

۱۳ ۲۷۹۸۷
۹۶, ۸, ۱۱

استحاله‌های فازی در فلزات و آلیاژها

ویرایش سوم

پورتر، ایسترنینگ، شریف

دکتر محمود علی‌اف خضری

عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس



این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر یا پخش کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه	پورتر، دیوید ا.
عنوان و نام پدیدآور	Porter, David A استحاله‌های فازی در فلزات و آلیاژها/تالیف دیوید آ. پورتر، کنت. ای. ایسترلینگ، محمدوای. شریف؛ ترجمه محمود علی‌اف خضرائی.
مشخصات نشر	تهران: نوپردازان، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	ببست و دو، ۵۶۰ص:، مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-964-975-241-9
وضعیت فهرست نویسی	قیفا
یادداشت	عنوان اصلی: Phase transformation in metals and alloys, 3rd ed, 2009
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	نماینه.
موضوع	تبدیل فاز (فیزیک آماری)
شناسه افزوده	ایسترلینگ، کنت ادوین، ۱۹۲۳ - م. نویسنده همکار
شناسه افزوده	Easterling, Kenneth Edwin
شناسه افزوده	شریف، محمد، ۱۹۵۰ -
شناسه افزوده	Sherif, Mohamed Y
شناسه افزوده	محمود علی‌اف خضرائی، محمود، ۱۳۵۹ - مترجم
ردیابندی کنگره	۱۳۹۴ - ۱۶/ت/۱/۱۶/۱۷/۱۸/۱۹/۲۰/۲۱/۲۲/۲۳/۲۴/۲۵/۲۶/۲۷/۲۸/۲۹/۳۰/۳۱/۳۲/۳۳/۳۴/۳۵/۳۶/۳۷/۳۸/۳۹/۴۰/۴۱/۴۲/۴۳/۴۴/۴۵/۴۶/۴۷/۴۸/۴۹/۵۰/۵۱/۵۲/۵۳/۵۴/۵۵/۵۶/۵۷/۵۸/۵۹/۶۰/۶۱/۶۲/۶۳/۶۴/۶۵/۶۶/۶۷/۶۸/۶۹/۷۰/۷۱/۷۲/۷۳/۷۴/۷۵/۷۶/۷۷/۷۸/۷۹/۸۰/۸۱/۸۲/۸۳/۸۴/۸۵/۸۶/۸۷/۸۸/۸۹/۹۰/۹۱/۹۲/۹۳/۹۴/۹۵/۹۶/۹۷/۹۸/۹۹/۱۰۰
ردیابندی دیوبی	۵۴۰۴۷۴
شماره کتابشناسی ملی	۲۸۸۶۵۸۸



نوپردازان

استحاله‌های فازی در فلزات و آلیاژها

تألیف دیوید آ. پورتر، کنت ای. ایسترلینگ، محمدوای. شریف

ترجمه دکتر محمود علی‌اف خضرائی

ناشر نوپردازان

قطع وزیری

ویرایش سوم

نوبت چاپ اول

تاریخ چاپ ۱۳۹۴

تیراژ ۱۵۰۰

صفحات ۵۸۴

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۲۴۱-۹

لیتوگرافی نورنگ ۷۷۵۳۱۰۲۷-۷۷۵۲۹۳۳

چاپ و صحافی طرفه ۵۵۲۶۹۲۸۷-۸

۳۰۰۰۰ تومان

کتابیران: تهران، میدان انقلاب، ابتدای خیابان آزادی، خیابان دکتر قریب، بعد از فرصت شیرازی،

پلاک ۷، تلفن: ۱۸-۶۶۵۶۶۵۰۹

نوپردازان: تهران، خیابان لبافی‌نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸

تلفن: ۶۶۴۱۳۴۷۴-۶۶۴۱۳۵۱۵-۶۶۴۱۱۱۷۳-۶۶۴۹۳۴۰۹

WWW.Ketabiran.ir

فروش اینترنتی

در کتاب حاضر با توجه به پیش‌زمینه و تجارب تحقیقاتی نویسندگان، از دید یک متالورژیست فیزیکی به استحاله‌های فازی نگاه شده است و مشخصه‌های متمایزی با کتاب‌های دیگر دارد. تقریباً به تمام انواع واکنش‌ها و استحاله‌های فازی که در فلزات رخ می‌دهند، اشاره شده و جنبه‌های ترمودینامیک، سینتیک و بلوری آنها مورد بررسی قرار گرفته است. معمولاً در متون متالورژی متداول است که برای توصیف مشخصه‌های انواع مختلف استحاله‌های فازی، مثال‌هایی از آلیاژهای پایه آهنی ذکر شود. نویسندگان این متن علاوه بر فولادها، مثال‌هایی از واکنش‌ها و استحاله‌های فازی مربوط به سیستم‌های آلومینیم، زیرکیم و تیتانیم و... بیان کرده‌اند و نشان داده‌اند که این آلیاژها نسبت به سیستم‌های آهنی، محدوده وسیع‌تری از تغییرات فازی دارند و مواد مناسبی برای درک بنیادی استحاله‌های فازی می‌باشند.

استحاله‌های فازی در اثر تغییر در عوامل خارجی شامل متغیرهای ترمودینامیکی مانند دما و فشار ایجاد می‌شوند. تاکنون، تأکید متون متالورژی بر روی توصیف استحاله‌های ناشی از دما بوده است. در ویرایش جدید این کتاب، استحاله‌های ایجاد شده توسط تغییرات فشار و تغییر شکل نیز بررسی شده‌اند، در حالی که استحاله‌های ایجاد شده توسط تغییرات دمایی هنوز هم جایگاه خود را دارند. استحاله‌های منظم-نامنظم، که بسیاری از آنها مثال‌های بسیار خوبی از استحاله‌های پیوسته هستند، به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نشان داده شده است که از محاسبات بنیادی پایداری فاز می‌توان نتایج مناسبی به دست آورد که با مشاهدات آزمایشگاهی تطابق دارند. چند استحاله بلوری از شبکه BCC به HCP، که توسط حالت‌های جابه‌جایی و همچنین نفوذی رخ می‌دهند، از نظر مشخصه‌های قابل مشاهده به صورت آزمایشگاهی بررسی، مقایسه و مشخص شده‌اند.

علاقه به موضوعات مربوط به تغییرات فازی، باعث به وجود آمدن روش‌های مختلفی برای بررسی استحاله‌های فازی شده است که با هر کدام از آنها، مشخصه‌های متمایزی آشکار می‌شوند. فیزیکدان‌ها، اصولاً به علت استحاله علاقه‌مند هستند. آنها عمدتاً استحاله‌های فازی پیوسته و منظم‌تر در حال وقوع در سیستم‌های ساده و با ترکیب ثابت را بررسی می‌کنند. در مقابل، شیمیدان‌ها، محققان سرامیک و متالورژیست‌ها، بخش عمده تمرکزشان بر روی استحاله‌های فازی (و واکنش‌های فازی) حاوی تغییرات ساختار بلوری، ترکیب شیمیایی و حالت نظم می‌باشد. از نظر متالورژیست‌ها، مکانیزم‌ها یا چگونگی وقوع استحاله‌ها نیز دارای اهمیت زیادی است. تغییرات فازی مورد توجه زمین‌شناس‌ها، مشابه با تغییرات فازی رخ داده در سیستم‌های فلزی و سرامیکی است، اما معمولاً در مقیاس‌های بسیار وسیع‌تر و تحت شرایط حدی دما و فشار به وقوع می‌پیوندند. نویسندگان این

کتاب، کاری ستودنی در بررسی استحاله و واکنش‌های فازی و ارائه مثال‌های مناسبی از سیستم‌های پایه فلزی انجام داده‌اند.

در ترجمه این کتاب، سعی بر این بوده است که اصالت متن اصلی، حفظ و اصل امانت در ترجمه رعایت شود، ولی در عین حال از ترجمه تحت‌اللفظی و جمله به جمله اجتناب و در موارد لزوم به ترجمه مفهوم پرداخته شده است. کتاب علیرغم بازخوانی‌های مکرر قطعاً خالی از اشکال نیست و بنابراین از خوانندگان محترم خواهشمندم نظرات و انتقادهای خود را به اینجانب از طریق ایمیل khazraei@modares.ac.ir منعکس فرمایند. امید است که مطالعه این کتاب برای علاقه‌مندان مفید واقع شود.

با سپاس
مترجم

www.ketab.ir

این کتاب، به‌عنوان یکی از دروس دوره لیسانس در مورد استحاله‌های فازی برای دانشجویان سال آخر رشته متالورژی، علم مواد یا مواد مهندسی نوشته شده است. کتاب حاضر می‌تواند برای دانشجویان محقق علاقه‌مند به بازبینی دانش خود از موضوع استحاله فازی نیز مفید باشد. این کتاب، براساس سخنرانی‌های ارائه شده توسط نویسندگان در دانشگاه Lulea برای دانشجویان رشته مهندسی مواد است. جالب است که ما هیچ کتاب جدیدی درباره این موضوع مهم که مناسب برای تدریس در دانشگاه باشد، پیدا نکردیم. جدیدترین کتاب احتمالاً کتاب «استحاله‌ها در فلزات» نوشته شده توسط P.G. Shewmon (انتشارات McGraw-Hill، سال ۱۹۶۹) می‌باشد. اما در طول دهه اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه بررسی استحاله‌های فازی به ویژه در بررسی‌های صورت گرفته بر روی فصل مشترک بین فازها، مهاجرت فصل مشترک و همچنین سینتیک رشد رسوبات و پایداری رسوبات ایجاد شده است. علاوه بر آن، چندین پیشرفت علمی جدید براساس استحاله‌های فازی، شامل مقدمه فولادهای TRIP (استحاله ایجاد شده توسط تغییر شکل پلاستیک)، کامپوزیت‌های یوتکتیک هم‌راستا و فولادهای ساختمانی جدید با خواص جوشکاری و شکل‌پذیری عالی به دست آمده است. همچنین ریخته‌گری پیوسته و جوشکاری ذوبی با انرژی و سرعت بالا، در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از کاربردهای مهم انجام‌دهنده ظهور کرده است. هدف این درس، ارائه تئوری استحاله‌های فازی است که در آن، این پیشرفت‌ها و مطالب جدید دیگر برحسب اصول بنیادی ترمودینامیک و مکانیزم‌های اتمی توصیف شوند.

کتاب به دو بخش تقسیم شده است. فصل‌های اول تا سوم شامل پیش‌زمینه لازم برای درک استحاله‌های فازی می‌باشند: ترمودینامیک، سینتیک، تئوری نفوذ و ساختار و خواص فصل مشترک‌ها. فصل‌های چهارم تا ششم، مربوط به استحاله‌های خاص است: انجماد، استحاله‌های نفوذ در جامدات و استحاله‌های بدون نفوذ. در انتهای فصل‌های مربوط به انجماد، استحاله‌های کنترل شده توسط نفوذ و مارتنزیت، برای نشان دادن موارد عملی اصول مورد بحث و چند مثال از آلیاژهای مهندسی ارائه شده است. با این کار امید است که کتاب حاضر، ارتباط مفیدی بین تئوری و واقعیت در عمل ایجاد کند. بهتر است این درس به همراه تعدادی از درس‌های آزمایشگاهی و مثال‌های عملی ارائه گردد. در انتهای هر فصل، چند مسئله نیز ذکر شده است.

در مراحل گردآوری و نگارش این کتاب، ما از حمایت و تشویق پیوسته همکاران و دانشجویان در دانشکده مهندسی مواد برخوردار بوده‌ایم. تشکر ویژه از خانم Agneta Engfors برای صبر و مهارت ایشان در تایپ کتاب و همچنین کمک به ویرایش آن داریم.

دیوید ا پورتر، کنت ای. ایسترلینگ

فوریه ۱۹۸۰

در طی ده سال پس از زمان اولین انتشار کتاب، پیشرفت‌های جدید بسیاری در زمینه متالورژی رخ داده است. شیشه‌ها و فلزات با انجماد سریع ایجاد شدند؛ در حال حاضر، از آلیاژهای آلومینیم-لیتیم، در هواپیماهای مدرن استفاده می‌شود؛ فولادهای میکروآلیاژی (در کاربردهای ساختمانی) و با خلوص بالا (در خط لوله) کاربرد بیشتری پیدا کرده‌اند؛ فولادهای حاوی اکسیدهای پراکنده تولید شده‌اند؛ همچنین آلیاژهای حافظه‌دار جدید ابداع شده‌اند. علیرغم این موضوع، اصول پایه‌ای مربوط به تمام این پیشرفت‌ها، با گذشت زمان تغییر واضحی پیدا نکرده است و این از امتیازات کتاب حاضر می‌باشد. هدف ما از ابتدا، ارائه این اصول به شکلی جامع و فراگیر بود تا امکان استفاده محققان از آنها وجود داشته باشد. بنابراین کتاب حاضر، تغییرات بسیار کمی نسبت به نسخه اولیه دارد. خطاهای موجود اصلاح شده‌اند، مطالب گسترش داده شده‌اند و احتمالاً از همه مهم‌تر، جواب‌های کاملی برای تمرین‌ها ارائه شده است. امیدواریم که نسخه ویرایش شده در بسیاری از دانشکده‌های متالورژی و علم مواد، مورد استفاده قرار بگیرد.

برای کامل شدن این نسخه ویرایش شده، از تمام دانشجویان و اساتیدی که پیشنهادات خود را در طول دهه اخیر به ما ارائه داده‌اند، تشکر می‌نماییم. به‌خصوص قدردان دکتر Wen-Bin Li (دانشگاه Lulea سوئد) برای دقت بسیار زیاد در یافتن خطاهای آشکار و مخفی کتاب اصلی می‌باشیم. در نهایت از دکتر John Ion (دانشگاه Lappeenranta فنلاند) برای کمک به ما در فصل «جواب تمرین‌ها» تشکر می‌کنیم.

دیوید ا. پورتر، کنت ای. ایسترلینگ

سپتامبر ۱۹۹۱

تئوری‌های بنیادی استحاله‌های فازی در فلزات و آلیاژها؛ تا حدود زیادی بدون تغییر باقی مانده است، بنابراین ویرایش سوم، اصولاً نسخه بسط‌یافته‌ای از ویرایش دوم به همراه موارد دیگری است که بعضی از پیشرفت‌های مهم ۱۷ سال اخیر را پوشش می‌دهند. یک بخش که شامل محاسبه دیاگرام‌های فازی می‌باشد به فصل اول اضافه شده است و پیشرفت‌های جدید در شیشه‌های فلزی، در فصل چهارم ذکر شده‌اند. فصل پنجم، شامل جدیدترین موارد می‌باشد: روش شیل^۱ برای محاسبه دیاگرام CCT از یک دیاگرام TTT ارائه شده است؛ تئوری‌های جدید در مورد جوانه‌زنی و رشد بینیت و فریت چندوجهی اضافه شده است. همچنین مثال‌های جدید درباره رسوب سختی مس در فولاد بینیتی کم‌کربن و بینیت‌عاری از کاربردهای بسیار ریز ذکر شده‌اند. در فصل ششم، جزئیات جدیدی درباره مارتنزیت حاصل از کرنش و تنش ارائه شده تا پس‌زمینه تئوری برای فولادهای با پلاستیسیته حاصل از استحاله (TRIP) ایجاد گردد.

دیوید ا. پورتر، محمد ی. شریف

اگوست ۲۰۰۸

www.ketab.ir

David A. Porter، مدارک کارشناسی و دکترای خود را در رشته علم مواد از دانشگاه کمبریج لندن دریافت کرده است. بعد از آن در بخش تحقیق و توسعه مواد در دانشگاه Lulea سوئد، مرکز تحقیقات تولید آلومینیم Ardal and Sunndal Verk نروژ و همچنین تولید فولاد Fundia Special Bar سوئد حضور داشته است. او در حال حاضر، مدیر بخش توسعه تولید فولاد نورد گرم شده در Rautaruulli Oyji فنلاند می‌باشد.

پروفسور Kenneth E. Easterling دکترای خود را در رشته متالورژی فیزیکی از مؤسسه فناوری فنلاند گرفته است. پس از تدریس در دانشگاه Chalmers گوتنبرگ، پروفسور و رئیس دانشکده مهندسی مواد در دانشگاه Lulea سوئد شد. سپس به درجه پروفیسوری مهندسی (علم مواد) در دانشگاه Exeter انگلستان رسید.

Mohamed Y. Sherif، مدارک کارشناسی خود را در مهندسی مکانیک از دانشگاه al-Azhar مصر دریافت کرده است. سپس مدارک کارشناسی ارشد و دکترای خود را در زمینه مدلسازی مواد از دانشگاه کمبریج انگلستان اخذ نموده است. کار وی بر روی این ویرایش جدید در حالی شروع شد که او، دستیار تحقیقاتی در گروه استحاله‌های فازی و خواص پیچیده در همان دانشگاه کمبریج بود. او اکنون، یک پژوهشگر در گروه SKF در مرکز تحقیقات و مهندسی هلند می‌باشد.

WWW.KOPIR

فهرست مطالب

۱	فصل اول: ترمودینامیک و نمودارهای فازی.....	
۱-۱	تبادل.....	
۲-۱	سیستم‌های یک جزئی.....	
۱-۲-۱	انرژی آزاد گیبس به صورت تابعی از دما.....	
۲-۲-۱	اثر فشار.....	
۳-۲-۱	هروی محرکه انجماد.....	
۳-۱	محلول‌های دوتایی.....	
۱-۳-۱	انرژی آزاد گیبس محلول‌های دوتایی.....	
۲-۳-۱	محلول‌های ایده‌آل.....	
۳-۳-۱	پتانسیل شیمیایی.....	
۴-۳-۱	محلول‌های با قاعده.....	
۵-۳-۱	اکتیویته.....	
۶-۳-۱	محلول‌های واقعی.....	
۷-۳-۱	فازهای منظم شده.....	
۸-۳-۱	فازهای میانی.....	
۴-۱	تبادل در سیستم‌های ناهمگن.....	
۵-۱	نمودارهای فازی دوتایی.....	
۱-۵-۱	یک نمودار فاز ساده.....	
۲-۵-۱	سیستم‌های با نقص در منطقه انحلال.....	
۳-۵-۱	آلیاژهای منظم شده.....	
۴-۵-۱	سیستم‌های اوتکتیک ساده.....	
۵-۵-۱	نمودارهای فازی دربردارنده فازهای میانی.....	
۶-۵-۱	قانون فاز گیبس.....	
۷-۵-۱	تأثیر دما روی حلالیت فاز جامد.....	
۸-۵-۱	غلظت تعادلی موقعیت‌های اتمی خالی از اتم.....	
۶-۱	تأثیر سطوح مشترک بر تعادل.....	
۷-۱	تعادل سه‌تایی.....	
۸-۱	روابط ترمودینامیکی اضافی برای محلول‌های دوتایی.....	

۵۴	محاسبه دیگرام‌های فازی	۹-۱
۵۴	مواد استوکیومتری خالص	۱-۹-۱
۵۸	فازهای محلول	۲-۹-۱
۵۹	سیستیک استحال‌های فازی	۱۰-۱
۶۰	تمرین‌ها	
۶۳	منابع	
۶۳	منابع برای مطالعه بیشتر	
۶۵	فصل دوم: نفوذ	
۶۷	مکانیزم‌های اتمی نفوذ	۱-۲
۶۸	نفوذ بین‌نشینی	۲-۲
۶۸	نفوذ بین‌نشینی مشابه یک فرآیند پرش اتفاقی	۱-۲-۲
۷۲	اثر دما و فعالسازی حرارتی	۲-۲-۲
۷۵	نفوذ در حالت مانا	۳-۲-۲
۷۵	نفوذ در حالت غیرمانا	۴-۲-۲
۷۶	راه‌حل‌های معادله‌ی نفوذ	۵-۲-۲
۸۰	نفوذ جانشینی	۳-۲
۸۱	نفوذ در خود	۱-۳-۲
۸۷	نفوذ محل خالی از اتم	۲-۳-۲
۸۸	نفوذ در آلیاژهای جانشین	۳-۳-۲
۹۷	نفوذ در آلیاژهای جانشین رقیق (با غلظت کم)	۴-۳-۲
۹۸	تحرک‌پذیری اتمی	۴-۲
۱۰۰	نفوذ در آلیاژهای دوتایی به کمک اتم‌های ردیاب	۵-۲
۱۰۳	نفوذ در آلیاژهای سه‌تایی	۶-۲
۱۰۵	مسیرهای نفوذپذیری سریع	۷-۲
۱۰۵	نفوذ در امتداد مرز دانه‌ها و سطوح آزاد	۱-۷-۲
۱۰۸	نفوذ در امتداد نابجایی‌ها	۲-۷-۲
۱۰۹	نفوذ در سیستم‌های دوتایی چند فازی	۸-۲
۱۱۲	تمرین‌ها	
۱۱۵	منابع	
۱۱۶	منابع برای مطالعه بیشتر	

۱۱۷	فصل سوم: سطح مشترک بلوری و ریزساختار.....
۱۱۸	۱-۳ انرژی آزاد سطوح.....
۱۱۹	۲-۳ سطح مشترک بین جامد و بخار.....
۱۲۴	۳-۳ مرزها در جامدهای تک فاز.....
۱۲۵	۱-۳-۳ مرزهایی با زاویه کوچک و زاویه بزرگ.....
۱۲۸	۲-۳-۳ مرزهایی با زاویه بزرگ ویژه.....
۱۳۲	۳-۳-۳ تعادل در مواد چند بلور.....
۱۳۶	۴-۳-۳ تحرک حرارتی مرز دانه‌ها.....
۱۴۶	۵-۳-۳ سینتیک رشد دانه.....
۱۴۹	۴-۳ سطوح مشترک بین فازی در جامدات.....
۱۵۰	۱-۴-۳ همبستگی سطح مشترک.....
۱۵۶	۲-۴-۳ شکل فاز دوم، الزامات انرژی سطح مشترک.....
۱۶۳	۳-۴-۳ شکل فاز دوم: افتات کرنش حاصل از ناهمخوانی.....
۱۶۹	۴-۴-۳ کاهش همبستگی سطح مشترک.....
۱۷۲	۵-۴-۳ سطح مشترک لغزنده.....
۱۷۷	۶-۴-۳ سطح مشترک جامد / مایع.....
۱۸۰	۵-۳ حرکت و جابه‌جایی سطح مشترک.....
۱۸۳	۱-۵-۳ رشد کنترل شده توسط نفوذ یا سطح مشترک.....
۱۹۰	تمرین.....
۱۹۳	منابع.....
۱۹۴	منابع برای مطالعه بیشتر.....
۱۹۵	فصل چهارم: انجماد.....
۱۹۵	۱-۴ هسته‌گذاری در فلزات خالص.....
۱۹۶	۱-۱-۴ هسته‌گذاری همگن.....
۲۰۱	۲-۱-۴ سرعت هسته‌گذاری همگن.....
۲۰۲	۳-۱-۴ هسته‌گذاری ناهمگن.....
۲۰۷	۴-۱-۴ هسته‌گذاری هنگام ذوب شدن.....
۲۰۷	۲-۴ رشد یک جامد خالص.....
۲۰۸	۱-۲-۴ رشد پیوسته.....
۲۰۹	۲-۲-۴ رشد جانبی.....

۲۱۲	انتقال حرارت و پایداری سطح مشترک	۳-۲-۴
۲۱۶	انجماد آلیاژها	۳-۴
۲۱۶	انجماد آلیاژهای تک فاز	۱-۳-۴
۲۲۹	انجماد اوتکتیک	۲-۳-۴
۲۳۶	آلیاژهای غیراوتکتیک	۳-۳-۴
۲۳۷	انجماد پری تکتیک	۴-۳-۴
۲۳۹	انجماد شمش ها و قطعه های ریخته گری شده	۴-۴
۲۳۹	ساختار شمش ها	۱-۴-۴
۲۴۳	جدایش ذرات یا عناصر در شمش ها و قطعه های ریخته گری	۴-۴-۴
۲۴۴	ریخته گری مداوم	۳-۴-۴
۲۴۹	انجماد کرده جوش	۵-۴
۲۵۴	انجماد در طول کوننج کردن مذاب	۶-۴
۲۵۵	شیشه های فلزی	۷-۴
۲۵۶	ترمودینامیک و سینتیک	۱-۷-۴
۲۵۹	مطالعه برخی از حالت های عملی در ریخته گری و جوشکاری	۸-۴
۲۵۹	ریخته گری فولادهای کربنی و کم آلیاژ	۱-۸-۴
۲۶۱	ریخته گری فولادهای به کار گرفته شده در سرعت بالا	۲-۸-۴
۲۶۷	تمرین ها	
۲۷۰	منابع	
۲۷۰	منابع برای مطالعه بیشتر	
۲۷۳	فصل پنجم: استحاله های نفوذی در جامدات	
۲۷۵	هسته گذاری همگن در جامدات	۱-۵
۲۸۲	هسته گذاری ناهمگن	۲-۵
۲۸۸	سرعت هسته گذاری ناهمگن	۱-۲-۵
۲۹۱	رشد رسوب	۳-۵
۲۹۲	رشد در پشت سطوح مشترک ناهمبسته صفحه ای شکل	۱-۳-۵
۲۹۶	طولیل شدن رسوب های صفحه ای و سوزنی شکل توسط نفوذ اتم ها	۲-۳-۵
۲۹۸	ضخیم شدن رسوب های صفحه ای شکل	۳-۳-۵
۳۰۱	سینتیک کلی دگرگونی-دیاگرام TTT	۴-۵
۳۰۵	رسوب گذاری در آلیاژهای سخت شونده	۵-۵

۳۰۵	رسوب‌گذاری در آلیاژهای Al-Cu	۱-۵-۵
۳۱۴	رسوب‌گذاری در آلیاژهای آلومینیم-نقره	۲-۵-۵
۳۱۵	محل‌های خالی از اتم ناشی از سریع سرد کردن	۳-۵-۵
۳۱۸	پیرسختی	۴-۵-۵
۳۲۲	تجزیه اسپینودال	۵-۵-۵
۳۲۷	درشت شدن ذرات	۶-۵-۵
۳۳۱	رسوب‌گذاری فریت از آستنیت	۶-۵
۳۳۷	مطالعه موردی-رسوب‌گذاری و رشد فریت	۱-۶-۵
۳۴۵	رشد (رسوب) سلولی	۷-۵
۳۴۹	دگرگونی‌های اوتکتونیدی	۸-۵
۳۴۹	واکنش پرلیتی در آلیاژهای Fe-C	۱-۸-۵
۳۵۴	دگرگونی بینایی	۲-۸-۵
۳۶۳	اثر عناصر آلیاژی روی سختی‌پذیری	۳-۸-۵
۳۶۸	نمودارهای سرد کردن پیوسته	۴-۸-۵
۳۷۲	رسوب‌گذاری رشته‌ای و بین‌فازی در فولادهای آلیاژی	۵-۸-۵
۳۷۴	قانون شیل	۵-۸-۶
۳۷۵	دگرگونی‌های توده‌ای	۹-۵
۳۸۱	دگرگونی منظم شدن	۱۰-۵
۳۸۹	مطالعات ویژه	۱۱-۵
۳۸۹	آلیاژهای آهن‌گری تیتانیم	۱-۱۱-۵
۳۹۳	امکان جوشکاری فولادهای کم کربن و فولادهای بزرگ میکروآلیاژ	۲-۱۱-۵
۳۹۶	فولاد بینیتی بسیار کم کربن با استحکام و چقرمگی بالا	۳-۱۱-۵
۳۹۹	بینیت بسیار ریز	۴-۱۱-۵
۴۰۱	تمرین	
۴۰۴	منابع	
۴۰۶	منابع برای مطالعه بیشتر	
۴۰۷	فصل ششم: استحاله‌های بدون نفوذ	
۴۰۸	ویژگی‌های دگرگونی‌های بدون نفوذ	۱-۶
۴۱۱	محلول جامد کربن در آهن	۱-۱-۶
۴۱۴	بلورشناسی مارتنزیت	۲-۶

۴۱۷	مدل بین در تغییر حالت $fcc \rightarrow bct$	۱-۲-۶
۴۲۱	مقایسه نظریه بلورشناسی با نتایج آزمایشگاهی.....	۲-۲-۶
۴۲۲	نظریه‌های هسته‌گذاری مارتنزیت.....	۳-۶
۴۲۳	تشکیل هسته همبسته مارتنزیت.....	۱-۳-۶
۴۲۶	نقش نابجایی‌ها در جوانه‌زنی مارتنزیت.....	۲-۳-۶
۴۳۱	تغییر فاز به کمک انرژی کرنشی نابجایی.....	۳-۳-۶
۴۳۴	رشد مارتنزیت.....	۴-۶
۴۳۶	رشد مارتنزیت لایه‌ای.....	۱-۴-۶
۴۳۸	مارتنزیت بشقابی.....	۲-۴-۶
۴۴۱	بایدار شدن مارتنزیت.....	۳-۴-۶
۴۴۱	تأثیر تنش‌های بیرونی.....	۴-۴-۶
۴۴۲	نقش اندازه‌دانه.....	۵-۴-۶
۴۴۲	پدیده پیش مارتنزیتی.....	۵-۶
۴۴۳	بازگشت دادن مارتنزیت‌های آهنی.....	۶-۶
۴۵۴	بررسی حالت‌های خاص.....	۷-۶
۴۵۴	فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ سرد شده سریع و بازگشت داده شده.....	۱-۷-۶
۴۵۶	فولادهای با دگرگونی کنترل‌شده.....	۲-۷-۶
۴۵۹	فولادهای تریپ.....	۳-۷-۶
۴۶۲	فلز حافظه‌دار: نایتینول.....	۴-۷-۶
۴۶۴	تمرین.....	
۴۶۶	منابع.....	
۴۶۷	منابع برای مطالعه بیشتر.....	
۴۶۹	حل تمرین‌ها.....	
۵۳۹	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....	
۵۴۷	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....	
۵۵۵	نمایه.....	

WWW.KOLABOIR.COM