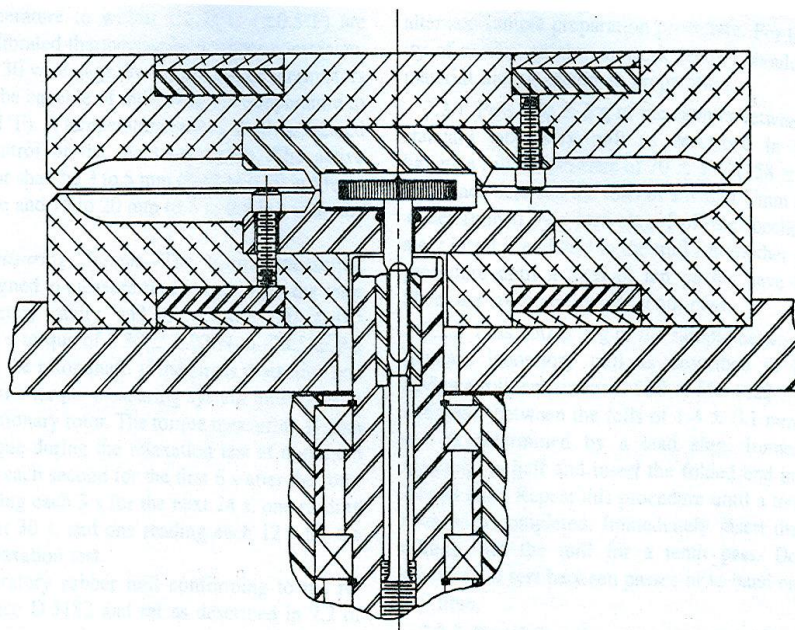


فصل سوم - بررسی خواص رئولوژیکی و ویسکوالاستیک

الاستومرها خواص ویسکوالاستیک نسبتاً شدیدی در جریان از خود نشان می‌دهند و بسیاری از رفتارهای فرایندی آنها متأثر از این خواص است. تورم بعد از دای، جمع شدگی و هر تغییری در پروفایل جریان و بیشتر خواص دینامیکی لاستیکها بعد از پخت از مواردی هستند که به خواص ویسکوالاستیک آن ارتباط دارند. صنایع لاستیک و بخصوص تایر که از مصرف کنندگان اصلی BR و SBR تولید داخل محسوب می‌گردند [۷-۱۱]. مشکلات عدیده‌ای در فرایندهای اختلاط، شکل‌دهی و خواص نهایی این لاستیکها گزارش داده‌اند. در این پروژه با تهیه لاستیکهای مشابه خارجی خواص ویسکوالاستیک آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مقایسه مشخصات لاستیکها و مطالعه خواص ویسکوالاستیک به ترتیب از دستگاه مونی ویسکومتر و دستگاه RPA (Rubber Processibility Analyzer) استفاده شد که در ادامه به اختصار معرفی شده‌اند.

۳-۱- آزمون مونی

دستگاه تعیین ویسکوزیته الاستومرهای خام توسط شخصی به نام Melvin Mooney طراحی شده است. "مونی" اصطلاحاً به عدد یا مقداری گفته می‌شود که جهت معرفی ویسکوزیته یک الاستومر خام یا یک آمیزه لاستیکی بکار می‌رود. مونی ویسکوزیته یک عدد قراردادی برای گراندوی لاستیکها محسوب می‌شود که می‌توان از روی مقدار آن نوع فرایند شکل‌دهی مناسب را انتخاب نمود. مونی ویسکوزیته توسط دستگاه "مونی ویسکومتر" و بر طبق استاندارد ASTM D1646 به دست می‌آید. در این دستگاه میزان مقاومت لاستیک خام در برابر حرکت یک روتور اندازه‌گیری می‌گردد که شکل (۱۴) تصویر آن را نشان می‌دهد [۷].

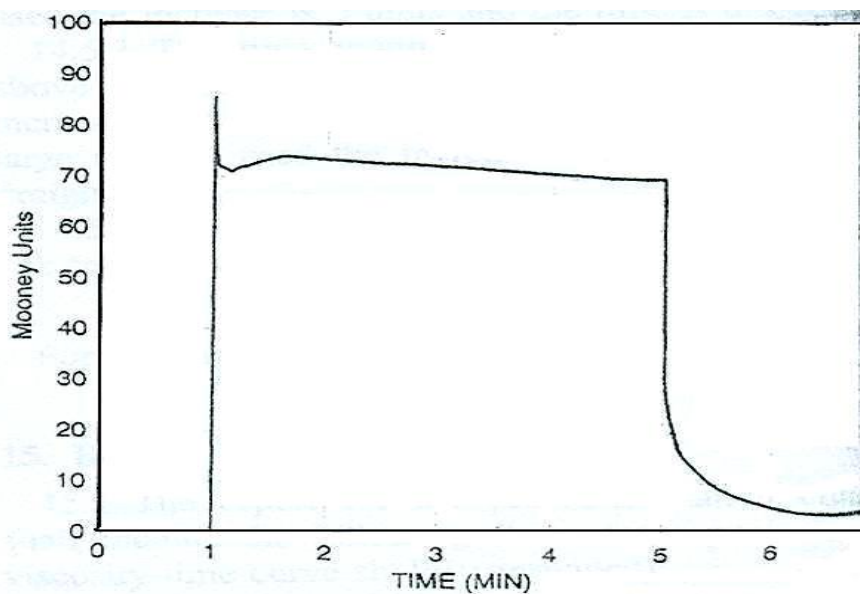


شکل (۱۴) محفظه دستگاه ویسکومتر

ویسکوزیته مونی $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ML(۱+۴)) شاخصی از مقدار جریان پذیری و میزان فرایندپذیری است که پس از ۵ دقیقه از

شروع آزمون گزارش می شود. شکل (۱۵) نمودار ویسکوزیته مونی و استهلاک تنش بعد از ثبت کردن $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ML (۱+۴)) را

نشان می دهد.

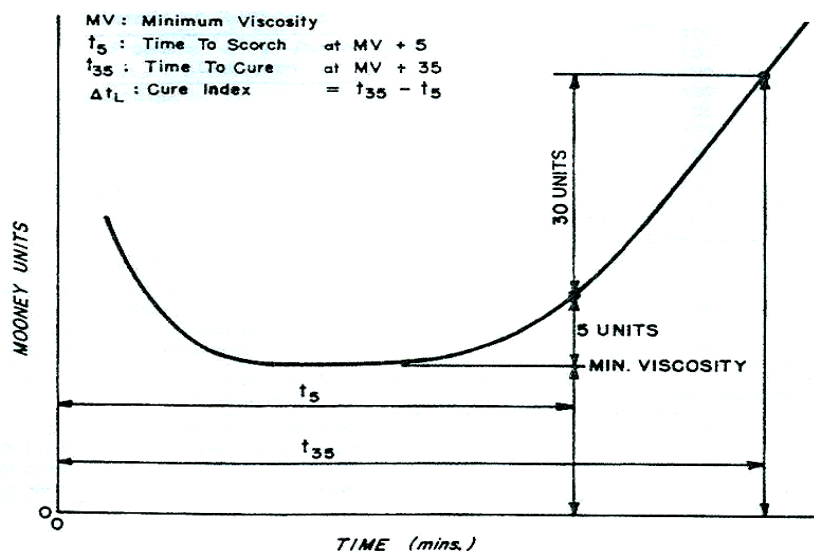


شکل (۱۵) ویسکوزیته مونی و استهلاک تنش برحسب زمان

علاوه بر ویسکوزیته مونی با این دستگاه، نحوه برشتگی و پخت آمیزه‌های لاستیکی را می‌توان بررسی نمود. به این منظور باید نمونه را در دمای موردنظر برای پخت قرار داده و آزمایش را تا حد ولکانش ادامه داد. از روی منحنی تغییرات "مونی" بر حسب زمان به سادگی می‌توان زمان برشتگی و پخت را محاسبه نمود.

شکل (۱۶) نمونه‌ای از منحنی حاصله از آزمون مونی را نشان می‌دهد.

زمان برشتگی (t_s) بر مبنای زمان لازم برای ۵ واحد صعود از مینیمم منحنی مونی - زمان محاسبه می‌گردد.

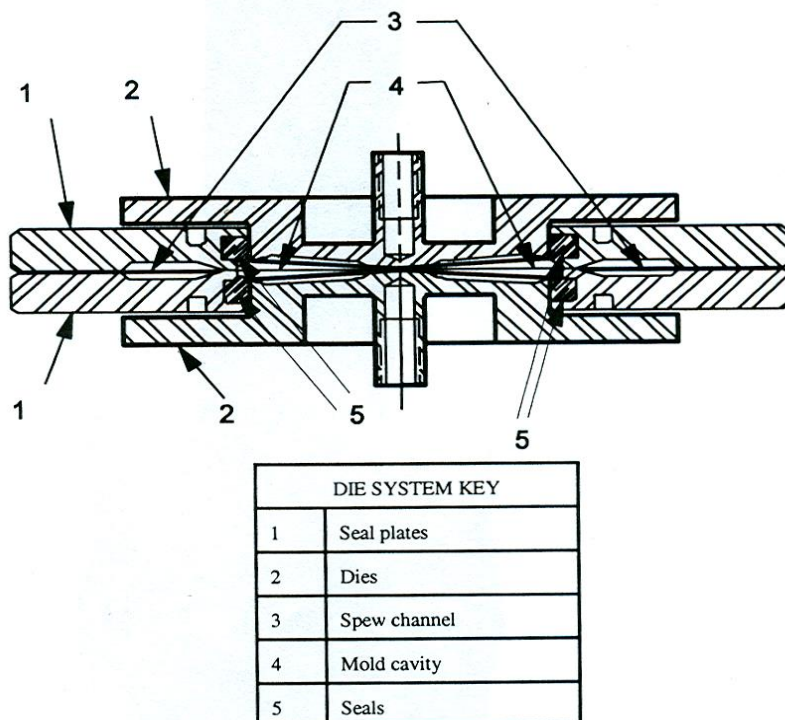


شکل (۱۶) نمونه‌ای از منحنی نتیجه آزمون مونی

این آزمایش به منظور تعیین ویسکوزیته لاستیک خام و بررسی رفتار پخت آمیزه‌های الاستومری کاربرد دارد [۸-۱۷].

دستگاه RPA مخصوص آزمایشهای رئولوژی و فرایندی لاستیکها می باشد که جهت ارزیابی رفتار ویسکوالاستیک این دسته از پلیمرها، در محدوده گسترده ای از دما، تغییر شکل و فرکانس طراحی شده است.

همانطور که در شکل (۱۷) مشخص است، محفظه این دستگاه بصورت دو مخروطی (biconical) با زاویه میانی α می باشد. نمونه ای به حجم $4-6/0 \text{ cm}^3$ داخل دستگاه، روی مخروط پایینی گذاشته، سپس مخروط بالایی روی آن قرار می گیرد و محفظه بسته می شود. مقدار اضافی نمونه در کانالهایی که به این منظور در اطراف مخروطها تعبیه شده جمع می گردد [۱۸].



شکل (۱۷) محفظه دستگاه RPA

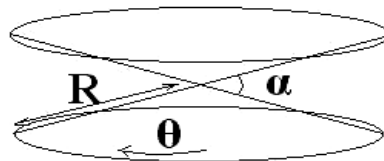
جدول (۱۰) محدوده فرکانس و برش در RPA

Strain Range	Frequency (CPM)	Maximum Shear Rate (1/second)
±0.7% to ±1256%	0.1 to 20	30
±0.7% to ±628%	0.1 to 50	30
±0.7% to ±140%	0.1 to 100	30
±0.7% to ±42%	0.1 to 500	30
±0.7% to ±14%	0.1 to 2000	30

با چرخش مخروط پایینی (با زاویه θ) بطور سینوسی، فرکانس و تغییر شکل برشی (γ) مطابق با جدول (۱۰) در نمونه

قابل اعمال می‌باشد. با استفاده از رابطه زیر میزان تغییر شکل برشی بر حسب زوایای α و θ قابل محاسبه است.

$$\gamma(\%) = \frac{\theta}{\alpha} \times 100, \alpha \approx 7.16^\circ, R=20.6\text{mm}$$



شکل (۱۸) شماتیک محفظه RPA

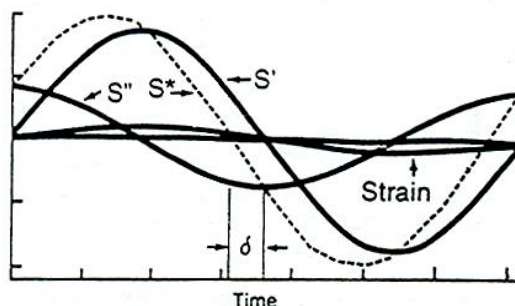
مخروط بالایی متصل به بخش اندازه‌گیر گشتاور است که مقدار گشتاور نمونه را ثبت می‌نماید. این گشتاور بدست آمده،

S^* است که با تغییر شکل اعمالی مقداری اختلاف فاز دارد. S^* به دو بخش S' (همفاز با تغییر فرم) و ویسکوز S'' (دارای

۹۰ درجه اختلاف فاز با تغییر شکل) تقسیم و رسم می‌گردد. دستگاه بعلاوه $\tan\delta$ را نیز از $\frac{S''}{S'}$ محاسبه می‌کند و مقادیر

مدول برشی G' و G'' نیز از روی گشتاورها به دست می‌آید. شکل (۱۹) ارتباط کمیت‌های مربوطه را بطور شماتیک نشان

می‌دهد و در جدول (۱۱) مشخصات دستگاه آمده‌است. [۱۹].



شکل (۱۹) اختلاف فاز گشتاورهای پخت حاصل از RPA و برش سینوسی وارده

جدول (۱۱) مشخصات دستگاه RPA

RPA 2000 Technical Summary	
Oscillation Frequency	0.1 to 2000 CPM in 0.1 CPM increments (0.0016 to 33.33 Hz)
Oscillation Amplitude	± 0.05 to ± 90.0 degrees of arc (±0.7 to ±1255 percent) Frequency and strain combinations limited to 30 sec ⁻¹ shear rate maximum
Die Configuration	Biconical
Temperature Range	40°C to 230°C
Cooling Capability	Forced air to 40°C
Sample Volume	4.5cm ³
Units of Measure	Time: Sec, Min:Sec, Min, h:mm:ss Torque: dNm, in-lb, kg-cm Modulus: kPa, MPa, Mdynes/cm ² , PSI Temp: C, F, K Frequency: CPM, Hz, rad/sec Strain: Degrees, percent, rad Shear Rate: 1/s, rad/s Dynamic Viscosity: Pa-s, Poise, MPoise Compliance: in ² /lb, 1/ MPa, cm ² /Mdyne Pressure: psi, kPa
Subtest Types	Frequency Sweeps Strain Sweeps Temperature Sweeps Cure Matrix Time Stress Relaxation Delay
Thermal System	Directly heated with digital control
Output	Printer: Graphical and numerical results File: Numerical results File: Raw data export
File Compatibility	Microsoft Excel, ASCII, Lotus 1-2-3 v5.0
Weight	300 kg (660 pounds) gross 197 kg (430 pounds) net
Dimensions	Width: 68 cm (27 inches) Height: 132 cm (52 inches) Depth: 76 cm (30 inches)
Electrical	100/110/120/130 VAC +10%, 50/60 ±3 Hz 15 amp single phase 200/220/240/260 VAC +10%, 50/60 ±3 Hz 7.5 amp single phase
Air	80 PSI (550 kPa)
Environmental Specification (BS EN 61010-1, 1993)	Installation Category (Overvoltage Category) II Pollution degree 1
Noise Level	Cooling (Shield Open) 84dB(A) Cooling (Shield Down) 74dB(A)

روشهای آزمون:

آزمایشهای متنوعی، شامل موارد زیر توسط RPA قابل انجام هستند [۱۸]:

- آزمون پخت و زمان پخت- در این آزمون، دما، تغییر شکل و فرکانس ثابت بوده، S^* و S' برحسب زمان اندازه‌گیری و رسم می‌شوند. از این آزمون نتایج مختلفی مانند حداقل و حداکثر S' ، زمان اسکورچ و پخت قابل محاسبه‌اند.
 - فرکانس‌سنجی - در این حالت دما و مقدار تغییر شکل ثابت بوده و فرکانس متغیر است. در هر فرکانس خواص ویسکوالاستیک گزارش می‌گردد.
 - برش‌سنجی - در این نوع آزمون دما و فرکانس ثابت بوده و مقدار تغییر شکل متغیر است. خواص ویسکوالاستیک با تغییرات برش ثبت می‌شوند.
 - دما متغیر- در این حالت، فرکانس و تغییر شکل ثابت هستند، معمولاً این آزمون برای مطالعه پخت و مشاهده تغییرات منحنی‌های S^* و S' برحسب دما به کار می‌رود.
 - استهلاک تنش - در این آزمون پس از یک مرحله اعمال برش، استهلاک تنش با زمان اندازه‌گیری می‌گردد. در تمامی موارد فوق، G' ، G'' و $\tan\delta$ نیز قابل حصول می‌باشند. لازم به ذکر است که آزمایشهای مذکور بطور جداگانه و توأم بر روی نمونه قابل انجام می‌باشند. محدوده متغیرهای دستگاه RPA در جدول (۱۱) آمده است.
- کاربرد دستگاه RPA متنوع بوده و به منظور تعیین مشخصات الاستومر خام، آمیزه‌های الاستومری پیش از پخت، نحوه پخت و رفتار پس پخت کارایی دارد. جدول (۱۲) آزمونهای قابل استفاده RPA را در هر یک از موارد مذکور نشان می‌دهد.

جدول (۱۲) موارد استفاده RPA

نوع آزمون	پارامتر مورد بررسی
فرکانس سنجی استهلاک تنش دما متغیر برش سنجی	خواص الاستومر
فرکانس سنجی دما متغیر برش سنجی	خواص آمیزه پخت نشده
پخت	رفتار پخت
فرکانس سنجی دما متغیر تنش سنجی	خواص پس پخت
زمان سنجی	اثر شرایط با زمان