تحقیق و توسعه مواد پرانرژی
سال چهارم- شماره ۱- شماره پیاپی ۶- بهار و تابستان ۱۳۸۷

تأثیرعملیات حرارتی بر خواص مکانیکی اتصال جوشکاری انفجاری برنج- فولاد

حمید عربی*، علی مهدی پور عمرانی

تهران- دانشگاه صنعتی مالک اشتر

* E-mail: Hamid_Arabi20@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، اثر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی اتصال جوش انفجاری بین برنج و فولاد بررسی شده است. بدین منظور نمونه های اتصال یافته در سیکل های عملیات حرارتی مختلف قرار گرفته و سیکل مناسب تعیین شد. سپس با انجام آزمایش برش، مطابق استاندارد ASTM B 432، استحکام برشی اتصال عملیات حرارتی شده و عملیات حرارتی نشده مورد بررسی قرار گرفت. بررسی های متالوگرافی برای تعیین اثر سیکل های مختلف عملیات حرارتی بر نمونه ها و مقایسه آنها با نمونه اصلی بدون عملیات حرارتی انجام گرفت، نتایج نشان داد که بعد از عملیات حرارتی در ۷۰۰ درجه سانتیگراد به مدت نیم ساعت، دانه ها کاملاً بلوری شده اند و با افزایش زمان عملیات حرارتی دانه ها رشد را شروع کرده اند. اگرچه استحکام برش نمونه عملیات حرارتی نشده بالاتر از نمونه عملیات حرارتی شده می باشد اما چقرمگی نمونه عملیات حرارتی شده بسیار بالاتر از نمونه عملیات حرارتی شده است. از این رو در کاربردهای حساس جهت جلوگیری از شکست ناگهانی و بالا رفتن چقرمگی اتصال، عملیات حرارتی مناسب توصیه می شود.

واژه های کلیدی: جوشکاری انفجاری، برنج، فولاد، عملیات حرارتی، آزمایش برش

۱- مقدمه

جوشکاری انفجاری، روشی برای انجام عملیات جوشکاری است که در آن، دو یا چند صفحه فلزی با فشار زیادی که از انفجار ناشی می‌شود به هم متصل می‌شوند. اتصال در جوش انفجاری در اثر برخورد شدید و زاویه دار دو صفحه جوش ایجاد می‌شود [۲و۱]. از آنجا که اثر گرمایی زیادی در جوشکاری انفجاری وجود ندارد، این روش مشخصات دیگر انواع جوش نظیر لحیم کاری سخت، الکترود دستی یا جوش نوردی را ندارد. در این روش، ناحیه متأثر از گرمای جوش (HAZ) وجود ندارد، بنابراین ورق‌های بسیار نازک را هم می‌توان با آن اتصال داد [۵-۳]. تصویر روش جوش انفجاری، در شکل ۱ آورده شده است. برخورد زاویه دار، لایه نازکی از فلز را به صورت جت از

سطح دو فلز به بیرون می راند. ضخامت این لایه معمولاً کمتر از ۰/۰۵ میلیمتر می‌باشد.

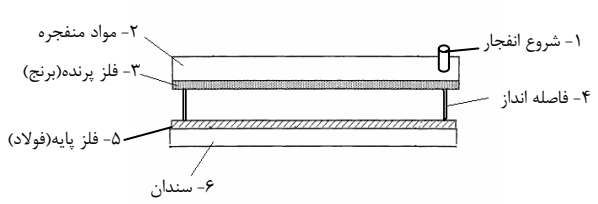
با خارج شدن لایه سطحی از سطح اتصال دو فلز، سطوحی که باید اتصال یابند تمیز می‌شود [۷و۶]. سطوح تمیز دو فلز تحت فشار زیادی به هم پرس می‌شوند. با نزدیک شدن اتم‌ها در حد فاصله اتمی بین اتم‌های دو فلز اتصال ایجاد می‌شود [۱۰-۸].

مانند دیگر روشهای جوشکاری روش جوش انفجاری، پارامترهایی در حین جوش و پارامترهای فرآیندی پس از جوش دارد که برکیفیت اتصال تأثیرگذار است. در این تحقیق، اثر عملیات حرارتی پس از اتصال در کیفیت و چگونگی اتصال بررسی شده است و سیکل مناسب و اقتصادی برای عملیات حرارتی پس از جوش بدست آمده است.

۲- روش انجام آزمایش

۲-۱- جوشکاری انفجاری

همانند آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است، برای اتصال دو فلز به هم از چیدمان تخت استفاده شده است. در این تحقیق از برنج به عنوان صفحه پرنده[۱] و از فولاد به عنوان صفحه پایه[۲] استفاده شده است. همانطور که در شکل آورده شده است صفحه پرنده به فاصله معینی از صفحه پایه قرار میگیرد. این فاصله بوسیله فاصله اندازها[۳] تامین میگردد. ترکیب شیمیایی برنج و فولاد استفاده شده، در جدول ۱ آورده شده است. صفحه پرنده و پایه به ابعاد ۲۰×۲۰۰×۳۰۰ میلیمتر تهیه شدند. به عنوان مادهٔ منفجره از پودر انفجاری آنفو ۶ درصد (۹۴ درصد نیترات آمونیوم و ۶ درصد گازوئیل) استفاده شد. سرعت انفجار این ماده بین ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر برثانیه بوده و دانسیته آن gr/cm^3 ۰/۸۵ می‌باشد. سرعت صفحه پرنده، نسبت مادهٔ منفجره[۴] و دیگر پارامترها در جدول ۲ آمده است.



شکل۱- چیدمان جوشکاری انفجاری

۱- Flayer Plate
۲- Base plate
۳- Spacers
۴- Explosive ratio

۲-۲- تعیین سیکل عملیات حرارتی

مبنای تعیین سیکل عملیات حرارتی، بازپخت و تبلور مجدد فولاد قرار گرفت. به این منظور سه نمونه در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد در زمان های مختلف قرار گرفتند و تاثیر عملیات حرارتی مربوطه بر روی آنها بررسی شد. شرایط هر نمونه در جدول ۳ آورده شده است. در عملیات حرارتی، ابتدا کوره به دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد رسانده شده و سپس نمونه ها درون کوره قرار داده شده اند. بعد از اتمام زمان عملیات حرارتی نمونه ها از کوره بیرون آورده شده و در دمای محیط به آرامی سرد شده اند.

۲-۳- متالوگرافی

از تمامی قطعه ها، نمونه متالوگرافی تهیه شد. تمامی نمونه های متالوگرافی مورد سنباده زنی و پولیش تا سطح μm ۱ قرار گرفتند. برای مشخص شدن ریزساختار، نمونه‌ها با محلول نایتال ۲ درصد به مدت یک دقیقه اچ شدند. نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری مدل Unimet 8799 بررسی متالوگرافی شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد استفاده شده

	C	Mn	Ni	Cr	Cu	Zn
فولاد	۰/۰۲	۰/۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	-
برنج	-	-	-	-	۷۰	۳۰

جدول ۲- شرایط انفجار

سرعت صفحه پرنده (m/s)	جرم صفحه پرنده (gr)	جرم ماده منفجره (gr)	نسبت انفجار R
۶۸۰	۱۰۲۰۰	۸۴۰۰	۰/۷

جدول ۳- سیکل عملیات حرارتی نمونه ها

نام نمونه	الف	ب	ج	د
زمان نگهداری در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد (دقیقه)	اصلی(۰)	۳۰	۶۰	۹۰

۲-۴- آزمایش مکانیکی

نمونه‌های آزمایش برش طبق استاندارد ASTM B432 تهیه شدند. ابعاد نمونه‌ها درشکل ۲ آورده شده است.

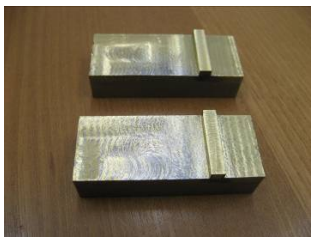
برای انجام آزمایش از فیکسچر مناسب (شکل۳) استفاده و آزمایشات توسط دستگاه Instron ۸۵۰۲ در حالت فشاری انجام شده است. سرعت حرکت فک دستگاه ۰/۵ میلیمتر بر دقیقه انتخاب شد.

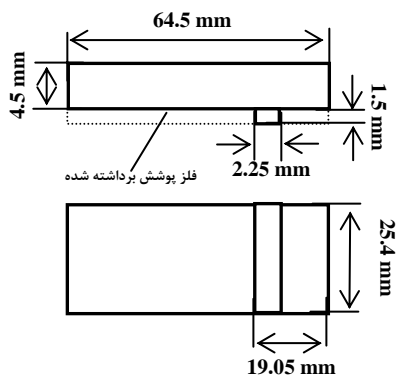
۳- نتایج و بحث

تصاویر متالوگرافی نمونه ها، قبل و بعد از عملیات حرارتی در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که در شکل ۴ الف ملاحظه می‌شود در فاصله کمی از سطح، دانه‌ها تغییر شکل زیادی داده‌اند و لایه نازکی در حد چند میکرومتر وجود دارد که در آن هیچگونه ریزساختاری دیده نمی‌شود. این به دلیل تغییر شکل زیاد نمونه‌ها، علی الخصوص در ناحیه فصل مشترک جوش می‌باشد.

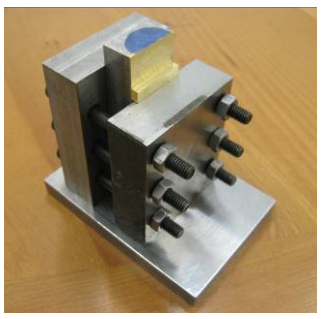
بعد از فرآیند جوش هر دو فلز به کار برده شده در محدودهٔ یک تا سه میلیمتر از ضخامت آنها کمتر شده است که بیشتر این تغییر شکل مربوط به فصل مشترک می‌باشد. همانطورکه در تصویرها دیده می شود، نمونه با زمان عملیات حرارتی ۳۰ دقیقه کاملاً فصل مشترکی واضح و روشن دارد و تمامی دانه‌های تغییر شکل یافته متبلور شده‌اند. بنابراین زمان عملیات حرارتی ۳۰ دقیقه برای تنش زدایی و تبلور مجدد استاتیک دانه‌ها کافی بوده است. با افزایش زمان عملیات حرارتی (در نمونه ج) کاملاً رشد دانه‌ها مشخص است و با افزایش به زمان رشد بیشتری ملاحظه می‌شود. بنابراین زمان عملیات حرارتی ۳۰ دقیقه کاملاً اقتصادی و کافی است. برای نمونه ج تصاویر متالوگرافی در فاصله‌های متفاوت از سطح تهیه شده است. همانطور که در شکل ۵ مشخص است اندازه دانه‌ها با افزایش فاصله از سطح مشترک رشد محسوس دارد.

در واقع به دلیل اینکه تغییر شکل در فصل مشترک متمرکز شده است، کرنش بیشتری در فصل مشترک وجود دارد و در نتیجه دانه‌ها متبلور شده و بسیار ریز هستند اما با افزایش فاصله از سطح مشترک اندازهٔ دانه‌ها درشت تر شده و در فاصلهٔ ۳ میلیمتری از فصل مشترک تقریباً به فصل مشترک (شکل ۵ ج) فلز پایه می‌رسیم.

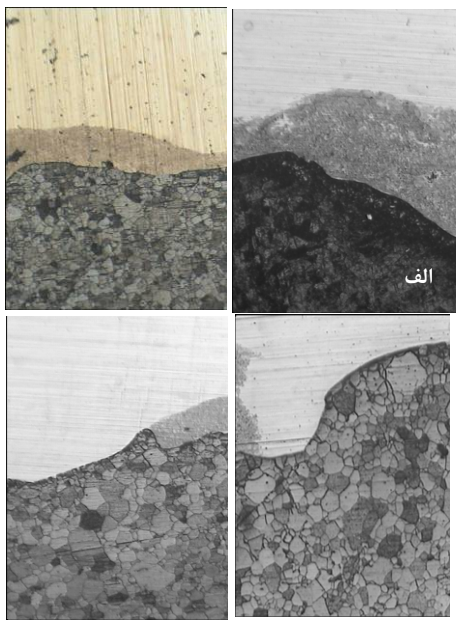




شکل ۲- ابعاد و شکل نمونه های برش



شکل ۳- فیکسچر آزمایش برش



شکل۴- تصاویر متالوگرافی نمونه های الف، ب،ج و د (بزرگنمایی ۵۰ برابر)

همانطور که در شکل های ۴ الف تا د مشخص است، در طرف برنجی فصل مشترک ناحیه‌ای با رنگ متفاوت وجود دارد، به نظر می‌رسد ناحیه ایجاد شده در اثر ذوب فلز برنج است که در اثر سریع سرد شدن به دلیل هدایت حرارتی بالای برنج ساختاری بی شکل[1] دارد. بر روی اتصال عملیات حرارتی شده و اتصال عملیات حرارتی نشده آزمایش برش انجام گرفت. از آنجا که سیکل نمونه B سیکل مناسب برای عملیات حرارتی تشخیص داده شد، آزمایش برش فقط برای این نمونه انجام گرفت. نتایج در جدول۴ خلاصه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که استحکام نهایی اتصال در نمونه عملیات حرارتی شده بالاتر می‌باشد به نظر می‌رسد این به دلیل تغییر شکل زیاد و سخت شدن ناحیه اتصال در نمونه عملیات حرارتی نشده باشد. اما جابجایی انجام گرفته بسیار کم می‌باشد و نمونه بعد از رسیدن به سطح نهایی تنش به طور ناگهانی جدا شده است. استحکام نهایی نمونه عملیات حرارتی شده کمتر است اما مقدار جابجایی آن تا سطح نهایی تنش تقریباً سه برابر بوده است (نشان داده شده در شکل ۶) و حتی با این جابجایی زیاد هم برنج از فولاد جدا نشده است و به طور کلی اگر شکستی هم اتفاق بیافتد تدریجی و نرم می‌باشد. به نظر می‌رسد این مطلب در اثر نرم شدن و تنش زدایی ناحیه اتصال در اثر عملیات حرارتی می‌باشد و چقرمگی اتصال به دلیل تشکیل دانه های ریز بسیار بالا رفته است. بنابراین توصیه می‌شود که برای کاربردهای حساس برای جلوگیری از شکست ناگهانی اتصال اگر چه سطح استحکام پایین می‌آید اما از عملیات حرارتی مناسب استفاده شود.

۴- نتیجه گیری

۱- سیکل عملیات حرارتی مناسب و اقتصادی برای دو جنسی فولاد- برنج دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد.

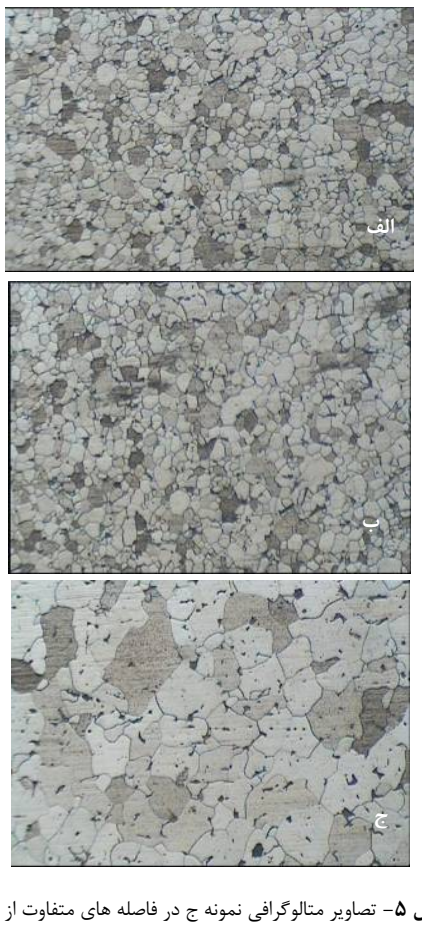
۲- اندازه دانه ها از سطح اتصال به فلز نمونه افزایش می یابد که این مطلب به دلیل تبلور مجدد دانه ها در اثر سیکل عملیات حرارتی می باشد.

۳- اگر چه در ناحیه اتصال فلز ذوب شده موجود است اما اتصال از استحکام مناسبی برخوردار است.

۴- عملیات حرارتی قطعات باعث ترکیب مناسبی از استحکام و نرمی اتصال می شود.

۵- توصیه می‌شود برای کاربردهای حساس برای بالا بردن چقرمگی اتصال از عملیات حرارتی مناسب استفاده شود.

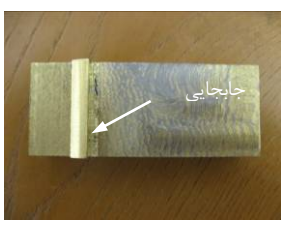
۱- amorphous



شکل ۵- تصاویر متالوگرافی نمونه ج در فاصله های متفاوت از سطح
(بزرگنمایی ۵۰ برابر)، فاصله ها از سطح
الف) ۱ ب) ۲ ج) ۳ میلیمتر

جدول۴- نتایج آزمایش برش

	حداکثر تنش (MPa)	حداکثر جابجایی (mm)
بدون عملیات حرارتی	۲۸۰	۰/۸۳
عملیات حرارتی شده	۲۳۸	۲/۵



شکل ۶- نمونه عملیات حرارتی شده بعد از آزمایش برش

۵- مراجع

[1]. Welding handbook, “Explosion Welding”, AWS, A.B.D., vol. 3, pp. 264–278, (1980).

[2]. Patterson RA. “Fundamentals of Explosion Welding”, ASM Handbook, UK, vol. 6, pp. 160–164, (1993).

[3]. Kleven S. “Ultrasonic Inspection of Explosion Welded Titanium Clad Plate”, Mater. Eval. , pp557–560, (1996).

[4]. Cowan GR, Bergmann OR, Holtzman AH. “Mechanism of Bond Zone Wave Formation in Explosive-Clad Metals.”, Metall. Trans. , p2 (1971).

[5]. Gupta RC, Kainth GS. “Swinging Wake Mechanism for Interface Wave Generation in Explosive Welding of Metals”, ASME, 57, pp. 514–521, (1990).

[6]. Banker JG, Edvard GR. “Explosion Welding”, ASM Handbook, vol. 6, pp. 303–305, (1996).

[7]. Yang Y, Xinming Z, Zhenghua L, Qingyun L. “Adiabatic Shear Band on the Titanium Side in the Ti/Mild Steel Explosive Cladding Interface”, Acta Mater. ,44(2), pp561–565, (1996).

[8]. Onaran K, Erman B. , “Structure and Properties of Materials”, Vol. 1, Turkey, ITU, (1993).

[9]. James FK, Hay DR. “A Mechanism of Explosive Bonding”, Metall. Trans. , 2, pp. 1953–1958, (1971).

[10]. Kahraman N. , “Joint of Titanium Plates to Different Metals by Explosive Welding Method and Investigation of their Interface properties”, Ph.D. thesis, Gazi University, Ankara-Turkey, (2003).