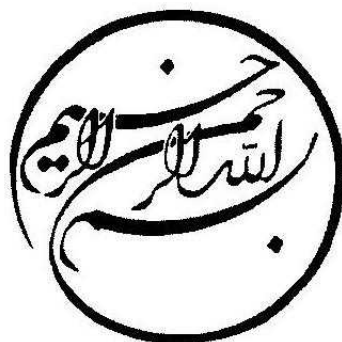




ساختار و خواص آلیاژهای آنتروپی بالا

وی.ای. گروموف

اس.وی. کنووالف

یو.اف. ایوانف

کی.ای. اسینتسف

مترجمین:

پدرام وردی (دکترای مهندسی مواد)

علی قاهری (کارشناس ارشد مهندسی مواد)



مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

واحد صنعتی اصفهان

عنوان و نام پدیدآور : ساختار و خواص آلیاژهای آنتروپی بالا/ وی.ای. گروموف ... [و دیگران]؛ مترجمین پدram وردی، علی قاهری
مشخصات نشر : اصفهان، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۱۷۰ ص، مصور، جدول، نمونه، نمودار.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۶۱-۸۷-۸

وضعیت فهرست نویسی : فیا
یادداشت : عنوان اصلی: Structure and properties of high- entropy alloys, 2021.
یادداشت : نویسندگان وی.ای. گروموف، اس.وی. کنووالف، یو.اف. ایوانوف، کی.ای. اسپیتسيف
یادداشت : کتابنامه
موضوع : آلیاژها
موضوع : Alloys

موضوع : مصالح ساختمانی
موضوع : Building materials
شناسه افزوده : گراموف، ویکتور یوگنیویچ
شناسه افزوده : Gromov, V. E. (Viktore Evgenovich)

شناسه افزوده : وردی، پدram، ۱۳۵۹ - مترجم
شناسه افزوده : قاهری، علی، ۱۳۵۹ - مترجم
شناسه افزوده : جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان
رده بندی کنگره : ۴۸۳

رده بندی دیویی : ۶۲۰/۱۶

شماره کتابشناسی ملی : ۸۶۹۵۱۲۱

نام کتاب : ساختار و خواص آلیاژهای آنتروپی بالا
تألیف : وی.ای. گروموف، اس.وی. کنووالف، یو.اف. ایوانوف، کی.ای. اسپیتسيف
ترجمه : پدram وردی - علی قاهری
ناشر : جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات

نوبت چاپ : اول
تاریخ نشر : ۱۴۰۰
شمارگان : ۵۰۰ جلد
تعداد صفحات : ۱۷۰ ص.
چاپ : کوش
صحافی : کوش
قیمت : ۵۵۰۰۰۰ ریال

«تغییر قیمت کتاب بدون اجازه کتبی ناشر، مجاز نمی باشد.»

☆ صحت مطالب کتاب به عهده مؤلف بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد.

☆ حق چاپ برای ناشر محفوظ است، تکثیر این کتاب یا بخشی از آن به هر شکل، شرعاً و قانوناً ممنوع بوده و دارای پیگرد قانونی است.

☆ نشانی ناشر : اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان - جهاد دانشگاهی - مرکز انتشارات : ۰۳۱-۳۳۹۱۲۷۱۱

فروشگاه : ۰۳۱-۳۳۹۱۲۷۱۱
دورنگار : ۰۳۱-۳۳۹۱۲۵۴۱

نشانی الکترونیکی : sec.iut@acecr.ac.ir درگاه : www.jdiut.ac.ir درگاه : www.isba.ir

مراکز پخش:

۱- مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی (اصفهان) - دانشگاه صنعتی اصفهان - تلفن: ۰۳۱-۳۳۹۱۲۷۱۱

۲- نمایشگاه کتاب جهاد دانشگاهی (تهران) - خیابان انقلاب اسلامی - بین خیابان فلسطین و چهارراه ولی عصر (عج) - جنب مؤسسه‌ی نمایشگاههای

فرهنگی ایران تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۷۶۲۶

۳- علم‌گستر سپاهان (اصفهان) - خیابان سیدعلیخان - حدفاصل کوچه محمدآباد و خیابان پاسداران (باغ گلسته) پلاک ۱۰۸ تلفن: ۰۳۱-۳۳۲۰۰۳۸۳

۴- کتابیران (تهران) - خیابان لبافی‌نژاد - بین خیابان فروردین و اردبیهست - پلاک ۳۳۸ تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۹۴۴۰۹ ۰۲۱-۶۶۴۱۴۴۷۴

راه ارتباطی خرید کتاب از سراسر کشور : ۰۳۱۳۳۹۱۲۷۱۱ - www.shop.isba.ir

سخن ناشر

به شکرانه‌ی تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه کره‌ی خاکی، خرسندیم؛ در دورانی به‌سرمی‌بریم که اندیشه اصلاح نه تنها عبث نیست؛ بلکه پیمودن راه‌های کمال و رشد در همه‌ی ابعاد انسانی هموارتر و شدنی‌تر می‌نماید. بر این اساس وظیفه آنان که در این دوره و در این سرزمین مقدس زندگی می‌کنند بس سنگین و دشوار است، به‌ویژه "دانشگاه و دانشگاهیان" در کنار "حوزه‌های مقدس علمی" که جایگاهی حساس و تعیین‌کننده در روند حرکت اجتماع به سمت آرمان‌های اسلام و انقلاب دارند.

تلاش بی‌گیر و همه‌جانبه برای بریدن بندهای وابستگی، جهاد مقدسی است که باید از دانشگاه و حوزه آغاز گردد و نشر کتب علمی، کوششی است از سوی ما، در همین راستا و این کوشش زمانی پربارتر و اثربخش‌تر خواهد بود که اساتید، دانشگاهیان و اندیشمندان متعهد انتقادات و پیشنهادهای سازنده‌ی خود را با ما به اشتراک بگذارند.

اینک که چاپ اول این کتاب تقدیم دانشگاهیان ارجمند و مشتاق علم می‌گردد؛ جا دارد از تمامی عزیزانی که در آماده‌سازی و تدوین آن تلاش نموده‌اند تشکر و قدردانی به‌عمل آید.

مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی
واحد صنعتی اصفهان

۷	مقدمه
۱۳	پیشگفتار مترجمین
	فصل اول: روش‌های ساخت آلیاژهای آنتروپی بالا
۱۶	۱-۱- تولید پودر آلیاژهای آنتروپی بالا
۲۲	۱-۲- روش‌های متالورژی پودر در تولید آلیاژهای آنتروپی بالا
۲۵	۱-۳- پرس داغ
۳۳	۱-۴- تکنولوژی‌های ریختگری تولید آلیاژهای آنتروپی بالا
۳۹	۱-۵- تکنولوژی‌های رسوب پوشش‌های آلیاژهای آنتروپی بالا
۴۵	۱-۶- تکنولوژی‌های ساخت افزایشی آلیاژهای آنتروپی بالا
۵۴	۱-۷- نتیجه‌گیری
۵۴	منابع
	فصل دوم: خواص مکانیکی و مکانیزم‌های تغییر شکل آلیاژهای آنتروپی بالا
۵۹	منابع
	فصل سوم: پایداری آلیاژهای آنتروپی بالا
۹۹	منابع
	فصل چهارم: چشم انداز کاربرد آلیاژهای آنتروپی بالا
۱۰۷	۴-۱- نتیجه‌گیری
۱۱۱	منابع
	فصل پنجم: پیش‌بینی ترکیب فازی برای سیستم آلیاژ آنتروپی بالای Al-Co-Cr-Fe-Ni
۱۱۵	۵-۱- محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی و مقایسه آنها با معیارهای شناخته‌شده تشکیل فاز
	۵-۲- برنامه محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی و پیش‌بینی ترکیب فازی آلیاژهای آنتروپی بالای
۱۲۳	پنج‌جزئی
	۵-۳- تعیین ترکیب شیمیایی یک سیم افشان بر طبق ترکیب نهایی شیمیایی مورد نیاز از آلیاژ آنتروپی
۱۲۶	بالای ساخته شده به روش ساخت افزایشی قوس-سیم

یکی از وظایف اساسی و عملی فیزیک حالت جامد و علم مواد، توسعه دانش فیزیکی و ایجاد مواد متالورژیکی جدید با داشتن خواص فیزیکی-شیمیایی پیچیده مورد نیاز و معرفی تکنولوژی تولید آنها می باشد. همانطور که می دانیم، اساساً خواص مکانیکی مواد بستگی به ترکیب شیمیایی و خصوصیات ساختاری آنها نظیر نوع، اندازه دانه، شکل مرزهای دانه، کمیت، توزیع اندازه ای و حجم فازها و دانسته و نوع زیرساختار نابجایی دارد.

در آغاز قرن بیست و یکم، مقالاتی پیرامون تولید آلیاژهای چندفلزی با نام آنترویی بالا که حاوی پنج یا بیشتر عنصر اصلی هستند به چاپ رسید.

در مقالات تونگ^۱ (۲۰۰۵)، چن^۲ (۲۰۰۶)، لی^۳ و ژانگ^۴ (۲۰۰۹)، تی سائی^۵ (۲۰۱۰)، بریک^۶ (۲۰۱۰)، هوآنگ^۷ و یه^۸ (۲۰۰۹)، هو^۹ (۲۰۱۰)، لین^{۱۰} (۲۰۱۰)، دالیک^{۱۱} (۲۰۱۰)، ژانگ^{۱۲} (۲۰۱۰)، سینگ^{۱۳} (۲۰۱۱)، چن^{۱۴} (۲۰۰۵)، چوآنگ^{۱۵} (۲۰۱۱)، لین و تی سائی (۲۰۱۱)، لیو^{۱۶} (۲۰۱۲)، مانزونی^{۱۷} (۲۰۱۳)، لی (۲۰۱۳)، کیم^{۱۸} (۲۰۱۳)، تاریک^{۱۹} (۲۰۱۳)، داوود^{۲۰} (۲۰۱۳)، پرادپ^{۲۱} (۲۰۱۳)، مانزونی (۲۰۱۳)، سو^{۲۲} (۲۰۰۵)، چن^{۲۳} (۲۰۰۶)، یه (۲۰۰۷)، سو (۲۰۰۷)، وانگ^{۲۴} (۲۰۰۷)، تونگ^{۲۵} (۲۰۰۷) و وانگ (۲۰۰۸) که در بین سال های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ منتشر شد، نتایج مطالعات پیرامون روش های ساخت آلیاژهای آنترویی بالا (HEA) با ترکیبات شیمیایی، ریزساختار و خواص مختلف ارائه شده است. به این لیست بایستی مقالات تی سائی (۲۰۱۰)،

¹ Tong

² Chen

³ Li

⁴ Zhang

⁵ Tsai

⁶ Braic

⁷ Huang

⁸ Yeh

⁹ Hu

¹⁰ Lin

¹¹ Dolique

¹² Singh

¹³ Chuang

¹⁴ Liu

¹⁵ Manzoni

¹⁶ Qiu

¹⁷ Tariq

¹⁸ Daoud

¹⁹ Pradeep

²⁰ Hsu

²¹ Wang

²² Tung

ون^۱ (۲۰۰۹)، استریف^۲ و پاسوژا^۳ (۱۹۸۰)، انجی^۴ (۲۰۱۲)، جونز^۵ (۲۰۱۴)، شان و دو^۶ (۲۰۰۹)، کاو^۷ (۲۰۰۹)، تی سای (۲۰۰۹)، اوتو^۸ (۲۰۱۳)، گودووتر^۹ (۲۰۱۴) و میلز^{۱۱} (۱۹۹۷) را هم اضافه کرد که در آنها اثر عملیات حرارتی و تغییر شکل بر روی ساختار و خواص میکروسکوپی آلیاژهای آنتروپی بالا مورد آنالیز قرار گرفته است. نتایج اولیه حاصل شده در زمینه آلیاژهای آنتروپی بالا تا پیش از سال ۲۰۱۵ با جزئیات در مقالات مروری منتشر شده توسط ژانگ^{۱۴} (۲۰۱۴)، کانتور^{۱۲} (۲۰۱۴)، میراکل^{۱۳} و سنکوف^{۱۴} (۲۰۱۷)، ژانگ^{۱۵} (۲۰۱۸)، اوسینسف^{۱۵} (۲۰۲۱) ارائه گردیده است. در این میان مباحثی همچون ترمودینامیک آلیاژهای آنتروپی بالا، نتایج مدل سازی ساختار آنها و روش های متنوع ساخت آلیاژهای چندجزئی مورد بحث قرار گرفته است.

مطالعات پیرامون آلیاژهای آنتروپی بالا نشان داد که امکان تشکیل ساختارهای نانوباعادی و حتی فازهای آمورف به دلیل اعوجاج قابل توجه شبکه ای ناشی از تفاوت در شعاع اتمی عناصر جانشین وجود دارد. در این شرایط نرخ فرآیند نفوذ کاهش و در نتیجه سرعت رشد بلور نیز کم می شود (پوگرینیاک^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۴).

به دلیل وجود تفاوت در ابعاد اتمی فلزات مختلف در آلیاژهای آنتروپی بالا، شبکه کریستالی به شدت دچار اعوجاج می گردد. لذا ممکن است ساختار چنین فازهایی بعنوان فاز میانی در بین فازهای کریستالی پایدار با غلظت عیوب تعادلی نسبتاً کم در نظر گرفته شود که شامل اتم های ناخالصی و شیشه فلزات شبه پایدار است که در آن نظم پدیده بطور کامل وجود ندارد.

در حال حاضر بیش از ۱۰۰۰۰ مقاله در اسکوپوس^{۱۷} و پایگاه وب آف ساینس^{۱۸} به چاپ رسیده است. در این میان سهم چاپ آلیاژهای آنتروپی بالا از ۵ درصد در ایران تا ۲۰-۲۲ درصد در

¹ Wen

² Strife

³ Passoja

⁴ Ng

⁵ Jones

⁶ Shun

⁷ Du

⁸ Kao

⁹ Otto

¹⁰ Gludovatz

¹¹ Mills

¹² Cantor

¹³ Miracle

¹⁴ Senkov

¹⁵ Osintsev

¹⁶ Pogrebnnyak

¹⁷ Scopus

¹⁸ Web of Science

چین و آمریکا بوده است (رگاچف^۱، ۲۰۲۰). چنین رشد فزاینده‌ای مانع از انجام پرسش در این خصوص نخواهد بود که:

آیا مفهوم آلیاژهای آنتروپی بالا تنها یک روش علمی دیگر است، نظیر ایده نابجایی‌های منفرد مطرح شده در قرن گذشته است که قادر به توضیح تنوع رفتار تغییر شکل مواد کریستالی بود. اما در حال حاضر پاسخ غیر مبهم و صریحی برای این سوال وجود ندارد. این موضوع با این حقیقت ارتباط دارد که مقایسه مستقیم داده‌ها به دلیل تفاوت در نوع و غلظت عناصر اصلی، نوع و اندازه فرآوری‌های ترمو-مکانیکی و دما و مدت زمان عملیات حرارتی پسین مشکل می‌باشد (جورج^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

از لحاظ عملی، همه انواع چنین آلیاژهایی (سازه‌ای، مقاوم به سرما و گرما، مقاوم به خوردگی، و آنهایی که دارای خواص ویژه مغناطیسی و الکتریکی هستند) و نیز ترکیبات (کاربیدی، نیتریدی، اکسیدی، بوریدی و سلیسیدی) توسعه یافتند. در اغلب موارد، محققان در ساخت ماده آنتروپی بالای تک فاز یا چند فازي زمينه چند جزئی و آخال‌هایی که ممکن است سبب بروز پراکنده سختی شوند، موفق بودند (رگاچف^۳، ۲۰۲۰).

امروزه، فرآیند جمع و درک نتایج حوزه آلیاژهای آنتروپی بالا در مباحثی همچون تولیدات، خواص مکانیکی، ریزساختار و ... از آلیاژهای کلاسیکی مثل کانتور CrMnFeCoNi و سنکوف TiZrHfNbTa آغاز و با ترکیبات منحصر به فردی متشکل از عناصر نادر خاکی تمام می‌شود. ارزیابی منحصر به فرد بودن آلیاژهای آنتروپی بالا در مقایسه با آلیاژهای سنتی از اهمیت به سزایی در توسعه رشته‌های مختلف صنعتی برخوردار است. بر اساس اطلاعات موجود، دلایل خوبی برای توسعه سریع آلیاژهای آنتروپی بالا و ادامه این روند در آینده‌ای نزدیک وجود دارد. وظیفه اصلی این پژوهش، آنالیز آخرین نتایج حاصله در طول سال‌های اخیر مطابق سرفصل‌های همچون روش‌های تولید مواد آنتروپی بالا، خواص مکانیکی و مکانیزم‌های تغییر شکل، پایداری،

¹ Rogachev

² George

³ Rogachev

چشم‌انداز کاربرد و امکان استفاده از انرژی خارجی برای بهبود خواص و وضعیت ساختاری-
فازی این آلیاژها می‌باشد.

منابع

- Braic M., Braic V., Balaceanu M., Zoita C.N., Vladescu A., Grigore E.: Surf. Coatings Technol. 204, 2010 (2010)
- Cantor B.: Entropy 16, 4749 (2014)
- Chen M.-R., Lin S.-J., Yeh J.-W., Chen S.-K., Huang Y.-S., Tu C.-P.: Mater. Trans. 47, 1395 (2006)
- Chen M.-R., Lin S.-J., Yeh J.-W., Chuang M.-H., Lee P.-H., Huang Y.-S.: Metall. Mater. Trans. A-Physical Metall. Mater. Sci. - Met. MATER TRANS A 37, 1363 (2006)
- Chen Y.Y., Duval T., Hung U.D., Yeh J.W., Shin H.C.: Corros. Sci. 47, 2257 (2005)
- Chuang M.-H., Tsai M.-H., Wang W.-R., Lin S.-J., Yeh J.-W.: Acta Mater. 59, 6308 (2011)
- Daoud H.M., Manzoni A., Völkl R., Wanderka N., Glatzel U.: JOM 65, 1805 (2013)
- Dolique V., Thomann A.-L., Brault P., Tessier Y., Gillon P.: Surf. Coatings Technol. 204, 1989 (2010)
- George E.P., Curtin W.A., Tazan C.C.: Acta Mater. 188, 435 (2020)
- Gludovatz B., Hohenwarther A., Catoor D., Chang E.H.E.H., George E.P.E.P., Ritchie R.O.R.O.: Science (80-.). 345, 1153 (2014)
- Hsu U.S., Hung U.D., Yeh J.W., Chen S.K., Huang Y.S., Yang C.C.: Mater. Sci. Eng. A 460-461, 403 (2007)
- Hsu Y.-J., Chiang W.-C., Wu J.-K.: Mater. Chem. Phys. 92, 112 (2005)
- Hu Z., Zhan Y., Zhang G., She J., Li C.: Mater. Des. 31, 1599 (2010)
- Huang P.-K., Yeh J.-W.: Surf. Coatings Technol. 203, 1891 (2009)