



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۷۴۶

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18746

1st. Edition

2014

مواد فلزی - روش آزمون
برای تعیین چقرمگی شکست
شبه استاتیکی جوش

**Metallic materials -Method of test
for the determination of quasistatic
fracture toughness of welds**

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 پیشنهادها 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^۲ (IEC) 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) 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) وسایل سنجش، تعیین عیار 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

« مواد فلزی - روش آزمون برای تعیین چقرمگی شکست شبه استاتیک جوش »

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)

سمت و/یا نمایندگی

رئیس انجمن جوشکاری و آزمون‌های غیر مخرب ایران

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

کارشناس پژوهشکده دانشهای بنیادی

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	خواجوی، سکینه
	(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)
استادیار پژوهشی پژوهشگاه نیرو	رعیت پور، معصومه
	(فوق لیسانس مهندسی متالورژی)
مسئول طرح و توسعه شرکت مهندسی تکادو وابسته به ذوب آهن	سلیمانی پور، زهره
	(دکترای مهندسی متالورژی)
بازرس جوش کارخانه لوله و ماشین سازی اهواز	سیاحی، کامران
	(لیسانس مهندسی متالورژی)
عضو هیئت علمی دانشگاه شهرکرد	شایق بروجنی، بهروز
	(دکترای مهندسی متالورژی)
عضو هیئت علمی دانشگاه شهرکرد	شریفی، حسن
	(دکترای مهندسی متالورژی)
عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران	عادلی، ماندانا
	(دکترای مهندسی متالورژی)
کارشناس شرکت رهروان سپهر اندیشه	علیرضایی، الهام
	(کارشناس ارشد متالورژی)
مدیرعامل شرکت گاما راد	فردوس، آرش
	(لیسانس مهندسی متالورژی)
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد	قادری، رضا
	(دکترای مهندسی مکانیک)

کاظم پور لیاسی، حسن

استادیار پژوهشگاه نیرو

(فوق لیسانس مهندسی متالورژی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ح	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ نمادها و واحدها
۵	۵ اصول
۶	۶ انتخاب طرح و جهت گیری آزمون و موقعیت شکاف
۶	۱-۶ طبقه بندی منطقه هدف برای شکاف زنی
۷	۲-۶ طرح آزمون
۷	۳-۶ جهت صفحه ترک و آزمون
۱۱	۷ متالوگرافی قبل از ماشینکاری
۱۱	۱-۷ ارزیابی ریز ساختار مقاطع مجموعه اجزای جوش
۱۲	۲-۷ الزامات تکمیلی برای آزمون های منطقه تحت تأثیر حرارت
۱۳	۸ ماشینکاری
۱۳	۱-۸ رواداری های ابعاد آزمون
۱۴	۲-۸ قرار دادن شکاف برای آزمون های شکاف دار شده در جهت ضخامت

۱۴	۳-۸	قرار دادن شکاف در آزمون‌های با شکاف سطحی
۱۴	۴-۸	ماشینکاری شکاف
۱۹	۹	آماده سازی آزمون
۱۹	۱-۹	ایجاد ترک اولیه خستگی
۱۹	۲-۹	شیاردار کردن سطح جانبی
۲۰	۱۰	دستگاه آزمون، الزامات و دستورالعمل آزمون
۲۰	۱۱	متالوگرافی پس از آزمون
۲۰	۱-۱۱	کلیات
۲۰	۲-۱۱	آزمون‌های شکافدار شده در جهت ضخامت
۲۱	۳-۱۱	آزمون‌های شکافدار سطحی
۲۱	۴-۱۱	ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی
۲۵	۱۲	تحلیل پس از آزمون
۲۵	۱-۱۲	انتخاب خواص کششی
۲۵	۲-۱۲	KIC
۲۵	۳-۱۲	δ و J
۲۶	۴-۱۲	الزامات کیفی
۲۹	۱۳	گزارش آزمون
۳۲		پیوست ب (اطلاعاتی) مثال‌هایی از متالوگرافی پیش از آزمون و پس از آن
۳۴		پیوست پ (الزامی) اصلاح تنش پسماند و روش فنی ایجاد ترک اولیه
۴۴		پیوست ث (اطلاعاتی) آزمون آزمونه با شکاف کم عمق

پیش‌گفتار

استاندارد "مواد فلزی- روش آزمون برای تعیین چقرمگی شکست شبه استاتیک جوش" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در یک‌هزار و صد و شانزدهمین کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلز شناسی مورخ ۹۳/۹/۴ 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.

استاندارد ملی شماره ایران ایزو ۱۵۶۵۳: سال ۱۳۹۰ باطل و این استاندارد جایگزین آن می‌شود.

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

ISO 15653: 2010, Metallic materials - Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds

مواد فلزی - روش آزمون برای تعیین چقرمگی شکست شبه استاتیک جوش

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چقرمگی شکست برحسب K (ضریب شدت تنش)، δ (بازشدگی دهانه ترک، CTOD)^۱ و J (معادل آزمایشگاهی انتگرال J) برای جوش‌ها در مواد فلزی است.

این استاندارد مکمل استاندارد ISO 12135 است که برای تمام جنبه‌های آزمون چقرمگی شکست فلز پایه و آنچه باید در ارتباط با این استاندارد استفاده شود، کاربرد دارد. این استاندارد روش‌های تعیین مقادیر نقطه‌ای چقرمگی شکست را مشخص می‌کند. توصیه می‌شود از آن به‌عنوان راهی برای به دست آوردن منحنی R معتبر (منحنی مقاومت به رشد ترک) در نظر گرفت. گرچه روش‌های آماده‌سازی آزمون در این استاندارد را می‌توان به‌صورت مفید در زمان تعیین منحنی‌های R برای جوش به کاربرد. در این روش‌ها از آزمون‌هایی با ترک اولیه خستگی که پس از جوشکاری، در یک سطح خاص هدف در جوش شکاف‌دار شده‌اند، استفاده می‌شود. این روش‌ها بیانگر نحوه ارزشیابی مناسب بودن یک جوش در جابجایی شکاف در ناحیه هدف که در بین فلز جوش یا در ناحیه تحت تأثیر حرارت (HAZ)^۲ یا هر محل مناسب دیگری، قرار دارد، هستند و سپس در صورت مقتضی، برای ارزیابی اثربخشی ترک خستگی در نمونه‌برداری این نواحی می‌باشد.

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 ۱۲۶۹۴: سال ۱۳۸۸ مواد فلزی - شناسایی محورهای آزمون در ارتباط با بافت محصول

2-2 ISO 12135, Metallic materials — Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness

1-Crack tip opening displacement

2-Heat affected zone

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف داده شده در استاندارد ISO 12135 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می رود.

۱-۳

Stretch zone width

عرض ناحیه کشیده شده
SZW

افزایش طول ترک ناشی از کند شوندگی نوک ترک و به عبارت دقیق تر پیش از شروع گسترش ناپایدار ترک، ناپیوستگی ناگهانی (به بند ۳-۳ رجوع شود) یا پیش از رشد پایدار و آرام ترک که در همان صفحه ترک اولیه خستگی رخ می دهد.

۲-۳

Target area

ناحیه هدف

موقعیت مورد نظر نوک ترک خستگی در فلز جوش یا HAZ

یادآوری - به بندهای ۷-۳ و ۹-۳ رجوع شود.

۳-۳

Pop-

ناپیوستگی ناگهانی
in

یک ناپیوستگی ناگهانی در نمودار نیرو برحسب جابجایی، که به صورت افزایش ناگهانی در جابجایی و عموماً، کاهش ناگهانی در نیرو نمایان می شود و متعاقب آن جابجایی و نیرو تا بالای مقادیرشان در نقطه ناپیوستگی ناگهانی افزایش می یابد.

۴-۳

Local compression

فشار موضعی

فشار کنترل شده ای که در جهت ضخامت بر قسمت بدون شکاف آزمون قبل از ایجاد ترک خستگی با استفاده از یک صفحه فولادی سخت شده اعمال می شود.

یادآوری - به پیوست پ رجوع شود.

۵-۳

Welding

جوشکاری

عملیاتی که در آن دو قطعه یا بیش از دو قطعه به وسیله حرارت، اصطکاک، فشار یا همه موارد، به طوری باهم وصل می شوند که سبب ایجاد دوام در ماهیت قطعه می شود.

یادآوری - ممکن است فلز پرکننده که دمای ذوب آن با فلز پایه یکسان باشد، استفاده شده یا نشده باشد.

۶-۳

Weld

جوش

همبستگی و یکی شدن قطعات فلزی از طریق جوشکاری است.

۷-۳

Weld metal

فلز جوش

تمام فلز ذوب شده در طی ایجاد جوش و باقی مانده در جوش است.

۸-۳

Base metal

فلز پایه

Parent metal

فلز مادر

فلزهایی که قرار است با جوش به هم متصل شوند.

۹-۳

Heat-affected

منطقه تحت تأثیر حرارت

zone

HAZ

منطقه ای در فلز مادر که به طور متالورژیکی تحت تأثیر حرارت جوشکاری قرار گرفته است.

۱۰-۳

Fusion

خط هم جوشی (ذوب)

line

FL

محل اتصال بین فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت در فلز مادر است.

۱۱-۳

Weld positional

موقعیت نسبت به جوش

"WP"

موقعیت هدف برای نوک ترک خستگی که با در نظر گرفتن خط مرجع تعریف می شود.

یادآوری - برای مثال ها به شکل الف-۱ رجوع شود.

۱۲-۳

Specific microstructure

**ریزساختار خاص
"SM"**

ریزساختار هدف برای نوک ترک خستگی است.

یادآوری - برای مثال‌ها به شکل الف-۲ رجوع شود.

۱۳-۳

Specimen blank

آزمونه خام

آزمونه آماده‌شده از فلز جوش همراه با فلز مادر قبل از شکاف‌زنی است.

۱۴-۳

Postweld heat treatment

عملیات حرارتی پس از جوش

عملیات حرارتی اعمالی بعد از جوشکاری به منظور کاهش تنش‌های پسماند یا اصلاح خواص جوش است.

۴ نمادها و یکاها

در این استاندارد، علاوه بر نمادها و یکاهای استاندارد ISO12135، نمادها و یکاهای جدول ۱ نیز به کار می‌رود.

جدول ۱ - نمادها و یکاها

نماد	یکا	شناسه
d_1, d_2	mm	طول مشخصه‌های ریزساختاری ناشی از ناپیوستگی ناگهانی.
h	mm	عرض مؤثر جوش که با کوتاه‌ترین فاصله بین نوک ترک خستگی و خط ذوب جوش در ۷۵٪ میانی ضخامت تعریف می‌شود (به شکل‌های ۱۳ و ۱۴ رجوع شود).
$HV10$		سختی ویکرز با استفاده از نیروی ۱۰ kg.
N		عمود بر جهت جوشکاری.
P		موازی با جهت جوشکاری.
Q		راستای ضخامت جوش.
$R_{p0,2b}$	MPa	استحکام تسلیم قراردادی ^{۱)} ۰/۲٪ فلز پایه در دمای آزمون شکست.
$R_{p0,2w}$	MPa	استحکام تسلیم قراردادی ۰/۲٪ فلز جوش در دمای آزمون شکست.
R_{mb}	MPa	استحکام کششی فلز پایه در دمای آزمون شکست.
R_{mw}	MPa	استحکام کششی فلز جوش در دمای آزمون شکست.
s_1	mm	فاصله بین نوک ترک و ناحیه هدف که در صفحه ترک اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ۱۲ رجوع شود).
s_2	mm	فاصله بین نوک ترک و ناحیه هدف که عمود بر صفحه ترک اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ۱۲ رجوع شود).
V, V_1, V_2	mm	جابجایی دهانه ترک.
X		راستای موازی با سیلان اصلی دانه در فلز پایه.
Y		راستای متقاطع با جهت سیلان اصلی دانه و متقاطع با ضخامت در فلز پایه.
Z		در راستای ضخامت فلز پایه.
Δa_{pop}	mm	بیشینه طول گسترش ترک ترد (بعد از SZW) (به بند ۳-۱ رجوع شود) همراه با ناپیوستگی ناگهانی است.
λ	mm	طول ریزساختار خاص که در متالوگرافی پیش از آزمون و بعد از آن اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ب-۲ رجوع شود).
1) Offset		

۵ اصول

این استاندارد دستورالعمل تعیین چقرمگی شکست آزمونه‌های شکاف‌دار و ترک‌دار خستگی که از جوش برداشته شده را، تعیین می‌کند و مربوط به موقعیت‌هایی است که در آن نوک ترک:

الف- در موقعیتی نسبت به ویژگی موردنظر از جوش قرار گرفته و با عنوان "موقعیت نسبت به جوش" شناخته می‌شود ("WP")؛

ب- اختصاصاً در موقعیت ریزساختار موردنظر قرار گرفته و با عنوان "ریزساختار خاص جوش" ("SM") ارجاع داده می‌شود.

برای تطبیق اینکه ناحیه هدف جوش و ریزساختار یا هردو در نوک ترک وجود دارد و کمیت آن برای آزمون کافی است، آزمایش متالوگرافی انجام می‌شود.

هندسه آزمونه و جهت شکاف^۱ انتخاب می‌شود و سپس با اعمال نیرویی متناوب و کنترل‌شده به آزمونه، یک ترک خستگی در ادامه نوک شکاف ایجاد شده و در دل جوش یا ریزساختار توسعه می‌یابد. هدف از آزمون، تعیین چقرمگی شکست جوش در غیاب تنش‌های قابل توجه جوشکاری است. برای حصول این هدف و ایجاد ترک خستگی راست و مستقیم، ممکن است ایجاد اصلاحاتی در نحوه ایجاد ترک خستگی اولیه موردنیاز باشد. این اصلاحات معمولاً در زمان آزمون قطعات حاصل از جوشکاری و عملیات حرارتی نشده^۲ یا جوش‌های به مقدار جزئی تنش‌زدایی شده ضروری است.

آزمون چقرمگی شکست مطابق با استاندارد ISO 12135 انجام و ارزیابی می‌شود، اما به لحاظ تحلیل پس از آزمون و تائید صلاحیت (بند ۱۲-۴)، الزامات تکمیلی برای روش آزمون وجود دارد. (به بندهای ۱-۱۲ و ۲-۱۲ و ۳-۱۲ رجوع شود). اغلب متالوگرافی پس از آزمون برای ایجاد اطمینان از اینکه نوک ترک در ناحیه هدف جوش و ریزساختار یا هردو قرار دارد و برای تعیین اهمیت ناپیوستگی ناگهانی لازم است. توالی عملیات در شکل ۱ خلاصه شده است.

۶ انتخاب طرح و جهت‌گیری آزمونه و موقعیت شکاف

۶-۱ طبقه‌بندی منطقه هدف برای شکاف‌زنی

(۱) آزمونه‌ای که برای انجام آزمون "موقعیت نسبت به جوش"^۳ ("WP") انتخاب شده و قرار است ناحیه مشخصی از جوش را نسبت به یک موقعیت مرجع نظیر خط مرکزی فلز جوش مورد آزمون قرار دهد، از این پس با "WP" در طول متن نشان داده می‌شوند.

1-Notch

2-As-weld

3-Weld Positional testing

۲) آزمونه‌ای که برای انجام آزمون "ریزساختار خاص" ("SM") انتخاب شده و قرار است نمونه‌ای باشد برای یک ریزساختار مشخص درحالی که کل یا بخشی از طول جلوی ترک در ۷۵ درصد میانی ضخامت آزمونه قرار دارد، از این پس با "SM" در طول متن نشان داده می‌شوند.

یادآوری- برخی مثال‌ها از موقعیت‌های شکاف انواع "WP" و "SM" در پیوست الف داده شده است.

ممکن است مقادیر چقرمگی شکست جوش‌های با دو پاس غیر تراز و یا جوش‌های با چند پاس موازی که آزمونه‌های "موقعیت نسبت به جوش" با شکاف روی خط مرکزی جوش آن‌ها از نواحی غالباً ریزدانه شده است، همراه‌کننده و بیش‌ازحد بالا باشد. توصیه می‌شود که برای این جوش‌ها، از محل‌های شکاف از نوع "ریزساختار خاص" نشان داده شده در شکل‌های الف-۲، iv و الف-۲، v بهره گرفته شود.

۶-۲ طرح آزمونه

طرح آزمونه باید به شکل فشرده یا شکل خمیده با یک شکاف لبه‌ای، به شکلی که در استاندارد ISO12135 تعریف شده، باشد و ممکن است به صورت طرف شکافدار (شیار در سطح جانبی) یا ساده باشد.

آزمونه‌های خمشی شکافدار شده در جهت ضخامت ورق (به آزمونه‌های فلز پایه XY و YX و آزمونه‌های فلز جوش NP و PN در شکل‌های ۲، ۳ و ۴، رجوع شود) به عنوان آزمونه‌های شکافدار شده درون ضخامت شناخته می‌شوند، درحالی که آزمونه‌های شکافدار شده هم سطح صفحه ورق (به آزمونه‌های فلز پایه XZ و YZ و آزمونه فلز جوش NQ و PQ در شکل‌های ۲، ۳، ۴، رجوع شود) به عنوان آزمونه‌های شکافدار شده صفحه‌ای شناخته می‌شوند.

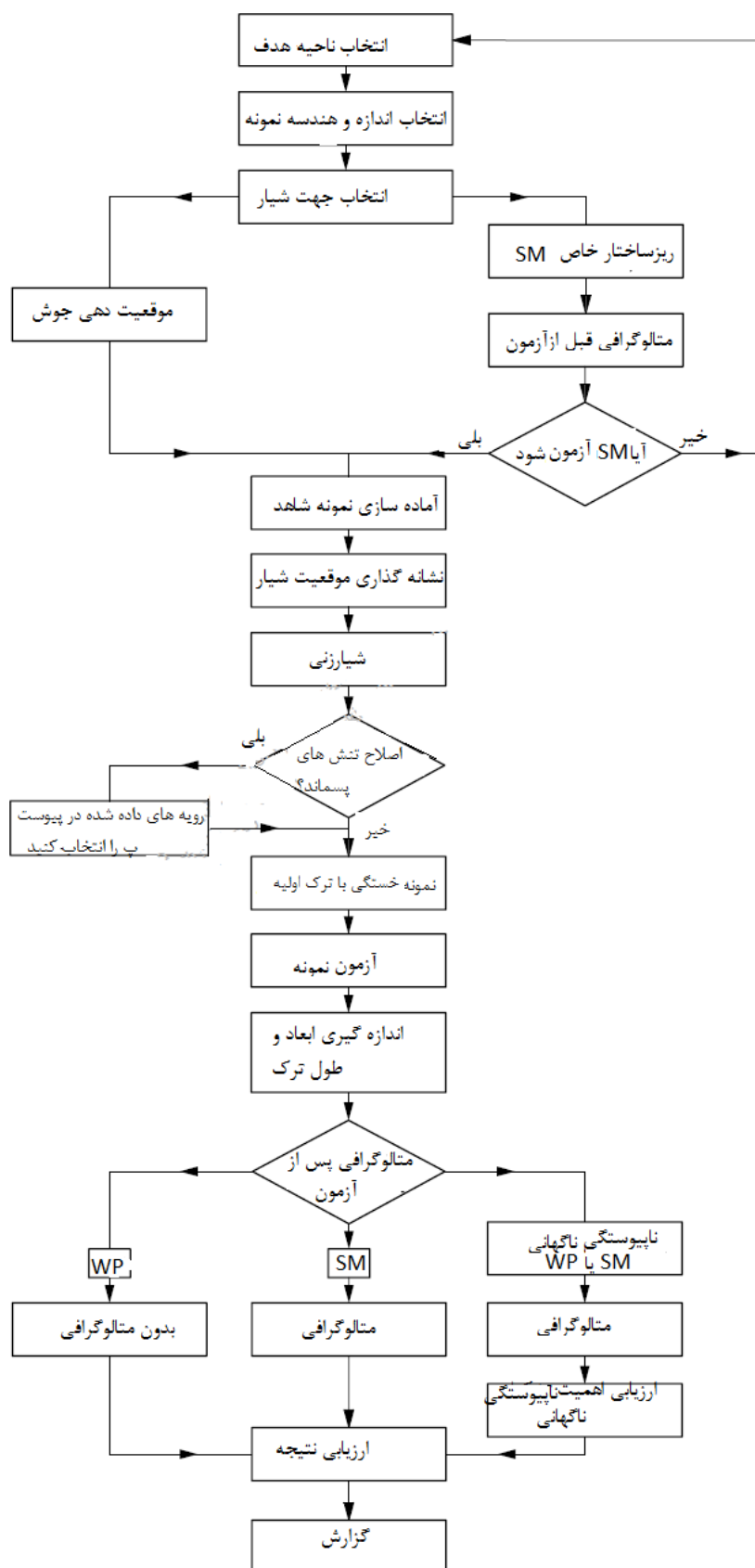
یادآوری- ابعاد آزمونه جوش نسبت به آزمونه‌های فلز پایه دارای رواداری‌هایی با سخت‌گیری کم‌تری است. (به بند ۸-۱ رجوع شود).

آزمونه‌ها باید دارای ابعاد B یا W (به شکل ۵ رجوع شود) برابر با ضخامت کامل فلز پایه مجاور با جوش تحت آزمون باشد. (بدون سرریز جوش).

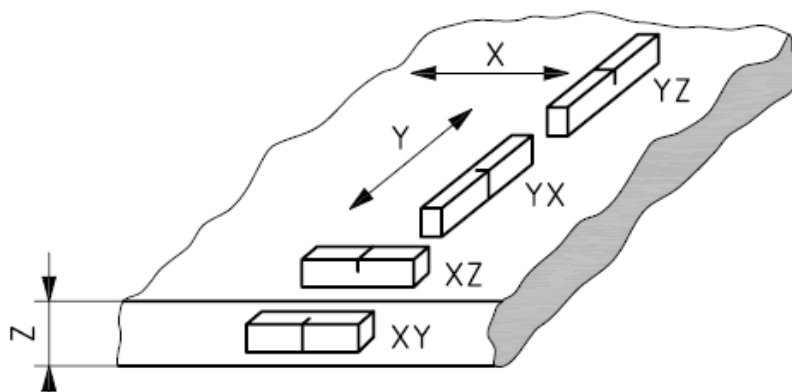
آزمون آزمونه‌های با اندازه کوچک‌تر (به عنوان مثال B یا W در جهت‌های Q برای جوش و Z برای پایه در شکل‌های ۲ و ۳ و ۴، از ضخامت کامل کوچک‌تر باشد) و آزمونه‌های شیاردار شده در سطح جانبی یا هردو مجاز است، اما باید به نحو درستی در گزارش آزمون، قابل شناسایی باشد. ممکن است نتایج آزمونه‌های با اندازه کوچک‌تر و آزمونه‌های شیاردار جانبی یا هردو از آزمونه‌های با ضخامت کامل متفاوت باشد که ناشی از اثرات اندازه و تفاوت در ریزساختار نواحی آزمون شده یا هردو، می‌باشد.

۶-۳ جهت صفحه ترک و آزمونه

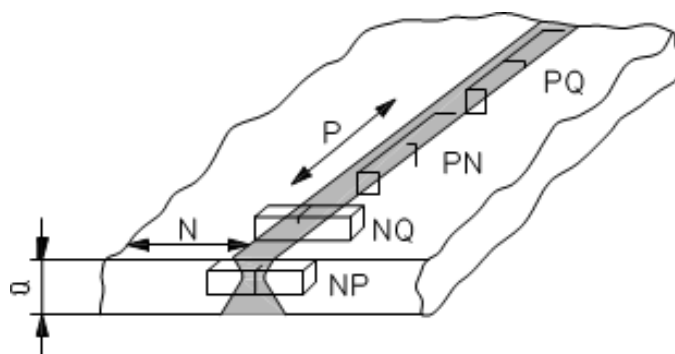
جهت صفحه ترک و آزمونه باید نسبت به جهت‌های کار شده روی فلز پایه و جوش، با استفاده از سامانه نشانه‌گذاری توضیح داده شده در شکل‌های ۲، ۳ و ۴، تعریف شود.



شکل ۱- نمودار پیشرفت آزمون



الف - فلز مادر



ب - فلز جوش

راهنما:

1 = جهت نورد

N = عمود بر جهت جوش

P = موازی با جهت جوش

Q = جهت ضخامت جوش

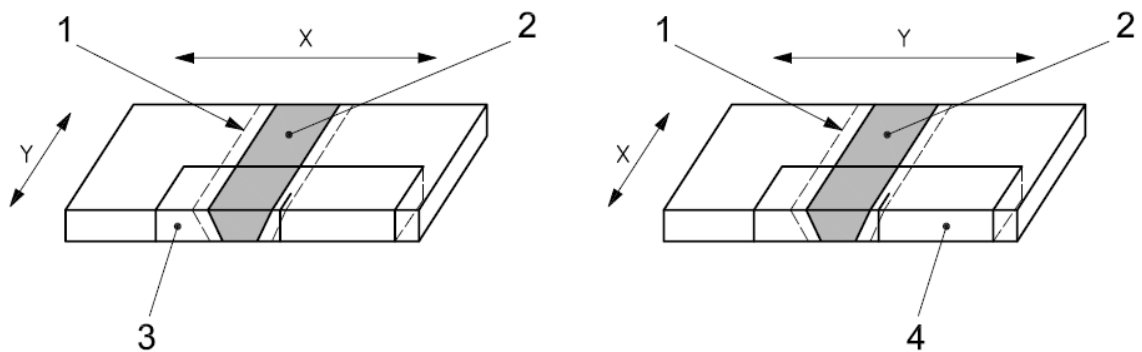
اولین حرف در شناسه: جهت عمود بر صفحه ترک

حرف دوم در شناسه: جهت مورد انتظار برای رشد ترک

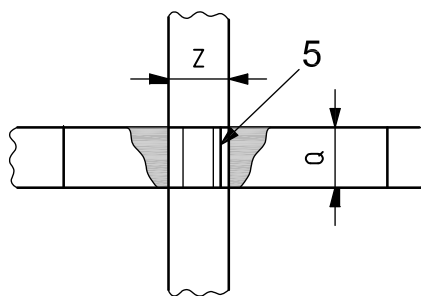
برای شناسایی X, Y و Z به استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۶۹۴ رجوع شود.

جهت‌های NP و PN باید بیانگر آزمون شکاف‌دار شده در جهت ضخامت باشد درحالی‌که جهت‌های NQ و PQ باید بیانگر آزمون شکاف‌دار شده سطحی باشد.

شکل ۲- کد برای تعیین جهت صفحه ترک برای آزمون‌های چقرمگی شکست فلز پایه و فلز جوش



الف - جوش لب به لب نوعی



ب - اتصال صلیبی

راهنما:

HAZ 1

جوش 2

3 جهت آزمون جوش NP/XY

4 جهت آزمون جوش NP/YX

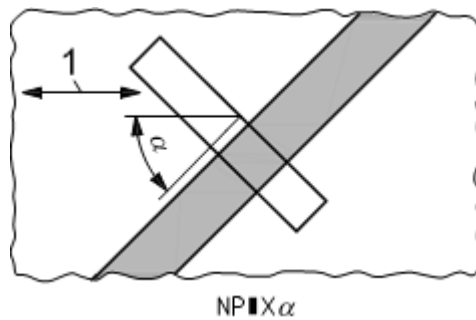
5 ترک هم راستای جوش NP/ZY یا NP/ZX

X = جهت نورد

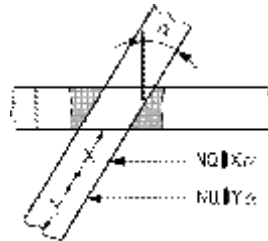
Q = جهت ضخامت جوش

(برای آزمون های HAZ که در آن ممکن است جهت نورد فلز پایه بر مقاومت به رشد ترک اثر بگذارد، ممکن است جهت های فلز پایه و جوش یکی شود تا هر دو جهت جوش و جهت نورد فلز پایه، به طوری که در این شکل و شکل ۴ نشان داده شده، حاصل شود.)

شکل ۳- کد تعیین جهت صفحه ترک برای آزمون های چقرمگی شکست برای آزمون HAZ جوش لب به لب نوعی و اتصال صلیبی



الف - جوش لب به لب نوعی



ب - اتصال صلیبی زاویه دار

راهنما:

1 جهت نورد

برای آزمون‌های HAZ که در آن ممکن است جهت نورد فلز پایه بر مقاومت به رشد ترک اثر بگذارد، ممکن است جهت‌های فلز پایه و جوش یکی شود تا هر دو جهت جوش و جهت نورد فلز پایه، به‌طوری‌که در این شکل و شکل ۴ نشان داده‌شده، حاصل شود.

شکل ۴- کد برای تعیین جهت صفحه ترک برای آزمون‌های چقرمگی شکست برای آزمون HAZ در زاویه α با جهت نورد فلز پایه برای جوش لب به لب نوعی و اتصال صلیبی زاویه دار

۷ متالوگرافی قبل از ماشین‌کاری

۷-۱ ارزیابی ریزساختاری از مقطع مجموعه اجزای جوش

هنگامی که ناحیه هدف شکاف به شکل SM تعریف می‌شود، باید مقاطع جداگانه‌ای از مجموعه اجزای جوش و یا دو مقطع دو سرجوش به‌نحوی که صفحه این مقاطع، عمود بر جهت جوشکاری باشد آماده شود. این مقاطع عرضی جوش باید محدوده طولی جوشی که قرار است آزمون شود را تعیین کنند تا اطمینان حاصل شود که ریزساختار هدف، در محل نوک ترک موردنظر حاضر خواهد بود و مقدار کافی از این ریزساختار برای آزمون وجود دارد.

مقاطع مجموعه اجزای جوش باید صیقل شده، حکاکی شده و با بزرگنمایی مطلوب بررسی شوند تا ناحیه ریزساختار موردنظر پیش از ساخت، معین و نمایان شود. زمانی که مقاطع جداگانه‌ای از مجموعه اجزای جوش آماده می‌شود، موقعیت مکانی این مقاطع در طول جوش بایستی ثبت شود.

مقاطع مجموعه اجزای جوش بررسی می‌شود تا تأیید شود که:

الف- در یک آزمون با شکاف هم‌راستای ضخامت، ترک ایجادشده احتمالاً در ناحیه هدف و در ۷۵ درصد میانی ضخامت قرار می‌گیرد.

ب- در یک آزمون شکاف زده‌شده در سطح، نوک ترک ایجادشده تا ناحیه هدف بیش از ۰/۵ میلی‌متر فاصله ندارد.

اگر ریزساختار مطلوب وجود نداشته باشد، یا مقدار آن برای آزمون کافی نباشد یا رواداری موقعیت نوک ترک را نمی‌توان به دست آورد، در این صورت جوش باید به‌عنوان مورد نامناسب برای آزمون معیار "SM" رد شود. در این مورد، می‌توان یک ناحیه هدف جدید را انتخاب کرد یا یک جوش جدید آماده نمود. در صورت استفاده از آزمون خمشی، اگر ریزساختار خاص باکیفیت مناسب برای آزمون در دسترس باشد، اما رواداری‌های موقعیت نوک ترک را نتوان حاصل نمود، می‌توان از دستورالعمل‌های آزمون آزمون با شکاف کم‌عمق که در پیوست ۳ توضیح داده‌شده، بنا بر توافق دو طرف قرارداد استفاده کرد.

به دلیل وجود محدودیت کم‌تر در نوک ترک مربوط به شکاف کم‌عمق، برای یک ریزساختار یکسان نوک ترک ممکن است مقدار چقرمگی شکست تعیین‌شده از یک آزمون با شکاف کم‌عمق ($0.10 \leq a_0/w \leq 0.45$) (a_0 = طول ترک اولیه و W = ضخامت آزمون)، از مقدار حاصل از آزمون شکافدار استاندارد ($0.45 \leq a_0/w \leq 0.7$) بیش‌تر باشد. مقدار این اختلاف را در زمان استفاده از آزمون شکافدار کم‌عمق باید در نظر گرفت.

۷-۲ الزامات تکمیلی برای آزمون‌های منطقه تحت تأثیر حرارت

وقتی ناحیه هدف در HAZ، "SM" است، بازرسی‌های تکمیلی روی ریزساختار علاوه بر موارد ذکرشده در بند ۷-۱ باید بر مقطعی از مجموعه اجزای جوش، صیقل و حکاکی شده انجام شود تا مشخص شود که آیا ریزساختار در محدوده ۷۵٪ میانی جوش قرار دارد یا نه و آیا مقدار آن برای آزمون کافی است یا خیر.

ممکن است موقعیت‌ها و طول‌های اندازه‌گیری شده ریزساختار هدف به‌صورت انتخابی به شکل نقشه (یک مثال در پیوست ب نشان داده‌شده است) نمایش داده شود. اگر چنین نقشه‌ای رسم شود، باید شامل ضخامت کامل مقطع مجموعه اجزای جوش بوده و موقعیت‌های ریزساختار هدف را نشان دهد. درصد ریزساختار هدف باید روی ۷۵٪ میانی ضخامت آزمون محاسبه شود.

در صورتی که آزمون‌های شکافدار شده در سطح انتخاب شود، جهت اطمینان از اینکه ریزساختار هدف در محدوده ($0.45 \leq a_0/w \leq 0.7$) قرار دارد باید از مقطعی از مجموعه اجزای جوش استفاده شود.

در صورت عدم انطباق نوک ترک خستگی با معیار پذیرش "SM"، باید ملاحظات برای تجدیدنظر روی ناحیه هدف، آماده‌سازی یک جوش جدید یا استفاده از آزمون با شکاف کم‌عمق به‌گونه‌ای که در بند ۷-۱ توضیح داده‌شده، در نظر گرفته شود.

۸ ماشین‌کاری

۸-۱ رواداری‌های ابعاد آزمون

آزمون‌های خام باید به‌گونه‌ای از محصول ماشین‌کاری شوند که بتوان ناحیه هدف شناسایی شده برای آزمون را به‌صورت موفق شکاف‌دار کرد. آزمون‌های خام باید قبل از شکاف‌دار شدن تا حصول رواداری‌های ابعادی تعریف‌شده در اینجا ماشین‌کاری شوند.

آزمون‌های فشاری باید الزامات ابعادی داده‌شده در استاندارد ISO12135 را برآورده سازد. آزمون‌های خمشی استاندارد باید مطابق با شکل ۵ باشند. آزمون‌های خمشی با شکاف کم‌عمق (به بند ۷-۱ و ۷-۲ و پیوست ۳ رجوع شود) نیز باید مطابق با شکل ۵ باشند، به‌جز اینکه طول ترک مربوطه باید در گستره $(0.10 \leq a_0/w \leq 0.45)$ باشد.

یادآوری - رواداری‌های ابعادی شکل ۵ برای آزمون استاندارد خمشی با یک شکاف در لبه عمداً با سخت‌گیری کمتری نسبت به موارد داده‌شده در استاندارد ISO12135 است تا تغییر محصول جوش اولیه کمینه شود.

ناهم‌راستایی جوش، پیچیدگی جوش و انحنای آزمون خام (برای آزمون‌های خام برداشته‌شده از مقاطع لوله‌ای) باید مطابق با الزامات شکل ۶ باشد. الزامات مستقیم بودن $W/5\%$ بر طرفین آزمون خام آزمون برای انحنای لوله بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ به کار می‌رود (که برحسب نسبت شعاع لوله به ضخامت جوش بیان می‌شود). اتصالات جوشکاری شده که الزامات نسبت ناهم‌راستایی / مستقیم بودن را برآورده نمی‌کنند باید قبل از شکاف‌دار کردن با خمش موضعی صاف شوند. نقاط اعمال نیروی مستقیم کردن باید در فاصله کمینه B از ناحیه مدنظر برای شکاف‌دار کردن قرار داشته باشند.

ضروری است که ناحیه‌ای که قرار است شکاف‌دار شود، تحت اثر عملیات صاف کردن تغییر شکل نداده باشد. یک روش برای مستقیم کردن آزمون‌های خام از مقاطع انحنادار یا پیچیده شده در شکل ۷ نشان و توضیح داده‌شده است.

در صورتی که مستقیم کردن آزمون خام برداشته‌شده از لوله امکان‌پذیر نباشد، یک بلوک مستطیلی از ماده آزمون را می‌توان از لوله برید و با جوشکاری قطعات کششی مناسب به یکدیگر متصل کرد. طول کلی بلوک آزمون و قطعات کششی باید به نحوی باشد که آزمون‌ای با طول کافی برای برآورده سازی الزامات انحنای شکل ۶، حاصل شود. اتصالات جوشی باید به‌قدری از هم فاصله داشته باشند که ریزساختار هدف را تحت تأثیر قرار ندهند.

یادآوری ۲ - ثابت‌شده است که فرآیندهای جوشکاری با پرتو الکترونی و لیزر در ایجاد اتصالات باریک با پیچیدگی کم بین بلوک آزمون و قطعات کششی مفید است.

در صورتی که آزمون ضخم با مقطع کامل مدنظر است، ماشین کاری باید بسیار کم انجام شود تا الزامات رواداری و الزامات فشار موضعی (به بند پ-۲ رجوع شود) برآورده شود. پرشدگی اضافی جوش باید هم سطح محصول اولیه ماشین کاری شود. وقتی که ضخامت فلز در هر طرف جوش به اندازه ۱۰٪ یا بیشتر اختلاف داشته باشد، آزمون خام باید تا رسیدن ضخامت به اندازه قسمت نازک تر ماشین کاری شود. در چنین مواردی، ابعاد آزمون خام، آزمون نهایی و اولیه باید گزارش شود.

۸-۲ نحوه یافتن محل شکاف زنی برای آزمون های با شکاف هم راستای ضخامت

نحوه یافتن محل شکاف زنی در جهت ضخامت برای جهت صفحه ترک NP در شکل ۸ نشان داده شده است. هم سطحی که قرار است شکاف دار شود (سمت A) و هم سطح مقابل آن (سمت B) صیقل داده شده و حکاکی می شوند تا ناحیه جوش و ناحیه متأثر از حرارت آشکار شوند. یک خط مرجع روی هر کدام از سطوح آماده شده با زاویه عمود نسبت به محور آزمون در بازه $5^{\circ} \pm$ در امتداد ریز ساختار هدف حک می شود. این خطوط حکاکی شده را به سطوح مجاور و عمود بر سطوح اصلی تعمیم داده و سپس یک خط جدید با فاصله مساوی از دو خط تعمیم یافته و در میان آنها، رسم می گردد. از این خط برای تعیین صفحه شکافی که قرار است روی سمت A (صفحه A) ماشین کاری شود، استفاده می شود.

یادآوری- این دستورالعمل برای اطمینان از اینکه در زمان عمود نبودن محور آزمون بر جهت جوش و $a_0/w=0.5$ نوک ترک نهایی در ریز ساختار هدف (به خصوص اگر در HAZ قرار دارد) قرار دارد طراحی شده است. اگر $a_0/w \neq 0.5$ باشد، خط مورد نیاز برای تعیین سطح مدنظر برای ماشین کاری شکاف روی سطوح جانبی ایجاد می شود تا از قرار داشتن نوک ترک نهایی در ریز ساختار هدف اطمینان حاصل شود.

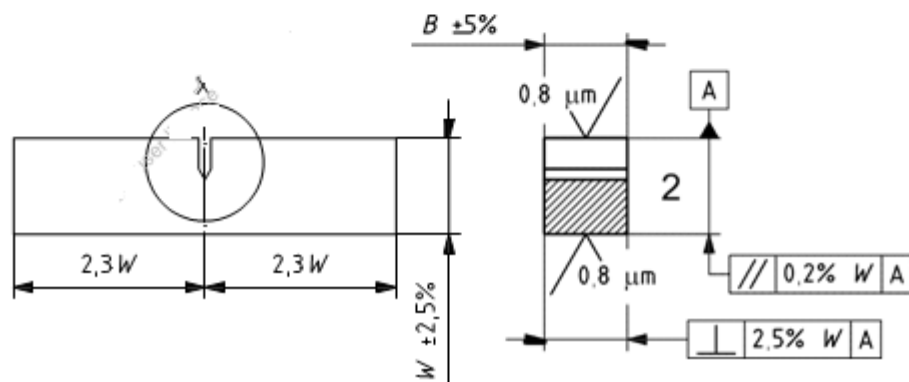
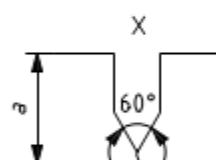
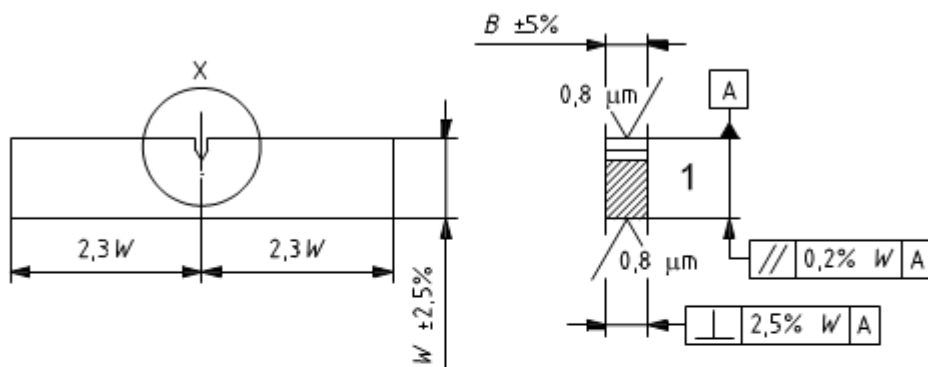
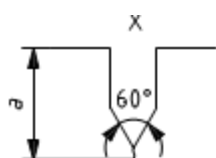
۸-۳ یافتن محل شکاف برای آزمون های شکاف زده شده در سطح

دستورالعمل یافتن محل شکاف زنی سطحی برای ترک های با جهت صفحه NP در شکل ۹ نمایش داده شده است. سطوح جانبی (سطوحی که عمود بر سطحی هستند که قرار است روی آن شکاف زده شود) صیقل داده شده و حکاکی می شوند تا فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت آشکار شوند. خطوط مرجع از ناحیه ریز ساختار انتخابی و هدف به سمت بالا تا سطحی که قرار است شکاف بخورد حک می شوند. خطوط متعامد بر این خطوط حک شده و ادامه یافته از آنها نیز (و همچنین با زاویه $90^{\circ} \pm 5$ درجه نسبت به محور آزمون) روی سطحی که قرار است شکاف زده شود حک می شود. خط جدیدی با فاصله مساوی از دو خط قبلی روی سطح محل شکاف رسم می شود. از این خط برای تعیین صفحه شکاف مدنظر استفاده می شود.

یادآوری- این دستورالعمل برای اطمینان از اینکه در زمان عمود نبودن محور آزمون بر جهت جوش، نوک ترک نهایی، در وسط ضخامت، در ریز ساختار هدف قرار دارد، طراحی شده است.

۴-۸ ماشین کاری شکاف

ماشین کاری شکاف باید از راهنمای ارائه شده در استاندارد ISO12135 تبعیت کند.



راهنما:

1 آزمون با مقطع مستطیل

عرض = W

ضخامت = $0.5W = B$

طول ترک = a و $0.45W$ تا $0.7W$

دهانه بارگذاری = $4W$

عرض شکاف = $0.065W \text{ max}$

مستقیم بودن آزمون، به شکل ۶ رجوع شود.

2 آزمون با مقطع مربع

عرض = W

ضخامت = $W = B$

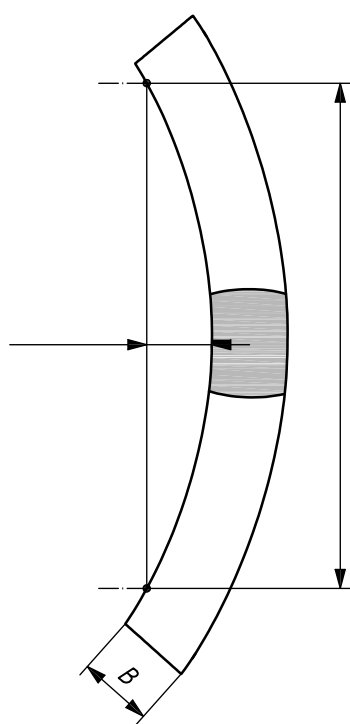
طول ترک = a و $0.45W$ - $0.7W$

دهانه بارگذاری = $4W$

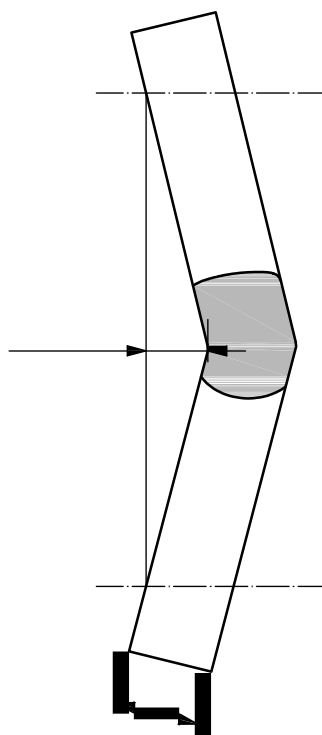
عرض شکاف = $0.065W \text{ max}$

مستقیم بودن آزمون، به شکل ۶ رجوع شود.

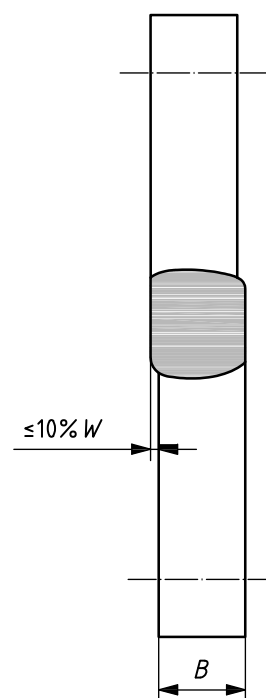
شکل ۵- ابعاد و رواداری های متناسب برای آزمون های خمشی



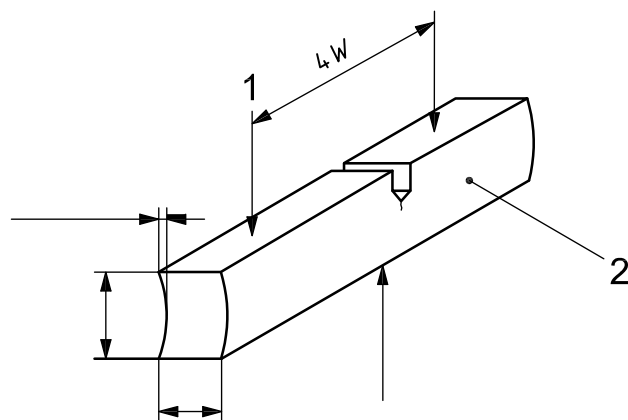
پ- انحنای



ب- ناهمراستایی و پیچیدگی زاویه‌ای یا هردو



الف- ناهمراستایی



ت- انحنای

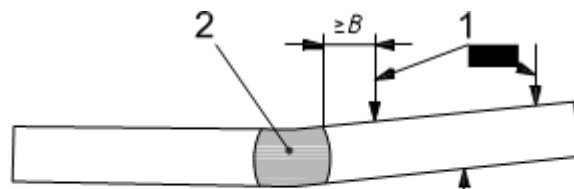
راهنما:

1 نقاط بارگذاری

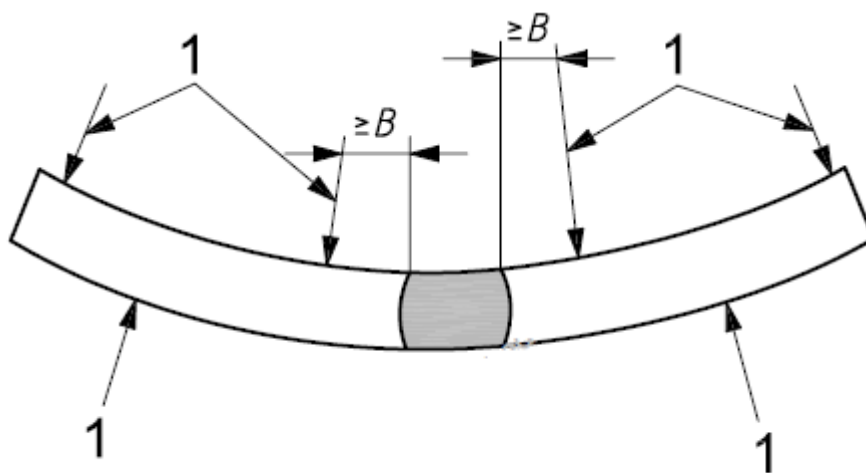
2 سطح انحنای ناشی از شعاع تیوب

دهانه = $4W$

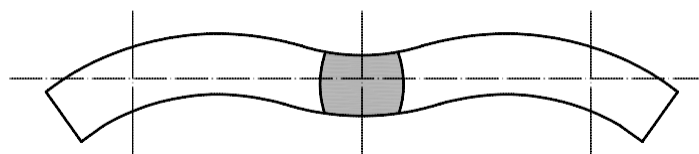
شکل ۶- رواداری‌های ناهمراستایی ، پیچیدگی و انحنای در آزمون‌های خمشی با یک شکاف در لبه



الف- برای کاهش پیچیدگی زاویه‌ای



ب- برای کاهش انحنای آزمونه خام از لوله (هر بازوی آزمونه به صورت مجزا مستقیم می شود)



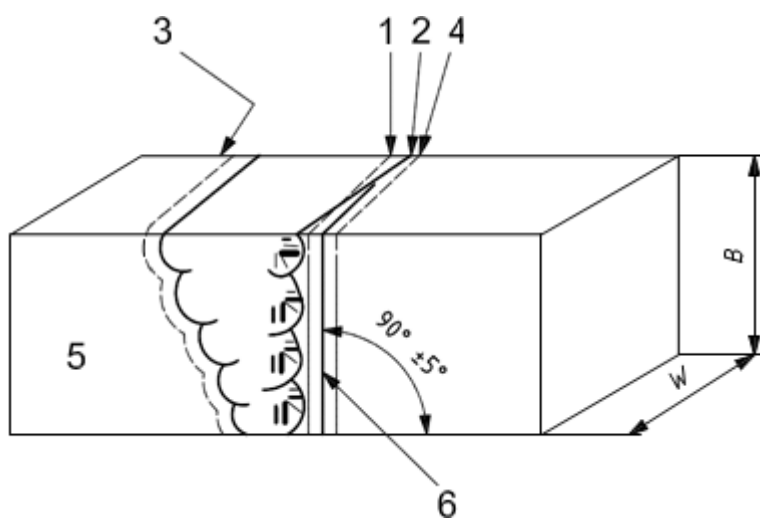
پ- نتیجه شکل آزمونه خام "بال مرغی"

راهنما:

1 نیروی اعمالی برای مستقیم کردن

2 جوش

شکل ۷- روش مستقیم کردن آزمونه‌های خمشی



راهنما:

1 خط مرجع حک شده A

2 خط ذوب

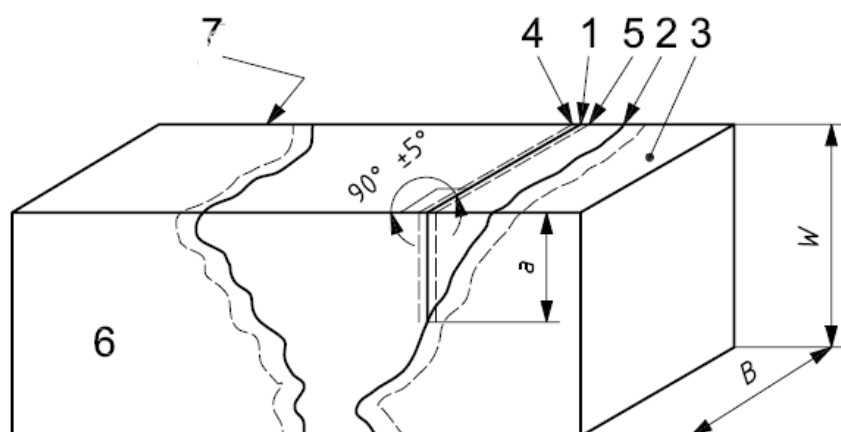
3 طرف B (طرف بدون شکاف)

4 خط مرجع حک شده B

5 A (سمت شکاف دار)

6 شکاف

شکل ۸ - نحوه یافتن محل شکاف با استفاده از حک خطوط مرجع در آزمون شکاف دار شده در جهت ضخامت (جهت صفحه ترک NP)



راهنما:

1 شکاف

2 خط ذوب

3 طرف شکاف دار

4 خط مرجع حک شده B

5 خط مرجع حک شده A

6 طرف A

7 طرف B

شکل ۹ - نحوه قرار دادن شکاف در یک آزمون شکاف دار در سطح (جهت صفحه ترک NP)

۹ آماده کردن آزمون

۹-۱ ایجاد ترک اولیه خستگی

ترک اولیه خستگی باید مطابق با استاندارد ISO12135 ایجاد شود. برای آزمون‌هایی که نوک ترک خستگی موردنظر در فلز جوش قرار گرفته است، محاسبه نیروی بیشینه برای ایجاد ترک اولیه خستگی، F_f و بیشینه ضریب شدت تنش خستگی، K_f ، باید بر اساس خواص کششی فلز جوش باشد، به عنوان مثال ناحیه‌ای که در آن ترک خستگی باید قرار بگیرد. در تمام موارد دیگر، خواص ماده مجاور با کم‌ترین خواص کششی باید استفاده شود. هرگونه عملیات حرارتی تنش‌زدایی یا عملیات پس از جوش باید قبل از ایجاد ترک اولیه خستگی کامل شود. در صورت امکان، استفاده از کوتاه‌ترین طول ترک خستگی مجاز شده در استاندارد ISO12135 به منظور کمینه کردن کماتش جلوی ترک خستگی و انحراف ترک از ناحیه هدف مشخص شده، پیشنهاد شده است.

ممکن است در برآورده کردن الزامات مستقیم کردن جلوی ترک خستگی که در بند ۱۲-۴ مشخص شده، به‌ویژه آزمون‌های آماده شده به صورت جوشکاری شده یا آزمون‌های با جوش تنش‌زدایی شده جزئی، مشکلاتی پیش آید. در چنین مواردی، دستورالعمل‌های داده شده در پیوست پ باید در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- بزرگی و توزیع تنش‌های پسماند در آزمون‌های تنش‌زدایی شده جزئی و آزمون‌های به صورت جوشکاری شده، بستگی به ماده، دستورالعمل جوشکاری، درجه قیدوبند اتصال (درجه آزادی) و آماده‌سازی آزمون پس از جوش دارد.

یادآوری ۲- ممکن است (یا ممکن نیست) تنش‌های پسماند در گسترش غیریکنواخت ترک خستگی مؤثر باشند و روی تعیین چقرمگی شکست اثر بگذارند.

اگر آزمون از یک جوش تنش‌زدایی شده آماده شده باشد، ممکن است دستورالعمل‌های پیوست پ غیرضروری باشد.

یادآوری ۳- ممکن است جلوی یک ترک خستگی مستقیم، تنش‌های پسماند یکنواخت یا کم را در مجاورت نوک ترک نشان دهد.

اگر ترک اولیه خستگی الزامات مستقیم بودن بند ۱۲-۴ را برآورده نسازد، اصلاحات نحوه ایجاد ترک اولیه باید مطابق با پیوست پ انجام شود. وقتی چنین اصلاحاتی انجام می‌شود، نتیجه چقرمگی شکست باید به صورتی که در بند ۱۲-۴-۴ توضیح داده شده، شناسایی و مشخص شود.

۹-۲ شکافدار کردن سطح جانبی^۱

شکافدار کردن سطح جانبی باید مطابق با الزامات استاندارد ISO12135 انجام شود.

۱۰ دستگاه آزمون، الزامات و دستورالعمل آزمون

دستگاه، الزامات و دستورالعمل‌های آزمون K_{IC} ، δ و J باید به صورتی که در استاندارد ISO12135 توضیح داده شده، باشد.

۱۱ متالوگرافی پس از آزمون

۱۱-۱ کلیات

متالوگرافی پس از آزمون باید بر آزمون‌های شناسه‌گذاری شده برای آزمون "SM" انجام شود تا قرارگیری نوک ترک در ریزساختار هدف تصدیق شود. مقطعی حاوی سطح شکست باید از آزمون بریده شود. وقتی ناحیه هدف، HAZ باشد، مقطع باید از سطح جانبی آزمون دارای فلز جوش برداشته شود. این مقطع باید برای آنالیزهای پس از آزمون که در بندهای ۱۱-۲ و ۱۱-۳ توضیح داده شده استفاده شود تا ریزساختار در نوک ترک خستگی تصدیق شود.

مقطع زنی در صورتی که ناحیه هدف "WP" باشد مورد نیاز نیست. در مورد شکست ترد، تصدیق اینکه نوک ترک واقعاً در نمونه ریزساختار خاص بوده، تضمین‌کننده اینکه شروع شکست رخ‌برگی (کلیواژ)^۲ در آن ریزساختار رخ داده، نیست. ممکن است مقطع زنی بیشتر و متالوگرافی برای شناسایی ریزساختار در شروع شکست ضروری باشد (در صورت تقاضا توسط مشتری). دستورالعمل‌های مقطع زنی پیشنهادی همان دستورالعمل‌های توضیح داده شده برای ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی است و در پیوست ت داده شده است.

۱۱-۲ آزمون‌های شکافدار شده در جهت ضخامت

۱۱-۲-۱ مقطع زنی

آزمون‌های شکافدار در مقطع باید در صفحه‌ای عمود بر صفحه شکست، پشت نوک ترک خستگی در محدوده ۲ میلی‌متری از بیشینه طول ترک اولیه خستگی مقطع زده شوند و باید حاوی ترک خستگی در ۷۵٪ میانی ضخامت آزمون (B یا B_N برای آزمون‌های شیاردار شده در سطح جانبی) باشد. (به شکل ۱۰،

1-Side grooving

1-Cleavage fracture

مقطع A (رجوع شود). سطح برش باید بررسی متالوگرافی شود تا از نمونه‌برداری ترک خستگی از نمونه ریزساختار خاص اطمینان حاصل شود.

۱۱-۲-۲ ارزیابی

سطح متالوگرافی آماده‌شده باید برای اطمینان از قرار داشتن نوک ترک نمونه‌برداری شده "SM" در محدوده ۷۵٪ میانی ضخامت آزمونه (B یا B_N) بررسی شود. یک نقشه ریزساختار که موقعیت و طول ریزساختار خاص را در ۷۵٪ میانی ضخامت آزمونه (B یا B_N) ثبت می‌کند، باید تهیه شود. مثالی از آزمونه شکاف‌زنی شده در HAZ در پیوست ب ارائه شده است.

۱۱-۳ آزمونه‌های شکاف‌دار شده در سطح

۱۱-۳-۱ مقطع زنی

اگر شکست آزمونه به‌صورت کلیواژ باشد، سطح شکست باید با بزرگنمایی مناسب برای شناسایی مکان جوانه‌زنی بررسی شود و حداقل یک مقطع در نقطه‌ای تا حد امکان نزدیک به آن برداشته شود. حتی اگر رشد ترک پایدار رخ داده است، مقطع باید در بیشینه طول ترک اولیه خستگی برداشته شود. صفحه مقطع باید بر صفحه ترک یا شکاف عمود باشد (به شکل ۱۱ رجوع شود). شناسایی مکان شروع شکست ممکن است به‌صورت چشمی انجام شود، اما ممکن است به یک میکروسکوپ نوری یا میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیاز باشد.

۱۱-۳-۲ ارزیابی

سطوح متالوگرافی آماده‌شده باید برای اطمینان از اینکه نمونه‌برداری نوک ترک خستگی منتخب از "SM" است، بررسی شوند. اگر "SM" در جلوی نوک ترک خستگی قرار گیرد، فاصله جدایش کمینه، S_1 ، باید با دقت $\pm 0.05\text{mm}$ اندازه‌گیری شود (برای جهت صفحه ترک NQ، به شکل ۱۲-الف رجوع شود). اگر ریزساختار خاص در یک‌طرف نوک ترک خستگی، قرار گیرد، فاصله جدایش، S_2 ، باید با دقت $\pm 0.05\text{mm}$ اندازه‌گیری شود. (به شکل ۱۲-ب رجوع شود).

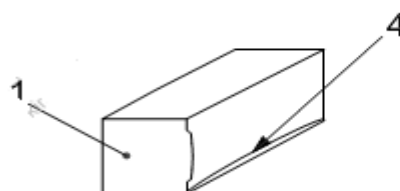
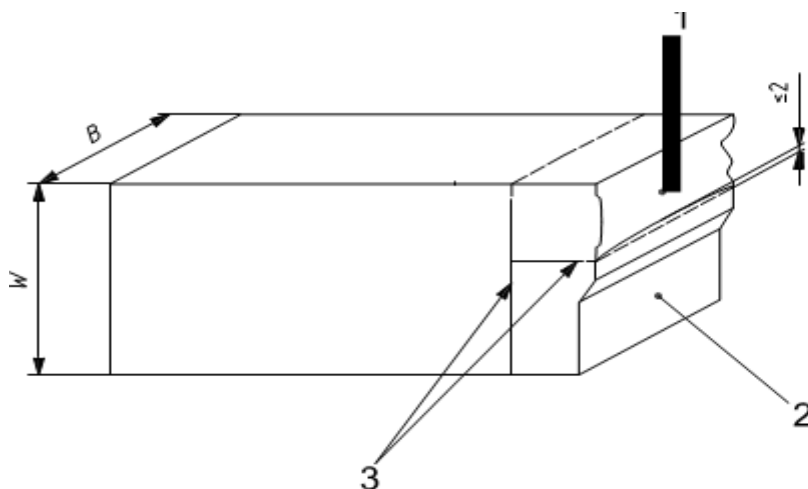
یادآوری - ممکن است برای ایجاد این فواصل مقطع‌زنی هر دو سطح شکست ضروری باشد.

۱۱-۴ ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی

ناپیوستگی ناگهانی که سبب افت نیرو و افزایش جابجایی کمتر از ۱٪ شود، باید نادیده گرفته شود. سایر نقاط ناپیوستگی ناگهانی باید مهم در نظر گرفته شوند، مگر این که توسط روش‌های شکست‌نگاری و متالوگرافی توضیح داده شده در پیوست ت، نشان داده شود که این نقاط مهم نیستند.

یادآوری - معیار ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی که در استاندارد ISO 12135 توضیح داده شده، برای آزمون مواد هموزن است و ممکن است برای جوش‌ها نامناسب باشد. تجربه نشان داده که برای آزمون جوش، اندازه ناپیوستگی ناگهانی معمولاً به طول

ماده ترد موجود در نوک ترک بستگی دارد. تغییرات کوچک در موقعیت نوک ترک را می‌توان با اندازه ناپیوستگی ناگهانی تغییر داد.



راهنما:

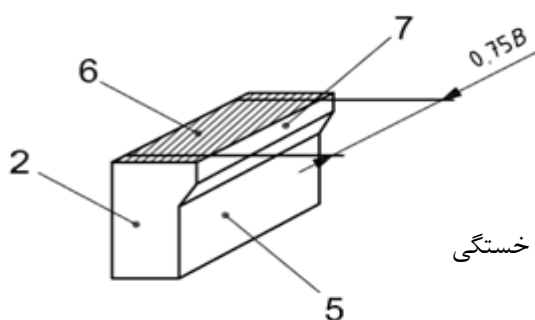
۱ مقطع B

۲ مقطع A

۳ برش‌ها

۴ نوک ترک اولیه خستگی

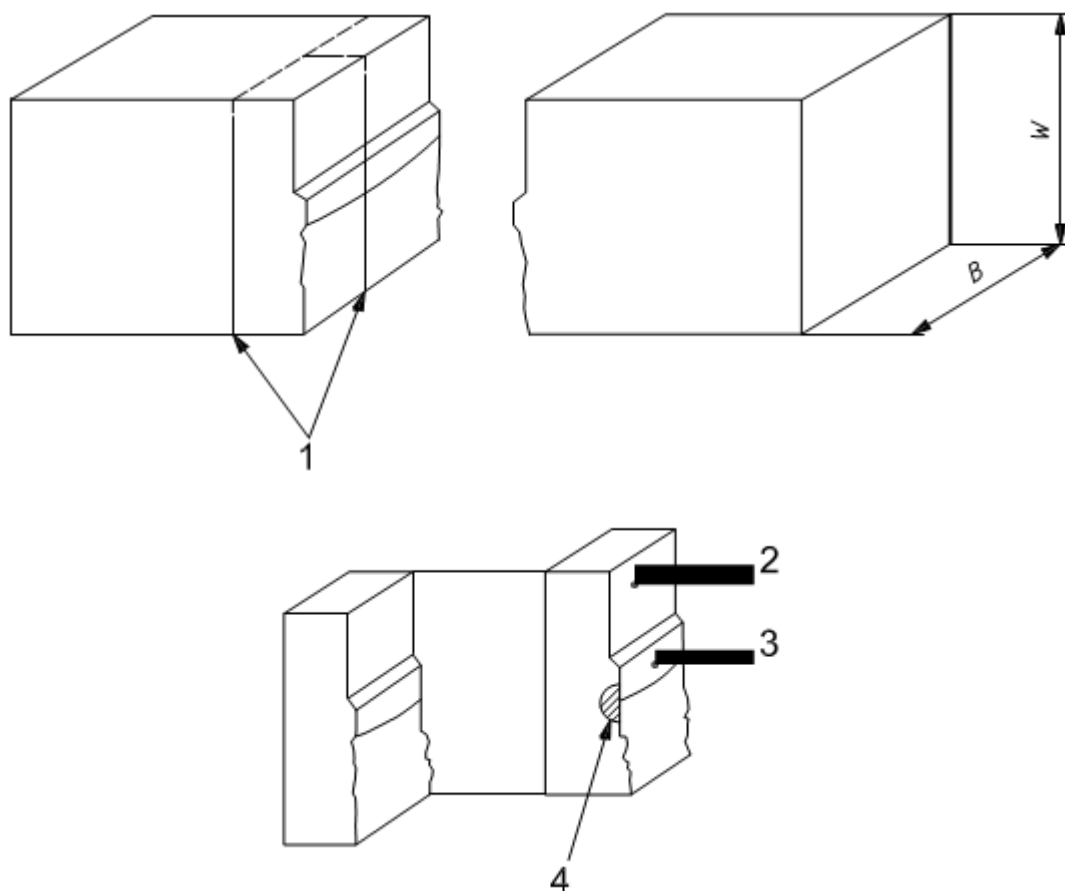
۵ شکاف



۶ سطحی که باید بررسی شود (صیقل و حکاکی)

۷ ترک خستگی

شکل ۱۰- دستورالعمل مقطع زنی پس از آزمون برای شناسایی ریزساختار در ترک خستگی در یک آزمونه شکاف‌دار شده در جهت ضخامت



راهنما:

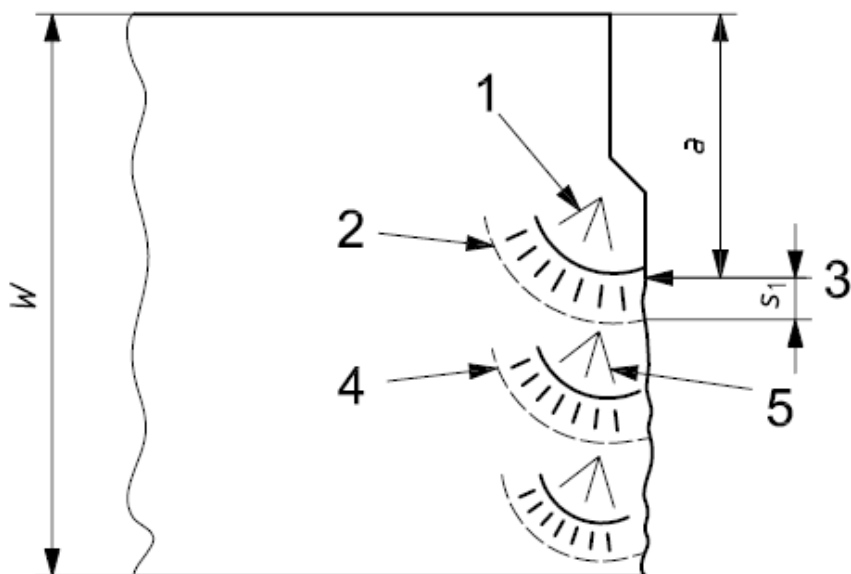
۱ برش‌ها

۲ شکاف

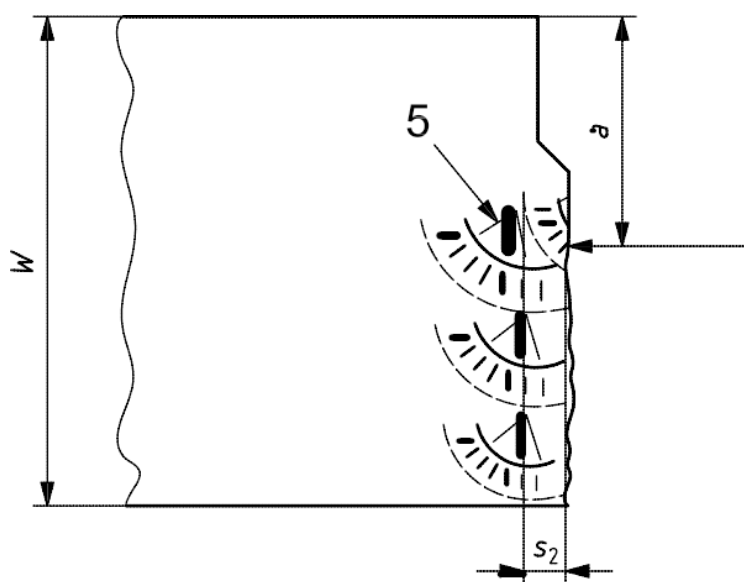
۳ ترک خستگی

۴ سطحی که باید آزمایش شود (صیقل و حکاکی)

شکل ۱۱- مقطع زنی پس از آزمون در یک آزمونه شکاف‌دار شده در سطح



الف) ریزساختار هدف در جلوی نوک ترک خستگی



راهنما:

۱ مهره جوش

۲ فلز جوش بازگرم شده

۳ نوک ترک خستگی

۴ فلز جوش بازگرم شده

۵ "SM" (ریزساختار هدف)

ب) ریزساختار هدف در یک طرف نوک ترک خستگی

شکل ۱۲- اندازه گیری S_1 و S_2 در یک آزمونه "SM" شکاف دار شده در سطح (جهت صفحه ترک NQ)

۱۲ تحلیل پس از آزمون

۱۲-۱ انتخاب خواص کششی

وقتی نوک ترک کاملاً در فلز جوش قرار گیرد، خواص کششی مربوط باید با استفاده از یک آزمون کششی از تمام فلز جوش تعیین شود. وقتی قسمتی از نوک ترک یا تمام آن در HAZ تحول یافته قرار گیرد، بیشترین استحکام فلز پایه و فلز جوش باید به کار رود.

یادآوری - جابجایی دهانه نوک ترک (CTOD) در HAZ تحت تأثیر استحکام و اندازه HAZ و ریزساختار مجاور است. چقرمگی شکست CTOD به وسیله بیشترین استحکام فلز جوش و فلز پایه تخمین زده خواهد شد.

برای فولادهای کربنی و فولادهای C-Mn اگر نتوان استحکام کششی فلز جوش و فلز پایه را اندازه گرفت، استحکام را می توان (بر حسب MPa) با استفاده از روابط در دمای محیط و سختی اندازه گیری شده (بر حسب HV10) به صورت زیر تخمین زد:

(۱) فلز پایه؛ $R_{p0.2b} = 3.28 \text{ HV10} - 221$ برای $160 < \text{HV10} < 495$

(۲) فلز جوش؛ $R_{p0.2w} = 2.35 \text{ HV10} + 62$ برای $170 < \text{HV10} < 330$

(۳) فلز پایه؛ $R_{mb} = 3.3 \text{ HV10} - 8$ برای $100 < \text{HV10} < 400$

(۴) فلز جوش؛ $R_{mw} = 3.0 \text{ HV10} + 22.1$ برای $170 < \text{HV10} < 330$

برای فولادهای فریتی، وقتی آزمون کشش را نتوان زیر دمای اتاق انجام داد و وقتی تنش تسلیم ۰/۲٪ در دمای پایین آزمون شکست موردنظر در دسترس نباشد، تنش تسلیم دما- پایین را می توان بر حسب مگاپاسکال از تنش تسلیم دمای اتاق با استفاده از رابطه زیر تخمین زد:

(۵) $R_{p0.2} \text{ (در دمای پایین، } T) = R_{p0.2} \text{ (در دمای اتاق)} + \frac{10^5}{(491 + 1.8T)} - 189$

که در آن T، دمای آزمون شکست، بر حسب °C بوده و از مقدار ۱۹۶°C- بیشتر است.

۱۲-۲ K_{IC}

تفسیر نتایج آزمون برای تعیین K_{IC} باید مطابق با استاندارد ISO12135 اما با الزامات تکمیلی بند ۱۲-۱ این استاندارد و با توجه به انتخاب مناسب $R_{p0.2}$ انجام شود.

۱۲-۳ J و δ

تفسیر نتایج برای تعیین δ و J از آزمون‌های استاندارد خمشی یا فشاری باید مطابق با استاندارد ISO12135 اما با الزامات تکمیلی بند ۱۲-۱، انجام شود. در صورتی که از آزمون خمشی با شکاف کم عمق استفاده می‌شود ($0.10 \leq a_0/w \leq 0.45$)، تفسیر نتایج برای تعیین J و δ باید مطابق با پیوست ۳ انجام شود.

۱۲-۴ الزامات کیفی

۱۲-۴-۱ کلیات

تمام بررسی‌های کیفی فهرست شده در استاندارد ISO12135 با اعمال اصلاحات زیر برای این استاندارد قابل کاربرد هستند:

۱۲-۴-۲ نسبت عرض جوش به ناحیه ترک

برای آزمون‌های فلز جوش، دستورالعمل‌های تخمین δ وقتی الزامات زیر برآورده می‌شوند، مطابق با این استاندارد باید دارای کیفیت در نظر گرفته شوند: به بندهای [۳] و [۴] از پیوست ۳ مراجعه کنید

الف- برای یک ترک در مرکز جوش، نسبت عرض جوش (روی ۷۵٪ میانی ضخامت) به طول ناحیه ترک باید بیشتر از ۰/۲ یعنی $2h/(w-a_0) > 0.2$ باشد. (برای آزمون‌های شکافدار در جهت ضخامت به شکل‌های ۱۳-الف و ۱۳-ب و برای آزمون‌های شکافدار در سطح به شکل‌های ۱۴-ب رجوع شود)؛

ب- برای ترک‌های موازی خط مرکزی جوش، نسبت عرض مؤثر جوش (کوتاه‌ترین فاصله بین صفحه ترک و مرز ذوب جوش روی ۷۵٪ میانی ضخامت آزمون) به طول ناحیه ترک باید بیش‌تر از ۰/۱ باشد یعنی $h(w-a_0) > 0.1$ باشد (برای آزمون‌های شکافدار در جهت ضخامت به شکل‌های ۱۳-پ و ۱۳-ت و برای آزمون‌های شکافدار در سطح به شکل‌های ۱۴-پ و ۱۴-ت مراجعه کنید)؛

پ- برای موارد الف) و ب) ذکر شده در بالا الزامات تکمیلی این است که نسبت تنش تسلیم ۰/۲٪ فلز جوش به تنش تسلیم ۰/۲٪ فلز پایه باید در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ باشد یعنی:

$$0.50 < \frac{R_{p0.2w}}{R_{0.2b}} < 1.50 \quad (۶)$$

برای آزمون‌های فلز جوش، دستورالعمل‌های تخمین J که در بندهای [۳] و [۴] از پیوست ۳ ذکر شده باید در صورتی مطابق با این استاندارد دارای کیفیت در نظر گرفته شود که نسبت تنش تسلیم ۰/۲٪ فلز جوش به فلز پایه در گستره ۰/۵ تا ۱/۲۵ باشد یعنی:

$$0.50 < \frac{R_{p0.2w}}{R_{0.2b}} < 1.25 \quad (۷)$$

برای آزمون‌های HAZ، دستورالعمل‌های تخمین δ و J در استاندارد ISO12135 باید به کار رود. (برای انتخاب تنش تسلیم برای محاسبه δ به بند ۱۲-۱ رجوع شود). در زمان گزارش نتایج، تنش تسلیم ۰/۲٪ هر دو فلز جوش و فلز پایه باید بیان شود.

یادآوری- ممکن است این دستورالعمل‌های تخمین و تأیید کیفیت، سبب خطای $\pm 10\%$ در δ یا J در فلز جوش شود.

تخمین زیاد وقتی اتفاق می‌افتد که برای δ نسبت $\frac{R_{p0.2w}}{R_{0.2b}}$ بیش از ۱/۵۰ و برای J بیش از ۱/۲۵ باشد، تخمین کم‌تر وقتی اتفاق می‌افتد که نسبت فوق برای J و δ کمتر از ۰/۵ باشد. به بندهای [۳] و [۴] از پیوست ۳ مراجعه کنید. در زمان تعیین چقرمگی شکست HAZ، ممکن است دستورالعمل‌های تخمین J و δ سبب ایجاد خطا به ترتیب به میزان $\pm 5\%$ و $\pm 20\%$ تا

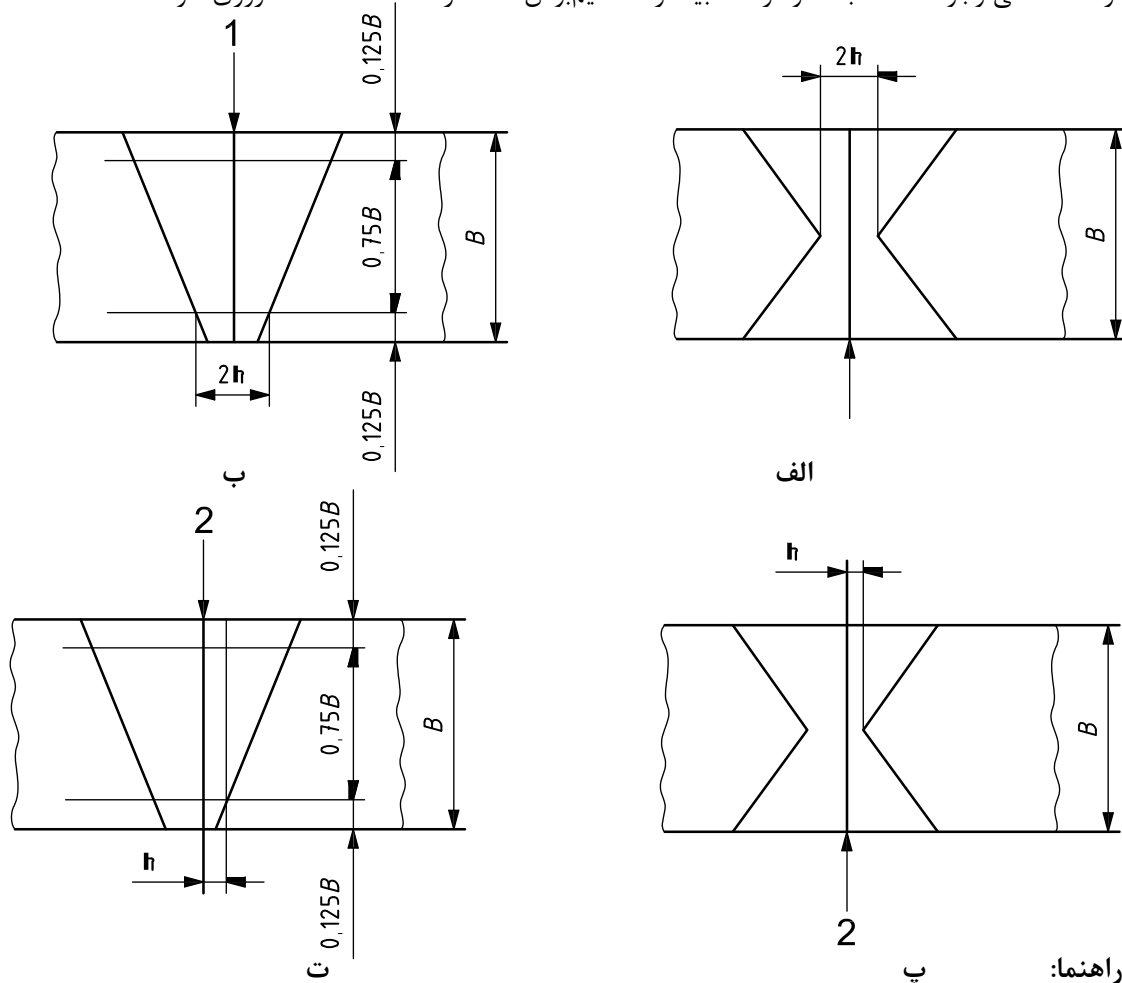
۱۰٪ برای $2.5 < \frac{R_{p0.2w}}{R_{0.2b}} < 0.70$ شود به بند [۵]. از پیوست ج مراجعه کنید.

۱۲-۴-۳ مستقیم‌بودن جلوی ترک

در آزمون‌های J و δ با استفاده از آزمون‌های خمشی، ممکن است الزامات مستقیم‌بودن جلوی ترک خستگی تا $a_0/2$ افزایش یابد، اگرچه برای آزمون‌های فشاری ممکن است کمتر باشد. آزمون‌های K_{IC} با استفاده از آزمون‌های خمشی یا فشاری باید کاملاً با استاندارد ISO12135 مطابق باشد.

یادآوری ۱- الزامات مستقیم‌بودن جلوی ترک بر اساس مدارک تجربی حاصل از آزمون‌های خمشی است. به بند [۶] از پیوست ج مراجعه کنید.

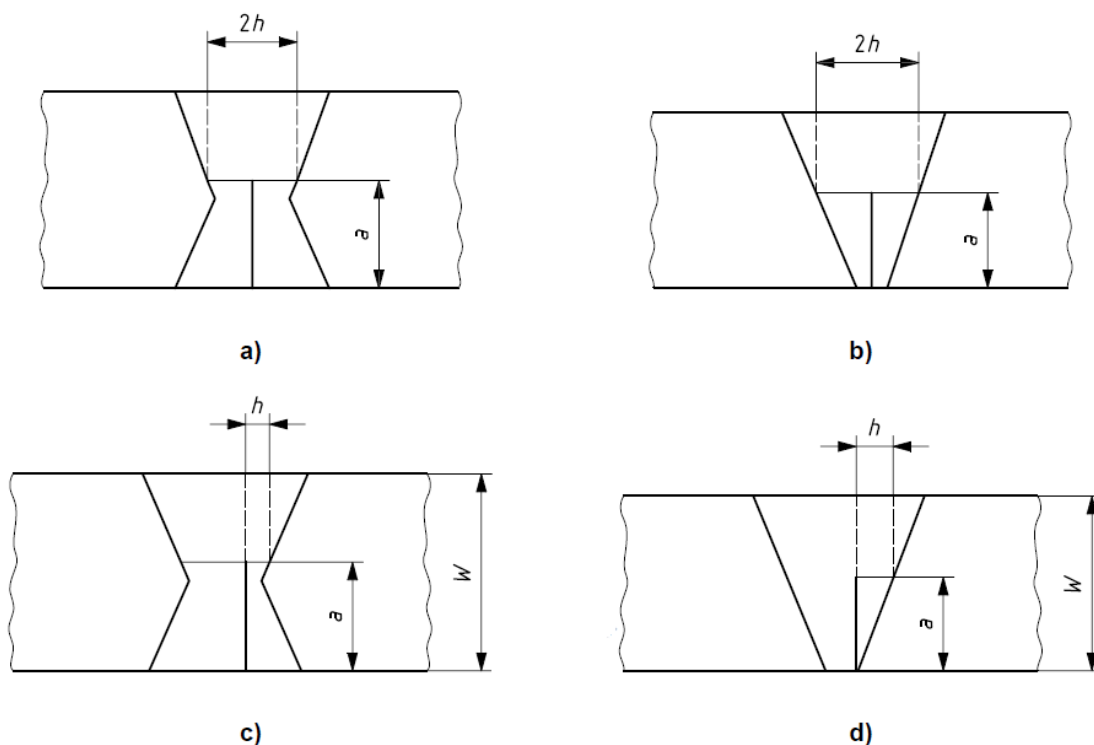
یادآوری ۲- به‌منظور برآورده کردن الزامات آزمون "SM" و "WP"، ممکن است امکان تخفیف الزامات مستقیم‌بودن جلوی ترک خستگی وجود نداشته باشد و الزامات بیشتر مستقیم‌بودن استاندارد ISO12135 ضروری شود.



۱ ترک در طول خط مرکزی جوش

۲ ترک خارج از خط مرکزی جوش

شکل ۱۳- تعریف h و 2h در آزمون‌های شکاف‌دار شده در جهت ضخامت (NP) از جوش‌های یک‌طرفه و دوطرفه.



شکل ۱۴- تعریف h و $2h$ در آزمون‌های شکاف‌دار شده سطحی (NQ) از جوش‌های یک‌طرفه و دوطرفه.

۱۲-۴-۴ نمادهای مورد استفاده برای شناسایی مقادیر چقرمگی شکست

علاوه بر نمادهای الزامی در استاندارد ISO12135 برای شناسایی مقادیر چقرمگی شکست، موارد زیر نیز باید استفاده شود:

الف- h ، z و δ (بدون نوشته در بالای آن‌ها) باید وقتی استفاده شود که اصطلاحات پیوست پ برای دستورالعمل‌های ترک اولیه خستگی انجام نشده است؛

ب- K^M ، J^M ، $\delta \square$ (M به عنوان بالانویس) باید وقتی برای شناسایی نتایج حاصل از آزمون‌ها استفاده شود که دستورالعمل‌های ایجاد ترک اولیه خستگی HAZ مطابق با پیوست پ اصلاح شده باشد.

۱۲-۴-۵ آزمون‌های شکاف‌دار شده در جهت ضخامت

وقتی مقطع زنی پس از آزمون و بررسی متالوگرافی آزمون‌های "SM" مطابق با بند ۱۱-۲ نشان دهد که جلوی ترک خستگی به‌طور قطع، هم ناحیه هدف مورد نظر برای بررسی و هم در صورت معین بودن، طول‌های مورد نیاز از ریزساختار خاص را در محدوده ۷۵٪ میانی ضخامت آزمون (B یا BN) تحت آزمون قرار داده است، نتایج چقرمگی شکست قابل تأیید خواهند بود. در صورتی که این الزامات برآورده نشود، نتایج چقرمگی شکست ریزساختار خاص تعیین نشده است و نتایج آزمون نباید تأیید شود.

۱۲-۴-۶ آزمون‌های شکاف‌دار شده در سطح

وقتی مقطع‌زنی پس از آزمون و بررسی متالوگرافی آزمون‌های "SM" مطابق با بند ۱۱-۳ نشان دهد که نوک ترک خستگی از ریزساختار خاص نمونه‌برداری شده، یا ابعاد S_1 یا S_2 کمتر از 0.5mm است (به بند ۱۱-۳-۲ رجوع شود)، باید نتایج چقرمگی شکست تأیید شود. در صورتی که این الزامات برآورده نشود، چقرمگی شکست ریزساختار خاص تعیین نشده است و نتایج آزمون نباید تأیید شود.

۱۳ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید مطابق با استاندارد ISO12135، همراه با اطلاعات تکمیلی زیر باشد:

الف- اینکه آیا شکاف‌دار کردن در موقعیت نسبت به جوش ("WP") یا ریزساختار خاص ("SM") انجام شده است؛

ب- جهت صفحه ترک مطابق با شکل‌های ۲، ۳ و ۴؛

پ- ضخامت اولیه جوش و فلز پایه مجاور جوش؛

ت- نتایج متالوگرافی پیش از آزمون از بررسی مقطعی از مجموعه اجزای جوش (اگر مناسب باشد)؛

ث- خواص کششی فلز جوش و فلز پایه و روش مورد استفاده برای حصول مقادیر؛

ج- عرض مؤثر جوش، h ، در صورت مقتضی؛

چ- روش مورد استفاده برای حصول ترک خستگی مستقیم و گذاشتن بالانویس در نماد نتیجه مطابق با بند

۱۲-۴-۴ در صورت مقتضی؛

ح- ارزیابی اهمیت ناپیوستگی ناگهانی (در صورت مقتضی) مطابق با پیوست ت؛

خ- اینکه آیا نتایج را می‌توان با لحاظ نمونه‌برداری ترک از منطقه هدف شناسه گذاری شده، تأیید کرد؛

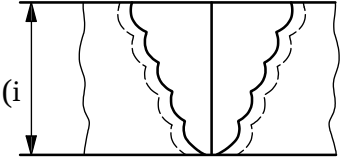
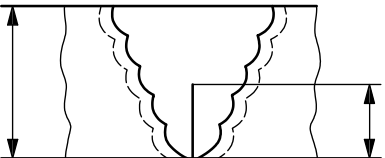
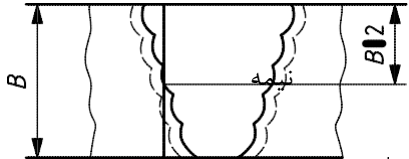
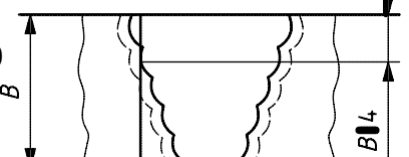
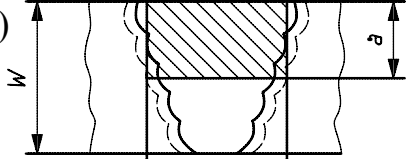
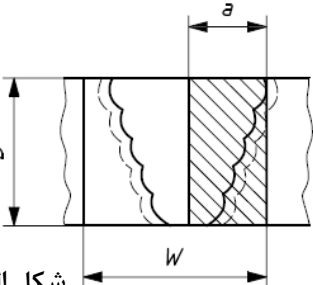
د- فاصله S_1 یا S_2 برای شکاف "SM"، در صورت مقتضی؛

ذ- اینکه آیا آزمون خمشی با شکاف کم عمق مطابق پیوست ت است، اگر چنین است مقدار a_0/w ؛

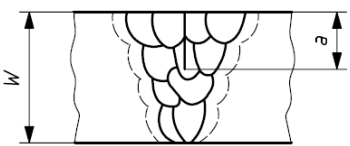
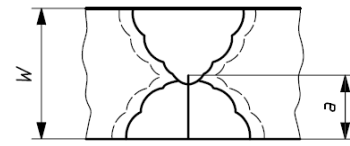
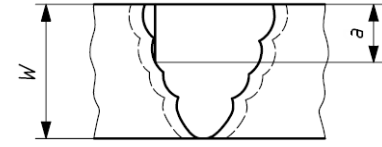
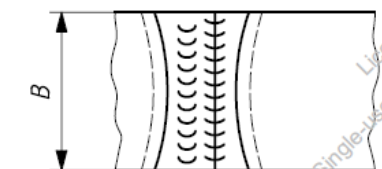
پیوست الف (اطلاعاتی)

مثال‌هایی از موقعیت‌های شکاف

در این پیوست مثال‌هایی از موقعیت‌های نوعی مورد استفاده در زمان آزمون فلز جوش و HAZ با آزمون‌های خمشی شکاف‌دار شده در سطح و ضخامت ارائه شده است. در شکل الف-۱، موقعیت‌های شکاف در موقعیت نسبت به جوش ("WP") نشان داده شده است، در حالی که در شکل الف-۲ موقعیت‌های شکاف ("SM") nv ریزساختار خاص ("SM") نشان داده شده است.

موقعیت شکاف	هندسه	جهت	
خط مرکزی فلز جوش	$B \times B$ یا $B \times 2B$	NP	(i) 
خط مرکزی فلز جوش از ریشه جوش	$B \times B$	NQ	(ii) 
HAZ با شکاف متقاطع با خط ذوب در ضخامت	$B \times B$ یا $B \times 2B$	NP	iii) 
HAZ با شکاف متقاطع با خط ذوب در ۱/۲ ضخامت	$B \times B$ یا $B \times 2B$	NP	iv) 
متقاطع با جوش	$B \times B$	PQ	v) 
متقاطع با جوش، بر خط مرکزی	$B \times B$	PN vi)	

شکل الف-۱ مثال‌هایی از موقعیت‌های شکاف ("WP") در موقعیت نسبت به جوش

موقعیت شیار	ضخامت سطح مقطع × عرض	جهت	
فلز جوش ستونی روی خط مرکزی جوش	$B \times B$	NP	i) 
ریشه جوش یا طرف دوم جوشکاری شده	$B \times B$	NQ	ii) 
HAZ درشت دانه مجاور با فلز جوش ستونی	$B \times B$	NQ	iii) 
بیشینه حجم فلز جوش ستونی نشانده شده	$B \times 2B$ یا $B \times B$	NP	iv) 
بیشینه حجم فلز جوش ستونی	$B \times 2B$ یا $B \times B$	NP	v) 
جلوی ترک برای نمونه برداری از یک ناحیه معین در HAZ	$B \times 2B$ یا $B \times B$	NP	vi) 

شکل الف - ۲ مثال‌هایی از موقعیت‌های شیار در ریزساختار خاص ("SM")

پیوست ب

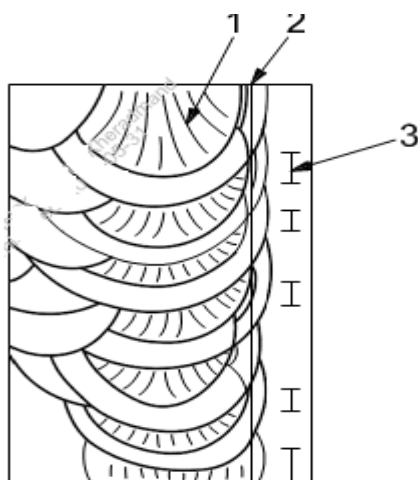
(اطلاعاتی)

مثال‌هایی از متالوگرافی پیش از آزمون و پس از آن

متالوگرافی پیش از آزمون مقطعی از مجموعه اجزای جوش حکاکی شده، وقتی ضروری است که آزمون "SM" برای HAZ تعیین شده باشد.

در شکل‌های ب-۱ و ب-۲ مثال‌هایی از روش سنجش مقدار ریزساختار HAZ نشان داده شده است، در این مورد HAZ مجاور فلز جوش ستونی است. شکل ب-۲ چگونگی تهیه یک نقشه از یک ریزساختار هدف که در مقطعی از مجموعه اجزای جوش (شکل ب-۱) در ۷۵٪ میانی ضخامت آزمون شناسایی شده است را نشان می‌دهد. فرض شده است که طول‌های منفرد (□) "SM" در طول خط معرف شکاف، در صد "SM" موجود را می‌دهد.

وقتی آزمون "SM" تعیین شده باشد، متالوگرافی پس از آزمون برای تطبیق اینکه ریزساختار هدف در نزدیکی نوک ترک خستگی وجود دارد، برای مثال و برای تطابق نقشه نشان داده شده در شکل ب-۲ برای مقطع A در شکل ۱۰، ضروری است.



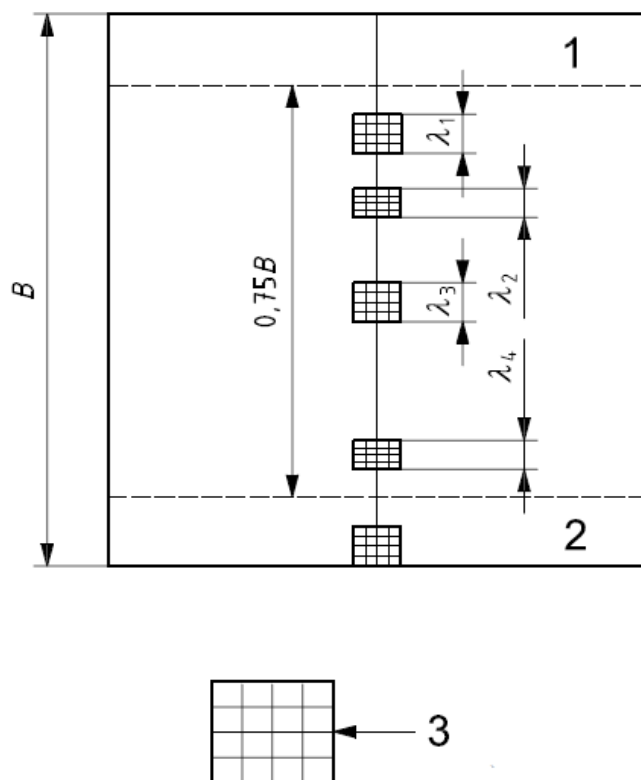
راهنما:

۱ فلز جوش ستونی

۲ خط شکاف مطلوب

۳ HAZ مجاور فلز جوش ستونی

شکل ب-۱- HAZ مجاور با فلز جوش ستونی برای خط شکاف مطلوب در مقطع مجموعه اجزای جوش



راهنما:

1 درپوش

2 ریشه

HAZ 3 هدف

$$\frac{\sum_{\lambda 1}^{\lambda n}}{0.75P} \times 100 = (\text{روی } 75\% \text{ وسط ضخامت})$$

درصد ریزساختار خاص

شکل ب-۲- نقشه ریزساختاری از HAZ مجاور با فلز جوش ستونی

پیوست پ

(الزامی)

اصلاح تنش پسماند و روش فنی ایجاد ترک اولیه

پ-۱ کلیات

یکی از روش‌های فنی زیر که در بند پ-۲ و پ-۳ مشخص شده، باید برای آزمون آزمون‌های تنش‌زدایی شده جزئی یا آزمون پس از جوشکاری استفاده شود. بنا بر توافق، از روش‌های جایگزین دیگر وقتی می‌توان استفاده کرد که آن روش‌ها مستند و تصدیق شده باشند. روش فنی مورد استفاده باید در زمان گزارش نتایج آزمون مشخص شود.

یادآوری ۱- این روش‌های فنی، معمولاً برای جوش‌هایی که پس از جوشکاری، به وسیله عملیات حرارتی تنش‌زدایی شده‌اند، ضروری نیست.

یادآوری ۲- در آزمون‌های تنش‌زدایی شده جزئی یا آزمون‌های پس از جوشکاری، تنش‌های جوشکاری پسماند وجود خواهند داشت. به هر حال ممکن است مقدار و توزیع این تنش‌ها با تنش‌های موجود در جوشی که آزمون‌ها از آن برداشته شده، متفاوت باشد. ممکن است تنش‌های پسماند سبب ترک خستگی با شکل غیرقابل پذیرش شود، به علاوه روی تعیین چقرمگی شکست اثر بگذارد. آزمون نشان داده است که فشار موضعی اعمالی قبل از ایجاد ترک اولیه خستگی، تنش‌های پسماند را تا سطوح یکنواخت و کم کاهش خواهد داد و بنابراین این اثرات کمینه می‌شود (به بندهای [۷] و [۸] از پیوست ج مراجعه کنید). یک روش فنی جایگزین که با آن می‌توان ترک‌های خستگی مستقیم قابل پذیرش، به خصوص در جوش‌های مقطع ضخیم که اعمال فشار موضعی غیرعملی است، ایجاد کرد، روش ترک خستگی با نسبت R بزرگ به صورت پله‌ای است (به بند [۹] از پیوست ج مراجعه کنید). اگرچه ممکن است تنش‌های پسماند بزرگ در رأس ناحیه ترک خستگی ($w-a_0$) باقی بماند و بر چقرمگی شکست اثر بگذارد. به بند [۱۰] از پیوست ج مراجعه کنید.

یادآوری ۳- در برخی مواد و تحت شرایط آزمون معین، اعمال فشار موضعی ممکن است بر چقرمگی شکست اثر بگذارد، اما پیش‌بینی اینکه چه موادی احتمالاً مستعد هستند، مشکل است. اگرچه تجربه نشان می‌دهد که پذیرش این خطر نسبت به حصول نتیجه از آزمون با شکل ترک خستگی غیرقابل پذیرش ترجیح داده می‌شود.

پ-۲ فشار موضعی

فشار موضعی [۷] و [۸] در ۸۸٪ تا ۹۲٪ ناحیه هم‌بند (لیگامنت)^۱ ($w-a$) در جلوی شکاف ماشین‌کاری شده قبل از ایجاد ترک اولیه خستگی و شیاردار کردن سطح جانبی اعمال می‌شود. فشار باید نوک شکاف را احاطه کرده و در صفحات فولادی سخت اعمال شود تا کرنش پلاستیک کلی تا ۱٪ ضخامت آزمون ایجاد شود (به

1-Ligament

یادآوری‌های ۱ و ۲ رجوع شود). به‌عنوان راهنما برای نیروهای موردنیاز برای اعمال به آزمونه‌های با مقطع مستطیلی شکل به شکل پ-۱ رجوع شود. بسته به ضخامت، B، ممکن است فشار موضعی تنها بر یک‌طرف اعمال شود یا فشار تا $0.5/B$ به‌صورت همزمان بر هر طرف آزمونه اعمال شود (به شکل پ-۱ رجوع شود). ممکن است کاربردهای چندگانه‌ای از نیروهای فشاری کم‌تر به کار رود. در چنین مواردی، هیچ بعدی از سطح تماس صفحات نباید کمتر از $0.5B$ باشد (به شکل پ-۱ رجوع شود). به‌علاوه تغییر شکل نهایی باید در نزدیک‌ترین نقطه به نوک شکاف باشد.

ممکن است تعدادی از کاربردهای نیرو برای حصول تغییر شکل پلاستیک موردنیاز، ضروری باشد که در این صورت باید تا $0.25 \pm 0.1/B$ هرکدام که بزرگ‌تر است، اندازه‌گیری شود. برای آزمونه‌هایی که به‌صورت موضعی تحت فشار قرار گرفته‌اند، باید برای محاسبه نیروی خستگی بعد B مورد استفاده قرار گیرد و ضریب شدت تنش در ناحیه اندازه‌گیری شده شکاف، بعد از فشار موضعی باید B باشد.

یادآوری ۱- ممکن است ماشین‌کاری موضعی هم‌بند (لیگامنتی) که باید در هر دو طرف آزمونه تحت فشار قرار گیرد، ضروری باشد تا از سطح نشیمنگاه صاف برای صفحات و تغییر شکل یکنواخت اطمینان حاصل شود.

هرگونه بادکردگی سطح پشتی لیگامنت که منجر به پیچیدگی در آزمونه‌های خمشی سه‌نقطه‌ای در نقطه بارگذاری شود، باید با ماشین‌کاری حذف شود.

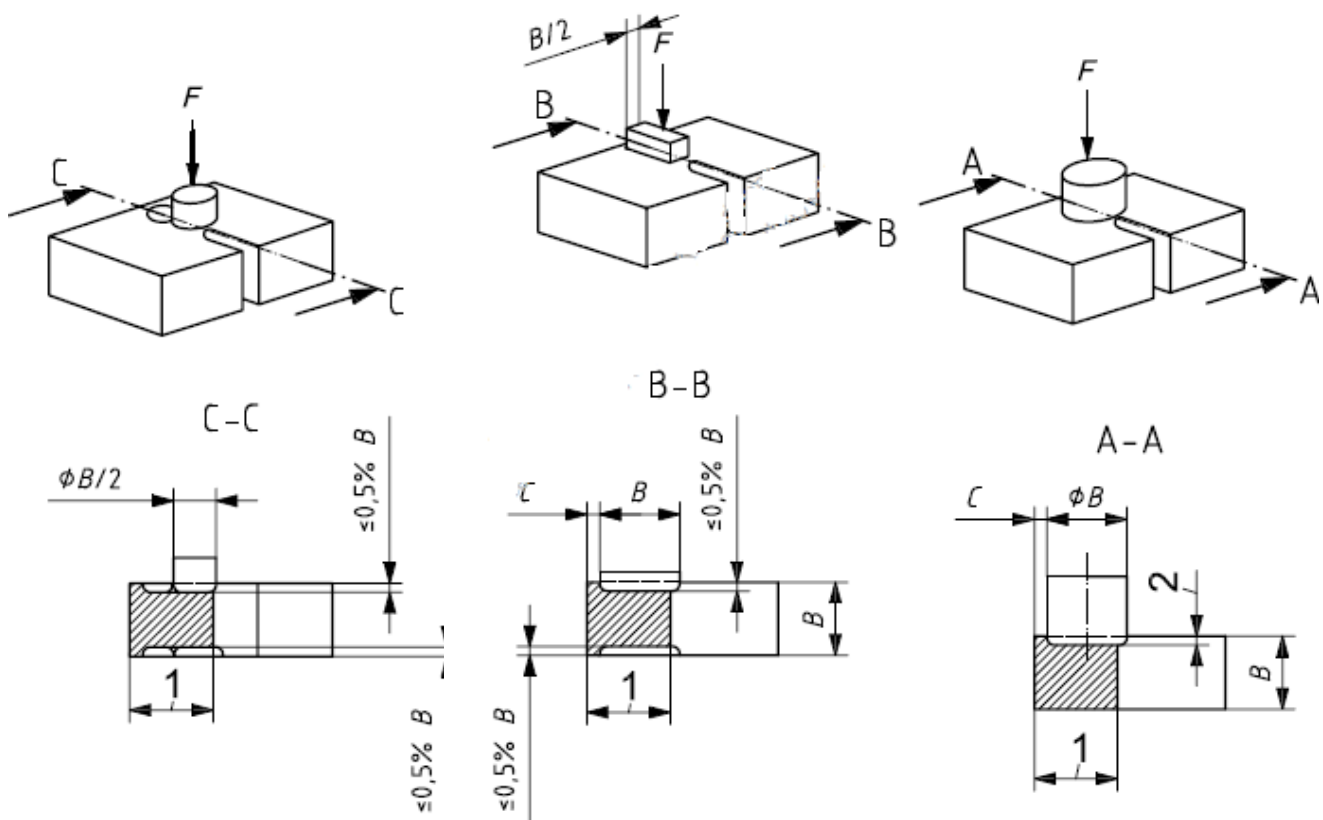
یادآوری ۲- تجربه نشان می‌دهد که ممکن است تغییر شکل کلی برابر با $1/B$ برای برخی از مواد و جوش‌ها خیلی زیاد باشد و جلوی ترک مستقیم‌تر ممکن است با مقدار کمتر حاصل شود. ممکن است برای برقراری شرایط بهینه، سعی و خطا موردنیاز باشد.

یادآوری ۳- هر روش فنی که انتخاب می‌شود و هر جا که تجربه کمی در مورد ترکیب مواد و روش وجود دارد، بهتر است که برنامه آزمون شامل آزمونه‌های یدکی برای تطبیق نتایج دستورالعمل انتخابی در ایجاد ترک اولیه خستگی مستقیم به‌صورت قابل‌پذیرش تهیه شود.

پ-۳ نسبت بالای R پله‌ای

در روش فنی نسبت R- بالای پله‌ای (به بند [۹] از پیوست ج مراجعه کنید)، ترک اولیه خستگی شامل دو مرحله با نسبت تنش خستگی متفاوت R است. در اولین مرحله نسبت R برابر 0.1 استفاده می‌شود (یعنی مقدار مرسوم R برای ترک اولیه) تا اینکه ترک اولیه خستگی تا حدود 1 mm رشد کند. در مرحله دوم، R تا 0.7 افزایش می‌یابد و ترک اولیه خستگی تا طول مطلوب رشد می‌کند. از یک K_f مشابه (بیشینه مقدار K) برای هر دو مرحله استفاده می‌شود.

یادآوری- استفاده از $R > 0.1$ با الزامات ایجاد ترک اولیه خستگی در استاندارد ISO 12135 سازگار است. کارهای آزمایشگاهی نشان می‌دهد که ممکن است در صورتی که $R > 0.1$ باشد، چقرمگی شکست افزایش یابد. به بندهای [۸] و [۱۱] از پیوست ج مراجعه کنید.



مقطع C-C

$$F=0.3B^2R_{p0.2}$$

مقطع B-B

$$F=0.8B^2R_{p0.2}$$

مقطع A-A

$$F=1.4B^2R_{p0.2}$$

راهنما:

1 W منهای طول شکاف ماشین کاری شده؛

2 $1/B$ (یا $0.5/B$ در هر طرف)؛

$R_{p0.2}$ کمترین مقدار برای فلز جوش و فلز پایه است؛

$$C = 8\% \text{ تا } 12\% (W-a)$$

شکل پ-۱ عملیات فشار موضعی جایگزین

پیوست ت

(الزامی)

ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی

ت-۱ کلیات

این دستورالعمل باید برای ارزیابی قابلیت پذیرش ناپیوستگی ناگهانی طبقه‌بندی شده با اهمیت مطابق با بند ۴-۱۱ به کار رود. اگر ناپیوستگی ناگهانی مطابق با استاندارد ISO12135 با اهمیت ارزیابی شود، شکست‌نگاری پس از آزمون و متالوگرافی مورد نیاز نیست و ناپیوستگی ناگهانی با اهمیت در نظر گرفته می‌شود. اگرچه، اگر ناپیوستگی ناگهانی مطابق با استاندارد ISO12135 با اهمیت ارزیابی شود، اهمیت واقعی را می‌توان با در نظر گرفتن این استاندارد از دستورالعمل‌های ارزیابی متالوگرافی و شکست‌نگاری توضیح داده شده در بندهای ت-۲ تا ت-۵ تعیین کرد.

تمام نقاط ناپیوستگی ناگهانی باید مهم در نظر گرفته شوند، مگر اینکه افت نیرو و افزایش جابجایی کمتر از ۱٪ باشد یا بتوان با آزمون متالوگرافی ثابت کرد که مقادیر δ و J اندازه‌گیری شده در اولین ناپیوستگی ناگهانی باید به ترتیب به صورت δ_{pop} و J_{pop} شناسه‌گذاری شود.

ت-۲ شکست‌نگاری

هر دو وجه باید برای پیدا کردن مدرکی دال بر توقف رشد ترک ترد آزمون شود، عموماً در صفحه ترک خستگی و رشد ترک بیشینه، Δa_{pop} ، به‌استثنای SZW، باید اندازه‌گیری شود (به شکل ت-۱ رجوع شود). در صورتی که هیچ مدرکی از این ترک ترد متوقف‌شده پیدا نشود، اهمیت و بزرگی ناپیوستگی ناگهانی باید مطابق با استاندارد ISO12135 ارزیابی شود.

ممکن است ناپیوستگی ناگهانی توسط توقف ترک عمود بر صفحه ترک اولیه خستگی ایجاد شود. این مورد گاهی اوقات به‌عنوان یک "شیار" ارجاع داده می‌شود چقرمگی شکست ایجاد شده در ناپیوستگی ناگهانی به‌وسیله شیار باید گزارش شود، اما ممکن است چقرمگی شکست ماده برای جهت ترک مدنظر مشخص نشود. ممکن است یک آزمون و جهت صفحه ترک برای مشخص کردن چقرمگی شکست ماده در صفحه شیار ضروری باشد. به بندهای [۱۲] و [۱۳] در پیوست ج مراجعه کنید. ارزیابی اهمیت ساختار شیار خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است.

ت-۳ مقطع زنی و متالوگرافی

جهت تشخیص مکان اصلی شروع شکست یک یا هر دو سطح دارای توقف رشد ترک، باید با میکروسکوپ نوری یا الکترونی روبشی (SEM) بررسی شود. در صورتی که نوک ترک در HAZ قرار گرفته باشد، سطح شکست مجاور با جوش باید بررسی شود. بعد از نشانه‌گذاری مکان جوانه‌زنی، مقطع متالوگرافی باید در نقطه

جوانه‌زنی در صفحه عمود بر صفحه ترک خستگی، به صورتی که برای آزمون شکافدار شده در جهت ضخامت در شکل ت-۲ و برای آزمون شکافدار شده در سطح در شکل ت-۳ نشان داده شده، برداشته شود. مقاطع باید مطابق با روش‌های متالوگرافی معمول برای بازرسی ریزساختار صیقل و حکاکی شود.

ت-۴ ارزیابی

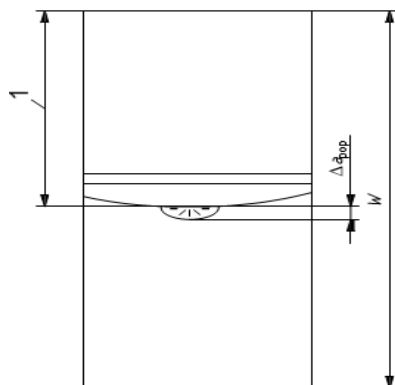
مقطع متالوگرافی برداشته شده از آزمون شکاف شده در جهت ضخامت باید بررسی شود و طول ریزساختار خاص موازی با جلوی ترک، d_1 ، در محل جوانه‌زنی باید اندازه‌گیری شود. طول‌های ریزساختارهای موجود مشابه در مقطع در محدوده ۷۵٪ میانی B یا B_N در مورد آزمون‌های شیاردار شده در سطح جانبی)، اما به وسیله پیمانی ترک قطع نشده باشد، باید اندازه‌گیری شود و طول منفرد بیشینه، d_2 ، باید ثبت شود (به شکل ت-۴ رجوع شود). اگر مقطع در آن سوی نوک ترک خستگی باشد، ممکن است ضروری باشد که یک مقطع اضافی پشت نوک ترک خستگی اندازه‌گیری شود، d_2 ، مقطع متالوگرافی برداشته شده از آزمون شکافدار شده در سطح (به شکل ت-۵ رجوع شود) باید بررسی شده و طول کلی، d_1 ، از ناحیه ریزساختار که در آن ناپیوستگی ناگهانی آغاز شده، باید اندازه‌گیری شود. این طول d_1 باید شامل ناحیه ریزساختار و ناحیه رأس نوک ترک خستگی باشد. (به شکل ت-۵ رجوع شود). ممکن است برای ارزیابی ابعاد d_1 ، بیش از یک مقطع برداشته شود.

ت-۵ اهمیت ناپیوستگی ناگهانی

با بررسی متالوگرافی زیر، یک ناپیوستگی ناگهانی به صورت بی‌اهمیت در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که: الف- برای یک آزمون شکافدار شده در جهت ضخامت: P که مطابق با استاندارد ISO 12135 محاسبه شده، کمتر از ۵٪ و $d_1 > d_2$ باشد؛

ب- یا برای یک آزمون شکافدار شده سطحی: P کمتر از ۵٪ و $\Delta a_{pop} < d_1$ باشد؛

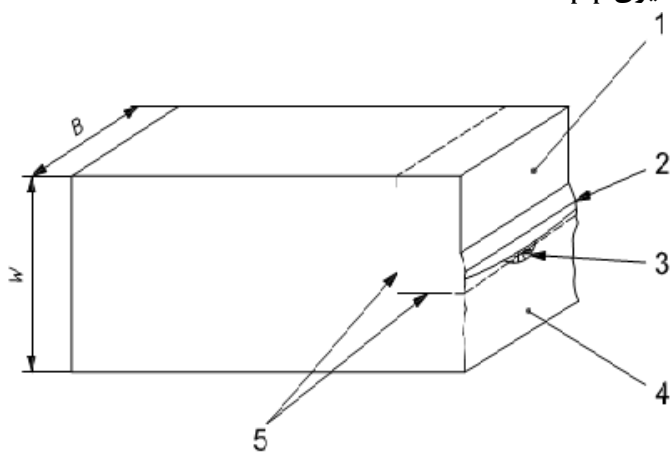
وقتی که $d_1 > d_2$ یا $d_1 < \Delta a_{pop}$ باشد، ناپیوستگی ناگهانی با اهمیت در نظر گرفته می‌شود، چراکه اگر ریزساختار (فاز) ترد بیشتری در مقابل نوک ترک حاضر بود یا در آزمون وجود داشت، ممکن بود ناپیوستگی ناگهانی بزرگ‌تری رخ دهد. آزمون‌های بیشتری ممکن است نیاز باشد تا رد این احتمال قطعی شود. یک نمودار پیشرفت که بیانگر نحوه ارزیابی ناپیوستگی ناگهانی است در شکل ت-۶ نمایش داده شده است.



راهنما:

1 یا $a + \Delta a$

شکل ت-۱- اندازه گیری Δa_{pop}



راهنما:

1 مقطع A

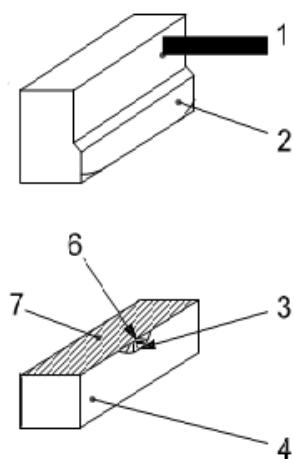
2 ترک خستگی

3 ترک ترد متوقف شده

4 مقطع B

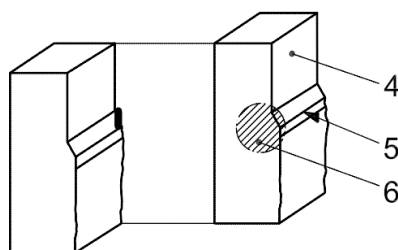
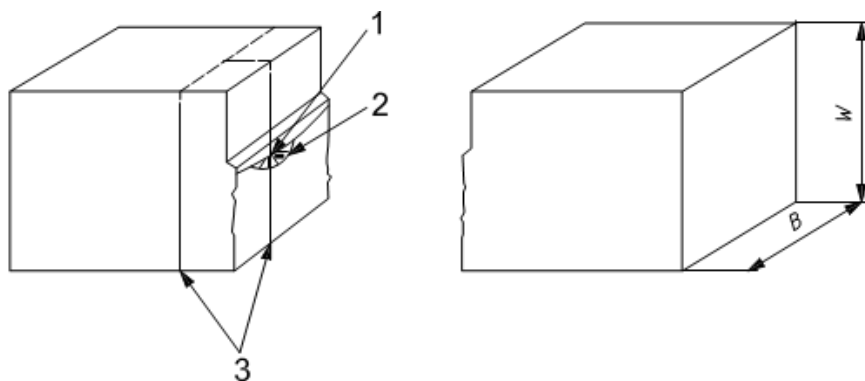
5 برش ها

6 جوانه زنی



7 سطحی که باید بررسی شود (صیقل و حکاکی) (به شکل ت-۴ رجوع شود)

شکل ت-۲- دستورالعمل مقطع زنی پس از آزمون برای شناسایی ریزساختار جوانه زنی شکست در آزمونه شکاف دار شده در جهت ضخامت



راهنما:

۱ جوانه‌زنی (آغاز شکست)

۲ ترک ترد متوقف‌شده

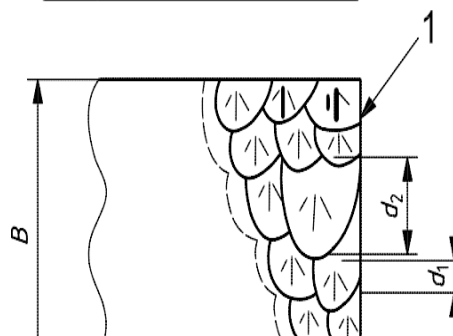
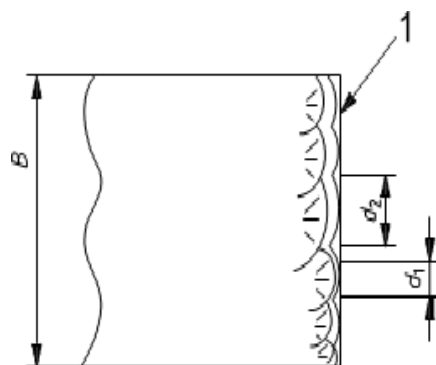
۳ برش‌ها

۴ شکاف

۵ ترک خستگی

۶ سطحی که باید بررسی شود (صیقل و حکاکی) (به شکل ت-۵ رجوع شود)

شکل ت-۳ مقطع‌زنی پس از آزمون برای شناسایی ریزساختار آغاز شکست در یک آزمونه شکاف‌دار شده سطحی



راهنما:

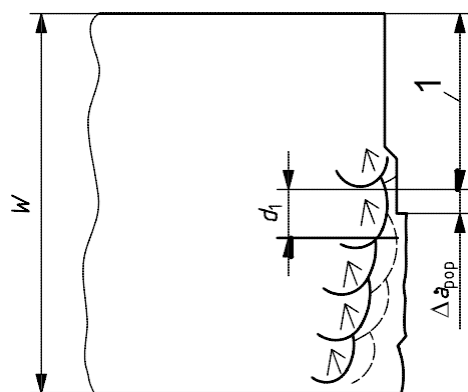
۱ ترک خستگی

d_1 طول HAZ (دیاگرام بالایی) یا فلز جوش (دیاگرام پایینی) از نمونه برداری شده به وسیله ترک خستگی در ناحیه آغاز شکست

d_2 طول بیشینه HAZ مشابه (دیاگرام بالایی) یا فلز جوش مشابه (دیاگرام پایینی) در محدوده ۷۵٪ مرکزی B

شکل ت-۴ اندازه گیری ریز ساختار d_1 (در طول جلوی ترک) و d_2 (نه در طول جلوی ترک) در مقطع برداشته شده

از آزمونه شکاف دار شده در جهت ضخامت (مقطع B در شکل ت-۲)

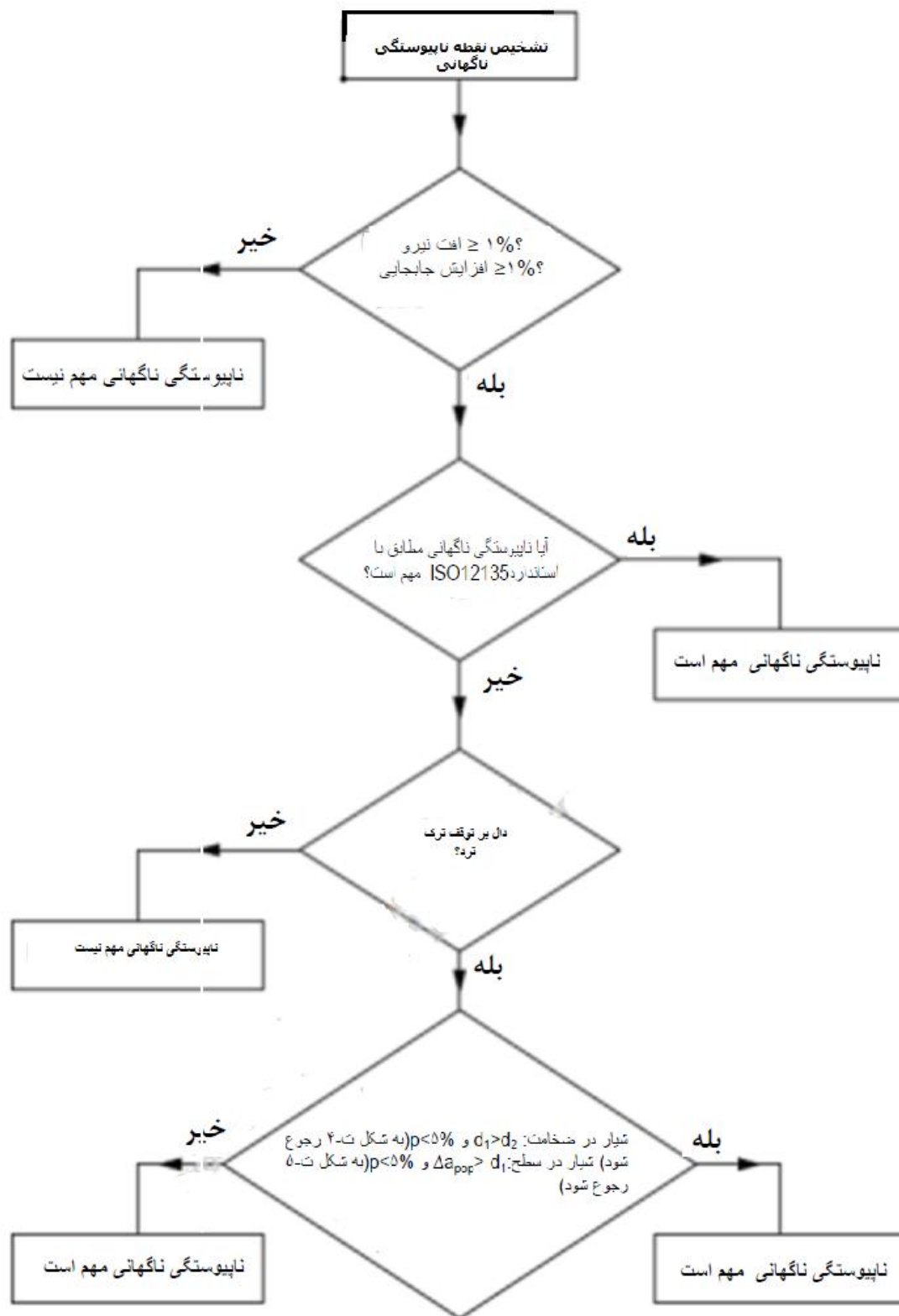


راهنما:

۱ a یا $(a + \Delta a)$

شکل ت-۵ اندازه گیری ریز ساختار d_1 و Δa_{pop} در مقطع برداشته شده از آزمونه شکاف دار شده در سطح (به شکل

ت-۳ رجوع شود) (مثال برای HAZ داده شده)



$$p < 5\% \text{ و } \Delta a_{pop} < d_1$$

به شکل ت-۵ رجوع شود

شکل ت-۶ نمودار گردش کار ارزیابی ناپيوسنگي ناگهاني

پیوست ث

(اطلاعاتی)

آزمون آزمونۀ با شکاف کم عمق

ث-۱ کلیات

اگر تنها بتوان ریزساختار خاص را با استفاده از یک آزمونۀ خمشی با شکاف کم عمق ($0/1 \leq a_0/w \leq 0/45$) آزمون کرد، ممکن است بنا بر توافق بین دو طرف قرارداد، از دستورالعمل توضیح داده شده در این پیوست استفاده کرد. دستورالعمل های آماده سازی آزمون و ارزیابی، همان دستورالعمل های توضیح داده شده در متن اصلی استاندارد است، به جز اینکه مطابق با بندهای ث-۲ و ث-۳ باید اصلاحاتی انجام شود.

یادآوری- ماهیت جوش ها به گونه ای است که ممکن است ریزساختار خاص تنها در نزدیکی سطح وجود داشته باشد که در این صورت مانع آزمون با آزمون های استاندارد خواهد شد. استفاده از آزمونۀ خمشی با شکاف کم عمق، آزمون چنین ریزساختارهایی را فراهم می سازد. اگرچه به دلیل وجود محدودیت کمتر در نوک ترک مربوط به آزمونۀ با شکاف کم عمق، چقرمگی شکست از چنین آزمون های، ممکن است بیش از مقدار حاصل از آزمونۀ استاندارد شکاف دار (یعنی $a_0/w \leq 0/70$) باشد ($0/45 \leq a_0/w \leq 0/70$) با همان ریزساختار نوک ترک.

این موضوع ممکن است در کاربرد نهایی مهم بوده یا مهم نباشد، اما به تشخیص توسط دو طرف قرارداد نیاز دارد.

ث-۲ آماده سازی آزمونۀ و ابزار دقیق^۱

شکل آزمونۀ خمشی باید مطابق با بند ۸-۱ و شکل ۵ باشد، به جز اینکه طول ترک باید در گستره ($0/45 \leq a_0/w$) باشد. ممکن است لبه های چاقویی آزمونۀ، به صورتی که در استاندارد ISO 12135 توضیح داده شده، یکپارچه باشند یا به صورتی که در شکل ث-۱ نشان داده شده اتصال پیدا کرده باشند. جابجایی دهانه ترک، V ، به طور مستقیم به وسیله یک سنجۀ جابجایی گیره ای شکل و متصل به لبه های چاقویی یکپارچه اندازه گیری می شود. در صورتی که لبه های چاقویی یکپارچه نباشند، اما در عوض به صورت اتصال یافته باشند، لبه های چاقویی اتصال یافته باید به گونه ای باشند که امکان استفاده از سنجه های گیره ای شکل دوتایی را فراهم کند تا مشابه اندازه گیری جابجایی دهانه ترک با لبه های چاقویی یکپارچه، بتوان از خروجی های آن ها جابجایی دهانه ترک را تخمین زد.

یادآوری- ممکن است الزامات مستقیم بودن جلوی ترک خستگی داده شده در بند ۱۲-۳۴ برای حصول آزمونۀ با نسبت a_0/w نزدیک به $0/1$ مشکل باشد. اگرچه مشخص شده است که استفاده از فشار موضعی، توضیح داده شده در بند پ-۲، برای حصول شکل های مستقیم جلوی ترک خستگی مفید است.

ث-۳ تعیین J و δ

برای تعیین J و δ از دستورالعمل‌های داده‌شده در استاندارد ISO12135 تبعیت می‌شود، به‌جز اینکه محاسبات متفاوت هستند.

رابطه ضریب شدت تنش برای آزمون خمشی سه‌نقطه‌ای به‌صورت زیر است:

$$\left(\frac{S}{W}\right) \frac{F}{(B \times B_N \times W)^{0.5}} \times g1(a_0/w) \quad (\text{ث-۱})$$

که در آن؛

K_0 متناظر با K_{uc} ، K_u ، K_c یا K_m محاسبه‌شده به ترتیب برای مقادیر نیروی F_c ، F_u ، F_{uc} و F_m است که در استاندارد ISO 12135 تعریف‌شده است.

S سطح غلتک محافظ است.

$(a_0/w)g_1$ ضریب شدت تنش بدون بعد است، مقادیر خاص آن به‌صورت جدول در استاندارد ISO 12135 داده‌شده است.

J0 برای آزمون خمشی سه‌نقطه‌ای از معادله زیر محاسبه می‌شود: (به بندهای [۳] [۴] [۵] [۶] از پیوست ج مراجعه کنید)

$$J_0 = \frac{K_0^2(1-\nu^2)}{E} + \frac{\eta_c A_0}{(B \times B_N)^{0.5}(W-a_0)} \quad (\text{ث-۲})$$

که در آن:

J_c متناظر با J_0 است که با استفاده از مقادیر K_c ، F_c و A_c در V_c محاسبه‌شده است.

J_u متناظر با J_0 است که با استفاده از مقادیر K_u ، F_u و A_u در V_u محاسبه‌شده است.

J_{uc} متناظر با J_0 است که با استفاده از مقادیر K_{uc} ، F_{uc} و A_{uc} در V_{uc} محاسبه‌شده است.

J_m متناظر با J_0 است که با استفاده از مقادیر K_m ، F_m و J_m در V_m محاسبه‌شده است.

$$\eta_c = 3.667 - 2.199 \left(\frac{a_0}{W} \right) + 0.437 \left(\frac{a_0}{W} \right)^2 \quad (\text{ث-۳})$$

که در آن لبه‌های چاقویی قابل اتصال، به کار می‌رود، V از خروجی‌های سنج‌های چسبیده جفتی با استفاده از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$V = V_1 - z_1 \left(\frac{V_2 - V}{z_2 - z_1} \right) - 2x \cos \left\{ \arcsin^{-1} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{V_2 - V}{z_2 - z_1} \right) \right] \right\} + 2x \quad (\text{ث-۴})$$

که در آن V_1 و V_2 طول جابجایی دهانه ترک اندازه‌گیری شده با سنج‌های چسبیده نصب‌شده در فواصل Z_1 و Z_2 (به ترتیب) در بالای سطح شکاف‌دار است (به شکل ث-۱ رجوع شود)

X فاصله نشان داده‌شده در شکل ث-۱ است.

δ ، با جایگذاری J_0 از معادله (ث-۲) در معادله (ث-۵) محاسبه می‌شود. اگر آزمون در فلز جوش یا فلز پایه شکاف‌دار شود، معادلات (ث-۵) و (ث-۶) استفاده می‌شود. معادلات (ث-۷) تا (ث-۸) برای آزمون شکاف‌دار شده در HAZ مناسب هستند. به بندهای [۵] [۱۵] از پیوست ج مراجعه کنید.

$$\delta_0 = \frac{J_0}{m \left(\frac{R_{p0.2b} + R_{mb}}{2} \right)} \quad (\text{ث-۵})$$

$$m = A_0 - A_1 \left(\frac{R_{p0.2b}}{R_{mb}} \right) + A_2 \left(\frac{R_{p0.2b}}{R_{mb}} \right)^2 - A_3 \left(\frac{R_{p0.2b}}{R_{mb}} \right)^3 \quad (\text{ث-۶})$$

که در آن:

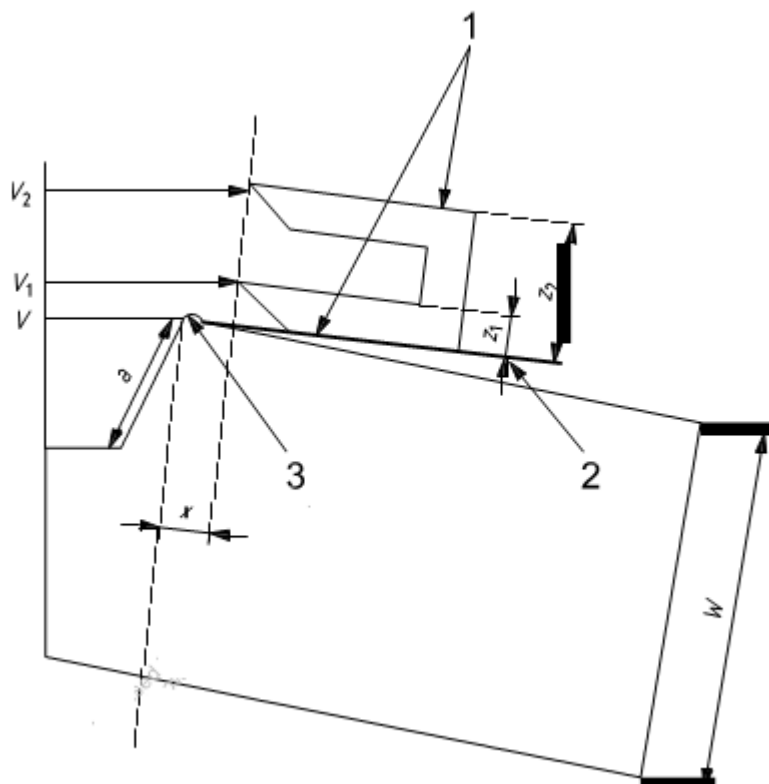
$$A_0 = 3.18 - 0.22(a_0/W)$$

$$A_1 = 4.32 - 2.23(a_0/W)$$

$$A_2 = 4.44 - 2.29(a_0/W)$$

$$A_3 = 2.05 - 1.06(a_0/W)$$

برای یک آزمون شکاف‌دار در فلز جوش به ترتیب به جای $R_{p0.2}$ و R_{mb} را در معادلات (ث-۵) و (ث-۶) به $R_{p0.2w}$ و R_{mw} قرار دهید.



راهنما:

1 لبه‌های چاقویی

2 فاصله پرکن

3 TIG میکرو یا جوش لیزر

یادآوری ۱- لبه‌های چاقویی به یک فاصله پرکن فولادی متصل شده است که با استفاده از یک TIG میکرو یا جوش پخ لیزری به لبه شکاف جوشکاری شده است.

یادآوری ۲- ارتفاع لبه‌های چاقویی Z_1 و Z_2 شامل ارتفاع فاصله پرکن فولادی است.

شکل ث-۱ طرح و موقعیت لبه‌های چاقویی برای سنجه‌های دوتایی چسبیده مورد استفاده برای تخمین جابجایی دهانه ترک، V

برای یک آزمون شکاف دار شده در HAZ:

$$\delta_0 = \frac{J}{m\sigma_{nom}} \quad (\text{ث-۷})$$

$$m = -0.111 + 0.817(a_0/W) + 1.36R_{nom} \quad (\text{ث-۸})$$

$$R_{nom} = \frac{(R_{mb} + R_{mw})}{(R_{p0.2b} + R_{p0.2w})} \quad (\text{ث-۹})$$

$$\sigma_{nom} = \lambda_u R_{p0.2w} + (1 - \lambda_u) R_{p0.2b} \quad \text{برای } M < 1 \quad (\text{ث-۱۰})$$

$$\sigma_{nom} = R_{p0.2} \quad \text{برای } M = 1 \quad (\text{ث-۱۱})$$

$$\sigma_{nom} = \lambda_0 R_{p0.2w} + (1 - \lambda_0) R_{p0.2b} \quad \text{برای } M > 1 \quad (\text{ث-۱۲})$$

$$M = \frac{R_{p0.2w}}{R_{p0.2b}} \quad (\text{ث-۱۳})$$

$$\lambda_0 = 0.5 \exp \left[- \left(1 + 0.01 n^2 \right) (M - 1) \right] \quad (\text{ث-۱۴})$$

$$\lambda_u = 1 - 0.5 \exp \left[- \left(1 + 0.01 n^2 \right) \left(\frac{1}{M} - 1 \right) \right] \quad (\text{ث-۱۵})$$

$$n = \frac{41.34}{1.646 + 82.68 (R_{nom} - 1)^{0.5} - 1.210} \quad (\text{ث-۱۶})$$

یادآوری- آنالیز عددی نشان داده است که نتایج J و در زمان تخمین چقرمگی شکست فلز جوش برای $M < ۱/۵$ و $۰/۷۵ < M$ و $h/(w-a_0) > ۰.۱$ برای $a_0/w < ۰/۵$ و $۱ < a_0/w$ و در زمان تخمین چقرمگی شکست HAZ برای $M < ۲/۵$ و $۰/۷ < M$ و $۱/۲۵ < h/B$ دارای خطای کمتر از ۱۰٪ است.

پیوست ج

کتابنامه

- [1] HART, P.H.M. Yield strength from hardness data, TWI Research Bulletin, Vol. 16, No. 6, June 1975, p. 76
- [2] IRWIN, G.R. Linear fracture mechanics, fracture transition and fracture control, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 1, No. 2, 1968, pp. 241-257
- [3] PISARSKI, H.G., WANG, Y.Y., KIRK, M., and GORDON, J.R., The effect of strength mismatch on CTOD and J estimation procedures for weld metal fracture toughness determination, Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE '95) Conference, Copenhagen, Denmark, ASME, Vol. 3, 1995, pp. 77-85
- [4] PISARSKI, H.G., WANG, Y.Y., KIRK, M., and GORDON, J.R., The effect of strength mismatch on CTOD and J estimation procedures for weld fracture toughness measurement, IIW Sub-Commission X-F "Weld Mismatch Effect", GKSS, Geesthacht, Germany, 24-15 April 1995
- [5] WANG, Y.Y., Development of fracture assessment and testing procedures for HAZ cracks — Progress report — Development of J and CTOD correlation equations, EWI Report 06224-CPG/1/97, December 1997
- [6] HADLEY, I., and DAWES, M.G., Fracture toughness testing of weld metal — Results of a European round-robin, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., Vol. 19, No. 8, 1996, pp. 963-973
- [7] DAWES, M.G., Fatigue precracking weldment fracture mechanics specimens, Metal Construction and British Welding Journal, February 1971, pp. 61-65
- [8] TOWERS, O.L., and DAWES, M.G., Welding Institute research on the fatigue precracking of fracture toughness specimens, in ASTM STP 856, Elastic-Plastic Fracture Test Methods: The User's Experience, 1985, pp. 23-26
- [9] KOÇAK, M., SEIFERT, K., YAO, S., and LAMPE, H., Comparison of fatigue precracking methods for fracture toughness testing of weldments, Proc. Int. Conf. Welding 90 — Technology, Material, Fracture, GKSS, Geesthacht, Germany, October 1990, IITT-International, France, pp. 307-318
- [10] REEMSYDER, H.S., PISARSKI, H.G., and DAWES, M.G., Residual stresses and fatigue precracking techniques for weldment fracture toughness specimens, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 20, No. 6, November 1991, pp. 416-423

- [11] STEFFAN, A.A., On the effect of R-ratio and K_{fmax} on fracture toughness measurement, fatigue crack propagation and fatigue closure, Dissertation, Southern Methodist University, Texas, USA, December 1987
- [12] WIE"SM"ER, C.S., and PISARSKI, H.G., Significance of pop-ins during initiation fracture toughness tests, 3R International, Vol. 35, October/November 1996, pp. 638-643
- [13] PISARSKI, H.G., HAMMOND, R., and WATT, K., Significance of splits and pop-ins observed during fracture toughness testing of pipeline steel, Proceedings of IPC 2008, 7th International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, 2008, A"SM"E, Paper IPC 2008-64676
- [14] KIRK, M.T., and DODDS, R.H., J and CTOD estimation equations for shallow cracks in single edge notch bend specimens, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 21, No. 4, July 1993, pp. 228-238
- [15] WANG, Y.Y., Fracture Mechanics Analysis of HAZ and Interfacial Cracks, CRP summary, EWI report MR9819, November 1998