



### گواهی ارائه مقاله در پنجمین همایش ملی توربین گاز

بدینوسیله گواهی می شود مقاله

بررسی تاثیر پارامترهای اتصال TLP بر ریزساختار سوپرآلیاژ پایه نیکل GTD-111

نویسنده اول: دانش امیری

نویسنده دوم: عبدالکریم سجادی

نویسنده سوم: رضا بختیاری

نویسنده چهارم: جواد اسدی

در روز های برگزاری همایش (۱۸ و ۱۹ آبان ماه ۱۳۹۵) به صورت شفاهی ارائه شده است. توفیق روز افزون شما را در عرصه های مختلف علمی کشور عزیزمان آرزومندم.



دبیرخانه همایش: تهران، نارمک، خیابان هنگام، خیابان دانشگاه، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مکانیک

تلفکس: ۰۲۱-۷۷۲۴۰۲۱۳

کدپستی: ۱۶۸۴۶-۱۳۱۱۴

Email: [gtc@iust.ac.ir](mailto:gtc@iust.ac.ir)

<http://gtc.iust.ac.ir>

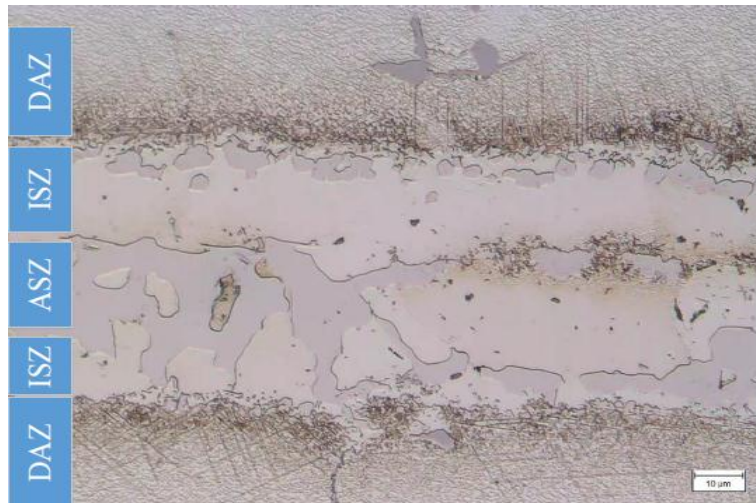




به مدت ۲۰ دقیقه و به وسیله آلتراسونیک چربی زدایی شدند و سپس در محلول استون نگهداری شدند. پس از قرار گرفتن لایه واسط بین دو قطعه، از یک فیکسچر از جنس فولاد زنگ نزن برای نگهداری قطعات در کنار هم استفاده شد. عملیات اتصال دهی در یک کوره با خلاء  $3.5 \times 10^{-5}$  تور در دماهای ۱۰۸۰، ۱۱۲۰ و  $1160^{\circ}\text{C}$  در زمان های مختلف انجام شد. پس از اتصال دهی یک مقطع عرضی از نمونه ها جدا شده و به وسیله میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی ریزساختاری قرار گرفتند. آنالیز شبه کمی فازهای تشکیل شده در محل اتصال به وسیله آنالیز EDS با پنجره بریلیم انجام گرفت.

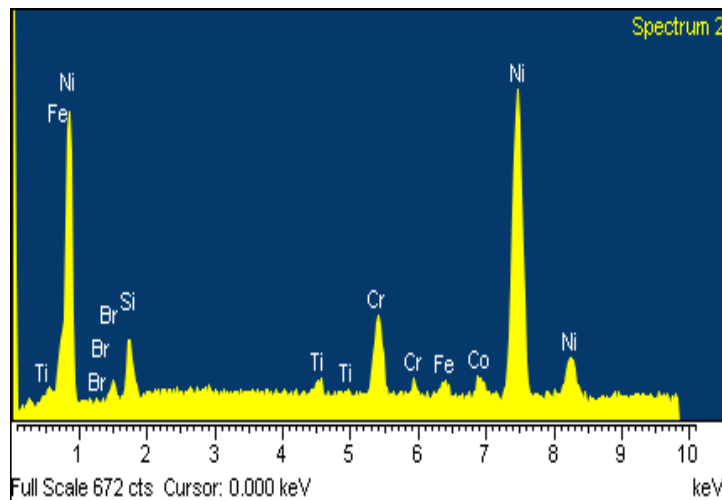
### نتایج و بحث

شکل ۱ ریزساختار اتصال TLP در سیستم GTD-111/Ni-Cr-Fe-Si-B/GTD-111 در دمای اتصال دهی  $1120^{\circ}\text{C}$  با زمان نگهداری ۱۵ دقیقه را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود چهار ناحیه ریز ساختاری مجزا شامل، ناحیه انجماد غیر همدم (ASZ)، ناحیه انجماد غیرهمدم (ISZ)، ناحیه متاثر از نفوذ (DAZ) و فلز پایه (BM) وجود دارد.

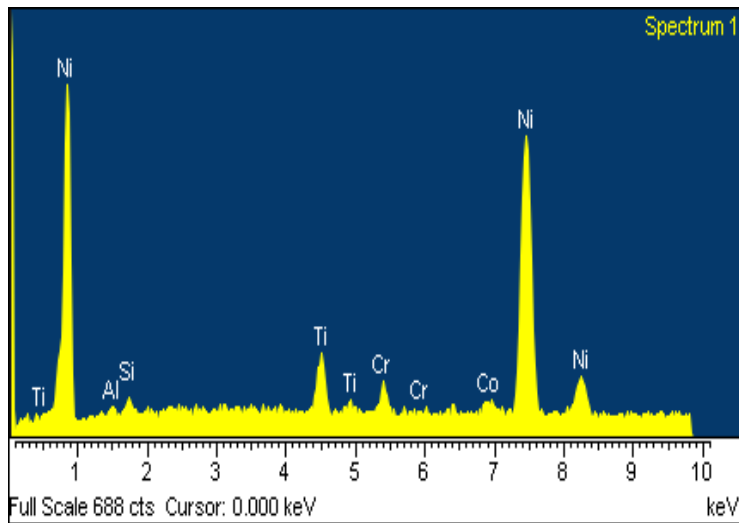


شکل ۱- ریزساختار اتصال داده شده GTD-111 (دمای اتصال  $1120^{\circ}\text{C}$ ، زمان اتصال ۱۵ دقیقه) شامل سه منطقه ریزساختاری مجزای ناحیه انجماد غیرهمدم (ASZ)، ناحیه انجماد همدم (ISZ) و ناحیه متاثر از نفوذ (DAZ).

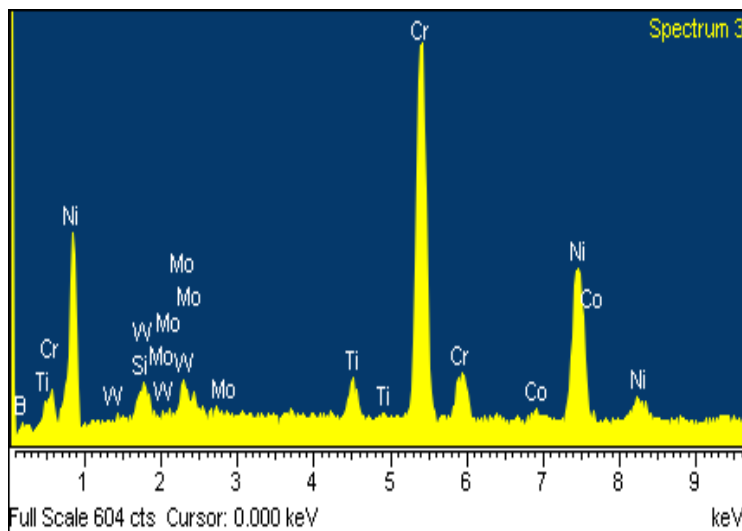
در ISZ به علت عدم پس زدن عنصر حل شونده در فصل مشترک جامد/مذاب در طی انجماد همدم تحت شرایط تعادلی، تنها فاز جامد تشکیل شده محلول جامد می باشد و از تشکیل فازهای دیگر جلوگیری می شود [۱۰]. در حالت ASZ به دلیل عدم وجود زمان کافی، مذاب باقی مانده در طی سرد شدن از دمای اتصال دهی، تبدیل به محصولات یوتکتیکی در ناحیه اتصال می شود. حضور ساختار یوتکتیکی در ناحیه اتصال اشاره بر این دارد که انجماد همدم ایجاد شده توسط نفوذ B و Si به درون GTD-111 در طول ۱۵ دقیقه در دمای  $1120^{\circ}\text{C}$  کامل نشده است. بر طبق نتایج کارهای قبل [۱۱ و ۱۰]، ریزساختار ASZ را می توان شامل فازهای محلول جامد پایه نیکل ۷، بوراید غنی از نیکل و بوراید غنی از کروم دانست. همچنین طیف EDS (شکل های ۳، ۲ و ۴) از فازهای موجود در شکل ۱، نشان داد که ناحیه اتصال از محلول جامد غنی از نیکل ۷، بورید غنی از نیکل و بورید غنی از کروم تشکیل شده است. باید توجه نمود، از آنجایی که تعیین دقیق عناصر سبک توسط آنالیز EDS امکان پذیر نیست، درصد B نیز قابل اندازه گیری نمی باشد.



شکل ۲- طیف EDS فاز محلول جامد غنی از نیکل در شکل ۱



شکل ۳-طیف EDS فاز بوراید غنی از نیکل در شکل ۱



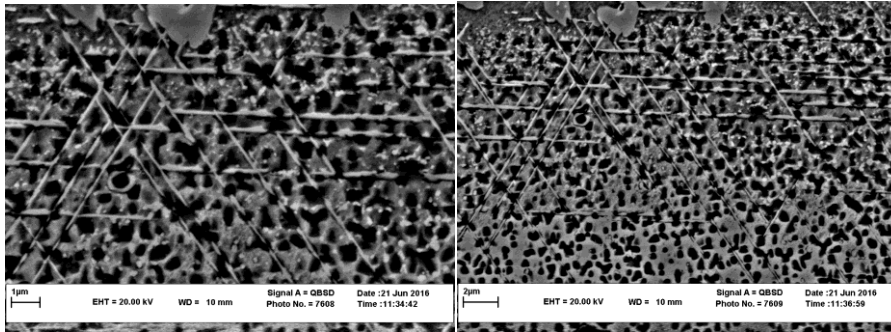
شکل ۴-طیف EDS فاز بوراید غنی از کروم در شکل ۱

مطابق رفتار انجمادی و ریزساختار ASZ، B مهم ترین عنصر MPD کنترل کننده انجماد همدماست، در حالی که Si نقش کم اهمیت تری را در توسعه ریزساختاری در طی لحیم کاری سخت نفوذی در سیستم حاضر بازی می کند. در حقیقت حد حلالیت کم B در نیکل (0.3%)، مطابق دیاگرام فازی تعادلی دوتایی [Ni-B] در مقایسه با حد حلالیت Si در نیکل (15%)، مطابق دیاگرام تعادلی دوتایی [Ni-Si] همراه با ضریب جدایش بسیار کم B در نیکل (0.008~) مطابق دیاگرام فازی دوتایی [Ni-B] در مقایسه با ضریب جدایش Si در نیکل (0.8~) مطابق دیاگرام فازی دوتایی [Ni-Si] منجر به تشکیل فازهای بین فلزی در مرکز اتصال در حین سرد شدن می شود.



علاوه بر ساختار یوتکتیکی اتصال، ذرات فازی ثانویه مجزا که احتمالاً " بوریدها

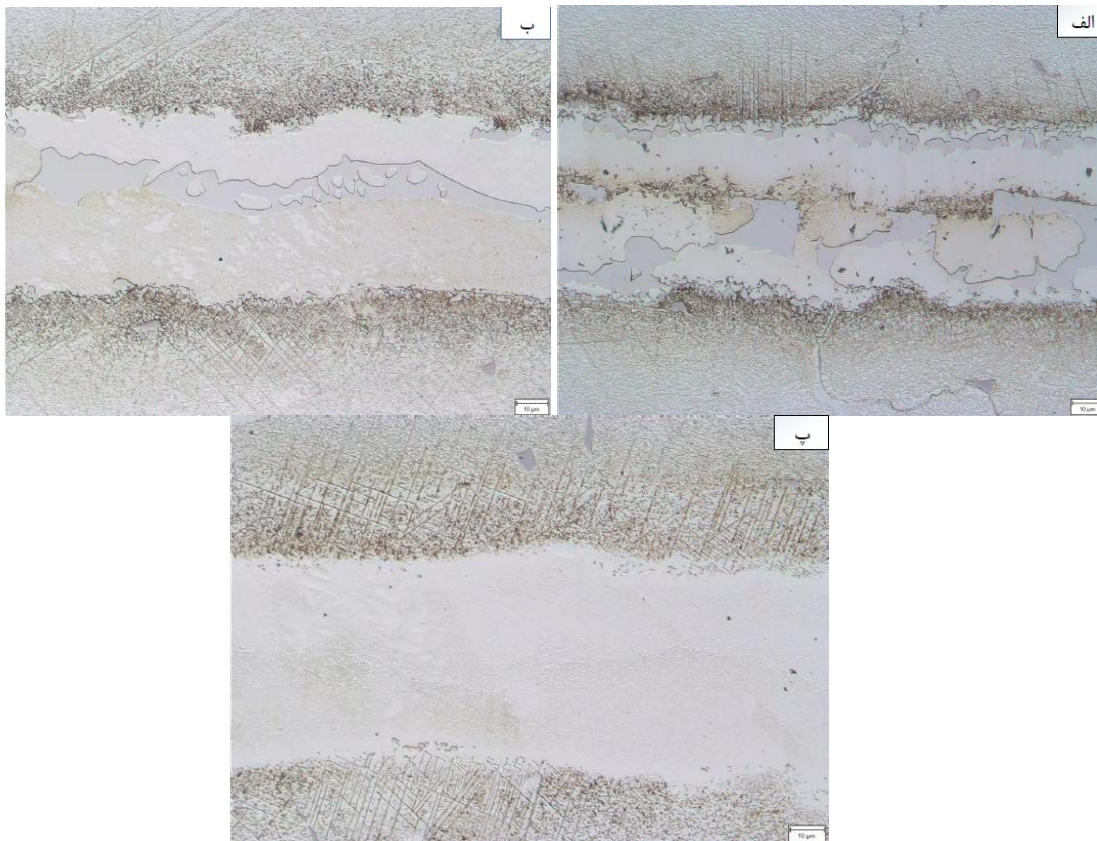
و/یا کاربیدهای بوریدی می باشند [۱۳]، درون فلز پایه، نزدیک فصل مشترک اتصال در نمونه های اتصال داده شده مشاهده می شوند. شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از DAZ نمونه اتصال داده شده در دمای  $1120^{\circ}\text{C}$  را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود ریزساختار DAZ شامل رسوبات ثانویه با دو مورفولوژی متفاوت: رسوبات بلوکی شکل و رسوبات سوزنی شکل می باشد. تشکیل فازهای بین فلزی در DAZ به دلیل نفوذ B از لایه واسط به فلز پایه در حین فرایند اتصال دهی می باشد. تراکم این رسوبات به صورت گرادینانی با افزایش در فاصله از فصل مشترک فلز پایه/اتصال کاهش می یابد.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از DAZ در اتصال

### اثر دما و زمان اتصال دهی روی ریز ساختار اتصال

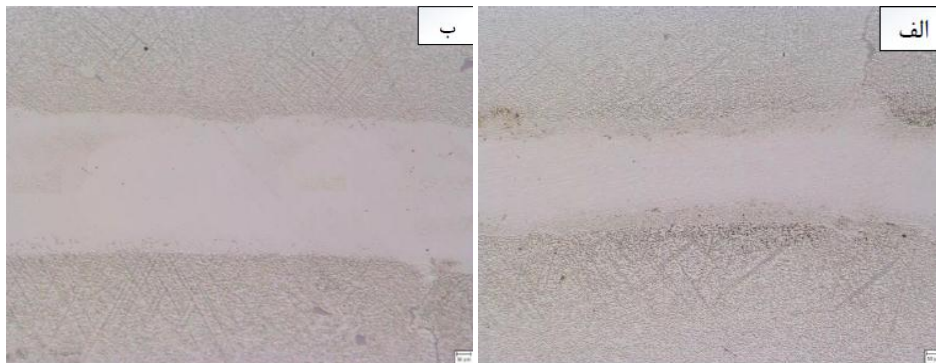
پارامترهای اتصال دهی همانند دما و زمان روی نفوذ عناصر آلیاژی و در نتیجه ریزساختار اتصال تاثیر زیادی می گذارد. به منظور مطالعه اثر زمان نگهداری روی ریزساختار اتصال، اتصال TLP برای زمان های نگهداری متفاوت در دمای اتصال دهی انجام شد. شکل ۶ ریزساختار اتصال داده شده در  $1120^{\circ}\text{C}$  برای زمان های مختلف را نشان می دهد. فرایند انجماد همدم توسط تشکیل و رشد محلول جامد  $\gamma$  که متاثر از نفوذ متقابل عناصر کاهنده نقطه ذوب (MPD) در فلز پایه می باشد، کنترل می شود. زمان اتصال دهی ۱۵ دقیقه منجر به تشکیل ترکیبات یوتکتیکی در ناحیه اتصال می شود (الف). افزایش زمان اتصال دهی به ۴۵ دقیقه سبب افزایش نفوذ عناصر آلیاژی لایه واسط و کاهش وسعت ترکیبات یوتکتیکی در ناحیه اتصال داده شده می شود (ب). علت این امر افزایش نفوذ B و Si به فلز پایه و کاهش میزان پس زدن عناصر حل شونده در فصل مشترک جامد/مذاب می باشد. پس از مدت زمان ۱۰۵ دقیقه ساختار یوتکتیکی به طور کامل حذف شده و انجماد همدم کامل شد (ج). بنابراین نتیجه می شود که زمان نگهداری ۱۰۵ دقیقه در  $1120^{\circ}\text{C}$  به منظور ایجاد ناحیه عاری از ترکیبات یوتکتیکی و تشکیل محلول جامد تک فاز کافی است.



شکل ۶- تصاویر نوری از ناحیه اتصال در  $1120^{\circ}\text{C}$  برای الف) ۴۵، ب) ۹۰ و ج) ۱۰۵ دقیقه.

به منظور بررسی تاثیر دما بر زمان مورد نیاز برای ایجاد ساختار عاری از یوتکتیک

اتصال دهی در دماهای ۱۰۸۰، ۱۱۲۰ و ۱۱۶۰°C در زمان های مختلف انجام شد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می شود، تکمیل انجماد همدمما در دمای ۱۰۸۰°C در زمان ۱۸۰ دقیقه اتفاق می افتد. این در حالی است که با افزایش دما به ۱۱۲۰ و ۱۱۶۰°C حذف ساختار یوتکتیکی و تکمیل انجماد همدمما به ترتیب در زمان های اتصال دهی کمتر، ۱۰۵ و ۳۰ دقیقه اتفاق می افتد. علت این امر افزایش ضریب نفوذ عناصر MPD، با افزایش دمای اتصال دهی می باشد.



شکل ۷- تصاویر نوری از کامل شدن انجماد همدمما در الف) ۱۰۸۰°C برای ۱۸۰ دقیقه ب) ۱۱۶۰°C برای ۳۰ دقیقه.

### نتیجه گیری

پیشرفت انجماد همدمما در طی اتصال TLP سوپرآلیاژ پایه نیکل GTD-111 با لایه واسط Ni-7Cr-3.2B-4.5Si-3Fe بررسی شد. نتایج زیر از این بررسی بدست آمد:

- ۱- هنگامی که زمان اتصال دهی جهت کامل شدن انجماد همدمما کافی نباشد (همانند زمان اتصال دهی کمتر از ۱۸۰، ۱۰۵ و ۳۰ دقیقه به ترتیب در دماهای اتصال ۱۰۸۰، ۱۱۲۰ و ۱۱۶۰°C)، فاز مذاب باقی مانده به ساختار یوتکتیکی غیرتعادلی شامل محلول جامد غنی از نیکل ۷، بوراید غنی از نیکل و بوراید غنی از کروم تبدیل می شود.
- ۲- نفوذ B از لایه واسط به درون فلز پایه در طی فرایند TLP منجر به تشکیل رسوبات بلوکی و سوزنی شکل در DAZ می شود.
- ۳- افزایش زمان اتصال دهی، منجر به کاهش مقدار ساختار یوتکتیکی و نهایتاً کامل شدن انجماد همدمما در زمان های ۱۸۰، ۱۰۵ و ۳۰ دقیقه می شود. همچنین افزایش دمای اتصال دهی از ۱۰۸۰ به ۱۱۲۰ و ۱۱۶۰°C، منجر به افزایش ضریب نفوذ عناصر MPD و در نتیجه کاهش زمان مورد نیاز به منظور کامل شدن انجماد همدمما می شود.

### مراجع

- [1] M. B. Henderson, D. Arrell, M. Heobel, and R. Larsson, "Nickel-Based Superalloy Welding Practices for Industrial Gas Turbine Applications," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 9, no. 1, pp. 1-14, 2004.
- [2] X. Huang and W. Miglietti, "Wide Gap Braze Repair of Gas Turbine Blades and Vanes—A Review," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 134, no. 1, p. 010801, 2012.
- [3] Y. Danis, C. Arvieu, E. Lacoste, T. Larrouy, and J. M. Quenisset, "An investigation on thermal, metallurgical and mechanical states in weld cracking of Inconel 738LC superalloy," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 1, pp. 402-416, 2010.
- [4] Y. Jing, Z. Zheng, E. Liu, and Y. Guo, "Microstructural Evolution of a Ni-base Alloy DZ468 Joint Bonded with a New Co-base Filler," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 5, pp. 480-486, 2014.
- [5] M. Montazeri and F. M. Ghaini, "The liquation cracking behavior of IN738LC superalloy during low power Nd:YAG pulsed laser welding," *Mater. Charact.*, vol. 67, pp. 65-73, 2012.
- [6] R. Thamburaj, W. Wallace, and J. A. Goldak, "Post-weld heat-treatment cracking in superalloys," *Int. Met. Rev.*, vol. 28, no. 1, pp. 1-22, 1983.
- [7] W. F. Gale and D. A. Butts, "Transient liquid phase bonding," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 9, no. 4, pp. 283-300, 2004.
- [8] D. . Duvall, W. A. Owczarski, and D. F. Paulonis, "TLP bonding: A new method for joining heat resistant alloys," *Welding Journal*, vol. 53, no. 4, pp. 203-214, 1974.
- [9] W. MacDonald and T. Eagar, "Transient liquid phase bonding," *Annu. Rev. Mater. ...*, vol. 1, no. 1, pp. 23-46, 1992.
- [10] S. K. Tung, L. C. Lim, and M. O. Lai, "SOLIDIFICATION PHENOMENA IN NICKEL BASE BRAZES CONTAINING BORON AND SILICON," vol. 34, no. 5, pp. 163-169, 1996.
- [11] K. Ohsasa, T. Narita, and T. Shinmura, "Numerical modeling of the transient liquid phase bonding process of Ni using Ni-B-Cr ternary filler metal," *J. Phase Equilibria*, vol. 20, no. 3, pp. 199-206, 1999.
- [12] ASM International, *ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams*, vol. 7, no. 11, 2004.
- [13] O. A. Idowu, O. A. Ojo, and M. C. Chaturvedi, "Microstructural study of transient liquid phase bonded cast INCONEL 738LC superalloy," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 37, no. 9, pp. 2787-2796, 2006.