

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۰۴۴۱۸

۴۸، ۳، ۲۲

علوم و مهندسی لاستیک‌ها

تألیف:

دکتر علی اصغر کتباب

استاد دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

بهار ۱۳۹۸

سرشناسه	کتاب، علی اصغر، ۱۳۳۰
عنوان و نام پدیدآور	علوم و مهندسی لاستیک‌ها/علی اصغر کتاب
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	۳۵۲ ص
شابک	978-964-463-755-1
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
موضوع	لاستیک
موضوع	Rubber
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر
رده‌بندی کنده	۱۳۹۷ ع ۸ ۹۰/۵۲ TS
رده‌بندی دیوید	۶۷۸/۲
شماره کتاب‌شناسی ملی	۵۵۳۷۰۶۵

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۷/۸/۱۲۰ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	علوم و مهندسی لاستیک‌ها
تألیف	دکتر علی اصغر کتاب
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	بهار ۱۳۹۸
قیمت	۳۸۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰ نسخه
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۷۵۵-۱
	ISBN: 978-964-463-755-1

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیشگفتار مؤلف

امروزه مواد پلیمری به عنوان یکی از ارکان اصلی صنایع و فناوری‌های نوین محسوب می‌شوند و طیف گسترده کاربرد را به خود اختصاص داده به طوری که حجم قابل توجهی از پژوهش‌های جهان را در حوزه‌های مختلف متوجه خود ساخته‌اند. دور از واقع نیست اگر گفته شود که بدون به‌کارگیری مواد پلیمری گسترش صنایع و فناوری گوناگون ممکن نیست. بدین دلیل است که همه ساله پلیمرهای جدید با خواص و قابلیت‌های ویژه وارد بازار می‌شوند و تمام محققین دست‌اندرکار تهیه مواد پیشرفته تلاش خود را متوجه افزایش قابلیت‌های مواد پلیمری در گسترش فناوری‌های گوناگون نموده‌اند. لاستیک‌ها گروه مهمی از مواد پلیمری هستند که از ارتجاعیت بسیار بالایی برخوردار بوده و قادرند تا انعطاف پذیری و خواص مکانیکی خود را تا دماهای زیر صفر درجه سلسیوس حفظ نمایند. مولکول‌های این دسته از مواد از ساختار زنجیره‌ای شکل با وزن مولکولی زیاد برخوردارند و از کرنش پذیری تا ۱۵۰۰ درصد همراه با قابلیت برگشت سریع به ابعاد اولیه بعد از قطع شدن به خورد دارند. استفاده از این مواد در تولید محصولات مختلف مستلزم آمیزه شدن با سایر پلیمرها و مواد تقویت کننده و پایدار کننده‌های گوناگون است. برخلاف ویژگی‌ها و خواص مهندسی قابل توجه فرایند پذیری این مواد سخت می‌باشد و در حالت خام از استحکام مکانیکی ضعیف برخوردارند. لذا انجام فرایند آمیزه سازی بر روی هر نوع لاستیک خام الزامی است. از طرفی، قالب‌گیری این مواد بدون افزودن سامانه شبکه‌ای کننده ممکن نیست. آمیزه سازی این مواد به منظور تولید یک محصول نهایی مستلزم داشتن شناخت و علم کافی از ساختار مولکولی، فیزیک کشسانی، اصول فرایندهای آبره سازی، شارش‌سنجی، سازوکارهای تقویت و سامانه‌های پخت یا ولکانش می‌باشد.

فصول نوشته شده در کتاب حاضر حاصل سال‌های طولانی تجربه آشنایی و اجرای پروژه‌های تحقیقاتی گسترده توسط مؤلف می‌باشد و بر اساس نیازهای علمی و صنعتی کشور عزیز ایران و دانشجویان در سطوح مختلف و گرایش‌های گوناگون تدوین گردیده است. همچنین فصول مندرج در این کتاب حاوی مطالب علمی مورد توجه محققین مختلف نه تنها در حوزه مهندسی مواد پلیمری بلکه سایر زمینه‌های علمی دیگر می‌باشد.

در اینجا لازم می‌دانم تا از سرکار خانم مهندس فرزانه آزادی‌منش دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر که در صفحه‌آرایی و تنظیم فصول مختلف این کتاب همکاری داشته‌اند، تشکر نمایم.

فصل اول: مروری بر مواد پلیمری، ریزساختار و فیزیک آن‌ها

۱	 ۱-۱ مقدمه
۲	 ۲-۱ تاریخچه
۵	 ۳-۱ مروری بر مواد پلیمری
۵	 ۱-۳-۱ تعریف پلیمر
۸	 ۲-۳-۱ صورت‌بندی فضایی زنجیرهای پلیمر
۱۲	 ۳-۲-۱ انتخاب صورت‌بندی فضایی زنجیرهای پلیمر
۱۲	 ۴-۳-۱ خوشه‌های زنجیرهای پلیمر
۱۹	 ۵-۳-۱ تفاوت شبکه‌های آشی و صورت‌بندی فضایی در زنجیرهای پلیمری
۱۹	 ۶-۳-۱ حرکت چرخشی در درشت‌مولکول‌ها
۲۱	 ۷-۳-۱ دمای انتقال شیشه‌ای
۲۴	 مراجع فصل اول

فصل دوم: فیزیک کشسانی لاستیک

۲۵	 ۱-۲ مقدمه
۲۶	 ۲-۲ لاستیک
۳۲	 ۳-۲ خواص گرمافیزیکی شبکه‌های لاستیکی
۳۴	 ۴-۲ نظریه کشسانی شبکه لاستیکی از دیدگاه ترمودینامیک
۴۱	 ۵-۲ رفتار کشسانی لاستیک از دیدگاه مولکولی
۴۱	 ۶-۲ نظریه‌های کشسانی مولکولی
۴۲	 ۷-۲ کشسانی یک زنجیر آزاد
۴۶	 ۸-۲ کشسانی و انرژی آزاد کشسانی شبکه‌ی لاستیکی
۵۲	 ۹-۲ نقش بی‌نظمی و آنتروپی در مقاومت کشسانی شبکه‌های لاستیکی
۵۴	 مراجع فصل دوم

فصل سوم: شارش سنجی لاستیک‌های شبکه‌ای نشده

۵۵	 ۱-۳ مقدمه
۵۶	 ۲-۳ تاریخچه
۵۷	 ۳-۳ شبیه‌سازی شارش در فرآیند لاستیک‌ها

۵۷	 ۴-۳ مبانی پایه‌ای مکانیک
۵۹	 ۵-۳ ویژگی‌های شارش‌سنجی
۶۰	 ۱-۵-۳ رفتار رئولوژیک اجسام مختلف
۶۰	 ۲-۵-۳ جامدات کشسان ایده‌آل
۶۲	 ۳-۵-۳ سیالات ایده‌آل
۶۳	 ۵-۴-۳ سیالات مستقل از زمان
۶۷	 ۵-۵-۳ سیالات وابسته به زمان
۶۸	 ۶-۵-۳ سیالات گرانروکشسان
۷۲	 ۶-۳ مدل‌های ساده گرانروکشسانی خطی
۷۴	 ۱-۶-۳ مدل گرانروکشسان خطی ماکسول
۷۶	 ۲-۶-۳ مدل چند عضو ماکسول
۷۸	 ۳-۶-۳ مدل کلوین
۸۵	 ۷-۳ شارش‌سنجی آمیزه‌های سسکی
۹۱	 مراجع فصل سوم
	فصل چهارم: فرآیندهای آمیزه‌کاری و شکل‌دهی لاستیک‌ها
۹۳	 ۱-۴ مقدمه
۹۴	 ۲-۴ لاستیک‌ها
۹۴	 ۱-۲-۴ تقسیم‌بندی لاستیک‌ها
۹۴	 ۲-۲-۴ انواع لاستیک‌ها
۹۵	 ۱-۲-۲-۴ لاستیک طبیعی
۹۷	 ۱-۱-۲-۲-۴ تقسیم‌بندی لاستیک طبیعی جامد بر اساس نحوه تراوش
۹۷	 ۲-۱-۲-۲-۴ تقسیم‌بندی گونه‌های لاستیک طبیعی بر اساس خصوصیات
۹۸	 ۳-۱-۲-۲-۴ خواص کلی لاستیک طبیعی
۹۹	 ۲-۲-۲-۴ لاستیک‌های غیرطبیعی
۱۰۱	 ۱-۲-۲-۲-۴ لاستیک SBR
۱۰۳	 ۱-۱-۲-۲-۲-۴ پلیمریزاسیون SBR
۱۰۵	 ۲-۱-۲-۲-۲-۴ کاربردهای لاستیک SBR
۱۰۶	 ۲-۲-۲-۲-۴ لاستیک پلی‌بوتادی‌ان
۱۰۹	 ۱-۲-۲-۲-۲-۴ کاربرد لاستیک پلی‌بوتادی‌ان
۱۱۰	 ۳-۲-۲-۲-۴ لاستیک بیوتیل
۱۱۰	 ۱-۳-۲-۲-۲-۴ ریزساختار لاستیک بیوتیل

۱۱۱	 ۲-۳-۲-۲-۲-۴ خواص و ویژگی های لاستیک بیوتیل
۱۱۲	 ۴-۲-۲-۲-۲-۴ لاستیک نیتریل
۱۱۳	 ۵-۲-۲-۲-۲-۴ کاربردهای لاستیک NBR
۱۱۳	 ۶-۲-۲-۲-۲-۴ لاستیک EPDM
۱۱۴	 ۱-۶-۲-۲-۲-۴ کاربردهای لاستیک EPDM
۱۱۵	 ۷-۲-۲-۲-۲-۴ لاستیک سیلیکون
۱۱۶	 ۱-۷-۲-۲-۲-۴ پخت یا شبکه ای شدن لاستیک سیلیکون
۱۱۷	 ۲-۷-۲-۲-۲-۴ کاربردهای لاستیک سیلیکون
۱۱۷	 ۳-۴ فرآیندهای اختلاط و آمیزه سازی
۱۱۹	 ۳-۴ مراحل مختلف فرآیند آمیزه سازی و اختلاط
۱۲۲	 ۲-۳-۴ مخلوط کن های مورد استفاده در آمیزه کاری
۱۲۳	 ۱-۲-۳-۴ مخارط کن های بسته
۱۲۶	 ۲-۲-۳-۴ مخلوط کن های نیمه ای
۱۲۷	 ۳-۲-۳-۴ فرآیند نورد
۱۳۴	 ۴-۲-۳-۴ فرآیند رانشگری
۱۳۸	 ۴-۴ فرایندهای قالب گیری و شکر دهی دستگاه ها
۱۴۵	 ۱-۴-۴ قالب گیری فشاری
۱۴۷	 ۲-۴-۴ شکل دهی انتقالی
۱۴۹	 ۳-۴-۴ قالب گیری و شکل دهی تزریقی
۱۵۲	 مراجع فصل چهارم

فصل پنجم: فناوری ولکانیزاسیون

۱۵۵	 ۱-۵ مقدمه
۱۵۶	 ۲-۵ تاریخچه
۱۵۷	 ۳-۵ تعریف ولکانیزاسیون
۱۵۸	 ۴-۵ تأثیر ولکانیزاسیون بر خواص فیزیکی و مکانیکی لاستیک
۱۵۹	 ۱-۴-۵ مقاومت کرنشی یا مدول
۱۶۰	 ۲-۴-۵ سختی
۱۶۱	 ۳-۴-۵ استحکام کششی
۱۶۲	 ۴-۴-۵ درصد افزایش طولی تا نقطه پارگی و مانایی دائمی
۱۶۲	 ۵-۴-۵ ارتجاعیت (کشسانی)
۱۶۳	 ۶-۴-۵ تورم پذیری در حلال

۱۶۳	 ۷-۴-۵ تراوایی نسبت به گاز
۱۶۴	 ۵-۵ تأثیر نوع اتصالات عرضی بر خواص فیزیکی لاستیک شبکه‌ای شده
۱۶۵	 ۶-۵ تأثیر عوامل ماکرومولکولی بر خواص شبکه
۱۶۵	 ۷-۵ مراحل مختلف فرآیند شبکه‌ای شدن
۱۶۸	 ۱-۷-۵ مرحله کم پختی
۱۶۹	 ۲-۷-۵ پخت بهینه
۱۶۹	 ۳-۷-۵ پخت هموار و فرایخت
۱۷۰	 ۸-۵ سامانه‌های شبکه‌ای کننده
۱۷۱	 ۱-۸-۵ مون سولفور دهنده
۱۷۲	 ۲-۸-۵ شتاب دهنده‌ها
۱۷۴	 ۳-۸-۵ سازوکار شبکه‌ای شدن لاستیک با سامانه گوگردی
۱۸۰	 ۴-۸-۵ پخت گردی و حضور شتاب دهنده
۱۸۳	 ۵-۸-۵ سامانه‌های شبکه‌ای کننده پراکسیدی
۱۸۶	 ۶-۸-۵ سامانه‌های شبکه‌ای کننده رینی
۱۸۸	 ۷-۸-۵ سامانه‌های پخت اکسید فلز
۱۹۱	 مراجع فصل پنجم

فصل ششم: گرمانرم

۱۹۳	 ۱-۶ مقدمه
۱۹۵	 ۲-۶ آلیاژهای پلی‌الفین/لاستیک
۱۹۶	 ۱-۲-۶ آلیاژهای پلی‌پروپیلن با EPDM
۱۹۶	 ۱-۱-۲-۶ اصلاح مقاومت ضربه‌ای پلی‌پروپیلن توسط لاستیک EPDM
۱۹۷	 ۳-۶ افزودنی‌های پلیمرهای گرمانرم الفینی
۱۹۸	 ۱-۳-۶ پرکننده‌ها
۱۹۸	 ۲-۳-۶ کمک فرآیندها
۱۹۹	 ۳-۳-۶ مواد محافظت کننده
۱۹۹	 ۴-۶ فرآیندهای آمیزه‌سازی لاستیک‌های گرمانرم الفینی
۲۰۰	 ۵-۶ ریزساختار آلیاژهای پلی‌الفین/لاستیک
۲۰۱	 ۶-۶ خواص فیزیکی و تأثیر پارامترهای مختلف
۲۰۳	 ۷-۶ مقاومت در برابر عوامل تخریب کننده بیرونی
۲۰۴	 ۸-۶ مقاومت در برابر حلال‌ها
۲۰۵	 ۹-۶ خواص الکتریکی آلیاژهای الفینی گرمانرم

۲۰۵	۱۰-۶ رفتار فرآیندی مواد گرمانرم الفین و لاستیک‌های گرمانرم الفینی
۲۰۶	۱۱-۶ کاربردهای لاستیک‌های گرمانرم و گرمانرم الفین
۲۰۶	۱۲-۶ مقاومت به ضربه‌ی لاستیک‌های گرمانرم الفینی
۲۰۸	۱۳-۶ ریزساختار مولکولی آلیاژهای لاستیک و پلاستیک
۲۰۸	۱۴-۶ سازوکارهای اختلاط در سیالات امتزاج ناپذیر
۲۱۰	۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم
۲۱۳	۱-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم از نوع کوپلیمر قطعه‌ای
۲۱۳	۲-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم آلیاژی
۲۱۳	۳-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم آلیاژی بر پایه پلی‌الفین‌ها
۲۱۴	۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم ولکانش یافته دینامیکی
۲۱۵	۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم متالوسن
۲۱۵	۶-۱۵-۶ ریزساختار و جابجایی با خواص لاستیک‌های گرمانرم
۲۱۵	۱-۶-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم از نوع کوپلیمر قطعه‌ای
۲۱۶	۲-۶-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم آلیاژی TPO
۲۱۷	۳-۶-۱۵-۶ تأثیر ترکیب در خواص و خواص گرانشی فازها بر ریخت آلیاژ
۲۱۹	۴-۶-۱۵-۶ اثر برهم‌کنش بین سطحی
۲۱۹	۷-۱۵-۶ لاستیک‌های گرمانرم پخت شده
۲۳۲	۸-۱۵-۶ رفتار شارشی مذاب لاستیک‌های گرمانرم
۲۳۳	۹-۱۵-۶ رفتار شارشی مذاب مواد گرمانرم از نوع TPV
۲۳۳	۱۰-۱۵-۶ رفتار شارشی مذاب مواد TPV
۲۳۶	مراجع فصل ششم

فصل هفتم: پرکننده‌های تقویت کننده

۲۴۱	۱-۷ مقدمه
۲۴۴	۲-۷ پارامترهای ساختاری پرکننده
۲۴۶	۱-۲-۷ اندازه ذرات پرکننده
۲۴۷	۲-۲-۷ ساختار پرکننده
۲۴۸	۳-۲-۷ خصوصیات سطحی پرکننده
۲۴۸	۳-۷ برهم‌کنش‌های پرکننده-پلیمر
۲۵۰	۴-۷ تقویت توسط دوده و سیلیکا
۲۵۱	۱-۴-۷ دوده
۲۵۳	۲-۴-۷ سیلیکا

۲۵۶	کاهش برهم‌کنش‌های پرکننده - پرکننده و جلوگیری از تجمع نانو ذرات
	سیلیکا
۲۵۶	افزایش سازگاری میان زمینه غیرقطبی لاستیک و سطح قطبی نانو ذرات
	سیلیکا
۲۵۶	پوشش گروه‌های سیلانول سطح سیلیکا
۲۵۷	روش‌های اصلاح سطحی
۲۵۸	اصلاح حرارتی
۲۵۸	اصلاح شیمیایی
۲۶۱	روش از طریق پلیمریزاسیون پلاسما
۲۶۳	عوامل اتصال دهنده سیلانی
۲۶۸	خواص مکانیکی و گروکشان لاستیک پر شده
۲۷۱	خواص دینامیکی گروکشان‌های شبکه‌های لاستیکی پر شده
۲۷۷	مراجع فصل هفتم

فصل هشتم: نانوفناوری لاستیک‌ها

۲۸۱	۱-۸ مقدمه
۲۸۴	۲-۸ ریزساختار مواد نانو چندسازه بر پایه نانوساختار
۲۸۴	۱-۲-۸ ریزساختار نانوچندسازه‌های پلیمری
۲۸۵	۱-۱-۲-۸ چندسازه‌های معمولی
۲۸۵	۲-۱-۲-۸ مواد نانو چندسازه بین لایه‌ای
۲۸۵	۳-۱-۲-۸ مواد نانوچندسازه با ساختار ورقه‌ای شده
۲۸۶	۲-۲-۸ فرآیندهای تهیه نانوچندسازه پلیمری بر پایه‌ی نانورس
۲۸۶	۱-۲-۲-۸ پلیمریزاسیون در جا
۲۸۶	۲-۲-۲-۸ ورقه‌ای شدن محلولی
۲۸۶	۳-۲-۲-۸ بین لایه‌ای شدن مذاب
۲۸۸	۳-۲-۸ ساختار نانو پرکننده سیلیکات‌های لایه‌ای
۲۸۹	۱-۳-۲-۸ ساختار نوع ۱:۲
۲۹۰	۲-۳-۲-۸ ساختار نوع ۱:۱
۲۹۱	۴-۲-۸ اصلاح سطحی نانو پرکننده سیلیکات لایه‌ای
۲۹۲	۵-۲-۸ ترمودینامیک تشکیل ریزساختار نانوچندسازه‌های پلیمر- نانورس
۲۹۶	۶-۲-۸ میکرو شارش‌سنجی نانوچندسازه‌های پلیمر- نانورس

۲۹۹	 ۷-۲-۸ خواص نانو چندسازه‌های پلیمر- نانورس
۳۰۰	 ۸-۲-۸ روش‌های تحلیل و شناسایی ریزساختار مولکولی نانو چندسازه‌های پلیمر- نانورس
۳۰۱	 ۹-۲-۸ مواد چندسازه لاستیک- نانورس
۳۰۲	 ۱۰-۲-۸ نانو سیلیکات‌های لایه‌ای به عنوان تقویت‌کننده لاستیک‌ها
۳۰۴	 ۱۱-۲-۸ عوامل مؤثر بر ریزساختار و خواص مواد نانوحندسازه لاستیک- نانورس
۳۰۴	 ۱-۱۱-۲-۸ نوع لاستیک
۳۰۶	 ۲-۱۱-۲-۸ تأثیر نوع و مقدار نانورس
۳۱۱	 ۳-۱۱-۲-۸ تأثیر شرایط فرآیند اختلاط لاستیک /نانورس
۳۱۳	 ۴-۱۱-۲-۸ اثر سامانه شبکه‌ای‌کننده
۳۱۵	 ۲-۲-۸ آمیزه ساز لاستیک با مخلوط نانورس، دوده و سیلیکا
۳۲۳	 مراجع فصل هشتم
۳۲۷	 واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۳۳۵	 واژه‌نامه فارسی به انگلیسی