



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

سمینار دفاع از رساله دکتری مهندسی مواد

با عنوان:

ارزیابی و بهبود خواص مکانیکی دمای بالای سوپر آلیاژ هاستلوی ایکس فراوری شده به روش ذوب بستر پودر با لیزر

ارائه کننده: جلال کنگازیان

مکان: سالن سمینار دانشکده مهندسی مواد

زمان: چهارشنبه ۱۸ آبان ماه، ساعت ۱۴

اعضای کمیته داوری:

استاد مشاور: دکتر احسان فروزمهر

اساتید راهنما: دکتر مرتضی شمعانیان، دکتر احمد کرمانپور

اساتید داور: دکتر مسعود عطاپور، دکتر احمد رضائیان، دکتر همام نفاخ موسوی

چکیده:

فناوری ساخت افزودنی فلزات بر مبنای ساخت لایه به لایه قطعات به عنوان یکی از روش های نوظهور ساخت و تولید با هدف تولید قطعات پیچیده، کاهش مراحل تولید و ساخت قطعات با کیفیت بالا توسعه یافته است. با توجه به این که ساخت افزودنی قطعات از جنس سوپر آلیاژهای پایه نیکل در صنایع انرژی و هوافضا مهم تلقی می شود، هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر ریزساختار بر خواص کششی دمای بالای سوپر آلیاژ پایه نیکل هاستلوی ایکس فراوری شده با روش ذوب بستر پودر با لیزر است. بدین منظور نمونه های مکعبی شکل به منظور تعیین پارامترهای بهینه ساخت فرایند ذوب بستر پودر با لیزر ساخته شد تا چگالی نسبی آن ها مورد بررسی قرار گیرد. پس از یافتن نمونه بهینه از نظر بالاترین چگالی نسبی، تاثیر استفاده از دو الگوی روبش موسوم به میندر و جزیره ای مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمونه های مذکور در دماهای ۹۰۰ و ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد عملیات حرارتی شدند تا ریزساختارهای متفاوتی نسبت به حالت قبل از انجام عملیات حرارتی ایجاد شود. ریزساختار نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ های الکترونی نوع روبشی، روبشی گسیل میدانی (مجهز به آشکارساز پراش الکترون های برگشتی) و عبوری - روبشی مشخصه یابی شد. علاوه بر آن آزمون های کشش در دماهای ۲۵، ۵۶۰، ۷۶۰ و ۸۶۰ درجه سانتی گراد انجام شد. نتایج بررسی های ریزساختاری حاکی از تشکیل ساختار سلولی انجمادی و سلول - نایجایی با ابعاد کم تر از میکرومتر در داخل دانه های ستونی فاز آستنیت در نمونه های میندر و جزیره ای بود. در ساختار سلول - نایجایی جدایش عناصر مولیبدن و کروم به دیواره های سلول های دارای چگالی بالایی از نایجایی ها مشخصه یابی شد. هر دو نمونه میندر و جزیره ای بافت بلوری یکسانی نیز داشتند. در نمونه های عملیات حرارتی شده در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه، رسوبات غنی از مولیبدن و کروم در زمینه آستنیتی مشخصه یابی شد، با این وجود ریخت دانه ها هم چنان ستونی بود. در مقابل، عملیات حرارتی در دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه موجب تغییر ریخت دانه ها از حالت ستونی به تقریباً هم محور و کاهش قابل ملاحظه در چگالی نایجایی ها، به دلیل وقوع استحاله تبلور مجدد، گردید. نتایج بررسی سینتیکی استحاله تبلور مجدد نشان داد به دلیل داشتن توان آرومی حدود ۳/۴۹ و ۳/۷۶ به ترتیب در مورد نمونه های میندر و جزیره ای رشد دانه های تبلور مجدد یافته در سه بعد انجام می شود. سازوکار وقوع استحاله تبلور مجدد از نوع باد کردن مرز دانه های بزرگ زاویه بود. با این وجود بررسی های ریزساختاری نشان داد مرزهای دوقلوبی نقش اساسی را در گسترش ناحیه متبلور شده ایفا می کند، به طوری که کسر قابل ملاحظه ای از مرزهای دوقلوبی در قسمت های تبلور مجدد یافته تشکیل شده بود. ارزیابی خواص کششی نمونه ها نشان داد در دمای محیط، نمونه ساخته شده با الگوی روبش میندر به مقدار جزئی خواص کششی بهتری را نسبت به نمونه ساخته شده با الگوی روبش جزیره ای، در حالت قبل از انجام عملیات حرارتی، نشان می دهد. با افزایش دمای آزمون کشش، هم زمان استحکام و انعطاف پذیری نمونه ها کاهش یافت و شکست نوع ترد به دلیل تشکیل ترک های مرز دانه ای در حین آزمون کشش، در نمونه ها ایجاد شد. برخلاف نتایج آزمون های کشش در دمای محیط، در دماهای بالاتر از دمای محیط، نمونه جزیره ای به دلیل داشتن اندازه دانه بزرگ تر نسبت به نمونه میندر خواص کششی بهتری را نشان داد. عملیات حرارتی در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد موجب بهبود جزئی در استحکام دمای محیط و در مقابل کاهش انعطاف پذیری شد. در مقابل، این چرخه عملیات حرارتی تاثیر مثبتی بر خواص کششی دماهای بالا، مخصوصاً انعطاف پذیری، نداشت. بررسی های شکست نگاری نشان داد علت این موضوع می تواند شکست ترد به دلیل تشکیل ترک ها و حفرات در اطراف فازهای غنی از مولیبدن در مرز دانه ها باشد. از طرف دیگر، انجام عملیات حرارتی در دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه موجب تغییرات جزئی در استحکام و بهبود قابل ملاحظه در انعطاف پذیری در تمامی دماهای مورد بررسی می شود. مطابق با بررسی های ریزساختاری و نتایج شکست نگاری، کاهش چگالی نایجایی ها و تشکیل مرز دانه های بزرگ زاویه خاص (مرزهای دوقلوبی) به عنوان عوامل موثر بر بهبود خواص کششی دماهای بالا در سوپر آلیاژ هاستلوی ایکس فراوری شده به روش ذوب بستر پودر با لیزر عملیات حرارتی شده در دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد شناخته شدند. در تمامی دماهای مورد بررسی نمونه جزیره ای عملیات حرارتی شده در دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد خواص کششی بهتری را نسبت به نمونه میندر در شرایط مشابه داشت که این موضوع به کسر تبلور مجدد بیش تر و وجود چگالی کم تری از نایجایی ها نسبت داده شد. در ادامه، به عنوان یک مثال کاربردی، فرایند ذوب بستر پودر با لیزر درزگیرهای لانه زنبوری از جنس سوپر آلیاژ هاستلوی ایکس، مورد استفاده در توربین های گازی، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تاثیر ضخامت جداره و هم چنین ریزساختار و خواص فشاری (دمای محیط و دمای ۷۶۰ درجه سانتی گراد) نمونه های لانه زنبوری در شرایط قبل و بعد از عملیات حرارتی در دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ها نشان داد با انجام عملیات حرارتی به دلیل وقوع استحاله تبلور مجدد با سازوکاری مشابه با نمونه های جزیره ای و میندر، تنش پسماند کاهش می یابد. با این حال انجام عملیات حرارتی تاثیر منفی بر خواص فشاری سازه های زنبوری نداشت. بررسی های شکست نگاری نشان داد عامل انهدام نمونه ها حین آزمون فشار تشکیل ترک های سطحی است که در طی آزمون فشار از سطوح داخلی و خارجی جداره های لانه زنبوری تشکیل می شود.

کلمات کلیدی: سوپر آلیاژ هاستلوی ایکس، ساخت افزودنی، استحاله تبلور مجدد، خواص کششی، بافت، درزگیرهای لانه زنبوری