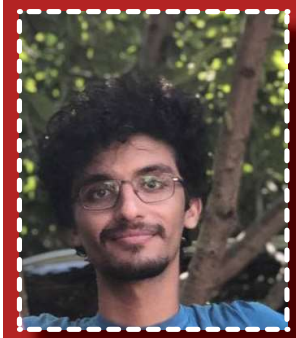
معرفی دستگاه رئومتر لاستیک



بردیا ایراجیان

دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر، دانشگاه تهران

رئولوژی و رئومتری چیست؟

رئولوژی بررسی جریان و تغییر شکل مواد در اثر اعمال نیرو یا تنش است. رئومترها دستگاه‌های دقیقی هستند که با شرایط نمونه و اعمال نرخ برشی معین، گشتاور را اندازه‌گیری می‌کنند. گشتاور می‌تواند به تنش تبدیل شود و رفتار تنش و نرخ برشی و سایر خواص نمونه در یک طیف گسترده، اندازه‌گیری شود.[۱]" رئومتر" از کلمه یونانی به معنای دستگاه اندازه گیری جریان گرفته‌شده‌است.[۲]

مواردی که می‌توان با آنالیز رئولوژی به‌دست آورد:[۳]

- ✓ ویسکوزیته به عنوان تابعی از تنش برشی
- ✓ ویسکوزیته به عنوان تابعی از نرخ برشی
- ✓ ویسکوزیته به عنوان تابعی از دما
- ✓ ویسکوزیته در نرخ برشی صفر
- ✓ تنش تسلیم و کرنش تسلیم
- ✓ نرخ شکست تیکسوتروپیک
- ✓ نرخ بازگشت تیکسوتروپیک
- ✓ الاستیسیته
- ✓ اختلاف فاز و tan
- ✓ تنش و کرنش تناوبی
- ✓ خزش و آسودگی از تنش

انواع رئومتر

ابزارهای مختلفی برای اندازه‌گیری گرانروی و دیگر خواص رئولوژیکی پلیمرهای مایع، محلول و مذاب به کار می‌رود. برخی از آن‌ها، خواص را به صورت مستقیم و برخی غیرمستقیم گزارش می‌کنند. برخی از دستگاه‌های رئومتر رایج عبارتند از:[۴]

- ✓ لوله مویین (کاپیلاری)
- ✓ ویسکومتر استوانه‌های هم‌محور (باب اند کاپ)
- ✓ ویسکومتر مخروط و صفحه (Cone and plate)
- ✓ ویسکومتر دو صفحه موازی
- ✓ ویسکومترهای کششی
- ✓ رئوگونیومتر

این‌رئومترها بیش‌تر برای اندازه‌گیری خواص پلیمرهای مایع و محلول استفاده می‌شود. بر خلاف آن‌ها، لاستیک‌ها در اثر کراس لینک شدن پخت می‌شوند تا در نهایت به خواص نهایی خود برسند. بنابراین، نیاز به دستگاه‌های دیگری برای اندازه‌گیری خواص ویسکوالاستیک لاستیک ها داریم.[۵]

رئومتر لاستیک:

رئومترهای لاستیک، خواص ویسکوالاستیک الاستومرها را قبل، هنگام و پس از پخت بررسی می‌کنند. در حین پخت لاستیک، رئومتر می‌تواند پلاستیسیته سیستم را به همراه سرعت پخت نمونه تعیین کند. اطلاعات به صورت گشتاور استخراج شده و وارد کامپیوتر می‌شود. در آزمایشگاه برای تست جریان‌پذیری لاستیک در اثر اعمال نیرو از دستگاه رئومتر لاستیک استفاده می‌شود.[۲]

انواع رئومتر لاستیک:

دو نوع رئومتر در صنعت لاستیک کاربرد دارد: [۵]

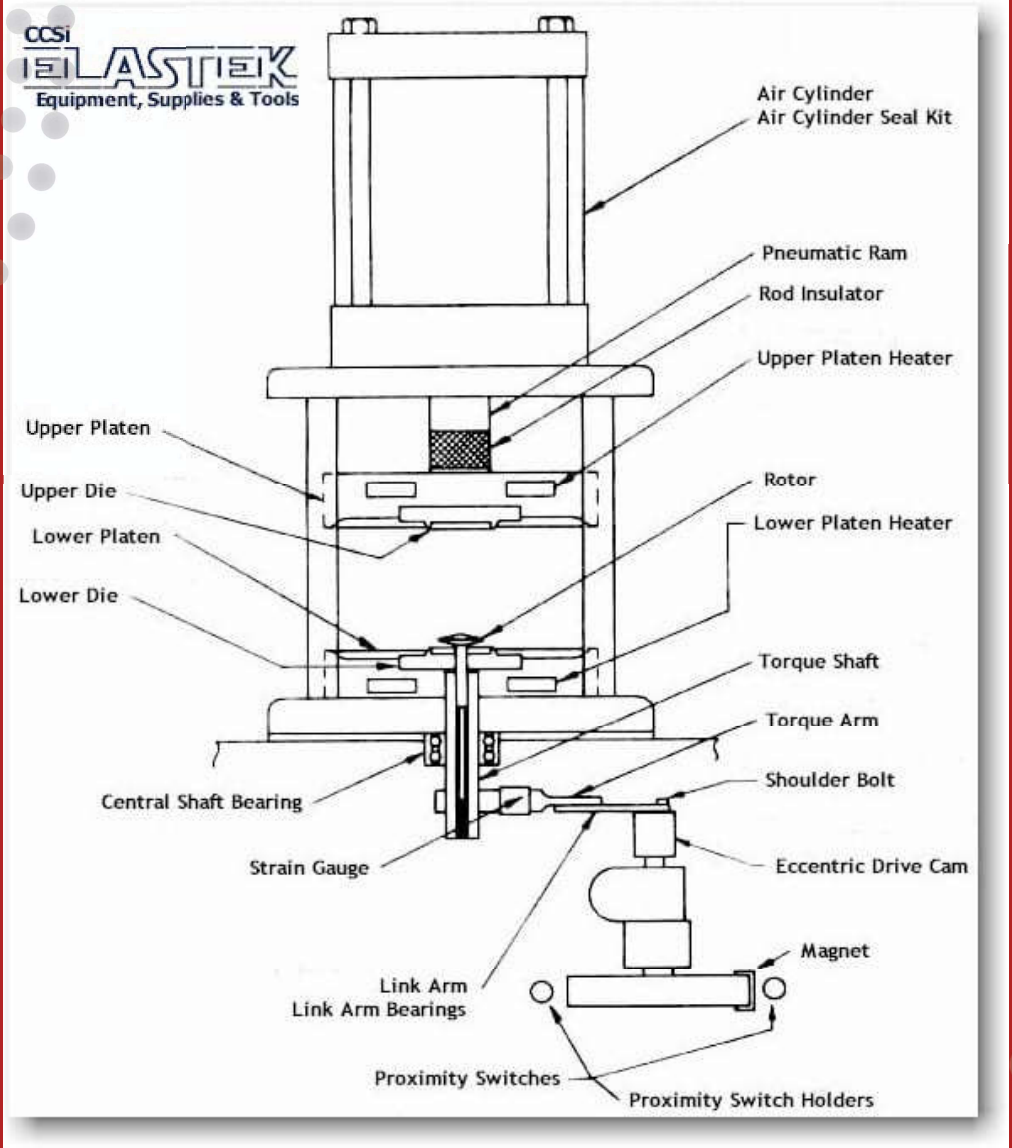
- ✓ صفحه نوسان‌کننده (Oscillating Disk یا ODR)
- ✓ دای حرکت‌کننده (Moving Die یا MDR)

این‌دو رئومتر تفاوت چندانی در نتایج ندارند و برای اهداف یکسانی استفاده می‌شوند.

روند کار دستگاه رئومتر:

رئومتر ODR، گشتاور لازم برای نوسان روتوری دو گوشه ای (biconial) درون حفره‌ای خالی ولی پر از آمیزه خام لاستیکی را اندازه می‌گیرد. دامنه معمول نوسان یک درجه است. در برخی آزمایشگاه‌ها نوسان ۳ تا ۵ درجه هم مورداستفاده قرارمی‌گیرد. سرعت نرمال ۱۰۰ دور در دقیقه است. دما، روی دما پخت موردنظر تنظیم شده و تغییرات گشتاور با زمان اندازه‌گیری می‌شود. این اطلاعات به صورت منحنی رئومتری وارد کامپیوتر می‌شود.[۶]

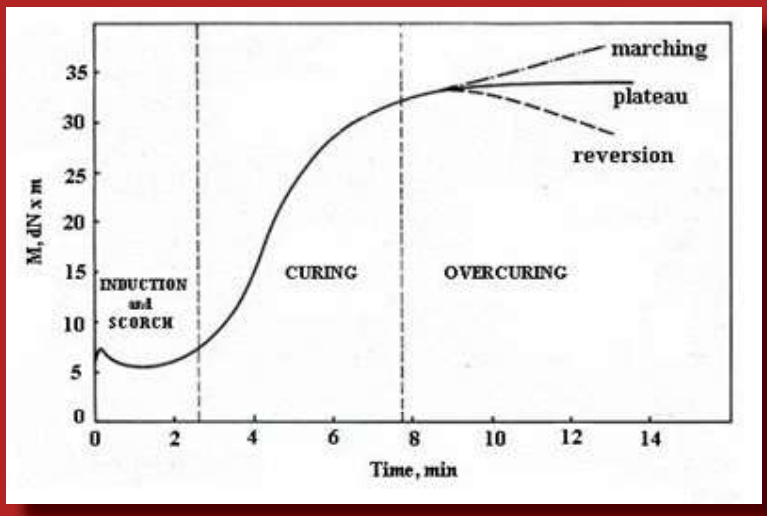
در رئومتر MDR (تصویر ۱)، لاستیک بین دو دای قرار می‌گیرد. دای پایین به میزان ۰/۵ درجه نوسان می‌کند و دای بالا به سنسور سنجش گشتاور متصل است. دمای پخت بین ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد است. برای جلوگیری از چسبیدن نمونه‌های مختلف لاستیک به دای، از یک فیلم پلی آمید یا پلی استر استفاده می‌شود.[۲]



تصویر ۱ –یک رئومتر MDR [۷]

منحنی رئومتر:

در تصویر ۲ یک منحنی رئومتری نشان‌داده‌شده‌است.



تصویر ۲ – منحنی رئومتری [۵]

مطابق شکل، فرایند پخت به ۳ قسمت تقسیم می‌شود: [۶]

1) بخش ابتدایی که تعریفی از ویسکوزیته آمیزه و زمان Scorch (زمان پخت زودرس یا ایمنی)را نشان‌می‌دهد.

2) بخش پخت که سرعت پخت آمیزه را مشخص می‌کند. شیب خط در این قسمت، معیاری از سرعت پخت نمونه است.

3) منطقه‌ای که کیفیت پخت آمیزه را نشان‌می‌دهد. این قسمت بسته به نوع آمیزه می‌تواند به ۳ شکل مشاهده شود:

مسطح بماند.

پایین بروند.

به آرامی به سمت بالا ادامه پیدا کند.

با کمک این نمودار پارامترهای زیر تعریف میشود: [۶]

M_L: حداقل گشتاور؛ معیاریست از ویسکوزیته آمیزه پخت نشده.

M_H: حداکثر گشتاور؛ معیاریست از حالت و کیفیت پخت. در اکثر آمیزه‌ها این‌مقدار می‌تواند معیاری از مدول و سختی نمونه باشد.

t_{s1}: زمان لازم برای افزایش گشتاور به اندازه 1 dN.m از حداقل گشتاور (M_L)؛ این زمان بیانگر زمان پخت رودرس (Scorch) یا ایمنی فرایند است. در برخی از منحنی‌ها t_{s2} و t_{s5} و t_{s10} نیز به‌همین‌ترتیب تعریف می‌شوند.

t_{c90} و t_{c50}: زمان لازم برای رسیدن به ۹۰% و ۵۰% از حداکثر گشتاور (M_H).

شبیه سازی:

منحنی رئومتری اطلاعات سینتیکی دقیقی از پخت لاستیک به ما می‌دهد. با کمک مدل‌های سینتیکی موجود، می‌تواند ضرایب موردنیاز را استخراج کند. سپس شکل قطعه مورد نظر در یک نرم افزار FEM، مثل COMSOL، ترسیم می‌شود. معادله پخت به نرم افزار معرفی می‌شود و با استفاده از فیزیک انتقال حرارت(با توجه به نوع اتوکلاو و روند پخت) می‌توان زمان بهینه پخت قطعات را تعیین‌کرد. لازمه این کار، انجام تست رئومتری در چند دمای مختلف روی لاستیک است. با فرض تابعیت آرنیوسی ثوابت سرعت، می‌توان تابعیت سرعت بر حسب دما و زمان را به‌دست‌آورد. با انجام یک شبیه سازی دینامیکی می‌توان تحلیل مناسبی در مورد روند پخت قطعه لاستیکی ارائه‌کرد.

منابع:

[1] ./Rheometers Available from: http://www.tainstruments.com

[2] MON TECH RHEOMETER USED IN OUR QUALITY ASSURANCE LAB. Available from: https://stern-rubber.com/blog/rubber-rheometer.

[3] Rheology Testing Lab and Test Services. Available from: https://www.rheologylab.com/services/rheology-testing-lab/?campaign=8096113137&content=507775553755&keyword=%2Brheometer&gclid=CjwKCAjw3MSHBhB3EiwAxcaEu7bc4AOUZihdBdWuD9KXXw_64L8JdUo-DYr-ihny1RxJA18FG4y04dhoCEcIQAvD_BwE.

[4] کفاشی, ب. and م. رضاپور, رئولوژی پلیمرها. برون سپهر.

[5] CASE STUDY RHEOMETRIC REPORT. Available from: https://www.gomline.si/case-study-rheometric-report.

[6] and ف. فتوحی, فرمول آمیزه‌های لاستیکی. شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک.

[7] ElasTek™ Rheometer Replacement Parts. Available from: https://www.ccsi-inc.com/pro-duct/e-parts-instruments-3/.