INSO
20500-2
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۵۰۰-۲
چاپ اول
۱۳۹۴

ارتعاش و شوک مکانیکی— مشخص کردن خواص مکانیکی دینامیکی مواد ویسکوالاستیک — قسمت ۲: روش تشدید

Mechanical vibration and shock — Characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials — par2: Resonance method

ICS: 17.160

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 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.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

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

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ 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 سازمان های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت 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 شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] 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.

مسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 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. مؤسسه 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 استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن ها 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

" ارتعاش و شوک مکانیکی— مشخص کردن خواص مکانیکی دینامیکی مواد ویسکوالاستیک — قسمت ۲: روش تشدید"

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
طهوری اصل، توحید (کارشناسی ارشد مکاترونیک)	شرکت رایان اسکان خودرو
دبیر:	
ابراهیمی، سهیلا (کارشناسی فیزیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آقاپور، مجید (کارشناسی فیزیک کاربردی)	آزمایشگاه همکار رسا گستر آذر
آهنی، پریا (کارشناسی فیزیک)	شرکت سایوان افروز غرب
اهری‌پور، نازلی (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی)	دانشگاه تبریز
تقی پور صفایی، رویا (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	شرکت آذر سیوان پارسیان
حسنی، رفعت (کارشناسی ارشد فیزیک)	کارشناس استاندارد
حنیفی، محمد باقر (کارشناسی مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
رام برزین، فرامرز (دکترای مهندسی مکانیک)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
رضوی، رخساره (کارشناسی فیزیک)	سازمان ملی استاندارد ایران

رنجبریان، لیلی (کارشناسی ارشد شیمی)	آزمایشگاه همکار آرمان کاوشگران آزمون گستر
سیفی، سیف‌اله (کارشناسی مهندسی مکانیک)	آزمایشگاه همکار صالح تبریز جاویدان
صدر الاشرافی، شهرزاد السادات (کارشناسی ارشد مهندسی نانوالکتریک)	کارشناس استاندارد
صادق وزیری، نریمان (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی)	شرکت پلیمر آریا ساسول
عسگری خواه، وحید (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	مرکز آموزش علمی کاربردی شرکت کمپرسورسازی تبریز
فولاد پنجه، اکبر (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
کلیبری، بهراد (کارشناسی ارشد فیزیک)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد هریس
محرم‌زاده، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		و
پیش گفتار		ز
مقدمه		ح
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۲
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۳- ۱	مدول یانگ	۲
۳- ۲	ضریب اتلاف	۳
۳- ۳	ضریب برهم نهی زمان- دما	۳
۳- ۴	ضریب جابه‌جایی	۳
۳- ۵	دمای انتقال شیشه	۳
۳- ۶	ماده ارتجاعی	۴
۳- ۷	خطی بودن	۴
۴	تجهیزات آزمون	۴
۴-۱	مولد ارتعاش الکترودینامیکی	۴
۴-۲	شتاب‌سنج‌ها	۵
۴- ۳	تقویت‌کننده بار الکتریکی	۶
۴- ۴	پایه آزمون	۶
۴- ۵	محفظه محیطی	۶
۴- ۶	تحلیل‌گر طیفی دوکاناله	۶
۴- ۷	رایانه	۷
۵	روش‌های اجرایی عملیاتی	۷
۵- ۱	آماده‌سازی و نصب نمونه	۷
۵- ۲	شرایط‌دهی	۸
۵- ۳	تعداد قطعات آزمون	۹
۵- ۴	به‌دست آوردن داده‌ها	۹
۵- ۵	چرخه دما	۱۱
۶	تحلیل نتایج	۱۱
۶- ۱	مدول ضریب اتلاف	۱۱

۶- ۲ اصل برهم‌نهی زمان- دما ۱۳
۶- ۳ نمایش داده‌ها ۱۴
۶- ۴ گزارش آزمون ۱۴
پیوست الف (اطلاعاتی) خطی‌بودن ارتعاش مواد ارتجاعی ۱۶
پیوست ب (اطلاعاتی) برهم‌نهی زمان- دما ۱۷

پیش گفتار

استاندارد " ارتعاش و شوک مکانیکی— مشخص کردن خواص مکانیکی دینامیکی مواد ویسکوالاستیک — قسمت ۲: روش تشدید" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در دوی‌ست و هشتاد و چهارمی‌ن اجلاسیه کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، و اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۹۴/۱۲/۲۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک 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.

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 ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 18437-2: 2005, Mechanical vibration and shock — Characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials — Part 2: Resonance method.

مقدمه

مواد ویسکوالاستیک[1] به‌طور گسترده برای کاهش دامنه ارتعاش در سیستم‌های سازه‌ای از طریق اتلاف انرژی (میرایی) یا ایزوله کردن اجزا و نیز کاربردهای اکوستیک[2] مورد استفاده قرار می‌گیرند که مستلزم تعدیل انعکاس، ارسال یا جذب انرژی می‌باشند. چنین سیستم‌هایی غالباً مستلزم خواص مکانیکی دینامیکی خاصی می‌باشند تا به روشی بهینه عمل کنند. اتلاف انرژی ناشی از تعاملات در مقیاس مولکولی است و برحسب تاخیر[3] بین تنش[4] و کرنش[5] در ماده اندازه‌گیری می‌شود. خواص ویسکوالاستیک (مدول[6] و ضریب اتلاف) اکثر مواد به بسامد، دما، و دامنه کرنش بستگی دارد. انتخاب ماده‌ای خاص برای یک کاربرد ارائه شده، کارآیی سیستم را تعیین می‌کند. این استاندارد توصیف جزئیات ساخت دستگاه تشدید[7]، برای تنظیم تجهیزات اندازه‌گیری و اندازه‌گیری و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده را فراهم می‌کند. همچنین کمک به کاربران این روش و فراهم کردن یکنواختی در استفاده از این روش، از اهداف این استاندارد می‌باشد. این استاندارد برای رفتار خطی مشاهده شده در کرنش‌های با دامنه کم به‌کار می‌رود.

1- Visco-elastic
2 - Acoustical
3 - Lag
4 - Stress
5 - Stain
6- Modulas
7- Resonance

ارتعاش و شوک مکانیکی — مشخص کردن خواص مکانیکی دینامیکی مواد ویسکوالاستیک — قسمت ۲: روش تشدید

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین یک روش تشدید برای مشخص کردن خواص مکانیکی دینامیکی مواد ارتجاعی مورد استفاده در ایزولاتورهای ارتعاشی از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است. این استاندارد در مورد سیستم‌های ارتعاش و شوک کاربرد دارد که در کسری از Hz ۱ تا حدود kHz ۲۰ عمل می‌کنند.

همچنین این استاندارد در مورد مواد ارتجاعی کاربرد دارد که در ایزولاتورهای ارتعاشی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا موارد زیر را کاهش دهند:

الف- ارسال ارتعاشات ناخواسته از ماشین‌ها، سازه‌ها یا وسایل نقلیه‌ای که امواج صوتی را (سیال برد، هوا برد، سازه برد و غیره) پخش می‌کنند؛ و

ب- ارسال ارتعاشات بسامد پایین که در صورت شدید بودن ارتعاش، روی انسان عمل می‌کند یا باعث آسیب‌رسانی به سازه‌ها و یا تجهیزات حساس می‌شود.

داده‌های به‌دست آمده از روش‌های اندازه‌گیری که در این استاندارد به تفصیل ارائه شده، با جزئیات بیشتر موجود در استاندارد ملی ۳-۲۰۵۰۰ برای موارد زیر به‌کار می‌روند:

- طراحی ایزولاتورهای ارتعاشی کارآمد؛
- انتخاب ماده‌ای بهینه برای طراحی ارائه شده؛
- محاسبه تئوری از انتقال ارتعاشات از طریق ایزولاتورها؛
- اطلاعات حین ارتقاء تولید؛
- اطلاعات تولید تهیه شده توسط سازندگان و تأمین‌کنندگان؛ و
- کنترل کیفیت.

شرایط صحه‌گذاری برای روش اندازه‌گیری، خطی‌بودن رفتار ارتعاشی ایزولاتور است. این امر شامل اجزای الاستیک با مشخصه‌های انحراف بار استاتیک غیرخطی است، به شرطی‌که اجزا، خطی بودن تقریبی را در رفتار ارتعاشی خود برای پیش بارگذاری استاتیکی ارائه شده، نشان دهند.

اندازه‌گیری‌های به‌کار رفته در این روش در بیش از یک یا دو دهه اخیر، در بسامدی با تعدادی از دماها به‌دست آمده‌است. با اعمال برهم‌نهی زمان-دما، داده‌های اندازه‌گیری‌شده برای تولید خواص مکانیکی دینامیکی که این داده‌ها در گستره بسامدهای بسیار وسیع‌تر (عموما 10^{-3} Hz تا 10^{9} Hz در یک دمای مرجع تکی) نسبت به اندازه‌گیری‌های اولیه در دمای داده‌شده‌اند، جابه‌جا می‌شوند.

یادآوری- برای اهداف این استاندارد، اصطلاح «خواص مکانیکی دینامیکی» به تعیین خواص الاستیک اساسی، مثلا مدول یانگ به شکل مختلط به عنوان تابعی از دما و بسامد و در صورت قابل قبول بودن، پیش‌بارگذاری استاتیک، اشاره می‌کند.

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:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۱۹: سال ۱۳۹۰، شوک و ارتعاش مکانیکی- پایش وضعیت - واژه نامه

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۷۶۱۱: سال ۱۳۹۲، لاستیک وولکاینده با گرمانرم - تعیین خواص مکانیکی- قسمت ۱: راهنمای کلی

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۴۱۶: سال ۱۳۹۲، پلاستیک‌ها - تعیین خواص مکانیکی دینامیکی- قسمت ۱: اصول کلی

۲-۴ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۸۲۹: سال ۱۳۸۸، آکوستیک و لزرش – اندازه‌گیری آزمایشگاهی خصوصیات انتقال لرزه آکوستیکی عناصر کشسان -قسمت ۱- اصول و رهنمودها

۲-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۴۵۷: سال ۱۳۹۰، الاستیک - روش کار عمومی آماده سازی و تثبیت شرایط آزمونه‌ها برای روش‌های آزمون فیزیکی

2- 6 ISO 472:1999, Plastics — Vocabulary

2- 7 ISO 10112:1991, Damping materials — Graphical presentation of the complex modulus

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۱-۱۷۶۱۱، ۱-۹۴۱۶، ۱-۹۸۲۹، ۱۴۴۵۷، ۱۰۴۷۲، و ۱۰۱۱۲، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود.

۳-۱

مدول یانگ **Young's modulus**

(E^*)

نسبت تنش عادی (کششی یا تراکمی) به کرنش عادی حاصل، یا تغییر کسری در طول

یادآوری۱- یکا، پاسکال (Pa) است.

یادآوری۲- مدول یانگ برای مواد ویسکوالاستیک، یک کمیت مختلط است که دارای یک بخش حقیقی، E'، و یک بخش موهومی، E''، است.

یادآوری۳- از نظر فیزیکی، جزء حقیقی مدول یانگ نمایش‌گر انرژی مکانیکی ذخیره شده الاستیکی است. جزء موهومی مقداری از اتلاف انرژی مکانیکی است. به زیر بند ۳- ۲ مراجعه شود.

۲-۳

ضریب اتلاف **loss factor**

نسبت بخش موهومی مدول یانگ یک ماده، به بخش حقیقی مدول یانگ (تانژانت آرگومان[1] مدول یانگ به شکل مختلط) است.

یادآوری- وقتی در یک ماده اتلاف انرژی وجود دارد، تنش،کرنش را با یک زاویه فازی δ ، به تاخیر می‌اندازد. ضریب اتلاف معادل با $\tan\delta$ است.

۳-۳

اصل برهم‌نهی زمان- دما **time-temperature superposition**

اصلی که طبق آن، برای مواد ویسکوالاستیک، زمان و دما تا حدی هم ارز هستند که داده‌ها در یک دما بر داده‌های گرفته شده در دمای دیگر، فقط با جابه‌جایی[2] منحنی‌های داده‌ای در طول محور بسامدی، منطبق می‌شوند.

۴-۳

ضریب جابه‌جایی **shift factor**

اندازه‌ای از مقدار جابه‌جایی در طول محور لگاریتمی (پایه ۱۰) بسامد که برای مجموعه‌ای از داده‌ها با دمای ثابت، به منظور بر هم نهی با مجموعه داده‌های دیگر است.

۵-۳

دمای انتقال شیشه **glass transition temperature**

T_g

دمایی که در آن یک ماده ویسکوالاستیک از حالت شیشه‌ای به حالت لاستیکی تغییر می‌کند و مطابق با تغییری در شیب نمودار حجم ویژه نسبت به دما است.

یادآوری۱- یکا، درجه سیلسیوس ($^{\circ}C$)است.

یادآوری۲- عموما دمای انتقال شیشه، از نمودار نقطه عطف گرمای ویژه نسبت به دما تعیین می‌شود و خاصیت ذاتی ماده را نمایش می‌دهد.

1- Argument
2- Shift

یادآوری۳- T_g در ضریب اتلاف مکانیکی دینامیکی، پیک نیست. پیک در دمای بالاتر از T_g رخ می‌دهد و با بسامد اندازه‌گیری، تغییر می‌کند، از این رو، یک خاصیت ذاتی ماده نیست.

۶-۳

ماده ارتجاعی **resilient material**

ماده ویسکوالاستیک در نظر گرفته‌شده برای کاهش انتقال ارتعاش، شوک یا نوفه است.

یادآوری۱- این ماده گاهی به یک تکیه‌گاه الاستیک، ایزولاتور ارتعاشی، حامل شوک، جاذب و یا قطع کننده ارتباط، اشاره دارد.

یادآوری۲- ممکن است، کاهش توسط ماده‌ی کارکننده روی کشش، تراکم، پیچش و برش یا ترکیبی از این‌ها صورت گیرد.

۷-۳

خطی بودن **linearity**

خاصیت رفتار دینامیکی از یک ماده ارتجاعی، در صورتی که اصل برهم‌نهی را برآورده کند.

یادآوری۱- اصل برهم نهی به این صورت بیان می‌شود: اگر ورودی $x_1(t)$ یک خروجی $y_1(t)$ را تولید کند و در آزمون جداگانه‌ای ورودی $x_2(t)$ خروجی $y_2(t)$ را تولید کند، اگر ورودی $\alpha\ x_1(t) + \beta\ x_2(t)$ خروجی $\alpha\ y_1(t) + \beta\ y_2(t)$ را تولید کند، اصل بر هم نهی انجام شده‌است. این امر برای همه مقادیر α ، β و $x_2(t)$ و $x_1(t)$ انجام می‌شود که در آن α و β مقادیر ثابت اختیاری هستند.

یادآوری۲- در عمل، آزمون فوق برای خطی بودن، عملی نیست. اندازه‌گیری مدول دینامیکی برای گستره‌ای از سطوح ورودی می‌تواند یک بررسی محدود از خطی بودن را فراهم کند. برای یک پیش بارگذاری خاص، در صورتی که مدول انتقال دینامیکی ظاهرا نامتغیر باشد، سیستم اندازه‌گیری، خطی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه، این رویه برای یک رابطه نسبی بین پاسخ و تحریک بررسی می‌شود.

۴ تجهیزات آزمون (به شکل ۱ مراجعه شود)

۱-۴ مولد ارتعاش الکترودینامیکی

برای تامین نیروی محرک آزمونه یک مولد ارتعاشی الکترودینامیکی موردنیاز است، تا یک جابه‌جایی نوسانی در جهت عمودی ایجاد شود. سطح کرنش دینامیکی برای اطمینان از رفتار خطی باید تنظیم شود (به پیوست الف مراجعه شود). ویژگی‌های زیر نوعی هستند:

- گستره بسامد: ۲۵ Hz تا ۱۰ kHz؛
- گستره نیرو: بزرگتر از ۵ N؛
- جابه‌جایی پیک: کوچکتر از ۰٫۱ mm.

۲-۴ شتاب‌سنج‌ها

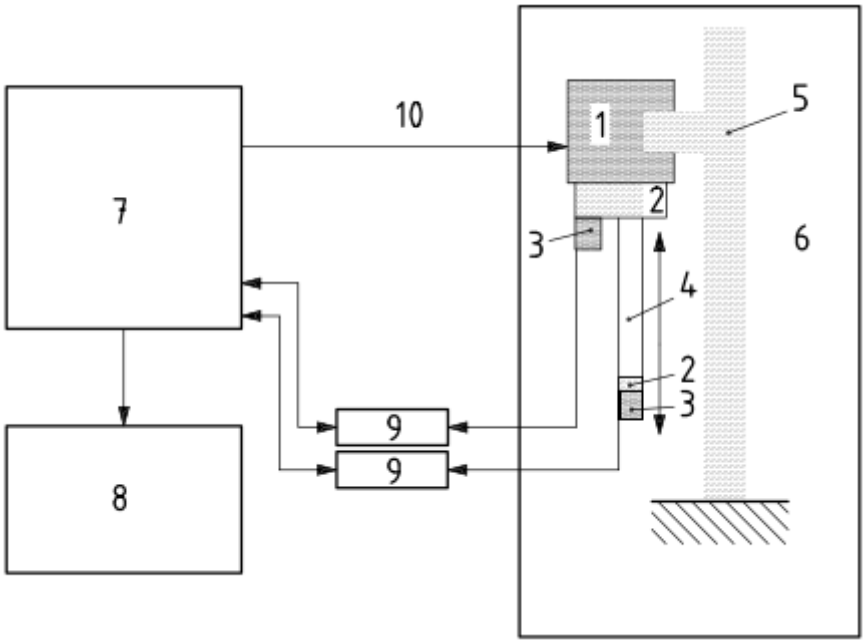
یک جفت شتاب‌سنج مورد نیاز است، یا تصحیح کالیبراسیون نسبی باید اعمال شود. شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک با ویژگی‌های زیر، نوعی از شتاب‌سنج‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری شتاب ورودی و خروجی نمونه آزمون هستند.

گستره بسامد ۲۵ Hz تا ۱۰ kHz،

حساسیت بار الکتریکی: بزرگتر از ۱ pC/g.

جرم شتاب‌سنج به‌اضافه بلوک نصب‌شده پایینی بهتر است تا حد ممکن کوچک باشد (به زیر بند ۵-۱ مراجعه شود)

یادآوری- امکان استفاده از انواع دیگر حس‌گر وجود دارد، اما باید از نظر کارکردی معادل باشند.



راهنما:

۱ مولد ارتعاش الکترودینامیکی
۲ بلوک‌های نصب
۳ شتاب سنج‌ها
۴ آزمونه
۵ پایه آزمون
۶ محفظه محیطی
۷ تحلیل‌گر طیفی دوگانه
۸ رایانه
۹ تقویت کننده‌های بار الکتریکی
۱۰ منبع نوفه

شکل ۱- شمای اسباب‌های تشدید

۳-۴ تقویت کننده‌های بار الکتریکی

برای تقویت سیگنال خروجی شتاب‌سنج‌ها، تقویت‌کننده‌های بار الکتریکی با حساسیت بیش از ۱ mV/pC مورد نیاز است. به‌طور جایگزین، ممکن است شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک با تقویت‌کننده‌های توکار مورد استفاده قرار گیرند.

۴-۴ پایه آزمون

نیاز است که پایه آزمون، مولد ارتعاش و نمونه آزمون را در یک وضعیت قائم مانند آنچه که شکل ۱ نشان داده شده‌است، به حالت معلق نگه دارد. نمونه و مولد ارتعاش باید وضعیتی برای حذف یا به حداقل رساندن هرگونه حرکت افقی داشته‌باشند.

یادآوری- حضور حرکت افقی به صورت پیک‌های جعلی[1] در طیف ظاهر خواهد شد.

۵-۴ محفظه محیطی

برای خنک کردن نمونه آزمون تا دمایی کمتر از دمای اتاق، یک محفظه محیطی مورد نیاز است. این دما باید تا زمانی که نمونه به حالت تعادل برسد حفظ شود، سپس باید دمای نمونه با نمو $^{\circ}C$ ۵ افزایش یابد. بهتر است محفظه قابلیت عملکرد در گستره دمایی $^{\circ}C$ ۶۰- تا $^{\circ}C$ ۷۰ را داشته باشد و باید در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۵ قابل کنترل باشد. حس‌گر دما باید به طور مناسب کالیبره شده باشد.

یادآوری۱- گستره دمایی مورد نیاز که برای یک ماده ویسکوالاستیک مناسب است، دارای دمای انتقال شیشه بیشتر از $^{\circ}C$ ۴۵- می‌باشد. موادی با دماهای انتقال شیشه کمتر، به دمای شروع پایین‌تری نیاز دارند.

یادآوری۲- بعضی از مواد به رطوبت حساس هستند و ممکن است کنترل یا حداقل ثبت رطوبت نسبی در محفظه مطلوب باشد.

۶-۴ تحلیل‌گر طیفی دو کاناله

یک تحلیل‌گر طیفی دوکاناله با قابلیت‌های زیر، نوعی از محرک مولد ارتعاش و تحلیل سیگنال‌های خروجی شتاب سنج مورد نیاز است:

- منبع نوفه تصادفی؛
- دو کانال ورودی؛
- تابع پاسخ بسامد (FFT) و تحلیل همدوسی[2]؛
- میانگین‌گیری سیگنال r.m.s[3]؛
- گستره بسامد: ۲۵ Hz تا ۱۰ kHz؛
- گستره دینامیکی: بزرگتر از ۴۲ dB؛
- تفکیک‌پذیری FFT بزرگ‌نمایی[1] قابل انتخاب باند: ۰٫۱ Hz.

1- Spurious
2- Coherence
3- Root. Mean. Square

۷-۴ رایانه

استفاده از یک رایانه برای خودکار کردن کالیبراسیون، دست‌یابی و پردازش داده‌ها، مفید است.

۵ روش‌های اجرایی عملیاتی

۵-۱ آماده سازی و نصب نمونه

نمونه‌های آزمون را به شکل یک میله قالب بزنید. قالب بهتر است حداقل ۱۵۰ mm طول داشته باشد، ابعاد جانبی مربع شکل یکنواخت mm ($^{0}_{-0/1}$ ۶٫۰) داشته باشد. نمونه‌های قالب‌گیری شده را تمیز کرده و با استفاده از یک تیغه به قطعاتی به طول‌های ۱۰۰ mm ± ۱۰ mm برش دهید. در صورت نیاز با استفاده از ماشین براده بردار، قسمت‌های انتهایی میله را به حالت چهارگوش درآورید. میله باید بدون تکیه‌گاه بتواند از هر دو طرف به صورت عمودی بایستد. برای اینکه اتصال خوبی میان نمونه آزمون و بلوک‌های نصب شده، ایجاد شود، لازم است دو انتهای میله مربعی شکل باشد.

به جای میله مربعی شکل، یک سطح مقطع دایروی یکنواخت با قطر ۶ mm تا ۸ mm نیز، قابل قبول می‌باشد.

طول‌های بیشتر از ۵۰ mm و برابر آن و کمتر از ۲۰۰ mm یا برابر آن نیز قابل قبول می‌باشند.

یادآوری۱- طول‌های کوتاه‌تر، تشدیدهایی در بسامدهای بالاتر ایجاد می‌کند و به علت جذب بیشتر در بسامدهای بالاتر، منجر به مشاهده پیک‌های کمتری می‌شوند. طول‌های بلندتر، تشدیدهایی در بسامدهای پایین‌تر ایجاد می‌کند و به علت خمش نمونه بلندتر باعث ایجاد مشکلاتی می‌شوند.

سه خاصیت نمونه که در تحلیل‌ها مورد نیاز است، باید قبل از اتصال نمونه به بلوک‌های نصب شده، اندازه‌گیری شوند. مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۴۵۷، طول را بر حسب متر تا چهار رقم معنی‌دار، تعیین کنید. جرم نمونه را با استفاده از یک ترازو بر حسب کیلوگرم تا چهار رقم معنی‌دار تعیین کنید. چگالی نمونه را برحسب Kg/m^3 با تکنیک جابه‌جایی آب تعیین کنید.

یادآوری۲ - روشی مانند استاندارد ASTMD 792، [۱] در کتابنامه، قابل قبول است.

در انتهای مولد ارتعاش از نمونه (به شکل ۱ مراجعه شود)، نمونه و یک شتاب‌سنج را با چسب به بلوک حامل وصل کنید. ابعاد بلوک فولادی نصب عموما ۱۰ mm × ۲۰ mm × ۲۵ mm می‌باشد. چسب‌های اپوکسی[۲] سفت و سیانوآکریلات[۳] هر دو قابل قبول است.

ضخامت چسب باید کمتر از ۰٫۵ mm و مدول چسب باید بیشتر از مدول ماده مورد اندازه‌گیری باشد. تحت این شرایط، نشان داده می‌شود که چسب بر اندازه‌گیری تأثیری ندارد. (به [۲] کتابنامه مراجعه شود).

1- Zoom
2- Epoxy
3- Cyanoacrylate

شتاب‌سنج دوم را به بلوک حامل شتاب‌سنج (به شکل ۱ مراجعه کنید) وصل کنید و سپس آن را به نمونه وصل کنید. برای اتصال از همان چسبی استفاده کنید که قبلا به‌کار برده‌اید. بلوک حامل شتاب‌سنج باید دارای مقطع یکسانی با نمونه باشد. (مکعبی فولادی، ۶ mm در هر وجه یا در صورت مدور بودن نمونه، قطر مناسب). با استفاده از یک ترازو، جرم شتاب‌سنج و بلوک پایه را بر حسب کیلوگرم تا سه رقم معنی‌دار تعیین کنید.

یادآوری۳- هدف از بلوک حامل شتاب‌سنج، جلوگیری از استهلاک و گسیختگی[1] شتاب‌سنج در اثر اتصال مکرر آن به نمونه می‌باشد. در ترتیب تعیین شده، شتاب‌سنج به یک طرف بلوک حامل وصل می‌شود و در آنجا باقی می‌ماند. طرف دیگر بلوک در هر بار حامل، نمونه آزمایشی جدید جدا و متصل می‌شود.

یک بلوک حامل شتاب‌سنج کوچک مطلوب است، تا خزش را در نمونه به حداقل برساند. در حالی‌که مساحت سطح مقطع بلوک بهتر است با نمونه یکسان باشد، در مورد بلوک، کوتاه‌تر بودن طول بلوک از نمونه قابل قبول است، اما طولانی‌تر بودن آن قابل قبول نیست.

۵-۲ شرایط‌دهی

۵-۲-۱ انبارش

تأخیر زمانی بین نصب یا ولکانیزه‌کردن[2] و آزمون و پیش‌شرایط‌دهی نمونه‌ها باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۴۵۷، باشد.

۵-۲-۲ دما

قطعات باید قبل از هر توالی آزمون‌ها از نظر حرارتی شرایط‌دهی شوند. در هر دمای آزمون، ضروری است که قطعه آزمون به مدت کافی آماده‌سازی شود تا به تعادل برسد، اما شرایط‌دهی نباید طولانی‌تر از زمان لازم، به‌ویژه، در دماهای بالاتر، برای جلوگیری از اثرات پیرشدگی به طول انجامد. زمان شرایط‌دهی به ابعاد قطعه آزمون و دما بستگی خواهد داشت. راهنمایی‌های لازم در استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۴۵۷، ارائه شده است.

۵-۲-۳ شرایط‌دهی مکانیکی

زمانی‌که فقط یک کرنش تکی بسیار کوچک به‌عنوان کاربردهای ارتعاش آزاد به‌کار می‌رود، عموما از شرایط‌دهی مکانیکی چشم‌پوشی می‌شود. برای کرنش‌های بزرگتر، خواص ویسکوالاستیک دینامیکی بسیاری از مواد ارتجاعی به‌مقدار زیاد به میزان کرنش و پیشینه دمایی وابسته می‌باشد. برای چنین مواردی، توصیه می‌شود که برای کسب نتایج سازگار و تجدیدپذیر، قطعه آزمون پیش‌شرایط‌دهی شوند. قطعات آزمون باید قبل از آزمون به‌طور مکانیکی شرایط‌دهی شوند تا "ساختار" برگشت ناپذیر[3] حذف شود. شرایط‌دهی باید

1- Tear
2- vulcanization
3- Irreversible

شامل حداقل شش دوره، در دما و کرنش بیشینه مورد استفاده در مجموعه آزمون‌ها باشد. بین شرایط‌دهی مکانیکی و آزمون، حداقل ۱۲ ساعت دوره استراحت لازم است تا "ساختار" برگشت‌ناپذیر به تعادل برسد.

۵-۲-۴ شرایط‌دهی رطوبتی

رطوبت بر خواص فیزیکی بسیاری از مواد ارتجاعی، به ویژه اورتان‌ها[1] تأثیر می‌گذارد. برای تضمین اینکه اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط تجدیدپذیر انجام شده، نمونه‌ها باید قبل از آزمون در یک محیط رطوبتی کنترل شده به مدت یک هفته نگهداری شوند. رطوبت کنترل شده با نگهداری نمونه در یک محفظه بسته که دارای رطوبت نسبی ٪۵۰ تا ٪ ۵۵ است، به دست می‌آید. دمای محفظه باید حین دوره شرایط‌دهی بین $^{\circ}C$ ۲۰ و $^{\circ}C$ ۲۵ کنترل شود. راهنمایی‌ها در استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۴۸۳، ارائه شده است.

۵-۳ تعداد قطعات آزمون

برای به‌دست آوردن نشانه‌ای از تغییرپذیری ماده، توصیه می‌شود که حداقل سه نمونه معرف، مورد آزمون قرار گیرد.

۵-۴ به‌دست آوردن داده‌ها

۵-۴-۱ در فرآیند به‌دست آوردن داده‌ها عملیات زیر انجام می‌شود:

الف- مولد ارتعاش با تحلیل‌گر طیفی با یک منبع نوفه‌ی تصادفی راه‌اندازی می‌شود.

ب- تحلیل‌های تبدیل فوریه سیگنال‌های الکتریکی از دو شتاب‌سنج توسط دو تحلیل‌گر طیفی دوکاناله انجام می‌شود.

پ- تابع پاسخ بسامد نمونه آزمون و همدوسی اندازه‌گیری، با استفاده از تحلیل‌های تبدیل فوریه سیگنال‌های ورودی و خروجی محاسبه می‌شود. فرآیند میانگین‌گیری مورد استفاده در محاسبات، ۳۲ بار تکرار می‌شود تا همدوسی را افزایش دهد. همدوسی باید بیشتر از ۰٫۹۵ باشد.

ت- وقتی که تحلیل‌گر مقدار و فاز تابع پاسخ بسامد را فراتر از گستره بسامدی آن نشان دهد، آزمون کامل شده است.

داده‌ها باید برای مشاهده نمایش داده‌شوند، مقدار تابع پاسخ بسامد، که به عنوان نسبت شتاب، A، شناخته می‌شود، پیک‌های تشدیدی در ناحیه کیلوهرتز دارد، درحالی‌که زاویه فاز، ϕ، چندین سیکل 360° را طی می‌کند. یک نمودار نوعی نسبت شتاب و زاویه فازی به عنوان تابعی از بسامد در شکل ۲ نشان داده شده است. نسبت شتاب و بسامد در مقادیر متعدد زاویه فازی اندازه‌گیری می‌شود:

$$\phi = -90 \quad (2n - 1) \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد مد تشدید است.

1- Urethanes

یادآوری۱- توجه به این نکته حائز اهمیت است که بسامد تشدید، بسامد پیک در نسبت شتاب نیست بلکه بسامدی است که در آن زاویه فازی مضرب فردی از $^{\circ}$۹۰، مانند معادله (۱) است. پیک در نسبت شتاب در یک بسامد پایین‌تر بسته به ضریب اتلاف، اتفاق می‌افتد.

یادآوری۲- مدهای فرعی به‌عنوان نتیجه‌ای از نصب نمونه نامناسب یا ناهم‌ترازی مولد ارتعاش، اتفاق می‌افتد. این مدها از یک مولفه تحریک نتیجه می‌شود که عمود بر تحریک تک محوره دلخواه می‌باشد. این مدها به آسانی شناسایی می‌شوند، زیرا آن‌ها با مدهای دلخواه در هم می‌آمیزند و مدول‌های دینامیکی متناقضی تولید می‌کنند. درحالی‌که چنین حالت‌هایی را می‌توان به آسانی نادیده گرفت، بهتر است برای برداشتن گام‌هایی برای تصحیح مشکل به‌وسیله هم‌تراز کردن صحیح نمونه آغاز کنیم، به طوری‌که فقط در معرض تحریک تک محوری قرار گیرد.

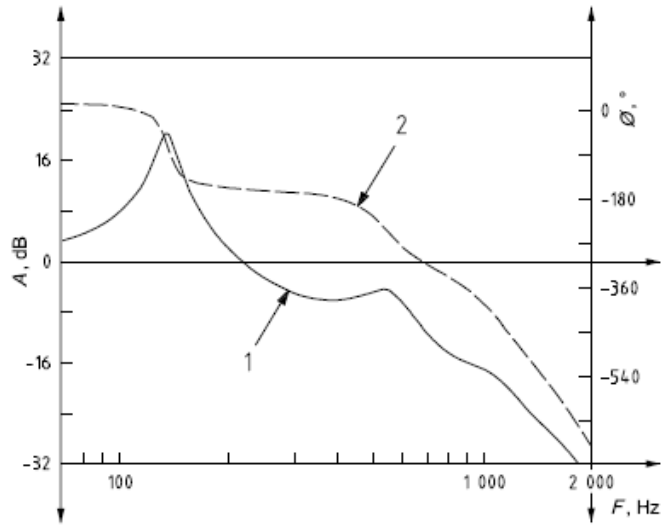
۵-۴-۲ تعداد پیک‌های تشدید که اندازه‌گیری می‌شود، به مدول و ضریب اتلاف ماده بستگی دارد، اما، عموما، سه الی شش پیک وجود دارد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، فاز با بسامد کاهش می‌یابد که نشان‌گر این است که شتاب در انتهای آزاد از انتهای متحرک عقب‌تر است.

مقادیر مورد نیاز برای هر مد تشدید نمونه آزمون، بسامد تشدید و نسبت شتاب می‌باشد. آن‌ها به صورت زیر تعیین می‌شوند:

الف- مقادیر بسامدهای تشدید را با استفاده از تنظیم تحلیل‌گر طیفی برآورد کنید تا که در گستره بسامد از ۲۵Hz تا ۱۸ kHz عمل کند. زاویه فازی را حین این مرحله در $^{\circ}$ ۵ تعیین کنید.

ب- به‌ترتیب برای هر بسامد تشدید، مقدار برآورد شده بسامد تشدید را به عنوان بسامد مرکزی با تنظیم تحلیل‌گر طیفی، برای گستره بسامدی طوری تنظیم کنید که اجازه تفکیک‌پذیری بیشتر، عموما در حدود ۱ Hz را بدهد. اگر ارزشیابی مقدار برآوردی بسامد تشدید، به اندازه کافی دقیق نباشد، ممکن است استفاده از یک گستره بسامدی میانه، قبل از رسیدن به بالاترین تفکیک‌پذیری لازم باشد.

پ- مقادیر نهایی برای زاویه فازی در $^{\circ}$ ۰٫۵ بسامد تشدید در ۰٫۱ Hz و نسبت شتاب در ۰٫۱ dB را تعیین کنید.



راهنما:

۱ نسبت شتاب

۲ فاز

A دامنه

ϕ فاز

F بسامد

شکل ۲- نسبت شتاب نوعی و فاز برحسب بسامد

۵-۵ چرخه دمایی

با استفاده از چرخه دمایی زیر، اندازه‌گیری‌ها را بر روی نمونه آزمون با تشدیدی بالای گستره دمایی $-۶۰\,^{\circ}C$ تا $۷۰\,^{\circ}C$ انجام دهید:

- نمونه آزمونه نصب شده بر روی دستگاه آزمون را تا $-۶۰\,^{\circ}C$ سرد کنید؛
- قبل از انجام هرگونه اندازه‌گیری، به نمونه اجازه دهید تا حداقل به مدت ۱۲ h در محدوده $\pm ۰{,}۱\,^{\circ}C$ برای به تعادل دمایی برسد؛
- پس از هر مجموعه اندازه‌گیری‌های تشدید، دما را تا حدود $۵\,^{\circ}C$ افزایش دهید؛
- پس از رسیدن دمای تعادل جدید در محدوده $\pm ۰{,}۱\,^{\circ}C$، اجازه دهید قبل از انجام اندازه‌گیری‌های بعدی ۲۰ min سپری شود.

۶ تحلیل نتایج

۶-۱ مدول و ضریب اتلاف

بخش‌های حقیقی و موهومی شکل مختلط مدول یانگ، طول، جرم و چگالی نمونه و پارامترهایی تعیین می‌شود که از حل معادلات موجی به دست آمده‌اند که حاصل محاسبات عددی در بسامدهای تشدید تعیین

شده به طور آزمایشی هستند. معادله موجی با این شرایط مرزی قبلا توصیف شده است. در اینجا فقط راه حل‌های نمایش داده خواهد شد. راه‌حل معادله موجی شامل دو معادله غیرجبری جفت‌شده می‌باشد:

$$\sinh\ \beta(\sin\ \xi + R\xi\cos\ \xi) + R\beta\sin\ \xi\cosh\ \beta + \frac{\sin\ \phi}{A} = 0 \qquad (۲)$$

$$\cosh\ \beta(\cos\ \xi - R\xi\sin\ \xi) + R\beta\cos\ \xi\sinh\ \beta - \frac{\cos\ \phi}{A} = 0 \qquad (۳)$$

که در آن:

A و ϕ نسبت شتاب و فاز اندازه‌گیری شده هستند (بر حسب درجه)،

R نسبت جرم انتهایی (شتاب سنج و بلوک انتهایی) به جرم نمونه است، و

ξ و β پارامترهای به‌دست آمده از حل معادلات (۲) و (۳) هستند.

بخش حقیقی مدول یانگ، E'، برحسب پاسکال به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E' = \rho\omega^2 L^2\{[\xi^2 - \beta^2]/[\xi^2 + \beta^2)^2]\} \qquad (۴)$$

که در آن:

ρ چگالی بر حسب kg/m^3 می‌باشد،

L طول میله بر حسب m است،

ω بسامد زاویه‌ای $2\pi f$، با مقدار f بسامد تشدید بر حسب Hz است.

ضریب اتلاف، یا $\tan\delta$ ، که در آن δ زاویه فازی است که به‌وسیله آن کرنش، تنش را به تأخیر می‌اندازد و به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\tan\ \delta = E''/E'' = 2\xi\beta/(\xi^2 + \beta^2) \qquad (۵)$$

حل معادلات (۲) و (۳) پارامترهای ξ و β را برای هر مد تشدید که با استفاده از روش نیوتن- رافسون[1] به دست آمده، نتیجه می‌دهد. برای استفاده از این روش، برآوردهای اولیه برای دو پارامتر مورد نیاز است.

حل تحلیلی برای یک میله بدون جرم انتهایی، برای انجام این برآوردها، استفاده می‌شود، یعنی R=0. با این فرض، برآوردهای اولیه برای پارامترها عبارتند از:

$$\xi = (2n-1)\frac{\pi}{2} \qquad (۶)$$

$$\beta = \sinh^{-1}(\frac{1}{A}) \qquad (۷)$$

راه حل‌های تقریبی برای معادلات (۲) و (۳) با این برآوردها و تکرار، تا زمانی‌که مقادیر تکرارهای متوالی تا کمتر از 10^{-5} اختلاف پیدا کند محاسبه می‌شود.

یادآوری۱- در بعضی از روش‌های دیگر، ضریب اتلاف از نیم پهنای بسامد پیک‌های تشدید، با استفاده از فاکتور کیفیت، Q ، تعیین می‌شود. این تقریب فقط برای مواد با اتلاف کم که در آن‌ها ضریب اتلاف کمتر از ۰/۱ می‌باشد، معتبر است. روش به‌کار رفته در این استاندارد که شامل حل معادله موجی است، برای هر ضریب اتلافی معتبر است.

1 - Newton- Raphson

یادآوری۲- گستره مدول تحت پوشش این روش از pa $۱۰^{۴}$ تا pa $۱۰^{۱۲}$ می‌باشد که گستره‌ای شامل مواد ویسکوالاستیک رایج می‌باشد. گستره ضریب اتلاف تحت پوشش توسط این روش از ۰/۰۱ تا ۵ می‌باشد که همچنین شامل مواد ویسکوالاستیک رایج می‌باشد.

۲-۶ برهم‌نهی زمان- دما

یک نمودار بسامد کاهشی برای مدول و داده‌های ضریب اتلاف، به صورت زیر ایجاد کنید:

الف- نمودارهای گرافیکی از بخش حقیقی مدول را به عنوان تابعی از بسامد لگاریتمی پایه ۱۰، برای هر دما ترسیم کنید.

ب- دمای T_0، را به عنوان دمای مرجع انتخاب کنید که در آن بخش حقیقی مدول، بیشترین شیب بسامد را دارد.

پ- با ثابت نگهداشتن داده‌ها در دمای، T_0، بخش حقیقی داده‌های مدول را برای دماهای دیگر، به‌طور متوالی، در طول محور بسامد لگاریتمی جابه‌جا کنید، تازمانی‌که هر نمودار تا حدی با داده‌های قبلی هم‌پوشانی داشته باشد و بهترین تطابق حاصل شود. بهترین تطابق، با روش حداقل مربعات به دست می‌آید. میزان جابه‌جایی مورد نیاز در هر دما به‌عنوان ضریب جابه‌جایی، a_T، شناخته می‌شود.

یادآوری ۱- بخش حقیقی مدول که برای جابه‌جایی انتخاب می‌شود به ضریب اتلاف ترجیح داده می‌شود، زیرا بخش حقیقی مدول با صحت بیشتر اندازه گیری شده است و پراکندگی کمتری نسبت به ضریب اتلاف دارد.

ت- داده‌های ضریب اتلاف را با استفاده از همان ضریب جابه‌جایی که برای بخش حقیقی مدول تعیین شده جابجا کنید.

یادآوری ۲- ماده‌ای که برای آن برهم‌نهی زمان- دما قابل قابل است، ترمورئولوژیکالی[1] ساده نامیده می‌شود. ماده‌ای که به علت انتقال‌های متعدد یا مثلا بلور شدن، قادر به برهم‌نهی نیست، ترمو ریولوژیکال مختلط می‌باشد.

ث- نمودارهای منتج از بخش حقیقی مدول و ضریب اتلاف به عنوان تابعی از بسامد لگاریتمی جابجا شده، در دمای مرجع T_0 به‌عنوان منحنی‌های اصلی شناخته می‌شوند و گستره بسامدی بیشتری را نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده پوشش می‌دهند.

یادآوری ۳- برای یک ماده ارتجاعی نوعی، گستره بسامد جابجا شده، ممکن است به بزرگی Hz $۱۰^{-۳}$ تا Hz $۱۰^{۹}$ باشد.

ج- نمودار لگاریتم نپرین[2] با ضریب جابه‌جایی را، $\ln a_T$ ، به عنوان تابعی از دما رسم کنید. این داده‌ها را در معادله ویلیام لامبدل[3] و فری[4] (WLF) قرار دهید.

$$\ln a_T = \frac{-c_{10}(T - T_\circ)}{(c_{20} + T - T_\circ)} \qquad (۸)$$

1 - thermorheologically
2- Napierian
3- Williams lamdel
4 - Ferry

که در آن C_{10} و C_{20} مقادیر ثابت برای پلیمر داده‌شده هستند و زیرنویس صفر به دمای مرجع ،T_0، به معادله ارزیابی شده اشاره دارد.

چ- منحنی‌های اصلی در دمای مرجع T_0 به‌صورت زیر به دماهای مرجع دیگر ،T_{ref}، جابه‌جا می‌شوند. با ارزیابی معادله (۸) در دمای T_{ref}، تغییر لگاریتمی در بسامد را، مطابق با تغییر دما از T_0 به T_{ref}، تعیین کنید. این تغییر لگاریتمی در بسامد را از مقادیر بسامدهای لگاریتمی مطابق با هریک از نقاط داده‌ای به دست آمده در T_0 کم کنید. نمودار به‌دست‌آمده از بسامدهای جدید به‌دست آمده منحنی اصلی برای T_{ref} می‌باشد.

یادآوری ۴- حد پایینی در انتخاب دمای مرجع تقریبا معادل با دمای انتقال شیشه، T_g ، می‌باشد درحالی‌که حد فوقانی برابر با T_g به‌اضافه ۱۰۰ °C است. حد فوقانی برای پلیمرهای مختلف، متفاوت است. وجود حدود به‌خاطر این است که معادله WLF فقط در ناحیه انتقال شیشه کاربرد دارد.

۶-۳ نمایش داده‌ها

داده‌های حاصل از روش‌های این استاندارد باید به شکل سه نمودار ارائه شوند:

الف- لگاریتم پایه ۱۰ ضریب اتلاف در مقابل لگاریتم پایه ۱۰ بخش حقیقی مدول؛

ب- ضریب جابه‌جایی در مقابل دما؛

ج- منحنی‌های اصلی لگاریتم پایه ۱۰ بخش حقیقی مدول و لگاریتم پایه ۱۰ ضریب اتلاف در مقابل لگاریتم پایه ۱۰ بسامد در دمای مرجع تعیین شده است. دمای اتاق ممکن است برای دمای مرجع استفاده شود.

یادآوری- نمودار ضریب اتلاف لگاریتمی در مقابل بخش حقیقی لگاریتمی مدول شامل همه داده‌ها بدون در نظرگرفتن دما یا بسامد می‌باشد. این نمودار نشانه‌ای از سازگاری داده‌هاست. نقاطی که در روی منحنی قرار ندارند، مشکوک هستند و ممکن است نادیده گرفته‌شوند. با توجه به شکل "U" معکوس این نمودار گاهی به عنوان نمودار ویکیت[1] نیز اشاره می‌کند.

برای افزایش یکنواختی و سادگی تفسیر داده‌ها در دماهایی غیر از دمای مرجع، توصیه می‌شود که منحنی‌های اصلی بخش‌های حقیقی و موهومی مدول و ضریب اتلاف به‌عنوان یک نمودار محاسباتی[2] با استفاده از فرآیند ارائه شده در استاندارد ISO 10112، نمایش داده شوند.

۶-۴ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- ارجاع به این استاندارد؛

ب- همه جزئیات ضروری برای شناسایی کامل ماده مورد آزمون، شامل نوع، منبع، شماره سریال، فرم و سابقه قبلی، در صورت مشخص بودن؛

پ- در صورت قابل اجرا بودن، جهت هر ویژگی غیریکنواخت نمونه آزمون؛

ت- تاریخ آزمون؛

ث- شکل و ابعاد نمونه آزمون؛

1 - Wicket
2- Nomogram

ج- روش آماده‌سازی نمونه‌های آزمون؛
چ- جزئیات شرایط‌دهی نمونه‌های آزمون؛
ح- تعداد نمونه‌های آزمون‌شده؛
خ- جزئیات جوی آزمون شامل رطوبت؛
د- توصیف اسباب به‌کار رفته برای آزمون؛
ذ- توالی دمای به‌کار رفته در آزمون، شامل دمای اولیه و نهایی و نیز نرخ تغییر خطی در دما یا اندازه و مدت مراحل دما؛
ر- جدولی از نتایج آزمون شامل بخش‌های حقیقی و موهومی مدول و ضریب اتلاف برحسب بسامد در هر دمای آزمون؛
ز- مدول و ضریب اتلاف در مقابل نمودارهای بسامد و دما به صورت تعیین‌شده در زیر بند ۶-۳.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

خطی بودن ارتعاش مواد ارتجاعی

اصولا خواص دینامیکی ایزولاتور ارتعاشی صوتی به پیش‌بارگذاری استاتیک، دامنه ارتعاش، بسامد و دما بستگی دارد.

فرضیه خطی‌بودن، اشاره بر این دارد که اصل برهم‌نهی رعایت شده و سفتی دینامیکی در بسامد ارائه شده مستقل از دامنه است. برای بیشتر ایزولاتورها، این فرضیه تقریبا برآورده می‌شود، که تحت پیش بارگذاری استاتیک مناسب، میزان تغییر شکل دینامیکی در مقایسه با تغییر شکل استاتیک کم باشد. به‌هرحال، بهتر است یادآوری شود که این امر به مواد تشکیل دهنده ایزولاتورها بستگی دارد، و برای مقایسه مشخصه‌های سفتی دینامیکی برای گستره‌ای از سطوح ورودی، بهتر است یک بررسی ساده انجام شود. اگر این‌ها متغییرهای نامی باشند، در این صورت ممکن است خطی بودن برقرار شود.

برای لاستیک بوتیل[1] (IIR)، مرجع شماره [۶] کتابنامه، داده‌هایی برای جزء هم‌فاز و زاویه فازی مدول برشی دینامیکی به عنوان تابعی از میزان کرنش و درصدی از دوده، ارائه می‌دهد. برای مقادیر کرنش کمتر از ۱٫۰mm/m، مؤلفه هم فاز و زاویه فازی، به سختی به دامنه ارتعاش بستگی دارند. به‌هرحال، زمانی که میزان کرنش از ۲٫۰mm/m بیشتر می‌شود، به‌ویژه برای لاستیک دارای درصد بالایی از دوده، کاهش چشم‌گیری در سفتی دینامیکی دیده می‌شود.

بنابراین توجه به میزان کرنشی که در عمل رخ می‌دهد، و نیز بررسی تناسب شرایط آزمون برای آزمون ایزولاتورهای الاستیک، حائز اهمیت است. برای مقادیر کرنش کمتر از ۱٫۰ mm/m، به نظر می‌رسد فرضیه خطی بودن (که مثلا بر سفتی مستقل از دامنه و وارونگی دلالت دارد) برآورده شود.

پایه‌های هیدرولیکی به‌ویژه برای کاربردهای مربوط به خودرو[2]، به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین این نوع ایزولاتور، ممکن است یک رفتار بسیار غیر خطی نشان دهد، یعنی، سفتی به شدت به دامنه ارتعاش بستگی دارد. به علت مقاصد دوگانه آن‌ها (یعنی میرایی ارتعاش موتور بسامد پایین باعث تحریک جاده و ایزولاسیون امواج صوتی سازه‌برد تولید شده از موتور در بسامدهای بالاتر می‌شود)، باید دامنه‌های آزمون مناسب، برای کل گستره بسامدی مورد نظر اعمال شود. (به مرجع شماره [۷] و [۱۰] کتابنامه مراجعه شود).

گاهی برای عدم رعایت خطی بودن، پیشینه‌ای وجود دارد. در چنین مواردی، اعمال بسیاری از فرایندهای توصیف شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۹۸۲۹، مفید است. علاوه بر این، گاهی ایجاب می‌کند که الزامات آزمون خاصی با توجه به پیش‌بارگذاری‌ها، دامنه‌های سیگنال و کمیت‌های اندازه‌گیری، فرمول‌بندی شوند.

1- Butyl

2- Auto motiv

پیوست ب

(اطلاعاتی)

برهم نهی زمان- دما

فرض بر این است که مجموعه‌ای از داده‌های مدول مختلط معتبر مطابق با تمرین‌های خوبی به‌دست‌آمده باشد. برای بررسی سازگاری و پراکندگی داده‌ها، همه داده‌ها را صرف‌نظر از بسامد یا دما، بر روی یک نمودار لگاریتم (ضریب اتلاف) نسبت به لگاریتم (مدول) ترسیم کنید. عموماً این نمودار به نمودار ویکیت[1] معروف است. اگر داده‌ها معرف یک ماده از نظر ترمورئولوژیکی باشد و اگر داده‌ها هیچ پراکندگی نداشته باشند، در این صورت داده‌ها به صورت یک منحنی صاف و تکی ترسیم خواهند شد. چون داده‌های تغییر جا نداده در ترسیم ویکیت ترسیم شده است، بنابراین هیچ بخشی از پراکندگی در این نمودار را نمی‌توان به رویه اجرایی تغییر جا نسبت داد.

مادامی که نمودار ویکیت در نمایش گرافیکی داده‌ها مورد نیاز یا مورد استفاده نمی‌باشد، به عنوان نشاندهی کیفی از پراکندگی، داده‌های آزمایشی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. پهنای باند داده‌ها و نیز انحراف نقاط اختصاصی از مرکز باند، نشان‌دهنده پراکندگی است. هیچ چیزی در مورد درستی اندازه‌گیری‌های دما و فرکانس یا در مورد خطای سیستماتیک، مشخص نیست. اهمیت برهم‌نهی زمان- دما از طریق مفهوم بسامد کاهشی، نشان داده می‌شود.

به طور کلی، شکل مختلط مدول یانگ ماده ویسکوالاستیک، تابعی از بسامد و دما است:

$$E^* = E^*(f, T) \qquad (ب-۱)$$

در یک ماده ساده ترمورئولوژیکی، این متغیرها فقط به عنوان حاصلضرب بسامد و تابعی از دما که به زمان آسایش معروف است، ظاهر می‌شوند.

$$E^* = E^*[f\,\tau(T)] \qquad (ب-۲)$$

بنابراین تغییر بسامد معادل با تغییر دماست. در نتیجه، این ضریب جابه‌جایی را می‌توان به عنوان نسبت زمان آسایش در دمای T به زمان آسایش در دمای مرجع T_0 ، بیان کرد:

$$a_T(T) = \tau(T)/\tau(T_\circ) \qquad (ب-۳)$$

مدول مختلط را می‌توان به صورت زیر نوشت:

(ب-۴)

$$E^* = E^*[f\,a_T(T)\,\tau(T)]$$

و بسامد کاهشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f_R = f\,a_T(T) \qquad (ب-۵)$$

مدول مختلط را می‌توان با دو راه معادل، بیان کرد:

$$E^* = E^*[f\,a_T(T)\,\tau(T_\circ)] = E^*[f_R(T_\circ)] \qquad (ب-۶)$$

1- Wicket

به‌طوری‌که مقدار مدول اندازه‌گیری شده در بسامد f و دمای T، معادل با یک مقدار در بسامد کاهشی f_R و دمای T_0 می‌باشد. بسامد کاهشی، ممکن است بسیار بیشتر از بسامد اندازه‌گیری شده (توسط ضریب a_T) باشد، زیرا اندازه‌گیری‌های انجام شده به عنوان تابعی از دما، هم ارز اندازه‌گیری‌های انجام شده در گستره بسامدی وسیع‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد.

ضریب جابه‌جایی در این‌جا به‌صورت ریاضی و قراردادی ارائه شده است. اهمیت تابع ضریب جابه‌جایی و منشاء نام آن را می‌توان به صورت گرافیکی نشان داد. نمودار log-lot اندازه‌گیری‌های آزمایشی E نسبت به بسامد ترسیم شده به عنوان مجموعه‌ای از ایزوترم‌ها (خطوط هم‌دما) را در نظر بگیرید. یک دمای ایزوترم را به عنوان دمای مرجع انتخاب کنید. بالاترین ایزوترم بعدی را می‌توان در طول محور بسامد لگاریتمی جابجا کرد تا جایی‌که تا حدی با ایزوترم مرجع هم‌پوشانی داشته باشد. این فرآیند، با همه ایزوترم‌های بیشتر و کمتر از ایزوترم مرجع، به صورت متوالی ادامه می‌یابد. نتیجه، نموداری از لگاریتم E در گستره وسیعی از مقادیر بسامد کاهشی لگاریتمی است. این نمودار به نمودار اصلی معروف است. میزان جابه‌جایی مورد نیاز برای ایجاد هم‌پوشانی را می‌توان به عنوان تابعی از دما ترسیم کرد. از آن‌جایی که این تابع با داده‌های متغیر تولید می‌شود، به تابع تغییرجا معروف است. پس نمودار تابع ضریب تغییر را می‌توان با معادله ویلیام- لاندل- فری مقایسه کرد (به مراجع [۵] و [۱۰] کتابنامه مراجعه شود).

کاربران این استاندارد، آن‌هایی که با گسترش گستره اندازه‌گیری‌های خود، با تغییر جای زمان- دما، ناآشنا هستند، برای راهنمایی بیشتر به مرجع شماره [۱۱] کتابنامه رجوع داده می‌شوند. در مرجع شماره [۱۱]، داده‌های نمونه نظری، جابه‌جایی، نتیجه‌گیری عامل جابه‌جایی، ارائه تحلیلی و ارائه گرافیکی این داده‌ها به شکل یک نمودار محاسباتی بسامد- دما برای ماده استاندارد ارائه داده شده است.

کتابنامه

[1] ASTM D 792-91, *Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*

[2] PRITZ, T. Transfer Function Method for Investigating the Complex Modulus of Acoustic Materials: Rod-like Specimen. J. *Sound and Vibration*, **81**, pp. 359-376 (1982)

[3] MADIGOSKY, W. M. and LEE, G. F. Improved resonance technique for material characterisation. *J. Acoust. Soc*. Am. **73**, pp. 1374-1377 (1983)

[4] BUCHANAN, J. L. Numerical solution for the dynamic moduli of a visco-elastic bar. *J. Acoust. Soc*. Am. **81**, pp. 1775-1786 (1987)

[5] FERRY, J. D. *Visco-elastic Properties of Polymers*. 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 1980

[6] FREAKLEY, P. K. and PAYNE, A. R. *Theory and practice of engineering with rubber*: Applied Science Publishers, London, 1978

[7] HARTEL, V. and HOFMANN, M. *Latest design for engine mountings*. VDI-Berichte 499. Dusseldorf: VDIVerlag, 1983 (in German)

[8] FLOWER, W.C. *Understanding hydraulic mounts for improved vehicle noise, vibration and ride qualities*. SAE paper 8509075. Soc. Autom. Eng., Inc., Warrendale, PA 15096, May 1985

[9] CREDE, C.E. *Vibration and Shock Isolation*. John Wiley & Sons, New York, 1951

[10] *Shock and Vibration Handbook*. 5th edition. Edited by C.M. Harris and A.G. Piersol. McGraw Hill, 2002

[11] ANSI S2.24-2001, *American National Standard Graphical Presentation of the Complex Modulus of Viscoelastic Materials*

[12] ISO 483:1988, *Plastics — Small enclosures for conditioning and testing using aqueous solutions to maintain relative humidity at constant value*

[13] ISO 18437-3:2005, *Mechanical vibration and shock — Characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials* — Part 3: Cantilever shear beam method