

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات، شماره ۵۶۰

تبلور مجدد و پدیده‌های مرتبط با آنیل (ویرایش دوم)

تألیف:

اف. جی. هامفریز - ام. هاترلی

ترجمه:

دکتر محمد رضا طوقی نژاد - مهندس حامد عسگری
دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان

سرشناسه:	هامفریز، اف. ج.	Humphreys, F. J.
عنوان و نام پدیدآور:	تبلور مجدد و پدیده‌های مرتبط با آنیل / تألیف اف. جی. هامفریز، ام. هاترلی؛ ترجمه محمد رضا طرقي نژاد - حامد عسگری.	
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹.	
مشخصات ظاهری:	۷۹۲ ص.	
فروست:	انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۵۶۰.	
شابک:	(ISBN: 978-964-386-229-9)	
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا.	
یادداشت:	عنوان اصلی:	Recrystallization and related annealing phenomena, 2nd ed, 2004.
موضوع:	تبلور مجدد.	
شناسه افزوده:	هاترلی، ام.	
شناسه افزوده:	Hatherly, M.	
شناسه افزوده:	طرقي نژاد، محمد رضا، مترجم.	
شناسه افزوده:	عسگری، حامد، مترجم.	
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد.	
رده‌بندی کنگره:	۱۳۸۹ ت ۳ / م ۲ / ۶۹۰ TN	
رده‌بندی دیویی:	۶۷۱/۳۶	
شماره کتابخانه ملی:	۲۰۳۷۳۰۸	



انتشارات، شماره ۵۶۰

تبلور مجدد و پدیده‌های مرتبط با آنیل

تألیف

اف. جی. هامفریز - ام. هاترلی

ترجمه

دکتر محمد رضا طرقي نژاد - مهندس حامد عسگری

ویراستار علمی

دکتر فاتح فاضلی

وزیری، ۷۹۲ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۳۸۹

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۱۳۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

۱۷	نشانه‌ها و علائم
۱۹	حروف اختصاری
۲۱	پیشگفتار - چاپ اول
۲۳	پیشگفتار (چاپ دوم)
۲۵	پیشگفتار مترجمان
۲۷	فصل ۱: مقدمه
۲۷	۱-۱- فرایند آنیل یک ماده تغییر شکل یافته
۲۷	۱-۱-۱- واژه‌ها و اصطلاحات
۳۱	۱-۱-۲- اهمیت فرایند آنیل
۳۲	۲-۱- تاریخچه موضوع
۳۲	۱-۲-۱- پیشرفت‌های اولیه
۳۴	۲-۲-۱- برخی از منابع کلیدی (۱۹۵۲ تا ۲۰۱۳)
۳۷	۳-۱- نیروها، فشارها و واحدها
۳۷	۱-۳-۱- فشار روی یک مرز
۳۸	۲-۳-۱- واحدها و اندازه فشار محرکه
۴۱	فصل ۲: حالت تغییر شکل
۴۱	۱-۲- مقدمه
۴۳	۲-۲- انرژی ذخیره شده در کار سرد
۴۳	۱-۲-۲- منشا انرژی ذخیره شده
۴۶	۲-۲-۲- اندازه‌گیری انرژی ذخیره شده کلی
۴۹	۳-۲-۲- رابطه بین انرژی ذخیره شده و ریزساختار
۵۸	۳-۲- پلاستیسیته بلور
۵۸	۱-۳-۲- لغزش و دوقلوبی شدن
۶۰	۲-۳-۲- تغییر شکل چند بلورها
۶۲	۴-۲- فلزات مکعبی که با لغزش تغییر شکل می‌دهند
۶۳	۱-۴-۲- سلسله مراتب ریزساختار
۶۶	۲-۴-۲- تحول ریزساختار تغییر شکل در فلزات تشکیل دهنده سلول
۷۳	۳-۴-۲- فلزات بدون سلول
۷۴	۵-۲- فلزات مکعبی تغییر شکل یافته با لغزش و دوقلوبی

۷۵	۱-۵-۲- دو قلوئی در تغییر شکل
۷۷	۲-۵-۲- اثر نقص چین
۷۸	۶-۲- فلزات هگزاگونال متراکم (hcp)
۸۱	۷-۲- باندهای تغییر شکل
۸۱	۱-۷-۲- ماهیت باندهای تغییر شکل
۸۲	۲-۷-۲- تشکیل باندهای تغییر شکل
۸۲	۳-۷-۲- باندهای انتقالی
۸۳	۴-۷-۲- شرایط تشکیل باندهای تغییر شکل
۸۵	۸-۲- باندهای برشی
۸۵	۱-۸-۲- فلزات با انرژی نقص چین متوسط یا بالا
۸۶	۲-۸-۲- فلزات با انرژی نقص چین پایین
۸۸	۳-۸-۲- تشکیل باندهای برشی
۸۹	۴-۸-۲- شرایطی برای باند برشی
۹۰	۹-۲- ریزساختار آلیاژهای دو فاز تغییر شکل یافته
۹۲	۱-۹-۲- توزیع نابجایی در آلیاژهای حاوی ذرات تغییر شکل پذیر
۹۵	۲-۹-۲- توزیع نابجایی در آلیاژهایی با ذرات تغییر شکل ناپذیر
۱۰۲	۳-۹-۲- ساختارهای نابجایی در ذرات منفرد
۱۰۵	۴-۹-۲- مناطق تغییر شکل نزدیک ذرات
۱۱۳	فصل ۳: بافت‌های تغییر شکل
۱۱۳	۱-۳- مقدمه
۱۱۴	۲-۳- بافت‌های تغییر شکل در فلزات وجوه مرکزدار (fcc)
۱۱۵	۱-۲-۳- بافت فلز خاص
۱۱۹	۲-۲-۳- بافت آلیاژ
۱۲۲	۳-۳- بافت‌های تغییر شکل در فلزات مکعبی مرکزدار (bcc)
۱۲۴	۴-۳- بافت‌های تغییر شکل در فلزات هگزاگونال متراکم (hcp)
۱۲۷	۵-۳- بافت‌های رشته‌ای
۱۲۸	۶-۳- عوامل مؤثر بر توسعه بافت
۱۲۸	۱-۶-۳- هندسه نورد و اصطکاک
۱۳۰	۲-۶-۳- دمای تغییر شکل
۱۳۰	۳-۶-۳- اندازه دانه
۱۳۱	۴-۶-۳- باندهای برشی
۱۳۲	۵-۶-۳- ذرات فاز دوم
۱۳۲	۷-۳- تنوری‌های توسعه بافت تغییر شکل
۱۳۳	۱-۷-۳- مدل‌های ماکروسکوپی
۱۳۷	۲-۷-۳- مدل‌های جدید
۱۳۸	۳-۷-۳- تبدیل بافت
۱۴۳	فصل ۴: ساختار و انرژی مرز دانه‌ها
۱۴۳	۱-۴- مقدمه
۱۴۵	۲-۴- ارتباط جهت‌گیری بین دانه‌ها
۱۴۸	۳-۴- مرز دانه‌های زاویه کم

۱۴۸	۱-۳-۴- مرزهای کج
۱۵۱	۲-۳-۴- سایر مرزهای زاویه کم
۱۵۱	۴-۴- مرز دانه‌های زاویه زیاد
۱۵۲	۱-۴-۴- شبکه مکان انطباق
۱۵۵	۲-۴-۴- ساختار مرزهای زاویه زیاد
۱۵۶	۳-۴-۴- انرژی مرزهای زاویه زیاد
۱۵۸	۵-۴- توپولوژی مرزها و دانه‌ها
۱۶۰	۱-۵-۴- ریزساختارهای دو بعدی
۱۶۱	۲-۵-۴- ریزساختار سه بعدی
۱۶۳	۳-۵-۴- وجوه مرز دانه
۱۶۳	۴-۵-۴- اتصال مرز
۱۶۴	۵-۵-۴- نقاط اتصال سه گانه
۱۶۴	۶-۴- برهم‌کنش ذرات فاز دوم با مرزها
۱۶۵	۱-۶-۴- نیروی کشش اعمالی توسط یک ذره منفرد
۱۷۰	۲-۶-۴- فشار کششی ناشی از توزیع ذرات

فصل ۵: تحرک و مهاجرت مرزها

۱۷۹	۱-۵- مقدمه
۱۷۹	۱-۱-۵- نقش مهاجرت مرز دانه در حین آنبیل
۱۸۰	۲-۱-۵- میکرو مکانیزم‌های مهاجرت مرز دانه
۱۸۱	۳-۱-۵- مفهوم تحرک مرز دانه
۱۸۲	۴-۱-۵- اندازه‌گیری تحرک مرز دانه
۱۸۴	۲-۵- تحرک مرز دانه‌های زاویه کم
۱۸۴	۱-۲-۵- مهاجرت مرزهای کج متفادن تحت تنش
۱۸۶	۲-۲-۵- مرز دانه‌های زاویه کم عمومی
۱۹۷	۳-۵- اندازه‌گیری تحرک مرزهای زاویه زیاد
۱۹۷	۱-۳-۵- تأثیر دما بر تحرک مرز دانه در فلزات خیلی خالص
۲۰۱	۲-۳-۵- تأثیر جهت‌گیری بر مهاجرت مرز دانه در فلزات خیلی خالص
۲۰۹	۳-۳-۵- اثر عناصر حل‌شونده بر تحرک مرز
۲۱۶	۴-۳-۵- تأثیر عیوب نقطه‌ای بر تحرک مرز
۲۱۹	۵-۳-۵- محدوده اندازه‌گیری‌های تجربی
۲۲۰	۴-۵- تئوری‌های تحرک مرز دانه‌های زاویه زیاد
۲۲۰	۱-۴-۵- تئوری‌های مهاجرت مرز دانه در فلزات خالص
۲۲۸	۲-۴-۵- تئوری‌های مهاجرت مرز دانه در محلول‌های جامد
۲۳۶	۵-۵- مهاجرت اتصالات سه گانه
۲۳۶	۱-۵-۵- مقدمه
۲۳۷	۲-۵-۵- اهمیت تحرک اتصال سه گانه

فصل ۶: بازیابی پس از تغییر شکل

۲۳۹	۱-۶- مقدمه
۲۳۹	۱-۱-۶- وقوع بازیابی
۲۴۱	۲-۱-۶- تأثیر بازیابی بر خواص
۲۴۴	۲-۶- اندازه‌گیری عملی بازیابی

۲۴۴	۱-۲-۶ اندازه بازیابی
۲۴۷	۲-۲-۶ اندازه‌گیری سینتیک بازیابی
۲۵۰	۳-۶ مهاجرت و حذف نابجایی‌ها در حین بازیابی
۲۵۱	۱-۳-۶ ملاحظات عمومی
۲۵۲	۲-۳-۶ سینتیک حذف دو قطبی
۲۵۴	۳-۳-۶ سینتیک بازیابی ساختارهای نابجایی پیچیده‌تر
۲۶۰	۴-۶ آرایش مجدد نابجایی به صورت ردیف‌های پایدار
۲۶۰	۱-۴-۶ چند ضلعی شدن
۲۶۲	۲-۴-۶ تشکیل دانه فرعی
۲۶۴	۵-۶ درشت شدن دانه‌های فرعی
۲۶۵	۱-۵-۶ نیروی محرکه لازم برای رشد دانه فرعی
۲۶۵	۲-۵-۶ اندازه‌گیری‌های تجربی مربوط به درشت شدن دانه فرعی
۲۷۱	۳-۵-۶ رشد دانه فرعی توسط مهاجرت مرز
۲۸۱	۴-۵-۶ رشد دانه فرعی توسط چرخش و تجمع
۲۹۰	۵-۵-۶ مکانیزم‌های بازیابی و جوانه‌زنی تبلور مجدد
۲۹۰	۶-۶ تأثیر ذرات فاز دوم بر بازیابی
۲۹۱	۱-۶-۶ تأثیر ذرات بر نرخ رشد دانه فرعی
۲۹۳	۲-۶-۶ اندازه دانه فرعی محدود شده توسط ذرات
۲۹۹	فصل ۷: تبلور مجدد آلیاژهای تک فاز
۲۹۹	۱-۷ مقدمه
۳۰۲	۱-۱-۷ اندازه‌گیری تبلور مجدد
۳۰۵	۲-۱-۷ قوانین تبلور مجدد
۳۰۷	۲-۷ عوامل مؤثر بر نرخ تبلور مجدد
۳۰۷	۱-۲-۷ ساختار تغییر شکل یافته
۳۱۲	۲-۲-۷ جهات دانه
۳۱۴	۳-۲-۷ اندازه دانه اولیه
۳۱۶	۴-۲-۷ عناصر حل شونده
۳۱۷	۵-۲-۷ دمای تغییر شکل و نرخ کرنش
۳۱۸	۶-۲-۷ شرایط آنیل
۳۲۱	۳-۷ سینتیک ظاهری تبلور مجدد اولیه
۳۲۱	۱-۳-۷ مدل جانسون-مل-آورامی-کلموگروف (JMAK)
۳۲۶	۲-۳-۷ متدولوژی مسیر ریزساختاری
۳۳۰	۴-۷ سینتیک تبلور مجدد در مواد واقعی
۳۳۰	۱-۴-۷ توزیع فضایی غیر تصادفی جوانه‌ها
۳۳۲	۲-۴-۷ تغییر نرخ رشد در حین تبلور مجدد
۳۴۱	۵-۷ ریزساختار تبلور مجدد
۳۴۱	۱-۵-۷ جهات دانه‌ها
۳۴۲	۲-۵-۷ اندازه دانه
۳۴۳	۳-۵-۷ شکل دانه
۳۴۴	۶-۷ جوانه‌زنی تبلور مجدد
۳۴۴	۱-۶-۷ جوانه‌زنی کلاسیک
۳۴۵	۲-۶-۷ مهاجرت مرز دانه متأثر از کرنش (SIBM)

۳۵۴	۳-۶-۷- مدل جوانه پیش ساخته
۳۵۶	۴-۶-۷- مکان‌های جوانه‌زنی
۳۵۹	۷-۷- دوقلوهای آنبیل
۳۵۹	۱-۷-۷- مقدمه
۳۶۰	۲-۷-۷- مکانیزم‌های تشکیل دوقلو
۳۶۲	۳-۷-۷- تشکیل دوقلوها در حین بازیابی
۳۶۳	۴-۷-۷- تشکیل دوقلوها در حین تبلور مجدد
۳۶۵	۵-۷-۷- تشکیل دوقلو در حین رشد دانه
۳۶۷	فصل ۸: تبلور مجدد مواد منظم
۳۶۷	۱-۸- مقدمه
۳۶۸	۲-۸- ساختارهای منظم
۳۶۸	۱-۲-۸- ماهیت و پایداری
۳۷۰	۲-۲-۸- تغییر شکل مواد منظم
۳۷۲	۳-۲-۸- ریزساختارها و بافت‌های تغییر شکل
۳۷۴	۳-۸- بازیابی و تبلور مجدد مواد منظم
۳۷۵	۱-۳-۸- ساختارهای L1 ₂
۳۸۰	۲-۳-۸- ساختارهای B2
۳۸۱	۳-۳-۸- ساختارهای حوزه
۳۸۲	۴-۸- رشد دانه
۳۸۴	۵-۸- تبلور مجدد دینامیکی
۳۸۵	۶-۸- خلاصه
۳۸۷	فصل ۹: تبلور مجدد آلیاژهای دو فازی
۳۸۷	۱-۹- مقدمه
۳۸۸	۱-۱-۹- مشخصه‌های ذره
۳۸۸	۲-۱-۹- ریزساختار تغییر شکل یافته
۳۸۹	۲-۹- اثرات مشهود ذرات بر تبلور مجدد
۳۸۹	۱-۲-۹- اثر مشخصه‌های ذره
۳۹۲	۲-۲-۹- اثر کرنش
۳۹۴	۳-۲-۹- اثر استحکام ذرات
۳۹۵	۴-۲-۹- اثر همگن‌سازی ریزساختار
۳۹۶	۳-۹- جوانه‌زنی تبلور مجدد متأثر از ذرات
۳۹۸	۱-۳-۹- مکانیزم‌های جوانه‌زنی متأثر از ذرات (PSN)
۴۰۳	۲-۳-۹- جهات دانه‌های تولید شده توسط PSN
۴۰۷	۳-۳-۹- بازدهی PSN
۴۰۸	۴-۳-۹- اثر توزیع ذرات
۴۰۸	۵-۳-۹- اثر PSN بر ریزساختار تبلور مجدد شده
۴۱۱	۴-۹- قفل کنندگی ذره در حین تبلور مجدد (کشش زنی)
۴۱۱	۱-۴-۹- جوانه‌زنی تبلور مجدد
۴۱۳	۲-۴-۹- رشد در حین تبلور مجدد
۴۱۴	۵-۹- توزیع دو گانه ذرات

۴۱۶	۹-۶- کنترل اندازه دانه توسط ذرات
۴۱۸	۹-۷- کامپوزیت‌های زمینه فلزی خاص (MMCS)
۴۲۰	۹-۸- برهم کنش رسوب و تبلور مجدد
۴۲۰	۹-۸-۱- مقدمه
۴۲۲	۹-۸-۲- رژیم I- رسوب گذاری پیش از تبلور مجدد
۴۲۵	۹-۸-۳- رژیم II- تبلور مجدد و رسوب گذاری همزمان
۴۲۷	۹-۸-۴- رژیم III- تبلور مجدد پیش از رسوب گذاری
۴۲۷	۹-۹- تبلور مجدد آلیاژهای دوتایی (Duplex)
۴۲۸	۹-۹-۱- ریزساختارهای تعادلی
۴۳۰	۹-۹-۲- ریزساختارهای غیر تعادلی

فصل ۱۰: رشد و پایداری ریزساختارهای سلولی

۴۳۱	۱۰-۱- مقدمه
۴۳۲	۱۰-۲- مدل
۴۳۷	۱۰-۳- پایداری ریزساختار تک فاز
۴۳۸	۱۰-۳-۱- مرزهای زاویه کم - بازیابی
۴۳۹	۱۰-۳-۲- مرزهای زاویه کم و زاویه زیاد- تبلور مجدد
۴۴۱	۱۰-۳-۳- مرزهای زاویه زیاد - رشد دانه
۴۴۲	۱۰-۳-۴- پایداری ریزساختارها پس از کرنش‌های بالا
۴۴۳	۱۰-۴- پایداری ریزساختارهای دوفازی
۴۴۴	۱۰-۵- خلاصه

فصل ۱۱: رشد دانه پس از تبلور مجدد

۴۴۵	۱۱-۱- مقدمه
۴۴۶	۱۱-۱-۱- ماهیت و اهمیت رشد دانه
۴۴۷	۱۱-۱-۲- عوامل مؤثر بر رشد دانه
۴۴۸	۱۱-۱-۳- آنالیز برک و ترن پال از سینتیک رشد دانه
۴۵۰	۱۱-۱-۴- مقایسه سینتیک‌های اندازه گیری شده به صورت تجربی
۴۵۳	۱۱-۱-۵- جنبه‌های توپولوژیکی رشد دانه
۴۵۵	۱۱-۲- توسعه تئوری‌ها و مدل‌های رشد دانه
۴۵۵	۱۱-۲-۱- مقدمه
۴۵۶	۱۱-۲-۲- تئوری‌های آماری ابتدایی
۴۵۹	۱۱-۲-۳- لحاظ کردن توپولوژی
۴۶۴	۱۱-۲-۴- تئوری‌های جبری
۴۶۷	۱۱-۲-۵- پیشرفت‌های تئوریک جدید
۴۶۷	۱۱-۲-۶- کدام تئوری جهت تفسیر رشد دانه در یک ماده ایده آل مناسب است؟
۴۷۰	۱۱-۳- اثرات بافت و جهت گیری دانه بر رشد دانه
۴۷۰	۱۱-۳-۱- سینتیک
۴۷۲	۱۱-۳-۲- اثر رشد دانه بر توزیع مشخصه مرز دانه
۴۷۷	۱۱-۴- اثر ذرات فاز دوم بر رشد دانه
۴۷۸	۱۱-۴-۱- سینتیک
۴۷۹	۱۱-۴-۲- اندازه دانه محدود به ذره

۴۸۶	۳-۴-۱۱- ناپایداری ذرات در حین رشد دانه.....
۴۹۰	۴-۴-۱۱- چرخش دانه.....
۴۹۱	۵-۴-۱۱- کشیده شدن ذرات توسط مرزها.....
۴۹۳	۵-۱۱- رشد غیرعادی دانه.....
۴۹۳	۱-۵-۱۱- پدیده رشد غیرعادی دانه.....
۴۹۵	۲-۵-۱۱- اثر ذرات.....
۵۰۱	۳-۵-۱۱- اثر بافت.....
۵۰۳	۴-۵-۱۱- اثرات سطح.....
۵۰۷	۵-۵-۱۱- اثر تغییر شکل قبلی.....
۵۰۹	فصل ۱۲: بافت‌های تبلور مجدد.....
۵۰۹	۱-۱۲- مقدمه.....
۵۱۰	۲-۱۲- ماهیت بافت‌های تبلور مجدد.....
۵۱۰	۱-۲-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد در فلزات fcc.....
۵۱۹	۲-۲-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد در فلزات bcc.....
۵۲۱	۳-۲-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد در فلزات همگراگونال.....
۵۲۲	۴-۲-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد در آلیاژهای دوفازی.....
۵۲۵	۳-۱۲- تئوری بافت‌های تبلور مجدد.....
۵۲۵	۱-۳-۱۲- تاریخچه.....
۵۲۷	۲-۳-۱۲- رشد جهت‌دار.....
۵۳۱	۳-۳-۱۲- جوانه‌زنی جهت‌دار.....
۵۳۶	۴-۳-۱۲- نقش نسبی جوانه‌زنی جهت‌دار و رشد جهت‌دار.....
۵۳۷	۵-۳-۱۲- نقش دوقلویی.....
۵۴۰	۴-۱۲- تشکیل بافت در حین آنیل.....
۵۴۰	۱-۴-۱۲- بافت معکبی در فلزات fcc.....
۵۴۵	۲-۴-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد در فولادهای کم کربن.....
۵۴۶	۳-۴-۱۲- بافت‌های تبلور مجدد مربوط به آلیاژهای دوفازی.....
۵۵۵	فصل ۱۳: تغییر شکل داغ و بازگشت دینامیکی.....
۵۵۵	۱-۱۳- مقدمه.....
۵۵۶	۲-۱۳- بازیابی دینامیکی.....
۵۵۷	۱-۲-۱۳- روابط اساسی.....
۵۵۸	۲-۲-۱۳- مکانیزم‌های تحول ریزساختار.....
۵۶۰	۳-۲-۱۳- ریزساختارهای تشکیل شده به هنگام بازیابی دینامیکی.....
۵۶۷	۴-۲-۱۳- تشکیل بافت در حین تغییر شکل داغ.....
۵۷۰	۵-۲-۱۳- مدل‌سازی تحول ریزساختار.....
۵۷۰	۳-۱۳- تبلور مجدد دینامیکی ناپیوسته.....
۵۷۱	۱-۳-۱۳- مشخصه‌های تبلور مجدد دینامیکی.....
۵۷۲	۲-۳-۱۳- جوانه‌زنی تبلور مجدد دینامیکی.....
۵۷۵	۳-۳-۱۳- تحول ریزساختار.....
۵۷۷	۴-۳-۱۳- اندازه دانه حالت پایا.....
۵۷۹	۵-۳-۱۳- تنش سیلان در حین تبلور مجدد دینامیکی.....
۵۸۰	۶-۳-۱۳- تبلور مجدد دینامیکی در تک بلورها.....

۵۸۲	۷-۳-۱۳ تبلور مجدد دینامیکی در آلیاژهای دوفازی
۵۸۳	۴-۱۳ تبلور مجدد دینامیکی پیوسته
۵۸۳	۱-۴-۱۳ انواع تبلور مجدد دینامیکی پیوسته
۵۸۳	۲-۴-۱۳ تبلور مجدد دینامیکی توسط چرخش تدریجی شبکه
۵۸۸	۵-۱۳ تبلور مجدد دینامیکی در مواد معدنی
۵۸۹	۱-۵-۱۳ مهاجرت مرز در مواد معدنی
۵۹۲	۲-۵-۱۳ مهاجرت و تبلور مجدد چرخشی
۵۹۲	۶-۱۳ آنیل پس از تغییر شکل داغ
۵۹۳	۱-۶-۱۳ بازایی استاتیکی
۵۹۴	۲-۶-۱۳ تبلور مجدد استاتیکی
۵۹۶	۳-۶-۱۳ تبلور مجدد متادینامیکی
۵۹۶	۴-۶-۱۳ جوامع ذرات متاثر از ذرات (PSN) پس از تغییر شکل داغ
۵۹۹	۵-۶-۱۳ رشد دانه پس از کار داغ
۶۰۱	فصل ۱۴: تبلور مجدد پیوسته در حین و پس از تغییر شکل با کرنش زیاد
۶۰۱	۱-۱۴ مقدمه
۶۰۲	۲-۱۴ پایداری ریزساختار پس از کرنش‌های زیاد
۶۰۴	۳-۱۴ تغییر شکل در دمای محیط
۶۰۴	۱-۳-۱۴ توسعه ریزساختارهای پایدار توسط تغییر شکل با کرنش زیاد
۶۰۶	۲-۳-۱۴ اثر اندازه دانه اولیه
۶۰۸	۳-۳-۱۴ اثر ذرات فاز دوم
۶۰۸	۴-۳-۱۴ تبدیل تبلور مجدد ناپیوسته به تبلور مجدد پیوسته
۶۱۱	۵-۳-۱۴ مکانیزم تبلور مجدد پیوسته در آلومینیوم
۶۱۳	۴-۱۴ تغییر شکل در دماهای بالا
۶۱۳	۱-۴-۱۴ تبلور مجدد دینامیکی هندسی
۶۱۵	۲-۴-۱۴ شرایط وقوع تبلور مجدد دینامیکی هندسی
۶۱۶	۳-۴-۱۴ اندازه دانه حاصل از تبلور مجدد دینامیکی هندسی
۶۱۷	۵-۱۴ پایداری ریزساختارهای دانه میکرونی در برابر رشد دانه
۶۱۸	۱-۵-۱۴ آلیاژهای تک فاز
۶۱۹	۲-۵-۱۴ آلیاژهای دوفازی
۶۲۱	فصل ۱۵: کنترل تبلور مجدد
۶۲۱	۱-۱۵ مقدمه
۶۲۱	۲-۱۵ فرآوری برخی آلیاژهای آلومینیومی صنعتی
۶۲۲	۱-۲-۱۵ آلومینیوم تجاری خالص (AA1xxx)
۶۲۲	۲-۲-۱۵ تولید قوطی‌های نوبله آلومینیومی (AA3xxx)
۶۳۱	۳-۲-۱۵ ورق اتومیل Al-Mg-Si (AA6xxx)
۶۳۵	۳-۱۵ کنترل بافت در ورق فولادی نورد سرد و آنیل شده
۶۳۵	۱-۳-۱۵ مقدمه
۶۳۶	۲-۳-۱۵ پیش‌زمینه
۶۴۰	۳-۳-۱۵ فولادهای شکل‌دهی کم کربن، کشته شده با آلومینیوم و آنیل جمعی شده
۶۴۰	۴-۳-۱۵ فولادهای فوق کم کربن
۶۴۷	۵-۳-۱۵ فولادهای خیلی کم کربن با استحکام بالا

۶۴۸	۴-۱۵- پیشرفت‌های اخیر در زمینه ورق‌های فولادی سیلیسی با دانه‌های جهت‌دار
۶۴۸	۱-۴-۱۵- مقدمه
۶۴۸	۲-۴-۱۵- تولید ورق‌های فولادی سیلیسی
۶۵۱	۳-۴-۱۵- توسعه بافت گوس
۶۵۲	۴-۴-۱۵- پیشرفت‌های اخیر
۶۵۶	۵-۱۵- آلایزهای آلومینیوم سوپر پلاستیک تجارتنی
۶۵۶	۱-۵-۱۵- ریزساختار و سوپر پلاستیسته
۶۵۸	۲-۵-۱۵- تکامل ریزساختار توسط تبلور مجدد استاتیکی
۶۶۰	۳-۵-۱۵- تکامل ریزساختار توسط تبلور مجدد دینامیکی
۶۶۳	۶-۱۵- آلایزهایی با اندازه دانه زیر میکرون
۶۶۳	۱-۶-۱۵- پیش زمینه
۶۶۵	۲-۶-۱۵- روش‌های فرآوری
۶۷۰	۳-۶-۱۵- خواص و کاربردهای آلایزهای با اندازه دانه زیر میکرون
۶۷۱	۴-۶-۱۵- خلاصه

فصل ۱۶: مدل‌سازی کامپیوتری و شبیه‌سازی آنیل

۶۷۳	۱-۱۶- مقدمه
۶۷۳	۱-۱-۱۶- نقش شبیه‌سازی کامپیوتری
۶۷۴	۲-۱-۱۶- وضعیت شبیه‌سازی کامپیوتری
۶۷۶	۲-۱۶- ریزمدل‌ها
۶۷۶	۱-۲-۱۶- شبیه‌سازی‌های مونت کارلو
۶۸۲	۲-۲-۱۶- اتومات سلولی
۶۸۴	۳-۲-۱۶- دینامیک مولکولی
۶۸۵	۴-۲-۱۶- شبیه‌سازی‌های ورتکس
۶۹۴	۵-۲-۱۶- مدل‌های آورامی کامپیوتری
۶۹۵	۶-۲-۱۶- مدل‌سازی شبکه عصبی
۶۹۶	۳-۱۶- مدل‌های جفت شده
۶۹۶	۱-۳-۱۶- آنیل ریزساختارهای واقعی
۶۹۷	۲-۳-۱۶- آنیل ریزساختارهای تغییر شکل تهیه شده با کامپیوتر
۶۹۷	۳-۳-۱۶- مدل‌سازی یک فرایند ترمومکانیکی صنعتی

پیوست ۱: بافت

۷۰۱	۱-۱- نمایش بافت
۷۰۱	۱-۱-۱- تصاویر قطبی
۷۰۳	۲-۱-۱- تصاویر قطبی معکوس
۷۰۳	۳-۱-۱- نواحی توزیع جهت و فضای اویلر
۷۰۷	۴-۱-۱- فضای رودریگر - فرانک
۷۰۹	۵-۱-۱- عدم تطابق
۷۰۹	۲-۱- اندازه‌گیری درشت‌بافت
۷۰۹	۱-۲-۱- پراش پرتو ایکس
۷۱۲	۲-۲-۱- پراش نوترون
۷۱۲	۳-۱- اندازه‌گیری ریزبافت
۷۱۳	۱-۳-۱- روش‌های نوری

[illegible]

نشانه‌ها و علائم

علائم زیر به صورت گسترده در متن کتاب استفاده شده است. i و n نیز نشان‌دهنده استفاده از حروف و ارقام در نشانه‌های خاص می‌باشد. در مواردی نیز که از حروف یا نشانه‌ها برای سایر اهداف استفاده شده، علت آن ذکر گردیده است.

b	بردار برگز نابجایی
K_n, C_n, c_n, c	ثابت‌هایی هستند که در متن استفاده شده‌اند.
d	قطر ذره فاز دوم
D	قطر دانه یا دانه فرعی
D_i	ضریب نفوذ ($s =$ نفوذ حجم، $b =$ نفوذ مرز، $c =$ نفوذ هسته)
F_v	کسر حجمی ذرات فاز دوم
G	مدول برشی
E_t	انرژی، مثل انرژی ذخیره شده تغییر شکل
k	ثابت بولتزمن
M	تحرک مرز
N_v	تعداد دانه‌ها یا ذرات فاز دوم در واحد حجم
N_s	تعداد ذرات در واحد سطح
P یا P_i	فشار روی یک مرز
Q یا Q_i	انرژی اکتیواسیون (برای نفوذ: $s =$ حجم، $b =$ مرز، $c =$ هسته)
R	شعاع دانه یا دانه فرعی

کرنش برشی	s
زمان	t
دما، دمای ذوب (K)	T_m, T
سرعت نابجایی یا مرز	v
حجم	V
ثابت	α و β
انرژی فصل مشترک یا مرز	γ
انرژی نقص چیدن، انرژی نقص چیدن کاهش یافته	$\gamma_{RSFE} + \gamma_{SFE}$
انرژی مرز زاویه زیاد	γ_b
انرژی مرز زاویه کم	γ_s
کرنش حقیقی	ϵ
نرخ کرنش حقیقی	$\dot{\epsilon}$
عدم تطابق در مرز	θ
فاصله بین ذره‌ای (در معادله پیوست ۲-۱۳ تعریف شده)	λ
ضریب پواسون	ν
فرکانس ارتعاش اتمی	ν_0
چگالی نابجایی	ρ
مرزهای دانه انطباقی. 1/n کسر مکان‌های مربوط به هر دو دانه است	Σ_n
تنش حقیقی	σ
تنش برشی	τ
زوایای اوایلر	$\varphi_1, \varphi_2, \Phi$
شیب جهت گیری	Ω

حروف اختصاری

نورد پیوندی تجمعی	ARB
اتومات سلولی	CA
مدل سازی پلاستیسته بلور توسط اجزای محدود	CPFEM
کاهن، لوک، استو (تئوری کشش عنصر حل شونده)	CLS
شبکه مکان انطباق	CLS
دیواره نابجایی چگال	DDW
تفرق الکترون برگشتی	ERSD
اکستروژن زاویه ای در کانال های با مقاطع یکسان	ECAE
قطر دایره معادل	ECD
اجزای محدود (مدل سازی)	FE
میکروسکوپ الکترونی روبشی با تفنگک نشر میدانی	FEGSEM
توزیع مشخصه مرز دانه	GBCD
مهندسی مرز دانه	GBE
مرز لازم از نظر هندسی	GNB
مرز دانه زاویه زیاد	HAGB
فولاد کم آلیاژ استحکام بالا	HSLA
میکروسکوپ الکترونی عبوری ولتاژ بالا	HVEM
مرز نابجایی تصادفی	IDB

IF	فولاد عاری از عناصر بین‌نشین
JMAK	مدل سینتیکی جانسون-مهل - آورامی - کولموگوروف
LAGB	مرز دانه زاویه کم
MD	دینامیک مولکولی
MIL	میانگین تقاطع خطی
TD, RD, ND	جهات عمود، موازی ورود و عرضی در محصول ورود شده
ODF	تابع توزیع جهت
PSN	جوانه‌زنی تبلور مجدد متأثر از ذره
SEM	میکروسکوپ الکترونی روبشی
SFE	انرژی نقص چیدن
SIBM	مهاجرت مرزی ناشی از کرنش
SMG	آلیاژ با دانه‌های زیر میکرون
SPF	شکل‌دهی سوپرپلاستیک
TEM	میکروسکوپ الکترونی عبوری

پیشگفتار - چاپ اول

تلور مجدد و پدیده‌های مرتبط با آنیل که در حین فرآوری ترمومکانیکی مواد ایجاد می‌شود، دارای اهمیت صنعتی و علمی می‌باشد. این پدیده‌ها، در تمام مواد بلوری روی می‌دهند؛ در حین تغییر شکل طبیعی صخره‌ها و کانی‌ها و با طی فرآوری سرامیک‌های صنعتی نیز به وقوع می‌پیوندد. البته، این پدیده‌ها به صورت گسترده در فلزات مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و از آنجا که فقط در این گروه از مواد، پژوهش‌های منسجمی در این زمینه صورت گرفته بنابراین کتاب حاضر روی مواد فلزی متمرکز شده است. بخش عمده‌ای از مطالب مقدمه به ۱۵۰ سال پیش بر می‌گردد و قسمت اعظم مطالب مروری فصل ۱ نیز به همین گونه است و تنها دو نمودار مربوط به سال‌های اخیر (نزدیک به ۲۰ سال پیش) می‌باشد. از آن زمان تاکنون، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه درک بهتر موضوع و روش‌های موجود جهت بررسی این پدیده‌ها توسط پژوهشگران صورت گرفته است.

پژوهش‌های متالورژیکی در این زمینه، وابسته به نیازمندی‌های صنعت می‌باشد و در حال حاضر، نیاز اساسی در زمینه مدل‌های پایه فیزیکی کمی است که قابل اعمال به فرایندهای شکل‌دهی فلزات به منظور کنترل، اصلاح و بهینه‌سازی ریزساختار و بافت محصول تولیدی می‌باشد. چنین مدل‌هایی نیازمند درک دقیق‌تر فرایندهای تغییر شکل و آنیل موجود می‌باشند. توسعه علوم زیربنایی، تا سطحی که بتواند مدل‌های مورد نیاز را از اصول و قواعد اولیه ایجاد کند، از اهداف ۱۰ تا ۲۰ سال آینده است.

این کتاب، جهت بررسی موضوعات یاد شده برای پژوهشگران و دانشجویانی تهیه شده است که نیازمند اطلاعات دقیق‌تر و بیشتری می‌باشند که در سایر کتب متالورژی فیزیکی یافت نمی‌شود و یا به دنبال مباحث منسجم در این زمینه می‌باشند که در مجموعه مقالات کنفرانس‌ها به چشم نمی‌خورد. در این کتاب تأکید بر قواعد علمی و مسائل فیزیکی و اساسی آنیل بوده است تا آنکه یک هندبوک یا کتاب جامعی ارائه شود.

متأسفانه عبارت کلی آنیل عمدتاً جهت تفسیر و توضیح دو فرایند متالورژیکی استفاده می‌شود. هر دو فرایند، نتیجه یکسانی دارند و طی آن یک ماده سخت شده، نرم‌تر می‌شود ولی مکانیزم مربوطه کاملاً متفاوت است. در یک حالت، که مرتبط با عملیات حرارتی مواد آهنی است، فرایند نرم‌شوندگی شامل دگرگونی فاز $\alpha \rightarrow \gamma$ است. در حالت دیگر، که بیشتر مربوط به مباحث این کتاب است، نرم‌شوندگی نتیجه مستقیم از بین رفتن نابجایی‌های تولید شده توسط کارسختی است.

نوشتن کتابی در زمینه تلور مجدد کار آسانی نیست، زیرا اگر چه این موضوع شفاف و مشخص است، اما بسیاری از جنبه‌های آن به خوبی درک نشده و شواهد تجربی نیز اغلب ضعیف و مبهم است. بنابراین بهترین حالت،

بررسی کمی تمام جنبه‌های این پدیده‌ها و به دست آوردن یکسری تئوری از اصول و قواعد اولیه است. البته، هنوز این امکان فراهم نشده و خواننده در خواهد یافت که این کتاب ترکیبی از تئوری نسبتاً دقیق، فرضیات منطقی و برخی حدس و گمان‌هاست. دو علت برای فقدان پیشرفت و تکامل در این کتاب وجود دارد. اول آنکه، نمی‌توان مفهوم بازیابی و تبلور مجدد را به طور عمیق دریافت مگر آنکه ماهیت حالت تغییر شکل یافته درک شود که این نکته جزء اهداف بلندمدت است. دیگر آنکه، اگرچه برخی فرایندهای آنیل، نظیر بازیابی و رشد دانه تقریباً همگن می‌باشند، اما سایر فرایندها نظیر تبلور مجدد و رشد غیرعادی دانه غیر همگن بوده و ناشی از ناپایداری‌های موضعی و بی‌نظمی‌های غیرمنتظره نظیر آشفته‌گی‌های آب و هوایی است.

لازم به ذکر است که ما در حال نوشتن کتابی درباره یک موضوع مهم و قابل توجه هستیم. می‌توان گفت که با نوشتن این کتاب کار بسیار کوچکی در این زمینه انجام شده است و در واقع مباحث مطرح شده در اینجا، به مثابه یک عکس فوری و اجمالی از یک موضوع مهم، توسط دو محقق علاقه‌مند و متخصص در شاخه‌های مختلف است. امید است که در چاپ دوم این کتاب که شاید در ۱۰ سال آینده تهیه شود، بسیاری از جنبه‌های مرتبط با موضوع شفاف‌تر شوند.

بازیابی و تبلور مجدد وابسته به ماهیت حالت تغییر شکل یافته ماده بوده و شامل تشکیل، دفع و حرکت مرز دانه‌ها هستند. به همین دلیل، مباحثی در زمینه حالت تغییر شکل یافته در فصل ۲ و ماهیت مرز دانه‌ها در فصل ۳ مطرح شده است. این دو موضوع، کلیت کتاب را در بر گرفته‌اند و تلاش شده است تا یکسری اطلاعات اساسی و مهم جهت پربارتر شدن کتاب ارائه شود. فصل ۴ در ارتباط با مهاجرت و حرکت مرز دانه‌هاست و شامل یکسری اطلاعات زیربنایی می‌باشد.

موضوعات اصلی کتاب، یعنی بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه در فصول ۵ تا ۱۱ گنجانده شده‌اند و شامل فصول مشخصی در زمینه مواد منظم، آلیاژهای دو فازی و بافت آنیل می‌باشند. به منظور نشان دادن برخی کاربردهای اصول بحث شده در کتاب، برخی موارد مهم صنعتی و فنی در فصل ۱۲ ذکر شده‌اند. فصل آخر نیز در مورد شبیه‌سازی کامپیوتری و مدل‌سازی در پدیده‌های آنیل است و در پیوست کتاب، مقدمه‌ای در زمینه اندازه‌گیری و ارائه بافت برای خوانندگان که با این مقوله آشنایی ندارند، ذکر شده است.

جان هامفریز	ماکس هاترلی
مرکز علم مواد منچستر	دانشکده مواد
دانشگاه منچستر، انستیتو علوم و تکنولوژی	دانشگاه نیوساوت ولز
انگلستان	استرالیا

پیشگفتار (چاپ دوم)

این چاپ نیز دارای فلسفه و چارچوب یکسانی با چاپ اول می‌باشد، اگر چه به دلیل توسعه و بسط موضوع، برخی تغییرات اساسی در آن ایجاد شده است. باید گفت که تبلور مجدد هم‌چنان یک موضوع فعال باقی می‌ماند که توسط برخی انتشارات و کنفرانس‌ها بررسی می‌شود و توسعه مداوم آن در بسیاری از زمینه‌ها، این موضوع را پیچیده‌تر می‌سازد. مانند آنچه که در چاپ اول ذکر شد، این کتاب بیان‌گر دیدگاه شخصی نویسندگان از موضوع در یک مقطع زمانی مشخص است.

در این چاپ، دو تغییر مهم و اساسی در روش‌های بررسی و تحلیل تبلور مجدد نسبت به چاپ اول ایجاد شده است. تغییر اول، در بررسی و تعیین تجربی ریزساختار و بافت است که با پیشرفت توانایی و کاربرد روش پراش پرتو ایکس الکترون برگشتی (EBSD)، اطلاعاتی ارائه شده است که در چاپ اول موجود نیست و مثال‌های بسیاری از این مورد در کتاب حاضر ارائه شده است. تغییر دیگر، افزایش موارد مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایندهای آنیل است که در حال حاضر انجام می‌شود.

بر حسب موضوعات مطرح شده در چاپ اول، دو بحث مهم و اساسی در زمینه درک تبلور مجدد، انجام شده است؛ مشخص کردن حالت تغییر شکل یافته و اندازه‌گیری خواص مرز دانه. برخی مباحث جدید نیز به صورت مقدماتی مطرح شده‌اند. در چاپ اول، توضیح مختصری داده شده که تغییر شکل تا کرنش‌های خیلی زیاد می‌تواند باعث پایداری ریزساختار در آنیل پس از آن شود. این مسأله در حال حاضر، یک موضوع پژوهشی گسترده و مهم تلقی می‌شود که نه تنها اهمیت علمی دارد بلکه می‌تواند منجر به تولید آلیاژهای مستحکمی شود و بنابراین با جزییات

بیشتری در این چاپ آمده است. توسعه مباحث در این زمینه و سایر زمینه‌ها، نشان می‌دهد که مشکلاتی در زمینه اعمال عبارات تجارتي و متداول به پدیده‌های جدید وجود دارد و بنابراین لازم است که بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه به متغیرهای ناپیوسته و پیوسته دسته‌بندی شوند. تغییر در فهرست‌بندی کتاب حاضر نیز شامل جدا کردن ریزساختار تغییر شکل (فصل ۲) و بافت تغییر شکل (فصل ۳)، ایجاد فصلی که شامل یک مدل تحلیلی ساده برای بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه است (فصل ۱۰)، بررسی تبلور مجدد پیوسته در حین و پس از تغییر شکل با کرنش بالا (فصل ۱۴) و خلاصه‌ای از روش‌های اندازه‌گیری تبلور مجدد (ضمیمه ۲) می‌باشد. در نهایت، دست‌یابی به برخی کلیپ‌های ویدیویی مربوط به آزمایشات آنیل درجا و شبیه‌سازی‌های انجام شده، از طریق سایت www.recrystallization.info امکان‌پذیر است.

جان هامفریز

ماکس هاترلی

آوریل ۲۰۰۳

پیشگفتار مترجمان

بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه پدیده‌هایی هستند که در حین فرایند آنیل در فلزات به وقوع می‌پیوندند. در حین تغییر شکل فلزات، تعداد بسیار زیادی نابجایی در فلز ایجاد می‌شود که باعث کارسخت شدن، افزایش استحکام و کاهش انعطاف‌پذیری ماده می‌گردد. با انجام فرایند آنیل، در ابتدا دانسیته نابجایی‌ها در اثر بازیابی کاهش یافته و سپس در اثر تبلور مجدد دانه‌های جدید و عاری از کرنش در ماده بوجود می‌آیند و با ادامه فرایند امکان رشد دانه‌ها نیز فراهم می‌آید. از آنجایی که پدیده‌های بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه می‌تواند در مواد گوناگون و شرایط مختلف تولید رخ دهد، این کتاب روی پدیده‌های فوق که در حین فرایند آنیل و پس از تغییر شکل در فلزات اتفاق می‌افتد، متمرکز می‌گردد. علاوه بر مباحث فوق، مطالب بسیار جالب و آموزنده‌ای در رابطه با انرژی ذخیره شده ناشی از تغییر شکل در ماده، بافت‌های تغییر شکل و آنیل و همچنین تحول ریزساختار در حین تغییر شکل داغ و تغییر شکل پلاستیکی شدید را در اختیار خواننده قرار می‌دهد. چون منابع فارسی موجود در زمینه‌های فوق بسیار اندک است، بی‌شک ترجمه این کتاب می‌تواند گامی مثبت در این راستا تلقی گردد.

این کتاب، جهت بررسی موضوعات یاد شده، برای پژوهشگران و دانشجویانی تهیه شده است که نیازمند اطلاعات دقیق‌تر و بیشتری می‌باشند که در سایر کتب متالورژی فیزیکی یافت نمی‌شود. از آنجایی که در این کتاب موضوعات مختلفی مطرح شده است می‌تواند به عنوان یک منبع درسی و کمک درسی در زمینه‌های خواص فیزیکی و مکانیکی مواد، عملیات حرارتی، تغییر شکل داغ و بافت کریستالی در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مطالعه این کتاب به کارشناسان واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی و مراکز

تحقیقاتی نیز توصیه می‌گردد.

بدیهی است نخستین کسی که باید با کمال خضوع از او تشکر کرد خدای عالم و قادر است که توانایی ترجمه کتاب را به اینجانبان عطا نمود. از خانواده‌هایمان که صبورانه صرف وقت برای ترجمه کتاب را تحمل نمودند، سپاسگزاریم. در ترجمه این کتاب از نظرات و پیشنهادهای جناب آقای دکتر فخرالدین اشرفی زاده استفاده شده است که بدینوسیله از ایشان تشکر و قدردانی می‌شود. از دانشجویان عزیزی که زحمت بازخوانی کتاب را بر عهده گرفتند سپاسگزاریم. ویرایش علمی کتاب را آقای دکتر فاتح فاضلی از گروه مهندسی مواد دانشگاه فردوسی مشهد با صرف وقت و دقت بسیار انجام داده‌اند که لازم است از ایشان نیز قدردانی به عمل آید. از معاون محترم وقت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد، جناب آقای دکتر رحیمی زاده و همکاران ایشان که امکان چاپ و نشر کتاب را فراهم نمودند نیز تشکر می‌نماییم. همچنین از تلاش‌های سرکار خانم ثریا رمضانی که زحمت تایپ متون کتاب را متقبل شدند متشکریم. تلاش بسیاری صورت گرفته تا کتاب عاری از اشتباه باشد، ولی قطعاً چنین نیست و رفع کاستی‌های موجود به راهنمایی دوستان و صاحب‌نظران نیاز دارد که ارائه این نظرات موجب کمال امتنان خواهد بود.

محمد رضا طرقي نژاد

دانشیار دانشکده مهندسی مواد

دانشگاه صنعتی اصفهان

حامد عسگري

کارشناس ارشد پژوهشکده فولاد

دانشگاه صنعتی اصفهان

تابستان ۱۳۸۸