

مقدمه‌ای بر

اصول نابجایی‌ها و مکانیزم‌های استحکام بخشی

تألیف

دکتر احمد رزاقیان

عضو هیات علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

سرشناسه	رزاقیان، احمد، ۱۳۳۸
عنوان و نام پدیدآور	: مقدمه‌ای بر اصول نابجایی‌ها و مکانیزم‌های استحکام بخشی احمد رزاقیان
مشخصات نشر	: قزوین، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد قزوین، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۳۳۳ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۳-۸۳۰-۶
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
موضوع	: نابجایی‌ها در بلورها
شناسه افزوده	: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد قزوین
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ق ۷۱۲/۲۱۲/۹۲۱ QD
رده‌بندی دیویی	: ۵۴۸/۸۴۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۰۷۴۷۷



انتشارات جهاد دانشگاهی
واحد قزوین

مقدمه‌ای بر اصول نابجایی‌ها و مکانیزم‌های استحکام بخشی

ناشر: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی واحد قزوین

گردآوری: دکتر احمد رزاقیان

ویراستار: دکتر محمد مسعود محبی

صفحه‌آرایی: منیره چادر یاف زاده

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۰۲-۳۶۷-۵

مرکز پخش: قزوین - انتشارات جهاد دانشگاهی واحد قزوین

تلفن: ۰۲۸۱-۲۲۴۰۴۰۴

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی نابجایی‌ها..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۱-۲- استحکام ثوری کریستال کامل..... ۱

۳-۱- نابجایی لبه‌ای..... ۴

۴-۱- نابجایی پیچی..... ۷

۵-۱- روش ولترا برای تشکیل نابجایی‌ها و نتایج آن..... ۱۰

۶-۱- شبکه نابجایی‌ها..... ۱۵

۷-۱- چگالی نابجایی‌ها..... ۱۷

۸-۱- مشاهده نابجایی‌ها..... ۱۸

فصل دوم: حرکت نابجایی‌ها..... ۲۳

۱-۲- مقدمه..... ۲۳

۲-۲- نابجایی‌ها و لغزش..... ۲۵

۱-۲-۲- لغزش متقاطع..... ۲۹

۳-۲- سرعت نابجایی..... ۳۰

۴-۲- صعود..... ۳۳

۵-۲- حلقه‌های نابجایی..... ۳۵

۶-۲- نابجایی‌های حلزونی..... ۳۸

۷-۲- صعود محافظه کارانه..... ۳۹

۸-۲- تغییر شکل پلاستیک ناشی از حرکت نابجایی..... ۴۰

فصل سوم: تئوری الاستیسیته، انرژی و نیروها..... ۴۳

۱-۳- مقدمه..... ۴۳

۴۴	۲-۳- اصول تنوری الاستیسته
۴۸	۳-۳- میدان تنش یک نابجایی مستقیم
۴۸	۱-۳-۳- نابجایی پیچی
۵۱	۲-۳-۳- نابجایی لبه‌ای
۵۴	۴-۳- انرژی کرنشی یک نابجایی
۶۰	۵-۳- نیروی لغزش روی یک نابجایی
۶۲	۶-۳- معادله پیچ-کهلر (Peach-Koehler)
۶۳	۱-۶-۳- نیروهای وارد شده بر یک نابجایی لبه‌ای مستقیم با استفاده از معادله پیچ-کهلر
۶۴	۲-۶-۳- نیروهای وارد شده روی یک نابجایی پیچی مستقیم با استفاده از معادله پیچ-کهلر
۶۶	۷-۳- نیروی بین نابجایی‌های لبه‌ای
۷۱	۸-۳- نیروی بین نابجایی‌های پیچی
۷۵	۹-۳- نیروی صعود
۷۷	۱۰-۳- خمیده شدن نابجایی‌ها
۸۰	۱۱-۳- نیروی تصویری
۸۲	۱۲-۳- نیروی لازم برای حرکت نابجایی (نیروی پارل-نایارو)

فصل چهارم: نابجایی‌ها در فلزات با ساختار کریستالی fcc و bcc ۹۳

۹۳	۱-۴- نابجایی‌ها در فلزات با ساختار کریستالی fcc
۹۳	۱-۱-۴- نابجایی‌های کامل
۹۴	۲-۱-۴- نابجایی جزئی
۹۵	۳-۱-۴- لغزش
۹۷	۱-۳-۱-۴- اثبات هندسی تجزیه نابجایی واحد به دو نابجایی جزئی در شبکه fcc
۹۹	۴-۱-۴- تجزیه نابجایی‌ها و نقص در چیده شدن اتمی
۱۰۶	۵-۱-۴- لغزش متقاطع نابجایی‌های توسعه یافته
۱۱۱	۶-۱-۴- چهاروجهی تامسون
۱۱۳	۷-۱-۴- نابجایی‌های غیرمتحرک (ساکن)
۱۱۳	۱-۷-۱-۴- نابجایی‌های فرانک
۱۲۱	۲-۷-۱-۴- نابجایی غیرمتحرک کاترل-لومر
۱۲۱	۱-۲-۷-۱-۴- قفل لومر

۱۲۲.....	۴-۱-۷-۲- قفل کاترل - لومر
۱۲۵.....	۴-۱-۸- چهاروجهی نقص در چیده شدن
۱۲۹.....	۴-۲- نابیجایی ها در فلزات با ساختار کریستالی هگزاگونال متراکم
۱۲۹.....	۴-۲-۱- بردارهای برگرز و نقایص در چیده شدن
۱۳۳.....	۴-۲-۲- لغزش پایه‌ای و غیر پایه‌ای
۱۳۶.....	۴-۳- نابیجایی ها در شبکه bcc

فصل پنجم: جاگ‌های نابیجایی ۱۳۹

۱۳۹.....	۵-۱- مقدمه
۱۴۰.....	۵-۲- تشکیل جاگ در اثر برخورد نابیجایی‌ها
۱۴۸.....	۵-۳- سوپر جاگ‌ها
۱۵۲.....	۵-۴- جاگ‌ها و حلقه‌های منشوری
۱۵۴.....	۵-۵- برخورد نابیجایی‌های توسعه یافته و جاگ‌های توسعه یافته
۱۵۷.....	۵-۶- برخوردگاه‌های دافعه و جاذبه
۱۶۰.....	۵-۷- گره‌های نقص در چیده شدن توسعه یافته

فصل ششم: منابع و تکثیر نابیجایی‌ها ۱۶۳

۱۶۳.....	۶-۱- مقدمه
۱۶۳.....	۶-۲- منابع نابیجایی
۱۶۶.....	۶-۳- تکثیر نابیجایی‌ها توسط منابع فرانک-رید
۱۶۶.....	۶-۳-۱- منبع فرانک-رید یک طرفه
۱۶۷.....	۶-۳-۲- منبع فرانک-رید دو طرفه
۱۶۸.....	۶-۴- تکثیر نابیجایی توسط لغزش متقاطع چندگانه
۱۶۹.....	۶-۵- تکثیر نابیجایی‌ها توسط به وسیله صعود
۱۷۱.....	۶-۶- تولید نابیجایی در حین رشد کریستال‌ها
۱۷۳.....	۶-۷- جوانه‌زنی نابیجایی‌ها در فصل مشترک‌ها
۱۷۳.....	۶-۷-۱- منابع مرزدانه

۶-۷-۲- ذرات فاز دوم.....	۱۷۴
۶-۸- انباشت نابجایی‌ها.....	۱۷۶
فصل هفتم: تشکیل نقایص نقطه‌ای در فلزات.....	
۷-۱- مقدمه.....	۱۸۱
۷-۲- جاهای خالی اضافی ناشی از سریع سرد شدن.....	۱۸۱
۷-۳- مطالعه فلزات سریع سرد شده با میکروسکوپ الکترونی.....	۱۸۴
۷-۴- تشکیل نقایص نقطه‌ای در حین تغییر شکل.....	۱۸۹
۷-۵- تشکیل نقایص نقطه‌ای توسط پرتوافکنی.....	۱۹۱
فصل هشتم: تغییر شکل تک کریستال‌های فلزی و کارسختی.....	
۸-۱- مقدمه.....	۱۹۳
۸-۲- هندسه لغزش.....	۱۹۴
۸-۳- تغییر شکل کریستال‌های فلز fcc.....	۱۹۹
۸-۳-۱- منحنی تنش برشی- کرنش برشی تک کریستال‌های فلزات fcc.....	۱۹۹
۸-۳-۲- نقش فلز و خلوص آن بر مراحل مختلف کارسختی.....	۲۰۱
۸-۳-۳- جهت‌گیری کریستال.....	۲۰۲
۸-۳-۴- تاثیر دما بر دامنه مراحل مختلف در منحنی تنش- کرنش.....	۲۰۴
۸-۳-۵- شکل و اندازه کریستال.....	۲۰۶
۸-۳-۶- شرایط سطحی.....	۲۰۷
۸-۳-۷- چگالی نابجایی‌ها در مراحل ۱ و ۲.....	۲۰۸
۸-۳-۸- نقش لغزش ثانویه در مراحل ۱ و ۲.....	۲۰۹
۸-۳-۹- وابستگی تنش سیلان به دما.....	۲۱۰
۸-۴- تغییر شکل کریستال‌های فلزی با ساختار bcc.....	۲۱۲
۸-۴-۱- مشاهدات کریستالوگرافی.....	۲۱۲
۸-۴-۲- هندسه لغزش در فلزات bcc.....	۲۱۳
۸-۴-۳- تنش سیلان.....	۲۱۴

۲۱۶	۴-۴-۸- منحنی‌های تنش - کرنش کریستال‌های bcc
۲۱۹	۵-۸- تغییر شکل کریستال‌های hcp
۲۱۹	۱-۵-۸- منحنی‌های تنش - کرنش فلزات هگزاگونال
۲۲۴	۶-۸- تئوری‌های اولیه کارسختی
۲۲۵	۱-۶-۸- Mott تئوری
۲۲۷	۷-۸- تئوری‌های جدید کارسختی
۲۲۸	۱-۷-۸- وابستگی تنش سیلان به دما و سرعت کرنش
۲۳۳	۲-۷-۸- مرحله ۲ سخت شدن
۲۳۵	۳-۷-۸- مرحله ۳ سخت شدن
۲۳۹	۴-۷-۸- مرحله ۳ سخت شدن
۲۴۰	۵-۷-۸- Kuhlmann-Wilsdorf تئوری

فصل نهم: استحکام‌بخشی ناشی از تشکیل محلول جامد و نقایص نقطه‌ای

۲۴۳	۱-۹- مقدمه
۲۴۴	۲-۹- اندرکنش‌های نابجایی و نقص نقطه‌ای
۲۴۷	۱-۲-۹- اندرکنش‌های الاستیک
۲۵۱	۲-۲-۹- اندرکنش‌های صلبیت
۲۵۲	۳-۲-۹- اندرکنش‌های الکتریکی
۲۵۳	۴-۲-۹- اندرکنش‌های شیمیایی (اثر سوزوکی)
۲۵۳	۵-۲-۹- اندرکنش نظم با دامنه کوتاه و بلند
۲۵۴	۳-۹- نقاط تسلیم بالایی (پدیده نقطه تسلیم) و پیرسازی کرنشی
۲۵۴	۱-۳-۹- شواهد تجربی اندرکنش‌های اتم محلول - نابجایی، پدیده تسلیم
۲۵۷	۲-۳-۹- تئوری‌های نقطه تسلیم
۲۶۳	۴-۹- تغییر شکل کریستال‌های محلول جامد
۲۶۳	۱-۴-۹- تنش برشی بحرانی محلول‌های جامد
۲۶۶	۲-۴-۹- وابستگی σ_s محلول‌های جامد به دما
۲۶۸	۳-۴-۹- منحنی‌های تنش - کرنش کریستال‌های محلول جامد
۲۶۸	۱-۳-۴-۹- نقاط تسلیم
۲۶۹	۲-۳-۴-۹- منحنی تنش - کرنش تک کریستال‌های محلول جامد

- ۵-۹- تغییر شکل محلول‌های جامد منظم ۲۷۳
- ۶-۹- تئوری‌های استحکام‌بخشی به طریق محلول جامد ۲۷۵
- ۹-۶-۱- تئوری قفل Cottrell ۲۷۵
- ۹-۶-۲- تئوری اندرکنش شیمیایی ۲۷۶
- ۹-۶-۳- تئوری Nabarro و Mott ۲۷۷
- ۹-۶-۴- تئوری ترکیب اثرات اندازه و صلبیت (Fleischer) ۲۷۹
- ۷-۹- تاثیر جاهای خالی اضافی ناشی از سریع سرد شدن بر خواص مکانیکی ۲۸۰
- ۸-۹- تاثیر پرتوافکشی بر خواص مکانیکی ۲۸۲
- ۹-۸-۱- تک کریستال‌ها ۲۸۲
- ۹-۸-۲- پلی کریستال‌ها ۲۸۳

فصل دهم: استحکام‌بخشی ناشی از توزیع ذرات فاز دوم ۲۸۷

- ۱-۱-۱- مقدمه ۲۸۷
- ۱-۲-۱- اندرکنش نابیجایی‌ها با رسوب‌ها ۲۸۸
- ۱-۳-۱- تئوری Nabarro و Mott برای آلیاژهای پیرسازی شده ۲۸۹
- ۱-۴-۱- برش مناطق و رسوب‌ها توسط نابیجایی‌ها ۲۹۲
- ۱-۴-۱-۱- کرنش‌های هم‌سیمایی ۲۹۲
- ۱-۴-۱-۲- سخت شدن صلبیت ۲۹۳
- ۱-۴-۱-۳- سخت شدن شیمیایی ۲۹۴
- ۱-۴-۱-۴- استحکام‌بخشی ناشی از منظم بودن رسوب و نقص در چیده شدن ۲۹۴
- ۱-۴-۱-۵- اختلاف حجم اتمی رسوب و زمینه ۲۹۶
- ۱-۵-۱- اندرکنش نابیجایی‌ها با رسوب‌های غیر هم‌سیما ۲۹۶
- ۱-۶-۱- انتقال از مکانیزم برش دادن ذرات به کمانه کردن بین ذرات ۲۹۹
- ۱-۷-۱- رسوب‌گذاری و سرعت کارسختی ۳۰۱
- ۱-۸-۱- منحنی‌های تنش-کرنش آلیاژهای پیرسازی شده ۳۰۲
- ۱-۹-۱- منحنی‌های تنش-کرنش کریستال‌های با رسوب‌های غیر هم‌سیما ۳۰۴
- ۱-۱۰-۱- تاثیر پراکندگی ذرات روی تنش تسلیم ۳۰۵
- ۱-۱۱-۱- تاثیر دما بر تغییر شکل آلیاژهای پیرسازی شده ۳۰۷
- ۱-۱۲-۱- ساختار میکروسکوپی اندرکنش رسوب-نابیجایی ۳۰۹

فصل یازدهم: استحکام بخشی ناشی از مرزدانه‌ها و سخت شدن ناشی از گرادیان کرنش ۳۱۱

- ۱-۱۱- مقدمه ۳۱۱
- ۲-۱۱- استحکام بخشی ناشی از مرزدانه (مدل Petch- Hall) ۳۱۳
- ۳-۱۱- استحکام بخشی مرزدانه (مدل Cottrell) ۳۱۴
- ۴-۱۱- استحکام بخشی مرزدانه (مدل Li) ۳۱۶
- ۵-۱۱- سخت شدن ناشی از گرادیان کرنش ۳۱۷
- ۶-۱۱- خلاصه‌ای از مکانیزم‌های استحکام بخشی در جامدات کریستالی ۳۲۱

مراجع ۳۲۳

واژه‌نامه ۳۲۵

www.ketab.ir

پیشگفتار

مطالعه بسیاری از خواص مواد کریستالی به ویژه رفتار مکانیکی آن‌ها از قبیل تغییرشکل پلاستیک، خزش، خستگی و نیز روش‌های مختلف استحکام‌بخشی مواد به فهم و شناخت نابعایی‌ها و رفتار آن‌ها بستگی دارد. رفتار تغییرشکل پلاستیک فلزات بدون شناخت نابعایی‌ها امکان‌پذیر نیست. نابعایی‌ها نواقص خطی در ساختار جامدات هستند که حضور آن‌ها برای چکش‌خواری فلزات لازم است. از طرف دیگر با ایجاد موانع در برابر حرکت نابعایی‌ها می‌توان استحکام جسم را افزایش داد. در این کتاب تلاش شده است که اصول نابعایی‌ها به گونه‌ای ساده و قابل فهم همراه با شکل‌های مفید ارائه شود که برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد گرایش‌های مختلف مهندسی مواد مفید و قابل استفاده باشد.

این کتاب مشتمل بر یازده فصل است که هفت فصل اول آن به خواص و رفتار نابعایی‌ها می‌پردازد که شامل شکل هندسی نابعایی‌ها، لغزش نابعایی‌ها، اندرکنش الاستیک بین نابعایی‌ها و دیگر نواقص ساختاری، رفتار نابعایی‌ها در فلزات با ساختارهای مختلف کریستالی، ایجاد جاگ‌ها در نابعایی‌ها در اثر برخورد آن‌ها با یکدیگر، مکانیزم‌های مختلف تکثیر نابعایی‌ها و تشکیل نقایص نقطه‌ای می‌باشد. در چهار فصل بعدی روش‌های استحکام‌بخشی در فلزات و آلیاژها شامل کارسختی، استحکام‌بخشی به طریق تشکیل محلول جامد، رسوب‌سختی و استحکام‌بخشی ناشی از مرزخانه‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

در پایان از آقای دکتر محمد مسعود محبی که ویرایش کتاب را انجام داده‌اند و نیز خانم مهندس منیره چادرباف زاده که زحمات زیادی را در خصوص تدوین ساختار کلی کتاب و صفحه‌آرایی آن متحمل شده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم. بدیهی است که این کتاب خالی از نقص نبوده لذا نظرات و پیشنهادات اساتید، متخصصین و دانشجویان می‌تواند موجب بهبود این اثر در چاپ بعدی گردد.

دکتر احمد رزاقیان

عضو هیئت علمی گروه مهندسی مواد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)