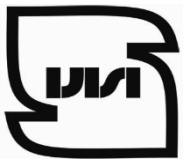
INSO
8147
1st. Revision
2016

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



استاندارد ملی ایران
۸۱۴۷
تجدیدنظر اول
۱۳۹۴

روان‌کننده‌ها- اندازه‌گیری گرانروی در دمای پایین با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد- روش آزمون

Lubricants - Measutement of low - Temperature viscosity by Brookfield viscometer - Test method

ICS: 75.100

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۱۲۹۴

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

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

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

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی 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.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه 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 آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« روان‌کننده‌ها- اندازه‌گیری گرانروی در دمای پایین با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد- روش آزمون »

(تجدیدنظر اول)

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
برخورداریون، ابوالفضل (کارشناسی ارشد مکانیک)	مسئول پروژه- پژوهشگاه صنعت نفت
دبیر:	
آسایی اردکانی، آمیتیس (کارشناسی شیمی کاربردی)	کارشناس- اداره استاندارد کاشان
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آرین، ندا (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	دانشگاه کاشان
انجدانی، آرش (کارشناسی ارشد شیمی کاربردی)	کارشناس پژوهش- شرکت نفت بهران
براری، مهدی (کارشناسی شیمی کاربردی)	کارشناس تحقیق و توسعه- شرکت نفت پارس
بیگلری، حسن (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	کارشناس مسئول- پژوهشگاه استاندارد
تاروردی‌زاده، رضا (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	رئیس فنی- شرکت نفت پارس
تدین، محمدصادق (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	رئیس تحقیق و توسعه- شرکت نفت ایرانول

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
توسلی، رابعه (کارشناسی شیمی کاربردی)	کارشناس تحقیق و توسعه- شرکت نفت ایرانول
جمشیدی، پریسا (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	کارشناس پژوهش- اتحادیه صادرکنندگان نفت، گاز و پتروشیمی
حاج ابراهیمی، مجید (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	کارشناس مسئول فنی- شرکت نفت سپاهان
حائری، طاهره (کارشناسی ارشد شیمی دریا)	کارشناس آزمایشگاه- مرکز تحقیقات رنگ امیرکبیر
سید معصومیان، سلاله (کارشناسی شیمی کاربردی)	مدیر فنی- شرکت مشاوران آزمای نفت ایرانیان
عالمی، بنت الهدی (کارشناسی شیمی کاربردی)	مدیر کنترل کیفیت – شرکت الوند سپاهان اصفهان
کریمی، لیلا (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	کارشناس استاندارد- شرکت رزپلیمر
کرم دوست، ساناز (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	مسئول کیفی- شرکت کاسترول
کشوری، عباسعلی (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	کارشناس کیفی- شرکت ساپکو
کیانفر، سیما کارشناسی ارشد شیمی آلی)	کارشناس- اداره کل استاندارد استان تهران
نوری بوشهری، حسین (کارشناسی مهندسی شیمی)	مسئول آزمایشگاه ویژه- شرکت نفت سپاهان

ویراستار:

امینیان، وحید
(کارشناسی ارشد شیمی کاربردی)

سمت و/یا محل اشتغال:

معاون پژوهشکده شیمی و پتروشیمی پژوهشگاه استاندارد

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ی
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ اصول آزمون ۲
۵ اهمیت و کاربرد ۳
۶ وسایل ۳
۶-۱ ویسکومتر بروکفیلد ۳
۶-۲ اسپیندل ویسکومتر ۳
۶-۳ استاتور آزمون ۵
۶-۳-۱ استاتور لوله آزمون ۵
۶-۳-۲ استاتور SimAir ۵
۶-۴ سرپوش ظرف آزمون ۶
۶-۵ گیره اسپیندل ۷
۶-۶ حامل عایق ظرف آزمون ۷
۶-۷ محفظه‌های هوای سرد ۸
۶-۷-۱ صفحه دوار ۹
۶-۸ حمام‌های مایع ۹
۶-۸-۱ حمام‌های مایع با دمای ثابت ۹
۶-۸-۲ حمام‌های مایع برنامه‌ریزی شده برای شبیه‌سازی سردکردن محفظه هوای سرد ۱۰
۶-۹ وسایل نمایشگر دما ۱۰
۶-۱۰ ظرف آزمون ۱۰
۶-۱۱ نمونه شاهد ۱۰
۷ کاربرد سیالات مرجع ۱۱
۷-۲ کالیبراسیون اسپیندل‌ها ۱۱
۷-۳ کاربرد ویژه روغن‌های مرجع برای اطمینان از کنترل دما در محفظه‌های هوای سرد به علت باز و بسته‌کردن دریچه محفظه هوا ۱۲
۸ روش‌های مختلف سردکردن نمونه ۱۲

عنوان **صفحه**

۸-۱ آماده‌سازی محفظه هوای سرد و تنظیم دمای عملکرد ۱۲
۸-۱-۱ تنظیم دمای آزمون در محفظه هوای سرد ۱۲
۸-۲ آماده‌سازی و غوطه‌وری نمونه در محفظه هوای سرد یا حمام مایع ۱۳
۸-۳ قراردادن و جابجایی نمونه‌ها و دیگر تجهیزات برای سردکردن و آزمون ۱۵
۸-۳-۱ محفظه هوای سرد ۱۵
۸-۳-۲ استفاده از محفظه هوای سرد با فروبری نهایی در حمام مایع ۱۵
۸-۳-۳ حمام مایع برنامه‌ریزی‌شده ۱۵
۸-۳-۴ حمام مایع با دمای ثابت با ظروف آزمون SimAir ۱۶
۸-۴ آماده‌سازی ویسکومتر بروکفیلد ۱۶
۸-۵ روش آزمون برای محفظه‌های هوای سرد ۱۷
۸-۵-۴ روش خواندن نتایج از ویسکومتر ۱۸
۸-۵-۵ تعیین گرانروی سیال آزمون ۱۹
۸-۵-۶ استفاده از یک حمام مایع برای فروبری نهایی و انجام آزمون پس از آماده‌شدن نمونه‌ها در یک حمام هوا ۱۹
۸-۶ روش آزمون برای حمام‌های مایع برنامه‌ریزی‌شده ۲۰
۸-۷ روش آزمون برای حمام‌های مایع با دمای ثابت با استفاده از استاتورهای SimAir ۲۱
۹ انتخاب سرعت اسپیندل(r/min) ۲۱
۱۰ محاسبه ۲۲
۱۱ دقت و اریبی ۲۲
۱۱-۱ بیان دقت ۲۲
۱۱-۱-۱ دقت ۲۲
۱۱-۱-۲ تکرارپذیری ۲۲
۱۱-۱-۳ تجدیدپذیری ۲۳
۱۱-۱-۴ دقت ۲۳
۱۱-۱-۴-۱ تکرارپذیری ۲۳
۱۱-۱-۴-۲ تجدیدپذیری ۲۳
۱۱-۱-۴-۳ اریبی ۲۳
۱۱-۲ ملاحظات عمومی ۲۳
۱۲ گزارش آزمون ۲۴
پیوست الف (الزامی) استفاده از نمودار گرانروی بروکفیلد بر حسب دما برای درون‌یابی داده‌ها ۲۵
پیوست ب (الزامی) مثال‌هایی از سرعت سردشدن نمونه در محفظه‌های هوای بروکفیلد ۲۶

عنوان **صفحه**

پیوست پ	(الزامی) کالیبراسیون اسپیندل‌ها با استفاده از سیالات نیوتنی مرجع	۲۷
پیوست ت	(الزامی) ارزیابی دمای ظاهری آزمون با استفاده از گرانروی بروکفیلد یک سیال نیوتنی مرجع	۳۲
پیوست ث	(آگاهی‌دهنده) رفتار سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی در دما و سرعت برشی پایین در سنجش گرانروی بروکفیلد	۳۴
پیوست ج	(آگاهی‌دهنده) نمونه‌ای از گرانروی سیالات مرجع	۳۶
پیوست چ	(آگاهی‌دهنده) تنش برشی و سرعت برشی برای ویسکومترهایLV بروکفیلد با اسپیندل‌های LV-۴	۳۷
پیوست ح	(آگاهی‌دهنده) تعیین گرانروی روغن‌های هیدرولیک	۳۸

پیش‌گفتار

استاندارد « روان‌کننده‌ها- اندازه‌گیری گرانروی در دمای پایین با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد- روش آزمون » که نخستین‌بار در سال ۱۳۸۴ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در شصت و دومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فراورده‌های نفتی مورخ ۹۴/۱۱/۱۲ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۸۱۴۷ : سال ۱۳۸۴ می‌شود.

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

ASTM D2983: 2009, Standard test method for low - temperature viscosity of lubricants measured by Brookfield viscometer

روان‌کننده‌ها- اندازه‌گیری گرانروی در دمای پایین با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد[1]- روش آزمون

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. درصورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشت و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین گرانروی روان‌کننده‌ها در سرعت برشی پایین با استفاده از ویسکومترهای بروکفیلد با گشتاور مناسب می‌باشد. این استاندارد، برای گستره گرانروی ۵۰۰ mPa.s تا ۹۰۰۰۰۰ mPa.s در گستره دمایی پایین، متناسب با ظرفیت قسمت کنترل‌کننده[2] ویسکومتر کاربرد دارد.

یادآوری- برای دست‌یابی به دقت داده‌های این روش آزمون، گستره گرانروی مورد استفاده از ۱۰۰۰ mPa.s تا ۹۰۰۰۰۰ mPa.s درنظر گرفته شده است. نتایج مطالعه بین‌آزمایشگاهی که به طور ویژه بر روی سیال هیدرولیک با گستره گرانروی از ۵۰۰ mPa.s تا ۱۷۰۰ mPa.s به دست آمده، در پیوست **ح** ذکر شده است.

۲ مراجع الزامی[3]

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران ۲۸۰۱ : سال ۱۳۸۴ فراورده های نفتی مایع- نمودارهای گرانروی برحسب دما

2-2 ASTM D5133:2015 Test Method for Low Temperature, Low Shear Rate, Viscosity/Temperature Dependence of Lubricating Oils Using a Temperature-Scanning Technique

2-3 ASTM E1:2014 Specification for ASTM Liquid- in- Glass Thermometers

1- Brookfield viscometer
2- Viscometer head
3- Normative references

2-4 CEC L18-A-80 Standard test method for low-temperature viscosity of lubricants measured by Brookfield viscometer

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود:

۳-۱

گرانروی ظاهری

apparent viscosity

گرانروی دینامیک تعیین‌شده توسط این روش آزمون است. درصورتی‌که روان‌کننده، سیال غیرنیوتنی باشد، مقدار گرانروی ظاهری ممکن است با سرعت اسپیندل[1](سرعت برشی) ویسکومتر بروکفیلد تغییر کند. توضیحات مختصر در پیوست **ث** شرح داده شده است.

۳-۲

گرانروی مرجع

reference viscosity

گرانروی یک سیال نیوتنی استاندارد مرجع که در دماهای مشخص شده توسط کاربر، تعیین شده است. در پیوست **ج**، مقادیر گرانروی چند سیال مرجع استاندارد، ذکر شده است.

۴ اصول کلی

۴-۱ یک نمونه سیال روغنی که از قبل گرم شده و به دمای اتاق رسیده است، تا ارتفاع مشخص، درون ظرف شیشه‌ای آزمون[2] ریخته می‌شود و یک اسپیندل عایق‌بندی‌شده یا بدون عایق که از میان یک چوب پنبه مخصوص عبور کرده است، با یک گیره، در نمونه معلق می‌شود. نمونه موردنظر به مدت h ۱۶ سرد می‌شود تا به دمای از پیش‌تعیین شده برسد و سپس توسط ویسکومتر بروکفیلد، آزمون می‌شود. باتوجه به مدل ویسکومتر مورداستفاده، گرانروی سیال موردآزمون یا به طور مستقیم از ویسکومتر خوانده می‌شود و یا براساس گشتاور به دست آمده در دمای انتخاب شده، محاسبه می‌گردد.

1- Spindle
2- Glass cell

۵ اهمیت و کاربرد

۵-۱ گرانروی در دما و سرعت برشی پایین برای سیالات دنده اتوماتیک[1]، روغن‌های دنده، سیالات تراکتور و گشتاور[2] و روغن‌های هیدرولیک خودرو و صنعتی(پیوست **ت**) در عملکرد صحیح بسیاری از وسایل مکانیکی، دارای اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای است. اندازه‌گیری گرانروی این روغن‌ها و سیالات در دماهای پایین، اغلب برای مشخص‌کردن قابل‌پذیرش‌بودن آن‌ها در حین‌کار استفاده می‌شود. این روش‌آزمون در برخی ویژگی‌ها نیز کاربرد دارد.

۵-۲ این روش آزمون با استفاده از برون‌یابی داده‌های تجربی گرانروی به‌دست آمده در دماهای بالاتر، چگونگی اندازه‌گیری مستقیم گرانروی ظاهری را بدون خطاهای مربوط به روش‌های قدیمی، شرح می‌دهد.

یادآوری- مقادیر گرانروی به دست آمده از درون‌یابی یا برون‌یابی روغن‌ها در دمای پایین ممکن است به دلیل ژل‌شدن یا حالات دیگر پاسخ سیال غیرنیوتنی به سرعت اسپیندل و گشتاور، دچار خطا شود. به منظور کالیبراسیون اسپیندل و ظرف شیشه‌ای آزمون، درون‌یابی فقط در مورد روغن‌های نیوتنی مشخص در دمای موردنظر، قابل قبول است(پیوست **الف** را ببینید).

۶ وسایل

۶-۱ ویسکومتر بروکفیلد

در این روش از ویسکومتر آنالوگ، مدل LVT یا مدل‌های جدیدتر دیجیتال نظیر LVD V-II+ استفاده می‌شود. لازم است که ویسکومتر مورد استفاده قبل از انجام آزمون، از وضعیت مناسبی برخوردار باشد و قسمت کنترل‌کننده ویسکومتر و اسپیندل، در فواصل زمانی معین با یک سیال مرجع، کالیبره گردند.

۶-۲ اسپیندل ویسکومتر

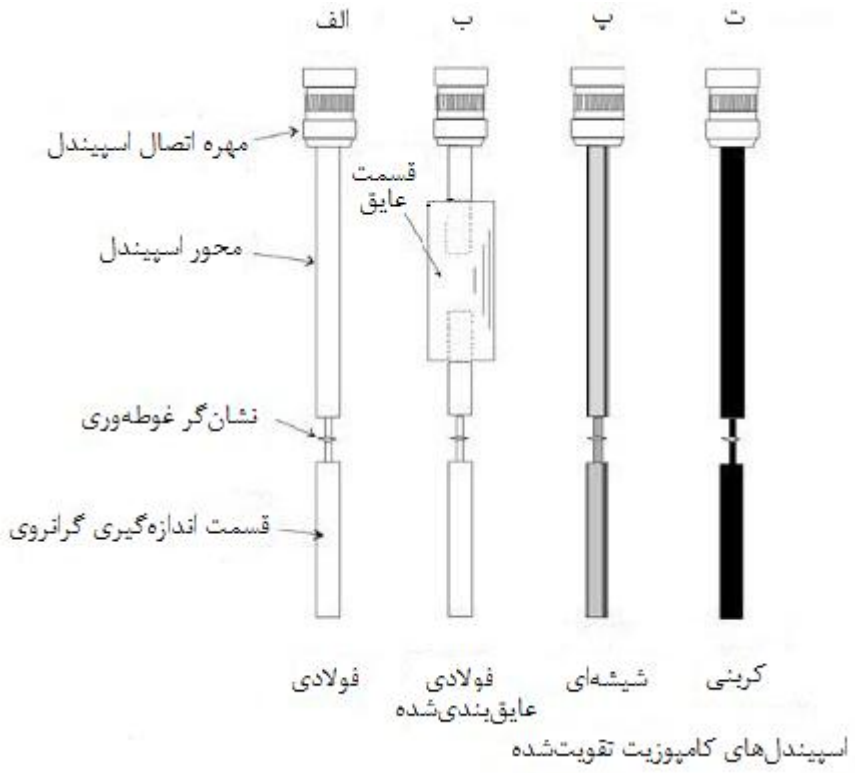
اسپیندل ویسکومتر بروکفیلد بدون عایق شماره ۴ از جنس فولاد[3](مورد استفاده در حمام هوا) یا اسپیندل عایق‌بندی‌شده شماره ۴B۲(مورد استفاده در حمام‌های هوا یا مایع) یا اسپیندل شماره ۴ شیشه‌ای یا با ترکیب کربن[4](مورد استفاده در حمام‌های مایع یا هوا) می‌توانند استفاده شوند(در شکل ۱، به ترتیب مدل‌های الف، ب، پ و ت را ببینید).

1- Automatic transmission fluids

2- Torque and tractor fluids

۳- اسپیندلی که سطح تماس آن با سیال آزمون، استوانه‌ای با قطر ۳/۱۷ mm ±۰/۰۳ mm و درازای ۳۸/۰ mm±۰/۱ mm می‌باشد.

۴- ساخت شرکت تاناس



شکل ۱- چهار مدل اسپیندل مورد استفاده در این روش آزمون

یادآوری ۱- همه اسپیندل‌ها باید در فواصل زمانی معین کالیبره شوند(یادآوری بند ۶-۲-۲، بند ۷-۱ و پیوست **پ** را ببینید).

یادآوری۲- به‌دلیل پدیده انتقال حرارت در فلزات، استفاده از اسپیندل‌های فولادی بدون عایق در حمام‌های مایع، به‌ویژه در دماهای پایین‌تر و گرانروی‌های بالاتر، می‌تواند نتایج پایین‌تری را حاصل کند. استفاده از اسپیندل‌های قسمتی عایق یا تمام عایق‌بندی‌شده نظیر آن‌چه در شکل ۱، مدل‌های ب، پ و ت نشان داده شده است، توصیه می‌شود.

۶-۲-۱ درصورت استفاده از اسپیندل‌های شماره ۴B۲(در شکل ۱، مدل ب را ببینید)، مطمئن شوید هر دو انتهای فولادی اسپیندل به طور محکم در قسمت عایق میانی قرار گرفته‌اند(در شکل ۱، مدل ب را ببینید). دو قسمت فلزی در دو لبه استوانه عایق را تا اندازه‌ای بپیچانید که حرکتی مشاهده نشود.

۶-۲-۲ در فواصل زمانی معین(براساس میزان کارکرد اما حداقل هر سه ماه)، اسپیندل‌ها را هنگام اتصال به ویسکومتر بروکفیلد، از نظر لنگ‌بودن[1] بازرسی کنید. در مجموع، لنگی اسپیندل نباید بیش از ۱ mm باشد مگر این‌که اسپیندل در حالت لنگی دوباره کالیبره شود که‌در این‌صورت می‌تواند قابل‌استفاده باشد(جدول **پ-۱** را ببینید).

1- Run-out

یادآوری- بهتر است که اسپیندل‌ها را به درستی نگه‌داری کنید. اسپیندل‌های کامپوزیت[1] را به مدت طولانی در حلال تمیزکننده رها نکنید.

۶-۳ استاتور آزمون[2]

لوله شیشه‌ای با قطر مناسب که اساساً در گرانروی‌های بالاتر(حتی بیش از mPa.s ۱۰۰۰۰۰)، اثری بر چرخش اسپیندل نداشته باشد.

۶-۳-۱ استاتور لوله آزمون

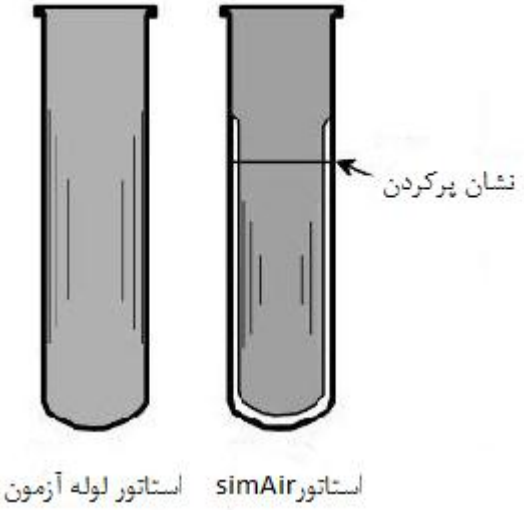
(شکل ۲ را ببینید) یک لوله آزمایش تجاری استاندارد با قطر داخلی تقریبی mm ۲۵ و درازای mm ۱۱۵

۶-۳-۲ استاتور SimAir[3] (شکل ۲ را ببینید)

لوله آزمایشی که بخشی از آن به طور ویژه به منظور استفاده در این روش آزمون با هوا عایق بندی شده است. نمونه‌ای از یک مدل تجاری استاتور در شکل ۲(مدل ب) آمده است.

یادآوری- این ظرف آزمون انحصاری[4](که همچنین شامل یک روتور مرکب، وسیله اتصال کلیددار برای درگیری سریع اسپیندل و سرپوش ظرف است)، سرعت سردکردن حمام هوا را زمان داخل‌شدن به یک حمام مایع با دمای ثابت(بند۸-۶)، شبیه‌سازی می‌کند. اتصال کلیددار برای آزمون ضروری نمی‌باشد اما با کمترین به‌هم ریختگی و تلاطم نمونه، اتصال اسپیندل را سریع‌تر می‌کند.

1- Composite
2- Test stator
3- SimAir stator
4- Patented cell



(الف)

استاتور مدل تجاری

(ب)

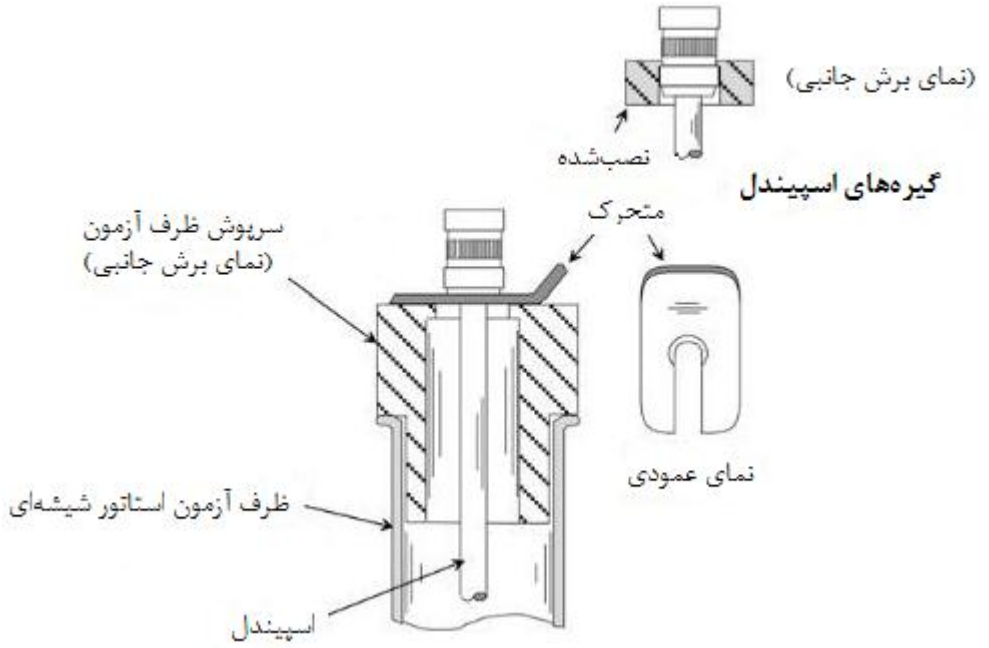
شکل ۲- سه مدل استاتور

۶-۴ سرپوش ظرف آزمون[1](شکل ۳)

سرپوش عایق متناسب با ابعاد داخلی و خارجی ظرف آزمون که سوراخی در مرکز آن تعبیه شده است. این سوراخ باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که چرخش اسپیندل در آن به راحتی صورت گیرد و فضای آزاد اطراف

1- Cell stopper

اسپیندل به گونه‌ای باشد که مانع از برخورد آن با دیواره‌های سوراخ مرکزی شود. از طرفی ارتفاع سرپوش باید به‌گونه‌ای باشد که گیره اسپیندل بتواند زمان سردشدن سیال آزمون، اسپیندل را در ارتفاع مناسب، درون نمونه نگه دارد.



شکل ۳- سرپوش ظرف آزمون، متحرک و نصب‌شده

۶-۵ گیره اسپیندل[1](شکل۳)

یک گیره یا جداکننده که یا بالای سرپوش ظرف آزمون قرار می‌گیرد و یا به اسپیندل نصب می‌گردد و اسپیندل را در زمان کاهش دما، در عمق غوطه‌وری مناسب قرار می‌دهد.

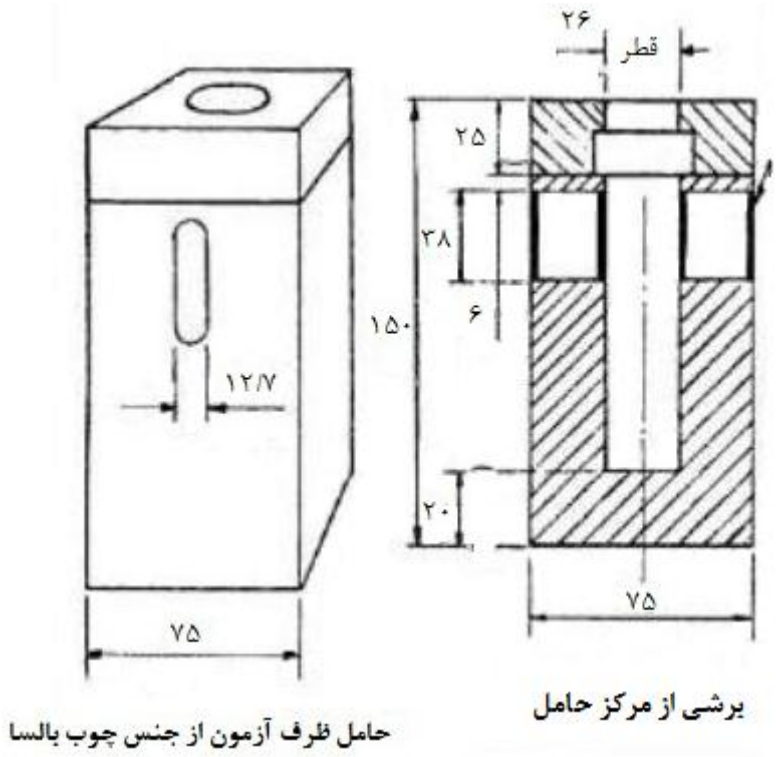
۶-۶ حامل عایق ظرف آزمون[2](شکل۴)

قالب حامل از جنس چوب بالسا[3](از این پس در این استاندارد، حامل چوبی نامیده می‌شود) که فقط با محفظه‌های هوای سرد[4] استفاده می‌شود و ظرف آزمون را در زمان انتقال از محفظه هوای سرد به ویسکومتر و انجام آزمون بعدی، سرد نگه‌می‌دارد. با استفاده از پنجره‌های پلاستیکی که در دیواره‌های کناری حامل تعبیه شده‌اند، می‌توان نشان‌گر غوطه‌وری اسپیندل را برای آزمون تنظیم کرد(بند ۸-۵-۳-۸).

1-Spindle clip
2- Insulated cell carrier
3- Balsa wood carrier block
4- cold – air cabinet

۶-۶-۱ زمانی‌که از حمام مایع سرد شده برای فروبری [1] نهایی نمونه در نیم ساعت پایانی آزمون استفاده می‌شود(بند ۸-۸ را ببینید)، از قالب چوبی برای انتقال نمونه به حمام مایع استفاده کنید و سپس به سرعت، آن را به محفظه سرد بازگردانید.

ابعاد برحسب میلی‌متر می باشند.



شکل ۴- حامل ظرف آزمون از جنس چوب بالسا

۶-۷ محفظه‌های هوای سرد

محفظه‌هایی که به طور مکانیکی سرد می‌شوند و مجهز به وسیله‌ای برای گردش هوا و یک صفحه دوار[2] و محل قرارگیری[3] ظرف نمونه‌ها هستند. محفظه هوای سرد باید قادر به سردکردن نمونه تا دمای آزمون، از ۵ °C+ تا ۴۰ °C- باشد و دما را در محدوده (۰± ۰٫۳) °C نسبت به نقطه تنظیم‌شده حفظ کند. وسیله گردش هوا و صفحه دوار نیز باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که پیش از بازشدن کامل قسمت بالای حمام، قابل‌خاموش‌شدن باشند.

1-Soak
2- Turntable
3- Rack

یادآوری- حمام‌های مایع می‌توانند نمونه را با سرعت مناسب سردکنند و دمای آزمون را به مدت h ۱۶(مدت زمان هم دماسازی آزمون[1]) در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۱ نسبت به نقطه تنظیم‌شده، نگه‌دارند. مشخصات حمام‌های مایع در دستورالعمل سازنده ذکر می‌گردند.

۶-۷-۱ صفحه دوار

صفحه دوار موتوردار فقط در محفظه‌های هوای سرد کاربرد دارد. محل قرارگیری ظرف آزمون بر روی صفحه دوار تعبیه می‌گردد.

یادآوری- به‌منظور به‌حداقل رساندن به‌هم‌ریختگی و تلاطم نمونه و اتلاف هوای سرد، توصیه می‌شود محفظه دارای یک پوشش داخلی با دستگیره‌هایی برای ورود نمونه به حامل چوبی و برداشتن از حامل به محل آزمون باشد.

۶-۸ حمام‌های مایع

از حمام‌های مایعی که به‌طور مکانیکی سرد می‌شوند و به سه روش کاملاً متفاوت، نتایج یکسان را حاصل می‌کنند، استفاده می‌شود(بندهای ۸-۵، ۸-۶ و ۸-۷ را ببینید). مقادیر دقت برای روش حمام مایع قابل‌برنامه‌ریزی[2] تاکنون تعیین نشده است.

یادآوری۱- مزیت اصلی حمام مایع در مقایسه با محفظه هوای سرد، کنترل دقیق‌تر دما، فرصت بیشتر برای خواندن و در نتیجه دقت بیشتر در اندازه‌گیری گرانروی ظاهری است.

یادآوری۲- صفحه دوار باید با سرعت[3] r/min ۳ تا r/min ۵ بچرخد. تنظیم سرعت اغلب با محفظه‌های هوای سرد درنظر گرفته شده است.

۶-۸-۱ حمام‌های مایع با دمای ثابت

حمام‌هایی هستند که برای رساندن نمونه به دمای نهایی آزمون، پس از سردشدن به مدت h ۱۵٫۵ در یک محفظه هوا(بند ۸-۵ را ببینید) یا برای دریافت ظرف آزمون SimAir پس از h ۱۶ غوطه‌وری در حمام مایع در هر آزمون(بند ۸-۷ را ببینید)، استفاده می‌شوند. حمام مایع در دمای نهایی آزمون، تنظیم می‌شود و باید قادر به نگه‌داری دمای نمونه در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۱ ± نسبت به آن دما باشد.

یادآوری- از آن‌جایی‌که ظرف آزمون SimAir، منحنی سردشدن محفظه هوا(پیوست **ب** را ببینید) را شبیه‌سازی می‌کند و دمای حمام ثابت باقی می‌ماند، نمونه‌ها می‌توانند در هر زمان وارد حمام شوند.

1- Soak priod portion of the test
2- programmable liquid bath
3- Round per minute

۶-۸-۲ حمام‌های مایع برنامه‌ریزی شده برای شبیه‌سازی سردکردن محفظه هوای سرد

حمام‌هایی هستند که در فرایندی مشابه با عملکرد محفظه‌های هوای سرد، طبق پیوست **ب**، قادر به سردکردن نمونه می‌باشند. مقادیر دقت برای روش حمام مایع قابل برنامه‌ریزی تاکنون تعیین نشده است.

۶-۹ وسایل نمایشگر دما[1]

۶-۹-۱ برای محفظه‌های هوای سرد یا حمام‌های مایع، از دماسنج دیجیتال یا آنالوگ تأیید یا کالیبره شده که گستره دمایی $+5\ ^{\circ}C$ تا $-40\ ^{\circ}C$ و درجه‌بندی جزئی $0{,}1\ ^{\circ}C$ (یا کمتر) را پوشش می‌دهند، استفاده کنید.

۶-۹-۲ توصیه می‌شود در مورد محفظه‌های هوای سرد، از دماسنج‌های IP کالیبره‌کننده ویسکومتر بروکفیلد یا معادل آن‌ها از دماسنج‌های مایع در شیشه ASTM، طبق جدول ۱، استفاده کنید.

جدول ۱- دماسنج‌های کالیبره کننده(ویژگی‌های ASTM E1 را ببینید)

دماسنج IP	گستره دمایی، $^{\circ}C$	دماسنج ASTM
۹۴C	۴۵- تا ۳۵-	۱۲۲C
۹۵C	۳۵- تا ۲۵-	۱۲۳C
۹۶C	۲۵- تا ۱۵-	۱۲۴C
۹۷C	۱۵- تا ۵-	۱۲۵C

۶-۱۰ ظرف آزمون

لوله آزمایش شیشه‌ای با قطر داخلی mm (۲۲٫۵ - ۲۲) و درازای کل mm (۵ ± ۱۱۵)

۶-۱۱ نمونه شاهد

سیالی که رفتار گرانروی و پاسخ به دمای آن، به نمونه‌های مورد آزمون نزدیک است و به منظور پایش دمای نمونه در محفظه هوای سرد، با استفاده از یک دماسنج که در آن غوطه‌ور می‌شود، به کار می‌رود. زمانی‌که به دلیل باز و بسته‌شدن دریچه حمام هوا، دما تغییر می‌کند، برای تنظیم دما از گرانروی این سیال استفاده می‌شود.

یادآوری- این روش برای اطمینان از دمای مناسب آزمون در محفظه‌های هوای سرد، مطلوب می‌باشد اما بعضی اوقات برای اطمینان بیشتر از کنترل مناسب دمای نمونه‌های آزمون، در حمام‌های مایع نیز به کار می‌رود.

2- Temperature indicating devices

۷ کاربرد سیالات مرجع

۷-۱ در این روش آزمون از اسپیندل‌های فلزی یا کامپوزیت(شکل ۱ را ببینید) استفاده می‌شود که سطح تماس آن‌ها با سیال آزمون، استوانه‌ای با قطر mm (۳٫۱۷ ±۰٫۰۳) و درازای mm (۳۸٫۰ ±۰٫۱)(معادل اسپیندل بروکفیلد شماره ۴) است. در مورد ویسکومترهایی که دارای قسمت کنترل‌کننده می‌باشند، عدد گرانروی از روی آن خوانده می‌شود، این اسپیندل‌ها دارای جدولی شامل ضرایب تبدیل عمومی مربوطه هستند که محاسبه سریع نسبی گرانروی یک نمونه نامعلوم را امکان‌پذیر می‌سازد. ویسکومترهای دیجیتال جدیدتر به طور مستقیم گرانروی و گستره کاملی از درصد گشتاور[1] را با استفاده از این ضرایب نشان می‌دهند. ضرایب تبدیل عمومی برای همه اسپیندل‌ها، در ستون ۲ جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- اطلاعات انتخاب سرعت اسپیندل(r/min) مربوط به ضرایب عمومی

سرعت اسپیندل (r/min)	برای محاسبه گرانروی در سرعت انتخاب‌شده، گشتاور را در عدد زیر ضرب کنید	گستره گرانروی (mPa.s)
۰٫۶	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰
۱٫۵	۴۰۰۰	۲۰۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰
۳٫۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰
۶٫۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰
۱۲٫۰	۵۰۰	۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰
۳۰٫۰	۲۰۰	۹۸۰۰ تا ۲۰۰۰۰
۶۰٫۰	۱۰۰	۱۵۰۰ تا ۹۸۰۰
[a] ۱۲۰٫۰	۵۰	۲۵۰ تا ۱۵۰۰

[a] ممکن است سرعت اسپیندل معادل r/min ۱۲۰٫۰ در برخی مدل‌های ویسکومتر بروکفیلد موجود نباشد.

یادآوری- اگر گرانروی ظاهری تعیین‌شده پایین‌تر از گستره نشان داده شده برای سرعت اسپیندل باشد، سرعت بالاتر بعدی را تنظیم کنید.

۷-۲ کالیبراسیون اسپیندل‌ها

صحت روش با کالیبراسیون اسپیندل‌ها افزایش می‌یابد(پیوست **پ** و **ت** را ببینید).

۷-۲-۱ نحوه استفاده از سیالات مرجع استاندارد و روش کالیبراسیون، در پیوست **پ** و **ت** شرح داده شده است. این روش برای افزایش دقت در اندازه‌گیری‌های گرانروی ظاهری تدوین شده است.

یادآوری۱- اگرچه با استفاده از ضرایب عمومی جدول ۲، می‌توان نتایج قابل قبولی را به دست آورد، اما کالیبراسیون اسپیندل‌ها تا اندازه‌ای دقت این روش آزمون را افزایش می‌دهد. به ویژه پس از چند دوره زمانی استفاده، لنگی اسپیندل ممکن است بیش از حد مجاز شود(بند ۶-۲-۲ را ببینید). با کالیبراسیون می‌توان از چنین اسپیندلی دوباره استفاده نمود. همچنین

1- Percent full-scale torque

اگر ویسکومتر دچار مشکل شود و برای دست‌یابی به صحت لازم، نیازمند تعمیر باشد، در فرایند کالیبراسیون اسپیندل، نشان داده می‌شود(پیوست **پ** را ببینید).

یادآوری۲– زمانی‌که اسپیندل‌ها کالیبره می‌شوند، بهتر است که هر اسپیندل با نشانه‌گذاری خاصی، مشخص شود.

۷-۲-۲ در این روش آزمون، در مرکز بودن اسپیندل نسبتاً باریک، بر نتایج تعیین گرانروی ظاهری تأثیر می‌گذارد. در نتیجه توصیه می‌شود که اسپیندل‌ها را در فواصل زمانی معین با روغن مرجع، کالیبره کنید به ویژه اگر در آن‌ها، لنگی مشاهده گردد.

یادآوری- روغن مرجع و دماهای کالیبراسیون براساس گستره گرانروی و دمای مورد نیاز برای تعیین گرانروی انتخاب می‌شوند. روغن‌های مرجع با گرانروی‌کمتر از ۱۰۰۰۰۰ mPa.s ترجیح داده می‌شوند و برای استفاده آسان‌تر هستند.

۷-۳ کاربرد ویژه روغن‌های مرجع برای اطمینان از کنترل دما در محفظه‌های هوای سرد به علت باز و بسته‌کردن دریچه محفظه هوا

یادآوری- باز و بسته‌کردن دریچه محفظه هوای سرد ممکن است بر کنترل دمای نمونه اثر گذارد بنابراین بین آزمون‌ها، زمان بیشتری لازم است تا دمای محفظه دوباره ثابت شود در این‌صورت این امر مشکلی ایجاد نمی‌کند.

۷-۳-۱ دو استاتور را با مقدار مناسبی(بند ۸-۲-۱ را ببینید) از یک سیال مرجع پرکنید و در زمان قراردادن نمونه‌ها در محل قرارگیری(بند ۸-۲-۱ را ببینید)، استانورهای دارای سیال مرجع را در ابتدا و انتهای هر سری نمونه[1] قرار دهید.

۷-۳-۲ اگر زمانی‌که یک سری از نمونه‌ها آزمون می‌شوند، اختلاف گرانروی‌های نشان داده شده برای دو نمونه مرجع بیش از مقدار تکرارپذیری روش آزمون باشد، به اختلاف توجه کنید و در انجام سری متوالی نمونه‌ها، زمان بیشتری بین آزمون هر نمونه درنظر بگیرید.

۸ روش‌های مختلف سردکردن نمونه

۸-۱ آماده‌سازی محفظه هوای سرد و تنظیم دمای عملکرد

۸-۱-۱ تنظیم دمای آزمون در محفظه هوای سرد

۸-۱-۱-۱ صفحه دوار را در حالی‌که خاموش است، در موقعیت عملکردی مناسب تنظیم کنید سپس یک استاتور را تا عمق مشخص با نمونه شاهد(بند۶-۹) پرکنید و یک دماسنج که قادر به خواندن دما با دقت ۰/۱ ±°C است، در آن وارد کنید.

1- Sample set

۸-۱-۱-۲ به منظور پایش سرعت سردشدن نمونه‌های روغن و به ویژه دمای نهایی محفظه هوای سرد، نمونه شاهد را در مرکز محل قرارگیری نمونه قرار دهید.

۸-۱-۱-۳ محفظه هوای سرد را ببندید و با استفاده از کنترل‌کننده دما، سیستم سرمایش را روشن کنید و اجازه دهید دمای محفظه همان‌طور که توسط نمونه شاهد نشان داده شده است، به تعادل دمایی برسد. بهتر است که در فواصل زمانی معین، دمای محفظه را ضمن سردشدن نمونه، یادداشت کنید. درصورتی‌که خواندن دماسنج مشکل است، از یک دماسنج دیجیتال دقیق استفاده کنید.

۸-۱-۱-۴ پس از این‌که نشان‌گر دمایی محفظه هوای سرد، تنظیم شد تا به دمای مورد نظر نمونه شاهد برسد و آن را حفظ کند، دمای نشان داده شده توسط کنترل‌کننده دمای محفظه(که ممکن است دقیقاً مطابق دمای نمونه شاهد نباشد)، دمای تنظیم شده محفظه خواهد بود و برای انجام آزمون‌های بیشتر در این دما استفاده می‌شود.

۸-۱-۱-۵ اگر در تنظیم دمای محفظه هوای سرد، لازم است که دمای نمونه شاهد را به دمای موردنظر برسانید، باتوجه به آرایش و ظرفیت محفظه ویژه هوای سرد، حداقل h ۱ یا بیشتر زمان لازم است تا دوباره تعادل دمایی برقرار شود. دمای حمام را در زمان آزمون نمونه‌ها تنظیم نکنید.

یادآوری- اگر در این روش آزمون از بیش‌تر از یک دمای محفظه هوای سرد برای ارزیابی خواص روغن‌ها در دمای پایین استفاده می‌شود، لازم است که تنظیمات دمایی محفظه به خوبی انجام گردد.

۸-۲ آماده‌سازی و غوطه‌وری نمونه در محفظه هوای سرد یا حمام مایع

۸-۲-۱ برای آزمون نمونه‌ها در محفظه هوای سرد، به دو نمونه از هر سیال، نیاز است(یادآوری و بند ۹-۳ را ببینید). این امر در مورد حمام‌های مایع لازم نیست.

یادآوری– در مراحل تنظیم سرعت اسپیندل، برای نمونه‌هایی که به منظور دست‌یابی به بهترین حساسیت در حین آزمون، گرم می‌شوند، ملاحظاتی وجود دارد. برای دست‌یابی به صحت بیشتر، درصورت استفاده از محفظه‌های هوای سرد و حامل‌های چوبی بهتر است که دو نمونه از همان سیال را آزمون کنید. با نمونه اول، بهترین سرعت اسپیندل را تعیین کنید و سپس با اندازه‌گیری گرانروی نمونه دوم در سرعت مناسب، اطلاعات مربوط به گرانروی نمونه را به دست آورید(بند ۹-۳).

۸-۲-۲ ظرف محتوی نمونه را به شدت تکان دهید و سپس استاتور شیشه‌ای را تا خط نشانه(شکل ۲) پرکنید. اگر استاتور فاقد نشانه باشد، آن را با مقدار مناسبی از روغن آزمون، پرکنید تا در دمای آزمون، نشان غوطه‌وری در محل مناسب قرار گیرد.

۸-۲-۱ درصورت استفاده از محفظه‌های هوای سرد، ضروری است که سیالات مرجع مناسبی با مقادیر گرانروی تقریباً نزدیک به گرانروی نمونه در ابتدا و انتهای هر مرحله مورد آزمون قرار بگیرند(و نتایج

یادداشت شوند) تا هرگونه تغییر دمای نمونه که ناشی از بازکردن مکرر این محفظه‌ها می‌باشد، مشخص گردد(بند ۷-۳ را ببینید). گرانروی نمونه نمی‌تواند به عنوان راهنمایی برای تنظیم دمای حمام به کار رود، تنها این اصمینان را می‌دهد که دمای حمام در حین انجام آزمون، دستخوش تغییر نشده است. تغییر دمای ظاهری آزمون بین دو آزمون متوالی نباید از $0/4\ ^{\circ}C$ بیشتر شود. دمای ظاهری آزمون نیز باید در محدوده $\pm 0/3\ ^{\circ}C$ نسبت به دمای تنظیم شده برای آزمون باشد.

یادآوری- سیالات مرجع نیازی به آماده‌سازی پیش از آزمون ندارند اما در هر حال این سیالات را نیز مانند دیگر نمونه‌ها آزمون کنید. در پیوست **ت**، محاسبه دمای ظاهری آزمون با استفاده از گرانروی سیال مرجع و داده‌های سرعت اسپیندل(r/min) شرح داده می‌شود.

۸-۲-۳ برای سیالاتی با گرانروی پایین‌تر، نمونه‌های آزمون را در استاتور تا دمای $^{\circ}C$ (۳±۵۰) به مدت min (۵±۳۰) پیش‌گرم کنید. هر نمونه را با دقت و به صورت کامل با ورق آلومینیم یا یک غلاف انگشتی لاستیکی و یا غیره بپوشانید.

۸-۲-۴ برای سیالاتی با گرانروی بالاتر، نمونه‌های آزمون را در استاتور تا دمای $^{\circ}C$ (۳±۹۰) به مدت min (۵±۳۰) پیش‌گرم کنید.

یادآوری– مرحله پیش‌گرم‌سازی در این روش آزمون و دیگر روش‌های مشابه با دمای بحرانی پایین، از اهمیت بالایی برخوردار است. این مرحله به منظور حذف اثرات ناشی از دمای پایین آزمون قبلی یا تغییرات ساختار روغن انجام می‌شود. ممکن است برای روغن‌هایی با گرانروی بالاتر، دماهای بالاتر و زمان‌های طولانی‌تر پیش‌گرم‌سازی مورد نیاز باشد.

۸-۲-۵ ظروف آزمون را از منبع پیش‌گرم‌کننده بردارید و اجازه دهید تا به دمای محیط $^{\circ}C$ (۳±۲۵) برسند و سپس پوشش ذکرشده در بند ۸-۲-۳ را بردارید(هنگام جابجایی استاتورهای داغ، مراقب باشید).

۸-۲-۶ سرپوش ظرف آزمون(شکل۳) را توسط اسپیندلی که با گیره نگه‌داری شده است، طبق شکل ۳ بر روی استاتور قرار دهید.

۸-۲-۷ نشان غوطه‌وری اسپیندل(شکل۱) باید کمی زیر سطح مایع قرار گیرد تا پس از منقبض‌شدن روغن در اثر سردشدن، سطح روغن به خط نشانه برسد.

یادآوری۱- این عمل، به‌هم‌ریختگی و تلاطم ایجاد شده بر روی نمونه را پیش از اندازه‌گیری گرانروی، کاهش می‌دهد.

یادآوری۲- اسپیندل‌ها و وسایل را همیشه با احتیاط، استفاده و نگه‌داری کنید. به منظور دست‌یابی به بیشترین دقت و صحت، اسپیندل را در فواصل زمانی معین توسط روغن مرجع(بند ۷) کالیبره کنید. از اسپیندل خیلی خمیده یا معیوب استفاده نکنید.

۸-۳ قراردادن و جابجایی نمونه‌ها و دیگر تجهیزات برای سردکردن و آزمون

۸-۳-۱ محفظه هوای سرد

۸-۳-۱-۱ درصورت استفاده از محفظه هوای سرد، در ابتدا و انتهای هر سری نمونه(بند ۷-۳)، ظروف آزمون را به همراه نمونه سیال مرجع، درون محل قرارگیری نمونه در صفحه دوار قرار دهید و روغن شاهد نشان‌دهنده دما را در مرکز این محل بگذارید(بند ۸-۱-۱-۲).

۸-۳-۱-۲ تعدادی حامل چوبی(شکل ۴) را درون محفظه‌های هوای سرد در موقعیت‌هایی قرار دهید که باعث محدودشدن جریان هوای اطراف نمونه‌های آزمون درون محفظه نشوند. دریچه محفظه را ببندید و صفحه دوار و دمنده هوا را روشن کنید.

۸-۳-۱-۳ نمونه‌ها و قالب‌های چوبی را به مدت h ۱۶ سرد کنید.

۸-۳-۲ استفاده از محفظه هوای سرد با فروبری نهایی در حمام مایع

۸-۳-۲-۱ زمانی‌که نمونه‌ها به منظور فروبری نهایی به حمام مایع منتقل می‌شوند، حداقل h ۲ پیش از شروع آزمون، دمای حمام مایع را به دمای معادل دمای روغن شاهد(بندهای ۸-۱-۱-۲ و ۸-۳-۱-۱) در محفظه هوای سرد برسانید.

۸-۳-۲-۲ در پایان مدت h ۱۵٫۵ سردکردن نمونه در محفظه هوای سرد، با استفاده از حامل‌های چوبی، برای فروبری نهایی، همه نمونه‌ها را به مدت نیم ساعت به سرعت به حمام مایع منتقل کنید. سه یا چهار حامل چوبی را دوباره در محفظه هوای سرد قرار دهید و به آن‌ها اجازه دهید تا به دمای نهایی محفظه‌های هوای سرد برسند.

۸-۳-۳ حمام مایع برنامه‌ریزی‌شده

۸-۳-۳-۱ درصورت استفاده از حمام مایع برنامه‌ریزی‌شده، نمونه‌های از پیش‌گرم شده در ظروف آزمون را در موقعیت مناسب، در حمام با دمای اتاق قرار دهید(بند ۸-۶ را در مورد حمام‌های مایع سردکننده برنامه‌ریزی‌شده ببینید).

۸-۳-۳-۲ دمای حمام باید توسط یک دماسنج آنالوگ یا دیجیتال جداگانه با دقت $\pm ۰٫۱\ ^{\circ}C$ که نزدیک ظروف آزمون قرار داده می‌شود، کنترل شود(بند ۶-۹ را ببینید).

۸-۳-۴ حمام مایع با دمای ثابت با ظروف آزمون SimAir

۸-۳-۴-۱ درصورت استفاده از یک حمام مایع با دمای ثابت با استاتورهای SimAir، دمای حمام را به دمای موردنظر برسانید و مطمئن شوید که در محدوده $\pm ۰٫۱\ ^{\circ}C$ آن دما، ثابت است. دمای حمام باید توسط یک دماسنج آنالوگ یا دیجیتال جداگانه با دقت $\pm ۰٫۱\ ^{\circ}C$ که نزدیک ظروف آزمون قرار داده می‌شود، کنترل شود(بند ۶-۹ را ببینید).

۸-۳-۴-۲ نمونه‌ها را در هر بار آزمون، ۱۶ h در حمام قرار دهید.

یادآوری– استاتورهای SimAir را می‌توان در هر زمانی در حمام مایع قرار داد اما برای اجتناب از اختلال در کنترل دما، بهترین اقدام این است که هیچ نمونه‌ای را هم‌زمان با انجام آزمون بروکفیلد، وارد حمام نکنید.

۸-۴ آماده سازی ویسکومتر بروکفیلد

۸-۴-۱ ویسکومتر را توسط حباب تراز قرارگرفته بر روی دستگاه، به طور عمودی، همتراز کنید.

یادآوری– ضروری است که ویسکومتر در زمان اندازه‌گیری به صورت عمودی باشد و بهتر است عمود بودن آن در زمان انجام آزمون یک سری نمونه، در فواصل زمانی معین، دوباره بررسی شود.

۸-۴-۲ پس از روشن‌کردن دستگاه، ویسکومتر را بدون اسپیندل، صفر کنید.

۸-۴-۲-۱ در مدل‌های دیجیتال بروکفیلد، از گزینه صفرنمودن خودکار موجود در برنامه دستگاه استفاده کنید(دستورالعمل سازنده را ببینید).

۸-۴-۳ در مورد ویسکومترهای بروکفیلد آنالوگ، برای محاسبه گرانروی، گستره کاملی از درصد گشتاور که بر روی نشان‌گر دستگاه نشان داده می‌شود را به کار برید و این عدد را در ضریب عمومی تقریبی به کار رفته(که برای هر سرعت در جدول ۲ مشخص شده است) ضرب کنید و یا درصورت کالیبره بودن اسپیندل، برای دست‌یابی به بیشترین دقت و صحت، با استفاده از پیوست **پ**، ضریب کالیبراسیون به دست آمده مربوط به هر اسپیندل را به کار برید.

هشدار– درصورتی‌که کلید انتخاب اسپیندل را تا مدت ۲ s پس از انتخاب، فشار ندهید، اطلاعات مربوط به آخرین اسپیندل استفاده شده، ذخیره می‌شود و بنابراین ممکن است منجر به انتخاب نادرست اسپیندل شود.

۸-۴-۴ برای ویسکومترهای بروکفیلد دیجیتال، تنظیمات اسپیندل(S ۶۴) مخصوص اسپیندل‌های شماره ۴ و ۴B۲ و اسپیندل‌های کامپوزیت نشان داده شده در شکل ۱ را انتخاب کنید. پس از انتخاب، به سرعت دوباره کلید انتخاب اسپیندل را فشار دهید تا تغییرات ذخیره شوند.

۸-۴-۴-۱ در ویسکومترهای دیجیتال می‌توان گرانروی را برحسب cP و گستره کاملی از درصد گشتاور کامل را بر روی صفحه اطلاعات مشاهده نمود. گستره کاملی از درصد گشتاور برای کالیبراسیون اسپیندل(پیوست پ را ببینید) و انتخاب سرعت صحیح برای خواندن گرانروی با روغن آزمون یا روغن مرجع(بند ۹-۱) استفاده می‌شود.

۸-۵ روش آزمون برای محفظه‌های هوای سرد

۸-۵-۱ پس از قراردادن نمونه‌های آزمون در محل قرارگیری در صفحه دوار و در حمام با دمای موردنظر(بند ۸-۳-۱-۱)، زمان‌سنج را به مدت h ۱۶ روشن کنید.

۸-۵-۲ پس از آن‌که نمونه‌های آزمون به مدت h ۱۶ در محفظه هوای سرد قرارگرفتند، سطح ویسکومتر را بررسی کنید تا مطمئن شوید دستگاه همچنان تراز است(بند ۸-۴ را ببینید) و سپس ویسکومتر را دوباره صفر کنید(بند ۸-۴-۲ را ببینید).

۸-۵-۳ نمونه های آزمون را به صورت جداگانه منتقل و طبق روش زیر، آزمون کنید.

۸-۵-۳-۱ دمای نمونه شاهد را یادداشت کنید. اگر دما در محدوده $\pm ۰/۳$ °C دمای موردنظر نباشد، تنظیمات محفظه هوای سرد را به‌گونه‌ای تغییر دهید که دمای موردنظر را حاصل کند. حداقل h ۱ صبر کنید تا دمای نمونه شاهد به دمای مورد نظر برسد.

۸-۵-۳-۲ هر نمونه را به نوبت آزمون کنید. پیش از بازکردن محفظه هوای سرد، ابتدا چرخش صفحه دوار را متوقف و دمنده هوا را خاموش کنید و اجازه دهید تا کاملاً متوقف شوند.

۸-۵-۳-۳ محفظه هوای سرد را باز کنید و ظرف آزمون را که از نظر دمایی آماده شده است، داخل حامل عایق ظرف آزمون با دمای مورد نظر قرار دهید و ظرف آزمون عایق را از محفظه هوای سرد بردارید. هربار بیش از یک نمونه را برندارید.

۸-۵-۳-۴ دریچه محفظه هوای سرد را به سرعت ببندید و دوباره صفحه دوار و دمنده هوا را روشن کنید.

۸-۵-۳-۵ حامل عایق ظرف آزمون و نمونه را به ویسکومتر انتقال دهید.

۸-۵-۳-۶ ظرف آزمون را زیر ویسکومتر قرار دهید و مهره اسپیندل را با مهره اتصال ویسکومتر تنظیم و اسپیندل را با استفاده از یک وسیله اتصال سریع یا با پیچاندن اسپیندل به دور رزوه شفت چرخان[1] با حداقل به‌هم‌ریختگی و تلاطم نمونه به ویسکومتر متصل کنید. توجه کنید که این اتصال از نوع رزوه چپ گرد است.

1- Drive shaft

۸-۵-۳-۷ گیره اسپیندل را بردارید.

۸-۵-۳-۸ با مشاهده دریچه‌های حامل چوبی، ارتفاع اسپیندل را توسط کلید تنظیم وضعیت عمودی، بر روی محل قرارگیری ویسکومتر به‌گونه‌ای تنظیم کنید که نشان‌گر غوطه‌وری اسپیندل(شکل ۱ را ببینید) هم‌تراز با سطح روغن باشد. به منظور تنظیم آسان نشان‌گر غوطه‌وری اسپیندل، یک منبع نوری نسبتاً سرد مانند یک چراغ قوه یا نور دیود(لامپ دو قطبی) را در پشت یکی از دریچه‌های حامل ظرف آزمون قرار دهید و موقعیت اسپیندل را از طرف دیگر مشاهده کنید.

یادآوری- از غوطه‌وری اسپیندل در ارتفاع مناسب در نمونه‌ها مطمئن شوید. به منظور دست‌یابی به تکرارپذیری و تجدیدپذیری خوب، ضروری است که اسپیندل تا ارتفاع مناسب در نمونه غوطه‌ور شود. داده‌ها نشان داده‌اند که انحراف حتی به مقدار ۱/۲ mm از نشان غوطه‌وری، منجر به ایجاد خطا در مقادیر گرانروی می‌شود.

۸-۵-۳-۹ اسپیندل را در مرکز سوراخ بالایی سرپوش ظرف آزمون قرار دهید تا در مراحل اندازه‌گیری، هیچ قسمتی از اسپیندل در تماس با سوراخ سرپوش نباشد.

۸-۵-۴ روش خواندن نتایج از ویسکومتر

۸-۵-۴-۱ برای انتخاب و تنظیم سرعتی(r/min) که اسپیندل بیشترین مقدار گشتاور را بر روی قسمت کنترل‌کننده ویسکومتر بروکفیلد ایجاد می‌کند، به جدول ۲ رجوع کنید(بند ۹ را ببینید).

۸-۵-۴-۲ دوباره مطمئن شوید که نشان‌گر غوطه‌وری بر روی روتور، با هلالی سطح روغن، هم‌سطح باشد. موتور ویسکومتر را روشن کنید و سرعت اسپیندل را فوراً به‌گونه‌ای تنظیم کنید که گستره کاملی از درصد گشتاور بین ۴۰~ درصد تا ۸۰ درصد(۵۰ درصد مطلوب است)را بر روی ویسکومتر ایجاد کند. ویسکومترهای آنالوگ فقط گستره کاملی از درصد گشتاور را اندازه‌گیری می‌کنند درحالی‌که برخی ویسکومترهای دیجیتال، هم‌زمان گرانروی را برحسب cP و گستره کاملی از درصد گشتاور را ارائه می‌دهند(بند ۸-۴-۴-۱ را ببینید).

۸-۵-۴-۳ درصورت استفاده از محفظه‌های هوای سرد، انتقال و انتخاب سرعت اسپیندل ممکن است منجر به گرم‌شدن جزئی نمونه شود. به همین دلیل دو نمونه در دمای آزمون سرد می‌شوند. نمونه اول برای یافتن سرعت بهینه اسپیندل و نمونه دوم براساس تنظیمات مشخص شده، آزمون می‌شود(بند ۸-۲-۱ و بند ۹ را ببینید).

۸-۵-۵ تعیین گرانروی سیال آزمون

۸-۵-۵-۱ درصورت استفاده از اسپیندل کالیبره شده، پس از بهینه‌سازی سرعت اسپیندل، بیشترین گشتاور مشاهده شده و سرعت چرخشی اسپیندل را یادداشت کنید. درصورت استفاده از یک ویسکومتر دیجیتال با قرائت مستقیم گرانروی، بیشترین مقدار گرانروی را بخوانید. با استفاده از این دو مقدار و ضریب

کالیبراسیون تعیین شده برای اسپیندل خاص از پیوست **پ**، گرانروی سیال آزمون را با استفاده از معادله زیر، محاسبه کنید:

گرانروی = (گشتاور × ضریب کالیبراسیون) + سرعت اسپیندل(r/min)

۸-۵-۵-۲ درصورت استفاده از روش استاندارد برای تعیین گرانروی، پس از بهینه‌سازی سرعت اسپیندل، بیشترین گشتاور مشاهده شده و ضریب ذکرشده در جدول ۲ برای سرعت چرخشی به کار رفته را یادداشت و با استفاده از معادله زیر، گرانروی سیال را محاسبه کنید. درصورت استفاده از ویسکومتر دیجیتال با قرائت مستقیم گرانروی، بیشترین مقدار گرانروی را بخوانید.

گرانروی = (ضریب جدول ۲ برای سرعت اسپیندل(r/min) مورد استفاده) × گشتاور

۸-۵-۵-۳ درصورت استفاده از محفظه‌های هوای سرد، به منظور دست‌یابی به بیشترین دقت، آزمون باید ۳۰ s پس از برداشتن نمونه از محفظه هوای سرد آغاز شود. همه اندازه‌گیری‌های حمام باید در کمتر از ۶۰ s، یک بار که موتور شروع به کار می‌کند و سرعت بهینه برقرار می‌شود(یا ۹۰ s برای نمونه‌هایی با گرانروی بیش از ۱۵۰۰۰۰ mPa.s) انجام شود. برای ویسکومترهای دیجیتال، بیشترین گرانروی را که در فواصل زمانی معین اندازه‌گیری، یادداشت می‌کنید، به کار ببرید. دو عدد را بخوانید و مقدار بیشتر را یادداشت کنید(جدول ۲ را برای انتخاب گرانروی/ سرعت ببینید).

یادآوری۱- ویسکومترهای بروکفیلد دیجیتال، فقط توانایی عملکرد تا سرعت ۱۲۰ r/min را دارند. دستگاه‌های آنالوگ نیز تا سرعت ۶۰ r/min محدود هستند.

یادآوری۲- برای اندازه‌گیری سیالاتی با گرانروی کمتر، نظیر سیالات هیدرولیک، بسیار ضروری است که اسپیندل‌ها را با استفاده از روش ذکرشده در پیوست **چ**، کالیبره کنید تا بهینه‌سازی و انجام آزمون با دو نمونه سیال آزمون(زمان استفاده از حمام هوای سرد) به خوبی انجام شود.

۸-۵-۵-۴ گرانروی(mPa.s)، سرعت اسپیندل(r/min) و دمای آزمون(°C) را یادداشت کنید.

۸-۵-۶ استفاده از یک حمام مایع برای فروبری نهایی و انجام آزمون پس از آماده‌شدن نمونه‌ها در یک حمام هوا

۸-۵-۶-۱ درصورت استفاده از یک حمام مایع با دمای ثابت، ضروری نیست که در ابتدا و انتهای آزمون از روغن‌های مرجع طبق بند ۸-۲-۲-۱ استفاده کنید. فقط یک مقدار اولیه از گرانروی برای آزمون لازم است که برای تنظیم دما به کار نمی‌رود؛ اما برای آگاهی از این که همه چیز در مجموعه(که شامل دما، ویسکومتر، اسپیندل و غیره می‌باشد) به طور صحیح کار می‌کند، به کار می‌رود. اگر گرانروی روغن مرجع در محدوده دقت آزمون نباشد، آزمون باید با هر تصحیح مکانیکی انجام شده، تکرار شود.

۸-۵-۶-۲ دمای حمام مایع را h ۲ پیش از استفاده از حمام، برای نیم‌ساعت فروبری نهایی تنظیم کنید. مطمئن شوید که دمای حمام ثابت است و دماسنج به صورت دقیق، مقدار مناسب را نشان می‌دهد.

۸-۵-۶-۳ قسمت کنترل‌کننده ویسکومتر بروکفیلد را برای آزمون، تراز و سپس بر روی صفر تنظیم کنید(بند ۸-۴-۱ را ببینید).

۸-۵-۶-۴ زمانی‌که h ۱۵/۵(مدت زمان قرارگیری نمونه آزمون در محفظه هوای سرد) پایان یافت و محفظه هوای سرد و حمام مایع هم‌دما شدند، نمونه‌های آزمون را به حامل‌های چوبی از پیش‌سردشده (بند ۸-۳-۱-۲) انتقال و برای فروبری نهایی آزمون به مدت نیم‌ساعت در حمام مایع قرار دهید. حامل‌های چوبی را برای دوباره سردشدن و استفاده مجدد، به سرعت به محفظه هوای سرد بازگردانید.

۸-۵-۶-۵ ظرف آزمون را زیر ویسکومتر قرار دهید و درصورت دسترسی به اسپیندل، آن را با استفاده از یک وسیله اتصال سریع(شکل۳) و یا پیچاندن اسپیندل به دور رزوه شفت چرخان به ویسکومتر متصل کنید. توجه کنید که این اتصال از نوع رزوه چپ گرد است.

۸-۵-۶-۶ گیره اسپیندل را به‌گونه‌ای بردارید که کمترین به‌هم‌ریختگی و تلاطم در نمونه حاصل شود.

۸-۵-۶-۷ نشان‌گر غوطه‌وری اسپیندل را بر روی سطح سیال آزمون، تنظیم کنید (یادآوری ۲ بند ۸-۵-۵-۳ را ببینید).

۸-۵-۶-۸ مطمئن شوید که اسپیندل در مرکز است و با کناره های سوراخ سرپوش ظرف آزمون در تماس نمی‌باشد.

۸-۵-۶-۹ برای تعیین گرانروی روغن آزمون، بند ۸-۵-۴ را دنبال کنید.

یادآوری- درصورت استفاده از حمام مایع با دمای ثابت برای حفظ دمای نمونه آزمون، محدودیت زمانی(طبق بند ۸-۵-۴-۳) در به دست آوردن گشتاور(به جز همه سری‌های آزمون که نیازمند انجام در h ۲ هستند) وجود ندارد به‌شرطی که حداکثر زمان قرارگیری نمونه در محفظه هوای سرد، از h ۱۸، بیشتر نشود.

۸-۶ روش آزمون برای حمام‌های مایع برنامه‌ریزی‌شده

۸-۶-۱ طبق پیوست **ب**، دما را با شیب مناسب برنامه‌ریزی کنید.

۸-۶-۲ ظروف آزمون محتوی نمونه که از پیش‌گرم شده و در جای خود قرار گرفته‌اند را در حمام قرار دهید و برنامه کنترل‌کننده را شروع کنید.

۸-۶-۳ پس از h ۱۵ فروبری، دمای حمام را با دماسنج تأیید شده در نزدیکی ظروف نمونه بررسی کنید. اگر دما در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۱± نباشد اما هنوز در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۳± است، دمای صحیح را تنظیم کنید و h ۱ پیش از آزمون، صبر کنید. اگر دما در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۳± نباشد، دما باید تصحیح و کل آزمون تکرار شود.

۸-۶-۴ پس از h ۱۶، نمونه‌ها را با استفاده از روش‌های ارائه شده(طبق بند ۸-۵-۴)، آزمون و گرانروی را با استفاده از بند ۸-۵-۵ محاسبه کنید.

۸-۷ روش آزمون برای حمام‌های مایع با دمای ثابت با استفاده از استاتورهای SimAir

۸-۷-۱ بند ۸-۲ را انجام دهید.

۸-۷-۲ پس از h ۱۵ فروبری، دمای حمام را با دماسنج تأییدشده(بند ۶-۹) در نزدیکی ظروف نمونه بررسی کنید. اگر دما در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۱± نباشد اما هنوز در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۳± است، دمای صحیح را تنظیم کنید و h ۱ پیش از آزمون، صبر کنید. اگر دما در محدوده $^{\circ}C$ ۰٫۳± نباشد، دما باید تصحیح و کل آزمون تکرار شود.

۸-۷-۳ هر نمونه آزمون را h ۱۶ پس از غوطه‌وری، طبق بند ۸-۵-۴ آزمون کنید.

۸-۷-۴ گرانروی نمونه آزمون را طبق بند ۸-۵-۵ محاسبه کنید.

۸-۸ پس از انجام آزمون براساس هریک از چهار روش ذکرشده، ظروف آزمون را خالی کنید و همه قسمت‌های آن را با یک حلال هیدروکربنی مناسب، تمیز کنید و مطمئن شوید که همه قسمت‌ها، تمیز و عاری از روغن هستند.

۹ انتخاب سرعت اسپیندل(r/min)

۹-۱ چون ممکن است روان‌کننده‌ها و سیالات در دماهای پایین غیرنیوتنی باشند، سرعت انتخاب شده اسپیندل برای اندازه‌گیری گرانروی سیال آزمون می‌تواند بر نتایج به دست آمده، تأثیر زیادی بگذارد(پیوست **ث** را ببینید). به همین دلیل برای دست‌یابی به بهترین دقت، بهتر است گرانروی سیال را در بالاترین سرعت چرخشی که مقدار گشتاور مجاز را حاصل می‌کند، به دست آورید. در هرصورت زمانی‌که نمونه نامعلوم است، آزمون را در سرعت پایین‌تر آغاز و به تدریج سرعت را افزایش دهید و تنظیم کنید تا مقدار گشتاور بیش از ۲۰ درصد شود.

۹-۲ اگر گرانروی ظاهری مورد انتظار معلوم باشد، بیشترین سرعت اسپیندل مربوط به گستره گرانروی معلوم را به کار ببرید. برای انتخاب سرعت مناسب اسپیندل(r/min)، از جدول ۲ استفاده کنید.

۹-۲-۱ اگر گستره کاملی از درصد گشتاور بیش از ۲۰ درصد نباشد، سرعت اسپیندل را افزایش دهید و سرعت بیشتر بعدی را از جدول ۲ انتخاب کنید.

۹-۳ درصورت استفاده از محفظه هوای سرد برای آزمون نمونه، اگر گستره گرانروی مورد انتظار نمونه نامعلوم است، از اولین نمونه برای تعیین بیشترین سرعت اسپیندل(r/min)(که در آن ویسکومتر نتایج قابل‌قبولی را ارائه می‌دهد) استفاده کنید. این عمل با افزایش مرحله‌ای سرعت از ۰٫۶ r/min تا ۱۰۰ r/min انجام می‌شود. سپس نمونه دوم را در سرعت تعیین‌شده قبلی، آزمون کنید و فقط این نتیجه را گزارش دهید.

۱۰ محاسبه

۱۰-۱ گرانروی را در دمای آزمون نمونه روغن یا روغن مرجع طبق بندهای ۸-۵-۴ و ۸-۵-۵ محاسبه کنید.

۱۰-۲ تنش برشی و سرعت برشی در سطح اسپیندل بروکفیلد را می‌توان با استفاده از روش ارائه شده در پیوست **چ** به دست آورد.

۱۱ دقت و اریبی[1]

۱۱-۱ بیان دقت

۱۱-۱-۱ دقت

دقت این روش آزمون با استفاده از حمام هوا و محاسبات آماری مربوط به نتایج آزمون‌های بین آزمایشگاهی در گستره دمایی از ۱۸- $^{\circ}C$ تا ۴۰- $^{\circ}C$ و گستره گرانروی از ۱۰۰۰ mPa.s تا ۹۰۰۰۰۰ mPa.s به شرح زیر تعیین شده‌است:

۱۱-۱-۲ تکرارپذیری

اختلاف بین دو نتیجه آزمون به‌دست آمده از یک آزمایشگر با همان وسایل و شرایط ثابت بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی و اجرای صحیح و معمول طبق این روش آزمون، فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقادیر زیر بیشتر شود:

۳٫۴ درصد میانگین دو نتیجه = تکرارپذیری

1- Bias

۱۱-۱-۳ تجدیدپذیری

اختلاف بین دو نتیجه آزمون منفرد و مستقل به‌دست آمده از آزمایشگرهای متفاوت در آزمایشگاه‌های مختلف بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی، فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقادیر زیر بیشتر شود:

۲۰٫۶ درصد میانگین دو نتیجه = تجدیدپذیری

۱۱-۱-۴ دقت

دقت این روش آزمون با استفاده از حمام مایع و استاتور SimAir با استفاده از محاسبات آماری مربوط به نتایج آزمون‌های بین آزمایشگاهی در گستره دمایی از ۱۸°C- تا ۴۰°C- و گستره گرانروی از ۱۰۰۰ mPa.s تا ۹۰۰۰۰۰ mPa.s به شرح زیر تعیین شده‌است:

۱۱-۱-۴-۱ تکرارپذیری

اختلاف بین دو نتیجه آزمون به‌دست آمده از یک آزمایشگر با همان وسایل و شرایط ثابت بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی و اجرای صحیح و معمول این روش آزمون، فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقادیر زیر بیشتر شود:

۱۱٫۰ درصد میانگین دو نتیجه = تکرارپذیری

۱۱-۱-۴-۲ تجدیدپذیری

اختلاف بین دو نتیجه آزمون منفرد و مستقل به‌دست آمده از آزمایشگرهای متفاوت در آزمایشگاه‌های مختلف بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی، فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقادیر زیر بیشتر شود:

۲۸٫۵ درصد میانگین دو نتیجه = تجدیدپذیری

۱۱-۱-۴-۳ اریبی

بین گرانروی ظاهری اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه‌هایی با سیستم‌های سردکننده مختلف، اریبی مشخصی وجود ندارد.

۱۱-۲ ملاحظات عمومی

۱۱-۲-۱ خلاصه‌ای از مطالعه بین آزمایشگاهی– مطالعه بین آزمایشگاهی توسط ۱۲ آزمایشگاه شرکت کننده بر روی هفت نمونه با گستره گرانروی از ۱۰۰۰ mPa.s تا ۹۰۰۰۰۰ mPa.s در دمای آزمون از ۱۸ °C- تا

$^{\circ}C$ -۴۰ انجام شد. دقت گرانروی در گستره ۵۰۰ mPa.s تا ۱۷۰۰ mPa.s نظیر سیالات هیدرولیک در مطالعه بین آزمایشگاهی جداگانه‌ای نشان داده شده است که در پیوست **ح** شرح داده می‌شود.

۱۱-۲-۲ ویسکومترهای آنالوگ و دیجیتال بروکفیلد، هر دو برای آزمون با اسپیندل‌های کالیبره‌شده و کالیبره نشده استفاده شدند.

۱۲ گزارش آزمون

۱۲-۱ یک گزارش، عموماً شامل مشخصات سیال، گرانروی تعیین شده، دمای آزمون و سرعت اسپیندل است. داده‌های سرعت اسپیندل به منظور اطمینان از این که آزمایشگاه‌های مختلف، سرعت برشی یکسان را به کار می‌برند، موردنیاز است.

۱۲-۲ در مواردی‌که این روش آزمون بین آزمایشگاه‌ها به عنوان آزمون مرجع به کار می‌رود، گزارش کاملی شامل مشخصات سیال نیوتنی مرجع استفاده شده مشابه سیال آزمون، گرانروی مرجع آن در دمای اندازه‌گیری، گرانروی ظاهری آن که توسط آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌است، ضریب کالیبراسیون برای اسپیندل(پیوست **پ** را ببینید) و سرعت اسپیندل که آزمون با آن انجام می‌شود باید همراه داده‌های سیال آزمون طبق بند ۹ ذکر گردد.

یادآوری– به منظور اطمینان از این که آزمایشگاه‌های مختلف از نظر دما، سرعت برشی و شرایط گرانروی، یکسان عمل می‌کنند، داده‌های مربوط به سیال مرجع مورد نیاز است.

پیوست الف

(الزامی)

استفاده از نمودار گرانروی بروکفیلد بر حسب دما برای درون‌یابی داده‌ها

الف-۱ در برخی موارد ممکن است گرانروی بروکفیلد در یک دما، به قدرکافی رفتار در دمای پایین و سرعت برشی پایین سیال روان کننده خودرو را مشخص نکند. در این موارد، مقادیر گرانروی بروکفیلد اغلب در دماهای دیگر ثبت و نمودار گرانروی- دما رسم می‌شود.

الف-۲ نمودار گرانروی بروکفیلد- دما، با اندازه‌گیری گرانروی بروکفیلد در حداقل سه دما و رسم نمودار خطی بر روی کاغذ گرانروی- دمای ASTM انجام می‌شود(استاندارد ملی ۲۸۰۱ را ببینید).

الف-۲-۱ گرانروی بروکفیلد در بالاترین سرعت اسپیندل که در آن، نتایج قابل قبولی بر روی نمایشگرهای ویسکومترهای آنالوگ یا دیجیتال ظاهر می‌گردد، اندازه‌گیری می‌شوند(بند ۹ را ببینید).

الف-۲-۲ در سرعت‌های مختلف اسپیندل، داده‌های ویسکومترهای بروکفیلد دیجیتال و آنالوگ نباید با یکدیگر مقایسه شوند.

الف-۳ زمانی‌که از نمودار گرانروی بروکفیلد برحسب دما برای درون‌یابی مقادیر گرانروی استفاده می‌شود، گرانروی درون‌یابی‌شده باید در محدوده گستره دمایی گرانروی اندازه‌گیری‌شده سیال باشد.

الف-۳-۱ چون ممکن است سیالات خودرو در دماهای پایین، ساختار ژل‌مانند غیرقابل‌انتظاری را تشکیل دهند بنابراین باید از برون‌یابی، خارج از گستره داده‌های گرانروی اندازه‌گیری شده، اجتناب نمود.

یادآوری- دمای ژل‌شدن نمونه‌های روغن، با استفاده از روش آزمون ASTM D5133(روش دیگر اندازه‌گیری بروکفیلد با استفاده از اسپیندل با قطر بزرگتر و فاصله کمتر اسپیندل و دیواره شیشه‌ای) قابل‌پیش‌بینی است.

الف-۳-۲ گرانروی بروکفیلد موجود در نمودارها(که در آزمون‌های مقایسه‌ای بین‌آزمایشگاه‌هی مورد استفاده قرار می‌گیرند) باید در سرعت به قدر کافی بالای اسپیندل(r/min) اندازه‌گیری شوند تا بهترین حساسیت اندازه‌گیری در هر دما و آزمایشگاهی حاصل شود.

یادآوری- به علت رفتار غیرنیوتنی سیال، گرانروی بروکفیلد به سرعت اسپیندل(r/min) بستگی دارد. ممکن است گرانروی‌های اندازه‌گیری‌شده در سرعت‌های مختلف اسپیندل در آزمایشگاه‌های متفاوت، اختلاف قابل‌توجهی با یکدیگر داشته باشند و در نتیجه باعث ایجاد خطا در محاسبات شوند.

پیوست ب

(الزامی)

مثال‌هایی از سرعت سردشدن نمونه در محفظه‌های هوای بروکفیلد

ب-۱ این پیوست به عنوان یک راهنما برای سازندگان محفظه سردشده بروکفیلد ارائه می‌گردد.

ب-۲ سرعت سردشدن نمونه در محفظه‌های بروکفیلد به این دلیل دارای اهمیت است که ساختار ژل‌مانند برخی سیالات خودرو، وابسته به زمان است و بنابراین بستگی به سرعت سردکردن دارد. این ساختار ژل‌مانند بر گرانروی بروکفیلد ظاهری تأثیر می‌گذارد.

ب-۳ دمای نمونه غوطه‌ور در یک حمام از قبل سرد شده، از معادله زیر پیروی می‌کند:

$$\frac{ds}{dt} = K(S - B) \qquad (ب-۱)$$

که در آن:

S دمای نمونه در زمان مشاهده؛

t زمان طی شده از آغاز سرد شدن؛

B دمای محفظه؛

K ثابت سردشدن با واحد معکوس زمان.

معادله ب-۱ تبدیل می‌شود به:

$$S - B = Ce^{kt} \qquad (ب-۲)$$

که در آن:

C ثابت عددی؛

e لگاریتم بر مبنای نپرین(۲٫۷۱۸۲+).

معادله ب-۲ به صورت معادله ب-۳ مطرح می‌گردد:

$$\ln\frac{(S-B)}{A} = \ln C + kt \qquad (ب-۳)$$

ب-۴ زمانی‌که دما برحسب درجه فارنهایت می‌باشد، نمونه در محفظه هوا با مقادیری از k که ممکن است بین ۰٫۱۲- و ۰٫۰۴۰-(حد وسط ۰٫۰۸-) باشد، سردمی‌شود. مقدار C، نشان‌دهنده اختلاف دمای حمام- نمونه در ابتدای زمان فروبری می‌باشد. در این آزمون، $\ln C$ باید بین ۴٫۴۵ تا ۴٫۸۰ قرار گیرد. محفظه‌هایی که

نمونه‌های آزمون را با سرعت‌های تعریف‌شده در این حدود، سرد می‌کنند و دیگر الزامات روش را دارا هستند، برای سنجش گرانروی بروکفیلد سیالات روان کننده خودرو، رضایت‌بخش می‌باشند.

پیوست پ

(الزامی)

کالیبراسیون اسپیندل‌ها با استفاده از سیالات نیوتنی مرجع

پ-۱ این پیوست، مراحل کالیبراسیون اسپیندل‌های جدید یا کارکرده را برای تعیین گرانروی بروکفیلد در دماهای پایین، ارائه می‌دهد. پس از کالیبراسیون طبق این روش، اسپیندل‌های غیرقابل‌قبول می‌توانند دوباره استفاده شوند(بند ۷-۲ را ببینید).

پ-۲ داده‌های آزمون نشان داده‌اند که اگر اسپیندل در شرایط مناسبی باشد، ضرایب عمومی در جدول ۲، قابل‌قبول هستند، اگرچه ممکن است اسپیندل‌ها در اثر افزایش لنگی، دچار برخی تغییرشکل‌های دائمی شوند(بند ۶-۲-۲ را ببینید). در این حالت، اسپیندل‌های تا اندازه‌ای خمیده را می‌توان پس از کالیبراسیون استفاده نمود.

یادآوری- مثال‌هایی از توافق بین ضرایب عمومی جدول ۲ و ضرایب حاصل از کالیبراسیون با اسپیندل‌های مناسب و تصحیح اسپیندل‌های غیرقابل‌قبول با کالیبراسیون، در جدول **پ-۱** نشان داده شده‌اند:

اسپیندل‌های مدل الف، پ و ت در جدول **پ-۱**، لنگی قابل‌قبولی دارند چون بین ضرایب عمومی(ستون۶) و ضریب حاصل از کالیبراسیون تقسیم بر سرعت اسپیندل(ستون ۱۰) توافق مناسبی وجود دارد. مناسب‌بودن توافق بین نتایج قبل و بعد از کالیبراسیون با مشاهده درصد خطا(ستون‌های ۸ و ۱۲) و مقایسه نتایج گرانروی قبل(ستون ۷) و بعد از کالیبراسیون(ستون ۱۱) با مقدار معلوم گرانروی(ستون ۲) در دمای آزمون(ستون۳) مشخص می‌شود. برای این سه مدل اسپیندل، گستره خطا قبل از کالیبراسیون از ۰٫۰ درصد تا ۹٫۴- درصد و پس از کالیبراسیون از ۰٫۱ درصد تا ۲٫۷- درصد است.

در مورد اسپیندل مدل ب که در مجموع دارای لنگی mm ۵ است، مقایسه مقدار واقعی گرانروی قبل از کالیبراسیون و مقدار به دست آمده با استفاده از ضریب عمومی نشان می‌دهد که با استفاده از ضریب عمومی، گستره خطا بین ۶۴٫۵ درصد تا ۷۰٫۴ درصد خواهد شد. هرچند پس از کالیبراسیون اسپیندل، خطا به گستره ۰٫۲- درصد تا ۲٫۳ درصد کاهش می‌یابد که در گستره قابل قبول خطا قرار دارد و نشان‌گر این است که با انجام کالیبراسیون می‌توان از این اسپیندل هم دوباره نتایج دقیقی به دست آورد.

پ-۳ انتخاب و کاربرد سیال مرجع برای کالیبراسیون

پ-۳-۱ یک روغن نیوتنی مرجع با گستره گرانروی– دمای مناسب برای آزمون نمونه‌های سیال نامعلوم را انتخاب کنید.

پ-۳-۱-۱ به علت ماهیت نیوتنی سیال، روغن مرجع نیوتنی انتخاب‌شده در همه دماها و گرانروی‌های ذکرشده بر روی برچسب روغن مرجع، قابل استفاده است.

پ-۴ ترجیحاً درصورت امکان، اسپیندل را در یک حمام مایع سردشده که دمای آن به درستی کنترل شده است، در دمای ذکرشده بر روی برچسب سیال کالیبراسیون، کالیبره کنید.

یادآوری- از محفظه‌های هوای سرد نیز می‌توان برای کالیبراسیون استفاده نمود اما به علت گرم‌شدن محفظه درزمان مشاهده و یادداشت داده‌ها، کالیبراسیون با دقت کمتری انجام می‌شود. این محدویت با توجه به الزامات دمای آزمون، قابل‌چشم‌پوشی است(یاد آوری بند **پ-۵-۶** را ببینید).

پ- ۵ روش کالیبراسیون

یادآوری- بهتر است که تعدادی از اسپیندل‌ها را با یک سیال مرجع کالیبراسیون، در یک زمان کالیبره کنید.

پ-۵-۱ برای مشخص‌شدن زمان بعدی کالیبراسیون و ردیابی اسپیندل‌ها، آن‌ها را علامت‌گذاری کنید.

پ-۵-۲ ظروف آزمون را تا سطح مناسب با سیال کالیبراسیون پرکنید. به علت ویژگی نیوتنی سیال، آماده‌سازی قبلی سیال لازم نیست(یادآوری بند ۸-۲-۴ را ببینید).

پ-۵-۳ دمای حمام مایع سردشده یا محفظه هوای سرد را به دمای مورد نظر برسانید.

پ-۵-۴ اجازه دهید ظروف آزمون کالیبراسیون به مدت h ۲ در دمای کالیبراسیون در حمام مایع سردشده فرو روند. همچنین لازم است نمونه‌ها را در طول شب در محفظه هوای سرد قرار دهید تا برای کالیبراسیون به دمای موردنظر برسند.

پ-۵-۵ با استفاده از روش‌های شرح داده شده در این روش آزمون، اسپیندل را به ویسکومتر متصل کنید و نشان‌گر غوطه‌وری را در سطح سیال کالیبراسیون تنظیم کنید.

پ-۵-۶ درصورت استفاده از حمام‌های مایع سردشده، گستره کاملی از درصد گشتاور را در پنج سرعت که قادر به پاسخ دادن گشتاور از ۵ درصد تا ۹۰ درصد از گستره گشتاور است، اندازه‌گیری کنید.

یادآوری-لازم است که گستره کاملی از درصد گشتاور را به جای گرانروی به کار ببرید چون هدف از انجام کالیبراسیون، تصحیح هرگونه خطا در اندازه‌گیری گرانروی می‌باشد.

جدول پ-۱- کالیبراسیون اسپیندل به منظور بهبود صحت و کاربرد اسپیندل

شماره اسپیندل	گرانروی معلوم (mPa.s)	دمای آزمون ^{o}C	سرعت اسپیندل	گستره کامل درصد گشتاور	ضریب عمومی در سرعت(r/min) به کار رفته	استفاده از ضریب عمومی (mPa.s)	درصد خطا	ضریب کالیبراسیون	ضریب کالیبراسیون (r/min)	استفاده از ضریب کالیبراسیون (r/min)	درصد خطا
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
الف	۲۰۷۹۴	-۴۰	۱۲	۳۸٫۲	۵۰۰	۱۹۲۰۰	-۷٫۷	۶۴۷۲	۵۳۹	۲۰۶۰۳	-۰٫۹
ب [a]			۱۲	۶۷٫۱ [a]		۳۴۲۰۰	۶۴٫۵	۳۷۱۱	۳۰۹	۲۰۷۴۹	-۰٫۲
پ			۱۲	۴۰٫۹		۲۰۶۰۰	-۰٫۹	۶۰۱۸	۵۰۲	۲۰۵۲۵	-۱٫۳
ت			۱۲	۴۱٫۵		۲۰۸۰۰	۰٫۰	۶۰۱۹	۵۰۲	۲۰۸۰۵	۰٫۱
الف	۴۰۴۳۹	-۲۰	۶	۳۸٫۳	۱۰۰۰	۳۸۲۰۰	-۵٫۵	۶۴۷۲	۱۰۷۹	۴۱۰۹۸	۱٫۶
ب [a]			۶	۶۷٫۳ [a]		۶۸۹۰۰	۷۰٫۴	۳۷۱۱	۶۱۸	۴۱۳۷۴	۲٫۳
پ			۶	۳۹٫۶		۴۰۰۰۰	-۱٫۱	۶۰۱۸	۱۰۰۳	۴۰۰۸۵	-۰٫۹
ت			۶	۴۰٫۷		۴۰۸۰۰	۰٫۹	۶۰۱۹	۱۰۰۳	۴۱۰۲۰	۱٫۴
الف	۱۲۹۱۶	-۱۰	۱۲	۲۳٫۳	۵۰۰	۱۱۷۰۰	-۹٫۴	۶۴۷۲	۵۳۹	۱۲۵۶۷	-۲٫۷
ب [a]			۱۲	۴۱٫۶		۲۱۶۰۰	۶۷٫۲	۳۷۱۱	۳۰۹	۱۲۸۶۴	-۰٫۴
پ			۱۲	۲۵٫۷		۱۳۰۰۰	۰٫۷	۶۰۱۸	۵۰۲	۱۳۰۴۰	۱٫۰
ت			۱۲	۲۶٫۴		۱۳۳۰۰	۰٫۳	۶۰۱۹	۵۰۲	۱۳۲۳۱	۲٫۴

[a] اسپیندل مدل ب، لنگی قابل توجهی دارد.

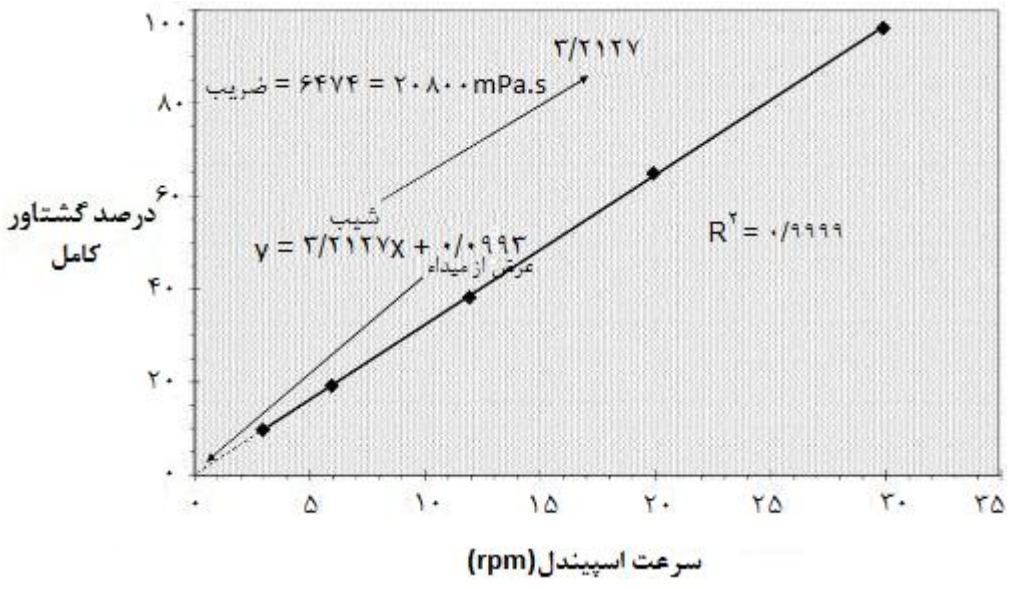
پ-۵-۶-۱ درصورت استفاده از محفظه هوای سرد، گستره کاملی از درصد گشتاور را در سه سرعت(که پاسخ‌های گشتاور از ۱۰درصد تا ۹۰ درصد از گستره گشتاور را می‌دهند) اندازه‌گیری کنید. هر سه مقدار باید تا یک دقیقه پس از شروع آزمون در سرعت ویژه اندازه‌گیری شوند. باتوجه به این‌که ممکن است نمونه به صورت جزئی گرم شود، کالیبراسیون را در بالاترین سرعت آغاز و گشتاور را یادداشت کنید. سپس با کاهش سرعت، گشتاور را در سرعت میانی اندازه بگیرید و درنهایت در سرعتی که گشتاوری در گستره پنج درصد تا ۲۰ درصد را حاصل می‌کند، اندازه‌گیری را انجام دهید.

یادآوری- ترجیحاً برای کالیبراسیون اسپیندل پس از اندازه‌گیری در هر سرعت، ظرف آزمون روغن مرجع را به محفظه هوا برگردانید و اجازه دهید نمونه دوباره سرد شود سپس در سرعت مورد نظر بعدی، آزمون را دوباره انجام دهید.

پ-۶ محاسبه و استفاده از ضریب کالیبراسیون

پ-۶-۱ با به کارگیری یک برنامه کامپیوتری صفحه گسترده نظیر اکسل[1](یا معادل آن) یا تحلیل آماری کمترین مربعات داده‌ها[2]، معادله بهترین خط مستقیم را با استفاده از درصد گشتاور جمع‌شده و داده‌های سرعت اسپیندل، طبق شکل پ-۱ به دست آورید.

پ-۶-۱-۱ نمودار گشتاور برحسب سرعت باید طبق شکل پ-۱، خطی باشد و برای مقادیر بیش از ضریب تعیین R^2 معادل ۰٫۹۹۹، که وابستگی خطی بیشتری را نشان می‌دهد، ثابت شود.



شکل پ-۱- کالیبراسیون اسپیندل با روغن نیوتنی دارای گرانروی ۲۰۸۰۰ mPa.s در دمای کالیبراسیون

1- Excell
2- Statistical least squares analysis

یادآوری- مقدار بالای R^2، توانایی ویسکومتر بروکفیلد را در ارائه نتایج دقیق در گستره وسیعی از سرعت و گشتاور نشان می‌دهد.

پ-۶-۱-۲ تحلیل گرافیکی شکل پ-۱، عرض از مبدأ برابر ۰٫۰۹۹۳ درصد گشتاور را نشان می‌دهد. این مقدار کوچک، می‌تواند نشان‌دهنده اصطکاک مکانیکی ناچیز در قسمت کنترل‌کننده ویسکومتر باشد.

یادآوری- درصورت انجام درست کالیبراسیون، مقدار زیاد عرض‌ازمبدأ(معادل۲ یا بیشتر) نشان‌دهنده مشکلی از ویسکومتر است و احتمالاً ویسکومتر نیازمند بازرسی و تمیزکردن و یا تعمیر می‌باشد.

پ-۶-۲ تقسیم گرانروی معلوم روغن مرجع کالیبراسیون بر شیب بهترین خط داده‌ها(توسط تجزیه و تحلیل رگرسیون[1]) ضریب کالیبراسیون را ارائه می‌دهد:

$$\text{فاکتور کالیبراسیون} = \frac{\text{گرانروی روغن کالیبراسیون}}{\text{شیب خط رگرسیون}}$$

یادآوری - از اطلاعات موجود در شکل پ-۱، ضریب کالیبراسیون، ۶۴۷۴ محاسبه می‌شود.

پ-۶-۳ ضریب کالیبراسیون تعیین شده با این روش، در همه دماها و گرانروی‌ها قابل‌استفاده است.

پ-۶-۴ برای محاسبه گرانروی سیال نامعلوم آزمون، با استفاده از ضریب کالیبراسیون اسپیندل، معادله زیر را به کار برید:

$$\text{گرانروی} = \frac{\text{گستره کاملی از درصد گشتاور} \times \text{ضریب کالیبراسیون}}{\text{سرعت اسپیندل } (\mathbf{r/min})}$$

یادآوری- مثال:

$$\text{گرانروی} = \frac{۶۴۷۴ \times ۳۶/۴}{۱۲/۰} = ۱۹۶۰۰ \text{ mPa.s}$$

پ-۶-۵ کاربرد دیگر اسپیندل کالیبره شده، اندازه‌گیری گرانروی یک سیال با گرانروی معین برای تعیین درست بودن دمای محفظه هوای سرد یا حمام مایع سرد شده، می‌باشد.

پ-۷ ضریب کالیبراسیون یک اسپیندل زمانی صحیح‌ترین است که به محض تعیین مقدار کالیبراسیون، در دستگاه بروکفیلد استفاده شود.

یادآوری ۱- اگر یک اسپیندل باید برای بیش از یک ویسکومتر بروکفیلد استفاده شود، بهتر است که آن را با همان ویسکومتر بروکفیلدی که قرار است استفاده شود، کالیبره کنید.

یادآوری۲- توصیه می‌شود که اسپیندل‌ها را در فواصل زمانی معین، کالیبره کنید و با گذشت زمان، مقادیر را برای تعیین هر تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در اسپیندل‌های جداگانه، کنترل دمای حمام یا ویسکومتر، یادداشت کنید.

1- Regression

پیوست ت

(الزامی)

ارزیابی دمای ظاهری آزمون با استفاده از گرانروی بروکفیلد یک سیال نیوتنی مرجع

ت-۱ این پیوست روشی برای ارزیابی دمای ظاهری آزمون نمونه مرجع ارائه می‌شود. اگر چه محتمل‌ترین علت انحراف قابل‌توجه بین دمای تنظیم‌شده و دمای ظاهری محاسبه‌شده آزمون، مربوط به خطای کنترل دما و سیستم نشان‌گر می‌باشد، خطاهای مربوط به عمق غوطه‌وری اسپیندل و عدم کارکرد صحیح ویسکومتر نیز می‌تواند موجب بروز انحرافات قابل‌توجهی گردد. اگر عملکرد ویسکومتر و عمق غوطه‌وری اسپیندل رضایتبخش باشند، انحراف محاسبه‌شده بین دمای تنظیم‌شده و دمای ظاهری آزمون، معیاری از میزان اندازه کنترل دما و خطای نشان‌گر است.

ت-۲ ثابت های معین محاسبه:

ت-۲-۱ تابع دما - گرانروی سیال مرجع استاندارد بر روی برچسب روغن مرجع ذکر می‌گردد.

ت-۲-۲ ضرایب کالیبراسیون بروکفیلد در بند ۸ ذکر شده‌اند.

ت-۲-۳ عدد خوانده شده و سرعت اسپیندل(r/min) مربوط به سیال مرجع مشاهده می‌شوند.

ت-۲-۴ دمای تنظیم شده ،یکی از شرایط تعریف‌شده آزمون می‌باشد.

ت-۳ محاسبات

ت-۳-۱ گرانروی بروکفیلد را محاسبه کنید:

ضریب کالیبراسیون بروکفیلد × عدد مشاهده شده = گرانروی بروکفیلد

ت-۳-۲ ثابت‌های A و B را با استفاده از معادلات ب-۲ و ب-۳ در پیوست **ب** استاندارد ملی شماره ۲۸۰۱ تعیین کنید. دو گرانروی مربوط به سیال مرجع را در دو دمای نزدیک به دمای تنظیم‌شده آزمون به کار برید.

ت-۳-۳ Z را با استفاده از گرانروی بروکفیلد و معادله ب-۳ درپیوست **ب** استاندارد ملی شماره ۲۸۰۱ محاسبه کنید.

ت-۴-۳ با استفاده از معادله ت-۱ و معادله ب-۲ در پیوست **ب** استاندارد ملی شماره ۲۸۰۱، T(دمای ظاهری آزمون بر حسب درجه فارنهایت) را محاسبه کنید.

$$T = \frac{\text{antilog}(A - \text{loglog}Z)}{B} - ۴۶۰ \qquad (ت-۱)$$

ت-۳-۵ T را محاسبه کنید(که معادل T، منهای دمای تنظیم شده آزمون است).

ت-۴ مثال دمای تنظیم شده، ۳۰°F- (۳۴٫۴°C-)

عدد مشاهده شده در r/min ۱۲، ۴۹٫۵

گرانروی سیال مرجع در °F ۲۰- (°C ۲۸٫۹-)، ۱۱۳۶۰

گرانروی سیال مرجع در °F ۳۰- (°C ۳۴٫۴-)، ۲۸۵۸۰

ضریب بروکفیلد در r/min ۱۲، معادل ۵۰۰

گرانروی بروکفیلد $= ۴۹٫۵ \times ۵۰۰ = ۲۴۷۵۰$

با استفاده از نمودارهای ذکر شده در استاندارد ملی شماره ۲۸۰۱:

معادله ب-۳ $Z(-۳۰^{\circ}F) = ۲۸۵۸۰٫۷$

معادله ب-۳ $Z(-۲۰^{\circ}F) = ۱۱۳۶۰٫۷$

معادله ب-۲ $A = ۱۱٫۴۴۱۶۲$

معادله ب-۲ $B = ۴٫۰۹۸۲۷$

معادله ب-۳ $Z_{\text{مشاهده شده}} = ۲۴۷۵۰٫۷$

$$T = \frac{\text{antilog}(۱۱٫۴۴۱۶۲ - \text{loglog}\ ۲۴۷۵۰٫۷)}{۴٫۰۹۸۲۷} - ۴۶۰$$

$T = ۲۸٫۵۲^{\circ}F$ یا $-۳۳٫۶۲^{\circ}C$

$T = ۱٫۴۸^{\circ}F$ یا $۰٫۷۸^{\circ}C$

ت-۵ تفسیر

انحراف دما از نقطه تنظیم‌شده به مقدار °C ۰٫۷۸، بیش ازدو برابر انحراف مجاز دمای حمام(°C ۰٫۳) می‌باشد. این خطا احتمالاً مربوط به کنترل دما یا اندازه‌گیری است. به هرحال خطای جدی مربوط به عمق غوطه‌وری اسپیندل یا عدم کارکرد صحیح ویسکومتر نیز باید بررسی گردد. بنابراین داده‌های حاصل از آزمون نمونه‌ها، در این سری آزمون‌ها نباید گزارش گردند.

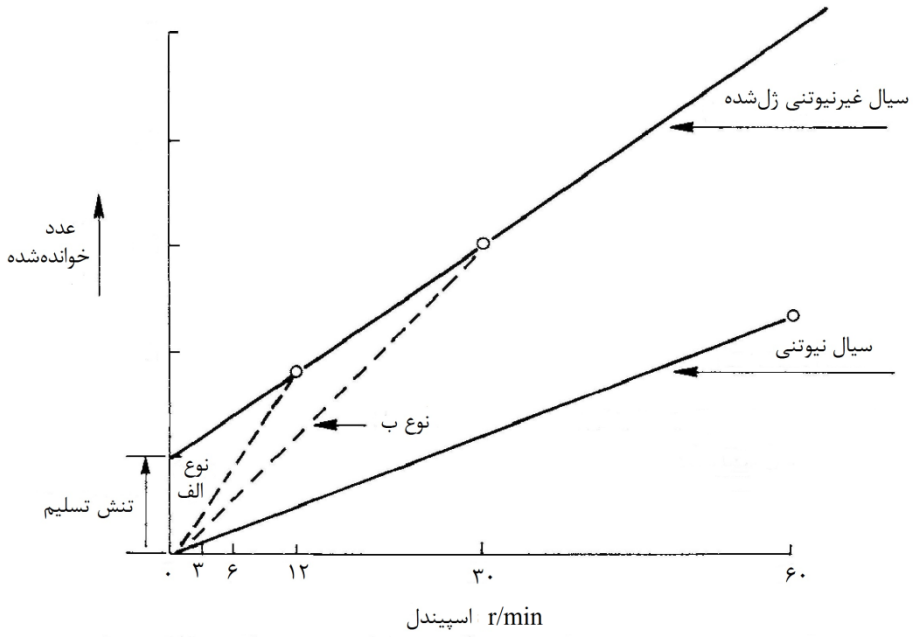
پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

رفتار سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی در دما و سرعت برشی پایین در سنجش گرانروی بروکفیلد

ث-۱ در این پیوست علت این‌که گرانروی بروکفیلد اغلب تابعی از سرعت اسپیندل(r/min) ویسکومتر است، شرح داده می‌شود. بسیاری از روان‌کننده‌ها با پایه روغن معدنی در دمای پایین، موم یا ژل‌های پلیمری-مومی مؤثر بر سرعت برش را تولید می‌کنند. این ژل دارای سختی یا استحکام معینی است که در اندازه‌گیری‌های بروکفیلد قبل از شروع چرخش اسپیندل به عنوان تنش ظاهری(عدد خوانده‌شده) مشخص می‌شود.

ث-۲ سیال نیوتنی شکل ث-۱ دارای تنش تسلیم[1] نمی‌باشد و عدد خوانده شده به طور مستقیم، متناسب با سرعت اسپیندل(r/min) است. گرانروی بروکفیلد سیال نیوتنی نیز متناسب با شیب($\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{سرعت اسپیندل(r/min)}}$) است. این شیب با سرعت اسپیندل(r/min) تغییر نمی‌کند.



یادآوری- گرانروی متناسب با $\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{r/min}}$ است.

شکل ث-۱- نمودار عدد خوانده شده بروکفیلد برحسب سرعت اسپیندل(r/min)

1- Yield stress

ث-۳ تابع توضیحی«عدد خوانده شده- سرعت اسپیندل(r/min)» مربوط به روغن غیرنیوتنی(شکل ث-۱) زمانی‌که به سرعت معادل صفر، برون‌یابی می‌شود، عدد معینی است. این سرعت برون‌یابی‌شده معادل صفر، تنش تسلیم ظاهری می‌باشد. به دلیل تنش تسلیم ظاهری، گرانروی سیال غیرنیوتنی طبق جدول ث-۱، تابعی از سرعت اسپیندل(r/min) است.

جدول ث-۱- مثال‌هایی از مقادیر شیب و عدد خوانده شده مربوط به دو مورد الف و ب

	مورد الف	مورد ب
سرعت اسپیندل(r/min)	۱۲	۳۰
عدد خوانده شده	۳۶	۶۰
شیب	۳	۲
گرانروی ظاهری بروکفیلد(mPa.s)	۱۸۰۰۰	۱۲۰۰۰

ث-۴ برای یک سیال غیرنیوتنی، وابستگی شدید گرانروی به سرعت اسپیندل(r/min) نتیجه قطعی شیب بروکفیلد است. این شیب همیشه از یک خط کشیده شده از مبدأ(عدد خوانده شده یا نقطه سرعت اسپیندل(r/min) معادل صفر به عدد مشاهده یا تنظیم‌شده محاسبه می‌گردد. زمانی‌که تنش تسلیم ظاهری وجود دارد، این شیب در سرعت پایین اسپیندل(r/min) نسبت به سرعت بالاتر، بسیار بیشتر است.

ث-۵ به‌علت تأثیر زیاد تنش تسلیم ظاهری بر گرانروی بروکفیلد، لازم است که سیالات روان‌کننده با طبقه‌بندی گرانروی مشابه، در سرعت یکسان، مقایسه گردند.

ث-۶ تنش تسلیم ظاهری می‌تواند به طور مطلوب از عدد خوانده شده کسر شود تا شیب ثابت $\left(\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{سرعت اسپیندل(r/min)}}\right)$ به دست آید. این شیب می‌تواند با یک ثابت کالیبراسیون مناسب، به‌منظور دستیابی گرانروی«جریان» به کار رود که ممکن است برای نشان دادن پیوستگی داده‌های کارایی در دمای پایین، مفید باشد.

ث-۷ در عمل ممکن است توابع$\left(\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{سرعت اسپیندل(r/min)}}\right)$ به طور کامل خطی نباشند. کاهش برش ناشی از ساختار ژل‌مانند یا تنظیم واحدهای جریان یا هر دو ممکن است تابع$\left(\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{سرعت اسپیندل(r/min)}}\right)$ را به طور جزئی به سمت محور سرعت اسپیندل(r/min) منحرف کند. چون اغلب، زمان زیادی برای تعیین کامل $\left(\frac{\text{عدد خوانده شده}}{\text{سرعت اسپیندل(r/min)}}\right)$ مورد نیاز است، بنابراین گرم‌شدن نمونه ممکن است موجب قدری انحراف گردد.

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

نمونه‌ای از گرانروی سیالات مرجع

ج-۱ تابع گرانروی- دمای هر سیال مرجع استاندارد توسط تأمین‌کننده بر روی ظرف محتوی آن ذکر می‌گردد. جدول ج-۱، نمونه‌ای از مقادیر گرانروی این سیالات را ارائه می‌دهد.

جدول ج-۱- نمونه‌ای از مقادیر گرانروی سیالات مرجع

سیال مرجع	دما($^{\circ}C$)	گرانروی (mPa.s)	حداکثر تغییر گرانروی ناشی از $0/3\ ^{\circ}C$ (mPa.s)
N27B	-۲۸/۹	۵۳۰۰	۲۴۵
	-۳۴/۴	۱۲۷۵۰	۷۰۱
	-۴۰/۰	۳۶۹۴۰	۲۳۲۴
N115B	-۶/۷	۵۹۷۰	۲۵۴
	-۱۲/۲	۱۳۳۶۰	۵۹۱
	-۱۷/۸	۳۲۳۱۰	۱۵۸۹
	-۲۳/۳	۸۱۴۶۰	۴۸۲۳
	-۲۸/۹	۲۵۳۷۰۰	۱۶۹۷۲

پیوست چ

(آگاهی‌دهنده)

تنش برشی و سرعت برشی برای ویسکومترهای LV بروکفیلد با اسپیندل‌های LV-۴

چ-۱ تنش برشی(یا تنش تسلیم):

$$T = ۱٫۲۵۳ \times M \qquad (چ-۱)$$

که در آن:

T تنش برشی، Pa؛

M عدد خوانده شده؛

۱/۲۵۳ ثابت تعیین شده از ابعاد اسپیندل و ثابت فنر ویسکومتر.

چ-۲ سرعت برشی(در دیواره اسپیندل LV- 4 در ظرف آزمون با قطر داخلی ۲۲/۲۵ mm)

$$S = ۰/۲۱۵۶ \times \text{سرعت اسپیندل(r/min)} \qquad (چ-۲)$$

که در آن:

S سرعت برشی، $s^{-۱}$؛

r/min سرعت چرخشی اسپیندل؛

۰٫۲۱۵۶ ثابت مربوط به شعاع اسپیندل و قطر داخلی ظرف آزمون.

پیوست ح

(آگاهی‌دهنده)

تعیین گرانروی روغن‌های هیدرولیک

ح-۱ این پیوست، اطلاعاتی را با درنظرگرفتن دقت این روش آزمون برای تعیین گرانروی ظاهری روغن‌های هیدرولیک ارائه می‌دهد. شش روغن هیدرولیک که گستره دمایی $-۱۰\ ^{\circ}C$ ، $-۱۵\ ^{\circ}C$ و $-۲۰\ ^{\circ}C$ و گستره گرانروی ۵۰۰ mPa.s تا ۱۹۰۰ mPa.s را در بر می‌گیرند، توسط نه آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفتند.

ح-۲ در این مطالعه، روش آزمون ASTM D2983-87 با تغییرات زیر در بند ۱۰-۳ مورد استفاده قرارگرفت:

ح-۲-۱ نمونه‌ها به مدت min(۵±۶۰) در دمای $^{\circ}C$(۳±۸۰) قرارگرفتند و به مدت حداقل ۶۰ min قبل از انتقال به حمام سرد در دمای اتاق سرد می‌شدند.

ح-۲-۲ به منظور اطمینان از این‌که باز و بسته‌شدن حمام سرد موجب تغییر دمای نمونه بیش از $۰٫۴\ ^{\circ}C$ نشود، سیالات مرجع مناسبی در ابتدا و انتهای هر سری نمونه، مورد آزمون قرار می‌گرفتند.

ح-۲-۳ سعی می‌شد آزمون در زمان ۳۰ s پس از برداشتن نمونه از محفظه سرد تکمیل شود اما آزمون در کمتر از ۶۰s انجام شد.

ح-۲-۴ مجموعه آزمون‌ها تا ۱ h کامل شدند بنابراین حداکثر زمان فروبری برای هر نمونه بیش از ۱۷ h نبود.

ح-۳ دقت

یادآوری- دقت پایین این روش آزمون برای اندازه‌گیری گرانروی سیالات هیدرولیک، مستقیماً به اندازه اسپیندل مورداستفاده[۱] بستگی دارد. علت این است که گرانروی این سیالات، بسیار کمتر از مقدار روش آزمون اصلی است. کاهش گرانروی سبب می‌شود گشتاور خوانده شده از ویسکومتر در محدوده‌ای با دقت

۱- اسپیندل شماره ۴ مورد استفاده در روش آزمون ASTM D2983 hydroulic round robin

کمتر قرار گیرد. فعالیت بیشتری با استفاده از روتور استوانه‌ای شماره ۳ در دست اجرا است تا گشتاور مناسب‌تری با محدوده دقت بیشتر را برای ویسکومتر مهیا سازد.

ح-۳-۱ دقت این روش آزمون با استفاده از نمونه‌هایی با محدوده گرانروی ۵۰۰ mPa.s تا ۱۷۰۰ mPa.s تعیین شد و در این محدوده گرانروی دارای اعتبار است. درصورت افزایش عدم قطعیت، دقت اندازه‌گیری گرانروی خارج از این گستره می‌باشد.

ح-۳-۲ تکرارپذیری

اختلاف بین نتایج آزمون‌های متوالی به‌دست آمده توسط یک آزمایشگر با همان وسایل در شرایط ثابت بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی و اجرای صحیح و معمول طبق این روش آزمون، فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقدار ۴۴ mPa.s بیشتر شود.

ح-۳-۳ تجدیدپذیری

اختلاف بین دو نتیجه آزمون مستقل و منفرد به‌دست آمده از آزمایشگرهای متفاوت در آزمایشگاه‌های مختلف بر روی مواد آزمون یکسان در مدت زمان طولانی و اجرای صحیح و معمول طبق این روش آزمون فقط در یک مورد از ۲۰ مورد(با سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌تواند از مقدار و اجرای صحیح و معمول روش آزمون ۱۴۱ بیشتر شود.