E-ISSN: 2676-6787 | P-ISSN: 2476-583X

Journal of
Welding Science and Technology of Iran
jwsti.iut.ac.ir

Volume 8, Number 1, 2022

Microstructural study of Ti/3YSZ interface in NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ diffusion bonding

I. Saydi, R. Dehmolaei*, Kh. Ranjbar

Department of Materials Science & Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received 29 March 2022 ; Accepted 4 June 2022

Abstract

In this research, the diffusion bonding of the stabilized zirconia ceramic and Nimonic 105 superalloy using Ti/Nb/Ni multi-interlayer was carried out. Joint was performed using the plasma spark technique in a vacuum atmosphere and at different temperatures and times. The microstructure of the different joint zones was studied using optical and FESEM microscopes equipped with an EDS analyzer. The results showed that the critical region is Ti/3YSZ interface and in all conditions diffusion bonding in Ti/Nb, Nb/Ni, and Ni/NI 105 interfaces were done. Microstructural observations showed that in the Ti/3YSZ interface at all temperature and time conditions, the connection of two separate regions including Ti_3O and $(Zr, Ti)_2O$ was formed due to the difference in the diffusion depth of Ti, Zr, and O elements and with increasing temperature and time, the thickness of these regions increased. Microstructural studies showed that the bond at 900°C and 30 minutes did not have any cracks and discontinuities and due to the better diffusion of atoms, a suitable reaction layer was formed. Microhardness observations and EDS analyses confirmed that the Ti_3O reaction layer is the weakest zine.

Keywords: Diffusion bonding; NI 105 superalloy; Zirconia stabilized ceramic; reaction layer.

Corresponding Author: dehmolaei@scu.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]

شاپا:2476-583X | شاپا الکترونیکی: 2676-6787

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران

jwsti.iut.ac.ir

سال هشتم، شماره1، بهار و تابستان 1401

بررسی ریزساختاری فصل‌مشترک Ti/3YSZ در اتصال نفوذی NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ

ایمان صیدی، رضا دهملایی*، خلیل رنجبر

گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

دریافت مقاله: 1401/01/09 ؛ پذیرش مقاله: 1401/03/14

چکیده

در این پژوهش اتصال نفوذی سرامیک زیرکونیای پایدار شده با ایتریم اکسید به سوپرآلیاژ نایمونیک 105 با استفاده از لایه میانی چندتایی Ti/Nb/Ni انجام شد. اتصال با استفاده از روش جرقه پلاسمایی در اتمسفر خلاء و در دماها و زمان‌های مختلف انجام گردید. به منظور بررسی ریزساختار در شرایط مختلف از میکروسکوپ نوری، SEM و FESEM مجهز به EDS استفاده شد. نتایج نشان‌داد که ناحیه بحرانی اتصال، فصل مشترک Ti/3YSZ بوده و در تمامی شرایط اتصال در فصل مشترک‌های Ti/Nb، Nb/Ni و Ni/NI 105 برقرار شده است. مشاهدات ریزساختاری نشان داد که در تمامی شرایط دمایی و زمانی اتصال، در فصل مشترک Ti/3YSZ دو ناحیه مجزا شامل Ti_3O و $(Zr,Ti)_2O$ (به دلیل اختلاف در عمق نفوذ عناصر Ti، Zr و O) تشکیل گردیده و با افزایش دما و زمان اتصال ضخامت این نواحی افزایش یافته است. بررسی‌های ریزساختاری مشخص نمود که اتصال در شرایط دمای $900\ ^{o}C$ و زمان 30 دقیقه فاقد هرگونه ترک و ناپیوستگی بوده و در اثر نفوذ خوب اتم‌ها، لایه واکنش مناسبی تشکیل شد. نتایج ریزسختی‌سنجی و آنالیزهای EDS ضعیف بودن لایه واکنشی Ti_3O را نشان داد.

کلمات کلیدی: اتصال نفوذی، نایمونیک 105، سرامیک زیرکونیای پایدار شده، روش جرقه پلاسمایی، لایه واکنشی.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: dehmolaei@scu.ac.ir

1- مقدمه

سرامیک‌های پیشرفته با خواص مناسب نظیر مقاومت به سایش و خوردگی بالا، دانسیته پایین، هدایت حرارتی پایین و پایداری مکانیکی عالی دارای کاربردهای گسترده‌ای در دماهای بالا می‌باشند [1]. در میان سرامیک‌ها زیرکونیا (ZrO_2) بیشترین مقاومت به ضربه را دارا می‌باشد. این ماده سرامیکی دارای خواص مهندسی مهمی از قبیل مقاومت به خوردگی بالا، عایق حرارت بودن، مقاومت به سایش بالا، دانسیته پایین، مقاومت به اکسیداسیون دما بالا می‌باشد [2، 3]. سرامیک ZrO_2 دارای کاربرد گسترده‌ای در روکش‌های محافظ حرارت می‌باشد. در این روکش‌ها معمولا از زیرکونیای پایدار شده با اکسید ایتریم (YSZ) استفاده می‌شود. این روکش‌های سد حرارت در موتورهای بخار، توربین‌ها و ساخت قطعات مختلف در صنعت اتومبیل سازی کاربرد دارند [4، 5]. مانند دیگر سرامیک‌ها YSZ نیز بسیار ترد می‌باشد که سبب محدود شدن کاربرد آن در شکل‌های پیچیده می‌شود [2]. نایمونیک 105 (NI 105) یک

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]

سوپرآلیاژ پایه نیکل رسوب سخت شونده می‌باشد که دارای خواصی نظیر استحکام مکانیکی، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون در دمای بالا است. از این سوپرآلیاژ در قطعات دمای بالا مانند توربین‌های گازی به طور گسترده استفاده می‌شود.

این آلیاژ از جوش‌پذیری پایینی برخوردار بوده و جوشکاری ذوبی آن همواره با مشکلات زیادی از جمله ترک‌های انجمادی و ترک‌های پیرکرنشی همراه است [6]. یکی از راه کارهای افزایش طول عمر این آلیاژها اعمال پوششی مناسب برای کار در دماهای بالا برروی آن‌ها است. با در نظر گرفتن خواص مناسب سرامیک زیرکونیا پایدار شده با 3 درصد مولی ایتریا (3YSZ)، این سرامیک گزینه مناسبی برای اعمال پوشش روی سوپرآلیاژ NI 105 می‌باشد. با توجه به عدم امکان اتصال ذوبی آن‌ها، اتصال نفوذی روشی مناسب جهت اعمال روکش سرامیکی برروی سوپرآلیاژ NI 105 به نظر می‌رسد [7، 8، 9]. اتصال نفوذی از جمله اتصالات حالت جامد است که در آن امکان اتصال مواد مختلف از جمله اتصال سوپرآلیاژ به سرامیک امکان‌پذیر است [10].

با توجه به متفاوت بودن خواص سوپرآلیاژ NI 105 و سرامیک 3YSZ، اتصال این دو همواره با چالش‌هایی روبه‌رو خواهد بود. وجود لایه میانی سبب افزایش سطح تماس واقعی، کاهش تنش‌های پسماند و مانع از تشکیل ترکیب‌های پیش‌بینی نشده مضر می‌شود. وجود یک لایه از فلزهای فعال مانند تیتانیم در سمت سرامیک سبب بهبود وضعیت اتصال در این ناحیه می‌شود [11، 12]. براساس پژوهش‌های قبلی در فصل مشترک اتصال Ti/Nb یا Ti/Ni superalloy، ترکیب‌های بین‌فلزی تردی تشکیل می‌شود که خواص اتصال را کاهش می‌دهد، به همین منظور وجود یک لایه نیکل در سمت سوپرآلیاژ و یک لایه نیوبیوم در وسط مانع از تشکیل این ترکیبات در فصل مشترک اتصال می‌شود [10، 11، 13].

با توجه به متفاوت بودن ماهیت سرامیک و فلز مهمترین ناحیه اتصال در اتصال نفوذی NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ فصل مشترک Ti/3YSZ است. در این تحقیق به بررسی اثر دما و زمان اتصال بر ریزساختار فصل مشترک Ti/3YSZ در اتصال نفوذی NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ پرداخته شده است.

2- روش تحقیق

در این پژوهش از سوپرآلیاژ NI 105 به ضخامت 10mm و ابعاد $10\times15mm^2$ و نمونه‌هایی از سرامیک 3YSZ با ضخامت 3mm و ابعاد $10\times15mm^2$ به عنوان مواد پایه استفاده گردید. جدول (1) ترکیب شیمیایی نایمونیک 105 را نشان می‌دهد. فویل‌های تیتانیم با 99/8 درصد خلوص و ضخامت 500µm، نیوبیوم با 99/8 درصد خلوص و ضخامت 50µm و نیکل با خلوص بیش از 99/9 درصد و ضخامت 100µm به عنوان لایه میانی استفاده شدند.

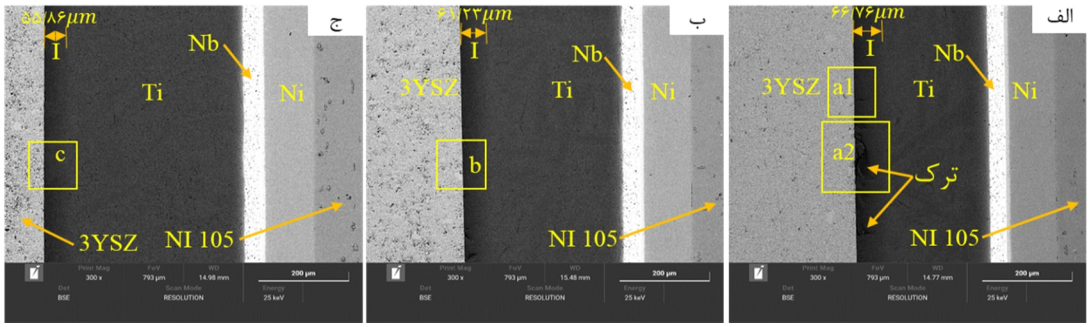
برای ساخت نمونه 3YSZ از پودر زیرکونیا با خلوص بیش از 99 درصد و دانه‌بندی 3-5µm و ایتریم اکسید با خلوص 99/99 درصد و دانه بندی 30-45nm و تکنیک اسپارک پلاسما زینتر (SPS) استفاده شد. استفاده از این روش به منظور دستیابی به نمونه‌های سرامیکی با چگالی مناسب و کاهش دما و زمان فرایند صورت گرفت. ابتدا پودر زیرکونیای حاوی 3 درصد مولی ایتریم اکسید با استفاده از دستگاه آسیاب گلوله‌ای با گلوله‌های آلومینایی و سرعت 300 دور بر دقیقه به مدت 150 دقیقه آسیاب شد. سپس پودر 3YSZ بدون استفاده از کمک زینتر و با استفاده از کاغذ گرافیتی به عنوان روانکار قالب درون قالب گرافیتی ریخته شده و تحت شرایط فشار تک محوری 35MPa، خلاء $5\times10^{-2}mbar$، و با سرعت گرمایش 50degree/min تا دمای 1250°C گرم شد و پس از 10 دقیقه تف‌جوشی در این دما در کوره سرد گردید. با استفاده از سنباده آلودگی کربنی ناشی از قالب و روانکار از روی نمونه تولید شده برطرف گردید. پس از آماده شدن مواد NI 105 و 3YSZ نمونه‌هایی از هر سه لایه میانی هم اندازه با مواد پایه آماده گردید. برای اتصال نفوذی ابتدا مواد پایه و فویل‌های Ti، Nb و Ni تا سنباده 5000 سنباده زنی شدند و سپس توسط نمد مخصوص و با استفاده از خمیر الماسه 0/1 میکرون پولیش گردیدند. سپس سطح آن‌ها توسط استون کاملا تمیز و در هـــوا

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]

جدول 1- ترکیب شیمیایی سوپر آلیاژ نایمونیک 105 (wt %)

عناصر	Ni	Co	Cr	Mo	Al	Ti	Mn	Fe	Si	Cu	C	Zr	B
wt. %	٤٧	٢٢	١٥/٧	٥/٥	٤/٩	١/٥	١	١	١	٠/٢	٠/١٧	٠/١٥	٠/١



شکل 1-تصاویر FESEM از اتصال 3YSZ/Ti/Nb/Ni/NI 105 در شرایط مختلف

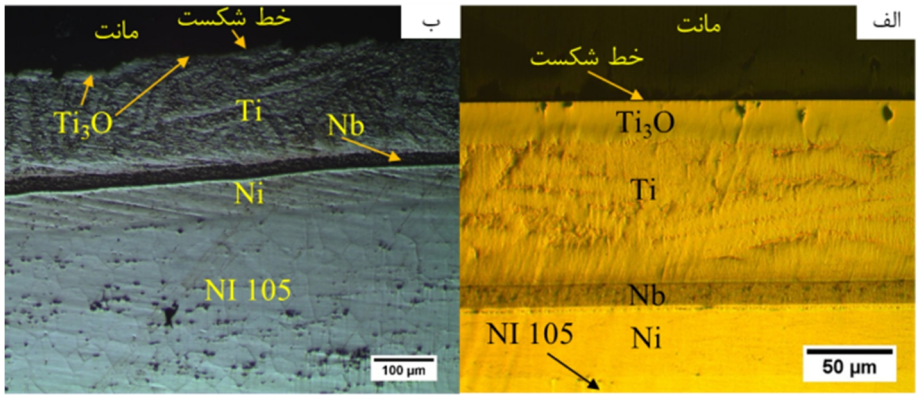
الف- دمای 960°C و زمان 20 دقیقه، ب- دمای 900°C و زمان 30 دقیقه، ج- دمای 900°C و زمان 20 دقیقه

خشک گردیدند. برای انجام اتصال نفوذی نمونه‌ها به ترتیب NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ با دقت روی هم قرار گرفته و در دستگاه SPS قرار داده شدند. اتصال نمونه در دماها و زمان‌های مختلف تحت فشار 30MPa و خلاء 5×10^{-2}mbar مطابق جدول (2) انجام گردید. به منظور متالوگرافی و مطالعات ریزساختاری، نمونه ابتدا تا سنباده 5000 سنباده زنی شد و سپس توسط نمد مخصوص و خمیر الماسه 0/1 میکرون پولیش گردید. ناحیه اتصال Ti/3YSZ نمونه‌ها بدون حکاکی تحت بررسی میکروسکوپی قرار گرفت. بررسی‌های ریزساختاری نواحی مختلف اتصال و آنالیز فازها با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی SEM و FESEM مجهز به سیستم آنالیز EDS انجام گردید. جهت اندازه‌گیری سختی لایه‌های تشکیل شده و ناحیه اتصال از میکروسختی سنج ویکرز با بار 200g استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

شکل (1) تصاویر FESEM از فصل مشترک اتصال NI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ در دماها و زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. از تصاویر مشاهده می‌شود که با کاهش دما و زمان اتصال ضخامت لایه واکنشی (ناحیه I) از 66/76 به 55/86µm کاهش‌یافته و در دمای°C 900 و زمان‌های 20و 30 دقیقه اتصال اتصال به درستی برقرار شده و هیچ ترکی در این اتصالات مشاهده نمی‌شود (شکل 1-ب و ج). از شکل مشاهده می‌شود که در دمای 960 °C و زمان 20 دقیقه (شکل 1- الف) در فصل مشترک Ti/3YSZ ترک‌هایی رخ داده است. در دمای 840°C اتصال حتی در زمان‌های نسبتا طولانی 60 دقیقه نیز برقرار نگردید (شکل 2-الف). نتایج نشان داد که در دمای 960°C و زمان 30 دقیقه نیز اتصال مناسبی حاصل نگردیده است (شکل 2-ب). بررسی‌ها نشان داد که در این دما لایه واکنشی تشکیل و اتصال حاصل گردیده است، ولی در طی سرد شدن در فصل مشترک Ti/3YSZ شکست رخ داده است. شکست ایجاد شده در فصل مشترک Ti/3YSZ می‌تواند ناشی از افزایش تنش‌های پسماند در این فصل مشترک به دلیل اختلاف ضریب انبساط حرارتی مواد پایه 3YSZ ($11/5\times10^{-6}\,°k^{-1}$) و NI105 ($16\times10^{-6}\,°k^{-1}$)و نیز استحاله‌فازی $Ti(\beta Ti \xrightarrow{865°C} \alpha Ti)$ باشد. در طی اتصال به دلیل گرم شدن مواد پایه و لایه‌های میانی و انبساط آن‌ها تنش‌های فشاری زیادی در فصل مشترک‌های اتصال ایجاد می‌شود. در حین سرد شدن به دلیل اختلاف در ضریب انبساط حرارتی و ضریب هدایت حرارتی مواد پایه 3YSZ و NI 105، زیرلایه NI 105 تحت انقباض شدید قرار گرفته در حالی‌که لایه سرامیکی با انعطاف‌پذیری بسیار کم مانع این انقباض می‌گردد. این عامل باعث ایجاد تنش

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]



شکل2- تصاویر میکروسکوپ نوری از اتصالات ناموفق الف- دمای860°C و زمان 60 دقیقه و ب- دمای960°C و زمان 30 دقیقه

جدول2-پارامترهای اتصال نفوذی نمونه‌ها

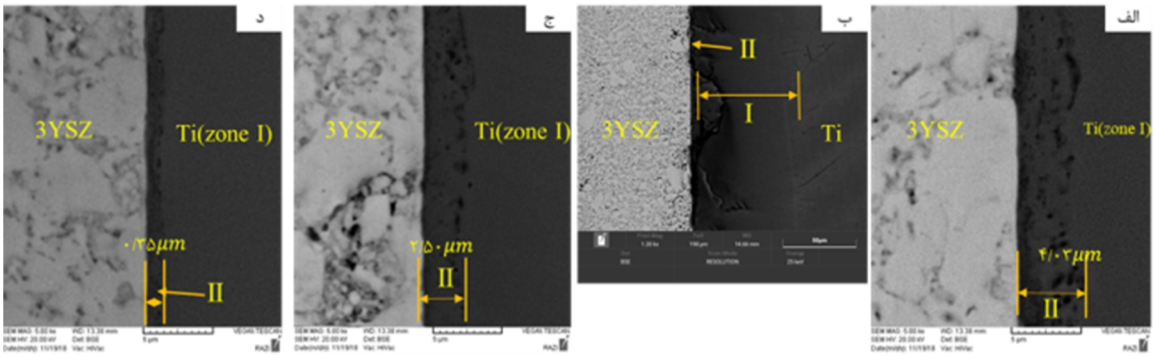
شماره نمونه	دمای اتصال	زمان نگهداری (min)	فشار (MPa)	فشار خلاء (mbar)
نمونه ۱	۹۶۰	۳۰	۳۰	۵×۱۰$^{-۲}$
نمونه ۲	۹۶۰	۲۰	۳۰	۵×۱۰$^{-۲}$
نمونه ۳	۹۰۰	۳۰	۳۰	۵×۱۰$^{-۲}$
نمونه ۴	۹۰۰	۲۰	۳۰	۵×۱۰$^{-۲}$
نمونه ۵	۸۴۰	۶۰	۳۰	۵×۱۰$^{-۲}$

کشش بسیار بالایی در فصل مشترک اتصال نزدیک به 3YSZ می‌گردد. بنابراین در بین فصل مشترک‌های اتصال (NI 105/Ni, Ni/Nb, Nb/Ti, Ti/3YSZ)، فصل مشترک Ti/3YSZ تحت بیشترین تنش کششی قرار می‌گیرد و لذا می‌تواند حساس‌ترین و ضعیف‌ترین فصل مشترک در اتصال چند لایه‌ای فوق باشد. نتایج مشابهی توسط دیگر محققان نیز گزارش گردیده است [14 و 15]. لذا در ادامه به تحلیل و بررسی فصل مشترک بحرانی Ti/3YSZ در دماها و زمان‌های مختلف اتصال پرداخته شده است.

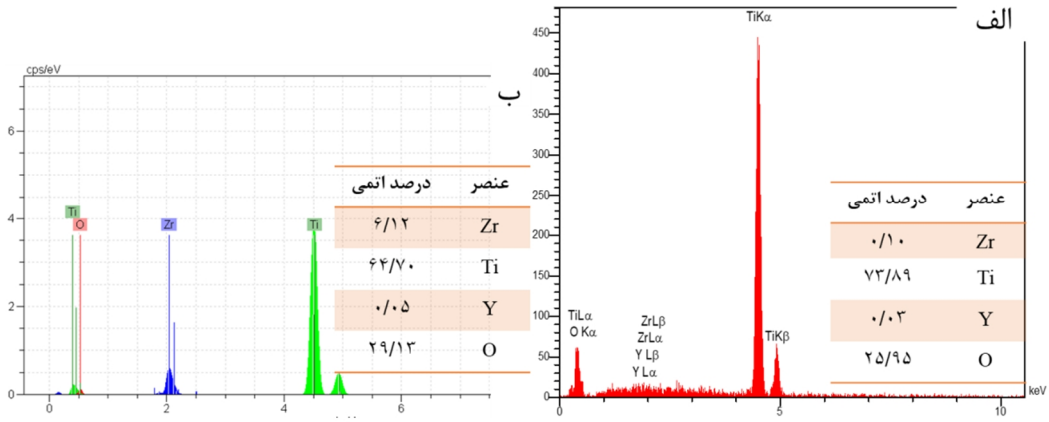
شکل (3) تصاویر SEM و FESEM از نواحی a1، a2، b و c (فصل مشترک Ti/3YSZ) مشخص شده در شکل (1) را نشان می‌دهد. از شکل مشاهده می‌شود که در فصل مشترک Ti/3YSZ دو ناحیه مجزای I و II قابل تشخیص است. در شکل‌های (1 و 3) این نواحی در فصل مشترک Ti/3YSZ به صورت یک ناحیه تیره و پهن در نزدیکی لایه Ti (ناحیه I) و یک ناحیه باریک نزدیک به 3YSZ (ناحیه II) قابل تشخیص هستند. تشکیل این دو ناحیه مجزا می‌تواند به دلیل تفاوت در سرعت نفوذ اتم‌های عناصر Ti، O و Zr در یک دما و زمان مشخص باشد.

از آنالیز EDS مشاهده می‌شود (شکل 4) که ناحیه I در نزدیک لایه میانی Ti حاوی Ti و O (حاصل از تجزیه زیرکونیا) بوده و با توجه به دیاگرام فازی Ti-O [16] و پژوهش‌های قبلی [17و18]، این ناحیه می‌تواند در برگیرنده ترکیب Ti_3O باشد. ناحیه II حاصل نفوذ متقابل Ti از سمت لایه میانی Ti به طرف 3YSZ و نفوذ عناصر O و Zr از 3YSZ به طرف لایه میانی Ti است. با توجه به حلالیت بالای Ti و Zr و دیاگرام‌های فازی Ti-O و Zr-Ti [16] این ناحیه می‌تواند شامل اکسید دوتایی $(Ti,Zr)_2O$ باشد. از شکل (3) در تصاویر الف، ج و د به وضوح مشخص است که با کاهش دما و زمان اتصال ضخامت ناحیه II کاهش یافته است (در دمای°C 860 حتی برای زمان 60 دقیقه نیز ناحیه II تشکیل نگردید و اتصال برقرار نشد (شکل 2-ب). شکل (3-ب) ناحیه مشخص شده a2 در شکل (1) را نشان می‌دهد که در آن ترک‌های ایجاد شده در ناحیه I به وضوح مشخص است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]



شکل3- تصاویر FESEM از نواحی مشخص شده در شکل1- الف- a_1، ب- a_2، ج- b و د- c



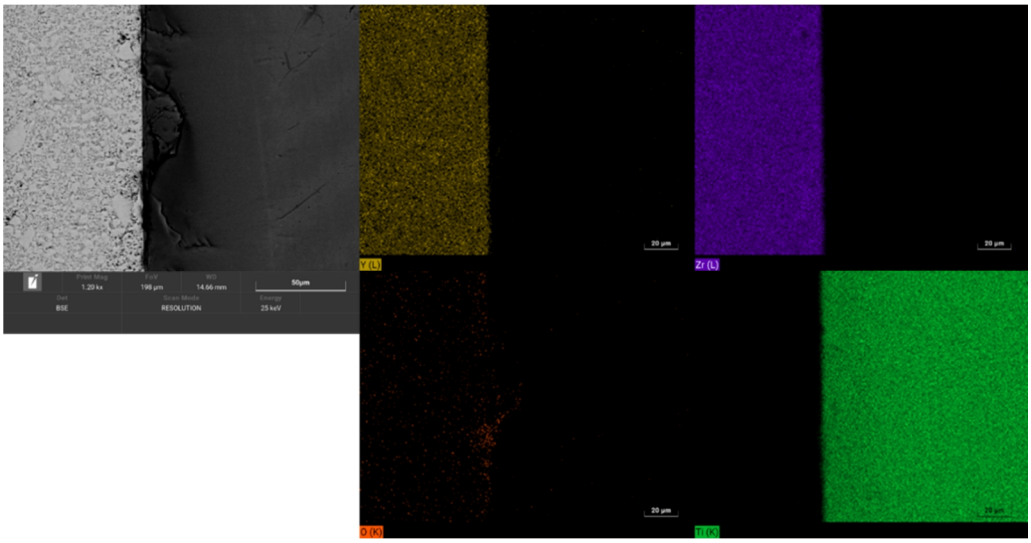
شکل4-نتایج آنالیز EDS الف- ناحیه I و ب- ناحیه II

در اتصالات نفوذی عامل اصلی اتصال، نفوذ اتم‌ها و پیوندهای متالورژیکی است و اتصال زمانی رخ می‌دهد که لایه واکنشی مناسب با ضخامت کافی در اثر نفوذ متقابل عناصر در دو طرف اتصال تشکیل گردد. اگر ضخامت لایه واکنشی کم باشد در این صورت فصل مشترک اتصال توانایی تحمل تنش‌های پسماند را نخواهد داشت و اتصال مناسبی رخ نمی‌دهد و در صورتی‌که اتصال ایجاد گردد، پیوند حاصل از استحکام کافی برخوردار نخواهد بود. اگر ضخامت لایه واکنشی تشکیل شده از یک حد بحرانی بیشتر شود، در این صورت نیز اتصال مناسب با استحکام کافی رخ نخواهد داد و تنش‌های پسماند موجود اثرات زیان‌بارخود را به صورت ترک‌هایی در لایه واکنشی نشان خواهند داد. براساس بررسی‌های انجام شده و تصاویر شکل(3) می‌توان گفت که اتصال مناسب در یک دما و زمان بهینه ایجاد می‌شود که در آن لایه واکنشی با ضخامت مناسب تشکیل گردد. براساس نتایج حاصل در این پژوهش، اتصال مناسب و بدون ترک با ضخامت کافی لایه واکنشی (ناحیه I و II) در شرایط دمای $900\ ^{o}C$ و زمان 30 دقیقه حاصل گردید.

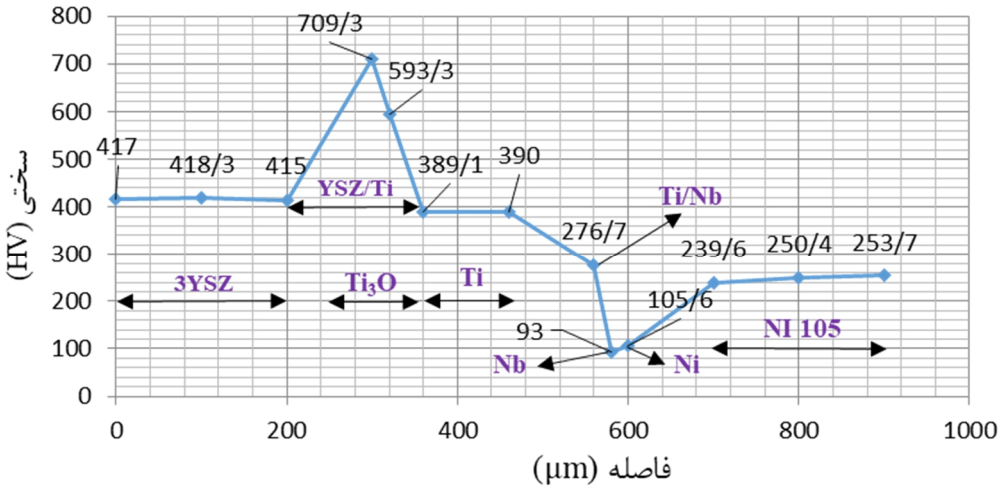
برای بررسی بیشتر ترک‌های ایجاد شده در فصل مشترک Ti/3YSZ با شرایط دمای اتصال $960\ ^{o}C$ و زمان 20 دقیقه تصاویر و آنالیز Map از ناحیه اتصال در این شرایط تهیه گردید (شکل 5). از شکل بوضوح مشاهده می‌شود که ترک‌ها در ناحیه واکنشی I که غنی از Ti و O (با ترکیب Ti_3O) هستند تشکیل گردیده است. همچنین از این تصاویر مشاهده می‌شود که عمق نفوذ عناصر Zr و Y تنها به ناحیه II محدود می‌شود و عامل تشکیل ناحیه I نفوذ اکسیژن به درون Ti می‌باشد. به اضافه توزیع عناصر براساس نتایج آنالیز Map در شکل (5) تشکیل Ti_3O در ناحیه I و اکسید دوتایی $(Zr, Ti)_2O$ در ناحیه II را تصدیق می‌کنند.

شکل (6) تغییرات سختی در طول اتصال در دمای $900^{o}C$ و زمان 30 دقیقه را نشان می‌دهد. مشهود است که سختی از سمت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]



شکل5- نتایج آنالیز Map از ناحیه ترک خورده در فصل مشترک Ti/3YSZ در دمای960°C و زمان 20 دقیقه



شکل6- پروفیل سختی سطح مقطع اتصال در دمای 900°C و زمان 30 دقیقه

سرامیک به فلز متغیر بوده و بیشترین سختی متعلق به لایه واکنشی تشکیل شده در فصل مشترک اتصال Ti/3YSZ ناشی از حضور فاز Ti_3O است. با توجه به رابطه بین سختی و حضور فازهای ترد می‌توان مشاهده نمود که با افزایش فازهای ترد سختی نیز افزایش یافته است. از این رو افزایش سختی و ترک‌های ایجاد شده در فصل مشترک Ti/3YSZ را می‌توان ناشی از حضور فازهای ترد دانست [19].

افزایش دما تا 960°C در فصل مشترک Ti/3YSZ باعث افزایش سختی و ضخامت لایه واکنشی گردیده و لذا باعث ایجاد ترک می‌شود. ضخامت لایه واکنشی II در دمای 900 °C و زمان 20 دقیقه نیز کم بوده و استحکام قابل قبولی ایجاد نخواهد شد. در صورتی‌که در دمای 900°C و زمان 30 دقیقه یک لایه‌های واکنشی با ضخامت مناسبی در ناحیه بحرانی Ti/3YSZ تشکیل شده است. لذا می‌توان شرایط دمای900°C و زمان 30 دقیقه را به عنوان شرایط مناسب اتصال پیش‌بینی نمود.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ریزساختاراتصال‌نفوذیNI 105/Ni/Nb/Ti/3YSZ حاصل از تکنیک SPS در دماها و زمان‌های مختلف مورد بررسی و مشخصه‌یابی قرار گرفت. نتایج حاصل در زیر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]

به اختصار ارایه گردیده است.

-اتصال نفوذی سوپرآلیاژ NI 105 به سرامیک 3YSZ با روش SPS در دمای 960°C و زمان 20 دقیقه و در دمای 900°C و زمان‌های 20 و 30 دقیقه با موفقیت انجام شد.

-اتصال مناسبی در شرایط 960°C و زمان 30 دقیقه (به دلیل ایجاد تنش‌های پسماند و شکست از ناحیه Ti/3YSZ)، 840 °C و زمان 60 دقیقه (به دلیل عدم تشکیل لایه واکنشی II) و در °C 960 زمان 20 دقیقه (به دلیل تشکیل ترک در ناحیه Ti_3O) تشکیل نگردید.

-بهترین اتصال در دمای 900°C زمان 30 دقیقه حاصل شد. در 900 °C و زمان 20 دقیقه نیز ضخامت لایه واکنشی II بسیار کم بود (اتصال ضعیف).

- بیشترین میزان سختی معادل 709/3 ویکرز در ناحیه Ti_3O از فصل مشترک سرامیک–تیتانیم (Ti/3YSZ) حاصل گردید. ترک‌های مشاهده شده در فصل مشترک نیز تماما در این ناحیه مشاهده شدند.

منابع

1-Wang, N., Wang, D.P., Yang, Z.W. and Wang, Y., 2016. "Interfacial microstructure and mechanical properties of zirconia ceramic and niobium joints vacuum brazed with two Ag-based active filler metals", Ceramics International, 2016, 42(11), pp.12815-12824.

2-Gorji, A.H., Simchi, A. and Kokabi, A.H., "Development of composite silver/nickel nanopastes for low temperature joining of yttria-stabilized zirconia to stainless steels", Ceramics International, 2015, 41(1), pp.1815-1822.

3-Tsukamoto, H., "Microstructure and indentation properties of ZrO2/Ti functionally graded materials fabricated by spark plasma sintering", Materials Science and Engineering: A, 2015, 640, pp.338-349.

4- Ghosh, S., "Microstructure and mechanical properties of a glass-ceramic bond coated TBC system" Procedia materials science, 2014, 6, pp.425-429.

5- Das, S., Datta, S., Basu, D. and Das, G.C., "Thermal cyclic behavior of glass–ceramic bonded thermal barrier coating on nimonic alloy substrate" Ceramics International, 2009, 35(6), pp.2123-2129.

6-White, R.J. and Miller, K.M., 1977. The role of quenched-in vacancies in the ageing of nimonic alloys. Journal of Nuclear Materials, 66(1-2), pp.101-106.

7-Gorji, A.H., Simchi, A. and Kokabi, A.H., 2015. Development of composite silver/nickel nanopastes for low temperature joining of yttria-stabilized zirconia to stainless steels. Ceramics International, 41(1), pp.1815-1822.

8- Cao, X.Q., Vassen, R. and Stoever, D., 2004. Ceramic materials for thermal barrier coatings. Journal of the European Ceramic Society, 24(1), pp.1-10.

9-Ghosh, S., 2014. Microstructure and mechanical properties of a glass-ceramic bond coated TBC system. Procedia materials science, 6, pp.425-429.

10-Li, J., Sheng, G. and Huang, L., 2016. Ti-Nb-Cu Stress Buffer Layer for TiC Cermet/304 Stainless Steel Diffusion Bonding. Rare Metal Materials and Engineering, 45(3), pp.555-560.

11-Yang, Z.H., Shen, Y.F., Wang, Z.Y. and Cheng, J.L., 2014. Tungsten/steel diffusion bonding using Cu/W–Ni/Ni multi-interlayer. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 24(8), pp.2554-2558.

12- Travessa, D., Ferrante, M. and Den Ouden, G., 2002. Diffusion bonding of aluminium oxide to stainless steel using stress relief interlayers. Materials Science and Engineering: A, 337(1-2), pp.287-296.

13- Deng, Y., Sheng, G. and Xu, C., 2013. Evaluation of the microstructure and mechanical properties of diffusion bonded joints of titanium to stainless steel with a pure silver interlayer. Materials & Design, 46, pp.84-87.

14-Cao, J., Liu, J., Song, X., Lin, X. and Feng, J., "Diffusion bonding of TiAl intermetallic and Ti3AlC2 ceramic: Interfacial microstructure and joining properties" Materials & Design (1980-2015), 2014, 56, pp.115-121.

15-Arik, H., Aydin, M., Kurt, A. and Turker, M., "Weldability of Al4C3–Al composites via diffusion welding technique" Materials & design, 2005, 26(6), pp.555-560.

16-Venkatraman, M., Neumann, J.P. and Massalski, T.B., 1990, "Binary alloy phase diagrams" ASM Handbook, 3, p.529.

17-Poddar, D., "Solid-state diffusion bonding of commercially pure titanium and precipitation hardening stainless steel" International Journal of Recent Trends in Engineering, 2009, 1(5), p.93.

18-Akca, E. and Gürsel, A., "The importance of interlayers in diffusion welding-A review" Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), 2015, 3(2).

19-Feng, K., Chen, H., Xiong, J. and Guo, Z., "Investigation on diffusion bonding of functionally graded WC–Co/Ni composite and stainless steel" Materials & Design, 2013, 46, pp.622-626.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-01-27]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.6.4]