه کار را تحت تابش امواج قرار دهید. وجود هر نوع عیب تورق در داخل قطعه کار باعث جمع شدن و انقباض اکوهای متوالی خواهد شد. این انقباض بدان جهت صورت می‌گیرد که در این حالت هر کدام از اکوهای متوالی به اکوهای مجاور خود نزدیکتر می‌شود.

[71] Lamination Testing

انتخاب پروب‌های امواج طولی

پروب‌های کریستال دوبل[۷۲]

در تکنیک‌های معمولی تست معمولا پروب‌های *T/R* برای ضخامت‌های کمتر از ۵۰ میلیمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای ضخامت‌سنجی در درجه حرارت‌های بالا از این نوع پروب‌ها استفاده می‌شود البته برای این منظور به جای پرسپکس مواد عایق حرارت جهت محافظت پروب به کار برده می‌شود.

پروب‌های تک کریستال

این نوع پروب‌ها عموما برای تست ضخامت‌های بالای ۵۰ میلیمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته در ضخامت‌های زیر ۵۰ میلیمتر نیز در مواردی که تفکیک‌پذیری عامل مهمی باشد از این پروب‌ها استفاده می‌شود چرا که در پروب‌های تک کریستال در مقایسه با پروب‌های دوبل کریستال طول پالس‌ها کوتاه تر می‌باشد. با این حال در تکنیک‌های معمولی تست این پروب‌ها را تنها موقعی می‌توان به کار برد که نویز ورودی از بخش مفید پایه زمانی تجاوز نکند. به طور کلی کوتاهترین نویز ورودی در پروب‌های فرکانس بالا و با استهلاک زیاد ایجاد می‌شود.

تکنیک‌های تست با امواج سطحی

اگر چه امواج سطحی در موارد متعددی به خصوص در صنایع هواپیمایی کاربرد وسیعی دارد ولی در صنعت آهن و فولاد استفاده از آن زیاد معمول نشده است. علت آن عدم صافی سطح چنین قطعاتی می‌باشد به طوری که با روش ذرات مغناطیسی می‌توان اغلب عیوب قبل کشف با امواج سطحی را شناسایی نمود. با وجود این ممکن است مواردی پیش بیاید که تکنیک امواج سطحی آسان‌ترین روش باشد.

محدودیت‌های امواج سطحی

محدودیت اصلی تکنیک امواج سطحی آن است که هر گاه سطح قطعه کار خشن بوده و یا پوسته داشته باشد و یا مایعی در سطح باشد و یا هر گاه فشاری توسط جسم دیگر به قطعه کار وارد شود امواج سطحی به سرعت مستهلک می‌شوند.

بدین جهت معمولا از گریس به عنوان ماده تست استفاده می‌شود. بدین ترتیب که گریس را به پروب مالیده و آن را به سمت جلو حرکت می‌دهند. البته لبه‌های گریس و همچنین ذرات باقیمانده روی سطح سیگنال‌های نامرتبط ایجاد می‌کنند که ممکن است باعث

---

[72] T/R

خطای تست شوند. بدین جهت معمولا به محض دریافت سیگنال سطح مزبور را با پارچه‌ای تمیز می‌کنند که در صورت محو شدن سیگنال مسلم می‌شود که سیگنال مزبور یک اکو نامرتبط بوده است.

تکنیک‌های تست غوطه‌ور

در تست التراسونیک با تکنیک غوطه‌وری قطعه کار به طور کامل در داخل مایع شناور می‌شود و پرتو صوتی معمولا از فاصله زیادتری به آن تابانده می‌شود. از این تکنیک در آزمایشگاه‌ها و یا در صنایع بزرگ برای تست‌های اتوماتیک استفاده می‌شود. مزایای این تکنیک عبارت است از: کوپل شدن یکنواخت بین پروب و قطعه کار و همچنین تغییر زاویه تابش صوت بدون تغییر پروب.

به علت اینکه سرعت صوت در آب تقریبا یک چهارم سرعت صوت در فولاد یا آلومینیم می‌باشد برای جلوگیری از ایجاد اکوهای متوالی از سطح قطعه کار و احیانا انطباق آنها با اکو پشت قطعه لازم است که فاصله بین پروب و قطعه کار حداقل به اندازه یک چهارم ضخامت قطعه کار باشد.

برای سهولت کار معمولا اکو اول از سطح قطعه را در نقطه صفر تنظیم می‌کنند و عملا فاصله بین دو اکو ۲ و ۴ مورد نظر تست می‌باشد که این فاصله را در کل صفحه تصویر بسط می‌دهند. در چنین حالتی تصویر دریافتی کاملا مشابه با سیگنال‌های دریافتی در روش‌های معمول تست خواهد بود.

پروب مخصوص تست غوطه‌وری توسط یک مکانیزم خاص حمل می‌شود که متناسب با نیاز تست می‌تواند در دو جهت X و Y و یا سه جهت X و Y و Z حرکت نماید. در ساده‌ترین حالت می‌توان پروب را با حفظ فاصله ثابت از قطعه کار به شکل زیگزاگ حرکت داده و به سیگنال‌های دریافتی توجه نمود. روش مطمئن تر استفاده از مانیتور برای کنترل سیگنال‌های دریافتی می‌باشد.

لنز التراسونیک

در تست‌های غوطه‌وری اغلب از پروب‌های کانونی استفاده می‌شود که حساسیت زیادی به صورت متمرکز در یک نقطه کوچک ایجاد می‌کنند. عملکرد سیستم متمرکز کننده را می‌توان از قوانین شکست استخراج نمود. انتخاب عدسی مقعر یا محدب بستگی به سرعت صوت در عدسی و مایع دارد. فاصله کانونی این نوع عدسی‌های التراسونیک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f = \frac{r}{1 - \frac{V_2}{V_1}}$$

f: فاصله کانونی

r: شعاع انحنا

V_1: سرعت صوت در عدسی

V_2: سرعت صوت در مایع

سرعت‌های V_1 و V_2 حتی‌الامکان باید با یکدیگر اختلاف داشته باشد تا ضریب شکست بزرگی به دست آید و امپدانس آکوستیک‌های آنها نیز باید حتی‌الامکان نزدیک به یکدیگر باشد تا تلفات انعکاسی در حداقل میزان ممکن باشد. برای این منظور پرسپکس مناسب‌ترین جنس می‌باشد که بهترین حالت را برای دو مورد فوق ایجاد می‌کند. در حالتی که تمرکز نقطه‌ای مورد نظر باشد انحنای کروی و در حالتی که هدف ایجاد تمرکز خطی باشد انحنای استوانه‌ای بهترین نتایج را خواهد داد. اگر تمرکز به جای سطح در داخل جسم صورت گیرد شکست اضافی در مرز بین مایع و قطعه کار باید مورد نظر قرار گیرد. این امر باعث کوتاه شدن فاصله کانونی می‌گردد که تقریبا متناسب با نسبت سرعت‌های صوت می‌باشد.

فصل هشتم

کاربرد تست التراسونیک در صنایع مختلف

تست قطعات ریختگی

برای تست قطعات ریختگی از دو تکنیک تست با امواج طولی و عرضی در سطح گسترده‌ای استفاده می‌شود. از آنجایی که ساختمان دانه‌بندی قطعات اثرات قابل ملاحظه‌ای در استهلاک امواج صوتی دارد لذا در تست قطعات ریختگی از فرکانس‌های پایین تر از حد معمول استفاده می‌شود. معمولا فرکانس‌های مورد استفاده از ۱ تا ۲٫۵ مگا هرتز می‌باشد و در بعضی موارد به منظور نفوذ در عمق‌های بیشتر فرکانس‌های پایین‌تر تا ۳۰۰ کیلو هرتز نیز به کار گرفته می‌شود.

تست قطعات آهنگری شده

تست قطعات آهنگری شده در بیشتر موارد ساده‌تر از تست قطعات ریختگی است به دلیل اینکه اولاً به جهت تنظیم بیشتر دانه‌بندی استهلاک صوت در داخل این قطعات کمتر شده و نویز کمتری نیز ایجاد می‌شود در نتیجه امکان استفاده از فرکانس‌های بالاتر فراهم می گردد. ثانیاً عیوبی مثل حفره و ناخالصی‌های موجود در شمش اولیه بعد از عملیات آهنگری، نورد یا اکستروژن صاف و طویل شده و حالت توازی بیشتری با سطح خارجی قطعه پیدا می‌کند و در نتیجه منعکس کننده‌های خوبی در مقابل امواج صوتی می‌گردد. تنها استثناء در این مورد ترک‌هایی هستند که حالت موازی با سطح قطعه نداشته باشند.

در اغلب موارد، تست قطعات آهنگری شده با استفاده از امواج طولی و پروب‌های دوبل کریستال با فرکانس‌های بین ۶-۴ مگاهرتز و به ندرت تا ۱۰ مگا هرتز صورت می‌گیرد. پروبهای زاویه ای نیز در تست این قطعات نقش مهمی دارند، از جمله در بررسی بیشتر عیوبی که با استفاده از پروب‌های نرمال قابل آشکار شدن نیستند، از این پروبها استفاده می شود. در تست قطعات آهنگری شده به خصوص در قطعاتی که مدتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند پیش‌بینی محل بروز عیوب غالباً امکان‌پذیر است و به همین جهت اغلب روش‌های تست محدود به کنترل محل به خصوصی برای کشف عیب به خصوصی می‌گردد.

عیوب حین سرویس

مدتی بعد از قرار گرفتن قطعات حین سرویس عیوب موجود در آنها گسترش می‌یابد و بعضی دیگر نیز برای اولین بار ظاهر می‌شود. ترک‌های ناشی از خستگی، خزش و خوردگی از عیوبی هستند که در اثر کارکرد قطعات بوجود می‌آیند. عیوب مزبور از نقاط معیوب کوچکی سرچشمه می‌گیرند که در حین عملیات ریخته‌گری، آهنگری، جوشکاری و یا عملیات حرارتی در قطعه ایجاد شده و در حین مراحل مختلف تولید شناسایی نشده‌اند. این نوع عیوب در قسمت‌هایی از قطعه به وجود می‌آیند که حداکثر تمرکز تنش را دارند و مبدا شروع و جهت گسترش آنها معمولاً قابل پیش بینی است. عیوب مزبور غالباً در حین تست‌های خستگی و یا آنالیز عیوب حین سرویس قطعات مورد شناسایی قرار می گیرند. امروزه تکنیک‌های بازرسی پیشرفته‌ای جهت تست نقاط حساس قطعات برای کشف عیوب خاص ابداع شده است. در تست قطعات حساسی مثل بال یک هواپیما طراحان و مهندسین آنالیز تنش می‌توانند بگویند که اگر ترک در بال هواپیما ایجاد شود مبدا شروع آن مناطق پیس بینی شده خواهد بود و ما باید قبل از این که طول آن از حد مجاز تجاوز کند آن را شناسایی کنیم سپس ما می‌توانیم با استفاده از یک بلوک مرجع که دارای عیب مصنوعی کمی کوچکتر از حد مجاز باشد تست التراسونیک را برای قطعه مزبور در حین تعمیرات اساسی هواپیما انجام دهیم.

تست جوش

ما همواره شاهد خرابی در سیستم‌ها و قطعات مختلف صنعتی یا ساختمانی بوده‌ایم که علت آن معیوب بودن جوشکاری‌های انجام شده بوده است. در اغلب موارد این صدمات ناشی از عیوب جوشکاری می‌باشد که این عیوب کاملاً شناخته شده بوده و به سادگی می‌توان به روش تست التراسونیک آنها را شناسایی نمود. البته این کار پر زحمت بوده و همواره نیاز به دانش و مهارت کافی دارد. یک اپراتور تست جوش باید دارای مشخصات زیر باشد:

۱- اطلاع کافی از دانش التراسونیک و داشتن تجربه عملی کافی

۲- آگاهی از روش‌های جوشکاری و عیوب مختلف جوش و منشا پیدایش آنها

۳- داشتن صبر و حوصله کافی

۴- و مهم‌تر از همه صداقت کاری

هر گاه شما در یک پروژه حساسی که توسط طراحان با تجربه و جوشکاران درجه یک در حال اجراست، مسئول تست التراسونیک باشید ممکن است صدها متر درز جوش را تست نمایید بدون این که علائم قابل توجهی از وجود عیب دریافت نمایید. در چنین شرایطی امکان کاهش دقت و توجه شما زیاد خواهد شد. ولی در هر شرایطی نتایج بازرسی شما زمانی معتبر خواهد بود که تمام توجه و دقت شما

معطوف به تست باشد.

عیوب جوش[۷۳]

با توجه به گستردگی مبحث عیوب جوش، به کتاب تکنولوژی جوشکاری و یا جزوه آموزشی بازرسی چشمی تالیف این شرکت مراجعه نمایید

مراحل تست جوش

در بازرسی جوش لازم است که مراحل زیر را به ترتیب و با دقت رعایت نمود:

الف) مطمئن باشید که کلیه اطلاعات لازم به شرح زیر را گرد آوری نموده‌اید:

۱- جنس مواد

۲- روش جوشکاری و عیوب مربوطه

۳- طرح آماده سازی قطعات برای جوشکاری

۴- ضخامت فلز پایه در مجاورت درز جوش

۵- هر نوع مشکلی که جوشکار به علت موقعیت جوش با آن مواجه بوده است

۶- استانداردهای قابل قبول

ب) موقعیت و اندازه‌های دقیق و به خصوص محور جوش را مشخص سازید. اصولاً قبل از شروع جوشکاری باید هر دو فلز پایه در طرفین خط جوش را علامت گذاری نمود تا بعد از اتمام جوشکاری محور دقیق درز جوش را بتوان مشخص نمود. در بعضی موارد که سطح جوش را سنگ زده و با فلز اصلی هم سطح می‌کنیم ممکن است لازم باشد که ناحیه جوشکاری شده را با اسید اچ نماییم تا پهنای جوش کاملاً مشخص گردد.

ج) درز جوش را دقیقاً بازرسی چشمی کنید تا مطمئن شوید که سطح قطعه کاملاً فاقد جرقه جوشکاری بوده و برای انجام تست التراسونیک به اندازه کافی صاف باشد. بعضی عیوب ممکن است سطحی بوده و در حین بازرسی چشمی شناسایی شود. (مثل شیار، ترک، حفره، سوختگی جوش و غیره) هر گاه با چنین عیوبی مواجه شدید و مطمئن بودید که خارج از حد استاندارد می‌باشد قبل از انجام تست التراسونیک عیوب مزبور را تعمیر نمایید. در واقع این یک اصل کلی در کلیه مراحل بازرسی می‌باشد که به محض

[73] Weld Defects

مشاهده یک یا چند عیب که باعث مردود شدن جوش می‌شود تست را متوقف نمایید چرا که نیازی به انجام تست‌های دیگر نیست.

د) دو قطعه جوشکاری شده را در طرفین محور جوش در پهنایی برابر با منطقه کامل اسکن برای پروب با حداکثر زاویه (معمولاً ۷۰ درجه) به اضافه نصف پهنای عرض جوش، تست التراسونیک نمایید. در این تست، شما می‌توانید از پروب نرمال استفاده نموده و ضمن برآورد ضخامت قطعه، عیب تورق را که ممکن است در حین تست با امواج برشی تداخل پیدا کنند شناسایی نمایید.

هـ) با استفاده از پروب زاویه ای مناسب رشیه جوش را از هر دو طرف تست نمایید. این تست از اهمیت زیادی برخوردار است چرا که اغلب عیوب در ناحیه ریشه جوش ایجاد می‌شود و حساس ترین قسمت جوش نیز می باشد. البته این جا ناحیه‌ای است که پیک معمول از بستر نفوذ جوش نیز مشاهده خواهد شد و بدین جهت باید تست را با دقت و کنترل کامل انجام داده و قسمت‌هایی از ریشه جوش را که علائم مشکوک به عیب نشان می‌دهند مشخص نمود.

و) بدنه جوش را از هر دو طرف با استفاده از پروب‌های زاویه ای مناسب تست نمایید. تابش امواج باید طوری باشد که حجم کامل جوش تست شود. قسمت‌های معیوب بدنه جوش را نیز مشخص سازید.

ز) اگر طراحی جوش و یا روش جوشکاری به گونه‌ای است که احتمال بروز ترک‌های عرضی وجود دارد تست التراسونیک باید با تابش امواج به حالت موازی با محور جوش نیز صورت گیرد. با انجام این تست نیز قسمت‌های مشکوک به وجود ترک جوش را نیز مشخص سازید.

ح) در این مرحله چنانچه هیچ نوع عیبی مشاهده نشد می‌توانید جوش را قابل قبول اعلام نمایید. ولی اگر عیوبی مشاهده شد، باید مجدداً به نواحی معیوب مراجعه نموده و هر عیب را به طور کامل مورد بررسی قرار داده و اطلاعات زیر را بدست آورید:

I- محل دقیق عیب در جوش

II- طول عیب در راستای محور جوش

III- اندازه عیب در جهت ضخامت جوش

IV- نوع عیب، سرباره، تخلخل، ترک و غیره

ط) گزارش کاملی از تست جوش تهیه نمایید. گزارش باید به صورتی باشد که هر فرد دیگری بتواند جوش مزبور را رد یابی نماید و با تکنیک مشابه با تکنیک مورد استفاده شما و با همان حساسیت تست را انجام داده و عیوب مزبور را پیدا کند و به همان نتیجه گیری برسد.

تست با امواج طولی

بازرسی دو قطعه فلز پایه در مجاورت جوش و همچنین خود درز جوش در صورتی که دهانه جوش به اندازه کافی پرداخت شده باشد، یک بخش مهم از مراحل تست را تشکیل می‌دهد. قبل از همه با کنترل ضخامت دو فلز پایه اندازه واقعی ضخامت‌ها را بدست آورده و با اندازه‌های اسمی روی نقشه مطابقت می‌دهید. اندازه‌های واقعی ضخامت قطعات برای کالیبراسیون امواج برشی در مراحل بعدی تست مورد نیاز خواهد بود. با این کنترل همچنین عدم تناسب دو قطعه و اختلاف ضخامت‌ها آنها نیز به راحتی مشخص می‌شود. با تابش سیستماتیک امواج طولی بر روی فلزات پایه که بعداً تحت تست امواج برشی قرار خواهند گرفت عیب تورق در فلزات پایه مشخص می‌گردد. اگر چه این عیب ممکن است اثری در مقاومت صفحه یا لوله نداشته باشد، با این حال احتمال دارد باعث تداخل امواج برشی در مراحل بعدی تست گردد.

بازرسی ریشه جوش با امواج برشی

مرحله بعدی، بازرسی دقیق ریشه جوش با استفاده از پروب‌های زاویه ای می‌باشد. به دلایل زیر این مرحله از تست به صورت فرایند جداگانه‌ای صورت می‌گیرد:

الف) عیوب این ناحیه معمولاً مهم‌ترین تأثیر را در کاهش مقاومت جوش ایجاد می‌کند.

ب) ناحیه مزبور محلی است که بیشترین عیوب جوش در آنجا پدید می‌آید.

ج) ریشه جوش ناحیه‌ای است که در یک جوش خوب پیک‌هایی از بستر جوش دریافت می‌کنید و از طرف دیگر پیک‌های ناشی از عیوب مختلف ریشه جوش نیز با فاصله خیلی کمی با پیک‌های استاندارد ناشی از بستر جوش ظاهر می‌شود یعنی ناحیه مزبور محلی است که احتمال بیشترین خطای تست وجود دارد.

به دلایل فوق تست این ناحیه از جوش نیاز به دقت و نظم زیاد در اجرای روش تست دارد. بعداً خواهیم دید که این مرحله از بازرسی به مراحل متعددی قابل تقسیم‌بندی است و در هر مرحله نیز باید در جستجوی عیوب خاصی باشید و البته سیگنال‌های دیگری نیز مشاهده خواهید نمود که آنها را دنبال نموده و منشأ آنها را پیدا کنید ولی باید سعی نمایید از دنبال کردن چنین سیگنال‌هایی خودداری کنید چرا که در تعقیب علائم انحرافی، عیوب مورد نظر را گم خواهید کرد.

انتخاب زاویه پروب

شاید در تست ریشه جوش انتخاب زاویه پروب اهمیتی به اندازه اهمیت آن در تست سایر قسمت‌های جوش نداشته باشد. معمولاً پروب‌های با زاویه ۴۵، ۶۰ و یا ۷۰ درجه انتخاب می‌شود تا کوتاه‌ترین طول مسیر صوت تا ریشه جوش را داشته باشیم. ولی این انتخاب با

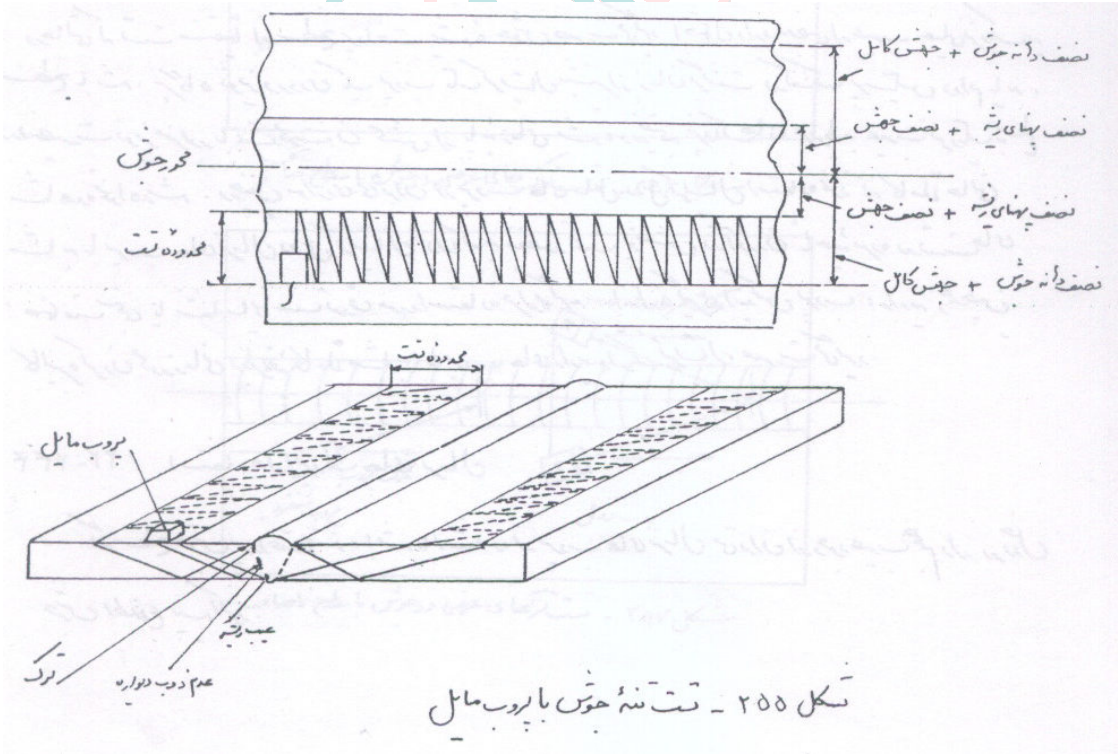
شرایط گروه جوش محدودتر می‌شود. در تست صفحات نازکتر مسلماً نمی‌توان پروب‌های ۴۵ یا ۶۰ درجه را طوری مستقر نمود که پرتو صوتی دهانه ریشه جوش را در نصف منطقه اسکن را قطع کند مگر اینکه پروب بر گرده جوش سوار شود. در صورتی که گرده جوش سنگ زده شده و با خود قطعات همسطح باشد می‌توان از پروب ۴۵ درجه استفاده نمود.

در جوش‌هایی که گرده آن‌ها سنگ زده شده می‌توان از جدول زیر برای انتخاب زاویه پروب جهت تست ریشه جوش استفاده نمود.

ضخامت فلز (میلی‌متر)	زاویه پروب (درجه)
۶ - ۱۵	۷۰ یا ۶۰
۱۵ - ۳۵	۶۰ یا ۴۵
بیش از ۳۵	۴۵

بعد از تست ریشه جوش می‌توانیم بازرسی سطوح ذوب و همچنین بدنه جوش را شروع کنیم. در اینجا نیز لازم است که خطوط تابش را روی سطح قطعه علامت گذاری کنیم. هدف اصلی این است که از تست حجم کامل جوش مطمئن شویم. به بیان دیگر فاصله ایندکس پروب از محور جوش برابر منطقه اسکن کامل به اضافه نصف پهنای گرده جوش می‌باشد.

حال هر دو فلز پایه را در فاصله‌های مذکور از طرفین محور جوش خط کشی می‌کنیم. حد فاصل بین دو خط موازی محدوده تابش امواج صوتی را مشخص می‌سازد.



شکل ۲۵۵ - تست تنه جوش با پروب مایل

انتخاب اولیه زاویه پروب برای تست بدنه جوش با توجه به زاویه دهانه جوش صورت می‌گیرد. این زاویه باید طوری انتخاب شود که

هر گونه عدم ذوب دیواره‌های جانبی جوش را در جهت عمود بر تابش صوت با حداکثر شدت نشان دهد. برای اینکه امواج تابشی در جهت عمود بر سطح ذوب دیواره‌ها باشد زاویه پروب را می‌توان از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$\text{زاویه پروب} = ۹۰ - \frac{\theta}{۲}$$

$\theta =$ زاویه دهانه جوش

مثال ۱- اگر زاویه دهانه جوش برابر ۶۰ درجه باشد زاویه پروب مناسب برای تست بدنه جوش را محاسبه کنید.

$$\text{زاویه پروب} = ۹۰ - \frac{۶۰}{۲} = ۶۰^{\circ}$$

بعد از انتخاب پروب مناسب و خط کشی قطعه کار، محدوده تست واقع بین دو خط مزبور را باید با حرکت زیگزاگی پروب تست نمود.

در این تکنیک حرکت پروب باید در جهت عمود بر محور جوش بوده و گام زیگزاگ پروب در راستای محور جوش نیز باید نصف پهنای پروب باشد تا کل محدوده تست را زیر پوشش تابش امواج صوتی قرار دهد.

این مرحله از تست صرفاً جهت بازرسی بدنه جوش صورت می‌گیرد از آن جایی که ریشه جوش را قبلاً تست نموده‌اید لذا علائمی که به محض رسیدن پروب به خط تابش داخلی از ریشه جوش دریافت می‌کنید به خوبی برایتان آشناست. بنابراین بخشی از محور زمانی صفحه تصویر مورد نظر خواهد بود که بین سیگنال بستر ریشه جوش و سیگنال واقعی در فاصله برابر منطقه اسکن کامل قرار دارد. البته در مجاورت سیگنال دوم پیکهایی نیز از گرده جوش دریافت خواهید نمود که به آسانی می‌توان آنها را شناخت.

استفاده از چند پروب با زوایای مختلف

ممکن است محدوده تست که متناسب با زاویه دهانه جوش انتخاب می‌شود به خصوص در حالت استفاده از پروب ۷۰ درجه، در حد وسیعی باشد و باعث شود که شما احساس کنید حساسیت تست برای سایر عیوب غیر از ذوب ناقص دیواره نسبتاً کم است. در چنین مواردی منطقی خواهد بود که از پروب‌های ۴۵ یا ۶۰ درجه برای انجام تست‌های تکمیلی استفاده کنید.

البته به خاطر داشته باشید که این تست‌ها نتایج مطلوبی در مورد عیب ذوب ناقص دیواره‌ها به دست نخواهد داد.

اگر گرده جوش سنگ زده شده باشد، به جای تعویض پروب می‌توانید محور جوش را از فاصله‌ای برابر با نصف منطقه اسکن تا لبه دیگر دهانه جوش اسکن نمایید. دقت نمایید که بعد از پرداخت جوش سطح آن موجدار نباشد چرا که پستی و بلندی سطح باعث عدم دقت تست خواهد شد. اگر چه همسطح بودن کامل جوش با سطح فلزات پایه حالت ایده آل است ولی عملاً از وجود کمی پستی و بلندی

گریزی نیست.

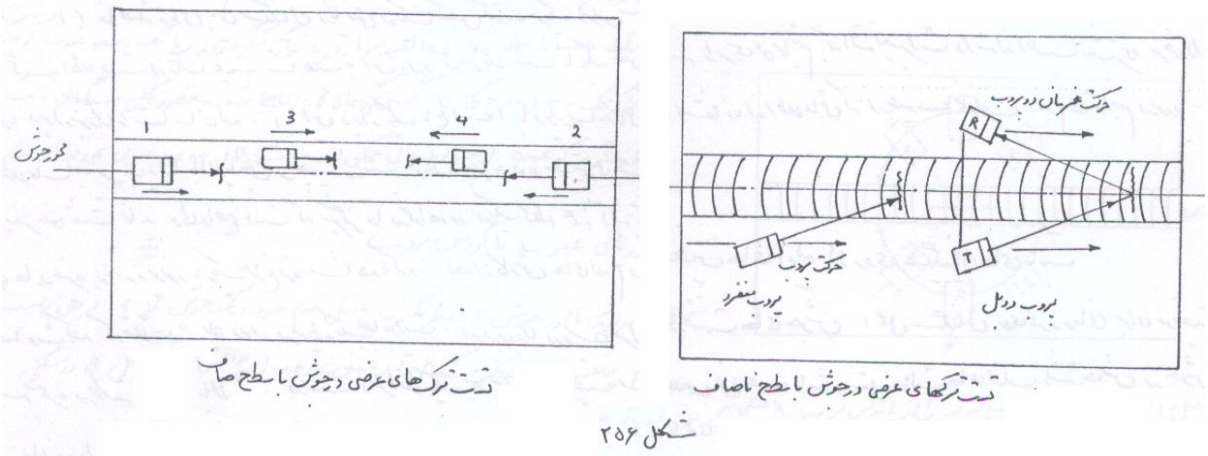
استفاده از پروب‌های نرمال

اگر سطح جوش پرداخت شده باشد با استفاده از پروب‌های نرمال می‌توان از وجود عیوب حجم‌دار در داخل جوش اطلاع پیدا کرد.

تست ترک‌های عرضی

بعد از تست ریشه و بدنه جوش، مرحله بعدی برای یافتن ترکهای عرضی صورت می‌گیرد. برای شناسایی ترک‌ها منتهی به سطح بالای جوش روش تست ذرات مغناطیسی سریع‌ترین و مؤثرترین روش تست محسوب می‌شود. بنابراین در اغلب موارد شما در جستجوی ترک‌های منتهی به سطح پایین جوش هستید که باید به روش التراسونیک تست شود. هر گاه سطح جوش پرداخت شده باشد، انتشار امواج را در راستای محور جوش شروع نموده و در این راستا در هر دو جهت تست را انجام می‌دهید. سپس به همین نحوه تست را به موازات خط محور جوش و در فواصل مختلف از محور جوش و از هر دو جهت چند بار تکرار می‌کنید تا کاملاً مطمئن گردید که جوش به طور کامل تحت پوشش امواج صوتی قرار گرفته است.

در صورتی که سطح جوش پرداخت نشده باشد ناچار خواهید بود که پروب را در خارج از گرده جوش و به موازات محور جوش حرکت دهید به طوری که پروب نسبت به محور جوش تحت زاویه قرار گرفته باشد. البته در این حالت بخش وسیع انرژی صوتی در جهتی دیگر انعکاس خواهد یافت ولی از آن جایی که سطح ترک حالت چین خوردگی دارد لذا بخشی از صوت نیز به پروب برخواهد گشت ولی با این حال تکنیک مطمئن برای تست ترک‌های عرضی با استفاده از دو پروب جداگانه به عنوان فرستنده و گیرنده می باشد.



شکل ۲۵۶

تشخیص نوع عیوب

کلیه تست‌هایی که تاکنون انجام داده‌اید محدود شدند به:

الف) یافتن عیب

ب) تعیین محل عیب در جوش

و حال شما می‌دانید که جوش:

الف) فاقد عیب بوده و قابل قبول است.

یا

ب) خیلی معیوب بوده و مردود است.

و یا در اغلب موارد:

ج) بعضی عیب‌هایی مشاهده می‌شود و شما نیاز دارید که اطلاعات بیشتری در مورد نوع و اندازه عیوب بدست آورید تا بتوانید با استانداردهای قابل قبول مقایسه نموده و سپس گزارش خود را تهیه کنید.

در بیشتر موارد مرحله بعدی تست تعیین طول و ضخامت عیوب با استفاده از تکنیک‌های اندازه‌گیری ابعاد عیب می‌باشد. در عین حال غیر از تعیین ابعاد عیب تلاش خواهید نمود تا نوع عیب را هم مشخص سازید. در فصل حاضر بعضی از روش‌های تعیین نوع عیب توضیح داده می شود بدین معنی که با بررسی و تفسیر نتایج تست التراسونیک می‌توان قضاوت نمود که مثلاً عیب از نوع ناخالصی سرباره، تخلخل، بریدگی کناره جوش، عدم ذوب، ترک و غیره می‌باشد.

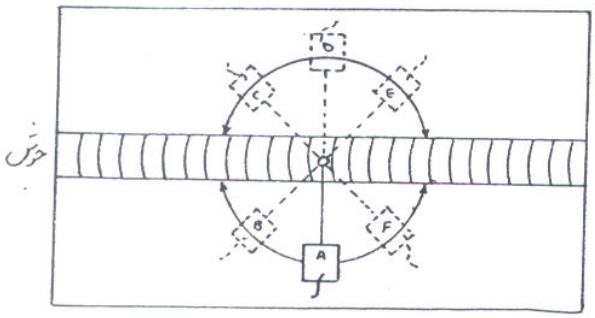
همانطور که در تست‌های عملی ابتدایی مشاهده کردیم دستگاه عیب یاب در هر لحظه دو نوع اطلاعات در اختیار ما می‌گذارد که عبارت است از:

۱- فاصله زمانی بین سیگنال دریافتی از یک منعکس کننده و یک مرجع مشخص.

۲- دامنه سیگنال مزبور.

ارزیابی عیوب با گردش پروب

یک عیب مسطح موازی با محور جوش را در نظر بگیرید (مثل عدم نفوذ در یک جوش V) فرض بر این است که شما این عیب را قبلاً یافته‌اید و پروب شما در موقعیتی قرار دارد که حداکثر سیگنال را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶۱ - ارزیابی عیب کروی با گردش پروب

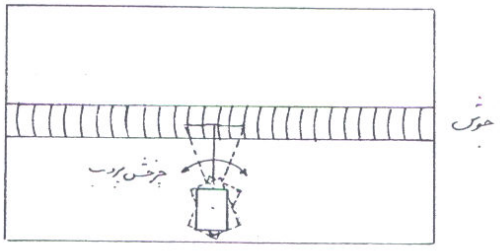
هر گاه منعکس کننده یک حفره گازی باشد به علت کروی بودن عیب، انعکاس دریافتی از کلیه جهات آن در حین گردش پروب یکسان خواهد بود.

اولاً واضح است که عیب مزبور حجم دار است چرا که از کلیه جهات انعکاس ایجاد می‌کند.

ثانیاً سطح منعکس کننده عیب در کلیه جهات یکسان نیست. با این حال به خاطر داشته باشید که عیوبی مثل یک گروه حفره‌های گازی با گسیختگی لایه‌ای و یا به خصوص ترک‌های کنگره دار می‌توانند علائم مشابهی نشان دهند. لذا برای قضاوت دقیق در مورد نوع عیب باید اطلاعات هر چه بیشتری گردآوری نمود.

ارزیابی عیوب با چرخش پروب

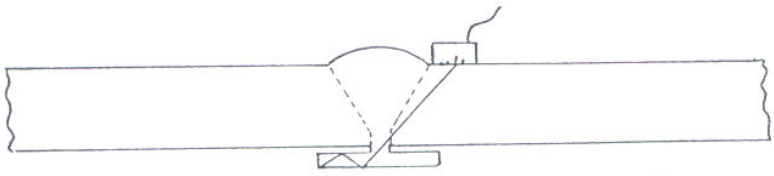
در این روش پروب را در محل خود ثابت نگه داشته و حول محورش می‌چرخانیم و اطلاعاتی مشابه را روش گردش پروب می‌توان به دست آورد. چرخش پروب حول زاویه‌ای در حدود ۷۰ درجه صورت می‌گیرد.



شکل ۲۶۴ -
ارزیابی عیب سطح با چرخش پروب
حول محور جوش

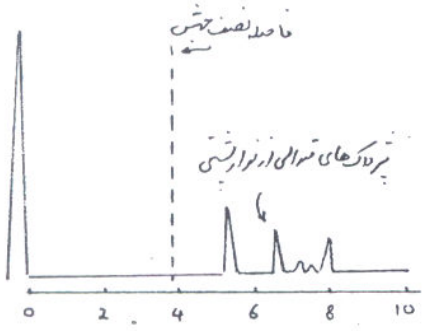
جوش با نوار پشتی

در این نوع جوش اگر ذوب کامل صورت گرفته باشد مقطع جوش مطابق شکل خواهد بود.



شکل ۲۷۸ - تست جوش با نوار پشتی

مطابق شکل در تست با امواج برشی، صوت از ریشه جوش عبور کرده و وارد نوار پشت جوش خواهد شد. انعکاسات داخل نوار شکل سیگنال‌هایی بعد از فاصله نصف منطقه اسکن در صفحه تصویر مشاهده خواهد گردید.



شکل ۲۷۹ - تست با امواج برشی

کاهش دامنه یا محو کامل این سیگنال‌ها دال بر وجود عدم ذوب بین نوار و ریشه جوش می‌باشد. در صورتی که گرده جوش سنگ زده شود می‌توان این تست را با دقت بیشتر با استفاده از پروب نرمال انجام داد. در این حالت با قرار دادن پروب نرمال در بالای محور جوش پیکهایی از پشت قطعه و همچنین از پشت نوار دریافت خواهد شد. محو پیک‌های ناشی از پشت نوار نشان دهنده عیب عدم ذوب می‌باشد.

تکنیک‌های اندازه گیری و برآورد عیب

برآورد اندازه و ماهیت عیوب از بخش‌های پیچیده تست التراسونیک محسوب می‌شود. برای این منظور تکنیک‌های متعددی ابداع شده که با وجود این که همه تکنیکها عملاً مورد استفاده واقع می‌شود ولی هنوز هیچ روش خاصی که قادر به پاسخگویی در همه موارد با دقت کافی باشد ثبت نشده است.

روش‌های مزبور را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم بندی نمود:

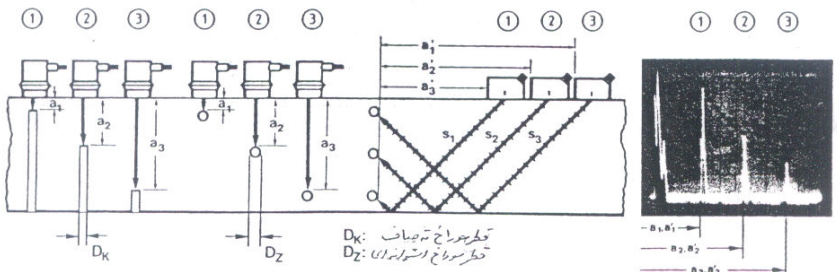
الف) روش‌هایی که در پی تعیین ابعاد واقعی هر عیبی است. مثل روش افت شدت و روش حداکثر دامنه

ب) روش‌هایی که ابعاد واقعی عیوب را مشخص نمی‌کنند بلکه با مقایسه سیگنال دریافتی از عیب با علائم مربوط به عیوب استاندارد عیب‌های مورد نظر را طبقه‌بندی می‌کند مثل روش منحنی مرجع، روش DGS و روش ASME به علت کاربردهای وسیعی که این دسته از روش‌ها دارند در این جا این سه روش مورد بحث قرار می‌گیرد و به خصوص روش DGS به طور مفصل تشریح خواهد شد.

روش منحنی مرجع[۷۴]

در این روش از یک بلوک مرجع مشابه با قطعه اصلی از نظر جنس، شکل و صافی سطح استفاده می‌شود بدین ترتیب که چند عیب مصنوعی به شکل سوراخ استوانه‌ای یا سوراخ ته صاف در آن ایجاد نموده و سپس با تست این عیوب منحنی مرجع را رسم می‌کنیم.

حال با استفاده از این منحنی می‌توان اندازه معادل عیوب اصلی قطعه را مشخص نمود.



شکل ۳۹۷ ـ تعیین اندازهٔ معادل عیب، بروش "منحنی فرمنس"

روش DGS[۷۵]

این روش در سال ۱۹۵۸ توسط کرات کرامر ابداع شد و به مرور کاربردهای وسیع‌تری پیدا کرد و در استاندارد B.S جزء روش‌های استاندارد پذیرفته شد.

سیستم DGS دارای مزایای متعددی است به کمک آن می‌توان:

[74] Reference Line

[75] Distance, Gain, Size System

الف- برای عیوب با اندازه و حدود معین حساسیت مناسب تست را انتخاب نمود.

ب- کوچک‌ترین عیب قابل کشف در یک محدوده‌ی مشخص را تعیین نمود.

ج- حساسیت مفیدی را که می‌توان از یک دستگاه تست - پروب معین بدست آورد، تعیین نمود.

د- سیستم رد/ قبول عیوب یعنی مبنای مورد نظر را به دست آورد.

هـ- در شرایط معینی، اندازه عیوب را تعیین نمود البته به شرط آن که بزرگترین بعد عیب مزبور از پهنای پرتو صوتی بزرگتر باشد.