



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

آزمون های غیر مخرب: آزمایش با امواج آلتراسونیک (UT)

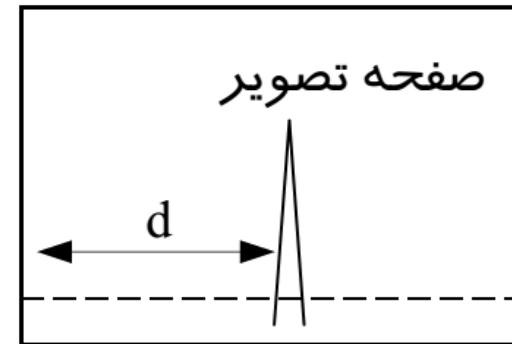
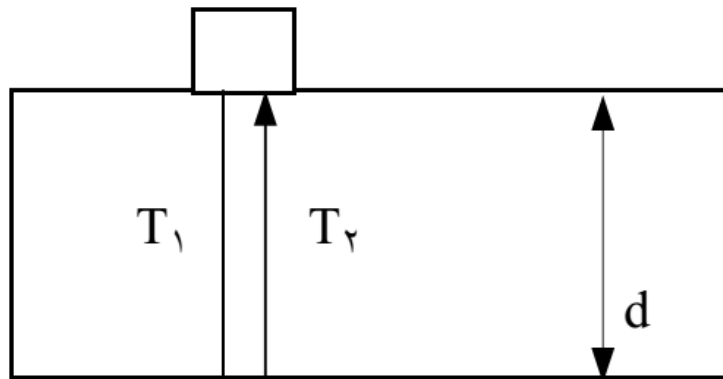
دکتر عبدالواحد کمی

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه سمنان

کاربرد امواج طولی

- جهت رفت و برگشت امواج پس از برخورد با موانع برهم منطبق بوده و زمان های طی شده در هر دو حالت رفت و برگشت نیز برابر هستند.
- در دستگاه های آلتراسونیک، زمان رفت و برگشت امواج توسط سیستم زمان سنج محاسبه شده و با تنظیم سرعت موج، فاصله طی شده در صفحه نمایش نشان داده می شود.



شکل ۱-۶

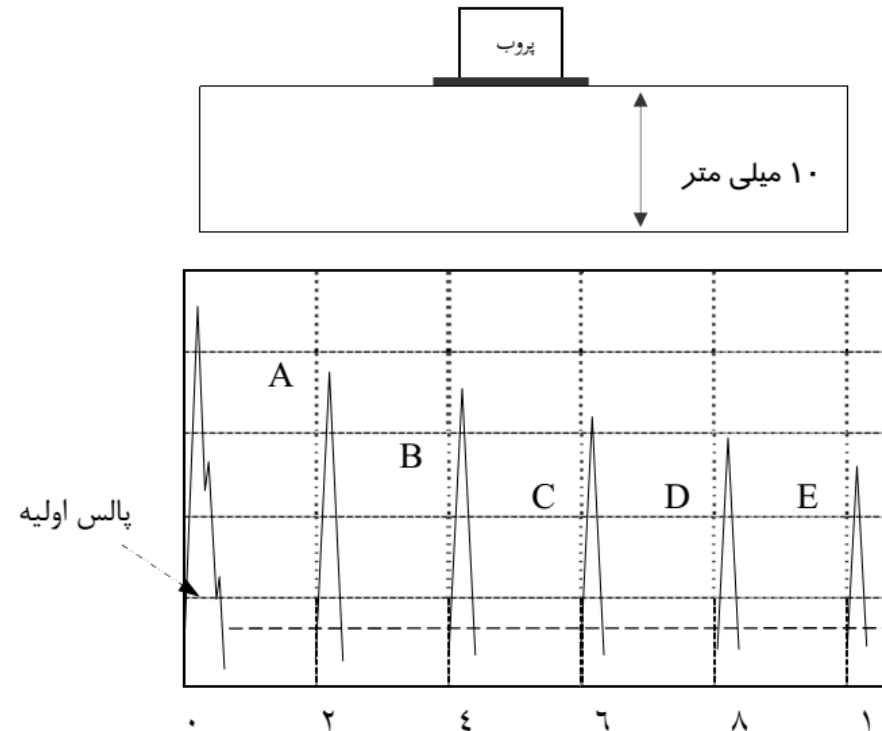
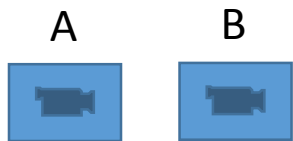
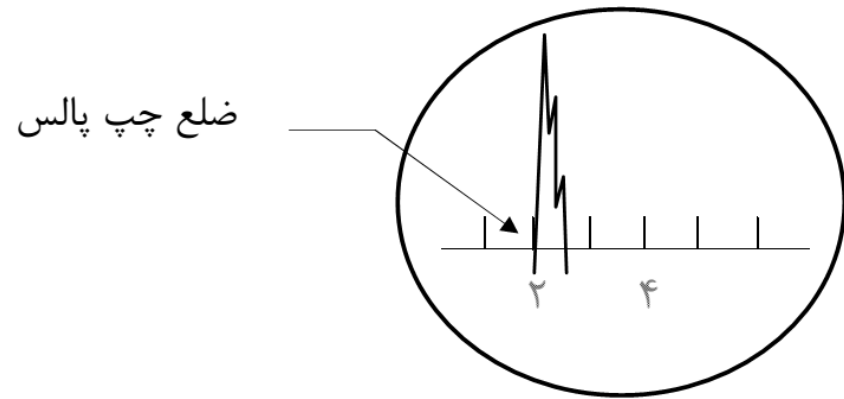
کاربرد امواج طولی

- ساده ترین کاربرد امواج طولی در روش آزمایش آلتراسونیک، اندازه گیری ضخامت مواد فلزی و غیرفلزی است. ضخامت های کمتر از ۱ میلی متر تا ضخامت های چند متر، با انواع پروب های صفردرجه تک و دو کریستاله قابل اندازه گیری هستند.
- قبل از شروع به اندازه گیری ضخامت اجسام، محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، باید بوسیله یک قطعه (نمونه استاندارد و یا مرجع) با ضخامتی معین و شناخته شده تنظیم گردد.
- طول محور افقی صفحه تصویر می تواند از ۱۰ میلی متر تا چند متر تنظیم گردد.



کاربرد امواج طولی

- در زمان تنظیم محور افقی دستگاه آلتراسونیک، ضلع چپ (پای چپ) هر پالس مبنای تنظیم محور افقی است.



کاربرد امواج طولی

- در سمت چپ صفحه تصویر یک پالس تقریباً ثابت دیده می شود، که به نام های پالس اولیه، پالس کور یا پالس صفر موسوم است. این پالس مربوط به حوزه کور در پروب های صفر درجه تک کریستاله است.
- اصولاً در این حوزه، پالس واکنش انعکاسی از ضخامتی کمتر از عرض پالس صفر در صفحه تصویر قابل تفسیر نیست. عرض (پهنای) این پالس به فرکانس و قطر پروب بستگی دارد. هرچه قطر پروب بزرگ تر و فرکانس بیشتر انتخاب گردد عرض پالس اولیه کمتر خواهد شد.

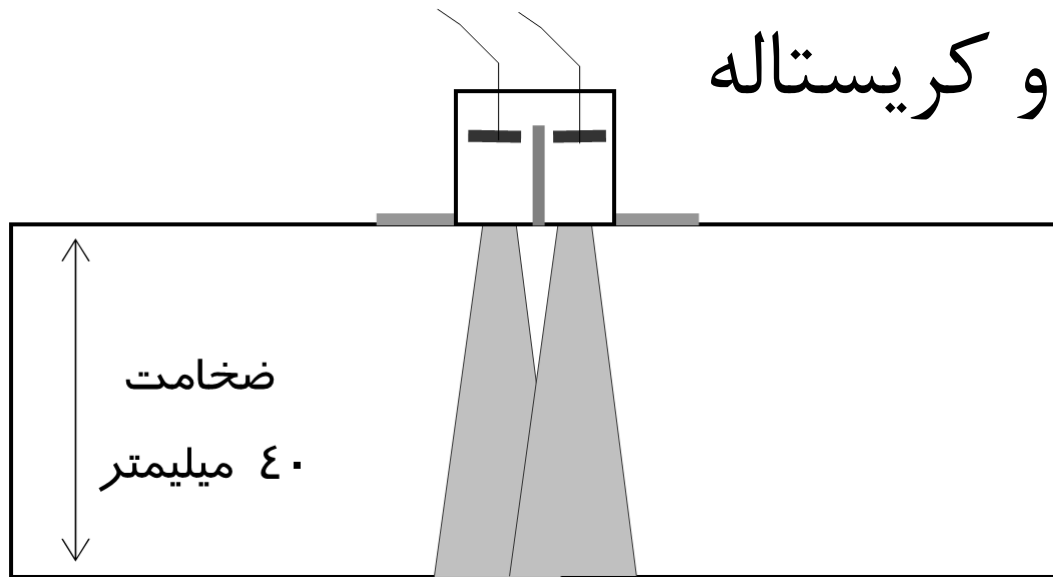


کاربرد امواج طولی

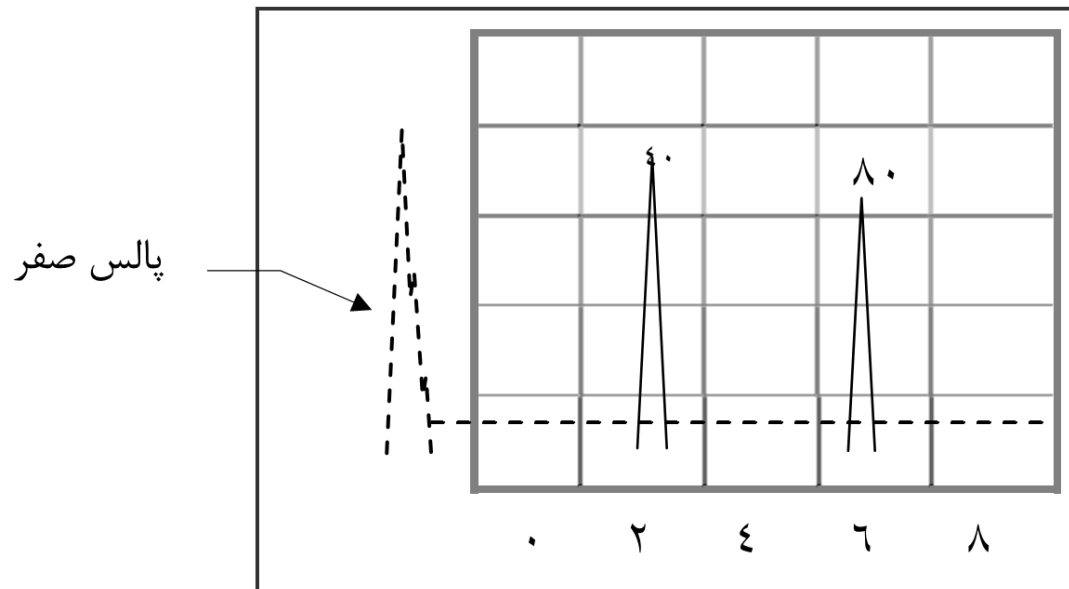
- پالس حوزه کور در پروب های تک کریستاله مانع اندازه گیری ضخامت های کم می شود.
- در پروب های دو کریستاله حوزه کور به قسمت درونی تر پروب انتقال یافته و پالس اولیه از صفحه تصویر حذف می شود.
- همچنین در پروب های دو کریستاله، بخشی از حوزه نزدیک نیز به داخل پروب انتقال یافته و همین مزیت موجب فاصله گرفتن فشارهای صوتی جلوی کریستال ها از سطح تماس پروب می گردد، در نتیجه اندازه گیری ضخامت های بسیار کم و تفسیر عیوب نزدیک به سطح ممکن خواهد شد.



اندازه گیری ضخامت-پروب های دو کریستاله



■ کریستال ها از سطح تماس فاصله دارند و امواج بعد از طی بخشی از ناحیه پرفشار حوزه نزدیک، در قطعه انتشار یافته اند.



■ پالس کور از سمت چپ صفحه تصویر خارج گردیده و نقطه صفر محور افقی، نقطه صفر اندازه گیری ضخامت شده است.

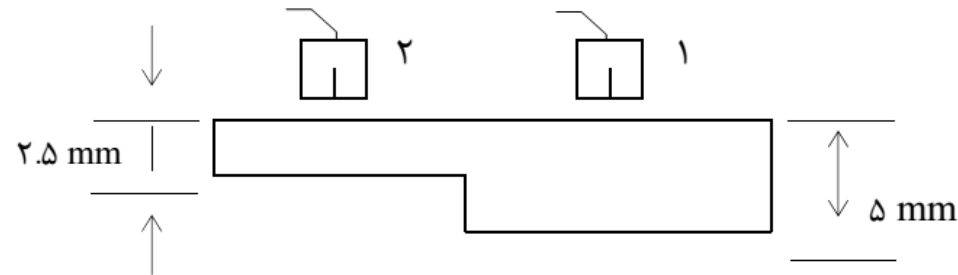
اندازه گیری ضخامت های کم

- برای اندازه گیری دقیق ضخامت های بسیار کم با دستگاه آلتراسونیک (ضخامت کمتر از ۳ میلی متر) محور افقی صفحه تصویر باید بوسیله دو ضخامت مختلف تنظیم گردد.
- چنانچه تنظیم محور افقی فقط با یک ضخامت انجام گیرد، بعلت کوتاه بودن طول محور افقی، خطای اندازه گیری، بیش از ۰/۵ میلی متر خواهد شد.
- برای این منظور، از نمونه های پله ای با دو ضخامت معین و متناسب با ضخامت قطعات اصلی استفاده می شود.

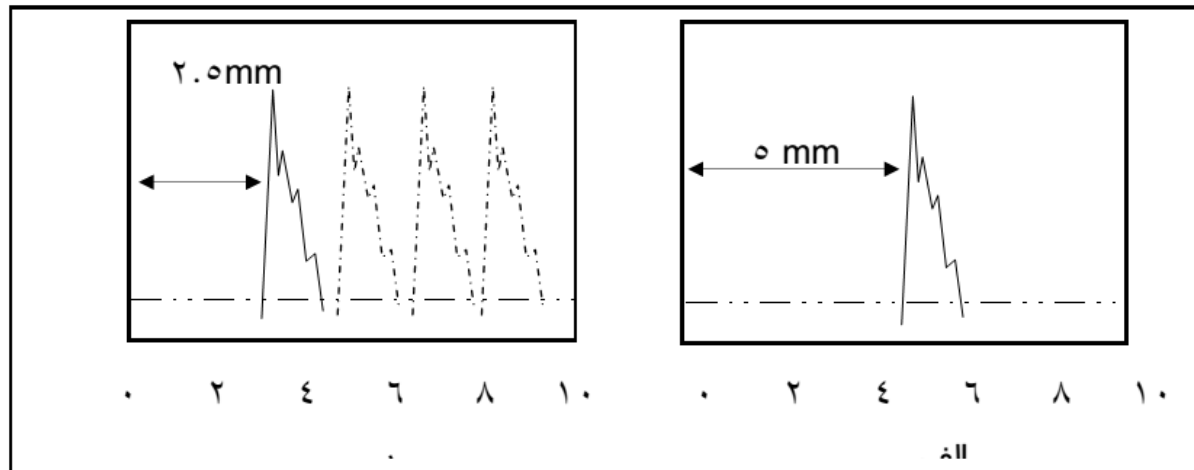


اندازه گیری ضخامت های کم

■ مثال: کالیبراسون دستگاه آتراسونیک برای اندازه گیری ضخامت اسمی ۳ میلی متر:



شکل ۶-۶ - الف



اندازه گیری ضخامت مواد غیر فولادی

▪ اکثر نمونه های استاندارد تنظیم از جنس فولاد ساخته می شوند. لذا برای اندازه گیری ضخامت قطعاتی غیر از فولاد، به دو روش زیر عمل می شود :

۱- **تهیه نمونه مرجع (نمونه تنظیم):** ساخت نمونه پله ای با ضخامت های دقیق و هم جنس قطعات مورد آزمایش و تنظیم دستگاهอัลتراسونیک با آن.

۲- **روش مقایسه ای:** بر اساس رابطه نسبی سرعت انتشار امواج در فولاد و ماده مورد آزمایش، ضخامت معادل فولاد برای جنس مورد آزمایش محاسبه شده و بر اساس ضخامت معادل محاسبه شده صفحه تصویر دستگاهอัลتراسونیک با نمونه فولادی تنظیم می شود.

$$T_1 / T_2 = V_1 / V_2$$



اندازه گیری ضخامت مواد غیر فولادی

روش مقایسه ای

مثال :

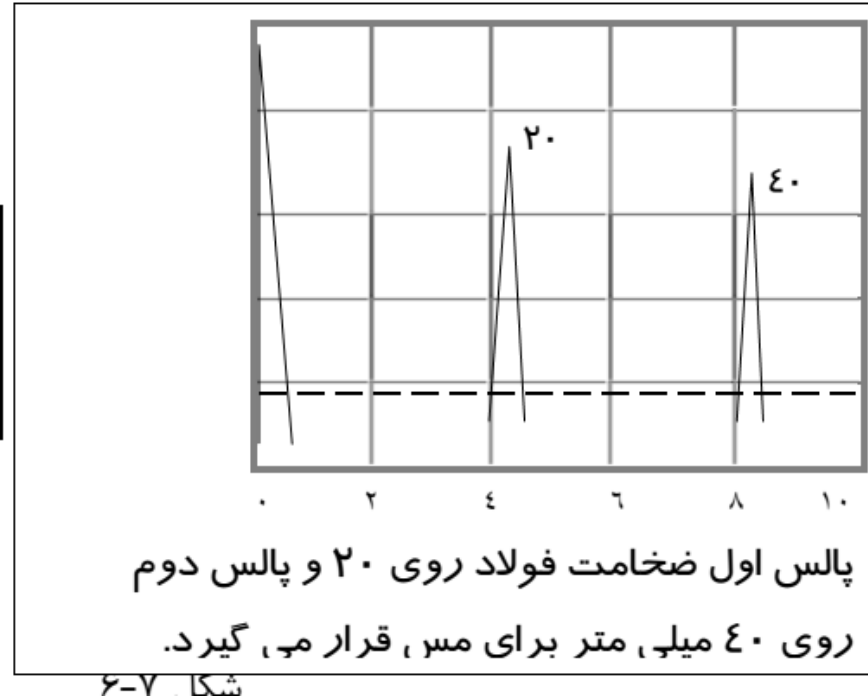
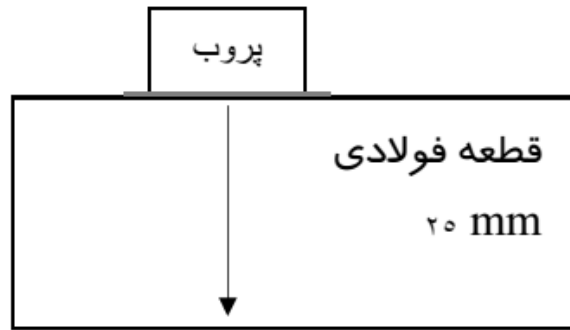
می خواهیم ضخامت قطعاتی از جنس مس را با استفاده از یک نمونه فولادی، به ضخامت ۲۵ میلی متر اندازه گیری نمائیم .

سرعت امواج طولی در فولاد $5/9$ کیلو متر در ثانیه و سرعت امواج طولی در مس $4/7$ کیلومتر در ثانیه است (جدول ۱-۴ ، بخش ۴) .



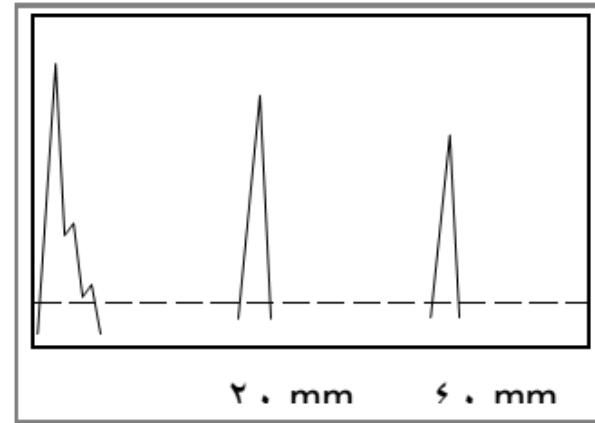
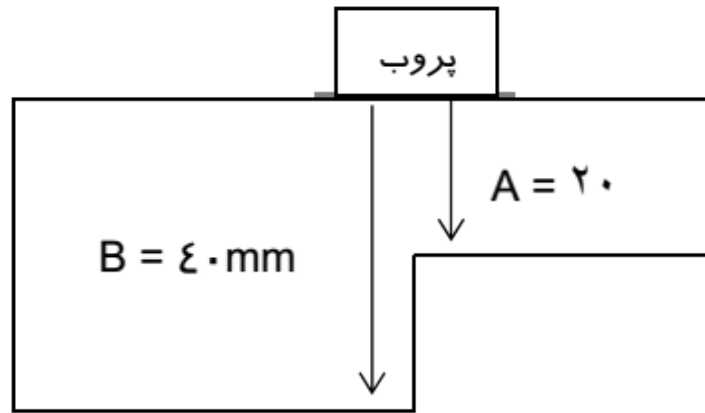
اندازه گیری ضخامت مواد غیر فولادی

روش مقایسه ای

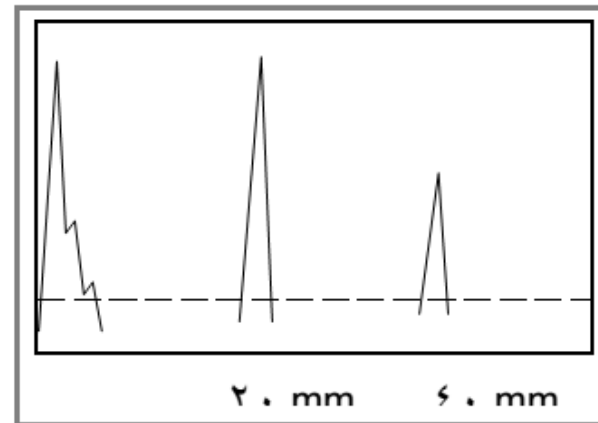
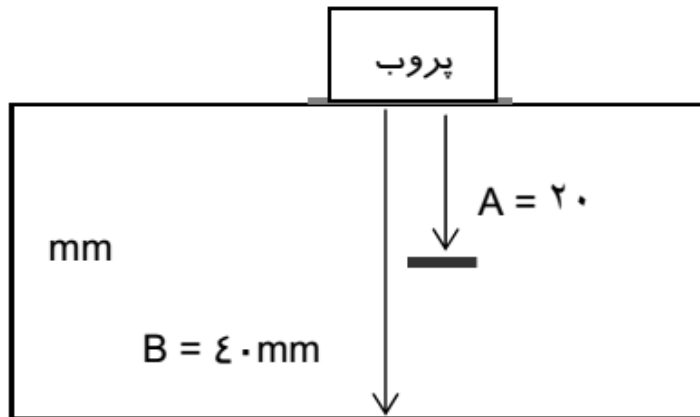


نکات مهم برای اندازه گیری ضخامت به روش التراسونیک (صفحات ۱۴۶ الی ۱۴۸)

اندازه گیری عیوب



شکل ۹-۶ الف



اندازه گیری عیوب

- معیار تعیین کننده ارتفاع و موقعیت هر پالس در صفحه تصویر، محل و اندازه مانعی است که در مسیر امواج قرار می گیرد و یک عیب نیز چنانچه در مسیر امواج قرار گیرد مانند مانعی برای عبور امواج عمل می کند.
- عواملی چون سطح مقطع، شکل هندسی و جهت برخورد امواج، تعیین کننده شدت انعکاس و در نتیجه بلندی ارتفاع پالس است.
- اصولاً برای ارزیابی شدت انعکاس پالس واکنش از یک عیب، حد آن با پالس واکنش از ضخامت قطعه (Back-wall Echo) مقایسه می شود. هرچه مساحت عیب بیشتر باشد، امواج کمتری به انتهای ضخامت قطعه رسیده و دامنه انعکاس آن کوتاهتر و در مقابل دامنه انعکاس از عیب بیشتر خواهد شد.



حد آشکارسازی عیوب

- از نقطه نظر تئوری حداقل اندازه (طول) عیب قابل تشخیص با روش امواج ماوراء صوت، معادل یک دهم طول موج است. یعنی هرگاه عیبی به اندازه یک دهم طول موج بصورت مانعی در مسیر امواج ماوراء صوت قرار گیرد، آشکار می گردد.
- در عمل عوامل دیگری مانند شکل هندسی عیب، ساختار فیزیکی جسم، خواص ماده رابط، اتلاف انرژی صوتی، تکنیک آزمایش و عوامل دیگر مانع از تحقق این تئوری می شوند. تجربه نشان می دهد، بدلیل تحولاتی که روی محور افقی صفحه تصویر روی می دهد، حتی با رعایت دقیق پارامترهای آزمایش، عیبی که بزرگترین بعد آن کمتر از یک سوم طول موج باشد، با روش های عادی و غیرآزمایشگاهی قابل تشخیص نخواهد بود.



حد آشکارسازی عیوب

نتایج تجربی

- در عمق بیش از ۴۰۰ میلی متر، عیبی کوچکتر از ۳ میلی متر قابل تشخیص نیست.
- در عمق بیش از ۳۰۰ میلی متر، عیبی کوچکتر از ۲ میلی متر دیده نمی شود.
- در عمق بیش از ۱۵۰ میلی متر، عیبی با قطری کوچکتر از ۱ میلی متر دیده نمی شود.
- پروب هایی که فرکانس آنها کمتر از ۲ مگاهرتز باشد، قادر به تشخیص عیبی به قطر یک میلی متر نیستند.



تعریف عیوب

در آزمایش آلتراسونیک، به هر نوع ناپیوستگی که مانع انتشار و انتقال امواج گردد، عیب گفته می‌شود.

انواع روش‌هایی که در آنها از طریق مقایسه پالس عیب با پالس عیوب ساختگی در یک نمونه مرجع و یا با پالس واکنش از ضخامت، ماهیت عیوب اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شود:

۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله (DAC) ۲- روش افت شش دسی بل

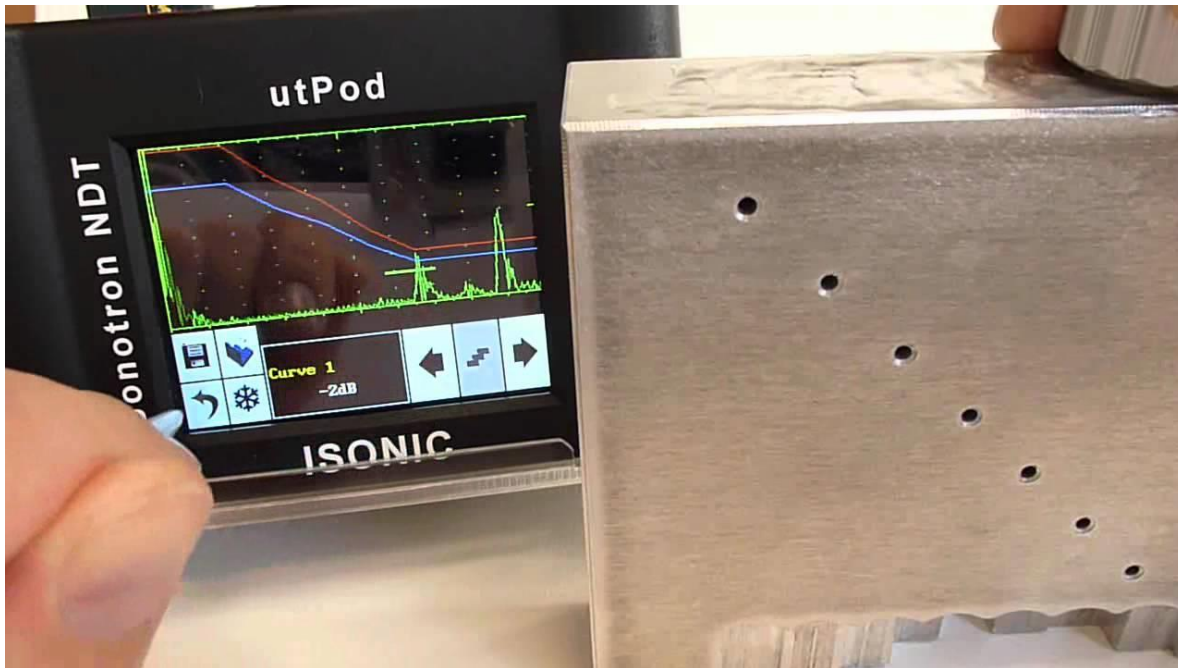
۳- تکنیک افت ۲۰ دسی بل ۴- روش مقایسه ای

۵- روش تکرار پالس ۶- نمودار دی جی اس



۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله (DAC)

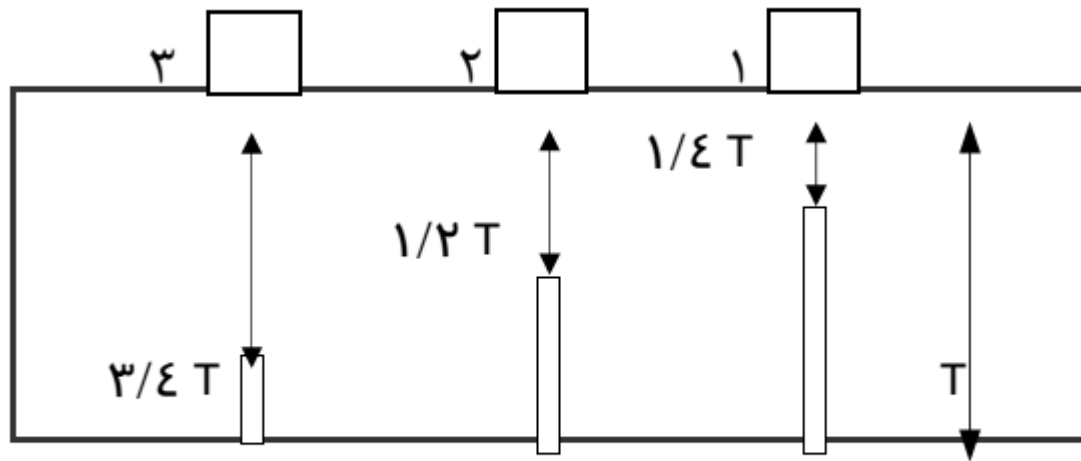
■ در این روش که به تکنیک DAC موسوم است، پالس های واکنش عیوب قطعات مورد آزمایش با پالس های واکنش عیوب ساختگی در یک نمونه مرجع، در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک مقایسه می شوند.



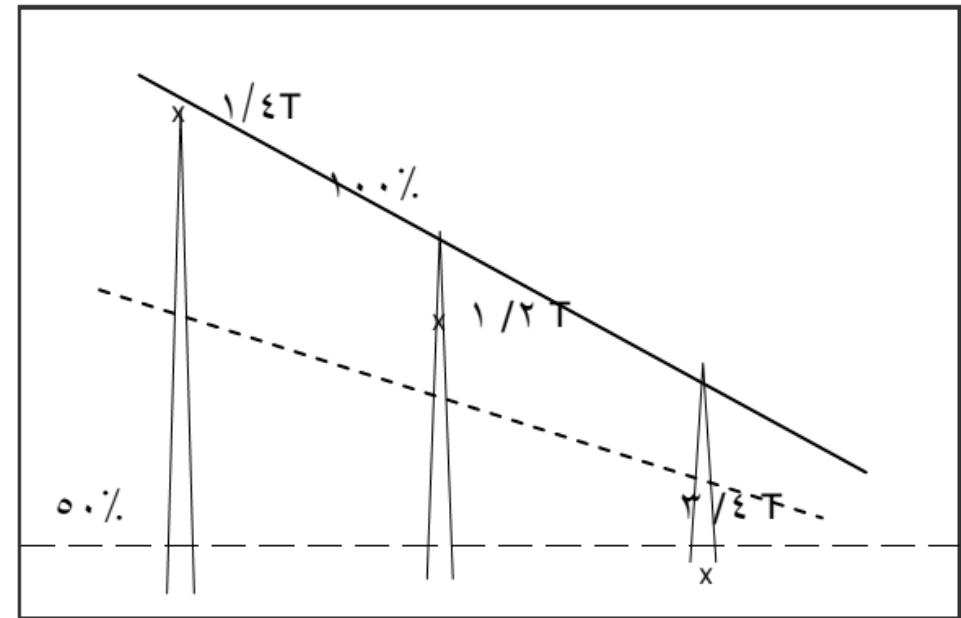
■ برای رسم منحنی DAC نمونه ای هم جنس و هم شکل با قطعات اصلی طبق استاندارد تهیه می شود که در آن سوراخ هایی با قطر و عمق معین ایجاد شده است.



۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله (DAC)



شکل ۱۲-۶ ، نمونه تنظیم DAC



شکل ۱۳-۶



۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله (DAC)

- در زمان آزمایش قطعات اصلی، ارتفاع پالس واکنش از هر عیب، روی محور افقی، با ارتفاع منحنی مقایسه می گردد. پالس هر عیب که بلندتر از حد معینی از منحنی باشد، عیب محسوب خواهد شد. حد پذیرش عیوب، بسته به روش آزمایش و نوع استاندارد، ممکن است از ۲۰٪ تا ۱۰۰٪ ارتفاع منحنی نمودار تعیین گردد.
- این روش برای عیوب کوچک تر از قطر موثر پروب کاربرد دارد.
- در روش حد پذیرش، پالس هر عیبی که ارتفاع آن بیش از حد معینی از ارتفاع منحنی باشد برای ارزیابی بعدی علامت گذاری می شود.



۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله (DAC)

- مردود و یا قابل قبول بودن هر نقطه علامت گذاری شده، به روش بررسی و نوع استاندارد آزمایش بستگی خواهد داشت.
- جنس و شکل هندسی نمونه تنظیم، باید همجنس و مشابه قطعات اصلی باشد. در صورت استفاده از نمونه تنظیمی غیر همجنس با قطعات اصلی، لازم است تا اتلاف انرژی و ضریب اصلاح فاصله جداگانه محاسبه گردد.



۲- روش افت شش دسی بل (6 dB-Drop Technique)

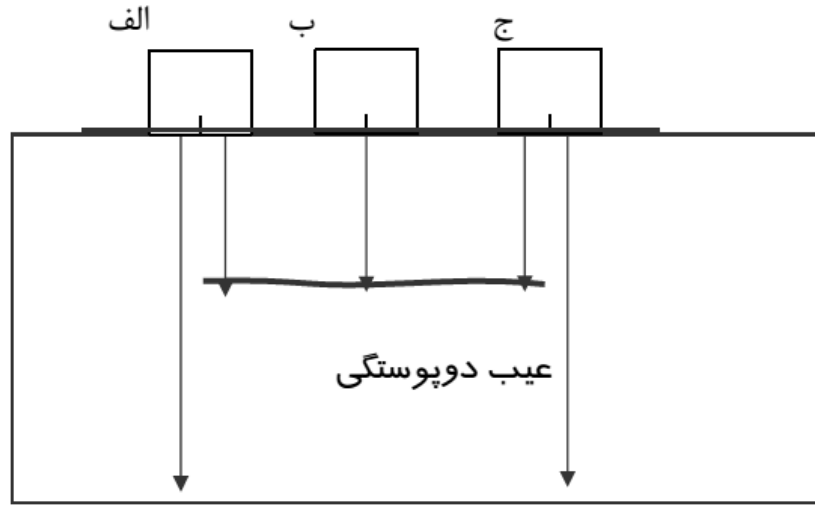
■ هرگاه نیمی از انرژی طیف امواج ساطع شده از یک پروب با مانعی مسطح برخورد نماید، تفاوت انرژی واکنش آن نسبت به زمانی که تمامی امواج با همان عیب برخورد نموده باشد، شش دسی بل است.

$$n \text{ dB} = 20 (\log 100 - \log 50) \quad (\text{بخش ۴}) \quad \Rightarrow 6 \text{ dB}$$

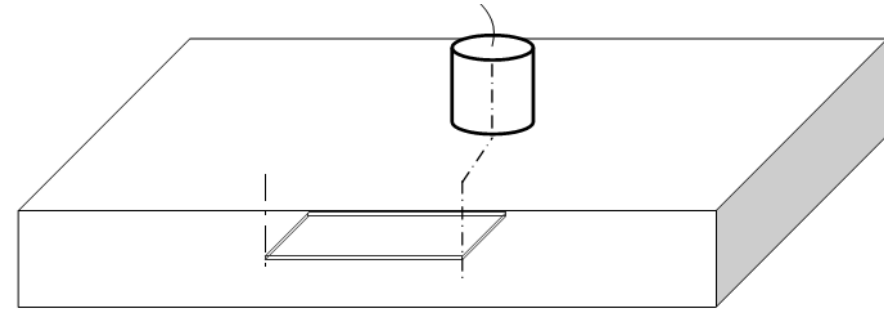
■ از این خاصیت برای اندازه گیری عیوب خطی (طولی) مسطح و عیوب حجمی با شکل هندسی منظم (صاف) استفاده می شود.



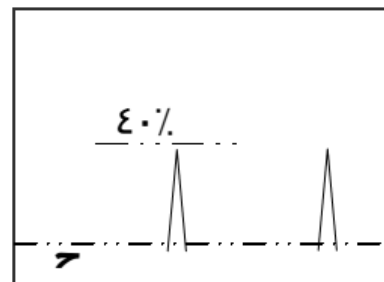
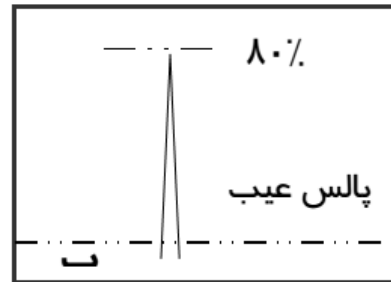
۲- روش افت شش دسی بل (6 dB-Drop Technique)



شکل ۱۴-۶، برخورد امواج با ضخامت و عیب

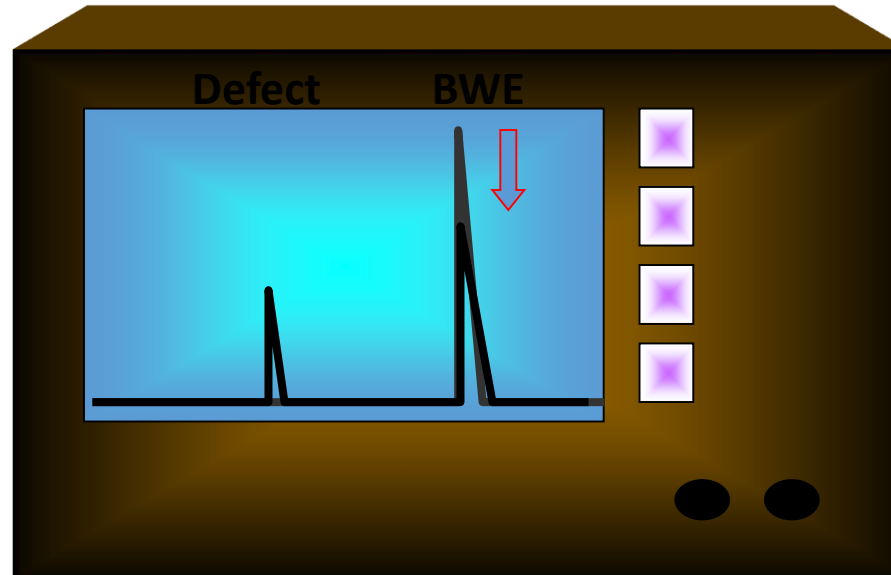
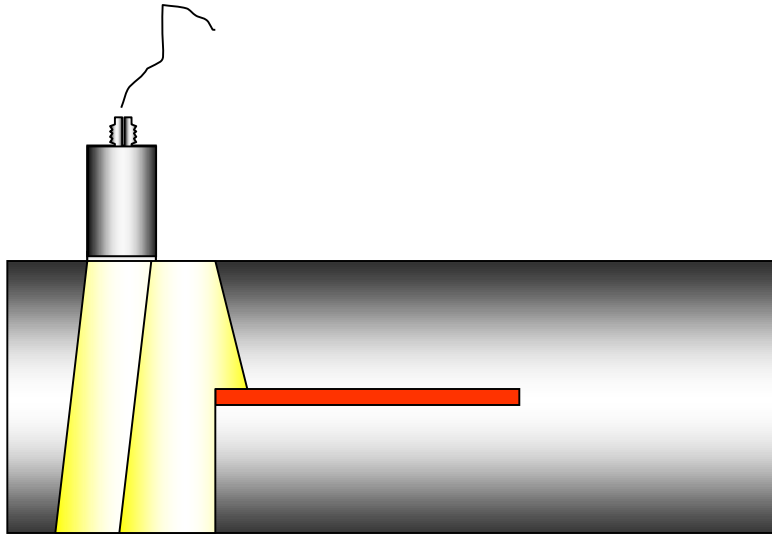


شکل ۱۶-۶، روش علامت گذاری انتهای عیب



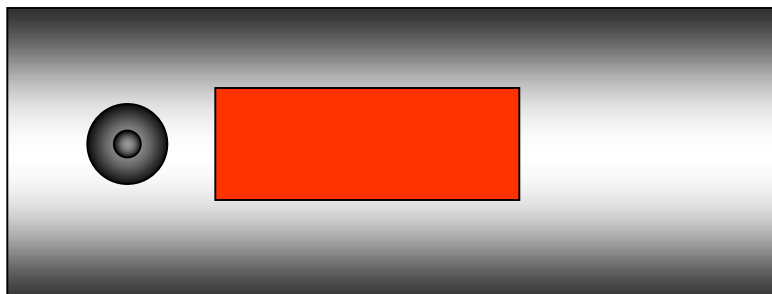
شکل ۱۵-۶ - الف ، ب و ج

۲- روش افت شش دسی بل (6 dB-Drop Technique)



The back wall echo reduced as some part of the beam now striking the defect

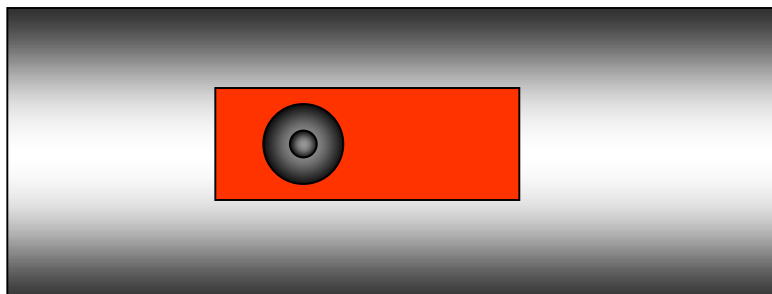
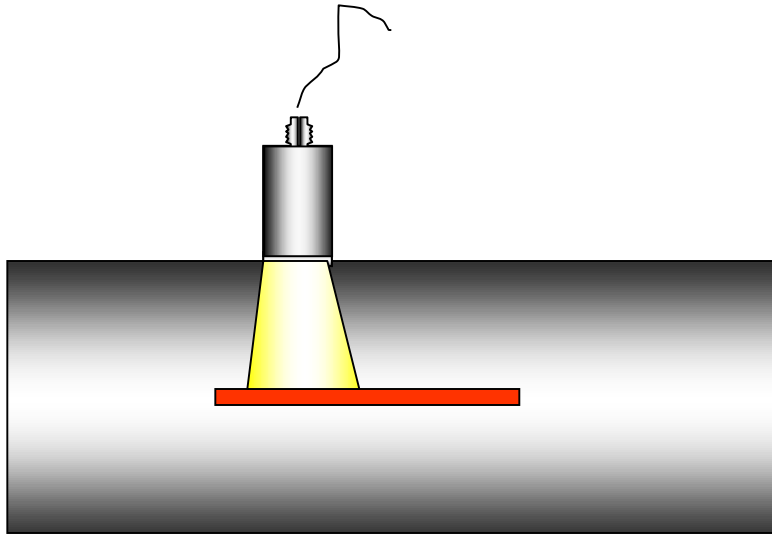
The echo of the defect has NOT yet maximise as the whole beam Not yet striking the defect



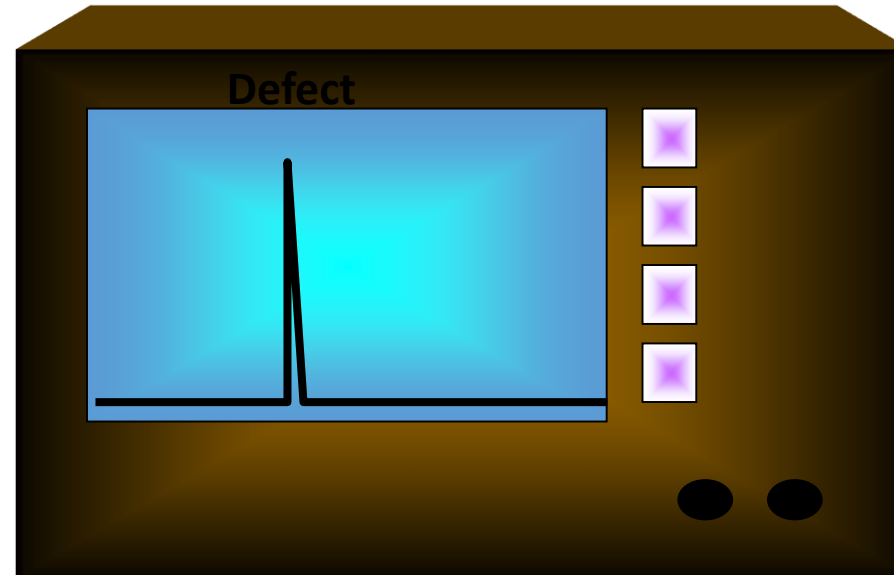
Plan View



۲- روش افت شش دسی بل (6 dB-Drop Technique)



Plan View

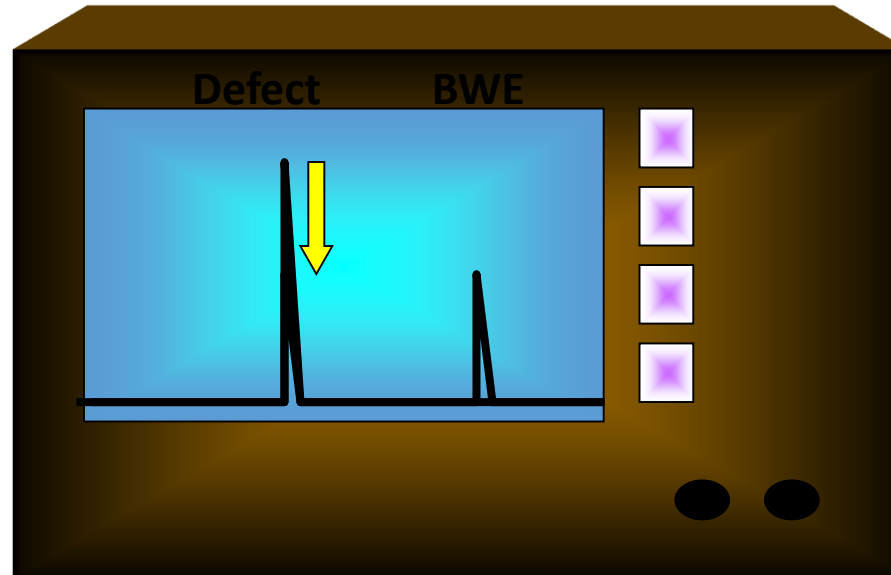
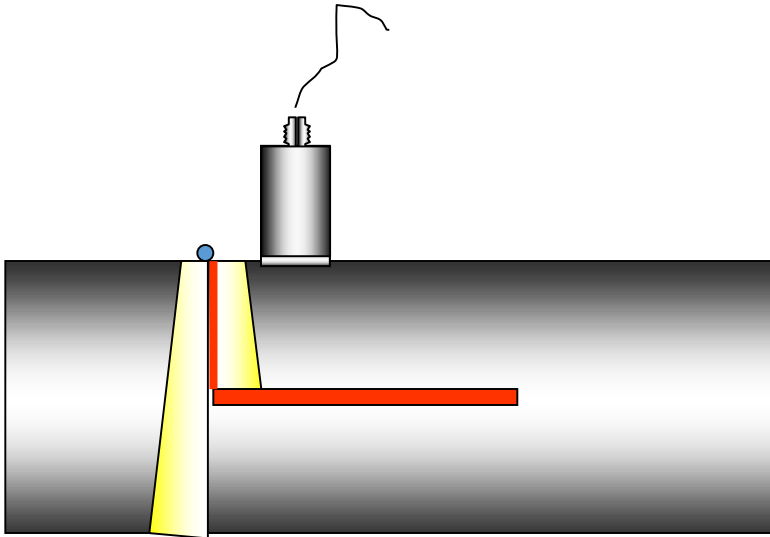


Now the whole beam is on the defect

Back wall echo is now may be reduced or disappeared



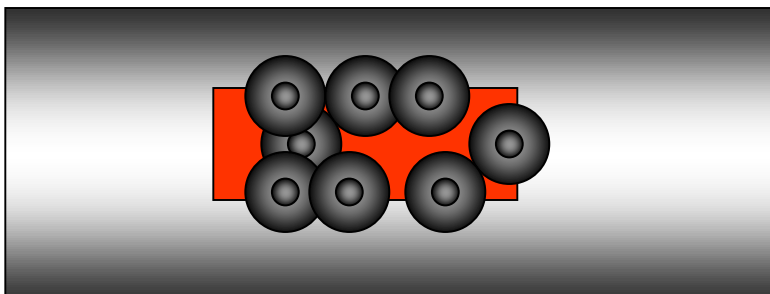
۲- روش افت شش دسی بل (6 dB-Drop Technique)



The probe is moved back until the echo is reduced by half of its original height

At this point the probe centre beam is directly on the edge of the defect

The probe is then removed and the centre is marked, and repeat to size the whole defect



Plan View



۳- روش افت ۲۰ دسی بل (20 dB-Drop Technique)

- تفاوت انرژی صوتی در ناحیه مجاور حاشیه امواج، نسبت به مرکز انتشار آن ۲۰ دسی بل است. از این خاصیت برای اندازه گیری انواع عیوب استفاده می گردد.
- در این تکنیک از حاشیه ۲۰ دسی بل امواج استفاده می شود. بنابراین ارتفاع پالس عیب در مرز پایانی هر سمت عیب به حد ۱۰٪ ارتفاع پالس مبنا خواهد رسید.

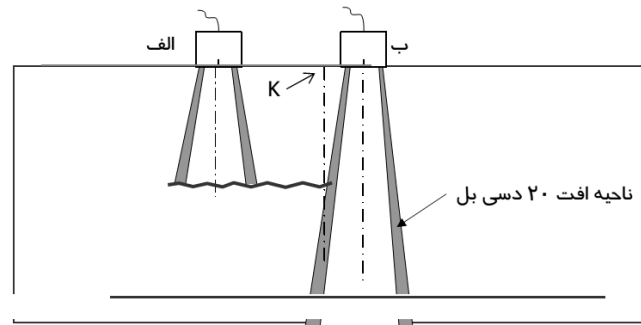
یاد آور می شود که طبق رابطه لگاریتمی دسی بل (بخش ۴)، هر گاه ارتفاع پالس ۱۰٪ کاهش یابد، معادل ۲۰ دسی بل انرژی آن تفاوت خواهد داشت .

$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } A_1 / A_2$$

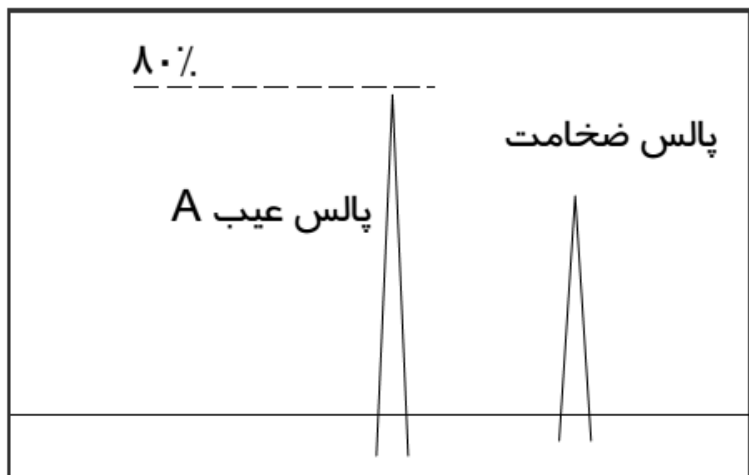
$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } 100 / 10$$

$$n \text{ dB} = 20 \cdot (\text{Log } 100 - \text{Log } 10)$$

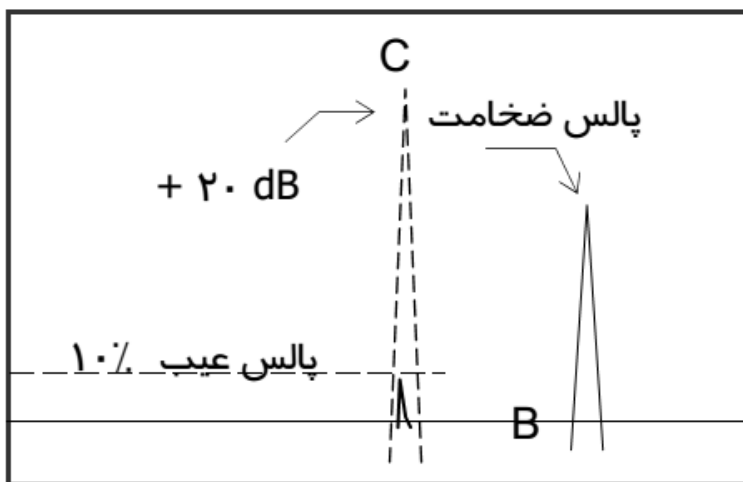
$$n \text{ dB} = 20 \cdot (2 - 1) = 20 \text{ dB}$$



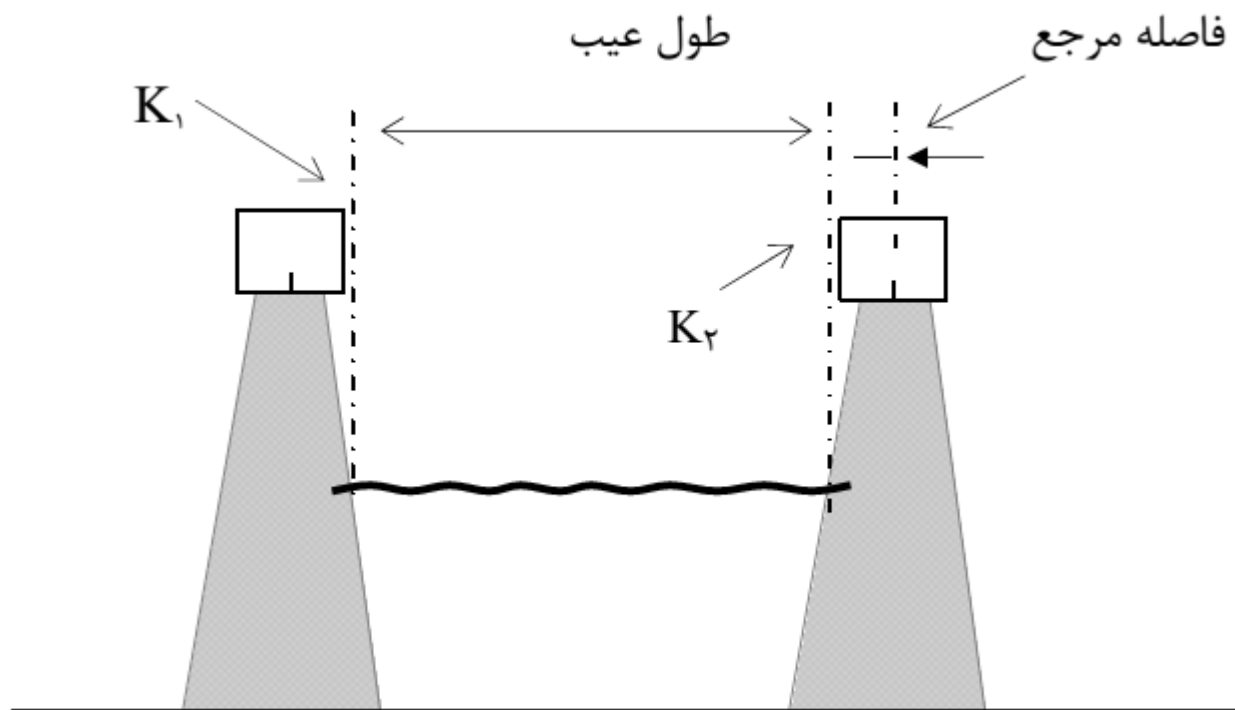
۳- روش افت ۲۰ دسی بل (20 dB-Drop Technique)



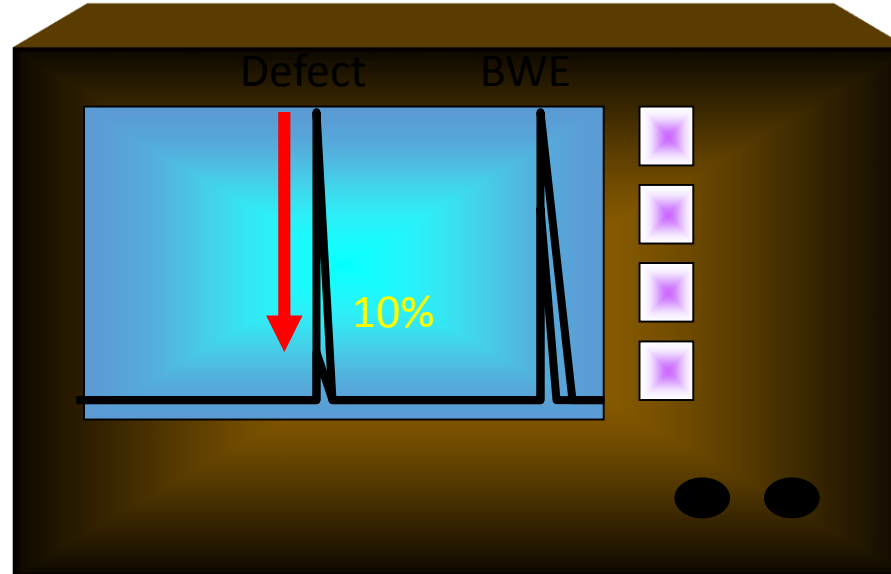
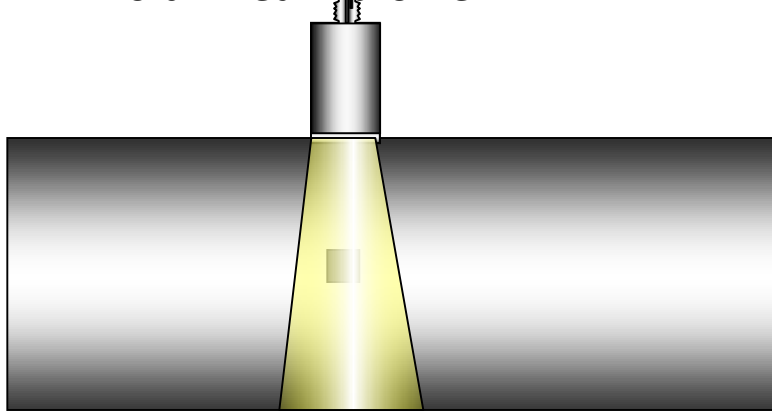
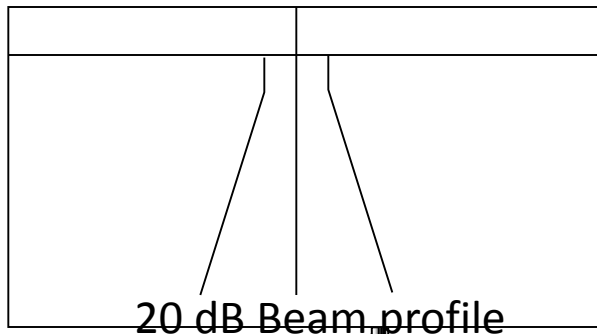
شکل ۱۸-۶-الف



شکل ۱۸-۶-ب



۳- روش افت ۲۰ دسی بل (20 dB-Drop Technique)



When the main beam is on the defect the defect signal is at it maximum

If the probe is moved and the signal is observed until it is reduced to 10% (20dB Drop), the edge of the beam is on the edge of the defect

Repeat the above at the other side of the defect

Using the pre-constructed Beam profile and a plotting card, the defect maybe sized



۳- روش افت ۲۰ دسی بل (20 dB-Drop Technique)

- قبل از آزمایش باید با رسم طیف امواج، فاصله حاشیه ۲۰ دسی بل طیف از مرکز پروب بدست آمده باشد (K1 , K2).
- چون ارتفاع واکنش امواج در تمام طول عیب یکسان نمی باشد، لذا حد ۱۰٪ ارتفاع پالس در هر سمت عیب، باید با حد ارتفاع پالس مرجع در همان سمت عیب مقایسه گردد.
- با تکنیک افت ۲۰ دسی بل انواع عیوب ریز و درشت، خطی دنداندار و حجم دار قابل اندازه گیری می باشد.

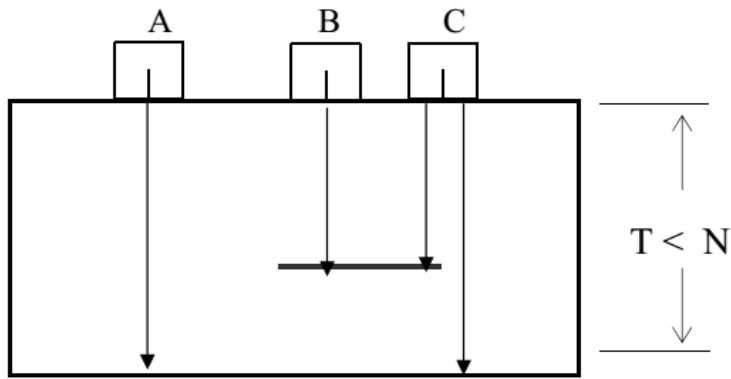


۴- روش مقایسه ای (Comparison Method)

- در این روش دامنه پالس انعکاس یافته از واکنش امواج در برخورد با سطح پشت قطعه (BWE)، مبنای مقایسه و اندازه‌گیری طول عیب قرار می‌گیرد.
- این روش مخصوص اندازه‌گیری عیوب بزرگتر از قطر پروب و روی قطعاتی است که ضخامت آنها کمتر از طول یک حوزه نزدیک و تا حداکثر ۲۰ میلی‌متر باشد.

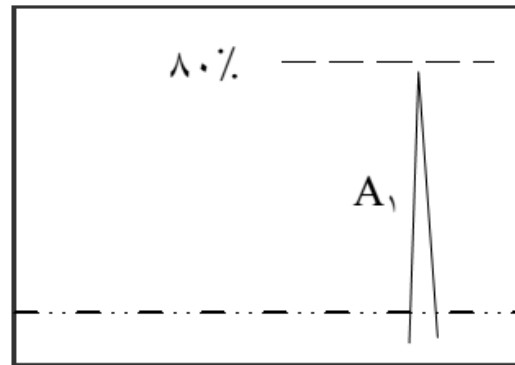


۴- روش مقایسه ای (Comparison Method)

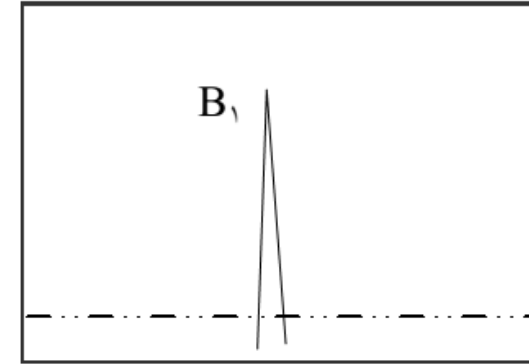


- حوزه نزدیک

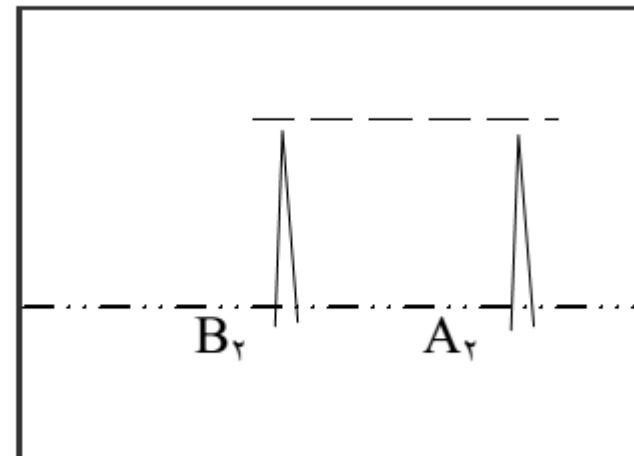
شکل ۱۹ - ۶



الف - فقط پالس ضخامت دیده می شود



ب - فقط پالس عیب دیده می شود

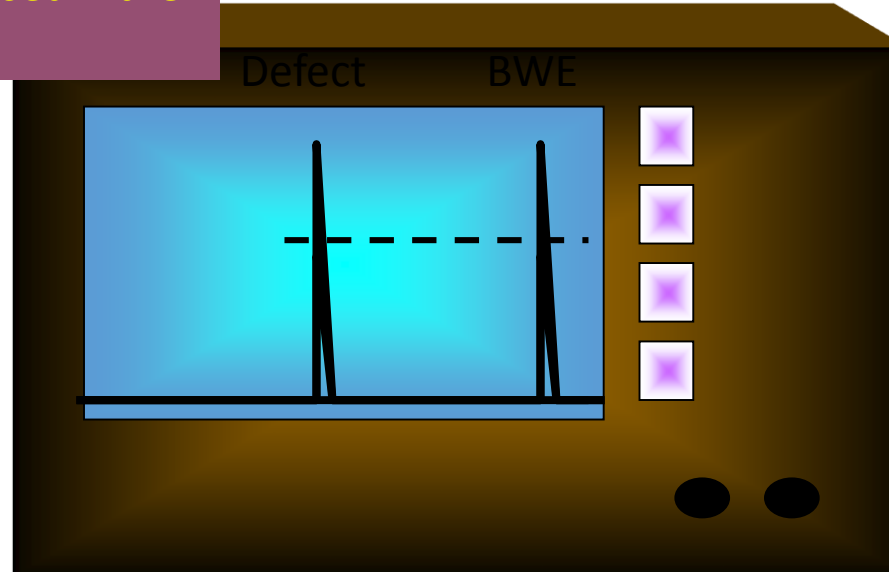
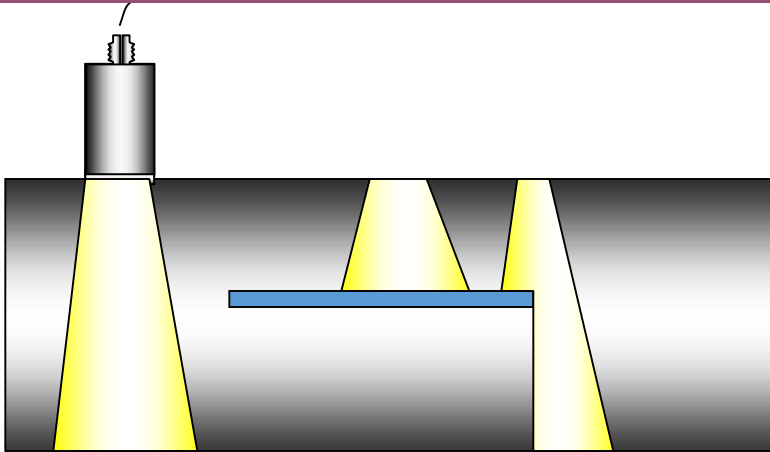


شکل ۲۰ - ۲ - ج ، پالس عیب و ضخامت مساوی هستند



۴- روش مقایسه ای (Comparison or Equalization Method)

The equalization technique can ONLY be used if the defect is halfway the thickness



At this point the whole beam is on the back wall

The BWE is at it maximum

At this point the whole beam is on the defect

The Defect echo is at it maximum

At the edge of the defect, half of the beam is on the defect, and another half is on the back wall

The defect echo is at equal height as the back wall

The point is marked as the edge of defect

akami@semnan.ac.ir، دکتر عبدالواحد کمی،

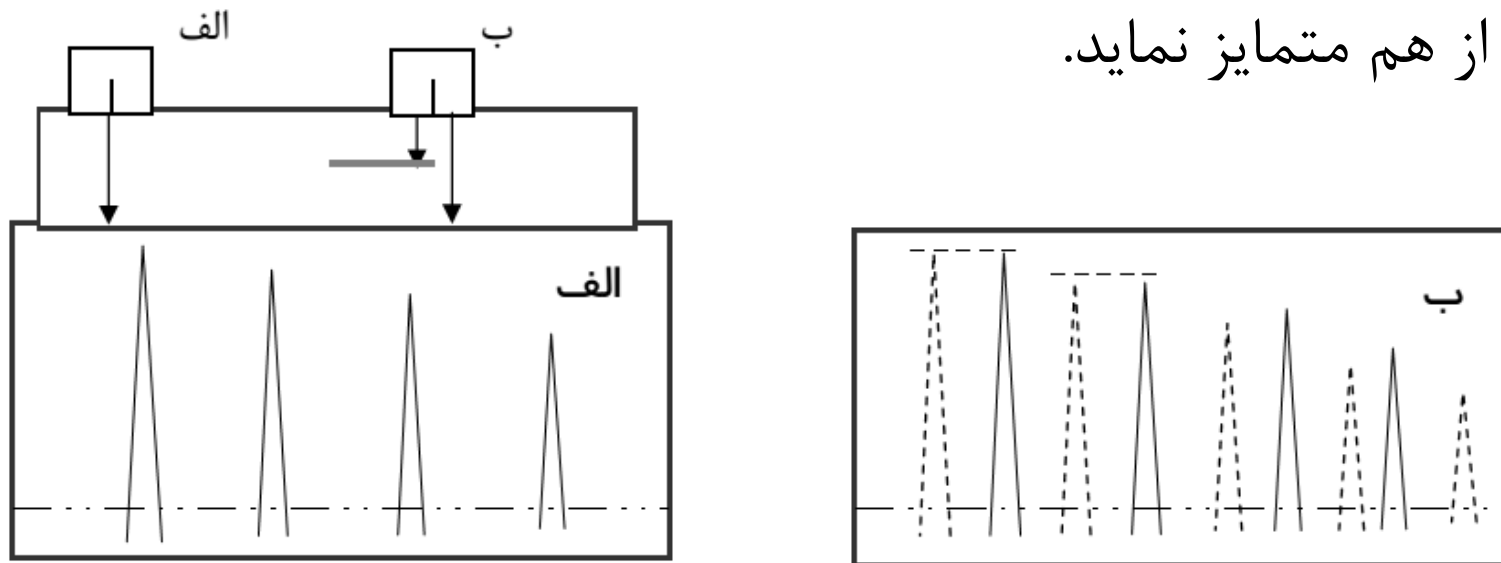
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان



۵- روش تکرار پالس (Multiple Echo Pattern)

این روش برای ضخامت های کمتر از ۱۰ میلی متر و عیوب برابر و یا بزرگتر از قطر موثر پروب مناسب است.

پروب مورد استفاده باید از تفکیک سازی بسیار خوبی برخوردار بوده و بتواند فاصله عیوب مجاور هم را بخوبی از هم متمایز نماید.



شکل ۲۱-۶، الف و ب

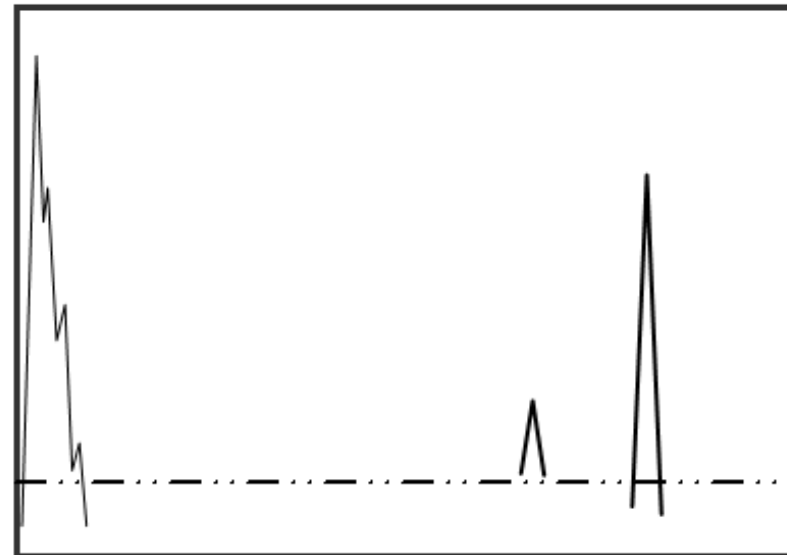
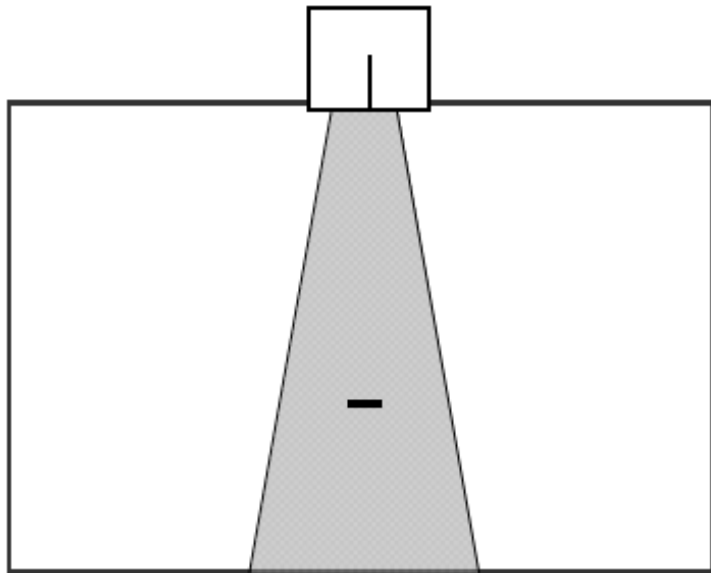
۶- نمودار دی جی اس (Distance Gain Size) DGS

- به هر عیبی که مساحت آن کمتر از مساحت مؤثر پروب باشد، عیب ریز گفته می‌شود.
- با این تعریف چنانچه یک عیب ریز در مسیر امواج قرار گیرد، بخشی از امواج از اطراف آن عبور نموده و به انتهای ضخامت قطعه برخورد می‌نمایند. در چنین حالتی دو پالس انعکاسی از ضخامت قطعه و عیب همزمان در صفحه تصویر ظاهر خواهند شد که ارتفاع پالس ضخامت آن، به اندازه عیب بستگی خواهد داشت.
- بنابراین برای تعیین اندازه یک عیب ریز، باید رابطه‌ای بین پالس واکنش عیب و پالس ضخامت برقرار نموده و با مقایسه شدت واکنش‌ها، اندازه عیب تعیین گردد. برای این منظور از نمودار منحنی DGS استفاده می‌شود.

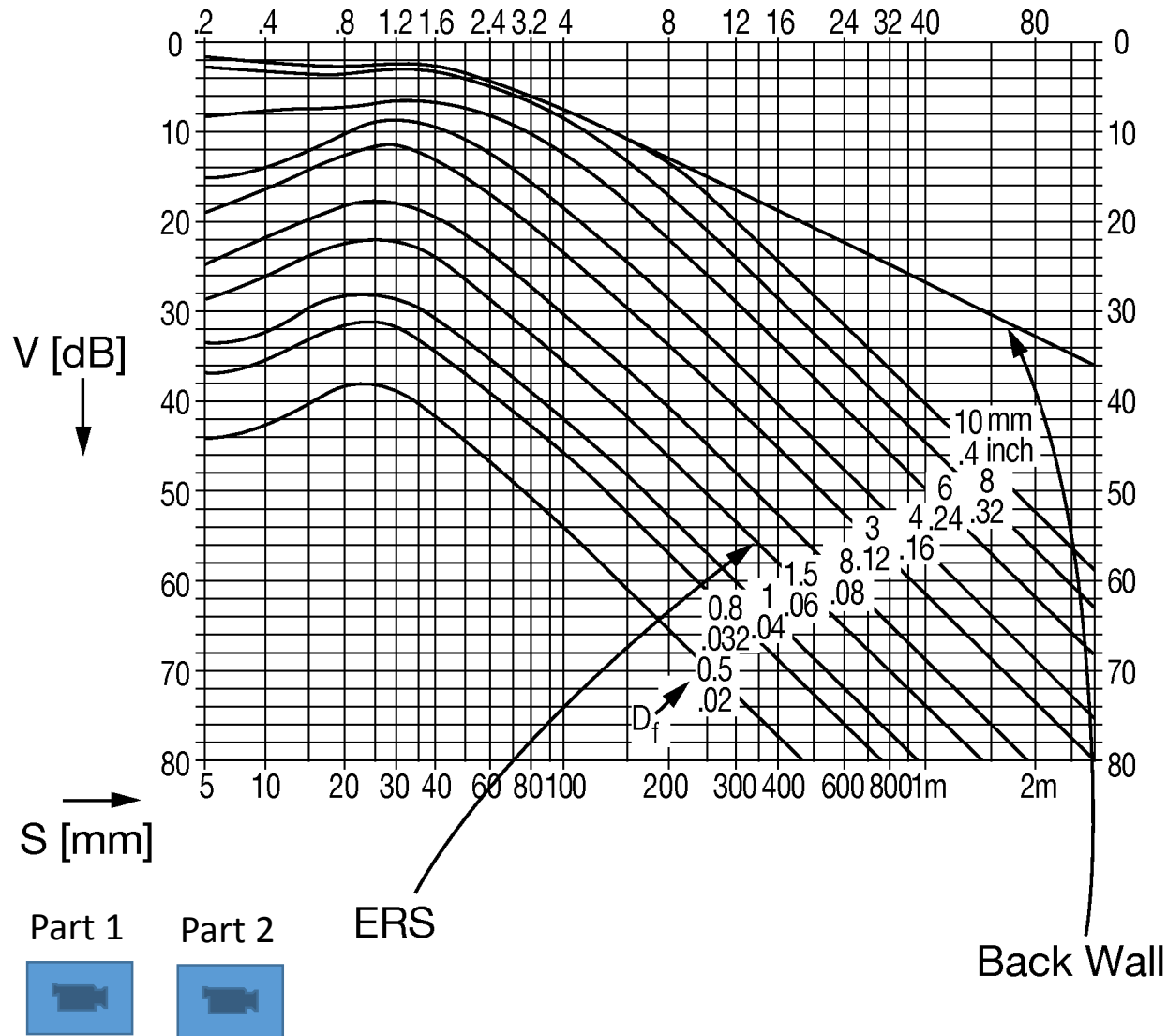


۶- نمودار دی جی اس (Distance Gain Size) DGS

■ در شکل زیر با جابجائی پروب تغییر قابل ملاحظه‌ای در شکل پالس ضخامت دیده نخواهد شد.



۶- نمودار دی جی اس DGS (Distance Gain Size)



■ محور افقی نمودار DGS بر اساس ضخامت (فاصله طی شده امواج) و محور عمودی، بر پایه شدت انعکاس امواج در واحد دسی بل تقسیم بندی شده و برای هر اندازه از قطر معادل عیب (Flat یا Bottom Hole-FBH (Equivalent Reflector Size یک منحنی رسم گردیده است.



۶- نمودار دی جی اس (Distance Gain Size) DGS

- ۱- پالس بازتابش ضخامت (BWE) در یک ناحیه بدون عیب روی صفحه تصویر دیده شده و ارتفاع آن تا ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می‌شود. دسی بل معادل یادداشت می‌شود.
- ۲- سپس برای آشکارسازی عیب، پروب به آرامی روی سطح قطعه حرکت داده می‌شود. به منظور سهولت در یافتن محل عیب، آمپلی‌فایر به دلخواه تقویت می‌گردد. پس از ظاهر شدن پالس عیب، با جابجائی پروب، حداکثر ارتفاع پالس عیب بدست خواهد آمد.
- ۳- با افزایش دسی بل، ارتفاع پالس عیب به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و دسی بل دستگاه و عمق عیب یادداشت می‌گردد.



۶- نمودار دی جی اس (Distance Gain Size) DGS

۴- روی محور افقی نمودار DGS از دو نقطه A و B معادل ضخامت و عمق عیب دو خط به موازات محور عمودی رسم می‌شود.

۵- از نقطه تقاطع خط عمودی ضخامت با منحنی هاشورزده، معادل دسی بل افزوده شده (تفاضل بند ۱ و ۳) پائین آمده و نقطه C به دست می‌آید.

۶- از نقطه بدست آمده یک خط بموازات محور افقی رسم می‌گردد تا خط عمودی عیب را در نقطه D قطع نماید.

۷- این نقطه روی یکی از منحنی‌های نمودار قرار می‌گیرد. عدد نوشته شده روی منحنی نشان دهنده قطر و یا مساحت معادل عیب خواهد بود.



حد آشکارسازی عیوب

مثال :

با یک پروب صفر درجه ، به قطر ۲۰ میلی متر و فرکانس ۲/۵ مگاهرتز، قطعه ای از جنس فولاد به ضخامت ۵۰۰ میلی متر مورد آزمایش می باشد .
تعیین حداقل قطر معادل عیوب قابل تشخیص در این قطعه، با روش نمودار DGS مورد بررسی قرار می گیرد (شکل ۱۱ - ۶) .

شرایط اولیه آزمایش :

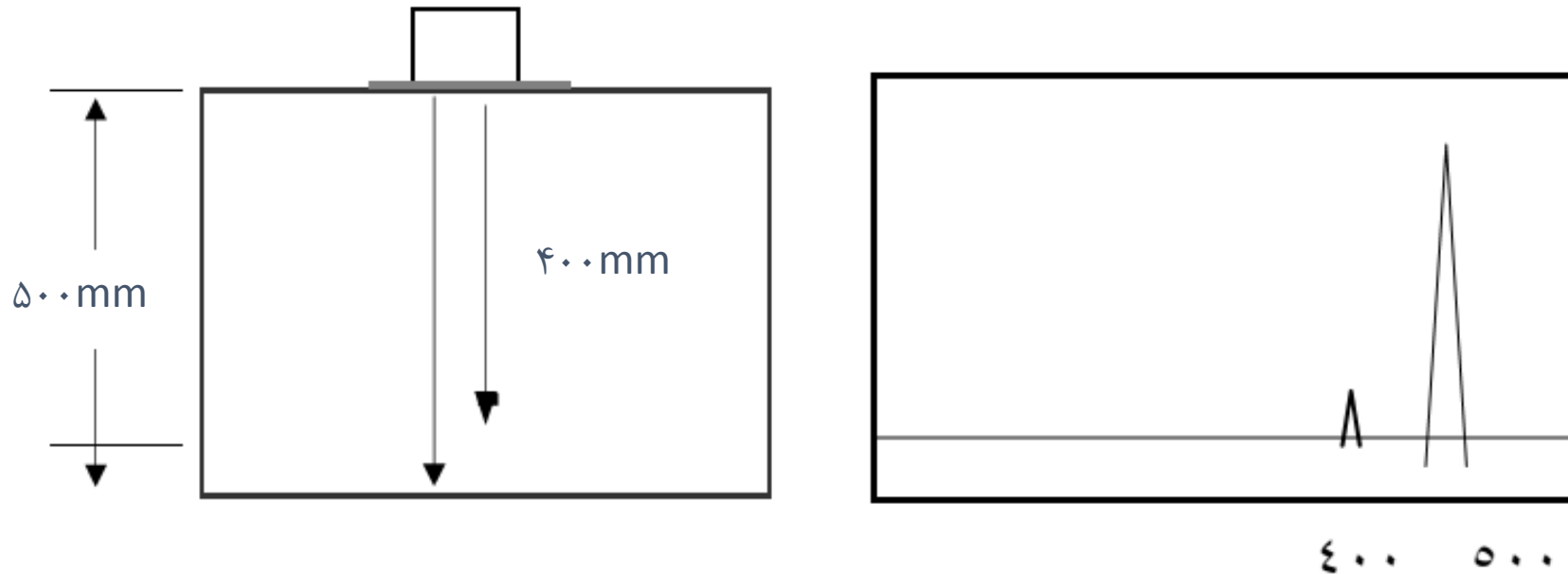
- سیال رابط آب می باشد .
- قطعه بدون اتلاف انرژی صوتی فرض می شود .
- در قطعه یک عیب ریز وجود دارد .
- صفحه دستگاه آلتراسونیک بدون علائم ریز چمنی (Grass) فرض شده است .



حد آشکارسازی عیوب

$$70 - 38 = 32$$

تفاوت دسی بل دو پالس به ارتفاع ۸۰٪



حد آشکارسازی عیوب

نمودار DGS

محل تقاطع نقطه E اندازه عیب را ۱.۵ میلیمتر نشان می دهد.

$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } A_1 / A_2 \quad \text{رابطه ۴-۵، بخش ۴}$$

$$32 \text{ dB} = 20 \cdot (\text{Log } 100 - \text{Log } A_2)$$

$$32 \text{ dB} = 20 \cdot (2 - \text{Log } A_2)$$

$$20 \cdot \text{Log } A_2 = 40 - 32 = 8 \text{ dB}$$

$$\text{Log } A_2 = 8 / 20 = 0.4 \Rightarrow A = 2.5 \text{ mm}$$

