



دانشگاه تربیت مدرس

اصول ریخته‌گری فلزات

مؤلفین

دکتر امیر عابدی

عضو هیات علمی، دانشگاه تربیت مدرس، دبیر شهید رجایی

دکتر پیروز مرعشی

عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس مسیح رضائی

دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس مجید چیت ساززاده

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس

عنوان و نام پدید آور	: اصول ریخته گری فلزات/ترجمه و تالیف امیر عابدی ... (و دیگران).
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۸ ص : مصور، جدول.
شابک	: 978-964-2651-27-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا.
یادداشت	: ترجمه و تالیف امیر عابدی، پیروز مرعشی، مسیح رضائی، مجید چیت ساز زاده
یادداشت	: واژه نامه
موضوع	: ریخته گری
موضوع	: قالب و قالب سازی
شناسنامه افزوده	: عابدی، امیر، ۱۳۴۱-
شناسنامه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۷ الف/۲۳۰ TS
رده بندی دیویی	: ۶۷۱/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۵۹۲۹۹۰



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان	: اصول ریخته گری فلزات
ترجمه و تالیف	: امیر عابدی، پیروز مرعشی، مسیح رضائی، مجید چیت ساز زاده
چاپ اول	: زمستان ۱۳۸۷
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	: رضا
چاپ	: راوی
ناظر فنی	: شهرام طهماسبی
طراح جلد	: پریسا طاهری طهرانی
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۷۵۰۰۰ ریال
شابک	: 978 - 964 - 2651 - 27 - 6 ISBN

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰ - ۹
 نامبر: ۲۲۹۷۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.e

سَمِيعٌ عَلِيمٌ

تقدیم به خانواده‌های مان

**آن‌ها که بودن شان
همیشگی‌ترین پشتوانه
در همه‌ی ادوار زندگی ماست**

پیش‌گفتار مولفین

امروزه علم با چنان سرعتی رشد می‌کند که با چشم بر هم نهادنی اطلاعات و دانش بشری معادل چندین سال در هزاره‌های گذشته، افزایش می‌یابد. گفته می‌شود که ۹۰٪ علم امروز بشر تنها در صد سال اخیر به وجود آمده است، این امر نشان‌دهنده‌ی سرعت رشد بشر می‌باشد. در این روند تکاملی همزمان با رشد بشر، سرعت رشد نیز افزایش می‌یابد. در مقایسه شاید بتوان گفت که در ابتدا بشر با پای پیاده راه می‌پیموده و با افزایش دانش توانسته است چرخ را اختراع و با این وسیله سرعت حرکت خود را نیز افزایش دهد. با افزایش دانش بشر، موتور اختراع شد و سرعت باز هم افزایش یافت، در ادامه با اختراع اتومبیل، هواپیما و جت، به تدریج ضمن افزایش دانش بشری، وسیله‌ی حرکت نیز سریع‌تر شده است. همین روند در ارتباط با وسایل آموزشی و پژوهشی وجود دارد. در حال حاضر میزان تحقیقات علمی در یک مدت مشخص به مراتب بیش‌تر از میزان آن در سالیان قبل است.

تکنولوژی ریخته‌گری نیز از این روند مستثنی نیست. ریخته‌گری به معنای تهیه‌ی مذاب فلزات و ریختن آن در قالب، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تولید می‌باشد. در بین روش‌های ذوب و قالب‌گیری اولیه‌ی عصر مفرغ با روش‌های مدرن تفاوت‌های اساسی زیادی وجود دارد ولی در تمام موارد فرآیند ریخته‌گری نامیده می‌شود. در گذشته‌های دور، ابزار کشاورزی و شکار که از دقت بالایی برخوردار نبود، در قالب‌هایی که از سنگ تراشیده شده بود، ریخته‌گری می‌شد اما امروزه روش‌های قالب‌گیری متعددی برای رسیدن به دقت ابعادی بیش‌تر ابداع و به کار گرفته شده است. امروزه برای تولید انبوه قطعات از روش‌های اتوماتیک قالب‌گیری استفاده می‌شود. در قدیم امکان تولید چنین تعدادی اساساً وجود نداشت. دقت در ترکیب شیمیایی مذاب و انواع آلیاژهای فلزی جزو نکاتی است که در مقایسه با روش‌های جدید و قدیم ریخته‌گری مشاهده می‌شود. در واقع به جز ذوب کردن و ریختن در قالب، شباهت دیگری بین روش‌های جدید و قدیم نمی‌یابید. بسیاری از جزئیات که در هر روش جدید وجود دارد، دنیایی از مطالب و مفاهیم علمی و تکنولوژیکی را در خود دارند که در قدیم بشر از داشتن این اطلاعات بی‌بهره بوده و نیازی نیز به آن‌ها نداشته است. به هر حال، اصل موضوع ثابت باقی مانده و فروع و جزئیات و شاخه‌های آن به صورت متغیر در مسیر پیشرفت جهان پیشرفت

کرده است. باید به این نکته توجه کرد که تنها با دانستن اصول و تسلط به روش‌های قدیمی، در جهان مدرن امروز و در روند پر سرعت صنعت نمی‌توان باقی ماند. اگر چه دانستن اصول لازم است، اما تسلط به جزئیات روش‌های جدید و اجرای آن‌ها، لازمه‌ی بقا و پیشرفت است.

خوب است که بدانید علی‌رغم ابداع تکنولوژی‌های دیگر تولید قطعات، هنوز روش‌های ریخته‌گری کاربردهای خود را در صنایع مختلف و حتی صنایع با تکنولوژی بالای امروزی دارا هستند و اگر چه بسیاری از روش‌های قدیمی ریخته‌گری منسوخ شده است، اما روش‌های دیگری برای پاسخگویی به نیازهای جدید ابداع شده و حوزه‌ای از فعالیت‌ها و کاربردهای جدید را در دنیای مدرن به خود اختصاص داده است. برای مثال به چند نمونه از این روش‌ها و کاربردها اشاره می‌کنیم:

در حال حاضر، متداول‌ترین و بهترین روش تولید پرّه‌های مورد استفاده در توربین‌های گازی که موتور محرک هواپیماها هستند، روش ریخته‌گری است. تنها از طریق ریخته‌گری امکان تولید شکل پیچیده‌ی این قطعات وجود دارد، ضمن این که روش دیگری برای شکل‌دهی به آلیاژهای پرّه‌های مذکور که بایستی در دمای بالا استحکام خود را حفظ کنند، وجود ندارد. گاهی اوقات با روش‌های خاص ریخته‌گری و کنترل انجماد این قطعات، ممکن است قیمت یک پرّه به وزن حدود چند کیلوگرم، با قیمت یک خودروی سواری که با وزن بالاتر از یک تن و دارای اجزای گوناگون، یکسان باشد. درصد بالایی از این قیمت مربوط به تکنولوژی ریخته‌گری این قطعات می‌باشد.

مثال دیگر مربوط به ریخته‌گری شمش‌های تک‌بلوری سیلیسیمی می‌باشد که این شمش‌ها ماده‌ی اولیه‌ی ساخت ترانزیستورها و IC ها هستند. با برش بسیار نازک و ظریف این شمش‌های تک‌بلور و ایجاد طرح مدارهای الکتریکی بر روی آن‌ها، ترانزیستورها و IC ها ساخته می‌شوند. برای تولید این شمش‌ها، ابتدا سیلیسیم ذوب شده و در قالب‌های استوانه‌ای شکل ریخته می‌شود. برای ایجاد ساختار تک‌بلور، قالب استوانه‌ای حاوی مذاب به تدریج از کف سرد می‌شود. سرعت سرد کردن به قدری آهسته است که فرآیند تولید یک شمش چند دسی‌متری چند روز به طول می‌انجامد.

کتاب حاضر در پی ارائه‌ی اصول پایه‌ای مشترک در بیش‌تر روش‌های ریخته‌گری و انجماد فلزات می‌باشد و سعی بر آن دارد تا شناخت کلی از ریخته‌گری ارائه کند. این

کتاب شامل ۱۴ فصل است. فصل اول شامل مقدمه‌ای بر ریخته‌گری و تعاریف اولیه است. در فصل دوم در مورد اصول انجماد مواد بحث می‌شود. در فصل‌های سوم و چهارم به ترتیب در مورد تغذیه‌گذاری و سیستم‌های راه‌گامی صحبت شده است. در فصل پنجم توضیحاتی در مورد مباحث تئوری و تکنولوژیکی سیالیت مذاب ارائه شده است. فصل ششم شامل مباحث مربوط به روابط تنش- کرنش در قطعات ریخته‌گری می‌باشد. در فصل‌های هفتم، هشتم و نهم، در مورد روش‌های مختلف ساخت قالب و مدل، مواد مورد استفاده در ساخت آن‌ها و نیز روش‌های بهینه‌سازی طراحی قالب‌ها بحث شده است. فصل دهم شامل مباحثی در مورد گازها در فرآیند ریخته‌گری و تاثیر آن‌ها بر محصول نهایی است. در فصل یازدهم مباحثی در رابطه با کنترل ترکیب شیمیایی قطعات ریخته‌گری مطرح شده است. در فصل دوازدهم در مورد نحوه‌ی انتخاب فرآیند مناسب ریخته‌گری بحث شده است. فصل سیزدهم شامل بحثی اجمالی در مورد محاسبات متالورژیکی موجود در مذاب است. در فصل چهاردهم به صورت مختصر اشاره‌ای به روش‌های شبیه‌سازی فرآیندهای ریخته‌گری شده است. در انتهای کتاب، بخشی جهت معرفی برخی کتاب‌های موجود مرتبط در زمینه‌های مختلف ریخته‌گری ارائه شده است. در این جا بر خود لازم می‌دانیم از تمامی کسانی که در هر چه بهتر شدن این اثر ما را یاری نموده‌اند، به ویژه جناب آقای دکتر محمد حسین میرباقری، عضو محترم هیات علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که کتاب را به دقت مطالعه نموده و ما را از نظرات ارزشمند خود بهره‌مند ساختند، سپاسگزاری نماییم.

در پایان، از متخصصین و دانشجویان گرامی تقاضا دارد در جهت تکمیل کتاب حاضر ما را از نقطه نظرات خود آگاه نمایند.

با تشکر

دکتر امیر عابدی

دکتر پیروز مرعشی

مهندس مسیح رضائی

مهندس مجید چیت‌ساززاده

پاییز ۱۳۸۷

فهرست مطالب

مقدمه

مقدمه ۱

فصل ۱

- ۱-۱- ریخته‌گری چیست؟ ۳
- ۲-۱- مروری بر صنعت ریخته‌گری ۹
- ۳-۱- تعریف مساله‌ی ریختگی ۱۰
- ۴-۱- طراحی و تولید قالب ۱۲
- ۵-۱- ذوب، تصفیه و ریختن فلز مذاب ۱۴

فصل ۲

- ۱-۲- مقدمه ۱۵
- ۲-۲- انجماد فلزات خالص ۱۵
- ۳-۲- جوانه‌زنی و رشد در آلیاژها ۱۹
- ۴-۲- انجماد قطعات ریختگی واقعی ۲۹
- ۵-۲- اثرات مواد قالب و ترکیب شیمیایی آلیاژ بر الگوی انجماد ۳۸
- ۶-۲- سرعت انجماد ۴۵
- پرسش‌های فصل ۲ ۴۹

فصل ۳

- ۱-۳- اصول کلی ۵۳
- ۲-۳- معیارهای مورد نیاز برای تعیین اندازه‌ی تغذیه ۵۷
- ۳-۳- نمودارهای تغذیه برای فولاد (محاسبه‌ی ابعاد تغذیه) ۶۷
- ۴-۳- روش آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی برای محاسبه‌ی تغذیه ۷۰
- ۵-۳- روش‌های مدرن در طراحی تغذیه ۷۷
- ۶-۳- فاصله‌ی تغذیه‌گذاری ۷۹
- ۷-۳- اثرات دیگر مقاطع و طرح‌های پیچیده ۹۰

۹۳	۳-۸- انواع تغذیه
۹۸	۳-۹- اثر مبردها
۱۰۳	۳-۱۰- کاربرد اصول تغذیه‌گذاری در قطعات ریختگی پیچیده
۱۰۳	۳-۱۱- تغذیه‌گذاری چدن خاکستری
۱۰۶	۳-۱۲- تغذیه‌ی برنج، آلومینیم و منیزیم
۱۰۸	پرسش‌های فصل ۳

فصل ۴

۱۱۱	۴-۱- مقدمه
۱۱۲	۴-۲- قانون تداوم
۱۱۴	۴-۳- رابطه‌ی برنولی
۱۱۶	۴-۴- سیستم راهگاهی عمودی
۱۱۷	۴-۵- اثرات جذب گاز
۱۱۸	۴-۶- اجتناب از جذب گاز
۱۲۲	۴-۷- سیستم‌های راهگاهی از کف
۱۲۴	۴-۸- عملکرد سیستم راهگاهی افقی
۱۲۴	۴-۹- اثرات جذب گاز در نقاطی که جریان مذاب تغییر جهت می‌دهد
۱۲۷	۴-۱۰- قطعات ریختگی صفحه‌ای شکل
۱۳۱	۴-۱۱- قطعات ریختگی حجیم و پیچیده
۱۳۲	۴-۱۲- قالب‌های خوشه‌ای
۱۳۳	۴-۱۳- سیستم دنباله‌ی راهبار
۱۳۷	پرسش‌های فصل ۴

فصل ۵

۱۴۱	۵-۱- مقدمه
۱۴۲	۵-۲- اندازه‌گیری سیالیت
۱۴۳	۵-۳- روش مارپیچ سیالیت ریخته‌گری در ماسه

۱۴۵	۴-۵- منحنی‌های معمول سیالیت.....
۱۴۶	۵-۵- اثر ترکیب شیمیایی مذاب.....
۱۴۸	۶-۵- داده‌های لوله‌ی خلاء.....
۱۵۱	۷-۵- خلاصه‌ی داده‌های ماریپیچ و لوله‌ی خلا.....
۱۵۲	۸-۵- کاربرد داده‌های سیالیت برای مسایل ریخته‌گری.....
۱۵۳	۹-۵- محاسبه‌ی نقطه‌ی شروع انجماد.....
۱۵۴	پرسش‌های فصل ۵.....

فصل ۶

۱۵۵	۱-۶- مقدمه.....
۱۵۶	۲-۶- روابط تنش-کرنش به عنوان تابعی از دما.....
۱۶۰	۳-۶- ترک‌های گرم: مکانیزم‌ها و شواهد تجربی.....
۱۶۳	۴-۶- ارتباط ترک گرم با ترکیب شیمیایی و دیاگرام فازی.....
۱۶۸	۵-۶- رابطه‌ی ترک گرم با تنش‌های قالب و اندرکنش بین مقاطع.....
۱۷۲	۶-۶- ترک‌ها، تنش‌های باقیمانده، تنش‌زدایی.....
۱۷۳	۷-۶- بحث کمی انبساط و انقباض.....
۱۷۴	۸-۶- اندازه‌گیری تنش‌های پسماند.....
۱۷۷	۹-۶- موارد واقعی.....
۱۸۲	۱۰-۶- کنترل تنش‌های پسماند.....
۱۸۳	۱۱-۶- تنش‌زدایی.....
۱۸۹	۱۲-۶- انتخاب سیکل دمایی و زمانی برای تنش‌زدایی.....
۱۹۳	۱۳-۶- ارتباط بین ترک گرم و تنش‌های پسماند.....
۱۹۴	۱۴-۶- جوشکاری.....
۱۹۵	۱۵-۶- خلاصه.....

فصل ۷

۱۹۷	۱-۷- مقدمه.....
-----	-----------------

۱۹۹	۲-۷- قالب‌گیری ماسه‌ی تر.....
۲۰۳	۳-۷- قالب‌گیری ماسه‌ی خشک.....
۲۰۳	۴-۷- قالب‌گیری ماسه ماهیچه.....
۲۰۵	۵-۷- فرآیند CO ₂
۲۰۷	۶-۷- قالب‌گیری پوسته‌ای.....
۲۱۱	۷-۷- ریخته‌گری دقیق.....
۲۱۳	۸-۷- ریخته‌گری گریز از مرکز در قالب دائمی.....
۲۱۴	۹-۷- ریخته‌گری تحت فشار.....
۲۱۵	۱۰-۷- ریخته‌گری کوبشی.....
۲۱۶	۱۱-۷- فرآیند مدل فومی فدا شونده.....
۲۱۹	۱۲-۷- فرآیند Replicast™.....
۲۲۰	۱۳-۷- ریخته‌گری نیمه‌جامد.....
۲۲۲	۱۴-۷- ریخته‌گری پیوسته.....
۲۲۴	۱۵-۷- ریخته‌گری در قالب گچی.....
۲۲۴	۱۶-۷- ریخته‌گری مجوف یا پوسته‌ریزی.....
۲۲۵	۱۷-۷- طراحی و تولید مدل.....

فصل ۸

۲۲۹	۱-۸- مقدمه.....
۲۳۰	۲-۸- مروری بر ساختارهای کریستالی و نیروهای پیوند.....
۲۳۸	۳-۸- ساختارهای سیلیس و سیلیکات.....
۲۴۲	۴-۸- خاک‌ها.....
۲۴۴	۵-۸- پیوند خاک‌رس - آب - سیلیس.....
۲۴۶	۶-۸- پیوندهای هیدرولیکی.....
۲۴۸	۷-۸- سیلیکات‌های دیگر.....
۲۴۹	۸-۸- پیوندهای آلی.....
۲۵۰	۹-۸- ماسه‌ی تر.....

۲۵۵	۸-۱۰- ماسه‌ی خشک
۲۵۶	۸-۱۱- ماسه‌ی ماهیچه
۲۵۹	۸-۱۲- ماسه پوسته‌ای
۲۵۹	۸-۱۳- قالب‌های ریخته‌گری دقیق
۲۶۰	۸-۱۴- قالب‌های دائمی، ریخته‌گری تحت فشار
۲۶۰	۸-۱۵- واکنش‌های بین فلز مذاب و قالب و مواد بوتی
۲۶۰	۸-۱۵-۱- واکنش‌های فصل مشترک قالب- مذاب
۲۶۰	۸-۱۵-۲- واکنش‌های دیرگداز- مذاب

فصل ۹

۲۶۹	۹-۱- مقدمه
۲۷۰	۹-۲- انتخاب مواد قالب و فرآیندهای تولید برای یک طرح مشخص
۲۷۴	۹-۳- توازن هزینه‌ها
۲۷۴	۹-۴- سیالیت و سیستم راهگامی
۲۷۵	۹-۵- تغذیه‌گذاری
۲۷۶	۹-۶- تنش‌ها و عیب‌های داخلی
۲۷۶	۹-۷- دلایل ایجاد عیوب معمول در ریخته‌گری
۲۸۰	۹-۸- بهینه‌سازی طراحی قطعه‌ی ریخته‌گری

فصل ۱۰

۲۸۹	۱۰-۱- مقدمه
۲۹۰	۱۰-۲- گازها در فلزات
۲۹۱	۱۰-۳- هیدروژن
۲۹۶	۱۰-۴- هیدروژن زدایی
۲۹۸	۱۰-۵- نیتروژن
۳۰۶	۱۰-۶- گازهای مجتمع CO در فولاد
۳۱۰	۱۰-۷- گازهای مجتمع در مس و آلیاژهای مس
۳۱۸	۱۰-۸- خلاصه‌ای از کنترل گاز

۳۱۹	۹-۱۰- ذوب در خلاء
۳۲۲	۱۰-۱۰- آخال‌ها
۳۲۵	۱۱-۱۰- اثرات تلقیحی افزودنی‌ها به پاتیل

فصل ۱۱

۳۲۹	۱-۱۱- مقدمه
۳۳۰	۲-۱۱- کربن
۳۳۳	۳-۱۱- منگنز
۳۳۶	۴-۱۱- سیلیسیم
۳۳۷	۵-۱۱- فسفر
۳۳۹	۶-۱۱- گوگرد
۳۴۱	۷-۱۱- آلیاژها
۳۴۵	۸-۱۱- آلیاژهای پایه نیکل
۳۴۶	۹-۱۱- آلیاژهای پایه مس
۳۴۸	۱۰-۱۱- آلیاژهای پایه آلومینیم
۳۴۸	۱۱-۱۱- آلیاژهای پایه منیزیم
۳۴۹	۱۲-۱۱- آلیاژهای پایه روی

فصل ۱۲

۳۵۷	۱-۱۲- مقدمه
۳۶۰	۲-۱۲- مقایسه‌ی کلی کوره‌های ذوب
۳۶۳	۳-۱۲- کنترل شیمیایی در ذوب کوپل
۳۶۸	۴-۱۲- کنترل ترکیب شیمیایی در کوره‌ی هوایی و کوره‌ی دمشی
۳۷۰	۵-۱۲- کنترل شیمیایی در ذوب قوسی
۳۷۴	۶-۱۲- کنترل ترکیب شیمیایی در کوره‌های القایی
۳۷۵	۷-۱۲- کنورتور
۳۷۶	۸-۱۲- فرآیندهای دوگانه و سه‌گانه
۳۷۶	۹-۱۲- کوره‌های ذوب فلزات غیر آهنی

فصل ۱۳

- ۲-۱۳- مروری بر واحدها ۳۸۳
- ۳-۱۳- قانون گازها ۳۸۴
- ۴-۱۳- موازنه‌ی جرم و انرژی (قانون اول ترمودینامیک) ۳۸۶
- ۵-۱۳- کاربرد تلفیقی قانون اول و دوم ترمودینامیک ۳۹۶
- ۶-۱۳- تعادل گاز- مذاب ۴۰۵
- ۷-۱۳- تعادلات سرباره-مذاب ۴۰۹
- ۸-۱۳- محاسبات تلفیقی نمودار فازی و ثابت تعادل ۴۱۰

فصل ۱۴

- ۱-۱۴- چرا شبیه‌سازی؟ ۴۱۳
- ۲-۱۴- شبیه‌سازی انجماد و انتقال حرارت ۴۱۵
- ۳-۱۴- شبیه‌سازی پرشدن قالب ۴۱۹
- ۴-۱۴- خصوصیات مورد نیاز نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ۴۲۰
- ۵-۱۴- محدودیت‌های شبیه‌سازی ۴۲۰
- ۶-۱۴- معرفی چند نرم‌افزار شبیه‌سازی ریخته‌گری ۴۲۱

مقدمه

ریخته‌گری یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای شناخته شده برای به دست آوردن شکل مطلوب فلزات است. اولین کوره‌های ریخته‌گری از خاک رس ساخته می‌شدند و لایه‌هایی از مس و چوب به تناوب در آن چیده می‌شد، برای هوا دادن نیز از دمنده‌ی بزرگی استفاده می‌کردند. ریخته‌گری هم علم است و هم فن، هنر و صنعت. به هر میزان که ریخته‌گری از حیث علمی پیشرفت می‌کند، ولی در عمل هنوز تجربه، سلیقه و هنر قالب‌ساز و ریخته‌گر است که تضمین کننده‌ی تهیه‌ی قطعه‌ای سالم و بدون عیب از نظر ظاهری است. این فرآیند تولید از اساسی‌ترین روش‌های تولید می‌باشد. به دلیل این که به جز ریخته‌گری شمش‌های گوناگون، بیشتر از ۵۰ درصد انواع قطعات ماشین‌آلات به این روش تهیه می‌شوند. فلزاتی که خاصیت پلاستیسیته کمی دارند و یا قطعاتی که دارای اشکال پیچیده هستند، تنها به روش ریخته‌گری قابل تولید هستند.

یک کاشف با تجربه، قبل از اینکه قدم در یک سرزمین ناشناخته بگذارد، بر بالای یک بلندی رفته و زمان زیادی را صرف مطالعه‌ی مسیری که باید بپیماید می‌کند. به همین طریق، یک مهندس مجرب، قبل از اینکه وارد جزییات حل مساله‌ای شود، زمان زیادی را صرف مطالعه‌ی کلیات آن می‌کند. در فصل بعد سعی شده تا قبل از وارد شدن به جزییات، یک دید کلی نسبت به قطعات ریخته‌گری و صنعت ریخته‌گری ارائه شود. برای دانشجویان مهندسی این رویکرد بسیار حائز اهمیت است زیرا این موضوع با مسایل قبلی که با آن روبرو شده‌اند تقریباً متفاوت است. در اغلب دروس، یک موضوع خاص مجزا و بسیار ساده شده است. برای مثال، غالباً در یک درس، ریاضی، فیزیک و شیمی

پیچیده‌ای به صورت همزمان مطرح نمی‌شوند ولی برای درک واقعی یک ریخته‌گری موفق، نیاز به استفاده‌ی همزمان از علوم پایه است.

در متن این کتاب، مسالهی مهندسی مناسب یک ریخته‌گری به چندین بخش منطقی تقسیم شده است. اما باید توجه داشت که یک ریخته‌گری موفق در گرو موفقیت همزمان در همه‌ی جنبه‌های تولید است. برای مثال، یک مشتری مشتاق از صنعت هوانوردی از دانستن اینکه قطعه‌ی ریختگی مورد نیازش دقیقاً با ساختار مطلوب ولی خارج از تolerانس ابعادی قابل قبول تولید شده است، چندان خوشحال نخواهد شد!

برای روشن شدن مطلب، ابتدا یک دید کلی از تولید قطعات ریختگی مطرح شده و بعد به مطالعه‌ی صنعت ریخته‌گری فلزات پرداخته می‌شود. با این پیش‌زمینه، نیاز به مباحث مفصل فصل‌های بعدی و روابط بین آن‌ها مشخص می‌شود. با انجام آخرین مقایسه با کاشف ذکر شده در بالا: همان‌طور که به یاد داشتن نمای مشاهده شده از بالای بلندی به کاشف کمک می‌کند تا نیاز به بریدن شاخ و برگ و باز کردن راه در مسیر یک جنگل متراکم را درک کند، ما هم امیدواریم که محتوای فصل اول انگیزه‌ی لازم را برای دانشجویان ایجاد کند تا به هنگام مطرح کردن برخی مطالب مشکل‌تر در فصل‌های بعدی، علوم پایه را مجدداً مورد توجه قرار دهند.

فصل ۱

۱-۱- ریخته‌گری چیست؟

به طور کلی روش‌های اصلی شکل‌دهی فلزات عبارتند از:

۱- ریخته‌گری

۲- شکل‌دهی به روش‌های مکانیکی

۳- متالورژی پودر

و روش‌های تکمیلی تولید عبارتند از:

۱- جوشکاری، جوشکاری برنجی^۱ و لحیم کاری

۲- ماشین کاری

که در این میان ریخته‌گری سریع‌ترین و غالباً اقتصادی‌ترین روش تولید یک قطعه با ترکیب شیمیایی مورد نظر است. ریخته‌گری فلزات، بطور ساده عبارت است از ایجاد شکل مطلوب با ریختن فلز مذاب در محفظه‌ی یک قالب به طوری که مذاب، شکل تعبیه شده در قالب را به خود گرفته و پس از منجمد شدن به همان شکل باقی بماند. مشاهده‌ی این که در هر کارخانه‌ی ریخته‌گری، انبوهی از شمش و قراضه‌ی فلزی ظرف مدت چند ساعت به قطعات فلزی تبدیل می‌شود، بسیار جالب است. قالب سکه‌ی چینی شکل ۱-۱ مثال جالبی از روش ریخته‌گری است که به ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح مربوط می‌شود. وقتی که این قالب مانند یک کتاب بسته می‌شود، مذاب برنج درون حوضچه‌ی بارریز^۲ در بالای آن ریخته شده و از طریق راه‌گاه^۳ به راه‌بار^۴ و سپس راه‌باره^۱

^۱ brazing

^۲ pouring cup

^۳ downsprue

^۴ runner

به محفظه‌ی قالب^۲ وارد می‌شود. از آنجا که این قالب قابل استفاده‌ی مجدد است، این نوع قالب، قالب دائمی^۳ نامیده می‌شود. بسیاری از قالب‌ها از مواد ماسه‌ای که با خاک رس به عنوان چسب به شکل توده‌ی فشرده درآمده‌اند، تولید می‌شوند و فقط یک‌بار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع قالب‌ها، قالب موقت نامیده می‌شوند.

از مشخصات روش ریخته‌گری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- ساختار میکروسکوپی قطعات ریختگی عموماً دارای خواص ایزوتروپ (یعنی در جهات مختلف خواص یکسانی دارند) هستند

۲- قطعات ریختگی نسبت به روش‌های دیگر تولید دارای دانه‌بندی درشت‌تری هستند. برای بهبود اندازه‌ی دانه‌ها می‌توان بعد از ریخته‌گری عملیات حرارتی انجام داد و یا به وسیله‌ی مواد جوانه‌زا دانه‌بندی این قطعات را ریزتر کرد. گرچه در دمای بالا این دانه درشتی می‌تواند مقاومت به خزش را افزایش دهد که در این شرایط مطلوب است.

۳- از نظر اقتصادی روش ریخته‌گری ارزان‌ترین روش تولید و در عین حال آسان‌ترین روش است. در این روش مدل مورد استفاده برای ساخت قالب موقت از مواد ارزان مثل چوب، پلاستیک و... به آسانی تهیه می‌شود. ابزار و تجهیزات قالب‌گیری و ذوب نیز ارزان است. بیش‌تر قطعات به این روش قابل تولید هستند و همچنین می‌توان از ریخته‌گری برای تولید تعداد محدود و نیز تولید انبوه استفاده کرد.

شکل ۱-۱ روش متداول ریخته‌گری را برای تولید یک لوله‌ی سه‌راهی در قالب ماسه‌ی تر، شامل مراحل مختلف ماهیچه‌سازی، قالب‌گیری، ریخته‌گری و تمیزکاری نشان می‌دهد.

¹ gate

² casting cavity

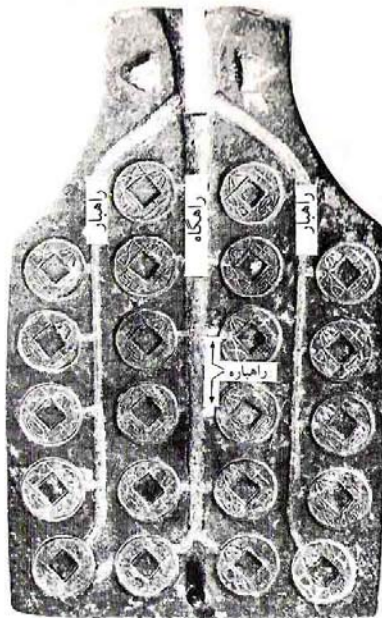
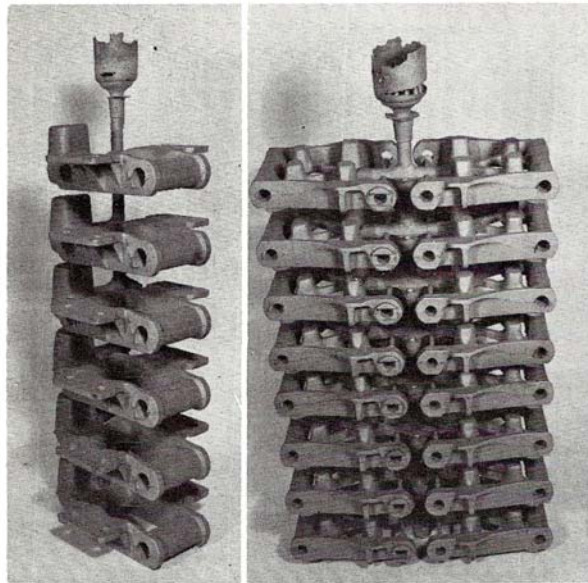
³ permanent mold



شکل ۱-۱. مراحل مختلف قالب‌گیری و ریخته‌گری یک اتصال سه‌راهی شامل جعبه ماهیچه، ماهیچه، مدل، قالب‌گیری، جای‌گذاری ماهیچه در قالب ماسه‌ای، قطعه ریخته شده و قطعه نهایی.

بعضی از قطعات ریخته‌گری جدید که نشان‌دهنده‌ی انعطاف‌پذیری روش‌های ریخته‌گری هستند در شکل‌های ۱-۲ تا ۱-۵ نشان داده شده‌اند.

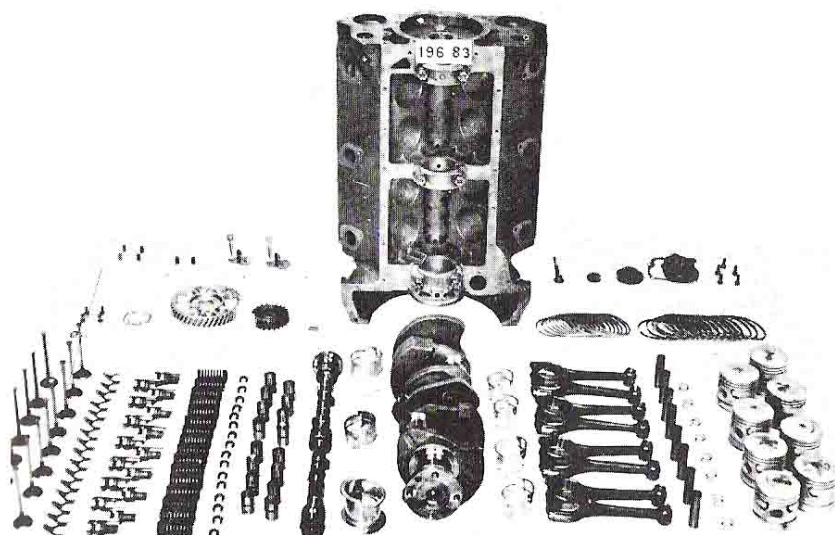
شکل ۱-۲ الف قالب پول‌چینی مورد استفاده در حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد و شکل ۱-۲ ب یک قالب ریخته‌گری دقیق پیشرفته که از اصول مشابهی پیروی می‌کند را نشان می‌دهد. روتور یک موشک که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، از آلیاژ مقاوم به حرارت تولید شده تا بتواند گازهای داغ برخورد کننده با پره‌ها را تحمل کند. پره‌ها با تیرانس ابعادی ۰٫۰۳in ریخته می‌شوند زیرا شکل قطعه پیچیده بوده و ماشین‌کاری آن مشکل است. تعداد زیادی از قطعات روتور یک ماشین که در شکل ۱-۴ نشان داده شده، نیز ریخته‌گری است.



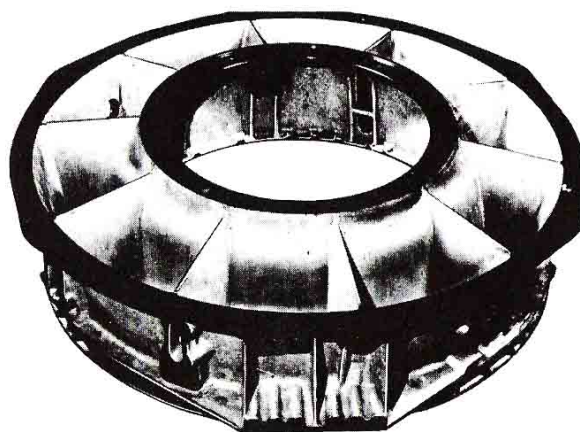
شکل ۱-۲. (الف) قالب پول چینی، حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد (اندازه‌ی شکل تقریباً ۱/۳ اندازه‌ی واقعی است) و (ب) یک قالب ریخته‌گیری دقیق پیشرفته.



شکل ۱-۳. روتور موشک



شکل ۱-۴. بیش از نود درصد این قطعات مربوط به موتور V-8، ریخته‌گری هستند.

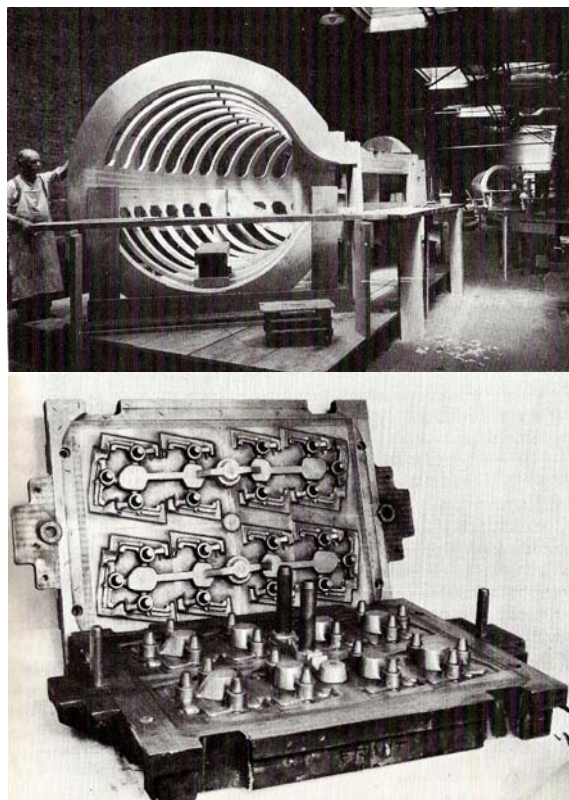


شکل ۱-۵. نشیمن یاتاقان اصلی موتور جت سفایر ۱ (اندازه‌ی شکل حدود یک پانزدهم قطعه‌ی اصلی است).

قطعات ریخته‌گری اغلب به عنوان اجزای یک ساختار پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مراحل اولیه‌ی توسعه‌ی موتور جت سفایر انگلیس، مجموعه‌ی نشان داده شده در شکل ۱-۵، از ماشین‌کاری قطعات بزرگ فورج شده تهیه می‌شد و تقریباً ۶۰۰۰ نفر-ساعت برای تولید این قطعه مورد نیاز بود. بعداً، فرآیند عوض شد و دو قطعه‌ی اصلی به دقت و مجزا از هم به وسیله ریخته‌گری تهیه و سپس پرهای فولاد زنگ‌نزن در محل خود جوش داده شدند. به این ترتیب، زمان تولید این قطعه به یک دهم و هزینه‌ی تولید آن به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. عملکرد آن نیز با گسترش محدوده‌ی دمای کاری، از طریق استفاده از آلیاژی که قابلیت ریخته‌گری خوبی داشت (چدن نشکن آستنیتی)، بهبود یافت.

شکل ۱-۶ صفحه‌ی مدل برای تولید انبوه قطعات کوچک در کارخانه به کمک ماشین‌های قالب‌گیری و مدل مورد استفاده برای تولید یک قطعه‌ی بزرگ ریخته‌گری را نشان می‌دهد.

¹ Sapphire



شکل ۱-۶: (الف) صفحه‌ی مدل برای تولید انبوه قطعات کوچک در کارخانه به کمک ماشین‌های قالب‌گیری و (ب) مدل مورد استفاده برای تولید یک قطعه‌ی بزرگ ریخته‌گری.

با توجه به این مثال‌ها، به مروری از کل صنعت ریخته‌گری پرداخته می‌شود.

۱-۲- مروری بر صنعت ریخته‌گری

(الف) تولید. به دلیل سادگی فرآیند ریخته‌گری، تقریباً هر فلز خالص یا آلیاژی قابل ریخته‌گری است. آمار جدول ۱-۱ بیان‌گر تقاضای بعضی از آلیاژهای متداول در سال ۲۰۰۸ در صنعت ریخته‌گری آمریکا است. علاوه بر تولید تناژ بالایی از قطعات ریخته‌گری از فلزات متداول‌تر، قطعات ریخته‌گری از آلیاژهای جدیدتر بسیار فعال مانند تیتانیوم نیز

تولید می‌شوند. خانواده‌ی نسبتاً جدیدی از آلیاژها به نام چدن نشکن نیز اهمیت روز افزونی دارند.

در ارزیابی تناژ باید توجه داشت که اعداد جدول ۱-۱ نشان‌دهنده محصولات تمام شده یا تقریباً تمام شده هستند و وزن شمش‌های مورد استفاده در تولید آنها تقریباً دو برابر این مقدار است. رتبه‌ی صنعت ریخته‌گری فلزات در گروه صنایع مادر، پنجمین است. (ب) محصولات و تولید کنندگان. قطعات ریخته‌گری مطرح شده در بالا، فقط گروه کوچکی از انواع قطعات ریخته‌گری مورد استفاده را دربر می‌گیرد. هر صنعت مادری، مستقیم یا غیرمستقیم از قطعات ریخته‌گری در تولید و فرآیند استفاده می‌کند.

۱-۳- تعریف مساله‌ی ریخته‌گری

فلزات و آلیاژهایی که غالباً در ریخته‌گری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: چدن، فولاد، آلومینیم، برنج، برنز، منگنز و بعضی از آلیاژهای روی. در این میان، آهن و آلیاژهای آهنی (چدن و فولاد) به دلیل خواص ریخته‌گری مناسب از قبیل سیالیت در حالت مذاب، انقباض ناچیز بعد از سرد شدن و استحکام کافی دارای کاربرد بیش‌تر و گسترده‌تری هستند. در حالی که فلزات دیگری از قبیل آلومینیم به علت وزن کمتر و خواص مناسب دیگر مانند مقاومت در برابر خوردگی، در بعضی از صنایع از قبیل صنعت خودروسازی به تدریج جای آلیاژهای آهنی را گرفته است. بررسی قطعات و صنایع ریخته‌گری نشان‌دهنده‌ی گستره‌ی وسیعی از محصولات و تولیدکنندگان است. بنابراین پوشش دادن مناسب همه‌ی اصول ریخته‌گری در یک کتاب مشکل به نظر می‌رسد. متأسفانه بسیاری از ریخته‌گران از مسایل پایه‌ای معمول صنعت با خبر نیستند و لذا فقط می‌توانند در حوزه‌های تخصصی مانند ریخته‌گری در ماسه تر یا ریخته‌گری تحت فشار، با دیگر کارشناسان به مبادله‌ی اطلاعات بپردازند. این ایزوله شدن کار توسعه، در تلفیق با تعداد زیاد تولید کنندگان، نقطه ضعفی است که کاربرد بسیاری از پیشرفت‌های جدید در علوم مربوطه را برای حل مشکلات صنعت ریخته‌گری، به تعویق انداخته است. بنابراین در این کتاب سعی شده تا به جای پرداختن به موضوع‌های مجزا مانند ریخته‌گری چدن خاکستری یا ریخته‌گری فلزات سبک، مسایل پایه‌ای و اولیه و پیشرفت‌های انجام گرفته در آنها بیان شود و مورد مقایسه و بررسی قرار گیرند.