باسمه تعالی

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

دفاع از رساله دکتری مهندسی مواد

بررسی آلیاژ انتروپی بالای NiCoCrFe تحت تغییرشکل فشاری دینامیکی با نرخ کرنش بالا توسط میله‌ی فشاری هاپکینسون

ارائه کننده: **مهنوش شعرباف**

زمان (تارخ و ساعت): یکشنبه ۱۴۰۲/۰۷/۱۶ ، ساعت ۱۴ **مکان:** سالن سمینار دانشکده مهندسی مواد

اساتید راهنما: دکتر محمدرضا طرقی‌نژاد - دکتر علی شفیعی

اساتید داور: دکتر حامد میرزاده - دکتر احمد کرمانپور - دکتر احمد رضائیان

چکیده

هنگامی‌که ماده در معرض بارگذاری متغیر سریع قرار می‌گیرد اتفاقاتی در آن رخ می‌دهد که با مواردی که تحت شرایط استاتیکی یا شبه استاتیکی قرار گرفته بسیار متفاوت است. بنابراین بررسی عکس‌العمل دینامیکی و تغییرات ریزساختار آلیاژهای انتروپی بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور در پژوهش حاضر آلیاژ انتروپی بالای NiCoCrFe با روش ذوب در کوره‌ی القایی با اتمسفر خلا تولید شد. سپس به منظور از بین رفتن ساختار دندریتی و همگن سازی ریزساختار، تحت نورد سرد و آنیل قرار گرفت. پس از این مرحله، توسط میله‌ی فشاری هاپکینسون آزمایش‌های مختلف با نرخ کرنش‌های متفاوت انجام شد. علاوه بر آن، جهت بررسی مقاومت آلیاژ مذکور در برابر متمرکز شدن برش، نمونه‌های کلاهی‌شکل با ابعاد دقیق تراشکاری شده و تحت آزمون میله‌ی فشاری هاپکینسون قرار گرفتند. منحنی‌های تنش حقیقی-کرنش حقیقی حاصل از این آزمون در همه‌ی نرخ کرنش‌ها الگوی مشابهی داشتند و دارای دو پیک بودند که این مطلب به رقابت بین کرنش‌سختی و نرم شدن حرارتی نسبت داده می‌شود. مدل جانسون-کوک جهت شبیه‌سازی رفتار سیلان دینامیکی آلیاژ حاضر نیز استفاده شد و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مطابقت خوبی داشت. نتایج حاصل از آزمایش پراش پرتو ایکس نشان داد که این آلیاژ در حالت ریختگی، پس از عملیات نورد و آنیل و پس از آزمون‌های فشاری با نرخ کرنش بالا (تا $3000\ s^{-1}$) تک‌فاز و دارای ساختار کریستالی FCC می‌باشد. مطالعات ریزساختاری با میکروسکوپ نوری نشان داد که این آلیاژ پس از عملیات نورد و آنیل، دارای ساختار تبلورمجدد شده با دانه‌هایی با اندازه متوسط $46\ \mu m$ بوده و ساختار دندریتی کاملاً از بین رفته بود و دوقلوهای آنیل در این نمونه بسیار زیاد به‌چشم می‌خورد. پس از انجام آزمون میله‌ی فشاری هاپکینسون بر روی نمونه‌های مذکور از نرخ کرنش $1500\ s^{-1}$ تا $2000\ s^{-1}$، اندازه‌ی دانه‌ها تغییر زیادی نداشت ولی هم‌چنان حضور دوقلویی‌ها پررنگ بود؛ درحالی‌که با افزایش نرخ کرنش تا $3000\ s^{-1}$، دانه‌ها کمی کشیده‌تر و ریز شدند و میزان دوقلویی‌ها کمتر شده بود. جهت بررسی‌های دقیق‌تر، نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آشکارساز پراش الکترون برگشتی نیز ارزیابی شدند. نتایج این بررسی نشان داد که درصد مرزدانه‌های زاویه زیاد در نمونه‌ی تغییر شکل یافته با نرخ کرنش $3000\ s^{-1}$ نسبت به نمونه‌ی نورد و آنیل شده، کاهش و درصد مرزدانه‌های زاویه کم به همان نسبت افزایش یافت. درصد مرزهای ویژه‌ی $\Sigma 3$ نیز در نمونه‌ی نورد و آنیل شده ۵۷٪ به‌دست آمد که البته این رقم میزان قابل توجهی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی حضور دوقلوهای تغییر شکل در این نتایج واضح بود و از آنجایی‌که انرژی نقص چیدن آلیاژ مذکور پایین است، می‌توان گفت پدیده‌ی تغییرشکل متأثر از دوقلویی رخ داده است. نقشه‌ی پراکندگی جهت‌گیری دانه و عدم تطابق کرنل نیز برای نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که هر دو مورد برای نمونه‌های تغییرشکل یافته با نرخ کرنش‌های بالا ($1500-3000\ s^{-1}$) در مقایسه با نمونه‌ی نورد و آنیل شده مقادیر بیشتری داشتند. برای درک مکانیزم‌های تغییرشکل این آلیاژ تحت بارگذاری دینامیک و شبه‌استاتیک، بررسی ریزساختار نمونه‌های تغییرشکل یافته توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز انجام شد. در تصاویر حاصل از این میکروسکوپ از نمونه‌ی تغییر شکل یافته با نرخ کرنش $3000\ s^{-1}$ ، جنگل نابجایی‌ها و برهم‌کنش نابجایی‌ها، نانودوقلوها و دانسیته ی بالایی از نابجایی‌ها در کنار نانودوقلوها، بلوک‌های سلولی و دیواره‌های متراکم از نابجایی، دوقلوهای ثانویه و میکروباندها مشاهده شدند. تنوع زیاد ریزساختارهای تغییرشکل این آلیاژ، توانایی بالای آلیاژ حاضر در نرخ کرنش بالا را تایید کرد. کرنش سختی بالاتر در این نمونه‌ها به‌دلیل مشارکت ترکیبی دوقلویی‌ها (برهمکنش آنها با نابجایی‌ها) و لغزش (تکثیر نابجایی‌ها و برهمکنش نابجایی-نابجایی) بود. نمونه‌ی تغییرشکل یافته در شرایط شبه‌استاتیک نیز مورد بررسی با میکروسکوپ الکترونی عبوری قرار گرفت. حضور دوقلوها در کنار نابجایی‌ها، اثر نقص چیدن و خطوط لغزش متقاطع مشاهده شد و نتیجه‌ی حاصل این بود که مکانیزم تغییرشکل در این آلیاژ تغییرشکل یافته با نرخ کرنش پایین، لغزش نابجایی و دوقلویی است. هم‌چنین در بررسی مقاومت آلیاژ مذکور در برابر متمرکزشدن برش توسط میله‌ی فشاری هاپکینسون، نمونه دچار شکست نشد و در بررسی‌های ریزساختاری این نمونه نیز دوقلویی‌ها حضور داشتند. بنابراین تشکیل دوقلویی‌ها در این آلیاژ انتروپی بالای NiCoCrFe در تغییر شکل با نرخ کرنش بالا نقش مهمی را ایفا کرده و به پایداری عالی در برابر تغییر شکل با سرعت بالا کمک می‌کند.