



INSO
10272-1
1st. Revision

2017

Identical with
ISO 6892-1:2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۰۲۷۲-۱

تجدیدنظر اول

۱۳۹۶

مواد فلزی-آزمون کشش-
قسمت ۱: روش آزمون در دمای اتاق

Metallic materials-Tensile testing-
Part1: Method of test at room temperature

ICS: 77.040.10

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۰۲۶ (۳۲۸۰۶۰۳۱-۸)

دورنگار: ۰۲۶ (۳۲۸۰۸۱۱۴)

ایمیل: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد 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.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، 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 مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان 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 پیش‌بینی شده 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 کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیستمحیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسائل سنجش، سازمان ملی استاندارد 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 یکاه، واسنجی وسائل 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 Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Métrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

سازمان ملی استاندارد

کامجو، هادی

(کارشناسی مهندسی متالورژی)

بنیاد علوم کاربردی رازی

کندی، غلامرضا

(کارشناسی مهندسی متالورژی)

شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

عباس زاده، عباس

(کارشناسی مهندسی متالورژی)

مرکز پژوهش متالورژی رازی

محرمی، مهرداد

(کارشناسی ارشد متالورژی)

مرکز پژوهش متالورژی رازی

موسوی، فریبا

(کارشناسی ارشد متالورژی)

مرکز پژوهش متالورژی رازی

همتی، علی

(کارشناسی ارشد متالورژی)

ویراستار:

سازمان ملی استاندارد

قزلباش، پریچهر

(کارشناسی فیزیک)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ط	پیش‌گفتار
ی	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۱۲	۴ نمادها
۱۴	۵ اصول
۱۴	۶ آزمونه‌ها
۱۴	۱-۶ شکل و ابعاد
۱۵	۲-۶ انواع آزمونه‌ها
۱۶	۳-۶ آماده سازی آزمونه‌ها
۱۶	۷ محاسبه سطح مقطع اولیه
۱۷	۸ طول مبنای اولیه و طول مبنای اکستنسومتر
۱۷	۱-۸ انتخاب طول مبنای اولیه
۱۷	۲-۸ علامت گذاری طول مبنای اولیه
۱۷	۳-۸ انتخاب طول مبنای اکستنسومتر
۱۸	۹ درستی دستگاه آزمون
۱۸	۱۰ شرایط آزمون
۱۸	۱۱-۱۰ تنظیم نقطه صفر نیرو
۱۸	۱۲-۱۰ روش گیرش
۱۹	۱۳-۱۰ سرعت آزمون
۲۴	۱۱ تعیین نقطه تسلیم بالایی
۲۵	۱۲ تعیین نقطه تسلیم پایینی
۲۵	۱۳ تعیین نقطه تسلیم قرادادی، افزایش طول پلاستیک
۲۵	۱۴-۱۳ محاسبه R_p از روی نمودار نیرو - افزایش طول
۲۶	۱۵-۱۳ تعیین خواص بدون رسم منحنی نیرو - افزایش طول
۲۶	۱۶ تعیین استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل

صفحه	عنوان
۲۶	۱-۱۴ تعیین R_t از روی منحنی نیرو - افزایش طول
۲۶	۲-۱۴ تعیین خواص بدون رسم منحنی نیرو - افزایش
۲۶	۱۵ روش تصدیق استحکام دائمی
۲۷	۱۶ تعیین درصد افزایش طول در نقطه تسلیم
۲۷	۱۷ تعیین درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو
۲۷	۱۸ تعیین درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو
۲۸	۱۹ تعیین درصد افزایش طول کل در شکست
۲۸	۲۰ تعیین درصد ازدیاد طول پس از شکست
۲۸	۱-۲۰ تعیین درصد ازدیاد طول پس از شکست از روی نمونه
۲۹	۲-۲۰ تعیین درصد ازدیاد طول پس از شکست بوسیله اکستنومتر
۲۹	۳-۲۰ تعیین درصد ازدیاد طول پس از شکست به روش مقایسه‌ای
۳۰	۲۱ محاسبه درصد کاهش سطح مقطع
۳۰	۲۲ گزارش آزمون
۳۱	۲۳ عدم قطعیت اندازه‌گیری
۳۱	۱-۲۳ کلیات
۳۱	۲-۲۳ شرایط آزمون
۳۱	۳-۲۳ نتایج آزمون
۴۵	پیوست الف (آگاهی دهنده)؛ توصیه‌هایی درباره استفاده از دستگاه‌های آزمون کشش که تحت کنترل رایانه می‌باشد.
۵۳	پیوست ب (الزامی)؛ انواع آزمون‌ها مورد استفاده برای محصولات نازک: ورق‌ها، تسممه‌ها و محصولات تخت با ضخامت بین 0.1 mm و 0.3 mm
۵۶	پیوست پ (الزامی)؛ انواع آزمون‌های مورد استفاده برای سیم، میله و مقاطع با قطر یا ضخامت کمتر از 4 mm
۵۷	پیوست ت (الزامی)؛ انواع آزمونه مورد استفاده برای ورق‌ها و محصولات تخت با ضخامت برابر یا بیشتر از 3 mm و سیم، میله‌ها و مقاطع با قطر یا ضخامت برابر یا بیشتر از 4 mm
۶۲	پیوست ث (الزامی)؛ انواع آزمون‌های مورد استفاده برای لوله‌ها
۶۴	پیوست ج (آگاهی دهنده)؛ تخمین سرعت دور شدن فک‌ها از یکدیگر با درنظر گرفتن سفتی (یا انطباق) تجهیزات آزمون

صفحه	عنوان
۶۶	پیوست چ (الزامی)؛ تعیین مدول الاستیسیته مواد فلزی با استفاده از آزمون کششی تک محوره
۷۸	پیوست ح (آگاهی دهنده)؛ اندازه‌گیری درصد افزایش طول پس از شکست اگر مقدار مشخص شده کمتر از ۵٪ باشد
۷۹	پیوست خ (آگاهی دهنده)؛ اندازه‌گیری درصد ازدیاد طول بعد از شکست بر اساس تقسیم‌بندی‌های جزیی طول مبنای اولیه
۸۱	پیوست د (آگاهی دهنده)؛ تخمین درصد ازدیاد طول پلاستیک بدون گلوبی شدن (Awn) برای محصولات طویل مانند میله‌ها، سیمه‌ها و مفتول‌ها
۸۲	پیوست ذ (آگاهی دهنده)؛ تخمین عدم قطعیت اندازه گیری
۸۸	پیوست ر (آگاهی دهنده)؛ دقت آزمون کشش - نتایج حاصل از مطالعات بین آزمایشگاهی
۹۷	کتاب نامه

پیش‌گفتار

استاندارد « مواد فلزی - آزمون کشش - قسمت ۱: روش آزمون در دمای اتاق » که نخستین بار در سال ۱۳۸۶ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در یک هزار و پانصد و چهل و ششمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلزشناسی مورخ ۱۳۹۶/۲/۱۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۴۷۲ : سال ۱۳۸۶ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی/ منطقه‌ای زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است

ISO 6892-1: 2016, Metallic materials – Tensile testing-part1: Method of test at room temperatur

مقدمه

« این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران به شماره ۱۰۲۷۲ است »
قسمت‌های دیگر این استاندارد عبارت هستند از:

- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۷۲-۲ : سال ۱۳۹۲، مواد فلزی-آزمون کشش- قسمت ۲: روش آزمون در
دماه بالا؛

- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۷۲-۳ : سال ۱۳۹۴، مواد فلزی-آزمون کشش- قسمت ۳: روش آزمون در
دماه پایین؛

- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۷۲-۴ : (در دست تدوین)، مواد فلزی-آزمون کشش- قسمت ۴: روش
آزمون در هلیم مایع؛

در این استاندارد روش آزمون کشش در دماه اتاق، انواع آزمونه های کشش و روش اندازه‌گیری عدم قطعیت
شرح داده شده است.

مواد فلزی - آزمون کشش - قسمت ۱: روش آزمون در دمای اتاق

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارئه روش آزمون کشش مواد فلزی و تعیین خواص مکانیکی که می‌توان در دمای اتاق مشخص نمود می‌باشد.

یادآوری - پیوست الف شامل توصیه‌های تکمیلی برای دستگاه‌های آزمونی است که با رایانه کنترل می‌شوند.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابط وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 7500-1, Metallic materials- Verification of static uniaxial testing machine- part 1: Tension/compression testing machines- Verification and calibration of the force-measuring system

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۷۶۸-۱: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی - کالیبراسیون و تصدیق ماشین‌های آزمون تک محوری ایستا - قسمت ۱ - ماشین‌های آزمون کشش - فشار - کالیبراسیون و تصدیق سامانه اندازه گیری نیرو با منبع ISO 7500-1: 2015 تدوین شده است

2-2 ISO 9513, Metallic materials- Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌روند:

یادآوری - در متن این استاندارد، شناسه‌های «نیرو» و «تنش» یا «افزایش طول»، «درصد افزایش طول» و «کرنش»، به ترتیب در موقع مختلف استفاده می‌شود (مانند برچسب‌های محورهای شکل یا در توضیح محاسبه خواص مختلف). به هر حال

برای بیان کلی یا نقطه روی منحنی، شناسه « نیرو » و « تنش » یا « افزایش طول »، « درصد افزایش طول » و « کرنش » به ترتیب می‌تواند تغییر یابد.

۱-۳

طول مبنا

L

gauge length

طول قسمت موازی آزمونه که از دیاد طول در هر لحظه از آزمون روی آن اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۱-۳

طول مبنای اولیه

L_0

original gauge length

طول علامت زده در طول مبنای (به زیربند ۱-۳ مراجعه شود) آزمونه که قبل از آزمون در دمای اتاق اندازه-گیری می‌شود.

۲-۱-۳

طول مبنای نهايی پس از شکست

L_u

final gauge length after fracture

طول بین علامت‌های طول مبنای (به زیربند ۱-۳ مراجعه شود) آزمونه که بعداز شکست در دمای اتاق اندازه‌گیری می‌شود، دو قطعه به دقت به هم چسبانده می‌شوند به نحوی که محورهای آن‌ها در راستای یک خط قرار گیرند.

۲-۳

طول موازی

L_c

parallel length

طول قسمت موازی از مقطع کاهش داده شده آزمونه یادآوری - در آزمونه‌های ماشین کاری نشده ، مفهوم طول موازی با مفهوم فاصله بین فک‌ها جايگزين می‌شود.

۳-۳

ازدیاد طول

elongation

افزایش طول مبنای اولیه (به زیربند ۱-۱-۱ مراجعه شود) در هر لحظه از آزمون است.

۴-۳

درصد ازدیاد طول

percentage elongation

بیان ازدیاد طول به صورت درصدی از طول مبنای اولیه (به زیربند ۱-۱-۳ مراجعه شود) است.

۱-۴-۳

درصد ازدیاد طول دائمی

percentage permanent elongation

افزایش طول مبنای اولیه (به زیربند ۱-۱-۱ مراجعه شود) آزمونه پس از حذف یک تنش مشخص، به صورت درصدی از طول مبنای اولیه، L_0 بیان می‌شود.

۲-۴-۳

درصد ازدیاد طول بعد از شکست

A

percentage elongation after fracture

ازدیاد طول دائمی طول مبنای پس از شکست ($L_u - L_o$)، به صورت درصدی از طول مبنای اولیه بیان می‌شود (به زیربند ۱-۱-۳ مراجعه شود).

یادآوری: برای اطلاعات بیشتر به زیربند ۱-۸ مراجعه شود.

۵-۳

طول مبنای اکستنسومتر

L_e

extensometer gauge length

طول مبنای اولیه اکستنسومتر استفاده شده برای اندازه‌گیری ازدیاد طول توسط اکستنسومتر است.

یادآوری: برای اطلاعات بیشتر به زیربند ۳-۸ مراجعه شود.

۶-۳

افزایش طول

extention

افزایش طول مبنای اکستنسو متر (به زیربند ۵-۳ مراجعه شود) در هر لحظه از آزمون است.

۱-۶-۳

درصد افزایش طول (کرنش)

e

percentage extension (strain)

افزایش طول که به صورت درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می‌شود (به زیربند ۵-۳ مراجعه شود).
یادآوری - عموماً e کرنش مهندسی نامیده می‌شود.

۲-۶-۳

درصد افزایش طول دائمی

percentage permanent extension

افزایش در طول مبنای اکستنسومتر، پس از حذف تنفس مشخص از آزمونه به صورت درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می‌شود (به زیربند ۵-۳ مراجعه شود).

۳-۶-۳

درصد افزایش طول نقطه تسلیم

A_e

percentage yield point extention

در مواد با تسلیم غیرپیوسته، افزایش طول بین شروع کارسختی تا شروع تسلیم یکنواخت که به صورت درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می‌شود (به زیربند ۵-۳ مراجعه شود).
یادآوری - به شکل ۷ مراجعه گردد.

۴-۶-۳

درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو

A_{ge}

percentage total extension at maximum force

افزایش طول کل (افزایش طول الاستیک به علاوه افزایش طول پلاستیک) در حداکثر نیرو که بر حسب درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می شود(به زیربند ۳-۵ مراجعه شود).
یادآوری - به شکل ۱ مراجعه گردد.

۵-۶-۳

درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو

A_g

percentage plastic extension at maximum force

افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو که بر حسب درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می شود(به زیربند ۳-۵ مراجعه شود).
یادآوری - به شکل ۱ مراجعه گردد.

۶-۶-۳

درصد افزایش طول کل در شکست

A_t

percentage total extension at fracture

افزایش طول کل (افزایش طول الاستیک به علاوه افزایش طول پلاستیک) در لحظه شکست که بر حسب درصدی از طول مبنای اکستنسومتر بیان می شود(به زیربند ۳-۵ مراجعه گردد).
یادآوری - به شکل ۱ مراجعه گردد.

۷-۳ سرعت آزمون

۱-۷-۳

نرخ کرنش

e_{le}

strain rate

افزایش کرنش در واحد زمان که در طول مبنای اکستنسو متر به وسیله اکستنسومتر اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۷-۳

نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی

e_{lc}

estimated strain rate over the parallel length

مقدار افزایش کرنش طول موازی آزمونه در واحد زمان بر اساس سرعت دور شدن فک‌ها از یکدیگر و طول موازی آزمونه است.

۳-۷-۳

سرعت دور شدن فک‌ها از یکدیگر

v_c

crosshead separation rate

جابجایی فک‌ها از یکدیگر در واحد زمان می‌باشد.

۴-۷-۳

نرخ تنش

R

stress rate

افزایش تنش در واحد زمان می‌باشد.

یادآوری - نرخ تنش فقط باید در ناحیه الاستیک آزمون (روش B) به کار گرفته شود (به زیربند ۱۰-۳-۳ مراجعه شود).

۸-۳

درصد کاهش سطح مقطع

Z

percentage reduction of area

حداکثر تغییر در سطح مقطع (S_o-S_u) که در طی مدت آزمون رخ می‌دهد، برحسب درصدی از سطح مقطع اولیه (S_o) بیان می‌شود.

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$$

۹-۳ حداکثر نیرو

۱-۹-۳

حداکثر نیرو

F_m

maximum force

حداکثر نیرویی که آزمونه در طی آزمون تحمل می‌کند برای موادی که دارای تسلیم غیر پیوسته نمی‌باشند

۲-۹-۳

حداکثر نیرو

F_m

maximum force

حداکثر نیروی که آزمونه در طی آزمون پس از آغاز کارسختی تحمل می‌کند برای موادی که دارای تسلیم غیر پیوسته می‌باشند

یادآوری ۱- برای موادی که دارای تسلیم غیر پیوسته می‌باشند اما اگر عدم اعمال کارسختی برای آنها اثبات شود در این استاندارد F_m مشخص نمی‌گردد (به پانوشت شکل ۸ پ مراجعه گردد).

یادآوری ۲- به شکل ۸ الف و ب مراجعه شود.

۱۰-۳

تنش

R

Stress

در هر لحظه از آزمون از تقسیم نیرو بر سطح مقطع اولیه آزمونه (S_0) حاصل می‌شود.
یادآوری - تمامی ارجاعات به تنش در این استاندارد، تنش مهندسی می‌باشد.

۱-۱۰-۳

استحکام کششی

R_m

tensile strength

تنش مربوط به حداقل نیرو (F_m) (به زیربند ۲-۹-۳ مراجعه شود).

۲-۱۰-۳

استحکام تسلیم

yield strength

هنگامی که مواد فلزی رفتار تسلیم را نشان می‌دهد تنش متناظر به نقطه‌ای رسیده است که تغییر شکل پلاستیک بدون هیچ افزایش نیرویی اتفاق می‌افتد.

۱-۲-۱۰-۳

استحکام تسلیم بالایی

R_{eH}

upper yield strength

حداکثر مقدار تنش در لحظه‌ای که اولین کاهش نیرو مشاهده می‌گردد (به زیربند ۱۰-۳ مراجعه شود).
یادآوری - به شکل ۲ مراجعه گردد.

۲-۲-۱۰-۳

استحکام تسلیم پایینی

R_{el}

lower yield strength

پایین ترین مقدار تنش در طی تسلیم پلاستیک، از تاثیرات ابتدایی گذرا صرف نظر می‌شود (به زیربند ۳-۱۰).
مراجعه شود).

یادآوری - به شکل ۲ مراجعه گردد.

۳-۱۰-۳

استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک

R_p

strength, plastic extension

تنش درجایی که افزایش طول پلاستیک با درصد مشخصی از طول مبنای اکستنسومتر برابر است(به زیربند ۳-۵).
مراجعه شود).

یادآوری ۱- یک پسوند زیرنویس جهت نمایش درصد از پیش تعریف شده اضافه می‌شود مثلاً $R_{p,0.2}$.

یادآوری ۲- به شکل ۳ مراجعه گردد.

۴-۱۰-۳

استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل

R_t

strength, total extension

تنش درجایی که افزایش طول کل (افزایش طول الاستیک به علاوه افزایش طول پلاستیک) با درصد مشخصی از طول مبنای اکستنسومتر برابر است (به زیربند ۳-۵ مراجعه شود).

یادآوری ۱- یک پسوند زیرنویس جهت نمایش درصد از پیش تعریف شده اضافه می‌گردد، مثلاً $R_{t,0.05}$.

یادآوری ۲- به شکل ۴ مراجعه گردد.

۵-۱۰-۳

استحکام دائمی

R_r

permanent set strength

تنش تا حدی که پس از حذف نیرو از دیاد طول یا افزایش طول دائمی (برحسب درصدی از طول مبنای اولیه یا طول اکستنسومتر بیان می‌شود) از یک مقدار مشخص شده بیشتر نشود.

یادآوری ۱: یک پسوند زیرنویس برای نمایش درصد طول مبنای اولیه، L_0 ، یا طول مبنای اکستنسومتر، Le ، از پیش تعریف شده اضافه می‌شود مثلاً $R_{r,0.2}$.

یادآوری ۲- به شکل ۵ مراجعه گردد.

۱۱-۳

شکست

fracture

پدیده‌ای که هنگام جدایش کلی آزمونه رخ می‌دهد.

یادآوری - معیار مربوط به شکست برای آزمون‌های که توسط رایانه کنترل می‌شود در شکل الف-۲ داده شده است.

۱۲-۳

دستگاه آزمون کشش کنترل شده با رایانه

computer- controlled tensile testing machine

دستگاهی برای کنترل و مشاهده آزمون، اندازه‌گیری‌ها و محاسبات که توسط رایانه انجام می‌گردد.

۱۳-۳

مدول الاستیسیته

E

modulus of elasticity

حاصل تقسیم تغییرات تنش، ΔR ، بر تغییرات درصد افزایش طول، Δe ، در محدوده محاسبه شده ضرب در ۱۰۰٪.

$$E = \frac{\Delta R}{\Delta e} \times 100 \%$$

یادآوری ۱- توصیه می‌گردد مقادیر برحسب GPa و گرد شده تا ۱/۰ مطابق با استاندارد ISO 80000-1 گزارش شود.

۱۴-۳

مقدار پیش فرض

default value

مقدار پایینی و بالایی تنش و کرنش مرتبط با آن که برای توصیف محدوده‌های مدول‌های الاستیسیته محاسبه شده است

۱۵-۳

ضریب تصحیح

R^2

coefficient of correlation

نتایجی اضافه بر خط رگرسیون که کیفیت منحنی تنش-کرنش را در محدوده محاسبه شده توصیف می‌کند.

یادآوری ۱- کاربرد نماد R^2 یک نماد ریاضی رگرسیون است و مقدار مربع تنش را بیان نمی‌کند.

۱۶-۳

انحراف استاندارد شیب

S_m

standard deviation of the slope

نتایجی اضافه بر خط رگرسیون که اختلاف مقادیر تنش را با بهترین خط داده شده برای مقادیر افزایش طول در محدوده محاسبه شده توصیف می‌کند.

۱۷-۳

انحراف استاندارد نسبی شیب

$S_{m(rel)}$

relative standard deviation of the slope

حاصل عبارت انحراف استاندارد شیب تقسیم بر شیب محدوده محاسباتی ضرب در٪ ۱۰۰

$$S_{m(rel)} = \frac{S_m}{E} \times 100 \%$$

نمادهای به کار رفته در این استاندارد و شناسه مربوط به آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نمادها و شناسه‌ها

نماد	واحد	شناسه
آزمونه		
$a_o T^a$	mm	ضخامت اولیه آزمونه تخت یا ضخامت جداره یک لوله
b_o	mm	عرض اولیه طول موازی آزمونه تخت یا متوسط عرض یک تسمه طول از لوله یا عرض سیم تخت
d_o	mm	قطر اولیه طول موازی آزمونه گرد، یا قطر مفتول یا قطر داخلی یک لوله
D_o	mm	قطر بیرونی اولیه یک لوله
L_o	mm	طول مبنای اولیه
$L_{\square o}$	mm	طول موازی برای تعیین A_{wn} (به پیوست د مراجعه شود)
L_c	mm	طول موازی
L_e	mm	طول مبنای اکستنسو متر
L_t	mm	طول کلی آزمونه
L_u	mm	طول مبنای نهایی پس از شکست
$L_{\square u}$	mm	طول مبنای نهایی پس از شکست جهت تعیین A_{wn} (به پیوست د مراجعه شود)
S_o	mm^2	سطح مقطع اولیه طول موازی
S_u	mm^2	حداقل سطح مقطع پس از شکست
K	-	ضریب تناسب (به زیربند ۱-۱-۶ مراجعه شود)
Z	%	درصد کاهش سطح مقطع
ازدیاد طول		
A	%	درصد ازدیاد طول پس از شکست (به زیربند ۳-۴-۲ مراجعه شود)
A_{wn}	%	درصد ازدیاد طول پلاستیک بدون گلوبی شدن (به پیوست د مراجعه شود)
افزایش طول		
e	%	افزایش طول
A_e	%	درصد افزایش طول نقطه تسلیم
A_g	%	درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو (F_m)
A_{gt}	%	درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو (F_m)
A_t	%	درصد افزایش طول کل در شکست
ΔL_m	mm	افزایش طول در حداکثر نیرو
ΔL_f	mm	افزایش طول در شکست
نرخ ها		

شناسه	واحد	نماد
نرخ کرنش	S^{-1}	$\dot{\epsilon}_{Le}$
نرخ کرنش تخمین زده شده روی طول موازی	S^{-1}	$\dot{\epsilon}_{Lc}$
نرخ تنش	$MPa\ s^{-1}$	\square
سرعت دور شدن فک ها از یکدیگر	$mm\ s^{-1}$	V_c
نیرو		
حداکثر نیرو	N	F_m
استحکام تسلیم- استحکام تسلیم قراردادی- استحکام کششی		
تنش	MPa^b	R
استحکام تسلیم بالایی	MPa	R_{eH}
استحکام تسلیم پایینی	MPa	R_{eL}
استحکام کششی	MPa	R_m
استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک	MPa	R_p
استحکام دائمی مشخص شده	MPa	R_r
استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل	MPa	R_t
مدول الاستیسیته - شیب منحنی تنش درصد افزایش طول		
مدول الاستیسیته ^c	GPa	E
شیب منحنی تنش- درصد افزایش طول در یک لحظه مشخص از آزمون	MPa	m
شیب قسمت الاستیک منحنی تنش- درصد افزایش طول ^d	MPa	m_E
مقدار تنش پایینی	MPa	R_I
مقدار تنش بالایی	MPa	R_2
مقدار کرنش پایینی	%	e_I
مقدار کرنش بالایی	%	e_2
ضریب تصحیح	-	R^2
انحراف استاندارد شیب	MPa	S_m
انحراف استاندارد نسبی شیب	%	$S_{m(rel)}$
^a نماد به کار رفته در استاندارد های محصول لوله فلزی ^b $1 MPa = 1 Nmm^{-2}$		
^c محاسبه مدول الاستیسیته در پیوست خ شرح داده شده است. لازم نیست از پیوست خ جهت تعیین شیب قسمت الاستیک منحنی تنش- درصد افزایش طول برای محاسبه استحکام تسلیم قراردادی استفاده شود.		
^d در قسمت الاستیک منحنی تنش- درصد افزایش طول مقدار شیب الزاماً نشان دهنده مدول الاستیسیته نمی باشد. این مقدار کاملاً با میزان مدول الاستیسیته مطابقت خواهد داشت اگر شرایط بهینه استفاده شود. (به پیوست خ مراجعه شود)		
احتیاط - چنان چه مقادیر درصدی به کار رفته باشد ضریب ۱۰۰ مورد نیاز است.		

۵ اصول

آزمون شامل کرنش یک آزمونه در اثر اعمال نیروی کششی، عموماً تا شکست و به منظور تعیین یک یا چند ویژگی مکانیکی تعریف شده در زیربند ۳ می شود.

در صورتی که طور دیگری تعریف نشده باشد آزمون باید در دمای اتفاق بین 10°C تا 35°C انجام شود. برای آزمایشگاههایی که شرایط آنها خارج از الزامات تعریف شده باشد مسئولیت رسیدن به اطلاعات آزمون و کالیبراسیون محصول برای دستگاه آزمونی که در آن شرایط کار می کند، به عهده آزمایشگاه آزمون است. در صورتی که آزمون و کالیبراسیون خارج از شرایط محیطی تعریف شده بین 10°C تا 35°C انجام شود، دما باید ثبت و گزارش شود. اگر شیب دمایی قابل ملاحظه ای در طی آزمون و کالیبراسیون انجام شود، ممکن است عدم قطعیت افزایش یابد و شرایط خارج از رواداری رخ دهد.

آزمون در شرایط تحت کنترل باید در دمای $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ انجام شود.

اگر محاسبه مدول الاستیسیته در آزمون کشش درخواست شود، باید مطابق پیوست خ انجام شود.

۶ آزمونهای

۱-۶ شکل و ابعاد

۱-۱-۶ کلیات

شكل و ابعاد آزمونه می تواند توسط شکل و ابعاد محصول فلزی که آزمونهای از آن تهیه می شوند، محدود گردد.

آزمونه معمولاً از ماشین کاری یک نمونه از محصول یا یک قطعه خام پرس شده یا ریخته گری شده حاصل می شود اما محصولات با سطح مقطع یکنواخت (مقاطع، میله ها، سیم ها و ...) و نیز آزمونهای ریخته گری شده (برای چدن و آلیاژهای غیر آهنی) می توانند بدون اینکه ماشین کاری شوند مورد آزمون قرار گیرند.

سطح مقطع آزمونه می تواند گرد، مربع، مستطیل، حلقوی یا در موارد خاص دیگر مقاطع یکنواخت هم باشد.

ترجیحاً رابطه مستقیمی بین طول مبنای اولیه، L_0 ، و سطح مقطع اولیه، H_0 ، آزمونه وجود دارد که از طریق معادله $K = L_0 \sqrt{S_0}$ بیان می شود، این آزمونهای آزمونهای نامیده می شوند و K ضریب تناسب نامیده می شود. مقدار بین المللی برای K ، 5.65 می باشد. طول مبنای اولیه نباید کمتر از 15mm باشد هنگامیکه سطح مقطع آزمونه آنقدر کوچک باشد که با ضریب $5.65 = K$ الزام فوق تامین نگردد، باید از ضریب بالاتر (ترجیحاً 11.3) و یا یک آزمونه غیرتناسبی استفاده نمود.

بادآوری - در صورت به کار گیری طول مبنای اولیه کوچکتر از 20 mm عدم قطعیت نتیجه برای «ازدیاد طول بعد از شکست» افزایش می یابد.

در مورد آزمونه غیرتناسبی، طول مبنای اولیه (L_o) ، مستقل از سطح مقطع اولیه (S_o) می باشد. رواداری های ابعاد آزمونه ها باید مطابق با پیوست های ب تا ث باشد (به زیربند ۲-۶ مراجعه شود). سایر آزمونه ها همانند آن هایی که در استانداردهای محصول مربوطه یا استانداردهای ملی مشخص گردیده با توافق مشتری می توانند مورد استفاده قرار گیرند، مثلاً ISO 3193 [1] ، API 5L [2] ، DIN 50125 [10] ، ASTM E8M [7] ، ASTM A370 [6] ، ISO 11960 [2] ، (API 5CT) ، JIS Z 2241^[14] و IACS W2 [13]

۶-۱ آزمونه های ماشین کاری شده

آزمونه های ماشین کاری شده در صورتی که دارای ابعاد مختلف باشند، باید دارای یک شعاع انتقالی بین انتهای فک گیر و طول موازی باشند. ابعاد شعاع انتقالی دارای اهمیت می باشد و توصیه می گردد در صورتی که در پیوست مربوطه (به زیربند ۲-۶ مراجعه شود) ارایه نشده، در مشخصات ماده قید گردد.

قسمت انتهای فک گیر می تواند جهت مطابقت با گیره های دستگاه، بهر شکلی باشد. محور آزمونه باید بر محور اعمال نیرو منطبق باشد.

طول موازی (L_c) ، یا در مواردی که آزمونه دارای شعاع انتقالی نمی باشد، طول آزاد بین فک ها باید همواره از طول مبنای اولیه (L_o) بزرگتر باشد.

۶-۲ آزمونه های ماشین کاری نشده

چنان چه آزمونه شامل یک طول ماشین کاری نشده محصول و یا یک میله آزمون ماشین کاری نشده باشد، طول آزاد بین فک ها برای علامت گذاری مبنای باید فاصله مناسبی از فک ها داشته باشد (به پیوست ب تا ث مراجعه شود).

در آزمونه های ریخته گری شده، قسیم انتهای فک گیرهای آزمونه باید با یک شیب انتقالی به قسمت دارای طول موازی مرتبط شود. ابعاد این شعاع انتقال مهم می باشد و توصیه می گردد در استاندارد محصول ذکر شود. انتهای فک گیرهای می تواند بهر شکلی تناسبی با فک های دستگاه آزمون باشد. طول موازی (L_c) همیشه باید از طول مبنای اولیه بزرگتر باشد.

۶-۳ انواع آزمونه ها

انواع اصلی آزمونه ها در پیوست های ب تا ث مطابق با شکل و نوع محصول، همان گونه که در جدول ۲ نمایش داده شده، ذکر گردیده اند. سایر انواع آزمونه ها می توانند در استانداردهای محصول ذکر شود.

جدول ۲- انواع اصلی آزمونهای مطابق با نوع محصول

ابعاد بر حسب میلی متر

پیوست مربوطه	نوع محصول	صفحات - ورق ها - مقاطع تخت
	مقاطع - میله - سیم	
	  	
	قطر یا ضلع	ضخامت
ب	-	$0.1 \leq \square < 3$
پ	< 4	-
ت	≥ 4	$\square \geq 3$
ث	لوله ها	

۳-۶ آماده سازی آزمونهای

آزمونهای باید مطابق الزامات استانداردهای بینالمللی برای مواد مختلف انتخاب و آماده سازی شوند. (مانند استاندارد ISO 377).

۷ اولیه مقطع سطح محاسبہ

بعاد مرتبط با آزمونه باید در سطح مقطع مناسب عمود بر محور طول در نقطه مرکزی طول موازی آزمونه اندازه‌گیری شود.

حداقل سه سطح مقطع توصیه می‌گردد.

سطح مقطع اولیه (S_o) ، سطح مقطع متوسط می باشد و باید با اندازه گیری ابعاد مناسب محاسبه گردد.

درستی این محاسبه به نوع و ماهیت آزمونه وابسته است. پیوستهای ب تا ث روش‌های مربوط به ارزیابی S_5 برای انواع مختلفی از آزمونه‌ها را شرح می‌دهد و شامل مشخصات مربوط به درستی اندازه‌گیری می‌باشد.

تمام ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده برای محاسبه سطح مقطع اولیه باید مطابق استاندارد مرجع مناسب قابل رדיابی به سیستم اندازه شناسی ملی، کالیبره شده باشند.

۸ طول مبنای اولیه و طول مبنای اکستنسومتر

۱-۸ انتخاب طول مبنای اولیه

برای آزمونهای تناسبی، در صورتی که طول مبنای اولیه معادل $\sqrt{S_0} = 5,65$ نباشد (که در آن S_0 سطح مقطع اولیه طول موازی است)، اندیس نماد A نشان دهنده ضریب تناسبی مورد استفاده است مثلاً $A_{11,3}$ درصد از دیاد طول در طول مبنای (L_0) مطابق معادله ذیل نشان می‌دهد:

$$A_{11,3} = 11,3\sqrt{S_0}$$

$$5,65\sqrt{S_0} = S \sqrt{\frac{4S_0}{\pi}} \quad \text{یادآوری -}$$

برای آزمونهای غیر تناسبی (به پیوست ب مراجعه گردد)، نماد A باید دارای زیرنویس نشان دهنده طول مبنای اولیه به کار رفته برحسب میلی متر باشد. مثلاً A_{80mm} نشان دهنده درصد از دیاد طول با طول مبنای (L_0) ۸۰ mm است.

۲-۸ علامت‌گذاری طول مبنای اولیه

برای محاسبات دستی از دیاد طول بعد از شکست (A) هر یک از دو سر طول مبنای اولیه (L_0) باید به وسیله خطوط نشانه و یا علایم نازک علامت‌گذاری شود ولی نباید طوری علامت‌گذاری شوند که باعث شکستگی پیش از موعد شود. طول مبنای اولیه باید با درستی $\pm 1\%$ علامت‌گذاری شود.

در مورد آزمونهای تناسبی، مقدار محاسبه شده طول مبنای اولیه می‌تواند تا نزدیک‌ترین عدد مضرب ۵ گرد شود مشروط به این که اختلاف بین طول مبنای محاسباتی و علامت‌گذاری شده کمتر از ۱۰٪ باشد.

چنان‌چه طول موازی (L_c) از طول مبنای اولیه خیلی بزرگ‌تر باشد، برای مثال در خصوص آزمونهای ماشین کاری نشده می‌تواند چندین طول مبنای با محدوده‌های مشترک علامت‌گذاری کرد.

در برخی موارد بهتر است یک خط روی سطح آزمونه به موازات محور طولی و در امتداد محور طول مبنای رسم گردد.

۳-۸ انتخاب طول مبنای اکستنسومتر

برای اندازه‌گیری پارامترهای استحکام تسلیم و استحکام قراردادی، L_e بهتر است تا حد ممکن طول موازی آزمونه را پوشش دهد. به طور ایده‌آل حداقل توصیه می‌شود L_e از L_0 ۰.۵ بزرگ‌تر است اما تقریباً از $0.9L_c$ کمتر باشد. این، اطمینان می‌دهد که تمام رخدادهای تسلیم که در آزمونه رخ می‌دهد توسط اکستنسومتر مشخص گردد. همچنین برای اندازه‌گیری متغیرها در و بعد از رسیدن آزمون به بیشترین نیرو، L_e باید تقریباً مساوی با L_0 باشد.

۹ درستی دستگاه آزمون

سیستم اندازه‌گیری دستگاه آزمون باید مطابق با استاندارد class1 ISO 7500-1؛ یا بهتر کالیبره گردد. جهت محاسبه استحکام تسلیم قراردادی (پلاستیک یا افزایش طول کل)، اکستنسومتر به کار رفته در محدوده مربوطه باید مطابق با استاندارد ISO 9513، class1 یا بهتر باشد. برای سایر خواص (با ازدیاد طول بیش از ۵٪) از اکستنسومتر مطابق با ISO 9513, class2 در محدوده مربوطه می‌توان استفاده کرد.

۱۰ شرایط آزمون

۱-۱۰ تنظیم نقطه صفر نیرو

سیستم اندازه‌گیری نیرو باید قبل از گیرش کامل واقعی آزمونه در هر دو انتهای پس از آن که مجموعه بارگذاری آزمون آماده گردید، روی نقطه صفر تنظیم شود. هنگامی که نقطه صفر نیرو تنظیم شد، سیستم اندازه‌گیری نیرو را نمی‌توان به هیچ وجه در مدت آزمون تغییر داد.

یادآوری - به کارگیری این روش، از یک سو وزن سیستم گیرش در اندازه‌گیری نیرو را جبران می‌کند و از سوی دیگر اثر هر نیروی ناشی از عملیات گیرشی را روی این اندازه‌گیری خنثی می‌کند.

۲-۱۰ روش گیرش

آزمونهای باید با استفاده از ابزار مناسب از قبیل فک‌های گوهای، پیچشی، فک‌های با سطوح موازی یا نگه دارندهای پله‌ای تحت گیرش قرار گیرند.

هر کوشش لازم جهت حصول اطمینان از این که آزمونهای بروشی نگه داشته می‌شوند که نیرو تا حد امکان به صورت محوری اعمال شود، به طوری که خمیش به حداقل برسد (اطلاعات بیشتر به استاندارد ASTM E 1012^[8] مراجعه شود) باید به کار گرفته شود به ویژه هنگامی که مواد ترد آزمایش می‌شوند یا هنگام مشخص نمودن استحکام تسلیم قراردادی (افزایش طول پلاستیک)، استحکام تسلیم قراردادی (افزایش طول کل) یا استحکام تسلیم بسیار اهمیت دارد.

به منظور اطمینان از هم راستایی آزمونه و تنظیم گیرش، می‌توان نیروی اولیه که از بیش از ۵٪ استحکام تسلیم مورد نظر یا مشخص بیشتر نباشد، اعمال کرد. تصحیح افزایش طول باید با درنظر گرفتن نیروی اولیه صورت گیرد.

۳-۱۰ سرعت آزمون

۱-۳-۱۰ اطلاعات کلی در خصوص سرعت‌های آزمون

در صورتی که طور دیگری مشخص نشده باشد، انتخاب روش A1، A2 یا B) و سرعت‌های آزمون با نظر تولید کننده و یا آزمایشگاه آزمون مشخص شده توسط تولیدکننده است. مشروط بر این که منطبق با الزامات این استاندارد باشد.

یادآوری ۱ - تفاوت روش A با روش B این است که سرعت آزمون مورد نیاز روش A در نقطه مورد نظر تعیین می‌گردد (مانند $Rp_{0.2}$) جائی که خواص باید تعیین شود، در حالی که در روش B سرعت آزمون مورد نیاز در محدوده الاستیک و قبل از تعیین خواص تنظیم می‌شود.

یادآوری ۲ - در شرایط ویژه استفاده از روش B) مانند نرخ تنش برای بعضی فولادها در محدوده الاستیک تقریبی 30 MPa/s ، از سیستم گیره‌هایی با سفتی بالا و برای آزمونهایی مطابق با پیوست ب، جدول ب-۱ آزمونه نوع ۲ استفاده می‌شود، یک نرخ کرنش نزدیک محدوده ۲ روش A می‌تواند مراجعه گردد.

یادآوری ۳ - استانداردهای محصول و به دنبال آن استانداردهای آزمون (مانند استانداردهای هوا و فضا) می‌تواند سرعت آزمونی متفاوت از این استاندارد را تعیین نماید.

۲-۳-۱۰ سرعت آزمون بر اساس نرخ کرنش (روش A)

۱-۲-۳-۱۰ کلیات

روش A به منظور به حداقل رساندن تغییرات سرعت آزمون در طی حرکت و هنگام تعیین پارامترهای حساس به نرخ کرنش و به حداقل رساندن عدم قطعیت اندازه‌گیری نتایج آزمون به کار گرفته می‌شود.

در این زیربند دو نوع مختلف کنترل نرخ کرنش شرح داده می‌شود:

- روش A1 حلقه بسته شامل کنترل خود نرخ کرنش ($\dot{\theta}_{Lc}$) که بر مبنای بازخورد به دست آمده از اکستنسومتر می‌باشد.

- روش A2 حلقه باز شامل کنترل تقریبی نرخ کرنش تخمینی در طول موازی ($\dot{\theta}_{Lc}$) است که از طریق سرعت دور شدن فک‌ها از یک دیگر با مقداری برابر با حاصل ضرب نرخ کرنش مورد نیاز در طول موازی به دست می‌آید (به معادله ۲ مراجعه شود).

یادآوری - یک روش اجرایی تخمینی نرخ کرنش سخت‌تر برای روش A2 در پیوست ج شرح داده شده است.

چنان‌چه ماده دارای رفتار تسلیم غیریکنواختی نباشد و نیرو به‌طور اسمی ثابت بماند، نرخ کرنش ($\dot{\theta}_{Le}$) و نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی ($\dot{\theta}_{Lc}$) تقریباً برابر خواهند بود. چنان‌چه ماده از خود تسلیم غیریکنواخت نشان دهد (مانند برخی فولادها و آلیاژهای AlMg در محدوده از دیاد طول نقطه تسلیم، یا

مواردی که تسلیم دندانه دار نشان دهد همچون اثر پرتوین- لی چاتلر^۱) یا گلوبی شدن رخ دهد اگر نیرو افزایش یابد، نرخ کرنش (سرعت دورشدن فکها از یکدیگر بر اساس معادله ۲ محاسبه می شود) به دلیل انطباق با دستگاه آزمون ممکن است کمتر از نرخ کرنش مورد نظر باشد.

سرعت آزمون باید با الزامات زیر مطابقت داشته باشد.

الف- در صورتی که طور دیگری مشخص نشده باشد، هر سرعت مناسب دیگری تا تنש معادل نصف استحکام تسلیم مورد انتظار می تواند مورد استفاده قرار گیرد. بالای این محدوده و جهت محاسبه R_{eH} , R_p یا R_t ، نرخ کرنش تعیین شده (\dot{e}_{Le}) (یا روش A2 سرعت دور شدن فکها از یکدیگر(V_c)) باید به کار گرفته شود.

در این محدوده جهت حذف اثر انطباق دستگاه آزمون کشش، استفاده از اکستنسومتر متصل شده روی آزمونه بهمنظور صحت کنترل نرخ کرنش ضروری است. برای دستگاههای آزمون کشش که قادر به کنترل نرخ کرنش نمی باشند روش A2 می تواند استفاده شود.

ب- در حین تسلیم غیریکنواخت، نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی (V_c) (به زیربند ۲-۷-۳ مراجعه شود) باید اعمال گردد. در این محدوده، امکان کنترل نرخ کرنش با استفاده از اکستنسومتر متصل شده به آزمونه به دلیل امکان وقوع تسلیم موضعی در خارج از طول مبنای اکستنسومتر وجود ندارد. نرخ کرنش تخمینی مورد نیاز روی طول موازی می تواند در این محدوده با درستی کافی و با استفاده از سرعت ثابت جدایش فکها از یکدیگر(V_c) حفظ شود.(به زیربند ۳-۷-۳ مراجعه شود) (حلقه باز)؛

$$V_c = Lc (\dot{e}_{Le}) \quad (2)$$

که در آن

(\dot{e}_{Le}) نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی است؛
 L_c طول موازی است.

پ- بعد از محدوده R_p یا R_t یا پایان تسلیم (به زیربند ۲-۷-۳ مراجعه شود) از (\dot{e}_{Le}) یا (\dot{e}_{Lc}) می توان استفاده نمود. جهت اجتناب از هرگونه مشکل در کنترل که ممکن است در صورت وقوع گلوبی شدن خارج از طول مبنای اکستنسومتر رخ دهد، توصیه می گردد که از (\dot{e}_{Lc}) استفاده شود.

نرخهای کرنش مشخص شده در زیربند ۱۰-۲-۳-۴ تا ۱۰-۲-۳-۴ در مدت تعیین ویژگی های مواد مربوطه باید حفظ شوند(به شکل ۹ مراجعه گردد).

در طی تغییر به سایر نرخ‌های کرنش یا به حالت کنترلی دیگری، هیچ‌گونه غیر یکنواختی در منحنی تنش-کرنش نباید وجود داشته باشد، چراکه مقادیر R_m یا A_{gt} را تحریف می‌کند(به شکل ۱۰ مراجعه گردد). این اثر می‌تواند با تغییر مناسب شبیب بین سرعت‌ها کاهش یابد.

شكل منحنی تنش-کرنش در محدوده کارسختی نیز می‌تواند توسط نرخ کرنش تحت تاثیر قرار گیرد. سرعت آزمون به کار رفته باید ثبت گردد(به زیریند ۱۰-۳-۴ مراجعه گردد).

۲-۲-۳-۱۰ نرخ کرنش برای محاسبه استحکام تسلیم بالایی(R_{eH}) یا خواص استحکام تسلیم قراردادی(R_t و R_p)

نرخ کرنش (\dot{e}_{Le}) باید تا و شامل تعیین R_t یا R_p و در حد امکان ثابت نگه داشته شود. طی محاسبه این خواص نرخ کرنش (\dot{e}_{Le}) باید در یکی از دو محدوده مشخص شده زیر واقع شود(به شکل ۹ مراجعه گردد).

$$\text{محدوده ۱: } \dot{e}_{Le} = 0,00007 \text{ s}^{-1} \text{ با رواداری نسبی } \pm 20\%.$$

محدوده ۲: $\dot{e}_{Le} = 0,00025 \text{ s}^{-1}$ با رواداری نسبی $\pm 20\%$ (این مقدار توصیه می‌شود مگر این‌که طور دیگری تعیین شده باشد).

چنان‌چه دستگاه آزمون قادر نباشد مستقیماً نرخ کرنش را کنترل نماید، روش A2 باید استفاده شود.

۳-۲-۳-۱۰ نرخ کرنش برای تعیین استحکام پایینی(R_{eL}) و درصد افزایش طول نقطه تسلیم(A_e)

پس از تعیین نقطه تسلیم بالایی(به پیوست الف ۳-۲ مراجعه شود) نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی \dot{e}_{Le} باید تا زمان خاتمه تسلیم غیر پیوسته در یکی از دو حدود زیر قرار گیرد(به شکل ۹ مراجعه گردد).

محدوده ۱: $\dot{e}_{Le} = 0,00025 \text{ s}^{-1}$ با رواداری نسبی $\pm 20\%$ (توصیه می‌گردد هنگامی که R_{eL} تعیین شود)

$$\text{محدوده ۲: } \dot{e}_{Le} = 0,002 \text{ s}^{-1} \text{ با رواداری نسبی } \pm 20\%.$$

۴-۲-۳-۱۰ نرخ کرنش مربوط به تعیین استحکام کششی(R_m), درصد ازدیاد طول پس از شکست(A)، درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو(A_{gt}), درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو(A_g) و درصد کاهش سطح مقطع(Z)

پس از تعیین خواص استحکام تسلیم قراردادی/تسلیم مورد نیاز، نرخ کرنش تخمینی روی طول موازی(\dot{e}_{Lc}) باید به یکی از محدوده‌های مشخص شده زیر تغییر کند(به شکل ۹ مراجعه گردد)

$$\text{محدوده ۱: } \dot{e}_{Lc} = 0,00025 \text{ s}^{-1} \text{ با رواداری نسبی } \pm 20\%.$$

$$\text{محدوده ۲: } \dot{e}_{Lc} = 0,002 \text{ s}^{-1} \text{ با رواداری نسبی } \pm 20\%.$$

محدوده ۴: $\dot{\epsilon}_{Lc} = 0.0067 \text{ s}^{-1}$ با روداری نسبی $\pm 20\%$ و 4 min^{-1} با روداری نسبی $\pm 20\%$ (توصیه می‌گردد مگر آن که طور دیگری مشخص شده باشد).

چنان‌چه هدف از آزمون کشش صرفاً تعیین استحکام کششی باشد، نرخ کرنش تقریبی روی طول موازی آزمونه، مطابق با محدوده ۳ یا ۴ در سراسر آزمون می‌تواند اعمال شود.

۳-۳-۱۰ سرعت آزمون بر اساس نرخ تنش (روش B)

۱-۳-۳-۱۰ کلیات

سرعت‌های آزمون بسته به ماهیت ماده باید با الزامات زیر مطابقت داشته باشد. درصورتی که طور دیگری مشخص نشده باشد، می‌توان هر سرعتی را تا تنشی معادل نصف استحکام تسلیم مشخص شده به کار برد. سرعت آزمون پس از این نقطه در ذیل مشخص شده است.

یادآوری - تمایل بر این نیست که در روش B نرخ تنش یا سرعت کنترل نرخ تنش با کنترل نیروی حلقه بسته در طی محاسبه خواص ثابت نگه داشته شود بلکه فقط برای تنظیم سرعت فک‌ها برای حصول نرخ تنش مورد نظر در ناحیه الاستیک در نظر گرفته می‌شود (به جدول ۳ مراجعه شود). هنگامی که یک نمونه مورد آزمون به نقطه تسلیم می‌رسد، نرخ تنش کاهش می‌یابد و ممکن است در مورد تسلیم غیر یکنواخت منفی شود. برای ثابت نگه داشتن نرخ تنش در فرآیند تسلیم دستگاه آزمون باید با سرعت بسیار بالا عمل کند که در بیشتر مواقع عملی و یا مورد نظر نیست.

۲-۳-۳-۱۰ استحکام‌های تسلیم و قراردادی

۱-۲-۳-۳-۱۰ استحکام تسلیم بالایی (R_{eH})

سرعت دور شدن فک‌های دستگاه تا حد امکان باید ثابت و در محدوده‌های سرعت‌های ذکر شده در جدول ۳ باشد.

یادآوری - جهت اطلاع، مواد با مدول الاستیسیته کوچکتر از 150000 MPa شامل آلیاژهای منیزیم، آلومینیم، برنج و تیتانیم می‌باشند. مواد با مدول الاستیسیته بزرگتر از 150000 MPa شامل آهن کارشده، فولاد، تنگستن، و آلیاژهای پایه نیکل می‌باشند.

جدول ۳- نرخ تنش

نرخ تنش \dot{R} MPa s-1	مدولهای الاستیسیته مواد E MPa
حداکثر	حداقل
۲۰	۲
۶۰	۶

۱۰-۳-۲-۲-۳-۲- استحکام تسلیم پایینی (R_{eL})

چنان چه فقط تعیین استحکام تسلیم پایینی مد نظر باشد، نرخ کرنش طول موازی آزمونه طی تسلیم باید بین ۰.۰۰۰۲۵ s^{-1} و ۰.۰۰۲۵ s^{-1} باشد نرخ کرنش طول موازی باید تا آن جا که امکان دارد ثابت نگه داشته شود. اگر این سرعت را نتوان مستقیماً کنترل کرد، باید درست قبل از شروع تسلیم توسط کنترل کننده نرخ تنش تنظیم شود، کنترل‌های دستگاه تا کامل شدن تسلیم نباید تغییر کند.

تحت هیچ شرایطی نرخ تنش در محدوده الاستیک نباید از حداکثر نرخ داده شده در جدول ۳ بیشتر شود.

۱۰-۳-۲-۳-۲- استحکام تسلیم بالایی و پایینی (R_{eL} و R_{eH})

اگر هر دو استحکام بالایی و پایینی در طی یک آزمون تعیین شوند، شرایط تعیین استحکام تسلیم پایینی باید مطابق با زیربند ۱۰-۳-۳-۲-۱ باشد.

۱۰-۳-۴-۲- استحکام تسلیم قراردادی (افزایش طول پلاستیک) و استحکام تسلیم قراردادی (افزایش طول کلی) (R_t و R_p)

سرعت دور شدن فک‌های دستگاه در محدوده الاستیک باید تا آن جا که امکان دارد ثابت و در حدود مناسب با نرخ‌های تنش ذکر شده در جدول ۳ باشد. این سرعت باید تا استحکام تسلیم قراردادی حفظ شود (افزایش طول پلاستیک یا افزایش طول کل)، در هر حالت نرخ کرنش نباید بیشتر از ۰.۰۰۲۵ s^{-1} باشد.

۱۰-۳-۵- سرعت دور شدن فک‌ها

چنان‌چه دستگاه آزمون قادر به اندازه‌گیری و یا کنترل نرخ کرنش نباشد، یک سرعت دور شدن مناسب برای فک‌ها معادل نرخ تنش مذکور در جدول ۳ تا کامل شدن تسلیم باید به کار گرفته شود.

۳-۳-۱۰ استحکام کششی (R_m)، درصد ازدیاد طول پس از شکست(A)، درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو(A_{gt}) ، درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو(A_g) و درصد کاهش سطح مقطع(Z) پس از تعیین ویژگی های استحکام تسلیم قراردادی/تسلیم مورد نظر، سرعت آزمون می تواند تا یک نرخ کرنش (یامعادل سرعت دور شدن فکها) افزایش یابد ولی این مقدار نباید بیشتر از 0.008 s^{-1} شود. اگر تنها استحکام کششی ماده اندازه گیری شود، یک نرخ کرنش می تواند در کل آزمون استفاده شود که نباید از 0.008 s^{-1} بیشتر شود.

۴-۳-۱۰ گزارش شرایط انتخابی آزمون

به منظور گزارش روش کنترل آزمون و سرعت های آزمون در یک فرم مختصر، سیستم کوتاه سازی زیر می تواند مورد استفاده قرار گیرد:

شماره این استاندارد Annn

یا

شماره این استاندارد Bn

که در آن "A" استفاده از روش A (بر اساس نرخ کرنش) و "B" استفاده از روش B را مشخص می کند (بر اساس نرخ تنش). نمادهای nnn که تا ۳ رقم می باشند مربوط به سرعت مورد استفاده در طی هر یک از بخش های آزمون می باشند همان طور که در شکل ۹ شرح داده شده است و نماد n می تواند بمنظور نمایش نرخ تنش انتخابی (بر حسب MPa s-1) در طی بارگذاری الاستیک اضافه گردد.

مثال ۱: A224 شماره این استاندارد ، نشان دهنده آزمون بر اساس کنترل نرخ کرنش می باشد که از محدوده های ۲ و ۴ استفاده شده است.

مثال ۲: B30 شماره این استاندارد ، نشان دهنده آزمون بر اساس نرخ تنش می باشد که در نرخ تنش اسمی 30 MPa s-1 انجام شده است.

مثال ۳: B شماره این استاندارد ، نشان دهنده آزمون بر اساس نرخ تنش می باشد که در نرخ تنش اسمی مطابق با جدول ۳ انجام شده است.

۱۱ تعیین استحکام تسلیم بالایی

را می توان از منحنی نیرو - ازدیاد طول و یا نشانگر قله نیرو تعیین نمود و به عنوان حداکثر مقدار تنش R_{eH} پیش از نخستین کاهش در نیرو بیان می شود. این مقدار از تقسیم این نیرو به سطح مقطع اولیه آزمونه (S_0) حاصل می شود (به شکل ۲ مراجعه گردد).

۱۲ تعیین استحکام تسلیم پایینی

از منحنی نیرو - از دیاد طول تعیین می‌شود و به عنوان پایین‌ترین مقدار تنش در مدت تسلیم پلاستیک، بدون در نظر گرفتن هرگونه اثرات ناپایدار اولیه، بیان می‌شود. Re_L از تقسیم این نیرو به سطح مقطع اولیه آزمونه (S_0) حاصل می‌شود(به شکل ۲ مراجعه گردد).

برای حالتی که مواد دارای پدیده تسلیم باشند و هنگامی که A_e تعیین نشده باشد؛ جهت بهره‌وری آزمون، Re_L را می‌توان به عنوان پایین‌ترین تنش در نخستین ۰/۲۵٪ کرنش پس از Re_H ، بدون در نظر گرفتن هر گونه تاثیر ناپایدار اولیه، گزارش نمود، پس از تعیین Re_L از این روش، سرعت آزمون می‌تواند مطابق زیربند ۱۰-۳-۲-۳-۴-۲-۳-۱۰ یا افزایش یابد. استفاده از این روش کوتاه‌تر می‌تواند در گزارش ثبت گردد.

۱۳ تعیین استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک

۱-۱۳ از روی نمودار نیرو - افزایش طول به وسیله رسم خطی به موازات قسمت خطی منحنی و با فاصله‌ای معادل درصد افزایش طول پلاستیک محاسبه می‌شود، به عنوان مثال ۰/۲٪. نقطه تقاطع خط با نمودار نیروی مرتبط با استحکام تسلیم قراردادی افزایش طول پلاستیک مورد نظر را می‌دهد. سپس از تقسیم این نیرو بر سطح مقطع اولیه آزمونه (S_0) استحکام تسلیم قراردادی به دست می‌آید(به شکل ۳ مراجعه گردد).

اگر ناحیه خطی نمودار نیرو-افزایش طول واضح نباشد، به نحوی که دقت لازم را در رسم خط موازی ندهد، روش ذیل توصیه می‌گردد(به شکل ۶ مراجعه گردد).

هنگامی که استحکام تسلیم قراردادی فرضی بیشتر شود، نیرو تا مقدار معادل حدود ۱۰٪ نیروی به دست آمده کاهش یافته است. سپس نیرو مجدداً تا مداربیشتر از نیروی اولیه افزایش می‌یابد. برای تعیین استحکام تسلیم قراردادی مورد نظر یک خط میان حلقه هیسترزیس ایجاد شده رسم می‌گردد. سپس خطی به موازات آن و با فاصله افقی از منحنی اصلاح شده و معادل اندیس درصد افزایش طول پلاستیک رسم می‌گردد. تقاطع این خط موازی و نمودار نیرو-افزایش طول نیروی مرتبط با استحکام تسلیم قراردادی را می‌دهد. از تقسیم این نیرو بر سطح مقطع اولیه آزمونه (S_0) استحکام تسلیم قراردادی به دست می‌آید(به شکل ۶ مراجعه گردد).

یادآوری - چندین روش می‌تواند برای تعیین مبدأ نمودار نیرو-افزایش طول مورد استفاده قرار گیرد. یکی از این روش‌ها رسم یک خط موازی با خط موازی رسم شده در حلقه هیسترزیس معین شده است به طوری که مماس بر منحنی نیرو-افزایش طول باشد. نقطه‌ای که این خط محور طول‌ها را قطع می‌کند مبدأ اصلاح شده نمودار نیرو - افزایش طول می‌باشد.(به شکل ۶ مراجعه گردد)

برای اطمینان از اینکه هیسترزیس پس از گذر از استحکام تسلیم قراردادی تشکیل شده باید دقت لازم بعمل آید، اما در افزایش طول تا حد ممکن پایین، به عنوان مثال ایجاد افزایش طول بیش از حد در شب حاصله تاثیر منفی خواهد گذاشت.

اگر در استانداردهای محصول یا توافق با مشتری مشخص نشده باشد، تعیین استحکام تسلیم قراردادی هنگام و پس از تسلیم غیر یکنواخت نادرست است.

۲-۱۳ خواص مذکور می‌تواند بدون رسم منحنی نیرو-افزایش طول با استفاده از دستگاههای خودکار(میکرو پروسسور و غیره) حاصل شود(به پیوست الف مراجعه شود).

یادآوری- روش در دسترس دیگری در استاندارد [12] GB/T228 شرح داده شده است

۱۴ تعیین استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل

۱-۱۴ از روی منحنی نیرو-افزایش طول و با در نظر گرفتن زیربند ۱۰-۲ از طریق رسم یک خط به موازات محور طول(محور نیرو) و به فاصله‌ای معادل درصد افزایش طول کل زیرنویس بیان شده، مشخص می‌گردد. نقطه‌ای که این خط منحنی را قطع می‌کند، نیروی مربوط به استحکام تسلیم قراردادی مورد نظر می‌باشد. از تقسیم این نیرو به سطح مقطع اولیه آزمونه(S_0) استحکام تسلیم قراردادی به دست می‌آید(به شکل ۴ مراجعه گردد).

۲-۱۴ خواص مذکور می‌تواند بدون رسم منحنی نیرو-افزایش طول به وسیله دستگاههای خودکار به دست آید.(به پیوست الف مراجعه گردد).

۱۵ روش تصدیق استحکام دائمی

آزمونه به مدت ۱۰ ثانیه تا ۱۲ ثانیه تحت نیروی مربوط به تنش مشخص شده قرار می‌گیرد. این نیرو از حاصل ضرب تنش مشخص شده در سطح مقطع اولیه آزمونه(S_0) حاصل می‌شود، پس از برداشتن نیرو، چنان‌چه ازدیاد طول یا افزایش طول دائمی بیشتر از درصد مشخص شده برای طول مبنای اولیه نباشد تصدیق صورت می‌گیرد.

یادآوری- این یک آزمون قبول یا رد می‌باشد که به طور معمول به عنوان بخشی از آزمون کشش استاندارد انجام نمی‌شود. تنش اعمال شده روی آزمونه، ازدیاد طول یا افزایش طول دائمی از طریق مشخصات محصول یا متقارضی آزمون مشخص می‌گردند. مثال: دریک گزارش "R_{r,0.5} = 750MPa pass" نشان می‌دهد که یک تنش ۷۵۰ MPa به آزمونه اعمال شده و موجب ازدیاد طول دائمی کمتر یا برابر ۰٪ شده است.

۱۶ تعیین درصد افزایش طول در تسلیم

برای مواد با تسلیم غیر یکنواخت، A_e از منحنی نیرو-افزایش طول با کسر افزایش طول در نقطه R_{eH} از افزایش طول در آغاز کارسختی یکنواخت تعیین می‌گردد. افزایش طول در آغاز کار سختی یکنواخت به صورت تقاطع خط افقی عبور داده شده از وسط آخرین نقطه حداقل موضعی یا یک خط رگرسیون عبور کرده از وسط محدوده تسلیم، پیش از کارسختی یکنواخت و یک خط مماس مربوط به بیشترین شبیه منحنی در آغاز کارسختی یکنواخت تعریف می‌گردد(به شکل ۷ مراجعه گردد). این ویژگی به صورت درصد طول مبنای اکستنسومتر(L_e) بیان می‌گردد.

روش استفاده شده (به شکل ۷ ، الف یا ب مراجعه گردد) می‌تواند در گزارش آزمون ثبت گردد.

۱۷ تعیین درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو

این روش شامل محاسبه افزایش طول در حداکثر نیرو روی منحنی نیرو-افزایش طول حاصله توسط اکستنسومتر و کسر کرنش الاستیک می‌باشد.

درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو (A_g)، با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌گردد .

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} + \frac{R_m}{m_E} \right) \times 100 \quad (3)$$

که در آن:

L_e طول مبنای اکستنسومتر ؛

m_E شبیه قسمت الاستیک منحنی درصد افزایش طول - تنش؛

R_m استحکام کششی؛

ΔL_m افزایش طول در حداکثر نیرو می‌باشد.

یادآوری - برای موادی که در حداکثر نیرو یک ناحیه تخت را نشان می‌دهند، درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو، با افزایش طول در نقطه میانی ناحیه تخت برابر است(به شکل ۱ مراجعه گردد).

۱۸ تعیین درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو

این روش شامل تعیین افزایش طول در حداکثر نیرو روی منحنی نیرو-افزایش طول به دست آمده از اکستنسومتر می‌باشد.

درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو(A_{gt}) با استفاده از معادله (۴) محاسبه می‌گردد.

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100 \quad (4)$$

که در آن:

$$L_e \quad \text{طول مبنای اکستنسومتر؛} \\ \Delta L_m \quad \text{افزایش طول در حداکثر نیرو می‌باشد.}$$

یادآوری - برای موادی که در حداکثر نیرو یک ناحیه تحت را نشان می‌دهند، درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو، با افزایش طول در نقطه میانی ناحیه تحت برابر است(به شکل ۱ مراجعه گردد).

۱۹ تعیین درصد افزایش طول کل در شکست

این روش شامل محاسبه افزایش طول در شکست روی منحنی نیرو-افزایش طول به دست آمده از اکستنسومتر می‌باشد.

درصد افزایش طول کل در شکست(A_t) با استفاده از معادله (۵) محاسبه می‌گردد.

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} \times 100 \quad (5)$$

که در آن:

$$L_e \quad \text{طول مبنای اکستنسومتر؛} \\ \Delta L_f \quad \text{افزایش طول در شکست می‌باشد.}$$

۲۰ تعیین درصد ازدیاد طول پس از شکست

۱-۲۰ درصد ازدیاد طول پس از شکست باید مطابق با تعریف ارایه شده در زیربند ۳-۴-۲ تعیین گردد. بدین منظور، دو قسمت جدا شده آزمونه باید به دقت به یکدیگر چسبیده شود طوری که محورهایشان در یک خط راست قرار گیرند.

پیش‌بینی‌های ویژه برای اطمینان از تماس مناسب بین قطعات شکسته شده آزمونه در هنگام اندازه‌گیری طول مبنای نهایی باید انجام شود. این موضوع در حالتی که سطح مقطع آزمونه کوچک و یا مقادیر ازدیاد طول کم باشد، اهمیت ویژه‌ای دارد.

درصد ازدیاد طول پس از شکست(A) با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌گردد.

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100 \quad (6)$$

که در آن

L_o طول مبنای اولیه؛

L_u طول مبنای نهایی پس از شکست می‌باشد.

ازدیاد طول پس از شکست ($L_u - L_o$) ، باید با تقریب $mm\ 25/0$ و یا بهتر با استفاده از یک وسیله اندازه‌گیری با تفکیک‌پذیری کافی تعیین گردد.

چنانچه حداقل درصد ازدیاد طول مشخص شده کمتر از 5% باشد توصیه می‌شود که تدبیر ویژه‌ای اتخاذ گردد (به پیوست ح مراجعه شود). نتیجه این محاسبه تنها زمانی معتبر است که فاصله بین نزدیک‌ترین نشانه مبنای و مقطع شکست کمتر از یک سوم طول مبنای اولیه ($L_o/3$) نباشد. به هر حال، بدون در نظر گرفتن موقعیت شکست چنان‌چه درصد ازدیاد طول پس از شکست مساوی یا بزرگتر از مقدار مشخص شده باشد، اندازه‌گیری معتبر است. برای اجتناب از مردودی آزمون‌ها در جایی که در آنها فاصله بین مقطع شکست و علامت مبنای بعدی کمتر از $L_o/3$ است، ممکن است استفاده از روش تشریح شده در پیوست خ مورد توافق قرار گیرد.

۲-۲۰ هنگام اندازه‌گیری افزایش طول با استفاده از اکستنسومتر، لازم به علامت‌گذاری طول‌های مبنای نمی‌باشد. ازدیاد طول همانند افزایش طول کل در شکست اندازه‌گیری می‌شود، لذا لازم است که جهت به دست آوردن درصد ازدیاد طول پس از شکست، افزایش طول الاستیک از آن کسر گردد. جهت حصول مقادیر قابل مقایسه با روش دستی، تنظیمات بیشتری را می‌توان اعمال نمود (مثلاً به حد کافی پهنای باند فرکانس و دینامیک اکستنسومتر بالا باشد) (به زیربند الف-۲-۲ از پیوست الف مراجعه شود).

نتیجه این محاسبه تنها زمانی معتبر است که شکست و افزایش طول موضعی (گلوبی شدن) در طول مبنای اکستنسومتر (L_e) رخ دهد. اندازه‌گیری بدون توجه به موقعیت سطح مقطع شکست در صورتی معتبر است که درصد ازدیاد طول پس از شکست مساوی و یا بزرگتر از مقدار مشخص شده باشد. اگر استاندارد محصول، محاسبه درصد ازدیاد طول پس از شکست را برای طول مبنای مشخص ارایه شده داده باشد ، طول مبنای اکستنسومتر بهتر است با این طول برابر باشد.

۳-۲۰ چنان‌چه ازدیاد طول روی یک طول ثابت ارایه شده اندازه‌گیری شده است، با به کارگیری معادلات و یا جداول تبدیلی که قبل از آزمون توافق شده آن را می‌توان به طول مبنای تناسبی تبدیل نمود (مثلاً مطابق با آن‌چه در استانداردهای ISO 2566-1 و ISO 2566-2 وجود دارد).

یادآوری - مقایسه درصد ازدیاد طول فقط در صورتی امکان‌پذیر است که طول مبنای یا طول مبنای اکستنسومتر، شکل و سطح مقطع یکسان بوده یا وقتی که ضریب تناسبی (K) یکسان باشد.

۲۱ تعیین درصد کاهش سطح مقطع

درصد کاهش مساحت باید مطابق با تعریف ارایه شده در زیربند ۳-۸ تعیین گردد.

چنان‌چه لازم باشد، دو قطعه شکسته شده آزمونه باید به دقت بهم چسبانده شوند بهنحوی که محورهای آن‌ها دریک خط مستقیم قرار گیرد.

توصیه می‌شود برای آزمونه‌ها با مقاطع گرد اندازه‌گیری حداقل مقطع کاهش یافته در دو امتداد با زاویه 90° انجام شود و میانگین آن‌ها برای محاسبه Z استفاده شود.

بهتر است در هنگام خواندن اندازه‌ها دقت نمود که سطوح شکسته جابجا نشوند.

درصد کاهش سطح مقطع (Z) با استفاده از معادله ۷ محاسبه می‌گردد:

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100 \quad (7)$$

که در آن؛

S_o سطح مقطع اولیه طول موازی؛

S_u حداقل سطح مقطع پس از شکست است.

توصیه می‌شود که S_u با درستی $\pm 2\%$ اندازه‌گیری شود (به شکل ۱۳ مراجعه گردد).

یادآوری - ممکن است اندازه‌گیری S_u با درستی $\pm 2\%$ روی آزمونه گرد با قطر کوچک یا آزمونه‌های با سایر سطح مقطع‌های هندسی امکان پذیر نباشد.

۲۲ گزارش آزمون

چنان‌چه توافق دیگری بین ذی‌نفعان وجود نداشته باشد نتایج آزمون باید حداقل شامل موارد ذیل باشد:

الف - ارجاع به این استاندارد با اطلاعات و شرایط آزمون مشخص شده در زیربند ۱۰-۳-۴؛

ب - مشخصات آزمونه؛

پ - مشخصه مواد، اگر معلوم باشد؛

ت - نوع آزمونه؛

ث - موقعیت و جهت نمونه‌برداری آزمونه، اگر معلوم باشد؛

ج - حالت‌های کنترل آزمون و سرعت‌های آزمون یا محدوده‌های سرعت آزمون (به زیربند ۱-۳-۱۰ مراجعه شود) در صورتی که متفاوت از روش‌های توصیه شده و مقادیر ارایه شده در زیربند ۱۰-۳-۱ و ۲-۳-۱ باشد؛

ج- نتایج آزمون:

- توصیه می‌شود نتایج (مطابق با استاندارد ISO 80000-1) تا مقادیر ذیل و یا بهتر گرد شود. چنان‌چه طور دیگری در استانداردهای محصول مشخص نشده باشد، مقادیر استحکام بر حسب مگاپاسکال به نزدیکترین عدد درست بیان شوند:

- مقادیر درصد نقطه افزایش طول تسلیم (A_e) با تقریب ۰,۱٪
- سایر مقادیر درصد ازدیاد طول و افزایش طول با تقریب ۰,۵٪
- درصد کاهش سطح (Z) با تقریب ۱٪

۲۳ عدم قطعیت اندازه‌گیری

۱-۲۳ کلیات

جزیه و تحلیل عدم قطعیت اندازه‌گیری جهت مشخص نمودن منابع اصلی خطا در نتایج اندازه‌گیری مفید می‌باشد.

پایگاه داده مربوط به خواص مواد و استاندارد محصول براساس این استاندارد دارای سهم عمدۀ از اندازه‌گیری عدم قطعیت می‌باشد. لذا اعمال تنظیمات بیشتر برای اندازه‌گیری عدم قطعیت نامناسب است و درنتیجه ریسک خطا در محصول ایجاد می‌کند. بهمین دلیل، تخمین عدم قطعیت که با این روش بدست می‌آید، صرفاً جهت اطلاع می‌باشد.

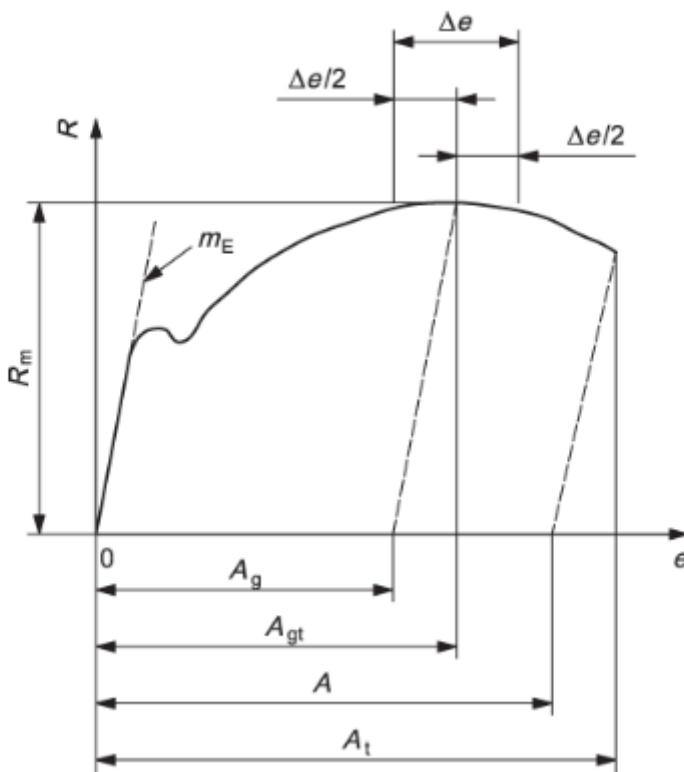
۲-۲۳ شرایط آزمون

حدود و شرایط آزمون که در این استاندارد بیان شده است، نباید در محاسبه عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

۳-۲۳ نتایج آزمون

اندازه‌گیری عدم قطعیت‌های تخمین زده شده نباید با نتایج اندازه‌گیری شده به منظور ارزیابی انطباق مشخصات محصول ترکیب گردد.

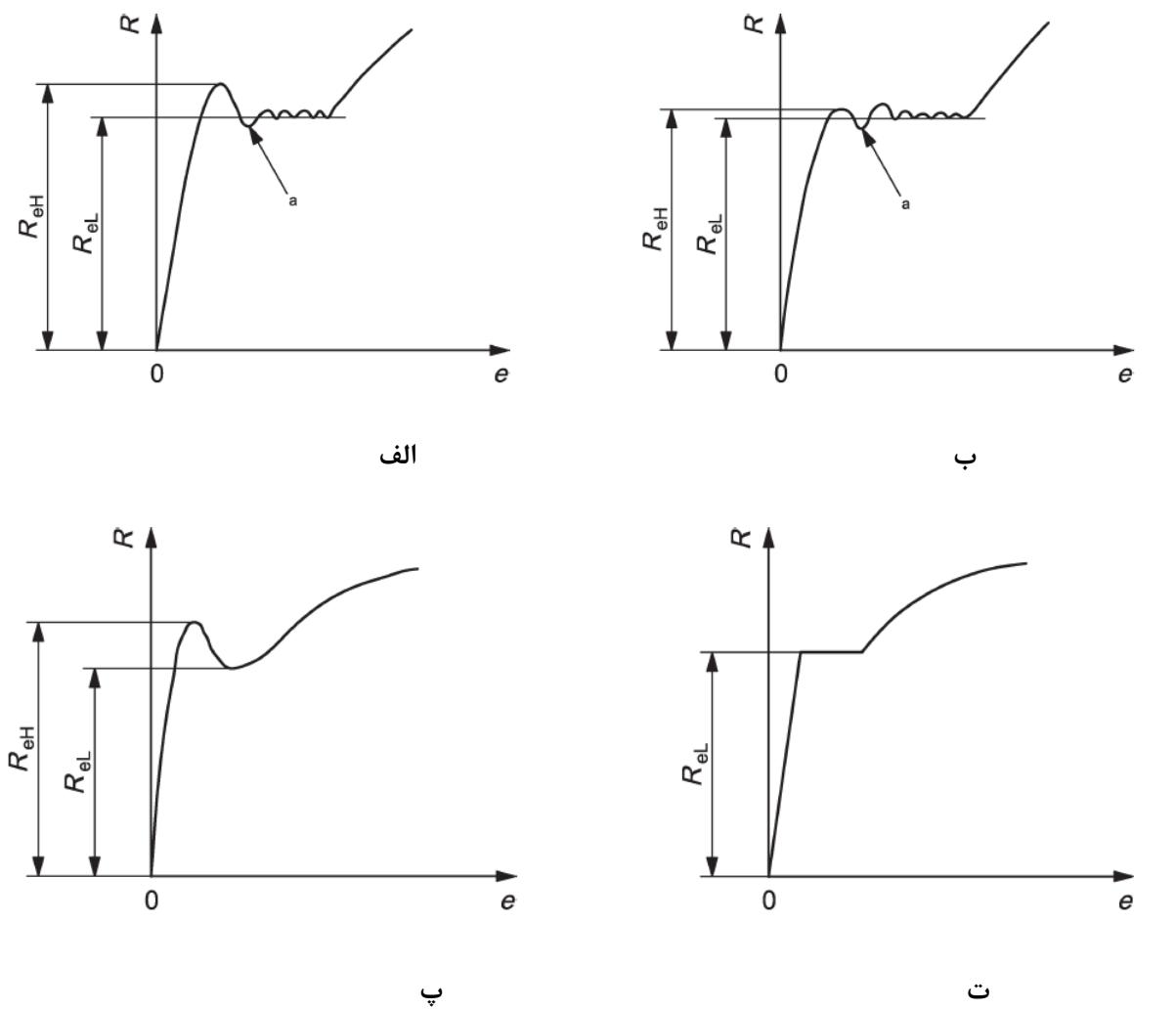
برای ملاحظه عدم قطعیت، پیوست د و ذ را که راهنمای تعیین عدم قطعیت مربوط به پارامترهای اندازه-شناسی و مقادیر حاصل از آزمون‌های بین آزمایشگاهی روی یک گروه از آلیاژهای آلومینیمی و فولادی است مشاهده نمایید.



راهنمای

درصد ازدیاد طول پس از شکست (محاسبه شده توسط علامت اکستنومتر یا مستقیماً از آزمونه به زیربند ۱-۲۰ مراجعه شود)	A
درصد افزایش طول پلاستیک در حداکثر نیرو	A_g
درصد افزایش طول کل در حداکثر نیرو	A_{gt}
درصد افزایش طول کل در حداکثر شکست	A_t
درصد افزایش طول	e
شیب قسمت الاستیک منحنی درصد ازدیاد طول - تنش	m_E
تنش	R
استحکام تنش	R_m
وسعت وضعیت تخت (برای محاسبه A_g به بند ۱۷ مراجعه شود) ، برای محاسبه A_{gt} (به بند ۱۸ مراجعه شود))	Δe

شكل ۱- تعاریف افزایش طول



راهنمای

درصد ازدیاد طول e

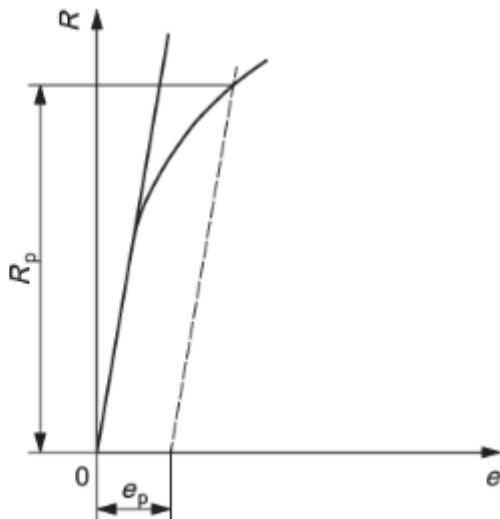
تنش R

استحکام تسلیم بالایی R_{eH}

استحکام تسلیم پایینی R_{eL}

اثرگذار اولیه a

شکل ۲ - مثال‌هایی از استحکام تسلیم بالایی و پایینی برای انواع منحنی‌های مختلف



راهمنا:

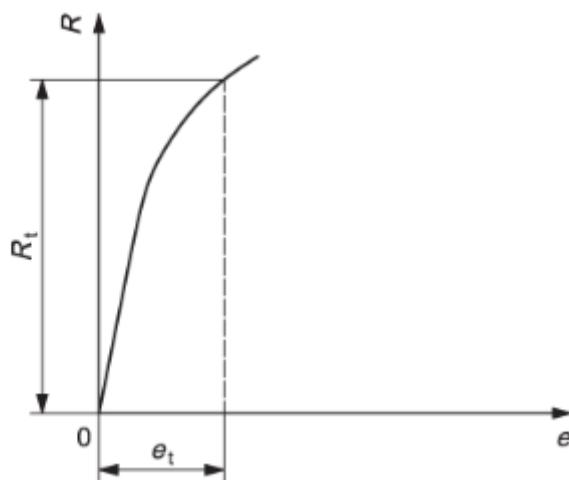
درصد افزایش طول e

درصد افزایش طول پلاستیک مشخص شده e_p

تنش R

استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک R_p

شکل ۳- استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک، R_p (به زیربند ۱-۱۳ مراجعه شود)



راهمنا:

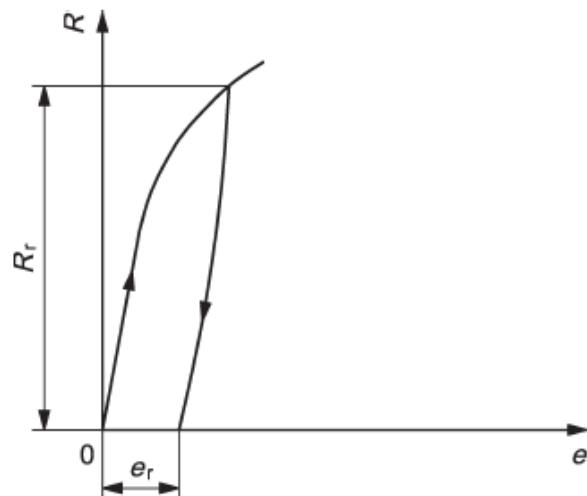
درصد افزایش طول e

درصد افزایش طول کل e_t

تنش R

استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل R_t

شکل ۴- استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول کل (R_t)



راهنمای:

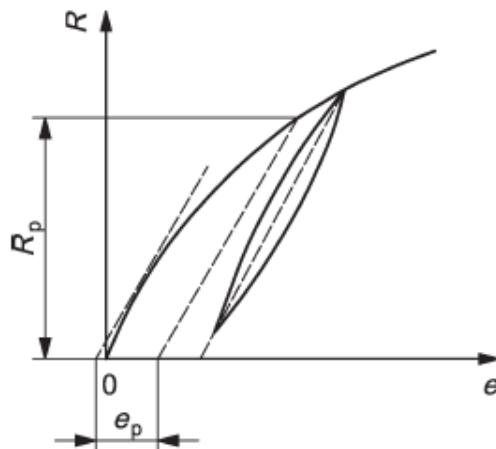
درصد ازدیاد طول یا درصد افزایش طول e

درصد افزایش طول یا ازدیاد طول دائمی e_r

تنش R

استحکام دائمی مشخص شده R_r

شکل ۵- استحکام دائمی (R_r)



راهنمای:

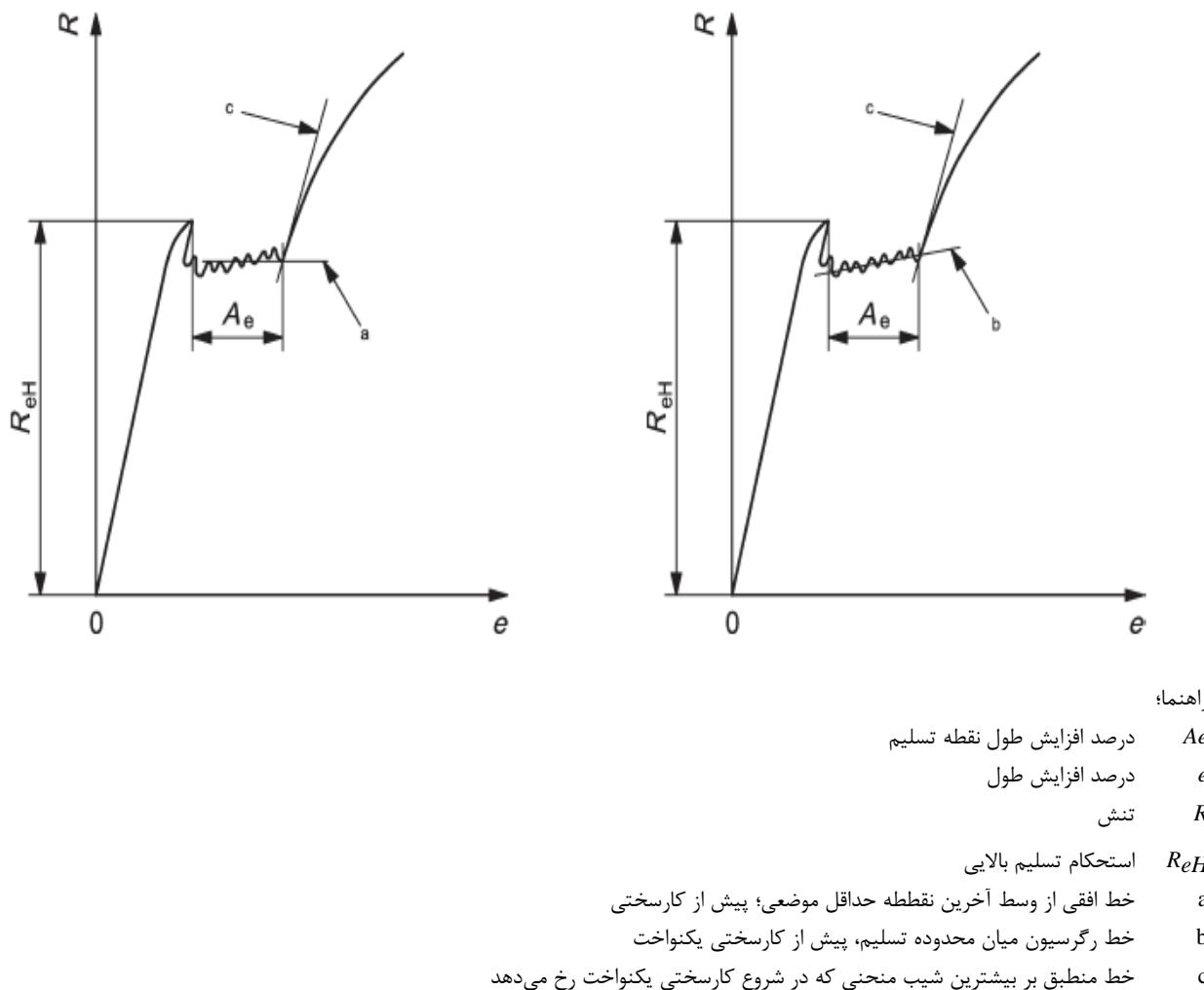
درصد افزایش طول e

درصد افزایش طول پلاستیک مشخص e_p

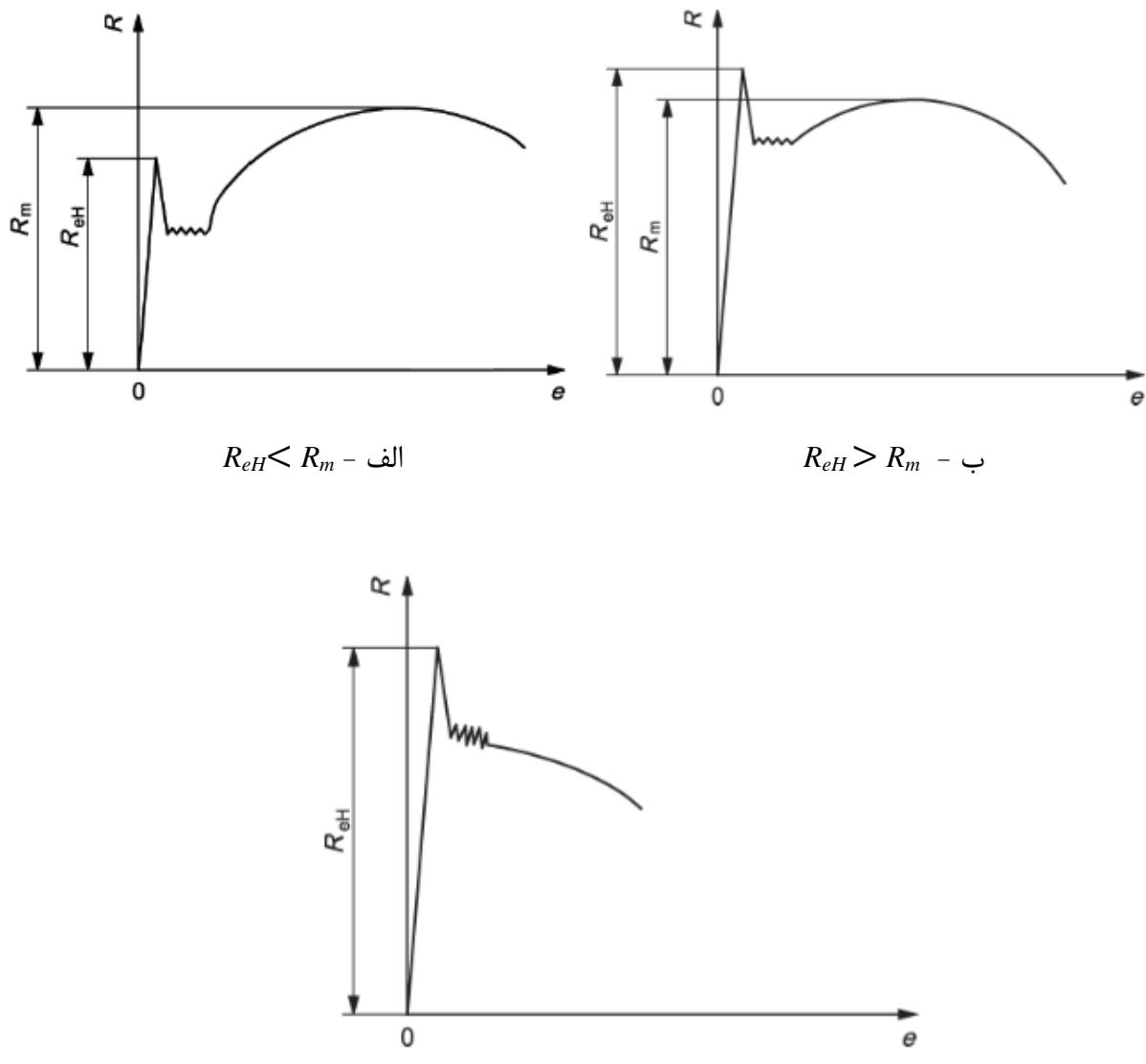
تنش R

استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک R_p

شکل ۶- استحکام تسلیم قراردادی، افزایش طول پلاستیک (R_p) روش جایگزین (به زیربند ۱-۱۳ مراجعه شود)



شکل ۷-روش های مختلف ارزیابی مربوط به درصد افزایش طول نقطه تسلیم(Ae)



راهنمای:

درصد افزایش طول e

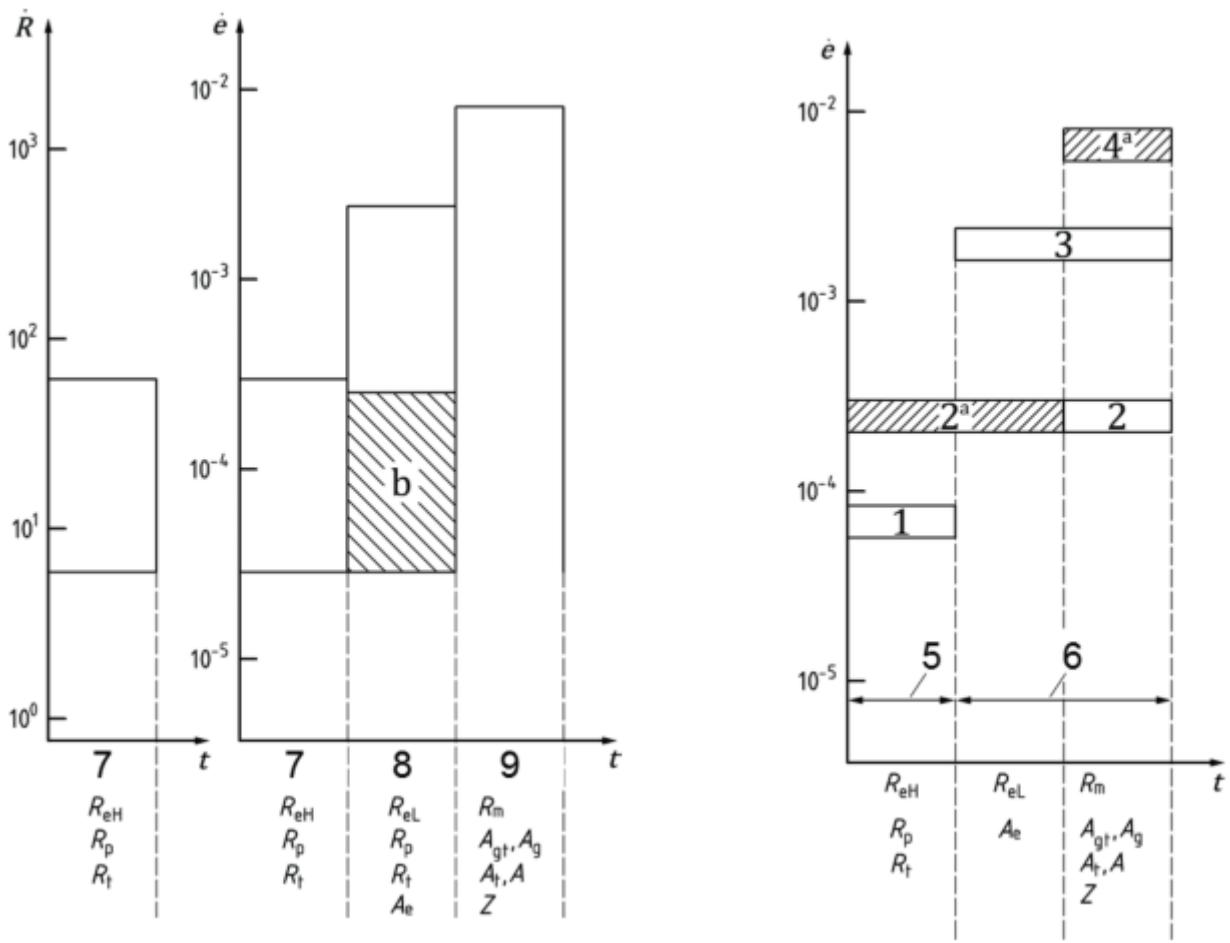
تنش R

استحکام تسليیم بالایی R_{eH}

استحکام کششی R_m

برای موادی که این رفتار را از خود نشان می‌دهند، بر اساس این استاندارد هیچ استحکام کششی تعریف نمی‌شود. توافق نامه های مجازی را می‌توان بین طرفین انعقاد نمود.

شكل ۸- انواع مختلف منحنی تنش - افزایش طول برای تعیین استحکام کششی (R_m)



ب-روش B

الف-روش A

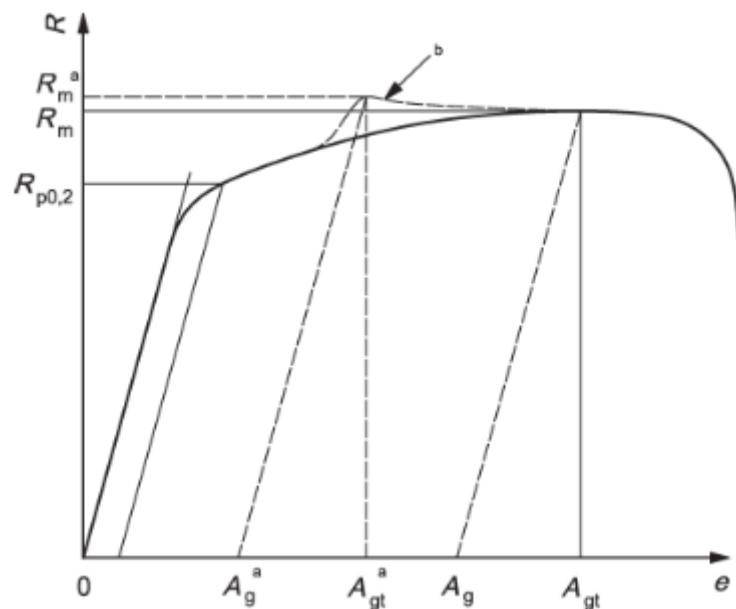
روش کنترل: کنترل دور شدن فکها
محدوده الاستیک آزمون
محدوده پلاستیک برای محاسبه Ae, Rt, Rp, ReL
Z, A, At, Ag, Agt, Rm حداکثر نرخ کرنش برای محاسبه
توصیه شده.
محدوده گسترش یافته تا نرخ های پایین، اگر دستگاه آزمون
 قادر به اندازه گیری یا کنترل نرخ کرنش نباشد (به زیریند
 ۵-۴-۳-۳-۲-۳-۲-۵ مراجعه شود)

راهنما:	\dot{e}	\dot{R}	t
نرخ کرنش بر حسب s^{-1}	\dot{e}		
نرخ تنش بر حسب $MPas^{-1}$		\dot{R}	
زمان			t
محدوده ۱: $1 s^{-1} \pm 20\%$ با رواداری	$\dot{e} = 0.00007 s^{-1}$	1	
محدوده ۲: $2 s^{-1} \pm 20\%$ با رواداری	$\dot{e} = 0.00025 s^{-1}$	2	
محدوده ۳: $3 s^{-1} \pm 20\%$ با رواداری	$\dot{e} = 0.002 s^{-1}$	3	
محدوده ۴: $4 s^{-1} \pm 20\%$ با رواداری	$\dot{e} = 0.0067 s^{-1}$	4	
رواداری $\pm 20\%$			
روش کنترل: کنترل اکستنسومتر یا کنترل دور شدن فکها			5

یادآوری ۱- نمادهای مرتبط با جدول ۱

یادآوری ۲- نرخ کرنش در محدوده الاستیک برای روش B از نرخ تنش با استفاده از مدول یانگ برای فولاد ۲۱۰۰۰ MPa محاسبه می شود.

شکل ۹- شرح نرخ های کرنش به کار رفته طی آزمون کشش در صورتی که $A_t, A, Agt, Ag, Ae, R_m, R_t, R_p, R_{eL}, R_{eH}$ و Z مشخص باشند



راهنما:

درصد افزایش طول e

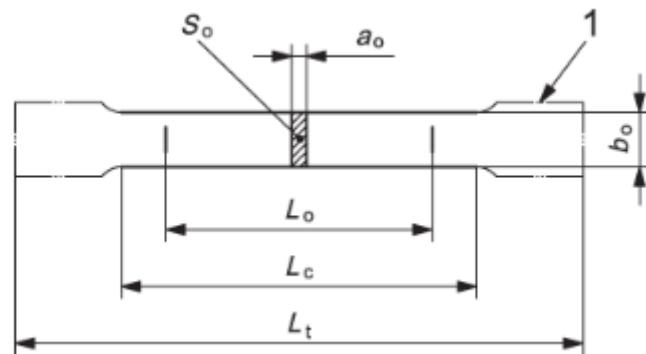
تنش R

مقادیر خطاباشی از یک لغزش نرخ کرنش ناگهانی a

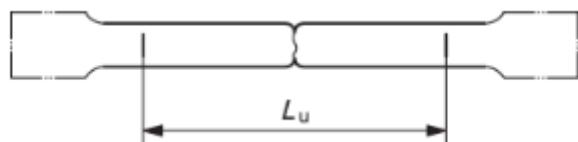
رفتار تنش - کرنش، چنان‌چه نرخ کرنش به‌طور ناگهانی افزایش یابد b

یادآوری - جهت تعاریف پارامترها به جدول ۱ مراجعه شود.

شكل ۱۰- شرح ناپیوستگی غیر قابل قبول در منحنی تنش - کرنش



الف- قبل از آزمون



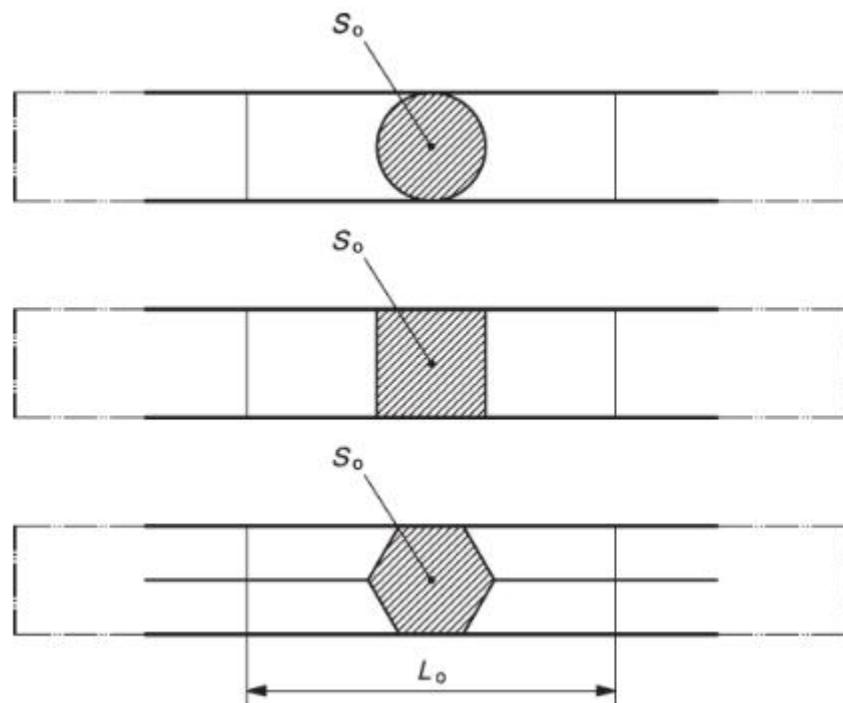
ب- بعد از آزمون

راهنما:

ضخامت اولیه آزمونه تخت یا ضخامت دیواره لوله	a_o
عرض اولیه طول موازی یک آزمونه تخت	b_o
طول موازی	L_c
طول مبنای اولیه	L_o
طول کلی آزمونه	L_t
طول مبنای نهایی پس از شکست	L_u
سطح مقطع اولیه طول موازی	S_o
فک گیرها	۱

یادآوری- شکل فک گیرهای آزمونه تنها به عنوان یک راهنمای ارایه شده است.

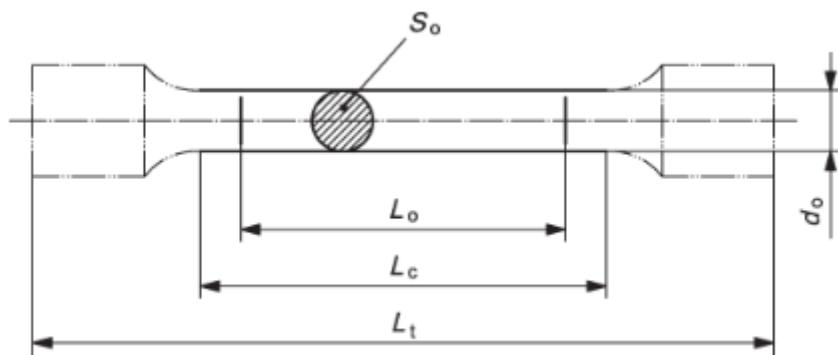
شکل ۱۱- آزمونهای ماشین کاری شده با سطح مقطع مستطیلی(پیوست ب و ت)



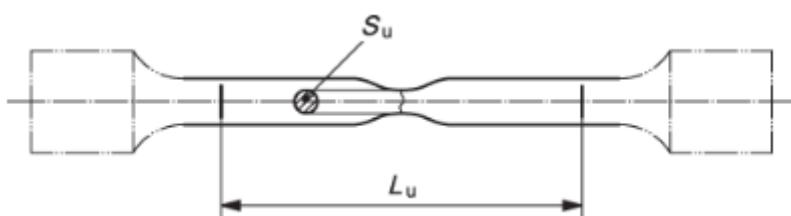
راهنمای:

طول مبنای اولیه	L_o
سطح مقطع اولیه	S_o

شکل ۱۲- آزمونه هایی که دارای یک قسمت ماشین کاری نشده محصول می باشند(به پیوست پ مراجعه شود)



الف - قبل از آزمون



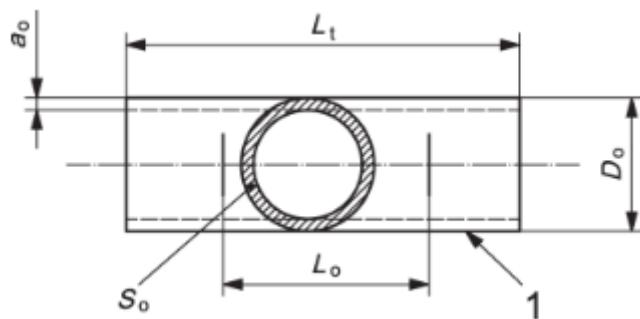
ب - پس از آزمون

راهنما:

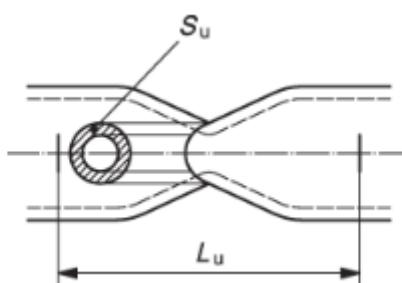
قطر اولیه طول موازی آزمونه گرد	d_0
طول موازی	L_c
طول مبنای اولیه	L_o
طول کلی آزمونه	L_t
طول مبنای نهایی پس از شکست	L_u
سطح مقطع اولیه طول موازی	S_0
حداقل سطح مقطع پس از شکست	S_u

یادآوری - شکل فک گیرهای آزمونه تنها به عنوان یک راهنما ارایه شده است.

شکل ۱۳ - آزمونهای ماشین کاری شده با سطح مقطع گرد (به پیوست ت مراجعه شود)



الف - قبل از آزمون

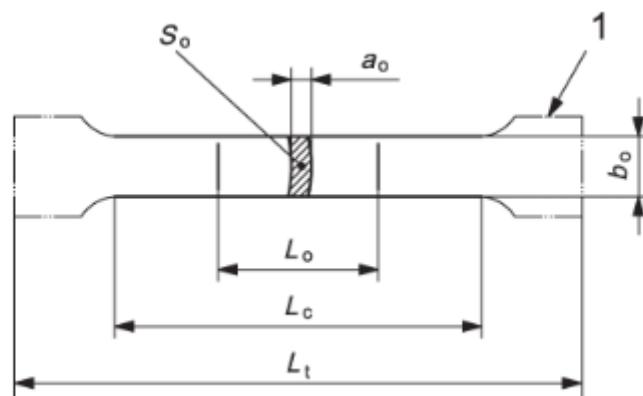


ب - پس از آزمون

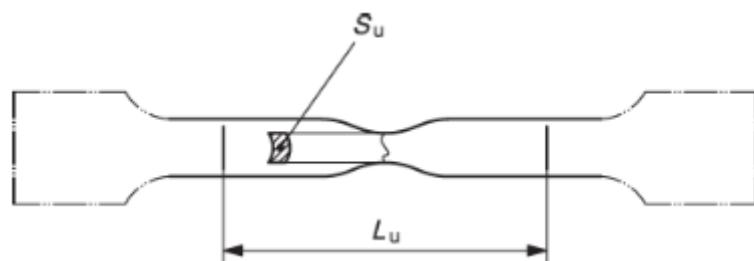
راهنمای

ضخامت اولیه دیواره یک لوله	a_o
قطر اولیه بیرونی یک لوله	D_o
طول مبنای اولیه	L_o
طول کلی آزمونه	L_t
طول مبنای نهایی پس از شکست	L_u
سطح مقطع اولیه طول موازی	S_o
حداقل سطح مقطع پس از شکست	S_u
فک‌گیرها	۱

شکل ۱۴ - آزمونهای دارای یک طول لوله (به پیوست ث مراجعه شود)



الف - قبل از آزمون



ب - پس از آزمون

راهنمای:

ضخامت اولیه دیواره یک لوله	a_o
عرض متوسط اولیه نوار طول گرفته شده از یک لوله	b_o
طول موازی	L_c
طول مبنای اولیه	L_o
طول کلی آزمونه	L_t
طول مبنای نهایی پس از شکست	L_u
سطح مقطع اولیه طول موازی	S_o
حداقل سطح مقطع پس از شکست	S_u
فک‌گیرها	۱

یادآوری - شکل فک‌گیرهای آزمونه تنها به عنوان یک راهنمای ارایه شده است.

شکل ۱۵ - آزمونه بریده شده از یک لوله (به پیوست ث مراجعه شود)

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

توصیه‌هایی درباره استفاده از دستگاه‌های آزمون کشش که تحت کنترل رایانه می‌باشد

الف-۱ کلیات

این پیوست حاوی توصیه‌های تکمیلی برای تعیین خواص مکانیکی با استفاده از دستگاه آزمون کشش تحت کنترل رایانه می‌باشد. به طور ویژه توصیه‌هایی در نظر گرفته می‌شود که بهتر است در محاسبات نرم افزار و شرایط آزمون لحاظ شود.

این توصیه‌ها مربوط به طراحی، نرم افزار دستگاه و اعتبار آن و شرایط اجرای آزمون کشش می‌باشد.

الف-۲ دستگاه آزمون کشش

الف-۲-۱ طراحی

دستگاه آزمون کشش بهتر است به گونه‌ای طراحی شود تا خروجی‌هایی را فراهم کند که سیگنال‌های آنالوگ عملیات نشده را توسط نرم افزار ارائه دهد. اگر چنین خروجی‌هایی فراهم نشود، توصیه می‌شود سازنده دستگاه داده‌های دیجیتال خام را به همراه اطلاعاتی که نشان می‌دهد چگونه این داده‌های خام به دست آمده است و توسط نرم افزار تحت عملیات قرار گرفته‌اند، ارائه دهد. این داده‌ها باید بر مبنای یکاهای SI مربوط به نیرو، افزایش طول، دور شدن فک‌ها از هم، زمان و ابعاد نمونه آزمون باشد. یک مثال در مورد فرمت مناسب فایل‌های داده‌ها در شکل الف-۱ ارائه شده است.

```

    "Reference";"ISO 6892"
    "Identification";"TENSTAND"
    "Material";"DC 04 Steel"
    "Extensometer to crosshead transition";0.00;"%"
    "Specimen geometry";"flat"
    "Specimen thickness = ao"
    "Specimen width = bo"
    "Cross-sectional area = So"
    "Extensometer gauge length = Le"
    "Extensometer output in mm"
    "Parallel length = Lc"
    "Data acquisition rate 50Hz"
    "Data row for start force reduction (Hysteresis) = Hs"
    "Data row for end force reduction (Hysteresis) = He"
    "Data row for switch to crosshead = Cs"
    "File length N data rows"
    "File width M data columns"
    "
    "ao";0.711;"mm"
    "bo";19.93;"mm"
    "So";14.17;"mm2"
    "Le";80.00;"mm"
    "Lc";120.00;"mm"
    "N";2912
    "M";4
    "Hs";0
    "He";0
    "Cs";0
    "
    "time";"crosshead";"extensometer";"force"
    "s";"mm";"mm";"kN"
    "
    "
    0.40;0.0012;0.0000;0.12694
    0.42;0.0016;0.0000;0.12992
    0.44;0.0020;0.0001;0.13334
    0.46;0.0024;0.0002;0.13699
    0.48;0.0029;0.0003;0.14114
    0.50;0.0035;0.0004;0.14620
    0.52;0.0041;0.0006;0.15124
    0.54;0.0047;0.0007;0.15669
    0.56;0.0054;0.0008;0.16247
    0.58;0.0060;0.0009;0.16794
    0.60;0.0067;0.0012;0.17370
    0.62;0.0074;0.0013;0.17980
    0.64;0.0082;0.0014;0.18628
    "
    "

```

راهنما:	
عنوان (موضوع)	A
پارامتر های آزمون و ابعاد نمونه	B
داده	C

شكل الف-۱- نمونه‌ی یک فرمت مناسب فایل های داده

الف-۲-۳ تناوب دادهبرداری

پهنهای باند فرکانس هر کanal اندازه‌گیری و تناوب دادهبرداری توصیه می‌شود به حد کافی بالا باشد تا بتوان خصوصیات هر ماده مورد اندازه‌گیری را ثبت نمود. به طور مثال، برای ثبت R_{eH} معادله الف-۱ ممکن است جهت تعیین حداقل تناوب دادهبرداری در لحظات متقابل استفاده شود، f_{min} :

$$f_{min} = \frac{e \cdot E}{R_{eH} \cdot q} \times 100 \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن :

e عبارت است از نرخ کرنش در لحظات متقابل ؛

E عبارت است از مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال؛

R_{eH} عبارت است از استحکام تسلیم بالایی بر حسب مگاپاسکال؛

q عبارت است از خطای درستی اندازه‌گیری نیروی نسبی که بر حسب درصد از دستگاه آزمون تعریف می‌شود (بر اساس ISO 7500-1).

انتخاب R_{eH} در معادله الف-۱ بر اساس این واقعیت است که نشاندهنده ویژگی‌های انتقالی در حین آزمون می‌باشد. اگر ماده تحت آزمون هیچ نشانه‌ای از تسلیم به دست ندهد، استحکام تسلیم $R_{p0.2}$ بهتر است استفاده شود و حداقل تناوب دادهبرداری مورد نیاز می‌تواند نصف شود.

اگر روش B (بر پایه‌ی نرخ تنش) استفاده شود، توصیه می‌شود حداقل تناوب دادهبرداری با استفاده از معادله

الف-۲ محاسبه شود:

$$f_{min} = \frac{R}{R_{eH} \cdot q} \times 100 \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن :

\dot{R} عبارت است از نرخ تنش، بر حسب مگاپاسکال بر ثانیه

الف-۳ تعیین خواص مکانیکی

الف-۳-۱ کلیات

الرامات ذیل می‌تواند توسط نرم افزار دستگاه در نظر گرفته شود:

الف-۳-۲ استحکام تسلیم بالایی

R_{eH} (به زیریند ۱-۲-۱۰-۳ مراجعه شود) توصیه به عنوان تنش مناسب با بالاترین میزان نیرو قبل از کاهش حداقل $\% ۵$ نیرو در نظر گرفته شود و پس از منطقه‌ای است که نیرو نباید از مقدار حداکثر مقدار قبلی خود در طول گستره کرنش که کمتر از $\% ۰۵$ نباشد تجاوز کند.

الف-۳-۳ استحکام تسلیم قراردادی درافزایش طول پلاستیک و استحکام تسلیم قراردادی در افزایش طول کل

(زیریند ۳-۱۰-۳ و R_t (زیریند ۴-۱۰-۳) را می‌توان با درج نقاط مجاور منحنی تعیین نمود.

الف-۳-۴ درصد افزایش طول کل درحداکثر نیرو

Agt (به زیریند ۳-۶-۴ و شکل ۱ مراجعه شود) می‌تواند به صورت افزایش طول کل متناظر با نرخ کرنش در حداکثر نیرو لحاظ شود.

برای برخی مواد، ضرورت دارد تا منحنی تنش-کرنش را هموار نمود که در این مورد استفاده از رگرسیون چند فرمولی توصیه می‌شود. سرعت هموارسازی ممکن است بر روی نتایج تاثیرگذار باشد. منحنی هموار شده می‌تواند ارائه‌ای منطقی از بخش مربوط به منحنی تنش کرنش اصلی باشد.

الف-۳-۵ درصد کشش پلاستیک در نیروی حداکثر

Ag (به زیریند ۳-۶-۵ و شکل ۱ مراجعه شود) می‌تواند به عنوان افزایش طول پلاستیک متناظر با نرخ کرنش در حداکثر نیرو لحاظ شود.

برای برخی مواد، ضرورت دارد تا منحنی تنش-کرنش را هموار نمود که در این مورد استفاده از رگرسیون چند فرمولی توصیه می‌شود. سرعت هموارسازی ممکن است بر روی نتایج تاثیرگذار باشد. منحنی هموار شده می‌تواند ارائه‌ای منطقی از بخش مربوط به منحنی تنش کرنش اصلی باشد.

الف-۳-۶ درصد ازدیاد طول در نقطه شکست

الف-۳-۶-۱ تعیین At با مراجعه به تعریف شکست در شکل الف-۲

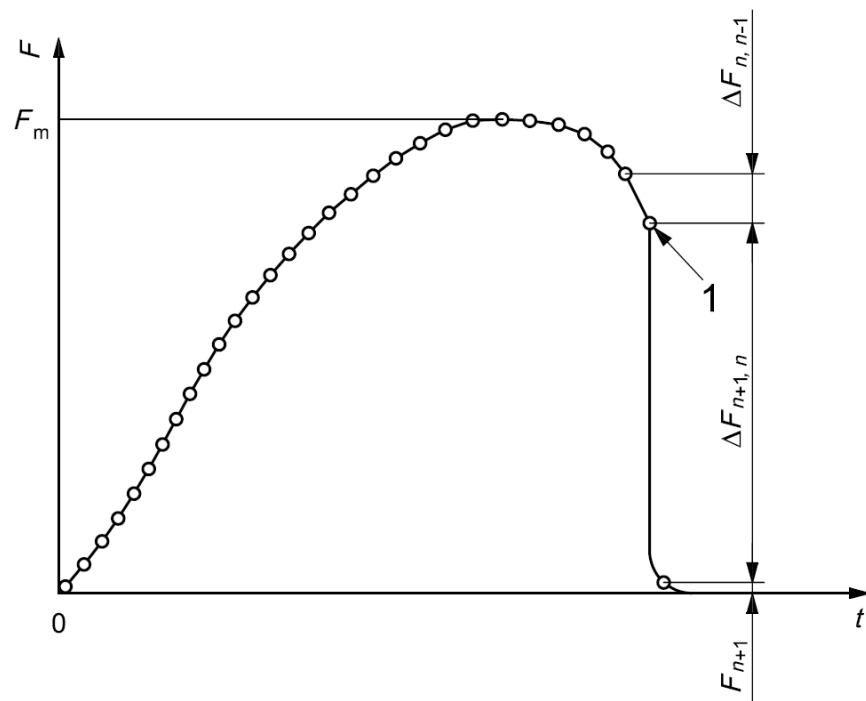
شکست زمانی موثر در نظر گرفته خواهد شد که نیروی بین دو نقطه متواالی کاهش یابد:

الف- بیش از پنج بار اختلاف بین مقدار دو نقطه قبلی، به دنبال آن کاهش به میزان پایین‌تر از ۲% نیروی کششی حداکثر.

ب - پایین‌تر از ۲% نیروی کششی حداکثر (مواد نرم).

افزایش نرخ داده برداری و یا فیلتر سیگنال های نیرو ممکن است نقطه شکست را که بر اساس این روش معین شده است، تحت تاثیر قرار دهد.

یک روش مفید دیگر برای آشکارسازی شکست آزمونه پایش ولتاژ یا جریان الکتریکی در آزمونه می باشد، زمانی که مقادیر، درست قبل از قطع جریان اندازه گیری شد به عنوان مقادیری که در شکست رخ داده است ثبت می شود.



راهنمای:

نیرو	F
حداکثر نیرو	F_m
نیرو در نقطه اندازه گیری $n + I$	F_{n+1}
اختلاف نیرو بین نقطه اندازه گیری $n - I$ و n	$\Delta F_{n,n-1}$
اختلاف نیرو بین نقطه اندازه گیری $n + I$ و n	$\Delta F_{n+1,n}$
زمان	t
شکست	\backslash
نقاط داده ها	O
اختلاف نیرو بین n	
$ \Delta F_{n+1,n} > 5 / \Delta F_{n,n-1} $	
$F_{n+1} < 0,02 F_m$	
اختلاف نیرو بین $n - I$ و $n + I$	

شکل الف-۲- نمایش ترسیمی برای تعریف شکست آزمونه

الف-۳-۶-۲ اگر اکستنسومتر نگه داشته شود و میزان کشش تا لحظه شکست اندازه‌گیری شود، باید مقادیر را در نقطه ۱ طبق شکل الف-۲ ارزیابی نمود.

الف-۳-۶-۳ اگر اکستنسومتر برداشته شود یا اندازه‌گیری کشش قبل از نقطه شکست اما بعد از نیروی حداقل قطع شود، F_m در این حالت مجاز است تا از جایه‌جایی فک‌ها جهت تعیین ازدیاد طول اضافی مابین برداشتن اکستنسومتر و شکست استفاده نمود. این روش جهت استفاده بهتر است قابل تصدیق باشد.

الف-۳-۷ اندازه‌گیری شب منحنی در ناحیه الاستیک

به منظور صحه‌گذاری آزمونه‌ها با مشخصه‌های ناشناخته، روش استفاده شده نمی‌تواند وابسته به هیچ حد تنفس از پیش تعیین شده‌ای باشد، مگر این‌که در استاندارد محصول یا با توافق طرفین آزمون مشخص شود.

روش‌های مبتنی بر محاسبه ویژگی‌های قسمت لغزشی راحت‌ترین روش می‌باشد.

پارامتر‌ها به شرح زیر می‌باشد:

الف- طول قسمت لغزشی (تعداد نقاط به کار رفته).

ب- فرمول استفاده شده به عنوان مرجع برای تعیین شب منحنی.

یادآوری- اگر قسمت مستقیم منحنی نیرو - افزایش طول به طور مشخص معلوم نباشد، به زیربند ۱۳-۱ رجوع شود.

شب منحنی در ناحیه الاستیک به معنای شب در ناحیه‌ای است که شرایط زیر برآورده شود :

- شب قسمت لغزشی ثابت باشد.

- محدوده مورد انتخاب، نشانگر کل مجموعه باشد.

در هر مورد، توصیه می‌شود که حدود مربوط برای یک منطقه می‌تواند توسط کاربر به منظور حذف مقادیر نامشخص در منطقه الاستیک شب نمودار انتخاب شود.

منابع این روش و روش‌های مورد تایید دیگر در منابع [۵] ، [۱۷] ، [۱۸] و [۱۹] کتاب‌نامه داده شده است.

یک روش توصیه شده برای تعیین شب خط الاستیک برای ارزیابی $R_{p0,2}$ (رجوع به [۲۰]) در زیر داده شده است.

- رگرسیون خطی در محدوده خطی

- حد پایین ~ ۱۰٪ استحکام $R_{p0,2}$

- حد بالایی ~ ۴۰٪ استحکام $R_{p0,2}$

- به منظور دستیابی به داده‌های دقیق برای $R_{p0,2}$ ، خط الاستیک باید بررسی شود و در صورت لزوم مجدداً دیگر حدود محاسبه شود.

الف-۴ صحه‌گذاری نرم افزار برای تعیین خواص کششی

کارایی روش‌های استفاده توسط سیستم آزمون برای تعیین مشخصه‌های مواد مختلف ممکن است با مقایسه با نتایج تعیین شده در یک روش سنتی از طریق بررسی / محاسبات از طریق نقشه‌های آنالوگ یا داده‌های دیجیتال به دست آید. داده‌هایی که مستقیماً از ترانسdiyosr دستگاه یا تقویت‌کننده‌ها بدست می‌آید باید با تجهیزات فرکانس پهنه‌ای باند، تناوب داده_برداری و عدم قطعیت حداقل برابر آن‌چه برای تهیه نتایج محاسبه شده با دستگاه تحت کنترل رایانه استفاده شده است، باید جمع آوری و پردازش شود.

اگر اختلاف میانگین حسابی بین داده‌های تعیین شده توسط رایانه و داده‌های تعیین شده به n صورت دستی بر روی آزمونه یکسان، کم باشد می‌توان از درستی پردازش رایانه دستگاه اطمینان حاصل کرد. برای اهدافی به جهت ارزیابی قابلیت تایید چنین اختلاف‌هایی، پنج نمونه مشابه باید تست شود و میانگین اختلاف برای هر ویژگی باید در محدوده‌ای که در جدول الف-۱ نشان داده شده است، قرار گیرد.

یادآوری - این روش تنها تایید می‌کند که دستگاه ویژگی‌های مواد را برای شکل خاص نمونه آزمون، مواد مورد آزمون و شرایط پیدا می‌کند. اطمینانی نیست که خواص مواد مورد آزمون صحیح باشد یا اهداف مورد نظر را تامین کند.

اگر روش‌های دیگری استفاده شود، به طور مثال تزریق داده‌های از پیش تعیین شده از یک ماده‌ی مشخص با یک سطح مشخص از تضمین کیفیت، در این حالت الزامات مواردی که در بالا ذکر شده و مواردی که در جدول الف-۱ گفته شده است می‌تواند تامین شود.

به عنوان بخشی از پروژه TENSTAND (GBRD-CT-2000-00412) . EU-funded . فایل‌های داده‌های ASCII به صورت مقادیر توافقی خواص کششی تولید شد که ممکن است برای صحه‌گذاری نرم افزار استفاده شود. [از تاریخ ۲۰۰۹-۰۷-۲۳ در سایت <http://www.npl.co.uk/tenstand> جزئیات بیشتر در منابع [21] و [22] داده شده است.

جدول الف-۱- حداکثر تغییرات مجاز بین نتایج به دست آمده از رایانه و نتایج دستی

s^b ^c مطلق	^c نسبی	D^a ^c مطلق	^c نسبی	پارامتر
۲MPa	$\leq 0,35\%$	۲MPa	$\leq 0,5\%$	$R_{p0,2}$
۲MPa	$\leq 0,35\%$	۲MPa	$\leq 0,5\%$	R_{p1}
۲MPa	$\leq 0,35\%$	۴MPa	$\leq 1\%$	R_{eH}
۲MPa	$\leq 0,35\%$	۲MPa	$\leq 0,5\%$	R_{eL}
۲MPa	$\leq 0,35\%$	۲MPa	$\leq 0,5\%$	R_m
$\leq 2\%$	---	$\leq 2\%$	---	A
				$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$ a
				$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}$ b
که در آن:				
میزان اختلاف بین نتایج ارزیابی دستی ، H_i نتایج ارزیابی رایانه‌ای می باشد و R_i برای آزمونه می باشد ($D_i = H_i - R_i$)				
n تعداد آزمونهای یکسان از یک الگو می باشد ($n \geq 5$). حداکثر مقادیر مطلق و نسبی باید در نظر گرفته شود.				
c توصیه می شود حداکثر مقادیر مطلق و نسبی باید در نظر گرفته شود.				

الف-۵ ارائه استانداردهای سازگار با رایانه

ارائه‌ی استانداردهای سازگار با رایانه و فرمت‌های توسعه یافته در دامنه کاربرد CEN/WS ELSSI-EMD یک مفهوم موثر برای غلبه بر مشکلات اجرایی سیستم می باشد و گزارش‌دهی الکترونیکی در بخش مهندسی مواد را فعال می کند. یافته‌های CEN/WS ELSSI-EMD که به منظور معتبر ساختن تعريف فرمت داده ها بر اساس استانداردهای مستند برای آزمون‌های مکانیکی در CWA 16200^[42] گزارش شده است. راهنمایی که در CWA 16200 برای خواندن فرمت داده‌های مبتنی بر استاندارد مستندسازی آزمون تعريف شده است در این استاندارد اعمال شده است. تعريف نتایج در منابع استانداردهای BSI موجود می باشد.

برای نشان دادن قابلیت‌های بالقوه، CWA 16200 مثال‌هایی برای ظرفیت گزارش‌دهی برای فرمت داده های مبتنی بر آزمون کشش که بر روی آزمونه تولید شده از یک ماده مرجع تایید شده CRM 661[INGELBRECHT and LOVEDAY 2000]^[29] انجام شده است به عنوان بخشی از پروژه TENSTAND [RIDES and LORD, 2005]^[21] اجرا شده است.

پیوست ب

(الزامی)

انواع آزمونهای مورد استفاده برای محصولات نازک: ورق‌ها، تسمه‌ها و محصولات تخت با ضخامت بین 3 mm و 0.1 mm

ب-۱ کلیات

برای نمونه‌هایی با ضخامت کمتر از 0.5 mm ، لازم است احتیاط ویژه‌ای صورت پذیرد.

ب-۲ شکل آزمونه

به‌طور کلی، آزمونه دارای انتهای فک‌گیر می‌باشد و این قسمت عریض‌تر از طول موازی نمونه است. طول موازی، L_C باید از طریق منحنی‌هایی انتقالی با شعاع حداقل 20 mm به فک‌گیر نمونه متصل شود. عرض قسمت فک‌گیر بهتر است بزرگ‌تر یا مساوی با $b_0 + 1/2 b_0$ باشد، که b_0 عرض اولیه است.

در صورت توافق، آزمونه می‌تواند شامل یک تسمه با لبه‌های موازی (نمونه لبه موازی) باشد. برای محصولاتی با عرض معادل یا کمتر از 20 mm عرض آزمونه می‌تواند با عرض محصول یکسان باشد.

ب-۳ ابعاد آزمونه

به‌طور گسترده سه هندسه مختلف برای آزمونه غیرتناسبی استفاده می‌شود (به جدول ب-۱ مراجعه گردد). طول موازی باید کمتر از $L_0 + b_0/2$ باشد.

در صورت اختلاف، توصیه می‌شود طول $L_0 + 2b_0$ به کار رود مگر این‌که میزان ماده مورد نیاز به‌مقدار کافی وجود نداشته باشد.

برای نمونه‌های لبه موازی با عرض کمتر از 20 mm در صورتی که طور دیگری در استاندارد محصول مشخص نشده باشد، طول مبنای اولیه L_0 باید معادل 50 mm در نظر گرفته شود. برای این نوع آزمونه، طول آزاد بین گیرهای باید معادل $L_0 + 3b_0$ در نظر گرفته شود.

به هنگام اندازه گیری ابعاد هر آزمونه، میزان دامنه تغییرات هر شکل مطابق با جدول ب-۲ باید لحاظ شود. برای آزمونه‌ها در حالتی که عرض نمونه با عرض محصول یکسان باشد، سطح مقطع اصلی S_0 باید بر مبنای ابعاد اندازه گیری شده آزمونه محاسبه شود.

عرض اسمی آزمونه را به شرطی می توان استفاده نمود که میزان رواداری ماشین کاری و میزان دامنه تغییرات شکل که در جدول ب ۳ تعیین شده است برآورده شود تا از اندازه گیری عرض آزمونه قبل انجام آزمون جلوگیری شود.

جدول ب-۱ - ابعاد آزمونه‌ها

ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشد

طول آزاد بین گیره‌ها برای آزمونه‌های لبه موازی	طول موازی L_c	طول مبنای اولیه L_0	عرض b_0	نوع نمونه آزمون
توصیه شده	حدقل			
۸۷,۵	۷۵	۵۷	۵۰	$۱۲,۵ \pm ۱$ ۱
۱۴۰	۱۲۰	۹۰	۸۰	۲۰ ± ۱ ۲
نامشخص	---	^a ۶۰	^a ۵۰	۲۵ ± ۱ ۳

^a نسبت L_0/b_0 و L_c/b_0 برای آزمونه نوع ۳ در مقایسه با نوع ۱ و ۲ بسیار کم می‌باشد. بر اساس این ویژگی‌ها، به ویژه افزایش طول بعد از شکست (مقادیر مطلق و طیف پراکنده)، که با این آزمونه اندازه گیری شده است نسبت به دیگر انواع آزمونه‌ها متفاوت می‌باشد

جدول ب-۲ - روادارهای عرض آزمونه‌ها

ابعاد و میزان رواداری بر حسب میلی‌متر می‌باشد

رواداری برای شکل ^b	رواداری ماشین کاری ^a	عرض اسمی آزمونه
۰,۰۶	$\pm 0,۰۵$	۱۲,۵
۰,۱۲	$\pm 0,۱۰$	۲۰
۰,۱۲	$\pm 0,۱۰$	۲۵

^a این میزان دامنه تغییرات درصورتی قابل اعمال می‌باشد که مقدار اسمی سطح مقطع اصلی S_0 ، در محاسبات شامل شود، بدون این که نیاز به اندازه گیری آن باشد.

^b حداقل میزان انحراف بین اندازه گیری‌های عرض در کل طول موازی آزمونه، L_c

ب-۴ آمده‌سازی آزمونه

آزمونه باید به گونه‌ای آمده‌سازی شود که خواص نمونه اصلی تحت تاثیر قرار نگیرد. هر منطقه‌ای که تحت تاثیر سخت‌کاری ناشی از برش و یا پرس برخی قرار گرفته است، باید با ماشین کاری برداشته شود.

این آزمونه‌ها عمدتاً از ورق‌ها و تسممه‌ها تهیه می‌شود. درصورت امکان سطوح نورد شده نباید حذف شود.

آماده‌سازی این نوع آزمون‌ها به صورت پرس برشی می‌تواند به تغییرات قابل توجهی در خواص ماده، به ویژه استحکام تسلیم/ استحکام تسلیم قراردادی (به‌خاطر کارسختی) منجر شود. موادی که قابلیت کارسختی بالا دارند، بهتر است به صورت فرزکاری، سنگزنه و غیره تهیه شوند.

برای مواد خیلی نازک، توصیه می‌شود تا تسممهایی با عرض یکسان بریده شود و در یک دسته با لایه‌هایی از کاغذهای مقاوم به روغن روانکار مونتاژ شود. هر دسته از این تسممهای سپس می‌تواند با یک تسمه ضخیم‌تر در هر سمت قبل از ماشینکاری در ابعاد نهایی آزمونه مونتاژ شود.

میزان رواداری داده شده در جدول ب-۲، به طور مثال $12,5 \pm 0,05$ mm برای عرض اسمی ۱۲,۵ mm به این معنی می‌باشد که هیچ یک از آزمون‌ها نباید عرضی خارج از مقادیر داده شده در زیر داشته باشد مگر مقدار اسمی سطح مقطع اولیه ۰,۵ در محاسبات لحاظ شود بدون این‌که نیاز به اندازه‌گیری آن باشد:

$$12,5 \text{ mm} + 0,05 \text{ mm} = 12,55$$

$$12,5 \text{ mm} - 0,05 \text{ mm} = 12,45$$

ب-۵ تعیین سطح مقطع اولیه

S₀ باید با استفاده از ابعاد آزمونه یا با فرض انجام یک ماشینکاری خوب اندازه‌گیری شود. (پانوشت جدول ب-۲ مشاهده شود).

خطا در تعیین سطح مقطع اصلی نباید بیش از $\pm 2\%$ باشد. به طور معمول بخش اصلی این خطای اندازه گیری ضخامت آزمونه ناشی می‌شود، خطای اندازه گیری عرض نباید بیش از $\pm 2\%$ باشد.

به منظور دستیابی به نتایج آزمون با اندازه‌گیری عدم قطعیت کاهش یافته، توصیه می‌شود تا سطح مقطع اولیه با دقیقی به میزان $1\% \pm$ یا بهتر تعیین شود. برای مواد نازک ممکن است روش‌های اندازه‌گیری خاصی مورد نیاز باشد.

پیوست پ

(الزامی)

انواع آزمونهای مورد استفاده برای سیم، میله و مقاطع با قطر یا ضخامت کمتر از ۴mm

پ-۱ شکل آزمونه

به طور کلی آزمونه قسمتی از محصول ماشین کاری نشده است (به شکل ۱۲ مراجعه شود).

پ-۲ ابعاد آزمونه

طول مبنای اولیه (L_0) باید $100 \text{ mm} \pm 1\text{mm}$ یا $200 \text{ mm} \pm 2\text{mm}$ گرفته شود. فاصله بین فکهای دستگاه باید حداقل برابر $L_0 + 3b_0$ با حداقل مقدار $L_0 + 20 \text{ mm}$ باشد.

اگر درصد ازدیاد طول بعد از شکست محاسبه نمی‌گردد ، فاصله بین فکها می‌تواند حداقل 50 mm باشد.

پ-۳ آماده سازی آزمونهای آزمونه

اگر محصول به صورت کلاف باشد، باید در صاف کردن آن احتیاط نمود.

پ-۴ محاسبه سطح مقطع مبنای اولیه

S_0 با دقت $\pm 1\%$ یا بیشتر محاسبه شود.

برای محصولات با مقطع دایره، سطح مقطع مبنای اولیه ممکن است از میانگین حسابی دو اندازه‌گیری در دو جهت عمود بر هم محاسبه شود.

سطح مقطع مبنای اولیه، S_0 برحسب میلیمتر مربع می‌تواند از محاسبه جرم یک طول معلوم و چگالی آن با استفاده از معادله (پ-۱) بدست آید.

$$S_0 = \frac{1000 m}{\rho L_t} \quad (\text{پ-1})$$

که در آن

m جرم بر حسب گرم،

L_t طول بر حسب میلیمتر و

P چگالی ماده آزمونه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

پیوست ت

(الزامی)

انواع آزمونه مورد استفاده برای ورق ها و محصولات تخت با ضخامت برابر و یا بیشتر از ۳ mm و سیم، میله ها و مقاطع با قطر و یا ضخامت برابر یا بیشتر از ۴ mm

ت-۱ شکل آزمونه

معمولًا، آزمونه ماشین کاری می شود و طول موازی باید به وسیله یک شعاع انتقالی به انتهای فک گیرها که می تواند دارای هر شکل مناسبی برای فک دستگاه آزمون باشد، متصل شود (به شکل ۱۳ مراجعه شود). حداقل شعاع انتقالی بین انتهای فک گیر و طول موازی باید به صورت زیر باشد:

- الف - $d_0/75$ که در آن d_0 قطر طول موازی برای آزمونه های استوانه ای است،
- ب - ۱۲ mm برای بقیه آزمونه ها.

مقاطع، میله ها و غیره در صورت نیاز می توانند بدون ماشین کاری مورد آزمون قرار گیرند. سطح مقطع آزمونه می تواند دایره، مربع، مستطیل و یا در حالات خاص به شکل دیگری باشد. برای آزمونه های با سطح مقطع مستطیل توصیه می گردد که نسبت عرض به ضخامت بیشتر از ۸:۱ نشود.

به طور کلی، قطر طول موازی آزمونه های استوانه ای ماشین کاری شده باید کمتر از ۳ mm باشد.

ت-۲ ابعاد آزمونه

ت-۲-۱ طول موازی آزمونه ماشین کاری شده

طول موازی، L_0 ، باید حداقل برابر باشد با:

- الف - برای آزمونه های استوانه ای، $L_0 + (d_0/2)$

ب - برای آزمونه های تناسبی غیر از آزمونه های استوانه ای، $L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$

پ - برای آزمونه های غیر تناسبی (به جدول ت-۲ مراجعه شود).

در موارد اختلاف، بسته به نوع آزمونه، طول $L_0 + 2\sqrt{S_0}$ یا $L_0 + 2d_0$ باید استفاده شود مگر اینکه مواد کافی وجود نداشته باشد.

ت-۲-۲ طول آزمونه ماشین کاری نشده

طول آزاد بین فک‌های دستگاه باید برای علائم مبنای کافی و دارای حداقل فاصله $\sqrt{S_0}$ از فک‌ها باشد.

ت-۲-۳ طول مبنای اولیه

ت-۲-۳-۱ آزمونه‌های تناسبی

به عنوان یک قاعده کلی، آزمونه‌های تناسبی در موقعی استفاده می‌شود که L_0 به وسیله معادله (ت-۱) به سطح مقطع اولیه، S_0 مرتبط گردد:

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (\text{ت-1})$$

که در آن k برابر ۵/۶۵ می‌باشد.

۱۱/۳ نیز می‌تواند به عنوان مقدار k به کار رود.

آزمونه‌ها با سطح مقطع دایره‌ای ترجیحاً دارای ابعاد داده شده در جدول ت-۱ می‌باشند.

جدول ت-۱-آزمونه‌های با سطح مقطع دایره

حداقل طول موازی L_c mm	طول مبنای اولیه $L_0 = k\sqrt{S_0}$ mm	قطر d mm	ضریب تناسب k
۱۱۰	۱۰۰	۲۰	
۷۷	۷۰	۱۴	
۵۵	۵۰	۱۰	
۲۸	۲۵	۵	۵/۶۵

ت-۲-۳-۲ آزمونه‌های غیرتناسبی

آزمونه‌های غیر تناسبی اگر در استاندارد محصول مشخص شده باشد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند.

طول موازی (L_c) نمی‌تواند کمتر از $L_0 + b_0/2$ باشد. در موارد اختلاف، طول موازی $L_c = L_0 + 2b_0$ باید استفاده شود، مگر این‌که مواد کافی وجود نداشته باشد.

در جدول ت-۲ جزئیات برخی از ابعاد آزمونه‌های معمول آورده شده است.

جدول ت-۲- ابعاد آزمونه معمول تخت

ابعاد بر حسب میلی‌متر

طول کل تقریبی L_e	حداقل طول موازی L_c	طول مبنای اولیه L_0	عرض b_0
۴۵۰	۲۲۰	۲۰۰	۴۰ ±۰,۷
۴۵۰	۲۱۲,۵	۲۰۰	۲۵ ±۰,۷
۳۰۰	۹۰	۸۰	۲۰ ±۰,۵

ت-۳ آماده سازی آزمونه‌ها

ت-۳-۱ گلیات

رواداری ابعاد عرضی آزمونه‌های ماشین کاری شده در جدول ت-۳ داده شده است.
مثالی از کاربرد این رواداری‌ها در زیربندهای ت-۳-۲ و ت-۳-۳ ارائه شده است.

ت-۳-۲ روادارهای ماشین کاری

اگر مقدار اسمی سطح مقطع اولیه ، L_0 ، در محاسبه نتایج بدون اندازه‌گیری هر آزمونه استفاده شود، مقدار ارائه شده در جدول ت-۳، به عنوان مثال $10 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$ برای قطر اسمی 10 mm به معنای آن است که هیچ آزمونه‌ای نباید قطری خارج از مقادیر داده شده در زیر را داشته باشد.

$$10 \text{ mm} + 0,03 \text{ mm} = 10,03 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} - 0,03 \text{ mm} = 9,97 \text{ mm}$$

ت-۳-۳ رواداری شکل

مقدار داده شده در جدول ت-۳ به معنای آن است که برای آزمونه با قطر اسمی 10 mm ۱ میلی‌متر که شرایط ماشین کاری ارائه شده در بالا را دارد، انحراف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین قطر اندازه‌گیری شده نباید بیشتر از $0,04 \text{ mm}$ باشد.

بنابراین اگر حداقل قطر این آزمونه $9,99 \text{ mm}$ باشد، حداقل قطر نباید از

$$9,99 + 0,04 \text{ mm} = 10,03 \text{ mm}$$

جدول ت-۳- رواداری‌های مربوط به ابعاد عرضی آزمونه‌ها

ابعاد و رواداری‌ها بر حسب میلی‌متر

رواداری در شکل ^b	رواداری ماشین‌کاری در بعاد اسمی ^a	ابعاد عرضی اسمی	شناسه
۰/۰۳	±۰/۰۲	≥ 3 ≤ 6	
۰/۰۴	±۰/۰۳	> 6 ≤ 10	قطر آزمونه ماشین‌کاری شده با سطح مقطع دایره و بعاد عرضی آزمونه با سطح مقطع مستطیل ماشین‌کاری شده از چهار طرف
۰/۰۴	±۰/۰۵	> 10 ≤ 18	
۰/۰۵	±۰/۱۰	> 18 ≤ 30	
۰/۰۳	±۰/۰۲	≥ 3 ≤ 6	
۰/۰۴	±۰/۰۳	> 6 ≤ 10	بعاد عرضی آزمونه با سطح مقطع مستطیل ماشین کاری شده فقط از دو طرف
۰/۰۶	±۰/۰۵	> 10 ≤ 18	مقابل
۰/۱۲	±۰/۱۰	> 18 ≤ 30	
۰/۱۵	±۰/۱۵	> 30 ≤ 50	

^a این رواداری‌ها در صورتی که مقدار اسمی سطح مقطع اولیه (S_0) در محاسبه نتایج بدون نیاز به اندازه‌گیری هر آزمونه مورد استفاده قرار گیرد، قابل اعمال می‌باشد. اگر این رواداری‌های ماشین‌کاری مطابقت نداشته باشد، اندازه‌گیری هر آزمونه به صورت جداگانه الزامی می‌باشد.

^b بیشترین رواداری بین اندازه‌گیری‌های بعد عرضی مشخص در تمام طول موازی آزمونه (L_0).

ت-۴ محاسبه سطح مقطع

قطر اسمی می‌تواند برای محاسبه D برای آزمونه‌های با سطح مقطع دایره و مستطیلی که از چهار طرف ماشینکاری شده‌اند مطابق رواداری‌های داده شده در جدول ت ۳ به کار رود. برای اشکال دیگر آزمونه‌ها، سطح مقطع اولیه باید از اندازه‌گیری ابعاد مناسب که خطا در هر بعد بیشتر از $\pm 0.5\%$ نمی‌باشد، محاسبه گردد.

پیوست ث

(الزامی)

أنواع آزمونه‌های مورد استفاده برای لوله‌ها

ث-۱ شکل آزمونه

آزمونه از طول لوله یا یک تسمه طولی یا عرضی بریده شده از لوله و دارای ضخامت کامل دیواره لوله، تهیه می‌گردد (به شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مراجعه شود) و یا آزمونه با سطح مقطع دایره از دیواره لوله ماشین‌کاری می‌شود.

آزمونه‌های عرضی، طولی و با سطح مقطع دایره‌ای برای لوله‌های با ضخامت کمتر از 3 mm در پیوست ب، و برای ضخامت‌های مساوی یا بیشتر از 3 mm در پیوست ت شرح داده شده است. تسمه طولی معمولاً برای لوله‌ای با ضخامت بیشتر از 5 mm استفاده می‌شود.

ث-۲ ابعاد آزمونه

ث-۲-۱ طول لوله

می‌توان دردو انتهای لوله توپی کار گذاشت. طول آزاد بین هر توپی و نزدیک‌ترین محل علامت طول مبنا باید بیشتر از $D_o/4$ باشد. در موارد اختلاف، اگر طول کافی از مواد (لوله) وجود داشته باشد باید طول D_o به کار رود.

طول توپی درون لوله که خارج از محدوده فک‌های دستگاه و در جهت علامت طول مبنا می‌باشد، نباید بیشتر از D_o باشد، و شکل آن باید به گونه‌ای باشد که تاثیری در تغییر شکل طول مبنا نداشته باشد.

ث-۲-۲ تسمه طولی یا عرضی

طول موازی (L_c) تسمه‌های طولی نباید تخت شود اما دو انتهای برای درگیر شدن با فک‌های دستگاه می‌توانند تخت گردند.

ابعاد آزمونه طولی یا عرضی به‌غیر از آن‌چه در پیوست ب و ت ارائه شده است، می‌تواند در استاندارد محصول نیز مشخص شده باشد.

هنگام صاف کردن آزمونه‌های عرضی باید احتیاط‌های ویژه‌ای به کار رود.

ث-۲-۳ آزمونه ماشین‌کاری شده از دیواره لوله با سطح مقطع دایره

نمونه‌برداری آزمونه‌ها در استاندارد محصول مشخص شده است.

ث-۳ تعیین سطح مقطع اولیه

سطح مقطع اولیه (S_o) آزمونه باید با تقریب $\pm 1\%$ یا بهتر تعیین گردد.

سطح مقطع اولیه طول لوله و یا تسمه طولی یا عرضی (S_o) بر حسب میلیمتر مربع می‌تواند از جرم طول مشخص اندازه‌گیری شده از آزمونه و مقدار چگالی آن با استفاده از فرمول (ث-۱) محاسبه شود.

$$S_o = \frac{1000 m}{\rho L_t} \quad (\text{ث-1})$$

که در آن:

m جرم آزمونه بر حسب گرم،

L_t طول کل آزمونه بر حسب میلیمتر

ρ چگالی ماده آزمونه بر حسب گرم بر سانتیمتر مربع

سطح مقطع اولیه آزمونه (S_o) شامل یک نمونه طولی باید با استفاده از فرمول (ث-۲) محاسبه گردد.

$$S_o = \frac{b_0}{4} (D_0^2 - b_0^2)^{1/2} + \frac{D_0^2}{4} \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0}\right) - \frac{b_0}{4} [(D_0^2 - 2a_0)^2 - b_0^2]^{1/2} - \left(\frac{D_0 - 2a_0}{2}\right)^2 \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0 - 2a_0}\right) \quad (\text{ث-2})$$

که در آن:

a_0 ضخامت دیواره لوله،

b_0 میانگین عرض تسمه،

D_0 قطر خارجی لوله می‌باشد.

معادله ساده شده (ث-۳) می‌تواند برای آزمونه‌های طولی که در آن نسبت بین عرض و قطر خارجی لوله کمتر از حدود ذکر شده باشد، استفاده شود:

$$\left. \begin{array}{l} S_o = a_0 b_0 \left[1 + \frac{b_0^2}{6D_0(D_0 - 2a_0)} \right] \quad \text{اگر} \quad \frac{b_0}{D_0} < 0.25 \\ S_o = a_0 b_0 \quad \text{اگر} \quad \frac{b_0}{D_0} < 0.10 \end{array} \right\} \quad (\text{ث-3})$$

هنگامی که آزمونه طولی از لوله باشد سطح مقطع اولیه (S_o) باید از رابطه (ث-۴) به دست آید:

$$S_o = \pi a_0 (D_0 - a_0) \quad (\text{ث-4})$$

پیوست ج

(آگاهی دهنده)

تخمین سرعت دور شدن فک‌ها از یک دیگر با درنظر گرفتن سفتی (یا انطباق) تجهیزات آزمون

در معادله ۲ هیچ‌گونه تاثیری ناشی از تغییر شکل الاستیک تجهیزات آزمون (اسکلت دستگاه، لودسل، فک‌ها و...) در طی اعمال نیرو به آزمونه در نظر گرفته نشده است. تخمین یک مقدار جبرانی برای تغییر شکل تجهیزات آزمون به وسیله استفاده از سفتی آزمونه در یک نقطه مورد نظر ($R_{p0.2}$) امکان‌پذیر می‌باشد. اگر آن نقطه خارج از محدوده الاستیک باشد ($R_{p0.2}$)، استفاده از سفتی آزمونه در قسمت الاستیک منحنی تنش - کرنش باعث تخمین بیشتر از حد ضریب تصحیح خواهد شد. سفتی تجهیزات آزمون باید برای استفاده در تنظیم و سرعت جدایش فک‌ها مشخص باشد. برای برخی تنظیمات سفتی موثر تجهیزات آزمون می‌تواند طبیعتاً با فرو رفتن فک‌ها در آزمونه در طی آزمون افزایش یابد. ضروری است که در نقاط مورد نظر سفتی تجهیزات آزمون محاسبه گردد.

چنان‌چه مد نظر باشد، رویه زیر برای محاسبه سرعت دور شدن فک‌ها به منظور جبران تغییر شکل تجهیزات آزمون در طی آزمون در نقطه مورد نظر و روی شب منحنی تنش - کرنش استفاده می‌گردد. توصیه شده است که نتایج نرخ کرنش در نقطه مورد نظر در هنگام آزمون برای اطمینان از مناسب بودن محاسبات بررسی گردد.

نرخ کرنش تخمینی بر حسب معکوس ثانیه از طریق معادله ج-۱ مشخص می‌شود) به مرجع شماره [۳۹] مراجعه شود).

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{v_c}{\frac{m \cdot S_0 + L_c}{C_M}} \quad (ج-1)$$

که در آن

سفتی تجهیزات آزمون بر حسب نیوتون بر میلی‌مترمربع (چنان‌چه سفتی خطی نباشد حول نقطه مورد نظر مانند $R_{p0.2}$ ، مثلاً هنگامی که از گیره‌های گوهای استفاده می‌شود)؛ C_M

طول موازی آزمونه بر حسب میلی‌متر؛ L_C

شب منحنی درصد افزایش طول - تنش در لحظه آزمون بر حسب مگاپاسکال (مثلاً حول نقطه مورد نظر مانند $R_{p0.2}$)؛ m

سطح مقطع اولیه بر حسب mm^2 ؛ S_0

سرعت جدایش فکها از یکدیگر بر حسب mm/s است. V_C

یادآوری - مقادیر m و C_M به دست آمده از قسمت خطی منحنی تنش - کرنش نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. معادله ۲ تأثیرات انطباق را نمی‌تواند جبران کند (به زیربند ۱۰-۳-۲-۱ مراجعه شود). در هنگام کنترل آزمون توسط سرعت دور شدن فکها، یک تقریب بهتر از نرخ کرنش مورد نیاز توسط سرعت دور شدن فکها از معادله ج-۲ به دست می‌آید (به مرجع [۴۰] مراجعه شود).

$$v_c = \dot{e}_m \left(\frac{m \cdot S_0}{C_M} + L_c \right) \quad (ج-۲)$$

برای استفاده از معادله ج-۱ یا ج-۲ دانستن سفتی C_M کامل تجهیزات مورد استفاده در آزمون لازم می‌باشد (صلبیت دستگاه آزمون، لودسل و سیستم گیرش آزمونه مورد آزمایش). رویه زیر در آغازدر مرجع [۵۳] شرح داده شده مقادیر تصحیح سفتی C_M را فراهم می‌کند.

یک آزمونه با شکل هندسی و خواص مشابه مواد مورد آزمون می‌تواند با سرعت ثابت پایین دور شدن فکها آزمون شود. سپس متغیرهای ذیل تعیین می‌گردد.

- از نمودار تنش - کرنش شبیه m حول نقطه مورد نظر

- از منحنی درصد افزایش طول - زمان نرخ کرنش حول نقطه مورد نظر

اکنون سفتی می‌تواند با استفاده از معادله ج-۳ محاسبه شود.(تبديل معادله ج-۱ یا ج-۲ بر اساس C_m)

$$C_m = \frac{m \cdot S_0}{\frac{v_c}{\dot{e}_m} - L_c} \quad (ج-۳)$$

این رویه تنها در مورد مواد بدون رفتار تسلیم غیر یکنواخت در محدوده مربوطه به کار می‌رود. برای آزمون مواد با رفتار تسلیم غیر یکنواخت ویا دندانهای، دانسته‌های سفتی به دلیل تخمین نرخ کرنش در روی طول موازی، L_c مورد نیاز نمی‌باشد، و معادله ساده شده ۲ (به زیربند ۱۰-۳-۲-۱ مراجعه شود) بجای معادله ج-۲ می‌تواند برای محاسبه سرعت دور شدن فکها V_C به کار رود.

پیوست چ

(الزامی)

تعیین مدول الاستیسیته مواد فلزی با استفاده از آزمون کشش تک محوره

ج-۱ مقدمه

اگر چه این استاندارد نیاز به تولید یک خط مستقیم با یک فاصله مشخص موازی با منطقه خطی از منحنی تنش-کرنش بهمنظور تعیین مقدار استحکام تسلیم قراردادی، R_p از مواد در حال آزمون دارد، اکثر کاربران معمولاً فرض می‌کنند که شیب منطقه الاستیک خطی از منحنی تنش-کرنش مربوط به مدول الاستیسیته از

مواد در حال آزمون است، مدول الاستیسیته E ، توسط رابطه $\frac{\text{تنش}}{\text{کرنش}} = E$ بهدست می‌آید. با این حال، به‌طور کلی اکستنسومتر با ، کلاس دقتی ۱ به اندازه کافی برای اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک کرنش در منطقه الاستیک با سطح قابل قبول از عدم قطعیت دقیق نیست.

لازم نیست از این پیوست برای تعیین شیب قسمت الاستیک منحنی تنش- جابه‌جایی برای مشخص کردن استحکام تسلیم قراردادی استفاده کرد.

توضیحات بیشتر برای تعیین مدول الاستیسیته توسط آزمون کشش در استاندارد ASTM E 111 ارائه شده است. برای کسب اطلاعات بیشتر، همچنین می‌توانید به استاندارد [43] SEP 1235 رجوع کنید.

ج-۲ کلیات

این پیوست شامل الزامات اضافی برای تعیین مدول الاستیسیته با استفاده از یک آزمون کشش تک محوری است. این روش آزمون به موادی که دارای معیارهای زیر باشند محدود می‌شود:

- اثرات خرز ناچیز از مواد در محدوده ارزیابی

- خط مستقیم کافی در محدوده الاستیک از مواد در محدوده ارزیابی

این الزامات به طراحی تجهیزات آزمون، آزمونه و ارزیابی مربوط به آزمون بستگی دارد.

مدول الاستیسیته یک ویژگی از خصوصیات مواد است و برای محاسبه الاستیسیته محصولات و قطعات مطابق قانون هوک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری - به‌طور معمول، این آزمون به دلیل محدودیت اکستنسومتر به‌عنوان یک آزمون جداگانه از آزمون کشش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج-۳ تجهیزات آزمون

ج-۳-۱ درستی تجهیزات آزمون

ج-۳-۱-۱ تجهیز اندازه‌گیری نیرو

سیستم اندازه‌گیری نیروی دستگاه آزمون باید مطابق با کلاس استاندارد ISO 7500-1 در محدوده مرتبط باشد.

ج-۳-۲ سیستم اکستنسومتر

سیستم اکستنسومتر باید مطابق با کلاس ۵/۰ استاندارد ISO 9513 در محدوده مرتبط باشد.
کرنش باید در جهت مخالف آزمونه اندازه‌گیری شود.

استفاده از اکستنسومتر های با طول مبنای بزرگ (به عنوان مثال مساوی یا بزرگتر از ۵۰ mm) پیشنهاد می‌شود.

ج-۳-۳ تفکیک‌پذیری سیستم آزمون

تفکیک‌پذیری سیستم آزمون باید برای بهدست آوردن حداقل ۵۰ مقدار اندازه‌گیری شده مجزا و متفاوت در محدوده ارزیابی کافی باشد.

ج-۳-۴ تجهیزات اندازه‌گیری برای تعیین ابعاد مربوط به آزمونه

تمام تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده برای تعیین سطع مقطع آزمونه باید با استانداردهای مناسب که قابلیت رדיابی به یک سیستم ملی اندازه‌گیری را دارد، کالیبره شده باشد. تجهیز اندازه‌گیری باید قادر به تضمین درستی داده‌های اندازه‌گیری بهتر از $\pm 5\%$ مقدار اندازه‌گیری شده باشد.

ج-۳-۲ روش بستن و تنظیم هم‌راستایی

روش بستن و تنظیم هم‌راستایی برای تعیین مدول الاستیسیته مهم است. برای الزامات در مورد روش بستن زیربند ۲-۱۰ و برای کسب اطلاعات بیشتر، ASTM E1012 را ببینید. اطلاعات مفید اضافی ممکن است در استاندارد ISO 23788 باشد.

توصیه می‌شود برای جاگیری آزمونه با هدف ایجاد هم‌راستایی از تجهیزات مکانیکی استفاده شود.

ج-۴ آزمونهای

ج-۴-۱ کلیات

آزمونهای باید مستقیم باشد.

یادآوری - نمونه‌های خم شده یا پیچشده شده را نمی‌توان با توجه به این پیوست آزمون کرد.

سطح آزمونهای باید در شرایطی باشد که در نتیجه آزمون تاثیرگذار نباشد.

از آنجایی که تنش پسماند در نمونه موجود است، چه به عنوان یک نتیجه از قبل پردازش شده، یا آماده سازی نمونه، مقدار مدول تعیین شده ممکن است نماینده مواد پایه نباشد.

ج-۴-۲ تعیین سطح مقطع اولیه

برای تعیین سطح مقطع اولیه، بند ۷ را ببینید. علاوه بر الزامات بند ۷، حداقل از سه اندازه‌گیری برای هر قسمت باید استفاده شود. سطح مقطع اولیه، S_0 سطح مقطع متوسط است و باید از محاسبه ابعاد تناسبی اندازه‌گیری شده به دست آید. سطح مقطع اولیه باید با درستی $\pm 5\%$ و با بهتر تعیین شود.

ج-۵ روش اجرایی

ج-۵-۱ کلیات

اگر منحنی تنش-کرنش تا $R_{p0,2}$ یا R_{eH} مشخص نباشد، یک پیش آزمون برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته باید انجام شود.

ج-۵-۲ تنظیم نقطه صفر نیرو

تنظیم نقطه صفر نیرو باید مطابق زیربند ۱-۱۰ انجام شود.

ج-۵-۳ شرایط آزمون

ج-۵-۳-۱ سرعت آزمون

در مقایسه با خواص دیگر که با استفاده از آزمون کشش تعیین می‌شوند، مدول الاستیسیته حساسیت کمتری به سرعت انجام آزمون دارد. سرعت آزمون می‌تواند با توجه به روش A در محدوده ۱ باشد. سرعت انجام آزمون دیگر از جمله استفاده از روش B نیز مجاز است.

برای رسیدن به تعداد مورد نیاز از داده‌ها برای تجزیه و تحلیل ممکن است سرعت انجام آزمون تا حد مورد نیاز کم شود.

سرعت ث ممکن است برای جلوگیری از هرگونه ناپیوستگی مورد استفاده قرار گیرد.

ج-۵-۲ تناوب نمونهبرداری داده‌ها

تناوب نمونهبرداری داده‌ها برای دور شدن فک‌ها باید طوری انتخاب شده باشد، که حداقل ۵۰ مقدار اندازه گیری شده در محدوده مرتبط تناسبی (R_1, R_2) به‌دست آید.

حداقل تناوب نمونهبرداری می‌تواند از معادله چ-۱ محاسبه شود.

$$f = \frac{N \cdot E \cdot \dot{e}}{R_2 - R_1} \quad (1\text{ج})$$

که در آن N تعداد مقادیر اندازه‌گیری در محدوده مرتبط است.

برای فولاد با $R_1 = 10 \text{ MPa}$ و $R_2 = 50 \text{ MPa}$ و سرعت انجام آزمون $0.000\ 07 \text{ s}^{-1}$ ، تناوب نمونه‌برداری باید بیشتر از 18 Hz باشد.

ج-۵-۳ روش انجام آزمون

اگر نمونه آزمون بیش از یک بار برای اندازه‌گیری مدول مورد استفاده قرار گیرد، بار اعمالی نباید بیشتر از ۵۰٪ مقدار $R_{p0,2}$ یا R_{eH} باشد.

در غیر این صورت، توصیه می‌شود انجام آزمون تا نقطه مشاهده تغییر شکل پلاستیک ادامه پیدا کند.

ج-۶ ارزیابی

ج-۶-۱ میانگین‌گیری علایم اکستنسومتری

متوسط کرنش مورد نیاز در زیربند چ-۶، برای هریک از مقادیر تنش توسط میانگین‌گیری کرنش از دو سوی متقابل آزمونه به‌دست می‌آید.

اطلاعات کرنش هرطرف آزمونه می‌تواند نمایش داده شود و تفاوت شیب دو منحنی می‌تواند به‌وسیله بهینه کردن تجهیزات آزمون کاهش یابد (کاهش خمش). برای اطلاعات بیشتر به استانداردهای ASTM E 1012 و ISO 23788 مراجعه شود.

ج-۶-۲ محاسبه مدول الاستیسیته

برای ارزیابی داده‌های ثبت شده روش تعاملی زیر توصیه می‌شود.

این روش بر اساس تعیین عددی بهترین خط تناسبی با محدوده الاستیک (حداقل روش درجه ۲) شامل ارزیابی چشمی از مطابقت این خط با منحنی به‌دست آمده واقعی است.

بنابراین به تجزیه و تحلیل دستی یک نمودار $X-Y$ وابسته است.

استفاده از این روش بستگی به در دسترس بودن نرم افزارهای رایانه‌ای مناسب دارد.

رگرسیون خطی تنش - کرنش (ج-۴) باید بین یک مقدار تنش پایین R_1 و یک مقدار تنش بالا R_2 انجام شود (متناوباً، کرنش e_1 و e_2 ممکن است استفاده شود):

$$R = \frac{E \cdot e}{100 \%} + b \quad (\text{ج-۳})$$

که در آن:

R تنش بر حسب مگاپاسگال

E مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسگال

e افزایش طول بر حسب درصد

b تنش تسلیم قراردادی بر حسب مگاپاسگال

خط مستقیم که با استفاده از این روش مشخص می‌شود باید از قسمت آغازین نمودار تنش-کرنش شروع و تطابق بین خط راست و منحنی باید به صورت چشمی مورد ارزیابی قرار گیرد. در نظر گرفتن ضریب همبستگی R^2 برای مطابقت خط با منحنی ممکن است مفید باشد که می‌تواند نزدیک به ($0.999 > 0.999$) در نظر گرفته شود، به موجب آن تعداد نقاط داده باید حداقل ۵۰ عدد باشد.

یکی دیگر از ابزارهای مفید، محاسبه انحراف استاندارد نسبی است. انحراف استاندارد نسبی برای محاسبه ضریب همبستگی R^2 و تعداد نقاط داده‌های مورد نظر از میان سایر اطلاعات آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مقدار باید کمتر از ۱٪ باشد.

با جابه‌جا کردن مقادیر پایین یا بالا و محاسبه مجدد معادله می‌توان مناسب‌ترین خط (به عنوان مثال مدول الاستیسیته) را با منحنی تطبیق داد.

مقادیر زیر به عنوان نقطه شروع برای محاسبه رگرسیون توصیه می‌شود:

مقدار تنش پایین R_1 : R_{eH} یا $R_{p0.2}$ ۱۰٪

مقدار تنش بالای R_2 : R_{eH} یا $R_{p0.2}$ ۱۰٪

علاوه بر این، کرنش قراردادی را می‌توان بر اساس معادله ج-۳ محاسبه کرد.

$$x_{(y=0)} = \frac{-b}{E} \quad (\text{ج-۴})$$

تحت شرایط مطلوب آزمون، مقادیر پیشفرض انتخاب شده تاثیر زیادی در محاسبه نتیجه ندارد. به عنوان مثال: اگر مواد شرایط عمومی شرح داده شده در چ-۲ را برآورده کند و مقادیر پیشفرض R_1 و R_2 ، 10% و 40% از $R_{p0.2}$ یا R_{eH} باشد، محاسبه دوباره معادله با استفاده از مقادیر پیشفرض تعیین شده در داخل فاصله مشخص (به عنوان مثال 10% تا 20% ، 30% تا 40% از R_{eH}) در نتایج تاثیر قابل توجهی نمی‌گذارد.

در مواردی که ماده رفتار خطی در محدوده الاستیک نشان نمی‌دهد، به عنوان مثال، چدن یا زمانی که داده رگرسیون از کیفیت کافی، به عنوان مثال $5 R^2 < 0.999$ بخوردار نیست، مدول الاستیسیته نمی‌تواند تعیین شود.

توصیه می‌شود تکرارپذیری نتایج آزمون به طور منظم بررسی شود و از روش‌های مناسب برای پیکربندی استفاده شود.

آزمونهای مرجع مناسب تهیه شده در کارگاه می‌تواند همان شکل هندسی آزمونه را داشته باشد.
برای ارزیابی مدول الاستیسیته روش‌های ریاضی و تجزیه و تحلیل رایانه‌ای بیشتر در دسترس هستند.

ج-۷ عدم قطعیت اندازه‌گیری

ج-۷-۱ کلیات

تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری برای محاسبه مدول‌های الاستیسیته می‌تواند مطابق با استانداردهای CWA 15261-2:2005,A.5^[۱۹] یا مطابق پیوست ذ انجام شود.

یادآوری - تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری مطابق با استانداردهای CWA 15261-2:2005 بر اساس مقادیر مطلق است. این نتایج متاثراز تفاوت تخمین‌های منابع عدم قطعیت نسبی است. به عنوان مثال ابعاد آزمونه یا تفاوت طول مبنای اکستنسومتر. تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری مطابق با پیوست ذ تخمین‌های نسبی است. بنابراین به جز اندازه‌گیری منابع عدم قطعیت نسبی برای اندازه‌گیری کرنش تخمین نسبی عموماً تغییر نمی‌کند. به علت افزایش طول‌های کوچک در طی آزمون در قسمت الاستیک ، مقدار مطلق عدم قطعیت اندازه‌گیری کرنش مرتبط در عدم قطعیت سهیم می‌باشد(مطابق با استاندارد ISO 9513).

ج-۷-۲ تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری مطابق با استاندارد CWA 15261-2

ج-۷-۲-۱ کلیات

یادآوری - در استاندارد CWA 15261-2 نماد L_0 برای طول مبنای و m_E برای شیب قسمت الاستیک منحنی نیرو-افزایش طول به کار می‌رود. جهت سازگاری با این استاندارد نماد L_e برای طول مبنای اکستنسومتر و S_E برای شیب قسمت الاستیک منحنی نیرو-افزایش طول به کار می‌رود.
اندازه‌گیری عدم قطعیت مطابق با استاندارد CWA 15261-2 در معادله چ-۴ داده شده است:

$$u_c(E) = \sqrt{\left(\frac{L_e}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(S_E) + \left(\frac{S_E}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(L_e) + \left(-\frac{S_E L_e}{S_o^2}\right)^2 \cdot u^2(S_o)} \quad (4-7)$$

که در آن:

طول مبني اكستنسومتر؛ L_o

سطح مقطع اوليه؛ S_o

شيب منحنى نiero-افزايش طول S_E

عدم قطعية طول مبني اكستنسومتر $u(L_e)$

عدم قطعية سطح مقطع اوليه $u(S_o)$

عدم قطعية شيب منحنى نiero-افزايش طول $u(S_E)$

ج-۲-۷-۲ مثالی از محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری

جدول ج-۱ نتایج مثال برای عدم قطعیت مطابق با استاندارد ۲-۲ CWA 15261 برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته^[۵۴] ۱۸۶,۷ GPa بر اساس اطلاعات ذیل را نشان می‌دهد:

L_e	۵۰ mm
S_o	۷۸,۵ mm ^۳
S_E	۲۹۳,۰۷ KN/mm
$u(L_e)$	۰,۱۴۴ mm
$u(S_o)$	۰,۷۸۵ mm ^۳
$u(S_E)$	۰,۰۶۴ KN/mm

جدول ج-۱ - سهم عدم قطعیت، مثال ۱ مطابق با استاندارد ۲-۲ CWA 15261

پارامتر	ضریب حساسیت ^a	سهم عدم قطعیت ^a
$\frac{L_e}{S_o}$	$0,637 \text{ mm}^{-1}$	
$u(S_E)$		$0,064 \frac{\text{KN}}{\text{mm}}$
$\frac{S_E}{S_o}$	$3,733 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^3}$	
$u(L_e)$		$0,144 \text{ mm}$
$- \frac{S_E L_e}{S_o^2}$	$-2,373 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^4}$	
$u(S_o)$		$0,785 \text{ mm}^2$
$u_c(E)^b$		$1,9 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$
مقادیر صرفاً جهت اطلاع است		^a
مطابق معادله ج ۵ محاسبه شده است		^b

$$u_c(E) = \sqrt{0,637^2 \times 0,064^2 + 3,733^2 \times 0,144^2 + (-2,373)^2 \times 0,785^2} = 1,9 \text{ GPa} \quad (\text{ج-۵})$$

برای سطح اطمینان ۹۵٪ ، عدم قطعیت مرکب باید در ضریب تصحیح $K=2$ ضرب گردد. (به معادله ج-۶ مراجعه شود)

$$U(E) = K \times u_c(E) = 2 \times 1,9 \text{ GPa} = 3,8 \text{ GPa} \quad (\text{ج-۶})$$

این مقدار ۲۰٪ بر مبنای مدول الاستیسیته ۱86,7GPa می‌باشد.

نتایج آزمون برای مدول الاستیسیته $(K = 2.95\%)$ ۱86,7 Gpa $\pm 3,8$ GPa (سطح اطمینان ۹۵٪) معنای سطح اطمینان ۹۵٪ این است که مقادیر درست مدول الاستیسیته بین محدوده ۱82,9 GPa و ۱90,5GPa قرار می‌گیرد.

ج-۷-۳ تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری مطابق با پیوست ذ

جدول چ-۲ نشانگر موارد سهیم در عدم قطعیت برای مدول الاستیسیته مطابق با پیوست ذ می‌باشد.

جدول چ-۲ - موارد سهیم در عدم قطعیت، مثال ۲ مطابق با پیوست ذ

پارامتر	سهم عدم قطعیت ^a ٪
انحراف استاندارد شبیب (rel)	۰,۲
انحراف استاندارد مقادیر X از منحنی S_x ، $X-Y$	۳
انحراف استاندارد مقادیر Y از منحنی S_Y , $X-Y$	۱
طول مبنای اکستنسومتر، L_e	۰,۵
سطح مقطع اولیه، S_o	۱
مقادیر صرفاً جهت اطلاع می‌باشند	
^a S_x و S_y شامل Sm میباشند که در نتیجه باید مورد ملاحظه قرار گیرند.	
^b براساس اندازه‌گیری افزایش طول کوچک در آزمون، مقادیر قدر مطلق $1/5$ میکرون متر از اکستنسومتر کلاس $1/5$ باید استفاده شود. مثال: $\Delta R = 200$ MPa, $E = 200$ GPa, $L_e = 50$ mm	
^c اکستنسومتر)، سهم عدم قطعیت ۳٪ است.	
^{۰/۵}	

عدم قطعیت ترکیبی برای مدول الاستیسیته بر حسب درصد بیان می‌شود همانطور که در معادله چ-۷ داده شده است.

$$u_c(E) = \sqrt{\left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{3}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 1,9\% \quad (\text{چ-۷})$$

برای سطح اطمینان ۹۵٪، عدم قطعیت مرکب باید در ضریب تصحیح $K=2$ ضرب شود(به معادله چ-۸).

$$U(E) = K \times u_c(E) = 2 \times 1,9\% = 3,8\% \quad (\text{چ-۸})$$

نتایج آزمون برای مدول الاستیسیته برابر است با $(K=2,95)$ (سطح اطمینان $186,7 \pm 7,1$)GPa .

^۱ - Bias

معنای سطح اطمینان ۹۵٪ این است که مقادیر درست مدول الاستیسیته بین محدوده ۱79,6 GPa و 193,8GPa قرار می‌گیرد.

ج-۷ آزمون مهارت

یک آزمون مهارت "مدول یانگ" ارایه گردید و عدم قطعیت اندازه‌گیری برای تمام اجزای مشکله تعیین شد. یک عدم قطعیت اندازه‌گیری برای تعیین مدول الاستیسیته بین ۱٪ و ۵٪ (با سطح اطمینان ۹۵٪) مناسب است [54].

ج-۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات مورد نیاز دربند ۲۲-الف تا ۲۲-ج باشد. همچنین اطلاعات زیر باید اضافه شود:

- ۱- نوع سیستم اکستنسومتر؛
- ۲- مقادیر پیش فرض تنش R_1 و R_2 بر حسب مگاپاسکال یا به ترتیب مقادیر پیشفرض کنش e_1 و e_2 بر حسب درصد
- ۳- تعداد مقادیر اندازه‌گیری در محدوده ارزیابی (بین R_1 و R_2 و یا e_1 و e_2)
- ۴- مدول الاستیسیته E (بر حسب GPa)، که براساس استاندارد ISO 80000-1 به نزدیکترین 0,1GPa گردشده باشد.
- ۵- عدم قطعیت اندازه‌گیری از جمله سطح اطمینان (بر حسب GPa)، و روش تعیین ۲:۱۵۲۶۱-CWA، ۲۰۰۵ A.5 یا جدول (ج)
- ۶- ضریب همبستگی R^2 از مناسب‌ترین خط مستقیم و یا انحراف استاندارد S_m (بر حسب GPa) و یا انحراف استاندارد نسبی $Sm_{(rel)}$ بر حسب درصد.

ج-۹ ملاحظات تكميلي

به طور کلی ، محاسبه مقادیر مورد اطمینان مدول در آزمون کشش به جز موارد به کار گیری اکستنسومتر با وضوح بالا مشکل است، و چنین دستگاه‌هایی عموماً برای پوشش تمام محدوده آزمون کشش مناسب نمی‌باشند. اگر اکستنسومتر یک طرفه و یا از سنجه گیره‌ای استفاده شود کوچک‌ترین غیر هم راستایی آزمونه می‌تواند خطایی بزرگ در نتایج اندازه‌گیری مدول ایجاد کند.

ج-۱۰ سایر روش‌های اندازه‌گیری مدول

آزمون کشش بهترین روش برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته نمی‌باشد و سایر روش‌های جایگزین مانند برانگیختگی ناگهانی^۱ یا فراصوتی ترجیح داده می‌شود، برای اطلاعات بیشتر به منابع [۱۷] و [۴۴] تا [۴۶] مراجعه شود.

ج-۱۱ عدم قطعیت و تجدیدپذیری

منابع کامل عدم قطعیت در اینجا ذکر نشده است اما رویه‌های تخمین عدم قطعیت براساس GUM^[۴] به عنوان قسمتی از پروژه اروپایی UNERT برای آزمون کشش[۴۷] و اندازه‌گیری دینامیکی[۴۸] آمده است. تجدیدپذیری اندازه‌گیری مدول‌ها بر اساس دو برابر انحراف استاندارد از یک سری آزمون کشش مقایسه داخلی در جدول ج-۳[۴۵] درج شده است.

جدول ج-۳- مرور آزمون‌های round robin : مدول‌های الاستیسیته یا شب خط الاستیک متناظر

تجددید پذیری ($\pm 2SD$)	مواد	سال	نویسنده	منابع
۲	فولاد معمولی	۱۹۱۰	Unwin ^[۵۰]	آزمون مواد سازه‌ای
۶	SiC/AL MMC	۱۹۹۵	Lord, Roebuck and Orkney ^[۵۱]	VAMAS
۱۲	Nimonic 75	۲۰۰۰	Ingelbrecht and Loveday ^[۲۹]	BCR آزمون کشش CRM 661
۵-۲۵	متتنوع	۲۰۰۵	Lord, Rides and Loveday ^[۴۹]	TENSTAND Wp3 اندازه‌گیری مدول‌ها
۱-۶	متتنوع- فایل ASCII	۲۰۰۵	Lord, Loveday, Rides and McEnteggart ^[۲۲]	TENSTAND Wp2 فایل داده‌ها ASCII

باید توجه نمود که کلیات نتایج گزارش شده بر اساس معیارهای این استاندارد یا استانداردهای معادل قبلی است. همچنین باید در نظر گرفته شود که هدف از چندین آزمون تعیین خواص مشترک آزمون کشش است.(مانند تولید اطلاعات ASCII مشخص شده در TENSTAD WP2). بنابراین نوعاً اکستنسومتر یک طرفه کلاس یک با درستی مشخص در محدوده الاستیک به کار گرفته می‌شود و شبیه قسمت الاستیک از منحنی تنش- درصد افزایش طول m_E به منظور محاسبه $R_{p0,2}$ تعیین شده است و سایر خواص ذاتی مدول

^۱- Impuls excitation

الاستیسیته مواد E تعیین نشده است. اگر اکستنسومتر دوطرفه با تفکیک‌پذیری بالا کلاس ۵/۰ به کار گرفته شود، مانند این پیوست عدم قطعیت اندازه‌گیری کاهش و تجدیدپذیری بهتر خواهد شد.

پیوست ح

(آگاهی دهنده)

اندازه‌گیری درصد افزایش طول پس از شکست اگر مقدار مشخص شده کمتر از ۵٪ باشد

برای اندازه‌گیری درصد افزایش طول پس از شکست اگر مقدار مشخص شده آن کمتر از ۵٪ باشد، باید احتیاط کرد.

یکی از روش‌های پیشنهادی در ادامه آورده شده است.

قبل از آزمون، یک علامت بسیار کوچک باید نزدیک به هر یک از دو انتهای طول موازی ایجاد شود. از یک جفت پرگار تقسیم کننده برای ایجاد طول مبنا استفاده کرده و یک قوس حکاکی با یک علامت نسبت به مرکز ایجاد کنید. پس از شکستگی، نمونه شکسته شده باید در یک نگهدارنده مناسب و تحت نیروی فشاری محوری قرار گیرد تا به صورتی پایدار و محکم در طول اندازه گیری ثابت باشد. قوس دوم با همان شعاع از مرکز اصلی در نزدیک به شکستگی باید حک شود و فاصله بین دو حکاکی با استفاده از یک میکروسکوپ یا سایر ابزارهای مناسب اندازه گیری شود. برای این که خطوط ریز حک شده راحت‌تر قابل مشاهده باشند، از یک فیلم مناسب بر روی نمونه قبل از انجام آزمون ممکن است استفاده شود.

یادآوری- روش دیگر در زیربند ۲-۲۰ توصیف شده است. (اندازه‌گیری افزایش طول در شکست با استفاده از اکستنسومتر)

پیوست خ

(آگاهی دهنده)

اندازه گیری درصد ازدیاد طول بعد از شکست بر اساس تقسیم‌بندی‌های جزیی طول مبنای اولیه

خ-۱ برای پیشگیری از رد شدن نمونه‌هایی که موقعیت شکست آن‌ها در تطابق کامل با شرایط ۱-۱۲ قرار ندارد اما گلویی شدن به‌طور کامل درون طول مبنای اولیه رخ داده است، می‌توان از روش زیر استفاده کرد:

الف - قبل از انجام آزمون، طول مبنای اولیه (L_0) را به N بخش مساوی با طول ۵mm (پیشنهادی) تا ۱۰mm تقسیم‌بندی کنید.

ب - بعد از انجام آزمون، از نشانه X برای مشخص کردن علامت طول مبنای اولیه بر روی بخش کوچک‌تر نمونه و از نشانه Y برای مشخص کردن علامت طول مبنای اولیه بر روی بخش بزرگ‌تر نمونه استفاده کنید که مانند نشانه X فاصله یکسانی از ناحیه شکست دارد.

خ-۲ اگر عدد n تعداد خطوط بین X و Y باشد، ازدیاد طول بعد از شکست به‌روش زیر تعیین می‌شود:

الف- اگر N-n یک عدد زوج باشد (به شکل خ-۱-الف مراجعه شود)، فاصله بین نقاط X و Y (L_{XY}) و فاصله Y از نقطه Z (L_{YZ}) واقع در فاصله $(N-n)/2$ پشت نقطه Y را اندازه بگیرید.

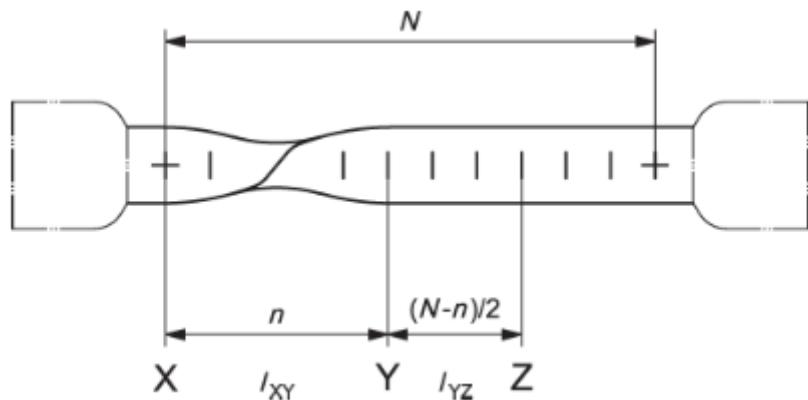
درصد ازدیاد طول بعد از شکست A را با استفاده از معادله خ-۱ محاسبه کنید:

$$A = \frac{L_{xy} + 2L_{YZ} - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (\text{خ-۱})$$

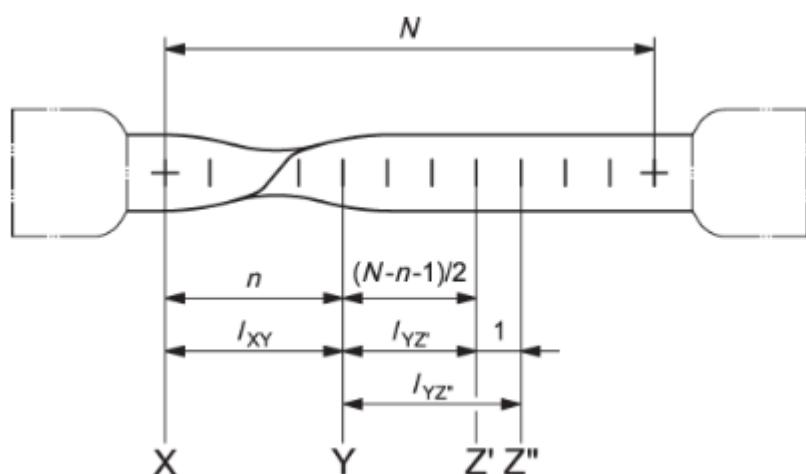
ب- اگر N-n یک عدد فرد باشد (به شکل خ-۱-ب مراجعه شود)، فاصله بین نقاط X و Y (L_{XY}) و فاصله Y از نقاط Z' و Z'' ($L_{YZ'}$ و $L_{YZ''}$) را که به ترتیب در فواصل $(N-n+1)/2$ و $(N-n-1)/2$ در فاصله $(N-n)/2$ پشت نقطه Y واقع شده‌اند را اندازه بگیرید.

درصد ازدیاد طول بعد از شکست را با استفاده از معادله خ-۲ محاسبه کنید:

$$A = \frac{L_{xy} + L_{YZ'} + L_{YZ''} - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\text{خ-۲})$$



الف) عدد زوج است $N-n$



ب) عدد فرد است $N-n$

راهنما :

تعداد خطوط بین X و Y

N

تعداد فاصله‌های مساوی

N

نشانه طول اولیه بر روی بخش کوچک‌تر نمونه آزمون

X

نشانه طول اولیه بر روی بخش بزرگ‌تر نمونه آزمون

Y

علامت‌های طول اولیه

Z, Z', Z''

یادآوری - شکل فک‌گیر نمونه آزمون تنها به عنوان یک راهنمایی داده شده است

شکل خ-۱: مثال‌های اندازه‌گیری درصد ازدیاد طول بعد از شکست

پیوست ۵

(آگاهی‌دهنده)

تعیین درصد ازدیاد طول پلاستیک بدون گلویی شدن (Awn) برای محصولات طویل مانند میله‌ها، سیم‌ها و مفتول‌ها

این روش بر روی بخش بزرگ آزمونه شکسته آزمون کشش انجام می‌شود.

قبل از انجام آزمون، علامت‌هایی با فاصله یکسان بر روی طول مبنا گذاشته می‌شوند که فاصله دو خط موازی برابر کسری از طول مبنای اولیه (L'_0) می‌باشد. علامت‌گذاری طول مبنای اولیه باید با درستی $\pm 0,5$ mm باشد. اندازه گیری طول بازه نهایی بعد از شکست (L'_u) بر روی بزرگ‌ترین بخش نمونه شکسته شده آزمونه انجام می‌شود و می‌تواند با درستی $\pm 0,5$ mm باشد.

برای معتبر بودن اندازه گیری، شرایط زیر باید اعمال شود:

الف- حدود منطقه اندازه گیری باید حداقل به فاصله $5d_0$ دور از ناحیه شکست و حداقل $2,5d_0$ دور از ناحیه فک گیر باشد؛

ب- اندازه طول مبنای اولیه می‌تواند حداقل برابر با اندازه مشخص شده در استاندارد محصول باشد.

درصد ازدیاد طول بدون گلویی شدن بر اساس معادله د-۱ محاسبه می‌شود:

$$A_{wn} = \frac{L'_u - L'_0}{L'_0} \cdot 100 \quad (د-۱)$$

یادآوری- برای بسیاری از فلزات، حداکثر نیرو در بازه‌ای رخ می‌دهد که گلویی شدن شروع می‌شود. این به معنای برابری تقریبی مقادیر A_g و A_{wn} برای این فلزات خواهد بود. تفاوت زیاد در این مقادیر در موادی که تحت کار سرد شدید قرار گرفته‌اند مانند ورق قلعی که تحت دو بار کاهش ضخامت قرار گرفته است یا فولادهای ساختمانی براق یا آزمون‌های انجام شده در دماهای بالا مشاهده خواهد شد.

پیوست ذ

(آگاهی دهنده)

تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری

ذ-۱ کلیات

این پیوست یک راهنمای چگونگی تخمین عدم قطعیت مقادیر تعیین شده ارائه می‌دهد. باید توجه کرد که امکان ارائه یک عبارت مطلق برای عدم قطعیت برای این روش آزمون وجود ندارد زیرا عبارت عدم قطعیت هم دارای بخش وابسته به ماده و هم بخش مستقل از ماده است. ISO/IEC Guide 98-3^[۴] یک سند جامع بیش از ۹۰ صفحه بر اساس روش‌های آماری سخت‌گیرانه برای گردآوری عدم قطعیت از منابع مختلف می‌باشد. پیچیدگی آن انگیزه محرکه را برای تعدادی از سازمان‌ها جهت تهیه نسخه‌های ساده شده فراهم کرده است (NIS 3003، NIS 80) و مرجع [۲۳] را ببینید. تمامی این سندها یک راهنمای بر روی چگونگی تخمین عدم قطعیت بر اساس مفهوم "بودجه عدم قطعیت"^۱ ارائه می‌کنند. برای جزئیات بیشتر EN 10291 و مرجع [۲۴] را ببینید. اطلاعات بیشتر برای تخمین عدم قطعیت در مراجع [۲۵] و [۲۶] در دسترس هستند. اندازه‌گیری عدم قطعیت ارائه شده در این بخش در مورد پراکندگی نتایج ناشی از ناهمگنی مواد مانند یک دسته^۲، از ابتدا تا انتهای یک پروفیل اکسترود شده، یک کلاف نورد شده یا بخش‌های مختلف یک قطعه ریختگی مطلبی بیان نمی‌کند. عدم قطعیت از پراکندگی داده‌های به دست آمده از آزمون‌های مختلف، دستگاه‌های مختلف یا آزمایشگاه‌های مختلف از مواد همگن ایده آل حاصل می‌شود. در ادامه تاثیرات مختلف بیان شده‌اند و راهنمایی برای تعیین عدم قطعیت داده شده است.

مقادیر تجدید پذیری استفاده شده در جدول‌های ذ-۲ تا ذ-۴ بر اساس ISO/IEC Guide 98-3 برابر نصف عرض فاصله هستند و می‌تواند به عنوان مقادیر رواداری پراکندگی مثبت و منفی (\pm) در نظر گرفته شوند.

ذ-۲ تخمین عدم قطعیت

ذ-۲-۱ کلیات

عدم قطعیت استاندارد، u ، مقدار پارامتر یک را می‌توان به دو روش تخمین زد.

¹ Uncertainty Budget

² Batch

ذ-۲-۲ نوع A- با اندازه‌گیری‌های تکرارشده

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (ذ-1)$$

که در آن؛

S انحراف استاندارد اندازه‌گیری

n تعداد مشاهداتی که میانگین آن‌ها برای ارسال نتیجه اندازه‌گیری تحت شرایط عادی محاسبه شده است.

ذ-۲-۳ نوع B- از برخی منابع دیگر مانند گواهی‌نامه‌های کالیبراسیون یا رواداری‌ها

در اینجا مقدار درست احتمالاً در هر جا در فواصل تعریف شده یکسان و مشابه است بهنحوی که توزیع به صورت مستطیلی یا یکنواخت توصیف می‌شود. در این حالت عدم قطعیت استاندارد با معادله ذ-۲ محاسبه می‌شود:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (ذ-2)$$

که در آن a نصف عرض فاصله‌ای است که آن مقدار در آن فاصله قرار می‌گیرد.

اغلب تخمین یک کمیت (v) نیازمند اندازه‌گیری کمیت‌های دیگر است. سهم عدم قطعیت همه این اندازه‌گیری‌ها باید در تخمین عدم قطعیت y لحاظ شود. در نتیجه این عدم قطعیت به عنوان یک عدم قطعیت مرکب شناخته می‌شود. اگر تخمین به سادگی شامل اضافه یا کسر کردن یک سری از اندازه‌گیری‌ها x_1, x_2, \dots, x_n باشد، عدم قطعیت مرکب در y ، $u(y) = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + \dots + u(x_n)^2}$ محاسبه می‌شود:

$$u(y) = \sqrt{(u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + \dots + u(x_n)^2)} \quad (ذ-3)$$

که در آن (x_1, x_2, \dots, x_n) عدم قطعیت پارامتر x است.

ذ-۳ تاثیر پارامترهای تجهیزات بر روی عدم قطعیت نتایج آزمون

عدم قطعیت نتایج به دست آمده از یک آزمون کشش شامل اجزایی به خاطر تجهیزات مورد استفاده می‌باشد. نتایج آزمون متفاوت بسته به روش تعیین آن‌ها دارای سهم‌های عدم قطعیت متفاوتی هستند. جدول ذ-۱ سهم عدم قطعیت اجزایی را نشان می‌دهد که می‌تواند برای بعضی از خواص مواد متداول‌تر که در آزمون کشش تعیین می‌شوند، در نظر گرفته شود. بعضی از نتایج آزمون را می‌توان با عدم قطعیت پایین‌تری نسبت به دیگران تعیین کرد، به عنوان مثال استحکام تسلیم بالایی (R_{eH}) تنها بستگی به عدم قطعیت اندازه‌گیری نیرو و سطح مقطع دارد، در حالی که استحکام تسلیم قراردادی (R_p) بستگی به نیرو، افزایش طول، طول مبنای، سطح مقطع و پارامترهای دیگر دارد. برای کاهش سطح مقطع (Z)، اندازه‌گیری عدم قطعیت سطح مقطع قبل و بعد از شکست باید لحاظ شود.

جدول ذ-۱- سهم عدم قطعیت نتایج آزمون مربوط به وسایل اندازه‌گیری

نتایج آزمون						پارامتر
Z	A	R _p	R _m	R _{eL}	R _{eH}	
-	-	X	X	X	X	نیرو
-	X	X	-	-	-	افزایش طول
-	X	X	-	-	-	طول مبنا
X	-	X	X	X	X	S ₀
X	-	-	-	-	-	S _u
						مرتبه X
						غیر مرتبه -

عدم قطعیت نتایج آزمون بیان شده در جدول ذ-۱ ممکن است از گواهی‌های کالیبراسیون وسایل استفاده شده برای تعیین نتایج آزمون استخراج شود. به عنوان مثال، مقدار عدم قطعیت استاندارد برای پارامتر نیرو با استفاده از یک دستگاه با عدم قطعیت مجاز ۱/۴٪، برابر ۱/۲٪ یا ۰/۷۰٪ خواهد بود. باید توجه کرد که طبقه بندی کلاس ۱ (برای دستگاه آزمون کشش یا اکستنسومتر) لزوماً عدم قطعیت ۱٪ را تضمین نمی‌کند. عدم قطعیت می‌تواند به‌طور قابل توجهی بالاتر یا پایین‌تر باشد (برای مثال نیرو، یه استاندارد ISO 7500-1 مراجعه شود) و باید به گواهی تجهیزات مراجعه نمود. سهم عدم قطعیت عواملی مانند خطای دستگاه به خاطر کالیبراسیون و استفاده از آن در شرایط اتاقی متفاوت را هم باید در نظر گرفت.

در ادامه مثال، بر اساس معادله ذ-۳، با محاسبه عدم قطعیت نیرو یا اندازه‌گیری‌های اکستنسومتر، عدم قطعیت مرکب نتایج آزمون برای R_m, R_{eL}, R_{eH} و A به این صورت است:

$$\sqrt{\left(\frac{1.4}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0.70^2 + 0.58^2} = 0.91\% \quad \text{با استفاده از روش ریشه دوم مجموع مربعات}$$

هنگام تخمین زدن عدم قطعیت R_p، جمع کردن ساده عدم قطعیت استاندارد اجزا طبقه بندی وسایل اندازه-گیری مناسب نیست. منحنی نیرو-افزایش طول باید بررسی شود. به عنوان مثال، اگر تعیین R_p بر روی منحنی نیرو-افزایش طول در نقطه‌ای اتفاق افتد که نیرو در طول یک بازه عدم قطعیت افزایش طول تغییر نکند، عدم قطعیت نیرو مربوط به ابزار اندازه‌گیری افزایش طول غیر قابل اعتماد خواهد بود. از طرف دیگر، اگر تعیین R_p بر روی منحنی نیرو-افزایش طول در نقطه‌ای اتفاق افتد که نیرو به شدت نسبت به افزایش طول تغییر کند، عدم قطعیت نیروی گزارش شده بسیار بیشتر از عدم قطعیت اجزا مربوط به طبقه بندی

تجهیز خواهد بود. علاوه بر این، اگر منحنی در بخش الاستیک به صورت خط مستقیم ایده‌آل نباشد، شبیب این بخش منحنی تنش-درصدافزایش طول (m_E) بر نتیجه R_p تاثیرگذار خواهد بود.

جدول ذ-۲- مثال سهم عدم قطعیت برای نتایج مختلف آزمون مربوط به ابزار اندازه‌گیری

سهم عدم قطعیت ^a %					پارامتر
Z	A	R_m	R_{eL}	R_{eH}	
-	-	۱/۴	۱/۴	۱/۴	نیرو
-	۱/۴	-	-	-	افزایش طول
-	۱	-	-	-	طول مبنای، $L_e L_0$
۱	-	۱	۱	۱	S_0
۲	-	-	-	-	S_u

مقادیر تنها برای اطلاعات داده شده‌اند.

a

عدم قطعیت مرکب Z (U_Z) بر حسب درصد با معادله ذ-۴ داده شده است:

$$u_Z = \sqrt{\left(\frac{a_{S_0}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{a_{S_u}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0.577^2 + 1.155^2} = \sqrt{0.33 + 1.33} = 1.29 \quad (\text{ذ-۴})$$

با روشی مشابه، نمونه‌های عدم قطعیت مرکب استاندارد برای بازه‌ای از نتایج آزمون در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ذ-۳- مثال عدم قطعیت مرکب

عدم قطعیت مرکب پارامترهای مختلف				
%				
Z	A	R_m	R_{eL}	R_{eH}
۱/۲۹	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱

مطابق [4] ISO/IEC Guide 98-3، عدم قطعیت بسط یافته نهایی با ضرب کردن عدم قطعیت‌های استاندارد مرکب با ضریب پوشش K به دست می‌آید. برای سطح اطمینان ۹۵٪، K برابر ۲ است.

جدول ذ-۴- مثال برای سطح اطمینان $K=2, 95\%$ (بر اساس جدول ۳)

سطح اطمینان $K=2, 95\%$ برای پارامترهای مختلف				
Z	A	R_m	R_{eL}	R_{eH}
۲,۵۸	۱,۸۲	۱,۸۲	۱,۸۲	۱,۸۲

تنها سهمه‌های عدم قطعیت با واحد یکسان می‌توانند در محاسبات نشان داده شده اضافه شوند. برای اطلاعات بیشتر، در مورد اندازه‌گیری عدم قطعیت در آزمون کشش، به استاندارد ۲-۱۵۲۶۱ CWA و مرجع [۲۷] را ببینید.

انجام آزمون‌های دوره‌ای برنامه‌ریزی شده و دسته‌بندی انحراف استاندارد نتایج مربوط به یک ماده آزمون خاص شدیداً توصیه می‌شود. انحرافات استاندارد به دست آمده برای داده‌های آزمون در طول زمان می‌تواند نشانه‌های خوبی برای پیش‌بینی عدم قطعیت داده‌های آزمون فراهم آورد.

ذ-۴ پارامترهای وابسته به ماده و/یا روند انجام آزمون

دقت نتایج آزمون کشش بستگی به عواملی مرتبط با جنس ماده، دستگاه انجام آزمون، روند انجام آزمون و روش‌های استفاده شده برای محاسبه خواص مشخصه ماده دارد. به طور ایده‌آل، فاکتورهای ذیل می‌توانند در نظر گرفته شوند.

الف- دمای انجام آزمون؛

ب- سرعت انجام آزمون؛

پ- هندسه آزمونه و ماشین کاری آن؛

ت- روش گیرش آزمونه و محوری بودن اعمال نیرو؛

ث- مشخصات دستگاه انجام آزمون (سفتی، حالت حرکت و کنترل)؛

ج- خطاهای انسانی و نرمافزاری در تعیین خواص کششی؛

چ- هندسه سوار کردن اکستنسومتر.

تأثیر این عوامل بستگی به رفتار مشخصه ماده دارد و نمی‌تواند به عنوان یک مقدار مشخص داده شود. اگر تأثیر مشخص باشد، باید در محاسبات عدم قطعیت همانند جدول ۳ لحاظ شود. می‌توان منابع بیشتری از عدم قطعیت را در تخمین عدم قطعیت بسط یافته لحاظ کرد. این کار را می‌توان با استفاده از روش زیر انجام داد.

الف- کاربر باید همه منابع اضافی احتمالی که ممکن است تاثیر مستقیم یا غیر مستقیم بر روی تعیین پارامترهای آزمون داشته باشند، را بشناسد.

ب- سهمهای نسبی ممکن است برای مواد تحت آزمون و شرایط ویژه آزمون تغییر کند. آزمایشگاههای مستقل تشویق می‌شوند تا فهرستی از منابع احتمالی عدم قطعیت و ارزیابی تاثیر آن بر نتایج آماده کنند. اگر تاثیر قابل توجهی مشاهده شود، این عدم قطعیت (u_i) باید در محاسبات وارد شود. عدم قطعیت u_i ، منبع i بر روی مقدار مشخص شده بر حسب درصد نشان داده شده در معادله ذ- ۳ است. برای u_i ، تابع توزیع پارامتر مشخص (نرمال، مستطیلی و) باید مشخص شود. سپس تاثیر آن بر روی سطح یک سیگما باید تعیین شود. این برابر عدم قطعیت استاندارد است.

ممکن است از آزمون‌های بین آزمایشگاهی برای تعیین عدم قطعیت مجموع نتایج تحت شرایط نزدیک به شرایط آزمایشگاههای صنعتی استفاده شود اما چنین آزمون‌هایی تاثیرات مربوط به ناهمگنی ماده را از روش آزمون جدا نمی‌کنند. (به پیوست ر مراجعه شود).

باید اذعان نمود که در دسترس بودن مواد مرجع گواهی شده ، می‌تواند ابزار مفیدی برای تخمین اندازه‌گیری عدم قطعیت بر روی هر دستگاه انجام آزمون شامل تاثیر گیره‌ها، خمش و ... فراهم کند که در حال حاضر اندازه‌گیری آن‌ها دشوار است. یک نمونه از یک ماده مرجع دارای گواهی، (Nimonic75 BCR-661) است که از IRMM در دسترس است (CWA 15261-2).

به طور جایگزین، توصیه می‌شود که آزمون‌های درون سازمانی¹ معمول برای کنترل کیفیت ماده‌ای با سطح پایینی از پراکندگی خواص (مواد مرجع بدون گواهی‌نامه) انجام شود (مراجع [28] را ببینید).

مثال‌هایی وجود دارد که در آن تخصیص مقادیر دقیق عدم قطعیت بدون مواد مرجع دشوار است. در بعضی از موارد زمانی که مقادیر قبل اعتماد عدم قطعیت اهمیت دارند، استفاده از یک ماده مرجع دارای گواهی‌نامه و یا بدون گواهی‌نامه برای تایید اندازه‌گیری عدم قطعیت توصیه می‌شود. اگر نمی‌توان از هیچ ماده مرجعی استفاده کرد، آزمون‌های مقایسه‌ای داخلی مناسب مورد نیاز است (مراجع [21] و [30] را ببینید).

پیوست ر

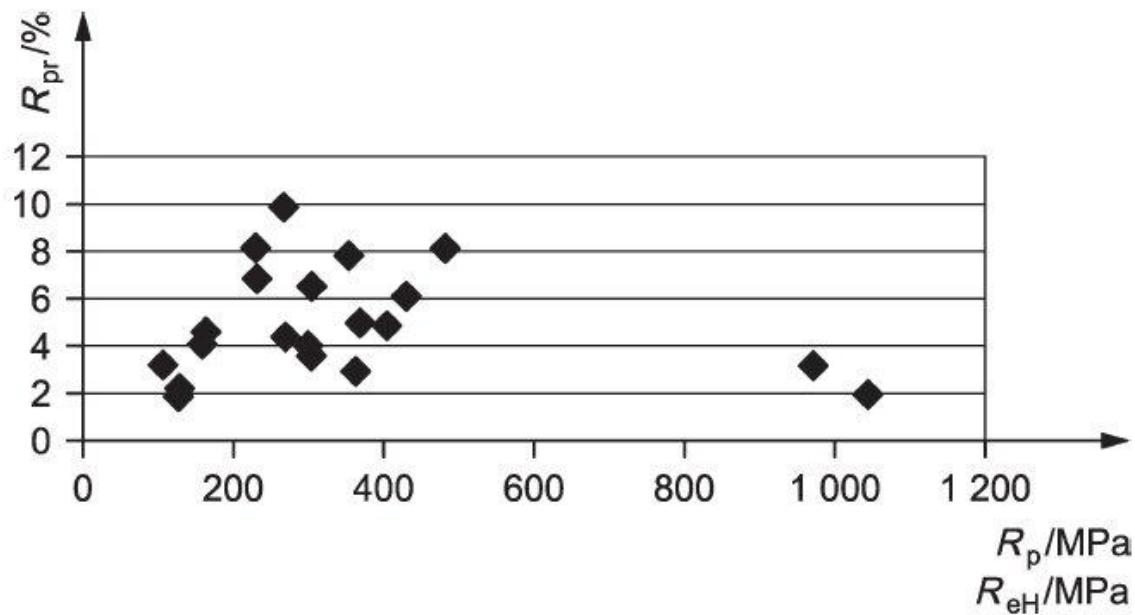
(آگاهی دهنده)

دقت آزمون کشش - نتایج حاصل از مطالعات بین آزمایشگاهی

در جدول‌های ر-۱ تا ر-۴ نمایشی از پراکندگی معمول در نتایج آزمون کشش برای انواع مواد که در مطالعات بین آزمایشگاهی به دست آمده است شامل پراکندگی مواد و پراکندگی عدم قطعیت نشان داده شده است. نتایج تجدیدپذیری به صورت حاصل ضرب مقادیر انحراف معیار پارامترهای مربوطه در عدد ۲ محاسبه شده اند. به عنوان مثال مقادیر Z , R_p , R_m و A , و با تقسیم مقادیر به مقدار متوسط پارامتر، در نتیجه مقادیر مشخص شده برای تجدیدپذیری که سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهند (مطابق با پیشنهاد ارایه شده در ISO/IEC Guide 98-3) و ممکن است به صورت مستقیم با عدم قطعیت بسط یافته محاسبه شده با روش های جایگزین مقایسه شوند.

جدول ر-۱- استحکام تسلیم (استحکام قراردادی 0.2% یا استحکام تسلیم بالایی) - نتایج تجدیدپذیری حاصل از آزمون‌های مقایسه‌ای درون آزمایشگاهی (نمایش گرافیکی نتایج در شکل ر-۱ نشان داده شده است)

مرجع	تجدید پذیری \pm %	استحکام تسلیم MPa	کد	ماده
آلومینیوم				
[31]	3,2	105,7	AA5754	ورق
[20]	1,9	126,4	AA5182-O	ورق
[20]	2,2	127,2	AA6016-T4	ورق
[33]	4,1	158,4	EC-H 19	-
[33]	3,0	362,9	2024-T 351	-
فولاد				
[31]	4,6	162,0	DX56	ورق
[34]	8,2	228,6	HR3	صفحه کم کربن
[31]	9,9	267,1	ZStE 180	ورق
[34]	5,0	367,4	P245GH	AISI 105
[33]	4,9	402,4	C22	
[31]	6,1	427,6	S355	صفحه
[31]	6,9	230,7	SS316L	آستنیتی S S
[34]	6,5	303,8	X2CrNi18-10	آستنیتی S S
[34]	7,8	353,3	X2CrNiMo18-10	آستنیتی S S
[33]	8,1	480,1	X5CrNiMo17-12-2	AISI 316
[33]	3,2	967,5	X12Cr13	مارتنزیتی S S
[34]	2,0	1 039,9	30NiCrMo16	استحکام بالا
آلیاژهای نیکل				
[33]	4,4	268,3	NiCr15Fe8	INCONEL 600
[29]	4,0	298,1	(BCR-661)	Nimonic 75
[31]	3,6	302,1	(BCR-661)	Nimonic 75



راهنمای

استحکام تسلیم بالایی (بر حسب R_{eH} (MPa)

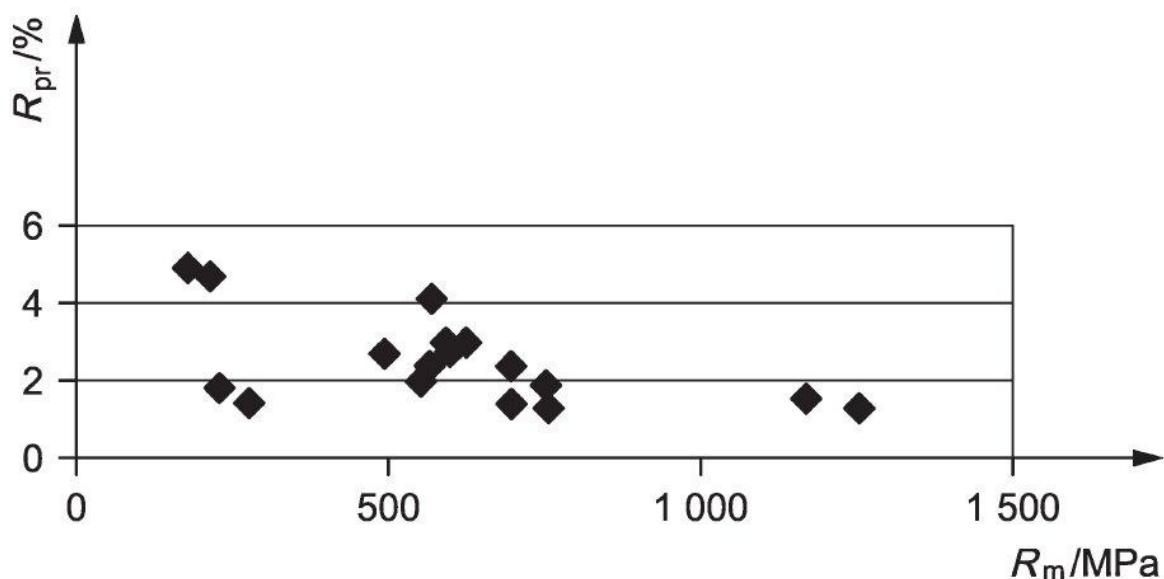
استحکام قراردادی (بر حسب R_p (MPa)

تجددیپذیری (بر حسب درصد) (بر حسب R_{pr})

شکل ر-۱ - نمایش مقادیر ارایه شده در جدول ر-۱

جدول ر-۲- استحکام نهایی (R_m) - نتایج تجدیدپذیری حاصل از آزمون‌های مقایسه‌ای درون آزمایشگاهی
نمایش گرافیکی نتایج در شکل ر-۲ نشان داده شده است)

مرجع	تجدیدپذیری \pm %	استحکام نهایی MPa	کد	ماده
آلومینیوم				
[31]	3,2	212,3	AA5754	ورق
[20]	1,9	275,2	AA5182-O	ورق
[20]	2,2	228,3	AA6016-T4	ورق
[33]	4,1	176,9	EC-H 19	-
[33]	3,0	491,3	2024-T 351	-
فولاد				
[31]	4,6	301,1	DX56	ورق
[34]	8,2	335,2	HR3	صفحه کم کربن
[31]	9,9	315,3	ZStE 180	ورق
[34]	5,0	552,4	P245GH	AISI 105
[33]	4,9	596,9	C22	
[31]	6,1	564,9	S355	صفحه
[31]	6,9	568,7	SS316L	آستنیتی S S
[34]	6,5	594,0	X2CrNi18-10	آستنیتی S S
[34]	7,8	622,5	X2CrNiMo18-10	آستنیتی S S
[33]	8,1	694,6	X5CrNiMo17-12-2	AISI 316
[33]	3,2	1 253,0	X12Cr13	مارتنزیتی S S
[34]	2,0	1 167,8	30NiCrMo16	استحکام بالا
آلیاژهای نیکل				
[33]	4,4	695,9	NiCr15Fe8	INCONEL 600
[29]	4,0	749,6	(BCR-661)	Nimonic 75
[31]	3,6	754,2	(BCR-661)	Nimonic 75



راهنمای

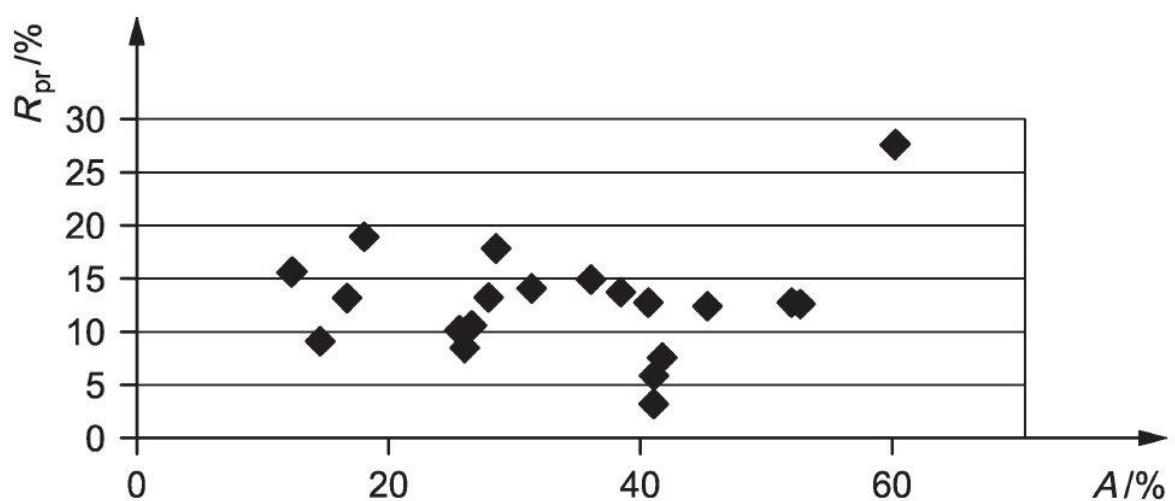
استحکام نهایی (R_m بر حسب MPa)

تجدیدپذیری (R_{pr} بر حسب درصد)

شکل ر-۲ - نمایش مقادیر ارایه شده در جدول ر-۲

جدول ر - ۳ - از دیاد طول نسبی بعد از شکست - نتایج تجدیدپذیری حاصل از آزمون های مقایسه ای درون آزمایشگاهی (نمایش گرافیکی نتایج در شکل ر - ۳ نشان داده شده است)

مرجع	تجددپذیری \pm %	از دیاد طول نسبی بعد از شکست A %	کد	ماده
آلومینیوم				
[31]	3,2	27,9	AA5754	ورق
[20]	1,9	26,6(A80 mm)	AA5182-O	ورق
[20]	2,2	25,9(A80 mm)	AA6016-T4	ورق
[33]	4,1	14,6	EC-H 19	-
[33]	3,0	18,0	2024-T 351	-
فولاد				
[31]	4,6	45,2	DX56	ورق
[34]	8,2	38,4	HR3	صفحه کم کربن
[31]	9,9	40,5	ZStE 180	ورق
[34]	5,0	31,4	P245GH	AISI 105
[33]	4,9	25,6	C22	
[31]	6,1	28,5	S355	صفحه
[31]	6,9	60,1	SS316L	آستانیتی S S
[34]	6,5	52,5	X2CrNi18-10	آستانیتی S S
[34]	7,8	51,9	X2CrNiMo18-10	آستانیتی S S
[33]	8,1	35,9	X5CrNiMo17-12-2	AISI 316
[33]	3,2	12,4	X12Cr13	مارتنزیتی S S
[34]	2,0	16,7	30NiCrMo16	استحکام بالا
آلیزهای نیکل				
[33]	4,4	41,6	NiCr15Fe8	INCONEL 600
[29]	4,0	41,0	(BCR-661)	Nimonic 75
[31]	3,6	41,0	(BCR-661)	Nimonic 75
تجدد پذیری به صورت درصدی از میزان متوسط A هر ماده بیان شده است. به عنوان مثال برای آلومینیوم 2024-T 351 ، میزان قطعی A به صورت $(18,0 \pm 3,4)\%$ خواهد بود.				



راهنمای

A: ازدیاد طول نسبی بعد از شکست (بر حسب درصد)

R_{pr}: تجدیدپذیری (بر حسب درصد)

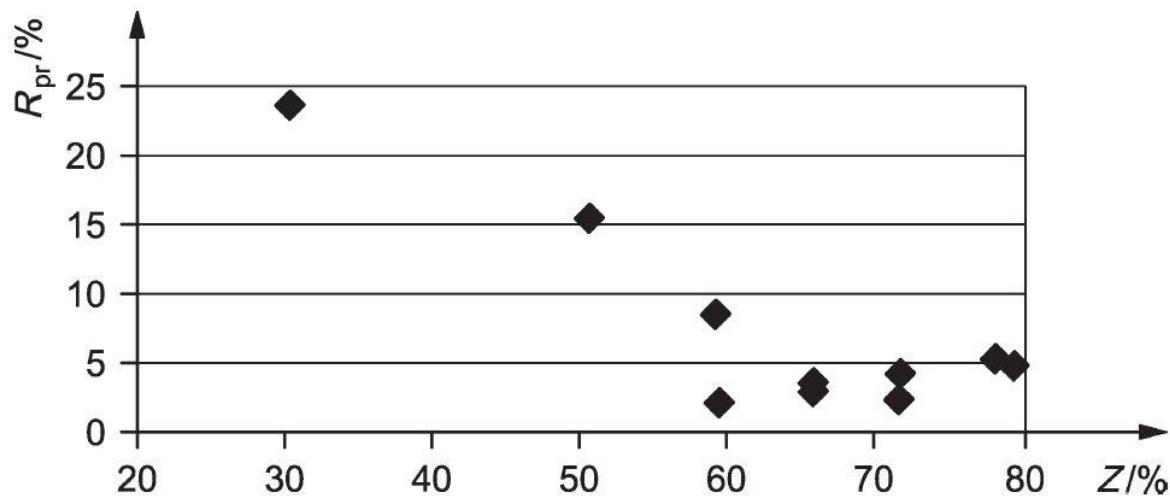
شکل ر-۳ - نمایش مقادیر ارایه شده در جدول ر-۳

جدول ر-۴- کاهش سطح مقطع Z - نتایج تجدیدپذیری حاصل از آزمون‌های مقایسه‌ای درون آزمایشگاهی
(نمایش گرافیکی نتایج در شکل ر-۴ نشان داده شده است)

مرجع	تجدیدپذیری \pm % ^a	کاهش سطح مقطع Z %	کد	ماده
آلومینیوم				
[33]	5,1	79,1	EC-H 19	
[33]	23,7b	30,3	2024-T 351	
فولاد				
			HR3	صفحه، کم کربن
[34]	2,7	71,4	Fe510C	AISI 105
[33]	3,8	65,6	C22	آستنیتی S S
[34]	5,6	77,9	X2CrNi18-10	آستنیتی S S
[33]	4,5	71,5	X2CrNiMo18-10	AISI 316
[33]	15,6b	50,5	X12Cr13	مارتنزیتی S S
[34]	3,2	65,6	30NiCrMo16	استحکام بالا
آلیاژهای نیکل				
[33]	2,4	59,3	NiCr15Fe8	INCONEL 600
[29]	8,8	59,0	(BCR-661)	Nimonic 75

^a تجدیدپذیری به صورت درصدی از میزان متوسط Z هر ماده بیان شده است. به عنوان مثال برای آلومینیوم 2024-T 351 ، میزان قطعی Z به صورت $(30,3 \pm 7,2)\%$ خواهد بود.

^b تعدادی از مقادیر تجدیدپذیری ممکن است نسبتاً بالا به نظر بیایند، این مقادیر احتمالاً نشان دهنده سخت بودن اندازه‌گیری قابل اعتماد در ناحیه گلویی شده قسمت شکست است. برای آزمونهای ورق‌های نازک، عدم قطعیت اندازه‌گیری ضخامت آزمونه ممکن است بالا باشد. به همین ترتیب اندازه گیری قطر یا ضخامت آزمونه در ناحیه گلویی شده شدیداً به مهارت و تجربه آزمون‌گر بستگی دارد.



راهنمای

Z : کاهش سطح مقطع (بر حسب درصد)

R_{pr} : تجدیدپذیری (بر حسب درصد)

شکل ر-۴ - نمایش مقادیر ارایه شده در جدول ر-۴

کتاب نامه

- [1] ISO 3183, Petroleum and natural gas industries — Steel pipe for pipeline transportation systems
- [2] ISO 11960, Petroleum and natural gas industries — Steel pipes for use as casing or tubing for wells
- [3] ISO/TR 25679, Mechanical testing of metals — Symbols and definitions in published standards
- [4] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [5] ISO/TTA 2, Tensile tests for discontinuously reinforced metal matrix composites at ambient temperatures
- [6] ASTM A370, Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products
- [7] ASTM E8M, Standard test methods for tension testing of metallic materials
- [8] ASTM E1012, Standard practice for verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application
- [9] CWA 15261-2:2005, Measurement uncertainties in mechanical tests on metallic materialsThe evaluation of uncertainties in tensile testing
- [10] DIN 50125, Testing of metallic materials — Tensile test pieces
- [11] EN 10291, Metallic materials — Uniaxial creep testing in tension — Methods of test
- [12] GB/T 228, Metallic materials — Tensile testing at ambient temperature
- [13] IACS W2. Test specimens and mechanical testing procedures for materials. In: Requirements concerning materials and welding, pp. W2-1 to W2-10. International Association of Classification Societies, London, 2003. Available (2008-06-26) at: http://www.iacs.org.uk/document/public/publications/unified_requirements/pdf/ur_w_pdf159.pdf
- [14] JIS Z2241, Test pieces for tensile test for metallic materials
- [15] NIS 80:1994, Guide to the expression of uncertainty in testing
- [16] NIS 3003:1995. The expression of uncertainty and confidence in measurement
- [17] Dean G.D., Loveday M.S., Cooper P.M. READ, B.E., ROEBUCK.B. & MORRELL.R. Aspects of modulus measurement. In: Dyson, B.G., Loveday, M.S., Gee, M.G., editors. Materials metrology and standards for structural performance, pp. 150-209. Chapman & Hall, London, 1995
- [18] Roebuck B., Lord J.D., Cooper P.M., McCartney L.N. Data acquisition and analysis of tensile properties for metal matrix composites. J. Test. Eval. 1994, **22** (1) pp. 63–69
- [19] Sonne H.M., & Hesse B. B. Determination of Young's modulus on steel sheet by computerised tensile test — Comparison of different evaluation concepts. In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 1993. DVM, Berlin

- [20] Aegerter J., Keller S., Wieser D. Prüfvorschrift zur Durchführung und Auswertung des Zugversuches für Al-Werkstoffe [Test procedure for the accomplishment and evaluation of the tensile test for aluminium and aluminium alloys], In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 2003, pp. 139-150. Stahleisen, Düsseldorf
- [21] Rides M., & Lord J. TENSTAND final report: Computer-controlled tensile testing according to EN 10002-1: Results of a comparison test programme to validate a proposal for an amendment of the standard. National Physical Laboratory, Teddington, 2005
- [22] Lord J. Loveday, M.S., Rides, M., McEntaggart, I. TENSTAND WP2 final report: Digital tensile software evaluation: Computer-controlled tensile testing machines validation of European Standard EN 10002-1. National Physical Laboratory, Teddington, 2005, p.
- [23] Taylor B.N., & Kuyatt C.E. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST, Gaithersburg, MD, 1994. 25 p. (NIST Technical Note 1297.) Available (2009-07-23) at: <http://physics.nist.gov/Pubs/guidelines/TN1297/tn1297s.pdf>
- [24] Loveday M.S. Room temperature tensile testing: A method for estimating uncertainty of measurement. National Physical Laboratory, Teddington, 1999. [Measurement note CMMT (MN) 048.] Available (2009-07-23) at: http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/cmmt_mn48.pdf
- [25] Bell S.A. 1999) A beginner's guide to uncertainty of measurement, 2nd edition. National Physical Laboratory, Teddington, 2001. 41 p. (Measurement Good Practice Guide, No. 11.) Available (2009-07-31) at: http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/mgpg11.pdf
- [26] Birch K. Estimating uncertainties in testing. National Physical Laboratory, Teddington, 2001. (Measurement Good Practice Guide, No. 36.) Available (2009-07-23) at: http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/mgpg36.pdf
- [27] Kandil F.A., Lord J.D., Bullough C.K., Georgsson P., Legendre L., Money G. The UNCERT manual of codes of practice for the determination of uncertainties in mechanical tests on metallic materials [CD-ROM]. EC, Brussels
- [28] Sonne H.M., Knauf G., Schmidt-Zinges J. Überlegungen zur Überprüfung von Zugprüfmaschinen mittels Referenzmaterial [Considerations on the examination of course test equipment by means of reference material]. In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 1996. Bad Nauheim. DVM, Berlin
- [29] Ingelbrecht C.D., & Loveday M.S. The certification of ambient temperature tensile properties of a reference material for tensile testing according to EN 10002-1: CRM 661. EC, Brussels, 2000. (BCR Report EUR 19589 EN.)
- [30] Li H.-P., & Zhou X. New Consideration on the uncertainty evaluation with measured values of steel sheet in tensile testing. In: Metallurgical analysis, 12th Annual Conference of Analysis Test of Chinese Society for Metals, 2004
- [31] Klingelhöffer H., Ledworuski S., Brookes S., May T. Computer controlled tensile testing according to EN 10002-1 — Results of a comparison test programme to validate a proposal for an amendment of the standard — Final report of the European project

TENSTAND — Work Package 4. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 2005. 44 p. (Forschungsbericht [Technical report] 268.) Available at: http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/fb268_vt.pdf

- [32] Loveday M.S., Gray T., Aegerter J. Tensile testing of metallic materialsA reviewFinal report of the TENSTAND project of work package 1. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 2004
- [33] ASTM Research Report E 28 1004:1994, Round robin results of interlaboratory tensile tests
- [34] Roesch L., Coue N., Vitali J., di Fant M. Results of an interlaboratory test programme on room temperature tensile properties — Standard deviation of the measured values. (IRSID Report, NDT 93310.)
- [35] Loveday M.S. Towards a tensile reference material. In: Loveday, M.S., Gibbons, T.B. Harmonisation of testing practice for high temperature materials. Elsevier, London, pp. 111–53.
- [36] Johnson R.F., & Murray J.D. The effect of rate of straining on the 0.2 % تسلیم قراردادی stress and lower yield stress of steel. In: Proceedings of Symposium on High Temperature Performance of Steels, Eastbourne, 1966. Iron and Steel Institute, 1967
- [37] Gray T.G.F., & Sharp J. Influence of machine type and strain rate interaction in tension testing. In: Papirno, R., Weiss, H.C. Factors that affect the precision of mechanical tests. ASTM, Philadelphia, PA. (Special Technical Publication 1025.)
- [38] Aegerter J., Bloching H., Sonne H.-M. Influence of the testing speed on the yield/ تسلیم قراردادی strength — Tensile testing in compliance with EN 10002-1. Materialprüfung. 2001, **10** pp. 393–403
- [39] Aegerter, J. Strain rate at a given point of a stress/strain curve in the tensile test [Internal memorandum], VAW Aluminium, Bonn, 2000
- [40] Bloching H. Calculation of the necessary crosshead velocity in mm/min for achieving a specified stress rate in MPa/s. Zwick, Ulm, 2000, p. [Report]
- [41] McEnteggart I., & Lohr R.D. Mechanical testing machine criteria. In: Dyson, B.G., Loveday, M.S., Gee, M.G., editors. Materials metrology and standards for structural performance, pp. 19-33. Chapman & Hall, London, 1995
- [42] AUSTIN. T., BULLOUGH, C., LEAL, D., GAGLIARDI, D. & LOVEDAY M., A Guide to the Development and Use of Standards Compliant Data Formats for Engineering Materials Test Data, CEN CWA 162002010: ftp://ftp.cen.eu/CEN/Sectors/List/ICT/CWAs/CWA16200_2010_ELSI.pdf
- [43] SEP 1235, Determination of the modulus of elasticity on steels by tensile testing at room temperature, Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) des Stahlinstituts VDEh, Düsseldorf
- [44] LORD J.D and ORKNEY L.P. Elevated Temperature Modulus Measurements Using the Impulse Excitation Technique (IET). NPL Measurement Note CMMT. MN, 2000, pp. 049.

- [45] LORD J D and MORRELL R, Measurement Good Practice Guide No. 98 Elastic Modulus Measurement, ISSN 1744-3911 (2006) http://resource.npl.co.uk/cgi-bin/download.pl?area=npl_publications&path_name=/npl_web/pdf/mgpg98.pdf
- [46] CARPENTER. M*, NUNN, J, Impulse Excitation Modulus measurements of Hardmetal Rods using custom software on a standard personal computer and microphone. Mater. Eval. 2012, **70** (7) pp. 863–871
- [47] GABAUER, W. The Determination of Uncertainties in Tensile Testing UNCERT COP 07: 2000
- [48] BULLOUGH C. K. The Determination of Uncertainties in Dynamic Young's Modulus UNCERT CoP 13:2000
- [49] LORD. J., RIDES, M. & LOVEDAY, M. Modulus Measurement Methods TENSTAND WP3 Final Report NPL REPORT DEPC MPE 016 Jan 2005. ISSN 1744-0262
- [50] UNWIN. W.C., The testing of materials of construction. Longmans, Green & Co, London, 1910, pp. 237–8.
- [51] LORD. J.D., ROEBUCK, B., ORKNEY, L.P., Validation of a draft tensile testing standard for discontinuously reinforced MMC, VAMAS Report No.20, National Physical Laboratory, May 1995
- [52] ASTM E 111, Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- [53] Aegeuter J., Frenz H., Kühn H.-J., Weissmüller C. ISO 6892-1:2009 Tensile Testing: Initial Experience from the Practical Implementation of the New Standard, Carl Hanser Verlag, München, Vol. 53, (2011) 10, pp. 595-603, correction of Fig. 6 in Carl Hanser Verlag, München, Vol. 53, (2011) 11
- [54] Weissmüller C., & Frenz H. Measurement Uncertainty for the Determination of Young's Modulus on Steel, Materials Testing, Carl Hanser Verlag, München, 2013, Vol. 55 No. 9, pp. 643-647, available at: <http://www.hanser-elibrary.com/doi/pdf/10.3139/120.110482>
- [55] ISO 377, Steel and steel products — Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing
- [56] ISO 2566-1, Steel — Conversion of elongation values — Part 1: Carbon and low alloy steels
- [57] ISO 2566-2, Steel — Conversion of elongation values — Part 2: Austenitic steels
- [58] ISO 80000-1, Quantities and units — Part 1: General