

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

دفاعیه از رساله دکتری مهندسی مواد

با عنوان

ارزیابی و مشخصه یابی مواد تابعی (FGM) تنگستن/کاربید تنگستن با استفاده از تف جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS)

Evaluation and characterization of tungsten/tungsten carbide functionally graded material (FGM) produced by spark plasma sintering (SPS)

ارائه کننده: مهدی احسن زاده وادقانی

زمان: چهارشنبه ۹ اردیبهشت ۱۴۰۵ لینک جلسه: <https://nikan.iut.ac.ir/rooms/fxq-zvu-zja-85a/join>

اعضای کمیته داوری:

استاد راهنما: دکتر علی شفیعی      اساتید مشاور: دکتر مسعود عطا پور و دکتر رضا امینی نجف آبادی

اساتید داور: دکتر غلامحسین برهانی، دکتر عباس بهرانی و دکتر محمد رضا لقمان

### چکیده

تف جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) یکی از روش‌های نوین در متالورژی پودر است که در دو دهه گذشته از پیشرفت چشم‌گیری برخوردار بوده و به شدت مورد توجه محققین و صنایع قرار گرفته است. اخیراً با توجه به قابلیت‌های بالای روش SPS، استفاده از آن جهت ساخت مواد تابعی (FGM) نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و همچنین محدودیت‌های آلیاژهای تنگستن و کاربید تنگستن به تنهایی در کاربردهایی همچون نفوذکننده‌های پر انرژی در صنایع نفت و گاز و همچنین ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، ساخت نمونه FGM پایه تنگستن با استفاده از روش SPS به منظور بهبود و ارتقاء خواص مکانیکی در این پژوهش انجام شده است. ساختار تابعی شامل پنج لایه به ترتیب  $W/97W-2.1Ni-0.9Fe/92.5W-5.25Ni-2.25Fe/WC-5Co/WC-10Co$  در نظر گرفته شد که هدف از آن ایجاد گرادینان کنترل‌شده در ترکیب و خواص بود. نمونه‌ها در سه دمای فرآیندی ۱۱۵۰، ۱۲۵۰ و ۱۳۵۰ °C، فشارهای ۱۰، ۲۰ و ۵۰ مگاپاسکال و زمان ماندگاری ۱۰ و ۲۰ دقیقه SPS شدند تا تأثیر دما، فشار و زمان نگهداری بر چگالی نسبی، اندازه دانه، ریزساختار و خواص مکانیکی ارزیابی شود. خصوصیات فازی، عنصری و ساختار پودر، سطح مقطع و سطح شکست نمونه‌های SPS شده بعد از انجام آزمایش‌ها، به کمک پراش پرتو ایکس و تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی بررسی شدند. چگالی نمونه‌ها با استفاده از روش ارشمیدس به دست آمد و میزان سختی، استحکام کششی و خمشی نمونه‌ها با استفاده از آزمون‌های مکانیکی محاسبه شده است. نتایج نشان داد که افزایش دمای فرآیند موجب بهبود چگالش و کاهش تخلخل می‌شود. در دمای ۱۱۵۰ °C چگالی نسبی در محدوده ۷۰ تا ۸۰ درصد قرار داشت و توزیع عناصر ناهمگن و مرز میان‌لایه‌ای کاملاً مشخص بود. با افزایش دما به ۱۲۵۰ °C چگالی نسبی نمونه‌ها به ۹۶ تا ۱۰۰ درصد رسید، ریزساختار متراکم‌تر شده و لایه انتقالی یکنواخت و پیوسته شکل گرفت. در دمای ۱۳۵۰ °C اگرچه چگالی بالا باقی ماند، اما رشد دانه‌ها به طور محسوس افزایش یافت و تشکیل فازهای ثانویه  $W_2C$  و  $\eta$  در فصل مشترک‌های  $WC5Co/WC10Co$  و  $WNiFe/WC5Co$  افزایش چشمگیر داشت. بررسی خواص نشان داد که افزایش دما و فشار نقش کلیدی در ارتقای سختی، استحکام کششی و خمشی دارد. بیشترین استحکام کششی و خمشی و همچنین یکنواختی سختی در لایه‌ها و فصل مشترک‌ها برای دمای ۱۲۵۰ °C، فشار ۵۰ مگاپاسکال و زمان ماندگاری ۲۰ دقیقه به دست آمد به طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین سختی (لایه  $W$  و  $WCCo$ ) برابر ۳۸۵ و ۱۴۷۰ ویکرز محاسبه شده است. در مقابل، نمونه‌های تف جوشی شده در شرایط ۱۱۵۰ °C دارای کمترین استحکام خمشی و کششی در محدوده ۱۰۴ تا ۱۹۵ و ۱۰۵ تا ۱۶۱ مگاپاسکال و نمونه‌های ۱۳۵۰ °C به دلیل رشد دانه و تشکیل بیشتر فازهای ترد دارای استحکام خمشی و کششی در محدوده ۶۱۰ تا ۶۹۰ و ۵۲۳ تا ۶۲۱ مگاپاسکال هستند. افزایش فشار از ۱۰ به ۵۰ مگاپاسکال در شرایط مشابه، به طور متوسط موجب افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی خواص مکانیکی می‌شود. بیش‌ترین میزان استحکام خمشی و کششی به ترتیب برابر با  $110.5 \pm 3.9$  و  $95.0 \pm 1.6$  مگاپاسکال گزارش شده است.

کلید واژه: مواد تابعی (FGM)، تنگستن، کاربید تنگستن، تف جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS)، چگالی، خواص مکانیکی