

# اصول متالورژی فیزیکی

رابرت ای رید هیل  
رضا عباسچیان

مهندس محمدرضا افضلی



نوپردازان



مؤسسه انتشارات علمی  
دانشگاه صنعتی شریف



نوپردازان



مؤسسه انتشارات علمی  
دانشگاه صنعتی شریف

*Physical Metallurgy Principles*

by: Reed-Hill, Robert E.

PWS Publishing Company, 1994

اصول متالورژی فیزیکی

تألیف رابرت ای ریدهیل، رضا عباسچیان

ترجمه محمدرضا افضلی

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف - انتشارات نوپردازان

چاپ اول: ۱۳۸۶

شمارگان: ۳۰۰۰

بها: با جلد شومیز ۱۳۰۰۰۰ ریال، با جلد گالینگور ۱۵۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف و انتشارات نوپردازان محفوظ است.

ISBN 964-7982-68-2

شابک ۹۶۴-۷۹۸۲-۶۸-۲

سرشناسه: ریدهیل، رابرت. Reed-Hill, Robert E.

عنوان و ویدئو: اصول متالورژی فیزیکی / رابرت ریدهیل، رضا عباسچیان؛ [مترجم] محمدرضا افضلی.

مشخصات نشر: تهران، دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۸۶.

مشخصات ظاهری: بیست و شش [۱۱۳۴] ص.

شابک: ISBN 964-7982-68-2

یادداشت: فیفا.

یادداشت: عنوان اصلی: Physical Metallurgy Principles

یادداشت: کتاب حاضر قبلاً با ترجمه محمد تقی صالحی، حسن عبدالله پورو فرهاد حسینی نسب توسط دانشگاه علم و صنعت

ایران در سال ۱۳۸۲ منتشر شده است.

عنوان دیگر: متالورژی فیزیکی.

موضوع: متالورژی فیزیکی.

شناسه افزوده: عباسچیان، رضا

شناسه افزوده: Abbaschian, Reza

شناسه افزوده: افضلی، محمدرضا، ۱۳۳۱ - مترجم.

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۸۵ ۶۸۷/۶۸۷ TN۶۹۰

رده‌بندی دیویی: ۶۶۹/۹۶

شماره کتابخانه ملی ایران: ۳۹۶۴۶-۸۵

نوپردازان: ۶۶۲۱۱۱۷۳ - ۶۶۲۹۲۲۰۹

دفتر مرکزی انتشارات دانشگاه: ۶۶۰۱۳۱۲۹ و ۶۶۱۶۴۰۷۰

کتابیران (دفتر فروش): ۶۶۴۸۳۵۴۲ - ۶۶۴۸۳۳۲۵

دفتر فروش: ۶۶۴۰۵۱۳۲ - ۶۶۹۶۷۸۹۶

بسم الله الرحمن الرحيم

## فهرست مطالب

| پیشگفتار                                                    | یست و سه |
|-------------------------------------------------------------|----------|
| ۱ ساختار فلزات                                              | ۱        |
| ۱-۱ ساختار فلزات                                            | ۱        |
| ۲-۱ آماده سازی نمونه متالوگرافی                             | ۲        |
| ۳-۱ ساختار بلوری فلزات                                      | ۶        |
| ۴-۱ سلول واحد                                               | ۶        |
| ۵-۱ ساختار مکعبی مرکزپر                                     | ۷        |
| ۶-۱ عدد همسایگی شبکه مکعبی مرکزپر                           | ۸        |
| ۷-۱ شبکه مکعبی با وجوه مرکزپر                               | ۸        |
| ۸-۱ سلول واحد شبکه هگزاگونال فشرده                          | ۱۰       |
| ۹-۱ مقایسه ساختارهای مکعبی با وجوه مرکزپر و هگزاگونال فشرده | ۱۱       |
| ۱۰-۱ عدد همسایگی سیستمهای فشرده                             | ۱۲       |
| ۱۱-۱ نامسانگردی                                             | ۱۳       |
| ۱۲-۱ بافتها یا جهتگیریهای ترجیحی                            | ۱۴       |
| ۱۳-۱ اندیسههای میلر                                         | ۱۵       |
| ۱۴-۱ ساختار بلوری فلزات                                     | ۲۲       |
| ۱۵-۱ تصویر استرنوگرافیک                                     | ۲۲       |
| ۱۶-۱ جهتهای واقع در یک صفحه                                 | ۲۵       |
| ۱۷-۱ صفحه های یک منطقه                                      | ۲۵       |
| ۱۸-۱ شبکه وولف                                              | ۲۶       |
| ۱۹-۱ تصویرهای استاندارد                                     | ۳۱       |
| ۲۰-۱ مثلث استرنوگرافیک استاندارد برای بلورهای مکعبی         | ۳۳       |
| مسائل                                                       | ۳۶       |

## ۲ روشهای تحلیلی

- ۳۹ ۱-۲ قانون براگ
- ۴۰ ۲-۲ فنون لاوه
- ۴۴ ۳-۲ روش بلور چرخان
- ۴۷ ۴-۲ روش دیفی - شرر یا روش پودر
- ۴۸ ۵-۲ پراش سنچ پرتو ایکس
- ۵۲ ۶-۲ میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۵۳ ۷-۲ برهمکنش بین الکترونها در باریکه الکترون و نمونه فلزی
- ۶۱ ۸-۲ پراکندگی کشسان
- ۶۱ ۹-۲ پراکندگی ناکشسان
- ۶۲ ۱۰-۲ طیف الکترونی
- ۶۳ ۱۱-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۶۴ ۱۲-۲ تباین موضع شناختی
- ۶۶ ۱۳-۲ اندازه جزء تصویر
- ۷۰ ۱۴-۲ عمق کانون
- ۷۱ ۱۵-۲ ریز تجزیه نمونه ها
- ۷۲ ۱۶-۲ ریز تجزیه پرتو ایکس با کاوه الکترونی
- ۷۳ ۱۷-۲ پرتو ایکس مشخصه
- ۷۳ ۱۸-۲ طیف نمایی الکترون اوژه (AES)
- ۷۶ ۱۹-۲ میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی (STEM)
- ۷۸ مسائل
- ۷۹

## ۳ پیوند بلوری

- ۸۱ ۱-۳ انرژی داخلی بلور
- ۸۱ ۲-۳ بلورهای یونی
- ۸۲ ۳-۳ نظریه بورن برای بلورهای یونی
- ۸۳

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۸۹  | ۴-۳ بلورهای وان دروالس                            |
| ۸۹  | ۵-۳ دوقطیها                                       |
| ۹۱  | ۶-۳ گازهای بی اثر                                 |
| ۹۱  | ۷-۳ دوقطیهای القایی                               |
| ۹۳  | ۸-۳ انرژی شبکه جامد تشکیل شده از گاز بی اثر       |
| ۹۴  | ۹-۳ بسامد دبی                                     |
| ۹۵  | ۱۰-۳ انرژی نقطه صفر                               |
| ۹۷  | ۱۱-۳ جمله‌های دوقطی - چهارقطی و چهارقطی - چهارقطی |
| ۹۸  | ۱۲-۳ بلورهای مولکولی                              |
| ۹۸  | ۱۳-۳ اصلاحات نظریه بورن برای بلورهای یونی         |
| ۹۹  | ۱۴-۳ پیوندهای کووالانسی و فلزی                    |
| ۱۰۴ | مسائل                                             |

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۱۰۷ | ۴ آشنایی با نابجاییها                                        |
| ۱۰۷ | ۱-۴ مغایرت بین تنش تسلیم نظری و تجربی بلورها                 |
| ۱۱۰ | ۲-۴ نابجاییها                                                |
| ۱۲۰ | ۳-۴ بردار برگرز                                              |
| ۱۲۳ | ۴-۴ نمادگذاری برداری نابجاییها                               |
| ۱۲۴ | ۵-۴ نابجاییها در شبکه مکعبی با وجوه مرکزپر                   |
| ۱۲۹ | ۶-۴ نقایص انباشت داخلی و خارجی در فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر |
| ۱۳۰ | ۷-۴ نابجاییهای گسترده در فلزات همگراگونال                    |
| ۱۳۱ | ۸-۴ صعود نابجاییهای لبه‌ای                                   |
| ۱۳۳ | ۹-۴ تقاطع نابجاییها                                          |
| ۱۳۷ | ۱۰-۴ میدان تنش نابجایی پیچی                                  |
| ۱۳۸ | ۱۱-۴ میدان تنش نابجایی لبه‌ای                                |
| ۱۴۱ | ۱۲-۴ نیروی وارد بر نابجایی                                   |

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| ۱۴۵ | ۱۳-۴ انرژی کرنش نابجایی پیچی   |
| ۱۴۶ | ۱۴-۴ انرژی کرنش نابجایی لپه‌ای |
| ۱۴۷ | مسائل                          |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۱۵۱ | ۵ نابجاییها و تغییر شکل مومسان                                           |
| ۱۵۱ | ۱-۵ چشمه فراتک - رید                                                     |
| ۱۵۳ | ۲-۵ جوانه زنی نابجاییها                                                  |
| ۱۵۷ | ۳-۵ سُریدن در امتداد خم                                                  |
| ۱۶۰ | ۴-۵ لغزش چرخشی                                                           |
| ۱۶۳ | ۵-۵ صفحه‌های لغزش و جهت‌های لغزش                                         |
| ۱۶۴ | ۶-۵ سیستم‌های لغزش                                                       |
| ۱۶۵ | ۷-۵ مؤلفه تنش برشی بحرانی                                                |
| ۱۶۹ | ۸-۵ لغزش در سیستم‌های لغزش هم‌ارز                                        |
| ۱۶۹ | ۹-۵ چگالی نابجایی                                                        |
| ۱۷۰ | ۱۰-۵ سیستم‌های لغزش در شبکه‌های بلوری مختلف                              |
| ۱۷۷ | ۱۱-۵ لغزش مقاطع                                                          |
| ۱۷۹ | ۱۲-۵ نوارهای لغزش                                                        |
| ۱۷۹ | ۱۳-۵ لغزش مقاطع مضاعف                                                    |
| ۱۸۲ | ۱۴-۵ نابجاییهای گسترده و لغزش مقاطع                                      |
| ۱۸۳ | ۱۵-۵ چرخش ساختار بلوری در حین تغییر شکل کششی و فشاری                     |
| ۱۸۶ | ۱۶-۵ نماد گذاری سیستم‌های لغزش در تغییر شکل بلورهای مکعبی با وجوه مرکزپر |
| ۱۸۹ | ۱۷-۵ کار سختی                                                            |
| ۱۹۱ | ۱۸-۵ معیار کُنسیدره                                                      |
| ۱۹۲ | ۱۹-۵ رابطه بین چگالی نابجایی و تنش                                       |
| ۱۹۴ | ۲۰-۵ رابطه نیلور                                                         |
| ۱۹۴ | ۲۱-۵ سرعت نابجایی                                                        |

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| ۱۹۶ | ۲۲-۵ ماهیت ناپیوسته حرکت نابجایی |
| ۱۹۷ | ۲۳-۵ معادله اوروان               |
| ۱۹۹ | مسائل                            |

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| ۲۰۳ | ۶ آشنایی با مرز دانه                  |
| ۲۰۳ | ۱-۶ مرز دانه                          |
| ۲۰۴ | ۲-۶ مدل نابجایی مرز زاویه تند         |
| ۲۰۷ | ۳-۶ پنج درجه آزادی مرز دانه           |
| ۲۰۸ | ۴-۶ میدان تنش مرز دانه                |
| ۲۱۱ | ۵-۶ انرژی مرز دانه                    |
| ۲۱۴ | ۶-۶ ساختارهای نابجایی کم انرژی (LEDS) |
| ۲۱۹ | ۷-۶ بازیابی دینامیکی                  |
| ۲۲۲ | ۸-۶ کشش سطحی مرز دانه                 |
| ۲۲۵ | ۹-۶ مرزهای بین بلورهای فازهای مختلف   |
| ۲۲۹ | ۱۰-۶ اندازه دانه                      |
| ۲۳۱ | ۱۱-۶ اثر مرزهای دانه بر خواص مکانیکی  |
| ۲۳۴ | ۱۲-۶ مرز مکانهای انطباق               |
| ۲۳۵ | ۱۳-۶ چگالی مکانهای انطباق             |
| ۲۳۶ | ۱۴-۶ روابط رانگاناتان                 |
| ۲۳۷ | ۱۵-۶ نمونه‌هایی از مرزهای پیچشی       |
| ۲۴۰ | ۱۶-۶ مرزهای کج                        |
| ۲۴۳ | مسائل                                 |

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| ۲۴۵ | ۷ تهیجاییها             |
| ۲۴۵ | ۱-۷ رفتار فلزات در گرما |
| ۲۴۷ | ۲-۷ انرژی داخلی         |
| ۲۴۷ | ۳-۷ آنتروپی             |

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| ۲۴۸ | ۴-۷ واکنشهای خودبه خود            |
| ۲۴۹ | ۵-۷ انرژی آزاد گیس                |
| ۲۵۲ | ۶-۷ تعریف آنتروپی در مکانیک آماری |
| ۲۵۸ | ۷-۷ تهیجایها                      |
| ۲۶۴ | ۸-۷ حرکت تهیجای                   |
| ۲۶۷ | ۹-۷ اتمهای بین نشین و دوتهیجایی   |
| ۲۷۱ | مسائل                             |

## ۸ تابکاری

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۲۷۵ | ۱-۸ انرژی ذخیره شده بر اثر کار سرد           |
| ۲۷۵ | ۲-۸ رابطه انرژی آزاد و انرژی کرنش            |
| ۲۷۷ | ۳-۸ رهایی انرژی ذخیره شده                    |
| ۲۷۷ | ۴-۸ بازیابی                                  |
| ۲۷۹ | ۵-۸ بازیابی در تک بلورها                     |
| ۲۸۱ | ۶-۸ چندگوش شدن                               |
| ۲۸۳ | ۷-۸ حرکت نابجایی در چندگوش شدن               |
| ۲۸۶ | ۸-۸ فرایندهای بازیابی در دماهای بالا و پایین |
| ۲۹۱ | ۹-۸ تبلور مجدد                               |
| ۲۹۱ | ۱۰-۸ اثر زمان و دما بر تبلور مجدد            |
| ۲۹۲ | ۱۱-۸ دمای تبلور مجدد                         |
| ۲۹۴ | ۱۲-۸ اثر کرنش بر تبلور مجدد                  |
| ۲۹۵ | ۱۳-۸ آهنگ جوانه زنی و آهنگ رشد جوانه ها      |
| ۲۹۶ | ۱۴-۸ تشکیل جوانه                             |
| ۲۹۷ | ۱۵-۸ نیروی محرک تبلور مجدد                   |
| ۳۰۰ | ۱۶-۸ اندازه دانه تبلور مجدد یافته            |
| ۳۰۰ | ۱۷-۸ سایر متغیرهای تبلور مجدد                |
| ۳۰۳ |                                              |

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۳۰۳ | ۱۸-۸ خلوص فلز                      |
| ۳۰۴ | ۱۹-۸ اندازه دانه اولیه             |
| ۳۰۵ | ۲۰-۸ رشد دانه                      |
| ۳۰۸ | ۲۱-۸ به هم پیوستن هندسی            |
| ۳۱۰ | ۲۲-۸ تغییرات سه بعدی در هندسه دانه |
| ۳۱۱ | ۲۳-۸ قانون رشد دانه                |
| ۳۱۶ | ۲۴-۸ اتمهای ناخالصی در محلول جامد  |
| ۳۱۷ | ۲۵-۸ ناخالصیها به صورت آخال        |
| ۳۲۰ | ۲۶-۸ آثار سطح آزاد                 |
| ۳۲۲ | ۲۷-۸ اندازه دانه حدی               |
| ۳۲۴ | ۲۸-۸ جهتگیری ترجیحی                |
| ۳۲۴ | ۲۹-۸ تبلور مجدد ثانوی              |
| ۳۲۵ | ۳۰-۸ مهاجرت مرز دانه بر اثر کرنش   |
| ۳۲۶ | مسائل                              |

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۳۳۱ | ۹ محلولهای جامد                                         |
| ۳۳۱ | ۱-۹ محلولهای جامد                                       |
| ۳۳۱ | ۲-۹ فازهای میانی                                        |
| ۳۳۲ | ۳-۹ محلولهای جامد بین نشینی                             |
| ۳۳۳ | ۴-۹ انحلال پذیری کربن در آهن مکعبی مرکزپر               |
| ۳۳۸ | ۵-۹ محلولهای جامد جانشینی و قواعد هیوم-رایتری           |
| ۳۴۰ | ۶-۹ برهمکنش نابجاییها و اتمهای حل شده                   |
| ۳۴۰ | ۷-۹ جَوَهای نابجایی                                     |
| ۳۴۲ | ۸-۹ تشکیل جَوَ نابجایی                                  |
| ۳۴۴ | ۹-۹ تعیین A                                             |
| ۳۴۴ | ۱۰-۹ نیروی مقاوم جَوَ نابجایی در برابر نابجاییهای متحرک |

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۳۴۷ | ۹-۱۱ نقطه تسلیم تیز و نوارهای لودرز        |
| ۳۴۹ | ۹-۱۲ نظریه نقطه تسلیم تیز                  |
| ۳۵۱ | ۹-۱۳ کرنش پیری                             |
| ۳۵۳ | ۹-۱۴ نظریه کنترل - بیلپی در مورد کرنش پیری |
| ۳۵۸ | ۹-۱۵ کرنش پیری دینامیکی                    |
| ۳۶۳ | مسائل                                      |

|     |                                               |
|-----|-----------------------------------------------|
| ۳۶۷ | ۱۰ فازها                                      |
| ۳۶۷ | ۱۰-۱ تعریفهای پایه                            |
| ۳۶۹ | ۱۰-۲ ماهیت فیزیکی مخلوطهای فازي               |
| ۳۷۰ | ۱۰-۳ ترمودینامیک محلولها                      |
| ۳۷۳ | ۱۰-۴ تعادل بین دو فاز                         |
| ۳۷۵ | ۱۰-۵ تعداد فازهای یک سیستم آلیاژی             |
| ۳۸۶ | ۱۰-۶ سیستمهای دوجزئی دوفاز                    |
| ۳۸۸ | ۱۰-۷ تعیین انرژی آزاد مولی جزئی به روش ترسیمی |
| ۳۹۱ | ۱۰-۸ سیستمهای دوجزئی با سه فاز در حال تعادل   |
| ۳۹۲ | ۱۰-۹ قانون فاز                                |
| ۳۹۴ | ۱۰-۱۰ سیستمهای سه تایی                        |
| ۳۹۵ | مسائل                                         |

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| ۳۹۹ | ۱۱ نمودارهای فاز دوتایی                        |
| ۳۹۹ | ۱۱-۱ نمودارهای فاز                             |
| ۴۰۰ | ۱۱-۲ سیستمهای آلیاژی یکریخت                    |
| ۴۰۱ | ۱۱-۳ قاعده اهرم                                |
| ۴۰۵ | ۱۱-۴ گرم کردن یا سرد کردن تعادلی آلیاژی یکریخت |
| ۴۰۸ | ۱۱-۵ سیستم آلیاژی یکریخت از دیدگاه انرژی آزاد  |
| ۴۰۹ | ۱۱-۶ ماکزیممها و مینیممها                      |

|     |                                                               |
|-----|---------------------------------------------------------------|
| ۴۱۱ | ۷-۱۱ آبر شبکه ها                                              |
| ۴۱۶ | ۸-۱۱ شکاف امتزاج پذیری                                        |
| ۴۱۸ | ۹-۱۱ سیستم های اوتکتیک                                        |
| ۴۲۰ | ۱۰-۱۱ ریز ساختار های سیستم های اوتکتیک                        |
| ۴۲۶ | ۱۱-۱۱ تبدیل پریکتیک                                           |
| ۴۳۰ | ۱۲-۱۱ مونونکتیک ها                                            |
| ۴۳۱ | ۱۳-۱۱ سایر واکنش های سه فاز                                   |
| ۴۳۱ | ۱۴-۱۱ فاز های میانی                                           |
| ۴۳۵ | ۱۵-۱۱ نمودار فاز مس - روی                                     |
| ۴۳۷ | مسائل                                                         |
| ۴۳۹ | ۱۲ نفوذ در محلول های جامد جانشینی                             |
| ۴۳۹ | ۱-۱۲ نفوذ در محلول ایدئال                                     |
| ۴۴۳ | ۲-۱۲ اثر کبر کنندال                                           |
| ۴۴۸ | ۳-۱۲ تخلخل                                                    |
| ۴۵۰ | ۴-۱۲ معادلات دارکن                                            |
| ۴۵۵ | ۵-۱۲ قانون دوم فیک                                            |
| ۴۵۸ | ۶-۱۲ روش ماتانو                                               |
| ۴۶۲ | ۷-۱۲ تعیین ضرایب نفوذ ذاتی                                    |
| ۴۶۴ | ۸-۱۲ خود نفوذی در فلزات خالص                                  |
| ۴۶۷ | ۹-۱۲ وابستگی ضریب نفوذ به دما                                 |
| ۴۷۰ | ۱۰-۱۲ نفوذ شیمیایی در غلظت های کم                             |
| ۴۷۲ | ۱۱-۱۲ بررسی نفوذ شیمیایی با استفاده از عناصر ردیاب رادیواکتیو |
| ۴۷۶ | ۱۲-۱۲ نفوذ در طول مرز دانه ها و سطوح آزاد                     |
| ۴۸۰ | ۱۳-۱۲ قانون اول فیک بر حسب تحرک و نیروی مؤثر                  |
| ۴۸۲ | ۱۴-۱۲ نفوذ در سیستم های آلیاژی ناهم ریخت                      |
| ۴۸۸ | مسائل                                                         |

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۴۹۱ | ۱۳ نفوذ بین نشینی                        |
| ۴۹۲ | ۱-۱۳ اندازه گیری ضرایب نفوذ بین نشینی    |
| ۴۹۳ | ۲-۱۳ اثر اسنوک                           |
| ۵۰۱ | ۳-۱۳ تعیین زمان رهایی به شیوه تجربی      |
| ۵۱۰ | ۴-۱۳ داده های تجربی                      |
| ۵۱۰ | ۵-۱۳ اندازه گیریهای ناکشسان در کرنش ثابت |
| ۵۱۲ | مسائل                                    |
| ۵۱۳ | ۱۴ انجماد فلزات                          |
| ۵۱۳ | ۱-۱۴ فاز مذاب                            |
| ۵۱۷ | ۲-۱۴ جوانه زنی                           |
| ۵۲۰ | ۳-۱۴ شیشه های فلزی                       |
| ۵۲۹ | ۴-۱۴ رشد بلور از فاز مذاب                |
| ۵۳۰ | ۵-۱۴ گرمای ذوب و تبخیر                   |
| ۵۳۲ | ۶-۱۴ ماهیت فصل مشترک مذاب - جامد         |
| ۵۳۵ | ۷-۱۴ رشد پیوسته                          |
| ۵۳۷ | ۸-۱۴ رشد جانبی                           |
| ۵۳۹ | ۹-۱۴ انجماد فصل مشترک پایدار             |
| ۵۴۱ | ۱۰-۱۴ رشد شاخوار در فلزات خالص           |
| ۵۴۴ | ۱۱-۱۴ انجماد آلیاژها                     |
| ۵۴۷ | ۱۲-۱۴ معادله شیل                         |
| ۵۵۰ | ۱۳-۱۴ انجماد شاخواری در آلیاژها          |
| ۵۵۳ | ۱۴-۱۴ انجماد شمشها                       |
| ۵۵۷ | ۱۵-۱۴ اندازه دانه های قطعات ریختگی       |
| ۵۵۹ | ۱۶-۱۴ جدانشینی                           |
| ۵۶۲ | ۱۷-۱۴ همگن سازی                          |

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۵۶۸ | ۱۴-۱۸ جدانشینی معکوس |
| ۵۶۸ | ۱۴-۱۹ تخلخل          |
| ۵۷۴ | ۱۴-۲۰ انجماد اوتکتیک |
| ۵۸۰ | مسائل                |

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| ۵۸۳ | ۱۵ سینتیک جوانه‌زنی و رشد                      |
| ۵۸۳ | ۱۵-۱ جوانه‌زنی مذاب از فاز بخار                |
| ۵۹۳ | ۱۵-۲ نظریه بکر-دورینگ                          |
| ۵۹۶ | ۱۵-۳ انجماد                                    |
| ۵۹۸ | ۱۵-۴ واکنشهای حالت جامد                        |
| ۶۰۲ | ۱۵-۵ جوانه زنی ناهمگن                          |
| ۶۰۶ | ۱۵-۶ سینتیک رشد                                |
| ۶۱۰ | ۱۵-۷ رشد تحت کنترل نفوذ                        |
| ۶۱۵ | ۱۵-۸ تداخل ذرات رسوب در حال رشد                |
| ۶۱۶ | ۱۵-۹ رشد تحت کنترل فصل مشترک                   |
| ۶۲۰ | ۱۵-۱۰ تبدیلهایی که در هنگام گرمایش روی می‌دهند |
| ۶۲۱ | ۱۵-۱۱ انحلال رسوب                              |
| ۶۲۴ | مسائل                                          |

|     |                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۶۲۷ | ۱۶ رسوب‌سختی                                                                            |
| ۶۲۸ | ۱۶-۱ اهمیت منحنی انحلال                                                                 |
| ۶۲۹ | ۱۶-۲ عملیات گرمایی محلولی                                                               |
| ۶۳۰ | ۱۶-۳ عملیات پیرسازی                                                                     |
| ۶۳۴ | ۱۶-۴ تشکیل رسوب                                                                         |
| ۶۳۷ | ۱۶-۵ پیرسازی آلیاژهای Al-Cu در دماهای بالاتر از $100^{\circ}\text{C}$ ( $373\text{K}$ ) |
| ۶۴۰ | ۱۶-۶ ترتیب رسوبگذاری در سایر آلیاژهای آلومینیم                                          |

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۶۴۳ | ۷-۱۶ مقایسه جوانه‌زنی همگن و ناهمگن رسوبها |
| ۶۴۴ | ۸-۱۶ رسوبگذاری بین فازی                    |
| ۶۴۸ | ۹-۱۶ نظریه‌های سختکاری                     |
| ۶۵۰ | ۱۰-۱۶ سایر عامل‌های مؤثر در رسوب‌سختی      |
| ۶۵۲ | مسائل                                      |

## ۱۷ دوقلویی تغییر شکل و واکنشهای مارتنزیتی

|     |                                                                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۶۵۵ | ۱-۱۷ دوقلویی تغییر شکل                                                          |
| ۶۵۶ | ۲-۱۷ نظریه بلورشناختی صوری دوقلویی                                              |
| ۶۵۹ | ۳-۱۷ شناسایی دوقلویی تغییر شکل                                                  |
| ۶۶۷ | ۴-۱۷ جوانه‌زنی دوقلویی                                                          |
| ۶۶۸ | ۵-۱۷ مرزهای دوقلویی                                                             |
| ۶۶۹ | ۶-۱۷ رشد دوقلویی                                                                |
| ۶۷۱ | ۷-۱۷ جذب برش دوقلویی                                                            |
| ۶۷۳ | ۸-۱۷ اهمیت دوقلویی در تغییر شکل مومسان                                          |
| ۶۷۵ | ۹-۱۷ کرنش کششی نظری ناشی از ایجاد دوقلویی در تک‌بلور                            |
| ۶۷۶ | ۱۰-۱۷ تغییر شکل در فلزاتی که عمدتاً از طریق تشکیل دوقلویی تغییر شکل می‌دهند     |
| ۶۷۷ | ۱۱-۱۷ اثر تشکیل دوقلویی بر منحنیهای تنش - کرنش فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر       |
| ۶۷۸ | ۱۲-۱۷ اثر سودمند تشکیل دوقلویی بر شکلپذیری و استحکام فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر |
| ۶۸۱ | ۱۳-۱۷ مارتنزیت                                                                  |
| ۶۸۳ | ۱۴-۱۷ واپسش بین                                                                 |
| ۶۸۶ | ۱۵-۱۷ تبدیل مارتنزیتی در آلیاژ ایندیم - تالیم                                   |
| ۶۸۸ | ۱۶-۱۷ برگشت‌پذیری تبدیل مارتنزیتی                                               |
| ۶۸۹ | ۱۷-۱۷ تبدیل وابسته به دما                                                       |
| ۶۹۰ |                                                                                 |

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۶۹۰ | ۱۷-۱۸ نظریه وکسلر، لیبرمن و رید            |
| ۶۹۸ | ۱۷-۱۹ ماهیت گنگ صفحه نهشت                  |
| ۶۹۸ | ۱۷-۲۰ تنوع صفحه‌های نهشت                   |
| ۶۹۹ | ۱۷-۲۱ پایگاه نظریه بلورشناختی پدیده‌شناختی |
| ۶۹۹ | ۱۷-۲۲ تبدیل مارتنزیتی در آلیاژ آهن-نیکل    |
| ۷۰۲ | ۱۷-۲۳ تشکیل تک‌دماهای مارتنزیت             |
| ۷۰۲ | ۱۷-۲۴ پایدارسازی                           |
| ۷۰۳ | ۱۷-۲۵ جوانه‌زنی ورقه‌های مارتنزیت          |
| ۷۰۴ | ۱۷-۲۶ رشد ورقه‌های مارتنزیت                |
| ۷۰۵ | ۱۷-۲۷ اثر تنش                              |
| ۷۰۶ | ۱۷-۲۸ اثر تغییر شکل مومسان                 |
| ۷۰۶ | ۱۷-۲۹ تبدیلهای مارتنزیتی گرما-کشسان        |
| ۷۰۹ | ۱۷-۳۰ تغییر شکل کشسان آلیاژهای گرما کشسان  |
| ۷۰۹ | ۱۷-۳۱ مارتنزیت حاصل از تنش                 |
| ۷۱۱ | ۱۷-۳۲ اثر حافظه شکلی                       |
| ۷۱۲ | مسائل                                      |

## ۱۸ سیستم آلیاژی آهن-کربن

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۷۱۵ | ۱۸-۱ نمودار آهن-کربن               |
| ۷۱۵ | ۱۸-۲ تبدیلهای پرواوتکتویدی آستنیت  |
| ۷۱۹ | ۱۸-۳ تبدیل آستنیت به پرلیت         |
| ۷۲۱ | ۱۸-۴ رشد پرلیت                     |
| ۷۲۹ | ۱۸-۵ اثر دما بر تبدیل پرلیت        |
| ۷۲۹ | ۱۸-۶ رشد واداشته پرلیت             |
| ۷۳۱ | ۱۸-۷ اثر عناصر آلیاژی بر رشد پرلیت |
| ۷۳۵ | ۱۸-۸ آهنگ جوانه‌زنی پرلیت          |
| ۷۳۹ |                                    |

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۷۴۲ | ۹-۱۸ منحنیهای زمان - دما - تبدیل                  |
| ۷۴۴ | ۱۰-۱۸ واکنش بینیتی                                |
| ۷۵۳ | ۱۱-۱۸ نمودار کامل $T-T-T$ برای فولاد اوتکتویدی    |
| ۷۵۵ | ۱۲-۱۸ فولادهای هیپراوتکتویدی که آهسته سرد شده‌اند |
| ۷۵۸ | ۱۳-۱۸ فولادهای هیپراوتکتویدی که آهسته سرد شده‌اند |
| ۷۶۰ | ۱۴-۱۸ نمودارهای تبدیل تکدمای فولادهای غیراوتکتیکی |
| ۷۶۴ | مسائل                                             |

## ۱۹ سختکاری فولاد

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۷۶۷ | ۱-۱۹ تبدیلهای حاصل از سرمایش پیوسته          |
| ۷۶۷ | ۲-۱۹ سختی پذیری                              |
| ۷۷۱ | ۳-۱۹ متغیرهای تعیین کننده سختی پذیری فولاد   |
| ۷۸۰ | ۴-۱۹ اندازه دانه آستنیت                      |
| ۷۸۰ | ۵-۱۹ اثر اندازه دانه آستنیت بر سختی پذیری    |
| ۷۸۱ | ۶-۱۹ تأثیر مقدار کربن در سختی پذیری          |
| ۷۸۲ | ۷-۱۹ تأثیر عناصر آلیاژی در سختی پذیری        |
| ۷۸۳ | ۸-۱۹ اهمیت سختی پذیری                        |
| ۷۸۸ | ۹-۱۹ تبدیل مارتنزیتی در فولاد                |
| ۷۹۰ | ۱۰-۱۹ سختی مارتنزیت آهن - کربن               |
| ۷۹۶ | ۱۱-۱۹ تغییرات ابعادی ناشی از تشکیل مارتنزیت  |
| ۸۰۱ | ۱۲-۱۹ ترکهای آبدمی                           |
| ۸۰۲ | ۱۳-۱۹ بازپخت                                 |
| ۸۰۵ | ۱۴-۱۹ بازپخت فولاد کم کربن                   |
| ۸۱۱ | ۱۵-۱۹ سمنتیت کروی                            |
| ۸۱۶ | ۱۶-۱۹ اثر بازپخت بر خواص فیزیکی              |
| ۸۱۷ | ۱۷-۱۹ رابطه همبستگی بین زمان و دما در بازپخت |
| ۸۲۱ |                                              |

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۸۲۱ | ۱۸-۱۹ سختکاری ثانوی                                          |
| ۸۲۳ | ۱۹-۱۹ فولادهای کم آلیاژ پر استحکام (HSLA)                    |
| ۸۲۸ | ۲۰-۱۹ فولادهای دوفازی                                        |
| ۸۲۹ | ۲۱-۱۹ کنترل آخالهای غیر فلزی در فولادهای کم آلیاژ پر استحکام |
| ۸۳۰ | مسائل                                                        |

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| ۸۳۳ | ۲۰ چند سیستم آلیاژی غیر آهنی    |
| ۸۳۳ | ۱-۲۰ مس خالص تجارتي             |
| ۸۳۶ | ۲-۲۰ آلیاژهای مس                |
| ۸۴۲ | ۳-۲۰ آلیاژهای مس - بریلیم       |
| ۸۴۳ | ۴-۲۰ سایر آلیاژهای مس           |
| ۸۴۴ | ۵-۲۰ آلیاژهای آلومینیم          |
| ۸۴۵ | ۶-۲۰ آلیاژهای آلومینیم - لیتیم  |
| ۸۵۴ | ۷-۲۰ آلیاژهای تیتانیم           |
| ۸۵۷ | ۸-۲۰ دسته بندی آلیاژهای تیتانیم |
| ۸۵۷ | ۹-۲۰ آلیاژهای آلفا              |
| ۸۶۵ | ۱۰-۲۰ آلیاژهای بتا              |
| ۸۶۵ | ۱۱-۲۰ آلیاژهای آلفا - بتا       |
| ۸۶۸ | ۱۲-۲۰ آیر آلیاژها               |
| ۸۷۱ | ۱۳-۲۰ استحکام خزشی              |
| ۸۷۳ | مسائل                           |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۸۷۷ | ۲۱ شکست                                      |
| ۸۷۷ | ۱-۲۱ شکست از طریق لغزش آسان                  |
| ۸۷۹ | ۲-۲۱ گسیختگی از طریق باریک شدگی (لغزش مضاعف) |
| ۸۸۰ | ۳-۲۱ اثر ایجاد دوقلوبی                       |

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| ۸۸۱ | ۴-۲۱ شکافت                           |
| ۸۸۳ | ۵-۲۱ جوانه زنی ترکهای شکافت          |
| ۸۸۵ | ۶-۲۱ گسترش ترکهای شکافت              |
| ۸۹۰ | ۷-۲۱ اثر مرز دانه ها                 |
| ۸۹۲ | ۸-۲۱ اثر حالت تنش                    |
| ۸۹۴ | ۹-۲۱ شکست نرم                        |
| ۹۰۲ | ۱۰-۲۱ شکست تُرد بین بلوری            |
| ۹۰۳ | ۱۱-۲۱ تُردی آبیرونک                  |
| ۹۰۴ | ۱۲-۲۱ شکست خستگی                     |
| ۹۰۴ | ۱۳-۲۱ ماهیت ماکروسکوپی شکست خستگی    |
| ۹۰۶ | ۱۴-۲۱ آزمون خستگی با تیر چرخان       |
| ۹۰۹ | ۱۵-۲۱ پارامترهای تنش متناوب          |
| ۹۱۱ | ۱۶-۲۱ جنبه های میکروسکوپی شکست خستگی |
| ۹۱۶ | ۱۷-۲۱ رشد ترک خستگی                  |
| ۹۲۰ | ۱۸-۲۱ اثر آخالهای غیر فلزی           |
| ۹۲۲ | ۱۹-۲۱ اثر ریز ساختار فولاد بر خستگی  |
| ۹۲۳ | ۲۰-۲۱ خستگی کم چرخه                  |
| ۹۲۸ | ۲۱-۲۱ معادله کافین-مانسون            |
| ۹۳۰ | ۲۲-۲۱ بعضی جنبه های عملی خستگی       |
| ۹۳۰ | مسائل                                |

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| ۹۳۳ | ۲۲ مکانیک شکست             |
| ۹۳۳ | ۱-۲۲ مکانیک شکست           |
| ۹۳۳ | ۲-۲۲ شکست در شیشه          |
| ۹۳۷ | ۳-۲۲ نظریه گریفیث          |
| ۹۳۹ | ۴-۲۲ ترکهای گریفیث در شیشه |

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۹۳۹ | ۵-۲۲ سرعت رشد ترک                                               |
| ۹۴۱ | ۶-۲۲ معادله گریفیث                                              |
| ۹۴۲ | ۷-۲۲ معادله گریفیث برای فلزی پر بلور                            |
| ۹۴۴ | ۸-۲۲ شیوه‌های اصلی شکست                                         |
| ۹۴۷ | ۹-۲۲ گسترش ترک و نیروهای مقاوم                                  |
| ۹۴۹ | ۱۰-۲۲ رشد ترک تحت شرایط گیره ثابت در مقایسه با رشد تحت بار ثابت |
| ۹۵۱ | ۱۱-۲۲ معادله گریفیث برای رشد ترک کرنش صفحه‌ای                   |
| ۹۵۱ | ۱۲-۲۲ میدان تنش یک ترک                                          |
| ۹۵۳ | ۱۳-۲۲ ضریب شدت تنش                                              |
| ۹۵۳ | ۱۴-۲۲ رابطه ضریب شدت تنش با نیروی گسترش ترک                     |
| ۹۵۴ | ۱۵-۲۲ معادله جابه‌جایی جناح ترک                                 |
| ۹۵۵ | ۱۶-۲۲ شکست در فلزات                                             |
| ۹۵۶ | ۱۷-۲۲ ضریب قید مومسان                                           |
| ۹۵۷ | ۱۸-۲۲ اندازه منطقه مومسان در جلو ترک                            |
| ۹۶۰ | ۱۹-۲۲ اثر ضخامت ورق بر چقرمگی شکست                              |
| ۹۶۱ | ۲۰-۲۲ اثر متناهی بودن عرض نمونه بر ضریب شدت تنش                 |
| ۹۶۳ | ۲۱-۲۲ آزمونهای ASTM برای مکانیک شکست در حالت کرنش صفحه‌ای       |
|     | ۲۲-۲۲ محدودیتهای ابعادی نمونه‌های ASTM برای آزمون چقرمگی شکست   |
| ۹۶۵ | در حالت کرنش صفحه‌ای                                            |
| ۹۷۰ | ۲۳-۲۲ منحنی $R$                                                 |
| ۹۷۲ | ۲۴-۲۲ منحنیهای $R$ در حالت تنش صفحه‌ای                          |
| ۹۷۴ | ۲۵-۲۲ تعیین منحنی $R$                                           |
| ۹۷۵ | ۲۶-۲۲ تغییرناپذیری منحنی $R$ نسبت به طول ترک اولیه              |
| ۹۷۷ | ۲۷-۲۲ معیار تسلیم سراسر ضخامت                                   |
| ۹۷۷ | ۲۸-۲۲ تسلیم کلی                                                 |
| ۹۷۷ | ۲۹-۲۲ مکانیک شکست کشسان - مومسان                                |

|      |                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۹۷۸  | ۲۲-۳۰ آهنگ رهایی انرژی                                                               |
| ۹۸۱  | ۲۲-۳۱ تندی به منزله وسیله‌ای برای تعیین ضرایب شدت تنش                                |
| ۹۸۴  | ۲۲-۳۲ انتگرال $J$                                                                    |
| ۹۸۷  | ۲۲-۳۳ جابه‌جایی دهانه ترک                                                            |
| ۹۹۰  | ۲۲-۳۴ رشد ترک خستگی                                                                  |
| ۹۹۴  | ۲۲-۳۵ خوردگی تنش                                                                     |
| ۹۹۶  | ۲۲-۳۶ وابستگی آهنگ رشد ترک به $K$ در ترک خوردگی تنش                                  |
| ۹۹۷  | ۲۲-۳۷ تردی ناشی از آهنگ کرنش آهسته                                                   |
| ۹۹۹  | ۲۲-۳۸ آزمون ضربه                                                                     |
| ۱۰۰۱ | ۲۲-۳۹ اهمیت آزمون ضربه                                                               |
| ۱۰۰۵ | ۲۲-۴۰ نتایج حاصل از آزمون ضربه                                                       |
| ۱۰۰۵ | ۲۲-۴۱ تردی بازپختی                                                                   |
| ۱۰۰۶ | مسائل                                                                                |
| ۱۰۱۱ | ۲۳ تغییر شکل مومسان فعال شده با گرما                                                 |
| ۱۰۱۱ | ۲۳-۱ ماهیت دوگانه تنش جریان                                                          |
| ۱۰۱۳ | ۲۳-۲ ماهیت مؤلفه‌های تنش جریان                                                       |
| ۱۰۱۳ | ۲۳-۳ اثر آلیاژسازی بر مؤلفه‌های تنش جریان                                            |
| ۱۰۱۶ | ۲۳-۴ نقش نسبی مؤلفه‌های تنش جریان در فلزات مکعبی مرکزپر و فلزات مکعبی با وجوه مرکزپر |
| ۱۰۱۸ | ۲۳-۵ آبرومسانی                                                                       |
| ۱۰۲۰ | ۲۳-۶ ماهیت کرنش وابسته به زمان                                                       |
| ۱۰۲۷ | ۲۳-۷ مکانیسمهای خزش                                                                  |
| ۱۰۳۹ | ۲۳-۸ عبارتی دیگر برای انرژی فعالسازی برای معادله آهنگ کرنش                           |
| ۱۰۴۳ | ۲۳-۹ خزش در هنگامی که بیش از یک مکانیسم فعال است                                     |
| ۱۰۴۸ | ۲۳-۱۰ دیدگاه دیگری در مورد مکانیسم کنترل آهنگ                                        |

|       |                                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۱-۲۳ | تعیین تجربی حجم فعالسازی و انرژی فعالسازی با استفاده از داده‌های تنش - کرنش |
| ۱۰۴۹  |                                                                             |
| ۱۲-۲۳ | برش مرزدانه‌ای                                                              |
| ۱۰۵۰  |                                                                             |
| ۱۳-۲۳ | شکست بین‌بلوری                                                              |
| ۱۰۵۲  |                                                                             |
| ۱۴-۲۳ | حفره‌های مرزدانه‌ای و تَرْدی خزش                                            |
| ۱۰۵۶  |                                                                             |
| ۱۵-۲۳ | رشد حفره در حین خزش                                                         |
| ۱۰۵۸  |                                                                             |
| ۱۶-۲۳ | جوانه‌زنی حفره در حین خزش                                                   |
| ۱۰۶۲  |                                                                             |
| ۱۷-۲۳ | منحنی خزش                                                                   |
| ۱۰۶۵  |                                                                             |
| ۱۸-۲۳ | تابکاری دینامیکی                                                            |
| ۱۰۶۹  |                                                                             |
| ۱۹-۲۳ | خزش چرخه‌ای یا متناوب                                                       |
| ۱۰۷۰  |                                                                             |
| ۲۰-۲۳ | تابکاری دینامیکی در ارتباط با گرمکاری                                       |
| ۱۰۷۱  |                                                                             |
| ۲۱-۲۳ | نظریه منحنی تنش - کرنش شامل بازیابی دینامیکی                                |
| ۱۰۷۴  |                                                                             |
| ۲۲-۲۳ | کاربردهای عملی داده‌های خزش                                                 |
| ۱۰۷۶  |                                                                             |
| ۲۳-۲۳ | آلیاژهای مقاوم در برابر خزش                                                 |
| ۱۰۸۰  |                                                                             |
| ۲۴-۲۳ | سیستمهای آلیاژی                                                             |
| ۱۰۸۲  |                                                                             |
| ۱۰۸۴  | مسائل                                                                       |

## پیوستها

|      |                                                                                                                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۰۸۹ | (الف) زوایای بین صفحه‌های بلورشناختی در سیستم مکعبی (برحسب درجه)                                                                                                                                       |
| ۱۰۸۹ | (ب) زوایای بین صفحه‌های بلورشناختی در سیستم هگزاگونال                                                                                                                                                  |
| ۱۰۹۱ | (ج) اندیسهای صفحه‌های بازتابی در ساختارهای مکعبی                                                                                                                                                       |
| ۱۰۹۲ | (د) ضرایب تبدیل و ثابتها                                                                                                                                                                               |
| ۱۰۹۳ | (ه) عناصر دوقلوبی در چند شیوه مهم ایجاد دوقلوبی                                                                                                                                                        |
| ۱۰۹۳ | (و) مقادیر منتخب انرژی نقص انباشت ذاتی $\gamma_i$ ، انرژی مرز دوقلوبی $\gamma_{\Sigma}$ ، انرژی مرز دانه $\gamma_G$ ، و انرژی سطحی بخار - بلور $\gamma$ برای چند ماده مختلف برحسب ارگ بر سانتیمتر مربع |
| ۱۰۹۴ |                                                                                                                                                                                                        |
| ۱۰۹۴ | (ز) سیستم بین‌المللی یکاها                                                                                                                                                                             |

بیست و دو فهرست مطالب

۱۱۰۳

فهرست نمادهای مهم

۱۱۰۵

فهرست نمادهای یونانی

۱۱۰۷

واژه‌نامه

۱۱۱۲

نمایه

www.ketab.ir

## پیشگفتار

**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 تجارتي، 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 به خوبی و به طور 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 فراموش می‌شود و مهمتر اینکه آلیاژها و روشهایی که امروز متداول‌اند، معلوم نیست در آینده هم متداول باشند. 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. در هنگامی که از این کتاب برای تدریس در یک ترم استفاده می‌شود، تعدادی از فصلهای آن را، مانند فصلهای ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۹ که با موضوعات پیشرفته سروکار دارند، می‌توان به طور کامل حذف کرد. پیش‌نیازهای این درس عبارت‌اند از فیزیک دانشگاهی، شیمی دانشگاهی، و مقاومت مصالح. گذراندن درس ترمودینامیک مهندسی و شیمی فیزیک نیز مطلوب است، اما ضروری نیست. رهیافت این کتاب عمدتاً نظری است، اما همه مراحل عمده رفتار فلز که معمولاً در هر کتاب درسی متالورژی فیزیکی یافت می‌شود، در این کتاب نیز گنجانده شده است. از مکانیک آماری و نظریه نابجاییها برای تشریح تغییر شکل 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 تغییر شکل توجه خاصی نشان داده‌ایم، زیرا نه تنها اهمیت این نوع تغییر شکل روبه افزایش است، بلکه نظریه دوقلویی مستقیماً به موضوعهای مهمی مانند تبدیلهای مارتنزیتی منتهی می‌شود.

به طور کلی، عقیده داریم که برداشت ما در این کتاب با گرایشهای فعلی به سوی رهیافتی بنیادینتر 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، گنجانیدن فصلی در باب سینتیک جوانه‌زنی و رشد است.

در پی درخواست برای گنجانیدن 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 حوزه 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 ارائه آنها در قالبی منسجم و یکسان را حس کردیم. در میان موضوعات دسته نخست می‌توان به بررسی با میکروسکوپ الکترونی، مکانیک شکست، آبرسانایی، آبرومسانی، بازیابی دینامیکی، کرنش‌پیری دینامیکی، انتقال برقی، مهاجرت گرمایی، و نابجاییهای قاصد اشاره کرد. فصل جدیدی در باب سینتیک جوانه‌زنی و رشد و موضوعاتی مانند مغناطیس، نظریه منطقه‌ای فازهای آلیاژی، پنج درجه آزادی هر مرز دانه، قانون فازها، تنش و کرنش حقیقی، مغزه‌بندی و همگن‌سازی قطعات ریختگی، کارسختی و نفوذ در سیستمهای ناهم‌ریخت به دسته دوم تعلق دارند.

تعداد 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: تشریح بهتر نکاتی که در متن درس آمده است و آشنا کردن دانشجو با مطالب و مفاهیمی که مستقیماً در این کتاب مطرح 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 موضوع مهم فلزات غیر آهنی اختصاص یافته است. مکانیک شکست را با عمق و گستردگی بیشتر، در فصلی مستقل، ارائه کرده‌ایم. مطالعه

انجماد گسترش یافته و روزآمد شده است و فلزات مذاب، همچنین معادله شیل و انجماد اوتکتیک را نیز در آن گنجانده ایم. بخش مربوط به میکروسکوپ الکترونی عبوری گسترش یافته و بحث مفصلی 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 می شود. بحث مربوط به نایبجاییها از نو سازمان داده شده و از انسجام بیشتری برخوردار شده است. در فصل ۴ به جنبه های هندسی نایبجاییها پرداخته ایم و در فصل ۵ رابطه نایبجاییها با تغییر شکل موسان را بررسی کرده ایم. نمودارهای فاز ارائه شده در کل کتاب را روزآمد کرده ایم. در فصلهای مربوط به فولاد، تبدیلهای آمشیت به پرلیت، بینیت و مارتنزیت، و بازپخت مارتنزیت تجدید نظر شده است. در فصل مربوط به دوقلویی تغییر شکل و واکنشهای مارتنزیتی، بر پدیده های دوقلویی تأکید کمتری شده، اما بررسی نقش دوقلویی در تغییر شکل فلزات پرلور اضافه شده است. در بخش مارتنزیت، تغییر شکل گرماکشسان و آثار حافظه شکلی را نیز گنجانده ایم.

رابرت ای. رید هیل

رضا عباسچیان