



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۵۴۷-۲

چاپ اول

۱۳۹۲

INSO
18547-2
1st.Edition
2014

لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های
آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر-

قسمت ۲:

تعیین آستانه

**Lasers and laser-related equipment —
Test methods for laser-induced damage
threshold —
Part 2:
Threshold determination**

ICS:31.260

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران 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 غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی 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 پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه 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 بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر - روش‌های آزمون آستانه تخریب ناشی از لیزر -

قسمت دوم:

تعیین آستانه»

رئیس:

صدیق پور، همایون
(دکتری رادیولوژی)

سمت و/یا نمایندگی

مرکز ام آر آی پارس

دبیر:

فاطمی، سیده راحیل
(مهندسی برق الکترونیک)

کارشناس شرکت اندیشه فاخر
شهرکرد

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسدیان، سمیه
(کارشناسی ارشد برق الکترونیک)

دانشگاه آزاد شهرکرد

بنی طالبی دهکردی، بهروز
(کارشناسی ارشد برق مخابرات)

کارشناس اداره مخابرات استان

قادری، نوشین
(دکتری برق الکترونیک)

هیئت علمی دانشگاه دولتی شهرکرد

صیادی، سعید
(کارشناسی ارشد برق الکترونیک)

مدیر عامل شرکت بهساز طب

عجمی، عاطفه
(کارشناسی ارشد فیزیک)

جهاد دانشگاهی شریف

فاطمی، سید احسان
(مهندسی برق)

کارشناس اداره کل کار و تعاون استان
چهارمحال و بختیاری

فروزنده سامانی، محمد
(مهندسی برق)

کارشناس اداره کل استاندارد و
تحقیقات صنعتی استان چهارمحال و
بختیاری

قانی ، امیر محمد
(کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)

کارشناس تجهیزات پزشکی حوزه
معاونت درمان دانشگاه علوم پزشکی
شهرکرد

کاظمی ، سید مهدی
(کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)

مسئول اداره تجهیزات پزشکی حوزه
معاونت درمان دانشگاه علوم پزشکی
شهرکرد

فهرست مندرجات

صفحه		عنوان
ب		آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج		کمیسیون فنی تدوین استاندارد
۵		پیش گفتار
و		مقدمه
۱	۱	هدف و دامنه کاربرد
۱	۲	مراجع الزامی
۱	۳	اصطلاحات و تعاریف
۲	۴	روش‌های آزمون
۲	۱-۴	کلیات
۲	۲-۴	روش آزمون ۱ بر ۱
۴	۳-۴	روش آزمون S بر ۱
۱۰	۵	درستی
۱۰	۶	گزارش آزمون
۱۰	۱-۶	کلیات
۱۰	۲-۶	آزمون ۱ بر ۱
۱۰	۳-۶	آزمون S بر ۱
۱۲		پیوست الف (اطلاعاتی)
۱۹		پیوست ب (اطلاعاتی)
۲۴		پیوست پ (اطلاعاتی)
۲۸		پیوست ت (اطلاعاتی)
۳۵		پیوست ث (اطلاعاتی)
۳۷		پیوست ج (اطلاعاتی)
۴۰		کتاب نامه

پیش گفتار

استاندارد " لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر - روش‌های آزمون آستانه تخریب ناشی از لیزر - قسمت دوم: تعیین آستانه " که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت مهندسی اندیشه فاخر شهرکرد تهیه و تدوین شده است و در چهارصد و سی و دومین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۹۲/۱۲/۲۰ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود .

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

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

ISO 21254-2: 2011-07-15, Lasers and laser-related equipment —Test methods for laser-induced damage threshold —Part 2:Threshold determination

این استاندارد برای تعیین آستانه تخریب اجزای اپتیکی با پوشش و بدون پوشش، در مواجهه با لیزر (LIDTs)¹ در حالت تابش تک یا تابش مکرر، روش‌های آزمون را مشخص می‌کند. هدف از این استاندارد فراهم کردن روش‌هایی است که نتایج اندازه‌گیری‌های به دست آمده از آن نامتناقض و همخوان بوده و بتوان نتایج بدست آمده در آزمایشگاه‌های مختلف را به سرعت و با دقت با یکدیگر مقایسه کرد.

در آزمون تک شات (تابش تک)، که به عنوان آزمون "یک بر یک" شناخته می‌شود، هر مقطع در معرض تابش قرار نگرفته از سطح نمونه، تنها در معرض یک پالس از تابش لیزر قرار می‌گیرد. بدیهی است که پالس‌های مکرر اشعه لیزر با انرژی کمتر از سطح تخریب اشعه لیزر تک شات، می‌توانند سبب تخریب اجزای اپتیکی شده یا در غیر این صورت سبب تغییر شکل آن‌ها گردند. علاوه بر اثرات برگشت پذیر حاصل از گرمایش و از شکل افتادن (اعوجاج)، اثرات غیر قابل برگشت مانند ایجاد کهنگی، تخریب‌های میکروسکوپی و تولید یا انتقال نقص‌ها نیز مشاهده شده است.

کاهش کیفی از نقطه نظر اپتیکی، تابعی از عملکرد پارامترهای عملیاتی لیزر و سیستم اپتیکی است که جزء مورد نظر در آن قرار گرفته است. آزمون تابش مکرر (آزمون S بر ۱)، بر اساس یک پروتکل انجام می‌گیرد که در آن هر مقطع آزمون در معرض قرار نگرفته، تحت تابش مداوم یک سری پالس با چگالی انرژی ثابت قرار می‌گیرد.

علاوه بر روش ارزیابی بر اساس منحنی ماندگاری برای آزمون‌های ۱ بر ۱، این استاندارد همچنین دو روش برای کاهش حجم داده‌های خام به دست آمده از آزمون‌های تخریب S بر ۱ را نیز شرح می‌دهد که در اولی از منحنی شاخص تخریب و در روش دیگر از برون‌یابی استفاده می‌شود. روش منحنی شاخص تخریب ایجاب می‌کند که آزمون S بر ۱ در مقاطع متعددی از سطح جزء اپتیکی نمونه انجام شود و از داده‌های بدست آمده یک مجموعه شامل سه منحنی مرتبط با احتمال ایجاد تخریب در چگالی انرژی متناظر با ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪، برای تعداد انتخاب شده‌ای از پالس‌ها بدست می‌آید. منحنی شاخص تخریب، نتایج یک آزمون کامل و گسترده مرتبط با تخریب ناشی از لیزر را بیان می‌کند و به عنوان یک روش بررسی اساسی برای هر یک از اپتیک‌های لیزری توسعه یافته جدید یا اپتیک‌های حساس توصیه می‌گردد. روش دوم آزمون S بر ۱، که روش برون‌یابی است به طور قابل ملاحظه‌ای از تعداد کمتری از مقاطع آزمون استفاده می‌کند. این روش یک دیاگرام توزیع از نقاط تخریب شده و تخریب نشده برای رفتار آستانه تخریب به عنوان تابعی از تعداد پالس‌ها در هر مقطع را تولید می‌کند. این دیاگرام از قابلیت اطمینان محدودی برخوردار است اما می‌توان از آن برای کنترل اجزای اپتیکی که قبلاً در یک آزمون کامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند یا به عنوان بخشی از اقدامات آماده‌سازی برای آزمون گسترده تخریب به کار رود.

یک آزمون واقع بینانه تخریب ناشی از لیزر که برای کاربردهای صنعتی مناسب باشد به تعداد زیادی از پالس‌ها نیاز دارد (۱۰^۹ تا ۱۰^{۱۱} پالس)، و از این رو هزینه اجرای آن چندان توجیه پذیر نیست. این استاندارد همچنین طرح کلی یک روش برای به دست آوردن آستانه S بر ۱ توسط برون یابی منحنی شاخص تخریب به منظور تخمین طول عمر واقعی یک جزء اپتیکی را تشریح می‌کند.

یادآوری - لازم به ذکر است که آستانه تخریب ناشی از لیزر برای یک جزء اپتیکی که در معرض تابش پالس‌های مکرر قرار دارد، می‌تواند توسط ساز و کارهای تخریبی متفاوتی از قبیل آلودگی، گرمایش، تولید یا انتقال نقص‌های داخلی، و تغییرات ساختاری تحت تاثیر قرار گیرد. این ساز و کارها تحت تاثیر پارامترهای عملیاتی لیزر، محیط و شرایط نصب آن جزء اپتیکی قرار دارند. بنا بر این لازم است که تمام پارامترها ثبت شوند و در نظر داشته باشیم که رفتارهای تخریب در آزمون‌های انجام شده در شرایط عملیاتی متفاوت با هم تفاوت دارند.

رویه‌های آزمون شرح داده شده در این استاندارد برای تمام ترکیب‌های مختلف، طول موج‌های مختلف لیزر و طول پالس‌های مختلف قابل کاربرد دارد. با این حال مقایسه داده‌های آستانه تخریب ناشی از لیزر می‌تواند گمراه کننده باشد مگر در مواردی که اندازه گیری‌ها در همان طول موج، با استفاده از همان طول پالس و همان قطر پرتو انجام شده باشند. تعاریف و اصول کلی اندازه گیری‌های آستانه تخریب ناشی از لیزر در استاندارد ISO 1254-1 ارائه شده است.

لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر - روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر -

قسمت ۲:

تعیین آستانه

هشدار - برون یابی داده‌های مربوط به تخریب می‌تواند منجر به برآورد بیش از اندازه در مورد آستانه تخریب لیزر شود. در خصوص مواد سمی (مانند ZnSe، GaAs، CdTe، چالکجناید^۱، Be، Cr، Ni)، این گونه برون یابی ها می‌تواند به خطرات جدی برای سلامتی منجر شود. برای اطلاعات بیشتر به پیوست الف از استاندارد ISO 21245-1:2011 مراجعه شود.

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، شرح آزمون‌های ۱ بر ۱ و S بر ۱، به منظور تعیین آستانه تخریب ناشی از لیزر در اجزای اپتیکی است. این استاندارد برای تمام انواع و تمام شرایط کاری لیزر کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

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

ISO 11145, Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols

ISO 21254-1:2011, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 1: Definitions and general principles

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف داده شده در استانداردهای ISO 11145 و ISO 21254-1 به کار می‌رود.

۴ روش‌های آزمون

۱-۴ کلیات

اصول کلی اندازه‌گیری آستانه تخریب ناشی از لیزر و دستگاه‌ها و روش‌های نمونه برداری مورد استفاده، در استاندارد ISO 21254-1 شرح داده شده است.

۲-۴ روش آزمون ۱ بر ۱

۱-۲-۴ کلیات

در آزمون ۱ بر ۱، هر مقطع در معرض قرار نگرفته از سطح نمونه، در معرض شات‌های منفرد تابش لیزر با پارامترهای تعریف شده قرار می‌گیرد. از داده‌های تجربی، احتمال تخریب به عنوان تابعی از چگالی انرژی یا چگالی توان به صورت یک نمودار ترسیم می‌گردد.

۲-۲-۴ پارامترهای آزمون

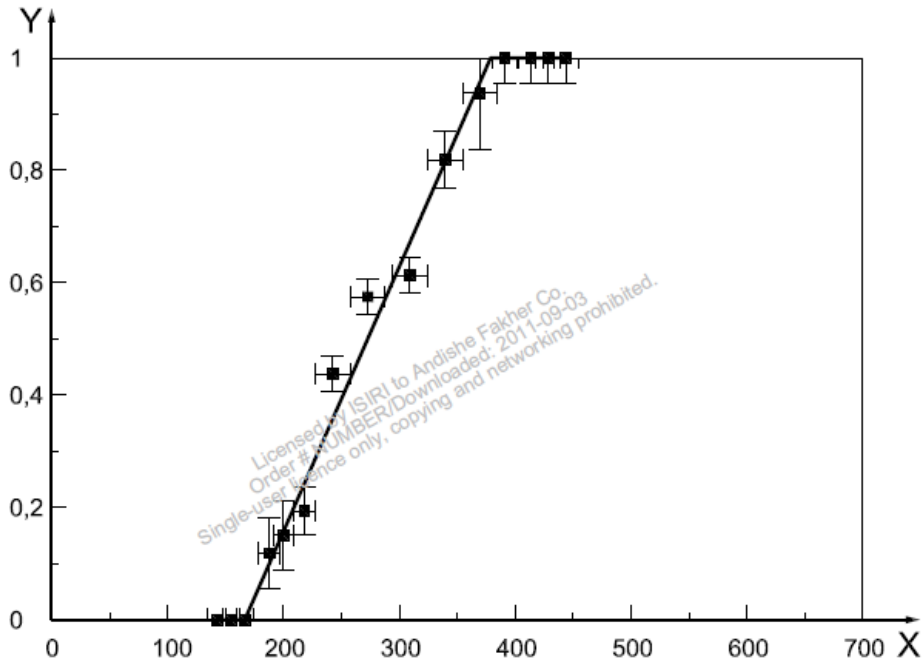
تجهیزات آزمون باید با پارامترهای شرح داده شده در بند ۶-۲-۶-۵ از استاندارد ISO 21254-1:2011، مطابقت داشته باشند.

۳-۲-۴ روش آزمون

مقاطع آزمون در معرض شات‌های منفرد پرتو لیزر با چگالی توان یا انرژی مختلف قرار می‌گیرند. حد اقل ده مقطع در معرض یک پالس لیزر با انرژی (یا توان) از پیش انتخاب شده قرار گرفته و برای هر مقطع، انرژی (یا توان) واقعی توسط یک سیستم تشخیصی اندازه‌گیری شده و همچنین وضعیت تخریب پس از تابش (مشاهده یا عدم مشاهده تخریب) ثبت می‌شود. این مراحل با پالس‌های دارای انرژی یا توان‌های متفاوت تکرار می‌شود. گستره انرژی یا توان‌های پرتو به کار رفته باید به اندازه کافی پهن باشد که هم مقادیر پایین، بدون هیچگونه اثر تخریبی را شامل شود و هم مقادیر بالا با اثر تخریبی در همه مقاطع آزمون را در بر گیرد.

۴-۲-۴ ارزیابی اندازه‌گیری‌ها

داده‌های آستانه تخریب توسط روش احتمال - تخریب به دست می‌آیند. به منظور ترسیم نمودار احتمال تخریب، به ازای کمیتی که بر حسب آن آستانه تخریب حاصل از لیزر بیان می‌گردد، ابتدا توسط محاسبه نسبت تعداد مقطع‌های تخریب شده به کل تعداد مقاطع مورد آزمون، احتمال تخریب برای هر پله افزایش چگالی انرژی یا چگالی توان تعیین می‌شود. از برون یابی خطی داده‌های احتمال تخریب به احتمال تخریب صفر، مقدار آستانه تخریب بدست می‌آید. یک مثال در شکل ۱ نشان داده شده است.



راهنما:

X انرژی به میلی ژول

Y احتمال آسیب

یادآوری- شرایط آزمون به صورت زیر می‌باشد:

(لیزر TEA CO₂ , 3.5 μs , τ_H=100ns , λ = 10.6 μm , d_{86,5}= 1.44 mm)

نمونه‌ها: پنجره‌های KBr، ۵۰ نمونه، قطر ۴۰mm

شکل ۱- نمودار تعیین آستانه تخریب از داده‌های تجربی

در صورتی که در تجهیزات لیزری موجود، از یک پالس به پالس متوالی بعدی تغییرات انرژی زیاد باشد، قرار دادن نمونه آزمون در معرض پالس‌های با انرژی دلخواه مجاز بوده و در این صورت داده‌های بدست آمده با توجه به فواصل مناسب پس از آن مرتب می‌شوند.

یادآوری ۱- در پیوست الف و پ به ترتیب برای آزمون ۱ بر ۱ و S بر ۱، مثال‌هایی از یک رویه اندازه‌گیری مؤثر که برای تعداد معینی از مقاطع دارای حد اکثر دقت می‌باشد ارائه شده است.

یادآوری ۲ - قطر پرتو آزمون در موقعیت نمونه می‌تواند بر نتیجه اندازه‌گیری‌ها اثر بگذارد. بنابراین، قطر پرتو باید در تمام طول زمان اندازه‌گیری‌ها ثابت نگه داشته شود.

۳-۴ روش آزمون S بر ۱

۱-۳-۴ کلیات

گسترش چیدمان آزمون و روشی که برای اندازه‌گیری آستانه تخریب آزمون ۱ بر ۱ بکار می‌رود، به منظور تعیین آستانه تخریب S بر ۱ ضروری است. در هر حال، اگر سیستم آنلاین شناسایی تخریب با یک میکروسکوپ کنتراست تداخل تفاضلی نومارسکی^۱ ترکیب شده باشد، امکانات اندازه‌گیری برای آزمون S بر ۱ می‌تواند برای اندازه‌گیری‌های ۱ بر ۱ نیز به کار رود. توصیه می‌شود که سیستم آنلاین شناسایی تخریب، به تمهیداتی برای قطع پالس‌های متوالی و توقف شمارشگر پالس نیز مجهز شده باشد.

۲-۳-۴ پارامترهای آزمون

تجهیزات آزمون باید مطابق با پارامترهای شرح داده شده در بند ۶-۲-۶-۵ از استاندارد ISO 21254-1:2011، و دیگر پارامترهای زیر تنظیم شده باشد:

الف. تعداد پالس‌ها به ازای هر مقطع، S

ب. تعداد کل مقاطع در هر آزمون، N_{ts} .

یادآوری - پارامترهای داده شده در بندهای ۶-۲-۶ و ۵ از d تا g) از استاندارد ISO 21254-1:2011، برای آزمون S بر ۱، به خصوصیات پالس نوعی تعریف شده در بندهای ۶-۲-۶-۴ از استاندارد ISO 21254-1:2011 ارجاع داده می‌شود.

۳-۳-۴ روش آزمون

یک مقطع آزمون در معرض قرار نگرفته، توسط یک سری از پالس‌های نوع S، پالس‌های نوعی با انرژی Q_{tp} ، در معرض پرتو قرار می‌گیرد. اگر توسط سیستم آنلاین تشخیص تخریب، قبل از آن که سری پالس‌های S کامل گردد تخریب مشاهده شود، بلافاصله تابش بر روی مقطع را متوقف کرده و حداقل تعداد پالس‌ها را ثبت کنید، N_{min} . این رویه را برای دیگر پالس‌ها با انرژی‌های متفاوت تکرار کنید. تعداد پالس‌ها، S، که باید در تمام رویه آزمون ثابت باشد، باید به صورتی انتخاب شود که در آزمون S بر ۱، رفتار ویژه تخریب ناشی از لیزر، در نمونه آزمون مشاهده شود.

۴-۳-۴ ارزیابی اندازه‌گیری‌ها

۴-۳-۴-۱ کلیات

نتیجه آزمون S بر ۱، شرح داده شده در بالا پس از بازرسی نمونه، یک دسته از نقاط داده از نوع زیر است.

$$\begin{aligned} & \text{در صورت وجود تخریب} \quad N_{\min} \leq S \quad \text{اگر } (Q_{tp}, N_{\min}) \\ & \text{در صورت عدم مشاهده تخریب} \quad (Q_{tp}, S) \end{aligned}$$

ارزیابی داده‌های به دست آمده (به شکل ۲ مراجعه شود)، ممکن است با استفاده از منحنی شاخص تخریب (به بند ۴-۳-۴-۲ مراجعه شود)، یا با استفاده از روش برون‌یابی انجام شود (به بند ۴-۳-۴-۳ مراجعه شود). روشی که از منحنی شاخص تخریب استفاده می‌کند، تعیین دقیق آستانه تخریب ناشی از لیزر را امکان پذیر می‌سازد. بهتر است برای بازرسی‌های پایه و آزمون اجزای نمونه اولیه، این روش دقیق مورد استفاده قرار بگیرد. از طرف دیگر، روش برون‌یابی، یک راه کار عملی برای تخمین آستانه S بر ۱ با استفاده از تعداد زیادی از پالس‌ها است.

۴-۳-۴-۲ منحنی شاخص تخریب

روش آزمون تعیین آستانه تخریب S بر ۱ دنبال شده و داده‌های بدست آمده ثبت می‌شوند (به بند ۴-۳-۳ مراجعه شود). برای یک ارزیابی معنی‌دار، حداقل تعداد N_{ms} مقطع، به ازای هر مقدار انرژی Q_{tp} از پالس نوعی باید مورد آزمون قرار بگیرد. این حداقل تعداد مقطع، N_{ms} را می‌توان به طور تقریبی از رابطه زیر به دست آورد:

$$N_{ms} = 5 \times (1 + \log_{10}^S) \quad (1)$$

گستره انرژی پالس نوعی به کار رفته، Q_{tp} ، باید به اندازه کافی پهن باشد تا هم نقاط متناظر با احتمال تخریب صفر و هم نقاط متناظر با احتمال تخریب ۱۰۰٪ را در بر گیرد.

مقادیر احتمال تخریب برای یک تعداد معین پالس، N ، و انرژی معین Q بر اساس روش داده‌های کاهش یافته (تبدیل شده) زیر محاسبه می‌شود.

مقیاس انرژی به یک سری بازه انرژی تقسیم می‌شود، $(Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ ، که کل گستره انرژی قابل دسترس توسط طرح تجربی را پوشش می‌دهند. برای محاسبه احتمال تخریب برای انرژی مشخص Q و برای یک تعداد مشخص پالس N ، داده‌های مرتبط با بازه $[Q_{tp} = (Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)]$ از فایل داده‌ها انتخاب می‌گردند. داده‌های مرتبط با $N_{\min} \leq N$ با مقاطعی متناظر است که تخریب در آن‌ها مشاهده شده است، در حالی که داده‌های مرتبط با $N_{\min} > N$ یا $S \gg N$ با مقاطعی متناظرند که در محدوده انرژی مورد نظر تخریب نشده‌اند. احتمال تخریب برای انرژی Q از نسبت تعداد داده‌های متناظر با مقاطع تخریب شده به کل تعداد داده‌ها بدست می‌آید

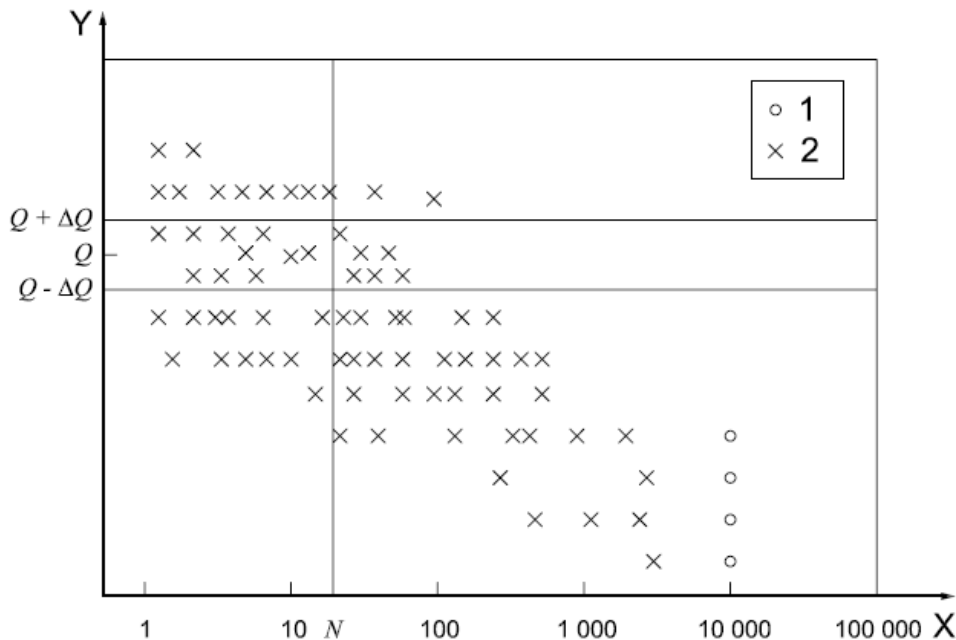
یادآوری ۱ مقدار ΔQ باید به صورتی انتخاب شود که کسر قابل ملاحظه‌ای از داده‌ها در حد فاصل $(Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ قرار گیرند. مقدار ΔQ که میزان خطای آماری مقادیر آستانه را تعیین می‌کند، در طی روش ارزیابی باید ثابت بماند. یک مثال از روش اندازه‌گیری با پارامترهای مناسب انتخاب شده، در پیوست پ داده شده است.

این رویه برای دیگر مقادیر انرژی Q هم تکرار می‌شود تا این که یک مجموعه داده از مقادیر احتمال تخریب برای تعداد N پالس بدست آید. مجموعه داده‌های به دست آمده، نقاط مجزایی را بر روی منحنی احتمال تخریب نشان می‌دهند که بر حسب انرژی پالس نوعی رسم شده‌اند. از این منحنی، با روش برون یابی، مقادیر انرژی Q_{10}, Q_{50}, Q_{90} که با مقادیر منحنی شاخص تخریب متناظر با 10% ، 50% و 90% احتمال تخریب مرتبط هستند، بدست می‌آید.

با برون یابی خطی احتمال تخریب تا احتمال تخریب صفر، انرژی آستانه تخریب بدست می‌آید (به بند ۴-۲-۴ مراجعه شود)، که باید به یکاهای چگالی انرژی آستانه E_{th} یا توان آستانه H_{th} تبدیل شود. برون یابی خطی با استفاده از دو داده نزدیک به احتمال تخریب مورد نظر، کافی است. البته اگر تعداد داده‌ها زیاد تر باشد، برون یابی دقیق تری امکان‌پذیر است. رویه برون یابی بکار گرفته شده باید در گزارش آزمون بیان شود.

در شکل ۲، داده‌های متناظر با نقاط تخریب شده با حرف X نشان داده شده‌اند و نقاط متناظر با نقاط تخریب نشده با حرف O نشان داده شده‌اند. روش ارزیابی استفاده شده برای احتمال تخریب، به صورت حدفاصل $(Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ ، با علامت گذاری روی نمودار نشان داده شده است. در طول آزمون ممکن است بیش از یک نقطه برای یک جفت داده معین (Q_{tp}, S) یا (Q_{tp}, N_{min}) وجود داشته باشد. تعداد نقاط موجود برای یک جفت داده معین را می‌توان بر روی نمودار نشان داد.

یک نمودار از یک سری نقاط داده نوعی به دست آمده در یک آزمون S بر آستانه تخریب ناشی از لیزر (LIDT)، در شکل ۲ آمده است. در این نمودار، مقیاس انرژی پالس با یکای دلخواه داده شده و برای نشان دادن یکسان بودن نقاط داده، هیچ عددی در نمودار ذکر نشده است.



راهنما:

X	تعداد پالس‌ها
Y	انرژی پالس به میلی ژول
۱	تخریب نشده
۲	تخریب شده

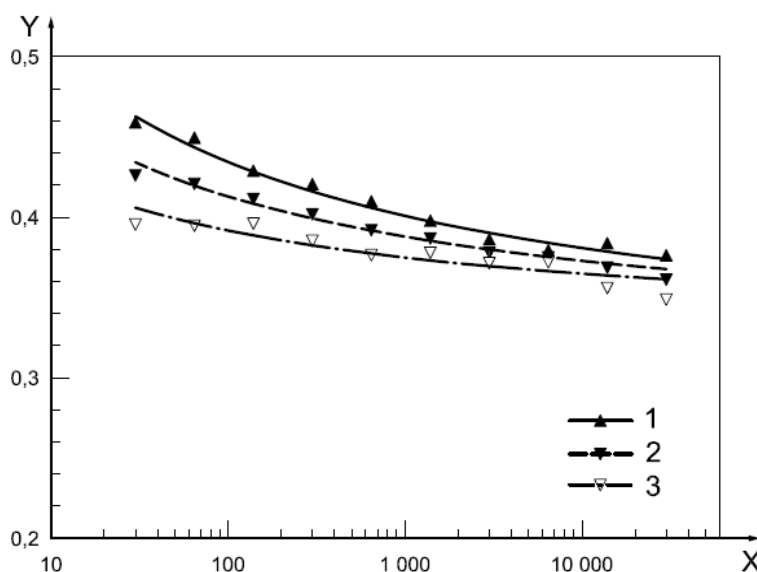
شکل ۲- نقاط داده به دست آمده از آزمون تخریب

برای تکمیل منحنی شاخص تخریب، جهت تعیین مقادیر انرژی متناظر با Q_{10} ، Q_{50} و Q_{90} الگوریتم فوق برای همه پالس‌های انتخابی N تکرار می‌گردد. این مقادیر به یک‌گانه‌ای تبدیل می‌شوند که آستانه تخریب با آن بیان گردیده و بر حسب تعداد پالس بر روی نمودار رسم می‌شوند. تعداد پالس‌ها باید به صورتی انتخاب شوند که حداقل پنج نقطه داده در بخش قابل توجهی از منحنی شاخص تخریب قرار بگیرد. بهتر است مختصات لگاریتمی-لگاریتمی برای این نمودار استفاده شود تا برون یابی خطی منحنی شاخص تخریب برای تعداد بسیار زیادی از پالس‌ها امکان پذیر باشد (به شکل ۳ مراجعه شود).

یادآوری - وقتی تعداد پالس‌ها خیلی زیاد است، مختصات لگاریتمی-لگاریتمی ممکن است برای برون یابی منحنی شاخص تخریب مناسب نباشد. در بسیاری موارد ممکن است منحنی شاخص تخریب به سمت یک چگالی انرژی معین، میل کرده و همگرا شود و شکل این همگرایی ممکن است اطلاعاتی در باره ساز و کارهای کهنگی و فرسودگی ناشی از لیزر در اختیار بگذارد (به پیوست ۳ مراجعه شود).

۳-۴-۳-۴ روش برون یابی

نمودار توزیع مناطق تخریب شده و تخریب نشده، می‌تواند بر اساس یک آزمون با نقاط داده‌ی کاهش یافته بدست آید. در روش برون یابی، آزمون S بر ۱، به شیوه‌ی انجام می‌شود که تعداد پالس‌های بکار رفته در هر مقطع آزمون برای تعیین آستانه تخریب با تعداد زیاد پالس مناسب باشد. یک رویه آزمون که اندکی تغییر داده شده است برای تعداد انتخاب شده‌ی از نقطه داده‌ها انجام شده است (به بند ۴-۴-۳ مراجعه شود). در این روش، تعداد پالس‌ها (S) در طول آزمون متغیر است و باید طوری انتخاب شود که تعداد قابل ملاحظه‌ای از مقاطع توسط تعداد انتخاب شده‌ی از پالس‌ها در معرض تابش قرار بگیرند (S). تابش به یک مقطع آزمون مشخص پس از آن که تعداد پالس به تعداد مورد نظر برسد یا آثار تخریب در آن مقطع شناسایی شود، متوقف می‌شود. نتیجه این پروتکل، مجموعه نقاط داده‌ی است که به ترتیب انرژی پالس نوعی، تعداد پالس و حالت تخریب را نشان می‌دهند (S, Q_{tp}, حالت تخریب). برای نمونه‌هایی که مکانیسم خود تخریبی را نشان می‌دهند، روش برون یابی می‌تواند در تجهیزات آزمون فاقد سیستم تشخیص ردیابی آنلایین تخریب به کار رود. در این صورت، هر مقطع بدون در نظر گرفتن حالت تخریب، در معرض تعداد انتخاب شده‌ی از پالس‌ها قرار می‌گیرد.



راهنما:

X تعداد پالس‌ها

Y چگالی انرژی به یکای ژول بر سانتی متر مربع

۱ ۹۰٪ LIDT

۲ ۵۰٪ LIDT

۳ ۱۰٪ LIDT

یادآوری شرایط آزمون به صورت زیر می‌باشد:

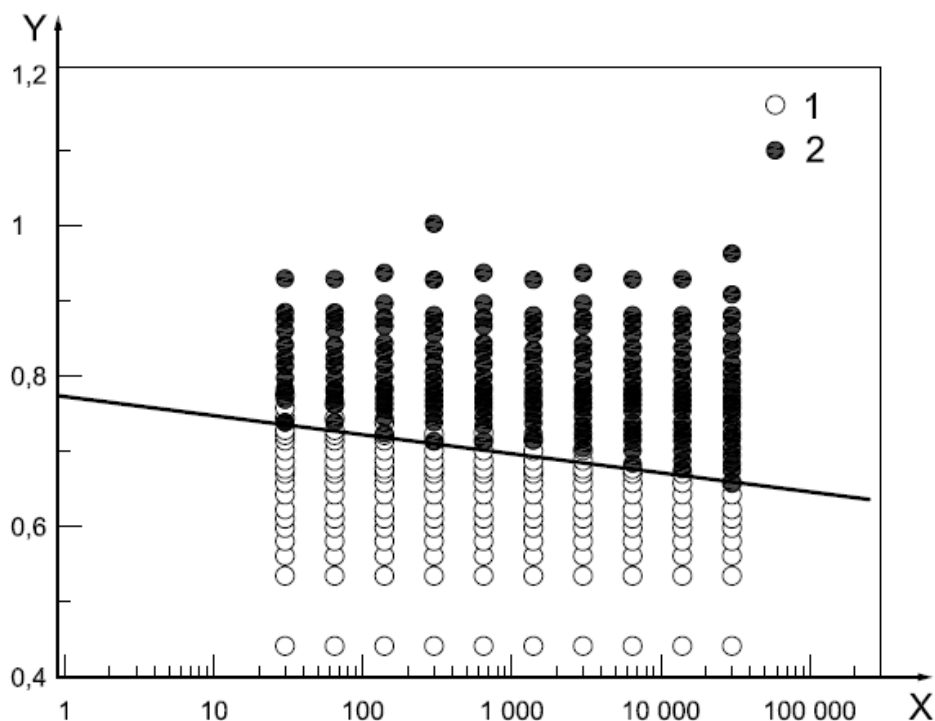
$\tau_{\text{eff}} = 130 \text{ fs}$, $d_{\text{t,eff}} = 87 \mu\text{m}$, $\lambda = 780 \text{ nm}$, $f_p = 1 \text{ KHz}$, specimen: HR mirror (Ta₂O₅/SiO₂) for 780 nm.

شکل ۳ - منحنی شاخص تخریب

برای هر نقطه داده، مقدار انرژی Q_{tp} به یکای چگالی انرژی یا یکای چگالی توان تبدیل می‌گردد، سپس منحنی تغییرات این مقادیر بر حسب تعداد پالس‌ها رسم می‌شود. با جدا کردن داده‌ها از لحاظ حالت تخریب، مقاطع تخریب شده و تخریب نشده توسط نمودار مشخص می‌گردند. این نمودار توزیع، تخمین تقریبی چگالی انرژی آستانه تخریب را برای تعداد زیادی از پالس‌ها امکان پذیر می‌سازد (به شکل ۴ مراجعه شود).

یادآوری- در مقایسه با روشی که از منحنی شاخص تخریب استفاده می‌شود، روش برون یابی بر اساس تعداد بسیار کمتری از مقاطع در رویه آزمون S بر ۱ انجام می‌گیرد و می‌تواند تنها بر روی یک نوع نمونه انجام شود. گرچه روش برون یابی از قابلیت اطمینان کمتری برخوردار است، اما برای کنترل کیفی یک پروسه تولید که قبلاً توسط یک آزمون کامل احتمال تخریب تایید شده باشد، یا به عنوان قسمتی از اقدامات آماده سازی برای آزمون تخریب گسترده می‌تواند کافی باشد. نتایج نمودار توزیع حاصل از روش برون یابی می‌تواند به عنوان یک تخمین حدودی از منحنی شاخص تخریب تفسیر شده و همچنین می‌تواند از فایل داده‌های منحنی شاخص تخریب استخراج گردد (به شکل ۴ مراجعه شود).

یک نقطه داده معین بدون تخریب $(Q_{tp} و S)_x$ می‌تواند نمایانگر این موضوع باشد که احتمال تخریب برای تعداد پالس کمتر از S ، با انرژی $Q_{tp, x}$ وجود ندارد. در نتیجه در نمودار توزیع برای تمام تعداد پالس‌های دیگر S که کمتر از تعداد S_x باشند، علامت بدون تخریب را می‌توان ترسیم نمود. یک نقطه داده معین $(Q_{tp} , N_{min})_x$ می‌تواند نشانگر این باشد که برای تعداد پالس‌های بیشتر از S با انرژی پالس $Q_{tp, x}$ ، تخریب محتمل است. در نتیجه، برای تمام مقادیر دیگر S که بیشتر از $N_{min, x}$ باشند، علامت تخریب را می‌توان بکار برد. ملاحظات فنی یا وضعیت آماری تخریب، کم‌ترین تعداد N_{min} که با وسایل اندازه گیری قابل شناسائی باشد را ممکن است محدود کند. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، یک خط جداسازی می‌توان ترسیم کرد که ناحیه پالس / انرژی بدون تخریب را برای نمونه مشخص می‌کند.



راهنما:

X تعداد پالسها

۱: مقاطع تخریب نشده

Y چگالی انرژی به یکای ژول بر سانتی متر مربع

۲: مقاطع تخریب شده

یادآوری: شرایط آزمون به قرار زیرند:

$$T_{\text{eff}} = 130 \text{ fs} \text{ و } d_{\text{T, eff}} = 87 \mu\text{m} \text{ و } \lambda = 780 \text{ nm} \text{ و } f_p = 1 \text{ KHz}$$

نمونه: آینه HR (TiO₂, SiO₂) برای 780 nm

شکل ۴- نمودار توزیع مقاطع تخریب شده و تخریب نشده

۵ درستی

برای تعیین درستی کلی وسایل اندازه گیری، برآورد خطای کالیبراسیون باید مطابق با استاندارد ISO 21254-1 انجام گیرد. برآورد خطا باید شامل تغییر در نرخ تکرار پالس، انرژی یا توان کلی پرتو، پروفایل فضایی و پروفایل زمانی باشد.

۶ گزارش آزمون

۱-۶ کلیات

به منظور مستند سازی و ارائه داده‌های اندازه گیری، اطلاعات تعیین شده در بند ۸، موارد a تا c از استاندارد ISO 21254-1:2011، و نتایج آزمونی که انجام شده، باید در گزارش آزمون درج شده باشد.

۲-۶ آزمون ۱ بر ۱

اطلاعات مندرج در نتیجه آزمون:

الف) یک میکروگراف^۱ نورماسکی از یک مقطع آزمون تخریب شده با انرژی یا توان تابشی در گستره احتمال تخریب ۲۰٪ تا ۸۰٪؛

ب) یک گراف از نوع نشان داده شده در شکل ۱؛

پ) نتیجه آزمون، به صورت H_{th} یا E_{th} یا F_{th}

ت) تعداد کل مقاطع استفاده شده برای آزمون، N_{ts} .

بهتر است یک گزارش آزمون حاوی ویژگی‌های آزمون و نتایج آن تهیه و به مشتری تحویل داده شود. مثالی از چنین گزارش آزمونی در پیوست ب آورده شده است.

۳-۶ آزمون S بر ۱

اطلاعات مندرج در نتیجه آزمون:

الف) حداقل یک میکروگراف نورماسکی از یک نمونه مقطع آزمون تخریب شده نوعی، با انرژی پالس در گستره احتمال تخریب بین ۲۰٪ تا ۸۰٪ برای تعداد پالس در هر مقطع؛

ب) نمودار احتمال تخریب S بر ۱ از نوع نشان داده شده در شکل ۳، که در آن نقاط داده به هم متصل شده باشند، یا یک گراف مشابه آنچه که در شکل ۴ نشان داده شده است.

در صورت وقوع تغییر در ساز و کار تخریب با تغییر در تعداد پالس‌ها، یک توضیح خلاصه از وضعیت تخریب مشاهده شده.

در صورت امکان، عرضه کننده یا آزمایشگاه باید یک گزارش آزمون شامل ویژگی‌های آزمون و نتایج آن را به مشتری عرضه کند. یک مثال از چنین گزارشی در پیوست ارائه شده است.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

یک مثال از رویه اندازه گیری (آزمون ۱ بر ۱)

الف-۱ کلیات

در این پیوست یک مثال از رویه اندازه گیری برای آزمون ۱ بر ۱ شرح داده می شود. ساختار اساسی این روش شامل سه مرحله می باشد.

در مرحله اول (آمادگی)، پارامترهای اصلی^۱ آزمون محاسبه یا تعیین می شوند. همچنین مرحله آمادگی ممکن است شامل تحقیقات روتین مضاعف در خصوص تخمین آستانه تخریب واقعی و تعیین فواصل چگالی انرژی برای آزمون باشد. در مرحله آغازین، بر اساس کاربرد مورد نظر و اطلاعات موجود از آزمون های قبلی بر روی نمونه های دارای مواد و طرح مشابه، پارامترهای اصلی آزمون مشخص می گردند. در مرحله دوم، نمونه مورد نظر تحت آزمون قرار گرفته و داده ها جمع آوری می شوند. در مرحله نهایی، داده های جمع آوری شده، تجزیه و تحلیل می شوند و آستانه تخریب و عدم قطعیت آن به صورت تخمینی محاسبه می گردد.

الف-۲ مرحله اول (آغازین) رویه اندازه گیری

الف-۲-۱ تعداد کل مقاطع آزمون N_{ts}

بر اساس مساحت نمونه موجود برای آزمون آستانه تخریب، A_{opt} ، قطر پرتو، $d_{T,eff}$ و فاصله جداسازی مقاطع مورد آزمون بر حسب قطر پرتو لیزر، d_{sep} ، تعداد کل مقاطع N_{ts} تعیین می شود. اگر یک آرایش مستطیلی از مقاطع مورد آزمون در نظر بگیریم، تعداد کل مقاطع از رابطه زیر بدست می آید:

$$N_{ts} = \frac{4A_{opt}}{(d_{sep}, d_{T,eff})} \quad (\text{الف-۱})$$

در صورتی که ترتیب مقاطع آزمون به صورت ساختار شش ضلعی تنگ چین^۲ باشد (HCP)، ضریب $\frac{2}{\sqrt{3}}$ را باید در معادله الف-۱ وارد نمود:

$$N_{ts} = \frac{8A_{opt}}{\sqrt{3} (d_{sep}, d_{T,eff})^2} \quad (\text{الف-۲})$$

در آرایش HCP، همه مقاطع مجاور به اندازه $d_{T,eff} \cdot d_{sep}$ از هم فاصله دارند. به عنوان شرایط حداقل برای

1- Fundamental
2- Hexagonal close pack

روش فرکانس تخریب، مقدار N_{ts} باید از ۷۵ بیشتر و d_{sep} برای پرتویی با توزیع فضایی گوسی^۱ باید در گستره ۱٫۲۵ و ۵ باشد.

الف-۲-۲ تعداد مراحل تابش^۲، n_{steps} ، رزولوشن احتمال، p_{res} ، تعداد مقاطع تخریب شده، n_{sites}

از شکل الف-۱ به منظور تعیین مقادیر رزولوشن احتمال، p_{res} و تعداد مقاطعی که ممکن است در هر سطح انرژی تابش تخریب شوند، n_{sites} برای مقدار معلومی از N_{ts} ، گستره مقادیر امکان پذیر p_{res} و n_{sites} را با دنبال کردن خط واصل مقدار N_{ts} از چپ به راست می توان بدست آورد. برای مقادیر بیشتر از N_{ts} ، تعداد زیادی از مقادیر امکان پذیر p_{res} و n_{sites} وجود خواهد داشت که قابلیت انعطاف پذیری بالایی در طراحی این آزمون فراهم می کند. البته برای مقادیر پایین تر N_{ts} ، انتخاب این طراحی محدودتر خواهد بود.

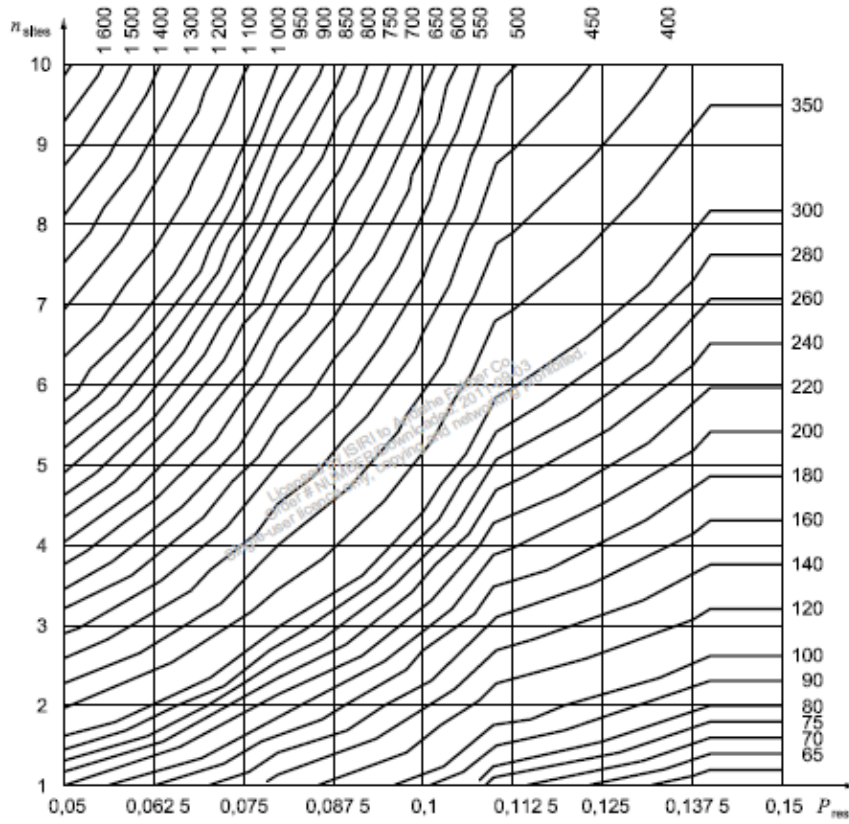
در صورتی که انتهای با احتمال کم مورد نظر نباشد، انتخاب بیشترین مقدار ممکن برای n_{sites} ترجیح داده می شود. انتخاب مقادیر بیشتر برای n_{sites} منجر به تعیین دقیق تر احتمال تخریب در سطح مورد آزمون خواهد شد (به معادلات الف-۵ و الف-۶ مراجعه شود).

پس از انتخاب p_{res} ، با استفاده از شکل الف-۲ تعداد تابش در هر سطح انرژی یا مراحل تابش در آزمون، یعنی n_{steps} را بدست می آوریم. مقدار n_{steps} مستقیماً از منحنی شکل الف-۲ بدست می آید.

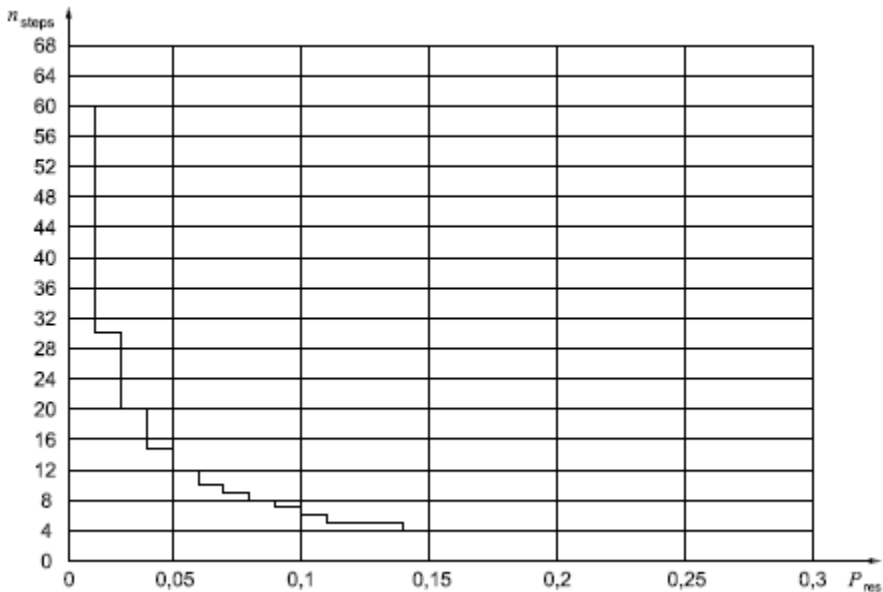
مثال انتخاب n و p_{res}

آزمونی را با ۲۰۰ مقطع آزمون در نظر بگیرید. خط واصل n_{sites} برای این ۲۰۰ مقطع، مقدار ۱ تا ۵ را بدست می دهد و مقادیر منطبق بر p_{res} ، از حدود ۰٫۰۶ تا ۰٫۱۵ تغییر می کنند.

در صورتی که انتهای با احتمال کم برای ما اهمیت داشته باشد، مقادیر کمتر p_{res} ، که امکان بررسی با سطوح تابش بیشتری را امکان پذیر می کنند، توصیه می شوند و اگر این موضوع اهمیت نداشته باشد، آنگاه مقادیر بالاتر p_{res} ، انتخاب ارجح ما خواهد بود، چرا که در اندازه گیری احتمال آسیب، دقت بالاتری حاصل خواهد شد.



شکل الف- ۱ نمودار ترسیمی N_{ts} ها



شکل الف- ۲ منحنی P_{res} بر حسب N_{steps}

الف - ۲-۳ بالاترین و پائین ترین سطوح انرژی H_{bottom} و H_{top}

سطوح بالا و پائین چگالی انرژی ، H_{top} و H_{bottom} را می توان از طریق داده های پیشین بدست آمده از آزمون های قبلی تخریب بر روی نمونه های قابل قیاس تخمین زد. مقدار H_{top} متناظر با چگالی انرژی تقریباً برابر با ۶۰٪ احتمال تخریب است. اگر داده های پیشین در دسترس نباشند، مقادیر H_{top} و H_{bottom} را می توان از طریق روش معمول تحقیق مضاعف که بر روی مساحت آزمون واقعی انجام می گیرد، تعیین نمود. بهتر است حد اقل ۱۵ مقطع آزمون برای روش معمول تحقیق استفاده شود. در خصوص مساحت های بزرگ تر آزمون با $N_{\text{ts}} > 150$ ، می توان $\frac{1}{10}$ از تعداد کل مقاطع، N_{ts} ، را برای تحقیق مضاعف اولیه به کار ببریم.

۴-۲- الف رزولوشن چگالی انرژی، δH

رزولوشن چگالی انرژی را از طریق معادله زیر تعیین می کنیم:

$$\delta H = \frac{H_{\text{top}} - H_{\text{bottom}}}{n \text{ steps}} \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن، n steps مطابق با بند الف-۲-۲ تعیین می گردد.

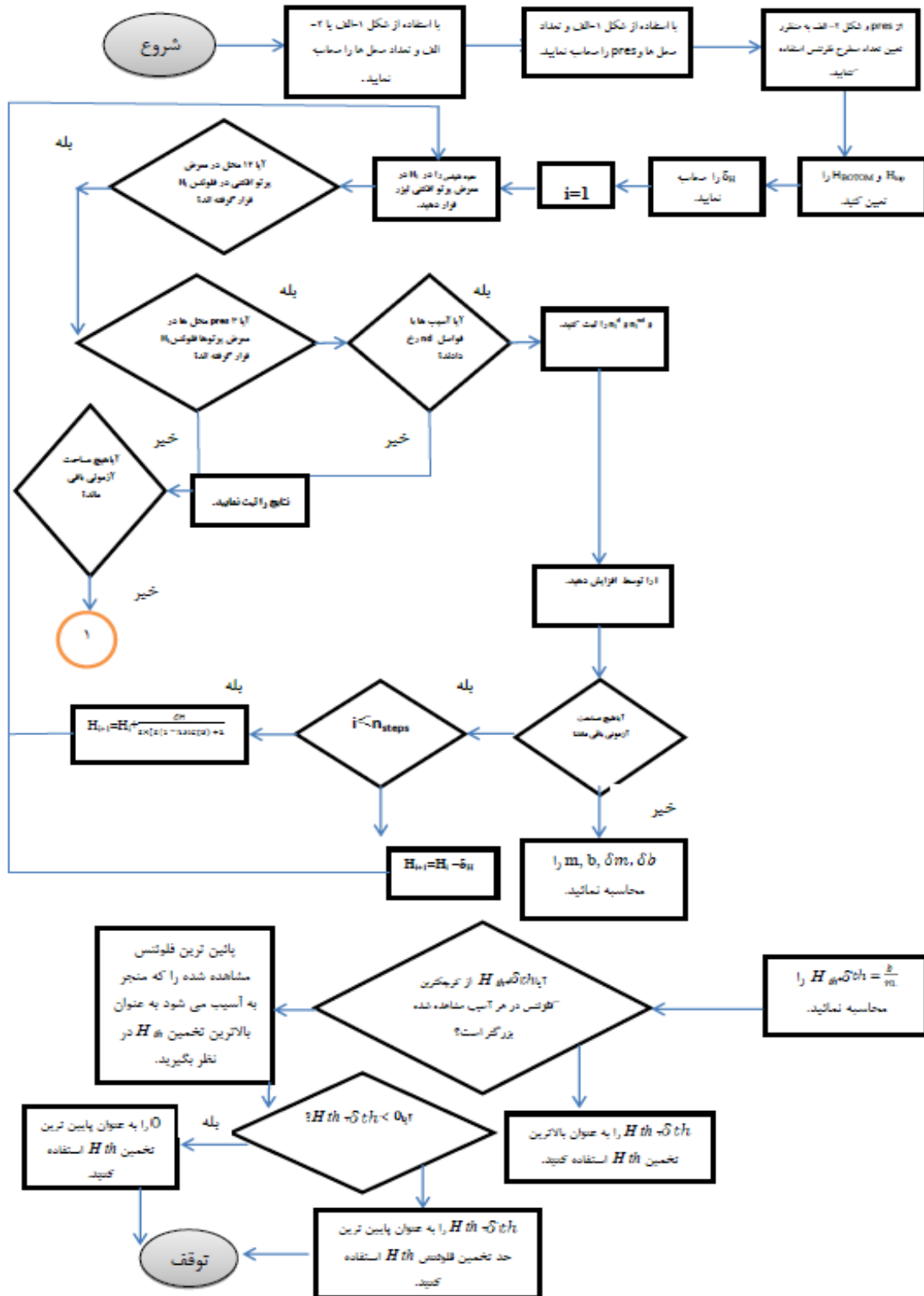
الف-۳ روش معمول آزمون

الگوریتم مرتبط با توالی (سلسله مراتب) تابش یک نمونه در شکل الف-۳ شرح داده شده است. سطح چگالی انرژی اولیه H_1 ، همان H_{top} است.

پس از مورد تابش قرار دادن اولین مقطع، وضعیت تخریب در سطح چگالی انرژی، شناسایی و سپس ثبت خواهد شد. متغیرهای n_i^d و n_i^{nd} به ترتیب برای تعداد مقاطع تخریب شده و تخریب نشده در سطح چگالی انرژی منتخب H_i متغیرهای شمارشی محسوب می شوند.

تابش نمونه در سطح i ام تا زمانی ادامه پیدا می کند که حداقل ۱۲ مقطع مورد تابش قرار گرفته و هیچ مقطعی از $n_i^d = n_{\text{sites}}$ یا $n_i^{nd} = \frac{3}{p_{\text{res}}}$ تخریب نشده باشند. زمانی که تابش در سطح i ام کامل گردید و n مقطع ، n_{sites} ، تخریب شد، سطح چگالی انرژی به اندازه δH کاهش می یابد.

اگر $\frac{3}{p_{\text{res}}}$ شات با توان H_i ، بدون مشاهده هیچ گونه تخریبی تابیده شوند، سطح چگالی انرژی برای مقدار بعدی i به مقدار δH ۰/۵ و از آنجا به بعد برای هر سطح به مقدار δH افزایش خواهد یافت. این رویه تا زمانی ادامه پیدا خواهد کرد که تمام مساحت آزمون مورد تابش قرار بگیرد.



شکل الف-۳ فلو چارت آزمون

الف-۴ ارزیابی نتایج آزمون

آخرین مرحله از این الگوریتم شامل ارزیابی داده‌های جمع آوری شده در حین رویه آزمون می‌باشد که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد. برون یابی خطی احتمالات تخریب اندازه گیری شده به منظور تعیین آستانه تخریب و تعیین عدم قطعیت نتایج آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای هر سطح چگالی انرژی، احتمال تخریب مشاهده شده P_i از طریق معادله زیر به دست می‌آید:

$$P_i = \frac{n_i^d}{n_i^d + n_i^{nd}} \quad (\text{الف-۴})$$

که در آن $n_i^d + n_i^{nd}$ تعداد کل مقاطع در معرض پرتو قرار گرفته به منظور دستیابی به n_i^d مقطع تخریب شده می‌باشد.

عدم قطعیت برای هر نقطه‌ی i در این مجموعه داده‌ها با استفاده از معادله (الف-۵) یا معادله (الف-۶) تخمین زده می‌شود:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{n_i^d}{n_i^d (n_i^d + n_i^{nd})} + \varepsilon_f^2} \quad n^d > 0 \quad \text{زمانی که} \quad (\text{الف-۵})$$

$$\sigma_i = \sqrt{\varepsilon_f^2} \quad n^d = 0 \quad \text{زمانی که} \quad (\text{الف-۶})$$

که ε_f کسر عدم قطعیت در چگالی انرژی اندازه گیری شده است.

شیب m و عرض از مبدا b خط تطبیق داده شده با منحنی احتمال تخریب اندازه گیری شده به ترتیب از معادلات (الف-۷)، (الف-۸) و (الف-۹) محاسبه می‌شوند:

$$m = \frac{1}{\Delta} \left[\left(\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \right) \left(\sum_i \frac{p_i H_i}{\sigma_i^2} \right) - \left(\sum_i \frac{H_i}{\sigma_i} \right) \left(\sum_i \frac{p_i}{\sigma_i^2} \right) \right] \quad (\text{الف-۷})$$

که در آن

$$\Delta = \left(\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \right) \left(\sum_i \frac{H_i}{\sigma_i^2} \right) - \left(\sum_i \frac{H_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (\text{الف-۸})$$

$$b = \frac{1}{\Delta} \left[\left(\sum_i \frac{H_i^2}{\sigma_i^2} \right) \left(\sum_i \frac{p_i}{\sigma_i^2} \right) - \left(\sum_i \frac{H_i}{\sigma_i} \right) \left(\sum_i \frac{p_i H_i}{\sigma_i^2} \right) \right] \quad (\text{الف-۹})$$

آستانه تخریب از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$H_{th} = - \frac{b}{m} \quad (\text{الف-۱۰})$$

بهتر است آستانه محاسبه شده هم مثبت بوده و هم کمتر یا مساوی کمترین چگالی انرژی مشاهده شده منجر به تخریب باشد. در صورتی که مقدار H_{th} مثبت نباشد، بهتر است این آستانه گزارش شده و به عنوان کمترین چگالی انرژی مشاهده شده منجر به تخریب مشخص شود. علاوه بر این در صورت فراهم شدن مقاطع آزمون

بیشتر، بهتر است یک تحقیق مضاعف برای این آستانه اجرا گردد و بالاترین چگالی انرژی در این تحقیق باید در حین اندازه گیری پائین ترین چگالی انرژی منطبق بر تخریب مشاهده شده باشد. عدم قطعیت آستانه تخریب با استفاده از معادلات (الف-۱۱) و (الف-۱۲) و معادله (الف-۱۳) تعیین می گردد.

$$\sigma_{th} = \frac{1}{m^2} \sqrt{b^2 \sigma_m^2 + m^2 \sigma_b^2} \quad (\text{الف-۱۱})$$

که در آن:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum \frac{H_i^2}{\sigma_i^2}} \quad (\text{الف-۱۲})$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (\text{الف-۱۳})$$

بهتر است حد پائین آستانه تخمینی $H_{th} - \sigma_{th}$ مثبت و کمتر یا مساوی پائین ترین چگالی انرژی منجر به تخریب مشاهده شده باشد. در صورت عدم برآورده شدن هر یک از این دو شرط، حد پایین بهتر است با 0 جایگزین شود.

پیوست ب
(اطلاعاتی)

مثالی از یک گزارش آزمون برای آزمون ۱- بر- ۱

اندازه گیری آستانه تخریب ناشی از لیزر توسط یک آزمون ۱ بر ۱

مؤسسه‌ی آزمون کننده

نام مؤسسه:

yyyy / mm / dd

آزمون کننده / تاریخ:

نمونه

قسمت اصلی، HR در ۱۰۶۴nm بر روی شیشه BKV

نوع نمونه:

تولید کننده:

هیچگونه الزام خاصی وجود ندارد.

(نحوه) ذخیره سازی / نگه داری

آینه بازتاب بالا، $R > 99/5\%$ در ۱۰۶۴ nm،

ویژگی‌ها:

زاویه تابش صفر رادیان، پوشش استاندارد برای

استفاده نرمال

شماره سریال / شناسه قطعه:

اجرای روکش \neq ۱۱۸۷ سال / ماه / روز

تاریخ تولید:

ویژگی‌های آزمون:

لیزر Nd:YAG شامل اسیلاتور (نوسان ساز) الکترواپتیک سوئیچ شده Q^۱ و یک مرحله تقویت کننده مجزای

اپتیکی است. قابلیت عملکرد عرضی و طولی منفرد. تمرکز توسط یک عدسی دوکوژ (محدب الطرفین) و یک

پرتو با شماره f برابر با ۳۰۰.

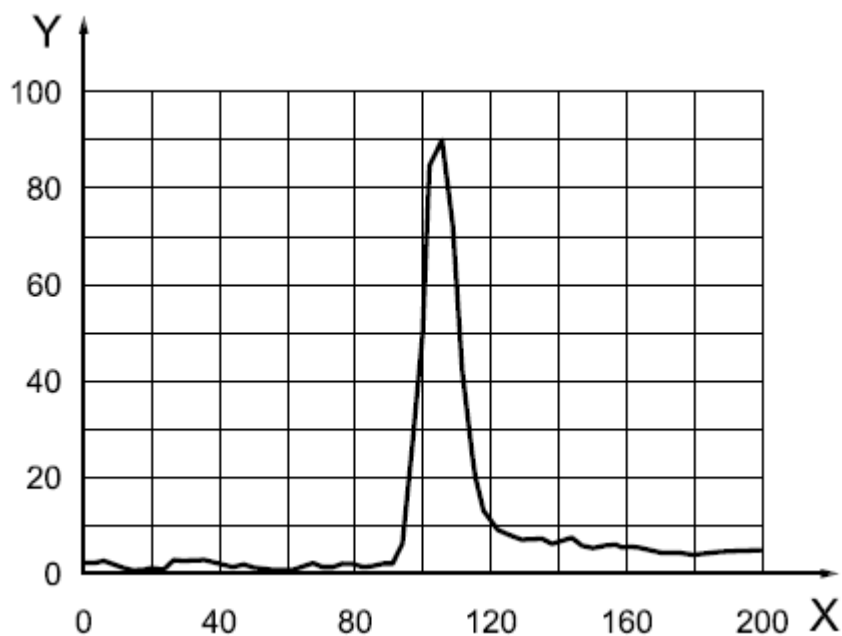
پارامترهای لیزر:

۱۰۶۴nm

طول موج:

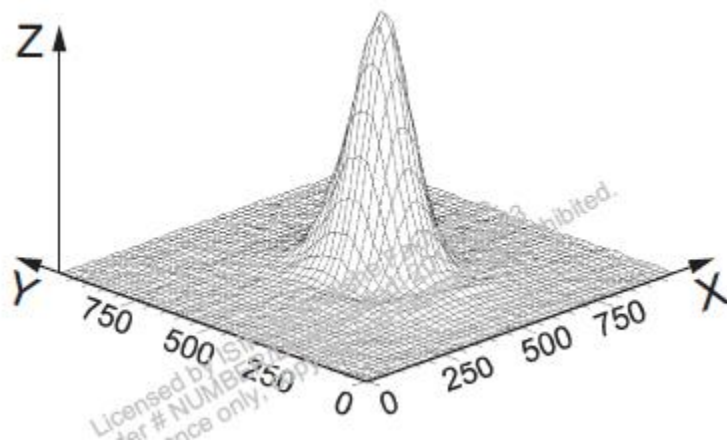
0 rad
خطی
5S
0.34 mm
12 ns
12/7 ns

زاویه تابش:
حالت پلاریزاسیون:
حد اقل زمان میان شات ها:
قطر مؤثر پرتو در صفحه هدف:
طول مدت پالس :
طول مدت پالس مؤثر:



راهنما:
X زمان به نانو ثانیه
Y توان با یکای دلخواه

شکل ب- ۱ پروفایل زمانی



راهنما:

X	مقیاس طولی، به میکرومتر
Y	مقیاس طولی، به میکرومتر
Z	توان با یکای دلخواه

شکل ب- ۲ پروفایل فضائی

برآورد خطا

الف) تغییرات تصادفی:

±/۳	پایداری انرژی از پالس به پالس
±/۵	پایداری پروفایل فضائی از پالس به پالس
±/۸	پایداری پروفایل زمانی از پالس به پالس

ب) تغییرات سیستمی (قاعده دار)^۱:

±/۵	کالیبراسیون کالری متر
±/۲	ارتباط پایشگر انرژی - کالری متر
±/۱۲/۲	تکرار پذیری اندازه گیری چگالی انرژی کل
±/۱۰/۴	عدم قطعیت اندازه گیری چگالی انرژی کل

رویه آزمون

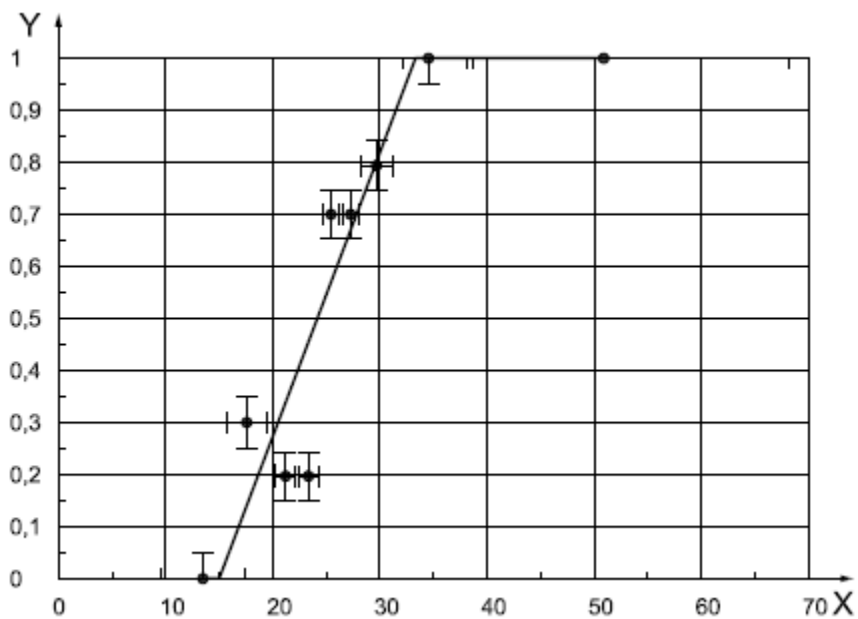
۲۵	تعداد شات ها در هر نمونه:
ماتریس ۵×۵	ترتیب مقاطع در ۲۵ آزمون:
۳mm	حد اقل فاصله بین مقاطع:
۵	تعداد نمونه‌های آزمون شده:
۱۲۵	تعداد کل مقاطع تحت آزمون:
اندازه گیری آنلاین پراکندگی، پردازشگر آنلاین	روش شناسایی تخریب:

تصویر

جعبه ارائه شده توسط تولید کننده، شرایط طبیعی اتاق	انبارش نمونه:
هوای فیلتر شده، تمیز	محیط آزمون:
تمیز کردن گرد و غبار با نیتروژن خشک	تمیز کاری:

¹ - Systematic

نتایج آزمون

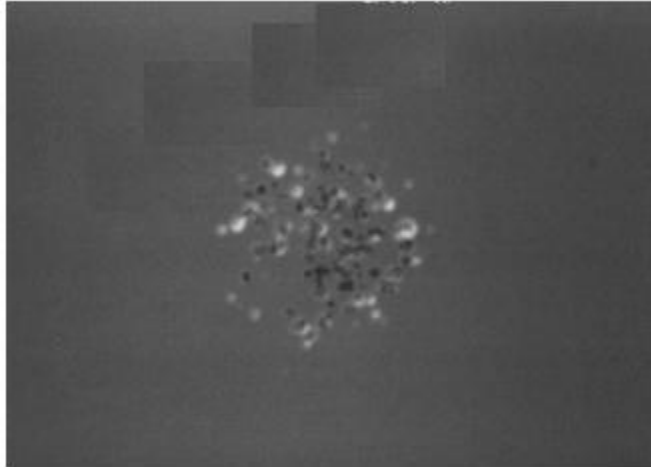


راهنما:

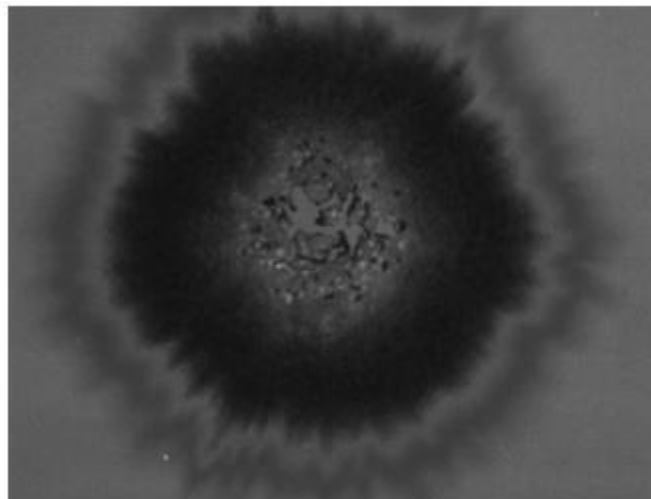
X چگالی انرژی پالس به ژول بر سانتی متر مربع

Y احتمال تخریب

شکل ب- ۳ نمودار احتمال تخریب، آستانه تخریب $15/1/cm^2$



یادآوری -
تخریب توسط فعل و انفعالات درون پوشش به علت تخریب ناشی از جذب سطوح بالای چگالی انرژی
شکل ب- ۴ میکروگراف^۱ نورماسکی برای چگالی انرژی 19 j/cm^2



یادآوری -
تخریب توسط فعل و انفعالات درون پوشش به علت تخریب ناشی از جذب سطوح بالای چگالی انرژی.
شکل ب- ۵ میکروگراف Nomraski برای چگالی انرژی 30 j/cm^2

پیوست پ

(اطلاعاتی)

یک مثال از رویه اندازه گیری (آزمون S بر ۱)

پ-۱ کلیات

این پیوست یک مثال از رویه اندازه گیری توسط وسایل ویژه طراحی شده برای اندازه گیری آستانه تخریب ناشی از تابش لیزر Nd:YAG با نرخ تکرار بالا را تشریح می نماید. ساختار اصلی این رویه به سمت تعیین آستانه تخریب ناشی از لیزر با استفاده از حد اقل تعداد مقاطع آزمون جهت گیری شده است. در گام اول (گام آمادگی)، پارامترهای اساسی این آزمون محاسبه و تعیین می شوند. همچنین مرحله ابتدایی شامل رویه معمول آزمون مقدماتی به منظور تخمین تقریبی آستانه تخریب می باشد. در گام بعدی، مقاطع سطح نمونه تحت تابش قرار گرفته و داده ها جمع آوری می شوند. بر اساس داده های ثبت شده در خلال چرخه های پیشین آزمون، یک سطح انرژی پیشنهادی برای مقطع بعدی سطح نمونه محاسبه می گردد. به این منظور، مدل منفردی برای احتمال تخریب به عنوان تابعی از چگالی انرژی در محاسبات وارد می شود. در این مثال، مدلی بر پایه رگرسیون استدلالی داده های باینری استفاده شده است. هر چند، از هر مدل فیزیکی یا آماری می توان به منظور شبیه سازی وضع تخریب استفاده نمود. گام نهایی در رویه آزمون که در این مثال شرح داده می شود، ارزیابی داده های جمع آوری شده و محاسبه منحنی احتمال تخریب است.

پ-۲ مرحله آمادگی رویه اندازه گیری

پ-۱-۲ پارامترهای آزمون

در مرحله آمادگی، پارامترهای اساسی آزمون بر مبنای کاربرد مورد نظر، اطلاعات موجود از آزمون های پیشین بر روی نمونه های مشابه و محدودیت های معین در خصوص وسایل اندازه گیری تخریب تعیین می شوند. تعاریف ارائه شده در جدول پ-۱ در رویه آزمون این مثال مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

جدول پ-۱ تعریف نمادهای مورد استفاده در رویه این آزمون

معنی	نماد
حداقل تعداد پالس‌ها برای ارزیابی داده‌ها: $0 < N_L < S$	N_L
مساحت جزء اپتیکی نمونه موجود برای آزمون تخریب	A_{opt}
تفکیک مقاطع آزمون بر حسب قطر پرتو $d_{T,eff}$ (فاصله فیزیکی مقاطع آزمون تقسیم بر قطر پرتو)	d_{sep}
حداقل پهنای حدفاصل بین سطوح انرژی	d_Q
احتمال تخریب پس از N پالس (مدل معین)	$P_N(Q)$
عدم قطعیت در تطابق $P_N(Q)$	δ_N

پ-۲-۲ تعداد کل مقاطع آزمون، N_{ts}

از طریق مساحت نمونه موجود برای آزمون تخریب A_{opt} ، قطر پرتو $d_{T,eff}$ و فاصله مقاطع آزمون بر حسب قطرباریکه لیزر d_{sep} ، تعداد کل مقاطع آزمون را می‌توان تعیین نمود، N_{ts} . با فرض اینکه ابعاد مساحت موجود برای آزمون، در مقایسه با فاصله مقاطع آزمون زیاد باشد، تقریب‌های زیر را می‌توان بکار برد. اگر آرایش چهار ضلعی (مستطیلی) برای مقاطع آزمون در نظر بگیریم، تعداد کل مقاطع به صورت زیر بدست می‌آید:

$$N_{ts} = \frac{A_{opt}}{(d_{sep} d_{T,eff})^2} \quad (\text{پ-۱})$$

در صورت آرایش شش ضلعی تنگچین برای مقاطع آزمون، ضریب $\frac{2}{\sqrt{3}}$ را در معادله پ-۱ وارد می‌کنیم:

$$N_{ts} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{A_{opt}}{(d_{sep} d_{T,eff})^2} \quad (\text{پ-۲})$$

در طرز قرار گیری به صورت شش ضلعی تنگچین، تمامی مقاطع آزمون مجاور هم به اندازه $d_{sep} \cdot d_{T,eff}$ از هم فاصله دارند. به عنوان حداقل شرایط برای روش منحنی تخریب، مقدار N_{ts} باید بیشتر از ۱۰۰ بوده و گستره d_{sep} برای پرتو تابش با توزیع فضائی گوسی، باید در گستره ۳ تا ۵ قرار داشته باشد.

پ-۲-۳ حداقل تعداد پالس N_L

حداقل تعداد پالس‌ها در هر مقطع، بر طبق کاربرد مورد نظر نمونه‌ها و عدم قطعیت در شمارش و نحوه سوییچ شدن پالس‌ها در سیستم آنلاین تشخیص تخریب انتخاب می‌شود.

اغلب در اندازه گیری آستانه تخریب S بر ۱، ترجیح داده می‌شود که $N_L=1$ باشد چرا که این مقدار، مورد مهم تخریب S بر ۱ را در بر می‌گیرد. با این حال، در صورت اندازه گیری‌های آستانه تخریب با نرخ‌های بسیار بالای تکرار در حد کیلو هرتز، امکان دارد برای N_L مقدار بالاتری نیز انتخاب شود. همچنین برای اجزای لیزر در کاربردهای خاص با شرایط کاربردی محدود، ممکن است مقادیر بالاتر N_L مزیت داشته باشد. حداکثر تعداد پالس

به ازای هر مقطع S ، به میزان دقت مورد نیاز برای برون یابی منحنی شاخص تخریب برای تعداد زیاد پالس‌ها بستگی داشته، و به علت نیاز به زمان منطقی اندازه گیری برای آزمون تخریب، این دقت محدود می‌شود.

پ-۲-۴ رزولوشن انرژی δQ

رزولوشن انرژی δQ بهتر است براساس قابلیت تکرار پذیری انرژی لیزر آزمون در ارتباط با سیستم تضعیف کننده انرژی انتخاب گردد.

پ-۲-۵ تابع تطبیق $P_N(Q)$ و عدم قطعیت δN

به منظور محاسبه مقدار انرژی پیشنهادی برای مقاطع بعدی آزمون، یک مدل مجزا برای احتمال تخریب $P_N(Q)$ مورد نیاز است. تابع احتمال $P_N(Q)$ تابعی از چگالی انرژی است و علاوه بر تعداد پالس‌ها N ، شامل مجموعه‌ای از پارامترهای ویژه نیز می‌باشد. عدم قطعیت δN کمیتی است که انحراف پارامتری تابع احتمال $P_N(Q)$ از داده‌های اندازه گیری شده برای مقدار معین N را تشریح می‌کند. در این مثال، تابع استدلالی معکوس را که به طور معمول برای آنالیز داده‌های دوتایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به کار می‌بریم:

$$P_N^{(Q)} = \frac{\exp(a_N + b_N Q)}{1 + \exp(a_N + b_N Q)} \quad (\text{پ-۳})$$

که در آن a_N و b_N پارامترهای نوعی به منظور تطبیق با داده‌های اندازه گیری شده برای یک مقدار معین از N هستند. برای عدم قطعیت δN ، از انحراف استاندارد، برای تطبیق استفاده شده است.

پ-۳ آزمون آغازین

آزمون آغازین به منظور به دست آوردن یک پایگاه داده برای محاسبه مقادیر انرژی برای استفاده در رویه آزمون بعدی ضروری است. بهتر است برای این هدف، حداقل ۱۰ مقطع در معرض قطار پالس شامل S پالس قرار بگیرد که انتخاب انرژی آن‌ها بر اساس یک تخمین از حدفاصل انرژی صورت گرفته که برای آزمون معنی دار است.

بنابراین، تعیین مقادیر انرژی برای مقاطع آزمون شده بدون تخریب بعد از S شات و همچنین مقادیر انرژی برای مقاطع تخریب شده بعد از حداقل N_L شات، مهم است.

پ-۴ رویه آزمون

در خلال رویه آزمون، از نتایج آزمون تخریب اجرا شده، برای تطبیق وضعیت تخریب نمونه با یک مدل نظری استفاده می‌شود. با استفاده از مدل نظری، احتمال تخریب سطح نمونه $P_N(Q)$ به صورت تابعی از تعداد پالس N و انرژی Q بیان می‌شود. این مدل نظری ممکن است بر اساس توصیف ساز و کارهای تخریب یا الگوریتم‌های آماری مختص نوع واقعی نمونه استوار باشد. در این مدل، پارامترهای تطبیق بعد از هر تابش و بررسی نمونه، دوباره محاسبه می‌شوند. بر اساس ارزیابی وضعیت تخریب پیش بینی شده توسط مدل نظری، مقدار انرژی Q_{NS} برای مقطع آزمون بعدی محاسبه و مشخص می‌شود. معیار اصلی برای تعیین مقدار انرژی، بهبود بخشیدن به عدم قطعیت‌های δ_{NP} و δ_{NL} برای احتمال تخریب $P_{NP}(Q)$ و $P_{NL}(Q)$ است.

این مراحل تا اتمام مقاطع آزمون یا دستیابی به عدم قطعیت مورد نیاز برای منحنی شاخص تخریب ادامه می‌یابد.

پارامترهای تطبیق اولیه با استفاده از داده‌های آزمون آغازین روتین، محاسبه می‌شوند.

مرحله ۱: مرحله آغازین (به معادله پ-۲ مراجعه شود).

مرحله ۲: برای تعداد پالس N_L و S ، منحنی تطبیق احتمال تخریب $P_{NP}(Q)$ و $P_{NL}(Q)$ ، و عدم قطعیت آن‌ها δ_{NP} و δ_{NL} را توسط تطبیق با مجموعه داده‌های بدست آمده، محاسبه کنید.

در مثال بالا [به معادله (پ-۳) مراجعه شود]، مجموعه پارامترهای $(a_{NP}$ و $b_{NP})$ و $(a_{NL}$ و $b_{NL})$ باید به طور مستقل برای هر دو تعداد پالس‌ها محاسبه شود. یک رویه برای این حالت خاص در بند پ-۲ داده شده است.

مرحله ۳: مقدار یک متغیر کمکی n تعیین شده است. متغیر n ممکن است مقدار N_L یا S را اختیار کند که بسته به این است که کدام یک از دو مقدار عدم قطعیت متناظر δ_{NP} و δ_{NL} بزرگ‌تر باشد، به قرار زیر:

$$(پ-۴) \quad n = \begin{cases} N_L & \text{اگر } \delta_{NL} > \delta_{NP} \\ N_P & \text{در حالت‌های دیگر} \end{cases}$$

گستره انرژی بین Q_L و Q_H ، افزایش احتمال تخریب از $P_n(Q_L) = 0.5\%$ تا $P_n(Q_H) = 95\%$ را نشان می‌دهد، که به یکسری از فواصل تقسیم شده است، به قرار زیر:

$$(پ-۵) \quad [Q_L + i \cdot d_Q \text{ و } Q_L + (i+1) \cdot d_Q]$$

که در آن، i یک متغیر شمارشی برای بازه‌های $[Q_L, d_{Q,i}]$ است.

عرض بازه d_Q برابر است با حداکثر رزولوشن δQ و بازه انرژی، تقسیم بر ریشه دوم N_{ts} .

$$(پ-۶) \quad d_Q = \max(\delta Q, \frac{Q_H - Q_L}{\sqrt{N_{ts}}})$$

مثال در حالت تابع استدلالی، گستره انرژی توسط تقریب‌های زیر بدست می‌آید:

$$(پ-۷) \quad Q_L = \max(-\frac{an+2194}{bn}, 0) \text{ و } Q_H = \max(-\frac{an-2194}{bn}, 0)$$

یادآوری - مقادیر احتمال تخریب از ۰.۵٪ و ۰.۹۵٪ برای تابع استدلالی، انتخابی مناسب هستند. در صورتی که مدل‌های دیگر استفاده شده باشند، این حدود می‌توانند دوباره تنظیم شوند.

مرحله ۴: به صورت تصادفی یک بازه در حد فاصل $(Q_L, d_{Q,r})$ از میان آن‌ها که دارای کمترین تعداد داده جمع آوری شده در بررسی قبلی هستند انتخاب کنید. مقدار انرژی Q_{NS} برای مقطع بعدی، توسط موقعیت این بازه بدست می‌آید:

$$Q_{NS} = Q_L + (r + 0/5) \cdot d_Q \quad (\text{پ-۸})$$

مرحله ۵: مقطع بعدی را در معرض انرژی محاسبه شده Q_{NS} قرار دهید. اگر مقاطع آزمونی باقی مانده‌اند، به مرحله ۱ برگردید و در غیر این صورت، چرخه اندازه‌گیری را متوقف و ارزیابی داده‌های جمع آوری شده را آغاز کنید.

پ-۵ ارزیابی نتایج

در گام نهایی این الگوریتم، یک رویه برای ارزیابی داده‌های ذخیره شده در طول آزمون روتین، مطابق با بند ۴-۳-۴ اجرا می‌شود.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

یک مثال از گزارش آزمون S بر ۱

اندازه گیری آستانه تخریب ناشی از لیزر توسط یک آزمون S بر ۱ مطابق با استاندارد ملی ...

مؤسسه آزمون کننده

نام مؤسسه:

yyyy / mm / dd xxxxxx

آزمون کننده / تاریخ:

۱۲۳۴۵

شماره سفارش:

نمونه

نوع نمونه:

تولید کننده / تامین کننده:

شماره شناسه جزء اپتیکی:

رویه نگهداری / تمیز کاری:

ویژگی ها:

تاریخ تولید:

تجهیزات آزمون

منبع پرتو

نوع:

لیزر سوئیچ شده نوع - Q

تولید کننده:

Spectron SL 456 - 10¹

توان سنج

تولید کننده:

Coherent , Inc.

مدل:

G^۲J - 50 MB - yA

1- Spectron SL 456 - 10 یک مثال از محصول مناسب در بازار است. این اطلاعات برای راحتی کاربرها داده شده و دال بر تأیید این محصول توسط ISO نیست.

2- Yag - 50 MB - J^۲ یک مثال از محصول مناسب در دسترس تجاری است. این اطلاعات برای راحتی کاربرهای این سند داده شده و یک تأیید توسط ISO این محصول را تشکیل نمی دهد.

yyyy / mm

تاریخ کالیبراسیون بعدی:

اندازه گیری آنلاین توان

انرژی اندازه گیری شده پالس در حال تابش توسط یک فتودیود Si ، سیگنال کالیبره شده توسط یک اندازه گیری با توان سنج قبل و بعد از تابش، درون یابی خطی توان گرمایی.

پارامترهای لیزر

طول موج:	۱۰۶۴ nm
حالت عملکرد:	پالسی
فرکانس تکرار پالس :	۱۰ Hz
تنظیمات پارامتر منبع:	
انرژی خروجی:	تا 50mJ
طول مدت پالس (FWHM):	۱۰ ns
طول مدت پالس (مؤثر):	۱۱ ns
شرایط خلا:	
تهویه:	-
تابش لیزر:	در اتمسفر
سیستم پمپ:	
پمپ توربو ^۱ :	-
پمپ ناهنجار ^۲ :	-

ویژگی های اندازه گیری

قطر پرتو در صفحه هدف (e ⁻²):	۳۶۵ μm (حادث نرمال)
قطر پرتو در صفحه هدف (مؤثر):	۲۵۸ μm (حادث نرمال)
پروفایل فضایی پرتو:	تقریباً گوسی
زاویه تابش:	0°±1°
پلاریزاسیون:	خطی
تعداد مقاطع آزمون:	بزرگتر از ۱۵۰
ماتریس مقاطع آزمون:	شش ضلعی تنگ چین

- 1- Turbo Pump
- 2- Rough Pump

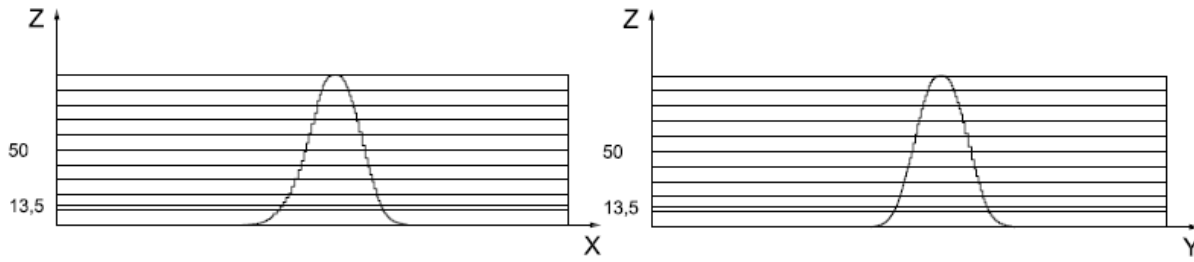
فاصله بین مقاطع آزمون:	۱/۵ mm
سیستم آنلاین:	نور پراکنده
سیستم آفلاین:	میکروسکوپ نورماسکی
شرایط محیطی:	(بزرگ نمایی ۵۰×، ۱۰۰×، ۲۰۰×، ۵۰۰×)
تمیز کاری:	
پایه نصب اجزای اپتیکی:	پایه کینماتیک تجاری

نظرات

برآورد خطا

الف) تغییرات تصادفی	
پایداری انرژی پالس به پالس :	۵٪
پایداری پروفایل فضایی پالس به پالس :	۵٪
پایداری پروفایل زمانی پالس به پالس :	۱۰٪
ب) تغییرات سیستمی:	
کالیبراسیون پیشگر انرژی:	۱۰٪
پیشگر آنلاین انرژی:	۸٪
تکرار پذیری:	۲۵٪

پروفایل فضایی پرتو در موقعیت نمونه



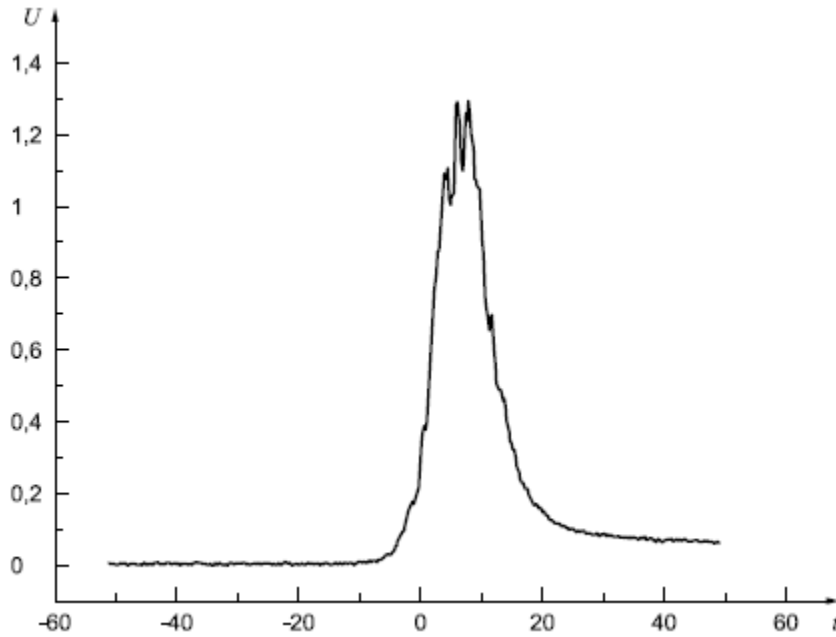
راهنما

- X مقیاس طول، یکای قراردادی
- Y مقیاس طول، یکای قراردادی
- Z دامنه، به درصد (از کل مقیاس)

یادآوری - $d_{86/5} = \sqrt{388\mu m \cdot 344\mu m} = 365\mu m$; $d_{T,eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} d_{86/5} = 258\mu m$

شکل ت-۱ پروفایل فضایی

پروفایل زمانی پرتو در موقعیت نمونه



راهنما

- u دامنه، به یکای قراردادی
- t زمان، به نانو ثانیه

یادآوری: طول مدت پالس (FWHM) = ۱۰ ns ؛ عرض پالس (مؤثر) = ۱۱ ns

شکل ت-۲ پروفایل زمانی

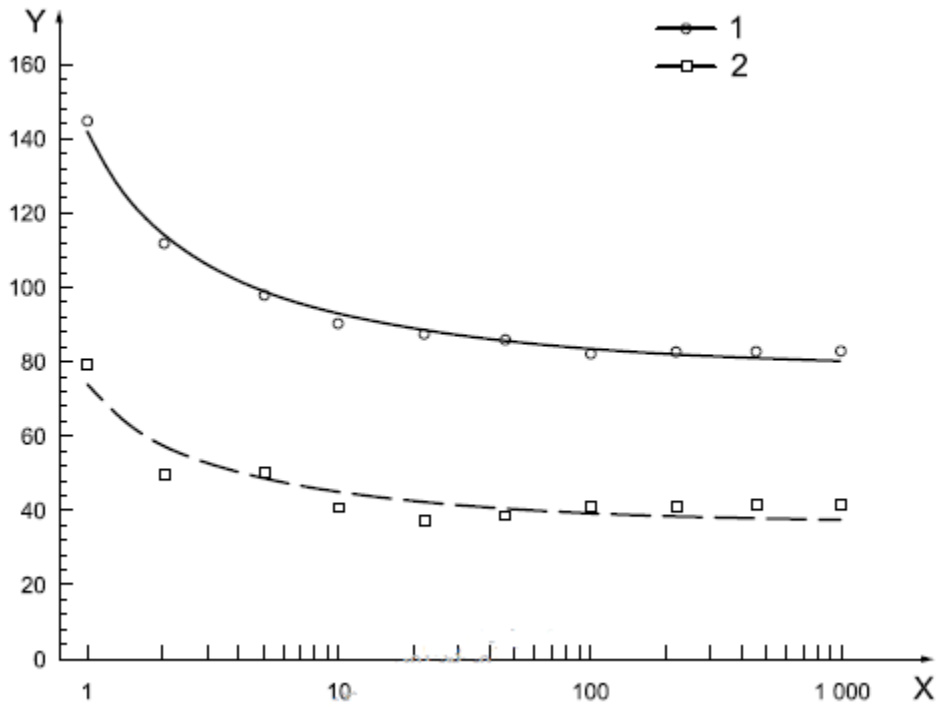
نتایج آزمون

نمونه: نمونه یک

تولید کننده:

نوع نمونه:

منحنی مشخصه تخریب



راهنما

X تعداد پالسها

۱ ۵۰٪ مقدار آستانه

y آستانه چگالی انرژی، ژول بر سانتی متر مربع

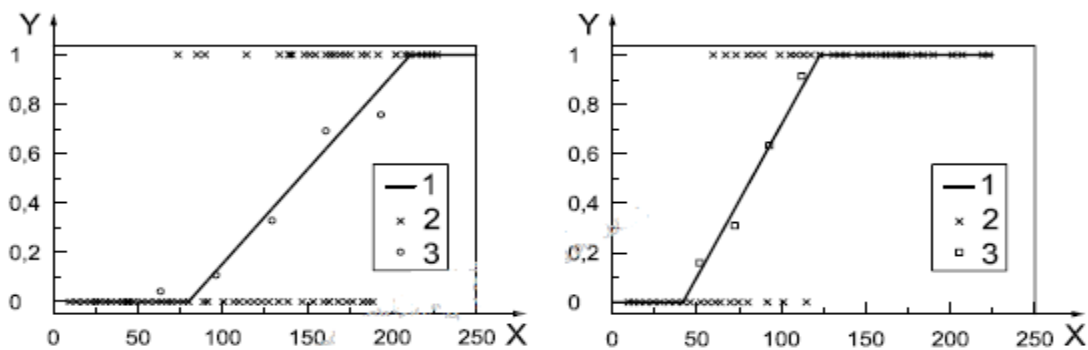
۲ ۰٪ مقدار آستانه

شکل ت-۳- منحنی مشخصه تخریب برای نمونه یک

جدول ۱- ت - مقادیر LIDT برای دو سطح مختلف LIDT

تعداد پالس‌ها	% LIDT $\frac{J}{\text{cm}^2}$	% LIDT $\frac{J}{\text{cm}^2}$
۱	۷۹,۴	۱۴۴,۵
۲	۴۹,۵	۱۱۲,۱
۵	۵۰,۰	۹۸,۰
۱۰	۴۰,۸	۹۰,۴
۲۲	۳۷,۴	۸۷,۴
۴۶	۳۸,۶	۸۵,۷
۱۰۰	۴۰,۹	۸۲,۱
۲۲۰	۴۰,۹	۸۲,۱
۴۶۰	۴۰,۹	۸۲,۱
۱۰۰۰	۴۰,۹	۸۲,۱

نقاط احتمال تخریب



راهنما

X چگالی انرژی، ژول بر سانتی متر مربع

y احتمال تخریب

۱ تطبیق خطی احتمال

۲ داده آزمون

۳ احتمال تخریب

شکل م-۴ نقاط احتمال تخریب برای نمونه ۱ برای دو سطح مختلف LIDT

مورفولوژی‌های^۱ تخریب



الف) پوشش تخریب شده نمونه ۱ در موقعیت ۹۵ (پوشش تخریب شده نمونه ۱ در موقعیت ۱۱)
تخریب بعد از ۵ پالس (چگالی انرژی $1/60 \text{ J/cm}^2$) تخریب بعد از ۱ پالس (چگالی انرژی $1/90 \text{ J/cm}^2$)

شکل ۵- ت - مورفولوژی‌های تخریب نوعی برای نمونه ادر دو مقطع به ازای تعداد مختلف پالس

پیوست ث

(اطلاعاتی)

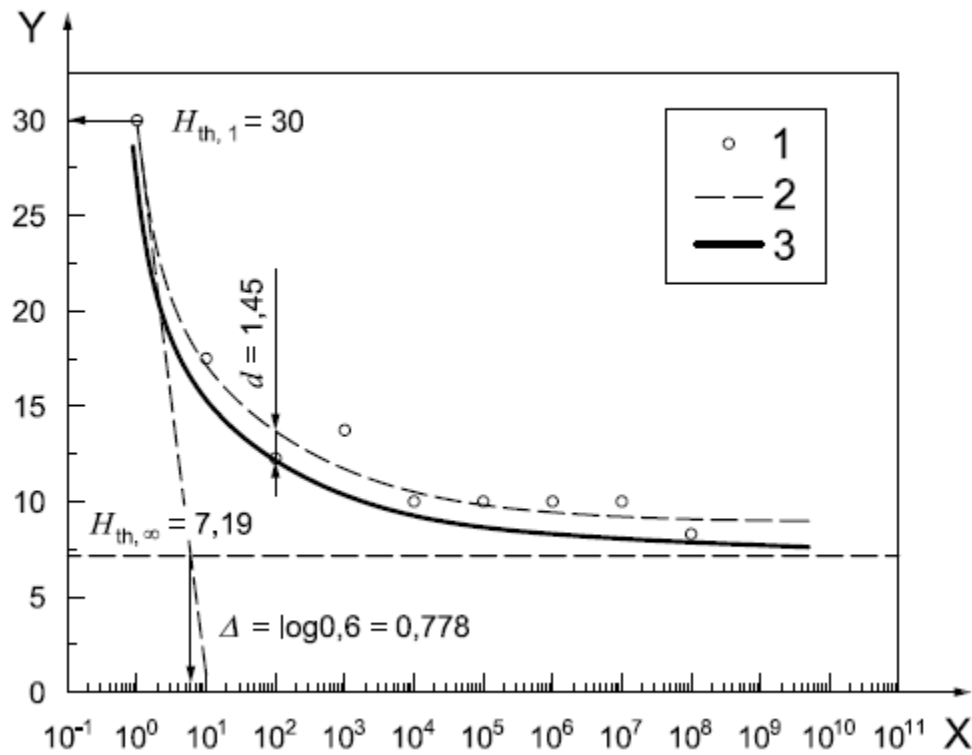
روش برون یابی برای آزمون S بر ۱

این پیوست یک معادله را ارائه می‌دهد که برون یابی آستانه تخریب آزمون S بر ۱، H_{th} را به تعداد بالاتر پالس، N ، امکان پذیر می‌سازد. مدل برون یابی بر اساس سه پارامتر تطبیق $H_{th,1}$ ، $H_{th,\infty}$ و Δ استوار است که می‌توانند به عنوان پارامترهای شاخص تخریب در نظر گرفته شوند:

$$H_{th}(N) = H_{th,\infty} + \frac{H_{th,1} - H_{th,\infty}}{1 + \frac{1}{\Delta} \log_{10}(N)} - d \quad \text{(ث-۱)}$$

در این معادله، پارامتر $H_{th,1}$ آستانه تخریب آزمون ۱ بر ۱ را توصیف می‌کند، در حالیکه $H_{th,\infty}$ می‌تواند به عنوان حد دوام سطح ایتیکی در نظر گرفته شود. پارامتر Δ از تقاطع خط مماس در نقطه $(H_{th,1}, 1)$ و سطح ثابت $H_{th,\infty}$ بدست آمده است (به شکل ث-۱ مراجعه شود)، و نزولی بودن منحنی شاخص تخریب به تناسب تعداد پالس‌ها را توصیف می‌کند. این سه پارامتر $H_{th,1}$ ، $H_{th,\infty}$ ، و Δ توسط روتین حداقل مربعات، محاسبه شده‌اند در حالی که ثابت d مساوی صفر نگه داشته شده است. منحنی شاخص تخریب حاصل، یک تخمین ایده آل از طول عمر نمونه آزمون شده می‌باشد، (به شکل ث-۱، تطبیق انتقال یافته مراجعه شود). ثابت d در معادله (ث-۱) معرفی شده تا منحنی شاخص را به سوی آستانه‌های تخریب کوچک‌تر جا به جا کند تا حد عملکرد ایمنی نمونه را مشخص کند (به شکل ث-۱، منحنی تطبیق انتقال یافته مراجعه شود). توصیه شده است که جا به جایی طوری انتخاب شود که منحنی جا به جا شده، با نقاط داده اندازه گیری شده با کمترین آستانه تخریب تلاقی کند.

مثال: داده‌های جمع آوری شده برای یک پوشش نوعی در شکل ث-۱ را در نظر بگیرید. برای این تجربه، یک تطبیق حداقل مربعات برای بدست آوردن $H_{th,1}=3070$ ، $H_{th,\infty}=719$ و $\Delta=0.778$ بکار گرفته شده است. این منحنی شاخص تخریب ایده آل توسط $d=1/45$ جا به جا شده تا حد عملکردهای ایمنی مشخص شوند. جابه جایی $1/45 =$ متناظر با تلاقی منحنی شاخص تخریب جا به جا شده با پایین‌ترین آستانه تخریب اندازه گیری شده برای ۱۰۰ پالس می‌باشد.



راهنما

X	تعداد پالس‌های N
Y	آزمون S بر ۱ LIDT
۱	داده
۲	تطبيق
۳	تطبيق انتقال یافته

شکل ت-۱ آستانه تخریب آزمون S بر ۱، اندازه گیری شده به عنوان تابعی از تعداد پالس N، تطبيق یافته مطابق با معادله (ت-۱) (ليزر آينه ای ، ۲۴۸ nm)

پیوست ج

(اطلاعاتی)

تبدیل داده‌های تخریب به چگالی‌های نقص

در این پیوست محاسبات استفاده شده به منظور تبدیل منحنی‌های احتمال تخریب به چگالی‌های تخریب به عنوان تابعی از چگالی انرژی شرح داده می‌شود. این رویه، دستیابی به دقت بالا و قابلیت تکرار پذیری را امکان پذیر نموده و اندازه گیری‌های قابل مقایسه و تجدید پذیر برای امکانات متعدد، صرف نظر از قطر باریکه پرتو و پروفایل استفاده شده را فراهم می‌کند. رویه تبدیل داده‌ها برای تخریب سطح در مرجع [۶] توصیف شده است. همچنین این مقاله به تعیین خطای میله‌ای چگالی تخریب می‌پردازد که مقایسه دو نمونه مشابه اما از نظر فیزیکی متمایز را ممکن می‌سازد.

اثر متقابل بین نقص‌های مواد نادیده گرفته شده‌اند. بنابراین اگر توزیع نقص‌هایی که در چگالی انرژی مفروض H ایجاد تخریب می‌کنند به صورت تصادفی باشد، چگالی نقص $D(H)$ از قانون پویسن^۱ پیروی می‌کند. پس برای مساحت سطح فرضی A ، احتمال تخریب $D(H,A)$ و چگالی نقص $D(H)$ توسط معادله زیر به هم مربوط می‌شوند:

$$P(H,A) = 1 - \exp[-D(H)A] \quad \text{(ج-۱)}$$

نوشتن نتایج آزمون تخریب بر حسب احتمال را می‌توان از بسط رابطه بالا بدست آورد. مساحت معادل پرتو گوسی $A_{eq,g}$ تعریف شده است. اگر S_m چگالی تخریب اندازه گیری شده باشد، پس احتمال تخریب توسط رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$P = 1 - \exp(-\delta_m A_{eq,g}) \quad \text{(ج-۲)}$$

بنابراین چگالی تخریب اندازه گیری شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta_m = -\frac{\ln(1-P)}{A_{eq,g}} \quad \text{(ج-۳)}$$

هنگامی که از یک پرتو گاوسی فضایی استفاده می‌شود، چگالی تخریب مطلق می‌تواند به صورت مشتق لگاریتمی چگالی اندازه گیری شده δ_m بیان شود:

$$D(H_i) = H_i \frac{d\delta_m(H_i)}{dH_i} \quad \text{(ج-۴)}$$

منحنی تجربی $\delta_m(H_i)$ را اغلب می‌توان توسط یک قانون توان چگالی انرژی تطبیق داد:

$$\delta_m(H_i) = \alpha(H_i)^\beta \quad \text{(ج-۵)}$$

که در آن α و β از بهترین تطبیق اندازه گیری‌ها محاسبه شده‌اند.

از معادلات (ج-۴) و (ج-۵) ، چگالی تخریب مطلق به دست می‌آید:

$$(ج-۶) \quad D(H_i) = \beta \delta_m (H_i)$$

به عبارت دیگر:

$$(ج-۷) \quad D(H_i) = \beta \left(-\frac{\ln(1-P)}{A_{eq,g}} \right)$$

اگر $P \ll 1$ ، پس رابطه ج-۷ معادل است با:

$$(ج-۸) \quad D(H_i) = \beta \frac{P}{A_{eq,g}}$$

همانگونه که در پیوست الف شرح داده شد، برای هر سطح چگالی انرژی H_i ، احتمال تخریب مشاهده شده P_i توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(ج-۹) \quad P_i = \frac{n_i^d}{n_i^d + n_i^{nd}}$$

که $(n_i^d + n_i^{nd})$ تعداد کل مقاطع در معرض قرار گرفته و n_i^d تعداد مقاطع تخریب شده است. بنابراین، کل مساحت مورد مواجهه قرار گرفته A_{total} ، برابر است با $(n_i^d + n_i^{nd}) \times A_{eq,g}$ ، که برای تعیین چگالی تخریب اندازه گیری شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$(ج-۱۰) \quad \delta_m (H_i) = \frac{n_i^d}{(n_i^d + n_i^{nd}) A_{eq,g}}$$

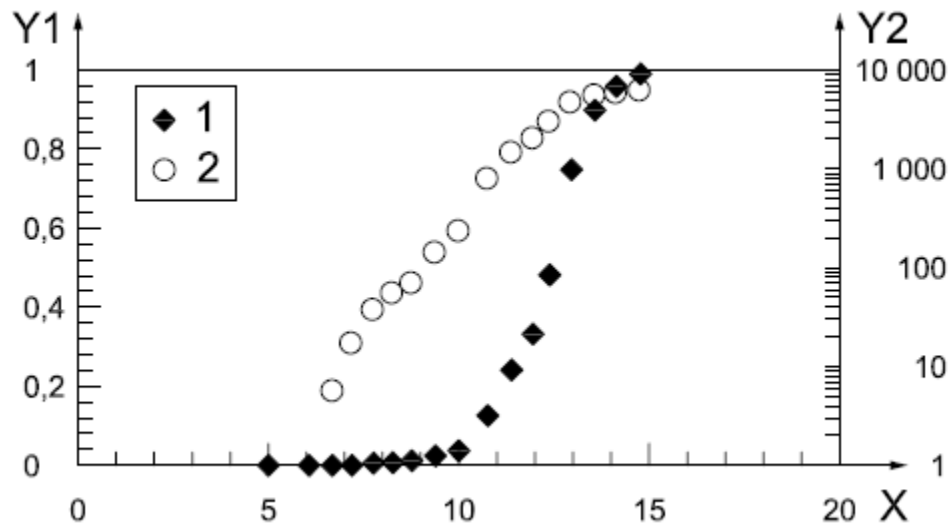
سرانجام، چگالی تخریب مطلق داده شده در معادله (ج-۷) عبارت است از:

$$(ج-۱۱) \quad D(H_i) = \beta \frac{n_i^d}{(n_i^d + n_i^{nd}) A_{eq,g}}$$

به منظور تعیین چگالی تخریب قطعی، تعداد مقاطع تخریب شده، مساحت معادل پرتو گوسی و سپس توان β که از تطبیق قانون توان داده تجربی بدست می‌آیند، باید اندازه گیری شوند. برای یک پرتو کله قندی شکل^۱، چگالی تخریب مطلق به طور مستقیم توسط معادله (ج-۱۰) بدست می‌آید که در آن از A_{eq} به عنوان مساحت پرتو استفاده شده است.

شکل ج-۱ یک مثال از نتایج به دست آمده بر روی یک جزء سیلیکای ذوب شده آزمون شده در 355 nm است. قطر پرتو 0.4 mm در $1/e$ است. این نتایج از آزمون ۱ بر ۱ با استفاده از روش شرح داده شده در بند ۴-۲، فراهم شده‌اند. ابتدا احتمال تخریب، به عنوان تابعی از چگالی انرژی پالس به دست آمده است (الماس‌های برجسته).

سپس چگالی تخریب (حلقه‌های تهی) با استفاده از معادله (ج-۷) محاسبه شده است. در حالت تخریب حجمی (بالک)، با توجه به حجم کلی روشن شده $V_{eq,g}$ ، به دست آوردن همان روابط بین احتمال تخریب و چگالی نقص بالک بسیار ساده و آسان است.



چگالی انرژی پالس ، به ژول بر سانتی متر مربع	X	راهنما
احتمال تخریب	Y ₁	
چگالی تخریب (تعداد تخریب در هر سانتی متر مربع)	Y ₂	
احتمال تخریب	۱	
چگالی تخریب	۲	

شکل ج-۱ احتمال تخریب و چگالی تخریب
 [داده‌های چگالی تخریب از معادله (ج-۷) بدست آمده است]

کتاب نامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۵۱۴-۱: لیزرها و تجهیزات مربوط به لیزر روش‌های آزمون برای تعیین شکل جعبه موج پرتو لیزر قسمت اول اصطلاحات

[۲] استاندارد ملی ایران شماره ۵۱۴-۲: لیزرها و تجهیزات مربوط به لیزر روش‌های آزمون برای تعیین شکل جعبه موج پرتو لیزر قسمت دوم حس‌گرها

[3] ISO 10110-7, Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems —Part 7: Surface imperfection tolerances

[4] ISO 21254-3, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 3: Assurance of laser power (energy) handling capabilities

[5] ISO/TR 21254-4, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 4: Inspection, detection and measurement

[6] LAMAIGNÈRE, L., et al, An accurate, repeatable, and well characterized measurement of laser damage density of optical materials, Rev. Sci. Instr., 78, 103105 (2007)