علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال دوم، شماره ۱، بهار و تابستان ۹۵، صفحه ۲۰-۱۴

بررسی شکل ظاهری و خواص مکانیکی اتصال فولاد HNV3 به سوپرآلیاژ Nimonic 80A به روش جوشکاری اصطکاکی سر به سر

سارا ساکیان، حامد ثابت*، مهرداد عباسی

گروه مهندسی مواد و متالورژی ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج ، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۹ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۰۴)

چکیده

در این مقاله تاثیر پارامترهای جوشکاری اصطکاکی (فشار فورج و زمان جوشکاری) بر شکل ظاهری و خواص مکانیکی اتصال فولاد HNV3 به سوپرآلیاژ Nimonic 80A را نشان می دهد. بدین منظور دو میله با قطرهای ۲۰ میلیمتر از هر دو آلیاژ آماده شده و با پارامترهای مختلف (فشار فورج و زمان جوشکاری) با استفاده از روش جوشکاری اصطکاکی سربه سر به یکدیگر متصل شده اند. آزمون کشش برای مشخص شدن تاثیر پارامترهای جوشکاری بر روی نمونه ها انجام شده است و مشخص شده که با انتخاب درست پارامترهای جوشکاری، استحکام نهایی اتصال بین HNV3 و Nimonic 80A در مقایسه با مواد پایه افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: فولاد HNV3، سوپرآلیاژ Nimonic 80A، پارامترهای جوشکاری، جوشکاری اصطکاکی.

Study the Profile Shape and Mechanical Properties of Bonded Joint HNV3 to Nimonic 80A Superalloy with Inertia Friction Welding Method

S. Sakiyan, H. Sabet , M. Abbasi

Department of Materials Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

(Received 19 January 2016 ; Accepted 22 March 2016)

Abstract

This Paper presents the welding parameter's effect (forging pressure, welding time) on macrostructure and mechanical properties of friction welding valve steel HNV3 to Nimonic 80A super alloy. For this purpose, two rods with 20 mm diameters are prepared and with using different parameters (Increase forging pressure and welding time) by friction welding method are welded together. Tensile Test carried out on samples for investigating the effect of a parameter. It was discovered that when the welding parameters used in connecting HNV3 and Nimonic 80A Superalloy couple through friction welding were selected correctly; strength of the connection would increase compared to the main material.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی h-sabet@kiau.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

Keywords: Nimonic 80A Superalloy, HNV3 Steel, Welding Parameters, Friction welding.

۱- مقدمه

جوشکاری اصطکاکی یکی از فرآیندهای اتصال حالت جامد می باشد. مهمترین مزیت های فرآیند جوشکاری اصطکاکی سرعت بالای اتصال، تمام اتوماتیک بودن فرآیند، محدوده HAZ[1] کم است. با این روش می توان اغلب فلزات و آلیاژهای متداول صنعتی و همچنین تعداد زیادی از آلیاژهای غیرمشابه را به یکدیگرمتصل نمود [۱]. دلیل اصلی که جوشکاری اصطکاکی، فرآیند مناسبی برای اتصال فلزات و آلیاژهایی است که قابلیت جوشکاری پائینی دارند، این است که، حرارت جوشکاری تولید شده مابین دو قطعه ای که باید به یکدیگر متصل شوند، بسیار کمتر از روشهای دیگر است که این مسئله خود باعث جلوگیری از پیدایش ترکیبات مضر و مناطق حرارت دیده در فلزات متصل شده می شود[۲]. سیکل زمانی جوشکاری اصطکاکی می تواند به سه مرحله اصلی تقسیم بندی شود[۳]: مرحله اصطکاک، مرحله توقف (ترمز)، مرحله فورج در مرحله اصطکاک، چرخش و نیروی اصطکاک با یکدیگر اعمال می شوند و در نتیجه، آپست بوجود می آید. در هنگام تماس دو قطعه با یکدیگر، اصطکاک ایجاد شده تولید حرارت می نماید و حرارت ایجاد شده به همراه فشار اعمالی بالا، سبب اتصال قطعات به هم می گردد. در برخی از نقاط اتصال، چسبندگی بیشتر و در برخی مناطق، چسبندگی کمتر خواهد بود. با افزایش تماس بین دو سطح، اصطکاک و دمای سطوح بالاتر می رود. نقاطی که بین دو سطح تحت تغییر شکل پلاستیک قرار گرفته اند پس از مدتی به هم می پیوندند. **اما در** مرحله توقف، موتور خاموش می شود ولی اسپیندل هنوز دارای چرخش است و در خلال این مرحله (هنوز اسپیندل کاملاً متوقف نشده است) نیروی فورج اعمال می شود[۳]. در پایان ، فشار فورج در راستای محور قطعاتی که قرار است به هم متصل شوند، اعمال می گردد. در حین کاهش سرعت چرخش، گشتاور دومی اعمال می شود که سبب کاهش دمای سطوح می شود. با کاهش سرعت چرخش این گشتاور نیز کاهش می یابد. لذا فشار فورج در خلال مرحله توقف اعمال شود تا از کاهش دمای قطعات جلوگیری بعمل آید. میزان فشار فورج بستگی به شکل و استحکام فلزات یا آلیاژهای تحت جوشکاری دارد. همچنین باید فشار فورج در مدت زمان کافی اعمال شود تا پیوستگی در فصل مشترک بوجود آید[۴و۵].یک اتصال مناسب در شرایطی حاصل می گردد که پارامترهای جوشکاری اصطکاکی (شامل: سرعت، فشار و زمان) صحیح و درست انتخاب شوند[۶]. فشار اعمالی در مرحله اصطکاک (برای تولید گرما) و همچنین در مرحله فورج، باید در محدوده معینی قرار گیرد. فشار اعمالی بستگی به جنس و هندسه (اندازه و شکل) قطعات دارد. فشار اصطکاکی (برای تولید گرما) باید به اندازه کافی باشد تا از اکسایش احتمالی سطوح جلوگیری نماید.[۴].

۲- روش تحقیق

جهت انجام تحقیق میله هایی به قطر ۲۰ میلیمتر از فولاد سوپاپ HNV3 و سوپرآلیاژ پایه نیکل Nimonic 80A تهیه گردید و سطح نمونه ها به منظور فرآهم شدن شرایط مناسب برای اتصال مناسب توسط دستگاه فرز لایه برداری گردید. جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد سوپاپ HNV3 و سوپرآلیاژ پایه نیکل Nimonic 80A را ارائه می دهد. نمونه های آماده شده با استفاده از روش جوشکاری اصطکاکی سر به سر به هم متصل شدند. زمان جوشکاری متغیر بین ۱۰ تا ۱۴ ثانیه و فشار فورج بین ۱۵۵۰ تا ۲۲۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. پس از جوشکاری نمونه هایی از محل اتصال میله ها تهیه شده و آزمون های کشش بر روی نمونه ها انجام شده است. جدول شماره ۲ در بر گیرنده پارامترها و تغییرات آنها را بر روی نمونه های مورد بررسی است. در این تحقیق فشار اصطکاکی و دور در دقیقه ثابت در نظر گرفته شده و تاثیر افزایش فشـــــار

1 - Heat Affected Zone

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱- آنالیز شیمیایی (درصد وزنی) فولاد HNV3 و سوپر آلیاژ Nimonic 80A.

مواد	کربن	سیلسیم	منگنز	کروم	فسفر	گوگرد	تیتانیوم	نیکل	آهن	منگنز	مس
HNV3	۰/۴۳۱	۳/۸۹	۱/۱۸۷	۷/۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۲۵	۸۷/۲	۰/۱۵۷	۰/۰۲۸
NIMONIC 80A	۰/۰۶۰	۰/۰۰۱	۰/۸۴۰	۲۰/۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۲/۴۹۱	۷۰/۵۸	۲/۴۹	۰/۸۴	۰/۰۱

جدول ۲- عوامل متغییر در جوشکاری.

شماره نمونه	استحکام شکست (MPa)	فشار فورج (MPa)	زمان جوش (Sec)
A1	۶۵۰	۱۵۵۰	۱۰
A2	۶۸۰	۱۸۰۰	۱۰
A3	۷۰۰	۲۰۰۰	۱۰
A4	۶۹۰	۲۲۰۰	۱۰
B1	۶۶۰	۱۵۵۰	۱۲
B2	۷۰۰	۱۸۰۰	۱۲
B3	۹۹۸	۲۰۰۰	۱۲
B4	۷۸۵	۲۲۰۰	۱۲
C1	۸۰۰	۱۵۵۰	۱۴
C2	۸۱۰	۱۸۰۰۰	۱۴
C3	۹۰۰	۲۰۰۰	۱۴
C4	۹۲۰	۲۲۰۰	۱۴

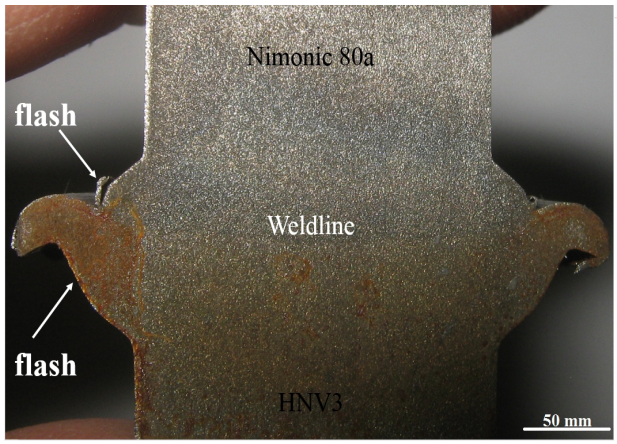
فورج و زمان جوشکاری مورد بررسی قرار گرفته است. از روش جوش اصطکاکی به منظور اتصال سوپرآلیاژ پایه نیکل Nimonic 80Aبه فولادHNV3 استفاده گردیده است. نمونه های آزمون کشش عرضی مطابق استاندارد ASTM E8 تهیه شده و با استفاده از دستگاه INSTRON 6027 انجام گرفته است. جهت افزایش دقت بررسی هر یک از شرایط ذکر شده در جدول شماره ۲، دو نمونه تحت آزمون کشش قرار گرفته شده که متوسط نتایج آنها معیار مورد بررسی در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

در این روند جوشکاری اصطکاکی یک عضو ثابت در برابر یک عضو دوار قرار می گیرد که حرکت اصطکاکی دورانی حرارتی را تولید می کند، که باعث نرم شدن مواد و تغییر شکل پلاستیک در محل تماس می گردد. مرکان و هماکارانش[۷] گزارش کرده اند که در محل اتصال مواد جوش داده شده به روش جوشکاری اصطکاکی، مواد تغییر فرم یافته (تغییر شکل پلاستیک) در مرحله فورج از فصل مشترک جوش به صورت پلیسه خارج می شوند که این امر سبب کوتاه شدن طول نهایی قطعه نسبت به قبل از اتصال می گردد. شکل ۱ نشان دهنده تصویر ماکروسکوپی اتصال فولادHNV3 به Nimonic 80A است که فلش (بیرون زدگی) ایجاد شده در هر دو طرف جوش در این تصویرقابل مشاهده است. در پروسه جوش اصطکاکی به دلیل متفاوت بودن خواص فیزیک و مکانیکی متفاوت دو قطعه اتصال یافته مثل استحکام، ضریب هدایت حرارتی و... هر دو آلیاژ فولادی و سوپرآلیاژ از نرخ کرنشی متفاوتی برخوردار هستند. نتایج نشان دهنده این مطلب است که دما در منطقه تغییر فرم یافته افزایش یافته است. دما در این ناحیه ممکن است تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد[۸و۹]. سایز فلش در سمت فولاد بیشتر از سمت سوپر آلیاژ است. به علت استحکام کمتر قطعه فولادی در دماهای بالا تنش های ایجاد شده در منطقه فولادی ممکن است کمی بیشتر از منطقه سوپرآلیاژ باشد که سبب شکل گیری فلش بیشتر در منطقه فولادی گردیده است. نواحی تحت تاثیر حرارت در کیفیت نهایی اتصال بسیار تاثیر گذار هستند. با تغییر پارامترهای جوشکاری متناسب با جدول ۲ سایز فلش ایجـــاد شده در دو

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

طرف اتصال متفاوت خواهد بود.

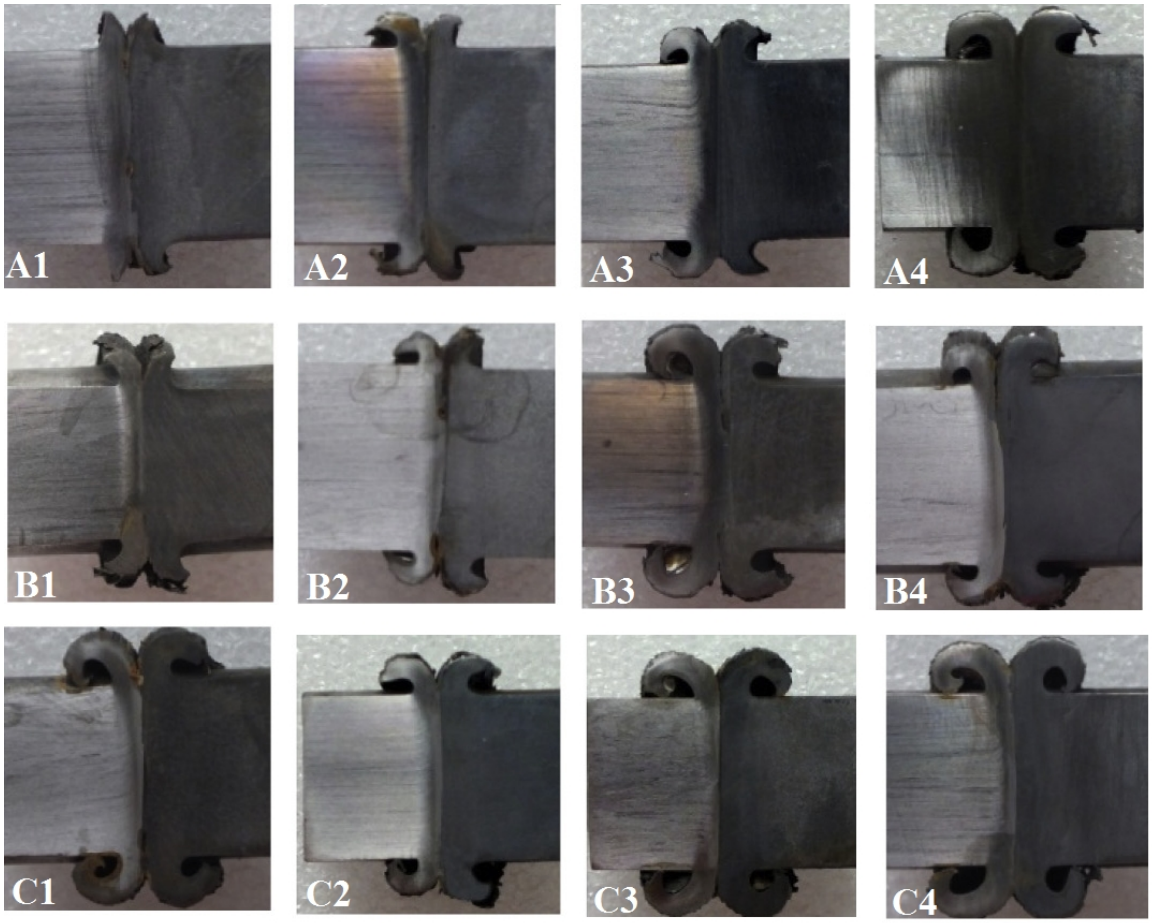


شکل۱- سطح مقطع اتصال و فلش شکل گرفته در هر دو ناحیه فولادی و سوپرآلیاژی.

شکل ۲ سایز و شکل فلش ایجاد شده در نمونه های را نشان می دهد و شکل ۳ نشان دهنده نمودار نرخ کاهش طول با توجه به تغییر پارامترهای جوشکاری در نمونه های مختلف است. برای یک محدوده سرعت مشخص، فشار پائین سبب می گردد که اتصال در راستای محوری به خوبی انجام نگیرد و فشار اعمالیِ بالا موجب آن می شود که گرما به شکل موضعی در بعضی از نقاط افزایش یافته و جوش خوردن در این نقاط به سرعت رخ دهد. همچنین برای یک محدوده سرعت چرخش معین، فشار کم موجب کاهش تولید حرارت و در نهایت کاهش طول با سرعت کمتری انجام می شود به عبارت دیگر میزان کاهش طول نهائی کاهش می یابد. فشار بالا باعث می شود که حرارت بصورت موضعی (و در نتیجه دما بصورت موضعی) بالا رفته و کاهش طول با سرعت بسیار بالائی انجام شود. کنترل فشار سبب کنترل گرادیان حرارتی در منطقه اتصال و کنترل میزان تماس قطعات کار می شود[۸و۹]. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود اندازه فلش ایجاد شدده در نمونه های مختلف با تغییر پارامترهای جوشکاری متفاوت خواهد بود. با توجه به شکل ۳ ، اگر در گروه A زمان ۱۰ ثانیه و در گروه B زمان ۱۲ثانیه باشد، با افزایش زمان از A به B و از B به C میزان کاهش طول افزایش یافته است و این بدین معناست که طول نهایی نسبت به طول اولیه با افزایش زمان جوشکاری بیشتر کاهش یافته است. علت این پدیده را می توان بالا رفتن دما در فصل مشترک اتصال با افزایش زمان جوشکاری دانست. با افزایش زمان و بالا رفتن دما میزان مواد تغییر فرم یافته افزایش یافته و در نتیجه طول بیشتری از مواد پایه مصرف می شود و طول نهایی کاهش بیشتری خواهد داشت. اما در هر گروه با افزایش فشار فورج باز هم میزان کاهش طول افزایش داشته است. با افزایش فشار فورج میزان مواد پلاستیک ایجاد شده بیشتری از فصل مشترک به صورت پلیسه خارج می شوند که این امر سبب کاهش بیشتر طول نهایی می گردد. با توجه به نتایج مشاهده شده از سایز فلش و اندازه گیری میزان کاهش طول در ناحیه اتصال انتظار می رود که با افزایش اندازه فلش استحکام نهایی اتصال نیز افزایش یابد.

شکل ۴ استحکام شکست نمونه ها را با توجه به افزایش فشار فورج و زمان جوشکاری نشان می دهد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می شود که در هر گروه در بازه زمانی ثابت با افزایش فشار فورج، استحکام افزایش یافته است. ولی در هر گروه نمونه ۳ دارای بیشترین استحکام نسبت به نمونه های دیگر است. با افزایش فشار فورج فرورفتن مواد خمیری بیشتر شده و استحکام افزایش می یابد ولی با افزایش بیشتر فشار فورج مواد خمیری بیشتری از فصل مشترک اتصال خارج می شود و در نتیجه (در نمونه ۴) به علت خروج بیش از حد مواد خمیری ایجاد شده استحکام نهایی کاهش می یابد. زمان گرمایش زیاد، موجب کاهش بهره وری و از بین رفتن مواد و درنتیجه هزینه های اضافی می شود. ولی در مقابل زمان گرمادهی پائین باعث می شود که حرارت بطور یکنواختی پخش نشده و اکسیدها و ناخالصی ها در فصل مشترک باقی بمانند. در نقاط مرکزی به دلیل سرعت چرخش پائین، ممکن است که گرمای کافی تولید نشود، لذا باید اجازه داده شود تا که نفوذ حرارتی از سطوح خارجی به سمت داخل صورت گیرد، لذا زمان حرارت دهی نیز نباید بسیار کوتاه باشد. در یک کاهش طول مشخص، زمان گرمایش وابستگی شدیدی به فشار اعمالی و سرعت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل۲- نمایی از تغییرات ایجاد شده در فلش شکل گرفته در نمونه های مختلف با تغییر پارامترهای جوشکاری.

چرخش قطعات دارد. با افزایش فشار اعمالی، زمان گرمایش با نرخ کاهنده ای کاهش می یابد و همچنین در یک فشار اصطکاکی معین با افزایش سرعت، زمان گرمایش کاهش می یابد[۴]. با افزایش زمان از گروه A به B استحکام اتصال به علت بالا رفتن دما و بیشتر شدن مواد خمیری در فصل مشترک، استحکام افزایش می یابد ولی با افزایش زمان از گروه B به C با کاهش استحکام همراه است.

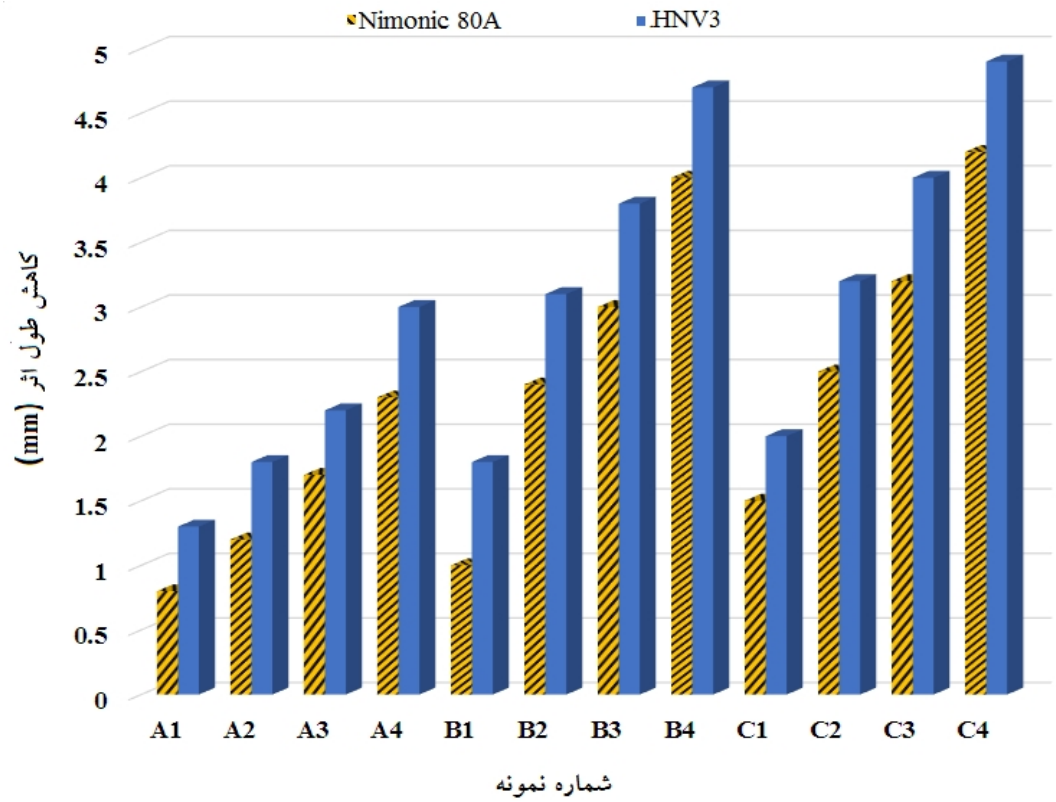
علت این پدیده بالارفتن دما، افزایش مواد خمیری است که به علت اعمال فشار فورج از ناحیه فصل مشترک خارج شده و استحکام را کاهش می دهند. با توجه به موارد ذکر شده نمونه B3 دارای بیشترین استحکام نسبت به نمونه های دیگر است و به عبارتی زمان ۱۲ ثانیه و فشار فورج ۲۰۰۰ مگاپاسکال بهترین پارامترها برای اتصال دو قطعه HNV3 و Nimonic 80A می باشند.

۴- نتیجه گیری

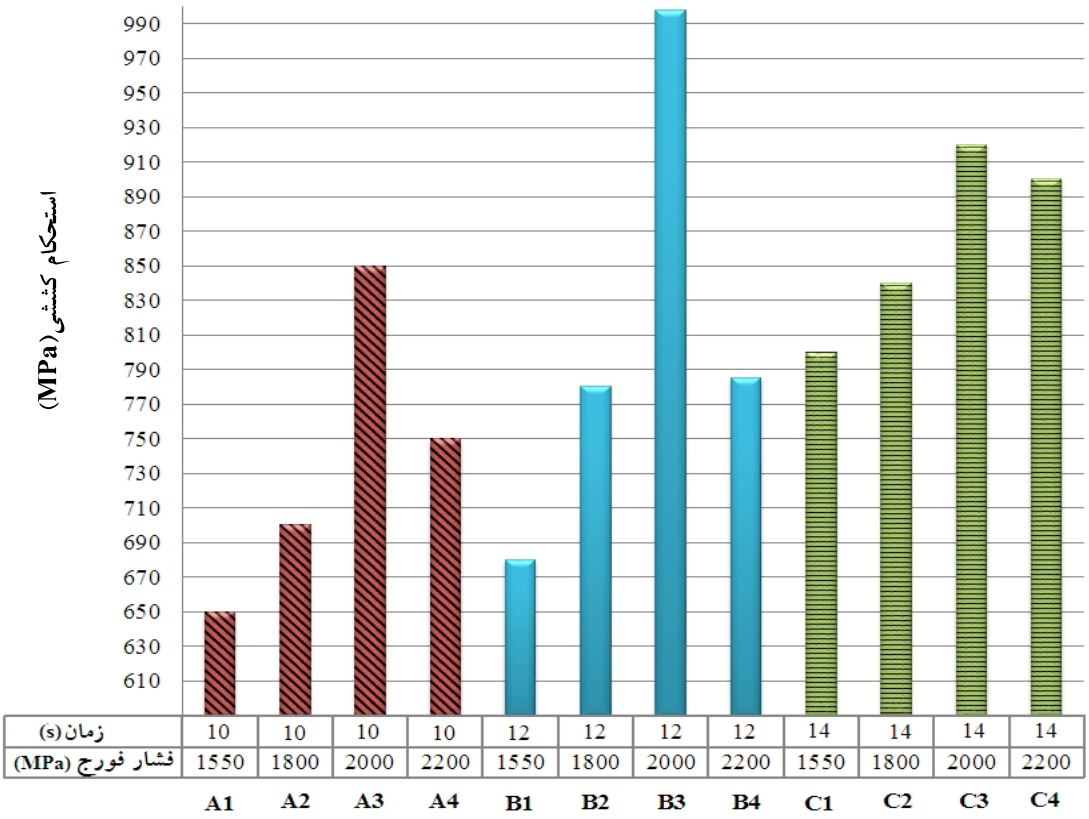
در این مقاله ساختار مکانیکی اتصال حاصل از جوشکاری اصطکاکی HNV3 به سوپرآلیاژ Nimonic 80A مورد بررسی قرار گرفته شده و نتایج زیر حاصل گردید:

- به علت خواص مکانیکی و فیزیکی متفاوت فولاد HNV3 و سوپر آلیاژ Nimonic 80A اندازه فلش ایجاد در دو طرف اتصال متفاوت بوده و در قسمت فولادی بزرگتر می باشد.
- تغییر پارامترهای جوشکاری بر اندازه و شکل فلش ایجاد شده در دو طرف اتصال تاثیر گذار بوده و با افزایش فشار فورج و زمان جوشکاری نرخ کاهش طول در نمونه ها افزایش یافته است.
- با افزایش فشار فورج و زمان جوشکاری استحکام نهایی اتصال (تا ۱۲ ثانیه) افزایش یافته ولی با افزایش بیشتر زمان (۱۴ ثانیه) با عث کاهش استحکام گردیده است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل۳- میزان طول کاهش یافته با افزایش فشار فورج و زمان جوشکاری.



شکل ۴- نمودار استحکام شکست نمونه ها با توجه به افزایش فشار فورج و زمان جوشکاری.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

- نمونه B3 با زمان جوشکاری ۱۲ ثانیه و فشار فورج ۲۰۰۰ مگاپاسکال دارای بیشترین استحکام می باشد.
- تعیین دقیق پارامترهای جوشکاری می تواند بر استحکام نهایی اتصال بسیار تاثیر گذار باشد.

منابع

1- Messler, R.W., "Principles of Welding", Materials Science and Engineering Department, Vol 1, pp.100-245, 2004.

2- Tin, S., Pollock, M.T., "Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure and Properties", Journal of Propulsion and Power, Vol. 22, No. 2, pp.1-14, 2006.

3- Bayindir, R., Ates, A.,"Low-cost and High Sensitively Microcontroller Based Control Unit for a Friction Welding Machine", Journal of Materials Processing Technology, Vol.189 (1-3), pp.126-131, 2007.

4- Maalekian, M., "Friction Welding- Critical Assessment of Literature", Science and Technology of Welding & Joining, 12(8), pp.738-759, 2007.

5- Domblesky, J., Kraft, F.F., "Metallographic Evaluation of Welded Forging Performs", Journal of Materials Processing Technology, Volume 191(1-3), pp.82-86, 2007.

6- Robert, W., messler, J.R., "Joining of Materials and Structures: From Process to Enabling Technology", Elsevier Butterworth-heinemann, pp.123-127, 2004.

7- Mercan, S., Aydin, S., Ozdemir, N., "Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding", International Journal of Fatigue 81, pp.78-90, 2015.

8- Lee, D.G., Jang, K.C., Kuk, J.M and Kim, I.S., "Fatigue properties of inertia dissimilar friction-welded stainless steels", Journal of Materials Processing Technology 155/156, pp.1402–1407, 2014.

9- Preuss, M., Withers, P.J., Baxter, G.J., "A comparison of inertia friction welds in three nickel base superalloys", Materials Science and Engineering A 437, pp.38–45, 2006.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]