



انجمن علوم و فناوری سطح ایران

۴
مین

کنفرانس
آنالیز تخریب
و تخمین عمر

۲۵
مین

همایش ملی
مهندسی
سطح

مجموعه چکیده مقاله ها

تاریخ برگزاری: ۲۳-۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۴
محل برگزاری: دانشگاه فردوسی مشهد

بیت علمی

بیست و پنجمین همایش ملی مهندسی سطح و
چهارمین کنفرانس آنالیز تخریب و تخمین عمر

دانشگاه فردوسی مشهد

۱۴۰۴ و ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۳



انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

گواهی ارائه مقاله

بررسی اثر توان لیزر بر ریزساختار و سختی روکش لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo بر روی فولاد ساده کربنی

مهدی شریفی ، بهروز بیدختی، علیرضا کیانی رشید، حامد ناصرزشکی ، علیرضا طوسی

دکتر سید مهران نحوی

رئیس همایش



انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران



دکتر قاسم براتی دربند

دبیر علمی همایش



فهرست مطالب

۱۱.....	سخنرانی‌های کلیدی و کارگاه‌های آموزشی تخصصی
۱۳.....	اهمیت توسعه مواد پیشرفته در ارتقاء مهندسی سطح
۱۴.....	آنالیز تخریب قطعات ساخت افزایشی؛ راهی به سوی ارتقاء عملکرد و قابلیت اطمینان
۱۵.....	پوشش‌های صنعتی در صنایع نفت و گاز؛ انتخاب سامانه‌های پوشش، نظارت بر اجرا و بازرسی
۱۶.....	مبانی و مراحل آنالیز تخریب در قطعات صنعتی؛ مطالعات موردی تخریب بر اثر گرین در دمای بالا
۱۷.....	فناوری رویه کاری (Cladding) به منظور افزایش مقاومت به خوردگی و سایش در صنایع بزرگ
۱۸.....	ارزیابی عمر باقیمانده و صلاحیت ادامه سرویس قطعات در معرض تخریب (FFS)
۱۹.....	سطوح فوق آبگریز از آزمایشگاه تا استفاده در زندگی روزمره و صنایع
۲۰.....	متالوگرافی غیرمخرب (رپلیکا): نحوه انجام آزمون و کاربرد آن در صنایع مادر
۲۷.....	فرآیندهای مبتنی بر ایجاد یک لایه سطحی
۲۳.....	بررسی اثر توان لیزر بر ریزساختار و سختی روکش لیزری آلیاژ آنترپی بالایی AlCrFeNiMo بر روی فولاد ساده گرینی
۲۴.....	بررسی ریزساختار روکش فولاد داپلکس ۲۵۰۷ ایجاد شده توسط فرایند رسوب‌نشانی مستقیم لیزری
۲۵.....	مقایسه و بررسی عیوب متالورژی فولاد زنگ‌نزن 17-4PH در نمونه‌های همپوشانی شده به روش رسوب‌نشانی مستقیم
۲۶.....	لیزری به کمک ارتعاش اولتراسونیک
۲۶.....	بررسی رفتار سایش دما بالای پوشش CrN/CrAlN اعمال شده به روش PVD روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V
۱۲۵.....	ارزیابی آماری و متالورژیکی تشکیل عیوب در روکش کاری لیزری تک‌پاس سوپرآلیاژ اینکونل ۶۲۵ بر زیرلایه سوپرآلیاژ رنه
۲۷.....	تولید پوشش چند لایه نیکل-مس-کروم سخت با روش آبکاری الکتریکی و بررسی رفتاری خوردگی و سایش آن
۲۸.....	بررسی اثر فاصله شیارهای لیزر وابل بر خواص سطحی و ساختار آلیاژ تیتانیوم گرید ۵
۲۹.....	بررسی رفتار الکتروشیمیایی خوردگی آلیاژ اینکونل 625 روکش‌دهی شده بر روی زیرلایه فولاد زنگ‌نزن 316L به روش
۳۰.....	جوشکاری لیزر در محیط کلریدی
۳۱.....	مطالعه اثر جریان مستقیم، پالسی و سیکل کاری بر ریزساختار پوشش‌های نانوکامپوزیتی نیکل-نانوذرات آلومینا
۳۲.....	اثر عملیات حرارتی در اتمسفر کنترل‌شده بر مورفولوژی سطحی پوشش NiCoCrAlYTa
۳۳.....	بررسی رفتار اکسیداسیون همدم و سیکلی فولاد Crofer 22 APU در حضور اسپینل‌های $MnNi_2O_4$ ، $NiCr_2O_4$ و $NiFe_2O_4$
۳۴.....	ارزیابی رفتار سایشی پوشش Co-P جهت جایگزینی با پوشش مخرب کروم سخت در صنعت هوایی
۳۵.....	بررسی تاثیر فرآیند الکترواسپری بر مقاومت خوردگی و آبگریزی پوشش‌های نانو ساختار
۳۶.....	بررسی تغییرات مورفولوژیکی و تخریب سطحی لایه نازک تنگستن تحت تابش یون‌های هلیوم پراورزی
۳۷.....	بررسی نرخ خوردگی روکش اینکونل ۶۲۵ در محیط اسیدی، اعمال شده به روش TIG بر فولاد ساده گرینی

مختص‌هایی
تجهیزات

گسترش
صنعتی به
سطح و
دانشگاه
حمایت و
آموزشی

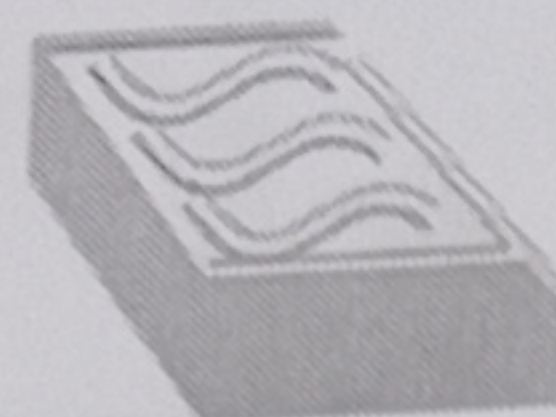
د، دوام
تحلیل
ی عمر
توسعه

آن‌ها
جنبی
رپایی
چنین

مدیره
گران

حترم
ایم

های
داد و



بررسی اثر توان لیزر بر ریزساختار و سختی روکش لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo بر روی فولاد ساده کربنی

مهدی شریفی^۱، بهروز بیدختی^۲، علیرضا کیانی رشید^۳، حامد ناصرزشکی^۴، علیرضا طوسی^۱

۱. دانشگاه فردوسی مشهد (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی و مواد)

۲. دانشگاه فردوسی مشهد (دانشیار گروه مهندسی متالورژی و مواد)

۳. دانشگاه فردوسی مشهد (استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد)

۴. دانشگاه تربت حیدریه (استادیار گروه مهندسی مواد)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر توان لیزر بر ریزساختار، رقت و سختی در فرآیند روکش کاری لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo بر روی زیر لایه ای از جنس فولاد ساده کربنی مورد بررسی قرار گرفت. لایه های روکش لیزری در توان های مختلف بر روی زیر لایه ایجاد شدند. در ادامه نمونه ها با استفاده از آزمون های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسختی سنجی ویکرز (Vickers micro-hardness) مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش توان لیزر، حرارت ورودی افزایش یافته و در نتیجه عرض روکش و میزان نفوذ آن به زیر لایه بیشتر شد. همچنین رقت نیز به دلیل ذوب بیشتر زیر لایه افزایش یافت. تصاویر متالوگرافی نشان دادند که ریزساختار تمامی نمونه ها شامل دانه های هم محور بوده و اندازه دانه ها با افزایش توان لیزر رشد چشمگیری داشته است. تحلیل فازی نیز حضور دو فاز محلول جامد BCC و ترکیب بین فلزی σ را تأیید کرد که فاز σ به صورت سوزنی شکل مشاهده شد. آزمون سختی سنجی نشان داد که بیشترین اندازه سختی (780 Hv) در توان اعمالی 600 W می باشد. این مقدار سختی بالا به دلیل تأثیر همزمان فاز سخت σ و استحکام بخشی محلول جامد بود. در توان های بالاتر به دلیل رشد دانه ها و افزایش رقت، سختی به طور محسوسی کاهش یافت.

واژه های کلیدی: روکشکاری لیزری؛ آلیاژهای آنتروپی بالا؛ سختی؛ رقت، فاز سیگما.



بررسی اثر توان لیزر بر خواص روکش لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo بر روی فولاد ساده کربنی

مهدی شریفی^۱، بهروز بیدختی^۲، علیرضا کیانی رشید^۳، حامد ناصرزشکی^۴، علیرضا طوسی^۱

^۱. دانشگاه فردوسی مشهد (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی و مواد)

^۲. دانشگاه فردوسی مشهد (دانشیار گروه مهندسی متالورژی و مواد)

^۳. دانشگاه فردوسی مشهد (استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد)

^۴. دانشگاه تربت حیدریه (استادیار گروه مهندسی مواد)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر توان لیزر بر ریزساختار، رقت و سختی در فرآیند روکش کاری لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo بر روی زیر لایه ای از جنس فولاد ساده کربنی مورد بررسی قرار گرفت. لایه های روکش لیزری در توان های مختلف بر روی زیر لایه ایجاد شدند. در ادامه نمونه ها با استفاده از آزمون های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسختی سنجی ویکرز (Vickers micro-hardness) مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش توان لیزر، حرارت ورودی افزایش یافته و در نتیجه عرض روکش و میزان نفوذ آن به زیر لایه بیشتر شد. همچنین رقت نیز به دلیل ذوب بیشتر زیر لایه افزایش یافت. تصاویر متالوگرافی نشان دادند که ریزساختار تمامی نمونه ها شامل دانه های هم محور بوده و اندازه دانه ها با افزایش توان لیزر رشد چشمگیری داشته است. تحلیل فازی نیز حضور دو فاز محلول جامد BCC و ترکیب بین فلزی σ را تأیید کرد که فاز σ به صورت سوزنی شکل مشاهده شد. آزمون سختی سنجی نشان داد که بیشترین اندازه سختی (780 Hv) در توان اعمالی 600 وات می باشد. این مقدار سختی بالا به دلیل تأثیر همزمان فاز سخت σ و استحکام بخشی محلول جامد بود. در توان های بالاتر به دلیل رشد دانه ها و افزایش رقت، سختی به طور محسوسی کاهش یافت.

واژه های کلیدی: روکشکاری لیزری؛ آلیاژ های آنتروپی بالا؛ سختی؛ رقت، فاز سیگما.

مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه و به کارگیری مواد پیشرفته به منظور بهبود عملکرد قطعات صنعتی تحت شرایط کاری سخت، به یکی از چالش‌های مهم در حوزه مهندسی مواد و فناوری سطح تبدیل شده است. آلیاژهای آنتروپی بالا، به عنوان نسل نوینی از آلیاژها، به دلیل خواصی منحصر به فرد از جمله استحکام و چقرمگی بالا [1]، سختی زیاد [2]، مقاومت به سایش مطلوب در دماهای مختلف [3]، مقاومت خوب در برابر خوردگی [4]، مقاومت به اکسیداسیون مناسب [5] و پایداری حرارتی بالا [6]، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. در رویکرد معمول آلیاژسازی یک یا دو عنصر به عنوان پایه در نظر گرفته می‌شود و با اضافه کردن عناصر آلیاژی به میزان بسیار محدود خواص آلیاژ بهبود می‌یابد. فولادها نمونه‌ای از این آلیاژها هستند که با اضافه کردن کربن و کروم به زمینه‌ای از آهن، به ترتیب خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی بهبود می‌یابد. بر خلاف این رویکرد، آلیاژهای آنتروپی بالا از حداقل پنج عنصر اصلی تشکیل شده‌اند که درصد اتمی هر کدام بین 5 تا 35 می‌باشد. وجود عناصر مختلف با غلظت زیاد منجر به ایجاد چهار اثر: آنتروپی بالا، اعوجاج شدید شبکه، نفوذ کند و اثر کوکتل می‌گردد که موجب بهبود خواص این آلیاژها نسبت به آلیاژهای معمول می‌شود [7].

روش‌های مختلفی جهت ساخت آلیاژهای آنتروپی بالا وجود دارد. روش‌های ذوب و ریخته‌گری [8]، آلیاژسازی مکانیکی و سپس تف جوشی [9] و ساخت افزایشی [10] از جمله شیوه‌های تهیه قطعات حجیم از این آلیاژها می‌باشد. اما غلظت بالای عناصر آلیاژی در آلیاژهای آنتروپی بالا موجب می‌شود استفاده از آنها در بسیاری از کاربردها مقرون به صرفه نباشد. در قطعاتی که در معرض آسیب‌های سطحی از جمله سایش و خوردگی هستند، به کارگیری یک ماده ارزان‌تر و پوشش‌دهی آن با ماده‌ای که از مقاومت به سایش و خوردگی بالاتری برخوردار است، رویکردی منطقی و بهینه محسوب می‌شود.

فرآیندهای مختلفی از جمله رسوب بخار فیزیکی (PVD) [11]، پاشش حرارتی [12]، پاشش سرد [13]، آبکاری الکترولس [14]، رسوب الکتروشیمیایی [15]، روکشکاری با فرآیند قوس تنگستن [16] و روکشکاری لیزری [17] جهت پوشش‌دهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان این روش‌ها، روکشکاری لیزری به جهت دارا بودن ویژگی‌هایی مانند چگالی انرژی بالا، سرعت انجماد بالا، ناحیه متأثر از حرارت کوچک، رقت کم، پیوند متالورژیکی خوب با زمینه، اعوجاج کم، انعطاف پذیری، قابلیت خودکار شدن فرآیند و نیز قابلیت ایجاد پوشش‌هایی با ساختار غیرتعادلی و خواص سطحی مطلوب مانند مقاومت بالا در برابر سایش و خوردگی شناخته می‌شود [18].

دانگ و همکاران [19] سیستم آلیاژی آنتروپی بالای AlCrFeNiMo_x با درصد‌های متغیر از عنصر مولیبدن (x برابر با 0، 0.2، 0.5، 0.8 و 1) را به روش ریخته‌گری تهیه نمودند. مشاهده شد با افزایش نسبت مولیبدن سختی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و در $x = 1$ به 911 Hv می‌رسد. شی و همکارانش [20] فرآیند پوشش‌دهی پلاسما با آلیاژهای آنتروپی بالای AlCrFeNiMo_x ($x = 0.5, 0.8, 1.0$) را انجام دادند. با افزایش میزان مولیبدن (Mo)، فازهایی سوزنی‌شکل در نزدیکی مرز دانه‌ها ظاهر شده و به درون کل دانه‌ها گسترش

یافتند. همچنین، سختی و مقاومت به سایش لایه‌ی پوشش داده‌شده بهبود یافت. زمانی که $x = 1.0$ بود، بیشترین مقدار سختی (747.64 HV) و کمترین میزان کاهش جرم در آزمون سایش نوع پین روی دیسک به دست آمد. علی‌رغم خواص مطلوب آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo و مزایای روکش کاری لیزری، پژوهش‌های محدودی در این زمینه وجود دارد. در این پژوهش اثر توان لیزر بر ریزساختار و سختی پوشش روکشکاری لیزری آلیاژ آنتروپی بالای AlCrFeNiMo مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش تحقیق

پودرهای با خلوص بالاتر از 99.9 درصد آلومینیم، نیکل، آهن، کروم و مولیبدن با نسبت مولی برابر به مدت 2 ساعت با سرعت 250 دور بر دقیقه و نسبت گلوله به پودر 10 به 1 توسط آسیای گلوله‌ای سیاره‌ای آسیا کاری شدند. ورق فولاد ساده کربنی st37 با ضخامت 5 میلی‌متر به عنوان زیرلایه پس از سنباده زنی با استون شسته شد تا سطحی تمیز و عاری از آلودگی و چربی حاصل شود. سپس پودر آسیا شده با چسب 2 درصد پلی‌وینیل الکل (2 گرم پلی‌وینیل الکل و 100 گرم آب) مخلوط گردید تا مخلوط خمیری ایجاد شود. پس از آن توسط شابلون خمیر حاصل روی ورق فولاد ساده کربنی به ضخامت حدود 1 میلی‌متر پیش‌نشانی گردید. دستگاه لیزر فیبری با بیشینه توان 1500 وات جهت روکشکاری لیزری مورد استفاده قرار گرفت. جهت بررسی اثر توان لیزر بر ریزساختار، سختی و رقت، روکشکاری در پنج توان مختلف 600، 750، 900، 1050 و 1200 وات در سرعت ثابت 5 mm/s انجام شد. شماتیکی از روکش تک مسیر در شکل 1 قابل مشاهده است. مطابق با شکل 1، رقت برای نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$D = \frac{B}{A + B} \times 100 \quad (1)$$

که در آن D رقت، A و B مساحت قسمت‌های مختلف جوش است که در شکل 1 نشان داده شده است. آنالیز پراش پرتو ایکس در محدوده زاویه $2\theta = 30-90^\circ$ با گام 0.05° انجام شد. پس از انجام روکشکاری، مقطع عرضی از نمونه توسط وایرکات بریده شد. نمونه پس از سنباده زنی و پولیش با محلول اچانت (Aqua Regia (3HCl:HNO₃) اچ شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل MIRA3 TESCAM جهت بررسی بیشتر ریزساختار مورد استفاده قرار گرفت. همچنین میکروسختی سنجی با بار 200 گرم و مدت زمان بارگذاری 10 ثانیه انجام شد.

نتایج و بحث

شکل 2 الگوی پراش پرتو ایکس نمونه حاصل از فرایند، در توان لیزر 600 وات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، دو فاز متمایز شامل فاز BCC (مکعبی مرکزدار) و فاز σ (سیگما) در ساختار نهایی شناسایی شده‌اند. وجود این دو فاز در سیستم آلیاژی آنتروپی بالای AlCrFeNiMo توسط دیگر محققان

نیز گزارش شده است [19,20]. فاز σ ، با ساختار پیچیده تتراگونال (HCP)، معمولاً سخت و شکننده است. تشکیل آن اغلب ناشی از عدم تطابق اندازه اتمی بین عناصر است. تشکیل فاز سیگما می تواند برای کاربردهایی که به مقاومت به سایش نیاز دارند مفید باشد [21].

شکل 3 تصاویر ماکروگراف از مقطع عرضی لایه های روکش در توان های مختلف لیزر را نمایش می دهد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش توان لیزر از 600 وات به مقادیر بالاتر، عرض لایه روکش و میزان نفوذ آن به داخل زیرلایه به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این پدیده را می توان به افزایش انرژی ورودی در توان های بالاتر نسبت داد، که منجر به ذوب بیشتر پودر پیش نشانده شده بر سطح زیرلایه و نیز زیرلایه می شود. در نتیجه نه تنها لایه روکش عریض تر می شود، بلکه عمق نفوذ آن به داخل فلز پایه نیز بیشتر می گردد. این تغییرات می توانند تأثیر قابل توجهی بر خواص مکانیکی روکش داشته باشند.

در شکل 4 تصاویر متالوگرافی لایه های روکش شده با میکروسکوپ نوری در توان های مختلف لیزر قابل مشاهده است. در تمامی نمونه ها، ریزساختار به صورت دانه های هم محور مشاهده شده است. با افزایش توان لیزر، اندازه دانه ها به طور محسوسی افزایش یافته اند. این رشد دانه ها ناشی از افزایش حرارت ورودی و زمان سرمایش طولانی تر بوده که باعث فراهم شدن شرایط مناسب برای رشد دانه ها گردیده است. افزایش اندازه دانه می تواند منجر به کاهش خواص مکانیکی نظیر سختی و استحکام شود.

شکل 5 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه روکش شده در توان 600 وات را نمایش می دهد. در این تصویر، دو فاز متمایز قابل مشاهده است: فاز خاکستری و فاز سفید. این دو فاز با نتایج حاصل از آزمون پراش پرتو ایکس مطابقت دارند. فاز سفید به صورت سوزنی شکل بوده و شباهت زیادی به نتایج گزارش شده توسط شی و همکاران [20] دارد. ساختار سوزنی فاز سفید احتمالاً مربوط به فاز سیگما بوده و می تواند تأثیر بسزایی در سختی و شکنندگی ماده داشته باشد. در شکل 5، تعدادی تخلخل نیز مشاهده می شود. از آنجا که پودر اولیه به وسیله چسب (مخلوط 2 گرم پلی وینیل الکل و 100 گرم آب) بر روی سطح پیشنشانی شده است، در هنگام برخورد پرتو لیزر این چسب می سوزد و گاز ایجاد می کند. از آن جا که سرعت انجماد در فرآیند روکشکاری لیزری بالاست، این گاز ها نتوانسته اند به طور کامل خارج شوند و در نتیجه تخلخل هایی در ساختار روکش ایجاد شده است. در کاربرد های صنعتی اغلب پودر به وسیله پودر پاش به حوضچه مذاب تزریق می شود و هیچگونه چسبی مورد استفاده قرار نمی گیرد.

شکل 6 مقادیر سختی سطح و درصد رقت لایه روکش را در توان های مختلف لیزر نشان می دهد. داده ها حاکی از آن است که با افزایش توان لیزر، درصد رقت افزایش یافته است. این افزایش رقت را می توان به ذوب بیشتر زیرلایه در اثر افزایش انرژی حرارتی ورودی نسبت داد. با افزایش رقت، میزان اختلاط فلز پایه در منطقه جوش افزایش یافته و ترکیب نهایی لایه روکش را تحت تأثیر قرار می دهد. بالاترین مقدار سختی (780 Hv) در توان 600 وات مشاهده شده است. این سختی بالا را می توان به وجود فاز سخت σ و استحکام بخشی محلول جامد نسبت داد. در واقع وجود اتم های مختلف با اندازه های اتمی متفاوت به صورت محلول جامد در آلیاژ های

آنتروپی بالا منجر به اعواج شدید شبکه شده و منجر به دشواری حرکت نابجایی ها می شود و در نتیجه سختی افزایش می یابد [7]. با افزایش توان لیزر تا 1200 وات، سختی به شکل قابل توجهی کاهش یافته و در این توان به مقدار 483 Hv رسیده است. کاهش سختی را می توان ناشی از دو عامل رشد دانه ها و افزایش رقت در اثر حرارت ورودی بیشتر دانست.

نتیجه گیری

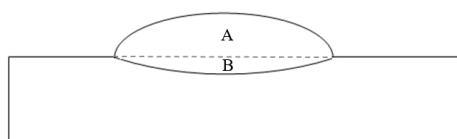
- 1) نتایج الگوی پراش پرتو ایکس در توان لیزر 600 وات وجود دو فاز متمایز BCC و فاز σ را نشان داد. فاز سیگما عمدتاً در مرز دانه و به صورت سوزنی شکل بود.
- 2) افزایش توان لیزر موجب افزایش رقت و نفوذ روکش به زیرلایه شد که به دلیل افزایش حرارت ورودی و ذوب بیشتر فلز پایه بود. به علاوه افزایش توان و حرارت ورودی، باعث رشد دانه ها و کاهش سختی سطح گردید.
- 3) بیشترین اندازه سختی (780 Hv) در توان اعمالی 600 وات اتفاق افتاد. سختی بالای روکش در این توان را می توان به وجود فاز سخت σ و استحکام بخشی محلول جامد نسبت داد.

مراجع

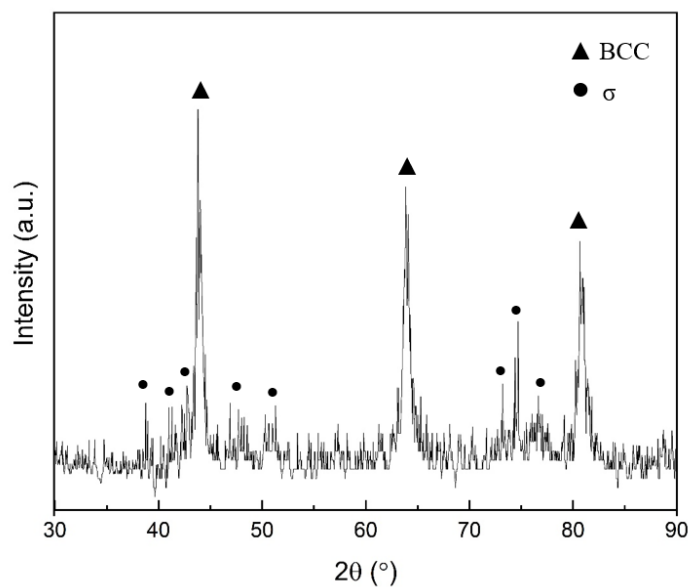
1. Wang, Z., Li, J., Yang, Y., Pang, L., Liu, M., Li, H., ... & Wang, Z. (2023). A novel high-entropy alloy with exceptional strength and elongation via bimodal grains and lamellar nano-precipitates. *Materials Science and Engineering: A*, 870, 144851.
2. S. W. Xin *et al.*, "Bulk nanocrystalline boron-doped VNbMoTaW high entropy alloys with ultrahigh strength, hardness, and resistivity," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 853, p. 155995, 05/02/2021/ 2021
3. H. Hamdi, H. R. Abedi, and Y. Zhang, "A Study on Outstanding High-Temperature Wear Resistance of High-Entropy Alloys," *Advanced Engineering Materials*, vol. 25, no. 12, p. 2201915, 2023
4. Y. Shi, B. Yang, and P. K. Liaw, "Corrosion-resistant high-entropy alloys: a review," *Metals*, vol. 7, no. 2, p. 43, 2017
5. Y. Fang *et al.*, "High-temperature oxidation resistance, mechanical and wear resistance properties of Ti(C,N)-based cermets with Al_{0.3}CoCrFeNi high-entropy alloy as a metal binder," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 815, p. 152486, 30/01/2020/ 2020
6. J. Chen *et al.*, "A review on fundamental of high entropy alloys with promising high-temperature properties," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 760, pp. -15 30, 05/09/2018/ 2018
7. W. Li, D. Xie, D. Li, Y. Zhang, Y. Gao, and P. K. Liaw, "Mechanical behavior of high-entropy alloys," *Progress in Materials Science*, vol. 118, p. 100777, 2021

8. A. B. N. Alkraidhi *et al.*, "Computational alloy design, synthesis, and characterization of WMoNbVCrx refractory high entropy alloy prepared by vacuum arc melting," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 1003, p. 175510, 25/10/2024/ 2024
9. H. Naser-Zoshki, A.-R. Kiani-Rashid, and J. Vahdati-Khaki, "Non-equiatomic W10Mo27Cr21Ti22Al 20high-entropy alloy produced by mechanical alloying and spark plasma sintering: Phase evolution and mechanical properties," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 236, no. 4, pp. 703-695, 2022
10. X. Hu, Z. Xu, X. Jia, S. Li, Y. Zhu, and A. Xia, "Microstructure and magnetic properties of AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy prepared by selective laser melting," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 1010, p. 177740, 05/01/2025/ 2025
11. A. Asghari Alamdari, M. Hashemkhani, S. Hendessi, H. Yagci Acar, U. Unal, and A. Motalebzadeh, "A comprehensive study of microstructure, mechanical behavior, biocorrosion, and cytotoxicity of RF-PVD deposited Ti1.5ZrTa0.5Nb0.5X 0.5(X: Hf, Mo, and W) refractory high-entropy alloy films on 316L," *Intermetallics*, vol. 162, p. 108003, 01/11/2023/ 2023
12. A. Meghwal, A. Anupam, B. Murty, C. C. Berndt, R. S. Kottada, and A. S. M. Ang, "Thermal spray high-entropy alloy coatings: a review," *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 29, pp. 893-857, 2020
13. C. J. Akisin, C. J. Bennett, F. Venturi, and T. Hussain, "Influence of Annealing Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Cold-Sprayed CoCrFeNiMn High Entropy Alloy," *Journal of Thermal Spray Technology*, pp. -1 25, 2024
14. G. Dai, S. Wu, and X. Huang, "Preparation process for high-entropy alloy coatings based on electroless plating and thermal diffusion," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 902, p. 163736, 05/05/2022/ 2022
15. K. S. K. J. Reddy, L. P. P. Chokkakula, and S. R. Dey, "Strategies to engineer FeCoNiCuZn high entropy alloy composition through aqueous electrochemical deposition," *Electrochimica Acta*, vol. 453, p. 142350, 10/06/2023/ 2023
16. F. Semnani, M. Sarkari Khorrami, H. Ghasemi, and M. Heydarzadeh Sohi, "Tribological behavior and characteristics of TIG surface clad AlCoCrFeNi high-entropy alloy on 304L stainless steel," *Surface and Coatings Technology*, vol. 489p. 131100, 15/08/2024/ 2024
17. D. Zhang, X. Suo, J. Liu, Z. Li, Y. Zhang, and H. Wu, "Study on tribological performances of in situ -boriding laser cladding FeCoCrNiMn layers and its implementation in gear repair," *Tribology International*, vol. 194, p. 109503, 01/06/2024/ 2024
18. Z. U. Arif, M. Y. Khalid, E. ur Rehman, S. Ullah, M. Atif, and A. Tariq, "A review on laser cladding of high-entropy alloys, their recent trends and potential applications," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 68, pp. 273-225, 01/08/2021/ 2021
19. Y. Dong, Y. Lu, J. Kong, J. Zhang, and T. Li, "Microstructure and mechanical properties of multi-component AlCrFeNiMox high-entropy alloys," *Journal of alloys and compounds*, vol. 573, pp. 101-96, 2013

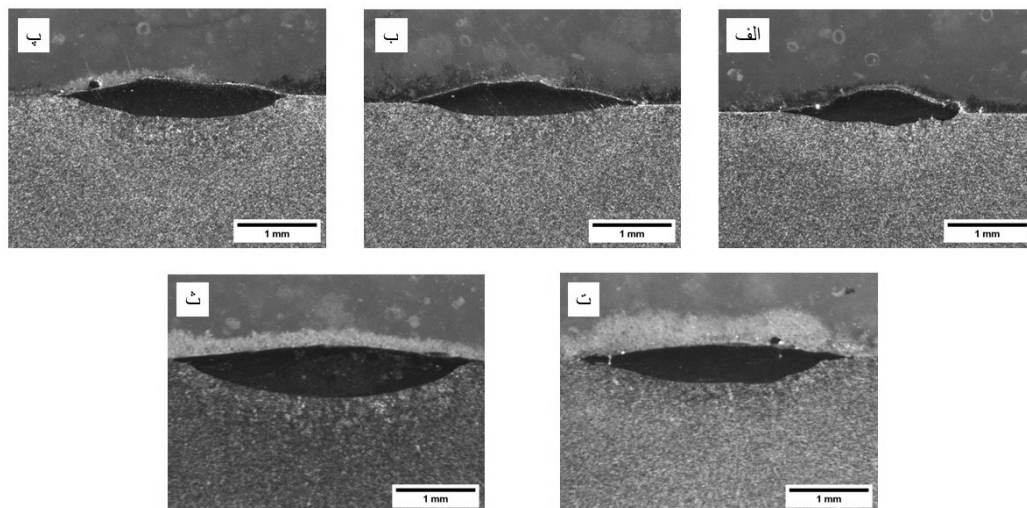
20. X. Shi, C. Wang, M. Huang, and H. Cui, "Microstructure and wear resistance property of AlFeCrNiMox coatings by plasma cladding," *Materials Research Express*, vol. 6, no. 10, p. 106537, 2019.
21. Odetola, P. I., Babalola, B. J., Afolabi, A. E., Anamu, U. S., Olorundaisi, E., Umba, M. C., ... & Olubambi, P. A. (2024). Exploring high entropy alloys: A review on thermodynamic design and computational modeling strategies for advanced materials applications. *Heliyon*.



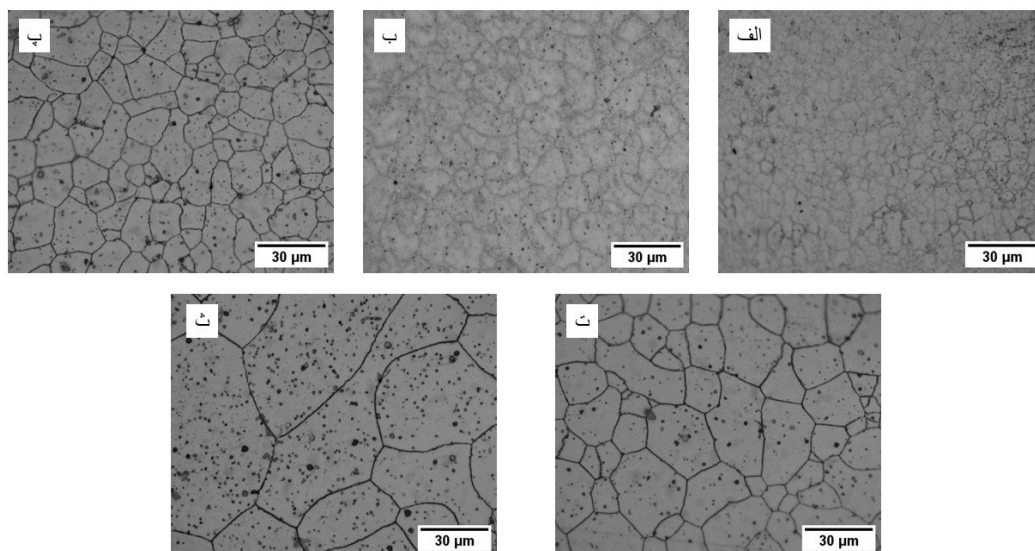
شکل 1: شماتیک از نمای مقطع عرضی روکش تک مسیر



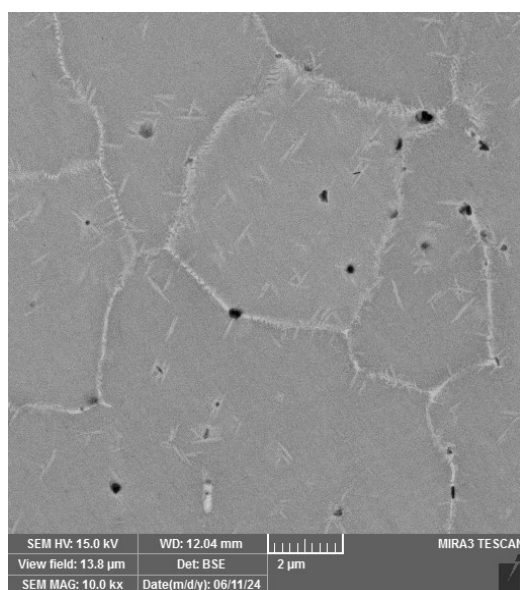
شکل 2: الگوی پراش پرتو ایکس روکش آلیاژ آنتروپی بالا در توان 600 وات



شکل 3: تصاویر ماکروگراف از لایه روکش در توان های مختلف الف) 600 وات، ب) 750 وات، پ) 900 وات، ت) 1050 وات و ث) 1200 وات

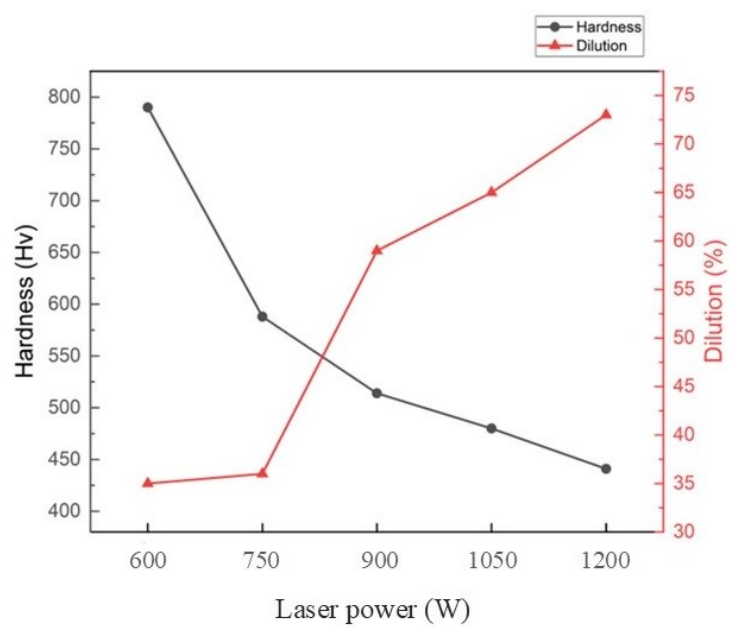


شکل 4: تصاویر متالوگرافی از لایه روکش در توان های مختلف الف) 600 وات، ب) 750 وات، پ) 900 وات، ت) 1050 وات و ث) 1200 وات



شکل 5: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی از لایه روکش در توان 600 وات

بررسی اثر توان لیزر



شکل 6: سختی سطح روکش و میزان رقت در توان های مختلف