

• لارا عباسچیان

• رضا عباسچیان

• رابرت ای. ریدھیل

۱۸۸ ۴۶۹۹

اسول متالورژی افیزیکی

ویراست چهارم

مهندس محمدرضا افضلی



نوپردازان



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف





نوپردازان



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

Physical Metallurgy Principles (Fourth Edition, SI)

نام کتاب اصول متالورژی فیزیکی (ویراست چهارم)
تألیف رابرت ای. ریدهیل، رضا عباسچیان، لارا عباسچیان

by: Robert E. Reed-Hill, Reza Abbaschian, Lara Abbaschian,
CENGAGE Learning, 2010

ترجمه	محمدرضا افضلی
ناشر	مؤسسه انتشارات، علمی دانشگاه صنعتی شریف و انتشارات نوپردازان
قطع	رحلی
نوبت چاپ	اول
تاریخ چاپ	۱۳۹۶
تیراژ	۱۰۰۰
صفحات	۸۰۸
قیمت	۶۰۰۰ تومان
آماده‌سازی پیش از چاپ: انتشارات نوپردازان	
حقوق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف و انتشارات نوپردازان محفوظ است.	
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۷۶-۹
ISBN	978-964-208-176-9

سرشناسه: ریدهیل، رابرت ای. Reed-Hill, Robert E.	موضوع: Physical Metallurgy
عنوان و نام پدیدآور: اصول متالورژی فیزیکی رابرت ای. ریدهیل، رضا عباسچیان.	شناسه افزوده: عباسچیان، لارا
لارا عباسچیان، ترجمه محمدرضا افضلی	شناسه افزوده: عباسچیان، لارا Abbaschian, Lara
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۵	شناسه افزوده: عباسچیان، رضا
مشخصات ظاهری: ۸۰۸ ص. مصور، جدول	شناسه افزوده: عباسچیان، رضا Abbaschian, Reza
شابک: 978-964-208-176-9	شناسه افزوده: عباسچیان، محمدرضا، ۱۳۳۱، مترجم
وضعیت فهرست نویسی: فیا	شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف
یادداشت: عنوان اصلی: Physical Metallurgy principles, 2010	شناسه افزوده: Sharif University of Technology
یادداشت: واژه‌نامه	رده‌بندی کنگره: ۶۱۳۹۵ الف ۶۸۷ ر/ ۶۹۰ TN
موضوع: متالورژی فیزیکی	رده‌بندی دیویی: ۶۶۹/۹
	شماره کتابشناسی ملی: ۴۳۸۱۵۲۳

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۸۷ - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵-۱۶

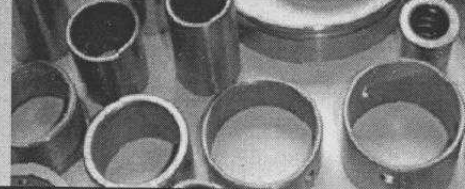
دفتر فروش کتابیران: تهران، خیابان لبافی‌نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

وبگاه: http://sina.sharif.ir/~publishing

فروش اینترنتی: www.saneibook.com, www.ketabiran.ir

فهرست



فصل ۱	ساختار فلزات	۱
۱.۱ ساختار فلزات، ۱	۲.۱ سلول واحد، ۲	۳.۱ ساختار معبی مرکزپر (BCC)، ۳
۵.۱ شبکه مکعبی مرکزپر، ۴	۶.۱ سلول واحد شبکه هگزاگونال فشرده (HC)، ۶	۷.۱ مقایسه ساختارهای مکعبی با وجوه مرکزپر و هگزاگونال فشرده، ۶
۸.۱ سیستم های سرد، ۸	۹.۱ ناهمسانگردی، ۸	۱۰.۱ بافتها یا جهتگیریهایی ترجیحی، ۹
۱۱.۱ اندیسهایی میلر، ۱۱	۱۲.۱ ساختار بلوری فلزات، ۱۶	۱۳.۱ تصویر استرئوگرافیک، ۱۷
۱۴.۱ جهتهای واقع در یک صفحه، ۱۹	۱۵.۱ جهتهای یک منطقه، ۱۹	۱۶.۱ شبکه وولف، ۱۹
۱۷.۱ تصویروهای استاندارد، ۲۴	۱۸.۱ مثلث استرئوگرافیک، استاندارد برای بلورهای مکعبی، ۲۵	مسائل، ۲۷
		منابع، ۳۰

فصل ۲	روشهای تشخیص	۳۱
۱.۲ قانون براگ، ۳۲	۲.۲ فرکانس، ۳۵	۳.۲ روش بلور چرخان، ۳۸
۴.۲ روش دی-شرر یا روش پودر، ۳۸	۵.۲ پراش سنج پرتو ایکس، ۴۰	۶.۱ میکروسکوپ الکترونی عبوری، ۴۲
۷.۲ برهمکنش بین الکترونها در باریکه الکترون و نمونه فلزی، ۴۰	۸.۲ پراکندگی کشسان، ۴۹	۹.۲ پراکندگی ناکشسان، ۴۹
۱۰.۲ طیف الکترونی، ۵۱	۱۱.۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی، ۵۱	۱۲.۲ تباین موضع شناختی، ۵۳
۱۳.۲ اندازه جزء تصویر، ۵۷	۱۴.۲ عمق کانون، ۵۷	۱۵.۲ ریزتجزیه نمونه ها، ۵۹
۱۶.۲ ریزتجزیه پرتو ایکس با کاوه الکترونی، ۵۹	۱۷.۲ پرتو ایکس مشخصه، ۶۱	۱۸.۲ طیف نمایی الکترون اوزه (AES)، ۶۲
۱۹.۲ میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی (STEM)، ۶۴	مسائل، ۶۶	منابع، ۶۵

فصل ۳	پیوند بلوری	۶۷
۱.۳ انرژی داخلی بلور، ۶۷	۲.۳ بلورهای یونی، ۶۷	۳.۳ نظریه بورن برای بلورهای یونی، ۶۹
۴.۳ بلورهای وان دروالس، ۷۳	۵.۳ دوقطبیها، ۷۳	۶.۳ گازهای بی اثر، ۷۴
۷.۳ دوقطبی-چهارقطبی-چهارقطبی-چهارقطبی، ۸۰	۸.۳ انرژی شبکه جامد تشکیل شده از گاز بی اثر، ۷۶	۹.۳ بسامد دی، ۷۷
۱۰.۳ انرژی نقطه صفر، ۷۹	۱۱.۳ جمله های دوقطبی-چهارقطبی-چهارقطبی-چهارقطبی، ۸۰	۱۲.۳ بلورهای مولکولی، ۸۰
۱۳.۳ اصلاحات نظریه بورن برای بلورهای یونی، ۸۱	۱۴.۳ پیوندهای کووالانسی و فلزی، ۸۲	مسائل، ۸۶
		منابع، ۸۷

فصل ۴	آشنایی با نابجاییها	۸۹
۴.۱ مغایرت بین تنش تسلیم نظری و تجربی بلورها، ۸۹	۴.۲ نابجاییها، ۹۱	۴.۳ بردار برگرز، ۱۰۰
۴.۴ نمادگذاری برداری نابجاییها، ۱۰۲	۴.۵ نابجاییها در شبکه مکعبی با وجوه مرکزپر، ۱۰۳	۴.۶ نقایض

انباشت داخلی و خارجی در فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر، ۱۰۸ ۴.۷ نابجاییهای گسترده در فلزات هگزاگونال، ۱۰۸
 ۴.۸ صعود نابجاییهای لبه‌ای، ۱۰۹ ۴.۹ تقاطع نابجاییها، ۱۱۱ ۴.۱۰ میدان تنش نابجایی پیچی، ۱۱۴
 ۴.۱۱ میدان تنش نابجایی لبه‌ای، ۱۱۶ ۴.۱۲ نیروی وارد بر نابجایی، ۱۱۷ ۴.۱۳ انرژی کرنش نابجایی
 پیچی، ۱۲۱ ۴.۱۴ انرژی کرنش نابجایی لبه‌ای، ۱۲۲ مسائل، ۱۲۳ منابع، ۱۲۵

۱۲۷

نابجاییها و تغییر شکل مومسان

فصل ۵

۱.۵ چشمه فرانک-رید، ۱۲۷ ۲.۵ جوانه‌زنی نابجاییها، ۱۲۸ ۳.۵ سریدن در امتداد خم، ۱۳۱
 ۵.۴ لغزش چرخشی، ۱۳۴ ۵.۵ صفحه‌های لغزش و جهت‌های لغزش، ۱۳۶ ۵.۶ سیستم‌های لغزش، ۱۳۸
 ۵.۷ مولفه تنش برشی بحرانی، ۱۳۸ ۵.۸ لغزش در سیستم‌های لغزش هم‌ارز، ۱۴۲ ۵.۹ چگالی نابجایی، ۱۴۲
 ۵.۱۰ سیستم‌های لغزش در شبکه‌های بلوری مختلف، ۱۴۲ ۵.۱۱ لغزش متقاطع، ۱۴۸ ۵.۱۲ نوارهای
 لغزش، ۱۴۰ ۵.۱۳ لغزش متقاطع مضاعف، ۱۵۰ ۵.۱۴ نابجاییهای گسترده و لغزش متقاطع، ۱۵۲
 ۵.۱۵ رخس ساختار بلوری در حین تغییر شکل کششی و فشاری، ۱۵۳ ۵.۱۶ نامگذاری سیستم‌های لغزش در
 تغییر شکل بلور مکعبی با وجوه مرکزپر، ۱۵۶ ۵.۱۷ کار سختی، ۱۵۸ ۵.۱۸ معیار گنسیدره، ۱۶۰
 ۵.۱۹ رابطه بین چگالی نابجایی و تنش، ۱۶۰ ۵.۲۰ رابطه تیلور، ۱۶۱ ۵.۲۳ معادله اوروان، ۱۶۳
 مسائل، ۱۶۴ منابع، ۱۶۶

۱۶۹

آشنایی با مرزدانه

فصل ۶

۶.۱ مرز دانه، ۱۶۹ ۲.۶ مدل نابجایی مرز دانه، ۱۷۰ ۶.۳ پنج درجه آزادی مرز دانه، ۱۷۲
 ۶.۴ میدان تنش مرز دانه، ۱۷۳ ۶.۵ انرژی مرز دانه، ۱۷۶ ۶.۶ ساختارهای نابجایی کم‌انرژی (LEDs)، ۱۷۸
 ۶.۷ بازیابی دینامیکی، ۱۸۲ ۶.۸ کشش سلحی مرز دانه، ۱۸۳ ۶.۹ مرزهای بین بلورهای فازهای مختلف، ۱۸۶
 ۶.۱۰ اندازه دانه، ۱۹۰ ۶.۱۱ اثر مرزهای دانه بر خواص مکانیکی، ۱۹۱ ۶.۱۲ اثر اندازه دانه در مواد
 غیربلورین، ۱۹۳ ۶.۱۳ مرز مکانهای انطباق، ۱۹۶ ۶.۱۴ گالی مکانهای انطباق، ۱۹۷ ۶.۱۵ روابط
 رانگاناتان، ۱۹۸ ۶.۱۶ نمونه‌هایی از مرزهای پیچشی، ۱۹۸ ۶.۱۷ مرزهای کج، ۲۰۱ مسائل، ۲۰۴
 منابع، ۲۰۵

۲۰۷

تهیجاییها

فصل ۷

۷.۱ رفتار فلزات در گرما، ۲۰۷ ۷.۲ انرژی داخلی، ۲۰۸ ۷.۳ آنتروپی، ۲۰۹ ۷.۴ واکنشهای خودبه‌خود، ۲۱۰
 ۷.۵ انرژی آزاد گیبس، ۲۱۰ ۷.۶ تعریف آنتروپی در مکانیک آماری، ۲۱۳ ۷.۷ تهیجاییها، ۲۱۷ ۷.۸ حرکت
 تهیجایی، ۲۲۲ ۷.۹ اتمهای بین‌نشین و دوتهیجایی، ۲۲۵ مسائل، ۲۲۸ منابع، ۲۳۰

۲۳۱

تابکاری

فصل ۸

۸.۱ انرژی ذخیره شده بر اثر کار سرد، ۲۳۱ ۸.۲ رابطه انرژی آزاد و انرژی کرنش، ۲۳۲ ۸.۳ رهایی انرژی ذخیره
 شده، ۲۳۳ ۸.۴ بازیابی، ۲۳۵ ۸.۵ بازیابی در تک‌بلورها، ۲۳۶ ۸.۶ چندگوش شدن، ۲۳۸ ۸.۷ حرکت

نابجایی در چندگوش شدن، ۲۴۱ ۸.۸ فرایندهای بازیابی در دماهای بالا و پایین، ۲۴۴ ۸.۹ تبلور مجدد، ۲۴۵ ۸.۱۰ اثر زمان و دما بر تبلور مجدد، ۲۴۵ ۸.۱۱ دمای تبلور مجدد، ۲۴۷ ۸.۱۲ اثر کرنش بر تبلور مجدد، ۲۴۸ ۸.۱۳ آهنگ جوانه زنی و آهنگ رشد جوانه ها، ۲۴۹ ۸.۱۴ تشکیل جوانه، ۲۵۰ ۱۵.۸ نیروی محرک تبلور مجدد، ۲۵۲ ۸.۱۶ اندازه دانه تبلور مجدد یافته، ۲۵۲ ۸.۱۷ سایر متغیرهای تبلور مجدد، ۲۵۴ ۸.۱۸ خلوص فلز، ۲۵۴ ۸.۱۹ اندازه دانه اولیه، ۲۵۵ ۸.۲۰ رشد دانه، ۲۵۶ ۸.۲۱ به هم پیوستن هندسی، ۲۵۸ ۸.۲۲ تغییرات سه بعدی در هندسه دانه، ۲۶۰ ۸.۲۳ قانون رشد دانه، ۲۶۰ ۸.۲۴ اتمهای ناخالصی در محلول جامد، ۲۶۵ ۸.۲۵ ناخالصیها به صورت آخال، ۲۶۶ ۸.۲۶ آثار سطح آزاد، ۲۶۸ ۸.۲۷ اندازه دانه حدی، ۲۷۰ ۸.۲۸ جهتگیری ترجیحی، ۲۷۱ ۸.۲۹ تبلور مجدد ثانوی، ۲۷۱ ۸.۳۰ مهاجرت مرز دانه بر اثر کرنش، ۲۷۲ مسائل، ۲۷۳ منابع، ۲۷۵

۲۷۷

محلولهای جامد

فصل ۹

۱.۹ محلولهای جامد، ۲۷۷ ۲.۹ فازهای میانی، ۲۷۷ ۳.۹ محلولهای جامد بین نشینی، ۲۷۸ ۴.۹ انحلال پذیری کربن در آهن مکعب مرکز پر، ۲۷۹ ۵.۹ محلولهای جامد جانشینی و قواعد هیوم-راتری، ۲۸۳ ۶.۹ برهمکنش نابجاییها و اتمهای حل شده، ۲۸۱ ۷.۹ جویهای نابجایی، ۲۸۴ ۸.۹ تشکیل جوی نابجایی، ۲۸۶ ۹.۹ تعیین A، ۲۸۷ ۱۰.۹ نیروی مقاوم نابجایی در برابر نابجاییهای متحرک، ۲۸۸ ۱۱.۹ نقطه تسلیم تیز و نوارهای لودرز، ۲۹۰ ۱۲.۹ نظریه نقطه تسلیم تیز، ۲۹۲ ۱۳.۹ کرنش پیری، ۲۹۳ ۱۴.۹ نظریه کاترل-بیلی در مورد کرنش پیری، ۲۹۴ ۱۵.۹ کرنش پیری دینامیکی، ۲۹۸ مسائل، ۳۰۳ منابع، ۳۰۴

۳۰۵

فازها

فصل ۱۰

۱.۱۰ تعریفهای پایه، ۳۰۵ ۲.۱۰ ماهیت فیزیک سطوحهای فازی، ۳۰۷ ۳.۱۰ ترمودینامیک محلولها، ۳۰۷ ۴.۱۰ تعادل بین دو فاز، ۳۱۰ ۵.۱۰ تعداد فازها، یک سیستم آلیاژی، ۳۱۱ ۶.۱۰ سیستمهای دو جزئی دوفاز، ۳۲۱ ۷.۱۰ تعیین انرژی آزاد مولی جزئی به روش ترمودینامیک، ۳۲۲ ۸.۱۰ سیستمهای دو جزئی با سه فاز در حال تعادل، ۳۲۴ ۹.۱۰ قانون فاز، ۳۲۶ ۱۰.۱۰ سیستمهای سه تایی، ۳۲۸ مسائل، ۳۲۸ منابع، ۳۳۰

۳۳۱

نمودارهای فاز دوتایی

فصل ۱۱

۱.۱۱ نمودارهای فاز، ۳۳۱ ۲.۱۱ سیستمهای آلیاژی یک ریخت، ۳۳۱ ۳.۱۱ قاعده اهرم، ۳۳۳ ۴.۱۱ گرم کردن یا سرد کردن تعادلی آلیاژی یک ریخت، ۳۳۶ ۵.۱۱ سیستم آلیاژی یک ریخت از دیدگاه انرژی آزاد، ۳۳۸ ۶.۱۱ ماکزیممها و مینیممها، ۳۳۹ ۷.۱۱ آبر شبکه ها، ۳۴۳ ۸.۱۱ شکاف امتزاج پذیری، ۳۴۶ ۹.۱۱ سیستمهای اوتکتیک، ۳۴۷ ۱۰.۱۱ ریزساختارهای سیستمهای اوتکتیک، ۳۴۹ ۱۱.۱۱ تبدیل پریکتیک، ۳۵۴ ۱۲.۱۱ مونوتکتیکها، ۳۵۷ ۱۳.۱۱ سایر واکنشهای سه فاز، ۳۵۸ ۱۴.۱۱ فازهای میانی، ۳۵۸ ۱۵.۱۱ نمودار فاز مس-روی، ۳۶۱ ۱۶.۱۱ نمودارهای فاز سه تایی، ۳۶۳ مسائل، ۳۶۷ منابع، ۳۶۸

۳۶۹

نفوذ در محلولهای جامد جانشینی

فصل ۱۲

۱.۱۲ نفوذ در محلول ایدئال، ۳۶۹ ۲.۱۲ اثر کیرکندال، ۳۷۳ ۳.۱۲ تشکیل حفره، ۳۷۶ ۴.۱۲ معادلات

دارکن، ۳۷۸ ۵.۱۲ قانون دوم فیک، ۳۸۲ ۶.۱۲ روش ماتانو، ۳۸۵ ۷.۱۲ تعیین ضرایب نفوذ ذاتی، ۳۸۸ ۸.۱۲ خودنفوذی در فلزات خالص، ۳۹۰ ۹.۱۲ وابستگی ضریب نفوذ به دما، ۳۹۲ ۱۰.۱۲ نفوذ شیمیایی در غلظت‌های کم، ۳۹۴ ۱۱.۱۲ بررسی نفوذ شیمیایی با استفاده از عناصر ردیاب رادیواکتیو، ۳۹۶ ۱۲.۱۲ نفوذ طول مرز دانه‌ها و سطوح آزاد، ۳۹۸ ۱۳.۱۲ قانون اول فیک برحسب تحرک و نیروی مؤثر، ۴۰۲ ۱۴.۱۲ نفوذ در سیستم‌های آلیاژی ناهم‌ریخت، ۴۰۴ مسائل، ۴۰۹ منابع، ۴۱۰

فصل ۱۳	نفوذ بین‌نشینی	۴۱۳
	۱.۱۳ اندازه‌گیری ضرایب نفوذ بین‌نشینی، ۴۱۳ ۲.۱۳ اثر اسنوک، ۴۱۵ ۳.۱۳ تعیین زمان رهایی به شیوه تجربی، ۴۲۲ ۴.۱۳ داده‌های تجربی، ۴۲۹ ۵.۱۳ اندازه‌گیری‌های ناکشسان در کرنش ثابت، ۴۳۰ مسائل، ۴۳۱ منابع، ۴۳۲	

فصل ۱۴	انجماد فلزات	۴۳۳
	۱.۱۴ فاز مذاب، ۴۳۳ ۲.۱۴ جوانه‌زنی، ۴۳۶ ۳.۱۴ شیشه‌های فلزی، ۴۳۹ ۴.۱۴ رشد بلور از فاز مذاب، ۴۴۶ ۵.۱۴ گرمای انجماد، ۴۴۷ ۶.۱۴ ماهیت فصل مشترک مذاب-جامد، ۴۴۹ ۷.۱۴ رشد پیوسته، ۴۵۱ ۸.۱۴ رشد جانبی، ۴۵۳ ۹.۱۴ انجماد فصل مشترک پایدار، ۴۵۵ ۱۰.۱۴ رشد شاخوار در فلزات خالص، ۴۵۶ ۱۱.۱۴ انجماد آلیاژها، ۴۵۷ ۱۲.۱۲ معادله شیل، ۴۶۱ ۱۳.۱۴ انجماد شاخواری در آلیاژها، ۴۶۴ ۱۴.۱۴ انجماد شمشها، ۴۶۶ ۱۵.۱۴ اندازه دانه‌های قطعات ریختگی، ۴۷۰ ۱۶.۱۴ جدانشینی، ۴۷۱ ۱۷.۱۴ همگن‌سازی، ۴۷۳ ۱۸.۱۴ جدانشینی معکوس، ۴۷۸ ۱۹.۱۴ تخلخل، ۴۷۹ ۲۰.۱۴ انجماد اوتکتیک، ۴۸۳ مسائل، ۴۸۷ منابع، ۴۹۰	

فصل ۱۵	سینتیک جوانه‌زنی و رشد	۴۹۳
	۱.۱۵ جوانه‌زنی مذاب از فاز بخار، ۴۹۳ ۱.۱۵ بکر-دورینگ، ۵۰۱ ۳.۱۵ انجماد، ۵۰۳ ۴.۱۵ واکنشهای حالت جامد، ۵۰۵ ۵.۱۵ جوانه‌زنی ناهمگن، ۵۰۸ ۶.۱۱ سینتیک رشد، ۵۱۲ ۷.۱۵ رشد تحت کنترل نفوذ، ۵۱۴ ۸.۱۵ تداخل ذرات رسوب در حال رشد، ۵۱۶ ۹.۱۵ رشد تحت کنترل فصل مشترک، ۵۲۰ ۱۰.۱۵ تبدیلیایی که در هنگام گرمایش روی می‌دهند، ۵۲۲ ۱۱.۱۵ انحلال رسوب، ۵۲۳ مسائل، ۵۲۶ منابع، ۵۲۸	

فصل ۱۶	رسوب سختی	۵۲۹
	۱.۱۶ اهمیت منحنی انحلال، ۵۲۹ ۲.۱۶ عملیات گرمایی محلولی، ۵۳۱ ۳.۱۶ عملیات پیرسازی، ۵۳۱ ۴.۱۶ تشکیل رسوب، ۵۳۵ ۵.۱۶ پیرسازی آلیاژهای Al-Cu در دماهای بالاتر از ۱۰۰°C (۲۱۲K)، ۵۳۷ ۶.۱۶ ترتیب رسوب‌گذاری در سایر آلیاژهای آلومینیم، ۵۴۰ ۷.۱۶ مقایسه جوانه‌زنی همگن و ناهمگن رسوبها، ۵۴۲ ۸.۱۶ رسوب‌گذاری بین فازی، ۵۴۳ ۹.۱۶ نظریه‌های سختکاری، ۵۴۶ ۱۰.۱۶ سایر عامل‌های مؤثر در رسوب‌سختی، ۵۴۸ مسائل، ۵۵۰ منابع، ۵۵۱	

فصل ۱۷

دوقلویی تغییر شکل و واکنشهای مارتنزیتی

۵۵۳

۱.۱۷ دوقلویی تغییر شکل، ۵۵۳ ۲.۱۷ نظریه بلورشناختی صوری دوقلویی، ۵۵۶ ۳.۱۷ مرزهای دوقلویی، ۵۶۲ ۴.۱۷ رشد دوقلویی، ۵۶۳ ۵.۱۷ جذب برش دوقلویی، ۵۶۵ ۶.۱۷ اهمیت دوقلویی در تغییر شکل مومسان، ۵۶۷ ۷.۱۷ اثر تشکیل دوقلویی بر منحنیهای تنش- کرنش فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر، ۵۶۷ ۸.۱۷ مارتنزیت، ۵۶۹ ۹.۱۷ واپیچش بین، ۵۷۱ ۱۰.۱۷ تبدیل مارتنزیتی در آلیاژ ایندیم-تالیم، ۵۷۲ ۱۱.۱۷ برگشت پذیری تبدیل مارتنزیتی، ۵۷۴ ۱۲.۱۷ تبدیل وابسته به دما، ۵۷۴ ۱۳.۱۷ نظریه پدید شناختی بلورشناسی تشکیل مارتنزیت، ۵۷۵ ۱۴.۱۷ ماهیت گنگ صفحه نهشت، ۵۸۱ ۱۵.۱۷ تبدیل مارتنزیتی در آلیاژ آهن- نیکل، ۵۸۲ ۱۶.۱۷ تشکیل تکدماهای مارتنزیت، ۵۸۴ ۱۷.۱۷ پایداری سازی، ۵۸۴ ۱۸.۱۷ جوامه زنی ورقه های مارتنزیت، ۵۸۵ ۱۹.۱۷ رشد ورقه های مارتنزیت، ۵۸۶ ۲۰.۱۷ اثر تنش، ۵۸۶ ۲۱.۱۷ اثر تغییر شکل بر سار، ۵۸۷ ۲۲.۱۷ تبدیلیهای مارتنزیتی گرما- مومسان، ۵۸۷ ۲۳.۱۷ تغییر شکل کشسان آلیاژهای گ- کش، ن، ۵۹۰ ۲۴.۱۷ مارتنزیت حاصل از تنش، ۵۹۰ ۲۵.۱۷ اثر حافظه شکلی، ۵۹۱ مسائل، ۵۹۲ منابع، ۵۹۴

فصل ۱۸

سیستم آلیاژ آهن- کربن

۵۹۷

۱.۱۸ نمودار آهن- کربن، ۵۹۷ ۲.۱۸ تبدیلیهای پرواوتکتویدی آستنیت، ۶۰۰ ۳.۱۸ تبدیل آستنیت به پرلیت، ۶۰۱ ۴.۱۸ رشد پرلیت، ۶۰۷ ۵.۱۸ اثر دما بر تبدیل پرلیت، ۶۰۸ ۶.۱۸ رشد واداشته پرلیت، ۶۱۰ ۷.۱۸ اثر عناصر آلیاژی بر رشد پرلیت، ۶۱۳ ۸.۱۸ آهنگ جوامه زنی پرلیت، ۶۱۶ ۹.۱۸ منحنیهای زمان- دما- تبدیل، ۶۱۸ ۱۰.۱۸ واکنش پیچیده، ۶۱۸ ۱۱.۱۸ نمودار کامل T-T برای فولاد اوتکتویدی، ۶۲۶ ۱۲.۱۸ فولادهای هیپواوتکتویدی که آهسته سرد شده اند، ۶۲۸ ۱۳.۱۸ فولادهای هیپراوتکتویدی که آهسته سرد شده اند، ۶۳۰ ۱۴.۱۸ نمودارهای تبدیل تکدماهای فولادهای غیروتکتویدی، ۶۳۱ مسائل، ۶۳۵ منابع، ۶۳۷

فصل ۱۹

سختکاری فولاد

۶۳۹

۱.۱۹ تبدیلیهای حاصل از سرمایش پیوسته، ۶۳۹ ۲.۱۹ سختی پذیری، ۶۴۲ ۳.۱۹ متغیرهای تعیین کننده سختی پذیری فولاد، ۶۵۰ ۴.۱۹ اندازه دانه آستنیت، ۶۵۰ ۵.۱۹ اثر اندازه دانه آستنیت بر سختی پذیری، ۶۵۱ ۶.۱۹ تأثیر مقدار کربن در سختی پذیری، ۶۵۲ ۷.۱۹ تأثیر عناصر آلیاژی در سختی پذیری، ۶۵۳ ۸.۱۹ اهمیت سختی پذیری، ۶۵۸ ۹.۱۹ تبدیل مارتنزیتی در فولاد، ۶۵۹ ۱۰.۱۹ سختی مارتنزیت آهن- کربن، ۶۶۴ ۱۱.۱۹ تغییرات ابعادی ناشی از تشکیل مارتنزیت، ۶۶۸ ۱۲.۱۹ ترکهای آبدی، ۶۶۹ ۱۳.۱۹ بازپخت، ۶۷۱ ۱۴.۱۹ بازپخت فولاد کم کربن، ۶۷۶ ۱۵.۱۹ سمنتیت کروی، ۶۷۹ ۱۶.۱۹ اثر بازپخت بر خواص فیزیکی، ۶۸۱ ۱۷.۱۹ رابطه همبستگی بین زمان و دما در بازپخت، ۶۸۴ ۱۸.۱۹ سختکاری ثانوی، ۶۸۴ مسائل، ۶۸۶ منابع، ۶۸۷

فصل ۲۰

چند سیستم غیر آلیاژی آهنی

۶۸۹

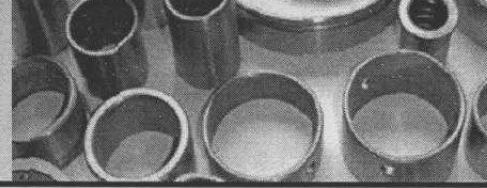
۱.۲۰ مس خالص تجارتي، ۶۸۹ ۲.۲۰ آلیاژهای مس، ۶۹۲ ۳.۲۰ آلیاژهای مس- بریلیم، ۶۹۶ ۴.۲۰ سایر آلیاژهای مس، ۶۹۷ ۵.۲۰ آلیاژهای آلومینیم، ۶۹۸ ۶.۲۰ آلیاژهای آلومینیم- لیتیم، ۶۹۸ ۷.۲۰ آلیاژهای

تیتانیم، ۷۰۶ ۸۰۲۰ دسته‌بندی آلیاژهای تیتانیم، ۷۰۸ ۹۰۲۰ آلیاژهای آل‌فا، ۷۱۵ ۱۰۰۲۰ آلیاژهای بتا، ۷۱۶ ۱۱۰۲۰ آلیاژهای آل‌فا-بتا، ۷۱۶ ۱۲۰۲۰ آبرآلیاژها، ۷۱۸ ۱۳۰۲۰ استحکام خزشی، ۷۲۱ مسائل، ۷۲۲ منابع، ۷۲۳

۷۲۵	شکست فلزات	فصل ۲۱
۷۲۷	۱.۲۱ شکست از طریق لغزش آسان، ۷۲۵ ۲.۲۱ گسیختگی از طریق باریک‌شدگی (لغزش مضاعف)، ۷۲۷	
۷۳۰	۳.۲۱ اثر ایجاد دوقلوبی، ۷۲۸ ۴.۲۱ شکافت، ۷۲۹ ۵.۲۱ جوانه‌زنی ترکهای شکافتی، ۷۳۰ ۶.۲۱ گسترش ترکهای شکافتی، ۷۳۲ ۷.۲۱ اثر مرز دانه‌ها، ۷۳۶ ۸.۲۱ اثر حالت تنش، ۷۳۸ ۹.۲۱ شکست نرم، ۷۳۹	
۷۴۷	۱۰.۲۱ شکست تُرد بین‌بلوری، ۷۴۵ ۱۱.۲۱ تُردی آبی‌رنگ، ۷۴۵ ۱۲.۲۱ شکست خستگی، ۷۴۷	
۷۴۸	۱۳.۲۱ ماهیت ماکروسکوپی شکست خستگی، ۷۴۷ ۱۴.۲۱ آزمون خستگی با تیر چرخان، ۷۴۸	
۷۵۰	۱۵.۲۱ پارامترهای تنش متناوب، ۷۵۰ ۱۶.۲۱ جنبه‌های میکروسکوپی شکست خستگی، ۷۵۳ ۱۷.۲۱ رشد ترک خستگی، ۷۵۸ ۱۸.۲۱ اثر آخالهای غیرفلزی، ۷۶۰ ۱۹.۲۱ اثر ریزساختار فولاد بر خستگی، ۷۶۱	
۷۶۲	۲۰.۲۱ خستگی کم‌چرخه، ۷۶۲ ۲۱.۲۱ معادله کافین-مانسون، ۷۶۵ ۲۲.۲۱ بعضی جنبه‌های عملی خستگی، ۷۶۷ مسائل، ۷۶۸ منابع، ۷۶۹	

۷۷۱	ضمائم
۷۷۱	(الف) زوایای بین صفحه‌های بلورشناختی در سیستم مکعبی (برحسب درجه)، ۷۷۱
۷۷۳	(ب) زوایای بین صفحه‌های بلورشناختی در سیستم هگزاگونال، ۷۷۳
۷۷۴	(ج) اندیسه‌های صفحه‌های بازتابی در ساختارهای مکعبی، ۷۷۴
۷۷۵	(د) ضرایب تبدیل و ثابتها، ۷۷۵
۷۷۶	(ه) عناصر دوقلوبی در چند شیوه مهم ایجاد دوقلوبی، ۷۷۶
۷۷۷	(و) مقادیر منتخب انرژی نقص انباشت ذاتی γ_i ، انرژی مرز دبلوی γ_T ، انرژی مرز دانه γ_G و انرژی سطحی بخار-بلور γ برای چند ماده مختلف برحسب آرگ بر سانتی‌گراد، ۷۷۶

۷۷۷	فهرست نمادهای مهم
۷۷۹	فهرست نمادهای حروف یونانی
۷۸۱	واژه‌نامه
۷۸۵	نمایه



مقدمه

ویراست اول در سالهای اخیر کتابهای درسی متالورژی فیزیکی مقدماتی در پی دست یافتن به سه هدف بوده‌اند: تشریح پدیده‌های متالورژیکی، شناسایی ترکیب و خواص آلیاژهای تجاری، و آموزش اصول تولید فلزات. چون هر سه موضوع معمولاً در قالب یک درس در یک یا دو ترم عرضه می‌شود، هیچ یک از آنها به‌خوبی و به‌طور کامل تدریس و آموخته نمی‌شود. پرسشی که طبیعتاً مطرح می‌شود این است که کدام یک از این سه موضوع برای دانشجوی رشته مهندسی اهمیت بیشتری دارد. در این خصوص باید گفت که تولید فلزات و خواص آلیاژها زمینه‌هایی هستند که ذاتاً ماهیت واقعی دارند و مجموعه‌ای از واقعیات مختلف‌اند. می‌توان استدلال‌های محکمی برای گنجاندن این حوزه‌ها ارائه کرد، اما باز هم باید اذعان داشت که صرف وقت برای فراگرفتن انبوهی از واقعیات آشکارا نامربوط به یکدیگر، غالباً در حکم تلف کردن وقت است. اطلاعاتی از این نوع به آسانی از دانش می‌شود و مهم‌تر اینکه آلیاژها و روشهایی که امروز متداول‌اند، معلوم نیست در آینده هم متداول باشند. از طرف دیگر، رهیافت نظری به متالورژی فیزیکی بر این باور استوار است که خواص فلزات و آلیاژها با استفاده از قوانین فیزیکی ساده تعیین می‌شود و ضرورتی ندارد که هر آلیاژ را به صورت جداگانه بررسی کرد. پیشرفت‌های اخیر در فیزیک و شیمی فلزات بسیار فراتر از یافتن روابط مورد نیاز بین این خواص بوده است.

این کتاب برای تدریس متالورژی فیزیکی مقدماتی (در یک یا دو ترم) نوشته شده و برای همه دانشجویان مهندسی در سالهای سوم و چهارم طراحی شده است. هنگامی که از این کتاب برای تدریس در یک ترم استفاده می‌شود، تعدادی از فصلهای آن را، مانند فصلهای ۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۱۹ که با موضوعات پیشرفته سروکار دارند، می‌توان به‌طور کامل حذف کرد. پیش از این در عبارت‌اند از فیزیک دانشگاهی، شیمی دانشگاهی، و مقاومت مصالح. گذراندن درس ترمودینامیک، به‌ویژه شیمی فیزیک نیز مطلوب است، اما ضروری نیست. رهیافت این کتاب عمدتاً نظری است، اما همه مباحث عمده رفتار فلز که معمولاً در هر کتاب درسی متالورژی فیزیک یافت می‌شود، در این کتاب نیز گنجانده شده است. از مکانیک آماری و نظریه نابجاییها برای تشریح تغییرشکل مومسان و آثار گرمایی در فلزات استفاده شده است. تهیجاییها را با تفصیل بیشتری بررسی کرده‌ایم، زیرا می‌توان با مطالعه آنها مفهوم انرژی فعال‌سازی در فلزات را بهتر درک کرد. به دوقلویی تغییرشکل توجه خاصی نشان داده‌ایم، زیرا نه تنها اهمیت این نوع تغییرشکل روبه‌افزایش است، بلکه نظریه دوقلویی مستقیماً به موضوعهای مهمی مانند تبدیلهای مارتنزیتی منتهی می‌شود. به‌طور کلی، عقیده داریم که برداشت ما در این کتاب با گرایشهای فعلی به‌سوی رهیافتی بنیادی‌تر در تحصیل مهندسی هماهنگ است.

ویراست دوم طرح اصلی و اصول حاکم بر ویراست اول، در این ویراست نیز تداوم یافته است. تغییرات مهم ویراست جدید بیشتر نتیجه پیشنهادها و توصیه‌های همکاران ما در دانشگاههای مختلف است. یکی از نتایج این پیشنهادها، گنجاندن فصلی در باب سینتیک جوانه‌زنی و رشد است.

در پی درخواست برای گنجاندن مطالب جاافتاده، یا موضوعاتی که در ویراست اول به طور شایسته بررسی نشده‌اند، حجم ویراست دوم تقریباً ده درصد افزایش یافته است. به طور کلی، مطالبی که به این کتاب افزوده‌ایم به دو دسته تقسیم می‌شوند. نخست موضوعاتی که به تازگی در حوزهٔ متالورژی اهمیت یافته‌اند و دوم موضوعات کاملاً جاافتاده‌ای که در ویراست نخست به آنها نپرداختیم. ولی پس از استفاده از این کتاب برای تدریس، نیاز به ارائهٔ آنها در قالبی منسجم و یکسان را حس کردیم. در میان موضوعات دستهٔ نخست می‌توان به بررسی با میکروسکوپ الکترونی، مکانیک شکست، آبرسانایی، آبرومسانی، بازیابی دینامیکی، کرنش پیری دینامیکی، انتقال برقی، مهاجرت گرمایی، و نابجاییهای قاصد اشاره کرد. فصل جدیدی در باب سینتیک جوانه‌زنی و رشد و موضوعاتی مانند مغناطیس، نظریهٔ منطقه‌ای فازهای آلیاژی، پنج درجهٔ آزادی هر مرز دانه، قانون فازها، تنش و کرنش حقیقی، مغزه‌بندی و همگن‌سازی قطعات ریختگی، کارسختی و نفوذ در سیستمهای ناهم‌ریخت به دستهٔ دوم تعلق دارند.

محداه مسائل نسبت به ویراست اول افزایش چشمگیری یافته است تا این کتاب با گرایش فعلی در مهندسی، که همانا تأکید بیشتر بر حل مسئله است، هماهنگ شود. مسئله‌های این کتاب را با دو هدف طرح کرده‌ایم: تشویق به شکاتی که در متن درس آمده است و آشنا کردن دانشجو با مطالب و مفاهیمی که مستقیماً در این کتاب سراج نشده است.

ویراست سوم اصول اساسی حاکم بر ویراست اول در این ویراست نیز تداوم یافته است، اما در ویراست سوم اصلاحات چشمگیری نیز انجام داده‌ایم. در این ویراست سیستم بین‌المللی یکاها (SI) در سرتاسر متن و مسئله‌ها به کار رفته است. فصلی به مبحث مهم فلزات غیرآهنی اختصاص یافته است. مکانیک شکست را با عمق و گستردگی بیشتر، در فصل مستقل، ارائه کرده‌ایم. مطالعهٔ انجماد گسترش یافته و روزآمد شده است و فلزات مذاب، همچنین معادلهٔ شیل و انجماد اوتکتیک را نیز در آن گنجانده‌ایم. بخش مربوط به میکروسکوپ الکترونی عبوری گسترش یافته و بخش فعلی در مورد میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز اضافه شده است. در ویراست سوم، موضوع مرز دانه فصلی مستقل را به خود اختصاص داده است که شامل مرزهای منطبق بر هم نیز می‌شود. بحث مربوط به نابجاییها را نیز سازمان داده شده و از انسجام بیشتری برخوردار شده است. در فصل ۴ به جنبه‌های هندسی نابجاییها پرداخته‌ایم. در فصل ۵ رابطهٔ نابجاییها با تغییرشکل مومسان را بررسی کرده‌ایم. نمودارهای فاز ارائه شده در کتاب را روزآمد کرده‌ایم. در فصلهای مربوط به فولاد، تبدیلیهای آستنیت به پرلیت، بینیت و مارتنزیت، و بازپخت مارتنزیت تجدید نظر شده است. در فصل مربوط به دوقلویی تغییرشکل و واکنشهای مارتنزیتی، بر پدیده‌های دوقلویی تأکید کمتری شده، اما بررسی نقش دوقلویی در تغییرشکل فلزات پرلور اضافه شده است. در بخش مارتنزیت، تغییرشکل گرماکشسان و آثار حافظهٔ شکلی را نیز گنجانده‌ایم.

ویراست چهارم تفکر اصلی حاکم بر ویراست‌های قبلی، در ویراست چهارم نیز تداوم یافته است. متن درس همچنان قالب ساده و روان خود را حفظ کرده است تا دانشجو بتواند با موفقیت هرچه بیشتر اطلاعات لازم را دریافت کند. مراجع جدیدی به کتاب افزوده‌ایم تا مراجع قبلی تکمیل شوند. موتورهای جستجو محدود

به نوشته‌های متأخرند و غالباً از شناسایی و ارج نهادن به پیشگامان این حوزه غفلت می‌شود. برای افزایش تمرکز روی متن، فصل‌های ۲۲ و ۲۳ حذف شده‌اند و بخشهای مهم آن‌ها در فصلهای دیگر گنجانده شده است. به این ترتیب این کتاب برای تدریس به دانشجویان رشته مواد در یک یا دو نیمسال، مناسب‌تر شده است. شکل‌های جدیدی به کتاب افزوده‌ایم تا به درک مطلب کمک کنند. بخشهایی در مورد ساختارهای نانو نیز در کتاب گنجانده‌ایم تا کاربرد اصول متالورژی فیزیکی در فناوری نانو را نیز نشان دهیم؛ اما به دانشجویان توصیه می‌کنیم که مستقلاً به مطالعه کامل‌تر این حوزه بپردازند.

رابرت ای. رید هیل

رضا عباسچیان

لارا عباسچیان