

ساخت و مشخصه یابی نوار و پودر آلیاژ آمورف MBF-100 بکار رفته در اتصال TLP سوپر آلیاژ FSX-414

محمد رجبی^۱، رضا بختیاری^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

*عهده دار مکاتبات: r.bakhtiari@razi.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۰)

چکیده: در این تحقیق بررسی فرآیند اتصال TLP برای سوپر آلیاژ FSX-414 با استفاده از لایه واسط MBF-100 بصورت نوار و پودر انجام گردید. بدین منظور از دو نمونه سوپر آلیاژ ریختگی پایه کبالت FSX-414 یکی با ابعاد $10 \times 5 \times 10$ میلی متر برای نمونه اتصالی با نوار MBF-100 و دیگری با همین ابعاد به همراه شیار U و V شکل برای اتصال با پودر ایجاد گردید. در ادامه هر دو نمونه تحت یک سیکل عملیات حرارتی در دمای 1175 درجه سانتی گراد و به مدت 30 دقیقه قرار گرفت. ریز ساختار ناحیه اتصال TLP، با استفاده از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی، آنالیز EDS، آنالیز نقشه ای EDS و ریز سختی سنجی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در تصاویر میکروسکوپی مربوط به اتصال TLP با نوار نسبت به نمونه پودر مناطق مختلف فازی شامل منطقه تحت انجماد و تحت نفوذ به طور کامل مشخص گردید. نتایج حاصل از آنالیز EDS، آنالیز نقشه EDS و ریز سختی سنجی قابلیت نفوذ و اتصال دهی بهتر نوار نسبت به پودر را تایید کردند.

واژه های کلیدی:

سوپر آلیاژ FSX-414، نوار و پودر MBF-100، اتصال فاز مایع گذرا (TLP).

۱- مقدمه

های شبه یوتکتیکی می باشد که در حین انجماد روی مرز دانه ها و در فضای بین بازوهای دندریتی فاز زمینه شکل می گیرند و حاشیه آن ها را توده متراکمی از کاربیدهای $M_{23}C_6$ ثانویه ریز تشکیل می دهد که معمولاً در اثر عملیات حرارتی پیر سازی و یا سرویس طولانی مدت آلیاژ در دمای بالا به وجود می آیند [۱-۳]. علاوه بر فازهای کاربیدی فوق الذکر در ریز ساختار بعضی از آلیاژ های حاوی کروم و تنگستن بالا مثل FSX-414 فاز های سوزنی شکلی نیز مشاهده می شوند که شناسایی و تمایز این فاز

سوپر آلیاژ های پایه کبالت ریختگی نظیر FSX-414 به خاطر مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون دمای بالا، مقاومت خزشی مناسب و قابلیت ریخته گری، جوشکاری و ماشین کاری مطلوب بطور گسترده ای در ساخت نازل های انواع توربین های گازی مورد استفاده قرار می گیرند [۱-۲]. ریز ساختار این گروه از سوپر آلیاژ ها به طور معمول شامل زمینه دندریتی فاز آستنیت (γ) و مورفولوژی های مختلفی از کاربید $M_{23}C_6$ غالباً با ترکیب شیمیایی $(Cr_{18}Co_4W_1C_6)$ به صورت کاربید های اولیه و کاربید

ترکیبی از ویژگی های مفید برای اتصال هر دو فاز مایع و جامد می باشد. این فرآیند متفاوت از اتصال نفوذی در تشکیل لایه واسط مایع حذفی مورد نیاز برای یک فشار اتصال بالا است. در TLP یک لایه واسط که شامل عناصر کاهنده نقطه ذوب مثل بور، فسفر و سیلیسیم است که بین دو سطح برای اتصال قرار داده می شود [۱۱-۱۲]. در مواردی که جهت تعمیر و بازسازی امکان استفاده از لایه واسط به شکل نوار نباشد از نوع پودری شکل آن جهت تعمیر و بهسازی آلیاژ FSX-414 استفاده می شود.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

۲-۱- آماده سازی و انجام فرایند TLP با استفاده از نوارپودر

ابتدا نمونه هایی از سوپرآلیاژ پایه کبالت FSX-414 در ابعاد $10 \times 5 \times 10$ میلی متر توسط دستگاه وایرکات از شمش موجود تهیه گردید. ترکیب شیمیایی این سوپر آلیاژ در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی سوپر آلیاژ FSX-414 (درصد وزنی)

عناصر	درصد وزنی
Co	پایه
Cr	۳۰/۲۵
Ni	۱۰/۳۲
B	۰/۰۰۶
W	۶/۷۶
Fe	۰/۵۲
C	۰/۱۵
Si	۰/۷۲
Mn	۰/۵۹
Mo	۰/۰۳
Ta	۰/۱۴

در ادامه نمونه ها تحت سمباده زنی و پولیش کاملاً صاف و صیقلی شدند و پس از آن نوار بی شکل MBF-100 با ابعاد 10×10 میلی متر به ضخامت تقریبی ۴۹/۹۱ میکرومتر بین دو نمونه قرار داده شد. مجموعه در یک کوره عملیات حرارتی تحت اتمسفر محیط تا

ها بخاطر کوهرنسی بالا و ترکیب شیمیایی و نظم ساختاری بسیار مشابه آنها با کاربرد مشکل بوده و قضاوت در مورد ماهیت کاربیدی یا فاز σ بودن آن ها از روی تصاویر ریزساختاری همواره با شک و شبهه همراه بوده است [۳-۵]. در عین حال روش متالوگرافی همچنان یکی از روش های مهم و موثر شناسایی این فاز ها می باشد [۲]. نازل های توربین های گازی ایرفویل های ثابتی هستند که در معرض جریان مستقیم گاز داغ قرار دارند. آنها باید قادر به تحمل درجه حرارت های بالا باشند. نازل های مرحله اول از توربین گازی که در معرض حرارت بالاتر مسیر گاز است اما با تنش های مکانیکی کمتر در مقایسه با سطح دوار قرار دارد. در نتیجه نازل مرحله اول باید مقاومت عالی در برابر خستگی حرارتی و همچنین به اکسیداسیون در دمای بالا و در برابر خوردگی داشته باشد [۶-۷]. FSX-414 یک آلیاژ پایه کبالت ثبت شده در شرکت ژنراتور الکترونیک است، این آلیاژ در حال حاضر برای تولید نازل مرحله اول و برخی دیگر از نازل های مرحله بعد استفاده می شود. آلیاژهای پایه کبالت عموماً استحکام بیشتر در دماهای بالا در مقایسه با آلیاژ های پایه نیکل دارند [۸]. علاوه براین، مقاومت در برابر اکسیداسیون FSX-414 به گونه ای است که در حال حاضر بدون پوشش اکسیداسیون مورد استفاده قرار می گیرد [۶]. بعد از ۲۴۰۰۰ ساعت فاصله زمانی سرویس از یک سگمنت نازل FSX-414 ترکهای ویژه در اطراف لبه پیشرو و همچنین بین دو ایرفویلها بطور وسیع گزارش شده است. چرخه پایین خستگی حرارتی در درجه اول ناشی از ترک خوردگی است. برخی از خوردگی اکسیداسیون و ترک خوردگی مرتبط با آن نیز رخ داده است [۹]. مرمت و باز سازی این بخش نازل به دلیل قیمت بالای آنها مهم است. قبل از سال ۲۰۰۳ این ترک ها بر روی نازل سگمنت بوسیله فرایند جوشکاری قوس با تنگستن تحت محافظت گاز تعمیر می شد. مقدار زیادی جوش مورد نیاز است که منجر به اعوجاج قابل توجهی از بخش نازل می شود. این اعوجاج نیاز به دوباره کاری و تصحیح بعدی قابل توجه دارد [۱۰]. اتصال فاز مایع گذرا TLP برای تعمیر / به هم پیوستن فرآیند ها برای سوپر آلیاژ در نظر گرفته شده است. این فرآیند دوگانه

بوسیله سمباده هایی از ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ کاملاً صیقلی و پولیش و آماده اچ کردن شد. برای اچ این نمونه از محلول موراکامی^۱ با ترکیب - KOH 10gr - K₃ [Fe(CN)₆] 10gr H₂O 100ml استفاده شد.

۳-۲- بررسی ریز ساختاری

پس از اچ کردن نمونه با محلول مورد نظر، ریز ساختار نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل Olympus Dp12 مورد مطالعه قرار گرفت. این تصاویر جهت بررسی نحوه اتصال ایجاد شده، بر منطقه اتصال تمرکز داشت. پس از انجام اتصال TLP با نوار و پودر MBF-100 تولیدی به منظور بررسی ناحیه اتصال و فاز های تشکیل شده، پس از آماده سازی و تمیز کاری آلتراسونیک نمونه ها در حمام استون به مدت ۱۰ دقیقه و پوشش دهی به ضخامت ۲۰-۱۰ نانومتر توسط دستگاه پوشش طلا از میکروسکوپ SEM SERON مدل AIS2300C با پنجره بریلوم و بزرگنمایی های مختلف استفاده شد. به منظور تحلیل دقیقتر، نمونه های اتصالی تحت آنالیز EDS و آنالیز نقشه EDS قرار گرفتند. به منظور بررسی خواص مکانیکی اتصال، آزمایش ریزسختی سنجی طبق استاندارد مرجع ASTM E 384-11 به روش ویکرز با فرورونده هرم الماسه در دمای اتاق و برای مناطقی از منطقه اتصال و منطقه مجاور آن انجام گرفت.

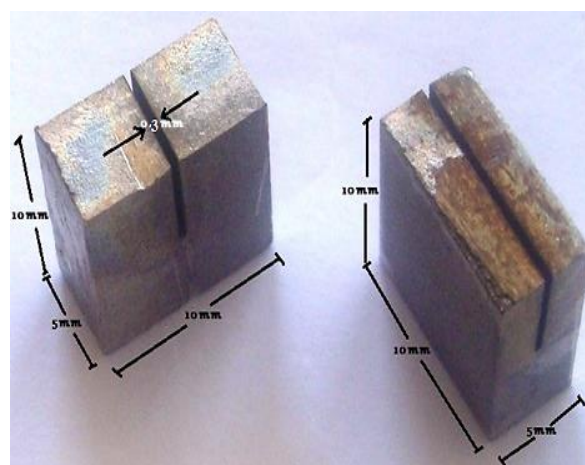
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ریز ساختاری اتصالات TLP با استفاده از نوار تولیدی

۳-۱-۱- بررسی ریز ساختاری با میکروسکوپ نوری

شکل (۲) ریز ساختار اتصال TLP با نوار برای سیستم FSX-414 / MBF-100/414 ایجاد شده در دمای ۱۱۷۵ °C به مدت ۳۰ دقیقه را نشان می دهد. عدم وجود مناطق یوتکتیکی و انجماد هم دمای کامل در منطقه اتصال قابل مشاهده است. در بررسی ریز ساختار نمونه پس از اتصال، قابلیت نفوذ و ترکندگی بالای نوار با سوپرآلیاژ تایید گردیده است. منطقه اتصال شامل دو

دمای ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و سپس در داخل کوره تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد سرد شده و در زیر دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد از کوره خارج و در هوا سرد شد. برای انجام فرایند TLP با استفاده از پودر MBF-100 تولیدی، شیار به شکل V و U شکل بوسیله دستگاه وایر کات به شکل (۱) در سطح نمونه ها ایجاد و سپس پودر MBF-100 تولیدی در داخل شیار ها قرار داده شد و همانند سیکل حرارتی نمونه فرایند TLP با استفاده از نوار، اما تحت گاز آرگون انجام گردید.



شکل (۱): نمونه سوپرآلیاژ پایه کبالت FSX-414 با شیار های U و V شکل ایجاد شده بر روی سطح آنها

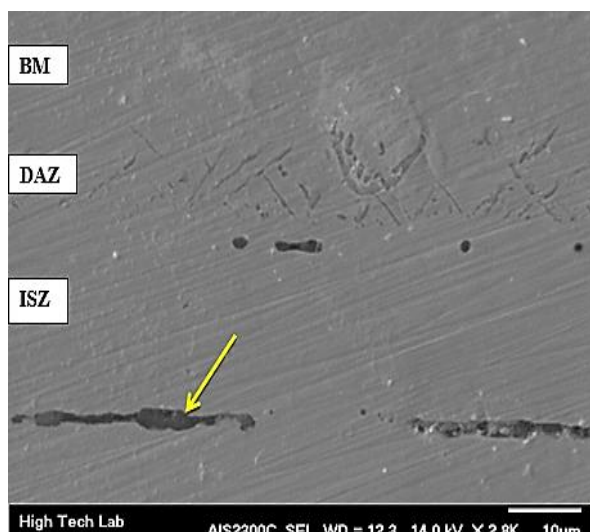
۳-۲- آماده سازی و متالوگرافی نمونه ها

برای نمونه های اتصال TLP یافته، برشی عمود بر موضع اتصال دو نمونه بوسیله کاتر انجام شد. سپس سطح نمونه در محل برش

غلظت بور بیشتر است به شکل نقطه ریزتر مشاهده می شوند. منطقه انجماد هم دما شامل فاز محلول جامد می باشد. که در این تحقیق، غنی از کبالت خواهد بود. هنگامی که زمان نگهداری کافی نباشد، کاهش غلظت عنصر بور کافی نبوده و در مناطقی که غلظت بور زیاد است نقطه ذوب به بالاتر از دمای اتصال افزایش نمی یابد و در نتیجه انجماد غیر هم دما حین سرد کردن از دمای اتصال انجام می شود و فازهای یوتکتیک تشکیل می شوند. البته با توجه به شکل (۲) فازهای یوتکتیکی در ناحیه انجماد هم دما مشاهده نگردید که این موید زمان کافی نگهداری جهت انجام اتصال می باشد. نکته قابل توجه در شکل (۲) این است که ترکیبات سوزنی و نقطه ای منطقه DAZ تنها در یک نیمه از اتصال مشاهده می گردند و در نیمه دیگر این ترکیبات قابل مشاهده نمی باشند. علت می تواند در جهت گیری نمونه نسبت به فشار اعمالی حین فرایند اتصال ناشی از وزن نمونه بالایی می باشد که نفوذ را تسریع و تشکیل این ترکیبات را منجر شده است.

۳-۱-۲- بررسی ریز ساختاری با SEM

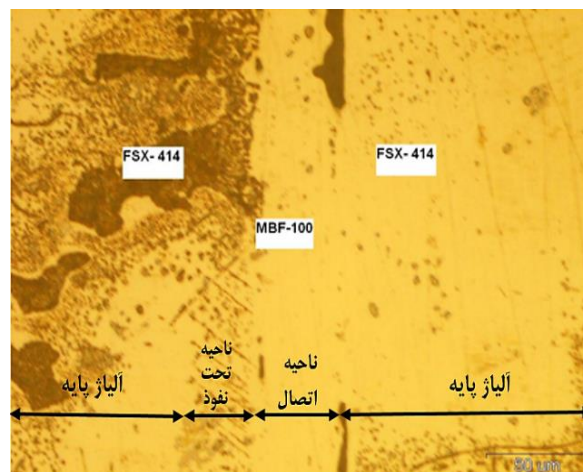
در شکل (۳) که تصویر SEM اتصال TLP ایجاد شده با استفاده نوار تولیدی را نشان می دهد، مناطق مختلف شامل DAZ و ISZ قابل مشاهده است.



شکل (۳): تصویر SEM از اتصال ایجاد شده در 1175°C به مدت ۳۰ دقیقه

برای سوپر آلیاژ FSX-414 با استفاده از نوار تولیدی

منطقه متمایز منطقه انجماد هم دما^۲ (ISZ) و منطقه تحت نفوذ^۳ (DAZ) می باشد. با توجه به شکل (۲) مشخص است که در منطقه ISZ ساختار یوتکتیک وجود ندارد. این بدان معنی است که زمان اتصال برای تکمیل انجماد هم دما کافی بوده است. منطقه ISZ بوسیله نفوذ متقابل عناصر آلیاژی بین فلز پایه و لایه واسط در طول نگهداری در یک دمای ثابت ایجاد می شود که این نفوذ، نیروی محرکه انجماد هم دما می باشد. بر اثر نفوذ عناصر کاهنده نقطه ذوب، که در این تحقیق عنصر بور می باشد، از لایه واسط به فلز پایه و کاهش غلظت آن در لایه واسط، نقطه ذوب لایه واسط افزایش می یابد و بصورت هم دما منجمد می شود البته برخی فازهای سوزنی در منطقه DAZ در شکل (۲) قابل مشاهده هستند.



شکل (۲): ریزساختار اتصال TLP برای سیستم MBF-100 / FSX-414

ایجاد شده در دمای 1175°C به مدت ۳۰ دقیقه

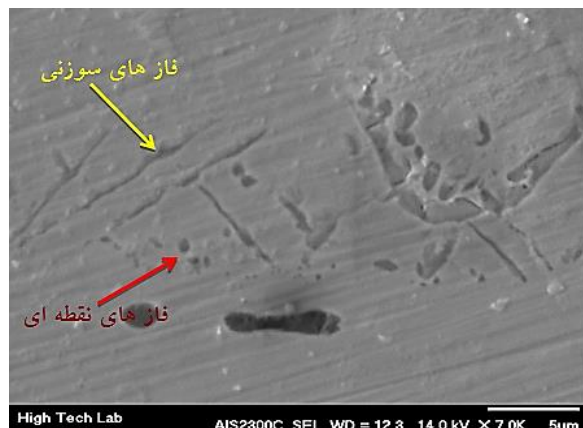
تشکیل فاز بین فلزی در منطقه DAZ ناشی از نفوذ عنصر بور از لایه واسط به منطقه تحت تاثیر نفوذ در منطقه اتصال است. CoB و BCO_2 دو نوع ترکیب بین فلزی از سیستم کبالت-بور هستند که نقطه ذوب آنها به ترتیب 1280°C و 1460°C سانتی گراد می باشد که بیشتر از درجه حرارت اتصال است. این ترکیبات بین فلزی شکننده بوده و می توانند رفتار مکانیکی اتصال را تحت تاثیر قرار دهند [۱۳]. به طور معمول می توان گفت که ترکیبات DAZ ایجاد شده عمدتاً CoB و BCO_2 می باشند. ترکیبات بین فلزی منطقه DAZ اغلب سوزنی شکل هستند و تنها در منطقه مجاور اتصال که

وجود این ترکیبات در مرز فلز پایه و منطقه تحت انجماد هم دما نشان دهنده نفوذ عنصر بور از لایه واسط به سمت آلیاژ پایه و نتیجتاً تشکیل ترکیبات بین فلزی براساس دیگرام فازی کبالت - بور می باشد. این ترکیبات ترد، اثر نامطلوبی بر خواص مکانیکی داشته که با عملیات همگن سازی قابل حذف می باشند.

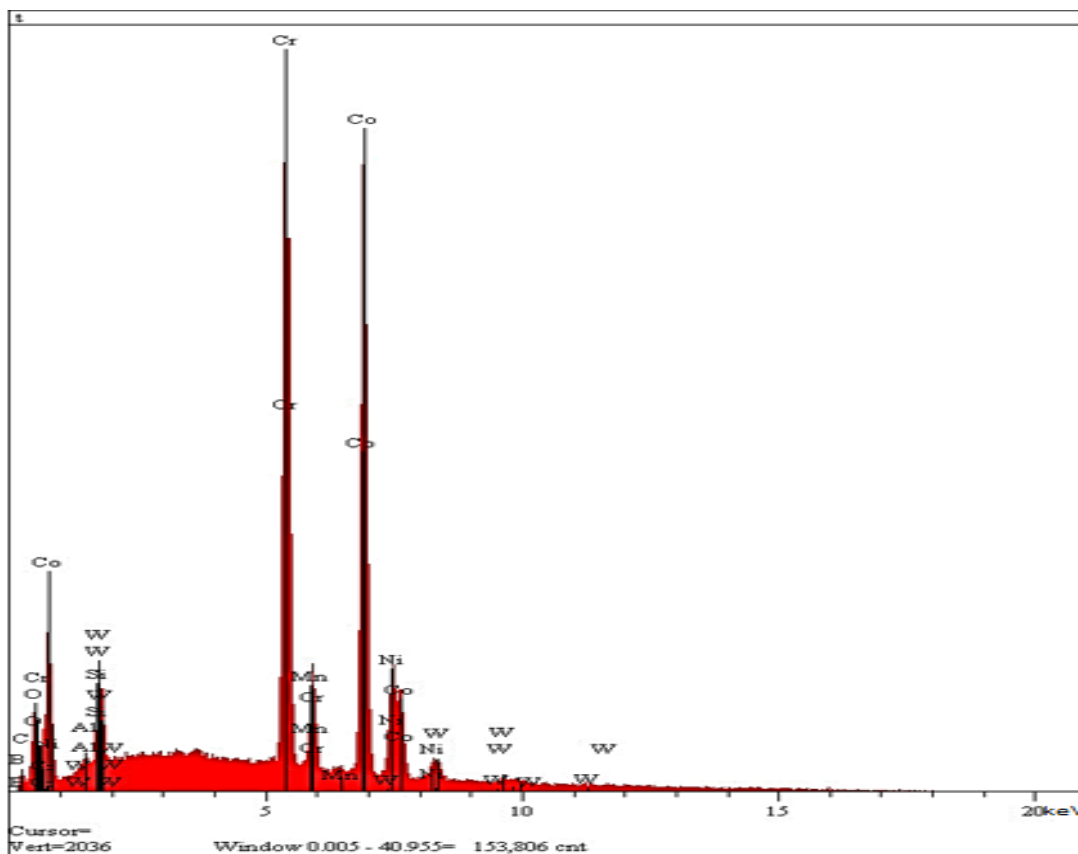
۳-۱-۳- آنالیز EDS

شکل (۵)، نتایج آنالیز EDS اتصال TLP انجام شده با نوار تولیدی را نشان می دهد. نفوذ عناصر آلیاژی فلز پایه مانند Mn، Cr، Co، N، Wi به لایه واسط و منطقه تحت انجماد هم دما در این شکل مشاهده می شود. جدول (۲) نیز درصد وزنی عناصر مختلف حاصل از آنالیز EDS را نشان می دهد. مطابق این جدول، ترکیبات موجود در منطقه اتصال غنی از کبالت و کرم می باشند. بدین ترتیب وجود محلول جامد غنی از کبالت به همراه عناصر آلیاژی از فلز پایه که به منطقه اتصال نفوذ کرده اند، تایید می گردد.

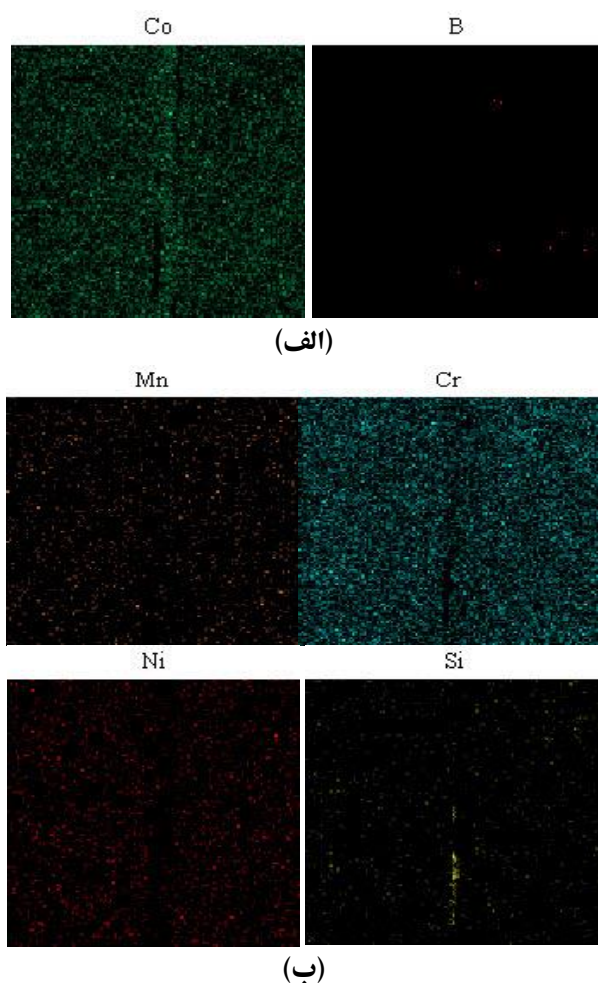
برخی قسمت های تصویر که با فلش مشخص شده احتمالاً خفراتی می باشد که در مرز ناحیه اتصال و فلز پایه بر اساس انجام اتصال TLP در اتمسفر کنترل نشده، تشکیل شده است. شکل (۴) ناحیه تحت تاثیر نفوذ حاوی ترکیبات با دو نوع مورفولوژی سوزنی شکل و نقطه ای را نشان می دهد.



شکل (۴): تصویر SEM از ناحیه DAZ مشخص شده در شکل (۳)



شکل (۵): نمودار آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با نوار تولیدی



شکل (۶): (الف و ب): نتایج آنالیز EDS / Map از منطقه اتصال TLP با نوار تولیدی

۳-۲- بررسی ریز ساختاری اتصالات TLP با استفاده از پودر تولیدی

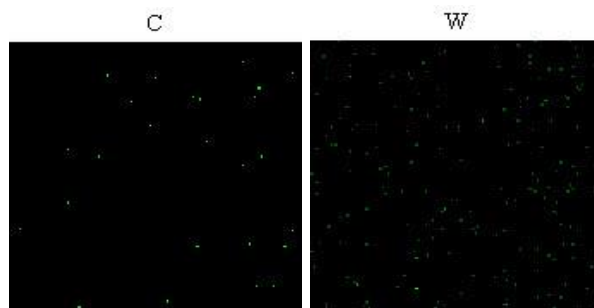
۳-۲-۱- بررسی ریز ساختاری با میکروسکوپ نوری
شکل (۷) و (۸) به ترتیب ریز ساختار اتصال TLP با استفاده از پودر MBF-100 برای سوپر آلیاژ FSX-414 با شیار U و V شکل را نشان می دهد که هدف نشان دادن منطقه اتصال بوده است. اتصال در دمای 1175°C به مدت ۳۰ دقیقه انجام شده است. استفاده از شیار بزرگ با هدف پر کردن اندازه اتصال بزرگ براساس کاربرد صنعتی بوده است. مطابق این شکل ها با توجه به حجم بالای پودر در محل شیار، امکان انجماد هم دما در مقیاس بالا فراهم نبوده و پس از ذوب پودر، نفوذ در فاصله محدودی انجام شده و انجماد

جدول (۲): نتایج آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با نوار تولیدی

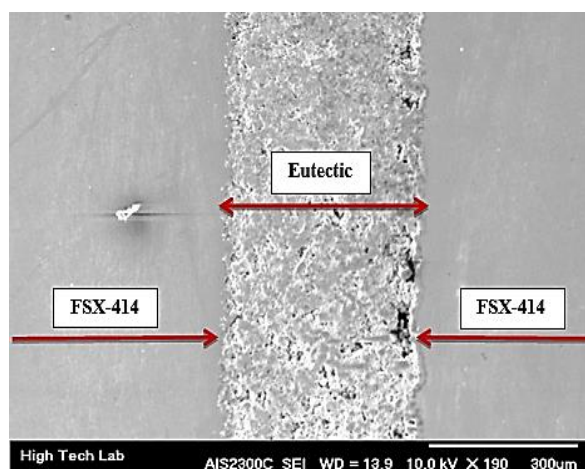
عناصر	درصد وزنی
C	۰/۷۵۵
Si	۰/۴۳
Cr	۲۷/۹۰۶
Mn	۰/۶۶۴
Co	۵۱/۶۷۹
Ni	۸/۷۵۷
W	۷/۹۷۰

۳-۱-۴- آنالیز نقشه ای EDS

تصاویر حاصل از آنالیز نقشه ای EDS^۴ میزان و توزیع عناصر موجود در نمونه ها را نشان می دهد. شکل (۶) الف و ب، آنالیز نقشه ای EDS منطقه اتصال TLP با استفاده از نوار تولیدی را نشان می دهد. از عناصر موجود در این شکل، مقدار بیشتر و توزیع یکنواخت تر در ناحیه اتصال برای عناصر Co، Cr، Mn، Ni، Si قابل مشاهده است. از طرفی توزیع یکنواخت و در صد بالای عنصر کبالت انجام انجماد هم دما را تایید می کند. از میان عناصر بور کمترین مقدار با توزیع غیر یکنواخت و تنها در نیمه ای از تصویر به صورت جزئی و خارج از ناحیه اتصال دیده می شود. که نشان دهنده نفوذ بور از لایه واسط به فلز پایه است. در بین عناصر کبالت و کروم با بیشترین مقدار و توزیع تقریباً یکنواخت هم در ناحیه اتصال و هم در محدوده فلز پایه به نحوی نفوذ این عناصر را تایید می کند. عناصری همچون منگنز، نیکل و سیلیسیم که جزء عناصر فلز پایه می باشند به مقدار خیلی جزئی در ناحیه اتصال دیده می شوند که نشان دهنده نفوذ آنها از فلز پایه به لایه واسط می باشد.

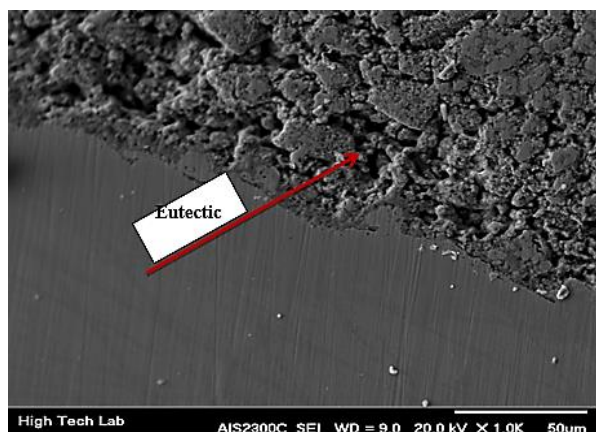


مشترک ناحیه اتصال و فلز پایه، پیوستگی لازم وجود داشته و نفوذ مناسب رخ داده است و شواهدی از وجود ترک و تخلخل نیز وجود ندارد. شکل (۱۱) نیز تصویر SEM اتصال TLP برای نمونه حاوی شیار V شکل را نشان می دهد. در این حالت عرض اتصال از راس V به سمت بالا افزایش می یابد و احتمال انجام اتصال کامل کاهش خواهد یافت. همان طور که در این شکل مشخص است، در قسمتهایی فصل مشترک بین منطقه اتصال و فلز پایه به درستی تشکیل نشده و تخلخل هایی به وضوح در این فصل مشترک قابل مشاهده است.



شکل (۹): تصویر SEM از اتصال TLP برای سوپر آلیاژ FSX-414 با شیار

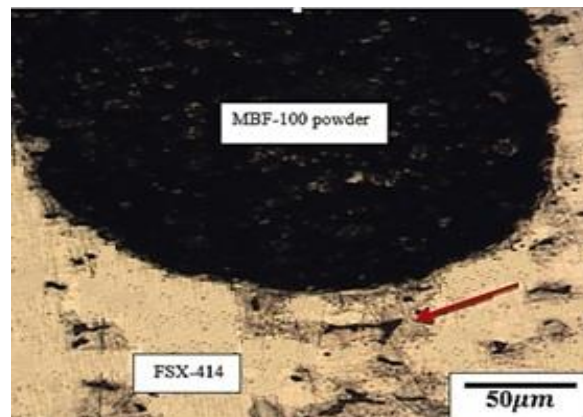
شکل U



شکل (۱۰): تصویر SEM از نمونه با شیار U شکل با بزرگنمایی بیشتر

این موضوع می تواند ناشی از اکسیداسیون پودر و وجود برخی عناصر نا خواسته مثل زیرکونیم در ترکیب پودر باشد، که باعث

هم دم می تواند تا فاصله مشخصی از مرز منطقه اتصال رخ دهد. بر این اساس امکان پیوستگی اتصال در فصل مشترک وجود خواهد داشت و احتمال این موضوع برای شیار V شکل بالاتر است. بدین علت که عرض این شیار در راس آن کمتر بوده و انجماد هم دم می تواند در کل این عرض رخ دهد.



شکل (۷): ریزساختار اتصال (TLP) آلیاژ FSX-414 با شیار U شکل با پودر MBF-100 ساخته شده در دمای ۱۱۷۵ °C به مدت ۳۰ دقیقه



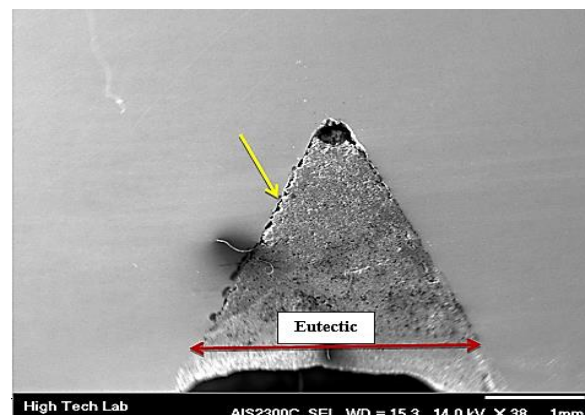
شکل (۸): ریزساختار اتصال (TLP) آلیاژ FSX-414 با شیار V شکل با پودر MBF-100 ساخته شده در دمای ۱۱۷۵ °C به مدت ۳۰ دقیقه

۳-۲-۲- بررسی ریز ساختاری با SEM

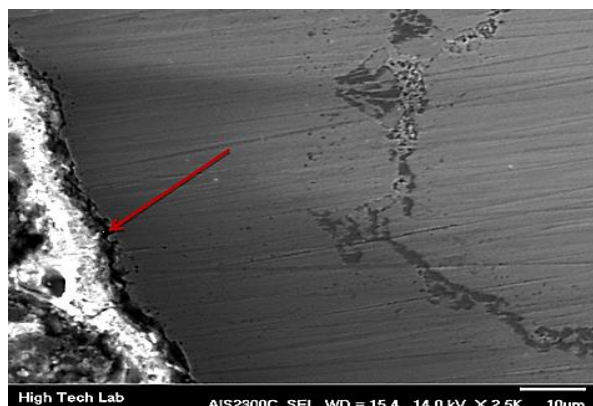
شکل (۹) و (۱۰) تصویر SEM از اتصال TLP برای نمونه حاوی شیار U شکل را نشان می دهد. ریزساختار شامل ترکیبات یوتکتیک در ناحیه پودر می باشد. و مشخص است در فصل

افزایش دمای ذوب پودر شده و ذوب کامل پودر در جهت انجام مکانیزم فرآیند TLP در دمای مورد انتظار، رخ نداده است.

اتصال نیز ممکن است منجر به ذوب کامل پودر نگردد که علت آن، وجود عناصری چون زیرکونیم در مخلوط پودر است. لذا می بایست دمای اتصال بالاتر انتخاب گردد.



شکل (۱۱): تصویر SEM از اتصال TLP برای سوپر آلیاژ FSX-414 حاوی پودر با شیار V شکل

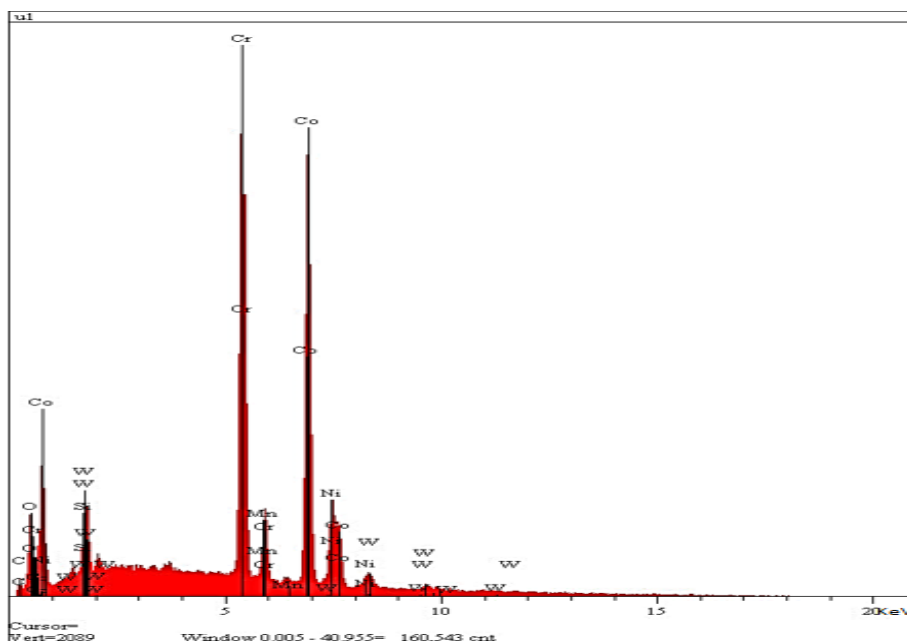


شکل (۱۲): تصویر SEM از فصل مشترک اتصال ایجاد شده برای نمونه حاوی شیار V شکل

البته شکل (۱۲) مناطقی از فصل مشترک را نشان می دهد که اتصال تشکیل شده است. وجود مناطق یوتکتیک در تصاویر SEM در هر دو نمونه با شیار U و V شکل نشان دهنده کافی نبودن زمان انجماد هم دما در این نمونه ها می باشد. برای حذف مناطق یوتکتیک باید مدت زمان بیشتری نمونه ها در کوره تحت عملیات حرارتی قرار بگیرند و همچنین با انجام عملیات حرارتی تحت خلاء از اکسید شدن پودر جلوگیری به عمل آید. از طرفی دمای

۳-۲-۳- آنالیز EDS

شکل (۱۳) نمودار آنالیز EDS اتصال TLP با پودر تولیدی را برای نمونه حاوی شیار U شکل نشان می دهد. پیک مربوط به عناصر آلیاژی فلز پایه مانند Mn، W، Ni، Co، Cr، N در این شکل مشاهده می شود.



شکل (۱۳): نمودار آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با پودر (حاوی شیار U شکل)

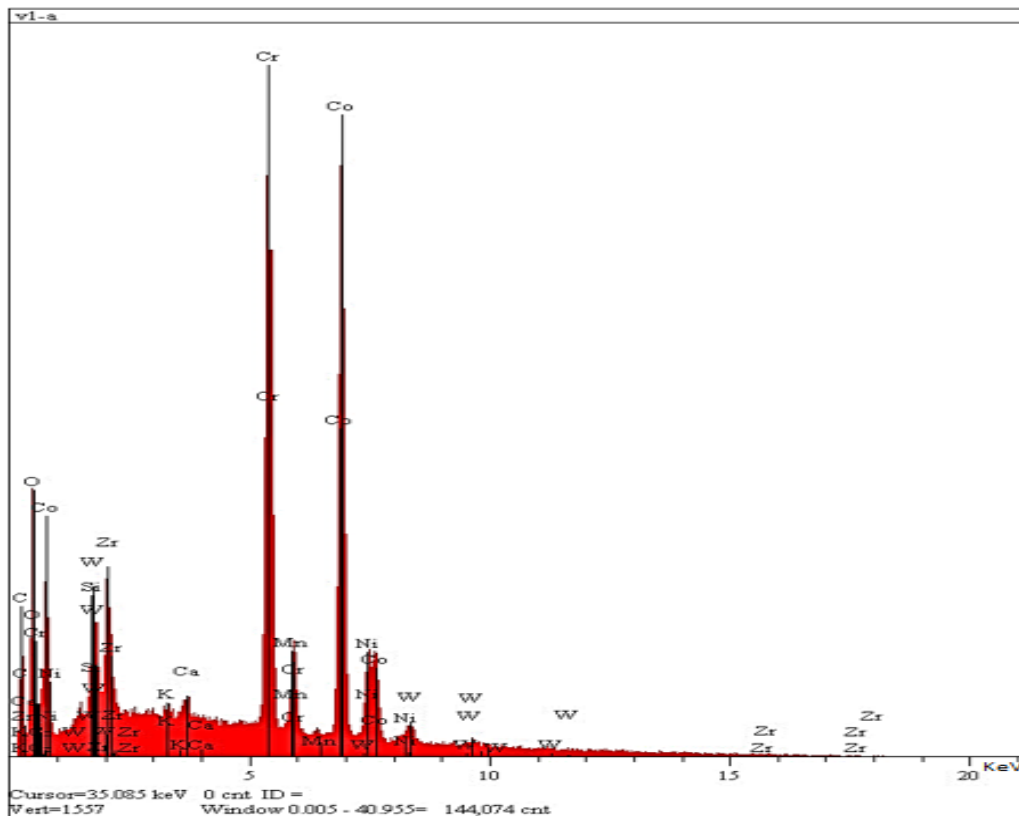
مطابق این جدول، منطقه اتصال غنی از کبالت بوده و درصد بالای عناصر کروم و نیکل نیز می تواند نفوذ عناصر آلیاژی فلز پایه به منطقه اتصال را تایید کند. در نتیجه می توان گفت که عمدتاً ترکیبات یوتکتیک بصورت بوراید های غنی از کبالت، نیکل یا کروم در این منطقه تشکیل شده اند. در صد قابل توجه اکسیژن نیز می تواند احتمال اکسید شدن پودر تولیدی به علت سطح زیاد، نشان دهد.

شکل (۱۴) نمودار آنالیز EDS اتصال TLP با پودر تولیدی را برای نمونه حاوی شیار V شکل نشان می دهد. پیک مربوط به عناصر آلیاژی فلز پایه مانند Mn، Ni، W، Cr، Co و Zr در این شکل مشاهده می شود.

جدول (۳) نیز درصد وزنی عناصر مختلف حاصل از آنالیز EDS را نشان می دهد.

جدول (۳): نتایج آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با پودر تولیدی برای نمونه حاوی شیار U شکل

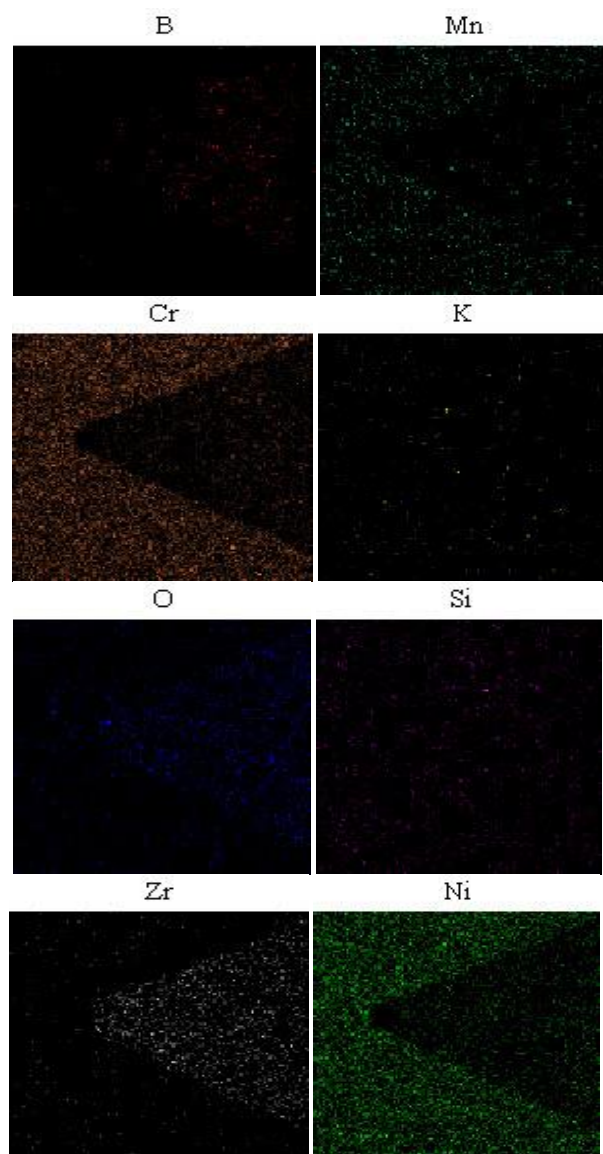
عناصر	درصد وزنی
C	۰/۶۷۴
Si	۰/۳۰۷
Cr	۲۸/۳۸۶
Mn	۰/۶۵۴
Co	۵۰/۳۳۷
Ni	۹/۲۳۴
W	۸/۲۱۴
O	۲/۱۹۵



شکل (۱۴): نمودار آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با پودر (حاوی شیار V شکل)

بوده و درصد بالای عناصر کروم و نیکل نیز می تواند نفوذ عناصر آلیاژی فلز پایه به منطقه اتصال را تایید کند. در نتیجه می توان

جدول (۴) نیز درصد وزنی عناصر مختلف حاصل از آنالیز EDS را نشان می دهد. مطابق این جدول، منطقه اتصال غنی از کبالت



شکل (۱۵): نتایج آنالیز EDS / Map از منطقه اتصال TLP با پودر تولیدی حاوی شیار V شکل

وجود عناصر ناخواسته همچون زیرکونیم و اکسیژن نیز بصورت تجمع زیاد در ناحیه شیار قابل مشاهده است که وجود این عناصر ناخواسته می تواند عاملی برای جلوگیری از انجام اتصال در نمونه با شیار V شکل باشد، که ناشی از استفاده از دستگاه آسیاب گلوله ای با کاپ زیر کونیایی می باشد.

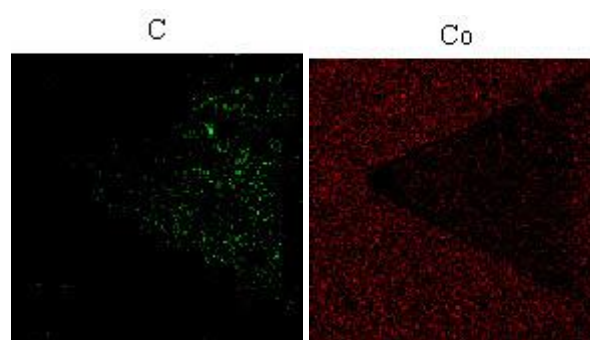
گفت که عمدتاً ترکیبات یوتکتیک بصورت بوراید های غنی از کبالت، نیکل یا کروم در این منطقه تشکیل شده اند. بدلیل استفاده از دستگاه آسیاب گلوله ای با کاپ زیر کونیایی حین فرایند ساخت پودر احتمال ورود درصد بالای زیرکونیم در ترکیب پودر به صورت ناخواسته وجود دارد.

جدول (۴): نتایج آنالیز EDS از منطقه اتصال TLP با پودر تولیدی برای نمونه حاوی شیار V شکل

عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی
C	۶/۳۹۱	Co	۴۵/۱۵۱
Si	۰/۶۰۸	Ni	۵/۵۴۵
Cr	۲۳/۹۴۶	W	۶/۶۲۷
Mn	۰/۶۶۴	O	۶/۶۲۹
Zr	۳/۶۲۶	K	۰/۳۱۱

۳-۲-۴- آنالیز نقشه ای EDS

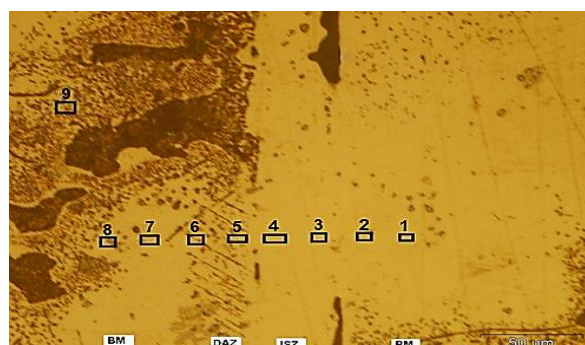
شکل (۱۵) تصاویر آنالیز نقشه ای EDS از نمونه اتصال TLP با پودر MBF-100 در شیار V شکل برای عناصر کبالت - کروم - منگنز - بور - پتاسیم - کربن - سیلیسیم - اکسیژن - نیکل - زیرکونیم و تنگستن را نشان می دهد. در میان این عناصر بور و کربن تنها در ناحیه شیار V شکل متمرکز بوده و در سطح فلز پایه دیده نمی شود که نشان دهنده عدم نفوذ پودر موجود در شیار به فلز پایه می باشد. از طرفی کبالت، منگنز، نیکل، تنگستن، کروم نیز بیشتر در ناحیه خارج از شیار V شکل تجمع داشته و تنها به مقدار جزئی در ناحیه شیار قابل مشاهده است.



می دهد. تصاویر مربوط به عناصر کربن، بور و اکسیژن تمرکز بیشتر این سه عنصر را در ناحیه شیار U شکل و تا حدودی با میزان کمتر در فلز پایه را نشان می دهد که نشان دهنده نفوذ این سه عنصر به فلز پایه می باشد. تمرکز و توزیع بقیه عناصر بیشتر در ناحیه خارج از شیار U شکل طبق تصاویر قابل مشاهده است.

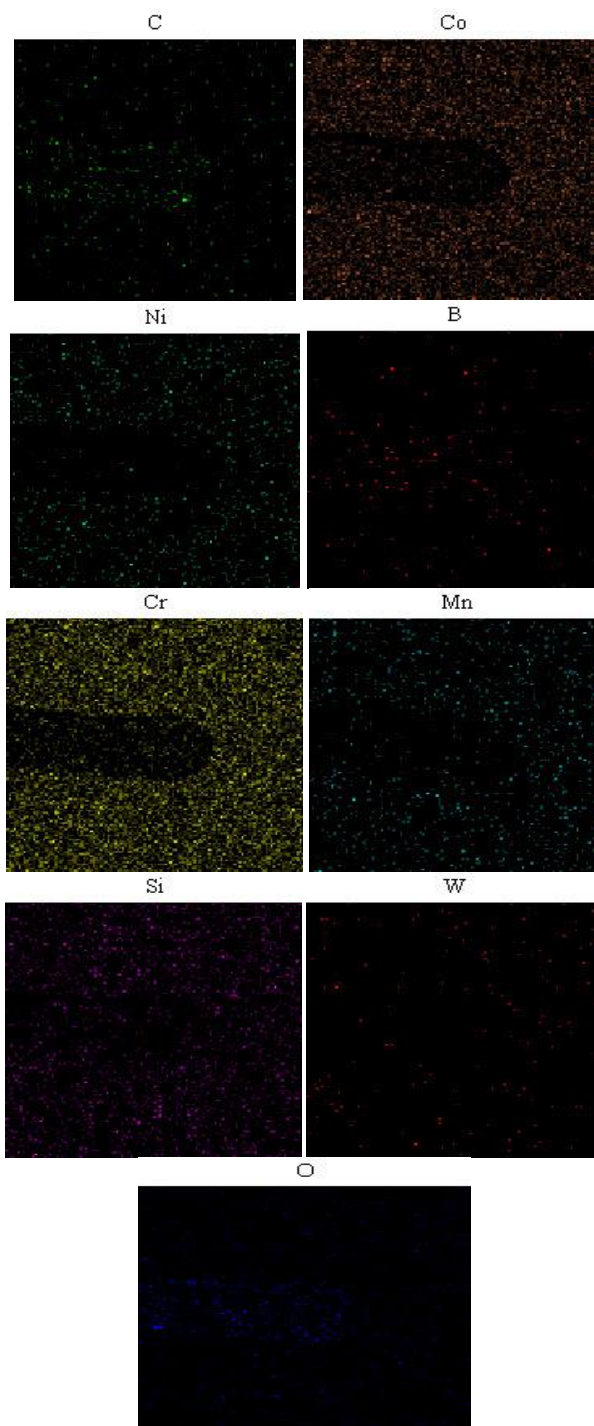
۳-۳- بررسی پروفیل سختی

پروفیل سختی در عرض منطقه اتصال اندازه گیری کمی از تغییر خواص مکانیکی می باشد. این پروفیل می تواند برای ارزیابی درجه همگن سازی و همچنین به نوعی اثر رسوبات ثانویه بر خواص مکانیکی استفاده شود. شکل (۱۷) و (۱۸)، به ترتیب نقاط سختی سنجی شده و پروفیل سختی منطقه اتصال انجام شده با استفاده از نوار تولیدی را نشان می دهند. این پروفیل نشان می دهد که اتصال به طور کامل انجام شده و مناطق مختلف ریز ساختاری براساس کامل نبودن همگن سازی اتصال، قابل تشخیص می باشد. این پروفیل ها سه منطقه مجزا با نامهای فلز پایه BM^۵، ISZ و DAZ را نشان می دهند. نفوذ متقابل عناصر آلیاژی بین منطقه اتصال و فلز پایه، سختی منطقه ISZ را تعیین می کند. نیروی محرکه انجماد هم دما گرادیان ترکیب شیمیایی است که بوسیله نفوذ در حالت جامد کنترل می شود. از آنجایی که در فرایند TLP انجماد به صورت هم دما اتفاق می افتد واز تشکیل فازهای مضر و شکننده که در انجمادهای غیر هم دما تشکیل می شوند جلوگیری می شود، منطقه انجماد هم دما سختی پایین تری نسبت به منطقه DAZ دارد.



شکل (۱۷): تصویر متالوگرافی منطقه اتصال TLP سوپر آلیاژ FSX-414

نشان دهنده نقاط مشخص شده جهت آزمایش ریز سختی سنجی



شکل (۱۶): نتایج آنالیز EDS / Map از منطقه اتصال TLP با پودر تولیدی حاوی شیار U شکل

شکل (۱۶) تصاویر آنالیز نقشه ای EDS از نمونه اتصال TLP با پودر MBF-100 در شیار U شکل برای عناصر کبالت - کربن - بور - نیکل - منگنز - کروم - تنگستن - سیلیسیم و اکسیژن را نشان

انجام گردید. نتایج مطالعات ریز ساختاری و آزمایش ریز سختی سنجی نشان داد که:

۱- تصاویر ناحیه اتصال، قابلیت ترکندگی مناسب نوار تولیدی در اتصال TLP سوپر آلیاژ FSX-414 را نشان داد.

۲- منطقه اتصال شامل دو منطقه مجزای انجام هم دما (ISZ) و تحت تاثیر نفوذ (DAZ) مشاهده شد که ساختار عاری از ترکیبات یوتکتیک در ISZ و ترکیبات سوزنی شکل و نقطه ای در منطقه DAZ تشخیص داده شدند.

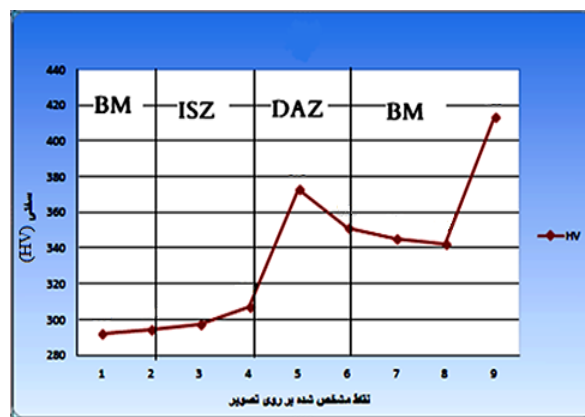
۳- سختی منطقه DAZ بعلت تشکیل و حضور ترکیبات بین فلزی بیشتر از ناحیه ISZ مشاهده گردید.

۴- تصاویر SEM از نمونه اتصال یافته با پودر، تشکیل مناطق یوتکتیک در منطقه اتصال وجود تخلخل در برخی مناطق از فصل مشترک منطقه اتصال و فلز پایه را نشان داد.

۵- با توجه به نتایج حاصل از آنالیز EDS از TLP با نوار نشان می دهد که مقدار عنصر کرم (۲۷/۹۰۶ درصد) نسبت به بقیه عناصر بیشترین مقدار در میان عناصر افزوده شده به آلیاژ پایه کبالت را دارد و نیز تاییدی بر تشکیل ترکیبات بورایدی غنی از کبالت و کرم ناشی از نفوذ می باشد.

۶- با توجه به تصاویر آنالیز نقشه ای EDS نشان داده شده از نمونه ها توزیع بیشتر و یکنواخت تر بخصوص در ناحیه اتصال با نوار MBF-100 که نشان دهنده انجام نفوذ بهتر و بیشتر و کامل نسبت به نمونه های اتصالی با پودر MBF-100 را نشان می دهد. همچنین با توجه به تصاویر حاصل از پودر MBF-100 وجود مقادیر زیاد عنصر ناخواسته زیرکونیم در پودر، می تواند باعث تغییر ترکیب شیمیایی پودر شده و بر دمای ذوب و میزان نفوذ پودر تاثیر گذاشته و اتصال بصورت خیلی جزئی و با کیفیت پایتتر نسبت به نوع نواری انجام گیرد.

۷- در حالت کلی، مقایسه شیار با نوار نشان می دهد که برای عرض اتصال بزرگتر در شیار، نفوذ با تاثیر کمتری رخ داده و برای عناصر فلز پایه در منطقه اتصال نمی توان توزیع یکنواخت و به میزان بالایی انتظار داشت.



شکل (۱۸): پروفیل سختی از ناحیه اتصال TLP سوپر آلیاژ FSX-414 براساس شکل (۱۷)

در شکل (۱۸) پیک منطقه ISZ بصورت یکنواخت تر بوده و نسبت به منطقه DAZ، سختی کمتری دارد. سختی تقریباً یکنواخت در منطقه ISZ نشان می دهد که فاز یوتکتیکی در این منطقه وجود ندارد و انجام هم دما بصورت کامل انجام شده است. ناحیه DAZ براساس نفوذ عنصر بور به منطقه مجاور اتصال و تشکیل ترکیبات، ایجاد شده است. پیش بینی می شود که زمان اتصال ۳۰ دقیقه در دمای $1175 \square$ بیشتر از زمان حداقل لازم برای کامل شدن انجام هم دما بوده و بدین ترتیب همگن سازی ممکن است رخ داده باشد. در طی عملیات همگن سازی، نفوذ عناصر آلیاژی فلز پایه به داخل منطقه اتصال باعث استحکام بخشی محلول جامد و همچنین افزایش سختی می شود. البته وجود پیک سختی منطقه DAZ و نزدیک بودن نسبی منطقه ISZ به سختی فلز پایه نشان می دهد که همگن سازی بصورت جزئی رخ داده و تاثیر چندانی بر همگن شدن پروفیل سختی در عرض اتصال نداشته است. پیک سختی در منطقه DAZ در شکل (۱۸) و میزان سختی بالای این منطقه احتمالاً ناشی از حضور و تشکیل ترکیبات بین فلزی پایدار مانند CoB و BCO_2 می تواند باشد که با مطالعات ریزساختاری سازگار است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، اتصال TLP برای سوپر آلیاژ پایه کبالت FSX-414، با استفاده از نوار و پودر برای هندسه های مختلف اتصال

۵- مراجع

- [1] D. Foster & C. T. Sims, "FSX-414 an alloy for gas turbines", Metal progress, pp. 83-85, 1969.
- [2] T. Sims, N. S. Stoloff & W. C. Hagel, Superalloy II John Wiley and Sons, 1987.
- [3] T. Sims, "A Contemporary view of Cobalt-base alloys", Journal of Metals, pp. 27-42, 1969.
- [4] R. Brooks, Heat treatment, structure and properties of nonferrous alloys, ASM, pp. 244-251, 1982.
- [5] R. Brunetaud, Conf. proc of high temperature alloys for gas turbines 1982, D. Reidel pub Company, held in liege, -Belgium, Vol. 4-6, pp. 936-946, 1982.
- [6] S. Balsone, Buckets and nozzles, Greenville: Gene Electric Company, 2004.
- [7] D. Coutoursdis, A. Davin & M. Lamberigts, "Cobalt-base superalloys for applications in gas turbines Mater", Sci En, 1987.
- [8] P. W. Schilke, "Advanced gas turbine materials and coatings", New York: General Electric Company, 2004.
- [9] C. Soare, Gas Turbines: a handbook of air, land and sea, applications, Texas: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2008.
- [10] W. M. Miglietti, "Wide gap diffusion braze repairs of nozzle segments cast from FSX-414 Co-based superalloy", Proc. 3rd Int. Conf. on Brazing and Soldering. Texas: ASM International, 2004.
- [11] O. A. Ojo, N. L. Richards & M. C. Charturvedi, "Effect of gap size and process parameters on diffusion brazing of Inconel 738", Sci Technol Weld Joining, Vol. 9, pp. 209-20, 2004.
- [12] W. F. Gale & D. A. Butts, "Transient liquid phase bonding", Sci Technol Weld Joi, Vol. 9, pp. 283-300, 2004.
- [13] R. Bakhtiari & A. Ekrami, "Transient liquid phase bonding of FSX-414 super alloy at the standard heat treatment condition", Journal of Materials Characterization, Vol. 66, pp. 38-45, 2012.

۶- پی نوشت

- [1] Murakami
- [2] Isothermally Solidified Zone
- [3] Diffusion Affected Zone
- [4] EDS Map Analysis
- [5] Base Metal

Fabrication and characterization of ribbon and powder of amorphous alloy MBF-100 used in super alloy FSX- 414 TLP bonding

Mohammad Rajabi¹, Reza Bakhtiari^{2*}

1- Phd. Student, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding author: r.bakhtiari@razi.ac.ir

Abstract

In this research, the process of TLP joint for super alloy FSX-414 by using the interface layer of MBF-100 as ribbon or powder have been studied. For this purpose, two samples of cobalt base alloy super clubs FSX-414 with dimensions of 10× 10 × 5 mm for connecting sample with MBF ribbon & the other with the same dimensions with U&V shape track for connecting with powder have been done. In the following, both samples were subjected to a heat treatment cycle at temperature of 1175 degree of centigrade for 30 minutes' microstructure of TLP connection area was investigated by using light microscope, scanning electronical microscope & EDS analysis, EDS map analysis & micro hardness. In microscopic pictures related to TLP bonding with ribbon & sample of powder of fuzzy areas, including the area under fuzzing & influenced area were specified completely. The result of EDS analysis & EDS map analysis & micro hardness of penetration capability & better connecting of ribbon rather than powder has been validated.

Keywords:

Super alloy FSX-414, MBF-100 ribbon or powder, Transient liquid phase (TLP) bonding.

Journal homepage: ma.iaumajlesi.ac.ir

Please cite this article using:

Mohammad Rajabi, Reza Bakhtiari, Fabrication and characterization of ribbon and powder of amorphous alloy MBF-100 used in super alloy FSX- 414 TLP bonding, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(1), 59-72.