



ایجاد پوشش کامپوزیتی نیکل- کاربید تنگستن با روش لحیم کاری نفوذی

الهام نوری¹، سهراب سنجابی²

¹ دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس تهران (دانشجو کارشناسی ارشد)

² دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران (دانشیار)

چکیده

اخیرا تحقیقات زیادی در زمینه پوشش های کامپوزیتی صورت گرفته است. از جمله مواردی که در این تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته، فرایند پوشش دهی و نحوه وارد کردن فاز تقویت کننده به پوشش و نیز بهینه کردن خواص مکانیکی و متالورژیکی پوشش بوده است. در این تحقیق، امکان ایجاد پوشش کامپوزیتی نیکل- کاربید تنگستن بر روی سطح نمونه هایی از جنس فولاد CK45 با استفاده از روش جدید، لحیم کاری دما بالای نفوذی¹ بررسی شد. سپس مورفولوژی پوشش کامپوزیتی بدست آمده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. ریز سختی سنجی به روش ویکرز انجام گرفت. نتایج نشان می دهد که با این روش، ایجاد پوشش های ضخیم امکان پذیر بوده و خواص مکانیکی مطلوبی قابل حصول می باشد. پوشش کامپوزیتی حاصل، دارای توزیع کاملا یکنواختی از ذرات کاربیدی در فاز پیوسته ی زمینه و سختی بالایی در محدوده 1100 - 1200 ویکرز می باشد.

واژه های کلیدی: پوشش کامپوزیتی؛ لحیم کاری نفوذی؛ ذرات کاربید تنگستن؛ سختی

¹ Infiltration Brazing

مقدمه

در صنعت، قطعات بسیاری برحسب کاربرد و موارد استفاده آنها، برای شرایط مختلف طراحی و تولید می‌شود. هر قطعه برحسب شرایط محیطی و کاربردی خود، خواص و ویژگی‌های خاصی را می‌طلبد. به عنوان مثال در شرایطی که سایش قطعات بالا باشند. از موادی استفاده می‌شود که حداکثر مقاومت سایشی را به همراه خواص دیگر دارا باشد. در غیر این صورت طول عمر مفید قطعات پایین بوده، و به دلیل یک آسیب جری در سطح، عملکرد قطعات متوقف می‌شود. پس برای افزایش طول عمر قطعات و کاهش هزینه‌های کل، انتخاب مواد اولیه و شرایط بهینه برای تولید مهم‌ترین گام در تولید هر قطعه می‌باشد.

کامپوزیت‌های زمینه فلزی موادی هستند که در آنها خواص میزبان فلزی، از جمله: سختی، مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی و غیره، با افزودن ذره دومی (معمولاً سرامیک) اصلاح می‌شود. ذرات دوم می‌توانند اکسیدها (Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2)، کاربیدها (SiC , WC)، الماس، روانسازهای جامد (MoS_2 , $PTFE$)، گرافیت) و یا حتی میکروکپسول‌های حاوی مایع باشند. کامپوزیت‌های پایه فلزی با ذرات تقویت‌کننده اکنون از چنان کارایی زیادی در صنایع مختلف برخوردار شده‌اند که جزئی اجتناب‌ناپذیر از این صنایع به شمار می‌روند [1].

از آنجا که تولید یک قطعه صنعتی بطور کامل از یک کامپوزیت پایه فلزی ممکن است دشواری‌های خاصی داشته یا اساساً نیاز به این کار نباشد. اعمال این کامپوزیت در قالب یک پوشش سطحی بسیار رایج است. بطوریکه بدنه قطعه صنعتی از یک آلیاژ معمولی با خواص متداول فنی برخوردار بوده و سطح آن، بدلیل نیاز به دارا بودن خواص متفاوت، از پوششی خاص پوشانده می‌شود. قطعات صنعتی که لایه سطحی آنها که در معرض محیط ساینده یا خورنده قرار دارد، نیاز به مقاومت به خوردگی، مقاومت به سایش و ضریب اصطکاک پایین دارد. در این گونه موارد، اعمال یک پوشش سطحی کارآمد که خواص مورد نظر را دارا باشد بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راهکار است [2].

پوشش‌های کامپوزیتی از اوایل قرن 19 مورد توجه قرار گرفته‌اند و اولین بار در سال 1928 پوشش کامپوزیتی مس-گرافیت برای اجزای موتور ماشین آزمایش شد [3]. بنابراین پوشش‌های کامپوزیتی زمینه فلزی نسل جدیدی از کامپوزیت‌ها هستند که دارای مزایایی چون نگهداری آسان، دمای کاری پایین، قیمت ارزان و مهم‌تر از همه داشتن ترکیبی از خواص متنوع می‌باشد [4]. بعلاوه، این پوشش‌ها دارای خواصی چون رسوب سختی، خود روانکاری، مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا، مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش عالی می‌باشند [5].

در این میان پوشش‌های کامپوزیتی پایه نیکلی به همراه فاز تقویت‌کننده ذره‌ای جای خود را به خوبی در صنایع باز کرده و اکنون از پوشش‌های بسیار مهم در صنایع مختلف به شمار می‌رود. از کاربردهای پوشش‌های کامپوزیتی پایه نیکل می‌توان به پوشش دادن ولوهای فشار بالا در صنایع نفت و گاز، سیلندرهای موتور، ماتریس‌ها، تولید ابزارهای موسیقی، سیستم‌های الکترومکانیکی، ابزار دقیق، ابزار هوا و فضا و صنایع دریایی و

کشاورزی اشاره کرد. مطالعات بسیار متنوع و فراوانی بر روی ویژگی‌های پوشش کامپوزیتی پایه نیکلی انجام شده و در آنها سعی شده تا خواص کاربردی این پوشش به حداکثر مقدار ممکن برسد. به‌منظور دستیابی به پوشش‌های کامپوزیتی پایه فلزی روش‌های مختلفی نظیر آبکاری الکتریکی، رسوبدهی الکتریکی، الکترولس نیکل، لحیم کاری [6]، آبکاری با برس [7]، پوشش دهی با لیزر [8] و غیره معرفی شده‌اند. روش‌های متداول برای ایجاد پوشش کامپوزیتی زمینه نیکلی، در ابتدا روش سنتی اسپری حرارتی بوده است که بعدها بخاطر گران بودن تجهیزات این روش و پیچیدگی آن، با روش الکترولس جایگزین شد. در روش الکتروشیمیایی نیز محدودیت‌هایی از جمله: در صد فاز تقویت کننده پایین و همچنین عدم توانایی در تولید پوشش با ضخامت‌های بالا وجود دارد. به همین دلیل اخیراً برای ایجاد پوشش کامپوزیتی زمینه نیکلی از روش جدید لحیم سخت نفوذی استفاده شده است. هدف از این تحقیق ایجاد پوشش کامپوزیتی نیکل - کاربید تنگستن روی سطح فولاد CK45 با روش لحیم کاری نفوذی و بررسی ریزساختار آن است. سختی پوشش نیز بررسی شد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از فولاد CK45 به عنوان فلز زیرلایه استفاده گردید. ابتدا نمونه‌هایی با ابعاد $20 \times 20 \times 2$ میلی‌متر بریده شده و سپس سطح آن به طور مکانیکی و شیمیایی تمیز گردید. مواد اولیه پوشش که ترکیب شیمیایی آنها در جدول 1 آورده شده است، پودر کاربید تنگستن با محدوده اندازه‌ی $4 < \mu\text{m}$ (شکل 1) و پودر آلیاژی BNi₂ با محدوده اندازه 40-70 میکرومتر است.

هر کدام از پودرها بطور جداگانه با پلیمر PVB و حلال اتانول مخلوط شد و بصورت دوغابی ویسکوز آماده شد. همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است ابتدا با روش غوطه‌وری لایه‌ای با ضخامت مشخص از دوغاب حاوی ذرات کاربید تنگستن بر روی سطح زیر لایه اعمال شد و پس از خشک شدن کامل آن، لایه دوم با دوغاب حاوی ذرات فلز پرکننده بر روی لایه دوغابی قبلی اعمال گردید. در نمونه‌های مختلف با تنظیم ضخامت لایه‌های دوغابی نسبت به هم، مقدار فاز تقویت کننده یا در واقع کاربید تنگستن 50 و 60 و 70 درصد وزنی در نظر گرفته شد. پس از خشک شدن کامل، نمونه‌ها در کوره خلا قرار گرفته و با سیکلی مطابق با شکل 3 حرارت داده شد.

طی فرایند لحیم کاری در داخل کوره با بالا رفتن دما و تبخیر فاز پلیمری موجود در لایه‌های دوغابی در دمای حدود 480 درجه، تخلخل‌های کوچک متعددی در لایه‌ها بجا می‌ماند. که در ادامه همین تخلخل می‌تواند برای عمل موینگی آلیاژ پایه نیکل در لایه کاربید تنگستن سودمند باشد. با افزایش بیشتر دما تا 1000 درجه، آلیاژ پایه نیکل ذوب شده و با تر کردن لایه کاربیدی و نفوذ در تخلخل‌های به جا مانده، به سطح زیر لایه رسیده و در مدت زمانی که نمونه در دمای انتخاب شده برای لحیم کاری 1090 (درجه سانتی‌گراد) نگه داشته می‌شود، نفوذ

فلز پرکننده در سطح زیر لایه رخ داده و پیوندی متالورژیکی ایجاد می‌شود. سپس نمونه در داخل کوره تا دمای محیط سرد می‌شود [6 و 9 و 10].

جهت بررسی میکرو ساختار، نمونه برش داده شده و آماده سازی سطح مقطع آن با طی مراحل سنباده زنی به ترتیب با سنباده 80، 320، 600، 1200 و 1500 و پولیش یا پودر آلومینا انجام شد. جهت تصویر برداری از سطح مقطع نمونه‌ها از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM با آشکارگر الکترون برگشتی استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل 4 تصاویر ماکروسکوپی از سطح پوشش‌های بدست آمده با درصد وزنی کاربید تنگستن مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمونه مربوط به 70 درصد وزنی کاربید تنگستن پوشش کاملاً فلزی نشده و چسبندگی بسیار ضعیفی با سطح زیر لایه دارد. علت این مشکلات را می‌توان این گونه بیان کرد که مقدار فاز مذاب برای پر کردن تخلخل‌های بین لایه‌ی کاربیدی و تشکیل یک فاز پیوسته به عنوان زمینه کامپوزیت کافی نبود است. همچنین مذاب به سطح زیر لایه نرسیده و نفوذی رخ نداده است. ولی در نمونه‌های دیگر سطح کاملاً فلزی و پوشش چسبندگی بسیار بالایی به ریز لایه دارد.

بررسی متالوگرافی پوشش

شکل 5 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع پوشش را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت سطح مقطع از چهار لایه‌ی، پوشش کامپوزیتی، درز اتصال، منطقه متأثر از نفوذ و زیر لایه تشکیل شده است. خود پوشش کامپوزیتی نیز از دو لایه تشکیل شده است. لایه نزدیک به خط اتصال دارای درصد ذرات کاربیدی کمتر و همچنین ریزتر می‌باشد.

آقای لو¹ دلیل تشکیل لایه نزدیک به خط اتصال را به این صورت بیان می‌کند که با ذوب شدن پودر فلزی و جریان یافتن مذاب در منافذ لایه کاربیدی در اثر موینگی، برخی ذرات کاربیدی ریز توسط مذاب شسته شده و با جریان مذاب همراه می‌شوند. با رسیدن مذاب به سطح زیر لایه، جریان مذاب متوقف شده و پس از اینکه نفوذ رخ داد انجماد صورت می‌گیرد. در نتیجه لایه نزدیک به سطح زیر لایه حاوی ذرات ریزتری می‌باشد [9].

همانطور که در تصویر میکروسکوپی بالا قابل مشاهده است ضخامت پوشش ایجاد شده در حدود 600 میکرومتر می‌باشد که ضخامت مربوط به لایه‌ی نزدیک به سطح در حدود 70 میکرومتر بوده و 530 میکرومتر بالایی کامپوزیتی با درصد کاربید تنگستن زیاد با توزیع نسبتاً یکنواخت را نشان می‌دهد.

¹ Shan-Ping Lu

بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی

با هدف بررسی کیفی توزیع ذرات کاربید تنگستن و اندازه این ذرات در زمینه نیکلی پوشش، تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی SEM از سطح مقطع پوشش تهیه شد، که در شکل 5-a نشان داده شده است. در تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی، فاز نیکلی به رنگ خاکستری به صورت فاز پیوسته دیده می شود. ذرات کاربید تنگستن هم به طور پراکنده و به رنگ سفید به چشم می خورد. دلیل این امر مربوط به دانسیته بالاتر این ذرات است. با توجه به نوع تصویر استفاده شده که از نوع الکترون های ثانویه می باشد. وضوح و شفافیت سیگنال ها وابسته با تعداد الکترون های ثانویه رسیده به آشکار ساز است. دانسیته بالاتر موجب رسیدن الکترون های بیشتر به آشکار ساز می شود که در تصویر نهایی روشن تر دیده می شود. برای اثبات این موضوع، آنالیز مربوط به دو نقطه مختلف از پوشش در شکل 5-b آورده شد.

همانطور که از تصویر مشخص است ذرات کاربیدی توزیع یکنواخت و مناسبی در فاز زمینه داشته و از آنجایی که اثری از کنده شدن ذرات از سطح در طول سناده زنی مشاهده نمی شود می توان نتیجه گرفت که سازگاری کاربید تنگستن با فاز نیکلی خوب بوده و چسبندگی مناسبی در مرز بین ذرات و فاز زمینه وجود دارد.

سختی پوشش

ریز سختی سنجی با روش ویکرز از سطح مقطع پوشش با فاصله های مشخصی از درز اتصال انجام گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از آن بود که سختی در تمام نقاط پوشش تقریباً یکسان بوده که می تواند تاییدی بر توزیع یکنواخت فاز تقویت کننده باشد. سختی بدست آمده از نقاط مختلف بصورت نموداری در شکل 7 نشان داده شده است.

نتیجه گیری

پوشش کامپوزیتی نیکل-کاربید تنگستن بر روی سطح فولاد CK45 با روش لحیم کاری نفوذی ایجاد شد از تکنیک آنالیز تصویری برای بررسی میکرو ساختار و نحوه توزیع ذرات کاربید تنگستن بهره گرفته شد. و برخی خواص پوشش کامپوزیتی اندازه گیری شد. که نتایج زیر بدست آمد.

- 1) امکان ایجاد پوشش کامپوزیتی با درصد وزنی بالایی از ذرات تقویت کننده از مزایای این روش نسبت به روش های آبکاری و الکتروشیمیایی به حساب می آید. همچنین این روش پوشش دهی با توجه به عدم مشاهده تخلخل در ساختار پوشش های بدست آمده روش مناسب تری نسبت به روش اسپری حرارتی به نظر می رسد.
- 2) ذرات کاربید تنگستن در فاز زمینه فلزی به خوبی توزیع شده و پوششی با ساختار یکنواخت ایجاد می شود. همچنین پوشش ها دارای ضخامت بالایی هستند.
- 3) سختی پوشش در حدود 1100 تا 1200 ویکرز بوده در مقایسه با سختی پوشش های بدست آمده با روش های معمول آبکاری و الکتروشیمیایی بسیار بالا می باشد

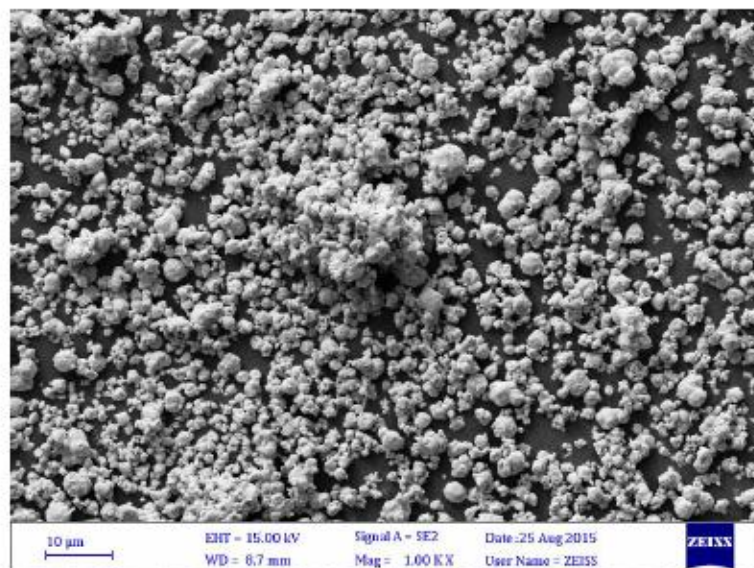
4) همانطور که در تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی مشاهده می‌شود. اثری از کنده شدن ذرات کاربید تنگستن از زمینه، در طی مراحل سنباده زنی دیده نمی‌شود. از این رو میتوان نتیجه گرفت ذرات کاربیدی به خوبی با مذاب تر شده و سازگاری خوبی با فلز پرکننده آلیاژی داشته است. در نتیجه چسبندگی ذرات کاربیدی به فاز زمینه بالا بوده است

مراجع

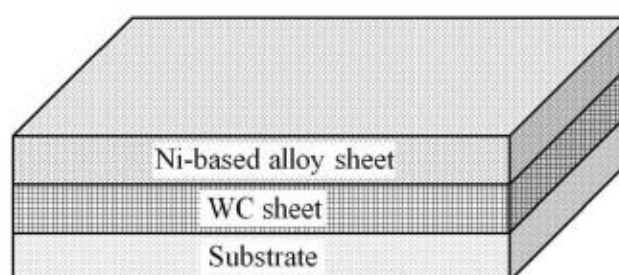
1. M. Surender, B. Basu, R. Balasubramaniam, "Wear Characterization of Electrodeposited Ni-WC Composite Coatings", *Tribology International*, 37, 2004 743-749.
2. S.C. Tjong, H. Chen, "Nanocrystalline Materials and Coatings", *Materials Science and Engineering*, 45, 2004, 1-88.
3. Th. Lampk, A. Leopold, "Correlation Between Structure and Corrosion Behavior of Nickel Dispersion Coatings Containing Ceramic Particles of Different Size", *Surface and Coatings Technology*, 2006.
4. Y. Wang, Z. Xu, "Nanostructured Ni-WC-Co Composite Coatings Fabricated by Electrophoretic Deposition", *Surface & Coatings Technology*, 200, 2006, 3896 - 3902.
5. H. Gul, F. Kilic, S. Aslan, A. Alp, H. Akbulut, "Characteristics of Electro-co-Deposited Ni-Al₂O₃ Nano-Particle Reinforced Metal Matrix Composite (MMC) Coatings", *Wear*, 267, 2009, 976-990.
6. S. Lua, Y. Kwona, "Microstructure and Bonding Strength of WC Reinforced Ni-Base Alloy Brazed Composite Coating", *Surface and Coatings Technology*, 153, 2002, 40-48.
7. B. Wu, B. Xu, B. Zhang, h. Lü, , "Preparation and Properties of Ni/nano-Al₂O₃ Composite Coatings by Automatic Brush Plating" , *Surface & Coatings Technology*, 201, 2007, 6933-6939.
8. Wu, P., Du, H.M., Chen, X.L., et al., "Influence of WC Particle Behavior on the Wear Resistance Properties of Ni-WC Composite Coatings", *Wear*, 257, 2004 , 142-147.
9. Shan-Ping Lu, Oh-Ywon, Yi Guo, "Wear Behavior of Brazed WC/NiCrBSi(Co) Composite Coatings" , *Wear*, 254, 2003, 421-428.
10. H. G. Joo, K. Y. Lee, D. Q. Zhang, "Corrosion Characteristics of WC-Ni Cermet Brazing Coatings by Vacuum Sintering", *Interdisciplinarity in Engineering International Conference*, Petru Maior University of Tirgu Mures, Romania, 2012.

جدول 1: مشخصات مواد اولیه مورد استفاده

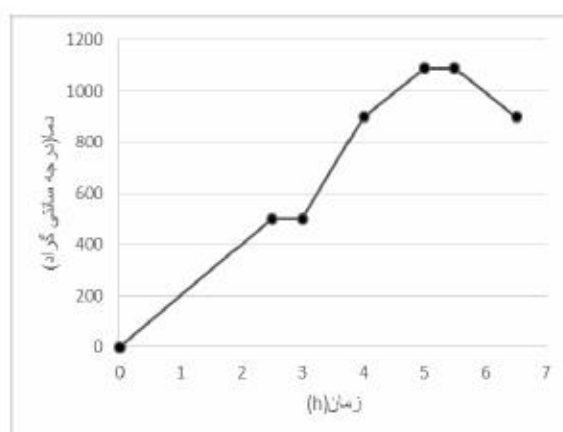
Powder	Composition(wt.%)	Particle Size
WC	W-6.13C	<4 μ m
BNi ₃	Ni-7Cr-3.1B-4.5Si-3Fe-0.06C	40-70 μ m
CK45	Fe-0.76Mn-0.41Cr-0.23Si-0.19Cu-0.09Cr-0.08Ni-0.01P	Bulk



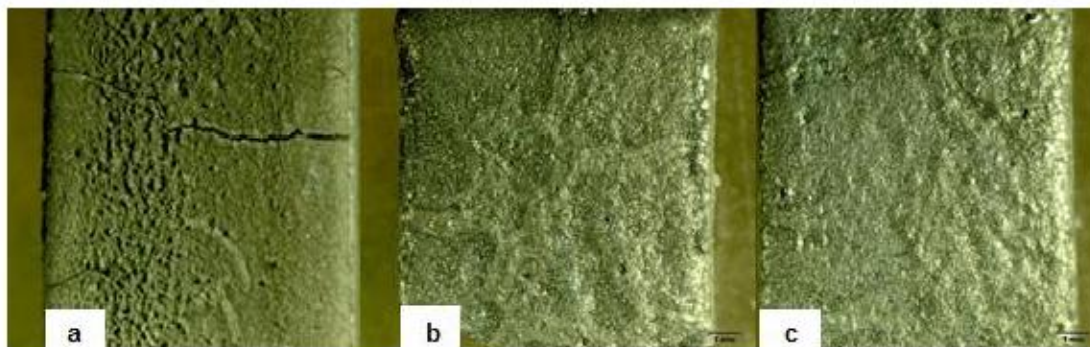
شکل 1: تصویر میکروسکوپی الکترون روبشی SEM از پودر کاربید تنگستن



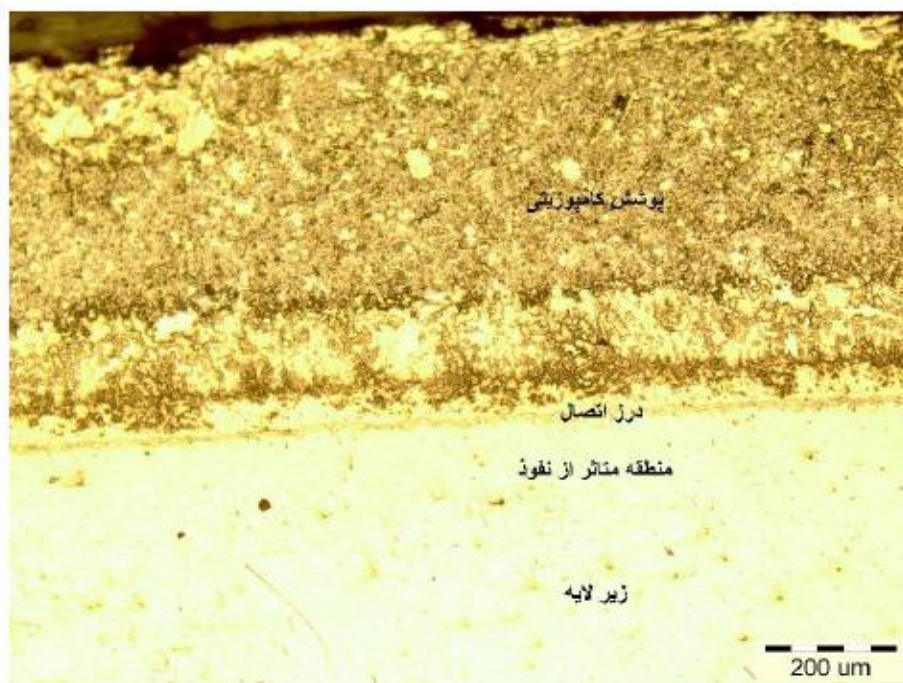
شکل 2: ترتیب اعمال لایه‌های دوغابی بر روی سطح زیر لایه [10]



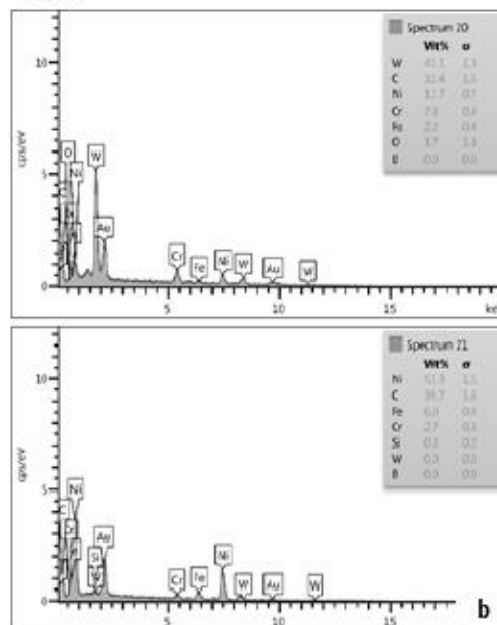
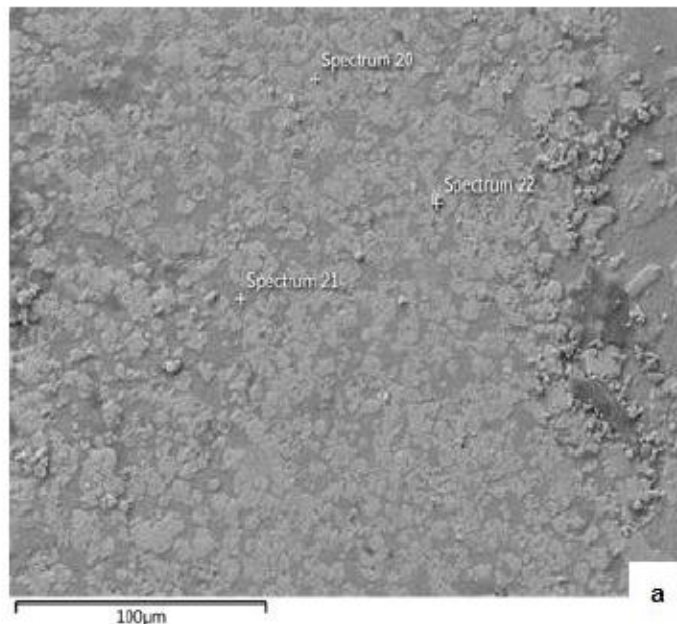
شکل 3: سیکل حرارتی برای فرایند لحیم کاری نفوذی



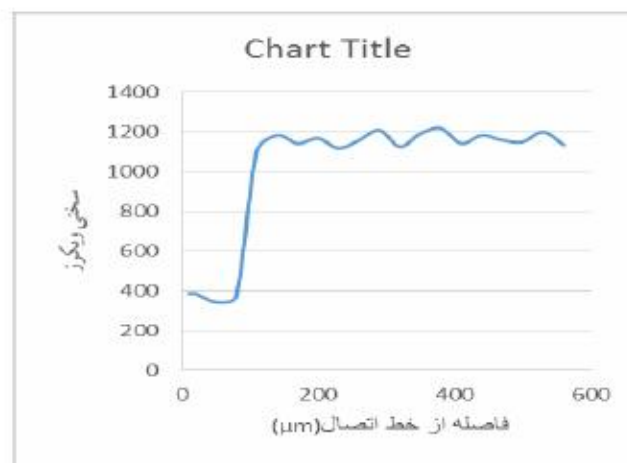
شکل 4: تصاویر ماکروسکوپی از پوشش های بدست آمده با درصد وزنی کاربید تنگستن مختلف (a) 70 درصد وزنی (b) 60 درصد وزنی (c) 50 درصد وزنی



شکل 5: تصویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع نمونه پوشش داده شده



شکل 6: (a) تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی SEM (b) آنالیز دو نقطه از پوشش



شکل 7: نمودار سختی پوشش بر حسب فاصله از خط اتصال