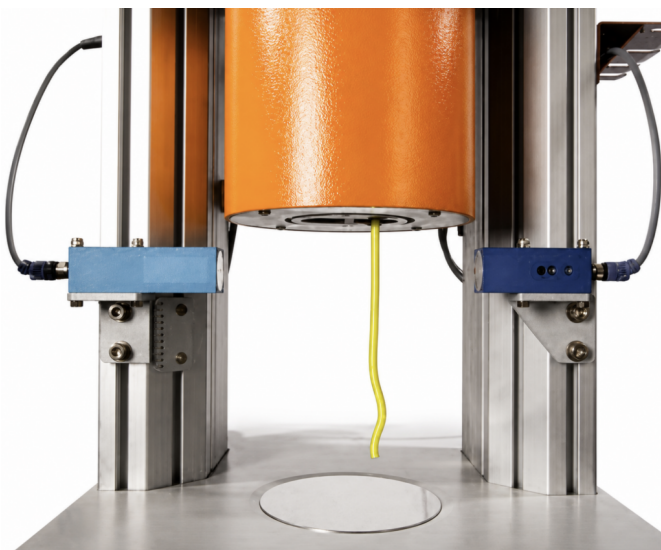




مقدمه

ISO 11443:2021، پلاستیک‌ها – تعیین روانی پلاستیک‌ها با استفاده از رئومترهای موئینه و قالب شکافی، یک استاندارد بین‌المللی مهم برای مشخصه‌یابی رئولوژیکی مذاب‌های پلیمری است.

این استاندارد روش‌هایی را برای تعیین رفتار جریان پلاستیک‌ها تحت **نرخ‌های برشی، تنش‌های برشی و دماهای نماینده شرایط فرآوری پلیمر** مشخص می‌کند. برخلاف آزمون متداول نرخ جریان مذاب (MFR/MVR)، رئومتری موئینه اطلاعات دقیقی درباره رابطه بین **ویسکوزیته، نرخ برشی،**

تنش برشی، فشار، دما و نرخ جریان ارائه می‌دهد.

ISO 11443 هر دو مورد زیر را پوشش می‌دهد:

- **رئومترهای موئینه**
- **رئومترهای قالب شکافی**

از دیدگاه تجهیزات، انطباق با ISO 11443 صرفاً با حداکثر دما یا فشار دستگاه تعیین نمی‌شود. این استاندارد الزاماتی را برای **محفظه، هندسه قالب، پیستون، سامانه کنترل دما، اندازه‌گیری فشار، اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی و سامانه کالیبراسیون** تعیین می‌کند.

این مقاله به‌طور خاص بر این **الزامات فنی و ابزار دقیق** و ویژگی‌هایی تمرکز دارد که هنگام طراحی، تعیین مشخصات یا انتخاب یک رئومتر برای آزمون مطابق ISO 11443 باید در نظر گرفته شوند.

دامنه کاربرد ISO 11443

ISO 11443 روش‌هایی را برای تعیین روانی مذاب‌های پلاستیکی در شرایطی نزدیک به شرایط واقعی فرآوری پلاستیک‌ها مشخص می‌کند.

این موضوع از آن جهت اهمیت ویژه‌ای دارد که ویسکوزیته مذاب پلیمر معمولاً نه تنها به دما، بلکه به **نرخ برشی و تنش برشی** نیز وابسته است.

بسته به دامنه اندازه‌گیری مبدل فشار و/یا مبدل نیرو و ویژگی‌های مکانیکی رئومتر، این استاندارد ویسکوزیته مذاب را تقریباً در محدوده زیر پوشش

می‌دهد:

10 تا 10^7 Pa-s

رئومترهای اکستروژن می‌توانند در محدوده تقریبی نرخ‌های برشی زیر کار کنند:

1 تا 10^6 s⁻¹

این استاندارد همچنین روش‌هایی را برای ارزیابی **انبساط خروجی** شامل می‌شود که در اثر پدیده‌های کششی هنگام ورود پلیمر به قالب و خروج آن از قالب ایجاد می‌شود.

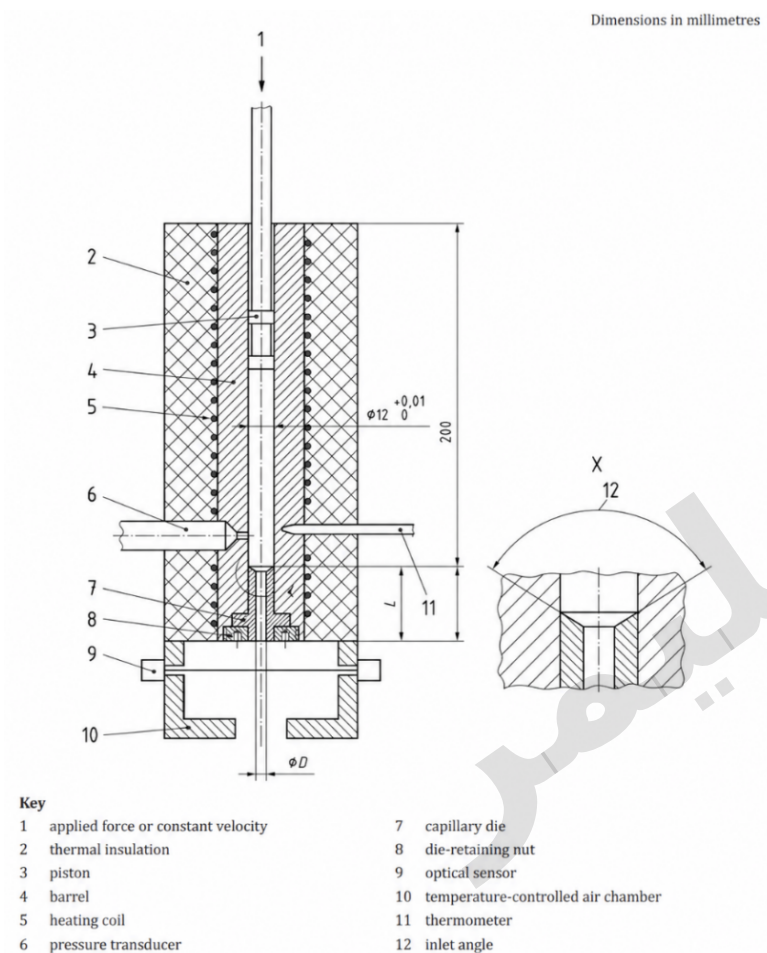


Figure 1 — Typical example of an extrusion rheometer used with a capillary die

اصل اندازه گیری

در آزمون رئومتر موئینه، پلیمر مذاب با نیرو از قالبی با هندسه ای دقیقاً مشخص عبور داده می شود. ISO 11443 دو رویکرد اصلی اندازه گیری را تعریف می کند.

روش 1 - فشار آزمون ثابت

فشار آزمون مشخصی با نماد p ثابت نگه داشته می شود و **نرخ جریان حجمی Q** حاصل اندازه گیری می شود.

روش 2 - نرخ جریان حجمی ثابت

نرخ جریان حجمی مشخصی با نماد Q ثابت نگه داشته می شود و فشار آزمون متناظر با نماد p اندازه گیری می شود.

این روش ها را می توان با هندسه موئینه یا قالب شکافی ترکیب کرد:

هندسه قالب	نرخ جریان حجمی ثابت	فشار ثابت
دایره ای - قالب موئینه	A1	A2
مستطیلی - قالب شکافی	B1	B2

بنابراین، در رئومترهای موئینه پیستونی، کنترل و اندازه‌گیری دقیق حرکت پیستون برای ایجاد نرخ جریان حجمی کنترل‌شده، اساسی است.

آوا هونام پلیمر

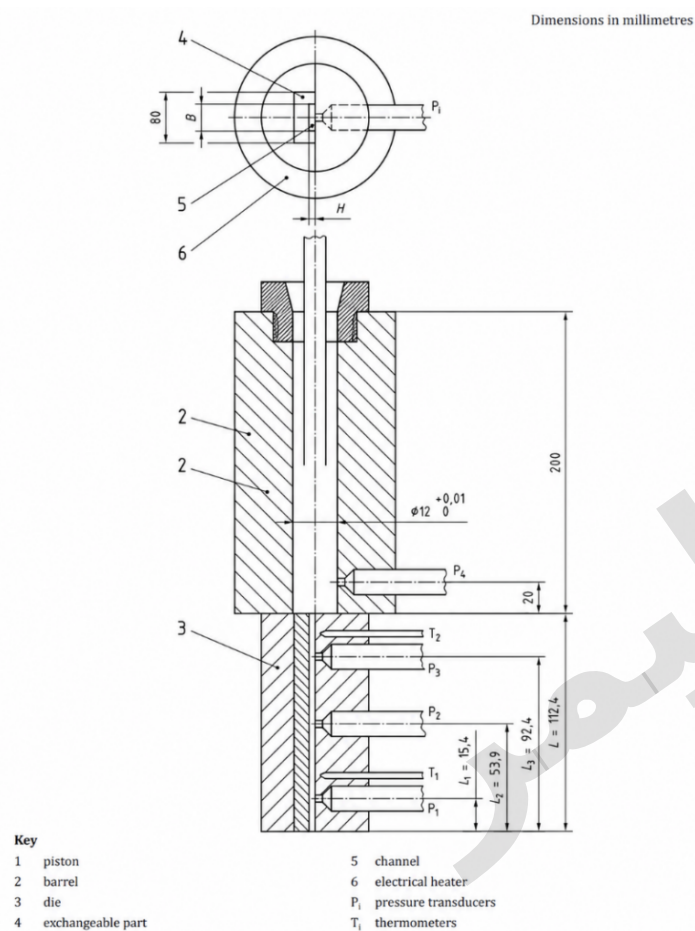


Figure 2 — Typical example of an extrusion rheometer used with a slit die

1. پیکربندی کلی رئومتر

مطابق ISO 11443، دستگاه آزمون از یک **محفظه قابل گرمایش** تشکیل شده است که انتهای پایینی آن با یک قالب موئینه یا شکافی قابل تعویض بسته می شود.

فشار را می توان با استفاده از موارد زیر به مذاب پلیمر اعمال کرد:

- پیستون،
- ماریج، یا
- فشار گاز.

بنابراین، یک رئومتر موئینه پیستونی معمولاً شامل اجزای زیر است:

- سامانه محرک دقیق و اعمال نیرو،
- پیستون،
- محفظه گرم شونده،
- عناصر گرمایشی،
- حسگرهای دما،
- مبدل فشار یا سامانه اندازه گیری نیرو،
- قالب قابل تعویض،

- سامانه اندازه‌گیری جابه‌جایی/سرعت،
- سامانه جمع‌آوری و کنترل داده.

آرایش معمول رنومتر موئینه که در ISO 11443 نشان داده شده است، شامل پیستون، محفظه، سیم‌پیچ گرمایشی، مبدل فشار، قالب موئینه، حسگر نوری و سامانه اندازه‌گیری دما نیز می‌شود.

2. الزامات محفظه رنومتر

محفظه یکی از اجزای حیاتی است، زیرا تغییرات ابعادی، سایش، خوردگی یا آسیب سطحی می‌تواند شرایط جریان را تغییر دهد و در نهایت بر خواص رئولوژیکی محاسبه‌شده اثر بگذارد.

ماده و مقاومت مکانیکی

محفظه باید از ماده‌ای ساخته شود که بتواند در برابر موارد زیر مقاومت کند:

سایش و خوردگی تا حداکثر دمای کاری سامانه گرمایشی.

تِلرانس سوراخ محفظه

تغییر مجاز قطر متوسط سوراخ در طول محفظه باید کمتر از مقدار زیر باشد:

$0.007 \text{ mm} \pm$

این الزام نشان‌دهنده سطح بالای ماشین‌کاری دقیق موردنیاز برای یک رئومتر مؤئینه است.

سختی سطح

ISO 11443 سختی ویکرز ترجیحی حداقل مقدار زیر را مشخص می‌کند:

HV30 800

برای دماهای تا حدود 400°C ، فولاد نیتزیده به‌عنوان ماده‌ای مناسب شناخته می‌شود. سایر مواد نیز در صورت تأمین مقاومت کافی در برابر خوردگی و سایش می‌توانند قابل قبول باشند.

زبری سطح

سطح داخلی محفظه باید زبری کمتر از مقدار زیر داشته باشد:

$Ra = 0.25 \mu\text{m}$

ترکیب دقت ابعادی، سختی بالا، زبری سطح پایین و مقاومت در برابر سایش برای حفظ شرایط اندازه‌گیری تکرارپذیر ضروری است. این الزامات محفظه به‌طور صریح در ISO 11443 مشخص شده‌اند.

3. قطر محفظه

ISO 11443 یک قطر اجباری و یکسان برای محفظه همه رئومترها تعیین نمی‌کند. رئومترهای اکستروژن تجاری معمولاً قطر سوراخ محفظه‌ای در محدوده تقریبی زیر دارند:

30 mm تا 6.35 mm

افزایش قطر محفظه می‌تواند مزایایی مانند به‌دست‌آوردن تعداد بیشتری اندازه‌گیری از یک بار پرکردن محفظه و گسترش دامنه نرخ برشی فراهم کند. بااین‌حال، محفظه بزرگ‌تر به موارد زیر نیز نیاز دارد:

- مقدار بیشتری نمونه ماده،
- ظرفیت گرمایشی بالاتر،
- و زمان طولانی‌تر برای رسیدن به تعادل حرارتی در سراسر نمونه.

بنابراین، قطر محفظه یک پارامتر مهم طراحی است و صرفاً مشخصه‌ای برای تعیین ظرفیت دستگاه نیست.

4. الزامات قالب موئینه

قالب موئینه یکی از حیاتی‌ترین اجزای سامانه اندازه‌گیری است، زیرا ابعاد آن مستقیماً بر نرخ برشی، تنش برشی و ویسکوزیته محاسبه‌شده اثر می‌گذارد.

دقت قطر موئینه

تمام طول دیواره موئینه باید با دقت قطر D زیر ماشین‌کاری شود:

$0.007 \text{ mm} \pm$

دقت طول موئینه

طول قالب L باید با دقت زیر ساخته شود:

$0.025 \text{ mm} \pm$

زبری سطح

زبری سطح موئینه باید کمتر از مقدار زیر باشد:

Ra = 0.25 μ m

سختی سطح

سختی ویکرز ترجیحی حداقل مقدار زیر است:

HV30 800

دهانه موئینه نباید آثار قابل مشاهده ماشین کاری یا خروج از مرکز محسوس داشته باشد.

مواد متداول قالب های موئینه عبارت اند از:

- فولاد سخت کاری شده،
- کاربید تنگستن،
- استلایت،
- فولاد زنگ نزن سخت کاری شده.

الزامات ابعادی از آن جهت اهمیت ویژه ای دارند که محاسبات جریان موئینه به شدت به هندسه قالب حساس هستند. بنابراین ISO 11443 تأکید می کند که ابعاد واقعی و دقت اندازه گیری آن ها باید مشخص و گزارش شوند.

5. قطر موئینه و نسبت L/D

قالب‌های موئینه‌ای که معمولاً در رئولوژی پلیمر به کار می‌روند، قطری تقریباً در محدوده زیر دارند:

0.5 تا 2 mm

برای مواد با درصد پرکننده بالا ممکن است به قطرهای بزرگ‌تر نیاز باشد.

برای دستیابی به **نسبت طول به قطر (L/D)** مورد نیاز، می‌توان از موئینه‌هایی با طول‌های متفاوت استفاده کرد.

برای مشخصه‌یابی دقیق رئولوژیکی، هندسه قالب اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بر موارد زیر اثر می‌گذارد:

- نرخ برشی ظاهری،
- تنش برشی ظاهری،
- افت فشار،
- اثرات ورودی،
- تصحیح Bagley،
- و ویسکوزیته محاسبه‌شده.

بنابراین، هنگام مقایسه نتایج حاصل از دستگاه‌ها یا آزمایشگاه‌های مختلف، آگاهی دقیق از ابعاد واقعی قالب ضروری است.

6. تصحیح Bagley و قالب‌های موئینه متعدد

فشار اندازه‌گیری شده در بالادست موئینه صرفاً شامل افت فشار ناشی از جریان برشی کاملاً توسعه یافته در داخل موئینه نیست. افت‌های فشار اضافی در ورودی و خروجی قالب رخ می‌دهند.

در نتیجه، تعیین تنش برشی واقعی دیواره ممکن است به تصحیح فشار اندازه‌گیری شده نیاز داشته باشد.

ISO 11443 تصحیح Bagley را پیشنهاد می‌کند که در آن می‌توان از اندازه‌گیری‌های انجام شده با قالب‌های موئینه دارای شعاع یکسان و طول‌های متفاوت برای تعیین مجموع افت‌های فشار ورودی و خروجی استفاده کرد.

این استاندارد توضیح می‌دهد که با استفاده از قالب‌های موئینه با شعاع برابر و طول‌های متفاوت، سهم فشار ناشی از ورودی و خروجی قابل تعیین است.

قالب با طول صفر

یکی از تغییرات مهم معرفی شده در ویرایش 2021 استاندارد ISO 11443، افزودن قالب با طول صفر است.

قالب با طول صفر به‌طور ویژه برای تسهیل تعیین سریع افت فشار ورودی در تصحیح Bagley طراحی شده است و تعداد طول‌های مختلف قالب مورد نیاز برای روش تصحیح را کاهش می‌دهد.

گنجاندن قالب با طول صفر به طور مشخص به عنوان یکی از تغییرات فنی ویرایش چهارم ISO 11443 معرفی شده است. بنابراین، در یک رئومتر موئینه مدرن، سازگاری با قالب‌های متعدد و قابل تعویض، هنگام نیاز به داده‌های رئولوژیکی تصحیح شده، یک ویژگی فنی مهم محسوب می‌شود.

7. رئومتری قالب شکافی

ISO 11443 از قالب‌های شکافی مستطیلی نیز پشتیبانی می‌کند که با عنوان روش B مشخص می‌شوند. یکی از مزیت‌های اصلی قالب شکافی، امکان قرار دادن چند مبدل فشار در امتداد کانال جریان است. این پیکربندی امکان اندازه‌گیری مستقیم گرادیان فشار در طول قالب را فراهم می‌کند، به جای آنکه فقط به اندازه‌گیری فشار در بالادست متکی باشد. ISO 11443 اشاره می‌کند که قالب شکافی مجهز به مبدل‌های فشار در طول خود، به‌ویژه برای **اندازه‌گیری‌های خودکار و ارزیابی رایانه‌ای** مناسب است. پیکربندی معمول قالب شکافی مطابق ISO 11443 شامل موارد زیر است:

- پیستون،
- محفظه،

- قالب،
- بخش قابل تعویض،
- کانال جریان،
- گرم کن الکتریکی،
- چند میدل فشار،
- چند حسگر دما.

پیکربندی معمول در نمودار رئومتر قالب شکافی استاندارد نشان داده شده است.

8. سامانه پیستون

در یک رئومتر مؤینه پیستونی، پیستون دو وظیفه مهم دارد:

1. ایجاد فشار درون مذاب پلیمر؛
2. ایجاد جابه‌جایی حجمی مورد نیاز برای تعیین یا کنترل نرخ جریان.

بنابراین، رابطه ابعادی بین پیستون و محفظه اهمیت دارد؛ زیرا لقی بیش‌ازحد می‌تواند موجب جریان معکوس پلیمر از اطراف پیستون شود، درحالی‌که لقی ناکافی ممکن است اصطکاک بیش‌ازحد یا تداخل مکانیکی ایجاد کند.

سامانه محرک نیز باید کنترل به‌اندازه کافی دقیقی بر جابه‌جایی و سرعت پیستون فراهم کند تا شرایط جریان پایدار و تکرارپذیر ایجاد شود.

در آزمون جریان حجمی ثابت، این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا وقتی سطح مقطع محفظه مشخص باشد، سرعت پیستون مستقیماً نرخ جابه‌جایی حجمی را تعیین می‌کند.

9. کنترل دما

دما یکی از اثرگذارترین پارامترها در رئولوژی پلیمر است.

حتی تغییرات نسبتاً اندک در دمای مذاب می‌تواند تغییرات چشمگیری در ویسکوزیته اندازه‌گیری شده ایجاد کند.

به همین دلیل، سامانه حرارتی رئومتر مؤئینه نباید صرفاً بر اساس **حداکثر دما** ارزیابی شود.

یک سامانه مناسب باید موارد زیر را فراهم کند:

- تنظیم دقیق دما،
- کنترل پایدار دما،
- یکنواختی مناسب دما،
- اندازه‌گیری قابل اعتماد دما،
- و کالیبراسیون قابل ردیابی.

در عمل، این امر به عملکرد هماهنگ سامانه گرمایشی، حسگرهای دما، کنترل‌کننده، هندسه محفظه، عایق حرارتی و سامانه جمع‌آوری داده نیاز دارد.

10. اندازه‌گیری دما

دمای آزمون باید تا حد امکان نمایانگر دمای واقعی مذاب پلیمر باشد.

بنابراین، محل اندازه‌گیری اهمیت دارد.

حسگر دمایی که نزدیک ورودی قالب قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری نماینده‌تری از وضعیت مذاب بلافاصله پیش از ورود ماده به موئینه ارائه می‌دهد.

فناوری‌های متداول اندازه‌گیری دما برای این نوع تجهیزات شامل موارد زیر است:

- ترموکوپل‌ها،
- آشکارسازهای دمایی مقاومتی پلاتینی.

برای تعیین مشخصات یک دستگاه با رویکرد ISO، سازنده باید نه تنها دامنه دمایی موجود، بلکه موارد زیر را نیز به روشنی اعلام کند:

- تفکیک‌پذیری دما،
- پایداری کنترل،
- یکنواختی دما،
- محل قرارگیری حسگر،
- و روش کالیبراسیون.

11. اندازه‌گیری فشار

اندازه‌گیری فشار بخش بنیادی دیگری از رئومتری موئینه است.

یک **مبدل فشار مذاب** را می‌توان نزدیک ورودی قالب نصب کرد تا فشار وارد شده بر پلیمر مذاب را مستقیماً اندازه‌گیری کند.

آرایش معمول رئومتر موئینه در ISO 11443، مبدل فشاری را نشان می‌دهد که نزدیک بخش پایینی محفظه و ورودی موئینه قرار گرفته است.

همچنین در سامانه‌های پیستونی می‌توان نیروی اعمال‌شده را با استفاده از یک سلول بار اندازه‌گیری کرد و از آن برای تعیین فشار وارد شده بر مذاب بهره گرفت.

برای اندازه‌گیری‌های دقیق رئولوژیکی، سامانه اندازه‌گیری فشار باید متناسب با دامنه فشار مورد انتظار ماده و شرایط آزمون انتخاب شود.

استفاده از حسگری با دامنه کامل غیرضروری و بیش‌ازحد بزرگ می‌تواند کیفیت اندازه‌گیری را در فشارهای پایین کاهش دهد.

بنابراین، یک رئومتر پیشرفته ممکن است از **چند دامنه مبدل فشار** پشتیبانی کند تا اندازه‌گیری‌های دقیق را در پنجره عملیاتی رئولوژیکی گسترده‌تری فراهم سازد.

12. اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی

نرخ جریان حجمی **Q** یکی از متغیرهای اصلی در آزمون ISO 11443 است.

در دستگاه‌های پیستونی، وقتی هندسه محفظه با دقت مشخص باشد، می‌توان نرخ جریان حجمی را از نرخ جابه‌جایی پیستون به دست آورد.

این موضوع چندین جزء دستگاه را مستقیماً با دقت نرخ جریان مرتبط می‌کند:

- دقت قطر محفظه،
- دقت ابعادی پیستون،
- اندازه‌گیری جابه‌جایی،
- اندازه‌گیری سرعت،
- پایداری سامانه محرک،
- و جلوگیری از نشت بیش‌ازحد مذاب در اطراف پیستون.

روش دیگر، تعیین مقدار اکستروژن‌دهنده در یک بازه زمانی مشخص و تبدیل جرم اندازه‌گیری‌شده به حجم با استفاده از چگالی مذاب در دمای آزمون است.

13. زنجیره اندازه‌گیری: چرا کل سامانه اهمیت دارد

رئومتری مؤئینه باید به عنوان یک زنجیره کامل اندازه‌گیری در نظر گرفته شود، نه مجموعه‌ای از اجزای مستقل. نتیجه نهایی ویسکوزیته به ترکیب عوامل زیر وابسته است:

فشار + نرخ جریان + هندسه قالب + دما

بنابراین، خطا در هر یک از این پارامترها می‌تواند بر منحنی ویسکوزیته-در-برابر-نرخ برشی اثر بگذارد.

برای مثال:

- قطر نادرست مؤئینه → خطا در شرایط برشی محاسبه شده؛
- ناپایداری دما → تغییر در ویسکوزیته پلیمر؛
- دامنه نامناسب مبدل فشار → افزایش عدم قطعیت اندازه‌گیری فشار؛
- نشأت مذاب در اطراف پیستون → نرخ جریان حجمی نادرست؛
- سایش قالب → تغییر هندسه جریان؛
- سرعت نادرست پیستون → نرخ برشی نادرست؛
- افت‌های فشار ورودی تصحیح نشده → تفاوت بین تنش برشی ظاهری و واقعی.

به همین دلیل، انطباق با ISO 11443 هم طراحی مکانیکی و هم عملکرد سامانه اندازه‌گیری را دربرمی‌گیرد.

14. خواص رئولوژیکی ظاهری و واقعی

مذاب‌های پلیمری معمولاً رفتار **غیرنیوتنی** دارند؛ یعنی ویسکوزیته آن‌ها با نرخ برشی تغییر می‌کند. ISO 11443 بین کمیت‌هایی مانند موارد زیر تمایز قائل می‌شود:

- نرخ برشی ظاهری،
- تنش برشی ظاهری،
- نرخ برشی واقعی،
- تنش برشی واقعی،
- ویسکوزیته ظاهری،
- ویسکوزیته تصحیح‌شده.

این استاندارد ویسکوزیته در شرایط برش پایا را به صورت نسبت تنش برشی واقعی به نرخ برشی واقعی تعریف می‌کند.

بنابراین، یک رئومتر موئینه حرفه‌ای باید فراتر از ثبت ساده فشار و سرعت پیستون عمل کند.

بسته به روش آزمون مورد نیاز، سامانه پردازش داده باید از محاسبات و تصحیحات لازم برای تبدیل اندازه‌گیری‌های خام به اطلاعات معنادار رئولوژیکی پشتیبانی کند.

دو مفهوم بسیار مهم عبارت‌اند از:

تصحیح Bagley

برای در نظر گرفتن افت‌های فشار مرتبط با نواحی ورودی و خروجی موئینه استفاده می‌شود.

تصحیح Rabinowitsch

برای در نظر گرفتن رفتار جریان غیرنیوتنی پلیمر هنگام تبدیل نرخ برشی ظاهری به نرخ برشی واقعی استفاده می‌شود.

این تصحیحات به دستگاه امکان می‌دهند بازنمایی دقیق‌تری از رفتار رئولوژیکی واقعی ماده ارائه کند.

15. اندازه‌گیری انبساط خروجی

ISO 11443 به **انبساط خروجی** نیز می‌پردازد.

هنگامی که مذاب پلیمر از قالب موئینه خارج می‌شود، انرژی الاستیک ذخیره‌شده در طول تغییر شکل می‌تواند باعث افزایش قطر خروجی نسبت به قطر قالب شود.

این استاندارد کمیت‌هایی از جمله موارد زیر را تعریف می‌کند:

- نسبت انبساط در دمای اتاق،
- نسبت انبساط در دمای آزمون،
- درصد انبساط در دمای اتاق،
- درصد انبساط در دمای آزمون.

برای مثال، نسبت انبساط در دمای اتاق به صورت نسبت قطر خروجی به قطر موئینه تعریف می شود که هر دو در دمای اتاق اندازه گیری شده اند. این قابلیت می تواند اطلاعات مفیدی درباره رفتار الاستیک و فرآیندپذیری مذاب های پلیمری فراهم کند.

16. الزامات فنی کلیدی برای رئومتر موئینه مطابق ISO 11443

جدول زیر برخی از مهم ترین پارامترهای مرتبط با تجهیزات را که به طور صریح در ISO 11443:2021 ارائه شده اند، خلاصه می کند.

پارامتر	الزام / ملاحظه در ISO 11443
سامانه آزمون	محفظه قابل گرمایش با قالب موئینه یا شکافی قابل تعویض
ایجاد فشار	پیستون، ماریج یا فشار گاز
ماده محفظه	مقاوم در برابر سایش و خوردگی در حداکثر دمای گرمایش
انحراف ابعادی سوراخ محفظه	$\pm 0.007 \text{ mm}$
سختی ترجیحی محفظه	$\text{HV}30 \leq 800$

زبری سطح محفظه	It; Ra 0.25 μ m&
قطر متداول محفظه تجاری	30 mm-6.35
دقت قطر موئینه	0.007 mm $\pm$
دقت طول موئینه	0.025 mm $\pm$
سختی ترجیحی موئینه	HV30 800 $\leq$
زبری سطح موئینه	It; Ra 0.25 μ m&
قطر متداول موئینه	2 mm-0.5
قالب‌های قابل تعویض	برای نسبت‌های مختلف L/D و روش‌های تصحیح مهم است
قالب با طول صفر	در ISO 11443:2021 گنجانده شده است
قابلیت قالب شکافی	به عنوان روش B پشتیبانی می‌شود
اندازه‌گیری فشار	مبدل فشار مذاب و/یا اندازه‌گیری مبتنی بر نیرو، بسته به پیکربندی
تعیین نرخ جریان	جابه‌جایی حجمی کنترل شده/اندازه‌گیری شده یا تعیین مبتنی بر خروجی
سامانه دما	گرمایش کنترل شده همراه با اندازه‌گیری و کالیبراسیون مناسب
	محاسبه نرخ برشی، تنش برشی و ویسکوزیته؛ اعمال تصحیحات در صورت نیاز پردازش داده

17. مقایسه آزمون ISO 11443 با آزمون نرخ جریان مذاب

آزمون رئومتر موئینه مطابق ISO 11443 نباید با آزمون متداول MFR/MVR اشتباه گرفته شود. آزمون نرخ جریان مذاب یک مقدار منفرد مرتبط با جریان را تحت بار و دمای مشخص ارائه می‌دهد. در مقابل، رئومتری موئینه برای مشخصه‌یابی رابطه بین موارد زیر در شرایط عملیاتی متعدد طراحی شده است:

تنش برشی - نرخ برشی - ویسکوزیته

این روش اطلاعات بسیار بیشتری درباره رفتار فرآیندی پلیمر فراهم می‌کند. از این رو، رئومتری موئینه را می‌توان برای کاربردهایی مانند موارد زیر به کار برد:

- مقایسه گریدهای پلیمر،
- توسعه کامپاند،
- کنترل کیفیت پیشرفته،
- مشخصه‌یابی پلیمرهای پرشده،
- توسعه فرآیند اکستروژن،
- تأمین داده برای شبیه‌سازی قالب‌گیری تزریقی،
- تحلیل رقیق‌شوندگی برشی،
- تعیین شرایط بحرانی برشی،
- ارزیابی انبساط خروجی،

• مدل سازی ماده و شبیه سازی فرآیند.

18. هنگام انتخاب رئومتر مطابق ISO 11443 چه مواردی باید بررسی شود؟

هنگام ارزیابی یک رئومتر مؤینه برای آزمون ISO 11443، بررسی مشخصاتی مانند **حداکثر نیرو، حداکثر فشار یا حداکثر دما** به تنهایی کافی نیست. کل سامانه اندازه گیری باید ارزیابی شود.

سؤالات مهم عبارت اند از:

سامانه مکانیکی

آیا محفظه دقت ابعادی و کیفیت سطح مورد نیاز را دارد؟ آیا پیستون و قالب ها با دقت کافی و مقاومت مناسب در برابر سایش ساخته شده اند؟

سامانه قالب

آیا قالب های مؤینه قابل تعویض در دسترس هستند؟ آیا ابعاد واقعی آنها اندازه گیری و مستند سازی شده است؟ آیا می توان نسبت های مختلف L/D را برای روش های تصحیح نصب کرد؟

سامانه دما

آیا دستگاه می‌تواند دمای پایدار و یکنواختی را در سراسر ناحیه اندازه‌گیری مرتبط حفظ کند؟

اندازه‌گیری فشار

آیا دامنه مبدل با فشارهای آزمون مورد انتظار تناسب دارد؟ آیا کل زنجیره اندازه‌گیری فشار کالیبره شده است؟

کنترل نرخ جریان

آیا محرک پیستون می‌تواند سرعتی دقیق و پایدار را در محدوده مورد نیاز حفظ کند؟

جمع‌آوری داده

آیا فشار، دما، موقعیت پیستون، سرعت و زمان با تفکیک‌پذیری کافی ثبت می‌شوند؟

نرم‌افزار رئولوژیکی

آیا سامانه می‌تواند خواص رئولوژیکی ظاهری و تصحیح‌شده را محاسبه کند و تصحیحات مورد نیاز روش آزمون انتخاب‌شده را اعمال نماید؟
این عوامل اغلب برای کیفیت اندازه‌گیری، از مشخصات حداکثری برجسته‌ای که در برگه داده دستگاه درج می‌شوند، اهمیت بیشتری دارند.

نتیجه گیری

ISO 11443:2021 چارچوبی جامع برای تعیین رفتار جریان مذاب‌های پلیمری با استفاده از رئومترهای مؤینه و قالب شکافی ارائه می‌دهد.

از دیدگاه طراحی تجهیزات، انطباق با ISO 11443 بسیار فراتر از دستیابی به فشار یا دمای مشخص است.

یک رئومتر مناسب به ترکیبی یکپارچه از موارد زیر نیاز دارد:

ساخت دقیق محفظه و قالب، حرکت کنترل شده پیستون، اندازه‌گیری دقیق فشار، کنترل پایدار دما، تعیین قابل اعتماد نرخ جریان، کالیبراسیون و پردازش مناسب داده‌های رئولوژیکی.

این استاندارد بر هندسه قالب و محفظه تأکید ویژه‌ای دارد، زیرا خطاهای ابعادی کوچک می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر خواص رئولوژیکی محاسبه‌شده اثر بگذارند.

برای آزمایشگاه‌ها، تولیدکنندگان پلیمر، کامپاندرها، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های فرآوری، یک رئومتر مؤینه با طراحی مناسب، اطلاعات رئولوژیکی بسیار فراتر از یک مقدار منفرد جریان مذاب فراهم می‌کند.

هنگامی که سامانه مکانیکی، حسگرها، کنترل حرارتی، کالیبراسیون و نرم‌افزار به‌عنوان یک زنجیره کامل اندازه‌گیری عمل کنند، رئومتری مؤینه می‌تواند داده‌های قابل‌اعتمادی برای **توسعه ماده، کنترل کیفیت، بهینه‌سازی فرآیند و شبیه‌سازی فرآوری پلیمر** ارائه دهد.