

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آلیاژهای غیرآهنی خواص، فرایندها و کاربردها

تألیف

آرش فتاح الحسینی

استاد گروه مهندسی مواد، دانشگاه بوعلی سینا

سرشناسه	:	فتاح الحسینی، آرش، ۱۳۵۹-
عنوان و نام پدیدآور	:	آلیاژهای غیر آهنی: خواص، فرایندها و کاربردها/ تالیف آرش فتح الحسینی.
مشخصات نشر	:	همدان: دانشگاه بوعلی سینا، انتشارات، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	:	[۱۶]، ۳۳۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۸-۳۸۰-۲
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	آلیاژهای غیر آهنی - Nonferrous alloys
شناسه افزوده	:	دانشگاه بوعلی سینا. انتشارات
رده بندی کنگره	:	TN۶۹۳
رده بندی دیویی	:	۶۶۹
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۲۱۸۵۹۱
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا



دانشگاه بوعلی سینا

عنوان: آلیاژهای غیر آهنی؛ خواص، فرایندها و کاربردها
مولف: دکتر آرش فتح الحسینی (عضو هیأت علمی دانشگاه بوعلی سینا)
ناشر: دانشگاه بوعلی سینا
مدیر مرکز نشر: دکتر محمدجواد یدالهی فر
صفحه و قطع: ۳۳۷ وزیری
نوبت چاپ: اول
تیراژ: ۱۰۰۰
قیمت: ۲۱۰۰۰۰۰ ریال
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲
شماره کتاب: ۵۲۲-م
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۲۸-۳۸۰-۲

کلیه حقوق برای مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است
مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا تلفکس: ۰۸۱-۳۸۲۹۱۲۷۶
۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی پارک مردم، فروشگاه اداره انتشارات
۳. خیابان مهدیه روبروی خانه معلم - انتشارات دانشجو
نمایندگی فروش در تهران: ۱. موسسه کتابیران، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد غربی (بعد از چهار راه کارگر جنوبی)،
بعد از فروشگاه شبیلات، پلاک ۲۳۷ تلفن: ۶۶۴۲۳۴۱۶-۶۶۹۲۶۶۸۷
۲. نوپردازان، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۲۰۶ تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹-۶۶۴۱۱۱۷۳

پیش‌گفتار

هدف از نگارش کتاب حاضر، شناخت خواص، فرایندها و کاربردهای آلیاژهای غیرآهنی است. در حقیقت این کتاب شامل بحث در مورد عواملی مانند ترکیب شیمیایی، ریزساختار، فرایندهای تولید و عملیات حرارتی است که روی خواص فیزیکی و مکانیکی آلیاژهای غیرآهنی تأثیر می‌گذارند.

تاکنون کتاب‌های انگلیسی متعدد و ارزنده‌ای در زمینه آلیاژهای آلومینیم، آلیاژهای سبک و آلیاژهای غیرآهنی در دنیا منتشر شده که از تعداد بسیار اندکی از آنها توسط اساتید گرامی کشورمان در قالب ترجمه استفاده شده است. با توجه به مشخصات کلی، برنامه و سرفصل دروس دوره کارشناسی رشته مهندسی متالورژی و مواد، از این کتاب می‌توان برای تدریس درس آلیاژهای غیرآهنی استفاده نمود. هم‌چنین از این کتاب می‌توان برای تدریس درس استحاله‌های فازی در دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد- گرایش شناسایی و انتخاب مواد نیز بهره برد. لازم به ذکر است که با توجه به کاربردی بودن بیش‌تر مباحث، کتاب حاضر می‌تواند مورد استفاده دانشجویان تحصیلات تکمیلی و جامعه صنعتی کشور نیز قرار گیرد. با توجه به اهمیت آلومینیم و آلیاژهای آن، فصل‌های یک تا شش کتاب به معرفی آلومینیم و آلیاژهای آن اختصاص یافته است. در فصل اول، آلومینیم و روش‌های تولید آن توضیح داده می‌شود. فصل دوم به تقسیم‌بندی آلیاژهای آلومینیم اختصاص می‌یابد. در فصل سوم، فرایندهای ریخته‌گری آلومینیم به تفصیل توضیح داده خواهد شد. در ادامه در فصل‌های چهارم و پنجم به ترتیب تأثیر ریزساختار بر خواص و کنترل آخال‌ها در قطعات ریختگی مورد بررسی قرار می‌گیرند و در نهایت در فصل ششم عملیات حرارتی آلیاژهای آلومینیمی توضیح داده می‌شود.

در فصل هفتم، پس از معرفی منیزیم و روش‌های تولید آن، ذوب و ریخته‌گری آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس نمادگذاری آلیاژهای منیزیم معرفی می‌شود. در ادامه آلیاژهای ریختگی منیزیمی فاقد زیرکونیم و زیرکونیم‌دار و هم‌چنین آلیاژهای کارپذیر منیزیم و انواع آن‌ها معرفی و توضیح داده می‌شوند. در انتهای این فصل رفتار خوردگی منیزیم و آلیاژهای

آن و کاربردهای این دسته از آلیاژهای سبک، به خصوص کاربردهای پزشکی، به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

در فصل هشتم، پس از معرفی فلز تیتانیم و روش‌های تولید آن، طبقه‌بندی آلیاژهای تیتانیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، اصول اولیه عملیات حرارتی آلیاژهای تیتانیم توضیح داده می‌شود و در انتها سه دسته اصلی آلیاژهای تیتانیم، آلیاژهای آلفا، بتا و آلفا/بتا، بررسی خواهند شد.

در فصل آخر، پس از معرفی فلز مس و نحوه نام‌گذاری آلیاژهای مس، مس خالص تجاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، برنج‌ها یعنی آلیاژهای مس-روی را که به‌ویژه به سبب شکل‌پذیری خوب مورد توجه‌اند، بررسی می‌شوند. پس از آن آلیاژهای برنزی معروف مانند برنزهای قلع (آلیاژهای مس-قلع)، برنز آلومینیم (آلیاژهای مس-آلومینیم) و سرانجام برنزهای برلیم (آلیاژهای مس-برلیم) بررسی خواهند شد.

از آنجایی که این کتاب نمی‌تواند عاری از هرگونه اشکالی باشد امید است دانشجویان، همکاران و خوانندگان، در صورت وجود نقاط ضعف آن را مشخص کنند و به اینجانب ارجاع دهند تا در چاپ‌های بعد اصلاح شود.

در پایان از مدیریت محترم انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، جناب آقای دکتر محمدجواد یداله‌ی فر به‌خاطر در اختیار گذاشتن امکانات چاپ و نشر کتاب و سرکار خانم مهندس فاطمه خانی به‌خاطر صفحه‌آرایی تشکر و قدردانی می‌شود. امید است که این اثر بتواند در گسترش آگاهی دانش‌پژوهان و ارتقای کیفیت پژوهش‌ها اثرگذار باشد.

آرش فتاح‌الحسینی

خردادماه ۱۴۰۲

فصل اول: آلومینیم و آلیاژهای آلومینیم

۱- معرفی آلومینیم	۱
۱-۲. روش های تولید آلومینیم	۳
۱-۲-۱. روش سن کالر	۳
۱-۲-۲. روش بایر	۴
۱-۲-۳. روش هال- هرولت	۵
۱-۲-۴. روش های دیگر در تولید آلومینیم	۷
۱-۳. مزایا و محدودیت های قطعات ریختگی آلومینیمی	۸
۱-۴. عوامل مؤثر بر افزایش استفاده از قطعات ریختگی آلومینیمی	۱۱
۱-۴-۱. فناوری	۱۱
۱-۴-۲. بازیافت	۱۱
۱-۵. منابع	۱۲

فصل دوم: تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیم

۱-۲. تقسیم بندی آلیاژهای آلومینیم	۱۳
۲-۲. مشخصات	۱۵
۲-۳. نام گذاری آلیاژها	۱۶
۲-۳-۱. سیستم نام گذاری انجمن آلومینیم (AA) برای آلیاژ ریختگی	۱۶
۲-۳-۲. سیستم نام گذاری بازپخت قطعات ریختگی	۱۸
۲-۳-۳. سیستم نام گذاری آلیاژ UNS	۱۹
۲-۳-۴. سیستم نام گذاری برای کامپوزیت های زمینه فلزی آلومینیم	۱۹
۲-۴. دسته بندی ترکیب	۲۰
۲-۴-۱. آلومینیم- مس	۲۱
۲-۴-۲. آلومینیم- سیلیسیم- مس	۲۱
۲-۴-۳. آلومینیم- سیلیسیم	۲۲
۲-۴-۴. آلومینیم- سیلیسیم- منیزیم	۲۲
۲-۴-۵. آلومینیم- منیزیم	۲۲

۲- ۴- ۶. آلومینیم- روی- منیزیم	۲۳
۲- ۴- ۷. آلومینیم- قلع	۲۳
۲- ۵. تأثیر عناصر آلیاژی	۲۴
۲- ۵- ۱. آنتیموان	۲۴
۲- ۵- ۲. برلیم	۲۴
۲- ۵- ۳. بیسموت	۲۵
۲- ۵- ۴. بور	۲۵
۲- ۵- ۵. کادمیم	۲۵
۲- ۵- ۶. کلسیم	۲۵
۲- ۵- ۷. کروم	۲۶
۲- ۵- ۸. مس	۲۶
۲- ۵- ۹. آهن	۲۶
۲- ۵- ۱۰. سرب	۲۷
۲- ۵- ۱۱. منیزیم	۲۷
۲- ۵- ۱۲. منگنز	۲۷
۲- ۵- ۱۳. جیوه	۲۸
۲- ۵- ۱۴. نیکل	۲۸
۲- ۵- ۱۵. فسفر	۲۸
۲- ۵- ۱۶. سیلیسیم	۲۸
۲- ۵- ۱۷. نقره	۲۹
۲- ۵- ۱۸. سدیم	۲۹
۲- ۵- ۱۹. استرانسیم	۲۹
۲- ۵- ۲۰. قلع	۳۰
۲- ۵- ۲۱. تیتانیم	۳۰
۲- ۵- ۲۲. روی	۳۰
۲- ۶. دسته‌بندی آلیاژها بر اساس کاربرد یا مشخصات خاص	۳۰

۲- ۶- ۱. آلیاژهایی با کاربردهای کلی	۳۰
۲- ۶- ۲. آلیاژهای دما بالا	۳۴
۲- ۶- ۳. آلیاژهای مقاوم به خوردگی	۳۵
۲- ۶- ۴. آلیاژهای استحکام متوسط با تنش‌های پسماند کم	۳۵
۲- ۶- ۵. آلیاژهای یاتاقان‌ها	۳۶
۲- ۶- ۶. آلیاژهای با استحکام بالا	۳۶
۲- ۷. منابع	۳۷

فصل سوم: فرایندهای ریخته‌گری آلومینیم

۳- ۱. تاریخچه	۳۹
۳- ۲. انتخاب فرایند ریخته‌گری	۴۰
۳- ۲- ۱. طراحی ریخته‌گری	۴۱
۳- ۲- ۲. ویژگی‌های مورد نیاز	۴۱
۳- ۲- ۳. میزان تولید	۴۱
۳- ۲- ۴. هزینه‌ها	۴۲
۳- ۲- ۵. کیفیت	۴۲
۳- ۳. فناوری فرایند ریخته‌گری	۴۲
۳- ۳- ۱. فرایندهای قالب مصرفی و غیرمصرفی	۴۲
۳- ۳- ۲. فشار در برابر جاذبه	۴۲
۳- ۳- ۳. سیستم راهگامی و تغذیه‌گذاری	۴۳
۳- ۴. فرایند ریخته‌گری در قالب مصرفی با استفاده از جاذبه	۴۵
۳- ۴- ۱. ریخته‌گری در ماسه	۴۵
۳- ۴- ۲. روش ریخته‌گری تبخیری	۴۷
۳- ۴- ۳. ریخته‌گری با قالب پوستانه‌ای	۴۸
۳- ۴- ۴. ریخته‌گری با قالب‌های گچی	۴۹
۳- ۴- ۵. ریخته‌گری دقیق	۵۰
۳- ۵. فرایند ریخته‌گری با قالب دائمی (غیرمصرفی) و تغذیه گرانشی و انواع آن	۵۱

۳- ۵- ۱. ریخته‌گری در قالب دائمی	۵۱
۳- ۵- ۲. ریخته‌گری تحت فشار کم و ریخته‌گری فشاری بدون تغذیه	۵۳
۳- ۵- ۳. ریخته‌گری مکشی بدون تغذیه	۵۵
۳- ۵- ۴. ریخته‌گری گریز از مرکز	۵۶
۳- ۵- ۵. ریخته‌گری کوبشی	۵۷
۳- ۵- ۶. شکل‌دادن نیمه‌جامد	۵۸
۳- ۶. ریخته‌گری تحت فشار و انواع آن	۵۹
۳- ۶- ۱. ریخته‌گری تحت فشار بدون عیب	۶۲
۳- ۶- ۲. ریخته‌گری تحت فشار بدون تخلخل	۶۳
۳- ۶- ۳. ریخته‌گری تحت فشار در خلأ	۶۳
۳- ۷. قطعات ریختگی مرغوب مهندسی	۶۳
۳- ۸. منابع	۶۴

فصل چهارم: تأثیرات ریزساختار بر خواص

۴- ۱. فازهای بین فلزی	۶۵
۴- ۲. فاصله بازوی دندریتی	۶۶
۴- ۳. ریزدانه‌سازی	۶۸
۴- ۴. به‌سازی یوتکتیک آلومینیم- سیلیسیم	۷۰
۴- ۵. اصلاح آلیاژهای هایپریوتکتیک آلومینیم- سیلیسیم	۷۵
۴- ۶. منابع	۷۷

فصل پنجم: تأثیر و کنترل تخلخل و آخال‌ها در قطعات ریختگی آلومینیمی

۵- ۱. تخلخل هیدروژنی	۷۹
۵- ۲. تخلخل انقباضی	۸۶
۵- ۳. آخال‌ها	۸۹
۵- ۴. اثر ترکیبی هیدروژن، انقباض و آخال‌ها	۹۲
۵- ۵. رادیوگرافی	۹۷
۵- ۶. منابع	۹۹

فصل ششم: عملیات حرارتی قطعات ریختگی آلومینیومی

۱-۶	عملیات حرارتی محلولی	۱۰۴
۲-۶	سریع سرد کردن	۱۰۶
۳-۶	عملیات حرارتی رسوب‌سختی/پیرسازی	۱۱۱
۱-۳-۶	آلومینیم - مس	۱۱۲
۲-۳-۶	آلومینیم - مس - منیزیم	۱۱۲
۳-۳-۶	آلومینیم - سیلیسیم - منیزیم	۱۱۳
۴-۳-۶	آلومینیم - روی - منیزیم	۱۱۳
۴-۶	آنیل کردن	۱۱۴
۵-۶	پایداری	۱۱۵
۶-۶	تشش‌های پسماند	۱۱۵
۷-۶	عیب‌یابی مسائل عملیات حرارتی	۱۱۷
۱-۷-۶	معیار تأیید	۱۱۷
۲-۷-۶	تشخیص	۱۱۸
۸-۶	منابع	۱۲۱

فصل هفتم: منیزیم و آلیاژهای منیزیم

۱-۷	معرفی منیزیم خالص	۱۲۳
۲-۷	تولید منیزیم	۱۳۰
۱-۲-۷	استخراج منیزیم به روش الکترولیز	۱۳۲
۲-۲-۷	تولید منیزیم با استفاده از فرایندهای حرارتی	۱۳۳
۳-۷	ذوب و ریخته‌گری	۱۳۴
۱-۳-۷	ذوب	۱۳۴
۲-۳-۷	ریزدانه کردن	۱۳۶
۳-۳-۷	ریخته‌گری	۱۳۹
۴-۷	نمادگذاری آلیاژهای منیزیم	۱۴۳
۵-۷	آلیاژهای ریختگی فاقد زیرکونیم	۱۴۵

۷- ۵- ۱. آلیاژهای منیزیم-آلومینیم	۱۴۵
۷- ۵- ۲. آلیاژهای منیزیم - روی	۱۵۱
۷- ۵- ۳. آلیاژهای منیزیم- روی- مس	۱۵۲
۷- ۶. آلیاژهای ریختگی زیرکونیم‌دار	۱۵۵
۷- ۶- ۱. آلیاژهای منیزیم- روی- زیرکونیم	۱۵۶
۷- ۶- ۲. آلیاژهای منیزیم - عناصر کمیاب خاکی - روی- زیرکونیم	۱۵۶
۷- ۶- ۳. آلیاژهای منیزیم- توریم- زیرکونیم	۱۶۱
۷- ۶- ۴. آلیاژهای منیزیم- نقره- زیرکونیم	۱۶۲
۷- ۶- ۵. آلیاژهای منیزیم - ایتیریم- زیرکونیم	۱۶۴
۷- ۷. آلیاژهای کارپذیر منیزیم	۱۶۶
۷- ۷- ۱. مقدمه	۱۶۶
۷- ۷- ۲. آلیاژهای مورد استفاده در تولید صفحه و ورق	۱۶۸
۷- ۷- ۳. آلیاژهای اکستروژن	۱۷۰
۷- ۷- ۴. آلیاژهای آهنگری	۱۷۲
۷- ۸. رفتار خوردگی منیزیم	۱۷۲
۷- ۸- ۱. مقدمه	۱۷۲
۷- ۸- ۲. خوردگی گالوانیکی	۱۷۳
۷- ۸- ۳. حفره‌دار شدن	۱۷۵
۷- ۸- ۴. خوردگی توام با تنش	۱۷۷
۷- ۸- ۵. خوردگی خستگی	۱۷۷
۷- ۹. سازوکار خوردگی	۱۷۸
۷- ۹- ۱. واکنش‌های خوردگی	۱۷۸
۷- ۹- ۲. ترمودینامیک	۱۷۹
۷- ۹- ۳. پایداری در محیط‌های آبی	۱۸۱
۷- ۹- ۴. تشکیل لایه سطحی	۱۸۳
۷- ۹- ۵. ترکیب و ریزساختار	۱۸۴

۷-۹-۶. پایداری و حفاظت	۱۸۸
۷-۱۰. کاربردهای پزشکی منیزیم و آلیاژهای آن	۱۹۱
۷-۱۰-۱. مقدمه	۱۹۱
۷-۱۰-۲. مواد فلزی زیستی	۱۹۳
۷-۱۰-۳. دلایل استفاده از منیزیم به عنوان ماده زیستی	۱۹۵
۷-۱۰-۴. نقش منیزیم در بدن انسان	۱۹۷
۷-۱۱. کاربردهای منیزیم در کاشتنی‌های استخوانی	۱۹۸
۷-۱۱-۱. مقدمه	۱۹۸
۷-۱۱-۲. مهندسی بافت استخوان	۲۰۱
۷-۱۱-۳. نقش داربست‌ها	۲۰۳
۷-۱۱-۴. داربست‌های منیزیمی در مهندسی بافت	۲۰۴
۷-۱۲. روش‌های اصلاح سطح آلیاژهای منیزیم	۲۰۷
۷-۱۳. منابع	۲۱۲

فصل هشتم: تیتانیم و آلیاژهای تیتانیم

۸-۱. مقدمه	۲۱۷
۸-۲. روش‌های تولید تیتانیم	۲۱۸
۸-۳. طبقه‌بندی آلیاژهای تیتانیم	۲۲۲
۸-۴. اصول اولیه عملیات حرارتی	۲۲۳
۸-۵. آلیاژهای آلفا (α)	۲۲۵
۸-۵-۱. آلیاژهای آلفای کامل	۲۲۷
۸-۵-۲. آلیاژهای شبه‌آلفا	۲۳۰
۸-۵-۳. آلیاژهایی با قابلیت پیرسختی	۲۳۱
۸-۶. آلیاژهای آلفا/بتا (α/β)	۲۳۳
۸-۶-۱. آلیاژهای آنیل شده	۲۳۵
۸-۶-۲. سریع سرد کردن از منطقه فازی β	۲۳۹
۸-۶-۳. بازگشت مارتنزیت در آلیاژهای تیتانیم	۲۴۴

۲۴۵	۸-۶-۴. تجزیه β شبه پایدار
۲۴۹	۸-۶-۵. آلیاژهای کاملاً عملیات حرارتی شده
۲۵۰	۸-۷. آلیاژهای بتا (β)
۲۵۴	۸-۸. منابع

فصل نهم: مس و آلیاژهای مس

۲۵۶	۹-۱. نام‌گذاری و طبقه‌بندی آلیاژهای مس
۲۵۸	۹-۲. مس خالص تجاری
۲۷۱	۹-۳. آلیاژهای مس-روی
۲۹۴	۹-۴. آلیاژهای مس-قلع
۲۹۹	۹-۵. آلیاژهای مس-روی-قلع
۳۰۰	۹-۶. آلیاژهای سرب‌دار مس
۳۰۳	۹-۷. آلیاژهای مس-آلومینیم
۳۱۳	۹-۸. آلیاژهای مس-بریلیم
۳۲۱	۹-۹. منابع