

اثر پروفیل پین در بر روی نواقص همزنی اصطکاک آلیاژ آلومینیوم 7075 جوش داده شده

چکیده

در این تحقیق، اثر پروفیل پین^۱ بر روی نواقص آلیاژ FSWed 7075 مورد بررسی قرار گرفت. سه پین با هندسه استوانه، مربع و مثلث، برای جوشکاری استفاده شد. ریزساختار منطقه جوش نشان داد که سوراخ تونلی ایجاد شده توسط پین مثلثی شکل، ابعاد کوچکتری نسبت به پین استوانه ای دارد. از سوی دیگر، نتایج میکروسکوپ نوری^۲ نشان داد که اندازه دانه های حاصل از پین های مربعی، کوچکتر از انواع دیگر ابزار هستند. همچنین، این نتایج نشان داد که هنگامی که پین استوانه ای شکل است، نواقص تونل، تماس کوتاه و خط زیگزاگ، تشکیل می شوند. از سوی دیگر، هنگامی که این پین مثلث است، خط اتصال اصلی با نواقص تغییر شکل پلاستیکی شدید و شکاف، ایجاد می شود.

کلمات کلیدی: آلیاژ آلومینیوم 7075؛ جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی^۳، پروفیل های پین، نواقص

1 - مقدمه

در طول سالها، FSW بدلیل اتصال ترکیباتی مانند آلیاژهای آلومینیوم^۴ اهمیت بسیار بالایی پیدا کرده است، زیرا حرارت تولید شده در طول فرایند به اندازه کافی شدید نیست که نواقصی را ایجاد کند که به طور معمول، در این مواد در طی جوشکاری ذوب مشاهده می شوند (Thomas و همکارانش، 1999). سرعت چرخش ابزار، سرعت حرکت ابزار و فشار عمودی^۵ بر روی صفحات در طی جوشکاری، پارامترهای فرایند اصلی FSW

می باشند (Rajakumar و همکارانش، 2010). با این حال هندسه ابزار که شامل هندسه شانه ابزار FSW و پروفیل میله پین ابزار است، نیز یک ویژگی قابل توجه است که بر استحکام جوش اثر می گذارد. بنابراین، مطالعه فرایند FSW نیز شامل بررسی و مطالعه ویژگیهای ابزار می باشد (Su و همکارانش، 2003). اثربخشی یک اتصال FSW به شدت

¹ pin profile

² optical microscope

³ Friction stir welding

⁴ aluminum alloys

⁵ vertical pressure

تحت تأثیر چند پارامتر ابزار، بویژه پارامترهای هندسی، مانند ارتفاع و شکل پین (استوانه ای، دوزنقه ای شکل، پیچی، و غیره) می باشد که یک تأثیر مرتبط با جریان فلز، و بر روی تولید حرارت بدلیل نیروهای اصطکاک دارد (Leal و همکارانش، 2008؛ Qerin و همکارانش، 2009؛ Rai و همکارانش، 2011؛ Zhang و همکارانش، 2012). ابزار FSW بخش مهمی از این فرایند جوشکاری است. دیوز (Dawes) و توماس (Thomas) (1999)، جزئیات رویکرد توسعه ابزار را در ایجاد جوش مورد ملاحظه قرار دادند و جنبه های طراحی ابزار مفهوم شانه پیمایش را مطرح نمودند. در حالی که مطالعات متعددی بر روی تغییر چرخش و سرعت جوشکاری برای بهینه سازی پارامترهای جوشکاری و مطالعه ریز ساختاری آنها در مورد آلیاژهای آلومینیوم متمرکز شده است، تحقیقات محدودی بر روی اثرات ساختار ابزار صورت گرفته است (Leal و همکارانش 2008؛ Barcellona، Buffa، و Boz، 2004؛ Kurt، 2004). تعداد زیادی از تحقیقات در زمینه فرایند FSW و بویژه بر روی تجسم جریان مواد در اطراف ابزار FSW انجام شده است (Guerra و همکارانش، 2002). به خوبی شناخته شده است که موادی که دارای تغییر پلاستیکی تغییر شکل هستند، مجبور به جریان در جهت چرخش ابزار از جلو به عقب ابزار FSW می باشند. اگرچه تعدادی از تحقیقات در مطالعات معاصر بر روی بررسی در باره شانه ابزار و پروفیل میله انجام شده است، یک مطالعه دقیق مقایسه ای در باره ویژگی های ابزار اصلی مختلف برای یک ماده معین، به ندرت یافت می شود. بنابراین، بررسی منظم اثر هندسه پروفیل پین بر روی جوش FSW، مورد نیاز می باشد. در این مطالعه، اثر هندسه ابزار مختلف بر روی خواص مکانیکی، ویژگی های ریز ساختاری و نواقص اتصال جوش ایجاد شده از آلیاژ آلومینیوم 7075، مورد مطالعه قرار گرفت.

2 - فعالیت های تجربی

یک صفحه آلیاژ آلومینیوم T6 - 7075، با ترکیب شیمیایی (به $2/4 \text{ Mg} - 1/55 \text{ Cu} - 19 \text{ Cr} - 18 \text{ Fe}$ (wt%)) به عنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار گرفت. این ابزارها در شکل 1 نشان داده شده است. سرعت های جوشکاری و چرخش، به ترتیب برابر با 63 میلیمتر در دقیقه و 1600 دور در دقیقه بود. میکروساختار این نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (OM) و میکروسکوپ الکترون (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. یک میکروسکوپ نوری مدل BX60M المپیوس و یک میکروسکوپ الکترون اسکن میدان انتشاری مدل VEGA / TESCAN-

XMU (FESEM)، برای بررسی ریز ساختار اتصالات، مورد استفاده قرار گرفت. سطوح شکست نمونه های FSW جوش داده شده پس از انجام آزمایش کشش، بوسیله FESEM مورد بررسی قرار گرفتند.

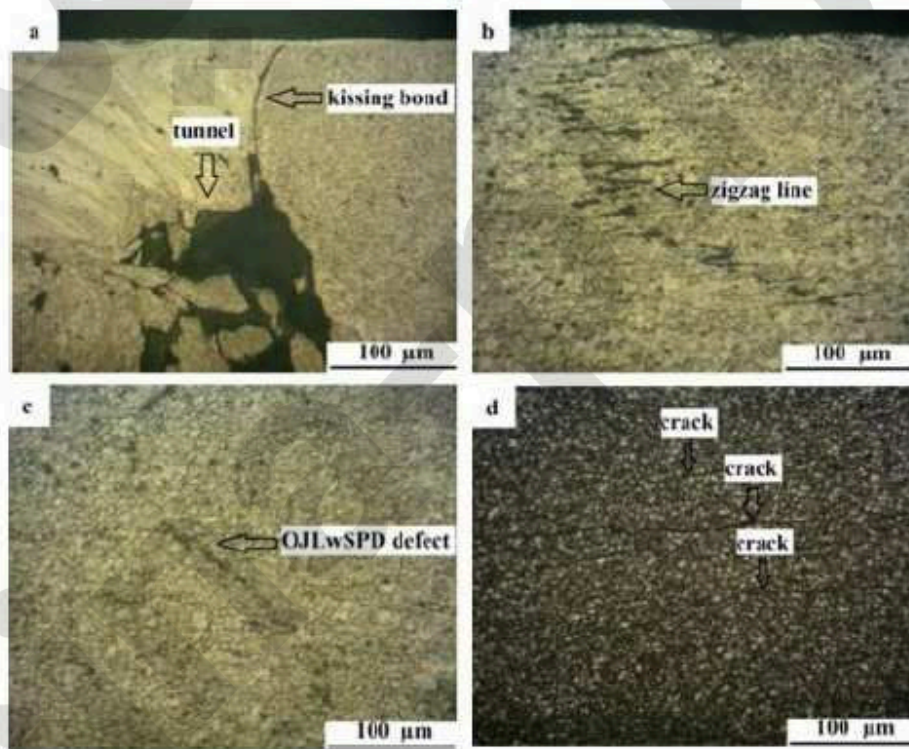
3 - نتایج

در جوشکاری فیوژن آلیاژهای آلومینیوم، نواقصی مانند تخلخل⁶، شکاف داغ⁷ و غیره، کیفیت و ویژگیهای اتصال جوش را کاهش می دهد. معمولاً، اتصالات جوش داده شده اغتشاش اصطکاکی، بدون این نواقص می باشند، زیرا هیچگونه ذوبی در طول جوشکاری رخ نمی دهد و فلزات به علت حرارت ایجاد شده توسط اصطکاک، و جریان فلز توسط عمل تکان خوردن، به خودی خود در حالت جامد به یکدیگر متصل می شوند. با این حال، اتصالات FSW، به علت جریان نامناسب فلز و استحکام ناکافی فلز در منطقه FSW، در معرض نواقص دیگری مانند نقص تونل⁸، شکاف، حفره بین، نقص لوله کشی، اتصال تماس کوتاه و غیره می باشند (Balasubramanian و Elangovan، 2007). همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، پنج نوع نقص را می توان از کلیه مقاطع نمونه ها مشاهده کرد. اولاً، نقصهای تونل را در تمام نمونه هایی که با ابزار استوانه ای و مثلثی ایجاد شده اند، می توان یافت نمود. دوم اینکه، نواقص تماس کوتاه و زیگزاگ را می توان در اتصالاتی یافت که با ابزار استوانه ای ایجاد شده است. سوم اینکه، شکاف و نواقص OJLwSPD را می توان در سمت پیشروی اتصالاتی مشاهده نمود که با ابزار مثلثی ایجاد شده است. اما، برای اتصالاتی که با استفاده از ابزار مربعی ایجاد شده اند، تمام نمونه هایی که جوش داده شدند، بدون نقص بودند. همچنین، سطوح شکستگی نمونه های کششی توسط میکروسکوپ الکترونی اسکن (SEM) مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که الگوهای شکست مختلف، ممکن است بوسیله توزیع نواقص مختلف ایجاد شده باشند. بنابراین، سطوح شکست کششی نمونه ها در شکل 3 نشان داده شده است. با استفاده از تجزیه و تحلیل سطح شکست، می توان نتیجه گرفت که جوش های بدون نقص، نشاندهنده تغییر شکل یکپارچه در سراسر جوش، قبل از شکست می باشند.

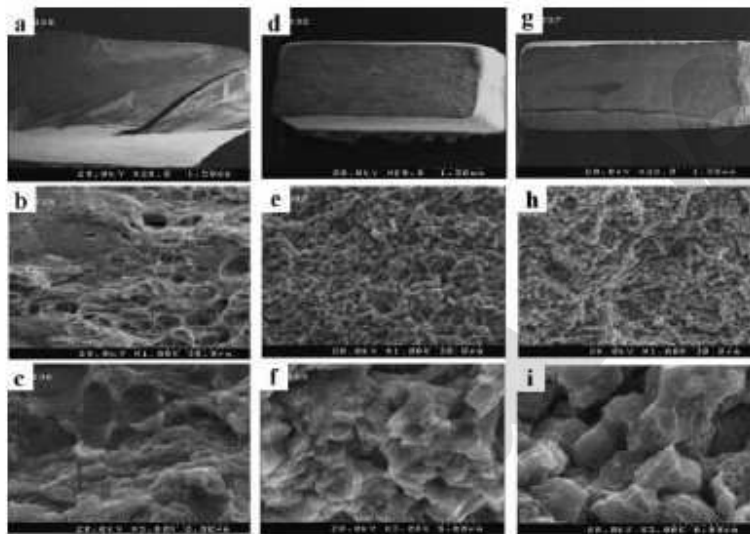
6 porosity
7 hot crack
8 tunnel defect



شکل 1 - برش های عرضی پین ابزار FSW.



شکل 2 - مشاهدات نواقص در منطقه جوش توسط میکروسکوپ نوری؛ (a)، (b) استوانه ای؛ (c)، (d) مثلث.



شکل 3 - (a) سطح شکستگی نمونه کششی که با پین استوانه ای ایجاد شده است. (b)، (c) بزرگنمایی بیشتر؛ (d) تصویر SEM از سطح شکست ایجاد شده توسط پین مربعی شکل؛ (e)، (f) بزرگنمایی بیشتر؛ (g) نمودارهای شکست SEM نمونه آزمایشی کششی که با پین مثلثی، شکل گرفته است؛ (h)، (i) بزرگنمایی بیشتر.

4 - بحث

مشخصات پین نقش مهمی در جریان مواد دارد و به نوبه خود سرعت جوشکاری فرایند FSW را تنظیم می کند. پین پروفیل های با نماهای مسطح (مربع و مثلث) با بی ثباتی همراه هستند (Elangovan و Balasubramanian, 2007, Thomas Nicholas, 1997). علاوه بر این، پروفیل های مثلثی و مربعی به علت نمای مسطح، یک عمل تکان دهنده پالسی را در جریان مواد ایجاد می کنند. چنین عمل ضربان داری در مورد پروفیل های پین استوانه ای وجود ندارد. این موضوع گزارش شده است که دو نقص نمایشی، یعنی نواقص تونل و تماس کوتاه، به آسانی در FSW، تشکیل شدند (Cui و همکارانش، 2012). همانطور که در بالا ذکر شد، در مطالعه حاضر این دو نوع نقص را در ناحیه جوش در پروفیل پین ابزار استوانه ای نیز می توان یافت (شکل 2a). با توجه به مطالعات قبلی، مواد در نزدیکی ابزار میله چرخشی را می توان به سه منطقه، به عنوان مثال لایه چرخشی، لایه انتقال و منطقه شکست، تقسیم کرد (Schmidt, 2006). در طول فرایند FSW، مواد در این سه منطقه، تغییر شکل پلاستیکی شدید و جریان را با چرخش میله ابزار به نمایش می گذارند. مواد در طرف پیشرو، تمایل دارند به سمت جلو میله ابزار جریان

پیدا کنند. اما برعکس، مواد در سمت عقب نشینی، تمایل دارند به طرف عقب جریان پیدا کنند. از سوی دیگر، جریان مواد در طرف جلو و سمت عقب نشینی جوش، نامتقارن می باشد (Schmidt و همکارانش، 2006). بنابراین، می توان در نظر گرفت که در طی فرایند جوشکاری FSW، حفره ها ابتدا در AS شکل می گیرند و بلافاصله، جریان مواد در سایر مناطق آن این حفره را پر می کنند تا یک جوش بی عیب تشکیل شود. اگر رشته های کامل کافی نباشند و یا سرعت آنها کند باشد، این حفره ها درون جوش باقی می ماندند. در نتیجه، هنگامی که فرایند جوشکاری به پایان رسید، نقص تونل درون جوش شکل می گیرد و از طریق جهت طولی جوش توزیع می شود. بر اساس نتیجه تجربی، تشکیل تماس کوتاه، همبستگی نزدیکی با الگوی جریان مواد درون جوش و حفره شعاعی قالب دارد. خط زیگزاگ و شکاف، بوسیله یک منحنی پیوسته بر روی مقطع عرضی اچ کاری شده یک جوش FSW تحت مشاهده میکروسکوپ نوری (OM) مشخص می شوند. اما تحت مشاهده میکروسکوپ الکترون انتقالی (TEM)، می توان ذرات Al_2O_3 زیادی در اطراف خط زیگزاگ مشاهده شد. بنابراین، به طور کلی، توسط محققان قبلی خط زیگزاگ به عنوان بقایای لایه اکسید در جوش های FSW در نظر گرفته شده است (Cui, 2012). در مطالعه حاضر، خط زیگزاگ در منطقه جوش ایجاد شده با پروفیل پین استوانه ای و مثلثی یافت شد (شکل های 2b, 2d). یک خط متمایز تیره پیوسته در شکل 2c مشاهده می شود که نشان می دهد این منطقه جوش، با پروفیل پین ابزار مثلثی ایجاد شده است. این ویژگی را می توان به عنوان یک خط اتصال در نظر گرفت که می تواند در درون اتصالات روی هم قرار گرفته جوش ها، اتصالات T، و حتی در اتصالات لب به لب مشاهده شود (Cao و Jahazi, 2011)، Oosterkamp و همکارانش (2004)، Ren و همکارانش (2008). یک بیان جدید و مناسب، از این نوع نواقص، به نام خط اتصال اصلی با نواقص تغییر شکل پلاستیکی شدید (OVLWSPD) نام می برد (Cao و Jahazi, 2011) که توسط نویسندگان این مقاله پذیرفته شده است. مکانیسم های تشکیل اصلی و ویژگی های نقص OJLWSPD را می توان به صورت زیر خلاصه کرد: ابتدا، سطح اکسید اتصال اولیه بین دو فاصله T6 - AA 7075، در طول فرآیند جوشکاری، کاملاً از بین

نمی رود (Schmidt و همکارانش، 2006). دوم اینکه، ورودی گرما و نیروی محوری منجر به ایجاد جریان رو به پایین فلزات نرم شده در پوسته مواد می شود. سوم، جریان مواد در سمت عقب نشینی و طرفهای پیشرو در اطراف میله ابزار، نامتقارن هستند. جریان مواد در طول FSW یک سؤال پیچیده است و درک آن از نظر ماهیت مشکل است (Schmidt و همکارانش، 2006، Reynolds، 2008). در اتصالات لب به لب، نواقص OJLWSPD می تواند به راحتی با افزایش سرعت چرخش ابزار، و در عین حال با کاهش سرعت عبور به دلیل افزایش حرارت ورودی، از بین برود (Cui و همکارانش، 2012). در طول انجام آزمایش کششی، اکثر نمونه ها در منطقه جوش، شکسته شدند. شکل 3 سطوح شکست نمونه ها را در شرایط مختلف نشان می دهد. از دید ماکروسکوپی سطح شکست (شکل 3b)، یک سطح به صورت یکنواخت زیر را می توان مشاهده نمود. مورفولوژی مغناطیسی SEM در شکل 3c نشان داده شده است. شکستگی داکتیلی مقطع عمودی نمونه با پین مربع ایجاد می شود. همانگونه که در شکل های 3d، 3e و 3f نشان داده شده است، می توان این موضوع را مورد ملاحظه قرار داد که شکست داکتیلی، تحت فعالیت تنش کشش محوری⁹ رخ می دهد. در یک بزرگنمایی بیشتر این مشاهده (شکل های 3e و 3f)، می توان این موضوع را تشخیص داد که مکانیسم شکست اصلی، شکست ترادانه ای است. برای نمونه ایجاد شده با پین مثلث (شکل های 3g، 3h و 3i) که مشابه با (شکل های 3d، 3e و 3f) می باشند، می توانیم تشخیص دهیم که مکانیسم شکست اصلی، شکست ترادانه ای¹⁰ می باشد.

5 - نتیجه گیری

اتصالات ساخته شده با استفاده از پروفیل های پین ابزار مختلف، مانند ابزار استوانه ای، مربع و مثلث با سرعت چرخشی به میزان 16000rpm، و سرعت جوش 63mm/min می باشد. نتیجه گیری های مهم زیر در این مطالعه انجام شده است. نواقص تونل، تماس کوتاه، و خط زیگزاگ، در منطقه جوش ایجاد شده با پروفیل پین استوانه ای مشاهده شد، همچنین نواقص تونل، OJLWSPD و شکاف، در منطقه جوش ایجاد شده با پروفیل پین مثلث مشاهده شد، اما هیچگونه نواقصی در نمونه های ایجاد شده با پروفیل پین مربع مشاهده نشد.

⁹ axial tensile stress

¹⁰ transgranular fracture