دستیابی به اتصال مناسب با استفاده از دولایه فلز پرکننده ی پایه تیتانیومی به منظور لحیم کاری سخت آلیاژهای پایه زیرکونیومی نظیر Zr-2.5Nb به فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۲۱ در صنعت هسته ای

محمد ابراهیم باجغلی[1*]، ابراهیم حشمت دهکردی [2]، مجید زهرایی [3]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحدعلوم وتحقیقات، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، گروه جوشکاری
۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای
۳- سازمان انرژی اتمی ایران، مجتمع سوخت راکتورهای هسته ای (سوره)

چکیده :

اتصال آلیاژزیرکونیوم به فولادزنگ نزن از مهم ترین اتصالات در صنعت هسته ای است . به همین جهت تلاش های زیادی جهت دستیابی به یک اتصال مناسب به روش های گوناگون از جمله Diffusion Bonding و یا استفاده از لایه های میانی از جنس فلزات مس ، نیکل وآهن خالص صورت گرفته است . اما تشکیل فازهای ترد در منطقه اتصال و همچنین اختلاف ضریب انبساط حرارتی آلیاژزیرکونیوم وفولاد زنگ نزن مانع دستیابی به یک اتصال مناسب گشته است .

در پژوهش حاضر هدف دستیابی به یک اتصال مناسب بین آلیاژزیرکونیوم و فولاد زنگ نزن به روش لحیم کاری سخت وبااستفاده ازدولایه فلز پرکننده آمورف به ضخامت ۱۰۰میکرومتر است.نتایج آزمایشات نشان می دهد که کنترل نرخ سرمایش وگرمایش به مدت ۱۰دقیقه در دمای ۸۶۵درجه سانتی گراد، سبب دستیابی به یک اتصال مناسب می گردد.

کلید واژه ها: لحیم کاری سخت ، آلیاژ Zr-2.5Nb ، فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۲۱

مقدمه

مواد سازنده راکتورهای هسته ای را طیف گسترده ای از فولاد های کربنی ، کم آلیاژ و پرآلیاژ ، فولاد های زنگ نزن اعم از آستنیتی نظیر۳۲۱ ،۳۰۴،۳۱۶، آلیاژهای پایه نیکل ،آلیاژهای پایه زیرکونیوم وغیره تشکیل می دهد. این نوع مواد سازنده به راحتی جوش پذیر هستند وبا فرآیندهای جوشکاری متداول نظیر جوشکاری قوسی با الکترودپوشش دار (SMAW) و جوشکاری قوسی تحت گاز خنثی (GTAW) ، جوشکاری قوسی زیرپودری (SAW) ، جوشکاری با پرتوالکترونی (EBW) ، جوشکاری باپرتولیزر (LBW) ، مقاومتی وغیره به خوبی به یکدیگر اتصال داده می شوند. مشکل اتصال دادن این فلزات که در ساخت تأسیسات هسته ای به وفور بکارگرفته می شوند موقعی آغاز می شود که بخواهیم آلیاژهای زیرکونیوم رابه مواد ساختاری دیگر نظیر فولاد های زنگ نزن ویافولادهای کربنی جوشکاری نماییم.

Archive of SID
www.SID.ir

در راکتورهای هسته ای که سوخت از غنای طبیعی بر خوردار است ، طراحان به منظور جلوگیری ازکاهش بیش از حد شدت فلاکس نوترون درقلب راکتورسعی می نمایند کمترین حجم ووزن مواد سازنده را بکارگیرند واز موادی استفاده کنند که از جذب نوترونی بسیار کمی برخوردار هستند.آلیاژهای نظیر زیرکونیوم ودر موارد قابل قبولی ،آلیاژهای پایه آلومینیومی نظیر سری ۵۰۰۰ویا آلیاژهای منیزیم جنس غلاف سوخت را تشکیل می دهند. از طرفی در ساختار چنین راکتورهایی از فلزاتی نظیر فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۱۶یا ۳۲۱ بطور رایج استفاده می شود که می بایست به طریقی به آلیاژهای زیرکونیوم اتصال داده شوند. اگر چه هر کدام از آلیاژهای یاد شده به فلز پایه نوع خودشان به خوبی جوش پذیر هستند،ولی اتصال غیر همجنس آنها از طریق جوشکاری غیر ممکن می باشد.

از ساخت اولین راکتور های تحقیقاتی وقدرت بیش از ۶۰سال می گذرد. طراحان وکارشناسان علم مواد هسته ای انجام این اتصالات را درآن زمان به کمک عملیاتی تحت عنوان لحیم کاری سخت امکان پذیر ساختند. منتها در آن زمان فلز پرکننده اتصال ها بیشترآلیاژهای پایه نقره بود [۱و۲].اما امروزه با توسعه علم مواد وتولید فلزات پرکننده بدون شبکه کریستالی تولید آلیاژهای با ترکیب شیمیایی ویژه وخواص فیزیکی وشیمیایی مناسب می توان چنین اتصالاتی را باکیفیت بهتر وحتی در داخل کشور انجام داد.در این پژوهش اثر دما وزمان برروی لحیم کاری سخت آلیاژهای زیرکونیوم نظیر Zr-2.5Nb

به فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۲۱با استفاده از دولایه فلز پرکننده ی آمورف از نوع پایه تیتانیوم به ضخامت ۱۰۰میکرون در خلاء بالا ودمای بین ° c ۸۲۵ تا ° c ۸۶۵ موردبررسی قرارگرفت.

روش تحقیق

۱-تهیه نمونه ها :

ورقه هایی از جنس فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۲۱و آلیاژ Zr-2.5Nb در ابعاد mm ۱۰mmx۱۰ و ضخامت ۴ mm به عنوان اجزاء اتصال وفلز پرکننده به شکل نواری به پهنای ۱۹ mm و ضخامت ۵۰ میکرومتر وبه انداز ه طول نمونه ها به صورت دولایه روی هم تهیه گردید. جدول ۱ترکیب شیمیایی اجزاء اتصال را به درصد وزنی نشان می دهد. سطوح فلزات پایه با کاغذ سمباده تا مش ۱۰۰۰صیقل کاری گردیدو توسط محلول شیمیایی چربی زدایی وفعال شد. نوع اتصال از نوع رویهم انتخاب گردید وبه منظور حفظ جفت وجوری قطعات نسبت به همدیگر در هنگام اعمال سیکل لحیم کاری از یک نگهدارنده از جنس فولاد H13 که توسط پیچ اتصال را در برمی گیرد ،استفاده شد. اجزاء اتصال پس از جفت وجوری بلافاصله به طور افقی در یک لوله کوارتز به قطر داخلی ۴۰mm قرار می گیردوسپس در یک کوره الکتریکی تونلی قابل برنامه ریزی بانام تجاری Adamel L'Homargy که توانایی تأمین دمای حداکثر ۱۲۰۰درجه سانتی گراد رادارد ،گذاشته شد و به خلاء torr(mmHg) ۶- ۱۰ × ۵رسانده شد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱) ترکیب شیمیایی اجزاء اتصال به درصد وزنی

الف) فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱

Fe	N	Ti	Ni	Cr	Si	S	P	Mn	C
ما بقی	۰/۱۰	$5 \times (C+N) - 0/70$	۹/۰۰	۱۷/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۳۰	۰/۰۴۵	۲/۰۰	۰/۰۸

ب) فلز پایه Zr-2.5Nb

Zr	Nb	O
مابقی	۲.۵	۰.۱۴

ج) فلز پرکننده استمت ۱۲۲۸

فلز پرکننده	Ni	Cu	Nb	Ti	Zr
استمت۱۲۲۸	۱۴.۷	۱۶.۲	۰.۷	۴۵.۸	۱۲.۶

۲- آزمایش متالوگرافی

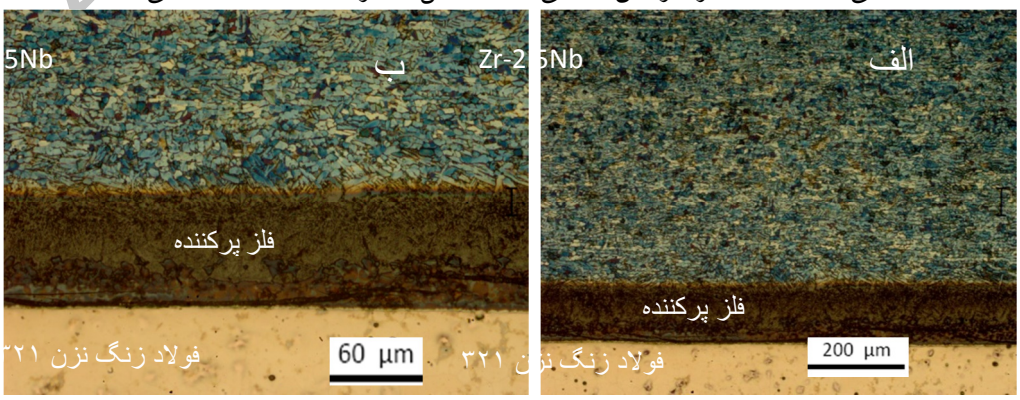
به منظور بررسی ریز ساختارمنطقه اتصال از میکروسکوپ نوری استفاده شد. نمونه ها پس از سمباده زنی ،صیقل کاری وحکاکی مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند.

۳- آزمون ریز سختی سنجی

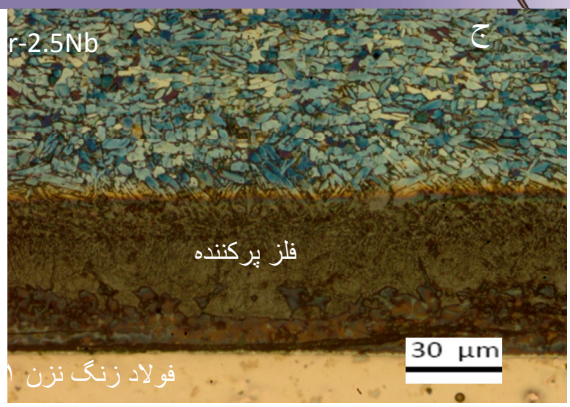
آزمایش ریزسختی سنجی به روش ویکرز بر روی نمونه های لحیم کاری شده انجام گرفت .در آزمایش یاد شده از نیروی حاصل از وزنه ۲۰۰گرمی استفاده شد.

یافته ها

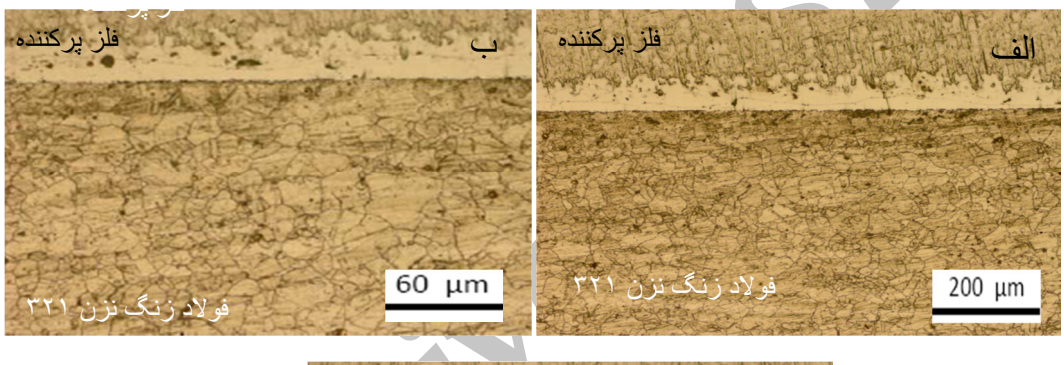
شکل ۱و۲ ریز ساختار نقاط مختلف فصل مشترک فلز پرکننده و فلزات پایه ودرز اتصال رادر بزرگنمایی های مختلف نشان می دهد. تصاویر میکروسکوپ نوری بیان کننده اتصال مطلوب وبدون عیب در هردو فصل مشترک می باشد. شکل شماره ۳ تغییرات ریز سختی سنجی حاصل بر روی نمونه لحیم کاری سخت شده را نشان می دهد که بیانگر افزایش سختی در دوفصل مشترک وناحیه اتصال می باشد.

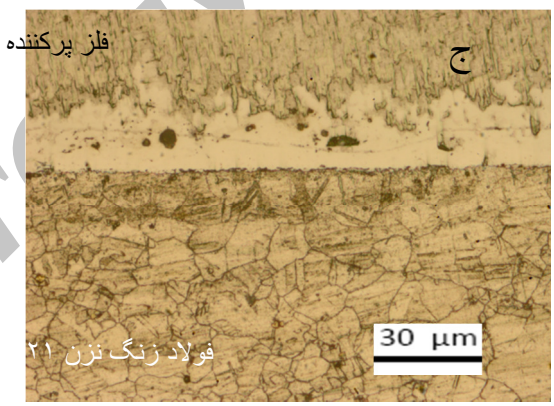


Archive of SID
www.SID.ir



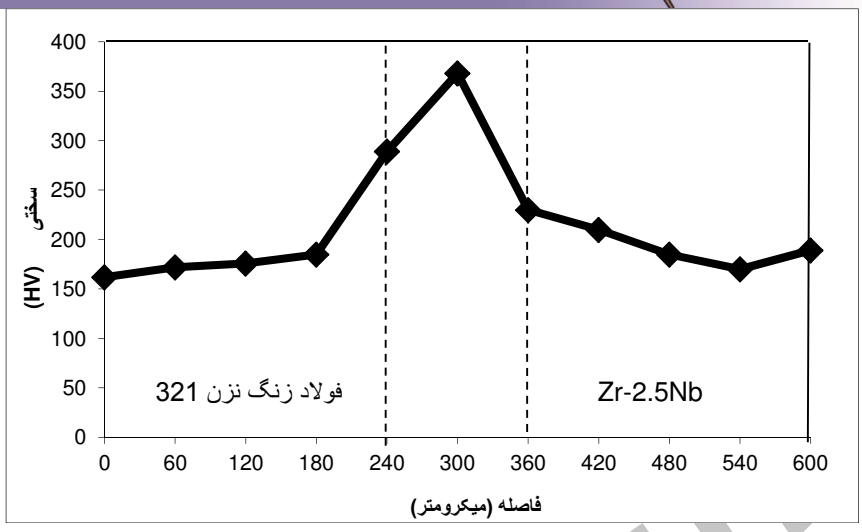
شکل ۱)تصویر میکروسکوپ نوری فصل مشترک Zr-2.5Nbوفلز پرکننده
الف – بزرگنمایی x ۱۰۰ ب – بزرگنمایی x ۲۰۰ ج – بزرگنمایی x ۴۰۰





شکل۲)تصویر میکروسکوپ نوری فصل مشترک فولادزنگ نزن آستنیتی ۳۲۱وفلز پرکننده
الف – بزرگنمایی x ۱۰۰ ب – بزرگنمایی x ۲۰۰ ج – بزرگنمایی x ۴۰۰

www.SID.ir



شکل۳) تغییرات ریز سختی سنجی نمونه لحیم کاری شده

بحث ونتیجه گیری :

اتصال نفوذی آلیاژزیرکونیوم وفولاد زنگ نزن به دلیل تشکیل ترکیبات بین فلزی ترد نظیر ZrFe2 ، Zr(CrFe)2 و ZrFe3 که در منطقه جوش تشکیل می شوند مناسب نمی باشد، به گونه ای که این ترکیبات ترد استحکام مکانیکی ومقاومت به خوردگی راکاهش می دهند.

از طرفی تفاوت ضریب انبساط حرارتی ،آلوتروپی ها واستحاله فازها ومدول الاستیک زیرکونیوم وفولاد سبب ایجاد تنش پسماند زیادی در ضمن سرمایش می شود.انجام عملیات لحیم کاری سخت با کنترل سیکل گرمایش وسرمایش سبب کم کردن نفوذ این عناصر وجلوگیری از ایجاد تنش های حرارتی می شود.

همانطور که از تصاویر میکروسکوپ نوری مشاهده می شود اتصال این دو آلیاژ با استفاده از دولایه فلز پرکننده پایه تیتانیومی بدون هیچ گونه ترک وعیبی در فصل مشترک اتصال انجام پذیر بوده وبیانگر اتصال مناسب این دو آلیاژباروش لحیم کاری سخت در خلاء می باشد.

استفاده ازآلیاژهای پایه تیتانیومی با انعطاف پذیری بالا بصورت آمورف ودولایه به ضخامت ۱۰۰میکرومتر بانام تجاری استمت شماره ۱۲۲۸[۵]ویاغیره که محتوی تیتانیوم به همراه زیرکونیوم هستند بسیار با اهمیت می باشد. جدول ۱- ج ترکیب این لایه میانی را ارائه می کند.

چون تیتانیوم در این آلیاژهابه عنوان سد نفوذی عمل می کند واز طرفی دیگر به علت نقطه ذوب پایین آلیاژهای یادشده وحضور تیتانیوم شرایط برای تشکیل فازهای یوتکتیک بین فلزی فراهم نمی گردد . ضمن اینکه دمای عملیات لحیم کاری هیچگاه به پایین ترین دمای تشکیل فازهای یوتکتیک نمی رسد.مسلماً افزایش دمای عملیات لحیم کاری وافزایش زمان عملیات سبب افزایش پهنای باند نفوذ عناصری نظیر آهن ،کروم ونیکل شده ،ضمن اینکه درصد عناصر نفوذ نموده را از داخل فولاد زنگ نزن به داخل فلز پرکننده و آلیاژ زیرکونیوم می افزاید وشانس تشکیل فازهای ترد افزون می گردد.در شرایط بسیار حاد عمل لحیم کاری

Archive of SID
www.SID.ir

سخت در دمای بالا امکان ذوب فلزات پایه در همدیگر را بوجود می آورد که این مطلوب عملیات لحیم کاری سخت نمی باشد.با توجه به اینکه دمای ذوب فلز پرکننده استمت ۱۲۲۸حدوداً ۷۹۰درجه سانتی گراد می باشد ،دمای عملیات لحیم کاری می بایست به اندازه کافی بالاتر از دمای فوق باشد منتها کمتر از دمای ۹۳۴درجه سانتی گراد که پایین ترین نقطه تشکیل فاز یوتکتیک Zr-Fe می باشد.زمان عملیات لحیم کاری بایستی به نحوی انتخاب گرددکه نفوذ زیادی ازآهن ،کروم ،نیکل از فولاد زنگ نزن به فلزپرکننده وآلیاژهای زیرکونیوم فراهم نشود.این زمان برحسب ضخامت نمونه های لحیم کاری می تواند از چند دقیقه تا ۲۰دقیقه باشد.به منظور جلوگیری از تنش های حرارتی در سیکل گرم کردن وسرد کردن ،سرد وگرم کردن با نرخ حدود ۲۰درجه سانتی گراد در دقیقه به منظور جلوگیری از شوک حرارتی وترکیدگی قطعات لحیم کاری شده توصیه می گردد.

نتیجه گیری :

۱- عملیات لحیم کاری سخت Zr-2.5Nb به فولاد زنگ نزن ۳۲۱در دمای ۸۶۵درجه سانتی گراد به مدت ۱۰دقیقه وخلاء (torr(mmHg ۶- ۱۰ × ۵ با استفاده از دولایه فلز پرکننده آمورف استمت ۱۲۲۸امکان پذیر است.

۲- کنترل دماوزمان از نفوذ عناصر آلیاژی جلوگیری نموده ومانع تشکیل فازهای ترد می گردد.

۳- به علت اختلاف ضریب انبساط حرارتی آلیاژZr-2.5Nb وفولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱ اکثرمحققان برنرخ گرم کردن وسرد کردن قطعات مورد لحیم کاری با نرخ ۲۰درجه سانتی گراد در دقیقه تاکید نموده اندتا از ترک خوردگی اتصال جلوگیری شود.

۴- استفاده از دولایه فلز پرکننده استمت ۱۲۲۸با انعطاف پذیری بالا بصورت آمورف با ضخامت های ۱۰۰میکرومتر که محتوی تیتانیوم می باشد.جهت انجام عملیات لحیم کاری سخت آلیاژZr-2.5Nb وفولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱ مناسب می باشد.

تقدیر وتشکر :

بدین وسیله اززحمات جناب آقای مهندس صبوحی ،گلشن وتوکلی تشکر به عمل می آید.

مراجع :

[1]B. Lustman," The Metallurgy of Zirconium ",New York,McGraw-Hill Book Company,1955.
[2]B.A kalin,V.T fedotor,O,Nserrjukov,A,E Grigirier,L.A.Skuratov,A,N Plyus chev "Development of rapidly solidified filler metals Stemet for precision brazing dissimilar materials"NANCY,FRANCE 27-29 October,2004.page142-145.
[3]M.Ahmad,J.I.AKhter,Q.Zaman,M.A Shaikh J.Nucl.Mater .317(2003)212-216.
[4]ASM Metals Handbook ,Vol.9,"Metallography and Microstrucres",1992.
[5]VT Fedotov.O.N.Sevryukov MIFI-AMETO Moscow Collection of reports by International Scientific Conference Pail 2005 Sep 05 the city of Togliatti.

Archive of SID
www.SID.ir