

یا حق

آزمون آرایه فازی

تئوری مقدماتی برای کاربردهای صنعتی

و

CODE CASE 2235-10

مترجم:

کاوه پوررضا

ویراست:

لاله نوری

یا هو

پیشگفتار

با ورود آزمون فرا صوتی به قرن بیست و یکم، شاید مهم‌ترین پیشرفت در این عرصه، افزایش دسترسی و مقبولیت دستگاه‌های قابل حمل آرایه فازی^۱ می باشد. آزمون آرایه فازی بر مبنای همان اصول فیزیکی موج است که با سابقه ای پنجاه ساله در دستگاه‌های عیب یاب معمولی^۲ و ضخامت سنج‌ها^۳ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اگرچه توانایی آزمون آرایه فازی افزایش یافته است؛ اما این مهم نیاز به مهارت بالا و دانش فنی لازم کاربر دستگاه را ایجاد نموده است. بنابراین معرفی یک دستگاه آرایه فازی همواره نیازمند منابع آموزشی مناسب است.

این کتاب افتخار دارد تا روش جدید آرایه فازی را معرفی نموده و منبعی خوب در اختیار تمامی علاقمندان تکنولوژی آرایه فازی قرار دهد. کتاب به شکلی ساده به معرفی آزمون فراصوتی آرایه فازی به افراد مبتدی تا با تجربه، که علاقمند به مرور اصول اولیه باشند، می پردازد. این راهنما با شرحی بر آزمون آرایه فازی و چگونگی عملکرد آن آغاز شده سپس به طور اجمالی به نحوه انتخاب پراب و دستگاه می پردازد و با اطلاعات مرجع و واژه نامه آرایه فازی به پایان می رسد.

این کتاب به بخش های زیر تقسیم شده است:

فصل 1، مقدمه

این فصل به طور مختصر به تاریخچه آزمون فراصوتی معمولی و آرایه فازی می پردازد. همچنین مزایای آزمون آرایه فازی در مقایسه با آزمون فراصوتی معمولی برشمرده می شود.

فصل 2، پراب های آرایه فازی

این فصل به شرح چگونگی ساخت مبدل های فراصوتی^۴ و پراب های آرایه فازی و ویژگی های آنها می پردازد. خواننده با مفاهیم مراتب قانون کانونی^۵، شکل دهی و هدایت باریکه موج^۶ و تمرکز مبدل^۷ آشنا می شود.

فصل 3 اصول تصویر سازی آرایه فازی

¹ Portable Phased Array Imaging Instrument

² Conventional Flaw Detector

³ Thickness Gage

⁴ Ultrasonic Transducer

⁵ Focal Law

⁶ Beam Steering & Beam Shaping

⁷ Transducer Focusing

این فصل به شرح قالب‌های تصویری گوناگون که برای آرایه داده‌های بازرسی در آزمون فراصوت معمولی و آرایه فازی به کار می‌روند می‌پردازد. همچنین روبش‌های A^1 ، روبش‌های B^2 ، روبش‌های C^3 ، روبش خطی^۴ و روبش قطاعی^۵ را معرفی می‌کند.

فصل 4 دستگاه آرایه فازی

این فصل شامل مروری بر انواع دستگاه‌های موجود در بازار است. همچنین مشخصات و ویژگی‌های مهمی که باید در انتخاب دستگاه‌های فراصوت معمولی و آرایه فازی مورد توجه قرارگیرد، توضیح داده می‌شود.

فصل 5 تنظیمات آزمون آرایه فازی و قالب نمایش

این فصل اطلاعات بیش‌تری در رابطه با تفسیر قالب‌های نمایش و اندازه‌گیری آرایه می‌دهد.

ضمیمه‌ها

این بخش‌ها شامل اطلاعات مرجع مختلفی می‌باشند. از جمله روابط کاربردی فراصوتی، سرعت در مواد، امپدانس صوتی، تبدیل یکا، منابعی برای مطالعه بیش‌تر و انواع وسایلی که برای به کارگیری این تکنولوژی در دسترس هستند.

واژه نامه آرایه فازی

بخش پایانی کتاب مجموعه‌ای کاربردی از تعاریف اصطلاحات آزمون فرا صوتی معمولی و آرایه فازی آرایه می‌دهد.

امیدواریم این کتاب برای شما در انجام بازرسی‌ها توسط آرایه فازی مفید واقع شود.

¹ A-Scan

² B-Scan

³ C-Scan

⁴ Linear Scan

⁵ Sectorial Scan

1- مقدمه

1.2. مقدمه‌ای عمومی بر آزمون آرایه فازی

بسیاری از مردم با کاربرد تصویر فراصوتی در علم پزشکی آشنا هستند. در این روش امواج صوتی به منظور ایجاد تصاویر با کیفیتی از اعضاء داخلی بدن انسان به کار گرفته می‌شود. سونوگرام‌های^۱ پزشکی توسط پراب‌های چند المانه^۲ تحت عنوان آرایه‌های فازی به همراه سخت افزار و نرم افزار مربوطه پدید می‌آیند، اما کاربردهای تکنولوژی آرایه فازی به تشخیص پزشکی محدود نمی‌گردد.

در سالهای اخیر، سیستم‌های آرایه فازی کاربرد صنعتی روزافزونی در آرایه سطوح جدیدی از داده‌های حاصل از آزمون فراصوت و روش‌های نمایش آن در زمینه‌های بازرسی جوش^۳، آزمون چسبندگی^۴، نمایه ضخامت^۵ و شناسایی ترک حین سرویس^۶ دارند.

دستگاه‌های تجاری فراصوت تا سال‌ها از مبدل‌های تک المانه^۷ با یک کریستال پیزوالکتریک^۸ به منظور تولید و دریافت امواج صوت، صوت، مبدل‌های دو المانه^۹ با کریستال‌های ارسال کننده^{۱۰} و دریافت کننده^{۱۱} و یا جفت مبدل^{۱۲} شامل دو مبدل تک المانه، یکی برای ارسال و دیگری برای دریافت (روش فرستادن-گرفتن^{۱۳} و روش عبور کامل^{۱۴}).

این شیوه‌ها هنوز هم به طور گسترده در دستگاه‌های تجاری موجود شناسایی عیوب و ضخامت سنجی به کار می‌روند، اما روش آرایه فازی امروزه به مهم‌ترین روش در عرصه بازرسی غیرمخرب فراصوتی تبدیل شده است.

¹ Sonogram

² در این کتاب واژه ی پراب برای آرایه‌ای از المان ها و واژه مبدل برای یک یا دو المان به کار رفته است.

³ Weld Inspection

⁴ Bond Testing

⁵ Thickness Profile

⁶ In-Service Crack Detection

⁷ Single Element

⁸ Piezoelectric Crystal

⁹ Double Element Transducer

¹⁰ Transmitting Crystal

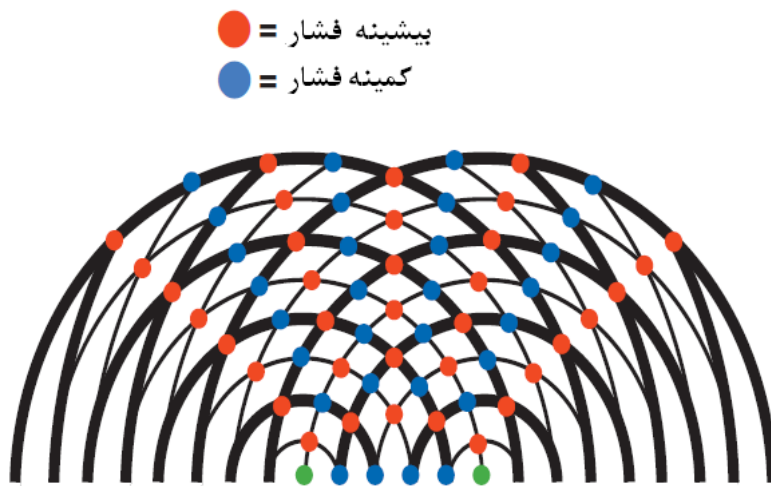
¹¹ Receiving Crystal

¹² Tandem

¹³ Pitch-and-Catch

¹⁴ Through-Transmission

اصل برهم کنش سازنده و مخرب امواج^۱ توسط دانشمند انگلیسی توماس یونگ^۲ در سال 1801 بر اساس الگوهای تداخلی دو منبع نقطه‌ای نور، نشان داده شد، بر مبنای این اصل موج‌های هم‌فاز یک‌دیگر را تقویت کرده و موج‌های غیر هم‌فاز یک‌دیگر را خنثی می‌کنند.



شکل 1.1. الگوی تداخلی منبع دو نقطه‌ای

جابجایی فاز^۳ یا فازی کردن^۴ در واقع روشی برای کنترل این برهم‌کنش‌ها از طریق جابجایی زمان^۵ جبهه موج^۶ تشکیل شده از دو دو یا چند منبع است؛ از این طریق می‌توان به خمش، هدایت یا تمرکز انرژی جبهه موج مبادرت نمود.

در دهه 1960 محققان به گسترش سیستم‌های آرایه‌فازی با مبدل‌هایی که دارای چند منبع نقطه‌ای بود و توسط همین الگوهای برخورد کنترل می‌شد، اقدام کردند.

در اوایل دهه 1970 سیستم‌های تجاری آرایه‌فازی برای تشخیص پزشکی به کار گرفته شدند. در آن‌ها از باریکه‌های هدایت شده^۷ شده برای تولید تصاویر سطح مقطع بدن انسان استفاده می‌شد.

¹ Constructive and destructive Interaction of Waves

² Thomas Young

³ Phase-Shifting

⁴ Phasing

⁵ Time-Shifting

⁶ Wave Front

⁷ Steered Beam



شکل 2.1. آرایه‌های فازی به کار رفته در تشخیص‌های پزشکی

در ابتدا، استفاده از سیستم‌های آرایه فازی فراصوت محدود به زمینه‌ی پزشکی بود و تصاویر به دست آمده چون مربوط به اعضای شناخته شده بدن انسان بودند، به راحتی تفسیر می‌گشتند. اما در کاربردهای صنعتی سیستم‌های آرایه فازی، به واسطه‌ی خواص صوتی بسیار گسترده فلزات، کامپوزیت‌ها، سرامیک‌ها، پلاستیک‌ها و فایبرگلاس، در کنار تنوع ضخامت و شکل، چالش بسیار بزرگی وجود دارد. اولین سیستم‌های صنعتی آرایه فازی در دهه 1980 معرفی شدند. این سیستم‌ها بسیار بزرگ بوده و برای تحلیل و تفسیر نتایج نیاز به انتقال داده‌ها به رایانه داشتند و معمولاً در بازرسی حین سرویس تولیدکننده‌های جریان الکتریکی به کار می‌رفتند. پس از آن عمدتاً در بازرسی از تجهیزات انرژی هسته‌ای، شافت‌های چکش‌کاری¹ و اجزا توربین مورد توجه قرار گرفتند.

دستگاه‌های آرایه فازی قابل حمل و دارای باتری برای کاربردهای صنعتی از سال 2000 به بعد پدیدار شدند. در طراحی آنالوگ برای هدایت باریکه، دستگاهی حجیم با مصرف برق زیاد لازم بود. اما با گذار به دنیای دیجیتال و توسعه سریع ریزپردازش‌گرها² نسل جدیدی از دستگاه‌های آرایه فازی رونمایی شد. از مجموع دسترسی به بردهای الکترونیکی با اجزاء ظریف و کم‌مصرف و بهینه سازی مصرف انرژی منجر به تولید دستگاه‌های کوچک برای این تکنولوژی پیشرفته شد. تا بدانجا که تنظیمات الکترونیکی، پردازش اطلاعات، صفحه نمایش و آنالیز همگی در یک دستگاه قابل حمل جمع شدند و از این لحظه درها برای حضور این تکنولوژی در بخش صنعتی گشوده شد. همزمان پراب‌های آرایه فازی نیز برای کاربردهای مرسوم استاندارد سازی شدند.

2.1. سیستم آرایه فازی چیست؟

مبدل‌های فراصوت اغلب شامل یک المان فعال هستند که تولید و دریافت امواج صوتی بسامد بالا را برعهده دارند یا دو المان جفت شده که یکی ارسال و دیگری دریافت کننده است. در مقابل، پراب‌های آرایه فازی شامل مجموعه‌ای از مبدل‌ها به تعداد 16 تا 256 المان کوچک است که هر یک می‌توانند به طور مستقل ارسال و دریافت داشته باشند. (شکل 1.3 و 1.4)

¹ Forged Shaft

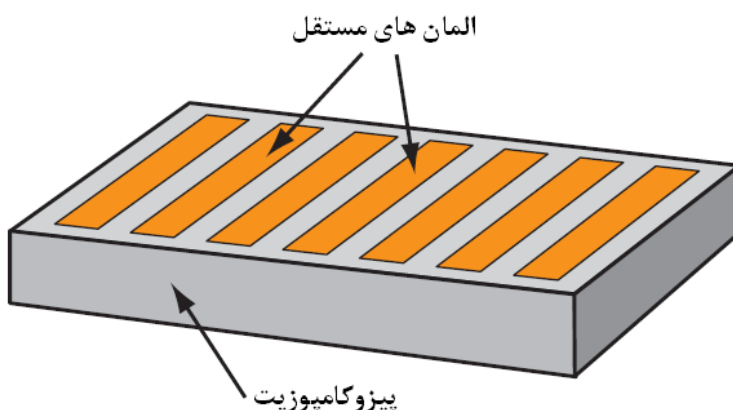
² Microprocessors

المان ها می توانند به صورت نواری (آرایه خطی)^۱، ماتریس دو بعدی^۲، حلقه (آرایه حلقوی)^۳، ماتریس دایره‌ای (آرایه دایره‌ای)^۴ یا شکل‌های پیچیده‌تر چیده شوند. پراب های آرایه فازی همچون مبدل‌های معمولی برای روش تماسی^۵، موج زاویه‌ای^۶ به همراه کفشک^۷، یا روش غوطه‌وری^۸ طراحی شدند. بسامد^۹ پراب‌های آرایه فازی همچون مبدل‌ها اغلب در بازه‌ی 2 تا 10 مگاهرتز قرار دارد. قرار دارد. در ضمن یک سیستم آرایه فازی شامل تجهیزات کامپیوتری پیچیده‌ای است که وظیفه‌ی کنترل مجموعه المان‌ها، دریافت و دیجیتالی کردن^{۱۰} پژواک‌های برگشتنی^{۱۱} و ترسیم اطلاعات پژواک در قالب‌های مختلف استاندارد را بر عهده دارد.

برخلاف عیب یاب‌های معمولی، سیستم آرایه فازی توانایی حرکت دادن باریکه موج در گستره‌ای از زاویه‌ها یا یک مسیر خطی یا تمرکز پویا^{۱۲} در عمق‌های مختلف را داشته و از این رو قابلیت و انعطاف پذیری بازرسی را افزایش داده است.



شکل 1. 3. پراب‌های معمول در آرایه فازی



شکل 1. 4. ساختار معمول پراب چندالمانه

1. 3. چگونه فرا صوت فازی کار می کند؟

-
- ¹ Strip (Linear Array)
 - ² 2D Matrix
 - ³ Ring (Annular Array)
 - ⁴ Circular Matrix (Circular Array)
 - ⁵ Direct Contact
 - ⁶ Angle Beam
 - ⁷ Wedge
 - ⁸ Immersion
 - ⁹ Frequency
 - ¹⁰ Digitizing
 - ¹¹ Returning Echo
 - ¹² Dynamic focus

مهم‌ترین نکته‌ای که باید مدنظر داشت آنست که، سیستم آرایه فازی از اصل فیزیکی فاز موج^۱ استفاده می‌کند. این سیستم زمان بین پالس‌های فراصوت^۲ را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که جبهه‌های موج تولید شده توسط هر المان آرایه با یکدیگر ترکیب شوند. افزایش یا حذف انرژی ناشی از این پدیده موجب هدایت و شکل‌دهی به باریکه موج می‌گردد. این مهم با پالس‌دهی^۳ مستقل المان-المان‌های پراب با اندک اختلاف زمانی مقدور می‌گردد.

اغلب المان‌ها در گروه‌های 4 تا 32 تایی پالس‌دهی می‌شوند و با افزایش اندازه روزنه^۴ می‌توان حساسیت مؤثر^۵ را افزایش داده و با کاهش گستردگی موج^۶ به تمرکز و وضوح بیشتری دست یافت.

نرم افزاری که با عنوان محاسبه‌گر قانون کانونی^۷ شناخته می‌شود زمان تأخیر^۸ برای شلیک^۹ هر گروه از المان‌ها را به منظور تولید تولید شکل باریکه برعهده دارد. این نرم افزار خصوصیات پراب، کفشک، ابعاد و خواص صوتی ماده مورد آزمون را در نظر می‌گیرد.

برنامه‌ریزی ترتیب پالس‌دهی توسط نرم افزار دستگاه انتخاب شده و جبهه‌های متعددی از موج را ایجاد می‌نماید. این جبهه‌های موج با تداخل‌های سازنده و مخرب به یک جبهه موج اصلی بدل شده و با عبور از ماده، ترک‌ها، ناپیوستگی‌ها^{۱۰}، دیواره‌های پشتی^{۱۱} و مرزهای دیگر ماده را همچون موج فراصوت معمولی بازتاب می‌دهند. باریکه می‌تواند به شکلی پویا در زاویه‌ها، فاصله‌های کانونی^{۱۲} و اندازه نقطه‌های کانونی^{۱۳} مختلف هدایت شود و از این طریق یک پراب، توانایی آزمودن ماده در طیف وسیعی از حجم و ابعاد را به دست می‌آورد.

هدایت باریکه بسیار سریع رخ داده، بنابراین روبش^{۱۴} در زاویه‌های گوناگون با عمق‌های کانونی مختلف در کسری از ثانیه انجام می‌شود.

پژواک‌های برگشتنی^{۱۵} توسط المان‌های مختلف یا گروهی از المان‌ها دریافت شده و به منظور جبران تأخیر کفشک^{۱۶} به صورت تغییر زمان یافته^{۱۷} با یکدیگر جمع می‌شوند. برخلاف مبدل‌های تک المان که اثر کل باریکه برگشتی را ثبت می‌کنند، یک پراب آرایه فازی توانایی طبقه‌بندی جبهه موج بر مبنای زمان بازگشت و دامنه^{۱۸} برای هر المان را دارا می‌باشد. هر قانون کانونی بازگشتی توسط نرم‌افزار دستگاه پردازش شده و نشانگر یک جزء زاویه‌ای از باریکه، یک نقطه ویژه در طول مسیر خطی و/یا بازتابی

¹ Wave Physics Principle of Phasing

² Ultrasonic Pulse

³ Pulsing

⁴ Aperture

⁵ Effective Sensitivity

⁶ Beam Spreading

⁷ Focal law Calculator

⁸ Delay Time

⁹ Firing

¹⁰ Discontinuity

¹¹ Back Wall

¹² Focal Distances

¹³ Focal Spot Size

¹⁴ Scan

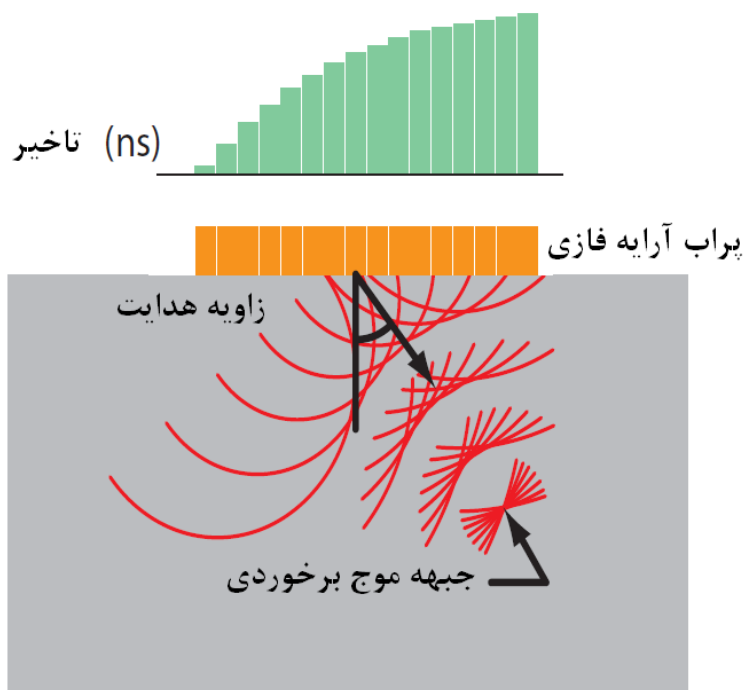
¹⁵ Returning Echo

¹⁶ Wedge Delay Compensate

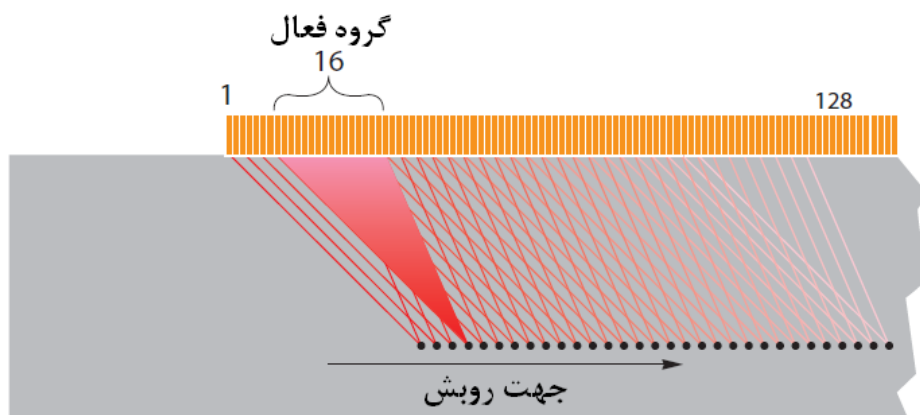
¹⁷ Time-Shifted

¹⁸ Amplitude

از یک عمق کانونی خاص می باشد. (شکل 1.5 و 1.6). پس از این مرحله اطلاعات پژواک در هریک از قالب‌های مختلف نمایش داده می‌شود.



شکل 1.5. مثالی از یک باریکه زاویه‌ای تولید شده توسط یک پراب تخت با تاخیر متغیر



شکل 1.6. مثالی از باریکه زاویه‌ای متمرکز در روبش خطی

1.4. برتری‌های آرایه فازی نسبت به فراصوت معمولی

سیستم‌های آرایه فازی توانایی به کارگیری در موقعیت‌هایی که توسط عیب‌یاب‌های فراصوت معمولی مورد بازرسی قرار می‌گرفتند را دارا می‌باشد. بازرسی جوش و ترک‌یابی مهم‌ترین کاربردهای این روش بوده و این آزمون‌ها در طیف گسترده‌ای از صنایع، از جمله هوا فضا، تولید برق، پتروشیمی و نفت و گاز، تولید شمش و مقاطع فلزی، ساخت و نگهداری خطوط لوله، فلزات ساختمانی و

تولیدات عمومی، دارای اهمیت ویژه می باشند. همچنین آرایه‌های فازی در بررسی خوردگی به خوبی نمایه^۱ ضخامت باقی مانده دیواره را ترسیم می نماید.

مزایای تکنولوژی آرایه فازی نسبت به فراصوت معمولی از قابلیت استفاده از مجموعه المان‌ها به منظور هدایت، تمرکز و روبش باریکه‌ها در یک ساختار پرآب نشأت می‌گیرد. هدایت باریکه، که اغلب به روبش S^۲ (روبش قطاعی) معروف است، می‌تواند برای ترسیم اجزا در زاویه‌های مورد نظر به کار رود. این امکان به میزان قابل توجهی بازرسی قطعات با شکل پیچیده را ساده می‌کند.

در موقعیت‌هایی که روبش مکانیکی با محدودیت مواجه است، حرکت ناچیز پرآب و همچنین قابلیت حرکت باریکه بدون نیاز به جابجایی پرآب به بازرسی قطعات کمک می‌کند. روبش قطاعی عمده‌تاً برای بازرسی جوش به کار می‌رود. قابلیت آزمودن جوش‌ها با زاویه‌های مختلف توسط یک پرآب، احتمال یافتن عیوب را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. تمرکز الکترونیکی^۳ نیز شکل و اندازه باریکه را برای تشخیص عیوب با موقعیت‌های قابل پیش بینی بهبود می‌بخشد. در ضمن قابلیت تمرکز در عمق‌های مختلف توانایی اندازه‌گیری^۴ عیوب بحرانی در بازرسی از حجم^۵ را افزایش می‌دهد. تمرکز به میزان قابل توجهی نسبت سیگنال به نوفه^۶ را در کاربرد مورد نظر بهبود بخشیده و روبش الکترونیکی در طول گروه‌های متعددی از المان‌ها ساخت سریع تصاویر روبش C را میسر می‌سازد. قابلیت آزمون هم‌زمان زاویه‌های متعدد و/یا روبش سطح بزرگی از قطعه مورد آزمون در کنار روبش خطی سرعت بازرسی را افزایش می‌دهد. سرعت بازرسی آرایه فازی می‌تواند تا ده بار بیش‌تر از فراصوت معمولی باشد که این مساله برتری بزرگی برای آن به حساب می‌آید.

از معایب سیستم‌های آرایه فازی قیمت نسبتاً بالا و نیاز به کاربر^۷ آموزش دیده است. اگرچه این هزینه‌ها در مقابل طیف گسترده‌ی قابلیت‌ها و صرفه جویی در زمان بازرسی قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

¹ Profile

² S-Scan

³ Electronic Focusing

⁴ Sizing

⁵ Volumetric Inspection

⁶ Signal-to-Noise Ratio

⁷ Operator

2- پراب‌های آرایه فازی

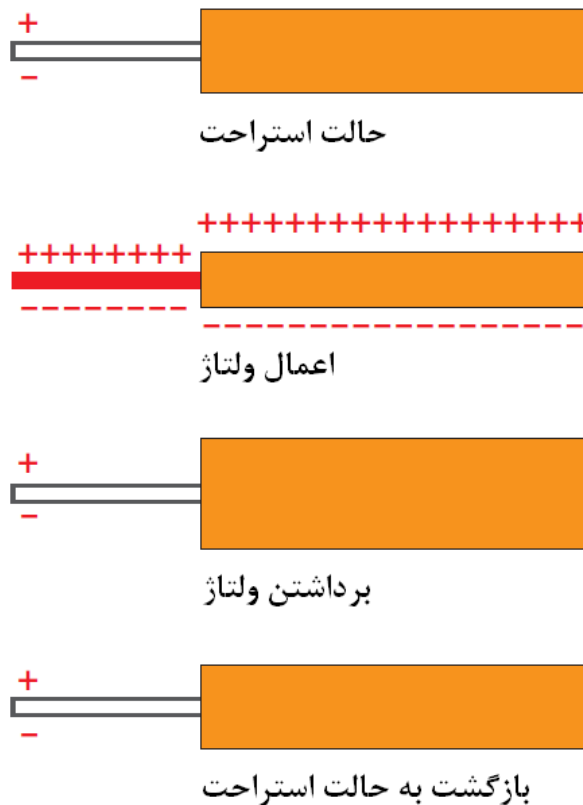
2. 1. ویژگی‌های باریکه فراصوت

مبدل‌های معمولی تولیدکننده موج طولی¹ فراصوت همچون منبعی از ارتعاشات مکانیکی یا امواج صوتی بسامد بالا² عمل می‌کنند. با اعمال ولتاژ، المان مبدل پیزوالکتریک (که اغلب بلور³ نامیده می‌شود) تغییر شکل می‌یابد. تنها چند میکروثانیه بعد با برداشتن ولتاژ، المان فنرگونه به حالت اولیه باز می‌گردد و پالسی از انرژی مکانیکی، که همان موج فراصوت است، تولید می‌شود (شکل 2. 1). به طور مشابه، چنان‌چه المان توسط فشار یک موج فراصوت تغییر شکل یابد، در سطح آن ولتاژ تولید می‌گردد. بنابراین یک المان پیزوالکتریک می‌تواند هم ارسال کننده، هم دریافت کننده پالس‌های فراصوت باشد.

¹ Longitudinal-Wave

² High frequency

³ Crystal



شکل 2. 1. اصول عملکرد المان مبدل پیزوالکتریک

مبدل‌هایی که در بازرسی غیرمخرب فراصوت استفاده می‌شوند، دارای مشخصات کلی زیر هستند:

نوع: مبدل‌ها بر اساس کاربرد، به انواع تماسی^۱، خط تأخیر^۲، باریکه زاویه‌ای یا غوطه‌وری^۳ دسته بندی می‌شوند. خصوصیات ماده مورد بررسی (مانند زبری سطح، دما، دسترسی به نسبت موقعیت عیب درون ماده و سرعت بازرسی) همگی بر انتخاب نوع مبدل اثر گذارند.

اندازه: قطر یا طول و عرض المان فعال مبدل که اغلب در یک محفظه بزرگتر قرار دارد.

بسامد: تعداد سیکل‌های کامل موج^۴ در یک ثانیه که اغلب با کیلوهرتز یا مگاهرتز^۵ نشان داده می‌شود. بیش‌تر آزمون‌های فراصوت صنعتی در بازه بسامد 500 کیلوهرتز تا 20 مگاهرتز قرار دارند؛ هرچند برای مقاصد خاص مبدل‌هایی با بسامدهای زیر 50 هرتز تا بالاتر از 200 مگاهرتز در دسترس می‌باشند. نفوذ^۶ با کاهش بسامد افزایش می‌یابد؛ حال آن‌که افزایش تفکیک‌پذیری^۱ و وضوح کانونی^۲ در بسامدهای بالاتر به دست خواهد آمد.

¹ Contact

² Delay Line

³ Immersion

⁴ Complete Wave Cycle

⁵ KHz (Kilohertz) or MHz (Megahertz)

⁶ Penetration

پهنای باند^۳: به آن بخش از بسامد اطلاق می‌شود که در محدوده دامنه مورد نظر قرار گیرد. باید توجه داشت که مبدل‌های معمولی مورد کاربرد در آزمون‌های غیر مخرب، امواج صوتی با یک بسامد خالص تولید نمی‌کنند، بلکه بسامد تولید شده در بازه‌ای از بسامدها با مرکزیت بسامد اسمی^۴ قرار دارد. استاندارد صنعتی در این زمینه، مشخص نمودن این پهنای باند در نقطه 6- دسی‌بل (یا نیم دامنه)^۵ می‌باشد.

بقاء شبه‌موج^۶: تعداد سیکل‌های موج که در هر بار پالس‌دهی به مبدل پدید می‌آیند. یک مبدل با پهنای باند باریک، تعداد سیکل بیش‌تری نسبت به مبدل با پهنای باند بالاتر دارد. قطر المان، ماده پستی^۷، تنظیم الکترونیکی^۸ و روش برانگیختن مبدل^۹ همگی بر بقاء موج مؤثرند.

حساسیت^{۱۰}: رابطه میان دامنه پالس برانگیختن^{۱۱} و دامنه پژواک دریافتی از یک هدف مشخص

نمایه باریکه^{۱۲}: به عنوان یک تخمین عملی، باریکه تولید شده توسط یک مبدل غیرمتمرکز دیسکی^{۱۳} اغلب به عنوان ستونی از انرژی تصور می‌شود که از سطح فعال المان نشأت گرفته و با افزایش قطر رفته رفته از هم باز می‌شود. (شکل 2.2)



شکل 2.2. نمایه باریکه

در واقع نشان دادن نمایه حقیقی باریکه با وجود شیب فشار صوتی^{۱۴} در هر دو جهت محوری و عرضی پیچیده است. در تصویری که از نمایه باریکه دیده می‌شود (شکل 2.3)، **قرمز** بیان گر بالاترین انرژی است، در حالی که **سبز** و **آبی** میزان انرژی پایین‌تر را نشان می‌دهند.

¹ Resolution

² Focal Sharpness

³ Bandwidth

⁴ Nominal Frequency

⁵ -6 dB or Half amplitude

⁶ Waveform Duration

⁷ Backing Material

⁸ Electrical Tuning

⁹ Transducer Excitation

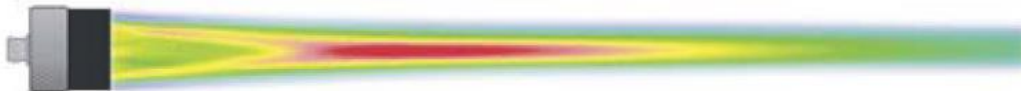
¹⁰ Sensitivity

¹¹ Excitation Pulse

¹² Beam Profile

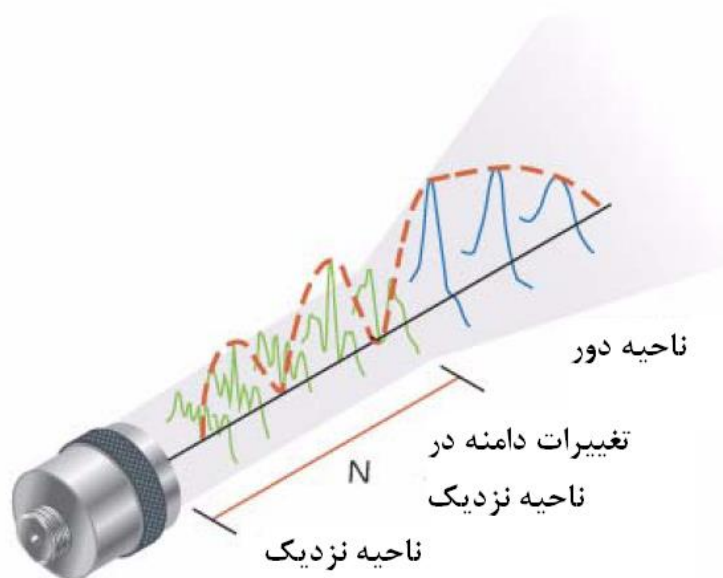
¹³ Unfocused Disk Transducer

¹⁴ Pressure Gradient



شکل 2.3. نواحی انرژی در نمایه باریکه

ناحیه صوتی¹ یک مبدل به دو منطقه تقسیم می شود: ناحیه نزدیک² و ناحیه دور³ (شکل 2.4). ناحیه نزدیک منطقه ای نزدیک نزدیک به مبدل است که فشار صوتی در آن شامل تعدادی بیشینه و کمینه ها بوده و با یک بیشینه روی محور⁴ در فاصله N از سطح مبدل به پایان می رسد. فاصله ی ناحیه نزدیک (N) بیان گر تمرکز طبیعی⁵ مبدل می باشد.



شکل 2.4. ناحیه صوتی مبدل

ناحیه دور منطقه ای فراتر از N است که در آن فشار صوتی اندک اندک به صفر رسیده در حالی که قطر باریکه افزایش یافته و انرژی آن تحلیل می رود. طول ناحیه نزدیک تابع بسامد مبدل، اندازه المان و سرعت صوت در محیط مورد آزمون است و می توان آن را برای المان های مربعی یا مستطیلی، که اغلب در آرایه فازی کاربرد دارند، از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$N = \frac{kL^2 f}{4c} \text{ or } N = \frac{kL^2}{4\lambda}$$

که:

N = طول ناحیه نزدیک

¹ Sound Field

² Near Field

³ Far Field

⁴ On-Axis Maximum

⁵ Natural Focus

k = ثابت نسبت تناسب (پایین را ببینید)

L = طول المان یا دریچه

f = بسامد

c = سرعت صوت در ماه مورد آزمون

λ = طول موج $(\lambda = \frac{c}{f})$

ثابت نسبت تناسب در جدول 2. 1 نشان داده شده است. این عدد بر مبنای نسبت میان ابعاد کوچک و بزرگ المان یا دریچه محاسبه شده است.

جدول 2. 1. ثابت نسبت تناسب

K	نسبت کوتاه/بلند
1/37 (المان مربعی)	1/0
1/25	0/9
1/15	0/8
1/09	0/7
1/04	0/6
1/01	0/5
1/00	0/4
0/99	0/3 و کمتر

در مورد المان های دایره ای، k کاربرد نداشته و به جای آن از قطر المان (D) استفاده می شود:

$$N = \frac{D^2 f}{4c} \quad \text{or} \quad N = \frac{D^2}{4\lambda}$$

چون فشار صوتی درون ناحیه ی نزدیک متغیر است، ارزیابی عیوب با روش های بر مبنای دامنه¹ می تواند مشکل باشد (اگرچه ضخامت سنجی در ناحیه نزدیک امکان پذیر است). در ضمن N بیانگر بیش ترین فاصله ای است که باریکه مبدل توسط لنز صوتی² یا روش های فازی می تواند تمرکز یابد. پیرامون تمرکز در بخش 2. 7 توضیح داده شده است.

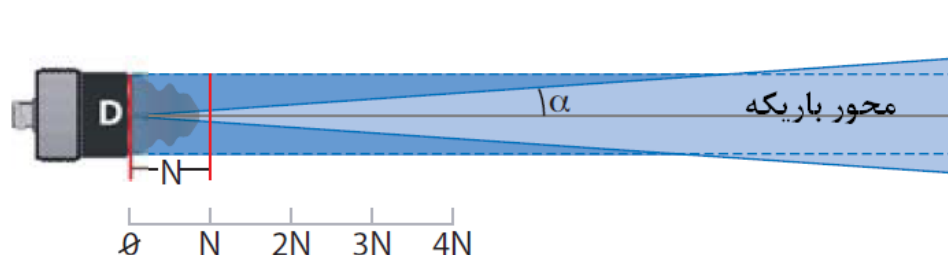
2. 2. خصوصیات کلی امواج صوتی

¹ Amplitude Based Technique

² Acoustic Lens

شکل گیری جبهه موج^۱: در حالی که یک مبدل تک المان به عنوان یک منبع پیشران^۲ صوت شناخته می شود، تولید صوت از یک دیسک یا یک صفحه را می توان با یک مدل ریاضی از مجموع امواج نقاط مختلف نشان داد. این مفهوم از اصل هویگنز^۳ مشتق شده است؛ که اولین بار در قرن هفدهم توسط فیزیکدان آلمانی، کرسیتین هویگنز^۴ ارایه شد. بر مبنای این اصل، هر منبع نقطه‌ای از یک جبهه موج در حال پیشرفت، توانایی تولید یک موج کروی^۵ جدید را دارد و جبهه‌ی موج نهایی در حقیقت مجموع تمامی این موج‌های کروی منفرد است.

گسترش باریکه^۶: به طور کلی، موج صوتی بوجود آمده توسط یک مبدل در مسیری مستقیم حرکت کرده تا به مرز ماده برخورد کند. آنچه پس از این رخ می دهد در زیر شرح داده شده است. اما چنانچه طول مسیر صوت^۷ بیش تر از مسافت ناحیه نزدیک باشد باریکه در قطر نیز افزایش داشته و همچون نور چراغ قوه واگرا خواهد شد.



شکل 2. 5. گسترش باریکه

زاویه گسترش باریکه یک مبدل دایره‌ای تمرکز نیافته را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\text{طول ناحیه نزدیک} = \frac{D^2 f}{4c} = \frac{D^2}{4\lambda}$$

D = قطر المان یا روزنه

f = بسامد

c = سرعت صوت در محیط مورد آزمون

λ = طول موج ($\lambda = \frac{c}{f}$)

زاویه گستردگی نسبت به محور مرکزی باریکه در 6- دسی بل (α) برای یک مبدل دایره‌ای:

¹ Wavefront Formation

² Piston Source

³ Huygens' Principle

⁴ Christiaan Huygens

⁵ Spherical Wave

⁶ Beam Spreading

⁷ Sound Path Length

⁸ -6dB Half-Beam Spread Angle

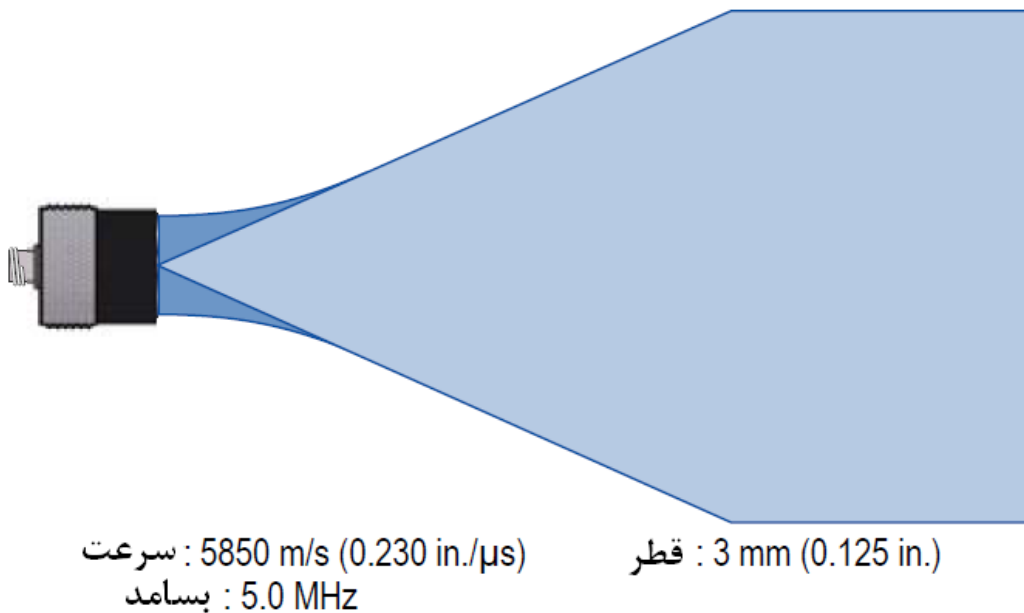
$$\alpha = \sin^{-1} = \frac{0.514c}{fD}$$

از این رابطه چنین بر می آید که گسترش باریکه با بسامدها و قطرهای پایین تر افزایش می یابد. گسترش زیاد باریکه می تواند موجب کاهش سریع انرژی صوتی در مسیر خود در واحد سطح گردد. این مسأله باعث کاهش چشمگیر حساسیت نسبت به بازتابنده های کوچک¹ در برخی از کاربردها با مسیر صوتی طولانی می گردد. در چنین مواردی، استفاده از بسامد بالاتر و/یا قطر مبدل بیش تر پژواک برگشتی را بهبود خواهد داد.

در مورد المان های مستطیلی، گسترش باریکه نامتقارن است و گسترش بیش تر در بعد کوچک تر رخ می دهد. زاویه برای هر محور را می توان از فرمول زیر با قرار دادن طول یا عرض المان به جای L محاسبه نمود:

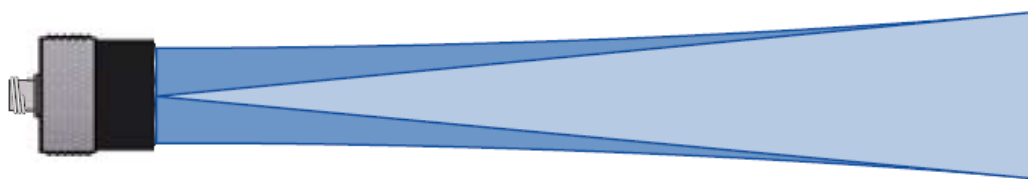
$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{0.44c}{fL}\right) \quad \text{or} \quad \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{0.44\lambda}{L}\right)$$

تصاویر زیر برخی تغییرات کلی گسترش موج با تغییر بسامد یا قطر مبدل را نشان می دهند. چنانچه بسامد ثابت باشد، گسترش باریکه با افزایش قطر مبدل کاهش می یابد. (شکل 2، 6، 7)



شکل 2، 6. گسترش باریکه با یک المان 3 میلی متری

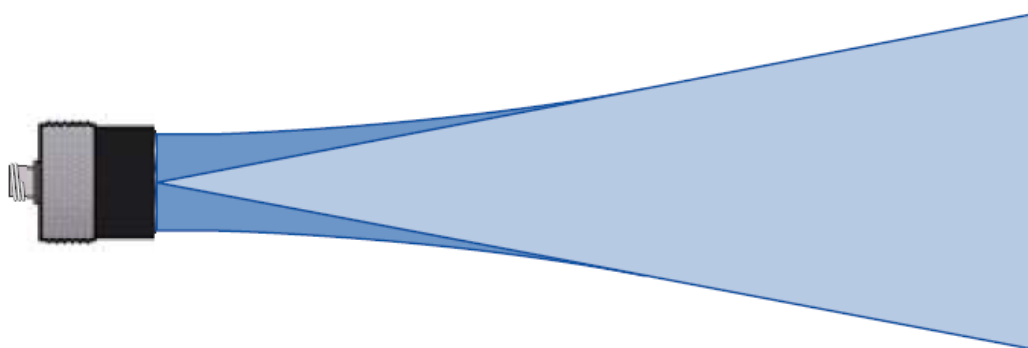
¹ Small Reflector



قطر : 13 mm (0.5 in.) سرعت : 5850 m/s (0.230 in./ μ s)
 بسامد : 5.0 MHz

شکل 2.7. گسترش باریکه با یک المان 13 میلی متری

چنانچه قطر مبدل ثابت باشد، گسترش باریکه با افزایش بسامد کاهش می یابد. (شکل 2.8، 2.9)



قطر : 13 mm (0.5 in.) سرعت : 5850 m/s (0.230 in./ μ s)
 بسامد : 2.25 MHz

شکل 2.8. گسترش باریکه با یک المان 2/25 مگاهرتزی



قطر : 13 mm (0.5 in.) سرعت : 5850 m/s (0.230 in./ μ s)
 بسامد : 10.0 MHz

شکل 2.9. گسترش باریکه با یک المان 10 مگاهرتزی

میرایی¹: عبور جبهه موج تولید شده توسط یک مبدل فراصوت از میکرو ساختار ماده به طور ایده آل صورت نگرفته و از انرژی آن می کاهد. لرزش های مکانیکی منظم (امواج صوتی) به لرزش های مکانیکی تصادفی (گرما) تبدیل شده تا آن جا که جبهه موج دیگر قابل ردگیری نخواهد بود. این فرآیند به عنوان میرایی صوت شناخته می شود. تئوری ریاضی میرایی و پراش² پیچیده است.

¹ Attenuation

² Scattering

در حقیقت کاهش دامنه ناشی از میرایی در طول مسیر صوت حاصل جمع اثر جذب^۱ و اثر پراش می باشد. جذب به صورت خطی با بسامد افزایش می یابد، حال آن که پراش در سه ناحیه بسته به نسبت طول موج به اندازه دانه، مرزدانه و دیگر عوامل ایجاد کننده آن صورت می گیرد. در تمامی این موارد، اثر پراش با افزایش بسامد افزایش می یابد. برای یک ماده مشخص در یک دما و مورد آزمایش در بسامدی خاص، ضریب میرایی ویژه^۲ وجود دارد که با یکای نپر بر سانتی متر^۳ نشان داده می شود. چنانچه این ضریب میرایی مشخص باشد، کاهش ایجاد شده در طول مسیر صوت را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$p = p_0 e^{-ad}$$

که:

p = فشار صوت در انتهای مسیر

p_0 = فشار صوت در ابتدای مسیر

e = پایه لگاریتم طبیعی

a = ضریب میرایی

d = طول مسیر صوت

به عنوان یک تجربه عملی، ضریب های میرایی مورد کاربرد در آزمون غیر مخرب فراصوت اغلب اندازه گیری می شوند تا این که محاسبه شوند. بسامدهای بالاتر سریع تر از بسامدهای پایین دچار میرایی می شوند. بنابراین اغلب مواد با ضریب میرایی بالا همچون پلاستیک های چگالی پایین^۴ و لاستیک با بسامد پایین بازرسی می شوند.

بازتاب و عبور در صفحه مرزی عمود^۵: هنگامی که یک موج صوتی طی عبور از یک محیط به طور عمود به مرز محیطی متفاوت برخورد کند، بخشی از انرژی موج در جهت مخالف بازتاب یافته و بخش دیگر به طور مستقیم به مسیر خود ادامه می دهد. درصد بازتاب و عبور بستگی به امپدانس صوتی دو ماده دارد که طبق تعریف امپدانس صوتی عبارت است از چگالی ضرب در سرعت صوت. ضریب بازتاب^۶ در یک مرز صفحه ای (درصدی از صوت که به منبع باز می گردد) از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

که:

R = درصد ضریب بازتاب

Z_1 = امپدانس صوتی محیط اول

¹ Absorption

² Specific Attenuation Coefficient

³ Np/cm (Nippers per Centimeter)

⁴ Low-Density Plastic

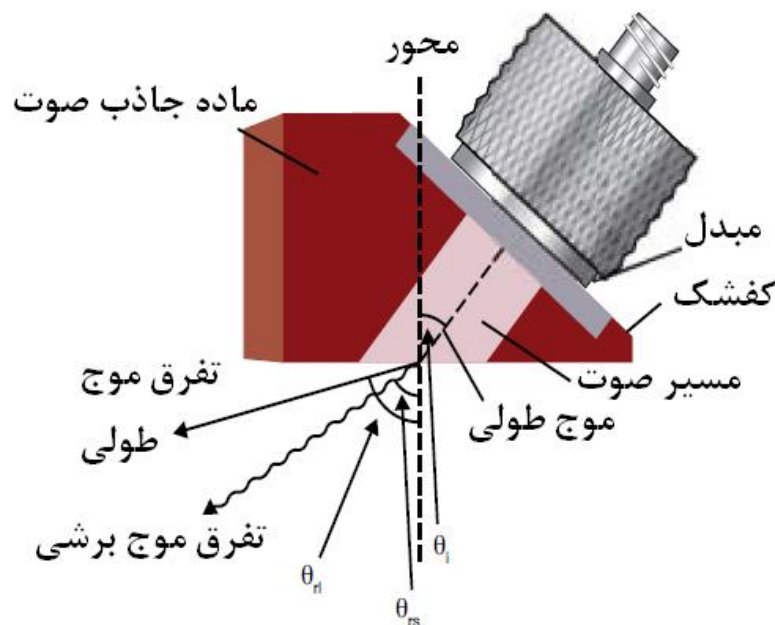
⁵ Reflection And Transmission at Perpendicular Plane Boundary

⁶ Reflection Coefficient

Z_2 = امپدانس صوتی محیط دوم

از این رابطه چنین برمی آید که هرچه امپدانس صوتی دو ماده به یکدیگر نزدیکتر باشد، ضریب بازتاب کاهش می یابد و هرچه امپدانس صوتی دو ماده متفاوت باشند، این ضریب افزایش می یابد. بر طبق تئوری، بازتاب از مرز میان دو ماده با امپدانس صوتی مشابه، صفر است. حال آن که در مورد موادی با امپدانس صوتی بسیار متفاوت، همچون فولاد و هوا، ضریب بازتاب ب 100٪ می-رسد.

تفرق و تغییر وضعیت در مرزهای غیر عمود¹: هنگامی که موج صوتی در حال عبور از یک ماده تحت زاویه ای غیر از صفر به مرز ماده ای دیگر برخورد کند، بخشی از انرژی صوتی تحت زاویه ای برابر با زاویه برخورد بازتاب می یابد. همزمان بخش دیگر انرژی صوتی که وارد ماده دوم شده است، بر مبنای قانون اسنل² تفرق می یابد. این قانون به طور مستقل حداقل توسط دو ریاضیدان در قرن هفدهم اثبات شد. قانون اسنل نسبت سری زاویه های برخورد و تفرق به سرعت صوت در هر یک از مواد است، که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 2. 10. تفرق و تغییر وضعیت موج صوتی

$$\frac{\sin \theta_i}{c_i} = \frac{\sin \theta_r}{c_r} = \frac{\sin \theta_t}{c_t}$$

که:

θ_i = زاویه برخورد کفشک

¹ Refraction and Mode Conversion at Non-perpendicular Boundaries

² Snell's Law

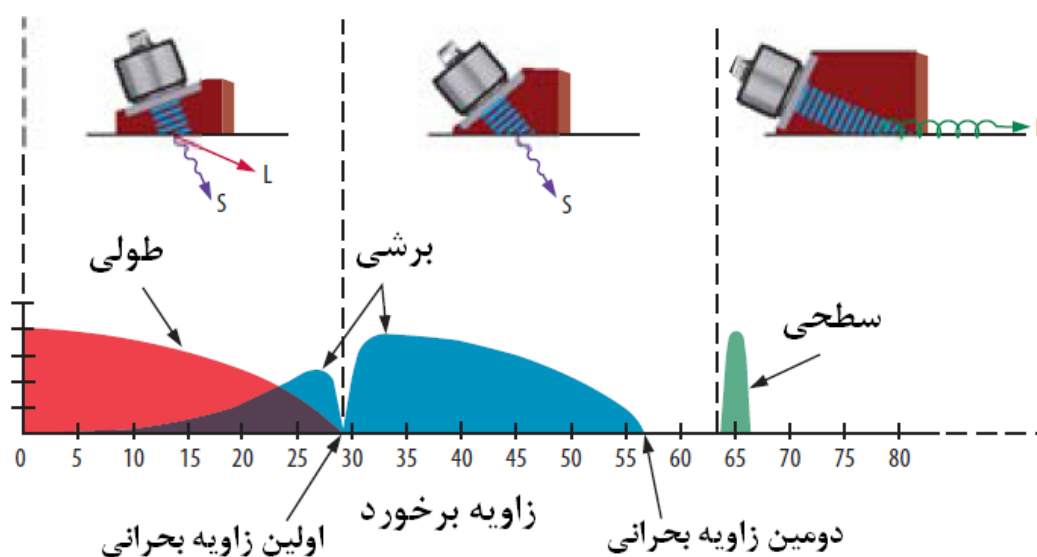
$$\theta_{rl} = \text{زاویه تفرق موج طولی}^1$$

$$\theta_{rs} = \text{زاویه تفرق موج برشی}^2$$

$$C_i = \text{سرعت صوت از کفشک (طولی)}$$

$$C_{rl} = \text{سرعت صوت ماده (طولی)}$$

$$C_{rs} = \text{سرعت ماده مورد آزمون (برشی)}$$



شکل 2. 11. دامنه نسبی وضعیت‌های موج^۳

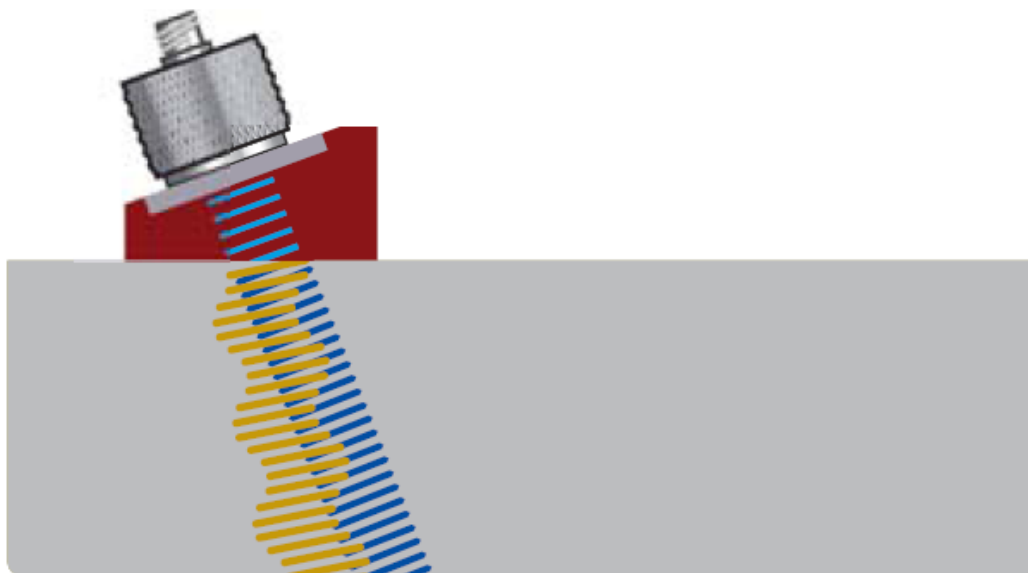
چنانچه سرعت صوت محیط دوم بالاتر از اولی باشد، زاویه‌ها دستخوش تغییر وضعیت می‌گردند. این تغییر وضعیت اغلب از وضعیت موج طولی به وضعیت موج برشی است. همین قضیه مبنای روش بازرسی توسط باریکه زاویه‌ای می‌باشد. با افزایش زاویه برخورد، در محیط اول (کندتر، همچون کفشک یا آب) زاویه تفرق موج طولی در محیط دوم (سریع‌تر، مانند فلز) افزایش می‌یابد. با رسیدن زاویه تفرق طولی به 90 درجه، بخش بیشتری از انرژی صوتی به موج برشی (تحت زاویه قابل پیش بینی از قانون اسنل) بدل می‌گردد. در زاویه‌های برخوردی بالاتر فقط وضعیت برشی به ماده وارد می‌شود. اگر باز هم زاویه افزایش یابد، طبق تئوری، موج برشی در زاویه 90 درجه تفرق یافته و در ماده دوم تنها موج سطحی^۴ پدیدار می‌شود. شکل 2. 12، 2. 13 و 2. 14 این پدیده را در فولاد به تصویر می‌کشد.

¹ Longitudinal Wave

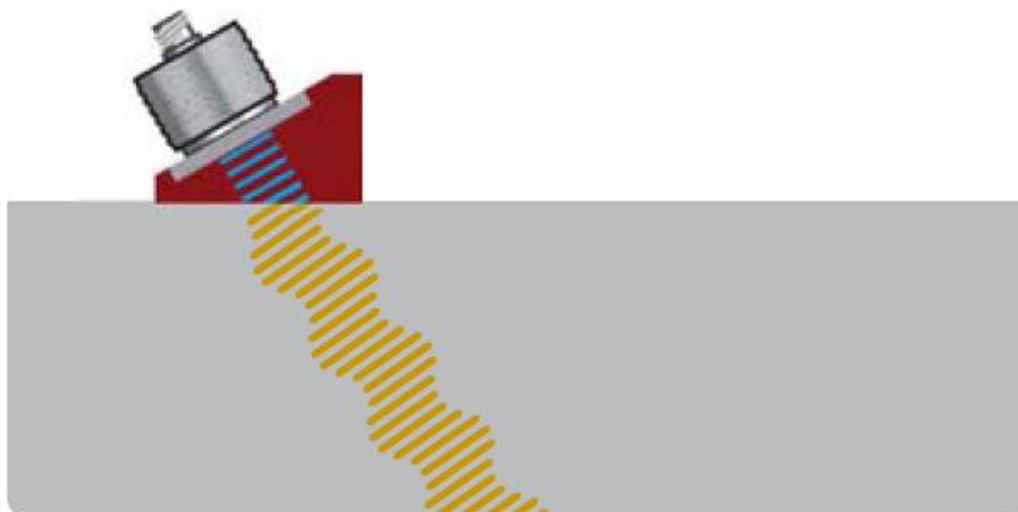
² Shear Wave

³ Wave Mode

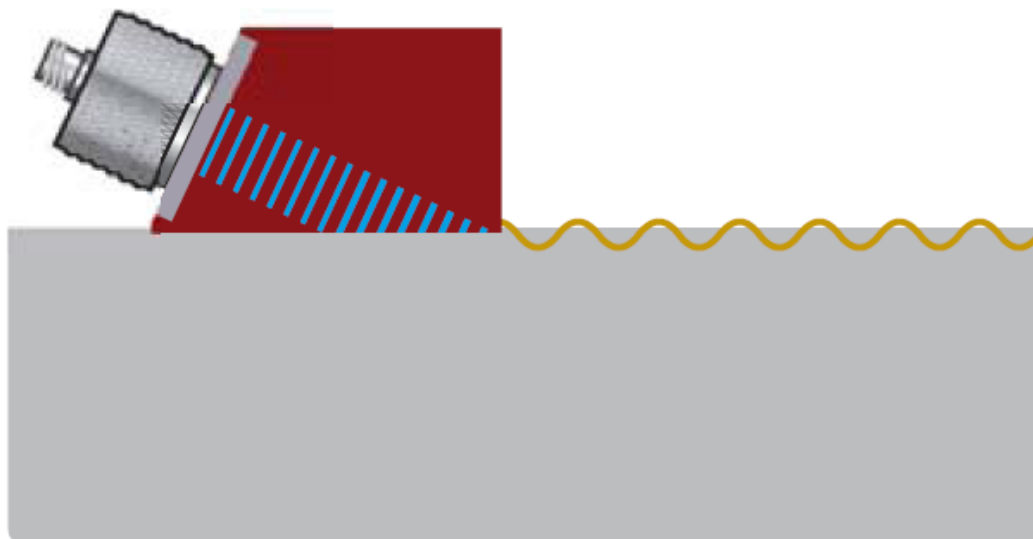
⁴ Surface Wave



شکل 2. 12. زاویه برخورد: 10 درجه، موج طولی قوی و موج برشی ضعیف



شکل 2. 13. زاویه برخورد: 30 درجه، فراتر از اولین زاویه بحرانی، موج طولی وجود نداشته و تمامی انرژی تفرق در موج برشی است



شکل 2. 14. زاویه برخورد: 65 درجه، فراتر از دومین زاویه بحرانی، دیگر موج برشی وجود نداشته و تمامی انرژی تفرق در موج سطحی است

2. 3. ویژگی های پراب آرایه فازی



شکل 2. 15. پراب های آرایه فازی

آرایه، چیدمانی منظم از تعداد زیادی جزء است. ساده ترین ساختار یک آرایه فراصوت، مورد استفاده در آزمون غیر مخرب، عبارت است از مجموعه ای از مبدل های تک المان که به منظور افزایش پوشش بازرسی¹ و/یا سرعت بازرسی، به شکل خاص چیده شده اند. به عنوان مثال:

- بازرسی لوله²، که چندپرابها³ اغلب هم برای شناسایی ترک و عیوب صفحه ای و هم برای ضخامت سنجی استفاده می شوند.

¹ Inspection Coverage

² Tube Inspection

³ Multiple Probe

• بخش‌های فلزی چکش‌کاری شده^۱، که به منظور یافتن عیوب نیاز به تمرکز در عمق‌های مختلف داشته و استفاده از چند پراب‌ها را می‌طلبد.

• چیدمان خطی پراب‌ها در طول یک سطح به منظور افزایش شناسایی عیوب صفحه‌ای در کامپوزیت‌ها^۲ یا خوردگی در فلزات.

این گونه بازرسی‌ها نیازمند سرعت بالا، تجهیزات فراصوت چندکاناله^۳ سرعت بالا با پالس دهنده و گیرنده مناسب و درگاه منطقی^۴ برای پردازش هر کانال و همچنین تنظیم محل هر مبدل به نسبت نواحی بازرسی هستند.

در ساده‌ترین شکل، شخص می‌تواند پراب آرایه فازی را به صورت یک سری از المان‌های منفرد در یک بسته بندی^۵ تصور کند. (شکل 2-16). اما المان‌ها در واقعیت بسیار کوچک‌تر از مبدل‌های معمولی بوده و می‌توانند به صورت گروهی پالس‌دهی شده و جبهه‌های موج در جهات قابل کنترل تولید کنند. چنین «شکل‌دهی الکترونیکی باریکه»^۶ قابلیت برنامه‌ریزی بازرسی در نواحی مختلف و آنالیز با سرعت بسیار بالا بدون نیاز به جابجایی پراب را برآورده می‌سازد. این موضوع در صفحات آتی بیش‌تر شرح داده شده است.



شکل 2. 16. پراب آرایه فازی

پراب‌های آرایه فازی در طیف گسترده‌ای از اندازه‌ها، شکل‌ها، بسامدها و تعداد المان‌ها آرایه شده‌اند، اما به طور کلی شامل یک المان پیزوالکتریک هستند که به تعدادی بخش تقسیم شده است.

امروزه پراب‌های آرایه فازی برای کاربرد در آزمون‌های غیر مخرب صنعتی، اغلب از پیزوکامپوزیت‌ها^۷ ساخته شده‌اند که شامل تعداد زیادی میله باریک از سرامیک پیزوالکتریک در یک زمینه پلیمری^۸ می‌باشد. با وجود مشکل در ساخت، پراب‌های کامپوزیتی کامپوزیتی در طراحی مشابه دارای حساسیت 10 تا 30 دسی‌بل بالاتر از پراب‌های پیزوالکتریک می‌باشند. نوار کامپوزیتی^۹ توسط لایه نشانی فلزی^{۱۰} به تعدادی المان با اتصال الکتریکی مجزا تقسیم بندی شده که هر یک به طور مستقل پالس‌دهی می‌گردند. این المان بخش‌بندی شده در یک مجموعه پراب شامل لایه اتصال محافظ^{۱۱}، یک ماده پستی^{۱۲}، اتصالات کابلی و یک بدنه^{۱۳} قرار می‌گیرد.

¹ Forged Metal Part

² Composite

³ Multichannel

⁴ Gate Logic

⁵ Package

⁶ Electronic Beam Forming

⁷ Piezocomposite

⁸ Polymer Matrix

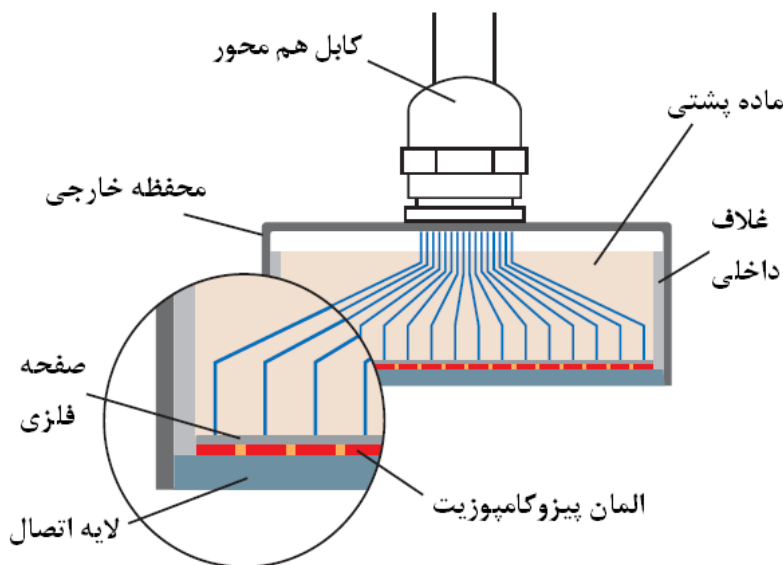
⁹ Composite Strip

¹⁰ Segmented Metal Plating

¹¹ Protection Matching Layer

¹² Backing

¹³ Housing



شکل 2.17. سطح مقطع پراب آرایه فازی

پراب های آرایه فازی بر اساس کاربرد بر مبنای پارامترهای اساسی زیر دسته بندی می شوند:

نوع^۱: بیش تر پراب های آرایه فازی از نوع باریکه زاویه ای بوده و برای استفاده همراه با کفشک پلاستیکی^۲ یا یک کفشک پلاستیکی صاف (کفشک صفر درجه^۳) یا خط تأخیر^۴ طراحی شده اند. همچنین پراب های تماسی و غوطه وری در دسترس اند.

بسامد: اغلب عیب یاب های فراصوتی در گستره بسامدی 2 تا 10 مگاهرتز صورت می گیرد. بنابراین اکثر پراب های آرایه فازی نیز در همین بازه قرار می گیرند. پراب های با بسامد های بالاتر و پایین تر نیز موجودند. همانند مبدل های معمولی، با کاهش بسامد نفوذ افزایش می یابد، حال آن که بسامد های بالاتر، تفکیک پذیری و وضوح تمرکز^۵ را افزایش می دهد.

تعداد المان ها: پراب های آرایه فازی معمولاً 16 تا 128 المان و در برخی از آنها تا 256 المان به کار گرفته شده. تعداد بیش تر المان توانایی تمرکز، هدایت و پوشش ناحیه بازرسی را افزایش می دهد، اما به همین تناسب قیمت دستگاه و پراب نیز افزایش می یابد. هریک از این المان ها مستقلاً پالس دهی شده و جبهه موج مورد نظر را پدید می آورند. بنابراین بُعدی که در راستای این المان ها قرار می گیرد اغلب به عنوان جهت یا هدایت فعال معرفی می گردد.

اندازه المان ها: با کاهش پهنای المان، قابلیت هدایت باریکه افزایش می یابد، اما سطح پوشش بزرگ تر نیازمند المان های بیش تر با هزینه بالاتر است.

پارامترهای ابعادی یک پراب آرایه فازی از قرار زیر هستند:

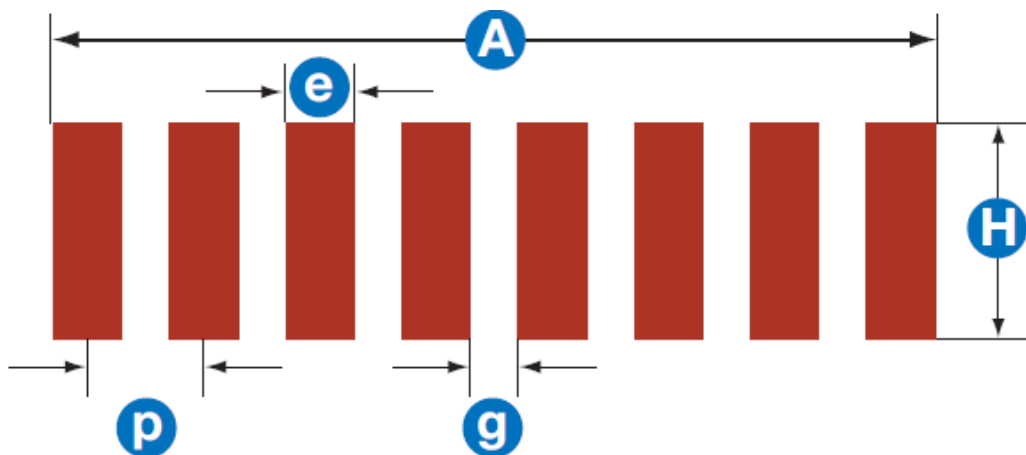
¹ Type

² Plastic Wedge

³ Zero-Degree Wedge

⁴ Delay-Line

⁵ Focal Sharpness



شکل 2. 18. پارامترهای ابعادی یک پراب آرایه فازی

A = روزنه مجموع در هدایت جهت فعال¹

H = ارتفاع المان یا بلندی²، چون این بُعد از المان ثابت است اغلب به صفحه غیر فعال³ شناخته می شود.

p = گام⁴، یا فاصله مرکز تا مرکز میان دو المان

e = عرض یک المان منفرد

g = فاصله میان المان های فعال

این اطلاعات به منظور تولید شکل باریکه دلخواه توسط نرم افزار دستگاه استفاده می شوند. چنانچه مشخصات پراب به طور اتوماتیک توسط نرم افزار شناسایی نگردد، باید حین مرحله تنظیمات آن ها را به صورت دستی وارد نمود.

2. 4. کفشک های آرایه فازی

مجموعه پراب آرایه فازی اغلب شامل یک کفشک پلاستیکی است. کفشک ها در استفاده از موج طولی، موج برشی و نیز روبش خطی توسط باریکه مستقیم کاربرد دارند. نقش کفشک در سیستم های آرایه فازی همانند عیب یاب های تک المان، انتقال انرژی صوتی از پراب به قطعه مورد آزمون است. به گونه ای که تغییر وضعیت و یا تفرق بر اساس قانون اسنل در زاویه مورد نظر صورت گیرد.

آرایه فازی هدایت موج را به منظور تولید زاویه های گوناگون باریکه از یک کفشک به کار می گیرند. این اثر تفرق همچنین بخشی از فرآیند تولید باریکه است. کفشک های موج برشی بسیار شبیه کفشک های مبدل های معمولی هستند و همانند آن ها در

¹ Total Aperture in Steering of Active Direction

² Elevation

³ Passive Plane

⁴ Pitch

سایزها و گونه های مختلفی آرایه می شوند. برخی از آن ها دارای سوراخ های تغذیه جفت کننده¹ برای مقاصد روبش هستند. برخی از کفشک های پراب آرایه فازی در شکل 2. 19 دیده می شوند.



شکل 2. 19. کفشک پراب آرایه فازی

کفشک های صفر درجه عمدتاً بلوک های پلاستیکی مسطحی هستند که به منظور انتقال انرژی صوتی، محافظت سطح پراب از خراش و سایش در روبش های مستقیم خطی و روبش های کم زاویه موج طولی استفاده می شوند. (شکل 2-20)



شکل 2. 20. یک کفشک صفر درجه

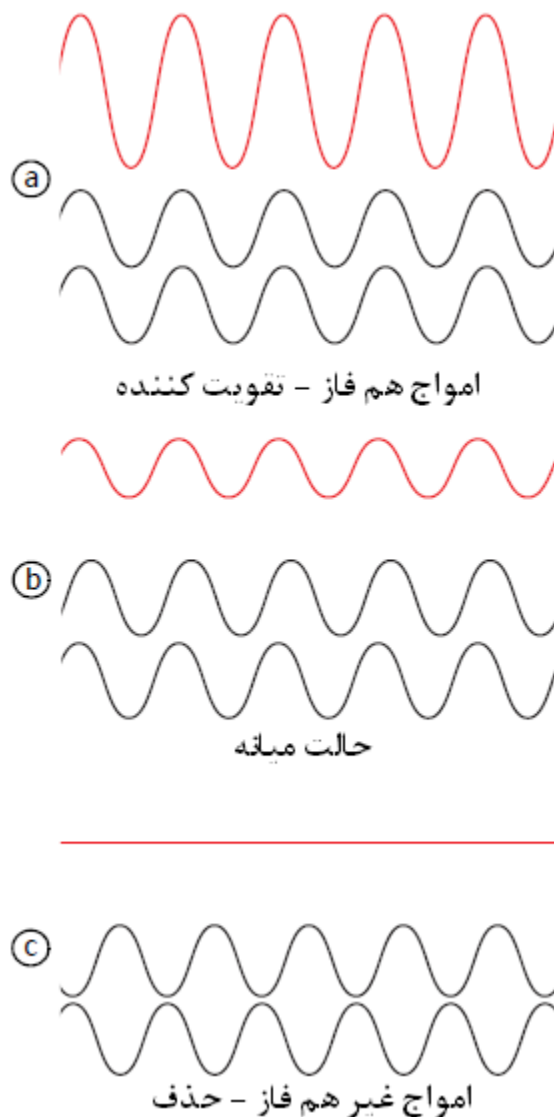
2. 5. پالس دهی فازی

هنگامی که امواج ناشی از دو منبع متفاوت با یکدیگر برخورد کنند، اثر فازی موجود منجر به افزایش یا کاهش انرژی صوتی در آن نقطه می گردد. هنگامی که امواج الاستیک² هم بسامد طوری به هم برسند که جابجایی آن ها دقیقاً برهم منطبق باشد (هم فاز، یا زاویه فاز صفر درجه) انرژی های صوتی با یکدیگر جمع شده و دامنه صوتی بزرگ تری را ایجاد می کنند. (شکل 2. 21. a). اما اگر طوری به هم برسند که جابجایی آنها کاملاً مقابل یکدیگر (180 درجه خارج فاز) باشد، آنگاه انرژی های صوتی یکدیگر را خنثی می نمایند (شکل 2. 21. c). در زاویه های فازی بین 0 تا 180 درجه، طیفی از تقویت کامل تا خنثی شدن کامل وجود دارد. (شکل 2. 21. b). با تغییر زمانبندی³ امواج از تعداد زیادی منبع، امکان استفاده از این اثرها برای هدایت و تمرکز جبهه موج بوجود می آید. این امر مهمترین اصل نهفته در پس آزمون آرایه فازی است.

¹ Couplant Feed

² Elastic Wave

³ Timing



شکل 2. 21. اثرهای فازی شدن: جمع شدن و خنثی شدن

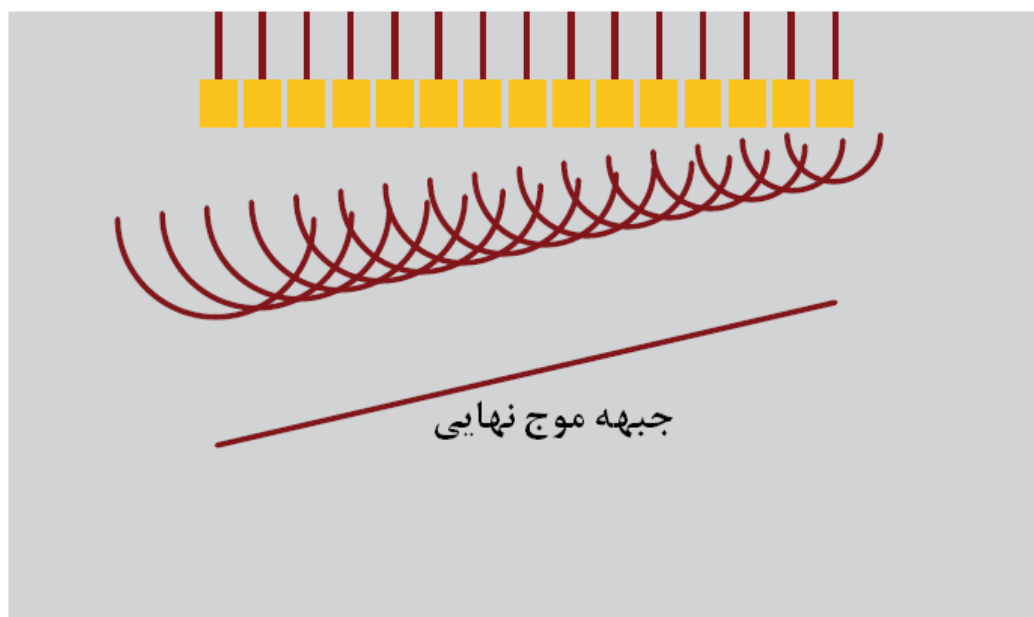
در مبدل های معمولی اثرات تداخل سازنده و مخرب باعث بوجود آمدن نواحی دور و نزدیک و شیب های فشار مختلف می گردد. در مجموع، یک مبدل باریکه زاویه ای معمولی از یک تک المان به منظور ارسال موج درون کفشک استفاده می کند. هر نقطه از این جبهه موج به واسطه ی شکل کفشک فاصله های تأخیری¹ متفاوتی را تجربه می کند. این فاصله ها در حقیقت تأخیرهای مکانیکی² هستند که معادل تأخیرهای الکتریکی در آزمون آرایه فازی اند.

هنگامی که جبهه موج به سطح پایینی برخورد می کند بر طبق اصل هویگنز می توان آن را به صورت یک سری از منابع نقطه ای نمایش داد. در تئوری، امواج کروی مربوط به هریک از این نقطه ها طی برهم کنش با یکدیگر، تک موجی با زاویه مشخص شده توسط قانون اسنل تشکیل می دهند.

¹ Delay Interval

² Mechanical Delay

در آزمون آرایه فازی چون اثر تقویت و خنثی‌سازی ناشی از فازی کردن قابل پیش است، می‌توان باریکه فراصوت را شکل دهی و هدایت نمود. پالس دهی المان‌ها یا گروه‌هایی از المان‌ها با تأخیرهای مختلف، یک سری از امواج با منبع نقطه‌ای تشکیل داده که با ترکیب با یکدیگر جبهه موجی در راستای زاویه انتخاب شده تولید می‌کنند (شکل 2.22). اثر الکترونیکی مشابه تأخیر مکانیکی تولید شده توسط کفشک معمولی است، اما می‌توان با تغییر الگوی این تأخیرها، هدایت موج را نیز صورت داد. طی برخورد سازنده، دامنه‌ی این موج ترکیبی به میزان قابل توجهی بیش‌تر از دامنه هر یک از امواج منفرد تشکیل دهنده آن است. به شکلی مشابه، تأخیرهای گوناگونی به پژواک‌های برگشتی دریافت شده توسط هریک از المان‌های آرایه اعمال می‌گردد. پژواک‌ها با یکدیگر جمع گشته تا جزء زاویه‌ای و یا کانونی باریکه مجموع را نشان دهند. در کنار تغییر مسیر جبهه موج اولیه، ترکیب اجزا مستقل باریکه، قابلیت تمرکز در هر نقطه از ناحیه نزدیک را ایجاد می‌نمایند.



شکل 2.22. جبهه موج زاویه‌دار

المان‌ها معمولاً در گروه‌های 4 تا 32 تایی پالس‌دهی شده و با افزایش روزنه، حساسیت مؤثر بهبود یافته و با کاهش اثر نامطلوب گسترش باریکه، تمرکز بهتری حاصل می‌گردد.

پژواک‌های بازگشتی که توسط المان‌ها یا گروه‌هایی از المان‌ها دریافت شده و برای جبران تأخیر کفشک، جابجایی زمانی¹ روی آن اعمال شده است، یکدیگر جمع می‌گردند. برخلاف یک مبدل تک المان، که حتی‌الامکان آثار کلیه اجزاء باریکه‌های برخوردی به سطح المان را با یکدیگر جمع می‌کند، یک المان آرایه فازی جبهه موج برگشتی را براساس زمان بازگشت و دامنه در هر المان دسته‌بندی می‌کند. هر قانون کانونی برگشتی، پس از پردازش در نرم افزار دستگاه، معرف بازتاب جزئی از باریکه با زاویه‌ی مشخص، یک نقطه مشخص در طول یک مسیر خطی، و/یا بازتابی از یک عمق کانونی مشخص می‌باشد. اطلاعات پژواک در هر یک از قالب‌های استاندارد قابل نمایش است.

چنانچه پیش از این اشاره شد، باریکه‌های آرایه فازی توسط پالس دهی المان‌های یک پراب یا گروهی از المان‌ها تحت الگویی ویژه صورت می‌گیرد. دستگاه‌های آرایه فازی الگوهای مذکور را بر مبنای اطلاعات وارد شده توسط کاربر تولید می‌نماید.

¹ Time-Shifted

نرم افزاری تحت عنوان محاسبه گر قانون کانونی^۱ زمان های تأخیر مورد نیاز برای شلیک^۲ هر گروه از المان ها را به منظور تولید باریکه با شکل دلخواه بر مبنای خصوصیات پراب و کفشک، ابعاد قطعه و خواص صوتی ماده مورد آزمون محاسبه می نماید. برنامه ترتیب پالس دهی انتخاب شده توسط نرم افزار دستگاه، تعدادی جبهه‌ی مستقل به درون ماده مورد آزمون می فرستد. این جبهه‌های موج به شکل سازنده و مخرب با یکدیگر ترکیب شده و با بدل شدن به یک جبهه موج اصلی، درون ماده مورد آزمون حرکت می کنند که در اثر برخورد با ترک ها، ناپیوستگی ها، دیواره‌های پشتی و مرز مواد دیگر بازتاب می یابد. باریکه می تواند در زاویه‌های مختلف، فواصل کانونی و اندازه نقطه کانونی های مختلف به طور پویا هدایت شده و ماده مورد آزمون را از منظرهای مختلف مورد بازرسی قرار دهد. هدایت باریکه بسیار سریع رخ می داده، به نحوی که روبش از چندین زاویه با عمق های کانونی گوناگون در کسری از ثانیه رخ می دهد.

2.6. شکل دهی و هدایت باریکه

نحوه پاسخ^۳ هر سیستم آزمون فراصوتی به مجموعه‌ای از فاکتورها بستگی دارد: مبدل به کار رفته، نوع دستگاه مورد استفاده و تنظیمات آن و خصوصیات صوتی ماده مورد آزمون، پاسخ های تولید شده توسط پراب های آرایه فازی، همچون هریک از انواع مبدل های فراصوتی در آزمون های غیر مخرب، هم بستگی به پارامترهای طراحی مبدل (مانند بسامد، اندازه، تعدیل مکانیکی^۴) و هم پارامترهای پالس برانگیختگی^۵ پراب دارد.

چهار پارامتر مهم در پراب بر کارایی آن اثرگذارند:

بسامد: چنانچه در بخش پیشین اشاره شد، بسامد آزمایش اثر قابل توجهی بر طول ناحیه نزدیک و گسترش باریکه دارد. در عمل، بسامد های بالاتر نسبت سیگنال به نوفه بهتری نسبت به بسامد های پایین ایجاد می نمایند. علت این امر تمرکز دقیق تر و نقطه کانونی ظریف تر است. همزمان، نفوذ در ماده با افزایش بسامد کاهش می یابد، که علت آن افزایش میرایی ماده با بالا رفتن بسامد است. کاربردهایی از جمله مسیر صوت طولانی یا موادی با میرایی یا تفرق بالا نیاز به بسامد های پایین تر دارند. به طور معمول، پراب های صنعتی آرایه فازی در گستره بسامدی 1 تا 15 مگاهرتز آرایه می شوند.

اندازه المان: با کاهش اندازه المان های منفرد در یک آرایه، قدرت هدایت باریکه افزایش می یابد. کمترین اندازه المان در پراب های تجاری حدود 0/2 میلی متر است. اما باید توجه داشت اگر اندازه المان کمتر از یک طول موج باشد، آویز های کناری^۶ قوی بوجود خواهند آمد.

تعداد المان ها: با افزایش المان ها در یک آرایه، سطح پوشش فیزیکی پراب و حساسیت آن، قابلیت تمرکز و هدایت افزایش می یابند. در اثنای بهبود قابلیت ها، بزرگ کردن آرایه باید در تعادل با پیچیدگی های سیستم و قیمت تمام شده باشد.

گام و روزنه: گام فاصله میان دو المان منفرد است؛ روزنه اندازه‌ی مؤثر یک المان پالس دهنده است، که معمولاً دربردارنده‌ی گروهی از المان های منفرد با پالس دهی همزمان است (روزنه مجازی^۷). به منظور بهینه سازی گستره‌ی هدایت، گام باید کوچک باشد. برای دستیابی به حساسیت بهینه، کمترین گسترش ناخواسته باریکه و تمرکز قوی، روزنه باید بزرگ باشد. امروزه دستگاه های

¹ Focal Law Calculator

² Firing

³ Response

⁴ Mechanical Damping

⁵ Excitation Pulse

⁶ Side Lobe

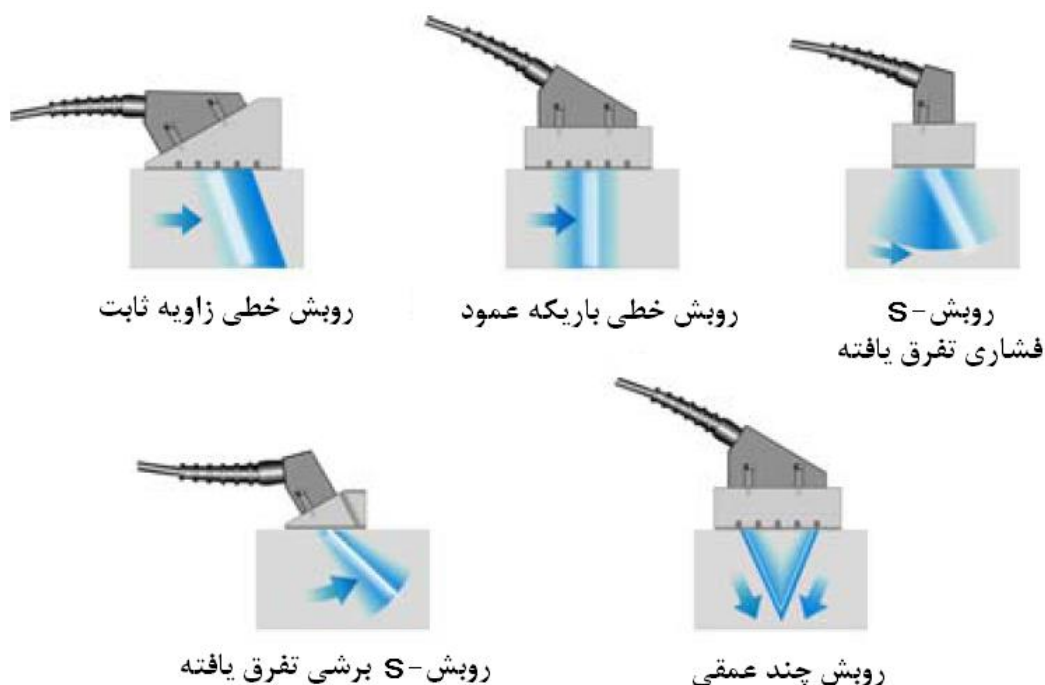
⁷ Virtual Aperture

آرایه فازی عمدتاً از قانون های کانونی با روزنه هایی تا 16 المان پشتیبانی می کنند. سیستم های پیشرفته تر، روزنه های تا 32 و حتی 64 المان نیز ایجاد می نمایند.

مفاهیم کلیدی برای درک کلی از باریکه آرایه فازی در زیر خلاصه شده اند: یک گروه از المان تحت قانون کانونی برای شلیک برنامه ریزی می شوند. این پدیده موجب تولید روزنه پراب و ویژگی های باریکه می گردد.

<ul style="list-style-type: none"> • افزایش قابلیت هدایت موج • تولید آویز های شبکه ای ناخواسته¹ • تولید آویز های کناری (مانند فراصوت معمولی)، کاهش هدایت موج • افزایش فاکتور تمرکز² (وضوح باریکه) 	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش گام و پهنای المان ها در تعداد ثابت المان ها • افزایش گام یا بسامد • افزایش پهنای المان • افزایش روزنه فعال با استفاده از تعداد زیادی المان کوچک با گام کم
---	---

چنانچه در صفحات پیش اشاره شد، ماهیت آزمون آرایه فازی یک باریکه فراصوت است که راستا (زاویه شکست) و تمرکز آن می تواند به صورت الکترونیکی با تغییر تأخیر برانگیختگی³ المان های منفرد یا گروهی از المان ها هدایت شود. این هدایت باریکه امکان بازرسی در چندین زاویه و/یا چندین نقطه، با یک پراب و یک موقعیت ثابت را فراهم می سازد. (شکل 2. 23)



شکل 2. 23. مراتب قانون کانونی

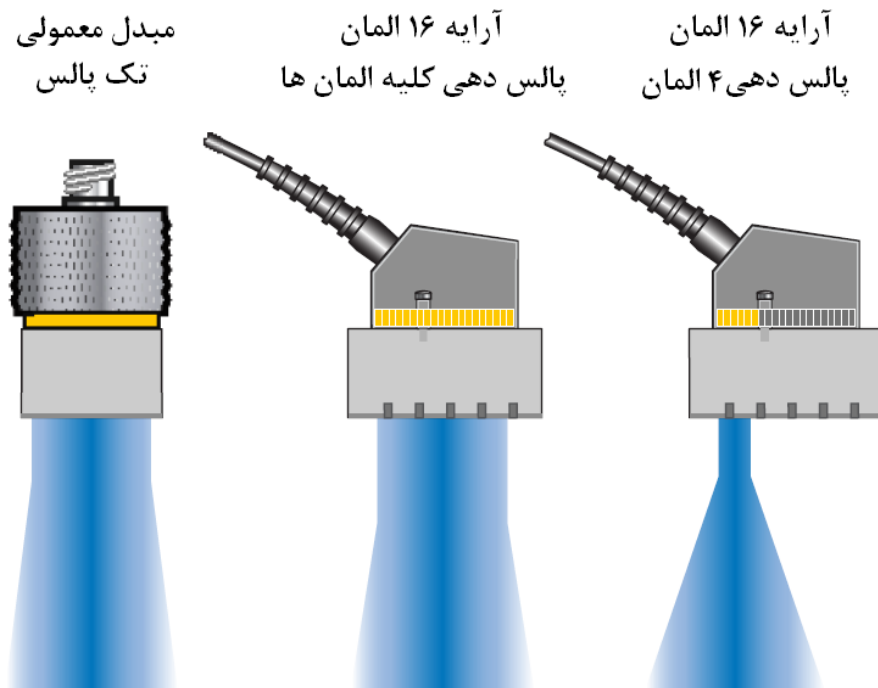
¹ Unwanted Grating Lobe

² Focusing Factor

³ Excitation Delay

پیش‌تر شرح داده شد که ویژگی‌های باریکه فراصوت توسط فاکتورهای گوناگونی تعریف می‌شود. در کنار ابعاد المان، بسامد و تعدیل، که عامل کارایی تک المان‌های معمولی هستند، رفتار پراب‌های آرایه فازی متأثر از چگونگی قرارگیری، انتخاب اندازه و گروه بندی المان‌های منفرد کوچک برای ایجاد یک روزنه فعال معادل با نوع فراصوت معمولی آن است.

برای پراب‌های آرایه فازی تعداد N المان گروهی گرد آمده تا روزنه فعال را ایجاد نمایند. گسترش باریکه را می‌توان به طور تخمینی با مدل‌های مبدل معمولی مقایسه نمود. (شکل 2. 24)



شکل 2. 24. روزنه فعال

برای پراب‌های آرایه فازی، بیش‌ترین زاویه هدایت (-6 -دسی‌بل) در یک مورد خاص، از رابطه گسترش موج به دست می‌آید. به سادگی می‌توان دید که المان‌های کوچک گسترش باریکه بیش‌تر و از این رو محتوا انرژی زاویه‌ای^۱ بالاتری داشته، که می‌تواند با ترکیب با یکدیگر حداکثر هدایت را ایجاد نمایند. با کاهش اندازه المان، به منظور حفظ حساسیت باید تعداد المان‌های بیش‌تری با هم پالس‌دهی شوند.

$$\sin \theta_{st} = 0.514 \frac{\lambda}{e}$$

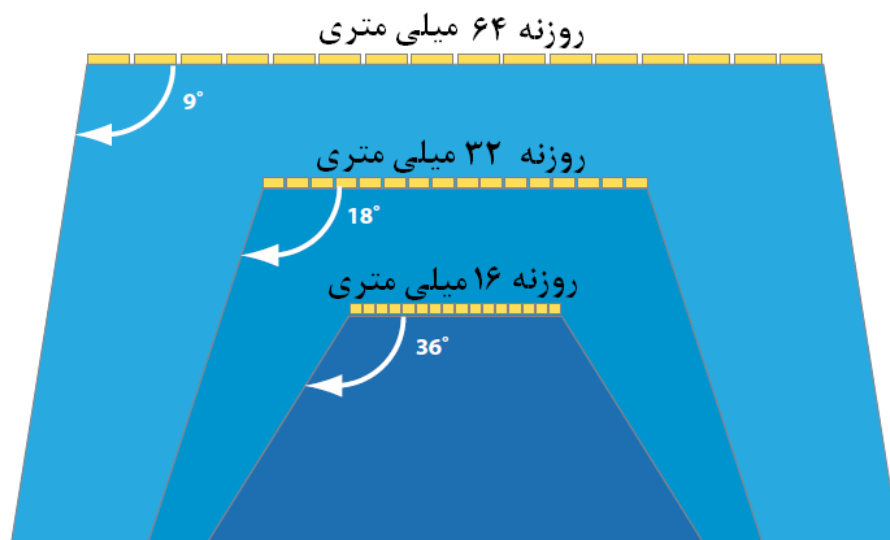
که:

$$\sin \theta_{st} = \text{سینوس حداکثر زاویه هدایت}$$

¹ Angular Energy

λ = طول موج در ماده مورد آزمون

e = پهنای المان



شکل 2. 25. محدوده‌های هدایت باریکه: چنانچه تعداد المان ثابت باشد، 16 عدد در این مثال، بیشینه زاویه هدایت باریکه با کاهش اندازه روزنه، افزایش می‌یابد

یادآور می‌شود محدودیت‌های موجود در ساخت پراب آرایه فازی کمترین پهنای یک المان منفرد را به 0/2 میلی‌متر محدود نموده و روزنه فعال برای یک پراب 16 المان با المان‌های 0/2 میلی‌متری 3/2 میلی‌متر خواهد بود. تولید روزنه 6/4 میلی‌متری نیاز به 32 المان خواهد داشت. اگرچه این پراب‌ها بی‌شک بیش‌ترین هدایت را دارند، اما روزنه کوچک سطح پوشش ایستا¹، حساسیت، نفوذ و قابلیت تمرکز را محدود خواهد کرد.

با داشتن زاویه گسترش باریکه، قطر باریکه در هر فاصله از پراب قابل محاسبه است. در مورد یک پراب مربعی یا مستطیلی گسترش باریکه در صفحه غیرفعال مشابه مبدل غیرمتمرکز است. در صفحه فعال یا هدایت شونده²، باریکه به منظور همگرا نمودن انرژی صوتی، به طور الکترونیکی در عمق مورد نظر تمرکز می‌یابد. برای یک پراب تمرکز یافته، شکل باریکه اغلب با یک مخروط باریک شونده³ (یا گوه در مورد تمرکز تک محوری) نشان داده می‌شود که به سمت نقطه کانونی همگرا شده و از آن پس با زاویه‌ای برابر واگرا می‌شود. این پدیده در پی شرح داده شده است:

طول ناحیه نزدیک و به فراخور آن واگرایی طبیعی⁴ یک باریکه فراصوت با روزنه (برابر با قطر المان در مورد مبدل‌های معمولی) و طول موج (حاصل تقسیم سرعت بر بسامد) تعریف می‌شود. برای یک پراب دایره‌ای غیرمتمرکز، طول ناحیه نزدیک، زاویه گسترش موج و قطر باریکه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4c} = \text{طول ناحیه نزدیک}$$

¹ Static Coverage Area

² Steered Plane

³ Tapering Cone

⁴ Natural Divergence

که:

D = قطر المان یا روزنه

f = بسامد

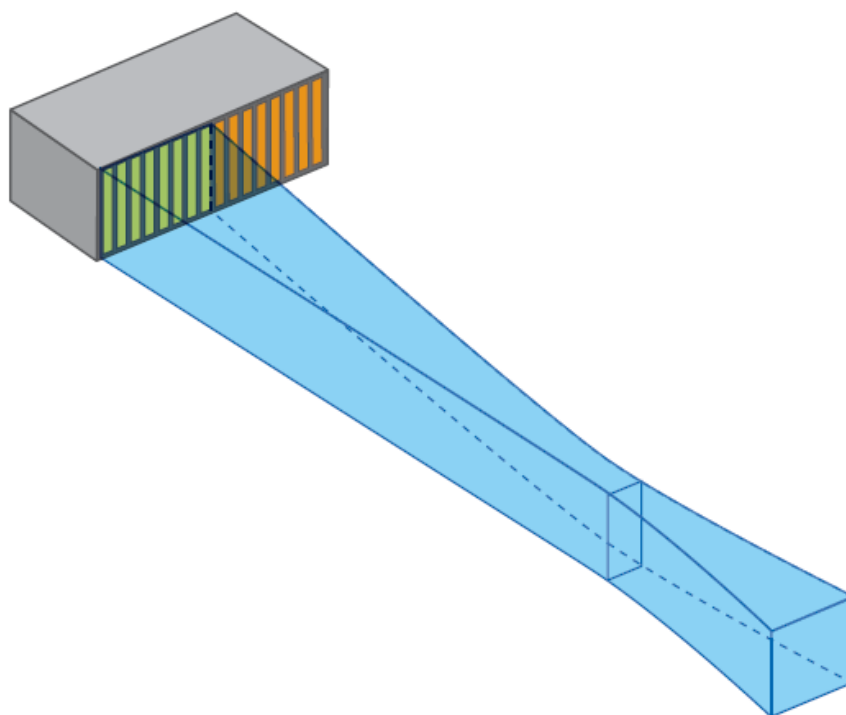
c = سرعت صوت در محیط مورد آزمون

$$\lambda = \text{طول موج} = \frac{c}{f}$$

برای رابطه مربوط به المان های مربعی یا مستطیلی، بخش 2.1 کتاب را ببینید.

7.2. تمرکز باریکه با پراب های آرایه فازی

باریکه های صوتی می توانند همچون پرتوهای نور تمرکز یابند. باریکه شکلی همانند ساعت شنی داشته که در نقطه کانونی به حداقل قطر رسیده و پس از عبور از آن گسترش می یابد (شکل 2.26).



شکل 2.26. باریکه صوتی تمرکز یافته

عمقی که باریکه حاصل از آرایه فازی تمرکز یافته، می تواند با تغییر تأخیرهای پالسی¹ جابجا شود. طول ناحیه نزدیک در یک ماده، معرف بیش ترین عمق تمرکز باریکه صوتی است. یک باریکه توانایی تمرکز فراتر از ناحیه نزدیک در یک ماده مورد آزمون را ندارد.

¹ Pulse Delay

حساسیت مؤثر یک پراب متمرکز، متأثر از قطر باریکه در نقطه دلخواه است. هرچه قطر باریکه کم‌تر باشد، میزان انرژی بازتاب یافته از یک عیب کوچک بیش‌تر خواهد بود. به علاوه، قطر باریکه کوچک در نقطه تمرکز تفکیک پذیری جانبی¹ را بهبود می بخشد. قطر باریکه 6- دسی‌بل یا پهنای یک پراب متمرکز در نقطه کانونی به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{1.02 Fc}{fD} = -6dB \text{ قطر باریکه}$$

که:

F = طول کانونی در محیط آزمون

C = سرعت صوت در محیط مورد آزمون

D = قطر المان یا وزنه

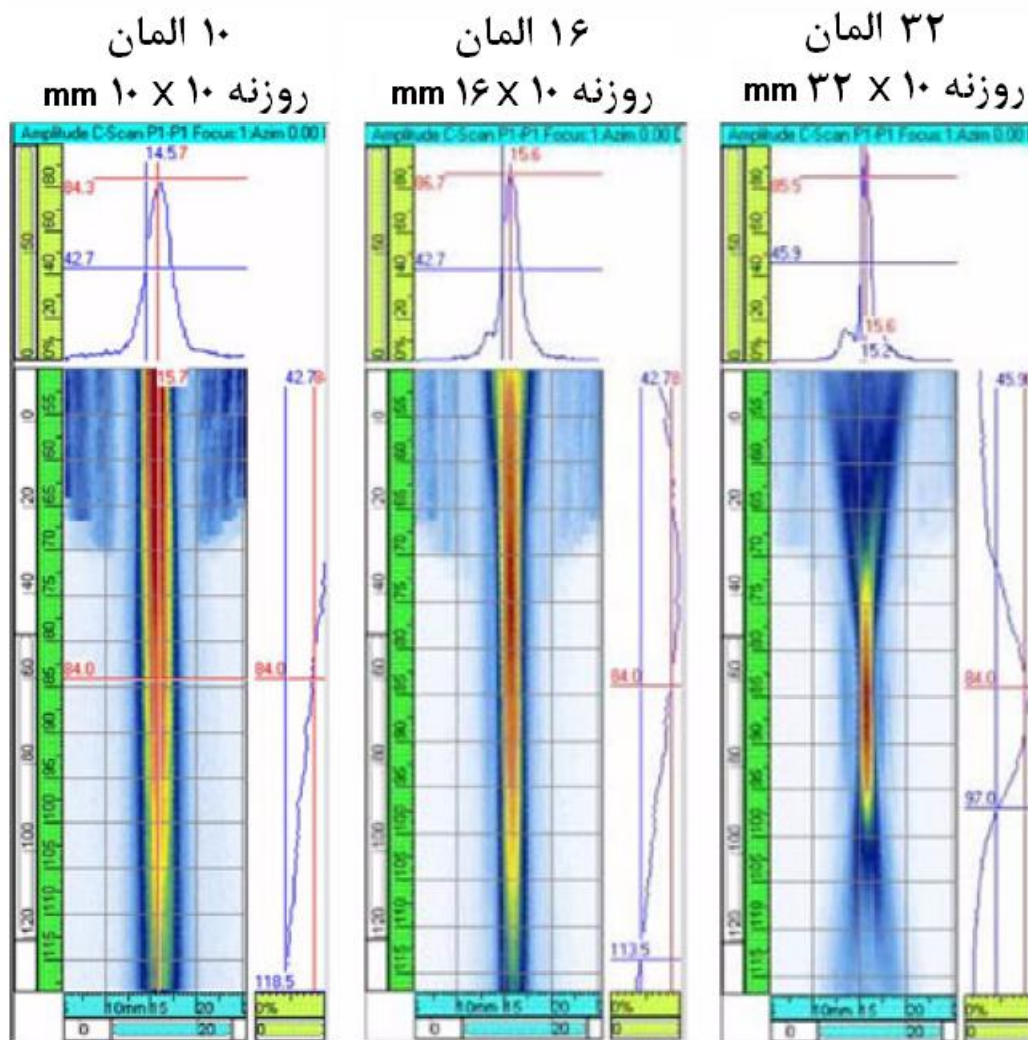
برای المان های مستطیلی، این مقدار به طور جداگانه برای جهات فعال و غیر فعال محاسبه می گردد.

از این روابط چنین برمی‌آید که افزایش اندازه المان و یا بسامد موجب کاهش زاویه گسترش باریکه می شود. یک زاویه گسترش باریکه کوچک‌تر، حساسیت مؤثر بالاتری در ناحیه دور را حادث می‌گردد؛ که ناشی از سرعت کم تحلیل انرژی است. یک پراب در ناحیه نزدیک خود توانایی تمرکز همگرا داشته و واگرایی رخ نخواهد داد. باریک شدن قطر یا عرض باریکه به سمت نقطه کانونی، انرژی صوتی در واحد سطح در منطقه کانونی را افزایش داده، که موجب افزایش حساسیت نسبت به بازتابنده های کوچک می گردد. مبدل های معمولی اغلب این پدیده را با لنزهای صوتی شکست² انجام می دهند، حال آنکه در آرایه فازی پالس دهی فازی به صورت الکترونیکی، باریکه را شکل می دهد.

در مورد المان های مستطیلی آرایه های فازی خطی، که پرکاربردترین نوع هستند، باریکه در مسیر هدایت تمرکز یافته و در جهت غیرفعال غیرمتمرکز است. افزایش اندازه روزنه بهبود وضوح باریکه متمرکز را، چنان که در اشکال باریکه می توان دید (شکل 2.27)، در پی خواهد داشت. **نواحی قرمز** نشان دهنده ی بیشترین فشار صوتی و **نواحی آبی** فشارهای صوتی کمتر را نشان می دهند.

¹ Lateral Resolution

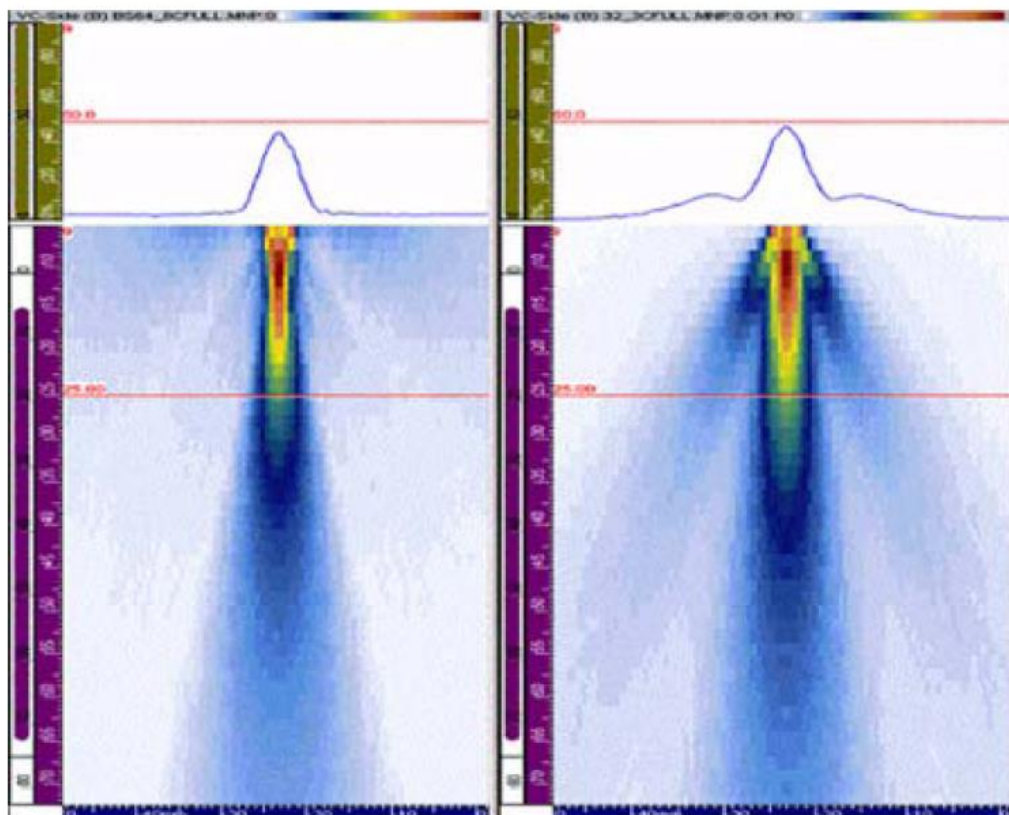
² Refractive Acoustic Lens



شکل 2. 27. تمرکز موج با اندازه روزنه‌های متفاوت

8-2. آویزهای شبکه‌ای و آویزهای کناری

مفهوم دیگری که با پراب آرایه فازی همراه است، تولید آویزهای شبکه‌ای و آویزهای کناری ناخواسته است. علت تشکیل این دو مفهوم نزدیک به هم، گسترش انرژی صوت از پراب در زوایایی غیر از مسیر اصلی صوت است. آویزهای کناری محدود به سیستم آرایه فازی نیستند، بلکه در مبدل‌های معمولی با افزایش اندازه المان افزایش می‌یابند. آویزهای شبکه‌ای تنها در پراب‌های آرایه فازی رخ داده و ناشی از فاصله منظم و تکرار شونده میان المان‌های کوچک منفرد می‌باشند. این مسیر پرتوهای ناخواسته ممکن است سطوحی از قطعه مورد آزمون را بازتاب داده و باعث تولید علایم گمراه‌کننده در تصویر گردند. دامنه آویزهای شبکه‌ای به طور قابل توجهی متأثر از اندازه گام، تعداد المان‌ها، بسامد و پهنای باند است. نمایه‌های باریکه، نشان داده شده در شکل 2. 28، مقایسه دو موقعیتی است که در آنها اندازه روزنه تقریباً یکسان بوده، اما باریکه سمت چپ توسط 6 المان با گام 0/4 میلی‌متر و باریکه سمت راست توسط 3 المان با گام 1 میلی‌متر تولید شده است. باریکه سمت چپ تقریباً مخروطی است، حال آن‌که باریکه سمت راست دارای دو آویز ناخواسته با زاویه تقریبی 30 درجه نسبت به محور مرکزی باریکه است.



۳ المان، گام ۱ میلی متر ۶ المان، گام ۰/۴ میلی متر

شکل 2. 28. نمایه باریکه با تعداد المان‌های مختلف

آویزهای شبکه‌ای اغلب هنگامی رخ می‌دهند که اندازه‌ی المان‌ها در یک آرایه برابر یا بزرگ‌تر از طول موج باشد. چنانچه اندازه المان کوچک‌تر از نصف طول موج باشد، آویز شبکه‌ای پدید نخواهد آمد. (برای اندازه‌های المان بین نصف تا یک طول موج، تولید آویزهای کناری بستگی به زاویه هدایت دارد). بنابراین ساده‌ترین راه حل برای به حداقل رساندن آویزهای کناری در یک کاربرد خاص، استفاده از پراب با گام کوچک است. یک طراحی پراب ویژه شامل برش المان‌ها به المان‌های کوچک‌تر^۱ است؛ در ضمن تغییر فاصله المان نیز می‌تواند در راستای کاهش آویزهای ناخواسته مؤثر باشد.

2. 9. کلیات انتخاب پراب‌های آرایه فازی

مسئله مهم در طراحی پراب آرایه فازی همواره رعایت تعادل میان انتخاب گام، پهنا و روزنه مناسب بوده است. استفاده از تعداد زیادی المان کوچک به منظور افزایش هدایت، آویزهای کناری را کاهش داده و تمرکز بهتری ایجاد می‌کند، اما این امر ممکن است به افزایش هزینه ساخت و پیچیدگی دستگاه منجر شود. اغلب دستگاه‌های استاندارد تا 16 المان را پشتیبانی می‌کنند. به نظر می‌رسد المان‌های بیشتر با فواصل بزرگ‌تر آسان‌ترین راه برای حصول اندازه روزنه مدنظر باشند؛ اما این کار باعث تولید آویزهای شبکه‌ای ناخواسته می‌گردد.

¹ Sub Dicing

توجه به این نکته مهم است، که فروشندگان پراب های آرایه فازی اغلب پراب های استاندارد با تعادل لازم میان خصوصیات مذکور را پیشنهاد داده و از این طریق بهینه کارایی حاصل می گردد. انتخاب نهایی پراب در نهایت بستگی به نیازهای کاربرد مورد نظر دارد؛ در برخی موارد مسیر کوچکی از فلز نیازمند هدایت چند زاویه ای است، که در این صورت اندازه روزنه بزرگ نه نیاز است و نه مطلوب. در کاربردهای دیگر مانند شناسایی عیوب صفحه ای¹ به سطح پوشش بزرگی نیاز است؛ بنابراین در این شرایط روزنه های بزرگ و قالب روبش خطی با المان های گروهی مطلوب بوده و به هیچ عنوان نیازی به هدایت ندارد. به طور کلی، کاربر می تواند با تکیه بر دانش فراصوت معمولی اقدام به انتخاب بسامد و روزنه نماید.

¹ Laminar Defects

3- اصول تصویرسازی در آرایه فازی

هر دوی دستگاه‌های فراصوت معمولی و آرایه فازی از امواج صوت بسامد بالا، به منظور بررسی ساختار داخلی یک نمونه مورد آزمون یا ضخامت سنجی آن، استفاده می‌کنند. هر دو آن‌ها بر مبنای قوانین فیزیکی انتشار صورت استوارند. همچنین در هر دو تکنولوژی مفاهیم مشابهی به منظور آرایه اطلاعات فراصوت به کار گرفته شده است.

دستگاه‌های فراصوت معمولی برای آزمون‌های غیرمخرب، اغلب شامل یک تک‌المان فعال با توانایی تولید و دریافت امواج بسامد بالا و یا دو المان جفت شده، یکی برای ارسال و دیگری برای دریافت می‌باشند. یک دستگاه معمولی شامل یک تک‌کانال پالس-دهنده و گیرنده به منظور تولید و دریافت یک سیگنال فراصوت و یک سیستم گردآوری اطلاعات متصل به آن است که با یک صفحه نمایش و ابزار اندازه‌گیری هماهنگ است. در دستگاه‌های پیشرفته‌تر می‌توان از کانال‌های متعدد پالس‌دهنده-دریافت‌کننده با گروهی از مبدل‌ها بهره‌جسته و از این طریق ناحیه پوشش را برای ارزیابی عمق‌های مختلف یا عیوب با جهات گوناگون افزایش داد. در سیستم‌های پیشرفته‌تر، فراصوت معمولی را می‌توان با رمزنگارهای وضعیتی¹، کنترل‌کننده‌ها و نرم‌افزار مربوطه، به عنوان جزیی از یک سیستم تصویری یکپارچه کرد.

دستگاه‌های آرایه فازی، چون باید برای 16 تا 25 المان الگوی برانگیختگی (قانون کانونی) تعیین کنند، به خودی خود چند کاناله هستند. سیستم‌های آرایه فازی، برخلاف عیب‌یاب‌های معمولی، توانایی حرکت دادن باریکه صوت از یک پراب، در گستره‌ای از زاویه‌های شکست، در طول یک مسیر خطی یا تمرکز پویا در عمق‌های مختلف را دارا می‌باشند و از این طریق به بازرسی قابلیت‌ها و انعطاف‌پذیری ویژه‌ای می‌افزایند. این امکان اضافی جهت تولید مسیرهای صوتی گوناگون از طریق یک پراب، برتری قدرتمندی به عیب‌یابی افزوده و خود به خود قابلیت دیداری بازرسی از طریق تولید یک تصویر از ناحیه مورد آزمون میسر می‌گردد. تصویرسازی آرایه فازی امکان بررسی نسبی تغییرات نقطه به نقطه و بازتاب‌های عیب از زوایای مختلف را به کاربر داده و از این روی کمک شایانی به اندازه‌گیری و تمیز عیوب از یک‌دیگر می‌کند. اگر چه این امر در ذات خود پیچیده به نظر می‌رسد، اما در عمل می‌توان به سادگی پوشش بازرسی و بهبود عیب‌یابی را در کنار حذف مبدل‌های متعدد و تجهیزات مورد نیاز آن‌ها در روش‌های بازرسی فراصوت معمولی، گسترش داد.

بخش‌هایی که در پی می‌آید به شرح کامل تر قالب‌های اصلی آرایه داده‌های فراصوت معمولی و آرایه فازی می‌پردازد.

3.1. داده‌های روبش²

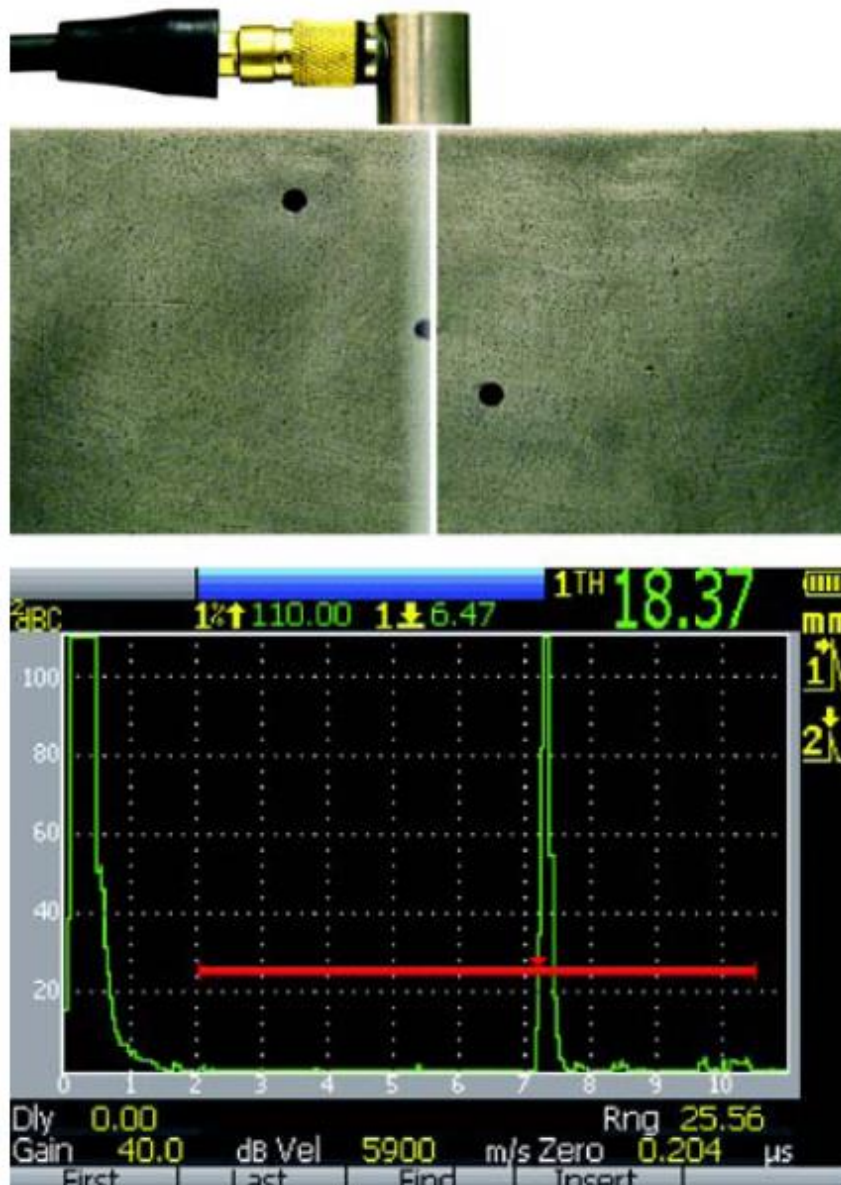
به طور معمول، تمامی دستگاه‌های فراصوت، دو پارامتر اساسی یک پژواک را ثبت می‌کنند: میزان بزرگی آن (دامنه) و محل وقوع آن نسبت به نقطه صفر (زمان عبور پالس¹). معمولاً زمان عبور با عمق بازتابنده یا مسافت قرین می‌شود و مبنای آن سرعت صوت در ماده مورد آزمون و رابطه‌ی ساده زیر است:

¹ Positional Encoder

² A-Scan Data

$$\text{زمان} \times \text{سرعت} = \text{مسافت}$$

اساسی ترین روش ارزیابی داده های فراصوت موجی به شکل یک روبش A، یا نمایش موجی شکل است که در آن دامنه پژواک و زمان عبور بر روی یک صفحه شطرنجی یا محور عمودی دامنه و محور افقی زمان رسم می گردند. مثال شکل 3. 1 نسخه ای از روبش A مربوط به یک موج یکسو شده² را نشان می دهد. شایان ذکر است نمایش های بسامد رادیویی یکسو نشده³ نیز دارای کاربرد می باشند. نشانه⁴ قرمز رنگ روی تصویر، یک دروازه⁵ است که بخش مورد تحلیل موج را انتخاب می کند و اغلب اندازه گیری دامنه پژواک و یا عمق به وسیله آن انجام می پذیرد.



¹ Pulse Transit Time

² Rectified Waveform

³ Uncertified RF Display

⁴ Bar

⁵ Gate

شکل 3. 1. داده‌های روبش A

3. 2. روبش‌های B تک مقدار¹

روش دیگر نمایش داده‌های روبش A عبارت است از روبش B تک مقدار. این قالب معمولاً در عیب‌یابی‌ها و ضخامت‌سنج‌های خوردگی کاربرد داشته و عمق بازتابنده‌ها را به نسبت موقعیت خطی آن‌ها رسم می‌نماید. در حالی که مبدل در طول بخشی از قطعه حرکت می‌کند تا نمایه عمق آن به دست آید، ضخامت به عنوان تابعی از زمان یا مکان ترسیم می‌گردد. قرین‌سازی داده‌های فراصوت با مکان واقعی مبدل، ترسیم‌نمایی متناسب را رقم زده و قابلیت ارتباط دهی و ردگیری داده‌های مربوط به سطوح مشخصی از محل مورد بازرسی را فراهم می‌سازد. چنین ردیابی مکانی معمولاً توسط وسیله‌ای الکترومکانیکی به نام رمزنگار صورت می‌گیرد. رمزنگارها در قیدهای مناسب قرار داده شده و روبش دستی یا اتوماتیک را کنترل می‌کنند. در حقیقت، رمزنگار مکان هر داده را نسبت به قالب روبش و اندیس تفکیک² تعریف شده توسط کاربر ثبت می‌نماید.

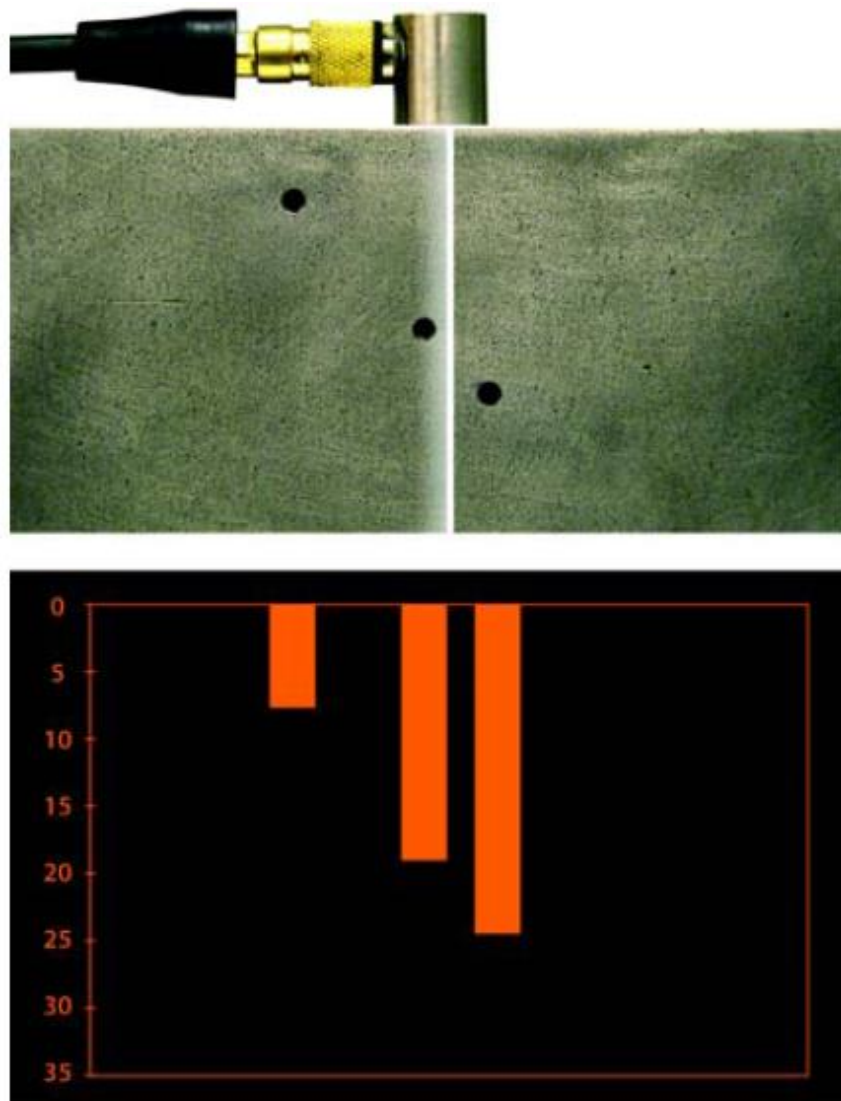
شکل 3. 2 روبش B از دو بازتاب دهنده‌ی عمیق و یک بازتاب دهنده‌ی کم عمق‌تر را نسبت به موقعیت سوراخ‌های جانبی³ در بلوک آزمون⁴ نشان می‌دهد.

¹ Single Value B-Scan

² Index Resolution

³ Side-drilled Hole

⁴ Test Block



شکل 3.2. داده‌های روبش B

3.3. روبش‌های B سطح مقطعی¹

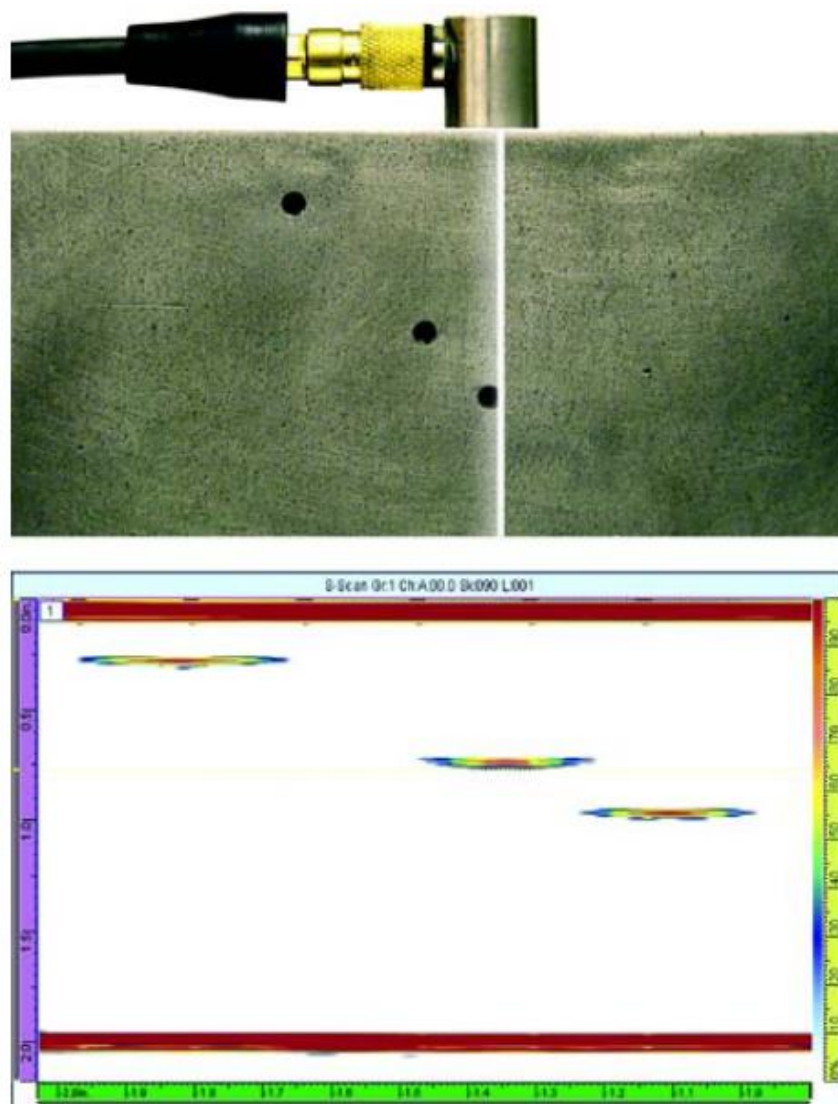
یک روبش B سطح مقطعی ارایه دهنده‌ی دید انتهایی² از یک نمونه مورد آزمون، در طول یک تک محور با جزییات کامل است. این روبش اطلاعات بیش‌تری نسبت به روبش B تک مقدار، که پیش‌تر بحث شد، به دست می‌دهد. به جای ترسیم مقدار اندازه‌گیری شده در محدوده‌ی دروازه، تمامی روبش‌های A در هر موقعیت مبدل به اطلاعات دیجیتالی تبدیل می‌شوند. هر یک از روبش‌های A دیجیتالی شده نسبت به زمان سپری شده یا موقعیت‌های رمزنگاری شده واقعی مبدل³ ترسیم می‌شوند تا سطح مقطع‌های خط مورد روبش را بکشند. از این طریق کاربر اجازه می‌یابد هم بازتاب دهنده‌های نزدیک به سطح و هم دور از سطح نمونه را مشاهده کند. با این روش به طور معمول داده‌های کاملی از موج، در هر موقعیت ذخیره شده و در ارزیابی یا مقایسه‌های بعدی فراخوانی می‌گردد.

¹ Cross-Sectional B-Scan

² End View

³ Actual Encoded Transducer Position

بدین منظور، هر نقطه ی دیجیتالی شده طوری رسم می شود که هر رنگ بیانگر دامنه سیگنال مربوط به هر عمق باشد. روبش های A دیجیتالی شده و بسته به رنگ در فواصل تعیین شده توسط کاربر (زمان سپری شده یا موقعیت) به منظور شکل دهی یک تصویر مقطعی مطلوب گردآوری می شوند. (شکل 3.3)

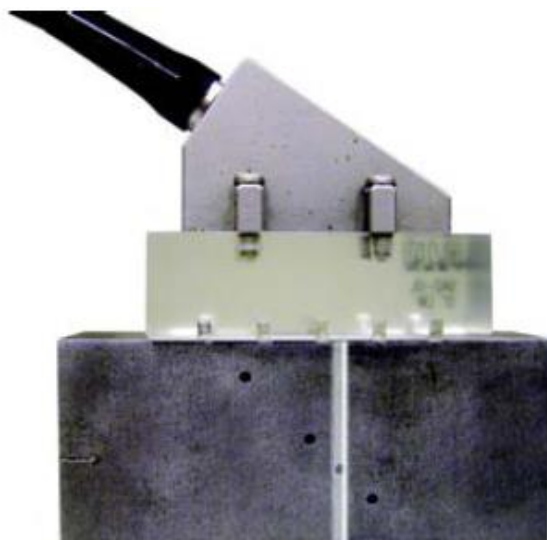


شکل 3.3. روبش B سطح مقطعی

3.4. روبش های خطی¹

یک سیستم آرایه فازی روبش الکترونیکی را به منظور ساخت نمایه سطح مقطعی بدون نیاز به حرکت پراب صورت می دهد. با پیشرفت هر قانون کانونی، یک روبش A انجام شده و رسم می گردد. روزه های موفق گردآوری شده و تصویر سطح مقطعی زنده ای به دست می دهند. در عمل این حرکت الکترونیکی همزمان انجام شده و تصویر سطح مقطعی به طور پیوسته با حرکت فیزیکی پراب دیده می شود. شکل 3.4 تصویری پدید آمده با یک پراب 64 المان آرایه فازی خطی است. در این مثال، کاربر قانون کانونی را برای ایجاد روزه ای با 16 المان برنامه ریزی کرده و پس از آغاز فرایند، المان ها یک به یک پیش می روند. در این شرایط داده های 49 موج منفرد برای ساختن تصویر زنده ای از پراب 1/5 اینچی گردآوری می شوند.

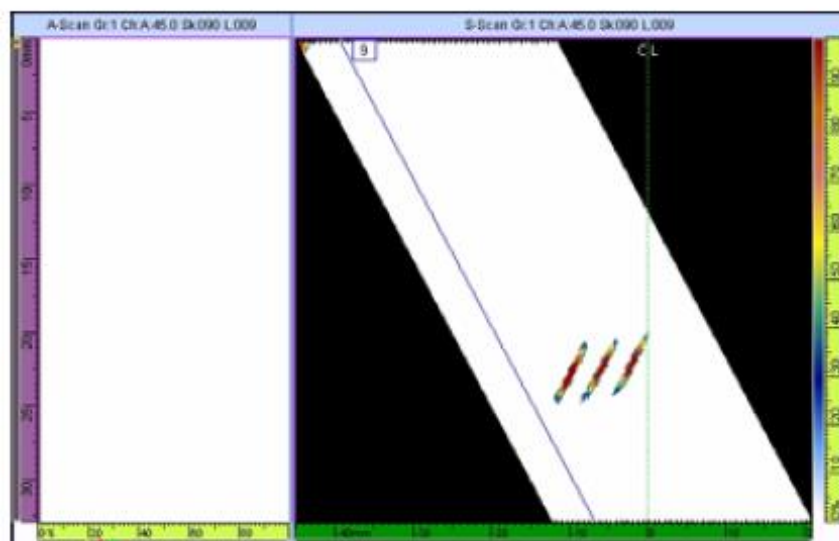
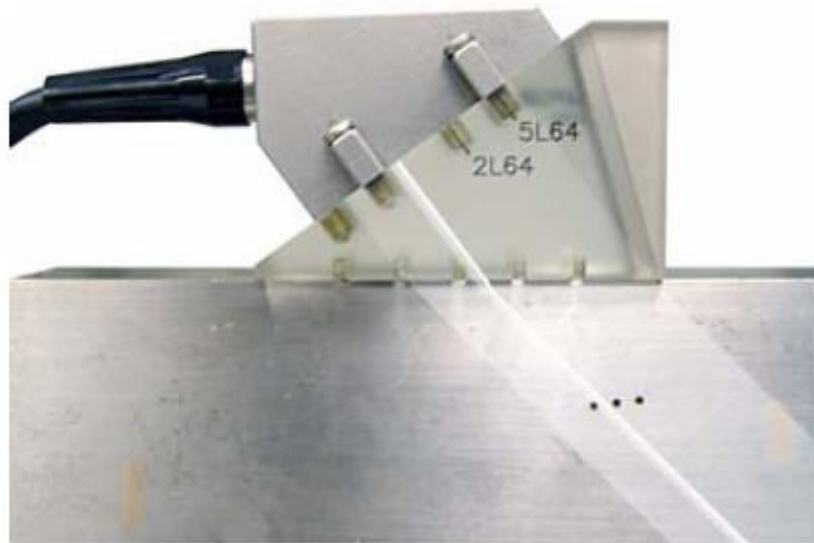
¹ Linear Scans



شکل 3. 4. روبش خطی توسط باریکه عمود

همچنین روبش تحت یک زاویه ثابت در طول المان ها امکان پذیر است (شکل 3. 5). چنانچه در بخش 3. 5 بحث شد، این روش برای بازرسی های اتوماتیک از جوش بسیار مفید است. با استفاده از یک پراب آرایه فازی خطی 64 المانه به همراه کفشک، امواج برشی تحت زاویه مشخص شده توسط کاربر تولید می شوند (معمولا 45، 60 یا 70 درجه). با حرکت دادن روزنه در طول پراب، می توان داده های روبش کل حجم جوش را بدون افزایش فاصله از خط مرکز جوش گردآوری نمود. این روش به منظور بازرسی تک مرحله ای¹ در طول جوش مناسب است.

¹ Single Pass inspection



شکل 3.5. روبش خطی توسط باریکه زاویه‌ای

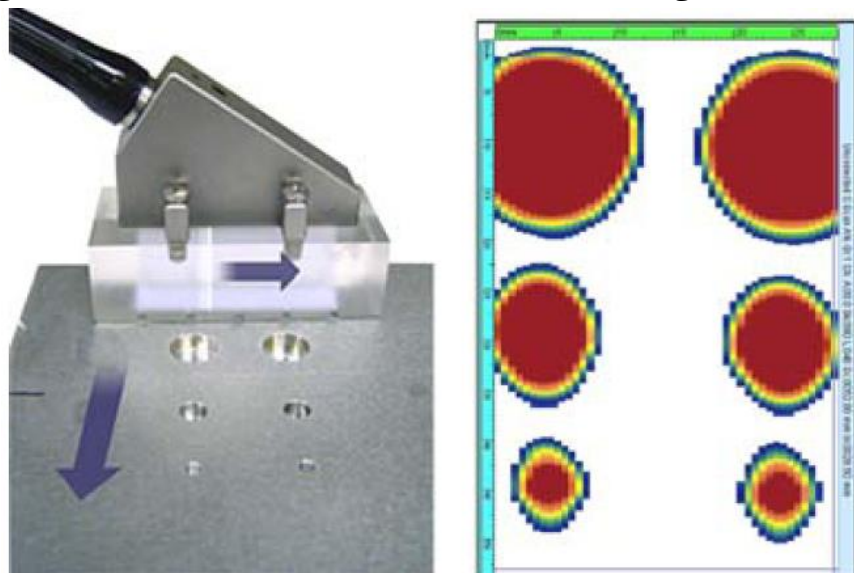
3.5. روبش های C¹

گزینه دیگر برای آرایه داده ها روبش C می باشد. یک روبش C عبارت است از نمایش دو بعدی از داده ها که در حقیقت دید از بالا یا به عبارت دیگر دید پلان از قطعه مورد آزمون می باشد. این روبش مشابه نمایی گرافیکی از یک تصویر اشعه ایکس است که در آن رنگی که نشان دهنده ی دامنه سیگنال دروازه یا عمق در دو نقطه از قطعه مورد آزمون است در موقعیت مربوطه قرار گرفته است. تصاویر پلان می توانند با ثبت داده ها نسبت به موقعیت X-Y برای بخش های مسطح و نسبت به موقعیت های محوری و زاویه ای برای بخش های استوانه ای تولید شوند. در فراصوت معمولی یک روبش گر مکانیکی به همراه رمزنگار به کار گرفته می شود تا مختصات مبدل را با اندیس تفکیک مطلوب ثبت کند.

رویش C حاصل از یک سیستم آرایه فازی بسیار شبیه روبش بدست آمده از یک مبدل معمولی است. در سیستم های آرایه فازی به طور معمول پراب در طول یک محور حرکت فیزیکی داشته و در طول محور دیگر روبش الکترونیکی بر مبنای مراتب قانون

¹ C-Scan

کانونی انجام می شود. داده های مربوط به دامنه سیگنال یا عمق در روبش های C معمولی تنها در ناحیه محدود شده توسط دروازه گردآوری می شوند. در مورد آرایه های فازی، داده ها با پیشرفت قانون کانونی باریکه در روزنه برنامه ریزی شده رسم می شوند. شکل 3. 6 یک روبش C از یک بلوک آزمون است که با یک پراب آرایه فازی خطی 64 المانه 5 مگاهرتز و کفشک صفر درجه به دست آمده است. هر قانون کانونی از 16 المان برای تشکیل روزنه استفاده می کند و در هر پالس دهی از المان شروع کننده یک به یک پیش می رود. در این صورت 49 نقطه داده ای¹ در طول پراب با طول 37 میلیمتر (1/5 اینچ) رسم می گردند (که به طور عمودی در تصویر سمت راست شکل 3. 6 دیده می شوند). با حرکت پراب به جلو در طول یک خط مستقیم، یک دید روبش C صفحه ای شکل می گیرد. رمزنگارها به طور معمول هنگامی استفاده می شوند که نیاز به حفظ تناظر دقیق میان تصویر روبش و ابعاد قطعه باشد، اگرچه روش های دستی بدون رمزنگاری² نیز در اغلب موارد اطلاعات مفیدی در اختیار قرار می دهند.



نمایه کلی باریکه
و جهت حرکت

تصویر روبش - C آرایه فازی
نشانگر موقعیت سوراخ

شکل 3. 6. داده های روبش C با استفاده از پراب آرایه فازی خطی 64 المانه

چون در روبش C معمولی اندازه مؤثر باریکه بزرگتر است و تفکیک پذیری گرافیکی ممکن است به طور کامل با آن برابری نکند برخی نکات را باید مدنظر قرار داد. سیستم آرایه فازی قابل حمل است، در حالی که سیستم معمولی دارای چنین امکانی نیست. قیمت آن نیز حدود یک سوم است. در ضمن، یک تصویر آرایه فازی اغلب در چند ثانیه شکل می گیرد حال آن که روش غوطه وری معمولی معمولاً چندین دقیقه به طول می انجامد.

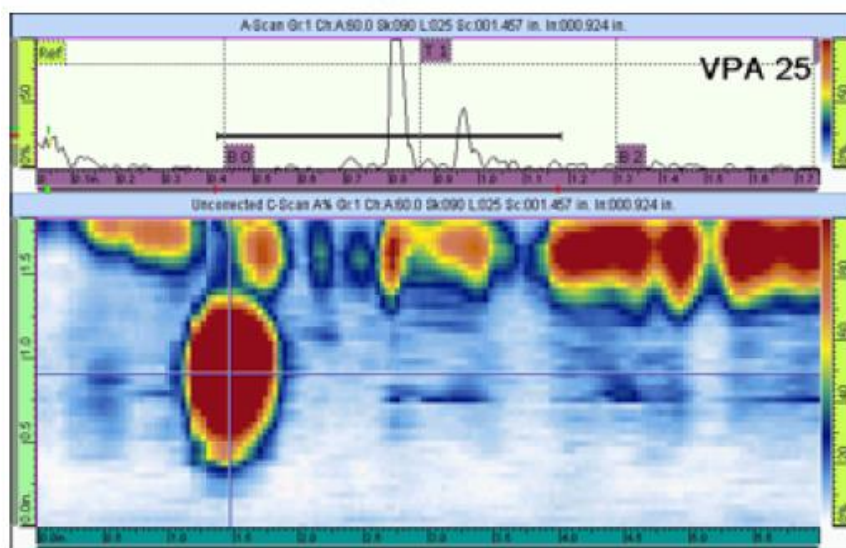
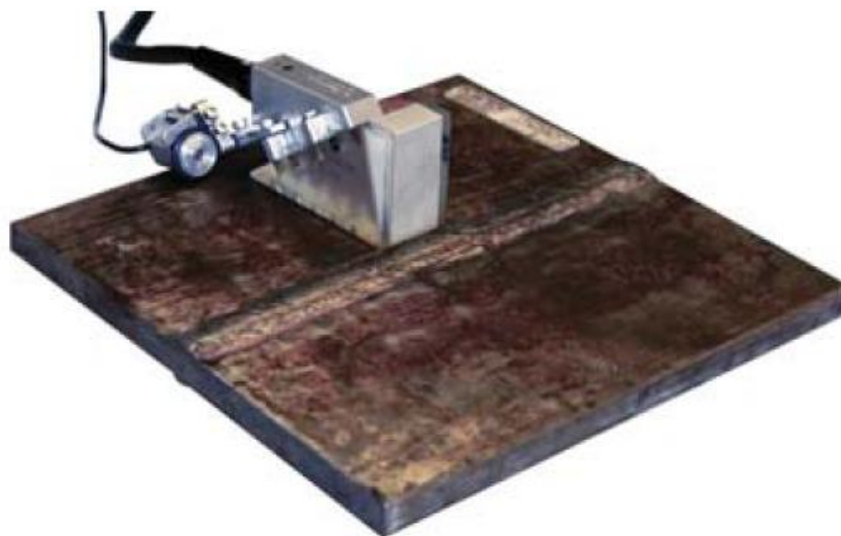
به طور مرسوم از پراب های آرایه فازی خطی برای انجام بازرسی هایی با موج برشی در طول خط جوش ها استفاده می شود. شکل 3. 7 یک پراب آرایه فازی 2/25 مگاهرتز 64 المانه را نشان می دهد، که با قرار گیری روی یک کفشک زاویه ای، توانایی تولید موج برشی با زوایای مطلوب کاربر، که اغلب 46، 60 یا 70 درجه هستند، را دارا می باشد. با قرار دادن پراب به صورت عمود نسبت به جوش، روزنه را می توان در طول پراب حرکت داد. بدین وسیله موج برشی شکست یافته³ بدون نیاز به حرکت مکانیکی پراب حجم جوش را می کاود. داده های کل حجم جوش با لغزاندن پراب به موازات خط جوش قابل حصول است. با استفاده از یک رمزنگار، می توان داده ها را در قالب روبش C رسم نمود، به طوری که دامنه بازتاب دهنده به عنوان تابعی از موقعیت روزنه (محور Y)

¹ Data Point

² None Coded

³ Refracted Shear Wave

و مسافت طی شده (محور X) رسم شود. این قالب روبش اغلب با عنوان روبش تک خط^۱ شناخته می شود. برای کسب تکرارپذیری نتایج، استفاده از یک روبش گر مکانیکی پیشنهاد می گردد. در شکل 3. 7 بازتابی از ریشه در طول خط جوش در بالای تصویر ترسیم شده است. روبش A و مکان نما^۲ حاکی از اثری بزرگ^۳ در ناحیه ای از جوش دارای عیب عدم ذوب دیواره می باشند.



شکل 3. 7. روبش تک خط جهت بازرسی جوش با استفاده از پراب 64 المان 2/25 مگاهرتز، هدایت شده در 60 درجه

3. 6. روبش های S^۴

تا اینجا قالب های تصویری متعددی مورد بحث قرار گرفت، اما روبش S، مختص دستگاه های آرایه فازی است. در یک روبش خطی، تمامی قانون کانونی ها تحت زاویه ای ثابت و با جابجا کردن روزنه به کار گرفته می شوند. در مقابل روبش های S از روزنه ثابت و هدایت زاویه بهره می برند.

¹ One-Line Scan
² Cursor
³ Large Indication
⁴ S-Scan

عمدتاً دو نوع از این نوع روبش به کار گرفته می‌شوند. نوع مشهورتر، که در تصویر سازی پزشکی بسیار پرکاربرد است، از کفشکی با فصل مشترک صفر درجه، به منظور هدایت امواج طولی، استفاده می‌نماید. تصویر حاصل به شکل پی یونانی¹ بوده و قادر است عیوب صفحه ای و تا حدودی زاویه دار را آشکار سازد. (شکل 3-8)

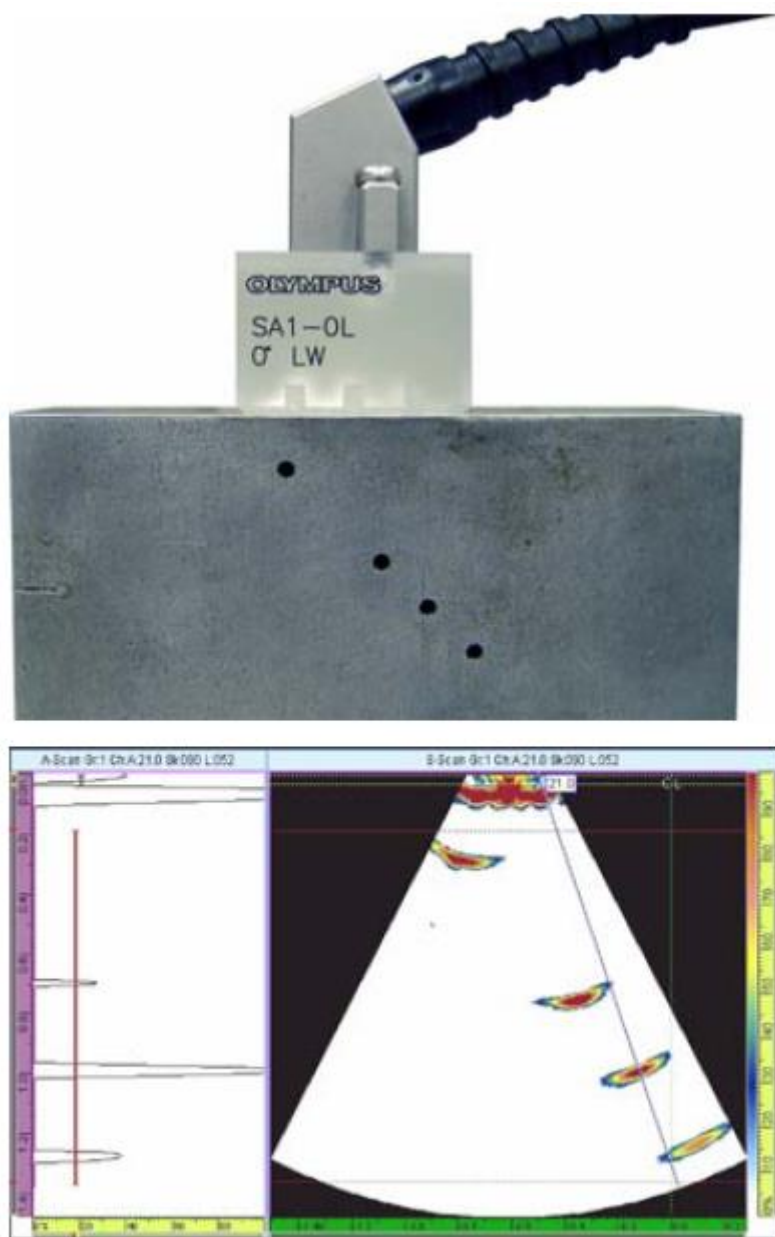
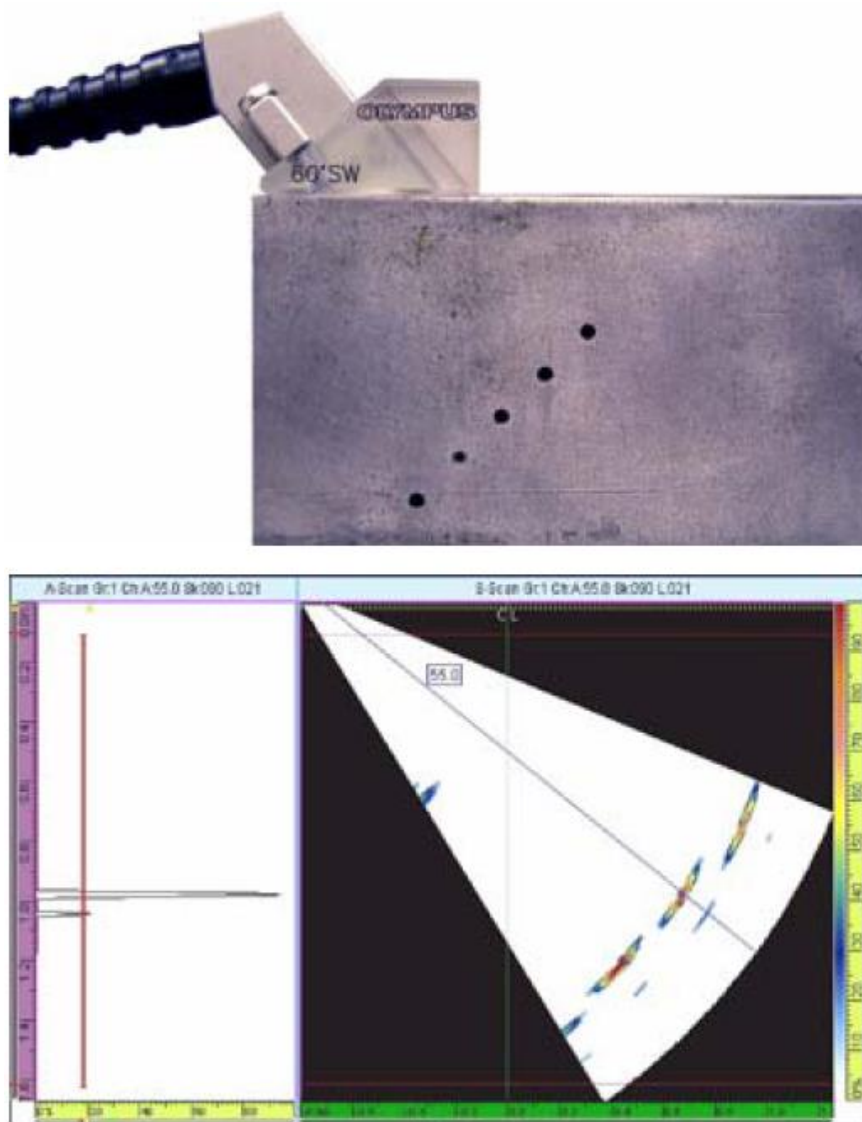


Figure 3-8 -30° to +30° S-scan

قالب دوم از یک کفشک پلاستیکی برای افزایش زاویه شکست و تولید امواج برشی استفاده می‌کند و عمده‌ترین بازه زاویه ای 30 تا 70 درجه قرار دارد. این تکنیک مشابه بازرسی باریکه زاویه ای معمولی است. با این تفاوت که باریکه به جای آن که تحت زاویه

¹ Pie-Shaped

تعیین شده توسط کفشک باشد، گستره‌ای از زاویه‌ها را طی می‌کند. با توجه به آن که روبش از نوع قطاعی خطی^۱ است، ارایه داده‌ها به صورت تصویری سطح مقطعی از ناحیه مورد بازرسی قطعه مورد آزمون می‌باشد. (شکل 3. 9)



شکل 3. 9. روبش S از 35+ درجه تا 70+ درجه

مبنای تشکیل این نوع تصویر نیز همان گردآوری و کنار هم قرار دادن روبش‌های A است، که در بخش پیشین در قسمت مفاهیم روبش‌های خطی مورد بحث قرار گرفت. کاربر می‌تواند زاویه شروع، پایان و قدرت تفکیک مرحله‌ای^۲ برای تولید تصویر روبش S را تعریف نماید. با توجه به ثابت بودن روزنه، هر زاویه‌ی تعریف شده، باریکه‌ای متناظر با مشخصات تعریف شده توسط روزنه، بسامد و ... را تشکیل می‌دهد. پاسخ موج از هر زاویه (قانون کانونی) به صورت دیجیتالی شده، کد-رنگ شده^۳ و متناظر با زاویه مناسب، تصویر سطح مقطعی را تشکیل می‌دهند.

¹ Linear Sectional Scan

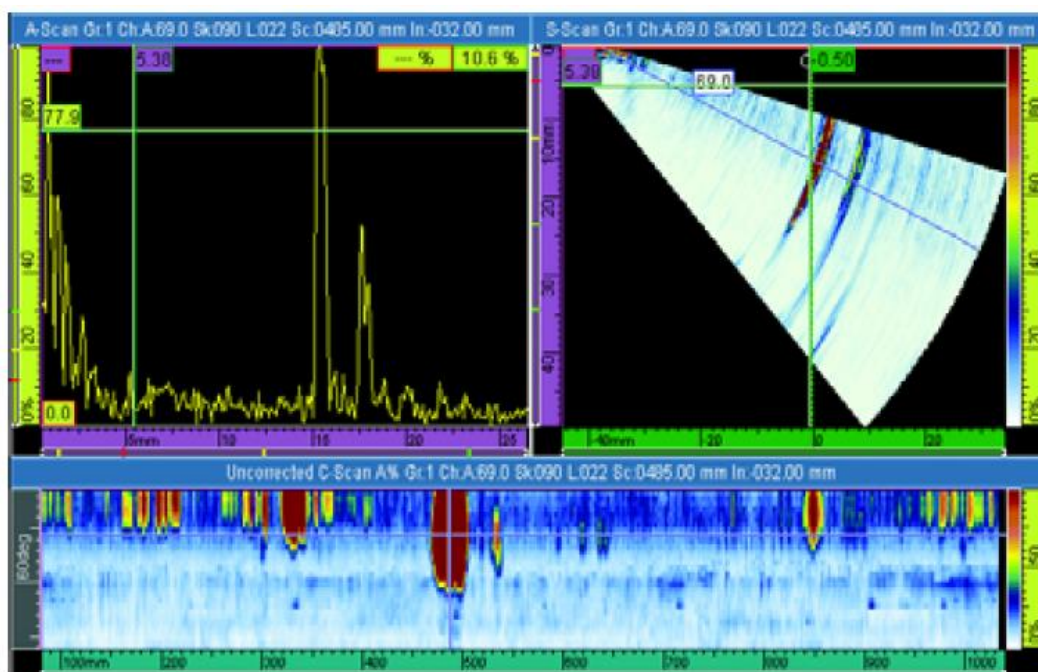
² Step Resolution

³ Color-Coded

در عمل روبش S همزمان با بازرسی تولید شده و با حرکت پراب تصویری پویا در اختیار قرار می دهد. این امر برای به تصویر کشیدن عیوب و افزایش احتمال یافت عیوب بسیار موثر بوده و چون بازرسی از زوایای متعددی صورت می گیرد به ویژه در مورد عیوب با زوایای قرارگیری گوناگون دارای کاربرد است.

3.7. قالب های تصویری ترکیبی¹

تصاویر آرایه فازی دارای قدرت آرایه داده های حجمی تصویر به صورت همزمان با بازرسی می باشند. حین فرایند روبش الکترونیکی نیز، تصویرسازی به صورت همزمان با بازرسی انجام شده که در سیستم های دستی و اتوماتیک به منظور افزایش احتمال یافت عیوب به کار گرفته می شود. به طور ویژه دستگاه های اتوماتیک و جدیدتر آرایه فازی، امکان نمایش چندین نوع تصویر به طور هم-زمان را فراهم آورده و ثبت تمامی اطلاعات خام موج حین بازرسی امکان تحلیل پس از روش² نتایج بازرسی را بوجود می آورد. در حقیقت چون تمامی داده های موج فراصوت گردآوری شده، در تحلیل پس از بازرسی³ تصاویر روبش های قطاعی، روبش های C و یا روبش های B با اطلاعات روبش A، متناظر در هر موقعیت بازرسی بازسازی می شوند. به عنوان مثال، صفحه نمایش در شکل 3.10 به طور همزمان، روبش A یکسوشده⁴، یک روبش قطاعی و یک تصویر روبش C صفحه ای از نمایه جوش را نشان می دهد.



شکل 3.10. نمایش چندین نوع تصویر به طور همزمان

3.8. سرعت روبش و داده برداری⁵

به منظور ایجاد روبش های B یا روبش های C، می توان پراب آرایه فازی را توسط دست یا یک نگهدارنده روبش اتوماتیک⁶ حرکت داد. در همین حال، داده برداری می تواند به صورت حرکت آزاد⁷ و تنها بر مبنای سرعت به تاریخ رسانی⁸ دستگاه یا متناظر با موقعیت پراب، توسط رمزنگارهای الکترومکانیکی، صورت پذیرد. چنانچه در بالا اشاره شد، قرین سازی داده های فراصوت با موقعیت

¹ Combined Image Formats

² Post-Scanning Analysis

³ Post-Analysis

⁴ Rectified A-Scan

⁵ Scan Rate and Data Acquisition

⁶ Automated Scanning Fixture

⁷ Free-Running

⁸ Update Rate

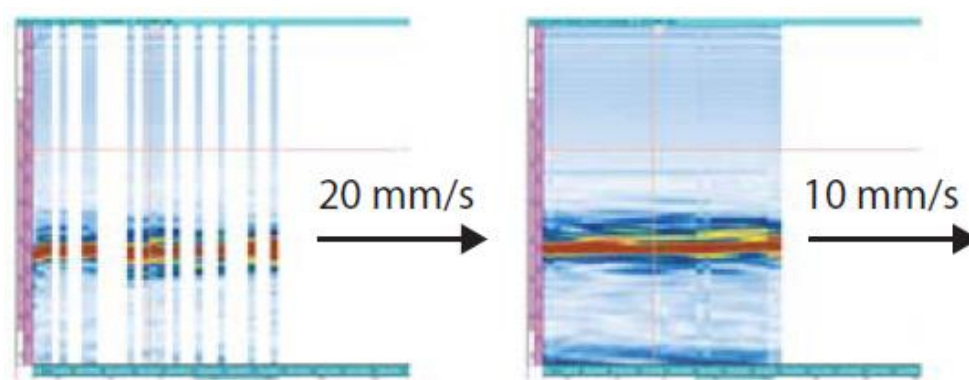
واقعی پراب، امکان انطباق داده‌ها با سطوح مورد بازرسی از قطعه را فراهم می‌سازد. رمزنگار موقعیت مربوط به هر داده‌برداری را به نسبت الگوی روبش و اندیس تفکیک تعریف شده توسط کاربر ثبت می‌نماید. برای جلوگیری از ایجاد فاصله در داده‌برداری، باید به سرعت حرکت پراب و تفکیک فاصله‌ای^۱ رمزنگار بسیار توجه داشت. به طور خلاصه، سرعت داده برداری دستگاه باید بیش‌تر از سرعت روبش تقسیم بر قدرت تفکیک رمزنگار باشد. سرعت داده‌برداری با طراحی و تنظیمات دستگاه تعیین می‌شود. بسامد تکرار پالس^۲ و تعداد قانون‌های کانونی تولید شده برای هر داده برداری هر دو از متغیرهای مربوط به تنظیمات دستگاه می‌باشند. بسامد بسامد تکرار پالس تقسیم بر تعداد قانون کانونی ها بیش‌ترین سرعت ممکن برای داده برداری یک سیستم ارایه فازی را بدست می‌دهد. اگرچه، عدد بدست آمده هنوز هم توسط فاکتورهای همچون میانگین گیری، سرعت نمونه گیری دیجیتال و زمان پردازش قابل تنظیم است.

با یکبار به دست آوردن سرعت داده‌برداری، می‌توان بیشینه سرعت روبش را بر مبنای قدرت تفکیک رمزنگار مدنظر محاسبه نمود؛ یا برعکس. اثر سرعت بیش از حد روبش برای یک قدرت تفکیک رمزنگار داده شده را می‌توان در تصاویر روبش مربوط به شکل 3. 11 مشاهده نمود.

$$1- \text{سرعت داده‌برداری} < \frac{\text{سرعت روبش}}{\text{قدرت تفکیک محور روبش}}$$

2- اگر بسامد تکرار پالس برای تمامی روبش‌های A یکسان باشد آنگاه:

$$\text{سرعت داده‌برداری} > \frac{\text{بازگشت مجدد}^3}{\text{تعداد قانون کانونی ها}}$$



شکل 3. 11. مثالی از اثر سرعت روبش بر سرعت داده‌برداری (سرعت داده‌برداری < سرعت روبش تقسیم بر قدرت تفکیک رمزنگار)

¹ Distance Resolution

² Pulse Repetition Frequency (PRF)

³ Recurrence

واژه نامه آرایه فازی

A Scan

روبش A

یک شبه موج فراصوت که در آن دامنه نسبت به زمان رسم شده است. این روبش می تواند به صورت مستقیم شده (rectified) یا مستقیم نشده (unrectified or RF) باشد.

Angle-Corrected Gain (ACG)

بهره با زاویه اصلاح شده

جبران بهره (gain compensation) که به منظور یکپارچه سازی پاسخ های بازتابی از یک هدف مشخص در هر زاویه بر روی روبش S اعمال می شود.

Apodization

اصلاح گر ولتاژ

یک عملگر کنترل شده توسط کامپیوتر که با اعمال ولتاژ تحریک پایین تر به المان های بیرونی یک آرایه، باعث کاهش دامنه آویزهای کناری ناخواسته می گردد.

Aperture

روزنه

در آزمون آرایه فازی، پهنای المان یا گروهی از المان ها که به طور هم زمان پالس دهی می شوند.

Azimuthal Scan

روبش ازیموتال

جایگزینی برای اصطلاح روبش S می باشد. این روبش دیدی دو بعدی از کلیه داده های دامنه و زمان یا عمق، مربوط به قانون کانونی های پراب آرایه فازی آرایه می دهد، که برای تأخیر و زاویه بازتاب اصلاح شده اند. همچنین، یک روبش S به عمل جارو کردن (sweeping) گستره ای از زوایا توسط باریکه اطلاق می گردد.

B Scan

روبش B

تصویری دوبعدی از داده های فراصوتی که به صورت عمق یا فاصله نسبت به موقعیت باریکه رسم شده است. روبش B ها می توانند به صورت تک مقدار یا سطح مقطعی باشند.

B-Scan, Cross-Sectional

روبش B، سطح مقطعی

تصویری دو بعدی از داده های فراصوتی بر مبنای ذخیره کامل شبه موج در هر نقطه، که توانایی ترسیم کلیه بازتاب دهنده ها در یک سطح مقطع را دارا می باشد. با این تصویر امکان مشاهده بازتاب دهنده های نزدیک و دور از سطح نمونه وجود دارد.

B-Scan, Single Value

روبش B، تک مقدار

تصویری دو بعدی بر مبنای رسم اولین یا بزرگترین بازتاب دهنده ی میان دروازه. این قالب در عیب یاب های فراصوت و ضخامت-سنج های پیشرفته کاربرد داشته و تنها یک بازتاب دهنده را در هر نقطه نشان می دهد.

Band Width

پهنای باند

بخشی از پاسخ بسامد که در محدوده دامنه ای مشخص شده قرار دارد. در این مفهوم باید بدین نکته توجه داشت که مبدل‌های معمولی آزمون‌های غیر مخرب، امواج صوتی را تحت یک بسامد خالص تولید نمی کنند، بلکه این امواج در گستره‌ی بسامدی به مرکزیت بسامد اسمی تخصیص داده شده قرار دارند. استاندارد صنعتی عبارت است از مشخص نمودن این پهنای باند در نقطه‌ی 6- دسی بل (یا نیم دامنه). به عنوان قانونی کلی، پهنای باند عریض‌تر قدرت تفکیک نزدیک به سطح و قدرت تفکیک محوری بهتری دارد، حال آن‌که پهنای باند باریک‌تر موجب انرژی خروجی بالاتر و در نتیجه حساسیت بالاتر می گردد.

Beam Forming

شکل‌دهی باریکه

در آزمون آرایه فازی عبارت است از تولید باریکه صوت در موقعیت، زاویه و یا تمرکز مشخص از طریق توالی پالس‌دهی المان‌های یک پراب آرایه فازی.

Beam Spread

گسترش باریکه

زاویه واگرایی از خط مرکزی یک باریکه صوتی در ناحیه دور مربوطه.

Beam Steering

هدایت باریکه

قابلیت تغییر زاویه شکست باریکه صوتی تشکیل شده توسط پراب آرایه فازی.

Calibration, Sensitivity

کالیبراسیون حساسیت

دستورالعملی که به طور الکترونیکی پاسخ دامنه مربوط به کلیه اجزاء باریکه را در یک روبش آرایه فازی برابر می سازد. این دستورالعمل تغییرات حساسیت المان به المان و تغییر انتقال انرژی در زوایای شکست مختلف را جبران می کند.

Calibration, Wedge Delay

کالیبراسیون تأخیر کفشک

دستورالعملی که به طور الکترونیکی مسیرهای صوتی به دست آمده از اجزاء مختلف باریکه در یک کفشک را جبران نموده و به منظور یکسان‌سازی طول مسیر صوتی اندازه گیری شده از یک بازتاب دهنده به کار می رود.

C-Scan

روبش C

دید دوبعدی از داده‌های دامنه فراصوت یا زمان عمق که به عنوان دید از بالای قطعه مورد آزمون نمایش داده می‌شود.

E-Scan

روبش E

همچنین با عناوین روبش الکترونیکی (electronic-scan)، نقطه اندیس جارو شده (swept index point) یا روبش عرضی الکترونیکی (electronic raster scanning) شناخته می‌شود. در برخی صنایع، روبش E به "روبش خطی (liner scan)" یا "روبش الکترونیکی خطی (liner electronic scan)" اطلاق می‌گردد و عبارت است از قابلیت حرکت دادن باریکه صوتی در

راستای گروهی از المان‌ها بدون هیچ‌گونه حرکت مکانیکی. قانون کانونی معادل در راستای گروهی از المان‌های فعال اعمال گردیده و روبش E ها تحت زاویه ثابت و در راستای طول پراب آرایه فازی انجام می‌شوند. برای روبش‌های باریکه زاویه‌ای، اغلب قانون کانونی‌ها به ازای تغییر در ضخامت کفشک جبران می‌شوند.

Far Field

ناحیه دور

بخشی از باریکه صوتی فراتر از آخرین فشار بیشینه محوری. گسترش باریکه در ناحیه دور رخ می‌دهد.

Focal Laws

قانون کانونی‌ها

الگوی برنامه ریزی شده‌ای از تأخیرات زمانی اعمال شده برای پالس‌دهی و دریافت از المان‌های منفرد یک پراب آرایه‌ای و به منظور هدایت و یا تمرکز باریکه صوتی و پاسخ پژواک حاصل.

Focus

تمرکز

در فراصوت، نقطه‌ای که در آن باریکه صوتی به سوی کمینه قطر و بیشینه فشار صوتی همگرا شده و فراتر از آن باریکه واگرا می‌گردد.

Grating Lobes

آویزهای شبکه‌ای

اجزا ناخواسته از باریکه صوتی که در اطراف مرکز انرژی منشعب شده و ناشی از المان‌های پراب می‌باشند. آویزهای شبکه‌ای تنها در پراب‌های آرایه فازی رخ داده و علت وقوع آن‌ها فواصل منظم و تکرار شونده میان المان‌های کوچک منفرد است.

Huygens Principle

اصل هویگنز

مدلی ریاضی از رفتار موج که طبق آن هر نقطه از یک جبهه موج پیش‌رونده ممکن است به عنوان منبعی نقطه‌ای برای تولید یک موج کروی جدید به کار رفته و جبهه موج نهایی، حاصل جمع تمامی این موج‌های کروی مستقل است.

Liner Scan

روبش خطی

قابلیت حرکت دهی باریکه صوتی در راستای محور اصلی آرایه بدون حرکت مکانیکی. قانون کانونی معادل در راستای گروهی از المان‌های فعال اعمال گردیده و روبش خطی تحت زاویه ثابت و در راستای طول پراب آرایه فازی انجام می‌شوند. برای روبش‌های باریکه زاویه‌ای، اغلب قانون کانونی‌ها به ازای تغییر در ضخامت کفشک جبران می‌شوند. در برخی صنایع این اصطلاح معادل روبش تک خط (one-line scan) به کار رفته است.

Near Field

ناحیه نزدیک

بخشی از باریکه صوتی میان مبدا و آخرین قله (peak) فشار صوتی محوری. مبدل‌ها تنها در ناحیه نزدیک قابل تمرکز هستند.

One-Line Scan

روبش تک خط

روبش مکانیکی تک مرحله ای توسط پراب آرایه فازی به موازات جوش یا ناحیه ی مورد بازرسی. اغلب این روبش با پراب آرایه خطی به منظور تولید تصویری مشابه روبش C از داده های دامنه یا عمق به عنوان تابعی از موقعیت های روزنه الکترونیکی، به جای مکان های مکانیکی، انجام می شود.

Phased Array

آرایه فازی

یک پراب فراصوت چند المانه (معمولاً با 16، 32 یا 64 المان) برای هدایت باریکه ها توسط پالس دهی و دریافت فازی شده مورد استفاده قرار می گیرد.

Phasing

فازی شدن

برهم کنش دو یا چند موج هم بسامد، اما با تأخیرات زمانی متفاوت، که می تواند موجب تداخل سازنده یا مخرب گردد.

Pitch

گام

فاصله میان المان های منفرد در یک پراب آرایه فازی.

Plane, Active

صفحه فعال

جهت موازی با محور پراب آرایه فازی شامل چندین المان.

Plane, Passive

صفحه غیر فعال

جهت موازی با طول المان مستقل یا پهنای پراب.

Plane, Steering

صفحه هدایت

جهتی که در آن مسیر باریکه برای پراب آرایه فازی تغییر می کند.

Pulse Duration

مدت پالس

فاصله زمانی میان نقطه ای که لبه ی پیشرو (leading edge) شبه موج به دامنه مشخص شده (معمولاً 20- دسی بل نسبت به قله) و لبه ی دنباله رو (trailing edge) شبه موج نیز به همان دامنه رسیده باشد. پهنای باند وسیع تر معمولاً مدت پالس را کاهش می دهد، در حالی که پهنای باند باریک تر آن را افزایش می دهد؛ در ضمن مدت پالس به تنظیمات پالس دهنده بسیار وابسته است.

Resolution, Angular

تفکیک زاویه ای

در سیستم های آرایه فازی، تفکیک زاویه ای عبارت است از کم ترین مقدار زاویه ای میان دو روبش A، به طوری که عیوب مجاور در عمق یکسان قابل تفکیک باشند.

Resolution, Axial

تفکیک محوری

کمینه فاصله عمق میان دو بازتاب دهنده‌ی مشخص، به طوری که شناسایی هر دو میسر باشد. در بسامدهای بالاتر و یا پهنای باند بیش‌تر، جدایش محوری معمولاً افزایش می‌یابد.

Resolution, Far-Surface

تفکیک سطح دور

کمترین مسافت از سطح دیواره پستی به گونه‌ای که دامنه پژواک یک بازتاب دهنده‌ی مشخص، حداقل 6 دسی‌بل بیش‌تر از لبه پیشرو پژواک دیواره پستی باشد. به طور عمومی‌تر، نزدیک‌ترین مسافت از سطح دیواره پستی که یک بازتاب‌دهنده قابل شناسایی باشد.

Resolution, Lateral

تفکیک جانبی

در سیستم‌های آرایه فازی، کمینه فاصله میان دو بازتاب دهنده‌ی مشخص، به گونه‌ای که شناسایی هر دو میسر باشد. این نوع تفکیک، هم بستگی به طراحی آرایه پراب و هم نحوه‌ی برنامه‌ریزی قانون کانونی دارد.

Resolution, Near-Surface

تفکیک سطح نزدیک

کمینه فاصله از سطح ورودی صوت، به گونه‌ای که دامنه پژواک یک بازتاب دهنده‌ی مشخص، حداقل 6 دسی‌بل بیش‌تر از لبه‌های دنباله‌رو پالس تحریک، خط تأخیر یا پژواک کفشک باشد. به طور عمومی‌تر، نزدیک‌ترین فاصله از سطح ورودی صوت به گونه‌ای که بازتاب‌دهنده قابل تشخیص باشد. سطح بالای این نقطه به عنوان ناحیه مرده شناخته شده و معمولاً با افزایش بهره افزایش می‌یابد.

S-Scan

روبش S

همچنین با عناوین روبش قطاعی، روبش جاروی زاویه‌ای (swept angle scan)، روبش الکترونیکی زاویه‌ای (angular electronic scanning) یا روبش ازیموتال شناخته می‌شود. این روبش دیدی دو بعدی از کلیه داده‌های دامنه و زمان یا عمق مربوط به قانون کانونی‌های پراب آرایه فازی آرایه می‌دهد، که برای تأخیر و زاویه بازتاب اصلاح شده‌اند. همچنین، یک روبش S به عمل جارو کردن گستره‌ای از زوایا توسط باریکه اطلاق می‌شود.

Side Lobes

آویزهای کناری

اجزا ناخواسته از باریکه صوتی که در اطراف مرکز انرژی منشعب شده و ناشی از نشت فشار صوتی از المان‌های پراب تحت زوایای مختلف نسبت به آویز اصلی می‌باشند. آویزهای کناری توسط انواع مبدل‌های فراصوتی تولید می‌شوند. همچنین "آویزهای شبکه-ای" را ببینید.

Virtual Aperture

روزنه مجازی

مجموع پهنای یک گروه از المان‌های آرایه فازی که به طور هم‌زمان پالس‌دهی شده‌اند.

موردی از کد بویلر و مخزن تحت فشار ASME^۲

تاریخ تایید، 12 مارس 2012

مورد 10-2235: استفاده از آزمون فراصوت به جای پرتونگاری؛ بخش I؛ بخش VIII، قسمت 1 و 2؛ و بخش XII^۳

سوال: چنانچه پرتونگاری بر اساس بخش I، PW-11؛ بخش VIII قسمت 1 و UW-11(a)؛ بخش III قسمت 2، جدول AF-24 1.1؛ و بخش XII، TE-2301 مورد نیاز باشد، در چه شرایطی و با چه محدودیت‌هایی می‌توان آزمون فراصوت را به جای پرتونگاری استفاده نمود؟

پاسخ: نظر کمیته آن است که در مورد کلیه جوش‌های با ضخامت 0/5 اینچ (13 میلی‌متر) در یک مخزن تحت فشار یا بویلر، در صورتی که تمامی نیازمندی‌های زیر مهیا باشد، می‌توان از روش فراصوت به جای روش پرتونگاری بهره جست:

(a) سطح مورد بازرسی فراصوت باید شامل ناحیه جوش به علاوه 2 اینچ (50 میلی‌متر) در هر سمت جوش برای موادی با ضخامت 8 اینچ (20 میلی‌متر) یا بیش‌تر باشد. برای مواد با ضخامت 8 اینچ (200 میلی‌متر) یا کم‌تر، ناحیه آزمون باید شامل حجم جوش به علاوه کمینه مقدار 1 اینچ (25 میلی‌متر) یا t (ضخامت) در هر سمت جوش باشد. همچنین می‌توان حجم بازرسی را تا حدی کاهش داد، به طوری ناحیه مورد آزمون شامل ناحیه متأثر از جوش واقعی به علاوه $\frac{1}{4}$ اینچ (6 میلی‌متر) از ماده پایه مجاور ناحیه متأثر از جوش در هر سمت باشد و شرایط زیر نیز برقرار باشد:

- (1) میزان ناحیه متأثر از جوش حین فرایند کیفیت سنجی جوش^۴ اندازه‌گیری و مستند سازی گردد.
- (2) تجهیزات مربوط به قرارگیری و روبش مبدل فراصوت توسط نشانگر مرجع^۵ (رنگ یا نشانگر کم تنش^۶ در مجاورت جوش) به منظور حصول اطمینان از رعایت فاصله‌ی ناحیه متأثر از جوش به علاوه $\frac{1}{4}$ اینچ (6 میلی‌متر) از ماده پایه کنترل شود.
- (b) یک استراتژی آزمون یا طرح روبش^۷ مستند باید مهیا شود تا نشان دهنده‌ی محل قرارگیری، حرکت و پوشش مبدل بوده و روشی استاندارد شده و تکرارپذیر برای پذیرش جوش باشد. همچنین طرح روبش باید شامل زاویه باریکه به کار گرفته شده، جهت باریکه نسبت به خط مرکزی جوش و حجم مورد بازرسی برای هر جوش باشد. در صورت درخواست، مدارک باید در اختیار مالک/کاربر^۸ قرار گیرد.

(c) آزمون فراصوت باید بر اساس یک دستورالعمل مکتوب صورت گیرد و این دستورالعمل باید الزامات بخش V، فصل 4^۹ را در برداشته باشد. دستورالعمل مذکور باید به طور موفقیت آمیز بر روی بلوک(های) کیفیت سنجی^۱ اجرا گردد.

¹ Code Case 2235-10

² CASES OF ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE

³ Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography Section I; Section VIII, Divisions 1 and 2; and Section XII

⁴ Weld Qualification Process

⁵ Reference Mark

⁶ Low Stress Stamp

⁷ Scan plan

⁸ Owner/User

⁹ توسط (S) باشند، می‌توانند برای آزمون جوش‌ها به کار روند. روبش‌های (C) در آرایه‌های فازی، چنانچه مورد تایید بند (S) روبش‌های قطاعی (روبش‌های از توانایی خوبی S ایجاد باریکه‌ای بادبزنی شکل، بخش یا کل جوش را بسته به اندازه مبدل، هندسه اتصال و ضخامت سطح مقطع پوشش می‌دهند. روبش

بلوک(های) کیفیت سنجی باید توسط جوشکاری یا فرایند ایزواستاتیک گرم (HIP) ساخته شده و حداقل دارای سه عیب باشد. نحوه‌ی قرارگیری عیب‌ها به گونه‌ای باشد که عیوب در امتداد خط جوش را به شکل زیر شبیه‌سازی کند:

(1) یک عیب سطحی در کناره بلوک که نشان‌گر سطح قطر خارجی (OD) مخزن است.

(2) یک عیب سطحی در کناره بلوک که نشان‌گر سطح قطر داخلی (ID) مخزن است.

(3) یک عیب زیر سطحی²

(4) چنانچه بلوک حین آزمون فراصوت قابل چرخاندن باشد، تنها یک عیب به منظور نشان دادن سطوح قطر داخلی و خارجی کافی است. بنابراین تنها ایجاد دو عیب لازم است.

اندازه عیب برای ضخامت مورد آزمون نباید بیشتر از مقادیر مورد اشاره در جداول 1، 2 و 3 باشد. کارایی قابل قبول عبارت است از گرفتن پاسخ از بزرگترین عیب مجاز و دیگر عیوب مد نظر و فراتر رفتن از سطح مرجع³. به عنوان جایگزین، برای روش‌هایی که از ثبت سطوح دامنه⁴ استفاده نمی‌کنند، کارایی قابل قبول بدین صورت تعریف می‌شود: کلیه عیوب به تصویر کشیده شده با طول-های ثبت شده، شامل بیشینه اندازه عیب مجاز، طول اثری برابر یا بزرگ‌تر از اندازه‌ی واقعی عیب موجود در بلوک کیفیت سنجی داشته باشند.

(d) آزمون فراصوتی باید توسط تجهیز با قابلیت داده برداری اتوماتیک کامپیوتری صورت پذیرد. اولین آزمون باریکه مستقیم ماده (T-472 از بخش V فصل 4) برای بازتاب دهنده‌هایی که ممکن است با آزمون باریکه زاویه‌ای تداخل داشته باشند، باید بدین صورت انجام پذیرد: (1) دستی، (2) به عنوان بخشی از فرایند تولید قبلی یا (3) حین یافتن چنین عیوبی توسط آزمون فراصوتی اتوماتیک (زیرپاراگراف C).

(e) داده‌ها به شکل خام⁵ ثبت شوند. مجموعه‌ی کاملی از داده‌ها بدون دروازه‌گذاری⁶، فیلتر شدن⁷، یا آستانه⁸ برای پاسخ از حجم بازرسی در بند (a) اشاره شده در بالا در داده‌های ثبت شده موجود باشد.

جدول 1

برای نشان دادن سوراخ‌های جانبی برخورداری بوده، که علت آن را می‌توان در بازتاب صوت از جهات مختلف سوراخ یافت. البته باریکه در برخورد با بازتابنده‌های صفحه‌ای (مانند عدم ذوب یا ترک‌ها) ممکن است در جهت نامناسب قرار گیرد. این مسأله در مورد ضخامت‌های بیش‌تر، از اهمیت بالاتری برخوردار برای ضخامت بیشتر از 1 اینچ (25 میلی‌متر) پیشنهاد می‌گردد. باید تعداد کافی از S بوده و در این موارد استفاده از چندین روبش خطی همراه با روبش (در نظر گرفته شده تا از توانایی روبش در یافتن عیوب در تمامی حجم جوش اطمینان حاصل شود. demonstration block عیوب در بلوک نمایش)

¹ Qualification Block

² Subsurface Flaw

³ Reference Level

⁴ Amplitude Recording Level

⁵ Unprocessed

⁶ Gating

⁷ Filtering

⁸ Threshold

FLAW ACCEPTANCE CRITERIA FOR ½ in. (13 mm) TO LESS THAN 1 in. (25 mm) THICK WELD

	a/t	ℓ
Surface flaw	≤ 0.087	≤ 0.25 in. (6.4 mm)
Subsurface flaw	≤ 0.143	≤ 0.25 in. (6.4 mm)

GENERAL NOTES:

- (a) t = the thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thickness at the weld, t is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet weld shall be included in t .
- (b) A subsurface indication shall be considered as a surface flaw if the separation (S in Fig. 1) of the indication from the nearest surface of the component is equal to or less than half the through dimension ($2d$ in Fig. 1, sketch [b]) of the subsurface indication.

(f) افرادی که اجراکننده و ارزیابی کننده‌ی آزمون‌های فراصوتی هستند، باید بر اساس آیین نامه کتبی کارفرمای مربوطه، صلاحیت‌دار^۱ و دارای گواهی‌نامه^۲ باشند. به عنوان مرجع نیز باید از ASNT SNT-TC-1A یا CP-189 استفاده گردد. فقط افراد دارای سطح II یا III باید داده‌ها را آنالیز نموده یا نتایج را تفسیر نمایند.

(g) بایگانی کیفیت سنجی پیمانکار، مربوط به افراد صلاحیت‌دار، باید توسط صادر کننده گواهی‌نامه تایید شده و نزد کارفرما باقی بماند.

(h) در ضمن، افرادی که مسئولیت گردآوری و تحلیل داده‌های فراصوت را دارند باید طبق بند (d) آموزش دیده بوده و طبق بند (c) در نمایش کیفیت^۳ شرکت جویند.

(i) تحلیل داده‌ها و معیار پذیرش باید بر اساس موارد زیر باشد:

(1) معیار تحلیل داده‌ها. بازتاب دهنده‌هایی که فراتر از محدوده‌های (a) یا (b)، بسته به کاربرد باشند، باید در رابطه با آن که اثر ناشی از عیب است یا اثر ناشی از شکل قطعه است بر اساس بند (i)(2) مورد بررسی قرار گیرند. چنانچه منشاء بازتاب دهنده‌ای یک عیب تعیین شود، باید بر اساس بند (i)(4) از نظر پذیرش مورد ارزیابی قرار گیرد.

(a) برای روش‌های بر مبنای دامنه^۴، موقعیت، دامنه و بزرگی کلیه بازتاب دهنده‌هایی که پاسخی بزرگتر از 20 درصد سطح مرجع تولید کنند، باید بررسی شوند.

(b) برای روش‌های بر مبنای غیردامنه^۵ موقعیت و بزرگی کلیه تصاویری که طول اثری بزرگتر از محدوده‌های مورد اشاره در (1)، (2) یا (3)، بسته به کاربرد، دارند باید مورد بررسی قرار گیرند.

جدول 2

¹ Qualified

² Certified

³ Demonstration

⁴ Amplitude-based Technique

⁵ Nonamplitude-based Technique

FLAW ACCEPTANCE CRITERIA FOR 1 in. (25 mm) TO 12 in. (300 mm) THICK WELD

Aspect Ratio, a/ℓ	1 in. (25 mm) $\leq t \leq 2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) [Note (1)]		4 in. (100 mm) $\leq t \leq 12$ in. (300 mm) [Note (1)]	
	Surface Flaw, a/t	Subsurface Flaw, a/t	Surface Flaw, a/t	Subsurface Flaw, a/t
0.00	0.031	0.034	0.019	0.020
0.05	0.033	0.038	0.020	0.022
0.10	0.036	0.043	0.022	0.025
0.15	0.041	0.049	0.025	0.029
0.20	0.047	0.057	0.028	0.033
0.25	0.055	0.066	0.033	0.038
0.30	0.064	0.078	0.038	0.044
0.35	0.074	0.090	0.044	0.051
0.40	0.083	0.105	0.050	0.058
0.45	0.085	0.123	0.051	0.067
0.50	0.087	0.143	0.052	0.076

GENERAL NOTES:

- t = thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thickness at the weld, t is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet weld shall be included in t .
- A subsurface indication shall be considered as a surface flaw if separation (S in Fig. 1) of the indication from the nearest surface of the component is equal to or less than half the through thickness dimension ($2d$ in Fig. 1, sketch [b]) of the subsurface indication.
- If the acceptance criteria in this table results in a flaw length, ℓ , less than 0.25 in. (6.4 mm), a value of 0.25 in. (6.4 mm) may be used.

NOTE:

- (1) For intermediate flaw aspect ratio a/ℓ and thickness t ($2\frac{1}{2}$ in. [64 mm] $< t < 4$ in. [100 mm]) linear interpolation is permissible.

جدول 3

FLAW ACCEPTANCE CRITERIA FOR LARGER THAN 12 in. (300 mm) THICK WELD

Aspect Ratio, a/ℓ	Surface Flaw, a		Subsurface Flaw, a	
	in.	mm	in.	mm
0.00	0.228	5.79	0.240	6.10
0.05	0.240	6.10	0.264	6.71
0.10	0.264	6.71	0.300	7.62
0.15	0.300	7.62	0.348	8.84
0.20	0.336	8.53	0.396	10.1
0.25	0.396	10.1	0.456	11.6
0.30	0.456	11.6	0.528	13.4
0.35	0.528	13.4	0.612	15.5
0.40	0.612	15.5	0.696	17.7
0.45	0.618	15.7	0.804	20.4
0.50	0.624	15.9	0.912	23.6

GENERAL NOTES:

- For intermediate flaw aspect ratio, a/ℓ linear interpolation is permissible.
- t = the thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thickness at the weld, t is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet weld shall be included in t .
- A subsurface indication shall be considered as a surface flaw if separation (S in Fig. 1) of the indication from the nearest surface of the component is equal to or less than half the through thickness dimension ($2d$ in Fig. 1, sketch [b]) of the subsurface indication.

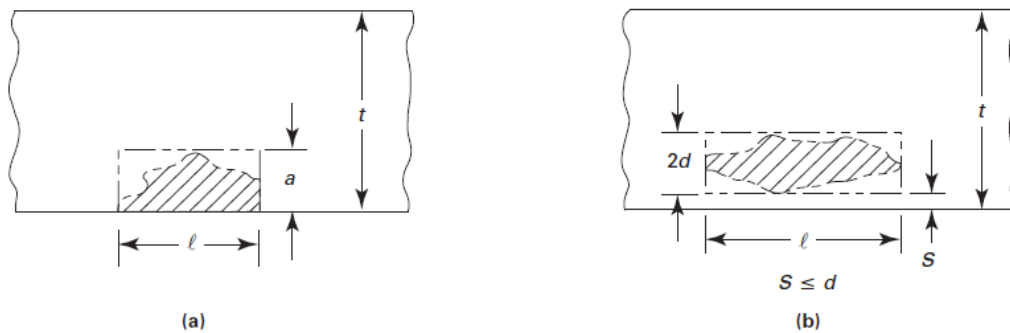
- (1) برای جوش‌هایی با ضخامت 1/5 اینچ (38 میلی‌متر) یا کم‌تر، تصاویری با طول اثر بزرگ‌تر از 0/15 اینچ (3/8 میلی‌متر) باید مورد بررسی قرار گیرند.
- (2) برای جوش‌هایی با ضخامت بیش‌تر از 1/5 اینچ (38 میلی‌متر) اما کم‌تر از 4 اینچ (100 میلی‌متر) تصاویری با طول اثر بزرگ‌تر از 0/2 اینچ (5 میلی‌متر) باید مورد بررسی قرار گیرند.
- (3) برای جوش‌هایی با ضخامت بیش‌تر از 4 اینچ (100 میلی‌متر) تصاویری با طول اثر بیش‌تر از 0/05t یا 0/75 اینچ (19 میلی‌متر)، هر کدام کوچک‌تر است، باید مورد بررسی قرار گیرند (t = ضخامت اسمی ماده مجاور جوش).
- (2) هندسی¹. اثرهای فراصوت ناشی از هندسه قطعه یا با ماهیت متالورژیکی باید به صورت زیر دسته بندی شوند:
- (a) اثرهایی که طبق تشخیص، ناشی از شکل سطح (مانند گرده جوش یا ریشه) یا تغییر ساختار متالورژیکی مواد (همچون فصل مشترک فلز پایه و روکش²) باشند را می‌توان به عنوان اثرهای هندسی دسته بندی کرد و در این صورت،
- (1) طبق بند (3)(i) در پایین، نیازی به اندازه گیری ندارند.
- (2) نیاز به مقایسه با حد پذیرش مجاز عیب در جدول های 1، 2 یا 3 نمی‌باشد.
- (3) بیشینه دامنه اثر و موقعیت باید ثبت شود به عنوان مثال: اتصالات داخلی 200% DAC، 1 اینچ (25 میلی‌متر) بالای خط مرکز جوش، روس سطح داخلی، از 90 تا 95 درجه
- (b) مراحل زیر برای دسته بندی یک اثر به عنوان هندسی باید در نظر گرفته شود:
- (1) تفسیر ناحیه شامل بازتاب دهنده براساس دستورالعمل مربوطه
- (2) ترسیم و مقایسه‌ی مختصات بازتاب دهنده از طریق نمایش سطح مقطعی که نشانگر موقعیت بازتاب دهنده و سطح ناپیوستگی، مانند ریشه و
- (3) مرور نقشه‌های ساخت و جوشکاری
- (3) اندازه گیری عیب³: عیوب باید بر اساس دستورالعملی، که توانایی نشان دادن نحوه‌ی اندازه‌گیری عیوب مشابه در عمق‌های مشابه را داشته باشد، اندازه گیری شوند. به طور جایگزین، عیب را می‌توان توسط روش دستی مکملی اندازه گیری نمود. ابعاد عیب باید توسط مربعی که به طور کامل سطح عیب را در بر داشته باشد تعیین گردد (به شکل‌های 1 تا 5 مراجعه شود)
- (a) طول (l) عیب باید به موازات سطح تحت فشار داخلی قطعه در نظر گرفته شود.
- (b) عمق عیب باید در راستای عمود بر سطح تحت فشار داخلی در نظر گرفته شده و با " a " برای عیب سطحی یا " $2a$ " برای عیب زیرسطحی نشان داده شود.

¹ Geometric

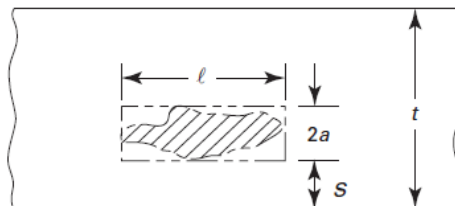
² Cladding

³ Flaw Sizing

شکل 1. اثرهای تکی



Surface Indications



$$S > a$$

(c) Subsurface Indications

(4) ارزیابی عیب و حد پذیرش¹: عیوب باید با استفاده از معیارهای مورد اشاره در جدول های 1، 2 یا 3، حسب کاربرد، از نظر حد پذیرش مورد ارزیابی قرار گرفته و الزامات زیر نیز لحاظ گردد.

(a) عیوب راه به در به سطح²: عیوبی که توسط آزمون فراصوت به عنوان عیوب سطحی شناخته شوند ممکن است راه به در باشند یا نباشند. بنابراین در صورت مواجهه با عیب راه به در آن را مردود تلقی نموده مگر آن که یک آزمون سطحی بر مبنای (1) (2) یا (3) در زیر، صورت پذیرد. اگر عیب راه به در باشد الزامات بالا همچنان اعمال می شود؛ اگرچه در هیچ موردی عیب نباید از معیار پذیرش کد ساخت مربوطه فراتر رود.

روش های مورد پذیرش آزمودن سطح از قرار زیراند:

(1) آزمون ذرات مغناطیسی (MT) بر اساس ضمیمه 6 از بخش II، قسمت 1؛ ضمیمه 1-9 از بخش VIII، قسمت 2؛ ضمیمه A-260 از بخش I، بسته به کاربرد؛ یا ضمیمه V از بخش XII؛ یا

(2) آزمون مایع نافذ (PT) بر اساس ضمیمه 8 از بخش III، قسمت 1؛ ضمیمه 2-9 از بخش VIII، قسمت 2؛ ضمیمه A-270 از بخش I، بسته به کاربرد؛ یا ضمیمه VI از بخش XII، یا

(3) آزمون جریان گردابی (ET) بر اساس مکمل I موجود در همین مورد کد. هر اثر مربوط یافت شده توسط آزمون جریان گردابی که راه به در به سطح باشد بدون توجه به طول آن مردود است.

(b) چندعیبی³ها

¹ Flaw Evaluation and Acceptance Criteria

² Surface Connected Flaw

³ Multiple Flaw

- (1) چنانچه فاصله میان دو عیب مجاور برابر یا کوچکتر از S در شکل 2 باشد عیب‌های ناپیوسته باید به عنوان یک عیب صفحه‌ای در نظر گرفته شوند.
- (2) اگر فاصله میان صفحات مجاور برابر یا کمتر از 0/5 اینچ (13 میلی‌متر) باشد عیب‌های ناپیوسته، که تقریباً در صفحات موازی قرار دارند، باید یک عیب صفحه‌ای در نظر گرفته شوند (مراجعه شود به شکل 3).
- (3) اگر فاصله میان عیب‌های مجاور برابر یا کم‌تر از S در شکل 4 باشد، عیب‌های ناپیوسته‌ی هم‌صفحه¹ و غیرهم‌راستا² در جهت ضخامت قطعه باید به عنوان یک عیب صفحه‌ای در نظر گرفته شوند.
- (4) اگر مجموع عمق عیب‌ها از مقادیر مورد اشاره در شکل 5 بیش‌تر گردد، عیب‌های ناپیوسته هم‌صفحه در راستای ضخامت قطعه میان دو صفحه‌ی موازی با فاصله 0/5 اینچ (13 میلی‌متر) یعنی عمود بر سطح تحت فشار قطعه مردود می‌باشند.
- (c) عیب‌های زیر سطحی³ طول عیب (l) نباید از 4t⁴ بیش‌تر باشد.
- (j) انجام UT باید روی پلاک نام⁴ حک شده تا نشان دهد بازرسی توسط آزمون فراصوت بر روی درزهای جوشکاری شده باید مطابق بخش I؛ بخش VIII، قسمت 1 یا 2؛ یا بخش XII انجام پذیرد.
- (k) این شماره مورد کد باید در گزارش داده‌های سازنده آورده شده و به میزان آزمون فراصوت اشاره گردد.
- مکمل 1: الزامات دستورالعمل بازرسی سطح به روش جریان گردابی (م: در صورت نیاز به متن اصلی استاندارد مراجعه شود)

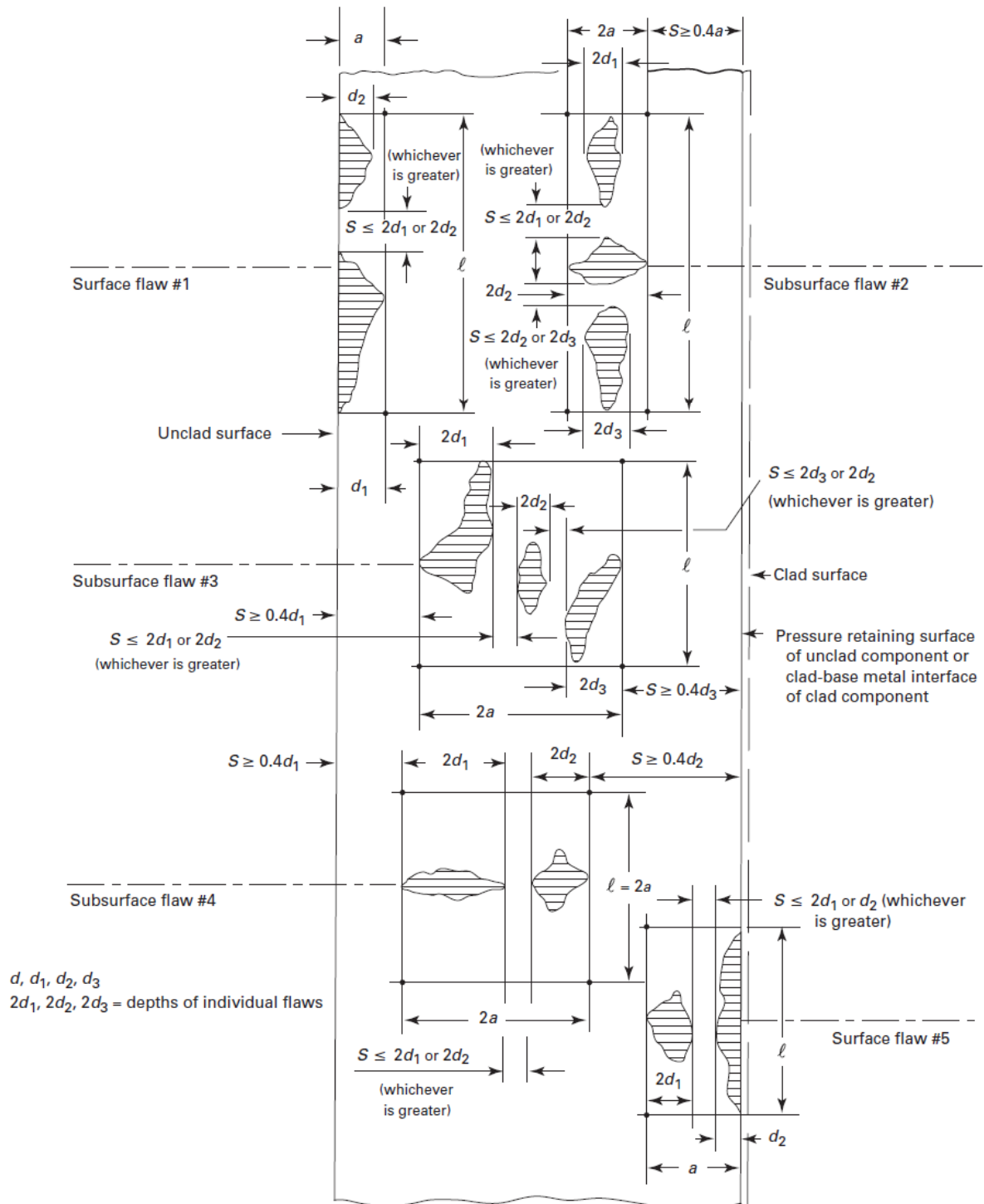
¹ Coplanar

² Nonaligned

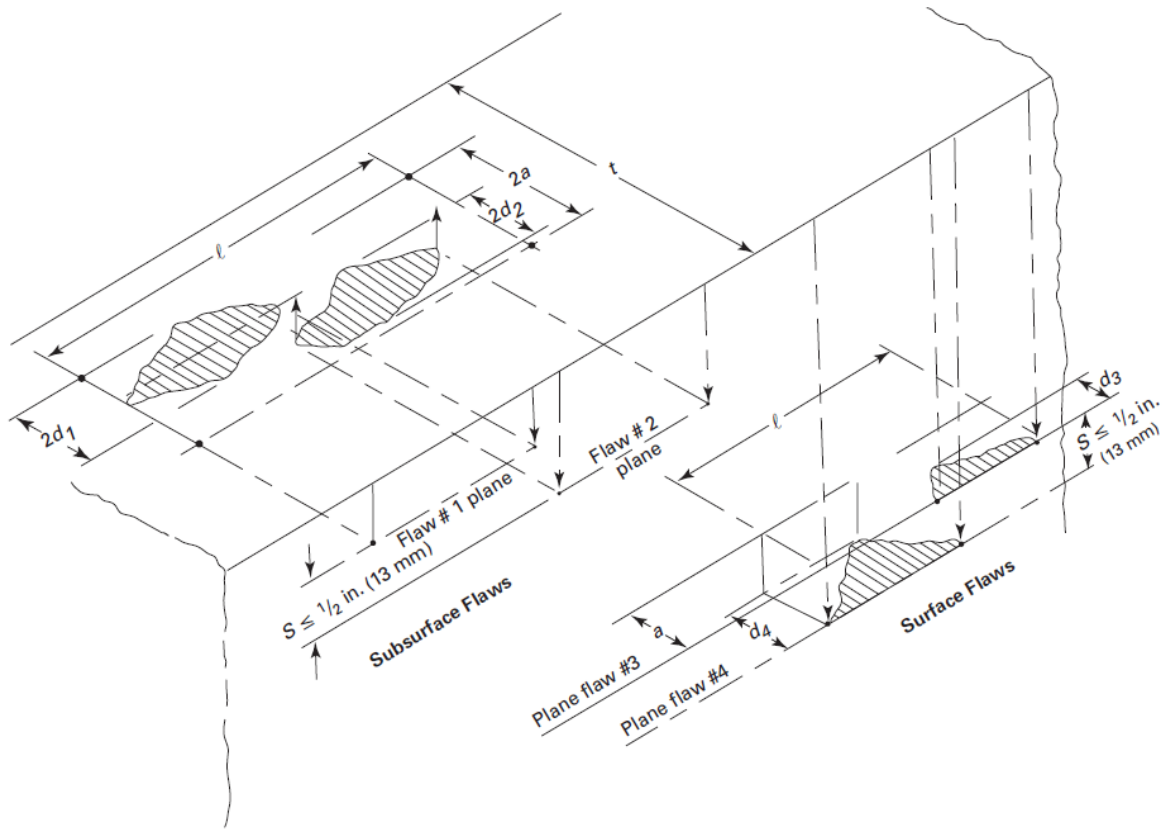
³ Subsurface Flaw

⁴ Nameplate

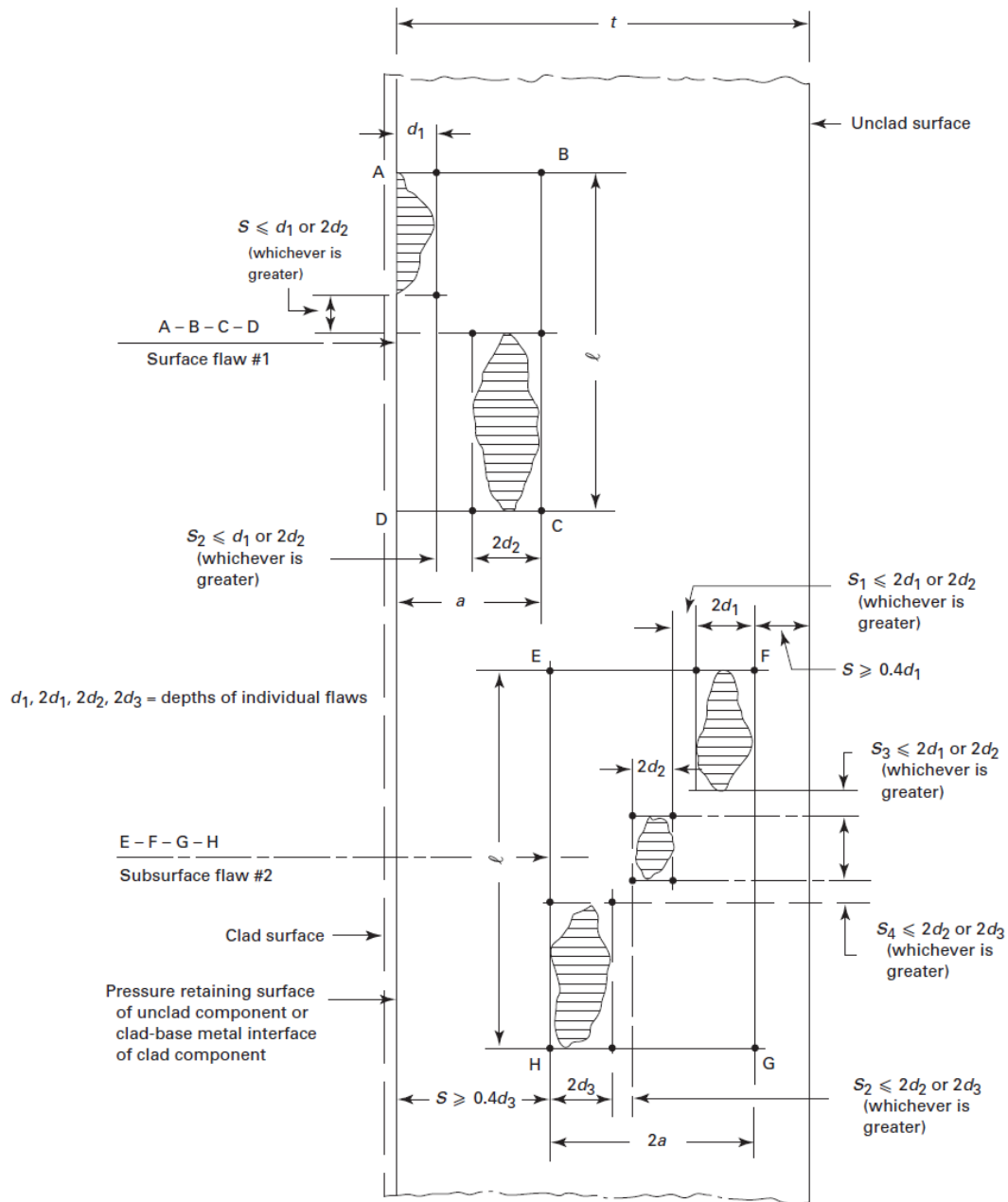
شکل 2. چندعیبی‌های صفحه‌ای در صفحه عمود بر سطح تحت فشار



شكل 3



شکل 4. عیب‌های هم‌صفحه غیرهم‌راستا در صفحه عمود بر سطح تحت فشار



شکل 5. چند عیبی‌های صفحه‌ای هم‌راستا

