

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## استفاده از روش سنتز احتراقی برای تولید پوشش $Fe_2Al$ بر روی زیرلایه فولادی

### چکیده

امروزه دستیابی به تکنولوژی‌های کارآمد و مقرون به صرفه از نظر زمان و انرژی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. سنتز احتراقی جایگزینی برای روش‌های متداول سنتی جهت تولید برخی مواد پیشرفته می‌باشد. اخیراً گزارش شده است که محققان با استفاده از روش سنتز احتراقی، پوشش‌هایی را بر روی زیرلایه‌های فلزی تولید نموده‌اند. فرایند سنتز احتراقی، آماده‌سازی مواد و تولید پوشش را در یک مرحله ترکیب می‌کند. در نتیجه هزینه تولید پوشش به مراتب کاهش یافته و می‌توان پوشش‌های ضخیم را با استفاده از این روش تولید نمود. ترکیب بین فلزی  $Fe_2Al$  به دلیل قیمت کم، چگالی اندک، مقاومت مناسب سایشی، سهولت در تولید، پایداری شیمیایی و مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون، اخیراً مورد مطالعه و توجه قرار گرفته است. در این پژوهش ایجاد پوششی از جنس  $Fe_2Al$  بر روی زیرلایه فولاد کم کربن به وسیله واکنش سنتز احتراقی مخلوط پودری آهن و آلومینیوم در سطح فلز بررسی شده است. فازهای موجود در پوشش ایجاد شده به وسیله آنالیز XRD مشخص شده‌اند و ریزساختار پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی گردیده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که دمای بالای حاصل از واکنش سنتز احتراقی در فصل مشترک زیرلایه و پوشش موجب چسبندگی مناسب آن‌ها به یکدیگر شده و بدین ترتیب امکان ایجاد پوشش  $Fe_2Al$  بر روی زیرلایه فولادی به این روش وجود دارد. سختی قطعه پوشش داده شده نیز به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سنتز احتراقی، پوشش دهی،  $Fe_2Al$ ، زیرلایه فولاد کم کربن

## مقدمه

امروزه دستیابی به تکنولوژی های کارآمد و مقرون به صرفه از نظر زمان و انرژی بسیار حائز اهمیت می باشد. سنتز احتراقی یک روش جدید و ساده جهت تولید برخی مواد پیشرفته همچون سرامیک ها، کامپوزیت ها و ترکیبات بین فلزی می باشد. [۴و۱] این روش به عنوان جایگزینی برای روش های متداول سنتی به طور قابل ملاحظه ای مورد توجه قرار گرفته است. اخیراً گزارش شده است که محققان در تلاش هستند که با استفاده از روش سنتز احتراقی، پوشش هایی از جنس سرامیک ها، کامپوزیت های سرامیک/ فلز (cermet) و ترکیبات بین فلزی را بر روی زیرلایه های فلزی تولید نمایند و در این زمینه نیز موفق بوده اند. از فرایند SHS می توان برای پوشش دهی مواد استفاده نمود. فرایند SHS، آماده سازی مواد و تولید پوشش را در یک مرحله ترکیب می کند. در نتیجه هزینه تولید پوشش به مراتب کاهش یافته و می توان پوشش های ضخیم را با استفاده از این روش تولید نمود. [۷و۵]

با توجه به سهولت انجام فرآیند، نیاز به مصرف اندک انرژی، خلوص بالای محصولات فرآیند، امکان رسیدن به فازهای نیمه پایدار و امکان وقوع سنتز و چگالش به صورت همزمان، واکنش بین مواد با ذرات ریز یک راه حل برای تولید انواع گوناگون مواد می باشد. خلوص بالای محصولات فرآیند، نتیجه دمای بالای احتراق است که موجب می شود ناخالصی های فرار همراه با موج احتراق پیشرونده از داخل نمونه خارج شوند. تولید فازهای نیمه پایدار نیز در اثر گرادیان دمایی و سرعت سرمایش بسیار بالای فرآیند، امکان پذیر می باشد. [۸]

آلومینیدهای آهن ( $FeAl$  و  $Fe_3Al$ ) به دلیل قیمت کم، چگالی اندک، مقاومت مناسب سایشی، سهولت در تولید، پایداری شیمیایی و مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون، بیش از سایر ترکیبات بین فلزی مورد مطالعه قرار گرفته اند در این پژوهش امکان تولید پوشش از جنس آلومینیدهای آهن بر روی زیرلایه فولادی از طریق ترتیب دادن واکنش سنتز احتراقی مخلوط پودری آهن و آلومینیوم در سطح فلز بررسی شده است. آلومینیدهای آهن  $FeAl$  و  $Fe_3Al$  دارای از رنج وسیعی از کاربردها می باشند. آن ها لایه های اکسیدی مقاوم در محیط های بسیار خورنده تشکیل می دهند. [۹و۱۱]

آن ها چگالی پایین تر و خواص دمای بالای بهتری در مقایسه با بسیاری از آلیاژهای مورد استفاده کنونی دارند. در عین حال شکل پذیری سرد این مواد بخاطر اینکه در محیط با دماهای پایین، شکست ترد و داکتیلیتی پایین نشان می دهند، محدود شده است. کاربرد این مواد به عنوان مواد مهندسی تا کنون به دلیل این محدودیت شکل پذیری، محدود شده است. [۱۵و۱۲]

## روش پژوهش

پودرهای آلومینیوم (با خلوص ۹۹/۹۹٪ و میانگین اندازه ذرات ۳  $\mu m$ ) و آهن (با خلوص ۹۹/۹۹٪ و میانگین اندازه ذرات ۹  $\mu m$ ) تهیه شد. ابتدا سعی بر آن شد که شرایط وقوع سنتز و رسیدن به شرایط مناسب (فشار فشرده سازی، دمای کوره و غیره) برای انجام شدن واکنش، مورد بررسی قرار گیرد. در صورتی که مخلوط پودری با فشاری کمتر از فشار مناسب فشرده شود، سنتز احتراقی با پاشش شدید محصولات به اطراف خواهد بود. همچنین در صورتی که کامپکت در دمایی پایین

تر از دمای مناسب در کوره قرار گیرد، واکنش سنتز احتراقی رخ نخواهد داد. پس از انجام آزمایش در دماهای مختلف و فشرده سازی پودر در فشارهای مختلف، دما و فشار مناسب تعیین شد.

پودرهای آلومینیوم و آهن با نسبت های اتمی ۱:۳ توزین شده، سپس به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از دستگاه همزن مخلوط شدند. سپس مخلوط پودری با فشار ۳۵۰ MPa فشرده شد. کامپکت حاصل در داخل کوره با دمای ۹۵۰ °C قرار داده شد تا واکنش سنتز احتراقی انجام شود. آزمایشات نشان داد که از زمان قرارگیری کامپکت در داخل کوره تا زمان پایان واکنش، ۴۵ الی ۶۰ ثانیه زمان نیاز است.

به عنوان زیرلایه، فولاد کم کربن انتخاب شد. فولاد تهیه شده در قطعاتی با شعاع ۲ سانتیمتر و ضخامت ۱ سانتیمتر برش زده شد و قطعات حاصل تا حد پولیش کاری، صیقلی شده و قبل از استفاده جهت زدودن چربی و آلودگی از سطح پولیش کاری شده، قطعات با استفاده از استون چربی زدایی شدند. از یک قطعه فولادی آنالیز کوانتومتری گرفته شد که ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول ۱ مربوط به نتیجه کوانتومتری می باشد.

بخش دوم آزمایشات مربوط به تولید پوشش و بررسی خواص و ویژگی های پوشش های ایجاد شده بود. قطعات فولادی و کامپکت پودری جهت انجام واکنش سنتز احتراقی در داخل کوره با دمای ۹۵۰ °C قرار گرفته و بلافاصله پس از انجام واکنش از کوره خارج شدند. از آنجایی که این واکنش سنتز احتراقی همراه با نور شدید، صدا و دود انجام می شود، زمان وقوع سنتز کاملاً قابل تشخیص باشد.

جدول ۳-۱ - ترکیب شیمیایی فولاد سمانتاسیون (DIN Code : ۱,۷۱۳۱)

عنصر	C	Si	S	P	Mn	Cr	Ni
درصد جرمی	۰,۲۰۳	۰,۳۷۴	۰,۰۲۷	۰,۰۱۵	۱,۱۰۲	۰,۸۳۹	۰,۱۱۴
عنصر	Mo	V	W	Ti	Sn	Co	Al
درصد جرمی	۰,۰۱۵	۰,۰۰۳	۰,۰۰۶	۰,۰۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۱۴	۰,۰۶

پس از تولید پوشش، به منظور بررسی ریزساختار پوشش از قطعات پوشش داده شده تصاویر متالوگرافی تهیه شد. نمونه ها پس از سمباده زنی و پولیش کاری، با محلول اچانت :

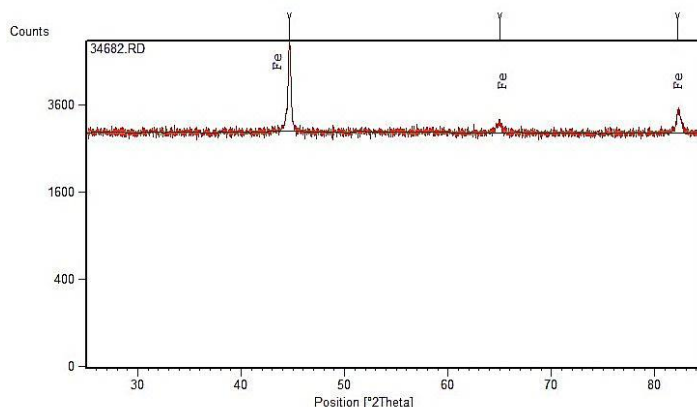


اچ شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری تصاویر متالوگرافی تهیه شد. به منظور مشخص شدن ماهیت محصولات سنتز احتراقی و پوشش تولید شده از نمونه های فولادی پوشش داده شده آنالیز XRD تهیه و بررسی شد. از میکروسکوپ الکترونی

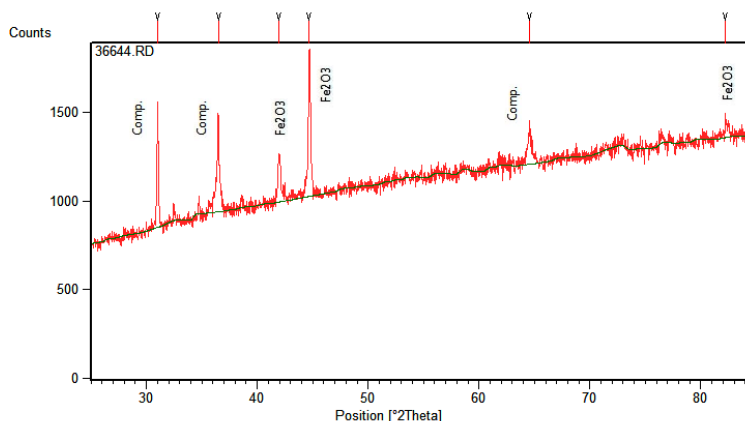
رویشی (SEM) به منظور بررسی ساختار و مورفولوژی پوشش‌های تولید شده و فصل مشترک پوشش و زیرلایه استفاده شد. آنالیز EDS نقطه‌ای در این پژوهش در هنگام تصویر برداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد.

## نتایج و بحث

جهت شناسایی فازهای موجود در زیرلایه و پوشش  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ، آنالیز XRD بر روی یک زیرلایه فولادی (بدون پوشش) و یک نمونه پوشش داده شده انجام شد و نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار PANatical X'pert تحلیل و با یکدیگر مقایسه شدند. شکل ۱ الگوی پراش مربوط به زیرلایه فولادی (بدون پوشش) را نشان می‌دهد. پیک‌های مشاهده شده مربوط به آهن (فاز فریت) می‌باشند. شکل ۲ نیز الگوی نمونه پوشش داده شده را نشان می‌دهد. در این تصویر پیک‌های مربوط به فاز کمپلکس آهن، آلومینیوم و اکسیژن و فاز اکسید آهن دیده می‌شود که مؤید حضور دو فاز در پوشش تولید شده می‌باشد که در ادامه درباره آن‌ها بحث خواهد شد.

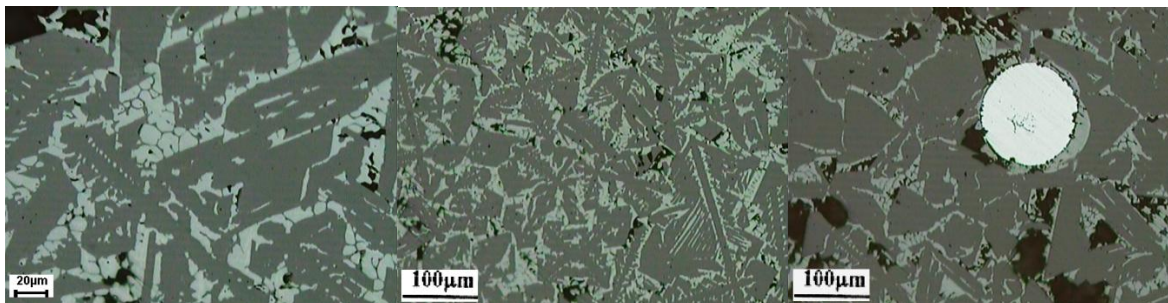


شکل ۱ - آنالیز XRD از فولاد زیرلایه (بدون پوشش)



شکل ۲ - آنالیز XRD از نمونه پوشش داده شده

شکل ۳، تصاویر متالوگرافی تهیه شده از پوشش  $Fe_2Al$  در بزرگنمایی‌های مختلف را نشان می‌دهد. جهت تهیه این تصاویر، سطح پوشش سمباده زنی و پولیش کاری شدند. در این تصاویر، زمینه متشکل از دو فاز تیره و خاکستری رنگ می‌باشد که ذرات کرووی سفید رنگ در برخی از نقاط پوشش دیده می‌شوند. ذرات کرووی سفید رنگ موجود در پوشش  $Fe_2Al$ ، از جنس آهن خالص می‌باشند. این فاز در شکل زیر قابل رؤیت است. تعداد این ذرات کرووی در داخل پوشش اندک و انگشت شمار می‌باشد. زمینه که از دو فاز تشکیل شده است شامل فاز تیره رنگ کمپلکس  $Fe-Al-O$  و فاز خاکستری رنگ اکسید آلومینیوم می‌باشد. توضیحات مربوط به آنالیز هر فاز در ادامه همراه با نتایج SEM آورده شده است.

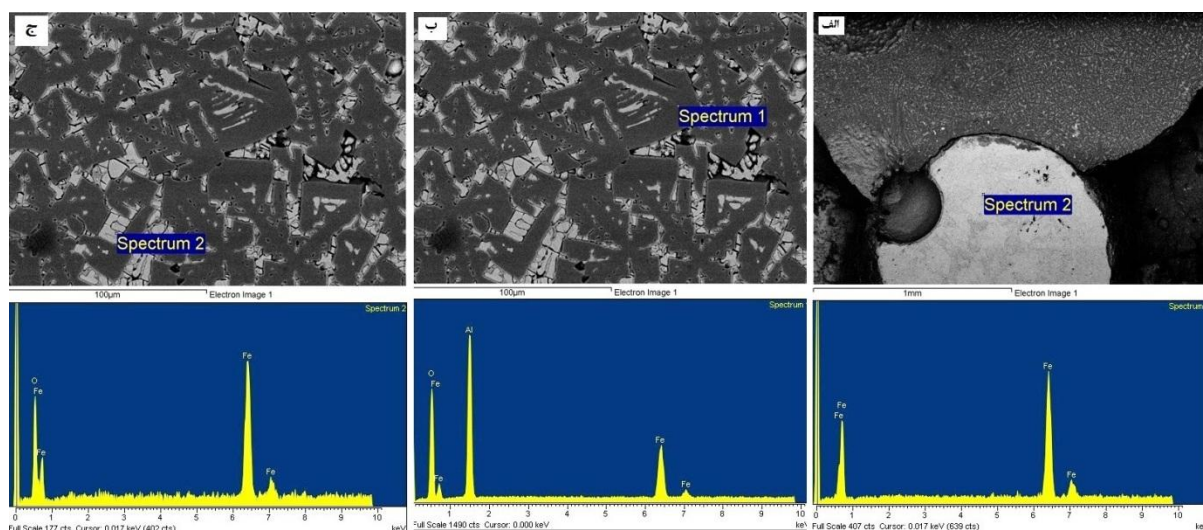


شکل ۳ - تصاویر متالوگرافی تهیه شده از پوشش  $Fe_2Al$  در بزرگنمایی‌های مختلف و سه فاز موجود در آن

جهت تهیه تصاویر SEM، یک نمونه پوشش داده شده سمباده زنی و پولیشکاری شد. در شکل ۴ با استفاده از آنالیز نقطه ای EDS فازهای مختلف موجود در پوشش بررسی شده اند. در پوشش سه فاز مختلف وجود دارد. شکل ۴ - الف آنالیز EDS مربوط به ذرات کرووی سفید رنگ موجود در پوشش  $Fe_2Al$  را نشان می‌دهد. همانطور که از نتیجه این آنالیز مشخص است، این فاز آهن خالص می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۴ - (ب) و (ج) ملاحظه می‌شود که نواحی تیره رنگ موجود در پوشش، حاوی عنصر آلومینیوم و نواحی روشن‌تری از این عنصر هستند.

تصویر ۴ - ب، آنالیز EDS گرفته شده از فاز تیره رنگ زمینه پوشش  $Fe_2Al$  را نشان می‌دهد. این فاز متشکل از سه عنصر آهن، آلومینیوم و اکسیژن می‌باشد.





شکل ۴-۲۶ (الف) آنالیز نقطه ای EDS از فاز کرویی شکل موجود در پوشش (آهن)، (ب) آنالیز نقطه ای EDS از فاز تیره موجود در بخش دوفازی پوشش (ترکیب کمپلکس آهن-آلومینیوم-اکسیژن)، (ج) آنالیز نقطه ای EDS از فاز روشن موجود در بخش دوفازی پوشش (اکسید آهن)

آنالیز EDS گرفته شده از فاز خاکستری رنگ زمینه پوشش  $Fe_2Al$  در شکل ۴-ج، نشان داده شده است. این فاز متشکل از دو عنصر آهن و اکسیژن و عاری از عنصر آلومینیوم می باشد. این فاز اکسید آهن می باشد. به نظر می رسد اکسیژن موجود در هوا در حین وقوع واکنش سنتز احتراقی در واکنش شرکت کرده و در دو فاز موجود در زمینه پوشش حل شده است.

با نگاهی به دیاگرام فازی Fe-Al متوجه می شویم که محدوده پایداری فاز  $Fe_2Al$  کوچک و محدود است. در بین ترکیبات بین فلزی آهن و آلومینیوم  $FeAl$  گسترده ترین محدوده پایداری را دارد. کوچک بودن محدوده پایداری فاز  $Fe_2Al$  موجب شده است که پوشش تولید شده تک فاز نباشد. در پوشش تولید شده علاوه بر فاز  $Fe_2Al$ ، فازهای آهن و اکسید آهن نیز در پوشش حضور دارند. در واقع میزان مازاد آهن موجود در کامپکت پس از وقوع سنتز احتراقی به صورت فازهای جداگانه تشکیل شده است. از طرفی اکسیژن موجود در اتمسفر کوره در حین سنتز در واکنش شرکت کرده و در محصولات سنتز دیده می شود.

## منابع

۱. Puszynski, J.A., (۱۹۹۷), "Carbide, Nitride and Boride materials synthesis and processing", Thermochemistry And Kinetics., London.
۲. Z.A. Munir, U.A.-T., (۱۹۸۹) "Self-propagating exothermic reactions: the synthesis of high-temperature materials by combustion", Materials Science Reports, vol ۳, p. ۲۷۷-۳۶۵.
۳. J.J. Moore, H.J.F., (۱۹۹۵), "Combustion synthesis of advanced materials", Progress in Materials Science, vol ۳۹, p. ۲۴۳-۲۷۳.

۴. Merzhanov, A.G., (۱۹۹۵), "History and recent developments in SHS. Ceramics International", vol ۲۱, p. ۳۷۱-۳۷۹.
۵. Peiqing La, Mingwu Bai, Qunji Xue, Weimin Liu, (۱۹۹۹), "A study of Ni-Al coating on carbon steel surface via the SHS casting route", Surface And Coatings Technology, ۱۱۳, ۴۴-۵۱
۶. B. P. Sereda and I. V. Palekhova, (۲۰۰۳), "Deposition of titanium-base binary coatings by the method of self-propagating high-temperature synthesis", Metal Science And Heat Treatment, ۱۱ - ۱۲.
۷. M. Ode, H. Murakami, H. Onodera, (۲۰۰۵), "Self-propagating high-temperature synthesis of IrAl and its application to coating process", Scripta Materialia, ۵۲, ۱۰۵۷-۱۰۶۲
۸. Mossino, P., (۲۰۰۴), "Some aspects in self-propagating high-temperature synthesis", Ceramics International, vol ۳۰, p. ۳۱۱-۳۳۲.
۹. R.G. Baligidad, U.P., A. Radha Krishna, (۱۹۹۷), "Thermal stability and elevated temperature mechanical properties of electroslog remelted Fe-۱۶wt.%Al-(۰.۱۴-۰.۵)wt.%C intermetallic alloys", Materials Science and Engineering, vol ۲۳۰, p. ۱۸۸-۱۹۳.
۱۰. D.L. Joslin, D.S.E., C.T. Liu, S.A. David, (۱۹۹۵), "Reaction synthesis of Fe-Al alloys", Materials Science and Engineering A, vol ۱۹۲/۱۹۳, p. ۵۴۴-۵۴۸.
۱۱. Sheasby, J.S., (۱۹۷۹), "Powder Metallurgy of Iron - Aluminum". International Journal of Powder Technology, vol ۱۵(۴), p. ۳۰۱.
۱۲. Rabin, B.H., Wright, R. N., Knibloe, J. R., Raman, R. V. & Rale, S. V., (۱۹۹۲), "Reaction processing of iron aluminides", Materials Science and Engineering, vol ۱۵۳, p. ۷۰۶-۷۱۱.
۱۳. D. L. Joslin, D.S.E., C. T. Liu and S. A. David, (۱۹۹۴), "The Effects of Processing Variables on Reaction Synthesis of Fe-Al Alloys", MRS Proceedings, vol ۳۶۴, p. ۹۰۹.
۱۴. C. T. Liu, K.S.K., (۱۹۹۳), "Ordered intermetallic alloys, part I: Nickel and iron aluminides" JOM, vol ۴۵(۵), p. ۳۸-۴۴.
۱۵. H.R. Shahverdi, M.R.G., S. Shabestari, J. Hejazi, (۲۰۰۲), "Microstructural analysis of interfacial reaction between molten aluminium and solid iron", Journal of materials processing technology, vol ۱۲۴, p. ۳۴۵-۳۵۲.