

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فرایند تزریق پلاستیک

ماشین‌های تزریق، طراحی قالب و استانداردها، طراحی تجربی

MOLDFLOW - CATIA

جلد سوم

مولفان:

رضا غفوری آهنگر

(عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیرگاه)

مجید رضا آیت‌اللهی

(عضو هیات علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مکانیک)

علیرضا کشمیری

(کارشناس دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مکانیک)

سرشناسه	: غفوری آهنگر، رضا
عنوان و نام پدیدآور	: فرایند تزریق پلاستیک: ماشین‌های تزریق، طراحی قالب و استانداردها، طراحی تجربی، MOULDFLOW-CATIA/ مولفان رضا غفوری آهنگر، مجیدرضا آیت‌اللهی، علیرضا کشمیری.
مشخصات نشر	: تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر - ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ج: جدول، نمودار.
شابک	: دوره 1-978-964-210-135-1 و ۱۱۰۰۰۰ ریال ، 4-978-964-210-134-3 : ج. ۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: فهرست‌نویسی بر اساس جلد سوم.
یادداشت	: کتاب حاضر در سال ۱۳۸۹ توسط همین ناشر به صورت تک جلدی منتشر شده است.
موضوع	: پلاستیک -- قالب‌سازی تزریقی -- برنامه‌های کامپیوتری
شناسه افزوده	: آیت‌اللهی، مجیدرضا، ۱۳۴۲ -
شناسه افزوده	: کشمیری، علیرضا، ۱۳۶۹ -
شناسه افزوده	: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیر کبیر
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ : ۱۱۵۰/۱۹-TP
رده بندی دیویی	: ۶۶۸/۴۱۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۱۶۵۶۰



انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

• نام کتاب	: فرایند تزریق پلاستیک ماشین‌های تزریق، طراحی قالب و استانداردها، طراحی تجربی
• تألیف	: MOLDFLOW-CATIA
• ویراستار	: رضا غفوری آهنگر - مجیدرضا آیت‌اللهی - علیرضا کشمیری
• نویسنده	: اسماعیل بزرگی
• نوبت چاپ	: اول
• سال چاپ	: ۱۳۹۱
• شمارگان	: ۵۰۰ نسخه
• قیمت	: ۱۱۰۰۰۰ ریال
• چاپخانه	: قلم
• شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۱۳۴-۴
• آدرس مرکز بخش: تهران - خیابان حافظ - روبروی خیابان سمیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر	
تلفن کتابفروشی: ۶۶۴۶۵۳۹۲ (دفتر) ۸۸۸۹۵۹۶۹ فاکس ۶۶۹۵۰۹۸۲	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار جهاد دانشگاهی

توجه به تقویت بنیه علمی دانشگاه‌ها و دیگر مراکز علمی یکی از وظایف اصلی همه آگاهان و دست‌اندرکاران این امور در دوران بازسازی کشور اسلامی عزیزمان ایران می‌باشد. در همین راستا جهاد دانشگاهی با آگاهی نسبت به این موضوع، تمامی توان خود را صرف افزایش سطح علمی دانشجویان و آینده‌سازان کشورمان نموده است و در این مسیر از هیچ کوشش و تلاشی دریغ نمی‌کند.

انتشارات جهاد دانشگاهی با این اعتقاد که دستیابی به استقلال علمی، اقتصادی و عقیدتی بدون دستیابی اولیه به سطوح بالای علمی و تکنولوژی‌های مدرن در کنار ایمان و اعتقاد، امکان‌پذیر نمی‌باشد، سعی می‌کند با آماده‌سازی و انتشار متون متنوع علمی به هر دو زبان فارسی و لاتین که از سطح مطلوب علمی نیز برخوردار باشند به وظیفه انسانی و اعتقادی خویش عمل کند و امیدوار است که بتواند کمکی هر چند ناچیز به علاقه‌مندان و دلسوزان میهن اسلامی و پویندگان راه علم انجام دهد.

با این باور و اعتقاد از همه عزیزان دانش‌پژوه جهت ارایه نظرات و پیشنهادات برای هر چه بهتر شدن سطح علمی انتشارات این جهاد، یاری می‌طلبیم.

در انتها، این کتاب را به روان پاک شهدای دانشگاهی بویژه شهدای دانشگاه صنعتی امیرکبیر تقدیم می‌نماییم. امید است کلیه دانشگاهیان استوار و ثابت‌قدم، پوشیده راه شهیدان در محیط مقدس دانشگاه باشند.

والسلام علی من‌التبع الهدی

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

مدیر مسئول

احمد رضا مختاری

فهرست

پیش‌گفتار مولفان

ط

فصل اول: مقدمه‌ای بر فرایند تزریق پلاستیک

۱

۲

۳

۴

۵

۶

۷

۸

۸

۱-۱ فرایند تزریق پلاستیک

۲-۱ پلاستیک‌ها

۳-۱ ماشین‌های تزریق پلاستیک

۴-۱ شبیه‌سازی فرایند تزریق پلاستیک

۵-۱ قالب تزریق پلاستیک

۶-۱ شبیه‌سازی قالب تزریق پلاستیک

۷-۱ چند مثال کاربردی

۸-۱ طراحی تجربی

فصل دوم: پلاستیک‌ها

۹

۹

۱۰

۱۳

۱۵

۱۶

۱۷

۱۷

۲۰

۲۲

۱-۲ تاریخچه پلاستیک‌ها

۲-۲ پلاستیک‌ها در جامعه مدرن

۳-۲ پلیمرها

۱-۳-۲ ساختار میکروملکولی پلیمرها

۲-۳-۲ ساختار ماکروملکولی پلیمرها

۴-۲ ویژگی‌های پلاستیک‌ها

۱-۴-۲ خواص گرمایی پلاستیک‌ها

۲-۴-۲ خواص مکانیکی پلاستیک‌ها

۳-۴-۲ خواص فیزیکی و شیمیایی پلاستیک‌ها

۲۴	۵-۲ انواع پلاستیک‌ها
۲۴	۱-۵-۲ ترموست‌ها
۲۶	۲-۵-۲ الاستومرها
۲۸	۳-۵-۲ ترموپلاستیک‌ها
۳۴	۶-۲ پلاستیک‌های مهندسی

فصل سوم: ماشین‌های تزریق پلاستیک

۳۷	۱-۳ واحد تزریق
۳۹	۱-۱-۳ پارامترهای موثر در عملکرد واحد تزریق
۴۰	۲-۱-۳ مارپیچ تزریق
۴۲	۳-۱-۳ سیلندر تزریق
۴۳	۴-۱-۳ نازل
۴۳	۲-۳ واحد نگهدارنده
۴۵	۱-۲-۳ نیروی نگهدارنده، قفل‌کننده و واکنش
۴۷	۲-۲-۳ طراحی واحد نگهدارنده
۴۷	۳-۲-۳ تجهیزات فرعی واحد نگهدارنده
۴۹	۳-۳ واحد جابجایی
۵۰	۱-۳-۳ واحد جابجایی الکترومکانیکی
۵۱	۴-۳ سیستم کنترل
۵۲	۱-۴-۳ روش‌های فرایند کنترل
۵۳	۲-۴-۳ کنترل دما
۵۳	۳-۴-۳ کنترل فشار
۵۴	۴-۴-۳ اختلالات و آشفته‌گی‌های ناشی از سیستم کنترل
۵۴	۵-۳ اندازه و اطلاعات ماشین‌های تزریق

فصل چهارم: شبیه‌سازی فرایند تزریق پلاستیک

۵۷	۱-۴ شبیه‌سازی به کمک کامپیوتر
۵۷	۱-۱-۴ آشنایی با فضای کاری MPI
۵۸	۲-۱-۴ آماده کردن مدل
۵۹	۳-۱-۴ مدل‌سازی سیستم راهگامی
۶۱	

۶۲	۴-۱-۴ مدل سازی سیستم خنک کاری
۶۳	۴-۱-۵ المان بندی
۶۵	۴-۲ آنالیز
۶۹	۴-۲-۱ روند انجام آنالیز
۶۹	۴-۲-۲ آنالیز مکان یابی تزریق
۷۰	۴-۲-۳ آنالیز پر شدن
۷۳	۴-۲-۴ آنالیز شرایط بهینه فرایند تزریق
۷۴	۴-۲-۵ آنالیز انقباض
۷۵	۴-۲-۶ آنالیز اعوجاج
۷۵	۴-۲-۷ آنالیز خنک کاری
۷۷	۴-۲-۸ آنالیز طراحی تجربی
۷۸	۴-۳ ارایه نتایج
۷۸	۴-۳-۱ نتایج متنی
۷۹	۴-۳-۲ نتایج گرافیکی
۷۹	۴-۳-۳ تهیه گزارش

فصل پنجم: مبانی طراحی قالب

۸۱	۵-۱ انواع قالب های تزریق
۸۱	۵-۱-۱ قالب تزریق اسکلت اسفنجی
۸۲	۵-۱-۲ قالب تزریق گاز
۸۳	۵-۱-۳ قالب تزریق دمشی
۸۴	۵-۱-۴ قالب تزریق غلتکی
۸۵	۵-۱-۵ قالب تزریق چرخشی
۸۶	۵-۲ فرایند قالب گیری تزریق پلاستیک
۸۶	۵-۲-۱ سیکل قالب گیری
۸۷	۵-۲-۲ قالب گیری تزریقی ترموستها
۸۷	۵-۲-۳ قالب گیری تزریقی الاستومرها
۸۷	۵-۲-۴ قالب گیری تزریقی ترموپلاستیکها
۸۸	۵-۳ ساختمان قالب تزریق
۸۸	۵-۳-۱ محفظه قالب

- ۸۸ ۵-۳-۲ بوش تزریق
- ۸۹ ۵-۳-۳ سیستم راهگاه و ورودی
- ۸۹ ۵-۳-۴ حلقه تنظیم
- ۹۰ ۵-۳-۵ میله و بوش راهنما
- ۹۰ ۵-۳-۶ نگهدارنده قالب
- ۹۱ ۵-۴-۴ حفره و ماهیچه قالب
- ۹۳ ۵-۵-۵ سیستم پران قالب
- ۹۳ ۵-۵-۱ شبکه پران
- ۹۵ ۵-۵-۲ صفحه پران
- ۹۵ ۵-۵-۳ روش‌های پران
- ۹۶ ۵-۶-۵ سیستم تغذیه قالب
- ۹۶ ۵-۶-۱ راهگاه
- ۹۹ ۵-۶-۲ دروازه
- ۱۰۲ ۵-۶-۳ سطح جدایش
- ۱۰۲ ۵-۷-۵ سیستم خنک‌کاری قالب
- ۱۰۳ ۵-۷-۱ روش‌های خنک‌کاری
- ۱۰۴ ۵-۷-۲ مدت زمان خنک‌کاری
- ۱۰۴ ۵-۸-۵ سیستم‌های استاندارد قالب
- ۱۰۵ ۵-۸-۱ سیستم قالب استاندارد دو قسمتی
- ۱۰۶ ۵-۸-۲ سیستم قالب استاندارد DMS
- ۱۰۶ ۵-۸-۳ سیستم قالب استاندارد DME
- ۱۰۷ ۵-۸-۴ سیستم قالب استاندارد Hasco
- ۱۰۷ ۵-۸-۵ سیستم قالب استاندارد Desoutter
- ۱۰۷ ۵-۸-۶ اختلاف‌ها با سیستم قالب استاندارد
- ۱۰۸ ۵-۹-۹ جنس قالب‌های تزریق پلاستیک
- ۱۰۹ ۵-۹-۱ فولادها
- ۱۰۹ ۵-۱۰-۱۰ سرویس و نگهداری قالب‌های تزریق پلاستیک
- ۱۰۹ ۵-۱۰-۱ کاهش زمان توقف ماشین
- ۱۱۰ ۵-۱۰-۲ کاهش ضایعات
- ۱۱۰ ۵-۱۰-۳ برنامه‌ریزی بر مبنای آمار خرابی‌ها
- ۱۱۱ ۵-۱۰-۴ نگهداری از سطوح قالب

- ۱۱۱ ۵-۱۰-۵ اقدامات پس از تمیزکاری
- ۱۱۱ ۵-۱۱-۵ تعمیر و بازسازی قالب‌های تزریق پلاستیک

فصل ششم: طراحی قالب تزریق پلاستیک

- ۱۱۵ ۶-۱ طراحی قالب تزریق پلاستیک در نرم‌افزار CATIA
- ۱۱۶ ۶-۱-۱ میز کار محیط طراحی قالب
- ۱۱۶ ۶-۱-۲ ترانزویان قطعه تولیدی
- ۱۱۸ ۶-۱-۳ طراحی ساختمان اصلی قالب
- ۱۱۹ ۶-۱-۴ تعیین محل قرارگیری قطعه
- ۱۲۰ ۶-۱-۵ طراحی حفره و ماهیچه
- ۱۲۲ ۶-۱-۶ طراحی و تعیین محل پین‌های راهنما
- ۱۲۴ ۶-۱-۷ طراحی و تعیین محل پین‌های پران
- ۱۲۵ ۶-۱-۸ طراحی دروازه
- ۱۲۶ ۶-۱-۹ طراحی راهگاه
- ۱۲۸ ۶-۱-۱۰ طراحی سیستم خنک‌کاری
- ۱۲۸ ۶-۱-۱۱ ذخیره اطلاعات
- ۱۲۹ ۶-۲ طراحی ساختمان قالب
- ۱۲۹ ۶-۲-۱ طراحی دستی و تجربی ساختمان قالب
- ۱۳۰ ۶-۲-۲ طراحی ساختمان قالب از کاتالوگ
- ۱۳۱ ۶-۲-۳ افزودن صفحه جدید به ساختمان قالب
- ۱۳۱ ۶-۲-۴ افزودن اینسرت به ساختمان قالب
- ۱۳۲ ۶-۳ طراحی سیستم تزریق
- ۱۳۳ ۶-۳-۱ دروازه
- ۱۳۳ ۶-۳-۲ راهگاه
- ۱۳۴ ۶-۳-۳ سیستم خنک‌کاری
- ۱۳۵ ۶-۴ دستورهای طراحی ساختمان قالب تزریق

فصل هفتم: چند مثال کاربردی

- ۱۳۷ ۷-۱ مقدمه
- ۱۳۸ ۷-۲ قطعه اول - مسواک

۱۳۸	۱-۲-۷ معرفی قطعه
۱۳۸	۲-۲-۷ مدل سازی در نرم افزار CATIA
۱۳۹	۳-۲-۷ شبیه سازی و آنالیز در نرم افزار MOLDFLOW
۱۴۷	۴-۲-۷ طراحی قالب تزریق پلاستیک در نرم افزار CATIA
۱۶۵	۳-۷ قطعه دوم- تلفن همراه
۱۶۵	۱-۳-۷ معرفی قطعه
۱۶۵	۲-۳-۷ مدل سازی در نرم افزار CATIA
۱۶۵	۱-۳-۷ شبیه سازی و آنالیز در نرم افزار MOLDFLOW
۱۷۲	۴-۳-۷ طراحی قالب تزریق پلاستیک در نرم افزار CATIA
۱۹۴	۴-۷ قطعه سوم- کاردک
۱۹۴	۱-۴-۷ معرفی قطعه
۱۹۴	۲-۴-۷ مدل سازی در نرم افزار CATIA
۱۹۵	۳-۴-۷ شبیه سازی و آنالیز در نرم افزار MOLDFLOW
۲۲۰	۴-۴-۷ طراحی قالب تزریق پلاستیک در نرم افزار CATIA

فصل هشتم: طراحی تجربی

۲۵۳	۱-۸ مقدمه ای بر طراحی تجربی
۲۵۴	۲-۸ روش تاگوچی
۲۵۵	۳-۸ فرایند طراحی تجربی
۲۵۸	۱-۳-۸ تعریف مشکل
۲۵۹	۲-۳-۸ طراحی آزمایش
۲۶۰	۳-۳-۸ انجام آزمایش و جمع آوری داده
۲۶۰	۴-۳-۸ آنالیز داده ها
۲۶۰	۵-۳-۸ جمع بندی و ارایه نتایج
۲۶۰	۴-۸ انواع طراحی تجربی
۲۶۱	۱-۴-۸ طراحی تجربی عاملی
۲۶۳	۲-۴-۸ طراحی تجربی سطوح پاسخ
۲۶۳	۳-۴-۸ طراحی تجربی آزمایشات ترکیبی
۲۶۴	۵-۸ تفسیر پاسخ
۲۷۱	۶-۸ آنالیز طراحی تجربی در نرم افزار MOLDFLOW

۲۷۲	۸-۶-۱ ویژگی‌ها و امکانات نرم‌افزار MOLDFLOW
۲۷۲	۸-۶-۲ آنالیز طراحی تجربی
۲۷۴	۸-۶-۳ نتایج آنالیز
۲۷۵	۸-۶-۴ یک مثال از آنالیز طراحی تجربی در نرم‌افزار MOLDFLOW

ضمیمه

۲۸۳	قطعه اول - مسواک
۲۸۳	قطعه دوم - تلفن همراه
۲۸۵	قطعه سوم - کاردک

۲۹۳	فهرست مراجع
-----	-------------

پیش‌گفتار مولفان

امروزه، صنعت تزریق پلاستیک بیش از سی درصد تولیدات محصولات پلاستیکی را به خود اختصاص داده است و هم‌چنان به عنوان یک جایگزین مناسب برای بسیاری از روش‌های دیگر تولید قطعات پلاستیکی به شمار می‌رود. علی‌رغم گسترش سریع راهکارهای بهبود فرآیند تزریق پلاستیک در دهه‌های اولیه پیدایش این تکنولوژی، در برخی موارد، نیاز به تغییرات اساسی در این روش آشکار شد. در چند دهه‌ی اخیر، تلاش زیادی برای بهبود روش تزریق پلاستیک ارائه شده و روش‌های جایگزینی نیز در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ابداع شده و به تولید صنعتی و انبوه نیز رسیده است.

مدتهاست که جای خالی یک مجموعه‌ی مناسب و کامل فارسی در مورد چگونگی فرایند، انواع روش‌ها، شبیه‌سازی و آنالیز و طراحی قالب **فرایند تزریق پلاستیک** مورد توجه بوده است. برای پاسخ‌گویی مناسب به این نیاز اساسی در سیستم آموزشی و صنعتی کشور، مجموعه‌ای ارزشمند به عنوان **فرایند تزریق پلاستیک** جمع‌آوری و تالیف شده است. در جلد اول این مجموعه به فرایند تزریق پلاستیک و چگونگی شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار MOLDFLOW که قدرتمندترین نرم‌افزار و ابزار شبیه‌سازی فرایند تزریق پلاستیک می‌باشد، پرداخته شد و در قالب چند مثال صنعتی کل فرایند تشریح گردید. در جلد دوم این مجموعه به فرایندهای خاص تزریق پلاستیک و عیوب احتمالی به صورت ویژه و به تفصیل پرداخته شد. هر یک از این فرایندهای خاص در نرم‌افزار MOLDFLOW شبیه‌سازی شده و مورد آنالیز قرار گرفتند. بسیاری از این فرایندهای خاص هنوز در صنعت تزریق پلاستیک ایران جایگاه ویژه‌ای پیدا نکرده‌اند و امید است که این مجموعه سرآغاز تحولی در این زمینه باشد. در این جلد که سومین سری از کتاب‌های **فرایند تزریق پلاستیک** انتشار یافته می‌باشد، یک روند کلی از فرایند تولید یک قطعه‌ی پلاستیکی معرفی می‌شود. به موازات گسترش روش‌ها در کشور، به منظور جلوگیری از هزینه‌های اضافی و افزایش سرعت رشد تکنولوژی‌های نوین تزریق پلاستیک، لازم است که از نرم‌افزارهای مختلف برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی، پیش از تولید انبوه استفاده شود. در واقع این کتاب تلاشی در جهت آرایه‌ی یک روش و راهبرد علمی در فرایند تزریق پلاستیک می‌باشد. این پروسه شامل آشنایی با پلاستیک‌ها، ماشین‌های تزریق پلاستیک، شبیه‌سازی و آنالیز فرایند تزریق پلاستیک، آنالیز طراحی تجربی و استفاده از

پارامترهای موثر بر فرایند در طراحی قالب تزریق پلاستیک به همراه معرفی استانداردهای آن می‌باشد؛ سعی بر آن بوده است تا طراحی قالب تزریق پلاستیک بر خلاف آنچه در صنعت تزریق پلاستیک ایران رایج است و بیشتر مبتنی بر تجربه می‌باشد، رویکردی علمی، کاربردی و اقتصادی پیدا کند.

سه قطعه‌ی پلاستیکی ساده، به عنوان مثال، انتخاب شده است و فرایند مدل‌سازی قطعه‌ها مطابق نقشه‌های ضمیمه در نرم‌افزار CATIA انجام می‌گردد؛ این نمونه‌ها به نحو مناسبی، کاربرد مفاهیم و علوم فرا گرفته شده را مشخص کرده‌اند. سپس مدل‌ها در نرم‌افزار MOLDFLOW فراخوانی و آماده اجرای آنالیزهای مختلف فرایند تزریق پلاستیک و آنالیز طراحی تجربی می‌گردند. پس از اجرای آنالیزها و استخراج نتایج مربوط، بهترین شرایط برای اجرای فرایند تزریق پلاستیک قطعه معرفی می‌گردد. همچنین بر اساس این پارامترها، قالب تزریق پلاستیک مناسب برای تولید قطعه‌ها در نرم‌افزار CATIA طراحی می‌شود. این روند با کمترین هزینه و بیشترین دقت و اطمینان از نتیجه فرایند، هزینه‌های تولید یک قطعه‌ی پلاستیکی را به حداقل مقدار ممکن می‌رساند. این روش، باعث تسلط یافتن خواننده بر مسایل شبیه‌سازی و آنالیز فرایند به همراه طراحی قالب تزریق پلاستیک می‌گردد.

افراد و مراکز متعددی ما را به نوشتن این مجموعه و به خصوص این کتاب تشویق کردند و در تدارک آن یاری نمودند. از داوران محترم متن که با دقت نظر به غنای کتاب افزودند، قدردانی می‌گردد. مولفان مراتب قدردانی و تشکر خاص خود را از اداره‌ی انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر ابراز می‌دارند از ویراستاری آقای اسماعیل بزرگی تقدیر و تشکر می‌شود.

امید است که این کتاب در کنار جلد اول و دوم بتواند مرجع مناسبی برای مهندسان و تولید کنندگان در صنعت تزریق پلاستیک باشد. بدون شک، چاپ نخست این کتاب، علی‌رغم صرف زمان بسیار، خالی از اشکال نمی‌باشد. استفاده از نگارش صحیح کلمات ترکیبی مطابق نظر فرهنگستان علوم در متن مشهود است. لذا جدا نویسی کلمات که بعضاً آشنا به نظر نمی‌رسد بر این اساس می‌باشد. از خوانندگان عزیز درخواست می‌شود ما را از نظرات خود نسبت به تالیف این کتاب از طریق آدرس الکترونیکی m.ayat@iust.ac.ir آگاه فرمایند تا به امید خداوند بزرگ، در چاپ‌های آینده، نظرات ایشان منظور گردد.

عضو هیات علمی دانشگاه	رضا غفوری‌آهنگر
عضو هیات علمی دانشگاه	مجید رضا آیت‌اللهی
کارشناس مهندسی مکانیک	علیرضا کشمیری