



پژوهشکده توسعه تکنولوژی

فناوری انجماد سریع و کاربرد آن در تولید مواد آمورف و نانوبلوری

نویسندگان:

علی جزایری قرمباغ

جواد ملا

مهسا اصفهانی

بهزاد بینش

مهدی کیانی

سیما میرزایی

حمید ارونی حصاری

رضا بختیاری

سروش پرویزی

۱۳۹۰

فناوری انجامد سریع و کاربرد آن در تولید مواد آمورف و نانوبلوری / نویسندگان علی جزایری قره باغ ... او دیگران؛ ابرای پژوهشکده توسعه تکنولوژی. تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی شریف، ۱۳۹۰.

۲۶۷ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار. شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۲۸-۴

ISBN: 978-964-6445-28-4

فهرست نویسی براساس اطلاعات فیفا

نویسندگان علی جزایری قره باغ، جواد ملا، مهسا اصفهانی، بهزاد بینش، مهدی کیانی، سیما میرزایی، حمید ارونی
حصاری، رضا بختیاری، سروش پرویزی.

واژه نامه. کتابنامه: ص ۳۴۱-۳۵۹.

فلزها—فرآیند انجامد سریع، انجامد. نانو بلورها. شیشه های فلزی. جزایری قره باغ، علی، ۱۳۳۹- جهاد دانشگاهی.
واحد صنعتی شریف پژوهشکده توسعه تکنولوژی. جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی شریف.

۶۶۹/۹۴

۱۳۹۰ ق/۷۲۴۷ TS

۲۴۱۹۶۷۹

کتابخانه ملی

فناوری انجامد سریع و کاربرد آن در تولید مواد آمورف و نانوبلوری پژوهشکده توسعه تکنولوژی

مولفان: علی جزایری قره باغ، جواد ملا، مهسا اصفهانی، بهزاد بینش، مهدی کیانی،

سیما میرزایی، حمید ارونی حصاری، رضا بختیاری، سروش پرویزی

ناشر: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: ۱۳۹۰

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۰۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق برای پژوهشکده توسعه تکنولوژی محفوظ است

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۲۸-۴ ISBN: 978-964-6445-28-4

نشانی: تهران، شمال دانشگاه صنعتی شریف، خیابان شهید قاسمی، پلاک ۷۱، پژوهشکده توسعه تکنولوژی

تلفن: ۶۶۰۲۴۶۲۳

یکی از مباحث مطرح در علم مهندسی مواد موضوع فناوری انجماد سریع می‌باشد. این فناوری در تولید انبوه مواد فلزی پیشرفته برای طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی بکار گرفته شده که از آن جمله می‌توان به تولید هسته‌های آمورف و نانویلوری انواع ترانسفورماتورها اشاره نمود.

ظرف دهه گذشته موضوع فناوری انجماد سریع بعنوان جهت گیری اصلی تحقیقاتی در گروه پژوهشی متالورژی پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی قرار داشته و طی این مدت پروژه‌های متعددی در جهت دستیابی و بکارگیری و بومی سازی این فناوری در کشور در این پژوهشکده به انجام رسیده است. حاصل تلاش‌های مذکور ذخیره ارزشمندی از تجربیات و توانمندی‌ها را در جهاد پدید آورده است که چکیده‌ای از این تلاش‌ها در چارچوب کتاب حاضر به رشته تحریر درآمده و در معرض بهره‌مندی جامعه علمی و مهندسی کشور قرار می‌گیرد.

در انجام این مهم کارشناسان گروه پژوهشی متالورژی این پژوهشکده تلاش مجدانه‌ای را به عمل آوردند که در این میان لازم است از آقایان دکتر علی جزایری قره باغ، مهندس جواد ملا، مهندس بهزاد بینش، مهندس مهدی کیانی، مهندس حمید ارونی حصاری، مهندس رضا بختیاری و مهندس سروش پرویزی و خانم‌ها مهندس مهسا اصفهانی و مهندس سیما میرزایی تشکر و قدردانی شود.

امید است مجموعه مطالب این کتاب بتواند نقش موثری را در جهت ارتقا و اشاعه علم انجماد سریع در کشور ایفا نماید.

معاونت پژوهشی

پژوهشکده توسعه تکنولوژی

پیشگفتار مؤلف

انتشار اولین گزارش علمی در خصوص فناوری انجمادسریع و اثرات آن بر ریزساختار و خواص مواد فلزی در دهه ۱۹۶۰ میلادی و گشوده شدن فرصت‌های جدید جهت توسعه آلیاژهایی با خواص ویژه و منحصر به فرد، توجه و علاقمندی محققین مراکز علمی، دانشگاهی و صنعتی را به خود جلب کرد. حاصل این تلاش‌ها، عبور سریع از مرحله تحقیقاتی و تولید اولین محصول تجاری در دهه ۱۹۷۰ میلادی بود. در سال‌های اخیر، این فناوری در تولید انبوه مواد فلزی پیشرفته برای طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی به کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به تولید هسته‌های آمورف و نانوبلوری انواع ترانسفورماتورها اشاره کرد.

سردشدن سریع مذاب (10^{12} – 10^{13} °C/s) در فناوری انجمادسریع، به اتم‌های مذاب فرصت کافی جهت تشکیل ساختار بلوری بر اساس دیاگرام تعادلی را نداده و منجر به تغییرات ترکیبی و ریزساختاری در ماده می‌شود که از آن جمله می‌توان به افزایش حد حلالیت محلول جامد، یکنواختی ترکیب شیمیایی، کاهش میزان جدایش، ریزشدن دانه‌های بلوری، تشکیل فازهای بلوری و غیربلوری (آمورف) نیمه پایدار اشاره کرد. چنین دگرگونی در ساختار داخلی ماده باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و مغناطیسی ماده در مقایسه با خواص مواد فرآوری شده به روش‌های متداول تولید می‌شود.

هدف از تألیف کتاب حاضر، فراهم نمودن مروری نسبتاً جامع بر انواع فناوری‌های انجمادسریع به ویژه فرآیندهای مذاب‌ریسی با دیسک مبرد، ریخته‌ریسی نوارهای غریض و سیم‌ریسی در آب چرخان و نیز بررسی اثرات انجمادسریع بر ریزساختار فلزات و آشنایی با کاربردهای محصولات این فناوری بوده است تا در معرض توجه بیشتر مهندسين و محققين قرار گیرد. در نگارش مطالب کتاب از یافته‌های چندین طرح مطالعاتی و تحقیقاتی انجام گرفته طی ۱۰ سال اخیر در گروه پژوهشی متالورژی پژوهشکده توسعه تکنولوژی بهره گرفته شده است. محتوای فصول مختلف کتاب به گونه‌ای تدوین شده است که برای دانشجویان رشته مهندسی مواد و متالورژی در کلیه مقاطع تحصیلی، مهندسين در جهت آشنایی و انتخاب مواد نوین فلزی و محققين و اساتید گرامی در راستای طرح‌های تحقیقاتی در زمینه توسعه مواد و فرآیندها مورد استفاده قرار گیرد.

امید است کتاب حاضر بتواند در ارتقاء دانش فنی و بومی سازی کامل فناوری انجمادسریع مفید واقع شده و در آینده نزدیک شاهد بکارگیری محصولات این فناوری در صنایع کشور عزیزمان ایران باشیم.

در خاتمه، از همکاری شایسته اعضاء محترم گروه پژوهشی متالورژی پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی شریف که در گردآوری و تدوین فصول مختلف کتاب نویسنده را یاری داده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارد و همینطور از پرسنل محترم معاونت پژوهشی و آموزشی پژوهشکده به جهت همکاری در چاپ این کتاب تشکر ویژه می‌شود. از کلیه خوانندگان، صاحب‌نظران و اساتید گرامی در انعکاس نقطه نظرات خود به آدرس پست الکترونیکی ALI_AJG@YAHOO.CO.UK سپاسگزاری می‌گردد.

علی جزایری قره‌باغ

www.ketab.ir

فصل ۱: کلیات انجماد سریع

۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- تاریخچه	۳
۳-۱- سرد شدن مذاب و انجماد سریع	۶
۴-۱- تحت تبرید بخرانی و فوق تبرید در انجماد غیر تعادلی	۱۰
۵-۱- اثرات انجماد سریع در ساختار فلزات	۱۲
۱-۵-۱- تغییرات ریوساختاری	۱۳
۲-۵-۱- تغییرات ترکیبی	۱۹
۶-۱- فازهای غیر تعادلی ناشی از انجماد سریع	۲۱
۱-۶-۱- فاز بلوری نیمه پایدار حاضر در دیاگرام تعادلی	۲۲
۲-۶-۱- فاز بلوری نیمه پایدار غیر حاضر در دیاگرام تعادلی	۳۰
۳-۶-۱- فاز غیر بلوری نیمه پایدار غیر حاضر در دیاگرام تعادلی	۳۲
۷-۱- شیشه‌های فلزی (آمورف)	۳۵
۱-۷-۱- ترکیب شیمیایی مناسب برای تشکیل شیشه	۳۵
۲-۷-۱- تبلور و آرامش ساختاری	۳۹
۳-۷-۱- ساختار اتمی شیشه‌های فلزی	۴۰

فصل ۲: اصول و مفاهیم بنیادی انجماد سریع

۱-۲- مقدمه	۴۵
۲-۲- منحنی T_0 در انجماد سریع	۴۹
۳-۲- شرایط غیر تعادلی فصل مشترک جامد/مذاب	۵۲
۴-۲- انجماد سریع از دیدگاه ترمودینامیکی	۵۹
۵-۲- انجماد سریع از دیدگاه سینتیکی	۶۴
۶-۲- انتقال حرارت در انجماد سریع	۶۷
۱-۶-۲- شرایط سرد شدن نیوتنی و ایده‌آل	۷۱
۲-۶-۲- روابط انتقال حرارت در فرایند مذاب ریسی	۷۵

فصل ۳: فرایندهای انجماد سریع

۷۹.....	۱-۳-۱- مقدمه
۸۱.....	۳-۲-۲- روش های افشانشی
۸۳.....	۳-۲-۱- تمیزه کردن گازی
۸۸.....	۳-۲-۲- تمیزه کردن آبی
۹۲.....	۳-۲-۳- تمیزه کردن گازی فراصوتی
۹۳.....	۳-۲-۴- تمیزه کردن گریز از مرکز
۹۵.....	۳-۲-۵- تمیزه کردن با استفاده از الکتروود چرخان
۹۷.....	۳-۲-۶- تمیزه کردن چرخشی - لیزری
۹۹.....	۳-۲-۷- تمیزه کردن با استفاده از دیسک چرخان و پرتو الکترونی
۱۰۰.....	۳-۲-۸- تمیزه کردن با استفاده از محفظه استوانه ای چرخان
۱۰۲.....	۳-۲-۹- تمیزه کردن با استفاده از محفظه مشبک گردان
۱۰۳.....	۳-۲-۱۰- تمیزه کردن با حل کردن گاز در مذاب
۱۰۵.....	۳-۲-۱۱- تمیزه کردن الکتروود دینامیک
۱۰۷.....	۳-۲-۱۲- تمیزه کردن به روش فرسایش جرقه ای
۱۰۸.....	۳-۲-۱۳- تمیزه کردن به کمک غلتک های دوقلو
۱۰۹.....	۳-۲-۱۴- تمیزه کردن با الکتروود لرزان
۱۱۰.....	۳-۲-۱۵- روش تفنگی Duwez
۱۱۳.....	۳-۲-۱۶- سقوط آزاد قطرات در لوله
۱۱۵.....	۳-۲-۱۷- فرایند تولید پولک ALCOA
۱۱۵.....	۳-۲-۱۸- روش های رسوب دهی افشانشی
۱۱۸.....	۳-۲-۱۸-۱- افشانش و نورد
۱۲۰.....	۳-۲-۱۸-۲- افشانش و فورج
۱۲۱.....	۳-۲-۱۸-۳- رسوب دهی افشانشی گریز از مرکز
۱۲۲.....	۳-۲-۱۸-۴- رسوب دهی افشانشی به کمک پلاسما
۱۲۵.....	۳-۳- روش های تبریدی
۱۲۵.....	۳-۳-۱- روش قالب تبریدی
۱۲۶.....	۳-۳-۲- روش پیستون و سندان

۱۲۸	۳-۳-۳- روش غلتک های دو قلو
۱۳۰	۴-۳-۳- فرایند سیم ریزی حین سقوط آزاد
۱۳۲	۵-۳-۳- فرایند مذاب ریزی با دیسک مبرد
۱۳۴	۶-۳-۳- فرایند مذاب ریزی گریز از مرکز
۱۳۴	۷-۳-۳- فرایند ریخته ریزی نوارهای عریض
۱۳۶	۸-۳-۳- فرایند سیم ریزی در آب چرخان
۱۳۸	۹-۳-۳- تولید سیم به روش Taylor
۱۴۰	۱۰-۳-۳- فرایند لایه برداری از مذاب
۱۴۱	۱۱-۳-۳- روش کشش مذاب
۱۴۳	۱۲-۳-۳- روش سرریز مذاب
۱۴۵	۴-۳- روش های سطحی
۱۴۶	۱-۴-۳- روش سطحی لیزری
۱۵۰	۲-۴-۳- روش سطحی پرتوی الکترونی

فصل ۴: مذاب ریزی با دیسک مبرد

۱۵۳	۱-۴- تاریخچه
۱۵۶	۲-۴- معرفی فرایند مذاب ریزی با دیسک مبرد
۱۵۷	۳-۴- مکانیزم تشکیل نوار در فرایند مذاب ریزی
۱۶۰	۴-۴- ریزساختار نوارهای مذاب ریزی شده
۱۶۵	۵-۴- اجزاء اصلی مؤثر در فرایند مذاب ریزی
۱۶۵	۱-۵-۴- بوته و نازل
۱۶۷	۲-۵-۴- دیسک مبرد
۱۷۱	۳-۵-۴- اتمسفر محفظه
۱۷۳	۴-۵-۴- شکل روزنه نازل و فاصله کف نازل تا سطح مبرد
۱۷۳	۵-۵-۴- زاویه جریان مذاب با سطح دیسک
۱۷۵	۶-۴- پارامترهای اصلی فرایند مذاب ریزی
۱۷۵	۱-۶-۴- سرعت خطی دیسک
۱۷۵	۱-۱-۶-۴- تأثیر سرعت خطی دیسک بر ابعاد نوار

- ۱۷۹-۴-۶-۱-۲- تأثیر سرعت خطی دیسک بر سرعت سرد شدن.....
- ۱۸۲-۴-۶-۲- فشار تزریق مذاب.....
- ۱۸۳-۴-۶-۳- دمای مذاب.....
- ۱۸۵-۴-۶-۴- قطر سوراخ نازل.....
- ۱۸۷-۴-۷- تأثیر لایه گاز مرزی بر کیفیت لایه‌های نوار مذاب ریسی شده.....
- ۱۹۲-۴-۸- بهبود شرایط مذاب ریسی با استفاده از گاز مشایعت کننده مذاب.....
- ۱۹۴-۴-۹- مذاب ریسی نوارهای چندلایه.....

فصل ۵: ریخته ریسی نوارهای عریض

- ۱۹۹-۵-۱- معرفی فرایند ریخته ریسی.....
- ۲۰۳-۵-۲- مکانیزم تشکیل نوار در فرایند ریخته ریسی.....
- ۲۰۸-۵-۳- اجزای اصلی مؤثر در فرایند ریخته ریسی.....
- ۲۰۸-۵-۳-۱- طرح نازل.....
- ۲۱۴-۵-۳-۲- دیسک مبرد.....
- ۲۱۵-۵-۳-۳- اتمسفر محفظه.....
- ۲۱۶-۵-۴- پارامترهای اصلی در فرایند ریخته ریسی.....
- ۲۱۶-۵-۴-۱- فاصله بین نازل تا دیسک.....
- ۲۲۲-۵-۴-۲- فشار تزریق.....
- ۲۲۴-۵-۴-۳- سرعت خطی دیسک.....
- ۲۲۶-۵-۴-۴- عدد رینولدز.....
- ۲۲۷-۵-۴-۵- عدد استفان مذاب.....
- ۲۲۹-۵-۵- تأثیر پارامترهای فرایند بر ضخامت نوار.....
- ۲۳۳-۵-۶- محدوده پارامترها جهت پایداری فرایند.....
- ۲۳۵-۵-۷- کیفیت و الگوی سطحی نوارهای ریخته ریسی شده.....
- ۲۳۵-۵-۷-۱- یکنواختی ضخامت نوار در راستای عرض.....
- ۲۳۹-۵-۷-۲- الگوی سطحی نوارها.....
- ۲۴۳-۵-۷-۳- بهبود کیفیت سطوح نوار با اعمال گاز خنثی.....

فصل ۶: سیم ریزی در آب چرخان

۲۴۵	۱-۶- تاریخچه
۲۵۴	۲-۶- آشنایی با فرایند سیم ریزی در آب چرخان
۲۵۸	۳-۶- اجزاء اصلی موثر در فرایند سیم ریزی
۲۵۸	۱-۳-۶- طرح نازل
۲۶۱	۲-۳-۶- فاصله نازل با سطح سیال خنک کننده
۲۶۳	۳-۳-۶- زاویه تزریق جریان مذاب
۲۶۴	۴-۳-۶- سیال خنک کننده
۲۶۵	۴-۶- پارامترهای اصلی فرایند سیم ریزی در آب چرخان
۲۶۵	۱-۴-۶- سرعت جریان مذاب و ارتباط آن با سرعت سیال خنک کننده
۲۶۹	۲-۴-۶- قطر جریان مذاب
۲۷۱	۳-۴-۶- دمای مذاب
۲۷۳	۴-۴-۶- ترکیب شیمیایی آلیاژ
۲۷۷	۵-۶- پایداری جریان مذاب

فصل ۷: کاربردهای فناوری انجماد سریع

۲۸۱	۱-۷- مقدمه
۲۸۳	۲-۷- کاربردهای مغناطیسی
۲۸۴	۱-۲-۷- ارتباط خواص مغناطیسی و کاربردها
۲۹۱	۲-۲-۷- ترانسفورماتورها
۲۹۸	۳-۲-۷- حسگرها
۳۰۷	۴-۲-۷- هدهای مغناطیسی
۳۰۸	۵-۲-۷- الکتروموتورها
۳۱۰	۶-۲-۷- حفاظ ها و فیلترهای مغناطیسی
۳۱۳	۷-۲-۷- فنر مغناطیسی
۳۱۴	۳-۷- کاربردهای الکتریکی
۳۱۷	۴-۷- کاربردهای مکانیکی
۳۱۸	۱-۴-۷- مواد کامپوزیتی

- ۳۱۹..... مواد سازه ای با استحکام بالا..... ۲-۴-۷
- ۳۲۲..... مواد مقاوم به سایش..... ۳-۴-۷
- ۳۲۳..... کاربردهای لحیم کاری..... ۵-۷
- ۳۲۴..... مزایای مواد لحیم انجماد سریع یافته..... ۱-۵-۷
- ۳۲۶..... فویل های آمورف لحیم کاری سخت..... ۲-۵-۷
- ۳۳۰..... مواد لحیم کاری نرم انجماد سریع یافته..... ۳-۵-۷
- ۳۳۲..... کاربردهای شیمیایی..... ۶-۷
- ۳۳۲..... مصارف نیازمند مقاومت به خوردگی..... ۱-۶-۷
- ۳۳۵..... کاتالیزورها..... ۲-۶-۷
- ۳۳۶..... مخازن هیدروژن..... ۳-۶-۷
- ۳۳۷..... کاربردهای پزشکی..... ۷-۷
- ۳۳۷..... پوشش های آمورف/نانوبلوری ابزار جراحی..... ۱-۷-۷
- ۳۳۸..... حرارت دهی عدم های سرطانی..... ۲-۷-۷
- ۳۳۹..... انتقال سیگنال و توان از طریق وراپوستی..... ۳-۷-۷
- ۳۳۹..... حسگرهای پزشکی..... ۴-۷-۷
- ۳۴۱..... منابع و مراجع.....
- ۳۵۹..... واژه نامه انگلیسی به فارسی.....