

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

فرآوری فراصوتی مذاب فلزات و آلیاژها

www.ketab.ir

گردآوری و تدوین:

دکتر رضا تقی آبادی

دانشیار گروه مهندسی مواد و متالورژی- دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

سرشناسه	تقی آبادی، رضا، ۱۳۵۴ -
عنوان و نام پدیدآور	فراآوری فراصوتی مذاب فلزات و آلیاژها/گردآوری و تدوین رضا تقی آبادی.
مشخصات نشر	قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۳۱۳ص.
شابک	۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۹۶-۶
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	فلزها -- پالایش Metals -- Refining فلزهای مذاب Liquid metals آلیاژها Alloys امواج ماورای صوت -- کاربردهای صنعتی Ultrasonic waves -- Industrial applications
شناسه افزوده	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره). انتشارات
رده بندی کنگره	TN۶۷۲
رده بندی دیویی	۶۶۹
شماره کتابشناسی ملی	۸۷۸۴۶۱۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فیا

عنوان	فراآوری فراصوتی مذاب فلزات و آلیاژها
گردآوری و تدوین	رضا تقی آبادی
ناظر فنی	حمید کلهر
شابک	۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۹۶-۶
نوبت چاپ	اول ۱۴۰۰
قیمت	۸۰ هزار تومان
شمارگان	۵۰۰ جلد
ناشر	انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، تلفن ۰۲۸ - ۳۳۹۰۱۴۲۶

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.
مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحبان اثر است.

فهرست

۱	فصل اول: مقدمه و تاریخچه استفاده از امواج فراصوت در فرآوری مذاب فلزات
۷	مراجع
۹	فصل دوم: مبانی و تجهیزات مورد استفاده در فرآوری فراصوتی مذاب فلزات
۹	۱-۲- ابزار دقیق امواج فراصوت
۹	۱-۲-۱- مولد
۱۱	۱-۲-۲- مبدل
۱۴	۱-۲-۳- سونوترود
۱۸	۱-۲-۴- تقویت کننده
۱۹	۲-۲- طراحی سونوترود
۲۰	۳-۲- پدیده‌های ناشی از انتشار امواج فراصوت
۲۰	۱-۳-۲- جریان فراصوتی
۲۲	۲-۳-۲- کاویتاسیون
۲۴	مراجع
۲۷	فصل سوم: گاززدایی فراصوتی
۲۸	۱-۳- ورود امواج فراصوت به درون مذاب
۲۹	۲-۳- مبانی گاززدایی فراصوتی
۳۲	۱-۲-۳- کاویتاسیون و جوانه‌های گاززدایی
۴۲	۲-۲-۳- سازوکار گاززدایی فراصوتی مذاب
۵۴	۳-۲-۳- گاززدایی فراصوتی در یک حجم ساکن
۶۵	۴-۲-۳- گاززدایی فراصوتی در جریان مذاب (راهبار)
۷۴	مراجع

فصل چهارم: فیلتراسیون فراصوتی مذاب

۷۷

۱-۴- تاثیر آخال بر خواص آلیاژهای مهندسی ۷۷

۲-۴- اثر امواج فراصوت بر کشش سطحی و خیس شوندگی سطحی ۷۸

۳-۴- اثر سونوکیپلاری ۸۳

۴-۴- میانی فیلتراسیون ۸۷

۵-۴- سازوکار فیلتراسیون مذاب توسط امواج فراصوت ۹۳

۶-۴- فیلتراسیون توسط فیلترهای چند لایه غربالی (فرآیند یواس فیرالز) ۹۶

مراجع ۱۰۵

فصل پنجم: بهسازی فراصوتی مذاب فلزات و آلیاژها

۱۰۷

۱-۵- ریزدانه سازی فراصوتی ۱۰۷

۱-۱-۵- مکانیزم ریزدانه سازی فراصوتی ۱۰۸

۱-۱-۱-۵- فعال سازی زیر لایه ها ۱۱۳

۱-۱-۲-۵- از بین رفتن آلوده ها و پراکنده سازی ذرات ۱۲۴

۱-۱-۳-۵- ریز نمودن ترکیبات بین فلزی جوانه زا ۱۳۰

۱-۱-۴-۵- تکه تکه شدن دندریتها ۱۳۶

۱-۱-۵-۵- انجماد غیردندریتی ۱۳۸

۲-۱-۵- فراوری فراصوتی مذاب در قالب ۱۵۰

۳-۱-۵- فراوری فراصوتی در جریان مذاب ۱۵۲

۲-۵- کاهش ابعاد ذرات فاز اولیه ۱۵۵

۱-۲-۵- شکل گیری ذرات فاز اولیه طی انجماد ۱۵۵

۲-۲-۵- اثر امواج فراصوت بر انجماد ترکیبات بین فلزی ۱۵۶

۳-۲-۵- اثر امواج فراصوت بر انجماد آلیاژهای هایپریوتکتیک Al-Si ۱۷۰

مراجع ۱۸۱

فصل ششم: فراوری فراصوتی مذاب در فرآیندهای ریخته گری

۱۸۳

۱-۶- فراوری فراصوتی حین ریخته گری سرمایش مستقیم آلیاژهای سبک ۱۸۳

۲-۶- ریخته گری سرمایش مستقیم آلیاژهای آلومینیم ۱۸۵

۱-۲-۶- فراوری فراصوتی مذاب در چاهک بیلت ۱۸۵

۲-۲-۶- فراوری فراصوتی مذاب در راهبار ۱۹۸

۳-۶- ریخته گری سرمایش مستقیم آلیاژهای منیزیم ۲۰۱

- ۴-۶- تاثیر گاززدایی و فیلتراسیون فراصوتی بر ساختار و خواص محصولات کاربردی ۲۰۸
- ۴-۶-۱- گاززدایی فراصوتی ۲۰۸
- ۴-۶-۲- فیلتراسیون فراصوتی ۲۱۲
- ۴-۶-۵- فرآوری فراصوتی در ریخته‌گری تبرید مستقیم آلیاژهای کاربردی منیزیم ۲۱۳
- ۴-۶-۶- فرآوری فراصوتی مذاب در شکل‌ریزی آلیاژهای سبک ۲۱۹
- ۴-۶-۶-۱- راهبردهای فنی برای شکل‌ریزی با فرآیند فراصوتی ۲۱۹
- ۴-۶-۶-۲- تاثیر فرآوری فراصوتی بر انجماد در قالب ۲۲۳
- ۴-۶-۶-۳- اثر فرآوری فراصوتی بر ساختار و ویژگی‌های قطعات ریختگی ۲۲۸
- مراجع ۲۳۲

فصل هفتم: فرآوری فراصوتی کامپوزیت‌ها و آلیاژهای غیر قابل امتزاج ۲۳۵

- ۷-۱- واردسازی ذرات و الیاف غیر فلزی به فلزات مذاب با کمک امواج فراصوت ۲۳۵
- ۷-۲- خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تولید شده با استفاده از فرآیند فرآوری فراصوتی ۲۵۰
- ۷-۳- فرآوری فراصوتی آلیاژهای غیر قابل امتزاج و امولسیون‌های فلزی ۲۵۴
- مراجع ۲۶۰

فصل هشتم: تاثیر امواج فراصوت بر فرآیندهای انجماد سریع ۲۶۳

- ۸-۱- طرح‌های بنیادین فرآوری فراصوتی برای انجماد سریع ۲۶۴
- ۸-۲- شکل‌گیری ساختار غیردندریتی در انجماد سریع ۲۶۷
- ۸-۳- خواص مکانیکی محصولات کاربردی تولیدی از گرانوله‌های غیردندریتی ۲۶۹
- مراجع ۲۷۱

فصل نهم: تاثیر امواج فراصوت بر تصفیه منطقه‌ای مذاب فلزات ۲۷۳

- ۹-۱- مبانی تصفیه منطقه‌ای ۲۷۳
- ۹-۲- تصفیه منطقه‌ای فراصوتی آلومینیم ۲۷۷
- ۹-۳- مکانیزم‌های تاثیرگذار بر تصفیه منطقه‌ای ۲۸۴
- ۹-۴- ساختار و خواص آلومینیم تصفیه شده به صورت فراصوتی پس از تغییر شکل پلاستیک ۲۸۶
- مراجع ۲۹۱

فصل دهم: کاربرد امواج فراصوت در بهسازی ساختاری فلز جوش

۲۹۳

۱۰-۱- تاثیر ارتعاشات فراصوت بر ریزساختار خواص جوش

۲۹۷

مراجع

۳۰۴

www.ketab.ir

خواص آلیاژهای مهندسی، حتی در آلیاژهای کارپذیر که ساختار آلیاژ در اثر فرآوری مکانیکی/ترمو مکانیکی دستخوش تغییر می‌شود، تا حد بسیار زیادی متأثر از ساختار متالورژیکی است که طی فرآیند ذوب و ریخته‌گری به دست می‌آید. بنابراین، طی سالیان اخیر تلاش‌های بسیار گسترده‌ای در راستای اصلاح و بهبود ساختار آلیاژها طی فرآیند ریخته‌گری و انجماد صورت پذیرفته است. از جمله مهم‌ترین اقدامات انجام شده در این راستا می‌توان به بهسازی شیمیایی مذاب (مثلاً افزودن مواد جوانه‌زا و بهساز)، بهسازی حرارتی (اعمال سیکل‌های حرارتی خاص مانند "فوق ذوب" به مذاب)، بهسازی مکانیکی (مانند اعمال تنش‌های برشی به مذاب، فرآوری مذاب توسط ارتعاشات مکانیکی و فرآوری مذاب در حالت نیمه جامد) اشاره نمود.

فرآوری فراصوتی، از طریق ایجاد کاویتاسیون و جریان‌های صوتی در مذاب، یکی از فرآیندهای تمیز و موثر مورد استفاده برای فرآوری مذاب فلزات است. این فرآیند توانایی انجام هم‌زمان جوانه‌زایی، بهسازی، گاززدایی، آخال‌زدایی و تصفیه آلیاژهای مهندسی و کاهش ابعاد و بهبود توزیع ذرات فاز دوم در ساختار آلیاژها و کامپوزیت‌های مهندسی را دارد. فرآوری فراصوتی نخستین بار در سال ۱۸۷۸ برای بهبود کیفیت مذاب فلزات استفاده شد و در سال ۱۹۵۹ نخستین بار در مقیاس صنعتی برای گاززدایی مذاب مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان تاکنون، اصلاحات اساسی روی فرآیند صورت پذیرفته و ضمن افزایش بهره‌وری و دامنه کاربرد، هزینه‌های آن به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

علی‌رغم توسعه صنعتی فرآیند فرآوری فراصوتی در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، استفاده از آن در صنایع داخلی مرتبط با فرآوری مذاب فلزات، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علت این امر، احتمالاً عدم شناخت و تسلط کافی روی فرآیند و نیاز به سرمایه‌گذاری نسبتاً قابل توجه به ویژه در فرآیندهای دما بالا است. با این حال، با توجه به قابلیت‌های ویژه فرآیند، پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک شاهد توسعه و گسترش استفاده از آن در صنایع ریخته‌گری داخل کشور باشیم. بر این اساس، به منظور افزایش سطح آگاهی و ارتقاء علمی دانشجویان، محققین و صنعتگران محترم، سعی شده است مرجعی مکتوب در زمینه «فناوری امواج فراصوت و کاربرد این امواج در فرآوری مذاب فلزات و آلیاژهای مهندسی» تدوین شود. تدوین کتاب حاضر با استفاده از اطلاعات گردآوری شده از آخرین کتاب‌ها، هندبوک‌ها، گزارش‌های علمی، مقالات و آخرین تحقیقات علمی مرتبط و بهره‌گیری از تجربیات صنعتی و دانشگاهی نویسنده صورت پذیرفته و کوشش شده است که متنی روان با کمترین میزان ایرادات نگارشی ارائه شود. با این حال، این اثر نیز به مانند هر نگاشته‌ی دیگر، خالی از

اشکال نبوده و از صاحب نظران و اساتید گرانقدر درخواست می شود نظرات و پیشنهادهای ارزشمند و سازنده خود در مورد این کتاب را از طریق پست الکترونیکی taghiabadi@ikiu.ac.ir منعکس نمایند تا در چاپ های بعدی مد نظر قرار گیرد. امید است که مطالب ارائه شده برای خوانندگان محترم سودمند باشد.

در پایان، از جناب آقای دکتر زارعی مدیر محترم مرکز چاپ و نشر دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) و جناب آقای کلهر مدیر مسئول محترم این مرکز که امکان چاپ کتاب را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از سرکار خانم مهندس چادرباف زاده که ویراستاری کتاب را متقبل شده اند، نیز تشکر و سپاسگزاری می نمایم.

دکتر رضا تقی آبادی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

دانشکده فنی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

www.ketab.ir