

# بازیافت در متالورژی

جلد دوم: بازیافت باطله‌ها و محصولات جانبی جلد

تألیف:

دکتر فرشته رشیدی

دکتر سعید شیبانی

مهندس بهزاد غفاری‌زاده

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران

۱۳۹۱

سرشناسه	رشچی، فرشته، ۱۳۴۳ - گردآورنده، مترجم
عنوان و نام پدیدآور	بازیافت در متالورژی / ترجمه و گردآوری فرشته رشچی، سعید شیبانی، بهزاد غفاری زاده.
مشخصات نشر	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد تهران، ۱۳۸۸ -
مشخصات ظاهری	ج: مصور، جدول.
شابک	ج: ۸-001-133-600-978؛ ج: ۴-۰۷۰-۱۳۳-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	فایا
یادداشت	ع. ص. ب. انگلیسی: F.Rashchi, S.Sherbani, B.Ghafari-zadeh. Recycling in metallurgy ...
یادداشت	ج: ۲ (چاپ اول: ۱۳۹۲).
یادداشت	ج: ۱ (چاپ دوم: ۱۴۰۰).
یادداشت	واژه نامه.
مندرجات	ج: ۱. بازیافت فلزات از قراضه. - ج: ۲. بازیافت باطله ها و محصولات جانبی جامد
موضوع	فلزها - بازیافت
شناسه افزوده	شیبانی، سعید، ۱۳۵۹ - گردآورنده، مترجم
شناسه افزوده	غفاری زاده، بهزاد، ۱۳۶۲ - گردآورنده، مترجم
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی، واحد تهران
رده بندی کنگره	TS: ۲۱۳/۲ هب ۱۳۸۸
رده بندی دیویی	۶۷۱
شماره کتابشناسی ملی	۱۹۱۶۸۰۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فایا



سازمان تهران  
انتشارات

www.ketab.ir

نام کتاب: بازیافت در متالورژی جلد دوم: بازیافت باطله ها و محصولات جانبی جامد
مولفان: فرشته رشچی، سعید شیبانی، بهزاد غفاری زاده
ناشر: انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران
چاپ و صحافی: رامین
نوبت چاپ: دوم - بهار ۱۴۰۲
شمارگان: ۱۰۰ نسخه
قیمت: ۱۷۰۰۰۰ تومان
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۰۷۰-۴
ISBN: 978-600-133-070-4
نشانی: تهران - صندوق پستی ۱۸۶ - ۱۳۱۴۵
www.jtcs.ir
تلفن: ۶۶۹۵۴۳۶۸ تلفکس: ۶۶۴۶۴۹۴۱
nashr.jutt@gmail.com
مراکز پخش: خانه کتاب دانشگاه: ۶۱۱۱۲۸۵۰ - ۶۶۹۷۳۴۲۳ فروشگاه اینترنتی: 16book.ir

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مولف یا ناشر تکثیر و کپی برداری کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

## مقدمه ناشر

ایران امروز در اشتیاق توسعه و استقلال، گام‌های محکم و استواری برمی‌دارد. همه روزه در گوشه و کنار میهن ما جوانه‌های خودکفایی علمی و فنی نمایان می‌شوند و با عنایت و یاری خداوند متعال و در سایه تلاش و کوشش جامعه علمی و دانشگاهی حرکت به سوی مرزهای دانش شتاب بیشتری به خود می‌گیرد. خدا را شکر می‌گوییم که این فرصت را به ما ارزانی کرد تا گام‌هایی هرچند کوچک در راه رشد و نشر دستاوردهای علمی و فرهنگی کشور برداریم، باشد تا با یاری خداوند منان و در پرتو همت اندیشمندان، نویسندگان، مترجمان و متخصصان مؤمن و متعهد بتوانیم در اعتلای علمی کشور عزیزمان ایران سهمی داشته باشیم.

انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران در راستای وظایف خویش و به منظور رسیدن به اهداف علمی-فرهنگی نظام جمهوری اسلامی ایران اقدام به انتشار آثار ارزشمند و مورد نیاز علمی و دانشگاهی می‌کند. در این راه از کلیه اساتید، پژوهشگران، صاحبان قلم و اندیشه دعوت به مشارکت و همکاری می‌شود.

## پیش‌گفتار

بازیافت در متالورژی از مباحث نوینی است که امروزه شاهد تحولات و گسترش بسیاری بوده است. پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده و بسیاری از آنها در مقیاس نیمه‌صنعتی و صنعتی به اجرا درآمده‌اند. پیشرفت‌های شگرف در این شاخه از یک سو مرهون فشارهایی است که از سوی سازمان‌های محیط زیست بر صنایع متالورژی وارد می‌شود و از سوی دیگر مرهون شناخت هر چه بیشتر ارزش اقتصادی فلزات موجود در باطله‌های این صنعت است. باطله‌هایی مانند سرباره، غبارات، پسماند، لجن و پساب حاصل از فرآیندهای متالورژیکی و کانه‌آرایی از دو دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی قابل بررسی هستند.

نیود منبع مناسب به زبان فارسی در خصوص بازیافت عناصر و فلزات ارزشمند از قراضه‌ها و باطله‌های صنایع متالورژی، مؤلفین را برآن داشت تا به تالیف مجموعه کتاب‌های بازیافت در متالورژی اهتمام ورزند. جلد اول به بازیافت فلزات از قراضه‌ها اختصاص یافت. اینک در جلد دوم به بازیافت فلزات از باطله‌ها و محصولات جانبی مانند سرباره، گرد و غبار، نرمه خاکستر و تفاله پرداخته می‌شود.

کتاب حاضر شامل شش فصل است. در فصل اول مقدمه‌ای بر بازیافت از باطله‌ها و محصولات جانبی صنایع متالورژی ارائه شده است. در فصل‌های دوم تا پنجم به ترتیب بازیافت سرباره، گرد و غبار، نرمه خاکستر و تفاله آمده است. در فصل ششم به بازیافت سایر باطله‌های جامد که در حقیقت محصولات جانبی فرآیندهای متالورژی هستند پرداخته می‌شود. شایان ذکر است که سایر محصولات جانبی تنها به موارد اشاره شده در این فصل محدود نشده بلکه گستره بسیار وسیعی را شامل می‌شود. با این وجود مواردی که به دلایل گوناگون مانند حجم تولید،

ارزش بازیافت، اثرات زیست‌محیطی و غیره بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. مورد مطالعه قرار گرفته است.

شایان ذکر است که روش‌های بازیافت فلزات، به طور عمده بر مبنای فرآیندهای پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی استوار هستند و از این رو جهت درک بهتر روش‌های بازیافت، خوانندگان گرامی بایستی با فرآیندهای مذکور آشنایی اولیه داشته باشند. از آنجایی که مفاهیم اصلی این فرآیندها در دروس دوره کارشناسی رشته مهندسی متالورژی و مواد گنجانده شده‌اند، کلیه اساتید، دانشجویان و متخصصین در این رشته قادر به درک مباحث مطرح شده در این کتاب هستند. امیدواریم این اثر گامی مفید در شناخت بازیافت در زمینه متالورژی در ایران باشد و علاوه بر استفاده متخصصین دانشگاهی از مجموعه مطالب این کتاب، کارشناسان فعال در صنعت نیز از اطلاعات آن بهره‌مند گردند.

در پایان، از کلیه خوانندگان این کتاب تقاضا می‌شود در جهت رفع اشکالات و کاستی‌ها و بهبود مطالب آن، نویسندگان را از پیشنهادهای سازنده خود آگاه نمایند.

دکتر فرشته رشچی، دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران.

دکتر سعید شیبانی، دانش آموخته دکتری دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران.

مهندس بهزاد غفاری‌زاده، دانشجوی دکتری.

بهار ۱۳۹۲

## فهرست مطالب

۷	مقدمه ناشر .....
۹	پیش‌گفتار .....
۱۷	فصل اول: مقدمه .....
۲۵	فصل دوم: بازیافت سرباره .....
۲۷	۱-۲- مقدمه .....
۲۸	۲-۲- انواع سرباره .....
۲۸	۱-۲-۲- سرباره‌های آهنی .....
۲۹	۱-۱-۲-۲- سرباره کوره بلند .....
۳۱	۲-۱-۲-۲- سرباره فولادسازی .....
۳۲	۲-۲-۲- سرباره‌های غیر آهنی .....
۳۳	۳-۲-۲- سرباره‌های غیر فلزی .....
۳۴	۳-۲- بازیابی فلزات از سرباره‌ها .....
۳۴	۱-۳-۲- بازیابی آهن و کنسانتره آهن از سرباره‌های آهن و فولاد .....
۳۵	۲-۳-۲- بازیابی وانادیم از سرباره فولادسازی .....
۳۸	۳-۳-۲- بازیابی منگنز از سرباره فولادسازی .....
۳۸	۴-۳-۲- بازیابی منگنز و نیوبیم از سرباره فولادسازی .....
۳۹	۵-۳-۲- بازیابی کروم از سرباره تولید کروم .....
۴۰	۶-۳-۲- بازیابی کبالت و مس از سرباره تولید مس .....
۴۰	۷-۳-۲- بازیابی فلزات سنگین از سرباره تولید روی .....
۴۱	۸-۳-۲- بازیابی فلزات از سرباره مس و برنج .....
۴۳	۹-۳-۲- بازیابی نیوبیم و تانتالم از سرباره تولید قلع .....

- ۴۲-۴- فرآوری و کاربرد مجدد سرباره‌ها در فرآیندهای متالورژی ..... ۴۳
- ۴۳-۱-۴-۲- استفاده از سرباره کوره بلند به عنوان کانه آهن ..... ۴۳
- ۴۴-۲-۴-۲- استفاده از سرباره فولادسازی در تولید کلوخه ..... ۴۴
- ۴۴-۳-۴-۲- استفاده مجدد از سرباره فولادسازی در فولادسازی ..... ۴۴
- ۴۵-۴-۴-۲- استفاده از سرباره نیکل و مس در فولادسازی کربنی ..... ۴۵
- ۴۵-۵- فرآوری و کاربرد سرباره‌ها در صنایع مختلف ..... ۴۵
- ۴۸-۱-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در صنایع تولید سیمان ..... ۴۸
- ۴۸-۱-۵-۲- سرباره فولادسازی ..... ۴۸
- ۵۱-۲-۱-۵-۲- سرباره کوره بلند ..... ۵۱
- ۵۳-۲-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در صنایع راه‌سازی ..... ۵۳
- ۵۳-۱-۲-۵-۲- سرباره فولادسازی ..... ۵۳
- ۵۶-۲-۲-۵-۲- سرباره نیکل ..... ۵۶
- ۵۶-۳-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در صنایع مختلف ..... ۵۶
- ۵۷-۴-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در اصلاح خاک ..... ۵۷
- ۵۸-۵-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در خشتی‌سازی اسپند ..... ۵۸
- ۵۸-۶-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در تولید الیاف و آجرهای نفوذناپذیر ..... ۵۸
- ۵۹-۷-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها به عنوان جاذب نیکل ..... ۵۹
- ۶۰-۸-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در تولید آجرهای متخلخل ..... ۶۰
- ۶۰-۹-۵-۲- کاربرد سرباره‌ها در پوشش زباله‌های دفن شده ..... ۶۰
- فصل سوم: بازیافت گرد و غبار ..... ۶۳**
- ۶۵-۱-۳- مقدمه ..... ۶۵
- ۶۷-۲-۳- غبار کوره قوس الکتریکی ..... ۶۷
- ۶۸-۱-۲-۳- فرآیندهای پیرومتالورژی ..... ۶۸
- ۶۹-۱-۱-۲-۳- کیلن ولز ..... ۶۹
- ۷۱-۲-۱-۲-۳- سایر کیلن‌های گردان ..... ۷۱
- ۷۲-۳-۱-۲-۳- فرآیند انوایروپلاس ..... ۷۲
- ۷۳-۴-۱-۲-۳- فرآیند ذوب امپریال ..... ۷۳
- ۷۴-۵-۱-۲-۳- فرآیند کنتوپ ..... ۷۴

- ۷۶..... فرآیند اینمتکو ۶-۱-۲-۳
- ۷۷..... فرآیند کلونخه‌سازی و بازگیری در کوره بلند ۷-۱-۲-۳
- ۷۷..... احیای مستقیم غبارات برای تولید فولاد ۸-۱-۲-۳
- ۷۸..... فرآیند پریموس ۹-۱-۲-۳
- ۷۹..... کوره قوس جریان مستقیم ۱۰-۱-۲-۳
- ۸۰..... فرآیند برزیلوس - دویس برگ ۱۱-۱-۲-۳
- ۸۰..... فرآیند پلاسمای تترونیک آی ام اس ۱۲-۱-۲-۳
- ۸۰..... افزایش عیار غبارات با تزریق در آهن و فولاد ۱۳-۱-۲-۳
- ۸۱..... فرآیند کلریناسیون غبارات ۱۴-۱-۲-۳
- ۸۲..... سایر فرآیندهای هیدرومتالورژی ۱۵-۱-۲-۳
- ۸۲..... فرآیندهای هیدرومتالورژی ۲-۲-۳
- ۸۳..... فرآیند ای‌زینکس ۱-۲-۲-۳
- ۸۳..... فرآیند اصلاح شده زینکس ۲-۲-۲-۳
- ۸۶..... فرآیند کاشمان ۳-۲-۲-۳
- ۸۶..... فرآیند انحلال قلبایی ۴-۲-۲-۳
- ۸۸..... فرآیند انحلال با اسید سولفوریک ۵-۲-۲-۳
- ۸۹..... فرآیند یو بی سی - چاپارل ۶-۲-۲-۳
- ۹۱..... فرآیند انحلال با اسید استیک هج ۷-۲-۲-۳
- ۹۲..... فرآیند انحلال با اسید ورساتیک ۸-۲-۲-۳
- ۹۲..... فرآیند انحلال کلریدی ۹-۲-۲-۳
- ۹۲..... فرآیند انحلال کلریدی - سولفاتی ۱۰-۲-۲-۳
- ۹۳..... فرآیند انحلال با کمک مایکروویو ۱۱-۲-۲-۳
- ۹۳..... فرآیند انحلال با کلرید آمونیم ۱۲-۲-۲-۳
- ۹۵..... فرآیند انحلال با آمونیاک - کربنات آمونیم ۱۳-۲-۲-۳
- ۹۶..... فرآیند ایتکت ۱۴-۲-۲-۳
- ۹۷..... مقایسه انحلال‌پذیری غبارات EAF در محیط‌های مختلف ۱۵-۲-۲-۳
- ۹۹..... فرآیند ترکیبی پیرو و هیدرومتالورژی ۳-۲-۳
- ۹۹..... غبار کوره بلند ۳-۲-۳

- ۱۳۴..... ۵-۲-۴- فرآوری تفاله داغ بدون کیک نمکی
- ۱۳۵..... ۵-۲-۵- فرآوری تفاله به سونفات آلومینیم
- ۱۳۶..... ۵-۲-۶- فرآوری تفاله به روش فلوناسیون
- ۱۳۶..... ۵-۲-۷- کاربرد های بالقوه تفاله آلومینیم
- ۱۳۸..... ۵-۳- فرآوری تفاله لحیم روی
- ۱۴۰..... ۵-۴- فرآوری تفاله سرب
- ۱۴۱..... فصل ششم: بازیافت سایر باطله های جامد
- ۱۴۳..... ۶-۱- مقدمه
- ۱۴۳..... ۶-۲- کیک حاصل از فرآیند تولید روی
- ۱۴۵..... ۶-۲-۱- بازیابی روی
- ۱۴۵..... ۶-۲-۲- بازیابی سرب
- ۱۴۶..... ۶-۲-۳- بازیابی طلا و قلع
- ۱۴۸..... ۶-۳- باطله فلوناسیون حاصل از فرآیند تولید روی و سرب
- ۱۴۹..... ۶-۴- باطله حاصل از فرآیند تصفیه روی
- ۱۴۹..... ۶-۵- باطله حاصل از فرآیند تولید بریلیم
- ۱۵۲..... ۶-۶- باطله سولفیدی
- ۱۵۳..... ۶-۷- باطله ژاروسیت
- ۱۵۳..... ۶-۷-۱- بازیابی شیشه و سرامیک
- ۱۵۴..... ۶-۷-۲- بازیابی مواد ساختمانی
- ۱۵۵..... ۶-۸- باطله سیلیکاتی
- ۱۵۶..... ۶-۹- باطله حاصل از کانه آرایی آهن
- ۱۵۶..... ۶-۱۰- فرآیند باطله صفر
- ۱۵۷..... ۶-۱۰-۱- فرآیند تولید فولاد
- ۱۵۹..... ۶-۱۰-۲- واحد ذوب مس