

پیشگفتار مؤلف

در طول ۵ تا ۱۰ سال اخیر، آنالیز مکانیکی دینامیکی و طیف سنجی از سلطه رتولوژی دانان بیرون آمده‌اند و به وسایل رایج آزمایشگاه‌های آنالیتیکی تبدیل شده‌اند. با توانمندتر شدن کامپیوترهای شخصی، این تکنیک‌ها و پردازش داده‌های آنها برای غیرحرفه‌ای‌ها قابل دسترس‌تر می‌شوند. با این حال اطلاعات مربوط به استفاده از DMA هنوز در میان تعدادی از کتاب‌ها و مقالات پراکنده هستند و بسیاری از آنها مشکل به نظر می‌رسند. این پرسش هنوز شنیده می‌شود که: «DMA چیست و چه می‌گوید؟» اغلب چنین اظهار می‌شود که: «فکر می‌کنم می‌توانم از DMA بهره بگیرم اما نمی‌توانم بهای آن را توجیه کنم.» افراد مبتدی برای یادگیری مبانی این تکنیک باید بین متون آنالیز حرارتی، رتولوژی و علم مواد کنکاش کنند و لازم است مقالاتی را در یک زمینه کاربری ویژه بیابند. من که پیش از این در چنین وضعیتی بودم و اکنون دیگران را در تنگناهای مشابه یاری می‌دهم، اعتقاد بر آن دارم که به یک کتاب پیرامون آنالیز مکانیکی دینامیکی نیاز است.

این کتاب کوشش دارد نقطه شروعی را به شیمیدان‌ها، مهندسين یا دانشمندان مواد ارایه دهد تا آنها بدانند که آنالیز مکانیکی دینامیکی کجا و چگونه مورد استفاده قرار می‌گیرد، چگونه کار می‌کند و مزایا و محدودیت‌های آن چیست (بی‌آنکه خواننده را درگیر محاسبات کند). برای فردی که با مفاهیم تنش- کرنش، رتولوژی و علم مکانیک آشنا باشد کتاب‌های بسیار خوبی وجود دارند که من در سرتاسر متن این کتاب به آنها استناد خواهم کرد. در بیشتر موارد DMA قابل دسترس‌ترین و کاراترین آزمون رتولوژی موجود در آزمایشگاه‌ها می‌باشد. نتایج به دست آمده از این روش اغلب اطلاعات واضحی را درباره رفتار ماده به دست می‌دهند. با این حال داده‌های DMA، هنگامی که با داده‌های حرارتی دیگر حمایت شود مفیدتر واقع می‌شوند، اما اغلب از داده‌های DMA جهت تکمیل آنالیز حرارتی چشم‌پوشی می‌شود. در این کتاب برای به دست

آوردن بیشترین اطلاعات از این شیوه تکمیلی با توجه به هزینه آن تأکید به عمل آمده است زیرا به نظر می‌رسد که محدودیت‌های بودجه‌ای در هر سال شدیدتر می‌شوند. اگر از DMA به صورت صحیح بهره‌برداری شود از نظر بهره‌وری اقتصادی بسیار مقرون به صرفه واقع می‌شود، چون که اندک رفتار یک ماده را به سرعت نشان می‌دهد.

خط مشی این کتاب همان است که در دوره‌های آموزشی DMA در پرکین المر و نیز به عنوان بخشی از دوره آنالیز حرارتی در دانشگاه نورث تگزاس تدریس کرده‌ام. پس از مرور عناوین، شرح مفاهیم بنیادی رئولوژیکی و تکنیک‌های تجربی مبتنی بر آنها را شروع می‌کنم. از آنجایی که من عمدتاً با جامدات کار می‌کنم، با تنش - کرنش آغاز می‌کنم. به سادگی می‌توانستم با جریان و گرانشی آغاز کنم. در این راستا نگاه می‌اندازیم به این که چه ملاحظات تجربی‌ای مهم هستند و چگونه کیفیت داده‌ها تضمین می‌شوند. رسیدگی به داده‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد و همراه با آن خطرات و مزایای بعضی از روش‌های متداول بررسی خواهند شد. کاربردها برای سیستم‌های گوناگون مرور می‌شوند و وابستگی‌های تجربی و مراجع ارائه خواهند گردید.

در این کتاب مباحث ریاضی به حداقل رسیده است و یک دانشجوی تازه‌کار یا سال آخر در مقطع کارشناسی یا دانشجوی جدید کارشناسی ارشد نباید از این بابت مشکل داشته باشد. لازم است که من از بعضی از پیش‌گسوتان و اساتید خود و اعضای انجمن رئولوژی، برای ساده‌شدن بیش از اندازه کتاب عذرخواهی کنم. اما تجربه من می‌گوید که اکثر استفاده‌کنندگان DMA خواهان یک شیوه خشن و غیرضروری که ناامیدشان کند نیستند. برای افراد علاقمند مراجعی در متن‌های پیشرفته‌تر ارائه شده‌اند. من گمان می‌کنم که قدری آنالیز حرارتی و کمی بیشتر علم پلیمر را عرضه داشته‌ام. با اینکه زمینه‌های مهم مرور شده‌اند، خواننده برای جزئیات به یک کتاب پلیمری پایه ارجاع داده می‌شود.

مقدمه مترجمان

اندازه‌گیری و روش‌های اندازه‌گیری در رشته‌های مهندسی اهمیت زیادی دارند و به مقایسه خواص مواد مختلف با یکدیگر و انتخاب بهترین گزینه از بین آنها، با توجه به نیاز، کمک می‌کنند. به طور کلی اندازه‌گیری، فرآیند مقایسه یک مقدار با یک معیار است. برای این منظور به ابزاری برای مقایسه نیاز است. بدیهی است که برای اندازه‌گیری خواص و کمیت‌های پیچیده به ابزار پیشرفته‌تری نیاز است.

آنالیز مکانیکی - دینامیکی (DMA/Dynamic Mechanical Analysis) هم یک وسیله اندازه‌گیری است که به ویژه در اندازه‌گیری خواص ویسکوالاستیک پلیمرها به کار می‌رود. به این منظور رفتار و خواص یک سیال ویسکوز (ماده‌ای که وقتی نیرو به آن اعمال می‌گردد تمام آن را هدر می‌دهد) و یک جامد کشسان (ماده‌ای که تمام نیروی اعمالی را در خود ذخیره می‌سازد) معیارهای مقایسه در نظر گرفته می‌شوند و رفتار مواد ویسکوالاستیک که خواص آنها وابسته به زمان است، سنجیده می‌شود.

آنچه ابزار دقیق در اختیار ما قرار می‌دهد نتایجی حاصل از سازوکارها و قوانینی هستند که خود آنها را در کنار هم قرار داده‌ایم و تحلیل نتایج، مرحله‌ای است که بر عهده کاربر است و او باید آن را با احتیاط انجام دهد. تحلیل نتایج باید بدون تعصب انجام شود در غیر این صورت به شناسایی بیشتر ماده کمک نمی‌کند و بیشتر گمراه کننده است. برای مثال پلیمرها، که دارای مولکول‌های بزرگ هستند، در اوایل قرن بیستم به عنوان سیستم‌هایی کلوئیدی شناخته می‌شدند.

از هر دستگاه آنالیتیکی باید به اندازه توانایی‌های آن انتظار داشت. وجود یک DMA در آزمایشگاه‌ها هیچ‌گاه تمام نیازهای آن آزمایشگاه را برآورده نمی‌سازد بلکه اطلاعاتی که DMA به ما می‌دهد مکمل اطلاعاتی است که از روش‌های طیف سنجی (IR، FTIR، ...)، اندازه‌گیری خواص مکانیکی (آزمون‌های کشش، سختی و ...)، دستگاه‌های آنالیز حرارتی دیگر (DSC، TGA و ...) و سایر ابزارهای اندازه‌گیری به دست می‌آیند؛ پاره‌ای از اطلاعاتی که از DMA به دست می‌آیند، مانند تشخیص برخی از انتقال‌ها، با هیچ وسیله دیگری به دست نمی‌آیند. به علاوه DMA امکان آزمودن ماده را در شرایط

واقعی و با سرعت بالا فراهم می‌سازد.

قابلیت‌هایی که DMA در آنالیز مواد دارد و نیز پیشرفت روزافزون علم و تکنولوژی پلیمر در دنیا و همگام با آن در ایران، ما را بر آن داشت کتاب حاضر را ترجمه کنیم. این کتاب را می‌توان تنها کتابی دانست که با دیدگاهی علمی به شرح و معرفی دستگاه DMA و کاربردهای آن پرداخته است. امید است که ترجمه آن گامی موثر در جهت پیشرفت دانش پلیمر در کشور ما و بالا بردن سطح دانش افرادی باشد که با مواد پلیمری سروکار دارند.

مترجمان

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول - مقدمه‌ای بر آنالیز مکانیکی دینامیکی	۱
۱-۱- تاریخچه مختصری از DMA	۲
۲-۱- اصول پایه	۵
۳-۱- چند مثال کاربردی	۸
۴-۱- آزمون خزش - بازگشت	۱۶
۵-۱- موارد متفرقه	۱۹
NOTES	۲۱

فصل دوم - مفاهیم پایه‌ای رئولوژیکی، تنش، کرنش و جریان	۲۳
۱-۲- نیرو، تنش و تغییر شکل	۲۴
۲-۲- اعمال تنش	۲۷
۳-۲- قانون هوک، تعریف عکس‌العمل کشسان	۳۰
۴-۲- جریان مایع‌گونه یا مرز ویسکوز	۳۵
- سیالات شبه پلاستیک (- -) با افزایش سرعت	۳۷
- سیالات دیلاتانت (- -) گرانروی را با افزایش	۳۷
- سیالات پلاستیک (- -) یک نقطه تسلیم با	۳۷
۵-۲- نگاهی دیگر به منحنی‌های تنش - کرنش	۳۹
ضمیمه ۱-۲- ضرایب تبدیل	۴۸

۵۳	فصل سوم - اصول رئولوژی: خزش، بازگشت و آسودگی تنش
۵۵	۱-۳- آزمون خزش - بازگشت
۵۹	۲-۳- مدل‌های توصیف رفتار خزش - بازگشت
۶۱	۳-۳- تحلیل یک منحنی خزش - بازگشت برای برازش مدل چهارجزئی
۶۴	۴-۳- تحلیل یک آزمایش خزش برای استفاده عملی
۶۶	۵-۳- تغییرات دیگر در آزمون‌های خزش
۶۷	۶-۳- نگاهی اجمالی به آزمایش‌های آسودگی تنش
۷۱	۷-۳- برهم‌نهی - اصل بولتزمن
۷۱	۸-۳- زمان‌های تأخیر و آسودگی
۷۲	۹-۳- وابستگی ساختار - خواص در آزمون‌های خزش - بازگشت
۷۴	۱۰-۳- آنالیز ترمومکانیکی
۸۰	NOTES

۸۳	فصل چهارم - آزمایش‌های دینامیکی
۸۳	۱-۴- اعمال تنش دینامیکی به یک نمونه
۸۸	۲-۴- محاسبه انواع خواص دینامیکی
۹۲	۳-۴- ابزار دقیق برای آزمون‌های DMA
۹۲	۱-۳-۴- آنالیزکننده‌های رزونانس اجباری
۹۲	۲-۳-۴- کنترل تنش و کرنش
۹۵	۳-۳-۴- تغییر شکل محوری و پیچشی
۹۶	۴-۳-۴- آنالیزکننده‌های رزونانس آزاد
۱۰۰	۴-۴- گیره‌ها یا اشکال هندسی آزمون
۱۰۰	۱-۴-۴- محوری
۱۰۲	۱-۴-۴- خمش سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای
۱۰۴	۲-۴-۴- پایه‌های یک سر و دوسر بسته
۱۰۴	۳-۴-۴- صفحه موازی و انواع آن
۱۰۶	۴-۴-۴- توده

۱۰۶	 ۴-۱-۵- کشش / کشیدگی
۱۰۶	 ۴-۱-۶- صفحات برشی و ساندویچ‌ها
۱۰۹	 ۴-۲- پیچش
۱۰۹	 ۴-۲-۱- صفحات موازی
۱۱۰	 ۴-۲-۲- مخروط و صفحه
۱۱۰	 ۴-۲-۳- کوتاه (سیلندرهاى هم‌محور)
۱۱۲	 ۴-۲-۴- تیرک و نوار پیچشی
۱۱۲	 ۴-۵- مسائل مربوط به تنظیم دستگاه (کالیبراسیون)
۱۱۴	 ۴-۶- آزمایش‌های دینامیکی
۱۱۸	 ۴-۱- تنظیم و تأیید یک دستگاه
۱۲۲	 NOTES

فصل پنجم - روبش‌های زمان - دما: انتقال‌ها در پلیمرها

۱۲۳	 ۵-۱- روبش زمان و دما در DMA
۱۲۵	 ۵-۲- انتقال‌ها در پلیمرها: بازنگری
۱۲۹	 ۵-۳- انتقال‌های زیر Tg
۱۳۳	 ۵-۴- انتقال شبه‌ای (Tg یا Ta)
۱۴۱	 ۵-۵- تراز لاستیکی، Ta*، T ₁₁
۱۴۹	 ۵-۶- منطقه پایانی
۱۵۰	 ۵-۷- وابستگی‌ها به فرکانس در بررسی انتقال‌ها
۱۵۳	 ۵-۸- مشکلات و کاربردهای عملی
۱۵۷	 ۵-۹- مطالعات بر پایه زمان
۱۵۹	 ۵-۱۰- نتیجه‌گیری
۱۶۱	 NOTES

۱۶۶	فصل ششم - بررسی های زمان و دما: گرماسخت ها
۱۶۶	۱-۶. مواد گرماسخت: بازنگری
۱۷۵	۲-۶. بررسی رفتار پخت در DMA: نمودارهای پخت
۱۸۱	۳-۶. پخت با نور
۱۸۱	۴-۶. مدل سازی چرخه های پخت
۱۸۳	۵-۶. مطالعات پخت همدا
۱۸۹	۶-۶. سینتیک با DMA
۱۹۰	۷-۶. ترسیم رفتار گرماسخت: نمودار گیلهام - انس
۱۹۴	۸-۶. شیوه های کنترل کیفیت در تعیین مشخصات گرماسخت ها
۱۹۴	۹-۶. مطالعات پس پخت
۱۹۴	۱۰-۶. نتیجه گیری
۱۹۵	NOTES

فصل هفتم - روبش های فرکانس

۱۹۷	۱-۷. روش های انجام یک روبش فرکانس
۲۰۰	۲-۷. اثرات فرکانس بر مواد
۲۰۱	- سیالات شبه پلاستیک (- -) با افزایش برش رقیق تر می شوند
۲۱۴	۳-۷. عدد دوبرا
۲۱۵	۴-۷. اثرات فرکانس بر پلیمر های جامد
۲۱۸	۵-۷. اثرات فرکانس در حین مطالعات پخت
۲۱۹	۶-۷. مطالعات فرکانس روی مذاب های پلیمری
۲۲۰	۷-۷. نیروهای نرمال و کشسانی
۲۲۳	۸-۷. منحنی های اصلی و برهمتهی زمان - دما
۲۳۰	۹-۷. تبدیلات داده ها
۲۳۱	۱۰-۷. وزن مولکولی و توزیع وزن مولکولی
۲۳۸	۱۱-۷. نتیجه گیری
۲۳۹	NOTES

فصل هشتم - کاربردهای DMA در مسائل واقعی: رهنمودها ۲۴۱

۲۴۱	۱-۸. مسئله: تعیین مشخصات یا کارایی ماده
۲۴۴	۲-۸. آزمون‌های کارایی: مدل‌سازی یا کپی برداری
۲۴۶	۳-۸. انتخاب یک نوع آزمون
۲۴۷	۴-۸. تعیین مشخصات
۲۴۸	۵-۸. انتخاب گیره
۲۴۹	۶-۸. بررسی عکس‌العمل ماده به بارها
۲۵۰	۷-۸. بررسی عکس‌العمل به فرکانس
۲۵۱	۸-۸. بررسی عکس‌العمل به زمان
۲۵۲	۹-۸. بررسی پاسخ به دما
۲۵۳	۱۰-۸. جمع‌بندی
۲۵۳	۱۱-۸. تأیید نتایج
۲۵۵	۱۲-۸. اطلاعات حمایت‌کننده از سایر روش‌ها
۲۵۵	ضمیمه ۱-۸. آزمودن نمونه برای DMA
۲۵۶	آزمون‌های TMA
۲۵۶	رویش‌های تنش - کرنش استاتیک
۲۵۷	آزمایش‌های خزش - بازگشت
۲۵۷	آزمون سنجش طولی ثابت
۲۵۷	رویش‌های تنش - کرنش دینامیکی
۲۵۷	رویش‌های دمای دینامیکی
۲۵۸	مطالعات پخت
۲۵۸	رویش‌های فرکانس
۲۵۹	NOTES
۲۶۱	فهرست راهنما