

فرآیندهای شکل‌دهی پلیمرها

□ ترجمه و گردآوری: محمود همتی (عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت)
احسان بهزادفر





سرشناسه	همتی، محمود، ۱۳۳۷-.
عنوان و نام پدیدآور	فرایندهای شکل‌دهی پلیمرها / گردآوری محمود همتی، احسان بهزادفر.
مشخصات نشر	تهران: پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	۳۵۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۱-۵۷-۷
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
موضوع	پلیمرها
شناسه افزوده	بهزادفر، احسان، ۱۳۶۳-
شناسه افزوده	پژوهشگاه صنعت نفت، ناشر.
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۱ ق ۴ / ۸ QD۳۸۱
رده‌بندی دیویی	۵۴۷/۷
شماره کتابشناسی ملی	۳۰۲۰۷۸۲

چاپ این کتاب پس از داوری در پنجاه و یکمین جلسه شورای نشر پژوهشگاه صنعت نفت، مورخ ۱۳۹۱/۷/۲۱، به تصویب رسید.



تهران: بلوار غربی مجموعه ورزشی آزادی، پژوهشگاه صنعت نفت □ کد پستی: ۱۴۸۵۷۳۳۱۱۱
صندوق پستی: ۱۳۷-۱۴۶۶۵ □ تلفن مرکز نشر: ۴۸۲۵۲۰۴۸. دورنگار: ۴۴۷۳۹۷۱۲
وب سایت پژوهشگاه: www.ripi.ir ، E-mail: nashr@ripi.ir

فرایندهای شکل‌دهی پلیمرها
ترجمه و گردآوری: محمود همتی (عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت)، احسان بهزادفر
ناشر: پژوهشگاه صنعت نفت □ ویراستار ادبی: منیر قنبریان □ صفحه‌آرا: اشرف السادات حسینی
طراح جلد: پرویز بیانی □ چاپ اول: زمستان ۱۳۹۱ □ شمارگان: ۵۰۰ نسخه
قیمت: ۱۴۰۰۰ ریال □ چاپ: شعبانی
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۱-۵۷-۷
ISBN: 978-600-5961-57-7

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹	پیشگفتار ناشر
۱۱	پیشگفتار
۱۳	فصل اول: اهمیت مطالعه فرآیندهای پلیمری
۱۶	۱-۱- تقسیم‌بندی فرآیندهای پلیمرها
۲۲	۱-۲- بررسی نمونه‌ای از فرآیندها: فرایند تولید فیلم به روش دمشی
۲۶	۱-۳- اصول طراحی فرآیند پلیمری
۲۶	منابع
۲۷	فصل دوم: جریان هم‌دمای سیالات غیرنیوتنی
۳۰	مسئله طراحی ۱: طراحی دای قالب‌گیری دمشی
۳۲	۱-۲- رفتار ویسکوز مذاب‌های پلیمری
۳۵	۲-۲- جریان هم‌دمای یک‌بعدی
۳۷	۱-۲-۲- جریان از درون یک دای آنالوسی
۴۲	۲-۲-۲- جریان در دای پوشش‌دهی سیم
۴۸	۳-۲- معادلات تغییر برای سیستم‌های هم‌دما
۵۵	۴-۲- تقریب‌های مفید
۷۷	۵-۲- حل مسئله طراحی ۱
۷۷	۱-۵-۲- حل با استفاده از تقریب روان‌کاری
۸۰	۲-۵-۲- الگوریتم کامپیوتری
۸۲	مسائل فصل دوم
۸۴	منابع
۸۵	فصل سوم: فرآیند اکستروژن
۸۷	مسئله طراحی ۲: طراحی بخش گاز‌گیری یک اکسترودر تک‌مارپیچه

صفحه	عنوان
۸۹	۳-۱-آشنایی با اکسترودرها
۹۰	۳-۱-۱- اکسترودرهای تک‌ماریچه
۹۲	۳-۱-۲- اکسترودرهای دوماریچه
۹۴	۳-۲- طراحی قیف تغذیه
۹۸	۳-۳- اکسترودرهای تک‌ماریچه
۹۸	۳-۳-۱- انتقال دانه‌های جامد
۱۰۶	۳-۳-۲- ناحیه دوب
۱۱۱	۳-۳-۳- ناحیه منجش
۱۲۸	۳-۴- اکسترودرهای دوماریچه
۱۲۸	۳-۴-۱- اکسترودرهای دوماریچه هم‌سوگرد خودزدا (SWCOR)
۱۳۳	۳-۴-۲- اکسترودرهای در هم‌رونده غیر هم‌سوگرد
۱۳۵	۳-۵- اختلاط، گازگیری و واکنش در اکسترودرها
۱۳۵	۳-۵-۱- فرآیند اختلاط
۱۴۲	۳-۵-۲- گازگیری در اکسترودرها
۱۴۶	۳-۵-۳- واکنش در اکسترودرها
۱۴۸	۳-۶- حل مسئله طراحی ۲
۱۴۸	۳-۶-۱- تحلیل ابعادی
۱۵۲	۳-۶-۲- تئوری نفوذ
۱۵۳	مسائل فصل سوم
۱۵۵	منابع
۱۵۷	فصل چهارم: دای‌های اکستروژنی
۱۵۹	مسئله طراحی ۳: فرآیند کواکستروژن با دای قالب‌گیری دمشی
۱۶۰	۴-۱- ناهم‌گونی در مذاب خروجی از دای
۱۶۲	۴-۲- پدیده‌های ویسکوالاستیک
۱۶۲	۴-۲-۱- رفتار مذاب در تغییر سطح مقطع‌ها
۱۶۴	۴-۲-۲- ناپایداری‌ها در فرآیند اکستروژن
۱۶۷	۴-۲-۳- پدیده تورم دای
۱۷۵	۴-۳- دای‌های تولید فیلم و ورق
۱۷۹	۴-۴- دای‌های آنالوسی
۱۸۰	۴-۴-۱- دای آنالوسی تغذیه‌شونده از قسمت میانی

صفحه	عنوان
۱۸۲	۴-۴-۲- دای‌های تغذیه‌شونده از قسمت کناری و دای‌های اسپیرال مندرل
۱۸۵	۴-۴-۳- دای‌های پوشش‌دهی سیم
۱۸۶	۴-۵- دای‌های اکستروژن پروفیل‌ها
۱۹۰	۴-۶- اکستروژن فیلم‌های چندلایه
۱۹۱	۴-۶-۱- جنبه‌های کلی
۱۹۲	۴-۶-۲- معادلات طراحی
۱۹۸	۴-۶-۳- ناپایداری‌های جریان در جریان فیلم‌های چندلایه
۲۰۱	۴-۷- حل مسئله طراحی ۳
۲۰۳	مسائل فصل چهار ♦
۲۰۵	منابع
۲۰۷	فصل پنجم: فرآیندهای بعد از دای
۲۱۰	مسئله طراحی ۴: طراحی فرآیند تولید فیلم به روش دمشی
۲۱۰	۵-۱- فرآیند نخ‌ریسی
۲۱۴	۵-۱-۱- مدل هم‌دمای نیوتنی
۲۱۹	۵-۱-۲- مدل غیرهم‌دمای برای سیال نیوتنی
۲۱۹	۵-۱-۲-۱- فرضیات مدل
۲۲۰	۵-۱-۲-۲- معادلات و روابط حاکم
۲۲۳	۵-۱-۲-۳- روابط تجربی
۲۲۵	۵-۱-۲-۴- شکل بی‌بعد معادلات
۲۲۸	۵-۱-۳- مدل ویسکوالاستیک هم‌دمای
۲۳۱	۵-۱-۴- ریسندگی مذاب با سرعت بالا و تشکیل ریزساختار
۲۳۵	۵-۱-۵- ناپایداری‌ها در فرآیند نخ‌ریسی
۲۴۲	۵-۲- کشش فیلم و تولید فیلم به روش قالب‌گیری
۲۴۳	۵-۲-۱- قالب‌گیری فیلم
۲۴۶	۵-۲-۲- پایداری جریان در فرآیند قالب‌گیری فیلم
۲۴۸	۵-۲-۳- کشش فیلم و خواص آن
۲۴۸	۵-۳- تولید فیلم به روش دمشی
۲۵۱	۵-۳-۱- مدل سیال نیوتنی در شرایط هم‌دمای
۲۵۷	۵-۳-۲- مدل نیوتنی در شرایط غیرهم‌دمای
۲۵۹	۵-۳-۳- مدل سیال غیرنیوتنی در شرایط غیرهم‌دمای

صفحه	عنوان
۲۶۰	۵-۳-۴- کشش دوبعدی و خواص مکانیکی
۲۶۰	۵-۳-۵- پایداری فرآیند تولید دمشی فیلم
۲۶۲	۵-۳-۶- بزرگ‌نمایی ابعادی
۲۶۳	۵-۴- حل مسئله طراحی ۴
۲۶۵	مسائل فصل پنجم
۲۶۷	منابع
۲۷۱	فصل ششم: فرایندهای قالب‌گیری و شکل‌دهی
۲۷۳	مسئله طراحی ۵ طراحی فرآیند قالب‌گیری فشاری
۲۷۴	۶-۱- قالب‌گیری تزریقی
۲۷۴	۶-۱-۱- جنبه‌های کلی فرآیند
۲۸۰	۶-۱-۲- شبیه‌سازی
۲۸۵	۶-۲- قالب‌گیری فشاری
۲۸۶	۶-۲-۱- جنبه‌های کلی
۲۸۶	۶-۲-۲- شبیه‌سازی
۲۹۰	۶-۳- فرآیند ترموفرمینگ
۲۹۱	۶-۳-۱- جنبه‌های کلی
۲۹۳	۶-۳-۲- مدل‌سازی
۳۰۰	۶-۴- قالب‌گیری دمشی
۳۰۰	۶-۴-۱- جنبه‌های تکنولوژیک فرآیند
۳۰۳	۶-۴-۲- شبیه‌سازی
۳۰۷	۶-۵- حل مسئله طراحی ۵
۳۱۲	مسائل فصل ششم
۳۱۳	منابع
۳۱۵	پیوست‌ها
۳۱۷	پیوست الف: خواص رئولوژیکی مذاب‌های پلیمری
۳۲۸	پیوست ب: خواص فیزیکی و ضرایب اصطکاک برای پلیمرهای معمول
۳۲۹	پیوست ج: خواص حرارتی مواد
۳۳۵	واژه‌نامه
۳۴۱	علایم اختصاری

پیشگفتار ناشر

از زمان فوران اولین چاه نفت ایران و خاورمیانه در مسجد سلیمان و تولد صنعت نفت ایران صد سال می‌گذرد. از آن زمان که مردم تنها برای روشنایی از نفت خام استفاده می‌کردند تاکنون، که تقریباً در هر صنعتی ردپایی از نفت خام و فرآورده‌هایش دیده می‌شود، پژوهش‌گران مختلف در تمام زمینه‌ها و کاربردهای مربوط به نفت خام تحقیقات فراوانی انجام داده‌اند که پیشرفت‌های فناوری وسیع را در زمینه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در پی داشته است. چگونگی ظهور و بروز فناوری و نحوه به‌کارگیری آن مقدار تولید صنعت نفت را در آینده تعیین خواهد کرد.

تحقیق و پژوهش، در صد سالگی صنعت نفت ایران، بسیار جوان‌تر از این صنعت است و ما هنوز در گام‌های اولیه فعالیت‌های علمی در این صنعت هستیم. واضح است که پژوهش در صنعت نفت با بازدهی متناسب با تجربه و قدمت تاریخی آن حرکت نکرده است و صد افسوس که مشکلات و ویژگی‌های آن به خوبی شناخته نشده‌اند. خصلت‌هایی همچون زمان‌بر بودن، هزینه‌بر بودن، ریسک‌پذیری، کیفیت نه چندان مطلوب، مشکلات عدم تأمین مالی به موقع و عدم وجود ضمانت‌های لازم از مولفه‌های ذاتی نهفته در پژوهش‌اند.

به رغم وجود این چالش‌های سنگین، تعامل مستقیم پژوهش و فناوری می‌تواند اقتدار و توسعه واقعی فناوری و مدیریت دانش را در صنعت نفت به همراه داشته باشد به این خاطر مرکز نشر پژوهشگاه صنعت نفت، با بهره‌گیری از خرد جمعی نخبگان علمی و فنی کشور در بخش پژوهش و فناوری و نیز توسعه ارتباط با مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی مستر داخلی و خارجی و مشارکت با آنان برای توسعه رشته‌ها و علوم و فنون وابسته به صنعت نفت و در پی آن انجام پروژه‌ها و طرح‌های توسعه‌ای و انتشار کتب علمی - آموزشی و پژوهشی، گامی بلند در رسیدن به این هدف برمی‌دارد.

کتاب پیش رو با عنوان «فرآیندهای شکل‌دهی پلیمرها» ترجمه و گردآوری آقایان دکتر محمود همتی و مهندس احسان بهزادفر، یکی دیگر از مجموعه انتشارات جدید پژوهشگاه است که با هدف توسعه دانش در صنعت نفت منتشر می‌شود و امید است مورد استفاده پژوهش‌گران و دانشجویان محترم قرار گیرد.

پیشگفتار

گسترده‌ی کاربرد پلیمرها در صنایع مختلف و اهمیت فرآیند آنها ما را بر آن داشت تلاش خود را برای گردآوری و تدوین کتابی در زمینه فرآیندهای پلیمری آغاز کنیم. پرواضح است که فرآیند پلیمرها پیچیدگی‌هایی خاص دارد و برای به دست آوردن محصولی مطلوب از پلیمرها باید عوامل متعددی را، از جمله عوامل فرایندی، در نظر گرفت.

عمده مطالب این کتاب برگرفته از کتاب ارزشمند *Polymer Processing Principles and Design* نوشته دی جی برد^۱ و دی ای کولیاس^۲ است. دلیل انتخاب این کتاب سادگی بیان و کاربردی بودن آن است که مطالعه آن را برای دانشجویان و متخصصان رشته پلیمر آسان می‌کند. در ضمن، برای تهیه کتابی درخور، از دیگر کتب و اطلاعات نویسنده نیز در برخی بخش‌های کتاب بهره گرفته شده است.

در این کتاب سعی شده مفاهیم فرآیندهای ترموپلاستیک‌ها به شکلی ساده و شیوا بیان شوند تا برای دانشجویان و مهندسان قابل استفاده باشند. چون در ترجمه برخی واژه‌های تخصصی اتفاق نظر کلی وجود ندارد، سعی شده است در حالات مبهم واژه انگلیسی در پاورقی آورده شود. گاهی نیز استفاده از کلمه موردنظر به انگلیسی ناگزیر بوده است تا آسیبی به مفهوم وارد نشود.

کتاب حاضر شامل شش فصل است که امید است بعد از مطالعه آن شناختی کلی از فرآیندهای ترموپلاستیک‌ها به دست آید. در فصل اول کتاب مقدمه‌ای درباره فرآیندهای پلیمری ارائه می‌شود که حاوی اطلاعات کلی درباره فرآیندهای پلیمری است. شناخت فرآیندهای ترموپلاستیک‌ها بدون اطلاع از رئولوژی سیالات پلیمری ممکن نیست. در فصل دوم جریان غمدی سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی بررسی می‌شود. بعد از آشنایی با فرآیندهای پلیمرها در فصل اول و نحوه جریان سیالات پلیمری در فصل دوم، در فصول بعدی به تفصیل درباره فرآیندهای ترموپلاستیک‌ها سخن گفته می‌شود. به جرات می‌توان گفت که مهم‌ترین فرآیند ترموپلاستیک‌ها فرآیند اکستروژن است که در فصل سوم بدان پرداخته می‌شود. در این فصل علاوه بر معرفی انواع اکستروژرها، درباره عوامل طراحی فرآیند اکستروژن بحث می‌شود. بعد از فرآیند اکستروژن، به شکل‌دهی مذاب پلیمری نیاز است که دای^۳ آن را بر عهده دارد. در فصل چهارم به دای‌ها پرداخته شده و انواع آنها و اصول طراحی‌شان بررسی شده‌اند. کنترل رفتار مواد مذاب خروجی از دای اهمیت ویژه‌ای در به دست آوردن محصولی با کیفیت مطلوب دارد. در بعضی از فرآیندها محصولات سطوحی محدود یا به عبارتی ابعاد

^۱ D. G. Bird

^۲ D. I. Collias

^۳ die

محدود ندارند. فرآیندهای نخ‌ریسی^۱، تولید فیلم به روش قالب‌گیری^۲ و دمش^۳ از جمله این فرآیندها هستند که در فصل پنجم با عنوان فرآیندهای بعد از دای به آنها پرداخته می‌شود. در فصل ششم به فرآیندهایی پرداخته می‌شود که در آنها با اعمال فشار شکل محفظه قالب به آمیزه پلیمری القا می‌شود. جزییات این فرآیندها با هم تفاوت‌هایی دارند ولی همه آنها شامل حرارت‌دهی آمیزه پلیمری، تحت فشار قرار دادن و خنک‌کاری آن می‌شوند. از جمله این فرآیندها می‌توان به قالب‌گیری تزریقی^۴، قالب‌گیری فشاری^۵، شکل‌دهی با حرارت^۶ و قالب‌گیری دمش^۷ اشاره کرد.

بسیار تلاش شده که کتاب عاری از اشتباه باشد ولی قطعاً چنین نیست و رفع کاستی‌های موجود به راهنمایی دوستان و صاحب‌نظران نیاز دارد که موجب کمال امتنان خواهد بود. در خاتمه بر خود لازم می‌دانیم از پروفیسور برد در دانشگاه ویرجینیا تشکر کنیم؛ چه بسا اگر کمک‌های فراوان ایشان نبود، گردآوری این کتاب به سرانجام نمی‌رسید. همچنین از همه اساتید، داوران و دوستانی که به نحوی در تهیه این کتاب به مایاری رسانده‌اند صمیمانه سپاسگزاریم.

محمود همتی، دکتری مهندسی پلیمر، پژوهشگاه صنعت نفت

احسان بهزادفر، دانشجوی دکتری مهندسی پلیمر، دانشگاه UBC کانادا

زمستان ۱۳۹۰

^۱ fiber spinning

^۲ film casting

^۳ film blowing

^۴ injection molding

^۵ compression molding

^۶ thermoforming

^۷ blow molding