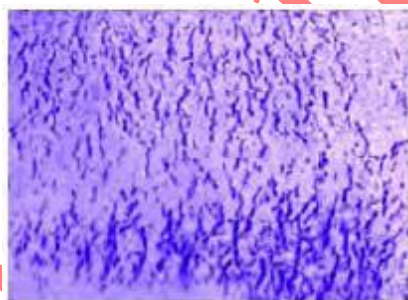


بررسی پارامترهای بریزینگ جهت بازسازی سطوح تخریب شده آلیاژهای دما بالا :

در توربین های گازی، دمای کاری قطعات بالاست و گاز داغ ورودی به توربین نیز حاوی عناصر خورنده میباشد در نتیجه در سطوح قطعات تخریب شده انواع ترک ها و ترکیبات خوردگی و اکسیدی ایجاد میشود. همچنین ضخامت قطعه تحت تاثیر تخریب های سطحی کاهش پیدا می کند. جهت تعمیر خسارت های سطحی خصوصاً ترک ها و جهت ضخامت دهی سطح از فرایند بریزینگ دمای بالا استفاده میشود. این فرایند تحت تاثیر ماده پرکننده، ماده زمینه، وضعیت سطح، اندازه گپ و سیکل بریز می باشد و شاخصهایی شامل استحکام اتصال، داکتیلیته، مقاومت خوردگی، استحکام خزشی، قابلیت جریان باید تامین شود. در این تحقیق پارامترهای موثر بر بریزینگ شامل پرکننده های بریز، سیکل عملیات حرارتی، آماده سازی سطح، کاربری پرکنندهها مورد بررسی قرار میگردد.

۱-مقدمه

خسارت های رایجی که بر روی قطعات داغ توربین گازی بوجود می آید شامل ترکهای مجتمع (شکل ۱ ترکهای مجتمع بر روی سطح نازل را نشان می دهد)، ترک خستگی مکانیکی، سائیدگی، اکسیداسیون می باشند.



شکل ۱- ترکهای مجتمع (crazy crack) نوعی از خسارت موجود بر روی سطح پره ثابت توربین گازی

یکی از روش های ساده و کم هزینه جهت تعمیر، استفاده از فرایند بریزینگ می باشد در این فرایند برخلاف فرایند جوشکاری بدون آنکه ماده زمینه ذوب شود ماده پرکننده ذوب می شود. در این فرایند ماده پرکننده غیر آهنی حاوی بور و سیلیسیم در درجه حرارت بالای 950°C و زیر نقطه ذوب قطعه مورد اتصال ذوب می شود در زمان حرارت دهی نقطه ذوب منطقه اتصال افزایش می یابد و انجماد ایزوترم در نقطه اتصال ایجاد می شود، اعوجاج و انقباض کنترل شده و یا از بین می رود. از این فرایند جهت اتصال قطعات و برای افزودن ماده جهت پوشش قطعات خسارت دیده شده استفاده می شود. پرکننده های بریز را می توان برای گروه گسترده ای از آلیاژهای ماده پایه بکار برد و خواص مورد نیاز شامل مقاوم اکسیداسیونی، قابلیت اندازه گپ های مختلف و ... را فراهم کرد. مواد پرکننده در شکل های مختلف شامل پودر، فویل، نوار وجود دارد این فرایند در کوره های هیدروژنی، خلأ و گازهای خنثی و حرارت لازم برای ایجاد ذوب از روش القایی، قوس الکتریک، ماورا، بنفش، شعله، یا واکنش شیمیایی تامین می شود. در اعمال این فرایند باید به این مساله

توجه کرد که سطوح بریز تمیز و عاری از هر نوع آلودگی و ترکیبات اکسیدی باشد لذا قبل از اعمال بریز لازم است از روش های مناسب تمیزکاری استفاده شود.

۲- پارامترهای موثر بر روی بریزینگ

محدوده ذوب، استحکام کششی و خزشی، قابلیت تر شدن، مقاومت خوردگی، داکتیلیته از شاخص های بریز می باشند. استحکام کششی و خزشی بستگی به وضعیت بریز و واکنش با ماده پایه دارد. قابلیت تر شدن بریز بستگی به ترکیب ماده پایه، تمیزکاری سطح، درجه حرارت کوره، واکنش بین بریز و ماده پایه، نقطه شبنم کوره، زاویه خیس پذیری (بین ۱۰ تا ۳۰) دارد.

۱-۲- پرکننده های بریز

پرکننده های پایه نیکل و پایه کبالت بدلیل خواص مناسب (خواص مکانیکی خوب در درجه حرارت بالا و مقاومت خوردگی (Co/Cr, Ni/Cr) برای اتصال مواد در درجه حرارت بالا بکار گرفته شدند.

پرکننده ها حاوی عناصر بور و سیلیسیم می باشند که قابلیت نفوذ بالایی دارند و نقطه ذوب پرکننده ها را کاهش می دهند. این عناصر به داخل ماده پایه نفوذ کرده و در صورت حضور این عناصر بصورت ترکیبات بین فلزی، خواص مکانیکی اتصال را کاهش می یابد. افزودن یهای دیگر مانند تنگستن، منگنز، آهن خواص پرکننده ها چون خوردگی، خواص مکانیکی و قابلیت ماشینکاری را اصلاح می کنند. پرکننده های پایه طلا در مقایسه با پرکننده پایه نیکل، سختی کمتر و داکتیلیته بهتر و تمایل به تخریب بین دانه ای کمتری در اتصالات بریز دارد. همچنین پهنای درز و عملیات حرارتی کمتری دارد. پرکننده های ۸۲Au , ۶Cr , ۷۲Au , ۱۸Ni و ۲۲Ni از پرکننده های رایج پایه طلا هستند و به دلیل استحکام بالا، مقاومت

خوردگی عالی و مقاومت اکسیداسیونی، درجه حرارت ذوب و قابلیت تر شدن بی نظیر و سیال بودن مورد استفاده قرار می گیرند. تحقیقات بر روی ۶Cr , ۲۲Ni , ۷۲Au نشان می دهد که این آلیاژ مقاومت اکسیداسیون در بالای ۸۱۵C دارد و هیچ تخریب بین دانه ای روی اینکونل در ۸۷۰C مشاهده نشده است. نتایج محققان نشان میدهد افزودن مقدار کمی از پالادیوم به پرکننده مس و نقره سیالیت پرکننده را بیشتر می گرداند. این آلیاژها خواص مکانیکی بسیار خوبی دارند مزیت دیگر این پرکننده کوتاه بودن محدوده انجماد است همچنین این پرکننده قادر است فاصله موئینگی را تا ۰.۵mm پر کند. این نوع پرکننده برای بریزینگ موادی که حاوی Ti , Al مفید می باشد. جدول ۱ مشخصات نمونه هایی از پرکننده های بریز مورد استفاده در دمای بالا بر اساس استاندارد AWS نشان میدهد.

۲-۲- آماده سازی سطح

شاخص مهم در عملکرد مناسب بریز قابلیت تر شدن سطح می باشد هرچقدر سطح ماده پایه بوسیله ماده پرکننده بریز بهتر تر شود و زاویه ترشوندگی به صفر نزدیکتر شود عملکرد بریز و خواص اتصال بهتر خواهد شد. جهت افزایش قابلیت خیس پذیری قبل از اعمال بریز عملیات آماده سازی سطوح شامل تمیزکاری و

اکسید زدایی انجام می گیرد برای اینکار روغن، گریس و گرد و غبار با فرایندهای چربی زدایی با آب و محلول خارج می گردند روشهای مختلفی جهت اکسیدزدایی وجود دارد روش رایج استفاده از فرایند ماسه پاشی است در ماسه پاشی نباید از ماسه های اکسیدی و غیرفلزی استفاده کرد اگر از ماسه های غیر فلزی مانند اکسید آلومینیوم استفاده شود در سطوحی که این ذرات باقی می مانند بریز صورت نمی گیرد . بهترین روش استفاده از ماسه های نیکلی است. در صورتیکه ذرات نیکل در سطح باقی بماند بدلیل اینکه فلز پرکننده ذرات نیکل پاشی شده را حل خواهد کرد عملکرد بریز و و خواص بریز مختل نخواهد شد . تمیزکاری و اکسیدزدایی سطوح داخلی و ترکهای عمیق بسیار مشکل است عملیات نیکل پاشی نمی تواند اکسیدها را بطور کامل از بین ببرد و نیاز به روشهای پیشرفته تمیزکاری مانند تمیزکاری یون فلوراید می باشد در این روش اکسیدهای فلزی احیاء می شوند. آلیاژهایی که حاوی آلومینیوم و تیتانیوم هستند اکسید زدایی اکسیدهای پایدار این عناصر خصوصاً در ترک های عمیق بسیار مشکل است.

۲-۳- اتمسفر فرایند بریزینگ

در موفقیت اعمال بریز کنترل محیط کوره بسیار مهم است. عناصر موجود در آلیاژ پایه در دماهای بالا بر روی سطح نفوذ کرده و با اتمسفر محیط واکنش اکسیداسیونی می دهد اگر فیلم های اکسیدی بر روی سطوح فلز پایه قبل از اعمال بریز تشکیل شود فلز مذاب بریز سطوح را تر نخواهد کرد و اتصال ضعیفی رانتیجه می دهد. اعمال محیط های خلا و هیدروژن مقادیر اکسیدهای سطحی را کاهش می دهد پایداری بعضی از اکسیدهای مضر بر روی سطوح از فاکتور قابلیت تر شدن فلزات پایه بوسیله آلیاژ بریز می کاهد برای مثال اکسید کروم در نقطه شبنم 80°F - در کوره با اتمسفر هیدروژن در درجه حرارت 1000°F فارنهایت پایدار است. با افزایش حرارت تعادل تغییر کرده و فشار جزئی اکسیژن کاهش یافته و اکسیدها کاهش می یابند. در کوره های خلا هر چقدر خلا افزایش یا بد و در کوره هایی با اتمسفر هیدروژن و گاز خنثی هر چقدر محیط خشک تر باشد کیفیت بریز افزایش می یابد . برای کوره های خلا فشار ۱۰-۵ mbar و برای کوره های هیدروژنی نقطه شبنم 40°C - پیشنهاد می گردد . پایین آوردن نقطه شبنم هیدروژن در بریز بوسیله هیدروژن و کاهش فشار در بریز خلا برای احیاء اکسیدهای آلومینیوم و تیتانیوم بطور کامل عملی نیست . اعمال لایه نیکل بر روی سطح با استفاده از فرایند آبکاری نیکل مانع از اکسیداسیون عناصر فلزی Al و Ti می گردد و قابلیت تر شدن سطح افزایش می یابد .

۲-۴- کاربری پرکننده ها

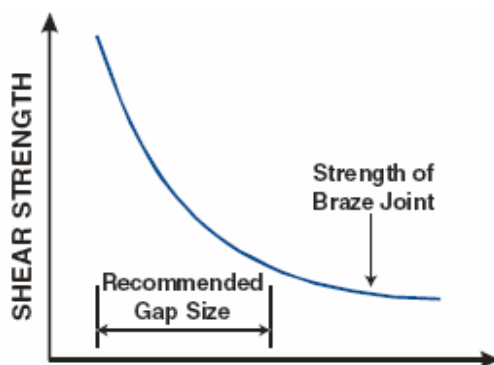
پرکننده های بریز از نوع فلزات خالص یا آلیاژی می باشند. در پرکننده های آلیاژی محدوده انجماد وجود دارد . محدوده انجماد قابلیت آلیاژ را در جریان میان اتصالات موئینگی تحت تأثیر قرار می دهد . بالا بودن اختلاف درجه حرارت محدوده انجماد قابلیت پر شدن درزهای پهن اتصال را افزایش می دهد و جریان بیشتری از آلیاژ فواصل اتصال را پر می کند . در اتصال فاصله گپ بین دو ماده اتصال کمتر از ۵۰ میکرون

می باشد برای این منظور ماده پرکننده باید قابلیت موئینگی را داشته باشد تا بتواند فاصله اتصال را پر نماید و اتصال را ایجاد نماید برای این وضعیت تر کیب آلیاژ یوتکتیک و ویسکوزیته پایین می باشد . برای گپ وسیع ترکهایی که در سطح در طی کار بوجود می آیند (ترکهای خستگی) و ترکهای پیرکردنی که در خلال تعمیر بوجود می آیند دارای گپ بالای ۲۰۰ میکرون می باشند. آلیاژهای پرکننده مورد استفاده برای این وضعیت دارای تر کیب غیر یوتکتیک می باشد لذا ویسکوز می باشد و عامل موئینگی پایین است برای مثال آلیاژهای پرکننده بریز با استاندارد AMS ۴۷۷۶ و AMS ۴۷۷۹ که جدول ۱ ترکیب شیمیایی آنها را نشان می دهد قادرند با ایجاد پل گپ های با اندازه بالای ۰.۰۱ in را پر نمایند

Designation/Specification			Brazing Temperature Range	
			°F	°C
AWS	AMS	Descriptive Composition (%)		
BNi-1	4775	Ni-14Cr-3.1B-4.5Si-4.5Fe-0.75C	1950-2200	1065-1205
BNi-1a	4776	Ni-14Cr-3.1B-4.5Si-4.5Fe-0.06C	1970-2200	1075-1205
BNi-2	4777	Ni-7Cr-3.1B-4.5Si-3Fe-0.06C	1850-2150	1010-1175
BNi-3	4778	Ni-3.1B-4.5Si-0.5Fe-0.06C	1850-2150	1010-1175
BNi-4	4779	Ni-1.9B-3.5Si-1.5Fe-0.06C	1850-2150	1010-1175
BNi-5	4782	Ni-19Cr-0.03B-10.1Si-0.10C	2100-2200	1150-1205
BAu-4	4787	Au-18Ni	1740-1840	950-1005
BAu-5	4785	Au-36Ni-34Pd	2130-2250	1165-1230
BCo-1	4783	Co-19Cr-17Ni-8Si-4W-1Fe-0.8B-0.40C	2100-2250	1150-1230

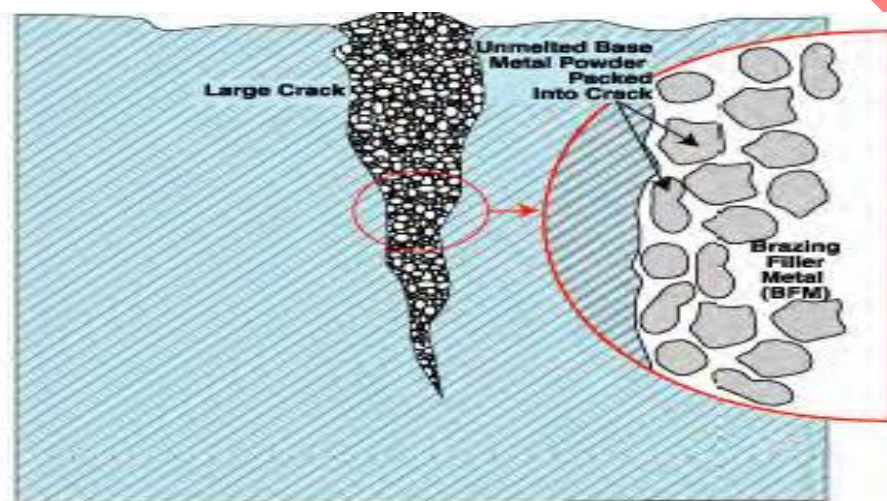
جدول ۱- چند نمونه از آلیاژهای پرکننده بریزینگ استاندارد برای آلیاژهای دمای بالا

با افزایش گپ یا فاصله شکاف استحکام اتصال کاهش می یابد شکل ۲ نشان می دهد برای فاصله شکاف محدودیت استحکام برشی داریم. لذا تعمیر ترکهایی با پهنای گپ بیشتر از ۰.۰۳ in با استفاده از این روش مشکل است و به ترکیبات مخصوص این ترکها (GFCs) نیاز می باشد. ماده پرکننده بریز (BFM) با آلیاژی که دارای ترکیب شیمیایی نزدیک ماده پایه (GFCs) می باشد ترکیب شده و داخل ترک را پر می نماید.



شکل ۲- نمودار استحکام برشی براساس اندازه پهنای شکاف (wide gap)

ماده پرکننده بریزحالی کاهش دهنده های ذوب شامل بور و سیلیسیم در دمای کوره ذوب شده و در محیط اطراف GFCs که نقطه ذوب بالاتری دارد جریان می یابد عنصر بور تحت دمای بالا به داخل GFCs و ماده پایه نفوذ می کند و واکنش هایی را با پودر سوپرآلیاژ و ماده پایه در فصل مشترک می دهند که شدت واکنش به زمان، درجه حرارت، ترکیب سوپرآلیاژ، ماده پایه و بریزبستگی دارد. نقطه ذوب در محل اتصال بریز در داخل ترک افزایش می یابد و باند اتصال ایجاد می شود شکل ۳ نحوه پرکردن و اتصال ماده بریز را در داخل ترک با گپ وسیع و شکل ۴ نحوه ضخامت دهی سطوح جهت بازیابی ضخامت طراحی شده را نشان میدهد.



شکل ۳) شماتیک فرایند بریزینگ پودرهای مخلوط در داخل ترک (ذرات GFCs پیرامون ذرات پرکننده بریز قرار گرفتند)

۲-۵- عملیات حرارتی

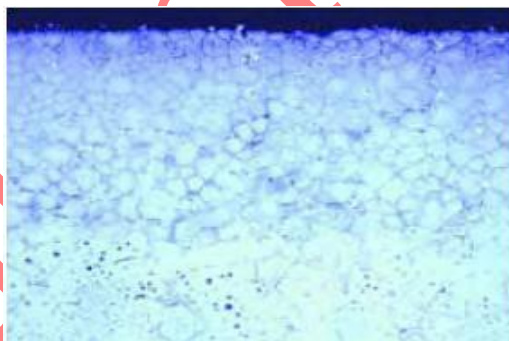
عملیات حرارتی نفوذی بریز اثراتی را بر روی ساختار و خواص آلیاژهایی دما بالا می گذارد. برای عملیات بریز در درجه حرارت زیر محدوده حل سازی آلیاژ، رسوبات کاربیدی و رسوبات فاز ثانویه می تواند رخ دهد و اگر بریز در درجه حرارت محدوده حل سازی آلیاژ انجام گردد مساله رشد دانه رخ می دهد. انتخاب درجه حرارت عملیات حرارتی نفوذی بریز (درجه حرارت بریز) اثرات ب ارزی را بر روی اندازه دانه نهایی قطعات می گذارد که بستگی به مقدار کرنش سرمایی در فلز پایه دارد. ناکافی بودن زمان عملیات حرارتی بریزینگ نیز سبب تشکیل فازهای یوتکتیک ترد شده و خواص مکانیکی قطعات کاهش می یابد. زمان و درجه حرارت بریز بستگی به ضخامت قطعه، مقدار آلیاژ، مقدار کندگی که می تواند تحمل کند و درجه حرارت ذوب مجدد دارد و اگر عملیات حرارتی افزودنی وجود داشته باشد سیکل حرارتی باید زیر درجه حرارت سولیدوس ماده بریز قرار گیرد. درجه حرارت بریز یک آلیاژ بالاتر از درجه حرارت لیکوئیدوس ماده پرکننده و پایین تر درجه حرارت سولیدوس ماده پایه در نظر گرفته می شود.

در مورد قطعات سوپرآلیاژی با آلیاژ سنگین مانند Rene N ۵ که حاوی مقادیری از عناصر دیرگداز است و نقطه ذوب بالایی دارد درجه حرارت لیکوئیدوس نسبتا بالاست. عناصر تانتالیوم، تیتانیوم، زیرکونیوم، آلومینیوم

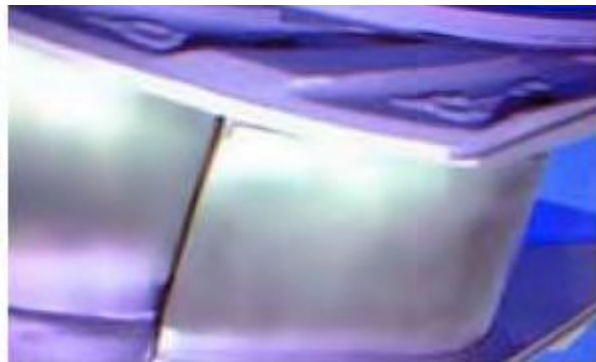
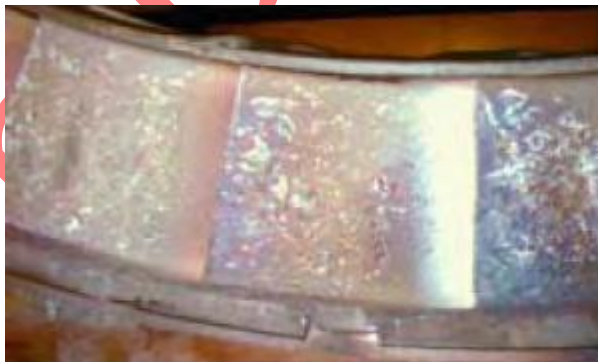
و کروم (یکی یا بیشتر عناصر استفاده شوند) در ترکیب بریز باید به اندازه ای باشد که درجه حرارت لیکوئیدوس بریز بیشتر از ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد نشود. مثلاً بین ۱۲۰۰ تا ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد. انواع دیگر آلیاژهای ماده پایه که مقادیر دیرگداز کمتری با مقادیر بالاتر عناصری مانند تیتانیوم دارند. مانند (Rene ۸۰ & GTD.۱۱۱) نقطه ذوب پایین تری از مواد نوع (N۵) دارند در این مثال مقدار تانتالیوم، تیتانیوم، آلومینیوم، زیرکونیوم و کروم وقتی در ترکیب بریز قرار می‌گیرند باید به اندازه ای باشد که درجه حرارت لیکوئیدوس ماده پرکننده بریز در حدود ۱۱۷۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد باشد.

۳- نتایج و پیشنهاد

در فرایند تعمیر جوش نیاز به تکنیکهای بالا و مهارت های بالا می باشد این فرایند ترک های اضافی بعد جوش و اغوجاج در قطعات را بوجود می آورد که بعضاً گرانیقیمت و زمان بر می باشد روش ساده و کم هزینه تر استفاده از مواد پرکننده بریز می باشد. با استفاده از کنترل صحیح پهنای اتصال موئینگی و عملیات حرارتی با سیکل حرارتی مناسب میتوان عناصر آلیاژی را به ماده پایه وارد کرده و ساختار ساندویچی را ایجاد کرد بگونه اینکه فازهای ترد و شکننده تولید نشود. در نتیجه خواص مکانیکی و اکسیداسیونی و مقاومت خوردگی اتصال افزایش مییابد. شکل ۵ ساختار مناسب منطقه نفوذ بریز را نشان میدهد این ساختار لانه زنبوری (honey comb) می باشد و شکل ۶ تعمیر سطوح تخریب شده نازل توربین گازی را نشان می دهد.



شکل ۵- ساختار لانه زنبوری (honey comb) در منطقه نفوذی سطح (ساختار بهینه بریز)



شکل ب- نازل بازسازی شده پس از تعمیر بریزینگ شکل الف- نازل تخریب شده قبل از تعمیر بریزینگ

شکل ۶- اعمال پروسه بریزینگ بر روی نازل توربین گازی جهت بازسازی سطوح تخریب شده

شاخص مهم در عملکرد مناسب بریز خیس پذیری سطح می باشد. اکسیدهای سطحی مانع از اتصال ماده پرکننده بریز با زمینه و در نتیجه کاهش خیس پذیری سطح می گردد. از بین بردن اکسیدهای پایدار آلومینیوم و تیتانیوم بسیار مشکل است و نیاز به روشهای تمیزکاری پیشرفته و کنترل اتمسفر کوره می باشد. اعمال پوشش لایه نیکل با ضخامت ۲۵ میکرون بر روی سطوح قبل از ورود به کوره مانع از اکسید شدن این عناصر در کوره عملیات حرارتی بریزینگ می گردد.

عموما درجه حرارت بریز یک آلیاژ تقریبا ۵۰ درجه فارینهایت (28°C) بالاتر از درجه حرارت لیکوئیدوس در نظر گرفته می شود. لذا بریز در درجه حرارتی کاملا مذاب شود که آلیاژ قطعه کار کاملا جامد باشد. برای مثال در مورد قطعات سوپرآلیاژی که اتصال می یابند، درجه حرارت بریز مناسب، زیر انجماد آلیاژ قطعه اما بالای لیکوئیدوس ترکیب بریز باشد (اندازه ماده پایه مثلا قطعه کاری که بریز می شود فاکتور مهمی است) برای هر آلیاژ پرکننده محدودیت پرکنندگی گپ وجود دارد، برای پر کردن گپ های وسیع دو روش وجود دارد، روش اول استفاده از آلیاژ پرکننده (BFM) با محدوده انجماد بالا که سیالیت آن پایین تر است و روش دوم استفاده از مخلوط آلیاژ بریز (BFM) با پودر پرکننده ای که ترکیب شیمیایی نزدیک ماده پایه (GFCs) را دارد می باشد.

اکثر آلیاژهای بریز جهت کاربردهای دما و تنش بالا حاوی بور و سیلیسیم می باشند که با مواد با ترکیب شیمیایی مشابه با ترکیب ماده پایه مخلوط می شود. بور و سیلیسیم نقطه ذوب را چندصد درجه کاهش می دهند وقتی ماده بریز مذاب می شود بور و سیلیسیم به داخل ماده پایه نفوذ می کنند و در نتیجه داکتیلیته و مقاومت خوردگی و اکسیداسیون ماده پایه کاهش می یابد. برای مقابله با این معضل و بهبود فرایند، بهتر آن است که پودر افزودنی از جنس ماده پایه انتخاب شود. و جهت جلوگیری از نفوذ آلودگی های بهتر است از سیکل بریز تحت خلاء بالا (۴-۱۰ toor) استفاده شود. در طراحی سیکل حرارتی نیز باید توجه کرد دمای ذوب بالای درجه حرارت آتش توربین باشد. جهت ایجاد خواص مناسب بریز شامل ضربه، استحکام کششی، قابلیت جوشکاری و میکروساختار آزمایشات و بررسی ها انجام گیرد. اختلاف سختی در منطقه نفوذ و ماده پایه بعد از عملیات حرارتی نهایی نباید وجود داشته باشد.

انجماد همدمما در اتصال TLP سوپر الیاژ پایه نیکل GTD-111 با استفاده از یک لایه واسط NI-SI-B

چکیده :

در این مقاله به بررسی تاثیر زمان اتصال دهی بر ریز ساختار و خواص مکانیکی اتصال TLP سوپر الیاژ پایه نیکل GTD-111 با استفاده از لایه واسط NI-SI-B پرداخته شده است.

مقدمه :

سوپر الیاژ پایه نیکل GTD-111 به طور گستردهای در قسمت های داغ توربین های گازی به کار میروند. دو روش معمول برای جوشکاری و تعمیر این سوپر الیاژها، جوشکاری ذوبی و لحیم کاری سخت است. مهمترین پارامتر در اتصالات تنش بالا، جلوگیری از تشکیل فازهای نامطلوب در مرکز اتصال میباشد. این سوپر الیاژها حساسیت بالایی به ترک خوردگی حین جوشکاری و عملیات حرارتی پس از جوشکاری دارند. علاوه دگرگونی های فازی غیر تعادلی و ریز جدایش ها به هنگام انجماد غیر تعادلی در جوشکاری ذوبی اغلب موجب تشکیل ترکیبات بین فلزی غنی از عناصر الیاژی مهم در استحکام بخشی می شود که به طور چشمگیری کارایی دمایی بالایی سوپر الیاژ را تحت تاثیر قرار میدهد.

امروزه فرایند TLP به عنوان یک روش جایگزین برای اتصال و تعمیر سوپر الیاژها مورد توجه قرار گرفته است. فرایند اتصال فاز مایع گذرا (TLP) ترکیبی از فرایند اتصال لحیم کاری سخت و اتصال نفوذی است. در اتصال به روش TLP از یک لایه واسط نازک به عنوان عامل اتصال استفاده می شود. انجماد همدمما یکی از مهمترین مشخصه های فرایند TLP است. در این فرایند انجماد در یک دمایی ثابت انجام میگردد.

روش تحقیق :

در این تحقیق از سوپر الیاژ پایه نیکل GTD-111 به عنوان فلز پایه و از یک فیلتر متال آمورف NI-SI-B با ضخامت ۲۵/۴ میکرون به عنوان لایه واسط استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلز پایه و لایه واسط در جدول ۱ آمده است.

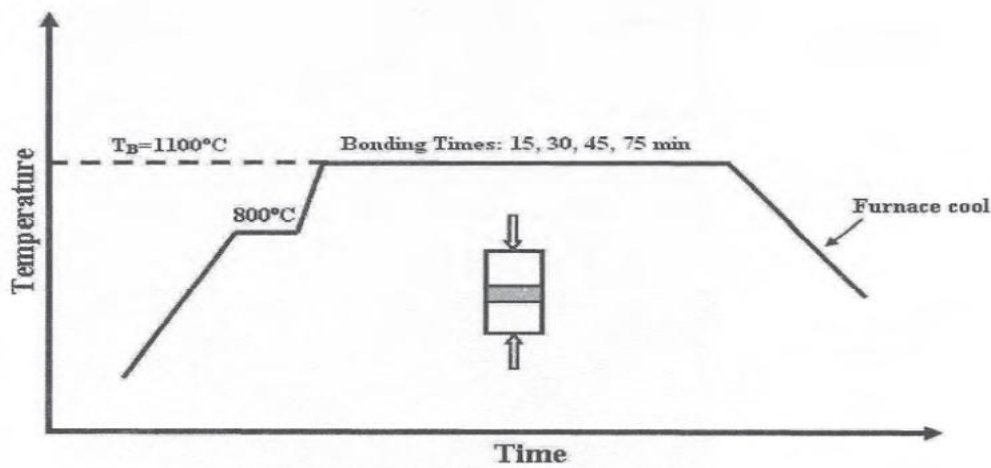
جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلز پایه و لایه واسط مورد استفاده در این پژوهش

	Ni	Cr	Co	Ti	Al	W	Mo	Ta	Fe	C	B	Si
GTD-111	باقی مانده	۱۳/۵	۹/۵	۴/۷۵	۳/۳	۳/۸	۱/۵۳	۲/۷	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۱	-
NBF30	باقی مانده	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۶	۳/۲	۴/۵

فرایند اتصال :

نمونه هایی با ابعاد ۱۰ mm × ۵mm × ۵mm تهیه و به منظور حذف لایه اکسیدی سطح نمونه ها با استفاده از سمباده ۶۰۰ صیقلکاری شده و سپس به منظور چربی گیری نمونه ها به وسیله حمام التراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه تمیز شدند. پس از قرار گرفتن لایه واسط بین دو قطعه، از یک فیکسچر برای نگهداری

قطعات در کنار هم استفاده شد. عملیات اتصال دهی در یک کوره خلا حدود 10^{-4} torr انجام شد. و اتصال دهی در دمای 1100°C صورت گرفت. سیکل حرارتی مورد استفاده در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- سیکل حرارتی مورد استفاده در این پژوهش

نتایج و بحث :

ریز ساختار اتصال :

تصویر SEM شکل ۱ اجزای ریز ساختاری اتصال ایجاد شده در دمای 1100°C را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود محل اتصال از ۳ منطقه ریز ساختاری مختلف تشکیل شده است که به صورت زیر نامگذاری شده اند:

۱- ناحیه منجمد شده به صورت غیر همدم (ASZ)

۲- ناحیه منجمد شده به صورت همدم (ISZ)

۳- ناحیه متأثر از نفوذ (DAZ)

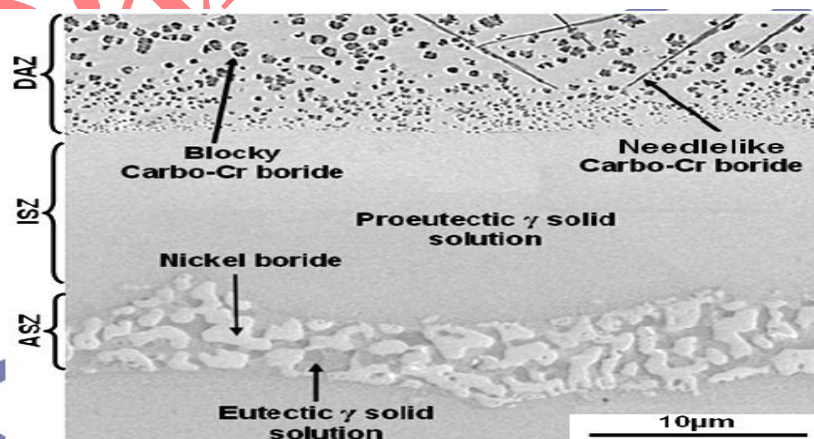


Fig.1 SEM micrograph. Microstructure of bonds formed at 1100°C for 30 min.

ریز ساختار و رفتار انجمادی ASZ :

حین اتصال دهی با یک سیکل عملیات حرارتی کوتاه مقدار کمی از عناصر B و Si به درون فلز پایه نفوذ کرده و موجب رشد یک لایه فاز گامای غنی از نیکل از مجاورت فلز پایه به سمت مرکز لایه واسط می شود. توسعه ریز ساختار در منطقه انجماد اترمال بوسیله دو پدیده وابسته به هم، تشکیل دندریت و جدایش عناصر حل شونده، کنترل می شود. جامی اولیه که در این منطقه در حین سرد شدن تشکیل می شود، دندریت های گاما است. آنالیز SEM-EDS شکل ۲ نشان داد فاز بین فلزی موجود در ساختار یوتکتیکی، بوراید غنی از نیکل است.

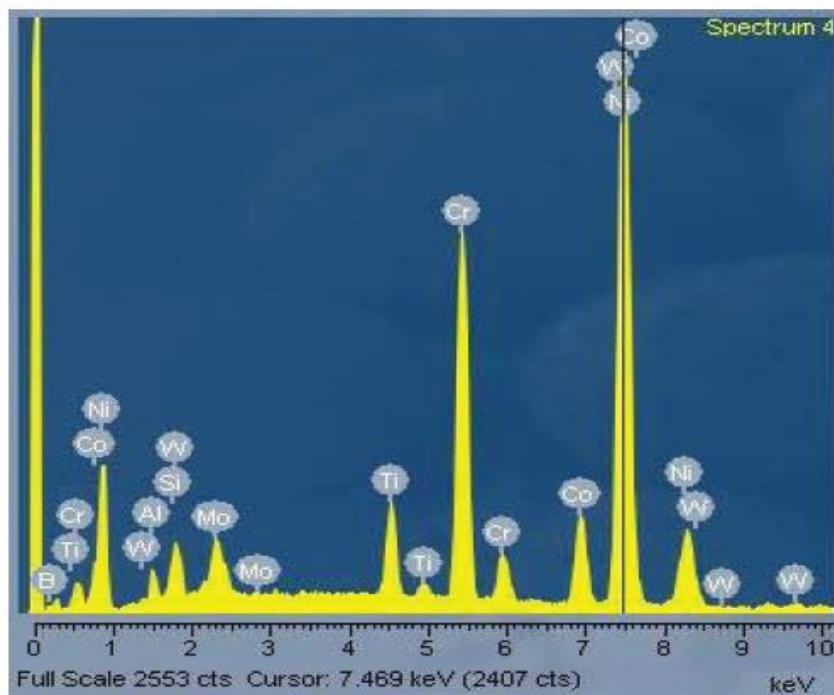


Fig. 2. Typical EDS spectrum of nickel-rich boride in ASZ.

نتیجه گیری :

۱- هنگامی که انجماد همدمما کامل نشده باشد، محل اتصال از ۳ منطقه ریز ساختاری انجماد همدمما (ISZ)، انجماد غیر همدمما (ASZ)، منطقه متأثر از نفوذ (DAZ) تشکیل شده است.

۲- هنگامی که انجماد همدمما کامل نشده باشد، مذاب باقی مانده در مرکز اتصال در اثر سرد شدن غیر تعادلی و جدایش عناصر MPD به یک ساختار یوتکتیکی متشکل از نیکل بوراید و فاز ۷ غنی از نیکل تشکیل می شود. با افزایش زمان نگهداری در دمای اتصال کسر حجمی ساختار یوتکتیکی کاهش می یابد. انجماد همدمما در دمای 1100°C و زمان ۷۵ دقیقه کامل می شود.