پخت و خواص لاستیک

نویسندگان:

Jean-Maurice Vergnaud
ژان موریس ورنیود

Iosif-Daniel Rosca
یوسیف دانیل روسکا

www.ketab.ir

مترجمان:

رضا عابدی
حسن شعبانی

ویراستار:

فاطمه خودکار

سرشناسه	:	ورنیو، ژی. ام.، ۱۹۳۲- م.
		Vergnaud, J. M., 1932-
عنوان و نام پدیدآور	:	پخت و خواص لاستیک/ نویسندگان ژان موریس ورنیود، یوسیف دانیل روسکا؛ مترجمان رضا عابدی،حسن شعبانی؛ ویراستار فاطمه خودکار.
مشخصات نشر	:	تهران: فراز اندیش سبز، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:	۱۷۲ص.: جدول،نمودار.
شابک	:	978-622-6966-20-7
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Rubber curing and properties,c2009.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	لاستیک
		Rubber
شناسه افزوده	:	روسکا، یوسیف- دانیل
شناسه افزوده	:	Rosca, Iosif-Daniel
شناسه افزوده	:	عابدی، رضا، ۱۳۶۶ -، مترجم
شناسه افزوده	:	شعبانی صمغ‌آبادی، حسن، ۱۳۳۸-، مترجم
شناسه افزوده	:	خودکار، فاطمه، ۱۳۶۳-، ویراستار
رده بندی کنگره	:	TS۱۸۹۱
رده بندی دیویی	:	۶۷۸/۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۰۴۸۵۶۵
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

www.ketab.ir

فراز اندیش سبز

نام کتاب: پخت و خواص لاستیک

نویسندگان: ژان موریس ورنیود یوسیف دانیل روسکا

مترجمین: رضا عابدی - حسن شعبانی

ویراستار: فاطمه خودکار

طراحی و آماده سازی: واحد تولید فراز اندیش سبز

ناشر: موسسه انتشارات فراز اندیش سبز

چاپ و صحافی: فراز اندیش سبز

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۱

شابک: ۹۷۸ - ۶۲۲ - ۶۹۶۶ - ۲۰ - ۷

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۱/۵۰۰/۰۰۰ ریال

شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک

تهران، بزرگراه همت غرب، بلوار پژوهش، جنب پژوهشکده‌ی هواشناسی

تلفن: ۴۴۷۸۷۹۱۷-۰۲۱

www..rierco.net

Email: entesharat@rierco.net

حق چاپ برای شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک محفوظ است و استفاده از مطالب کتاب با بیان منبع، مانعی ندارد.

پیش‌گفتار

از لاستیک‌ها در کاربردهای بسیار مختلفی، از تایرها گرفته تا شلنگ‌ها یا سامانه‌های میراننده مثل لرزه‌گیرها استفاده می‌شود. آن‌ها در قیاس با سایر مواد مهندسی، در کنار استحکام مناسب، شکل‌پذیری بسیار خوبی نیز دارند. بازگشت‌پذیری آن‌ها تقریبا صددرصد است و ضمنا تقریباً تراکم‌ناپذیر هستند. مدول فشاری[1] آن‌ها هزار برابر بیشتر از مدول برشی یا مدول یانگ آن‌ها است. علاوه بر این، لاستیک‌ها تا حدود زیادی در برابر مایعات و به ویژه گازها ناتراوا[2] هستند. هر دوی این ویژگی‌ها از اهمیت قابل توجهی برای تایرهای سواری، هواپیما یا دوچرخه برخوردار است. بنابراین، به‌طور خلاصه اهمیت لاستیک در زندگی غیرقابل‌تصور است. گفته شده است در سال 1941، زمانی‌که ایالات متحده تصمیم به جنگ جهانی دوم گرفت، اگر لاستیک در کشوری موجود نبود هیچ جنگی را نمی‌توانست شروع کند.

اما خواص فیزیکی یک ماده لاستیکی فقط وابسته به ویژگی‌های ذاتی آن نیست؛ بلکه تا حد زیادی به میزان پخت آمیزه نهایی و هم‌چنین به ماهیت کائوچوی اولیه انتخاب شده برای پخت، یا لاستیک پخت نشده طبیعی یا مصنوعی، بستگی دارد. به دنبال فرایند پخت، آمیزه ساخته شده از لاستیک پخت نشده و عوامل پخت و هم‌چنین مواد افزودنی، درون یک قالب تا دمایی گرم می‌شود که در آن واکنش شروع شود، قالب نیز به ماده اولیه شکل می‌دهد تا به‌صورت نهایی دربیاید. در طول پخت، یک واکنش برگشت‌ناپذیر اتفاق می‌افتد و منجر به یک شبکه مولکولی سه بعدی می‌شود و آمیزه‌ی مومسان[3] اولیه تبدیل به ماده‌ای کشسان[4] می‌گردد.

به سه دلیل، کسب دانش خوب از فرایند پخت بسیار مهم است: 1. کیفیت محصول نهایی به میزان و یکنواختی پخت بستگی دارد؛ 2. اگر پخت به درستی انجام نشود، باید آمیزه را دور ریخت چون قابل بازیافت نیست 3. به دلایل اقتصادی لازم است که چرخه زمان پخت کاهش یابد.

فرایند پخت اساساً از دو مرحله انتقال گرما، یکی رسانش[5] از طریق توده لاستیک و دیگری در فصل مشترک لاستیک- قالب تشکیل شده است و واکنش پخت در دمای حدود 120 تا 150 درجه سلسیوس شروع می‌شود که به ماهیت ماده بستگی دارد. زمانی‌که دمای قالب خیلی کم است، واکنش به درستی انجام نمی‌شود و محصول نهایی کشسانی کافی نخواهد داشت و جذابیت کمی برای کاربردهای صنعتی دارد. برعکس، وقتی دما خیلی زیاد است، محصول نهایی می‌سوزد و شکننده می‌شود و هیچ خاصیت ارتجاعی از خود نشان نمی‌دهد. علاوه بر این، محدوده دمایی کمی وجود دارد که در آن، واکنش باید انجام شود. بنابراین،

[1] Bulk modulus
[2] Impermeable
[3] Plastic
[4] Elastic
[5] Conduction

www.ketab.ir

لازم است اهمیت قابل توجهی برای به دست آوردن خواص گرمایی مواد لاستیکی در طول مرحله گرمایش و فرایند پخت درون قالب و هم‌چنین روی مقادیر پارامترهای لازم برای بیان سینتیک واکنش پخت داده شود. با ساده‌سازی اصل واکنش پخت، که اساساً بسیار پیچیده است و گرفتن آن به عنوان واکنش مرتبه n ام، فقط چهار پارامتر سینتیکی باید درنظرگرفته شود: 1. آنتالپی پخت که نشان‌دهنده گرمای پدید آمده در کل واکنش است، 2. انرژی فعال‌سازی و 3. ثابت سرعت که تحت تاثیر دمای واکنش هستند و 4. مقدار لاستیکی که پخت نشده باقی مانده به توان n (n مرتبه کلی واکنش است). بنابراین، به مرور زمان، روش‌های مختلفی ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری که برای تعیین سینتیک واکنش پخت، پارامترهای اصلی سینتیکی محاسبه می‌شوند.

اهمیتی که به سینتیک پخت داده می‌شود آن‌قدر زیاد است که روش‌های مختلفی برای تعیین پارامترهای سینتیک پخت، آزمایش یا حتی ابداع شده است که به‌طور کلی طبق معادله آرنیوس درنظرگرفته می‌شود.

اولین روش، گرماسنجی پویشی بود که در شرایط هم‌دما یا در یک حالت پویش با آهنگ گرمایش ثابت انجام شد. اگرچه ممکن است این روش برای پخت بسپارهای گرماسخت[1] که آنتالپی زیادی را ایجاد می‌کنند بسیار مناسب باشد، اما برای لاستیک‌ها مطلوب نیست، زیرا مقدار آنتالپی پخت آن‌ها نسبتاً کم است و از 8 ژول بر گرم لاستیک به ازای هر 1 درصد گوگرد تجاوز نمی‌کند. از گرماسنج هم‌دما با فرض این‌که آهنگ پخت مطابق معادله آرنیوس با دما تغییر می‌کند، استفاده می‌شود. برای تعیین دمایی که در آن واکنش پخت شروع می‌شود از روش گرماسنجی پویشی تفاضلی[2] (DSC) استفاده می‌شود. آنتالپی پخت از آزمون‌های DSC به‌دست آمده است. در اواسط دهه هشتاد سوالی مطرح شد که کدام یک از روش‌های گرماسنجی هم‌دما یا گرماسنجی پویشی تفاضلی، می‌تواند بهترین روش گرماسنجی باشد و سرانجام مطالعات عمیق در فرایند انتقال گرما از طریق نمونه نشان داد که گرماسنجی هم‌دما به همان سادگی که در ابتدا به نظر می‌رسید نمی‌باشد. نمونه که در ابتدا در دمای اتاق است داخل گرماسنجی که در دمای موردنظر تنظیم شده قرار می‌گیرد و مرحله گرمایش شدید اولیه ممکن است اولین بخش واکنش را که داده‌های معنی‌داری می‌دهد، پنهان کند. در نهایت، ثابت شده است که گرماسنجی در حالت پویشی نه تنها بهترین روش برای ارزیابی آنتالپی پخت بسپارهای گرماسخت است، بلکه هم‌چنین روش مناسبی برای تعیین سینتیک گرمای پدید آمده در کل واکنش پخت لاستیک‌ها می‌باشد.

روش دیگر جذاب، اما بسیار وقت‌گیر، بر اساس اندازه‌گیری مقدار تورم نمونه‌های لاستیکی در مراحل مختلف در طی فرایند پخت است. در اواخر دهه هفتاد، این روش فقط برای اندازه‌گیری سینتیک واکنش پخت استفاده نشد، بلکه به ویژه برای ارزیابی وضعیت پخت[3] برای سامانه پخت معین مورد استفاده قرار گرفت. ورق‌های لاستیکی نازک (0/5 میلی‌متر) به‌صورت هم‌دما در محدوده‌ای از زمان و دما گرم شدند و وضعیت

[1] Thermosetting resins
[2] Differential scanning calorimetry (DSC)
[3] State of cure

www.ketab.ir

پخت با اندازه‌گیری تورم این نمونه‌ها در تولوئن ارزیابی شد. سپس با استفاده از داده‌های به دست آمده، درجه پخت در پروفیل‌های ضخیم‌تر (25 میلی‌متر) محاسبه و با پروفیل‌هایی که به‌طور تجربی اندازه‌گیری شده، مقایسه شد.

مطالعات دیگر با درنظر گرفتن انتقال گرما از طریق رسانش از میان لاستیک و هم‌چنین گرمای ایجاد شده توسط کل واکنش پخت انجام شده است. بنابراین وضعیت پخت در لحظه t به‌صورت کسر گرمای پدید آمده تا زمان t به کل گرمای واکنش پخت تعریف می‌شود. در یک روش دیگر، وضعیت پخت از تاریخچه گرمایی در هر جایی از لاستیک در مقایسه با دمای مرجع 149 درجه سلسیوس و با استفاده از ضریب گرمایی پخت (با فرض این‌که که آهنگ پخت به ازای هر 10 درجه سلسیوس افزایش دما با ضریب 1/85 افزایش می‌یابد) محاسبه شد. در مطالعه دیگری، تغییرات دمای ایجاد شده در ضخامت لاستیک با فرض این‌که آهنگ پخت به ازای هر 10 درجه سلسیوس افزایش دما، نسبت به دمای مرجع 150 درجه سلسیوس، دو برابر می‌شود، محاسبه شد. با استفاده از روشِ دمای مرجع، نیاز به محاسبات مرتبه واکنش نیست، اما مطالعه کامل مواد در دمای مرجع لازم است. از آن‌جایی‌که مسئله انتقال گرما از طریق رسانش گرمای داخلی ایجاد شده توسط واکنش پخت نمی‌تواند از نظر ریاضی حل شود، مدل‌های عددی با درنظر گرفتن همه حقایق شناخته شده برای شکل‌های مختلف مواد، چه نمونه استوانه‌ای در گرماسنج یا ساده‌تر به شکل ورق قرار گرفته در بدنه‌ی[1] قالب گرم، ساخته شده‌اند.

روش‌های دیگری که به‌طور گسترده برای پخت لاستیک استفاده می‌شود شامل گرمایش نمونه و پایش گرانروی یا گشتاور لاستیک در حین پخت است. گرانروی سنج مونی[2]، پخت‌سنج Wallace–Shawbury[3]، پخت‌سنج دیسک نوسانی[4] ODR و پخت‌سنج دای نوسانی[5] MDR توسعه یافته و به بازار عرضه شده است. پخت‌سنج MDR در سال 1985 معرفی شده است.

تنظیمات تمام این دستگاه‌ها در شرایط هم‌دما انجام می‌شود. در MDR یک ورق نازک (حدود 2 میلی‌متر) بین دو دای تنظیم شده در دمای موردنظر، قرار می‌گیرد. دای پایینی نوسان می‌کند و یک تراگردان[6] گشتاور/ فشار در بالای دای فوقانی قرار دارد. مشخص شده است که مدت زمان پخت در MDR به دلیل انتقال گرمای بهتر و مقادیر گشتاور بیشتر به خاطر نوع دای طراحی شده، نسبت به ODR کوتاه‌تر است. MDR در سه دما کار می‌کند تا ارزیابی پارامترهای سینتیک واکنش پخت را امکان‌پذیر سازد. در نهایت، این دستگاه انرژی

[1] Slabs
[2] Money viscosimeter
[3] Curometer
[4] Oscillating disc rheometer
[5] Moving die rheometer
[6] Transducer

www.ketab.ir

فعال‌سازی و ضریب تابع نمایی[1] را محاسبه می‌کند. فرض بر این است که مقدار مدول با زمان طبق سینتیک مرتبه اول تغییر می‌کند و ثابت سرعت با دما طبق معادله آرنیوس تغییر می‌کند.

فرایند پخت لاستیک که در MDR انجام می‌شود مشابه فرایند پخت در یک قالب است: انتقال گرما به وسیله رسانش از میان لاستیک با ضریب انتقال گرما در فصل مشترک دای-لاستیک به دنبال واکنش پخت صورت می‌گیرد. بنابراین زمانی‌که MDR تحت شرایط هم‌دما کار می‌کند، نمونه در ابتدا در دمای اتاق بین دای‌های گرم قرار می‌گیرد و انتقال گرمای قابل توجهی از میان لاستیک با کاهش متقابل دما در سطح دای رخ می‌دهد. در نتیجه، شیوهای (گرادیان‌های) دمایی تندی در سراسر ضخامت نمونه لاستیکی ایجاد می‌شود. واکنش پخت در یک دمای معین شروع می‌شود و روی سطحِ در تماس با دای‌ها، مقادیر بیشتر شیوهای وضعیت پخت وجود دارد. بعد از مدتی، وضعیت پخت یکنواخت‌تر می‌شوند.

صرف‌نظر از ماهیت لاستیک و عامل پخت، سه پارامتر دمای دای‌ها، ضخامت نمونه و کیفیت تماس بین لاستیک و دای‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. قرار دادن درست نمونه لاستیکی بین دای‌ها، هنگامی‌که گرم می‌شوند، آسان نیست و علاوه بر این، مشکل دیگری که شرایط هم‌دما موجب شده است این است که سه دما باید در محدوده دمایی باریکی انتخاب شوند. به همین دلیل اخیراً تلاش شده است روش MDR با قابلیت پویش به روش‌های مختلف، به‌روزرسانی گردد. بنابراین به جای سه اندازه‌گیری با نمونه‌های مختلف در دماهای انتخاب شده فقط یک آزمایش لازم است. ابتدا باید حالت پویش با آهنگ ثابت از آغاز تا پایان فرایند درنظرگرفته شود. به منظور بهبود این فرایند و برای کاهش زمان آزمون، تغییر در آهنگ گرمایش ایجاد می‌شود. در ابتدا با آهنگ زیاد و به دنبال آن، به محض این‌که واکنش پخت شروع شد، آهنگ گرمایش کمتر می‌شود. علاوه بر این، اثر پارامترهای موثر مانند آهنگ گرمایش و کیفیت تماس بین لاستیک و دای با جزئیات مورد مطالعه قرار گرفته است. سرانجام مشخص شد که افزایش خطی دما با زمان، روش مناسبی برای گرمایش دستگاه نیست، زیرا ثابت شده است ریشه دوم برنامه دما- زمان برای زمان MDR مورد استفاده برای پخت لاستیک، کوتاه‌تر است.

مشکل دیگری که باید به‌طور دقیق در مورد فرایند پخت لاستیک درون قالب بررسی گردد زمانی رخ می‌دهد که واکنش پخت اتفاق می‌افتد و این مربوط به مرحله گرمایش است.

بنابراین از روی اندازه‌های به‌دست آمده برای پارامترهای سینتیکی واکنش پخت، ارزیابی پیشرفت پخت یک قطعه لاستیکی با استفاده از پارامترهای گرمایی لاستیک و قالب امکان‌پذیر می‌باشد. به رغم مقدار کم گرمای تولید شده از طریق واکنش پخت، تغییرات دما و وضعیت پخت ایجاد شده در تمام نمونه در زمان‌های مختلف، از طریق آزمایش یا محاسبه، به دست آمده است. محاسبه با در نظرگرفتن انتقال گرما به وسیله رسانش، نه تنها از طریق لاستیک، بلکه از طریق قالب نیز انجام می‌گردد. از آن‌جایی‌که اصلاح ریاضی در این مورد امکان‌پذیر نیست، مدل‌های عددی با درنظر گرفتن تمام حقایق شناخته شده ساخته شده و با موفقیت

[1] Preexponential factor

www.ketab.ir

آزمایش شده‌اند. موضوعات مختلف مربوط به پخت لاستیک‌ها و خواص آن‌ها مانند فرایند پخت و روش‌های ارزیابی آن از طریق مدل‌سازی، همبستگی بین وضعیت پخت لاستیک‌ها و خواص مکانیکی و یا مقاومت آن‌ها در برابر مایعات، ایجاد شده است.

آزمایش مواد لاستیکی شامل قرار گرفتن در معرض انواع مختلف عوامل محیطی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مسائل لاستیک‌ها، مقاومت آن‌ها در برابر مایعات است. آزمایش‌هایی که در آن لاستیک‌ها با مایعات در تماس هستند، اغلب به دلیل تغییر حجم آزمونه، آزمون‌های تورم نامیده می‌شوند یا هم‌چنین چون روغن‌های معدنی (نفتی) اکثرا به عنوان مایع استفاده می‌شود، آزمون‌های پیرش در روغن نامیده می‌شوند. به‌طور کلی، این آزمون‌ها شامل اندازه‌گیری جذب کل تولوئن توسط لاستیک پس از غوطه‌ور شدن در مایع است. روش دیگر با مطالعه فرایند جذب یا واجذب مایعی که قبلاً جذب شده بررسی می‌شود که هر دو توسط نفوذ[1] از میان لاستیک با تغییر در ابعاد که منجر به شرایط مرزی شده است، کنترل می‌گردد. از آن‌جایی‌که این مسئله نمی‌تواند با اصلاح ریاضی حل شود، مدل‌های عددی مختلف ساخته و آزمایش شدند، به‌طوری که نه تنها نفوذ با نفوذپذیری[2] وابسته به غلظت و تغییر در ابعاد، بلکه با تورم ناهمسان، درنظر گرفته می‌شود. روش ارزیابی میزان وابستگی نفوذپذیری به غلظت که قبلاً با استفاده از سایر بسپارها ردیابی شده بود، برای این مسائل مربوط به لاستیک استفاده شده است.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی لاستیک مسئله مهمی است. این خواص نه تنها تحت شرایط استاتیک، بلکه در شرایط دینامیک، با مدول ذخیره (هم‌فاز[3]) و مدول اتلافی (غیرهم‌فاز[4]) تعیین می‌شوند.

کتاب حاضر در 5 فصل تدوین شده است. فصل یک، مروری بر فرایند پخت است و در آن تاریخچه فرایند پخت با یادآوری آزمایش‌ها و محاسبات مورد نظر، به عنوان موارد تعیین‌کننده در توسعه فرایندهای پخت لاستیک، درنظر گرفته می‌شود.

در فصل دوم، تمام مسائل ناشی از فرایند انتقال گرما از طریق همرفت[5] در فصل مشترک جامد-سیال و رسانش از طریق یک جامد که می‌تواند لاستیک یا قالب باشد، بررسی شده است. وضعیت لاستیک گرم شده پس از استخراج از قالب نیاز به درنظر گرفتن فرایند گرمایی مرتبط با همرفت و رسانش دارد.

در فصل سوم، روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی سینتیک پخت لاستیک‌ها بر اساس گرمای پدید آمده در واکنش پخت (گرماسنجی) یا تغییر در خواص مکانیکی در طی پخت (پخت‌سنجی) توصیف و مطالعه شده است. مطالعات نظری به نحوی انجام شده است که MDR در حالت هم‌دما یا حتی در حالت پویش، با درنظر گرفتن روابط دما-زمان مختلف، بهبود یافته است.

---

[1] Diffusion
[2] Diffusivity
[3] In-phase
[4] Out-of-phase
[5] Convection

www.ketab.ir