



دانشگاه سیستان و بلوچستان

فرآیند نیمه جامد آلیاژها

دینوید، ج. کرکمود

میشل، ل. ریری

پلاتو، کاپرنوس

هلن وی، اتکینسون

کنث پی، یانگ

مترجمان:

احسان برهانی

(دانشیار دانشگاه سیستان)

محمد کریمی

محمد علی حیدرزاده

عنوان و نام پدیدآور	فرایند نیمه جامد آلیاژها/ دیوید اچ. کرکوود... (و دیگران)؛ مترجمان احسان برهانی، محمد کریمی، محمدعلی حیدرزاده.
مشخصات نشر	سمنان: دانشگاه سمنان، انتشارات، ۱۳۹۶. مشخصات ظاهری: ۲۱۷ ص: مصور، نمودار.
شابک	978-600-8424-35-2 وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: Semi-solid processing of alloys, c2010.
یادداشت	دیوید اچ. کرکوود، میشل سوئری، پلاتو کاپرانوس، هلن وی. اتکینسون، کنث پی. یانگ.
یادداشت	واژه‌نامه.
موضوع	آلیاژها موضوع: Alloys
موضوع	مواد چندسازه فلزی موضوع: Metallic composites
موضوع	متالورژی موضوع: Metallurgy
شناسه افزوده	کرکوود، دیوید اچ. شناسه افزوده: Kirkwood, David H.
شناسه افزوده	برهانی، احسان، ۱۳۶۰ - مترجم شناسه افزوده: کریمی، محمد، ۱۳۶۸ - مترجم
شناسه افزوده	حیدرزاده، محمدعلی، ۱۳۶۷ - مترجم شناسه افزوده: دانشگاه سمنان. انتشارات
رده بندی کنگره	۶۶۹ رده بندی دیویی: ۶۶۹
شماره کتابشناسی ملی	۴۶۲۶۱۵۵

فرایند نیمه جامد آلیاژها

مترجمان: احسان برهانی - محمد کریمی - محمدعلی حیدرزاده

نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۹۶

طرح جلد و صفحه آرایی: اسماعیل شجاعی

ناشر: انتشارات دانشگاه سمنان

شمارگان: ۴۰۰ جلد

قیمت: ریال ۱۴۰۰۰۰

ISBN:978-600-8424-35-2



شابک:

حق چاپ محفوظ و متعلق به انتشارات دانشگاه سمنان می باشد.

مراکز پخش: سمنان: روبروی پارک سوکان - پردیس شماره ۱ - انتشارات دانشگاه سمنان - تلفن: ۰۲۳۳۳۶۵۴۱۴۲ و ۰۲۳۳۱۵۳۳۲۷۰

وب سایت: www.press.semnan.ac.ir

تهران: میدان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین - پلاک ۹ - تلفن: ۰۲۱۶۶۹۶۶۱۱۴-۱۵ - انتشارات سیمای دانش

فهرست مطالب

۸	مقدمه
۱۰	پیش گفتار نویسندگان
۱۳	فصل ۱
۱۳	تحول و الگوی ریزساختار در آلیاژهای نیمه جامد
۱۴	بخش اول
۱۴	مفاهیم اولیه
۱۴	۱-۱- تعادل پلی-موضعی در سیستم‌های آلیاژی
۱۷	۲-۱- جوانه‌زنی
۱۷	۱-۲-۱- جوانه‌زنی همگن
۱۷	معادله‌ی نرخ
۲۰	۲-۲-۱- جوانه‌زنی ناهمگن
۲۱	۳-۲-۱- ریزدانه‌سازی
۲۴	۳-۱- ساختار فصل مشترک جامد - مایع
۲۵	۴-۱- ناپایداری مورفولوژیکی
۲۷	۵-۱- تکثیر دانه
۲۹	۶-۱- رشد و کروی نمودن دانه‌های هم‌محور
۳۱	بخش دوم
۳۱	توصیف ریزساختار در دوغاب‌های نیمه جامد
۳۱	۱-۲- کسر جامد
۳۱	۲-۲- فاکتور شکل
۳۴	۳-۲- همسایگی و پیوستگی
۳۷	بخش ۳

۳۷	تحول ریز ساختار در آلیاژهای نیمه جامد حین نگهداری هم‌دما (غوطه‌وری)
۳۷	۱-۳ مقدمه
۳۸	۲-۳ درشت‌دانگی در آلیاژهای Al-Cu
۳۹	۳-۳ درشت‌دانگی در آلیاژهای Al-Si
۴۵	۴-۳ پرتونگاری میکروی اشعه ایکس دوغاب‌های آلیاژی
۵۰	مراجع فصل ۱: تحول و الگوی ریزساختار در آلیاژهای نیمه‌جامد
۵۳	فصل ۲
۵۳	رئولوژی و مدل‌سازی
۵۴	بخش ۴
۵۴	پیشرفت‌های اخیر در ساختار دوغاب
۵۸	بخش ۵
۵۸	معرفی و تعاریف رئولوژی و مدل‌سازی
۶۰	بخش ۶
۶۰	تعیین آزمایشگاهی رفتار رئولوژیکی
۶۰	۱-۶ آلیاژهای انجماد جزئی
۶۰	۱-۱-۶ روش‌های آزمایش
۶۰	ویسکومتر دورانی و انتقالی
۶۲	تست‌های سیالیت
۶۳	۲-۱-۶ نتایج مربوط به ویسکوزیته
۷۳	۳-۱-۶ نتایج سیالیت
۷۴	۲-۶ آلیاژهایی با ذوب جزئی مجدد
۷۴	۱-۲-۶ روش‌های آزمایشگاهی
۷۴	ویسکومتر برشی
۷۶	اکستروژن معکوس

۷۶	فروروندگی
۷۶	فشارش خشک
۷۸	کشش
۷۸	۲-۲-۶ نتایج بر حسب ویسکوزیته‌ی ظاهری
۷۸	تأثیر مورفولوژی فاز جامد
۸۰	تأثیر نرخ برش
۸۰	رفتار حالت پایدار نازک‌شدگی برشی
۸۰	رفتار گذرا
۸۳	تأثیر کسر جامد
۸۴	۳-۲-۶ نتایج در قالب رفتار اختاری
۸۶	۳-۶ مقایسه‌ی بین انجماد برشی و برش جزئی مجدد آلیاژها
۸۷	۴-۶ تنش تسلیم
۸۸	۵-۶ ملاحظات نهایی
۸۹	مراجع فصل ۲: رئولوژی و مدل‌سازی
۹۷	فصل ۳
۹۷	کاربردهای صنعتی فرآیند نیمه‌جامد
۹۸	بخش ۷
۹۸	مدل‌سازی فرآیند نیمه‌جامد
۹۸	۱-۷ نکات مقدماتی مدل‌سازی
۱۰۱	۲-۷ مزیت مدل‌سازی
۱۰۳	۳-۷ استفاده از پارامتر ساختاری λ برای مدل‌سازی: مدل برلون و همکاران
۱۰۴	۴-۷ استفاده از یک تنش تسلیم در مدل‌ها
۱۰۵	۵-۷ مدل‌سازی تفاضل محدود
۱۰۵	۱-۵-۷ مدل‌سازی تفاضل محدود تک‌فازی

۱۱۵	۲-۵-۷ مدل سازی تفاضل محدود دو فازی
۱۱۵	۶-۷ مدل سازی المان محدود
۱۱۵	۱-۶-۷ مدل سازی المان محدود تک فازی
۱۱۵	زاوالبانگوس و لاولی
۱۱۵	بیکر
۱۱۶	الکساندرو، برگوس و همکاران
۱۲۲	ارگیس و همکاران
۱۲۶	۲-۶-۷ مدل سازی المان محدود دو فازی
۱۳۱	۷-۷ مدل های مشابه مدل های آهنگری
۱۳۱	۱-۷-۷ مدل های مشابه مدل های کوبلاستیک
۱۳۲	۲-۷-۷ مدل بر پایه ی وسایل الاستیسیتی و تیگروتروپی
۱۳۳	۸-۷ مدل سازی میکرو
۱۳۵	۹-۷ نتیجه گیری برای مدل سازی
۱۳۷	بخش ۸
۱۳۷	نتایج عمومی در مورد رئولوژی و مدل سازی
۱۳۸	بخش ۹
۱۳۸	مقدمه ای بر کاربردهای صنعتی فرآیند نیمه جامد
۱۴۱	بخش ۱۰
۱۴۱	مواد خام
۱۴۲	۱-۱۰ سیستم های انتقال مواد نیمه جامد
۱۴۲	۲-۱۰ گرمایش القایی عمودی سرباره
۱۴۴	۳-۱۰ گرمایش القایی افقی سرباره
۱۴۶	۴-۱۰ گرمایش همرفتی افقی سرباره
۱۴۶	۵-۱۰ گرمایش مجدد ماده ی خام جامد

۱۴۹	۱۰-۶ تولید مستقیم دوغاب: رئوکستینگ/تیگزوملدینگ
۱۴۹	۱۰-۶-۱ روش جدید رئو-کستینگ
۱۵۰	۱۰-۶-۲ رئوکستینگ نیمه جامد
۱۵۵	۱۰-۷ سایر سیستم‌های مبتنی بر دوغاب
۱۵۵	۱۰-۷-۱ سرباره‌های "نیمه جامد" از دوغاب
۱۵۵	۱۰-۷-۲ شکل دهی مستقیم دوغاب
۱۵۷	۱۰-۷-۳ تیگزوملدینگ
۱۵۹	۱۰-۷-۴ فرآیند ریخته‌گری تحت فشار رئو
۱۶۱	بخش ۱۱
۱۶۱	کنترل فرآیند در پر کردن قالب و طراحی قالب
۱۶۲	۱۱-۱ سیستم‌های کنترل نسبی قالب
۱۶۴	۱۱-۲ انتخاب قطعات برای ارزیابی شکل پر
۱۶۴	۱۱-۳ ارزیابی سیستم تزریقی
۱۶۵	۱۱-۴ مشاهدات تست پر شدن
۱۶۷	۱۱-۵ مشارکت تخلیه و خلأ
۱۶۹	۱۱-۶ طراحی پای راهگاه، راهگاه و نیروهای تزریق
۱۷۰	۱۱-۷ کیفیت سطحی
۱۷۰	۱۱-۸ خلاصه‌ای از مسائل عمومی فرآیند
۱۷۰	۱۱-۸-۱ مواد خام
۱۷۱	۱۱-۸-۲ انتخاب آلیاژ
۱۷۲	بخش ۱۲
۱۷۲	اصول طراحی اجزاء
۱۷۲	۱۲-۱ تolerانس‌ها
۱۷۲	۱۲-۲ اصول طراحی قطعه

۱۷۲	۱۲-۳ ابعادگذاری
۱۷۳	۱۲-۴ کاهش هزینه در طراحی محصول
۱۷۴	بخش ۱۳
۱۷۴	کاربردهای عملی در استفاده‌ی امروزی
۱۸۵	بخش ۱۴
۱۸۵	آینده
۱۸۶	منابع فصل ۳: کاربردهای صنعتی فرآیند نیمه‌جامد
۱۸۷	ضمیمه‌ی کاربردهای صنعتی فرآیند نیمه‌جامد
۱۸۷	خواص مکانیکی برخی از آلاژهای تیکزوفرم
۱۹۹	منابع
۲۰۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۲۰۶	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۲۱۲	نمایه

از آغاز متالورژی حالت نیمه جامد (SSM)^۱ و اولین تحقیق و پیشرفت در آزمایشگاه حدود ۳۷ سال می‌گذرد. در این سال‌ها، رشدی مداوم بر تحقیق پیرامون این موضوع و آغازی بر کاربردهای صنعتی قابل توجه صورت گرفته است.

مبحث کلی SSM امروزه شامل تعداد زیادی از فرآیندهای ویژه می‌شود که تقریباً همه‌ی آن‌ها در دو دسته‌ی رئوکستینگ^۲ و تیگزوکستینگ^۳ قرار می‌گیرند. دسته‌ی اول توسط فلز مذاب آغاز شده و شامل تلاطم حین انجماد جزئی می‌باشد که با شکل‌دهی ادامه می‌یابد. دسته‌ی دوم با فلز جامد با ساختاری مناسب آغاز شده و شامل گرمایش تا کسر جامد مورد نظر و شکل‌دهی می‌شود.

تحقیق در سراسر ۳۷ سال گذشته و به خصوص در دهه‌ی اخیر تصویری دقیق از اصول فرآیند فراهم کرده است و منجر به محدوده‌ی وسیعی از فرآیندهای ویژه‌ی SSM و نوآوری‌های فرآیند شده است. مطالعات صنعتی و در واقع تجربه‌ی تولید، تصویری رو به رشد از مزایا و محدودیت‌های فرآیند را فراهم آورده است.

در این مدت، شرایط برای همکاری وسیع پیامدی SSM، هم برای آلیاژهای آهنی و هم آلیاژهای غیرآهنی به نظر مساعد می‌رسد. به هر حال بایستی پذیرفت که نوآوری‌های بزرگ همچون SSM صرفاً توسط صنایعی که عملیات فست‌ها بالا باشد، سود متعادل باشد و شکست در تعهدات جذب مشتری‌ها تاوان بالایی داشته باشد مورد انتخاب می‌باشد.

همان‌طور که توسط منابع بیان شده در فصل اول این کتاب عنوان می‌شود، جدیت محققان SSM در سراسر دنیا بالاست و به روشنی موفقیت‌های صنعتی را با همراه دارد. تازگی تکنولوژی و ادامه‌ی توسعه‌ی فهم فرآیند، این نکته را مشخص می‌کند که کارایی و نرخ افزایش استفاده‌های صنعتی SSM (۱) همکاری نزدیک میان محققان در این موضوع و کارکنان تولیدی (۲) صبر و ایستادگی در دوره‌ی پیشرفت صنعتی خواهد بود.

^۱ SemiSolid Metallurgy

^۲ Rheocasting

^۳ Thixocasting

پیش‌گفتار نویسندگان

فرآیند نیمه‌جامد با تحقیق در MIT روی رفتار ویسکوزیته‌ی آلیاژهای قلع-سرب در حین انجماد آغاز شد که توسط اسپنسر^۱، محرابیان^۲ و فلمینگ^۳ در سال ۱۹۷۲ منتشر شد. هدف اصلی، آزمایش تنش برشی ساختارهای نیمه‌جامد با مشاهده‌ای بر جنبه‌ی مکانیزم‌های پارگی داغ^۴ در آلیاژهای انجمادی بود، ولی یافت شد که فرآیند برش به طور مشخص ریز ساختار را تغییر می‌دهد که تغییر مورفولوژی دندردی جامد به حالت کروی‌تر، تقریباً افت زیادی در تنش برشی و ویسکوزیته را سبب می‌شود. این پدیده مشابه تیگزوتروپی^۵ است که در علوم سرامیک و پلیمر به خوبی شناخته شده است، ولی تاکنون در سیستم‌های فلزی مشاهده نشده است. این کشف در MIT مطالعه‌ی عمیق تیگزوتروپی در آلیاژها را آغاز کرد و فهم این که آلیاژهای نیمه‌جامد هم‌زده شده مثلاً می‌توانند در ریخته‌گری تحت فشار به قالب‌هایی با مزایای ویژه تزریق گردد؛ کنترل بیشتر جریان ویسکوزیته به این معنی که هوای کمتری در ریخته‌گری محبوس شود و نیز دانه‌های هم‌محور ریزتر تشکیل شده در انجماد، هردو به خواص مکانیکی بهتر منتج می‌شود.

کارهای انجام شده در ۴۰ سال اخیر در صنعت و آزمایشگاه‌های سراسر جهان و منتشر شده در کنفرانس بین‌المللی دوسالانه در خصوص فرآیند نیمه‌جامد آلیاژ و کامپوزیت‌ها، همچنین در مجلات دانشگاهی، این انتظارات را دارا می‌باشد یک صنعت رونق یافته در تولید اجزای تیگزوفرم شده در آلیاژهای آلومینیم و منگنز برای اجزای خودروساز و همچنین در الکترونیک و صنعت و صنایع ارتباطات، وجود دارد. اگرچه، هنوز هم تناسب کمی در تمام تولیدات ریخته‌گری با بیشتر فرآیندهای متداول وجود دارد و این محدودیت اساساً ناشی از قیمت شمال تیگزوفرم شده و عدم توان باز یافت قراضه در کارگاه است. هردوی این مشکل می‌تواند با پیشرفت اخیر تکنولوژی‌های جدید تولید دوغاب، رتوکستینگ (که تشکیل و تزریق دوغاب به قالب را یک‌جا می‌کند، قسمت ۱۰ را مشاهده کنید) رفع گردد که نیاز جزئی به ذوب مجدد فلز خام از پیش شکل داده شده و تامین صرفه‌ی تولید را به دنبال داشته است؛ بنابراین رقابت مستقیم با ریخته‌گری متداول تحت فشار بالا را امکان‌پذیر می‌سازد.

موضوع مورد بررسی در این نوشتار در سه بخش بحث شده است. بخش اول (A) با ریز ساختار دوغاب‌های نیمه‌جامد حاصل از جوانه‌زنی و شکسته شدن دندردیت (بخش ۱) و تغییراتی که حین عملیات حرارتی هم‌دمای بعدی اتفاق می‌افتد (بخش ۳) سر و کار دارد. این موضوع در بخش ۴ با

¹ Spencer

² Mchrabian

³ Flemings

⁴ Hot Tearing

⁵ Thixotropy

⁶ Billet

توجه بیشتر به پیشرفت‌های اخیر در تولید دوغاب در کارگاه ادامه می‌یابد، بنابراین عوامل اقتصادی قابل توجه در تولید اجزاء به حساب آورده می‌شود. رئولوژی دوغاب‌های آلیاژ در بخش ۶ بررسی شده و مدل‌سازی جریان نیمه جامد در بخش ۷ به شرط وجود ابزاری به منظور طراحی قالب و جلوگیری از تشکیل نقص به طور خلاصه آورده شده است. در انتها کاربردهای صنعتی فرآیند نیمه‌جامد در بخش ۱۰ آورده شده که تکنیک‌های مختلف برای پیش‌گرم کردن و ذوب موضعی در شمش‌های از پیش شکل داده شده بحث شده است که با عملیات حرارتی هم‌دمای آن‌ها قبل از تیگز و فرمینگ ادامه یافته است. بخش‌های ۱۱ و ۱۲ ملاحظات تجربی کنترل فرآیند و طراحی قالب و قوانین تجربی حاکم به عنوان راهنما برای تولید قطعات ریختگی سالم و به طور منظم را توصیف می‌کند.

لازم می‌دانم تا تلاش‌های نویسندگان در فراهم‌آوری یک رساله‌ی متوازن، دارای محتوا و به روز شده‌ی فرآیند آلر نیمه‌جامد را ارج نهم. باید پذیرفت که این موضوع در چندین سال گذشته شروع شده است ولی تکمیل آن به دلیل پیشرفت چشم‌گیر در تکنولوژی صنعتی به تعویق افتاده است. با امید به پیدایش تکنولوژی‌های نوکستینگ نوین، فازی در توسعه تکمیل شده است که مختص آلیاژهای سبک می‌باشد. آلراهای جریانه‌ی مس برای تولید اشکال پیچیده، اکنون بایستی یک هدف قابل دسترس باشد و این امر باید توسعه‌ی شکل‌دهی نیمه جامد آلیاژهایی با نقطه‌ی ذوب بالا همچون فولاد زنگ‌نزن، نيمونیک‌ها و آلرهای تیتانیوم با استفاده از موادی با قالب مخصوص را ترغیب نماید.

اینجانب بایستی به طور ویژه قدردانی خود را از دکتر پلاتو کاپرانوس^۱ همکار من در سال‌های متمادی به خاطر کمک‌های جامع ایشان - نه صرف در حوزه‌ی آماده‌سازی کتاب - و پروفیسور مرتون سی. فلمینگ^۲ بنیانگذار فرآیند نیمه‌جامد به واسطه‌ی فراهم نمودن پیشنهادهای و حمایت‌های ایشان از پروژه و نیز پروفیسور هانس وارلیمونت^۳ به خاطر پیشنهادشان در ابتنای راه و دل‌گرمی همیشگی‌شان ابراز نمایم.

¹ Plato Kapranos

² Merton C. Flemings

³ Hans Warlimont

پیش‌گفتار مترجمان

کتاب حاضر از کتب ارزشمند در حوزه آلیاژسازی و ریخته‌گری و یکی از منابع مورد استفاده اساتید، محققین و دانشجویان مهندسی و علم مواد محسوب می‌شود. این کتاب چشم‌انداز جامع و متفاوتی را در خصوص شناخت فرایندهای نیمه جامد و عوامل موثر بر آن پیش روی خوانندگان محترم قرار می‌دهد.

تلاش مترجمان در طی انجام فرآیند ترجمه به گونه‌ای بوده است تا حتی‌الامکان ضمن حفظ اثر اصلی نویسنده، مفاهیم موردنظر همانند آنچه مدنظر مولف بوده است؛ انعکاس یابد. هرچند که همه تلاش مترجمان در این راستا با هدف ایجاد ترجمه‌ای دقیق و روان صورت پذیرفته است؛ با اینحال احتمال وقوع خطاهای ناخواسته وجود خواهد داشت. شایان ذکر است که تیم ترجمه در نوشتار حاضر خویش را مصون از خطا نمی‌دانند. لذا انتظار می‌رود خوانندگان گالی، ایشان را از نظرات، انتقادات و پیشنهادات سازنده بهره‌مند فرمایند.

از معاونت محترم پژوهش دانشگاه سمنان و آقای مهندس حمیدرضا مولایی، مسئول انتشارات دانشگاه سمنان و آقای مهندس رتویی، در جهت چاپ و انتشار سریع کتاب همکاری داشته‌اند سپاسگزاری می‌شود. همچنین از رحمت اقل اسامعیل شجاعی در مورد طرح روی جلد و صفحه آرایشی تقدیر می‌شود.

مترجمان

احسان برهانی

محمد سینکا کریمی

محمدعلی حیدرزاده