



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۷۴۵

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18745

1st. Edition

2014

آزمون غیرمخرب جوش‌ها-آزمون فراصوتی-
استفاده از روش زمان پرواز پراش (TOFD)

**Non-destructive testing of welds —
Ultrasonic testing — Use of time-of-flight
diffraction technique (TOFD)**

ICS: 25.160.40

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود. پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین‌شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته‌شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) ^۱ کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC) ^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML) ^۳ است و به‌عنوان تنها رابط ^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC) ^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود. سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی‌شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عبار فلزات گران‌بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International organization for Standardization

2 - International Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«آزمون غیرمخرب جوش‌ها-آزمون فراصوتی- استفاده از روش زمان پرواز پراش (TOFD)»

رئیس

ادب آوازه، عبدالوهاب
(فوق لیسانس مهندسی مکانیک)

دبیر

بیگی خردمند، اعظم
(فوق لیسانس مهندسی متالورژی)

اعضاء (به ترتیب حروف الفبا)

احمد محرابی، فاطمه
(کارشناس ارشد فیزیک)

اسماعیلی، نجمه
(لیسانس مهندسی مکانیک - نیروگاه)

پولادگر، عبدالعلی
(لیسانس مهندسی مکانیک)

جهانگیری، مهدی
(دکترای مهندسی مکانیک)

حیدری، الهام
(لیسانس مهندسی مکانیک)

خلیلی، مریم
(فوق لیسانس مهندسی مکانیک)

خواجوی، سکینه
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

رعیت پور، معصومه
(فوق لیسانس مهندسی متالورژی)

سلیمانی پور، زهره
(دکترای مهندسی متالورژی)

سیاحی، کامران
(لیسانس مهندسی متالورژی)

شایق بروجنی، بهروز
(دکترای مهندسی متالورژی)

سمت و/یا نمایندگی

رئیس انجمن جوشکاری و آزمون‌های غیر مخرب ایران

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

دبیر کمیته استاندارد انجمن جوشکاری آزمایش‌های غیرمخرب
ایران

دبیر کمیته فنی متناظر فولاد TC17

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

مدیر فنی آزمایشگاه شرکت برفاب

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

هیئت علمی مؤسسه غیرانتفاعی صنعتی فولاد

استادیار پژوهشی پژوهشگاه نیرو

مسئول طرح و توسعه شرکت مهندسی تکادو وابسته به ذوب آهن

بازرس جوش کارخانه لوله و ماشین سازی اهواز

عضو هیئت علمی دانشگاه شهرکرد

عضو هیئت علمی دانشگاه شهرکرد

عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

کارشناس شرکت رهروان سپهر اندیشه

مدیرعامل شرکت گاما راد

استادیار پژوهشگاه نیرو

شریفی، حسن

(دکترای مهندسی متالورژی)

عادلی، ماندانا

(دکترای مهندسی متالورژی)

علیرضایی، الهام

(کارشناس ارشد متالورژی)

فردوس، آرش

(لیسانس مهندسی متالورژی)

کاظم پور لیاسی، حسن

(فوق لیسانس مهندسی متالورژی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ح	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ ملاحظات کلی بر قابلیت‌های روش
۴	۵ سطوح آزمون
۵	۶ اطلاعات موردنیاز پیش از آزمون
۵	۱-۶ اقلامی که باید با مشخصات تعریف شوند
۵	۲-۶ اطلاعات خاص موردنیاز کاربر قبل از آزمون
۶	۳-۶ دستورالعمل یا دستورالعمل نوشتاری آزمون
۶	۷ الزامات برای کارکنان و تجهیزات
۶	۱-۷ تأیید صلاحیت کارکنان
۶	۲-۷ تجهیزات
۷	۸ آماده‌سازی برای آزمون
۷	۱-۸ حجمی که باید بازرسی شود
۸	۲-۸ تنظیم پروب‌ها
۸	۳-۸ تنظیم فواصل افزایش روبش
۸	۴-۸ ملاحظات هندسی
۹	۵-۸ آماده‌سازی سطوح روبش
۱۰	۶-۸ دما
۱۰	۷-۸ مواد واسط
۱۰	۸-۸ مقررات نقاط مبنا

۱۰	آزمون ماده پایه	۹
۱۰	تنظیم حساسیت و محدوده	۱۰
۱۰	تنظیم‌ها	۱-۱۰
۱۱	بررسی تنظیم‌ها	۲-۱۰
۱۲	بلوک‌های مرجع	۳-۱۰
۱۳	آزمون جوش	۱۱
۱۴	تفسیر و تحلیل تصاویر TOFD	۱۲
۱۴	کلیات	۱-۱۲
۱۴	ارزیابی کیفی تصویر TOFD	۲-۱۲
۱۴	شناسایی اثرهای TOFD مرتبط	۳-۱۲
۱۵	طبقه‌بندی اثرهای TOFD مرتبط	۴-۱۲
۱۷	تعیین موقعیت و اندازه	۵-۱۲
۱۷	ارزشیابی برحسب معیار پذیرش	۶-۱۲
۱۷	گزارش آزمون	۱۳
۲۰	پیوست الف (اطلاعاتی) بلوک‌های مرجع	
۲۵	پیوست ب (اطلاعاتی) مثال‌هایی از روش‌های TOFD	
۳۵	پیوست پ (اطلاعاتی) کتاب‌نامه	

پیش‌گفتار

استاندارد "آزمون غیرمخرب جوش‌ها- آزمون فراصوتی- استفاده از روش زمان‌پرواز پراش (TOFD)" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در یک‌هزار و صد و هفدهمین کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلز شناسی مورخ ۱۳۹۳/۹/۵ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱ به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استاندارد ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ملی ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آن‌ها استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 10863:2011, Non-destructive testing of welds _ Ultrasonic testing_ Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD)

آزمون غیرمخرب جوش‌ها-آزمون فراصوتی- استفاده از روش زمان پرواز پراش (TOFD)^۱

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین کاربرد روش زمان پرواز پراش (TOFD) در آزمون نیمه خودکار یا کاملاً خودکار فراصوتی اتصالات جوشکاری ذوبی در مواد فلزی با ضخامت کمینه ۶ mm است. این روش برای اتصالات جوشکاری نفوذ کامل با هندسه ساده در ورق‌ها، لوله‌ها و مخازن تحت فشاری که هر دو فلز پایه و جوش از فولاد کربنی کم‌آلیاژ هستند به کار می‌رود. در صورت مناسب و مشخص بودن، TOFD را می‌توان برای سایر موادی که تضعیف^۲ فراصوتی ضعیفی دارند (به‌ویژه تضعیف ناشی از پراکندن) به کاربرد. درجایی که پارامترهای فراصوتی وابسته به ماده در این استاندارد مشخص شده باشد، این پارامترها بر اساس فولادهایی دارای سرعت صوت (5920 ± 50) m/s برای موج‌های طولی و (3255 ± 30) m/s برای موج‌های عرضی است. ضروری است در زمان بازرسی مواد با سرعت متفاوت، این موضوع در نظر گرفته شود. در این استاندارد، به استاندارد پایه EN583-6 ارجاع شده است و در مورد قابلیت‌های خاص و محدودیت‌های TOFD برای تشخیص و موقعیت، اندازه و مشخصات ناپیوستگی‌ها در اتصالات جوشکاری شده ذوبی راهنمایی شده است. TOFD را می‌توان به‌عنوان یک روش خودمختار یا در ترکیب با روش‌های فنی غیرمخرب دیگر، برای بازرسی حین ساخت و بازرسی حین کارکرد به کاربرد. در این استاندارد چهار سطح آزمون (A, B, C, D) مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۶۵۳ و متناظر با یک سطح افزایشی قابلیت اطمینان بازرسی، مشخص شده است. راهنمایی در مورد انتخاب سطوح آزمون نیز ارائه شده است. در این استاندارد ارزیابی اثرهای (TOFD) برای مقاصد پذیرش مجاز است. این ارزیابی بر اساس ارزیابی سیگنال‌های فراصوتی پراش شده، بازتاب شده و عبوری در تصویر ایجاد شده TOFD است. این استاندارد در محدوده پذیرش برای ناپیوستگی‌ها کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است. استفاده از مرجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ایران-۹۷۱۲، آزمون غیرمخرب-احراز شرایط و گواهی کردن کارکنان

1-Time of flight diffraction

2-Attenuation

۲-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۶۵۳، آزمایش غیرمخرب جوش‌ها - قواعد کلی برای مواد فلزی

2-3 ISO 17640:2010, Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Techniques, testing levels, and assessment

2-4 EN 473, Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel — General principles

2-5 EN 583-6, Non-destructive testing — Ultrasonic examination — Part 6: Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities

2-6 EN 1330-4, Non-destructive testing — Terminology — Part 4: Terms used in ultrasonic testing

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف داده شده در استاندارد EN1330-4 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۱-۳

TOFD set up

تنظیم زمان پرواز پراش

چیدمان پروب (کاوند)^۱ تعریف شده با مشخصات پروب (به عنوان مثال، بسامد، اندازه مؤلفه پروب، زاویه پرتو، حالت موج) و فاصله مرکز تا مرکز پروب

۲-۳

فاصله مرکز تا مرکز پروب (PCS)

Probe centre separation

فاصله بین شاخص دو پروب

یادآوری - PCS برای دو پروب قرار گرفته بر یک سطح منحنی، خط مستقیم و فاصله هندسی بین دونقطه شاخص پروب است و فاصله اندازه گیری شده در امتداد سطح نیست.

۳-۳

Beam intersection point

نقطه تقاطع پرتو

نقطه تقاطع محور اصلی دو پرتو

Time-of-flight diffraction**اثر زمان پرواز پراش
indication****اثر TOFD**

الگو یا اختلال در تصویر زمان پرواز پراش که ممکن است به ارزیابی بیشتر نیاز داشته باشد.

Time-of-flight diffraction image**تصویر زمان پرواز پراش****تصویر TOFD**

تصویر دوبعدی که با جمع‌آوری روبش‌های A کناری و همزمان با حرکت دستگاه زمان پرواز پراش ایجاد شده است.

یادآوری - دامنه سیگنال روبش‌های A به‌طور معمول به‌صورت مقادیری در مقیاس خاکستری نمایش داده می‌شود.

Offset scan**روبش موازی**

روبشی موازی با محور جوش که در آن نقطه تقاطع پرتو روی خط مرکزی جوش قرار ندارد.

۴ ملاحظات کلی بر قابلیت‌های روش

اصول کلی روش TOFD در استاندارد EN583-6 توضیح داده شده است. برای آزمون اتصالات جوشکاری شده ذوبی، برخی قابلیت‌ها و محدوده‌های خاص در مورد روش باید در نظر گرفته شود. روش TOFD یک روش ایجاد تصویر فراصوتی است که قابلیت تشخیص، موقعیت و اندازه را دارد. تا حد معینی، توصیف خصوصیات ناپیوستگی در ماده جوش به همراه مواد پایه مجاور نیز امکان‌پذیر است. در مقایسه با روش‌های بر پایه بازتاب محض، روش TOFD که بر اساس پراش به علاوه بازتاب است، حساسیت کمتری به جهت‌گیری ناپیوستگی دارد. ناپیوستگی‌هایی که عمود بر سطح و زوایای میانی جهت گرفته‌اند، به خوبی ناپیوستگی‌های سطوح ذوبی قابل تشخیص هستند. در شرایط معین (ضخامت، آماده‌سازی جوش، هدف و دامنه آزمون و غیره) بیش از یک مجموعه سیگنال TOFD مورد نیاز است.

تصویر نوعی TOFD نسبت به زمان (محور عمودی) و حرکت پروب (محور افقی) خطی است. به دلیل شکل V مسیرهای فراصوتی، موقعیت ناپیوستگی‌های ممکن غیرخطی است. آزمون TOFD باید به روشی صحیح و

پایدار انجام شود، به طوری که تصاویری معتبر ایجاد شود تا بتوان آن‌ها را به طور صحیح ارزیابی کرد، به طور مثال باید از اتلاف‌های ماده واسط و خطاهای اکتسابی داده‌ها اجتناب شود (به بند ۱۲-۲ رجوع شود). تفسیر تصاویر TOFD به کاربرهای مجرب و ماهر نیاز دارد. برخی تصاویر نوعی TOFD از ناپیوستگی‌های اتصالات جوشکاری شده ذوبی در پیوست ب ارائه شده است. این روش در تشخیص ناپیوستگی‌های نزدیک به یا متصل به سطح روبش یا به سطح مخالف، قابلیت کمی دارد. به این مورد به ویژه در فولادهای حساس به ترک یا در بازرسی‌های حین کارکرد باید توجه شود. در مواردی که پوشش کامل این مناطق لازم است، اندازه‌گیری‌های تکمیلی باید انجام شود، به طور مثال می‌توان TOFD را با سایر روش‌ها یا روش‌های فنی NDT ترکیب کرد. سیگنال‌های پراش یافته از ناپیوستگی‌های جوش می‌توانند واکنش‌های کوچکی را در دامنه نوسان داشته باشند. اثر پراکنش دانه^۱ از مواد درشت دانه می‌تواند مانع دریافت و ارزشیابی چنین پاسخ‌هایی شود. این موضوع را باید در زمان بازرسی چنین موادی در نظر گرفت.

۵ سطوح آزمون

این استاندارد ۴ سطح آزمون (A، B، C و D، به جدول ۱ رجوع شود) را مشخص می‌کند. قابلیت اطمینان از سطح آزمون A تا سطح آزمون C، افزایش می‌یابد.

جدول ۱- سطوح آزمون

سطح آزمون	مجموعه TOFD	بلوک مرجع برای تصدیق تنظیم‌ها (به بند ۸-۲ مراجعه شود)	بلوک‌های مرجع برای تنظیم حساسیت (به بند ۱۰-۴-۱ مراجعه شود)	روبش موازی	دستورالعمل آزمون مکتوب
A	مانند جدول ۲	خیر	خیر	خیر	این استاندارد ملی
B	مانند جدول ۲	خیر	بلی	خیر	این استاندارد ملی
C	مانند جدول ۲	بلی	بلی	a	بلی
D	به گونه‌ای که در مشخصات تعریف شده	بلی	بلی	a	بلی
^a ضرورت، تعداد و موقعیت روبش‌های موازی باید تعیین شده باشد.					

اگر سطح پذیرش خاصی برای تشخیص اندازه ناپیوستگی در دو سطح یا یک سطح جوش مورد نیاز باشد (به

بند ۴ رجوع شود)، استفاده از روش‌ها یا روش‌های فنی خارج از دامنه کاربرد این استاندارد ضروری است. برای بازرسی‌های حین ساخت (به استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۶۵۳ نیز رجوع شود)، تمام سطوح آزمون قابل‌اعمال است. سطح A تنها برای ضخامت دیواره تا ۵۰ mm کاربرد دارد. برای بازرسی‌های حین کارکرد، تنها سطح آزمون D باید به کار رود.

۶ اطلاعات موردنیاز پیش از آزمون

۶-۱ اقلامی که باید با مشخصات تعریف شوند

اطلاعات در مورد اقلام زیر موردنیاز است:

الف- هدف و محدوده آزمون TOFD (به بندهای ۵ و ۸ رجوع شود)؛

ب- سطوح آزمون (به بند ۵ رجوع شود) به‌طور مثال؛

۱- آیا دستورالعمل نوشتاری آزمون موردنیاز است؛

۲- آیا بلوک‌های مرجع موردنیاز است؛

پ- مشخصات بلوک‌های مرجع، در صورت نیاز (به بند ۱۰-۳ رجوع شود)؛

ت- مرحله ساخت یا بهره‌برداری که در آن آزمون باید انجام شود؛

ث- الزامات دما، شرایط سطحی و دسترسی (به بند ۸ رجوع شود)؛

ج- الزامات گزارش (به بند ۱۳ رجوع شود)؛

چ- معیار پذیرش؛

ح- تأیید صلاحیت کارکنان (به بند ۷-۱ رجوع شود)؛

۶-۲ اطلاعات خاص موردنیاز کاربر قبل از آزمون

قبل از اینکه بتوان هر نوع آزمون اتصال جوشکاری شده را شروع کرد، کاربر باید به تمام اطلاعات مشخص‌شده در بند ۶-۱، همراه با اطلاعات تکمیلی زیر دسترسی داشته باشد:

الف- دستورالعمل یا دستورالعمل نوشتاری آزمون (به بند ۶-۳ رجوع شود) در صورت لزوم؛

ب- نوع (انواع) ماده پایه و شکل محصول (ریختگی، آهنگری شده، نورد شده)؛

پ- آماده‌سازی اتصال و ابعاد؛

ت- دستورالعمل جوشکاری یا اطلاعات مربوط به فرایند جوشکاری؛

ث- زمان بازرسی مربوط به هر عملیات حرارتی بعد از جوشکاری؛

ج- نتایج هر آزمون انجام شده بر فلز پایه قبل از و/ یا بعد از جوشکاری؛

چ- نوع عیب و مورفولوژی (ریخت شناسی) که باید تشخیص داده شود؛

۶-۳ دستورالعمل یا دستورالعمل نوشتاری آزمون

برای سطوح آزمون A و B، این استاندارد نیاز به دستورالعمل آزمون مکتوب را برآورده می کند.

برای سطوح آزمون C و D یا در مواردی که روش های فنی توضیح داده شده در این استاندارد برای آزمون اتصال جوشکاری شده قابل اعمال نباشد، یک دستورالعمل آزمون مکتوب خاص باید استفاده شود.

وقتی جمع آوری داده ها توسط کارکنانی انجام می شود که گواهینامه سطح ۱ دارند، یک راهنمای آزمون مکتوب باید آماده شود. راهنمای مکتوب آزمون باید حداقل دارای اطلاعات فهرست شده در بند ۱۳ باشد.

۷ الزامات برای کارکنان و تجهیزات

۷-۱ تأیید صلاحیت کارکنان

علاوه بر دانش عمومی بازرسی جوش به روش فراصوتی، تمام کارکنان باید برای بازرسی های TOFD دارای مهارت باشند. گواهی های مستند شده در مورد صلاحیت آن ها (سطح آموزش و تجربه) مورد نیاز است. آماده سازی راهنماهای نوشتاری آزمون، تحلیل نهایی غیرهمزمان با داده ها و پذیرش گزارش باید توسط کارکنان گواهی شده با کمینه سطح ۲ مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ایران-۹۷۱۲ یا EN473 یا معادل آن در آزمون فراصوتی در بخش صنعتی مربوطه، انجام شود. مطابق با دستورالعمل مکتوب و تحت نظارت کارکنان با سطح ۲ یا ۳، تنظیم تجهیزات، کسب داده ها، ذخیره داده ها و آماده سازی گزارش را می توان توسط کارکنان گواهی شده با حداقل سطح ۱ مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ایران-۹۷۱۲ یا EN473 یا معادل آن در آزمون فراصوتی در بخش صنعتی مربوطه انجام داد.

برای کسب داده ها، ممکن است کارکنان سطح ۱ توسط تکنسین های دستیار پشتیبانی شوند.

در مواردی که کمینه تأیید صلاحیت های فوق، کافی نباشد، آموزش های شغلی خاص باید داده شود.

۷-۲ تجهیزات

۷-۲-۱ تجهیزات فراصوتی و نمایش. تجهیزات فراصوتی مورد استفاده در روش های فنی TOFD باید، در صورت کاربرد، مطابق با الزامات استاندارد EN12668 باشند.

نرم افزار TOFD نباید هیچ مشکلی نظیر افت ماده واسط، از دست دادن خطوط روبش، خطاهای همزمانی یا

نوفه^۱ الکترونیکی را بپوشاند.

به علاوه، الزامات استاندارد EN583-6 باید به کار رود و به موارد زیر توجه شود:

الف- تجهیزات باید قادر به انتخاب نسبت مناسبی از محور زمانی باشند که در آن روبش‌های A به صورت عددی درآمده است.

ب- پیشنهاد می‌شود که از آهنگ نمونه برداری روبش A، حداقل ۶ برابر بسامد اسمی پروب استفاده شود.

۷-۲-۲ پروب‌های فراصوتی. پروب‌های مورد استفاده برای روش‌های فنی TOFD بر جوش‌ها باید مطابق با استاندارد EN583-6 باشد.

انطباق پروب‌ها با سطوح روبش منحنی باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۲۸۶ باشد. پیشنهادی برای انتخاب پروب‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

۷-۲-۳ سازوکار روبش. الزامات استاندارد EN583-6 باید به کار رود. برای حصول پایداری تصاویر (داده‌های جمع‌آوری شده)، ممکن است از سازوکارهای راهنما استفاده شود.

۸ آماده‌سازی برای آزمون

۸-۱ حجمی که باید بازرسی شود

آزمون باید مطابق با استاندارد EN583-6 انجام شود. هدف از آزمون باید توسط مشخصات فنی تعریف شود. بر این اساس، حجمی که قرار است بازرسی شود، باید تعیین شود.

حجمی که باید روبش شود بین پروب‌ها قرار می‌گیرد. برای آزمون‌های سطح A و B، پروب‌ها باید به صورت متقارن حدود خط مرکزی جوش قرار گیرند. برای سطوح آزمون C و D، ممکن است جابجایی روبش‌های اضافی مورد نیاز باشد.

برای بازرسی حین ساخت، مقدار آزمون با منطقه‌ای تعریف می‌شود که شامل جوش و ماده پایه برای حداقل ۱۰mm در هر طرف جوش یا پهنای ناحیه متأثر از حرارت، هر کدام که بزرگ‌تر است، باشد. در تمام موارد مقدار آزمون کلی باید پوشش داده شود.

معمولاً این بازرسی‌ها مطابق با استانداردهای شناخته شده‌ای که سطوح پذیرش را برای تضمین کیفیت به کار می‌برند انجام می‌شود. اگر روش‌های متناسب برای هدف به کار می‌رود، معیار پذیرش متناظر باید مشخص شود.

برای بازرسی‌های حین کارکرد، ممکن است مقدار آزمون بنا به ناحیه خاص مدنظر، به‌طور مثال یک‌سوم داخلی سطح جوش هدف‌گذاری شود. معیار پذیرش و اندازه کمینه ناپیوستگی که باید تشخیص داده شود در سطح مدنظر باید مشخص شود.

۸-۲ تنظیم پروب‌ها

پروب‌ها باید برای اطمینان از پوشش کافی و شرایط بهینه برای شروع و تشخیص سیگنال‌های پراش شده در سطح مدنظر تنظیم شود. برای جوش‌های لب‌به‌لب با هندسه ساده و با گرده جوش باریک در سطح مخالف، آزمون باید بسته به ضخامت دیواره (به جدول ۲ رجوع شود) در یک تنظیم یا تنظیم‌ها بیش‌تر (رویش) انجام شود. برای شکل‌های دیگر، به‌عنوان مثال جوش‌های X شکل، ضخامت فلز پایه مختلف در هر طرف جوش یا باریک شده، ممکن است از جدول ۲ به‌عنوان راهنما استفاده شود. در این مورد، اثربخشی و سطح پوشش تنظیم باید با استفاده از بلوک‌های مرجع تصدیق شود. توصیه می‌شود برای انتخاب پروب‌ها برای پوشش کامل ضخامت جوش از جدول ۲ تبعیت شود.

توصیه می‌شود در مورد انتخاب مناسب ترکیب پارامترها دقت شود. برای مثال در محدوده ضخامت ۱۵mm تا ۳۵mm، ممکن است بسامد ۱۰MHZ، زاویه پرتو ۷۰° و اندازه المان (مؤلفه) ۳mm برای ضخامت ۱۶mm مناسب باشد اما برای ضخامت ۳۲mm مناسب نباشد.

برای آزمون‌های سطح A و B، پیشنهاد می‌شود که تنظیم TOFD با کاربرد بلوک‌های مرجع تصدیق شود. برای سطوح آزمون C و D، تمام تنظیم‌های انتخاب‌شده برای ماده تحت آزمون باید توسط بلوک‌های مرجع تصدیق شود.

چنانچه پارامترهای تنظیم مطابق با جدول ۲ نباشند، قابلیت آن‌ها را باید با استفاده از بلوک‌های مرجع تصدیق کرد.

برای بازرسی حین کارکرد توصیه می‌شود نقطه تقاطع خطوط مرکزی پرتو، برای مقدار آزمون معین بهینه‌سازی شود.

۸-۳ تنظیم فواصل افزایش روبش

تنظیم فواصل افزایش روبش باید وابسته به ضخامت دیواره آزمون شده باشد. برای ضخامت‌های تا ۱۰mm فواصل روبش نباید بیش از ۰/۵mm باشد. برای ضخامت‌های بین ۱۰mm و ۱۵۰mm، فواصل روبش نباید بیش از ۱mm باشد. بالای ۱۵۰mm فواصل روبش نباید بیش از ۲mm باشد.

۸-۴ ملاحظات هندسی

توصیه می‌شود در زمان بازرسی جوش‌هایی با هندسه پیچیده دقت شود، به‌طور مثال جوش‌های اتصال‌دهنده مواد با ضخامت نابرابر، موادی که با زاویه به هم متصل می‌شوند، یا نازل‌ها. از آنجایی که TOFD بر اساس اندازه‌گیری فاصله زمانی موج‌های صدا از کوتاه‌ترین مسیر بین نقطه انتشار صدا و دریافت از طریق بازتاب یا پراش است، بعضی نواحی مدنظر ممکن است محو شوند.

ممکن است در بسیاری موارد، روبش‌های اضافی سبب رفع این مشکل شود. برنامه‌ریز آزمون برای هندسه‌های پیچیده به دانش عمیقی از انتشار صوت، بلوک‌های مرجع نمایشگر و نرم‌افزارهای پیچیده نیاز دارد که فراتر از دامنه کاربرد این استاندارد است.

۸-۵ آماده‌سازی سطوح روبش

سطوح روبش باید به اندازه کافی عریض باشند تا مقدار آزمون کاملاً پوشش داده شود. سطوح روبش باید هموار و عاری از هرگونه ماده خارجی که احتمال تداخل در اتصال پروب ایجاد کند (مانند غبار، براده، جرقه جوش، شیار^۱ و شکاف^۲) باشد. موجی بودن سطح آزمون نباید سبب ایجاد فاصله‌ای بیش از ۰/۵mm بین یکی از پروب‌ها و سطح آزمون شود، از این الزامات باید با پوشاندن سطح، در صورت ضرورت، اطمینان حاصل شود.

سطوح روبش را می‌توان در صورتی مطلوب فرض کرد که زبری سطحی، R_a ، بیش از $6/3 \mu m$ برای سطوح ماشین‌کاری شده و بیش از $12/5 \mu m$ برای سطوح ساچمه‌زنی^۳ شده، نباشد.

جدول ۲- تنظیم TOFD پیشنهادی برای جوش‌های لب‌به‌لب بسته به ضخامت دیواره

تقاطع پرتو	اندازه المان mm	زاویه پرتو (موج‌های طولی) α°	بسامد مرکز f MHz	محدوده عمق Δt mm	تعداد مجموعه‌های TOFD	ضخامت t mm
2/3 of t	2 to 3	70	15	t تا 0	1	6 تا 10
2/3 of t	2 تا 3	70	15 to 10	t تا 0	1	15 تا >10
2/3 of t	2 تا 6	70 تا 60	10 تا 5	t تا 0	1	35 تا >15
2/3 of t	3 تا 6	70 تا 60	5 تا 3	t تا 0	1	50 تا >35
1/3 of t	3 تا 6	70 تا 60	5 تا 3	$t/2$ تا 0	2	100 تا >50
5/6 of t	6 تا 12	60 تا 45	5 تا 3	t تا $t/2$		
2/9 of t	3 تا 6	70 تا 60	5 تا 3	$t/3$ تا 0	3	200 تا >100
5/9 of t	6 تا 12	60 تا 45	5 تا 3	$2t/3$ تا $t/3$		
8/9 of t	6 تا 20	60 تا 45	5 تا 2	$t/2$ تا $2t/3$		
1/12 of t	3 تا 6	70 تا 60	5 تا 3	$t/4$ تا 0		
5/12 of t	6 تا 12	60 تا 45	5 تا 3	$t/4$ تا $t/2$	4	300 تا >200
8/12 of t	6 تا 20	60 تا 45	5 تا 2	$t/2$ تا $3t/4$		
t یا $11/12 t$; برای $\alpha \leq 45^\circ$	10 تا 20	50 تا 40	3 تا 1	t تا $3t/4$		

1-Groove

2-Notch

3-Shot blast

در زمان استفاده از پروب‌ها و مواد واسط، دمای سطح ماده تحت آزمون باید در محدوده 0°C تا 5°C باشد. برای دماهای خارج این محدوده، مناسب بودن تجهیزات باید تصدیق شود.

۸-۷ مواد واسط

برای ایجاد تصاویر مناسب، مواد واسطی باید استفاده شود که عبور ثابت امواج فراصوت را بین پروب و ماده فراهم کند.

مواد واسط مورد استفاده برای واسنجی باید از همان نوعی باشد که در آزمون بعدی و واسنجی‌های بعدی استفاده می‌شود.

۸-۸ مقررات نقاط مبنا

برای اطمینان از تکرارپذیری آزمون، یک سیستم مرجع دائمی باید به کار رود.

۹ آزمون ماده پایه

عموماً ماده پایه نیاز به بازرسی اولیه برای عیوب تورقی (به‌ویژه با استفاده از آزمون فراصوتی با پروب‌های پرتوی مستقیم) ندارد، چراکه آن‌ها در طی آزمون جوش TOFD تشخیص داده می‌شود. به‌هرحال، حضور ناپیوستگی‌ها در ماده پایه مجاور جوش، می‌تواند منجر به پوشاندن برخی نواحی (ایجاد مناطق تاریک) یا ایجاد مشکل در تفسیر داده‌ها شود.

۱۰ تنظیم حساسیت و محدوده

۱۰-۱ تنظیم‌ها

۱۰-۱-۱ کلیات

تنظیم محدوده و حساسیت باید قبل از هر آزمون مطابق با این استاندارد و استاندارد EN583-6 انجام شود. هرگونه تغییر در مجموعه TOFD، مانند فاصله مرکز تا مرکز پروب (PCS)، به تنظیم مجدد نیاز دارد.

توصیه می‌شود نوفه مثلاً با میانگین‌گیری از سیگنال کمینه شود.

۱۰-۱-۲ درجه زمان

درجه زمان باید حداقل گستره عمق نشان داده‌شده در جدول ۲ را پوشش دهد.

الف- توصیه می‌شود برای آزمون کامل ضخامت با استفاده از تنها یک تنظیم، ثبت دریچه زمان، حداقل $1\mu s$ قبل از زمان رسیدن موج جانبی شروع شود و توصیه می‌شود تا حد ممکن فراتر از سیگنال دیواره پشتی در تغییر مد باشد.

ب- اگر بیش از یک تنظیم استفاده شود، دریچه‌های زمان باید حداقل ۱۰٪ محدوده عمق هم‌پوشانی داشته باشند.

شروع و وسعت دریچه‌های زمان باید بر ماده تحت آزمون تصدیق شود.

۱۰-۱-۳ تبدیل زمان به عمق

برای یک PCS داده‌شده، تنظیم تبدیل زمان به عمق، با استفاده از سیگنال موج جانبی و سیگنال دیواره پشتی با سرعت مشخص ماده، بهتر انجام می‌شود. یک بلوک مناسب با ضخامت مشخص (دقت $0.5mm$) تصدیق (برای تمام سطوح آزمون) شود... حداقل یک اندازه‌گیری عمق باید در گستره عمق مدنظر، به‌ویژه با ثبت کمینه ۲۰ روبش A، انجام شود. عمق یا ضخامت اندازه‌گیری باید در $0.2mm$ از عمق یا ضخامت معین یا واقعی باشد. برای هندسه قطعات منحنی ممکن است اصلاحات ضروری باشد.

۱۰-۱-۴ تنظیم حساسیت

برای تمام سطوح آزمون، حساسیت باید برای ماده تحت آزمون تنظیم شود. دامنه موج جانبی باید بین ۴۰٪ و ۸۰٪ ارتفاع کل صفحه (FSH) باشد. در مواردی که استفاده از موج جانبی مناسب نیست (به‌عنوان مثال شرایط سطحی، استفاده از زوایای تند پرتو)، حساسیت باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که دامنه سیگنال دیواره پشتی بین ۱۸dB و ۳۰dB ارتفاع کل صفحه بالای FSH باشد. وقتی استفاده از موج جانبی و سیگنال دیواره پشتی مناسب نباشد، توصیه می‌شود حساسیت به‌گونه‌ای تنظیم شود که نوفه ناشی از دانه‌های ماده بین ۵٪ و ۱۰٪ ارتفاع کل صفحه FSH باشد.

برای سطوح آزمون B، C و D، با استفاده از بلوک‌ها باید تصدیق شود که حساسیت برای تشخیص ناپیوستگی‌ها در ناحیه عمق مربوطه یا اگر در دسترس نیست، ناپیوستگی‌های ماشین‌کاری شده (شکاف‌ها، سوراخ‌های مته شده جانبی و غیره) کافی است. به بند ۱۰-۳ رجوع شود.

۱۰-۲ بررسی تنظیم‌ها

بررسی‌هایی برای تطابق تنظیم‌ها محدوده و حساسیت باید حداقل هر ۴ ساعت و در تکمیل آزمون انجام شود. بررسی‌ها باید در هر زمان که یک پارامتر سامانه تغییر کند یا تغییرات در تنظیم‌ها یکسان مشکوک باشد، نیز انجام شود. اگر یک بلوک مرجع برای تنظیم اولیه استفاده شود، توصیه می‌شود از همان بلوک مرجع برای بررسی‌های بعدی استفاده شود. به‌طور جایگزین ممکن است یک بلوک کوچک‌تر با خواص انتقالی مشخص استفاده شود، به‌شرط اینکه دارای ارجاع متقابل به بلوک مرجع اولیه باشد. در صورتی که از بلوک مرجع استفاده نشود، اما به‌جای آن از یک قطعه برای بررسی استفاده شده باشد، بررسی‌های بعدی باید در همان موقعیت بررسی اولیه انجام شود.

اگر در طی این بررسی‌ها، انحرافات از تنظیم‌ها اولیه، مطابق با بند ۳-۱-۱۰ و ۴-۱-۱۰ یافت شود، باید اصلاحات داده‌شده در جدول ۳ انجام شود.

۳-۱۰ بلوک‌های مرجع

۱-۳-۱۰ کلیات

بسته به سطح آزمون، از یک بلوک مرجع باید برای تعیین کفایت آزمون (به‌عنوان مثال، پوشش، تنظیم حساسیت) استفاده شود. پیشنهادهایی برای بلوک‌های مرجع در پیوست الف ارائه شده است.

جدول ۳ - اصلاحات محدوده و حساسیت

حساسیت	
هیچ اقدامی نیاز نیست، ممکن است داده‌ها توسط نرم‌افزار تصحیح شوند.	$\leq 6\text{dB}$ انحرافات
تنظیم‌ها باید اصلاح شود و تمام آزمون‌های انجام‌شده از بررسی معتبر آخر، مجدداً تکرار شود.	$> 6\text{dB}$ انحرافات
محدوده	
هیچ اقدامی نیاز نیست.	$\leq 0.5\text{mm}$ انحرافات یا ۲٪ محدوده عمق، هرکدام بزرگ‌تر است
تنظیم‌ها باید تصحیح شود و تمام آزمون‌های انجام‌شده از بررسی معتبر آخر مجدداً تکرار شود.	$> 0.5\text{mm}$ انحرافات یا ۲٪ محدوده عمق، هرکدام بزرگ‌تر است

۲-۳-۱۰ مواد

توصیه می‌شود بلوک مرجع از همان موادی ساخته شود که ماده تحت آزمون ساخته شده است (به‌عنوان مثال از نظر سرعت صوت، ساختار دانه‌بندی و شرایط سطحی).

۳-۳-۱۰ ابعاد و شکل

توصیه می‌شود ضخامت بلوک مرجع، معرف ضخامت آزمون باشد؛ بنابراین توصیه می‌شود ضخامت به مقادیر کمینه و بیشینه مربوط به ضخامت آزمون محدود شود.

پیشنهاد می‌شود ضخامت بلوک مرجع بین ۰/۸ تا ۱/۵ برابر ضخامت ماده تحت آزمون باشد و بیشینه اختلاف آن در مقایسه با ماده تحت آزمون ۲۰mm باشد. توصیه می‌شود در مورد خط مرکزی بین پروب‌ها دقت شود که هیچ زاویه کوچک‌تر از ۴۰ درجه در پایین بلوک مرجع نباشد، به شکل الف-۱ رجوع شود.

توصیه می‌شود کمینه ضخامت بلوک مرجع به‌گونه‌ای انتخاب شود که نقطه تقاطع محور اصلی دو پرتو همیشه در محدوده بلوک مرجع قرار گیرد، به شکل الف-۲ رجوع شود...

توصیه می‌شود طول و پهنای بلوک مرجع طوری انتخاب شود که تمام بازتاب‌کننده‌های مصنوعی در ناحیه سطح موردنظر را بتوان در محدوده روبش مناسب دریافت کرد.

برای آزمون جوش‌های طولی در قطعات استوانه‌ای، باید از بلوک‌های مرجع منحنی با قطر از 0.9 تا 1.5 برابر قطر قطعه استفاده شود. برای قطعاتی با قطر $300\text{ mm} \geq$ ممکن است یک بلوک مرجع تخت استفاده شود.

۱۰-۳-۴ بازتاب‌کننده‌های مرجع

برای ضخامت بین 6 mm و 25 mm ، حداقل سه بازتاب‌کننده موردنیاز است، برای ضخامت $t > 25\text{ mm}$ حداقل ۵ بازتاب‌کننده موردنیاز است. بازتاب‌کننده‌های مرجع که نوعاً مورد استفاده قرار می‌گیرند سوراخ‌های مته شده جانبی و شکاف‌ها هستند. ممکن است از شکل‌های مختلف شکاف استفاده شود به شرط آنکه سیگنال‌های پراش تولید کنند.

۱۱ آزمون جوش

دو پروب در فاصله و جهت ثابت نسبت به خط مرکزی جوش روبش می‌کنند.

داده‌های جمع‌آوری شده در طی روبش را می‌توان برای تشخیص و اندازه‌گذاری به کاربرد. ممکن است برای ارزیابی بیشتر اثرهای TOFD مشخص شده در طی روبش اولیه به روبش‌های اضافی مانند روبش‌های جبرانی، روبش‌هایی عمود بر ناپیوستگی یا تنظیم‌ها تکمیلی مجموعه TOFD نیاز داشته باشد.

سرعت روبش باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که تصاویری مطلوب حاصل شود، به بند ۱۲-۱ رجوع کنید. سرعت روبش به فاصله افزایش روبش، میانگین‌گیری سیگنال، بسامد تکرار پالس، بسامد کسب داده‌ها و حجم تحت بازرسی بستگی دارد. خطوط روبش از دست‌رفته نشان‌دهنده استفاده از سرعت روبش خیلی زیاد است. ممکن است بیشینه ۵٪ از تعداد کل خطوط جمع‌آوری شده در یک روبش از دست رود، اما هیچ خطوط مجاوری نباید از دست رود.

اگر یک جوش در بیش از یک قسمت روبش می‌شود، حداقل یک هم‌پوشانی 20 mm بین روبش‌های مجاور موردنیاز است، در هنگام روبش جوش‌های محیطی، هم‌پوشانی مشابه روبش پایانی با روبش اولی موردنیاز است.

کاهش دامنه سیگنال موج جانبی، سیگنال دیواره پشتی، نوفه ناشی از دانه‌بندی یا سیگنال‌های تغییر مد در طی یک روبش به میزان بیش از 12 dB ، ممکن است نشان‌دهنده اتلاف ناشی ماده واسط باشد (به شکل ب-۷ و ب-۸ رجوع شود). اگر کاهش به واسطه ماده واسط، مشکوک باشد، سطح باید دوباره روبش شود. اگر هنوز نتایج رضایت‌بخش نباشد، اقدام مناسبی باید انجام شود.

اشباع موج جانبی یا نوفه بیش از حد ناشی از دانه‌بندی ($\text{FSH} > 20\%$) در طی روبش، به اقدام اصلاحی و روبش مجدد نیاز دارد.

۱۲ تفسیر و تحلیل تصاویر TOFD

۱۲-۱ کلیات

تفسیر و تجزیه و تحلیل تصاویر TOFD عموماً با موارد زیر انجام می‌شود:

الف- ارزیابی کیفی تصویر TOFD؛

ب- شناسایی اثرهای TOFD مرتبط و تمایز اثرهای TOFD غیر مرتبط،

پ- طبقه‌بندی اثرهای TOFD مرتبط برحسب:

۱- درونی (خطی، نقطه‌ای)؛

۲- راه‌دار به سطح؛

ت- تعیین موقعیت (به‌عنوان مثال حالت در جهت X و Z) و اندازه (طول و گستره میزان عبور از دیواره)؛

ث- ارزیابی در مقایسه با معیار پذیرش؛

۱۲-۲ ارزیابی کیفی تصویر TOFD

یک آزمون TOFD باید به‌گونه‌ای انجام شود که تصاویر مطلوبی ایجاد شود و بتوان آن‌ها را با اطمینان ارزیابی کرد. تصاویر مطلوب با مناسب بودن موارد زیر تعریف می‌شود:

الف- ماده واسط، به بندهای ۸-۷ و ۱۱ رجوع شود؛

ب- کسب داده‌ها، به بند ۱۱ رجوع شود؛

پ- تنظیم حساسیت، به بند ۱۰-۱-۴ رجوع شود؛

ت- تنظیم زمان پایه، به بند ۱۰-۱-۲ رجوع شود؛

ارزیابی کیفی تصاویر به کاربرهای مجرب و ماهر نیاز دارد، به بند ۷-۱ رجوع شود. کاربر باید در مورد لزوم کسب داده‌های جدید برای تصاویر نامطلوب تصمیم بگیرد (رویش دوباره).

مثال‌هایی در مورد تصاویر غیر مطلوب در بند ب-۱ داده شده است.

۱۲-۳ شناسایی اثرهای TOFD مرتبط

تصاویر TODF مطلوب باید از جهت وجود اثرهای TOFD ارزیابی شوند، اثرهای TOFD توسط الگوها یا اغتشاشات درون تصویر مشخص می‌شود.

با TOFD می‌توان علاوه بر مشخصات هندسی جسم تحت آزمون، ناپیوستگی‌های جوش را نیز تصویر کرد. به‌منظور شناسایی اثرهای TOFD در ویژگی‌های هندسی، دانش کاملی از جسم تحت آزمون ضروری است. اثرهای TOFD که از شکل واقعی یا مدنظر ماده تحت آزمون ناشی می‌شوند، اثرهای نامرتبط در نظر گرفته می‌شوند. مثال‌هایی از اثرهای TOFD هندسی در پیوست ب-۳ داده شده است. برای تصمیم‌گیری در مورد مرتبط بودن یا نبودن اثرهای ظاهرشده در TOFD (اثرهای ناشی از حضور ناپیوستگی) الگوها یا اختلالات باید با توجه به شکل و دامنه سیگنال نسبت به میزان کلی نوفه، ارزیابی گردند. مقادیر حد خاکستری یا الگوهای قسمت‌ها مجاور باید برای تعیین میزان یک اثر TOFD در نظر گرفته شوند.

۱۲-۴ طبقه‌بندی اثرهای TOFD مرتبط

۱۲-۴-۱ کلیات

ممکن است دامنه، فاز، موقعیت و الگوی اثرهای TOFD مرتبط دارای اطلاعاتی در مورد ناپیوستگی باشد. اثرهای TOFD مرتبط مانند اثرهای TOFD از روی ناپیوستگی‌های راه‌دار به سطح یا ناپیوستگی‌های درونی با آنالیز مشخصات زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف- اختلال در موج جانبی؛

ب- اختلال در انعکاس دیواره پشتی؛

پ- اثرهای TOFD بین موج جانبی و بازتاب دیواره پشتی؛

ت- فاز اثرهای TOFD بین موج جانبی و بازتاب دیواره پشتی؛

ث- سیگنال‌های تبدیل مد بعد از اولین بازتاب دیواره پشتی؛

تعدادی از تصاویر نوعی TOFD از ناپیوستگی‌ها در اتصالات جوشکاری شده ذوبی دربند ب-۲ ارائه شده است.

۱۲-۴-۲ اثرهای TOFD از ناپیوستگی‌هایی که به سطح راه دارند

۱۲-۴-۲-۱ کلیات

ناپیوستگی‌هایی که به سطح راه دارد را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی کرد (بندهای ۱۲-۴-۲-۲ تا ۱۲-۴-۲-۴)

۱۲-۴-۲-۲ روبش ناپیوستگی سطحی

این نوع ناپیوستگی به‌صورت یک الگوی کشیده ایجادشده توسط سیگنال منتشرشده از لبه پایینی ناپیوستگی و تضعیف یا افت موج جانبی (که همیشه مشاهده نمی‌شود) ظاهر می‌شود. نشانه TOFD از لبه

پایینی ممکن است توسط موج جانبی پنهان شود، اما عموماً یک الگو را می‌توان تحت شیوه تبدیل‌شده تصویر مشاهده کرد. برای ناپیوستگی‌های کوچک، ممکن است تنها یک تأخیر کوتاه در موج جانبی مشاهده شود.

۱۲-۴-۲ ناپیوستگی سطح مقابل

این نوع ناپیوستگی به صورت یک الگوی کشیده ایجاد شده توسط سیگنال منتشر شده از لبه بالایی ناپیوستگی و تضعیف یا افت یا تأخیر در بازتاب دیواره پشتی (که همیشه مشاهده نمی‌شود) ظاهر می‌شود.

۱۲-۴-۴ ناپیوستگی میان دیواره

این نوع ناپیوستگی به صورت حذف یا تضعیف هر دو موج جانبی و بازتاب دیواره پشتی همراه با سیگنال‌های پراش یافته از دو انتهای ناپیوستگی ظاهر می‌شود.

۱۲-۴-۳ اثرهای TOFD از ناپیوستگی‌های درونی

۱۲-۴-۳-۱ کلیات

اثرهای TOFD از ناپیوستگی‌های درونی معمولاً موج جانبی یا بازتاب دیواره پشتی را دچار اختلال نمی‌سازد. ناپیوستگی‌های درونی را می‌توان به ۳ گروه طبقه‌بندی کرد (بندهای ۱۲-۴-۳-۲ تا ۱۲-۴-۳-۴).

۱۲-۴-۳-۲ ناپیوستگی‌های نقطه مانند

این نوع ناپیوستگی به صورت یک منحنی هذلولی واحد که ممکن است در هر عمقی باشد، ظاهر می‌شود.

۱۲-۴-۳-۳ ناپیوستگی‌های کشیده شده بدون ارتفاع قابل اندازه‌گیری

این نوع ناپیوستگی به صورت الگوی کشیده‌ای متناظر با سیگنال واضح لبه بالایی ظاهر می‌شود.

۱۲-۴-۳-۴ ناپیوستگی کشیده شده با ارتفاع قابل اندازه‌گیری

این نوع ناپیوستگی به صورت دو الگوی کشیده شده در موقعیت‌های مختلف عمق، متناظر با لبه‌های بالایی و پایینی ناپیوستگی ظاهر می‌شود. اثر TOFD لبه پایینی معمولاً با موج جانبی هم‌فاز است. اثر TOFD لبه بالایی معمولاً با بازتاب دیواره پشتی هم‌فاز است.

۱۲-۴-۴ اثرهای طبقه‌بندی نشده TOFD

اثرهای TOFD را که نتوان مطابق با بندهای ۱۲-۴-۲ و ۱۲-۴-۳ طبقه‌بندی کرد، ممکن است تحلیل و آزمون بیش‌تر نیاز داشته باشند.

۱۲-۵ تعیین موقعیت و اندازه

۱۲-۵-۱ موقعیت

موقعیت ناپیوستگی در جهت‌های X و Z، به‌صورتی که در استاندارد EN583-6 آمده، از داده‌های جمع‌آوری‌شده مطابق با بند ۱۱ تعیین می‌شود.

موقعیت یک ناپیوستگی شبیه نقطه، به‌آسانی با مختصات X و Z توضیح داده می‌شود. موقعیت ناپیوستگی‌های طولی باید با مختصات X و Z و قسمت‌های انتهایی ناپیوستگی‌ها توضیح داده شود.

اگر موقعیت در جهت Y به‌صورتی که در استاندارد EN583-6 تعریف‌شده، باشد روبش‌های تکمیلی ضروری است. اگر موقعیت دقیق‌تر موردنیاز باشد، ممکن است از بازسازی الگوریتم‌ها به‌عنوان مثال محاسبات دریاچه فوکوس ساختگی (SAFT)^۱ استفاده شود.

۱۲-۵-۲ اندازه‌گذاری

اندازه ناپیوستگی با طول و ارتفاع آن تعیین می‌شود. طول با اختلاف بین مختصات X دو انتهای نشانه TOFD تعریف می‌شود. ارتفاع به‌صورت بیشینه اختلاف بین مختصات Z تعریف می‌شود. توصیه می‌شود برای اثرهای TOFD، که مختصات Z در طولش تغییر نشان می‌دهد، ارتفاع در موقعیت X که اختلاف بین مختصات Z بیشترین مقدار است، تعیین شود.

۱۲-۶ ارزشیابی برحسب معیار پذیرش

بعد از طبقه‌بندی تمام اثرهای TOFD مرتبط و بعد از تعیین موقعیت و اندازه آن‌ها، توصیه می‌شود اثرها برحسب معیار پذیرش تعریف‌شده ارزشیابی شود. بر اساس این ارزشیابی، اثرهای TOFD را می‌توان به‌صورت "قابل پذیرش" و "غیرقابل پذیرش" گروه‌بندی کرد.

۱۳ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- ارجاع به این استاندارد (INSO...);

ب- اطلاعات مربوط به ماده تحت آزمون؛

۱- شناسایی ماده تحت آزمون؛

1-Synthetic aperture focusing calculations

۲- ابعاد شامل ضخامت دیواره؛

۳- نوع ماده و شکل محصول؛

۴- شکل هندسی؛

۵- موقعیت اتصالات جوشی آزمون شده؛

۶- ارجاع به فرایند جوشکاری و عملیات حرارتی؛

۷- شرایط و دمای سطحی، اگر خارج از محدوده 0°C تا 50°C است؛

۸- مرحله ساخت؛

پ- اطلاعات مربوط به تجهیز

۱- سازنده و نوع تجهیز TOFD شامل سازوکارهای روبش با شماره‌های شناسایی، در صورت لزوم؛

۲- سازنده پروب‌ها، نوع، بسامد، اندازه المان و زوایای (پرتوهای) پروب‌ها با شماره‌های شناسایی در صورت لزوم؛

۳- جزئیات بلوک (های) مرجع با شماره شناسایی در صورت لزوم؛

۴- نوع ماده واسط مورد استفاده؛

ت- اطلاعات مربوط به روش فنی آزمون:

۱- سطح آزمون و ارجاع به یک راهنما یا دستورالعمل نوشتاری آزمون، در صورت لزوم؛

۲- هدف و گستره آزمون؛

۳- جزئیات داده‌ها و سیستم‌های مختصات؛

۴- جزئیات تنظیم‌ها TOFD؛

۵- روش و مقادیر مورد استفاده برای محدوده و تنظیم‌ها حساسیت؛

۶- جزئیات سیگنال متوسط و تنظیم پله افزایش روبش؛

۷- جزئیات روبش‌های موازی، در صورت لزوم؛

۸- محدودیت‌های دسترسی و انحرافات از این استاندارد، در صورت لزوم؛

ث- اطلاعات مربوط به نتایج آزمون:

۱- تصاویر TOFD حداقل از موقعیت‌هایی که اثرهای TOFD مرتبط تشخیص داده شده‌اند؛

۲- معیار پذیرش به کار رفته؛

۳- داده‌های ثبت و جدول‌بندی شده، نشان‌دهنده طبقه‌بندی، موقعیت و اندازه اثرهای TOFD مرتبط و نتایج ارزیابی؛

۴- تاریخ آزمون؛

۵- نام‌ها، امضاها و گواهی‌نامه کارکنان.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
بلوک‌های مرجع

الف-۱ الزامات ضخامت

الف-۱-۱ کلیات

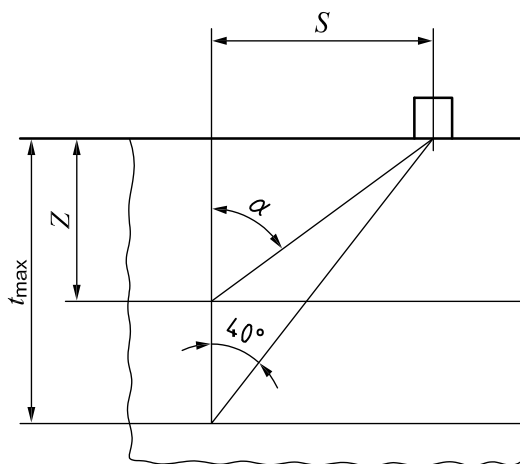
پیشنهاد می‌شود بلوک‌های مرجع مطابق با بندهای ۱۰-۳-۳، الف-۱-۲، الف-۱-۳ باشد.

الف-۱-۲ ضخامت بیشینه

توصیه می‌شود ضخامت بلوک مرجع به گونه‌ای انتخاب شود که زاویه در پایین بلوک مرجع (به‌طوری که در شکل الف-۱) نشان داده شده، از 40° کمتر نباشد تا از بروز ناحیه‌ای بدون پراش در ته بلوک اجتناب شود.

اگر Z موقعیت عمق نقطه تقاطع، $2S$ فاصله مرکز تا مرکز پروب و α زاویه پرتوی تنظیم انتخابی باشد، آنگاه، مطابق با شکل الف-۱ ضخامت بیشینه t_{max} را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

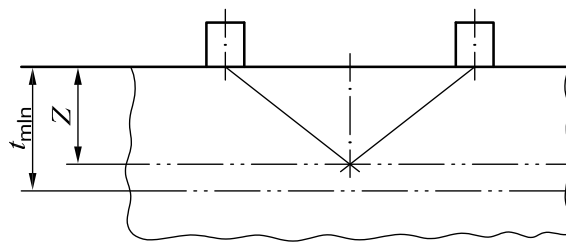
$$\left. \begin{aligned} S &= Z \tan \alpha \\ S &= t_{max} \tan 40^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow \quad Z \tan \alpha = t_{max} \tan 40^\circ \quad t_{max} = Z(\tan \alpha / \tan 40^\circ)$$



شکل الف-۱ محدودیت ضخامت بیشینه

الف-۱-۳ ضخامت کمینه

توصیه می‌شود ضخامت کمینه بلوک مرجع، t_{min} ، به گونه‌ای انتخاب شود که موقعیت عمق نقطه تقاطع پرتو در تنظیم انتخابی، Z ، همیشه در محدوده، بلوک مرجع باشد، به شکل الف-۲ رجوع شود؛ یعنی $t_{min} \leq Z$



راهنما:

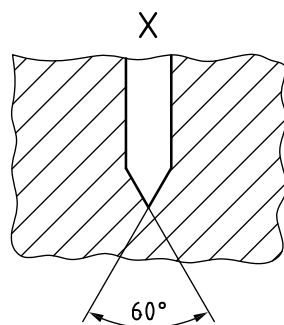
t_{min} ضخامت کمینه بلوک مرجع

Z موقعیت عمق نقطه تقاطع پرتو

شکل الف-۲ محدودیت ضخامت کمینه

الف-۲ بازتاب‌کننده‌های مرجع

- برای ضخامت‌های بین ۶mm و ۲۵mm، حداقل ۳ بازتاب‌کننده پیشنهاد می‌شود (به شکل‌های الف-۴ و الف-۵ رجوع شود). ممکن است بازتاب‌کننده‌ها در یک یا بیشتر از یک بلوک به صورت زیر ماشین‌کاری شود.
- یک شکاف در ته بلوک با طول l و ارتفاع h (به جدول الف-۱ رجوع شود).
- یک سوراخ مته شده جانبی قرار گرفته در ۴mm زیر سطح، با قطر ۲mm و طول ۳۰mm
- یک سوراخ مته شده جانبی قرار گرفته در $t/2$ زیر سطح، با قطر D_d (به جدول الف-۲ رجوع شود) و به طول ۴۵mm، به طور جایگزین ممکن است یک شکاف در سطح روبش با عمق $t/2$ ، زاویه نوک 60° (به شکل الف-۳ رجوع شود)، عرض w (جدول الف-۲) و طول کمینه ۴۰mm، استفاده شود.



شکل الف-۳ جزئیات نوک شکاف

- برای ضخامت بیش‌تر از ۲۵mm، حداقل ۵ بازتاب‌کننده مرجع پیشنهاد می‌شود (به شکل‌های الف-۴ و الف-۵ رجوع شود). ممکن است بازتاب‌کننده‌ها در یک بلوک یا بیش از یک بلوک به صورت زیر ماشین‌کاری شوند:
- یک شکاف در ته بلوک با طول l و ارتفاع h (به جدول الف-۱ رجوع شود).
- یک سوراخ مته شده جانبی قرار گرفته در ۴mm زیر سطح، با قطر ۲mm و طول کمینه ۳۰mm.

- سه سوراخ مته شده جانبی که در $t/4$ ، $t/2$ و $3t/4$ ، زیر سطح قرار گرفته، با قطر D_d (به جدول الف-۲) و طول L (به جدول الف-۳) رجوع شود، به طور جایگزین ممکن است از ۳ شکاف در سطح روبش با عمق‌های $t/4$ ، $t/2$ و $3t/4$ ، زاویه نوک 60° (به شکل الف-۵ رجوع شود) با پهنای W (جدول الف-۲) و طول کمینه 40 mm استفاده شود.

رواداری‌های ابعاد به صورت زیر است:

- قطر $\pm 0,2\text{ mm}$
- طول $\pm 2\text{ mm}$
- زاویه $\pm 2^\circ$

جدول الف-۱ طول و ارتفاع شکاف در ته بلوک مرجع

ضخامت	طول شکاف	عمق شکاف
t	l	h
$6 < t \leq 40$	t	$1 \pm 0,2$
$40 < t \leq 60$	$40 \pm$	$2 \pm 0,2$
$60 < t \leq 100$	$50 \pm$	$2 \pm 0,2$
$t > 100$	60 ± 2	$3 \pm 0,2$

جدول الف-۲ قطر سوراخ‌های مته شده جانبی و عرض شکاف‌های سطحی

ضخامت	قطر سوراخ مته شده جانبی D_d	عرض شکاف سطحی
t mm	mm	W mm
$6 < t \leq 25$	$2,5 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$
$25 < t \leq 50$	$3,0 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,2$
$50 < t \leq 100$	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$
$t > 100$	$6,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$

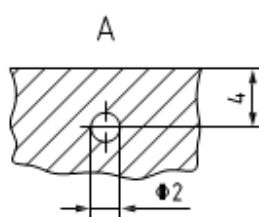
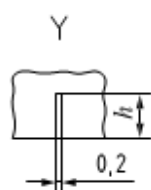
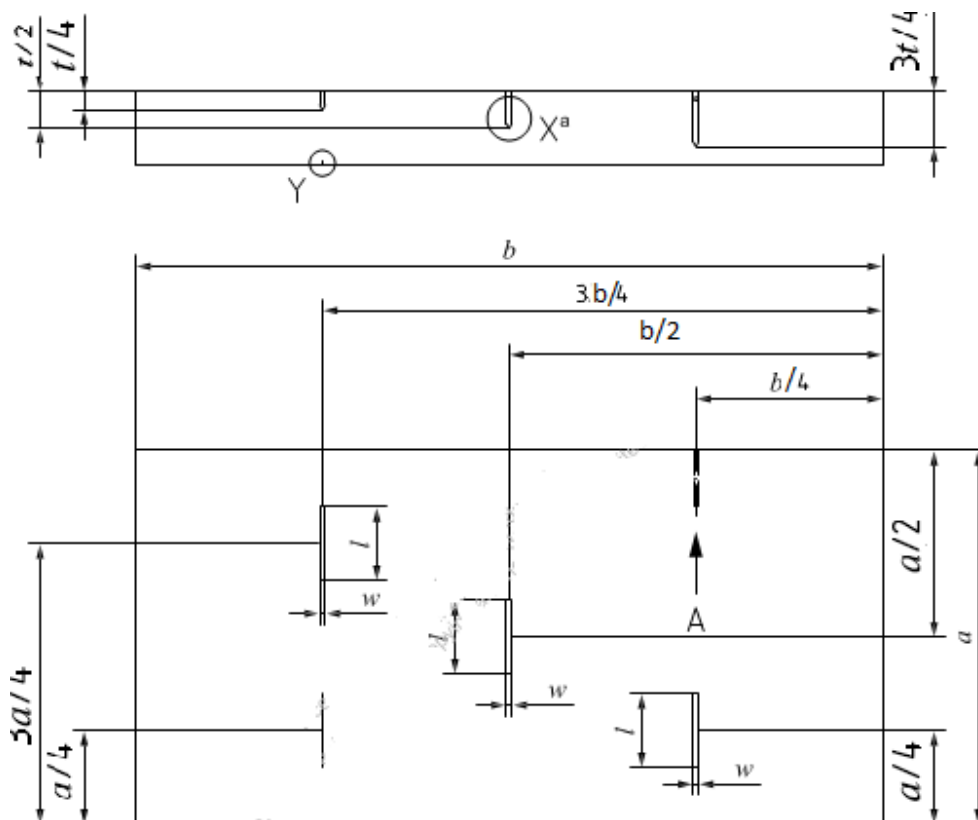
جدول الف-۳ طول سوراخ‌های مته شده جانبی و شکاف‌های سطحی برای ضخامت $t > 25\text{mm}$

عمق	سه سوراخ در هر قطعه	سه قسمت مجزا/یک سوراخ در هر قطعه	سه شکاف در هر قطعه	سه قسمت مجزا/یک شکاف در هر قطعه
	طول کمینه mm	طول کمینه Mm	طول کمینه mm	طول کمینه mm
$t/4$	$l_o = 45$	45	40	40
$t/2$	$l_o + 15$	45	40	40
$3t/4$	$l_o + 30$	45	40	40

الف-۳ بلوک‌های مرجع نوعی

برخی مثال‌ها از بلوک‌های مرجع مورد استفاده در کاربرهای TOFD دارای بازتاب‌کننده‌های مرجع نوعی که در بند الف-۲ مشخص شده در شکل‌های الف-۳ (با شکاف) و الف-۴ (با سوراخ‌های مته شده جانبی و یک شکاف)، ارائه شده است.

ابعاد بر حسب میلی متر



راهنما:

a عرض بلوک

b طول بلوک

t ضخامت بلوک

w عرض شکاف

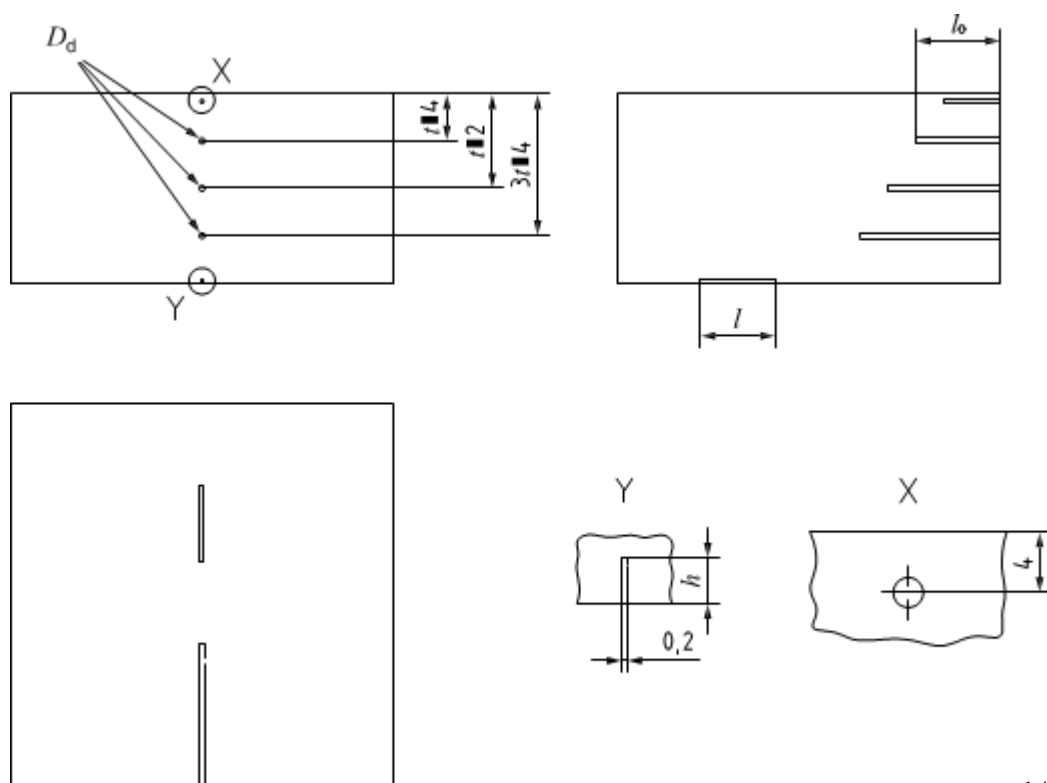
l طول شکاف

h ارتفاع شکاف

^a به شکل الف-۳ رجوع شود.

شکل الف-۴ بلوک های مرجع دارای شکاف

ابعاد بر حسب میلی متر



راهنما:

t ضخامت بلوک

D_d قطر سوراخ مته شده جانبی

L_0 طول سوراخ مته شده جانبی

l طول شکاف در ته

h ارتفاع شکاف

شکل الف-۵ بلوک مرجع دارای سوراخ‌های مته شده جانبی و شکاف

پیوست ب

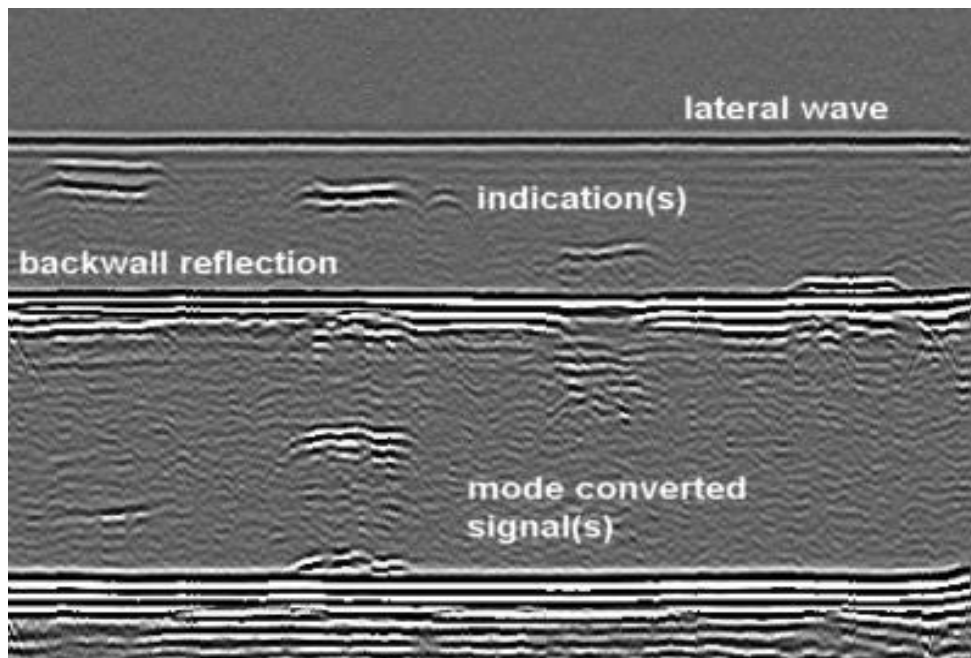
(اطلاعاتی)

مثال‌هایی از روبش‌های TOFD

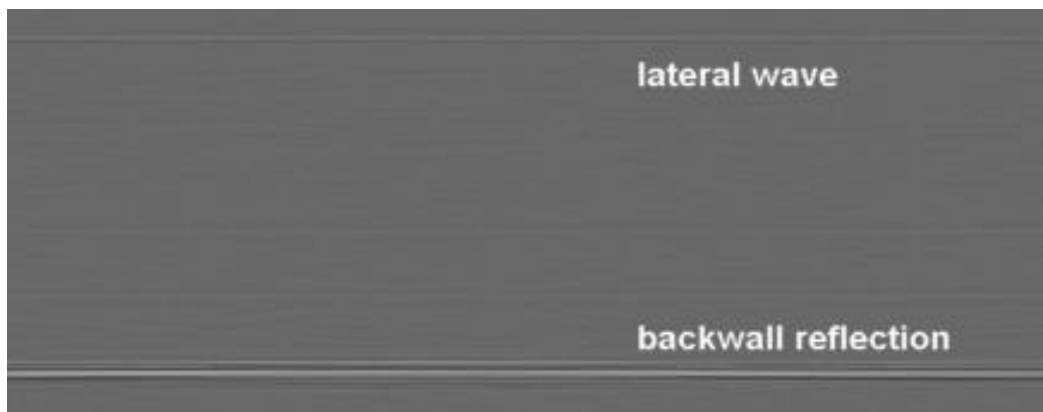
ب-۱ تصاویر مطلوب و نامطلوب TOFD

در شکل ب-۱ یک تصویر TOFD مطلوب، نشان داده شده است که شامل موارد زیر می‌باشد:

- یک موج جانبی بدون اختلال (دامنه بین ۴۰٪ و ۸۰٪ FSH)
- چهار اثر TOFD شکاف‌ها در عمق‌های مختلف
- بازتاب مستقیم دیواره پشتی
- سیگنال‌های تبدیل حالت (مد) از شکاف‌ها و دیواره پشتی
- در شکل‌های ب-۲ تا ب-۸ تصاویر TOFD نامطلوب نشان داده شده است.



شکل ب-۱- تصویر TOFD مطلوب



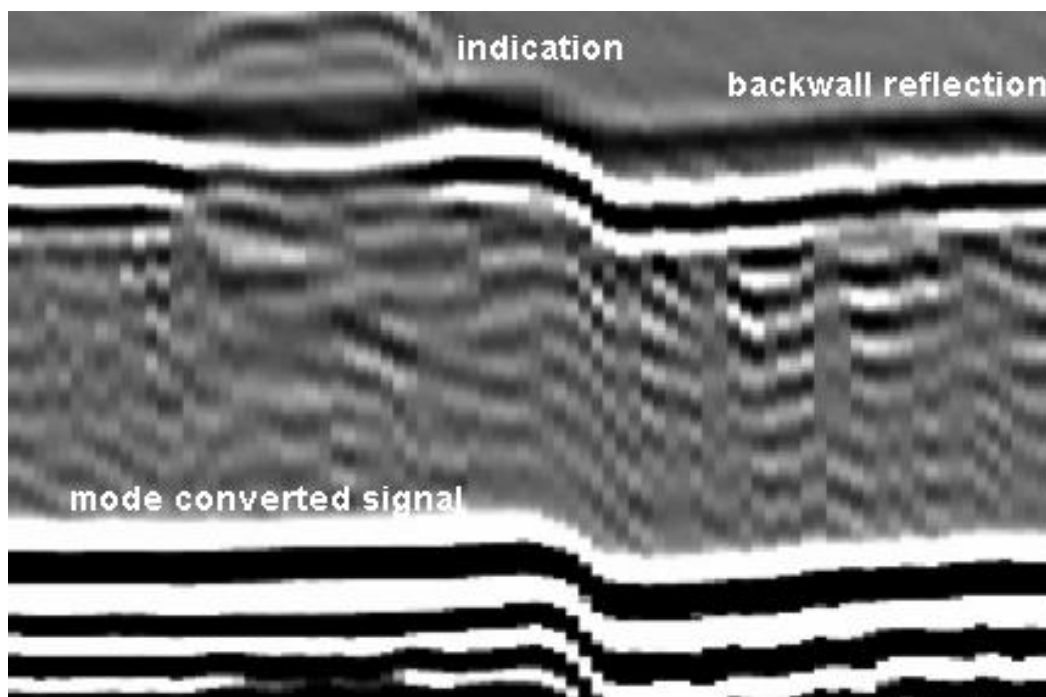
دامنه موج جانبی خیلی کوچک تر از $\%40FSH$

شکل ب-۲- تنظیم با دسی بل کم

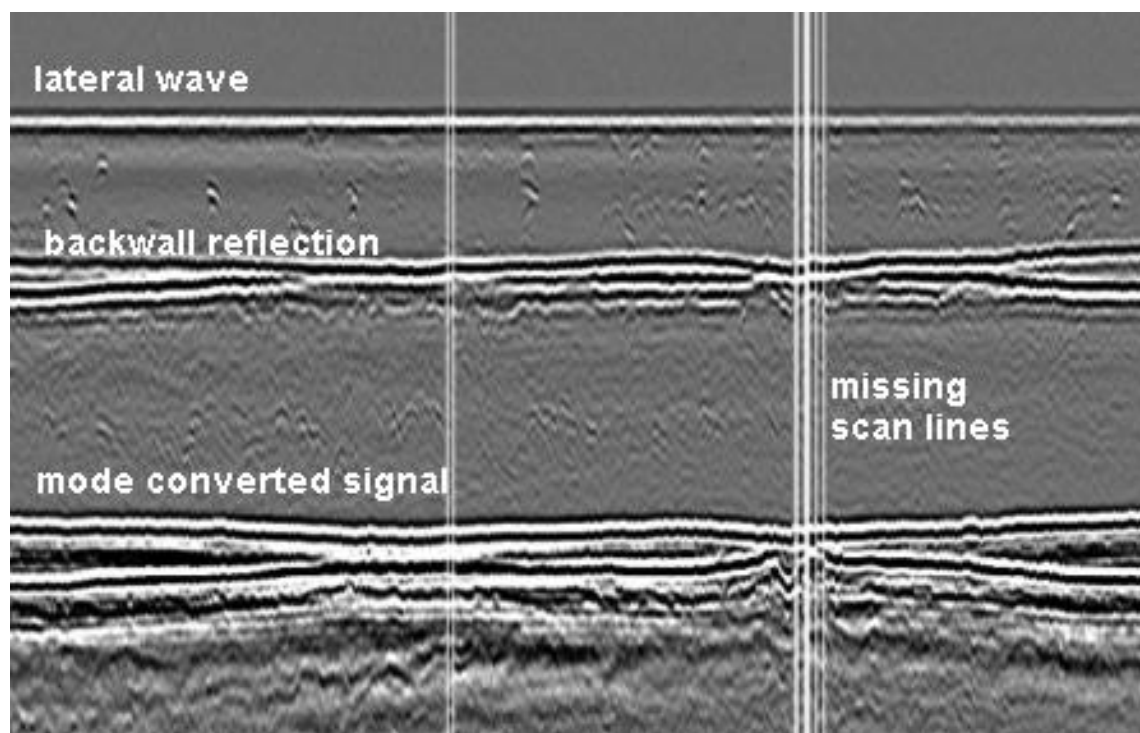


دامنه موج جانبی خیلی بزرگ تر از $\%80FSH$ (اشباع شده)

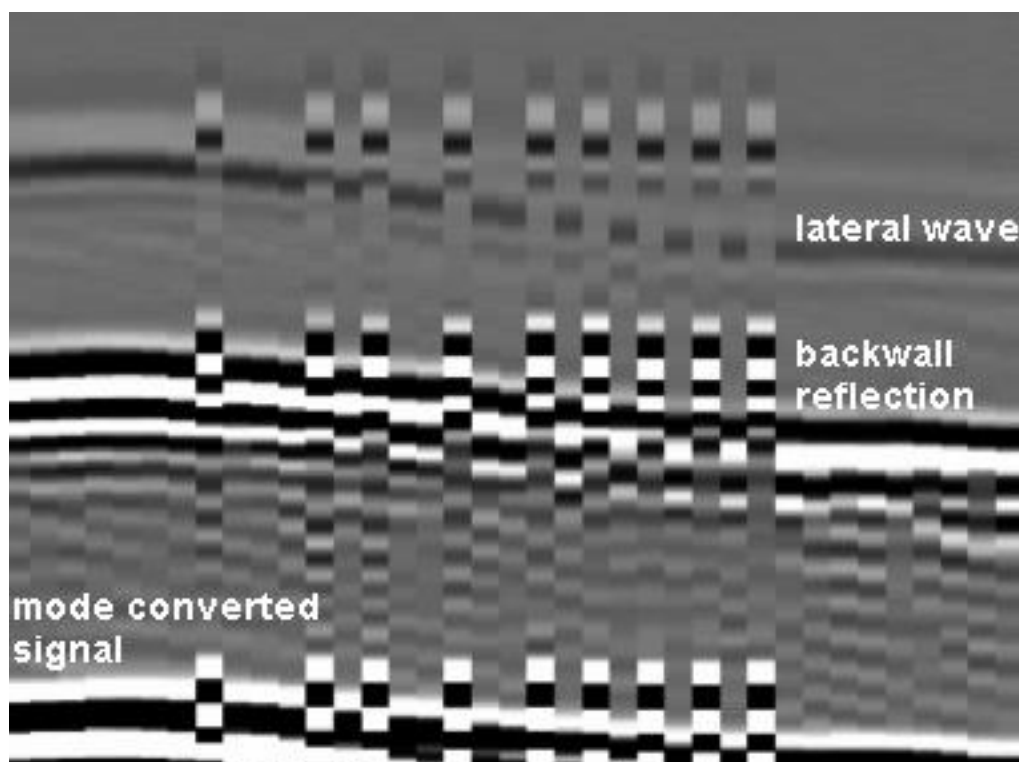
شکل ب-۳- تنظیم با دسی بل بالا



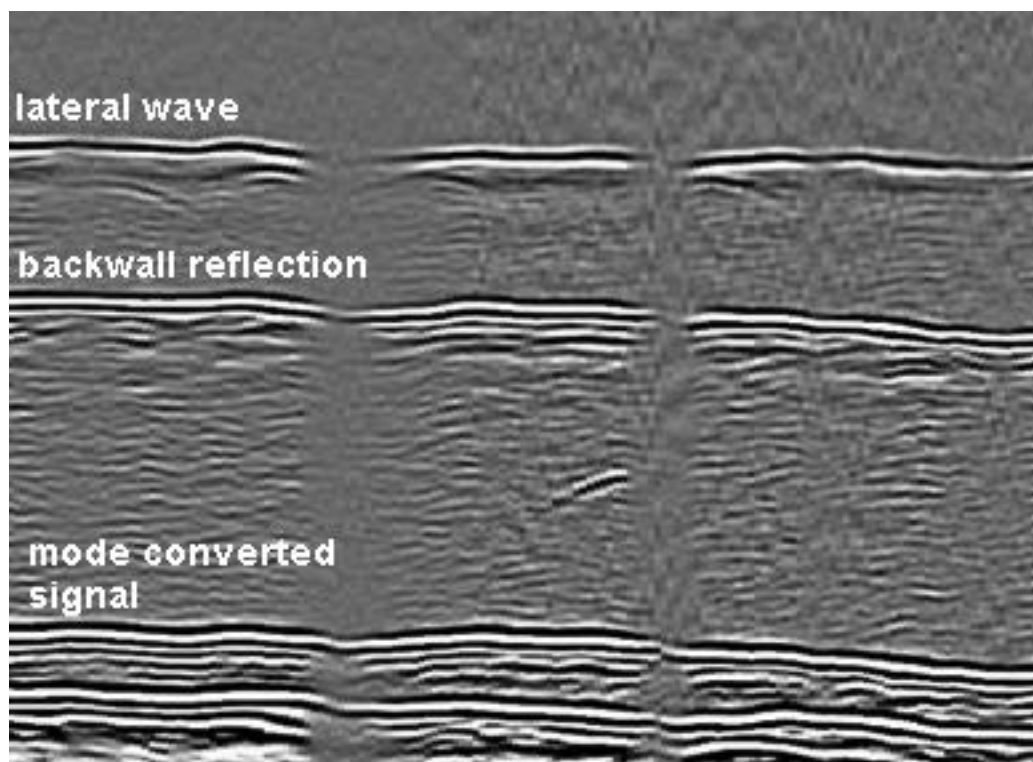
موج جانبی در دریچه زمان وجود ندارد
 شکل ب-۴- تنظیم دریچه زمان نامناسب



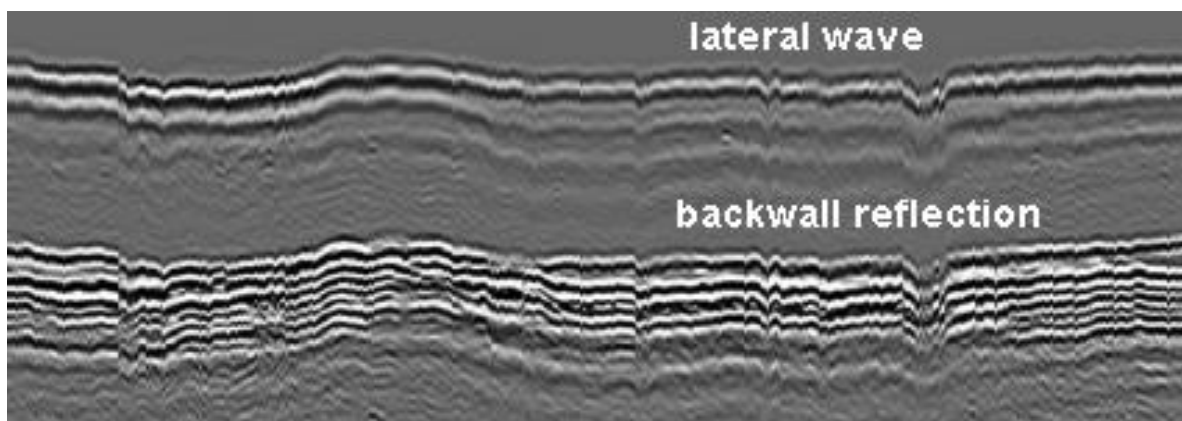
شکل ب-۵- خطوط روبش ازدست رفته



شکل ب-۶- مشکلات مدار رها سازی پایه زمان



شکل ب-۷- افت سیگنال ناشی از کمبود ماده واسط

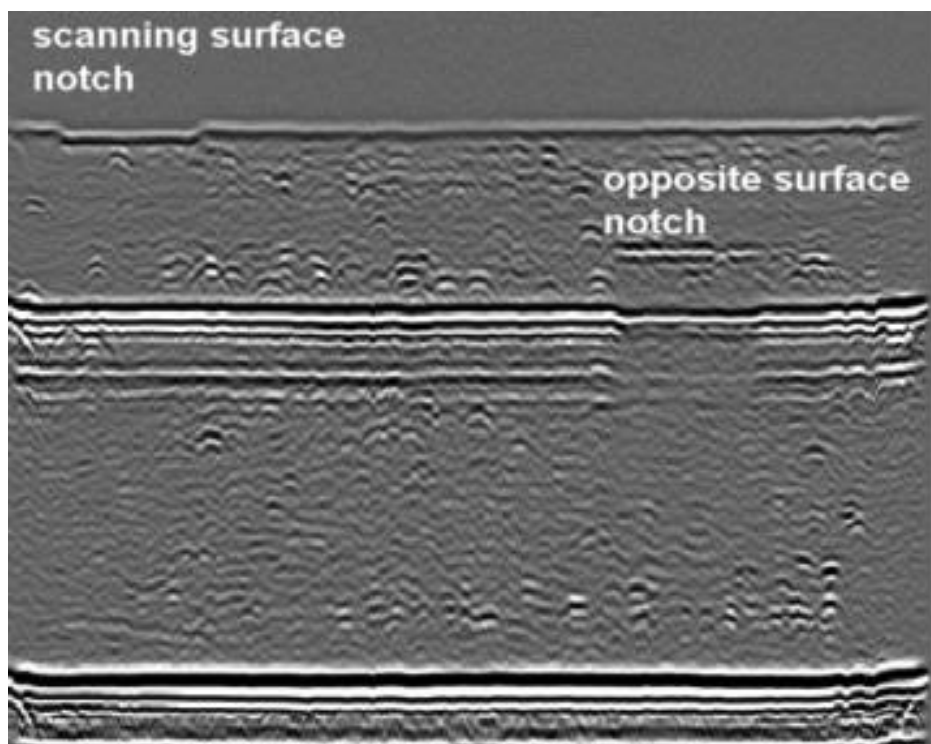


شکل ب-۸- تصویر تحت تأثیر تغییرات ضخامت لایه ماده واسط

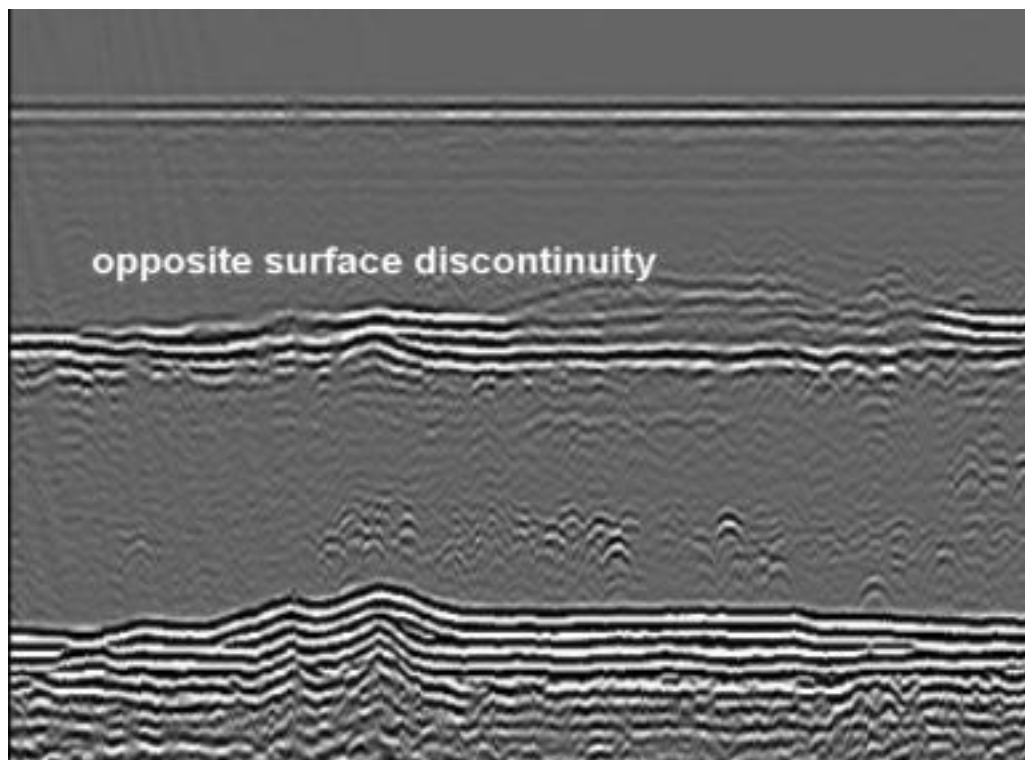
(می توان آن را با نرم افزار مستقیم کرد)

ب-۲ تصاویر TOFD نوعی از ناپیوستگی های اتصال جوش ذوبی

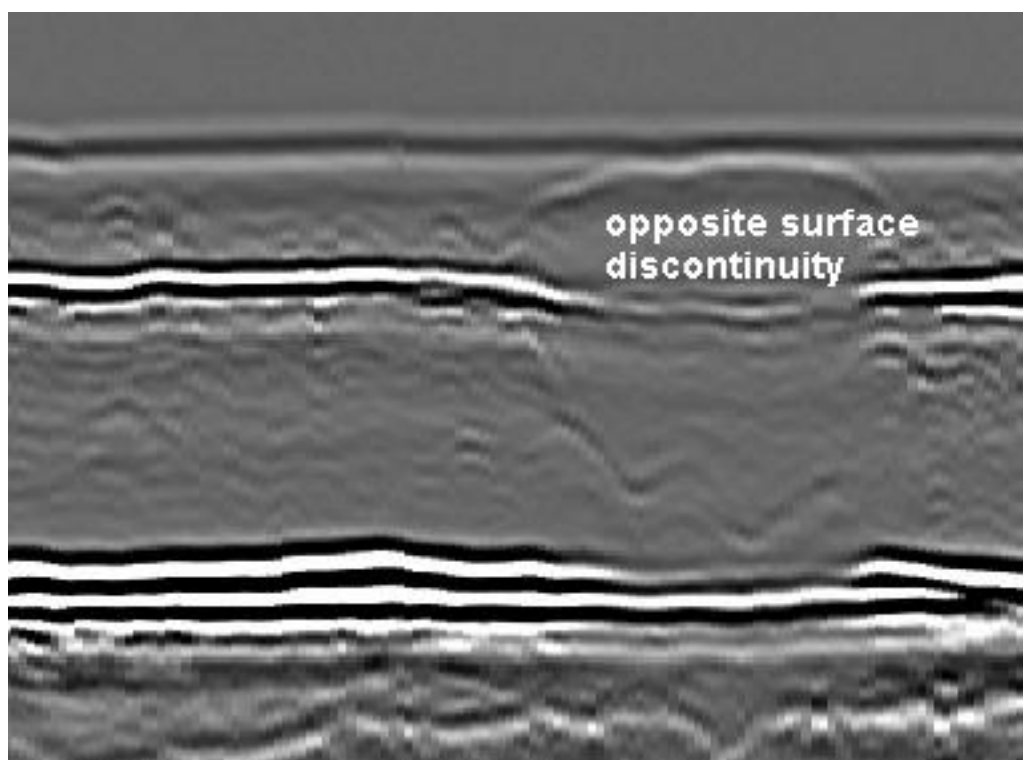
به شکل های ب-۹ تا ب-۱۴ رجوع کنید.



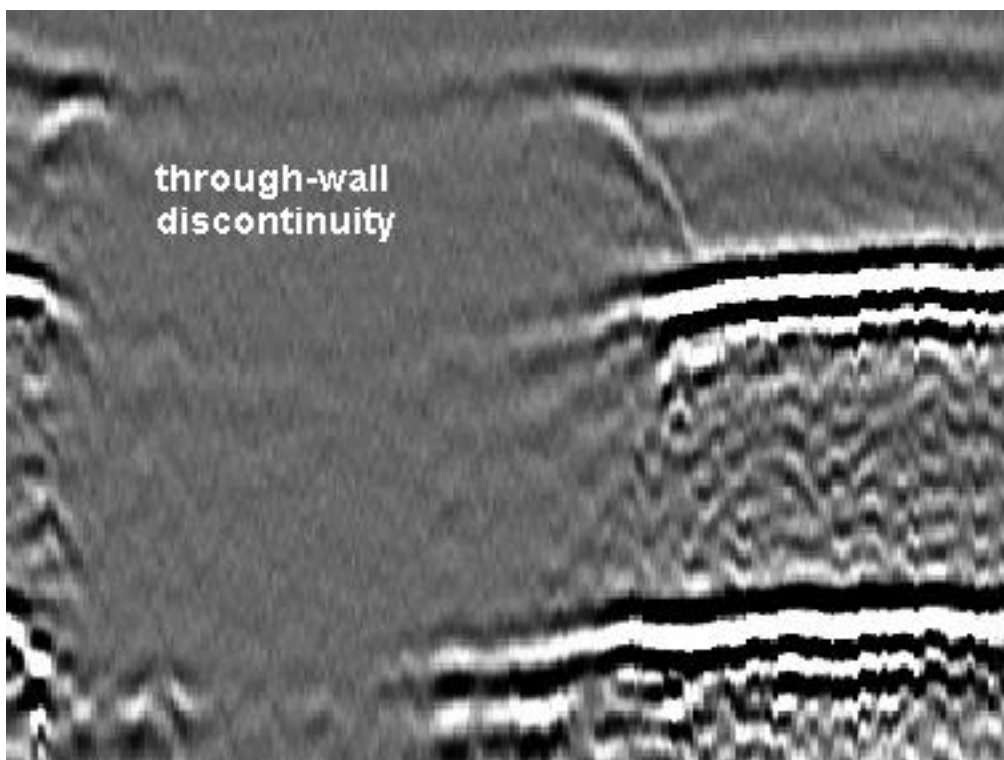
شکل ب-۹- اثرهای TOFD از روبش شکاف سطحی (اغتشاش موج جانبی) و شکاف سطح مخالف (سیگنال پراش یافته مستقیم متناظر با اغتشاش کم سیگنال دیواره پشتی)



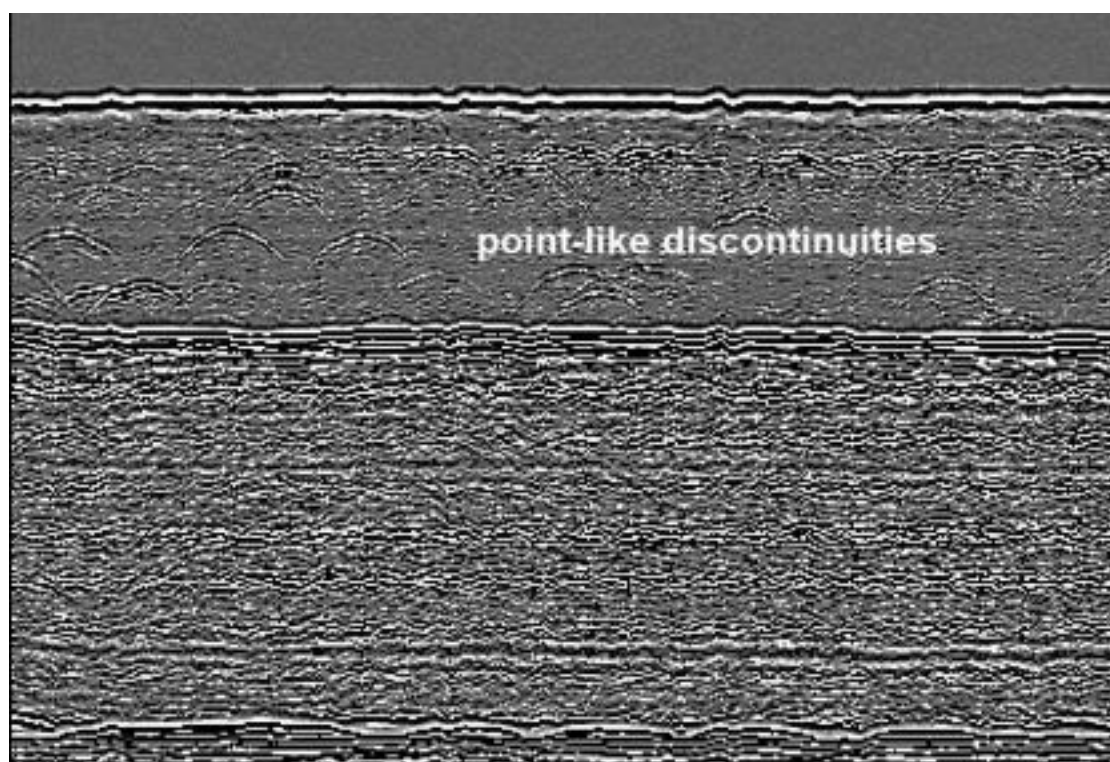
شکل ب-۱۰- اثر کشیده TOFD از ناپیوستگی که به سطح مقابل راه دارند



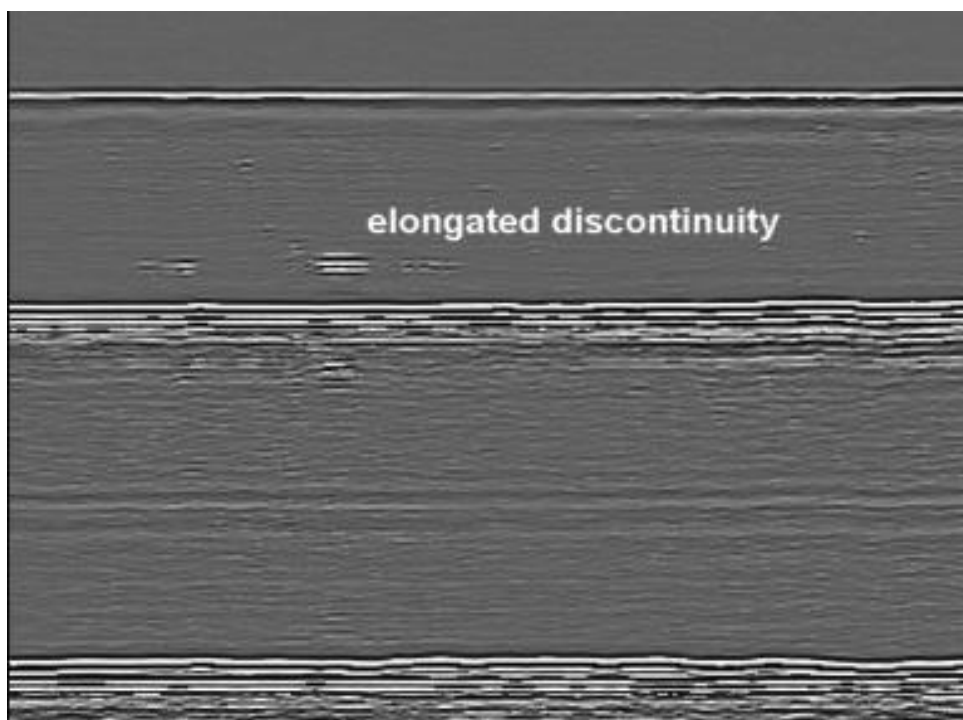
شکل ب-۱۱- اثر کشیده TOFD از ناپیوستگی راه‌دار به سطح (تقریباً نزدیک دیواره)



شکل ب-۱۲- اثر TOFD از ترک سراسری دیواره (به افت سیگنال دیواره پشتی و موج جانبی و نیز الگوهای سیگنال پراش یافته متناظر در چپ و راست ناحیه توجه کنید)

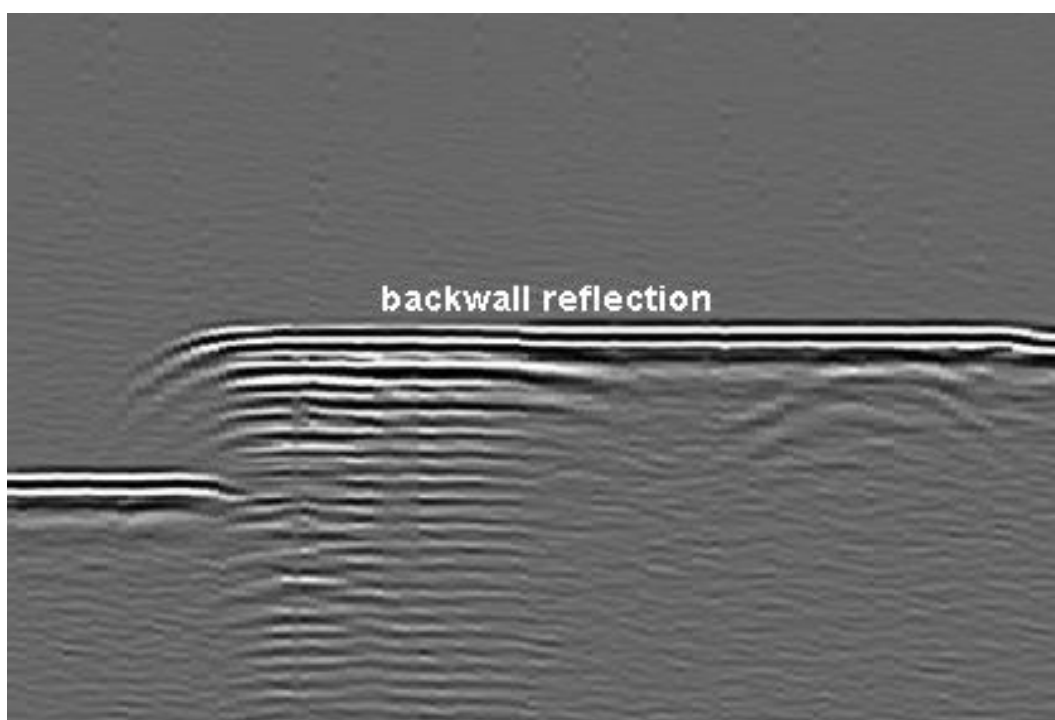


شکل ب-۱۳ اثرهای TOFD از ناپیوستگی های چندتایی شبیه نقطه

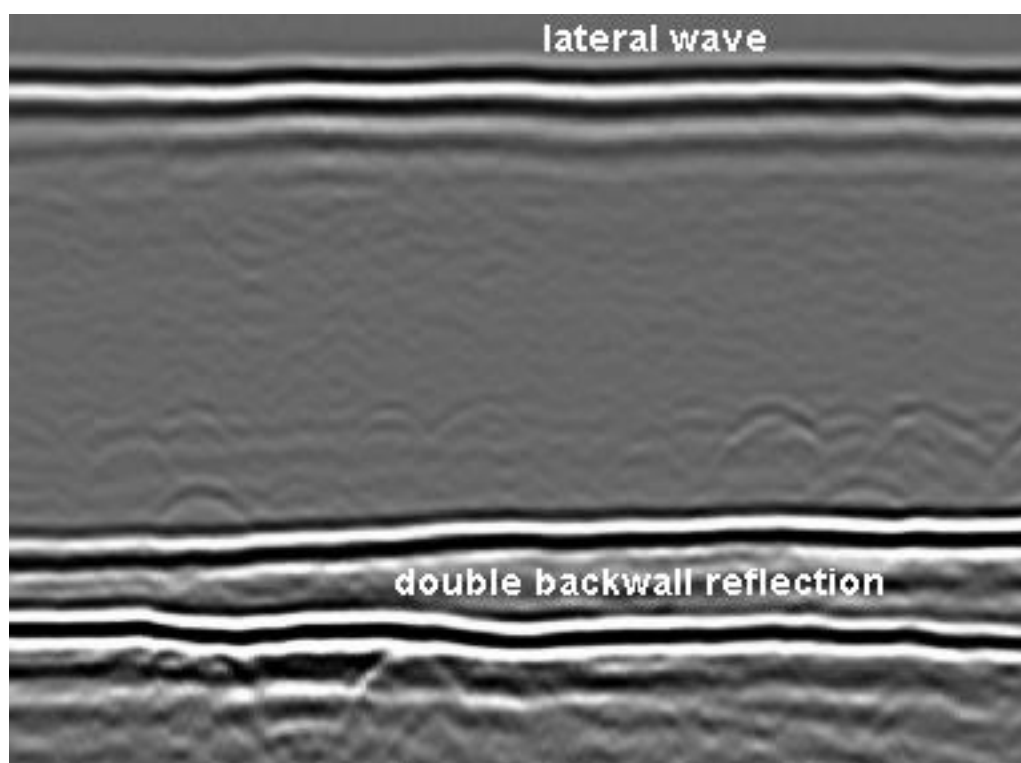


شکل ب-۱۴- اثر TOFD از ناپیوستگی کشیده شده با ارتفاع قابل اندازه‌گیری

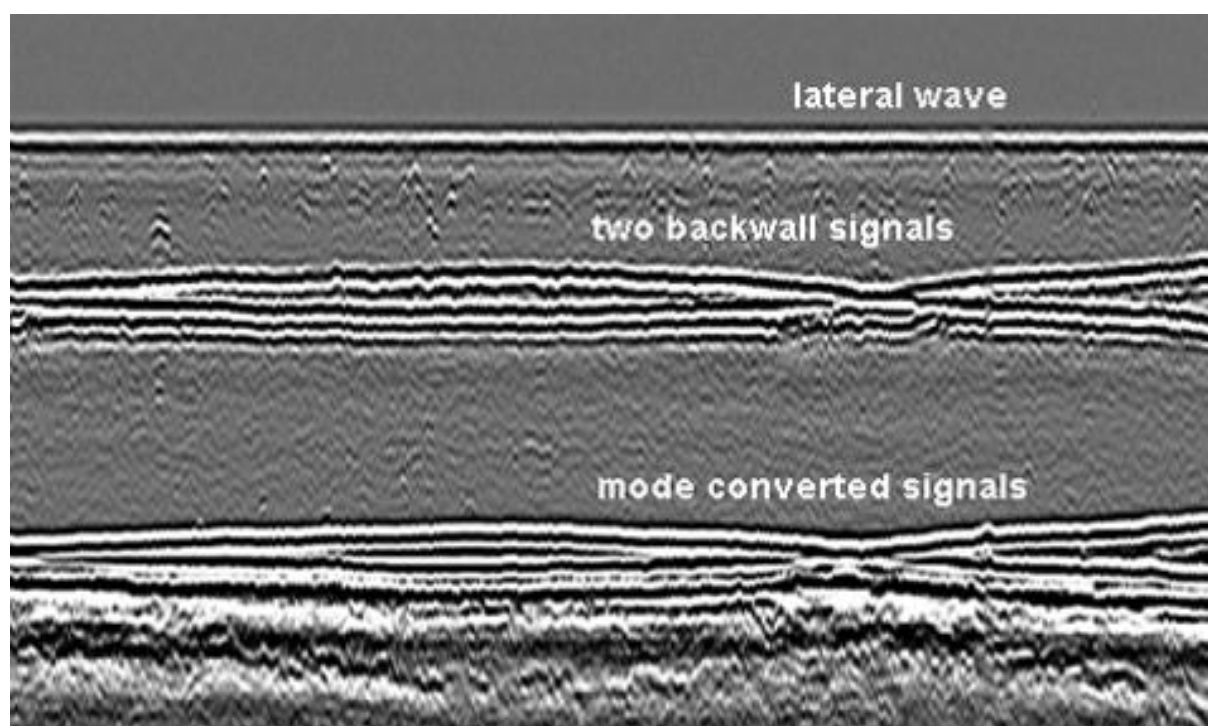
ب-۳ تصاویر TOFD از ویژگی‌های هندسی
به شکل‌های ب-۱۵ تا ب-۱۸ مراجعه کنید.



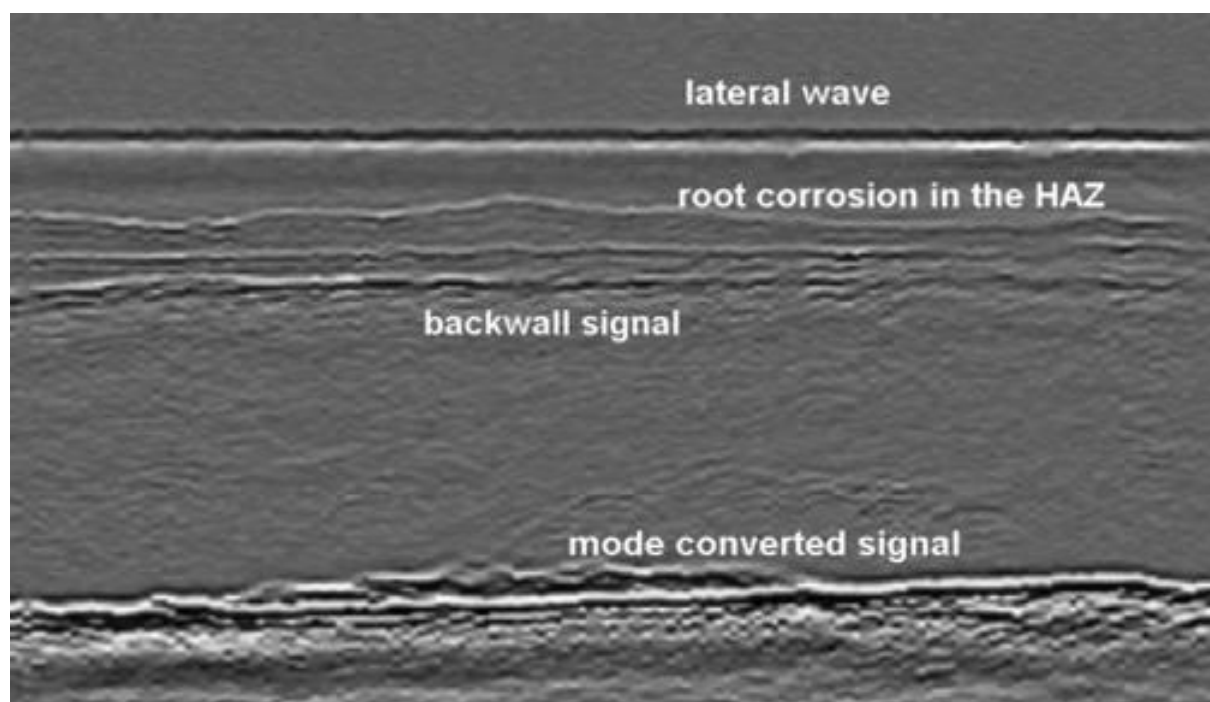
شکل ب-۱۵- اثر TOFD از تغییر در ضخامت دیواره



شکل ب-۱۶- بازتاب دیواره پشتی دوتایی ناشی از ضخامت‌های مختلف دیواره



شکل ب-۱۷- تصویر ناهمراستایی در لوله‌های جوشکاری شده محیطی



شکل ب- ۱۸- اثر TOFD از خوردگی در ناحیه ریشه در دو طرف جوش در ناحیه متأثر از حرارت

پیوست پ

(اطلاعاتی)

کتابنامه

- [1] EN 583-1, Non-destructive testing — Ultrasonic examination — Part 1: General principles
- [2] EN 15617, Non-destructive testing of welds — Time-of-flight diffraction technique (TOFD) — Acceptance levels