

بررسی موقعیت محور پین ابزار نسبت به محور شانه ابزار در فرایند جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی بر روی آلومینیوم ۵۰۸۳

سعید امینی^۱، محمدرضا امیری^۲ و سعید گلابی^۳

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه کاشان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۶)

چکیده

در مقاله حاضر به بررسی تأثیر موقعیت پین نسبت به شانه ابزار در فرایند جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی بر روی آلومینیوم ۵۰۸۳ پرداخته شده که در آن، ابتدا آماده‌سازی فرایند انجام شد که شامل ابزار، قطعه کار متصل به دینامومتر توسط قید و بند مخصوص و دستگاه فرز می‌باشد. همچنین آزمایش با ابزار پین هم‌محور با محور شانه ابزار انجام گردید به طوری که ابزار با سرعت چرخشی معینی وارد لبه‌های محل اتصال گشته و با سرعتی ثابت در طول خط اتصال پیش رفت که نتیجه آن ایجاد حرارت، تغییر فرم شدید پلاستیکی و جابه‌جایی ماده در محل اتصال بوده و منجر به اتصال کامل لبه‌ها گردید. در حین انجام فرایند، نیرو و درجه حرارت منطقه اتصال اندازه‌گیری شد. سپس پارامتر شکل و موقعیت پین ابزار تغییر داده شده و آزمایش اتصال انجام گردید. با خارج از محور قرار دادن محور پین ابزار نسبت به محور شانه ابزار با طراحی‌های مختلف، شکل ابزار تغییر داده شده و نتایج نیروهای جوشکاری و دمای ابزار و آزمون کشش مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی، نیروی جوشکاری، آلومینیوم ۵۰۸۳، دمای ابزار، سرعت چرخشی

The Investigation of the Axis Position of Tool Pin Relative to the Tool Shoulder Axis in Friction Stir Welding Process on Aluminum 5083

S. Amini, M.R. Amiri and S. Golabi

Department of Mechanical Engineering

University of Kashan

(Received: 24 January, 2014; Accepted: 06 May, 2014)

ABSTRACT

In this paper, the effect of the position of the pin relative to tool shoulder has been investigated in the friction stir welding process on aluminum 5083. Firstly, the preparation of the process is performed that includes tool, work piece fastened to dynamometer by special fixture and milling machine. Test is performed by tool with pin coaxial with the axis of tool shoulder in this process. So, the tool enters the edges of joint location and moves along joint line. Results are heat generation, severely plastic deformation and material displacement in joint location and this leads to complete joint of the edges. Force and temperature in joint region are measured during the process. Then, the parameters of the shape and the position of tool pin change and joint test is performed. The shape of the tool changes by offsetting the axis of tool pin relative to the axis of tool shoulder with different designs and the results of welding forces and tool temperature and mechanical properties are considered.

Keywords: Friction Stir Welding, Welding force, AA 5083, Tool Temperature, Rotating Speed

۱- استادیار (نویسنده پاسخگو): amini.s@kashanu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد

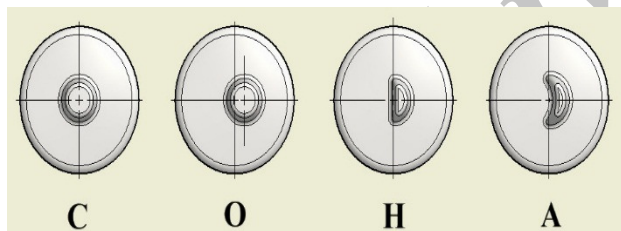
۳- دانشیار

۱- مقدمه

قطعه نرم‌تر افسست داده می‌شود تا جوشکاری مطلوبی حاصل شود [۱۲ و ۱۴]. انجام فرایند FSW بر روی آلیاژهای آلومینیوم و بررسی خواص مکانیکی و ساختار جوشکاری انجام شده است [۱۵ و ۱۶]. در تحقیقات انجام شده تأثیر خارج از محور بودن محور بین ابزار نسبت به محور شانه ابزار در فرایند FSW مورد بررسی قرار نگرفته است. خارج از محور قرار دادن بین ابزار نسبت به محور شانه ابزار باعث لنگ شدن بین شده که با دوران آن با سرعت بالا مواد را با شرایط بهتری از جلو پین به پشت پین منتقل می‌کند و باعث کاهش نیروها و بهبود خواص مکانیکی جوش می‌شود. در مقاله حاضر به بررسی خارج از محور بودن محور بین ابزار با اشکال مختلف نسبت به محور شانه ابزار بر روی قطعه کار آلومینیوم ۵۰۸۳ پرداخته شده و تأثیر آنها بر نیروی‌های جوشکاری، دمای ابزار و آزمون کشش حاصل می‌شود. سپس با تغییر پارامتر سرعت دورانی و سرعت پیشروی، شرایط بهینه برای هر کدام از ابزارها، حاصل می‌شود.

۲- آماده‌سازی فرایند و انجام آزمایش‌ها

در تحقیق حاضر از چهار ابزار با جنس AISI H13 استفاده شده است. شکل ۱ ابزارهای مورد استفاده در فرایند FSW را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شکل‌های مختلف پین ابزار و موقعیت آنها ((C) پین مخروطی هم‌مرکز با شانه ابزار، (O) پین مخروطی خارج از محور نسبت به شانه ابزار، (H) ابزار با پین نیم‌دایره‌ای مخروطی، (A) ابزار با پین هلالی شکل مخروطی.

مطابق شکل ۱، این ابزارها با قطر شانه ۱۸ mm و قطر پین ۵/۵mm با زاویه ۹ درجه و ارتفاع پین ۳/۸۵mm با شکل پین‌های متفاوت بدون رزوه، پین مخروطی هم‌مرکز با شانه ابزار (شکل ۱-C)، پین مخروطی خارج از محور نسبت به شانه ابزار به اندازه ۱/۵ mm (شکل ۱-O)، ابزار با پین نیم‌دایره‌ای مخروطی که ایجاد شده از یک پین هم‌مرکز با شانه ابزار است (شکل ۱-H) و

جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی^۱ یک فرایند جوشکاری حالت جامد است که توسط توماس^۲ و همکاران در مؤسسه جوشکاری TWI اختراع شد [۱]. در حال حاضر از این فرایند برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم و فلزاتی که جوشکاری ذوبی آن مشکل است، به‌طور فزاینده‌ای استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در FSW فلز هرگز به دمای ذوبش نمی‌رسد، جوشی ایجاد می‌کند که کیفیتی بالا با عیوب جوشکاری کم دارد. در این فرایند، از یک ابزار چرخشی مصرف نشدنی برای تولید گرمای اصطکاکی و تغییر شکل پلاستیکی در طول مسیر جوش استفاده می‌شود [۲-۴]. طراحی یک ابزار مناسب می‌تواند کیفیت جوش با حداکثر سرعت ممکن جوش را بهبود بخشد. جنس ابزار باید به اندازه کافی مستحکم، سخت، مقاوم در برابر سایش و دارای قابلیت هدایت حرارتی کم برای جلوگیری از آسیب رساندن به ماشین‌آلات باشد. جنس ابزار فولاد ابزار گرم کار (مانند: AISI H13) برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم در محدوده ضخامت (۵۰ mm - ۰/۵) مناسب است [۵].

رفتار جریان مواد به‌طور عمده تحت تأثیر پروفیل شکل پین ابزار FSW و پارامترهای این فرایند قرار دارد. سرعت دورانی بسیار بالا می‌تواند نرخ کرنش را افزایش دهد که در این حالت، در تبلور مجدد تأثیر می‌گذارد [۶]. مشخصات پین نقش حیاتی در جریان مواد و تنظیم پارامترهای جوشکاری FSW دارد. جوش اغتشاشی اصطکاکی توسط دکمه جوش و خطوط جریان تعریف شده، به‌خوبی مشخص است. تقریباً در پین‌هایی با مقطع دایره‌ای، خطوط جریان وابسته به طراحی ابزار و پارامترهای جوشکاری و شرایط فرایند استفاده شده می‌باشد [۷-۱۰]. از پارامترهای بحرانی مؤثر بر نیروها و دمای داخلی فرایند FSW، سرعت‌های پیشروی و دورانی و قطر شانه و پین ابزار بوده که ابزار با قطر شانه ۱۸ میلی‌متر و شکل پروفیل پین مربعی مشخصه کششی بسیار خوبی از خود نشان داده است. هر چقدر پین توانایی بیشتری در مخلوط کردن مواد و ایجاد شرایط لازم برای جریان یافتن مواد از جلو پین به پشت پین را داشته باشد، خواص مکانیکی جوش بهبود یافته و نیروهای جوشکاری کاهش می‌یابد [۱۱-۱۳]. در جوشکاری دو قطعه غیر همجنس قطعه‌ای با جنس سخت‌تر در سمت پیشرو و محور ابزار نسبت به محل درز جوش به سمت

1- Friction Stir Welding (Fsw)

2 - Tomas

دمای ابزار کمتر از دمای داخلی جوش است ولی با تغییر دمای داخلی جوش، دمای ابزار هم تغییر خواهد کرد که در این صورت با اندازه‌گیری آن، تغییرات دمایی فرایند در حالت‌های مختلف به‌دست می‌آید. برای اندازه‌گیری دمای ابزار جوشکاری در حین جوشکاری از ترمومتر لیزری دوتایی Extech مدل VIR ۵۰ استفاده شد، به‌طوری که نقطه کانونی دو نور لیزری دقیقاً بر روی ابزار با فاصله ۲ mm بالاتر از سطح قطعه کار (شانه ابزار) تنظیم گردید. در این مدل ترمومتر اندازه‌گیری دما، در محدوده ۵۰ تا ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و با دقت ۲/۲ درجه سانتی‌گراد در فاصله دمایی ۱۰۱ تا ۴۵۴ درجه سانتی‌گراد قابل اندازه‌گیری است و گراف‌های حرارتی بر حسب زمان به‌دست می‌آید. برای انجام آزمون کشش از دستگاه آزمون کشش گالدابینی (۲۵ kN) استفاده شده است.

شکل ۲ نمایی از آماده‌سازی آزمایش برای فرایند جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی را نشان می‌دهد. پس از آماده‌سازی فرایند و تجهیزات لازم، آزمایش‌ها بر روی قطعه کارهای آلومینیوم انجام گردید. در انجام آزمایش‌ها، قطعه کارها با چهار سرعت دورانی در دو سرعت پیشروی برای هر کدام از ابزارها مورد آزمایش قرار گرفت و در کل ۳۲ آزمایش انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها با تنظیم پارامترهای سرعت دورانی و پیشروی و نصب ابزار بر روی اسپیندل و قطعه کار بر روی فیکسچر و دینامومتر، هم‌زمان با شروع جوشکاری تغییرات نیرویی توسط دینامومتر و تغییرات دمایی ابزار توسط ترمومتر نشان و ذخیره شدند. شکل ۳ نمونه قطعه کارهای حاصل از فرایند FSW را نشان می‌دهد.

ابزار با پین هلالی شکل که از یک پین هم‌مرکز با شانه ابزار ایجاد شده است (شکل ۱- A). این ابزارها با دقت خوبی ماشینکاری شده و سپس به میزان ۴۸ راکول C به‌روش کوئنچ و تمپر کردن سخت‌کاری شده است.

قطعه کار مورد استفاده در آزمایش‌ها، از ورق‌های AA ۵۰۸۳ با ابعاد (۱۲۰ mm × ۶۰ mm × ۴ mm) می‌باشد. پارامترهای جوشکاری شامل سرعت دورانی ابزار و سرعت پیشروی ابزار بوده که مقادیر سرعت دورانی ۵۶۰، ۹۰۰، ۱۱۲۰ و ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و مقادیر سرعت پیشروی ۶۳ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه است. زاویه مخروط سر پین برای ابزارها نسبت به محور آنها ۱/۵ درجه می‌باشد.

آزمایش‌ها در سرعت‌های دورانی مختلف انجام و تأثیر این پارامترها بر فرایند FSW، برای ابزارهای مختلف حاصل می‌گردد. برای اندازه‌گیری نیروهای جوشکاری از دینامومتر ساخت شرکت کیستلر با مدل ۹۲۵۷ B، استفاده شده است. دینامومتر در زیر فیکسچر جوشکاری به‌طوری که محور Z دینامومتر در راستای محور ابزار و محور Y دینامومتر در راستای مسیر جوشکاری قرار دارد، که نیروهای فرایند را می‌توان در دو جهت عمودی (محور ابزار) و جهت جوشکاری (پیشروی) اندازه‌گیری کرد. قیدو بند لازم برای بستن قطعه کارها طوری طراحی ساخته شده‌اند که انتقال حرارت جوشکاری به دینامومتر را کاهش می‌دهد. با استفاده از اندازه‌گیری دمای ابزار می‌توان به تغییرات دمایی ایجاد شده در حین فرایند پی برد، به‌صورتی که تغییر دمای داخلی جوش باعث تغییر دمای ابزار شده، اگرچه

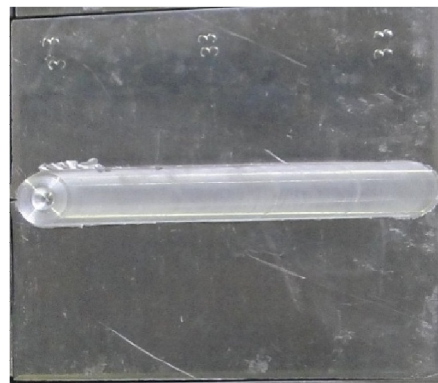


شکل (۲): نمایی از آماده‌سازی فرایند جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی.

می‌کند بزرگ‌تر از ابزار C می‌باشد و پین فقط در نیمه‌ای از سوراخ قرار می‌گیرد و بقیه سوراخ خالی است و تنها سطح مؤثر شانه ابزار با سطح قطعه کار در تماس قرار می‌گیرد، در ابزار C در مرحله فرورفتن سوراخی به اندازه ابعاد پین ایجاد شده و سطح شانه ابزار کاملاً با سطح قطعه کار در تماس قرار می‌گیرد. زمانی که ابزار شروع به حرکت پیشروی می‌کند تا مسیر درز جوش را طی کند در ابزار C انتقال مواد از جلوی پین به پشت پین به دلیل فورجینگ مواد توسط شانه فشار و نیروی زیادی به ابزار وارد می‌کند. در ابزار O با توجه به اینکه پین در حالت فرورفتن در سوراخ بزرگی در حال چرخش است در زمان شروع حرکت در مسیر درز جوش مواد در هنگام انتقال از جلو پین به پشت پین فشار و نیروی کمتری ایجاد می‌کند چون به اندازه کافی فضای خالی در اطراف پین وجود دارد مواد در هنگام انتقال دچار فشردگی کمتری می‌شوند و شانه ابزار نیروی کمتری به صورت فورجینگ وارد می‌کند. در هنگام دوران ابزار O مساحت سطحی از شانه که دائماً با سطح قطعه کار درگیر است کاهش یافته یا با بیان دیگر سطح مؤثر شانه ابزار کاهش یافته و نیروی حاصل از اصطکاک هم کاهش می‌یابد که این خود باعث کاهش نیروی عمودی می‌شود، از طرفی قسمتی از شانه که پین به صورت لحظه‌ای آن را اشغال می‌کند و موقعیت ثابتی ندارد نمی‌تواند نیروی زیادی از طرف ابزار به قطعه کار وارد کند و نیروی فورجینگ وارده توسط قسمتی از شانه که خارج از منطقه دورانی پین قرار دارد به قطعه کار وارد می‌شود. کاهش حجم کل پین و حجم پین مؤثر در کاهش نیروها تأثیرگذار بوده است، به طوری که در ابزارهای H و A با توجه به اینکه تقریباً مساحت شانه در این ابزارها با ابزار C برابر است، نیروها در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته‌اند، در ابزارهای H و A همانند ابزار O سوراخی که در مرحله فرورفتن ایجاد می‌شود بزرگ‌تر از ابعاد پین می‌باشد، به طوری که پین فقط در نیمی از سوراخ قرار می‌گیرد و در مرحله پیشروی مواد در حال انتقال نسبت به ابزار C تحت فشار کمتری قرار می‌گیرد که در نتیجه نیروی کمتری به شانه ابزار وارد می‌کند، از طرفی با بزرگ بودن سطح شانه ابزار، نیروی حاصل از اصطکاک و فورجینگ قسمت بزرگ‌تری از سطح قطعه کار نسبت به ابزار O کاهش نیروها کمتر می‌باشد.

در شکل ۴ - ب با سرعت پیشروی 100 mm/min نسبت به

شکل ۴ - الف با سرعت پیشروی 63 mm/min ، نیروی عمودی کاهش یافته است و افزایش سرعت دورانی در ابزار C باعث کاهش



شکل (۳): نمونه قطعه کارهای جوشکاری شده در فرایند FSW.

پس از انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM E8/E8M توسط وایرکات بریده شد و آزمون‌ها توسط دستگاه آزمون کشش گالداپینی با سرعت ثابت 5 mm/min در دمای محیط برای فلز پایه و کلیه جوش‌ها انجام شد.

۳- نتایج آزمایش‌ها و بحث

با انجام آزمایش‌ها و به دست آوردن پارامترهای نیرو، دما و ویژگی‌های مکانیکی قطعه کارها، نتایج به تفکیک حاصل گردید.

۳-۱- بررسی نیروها

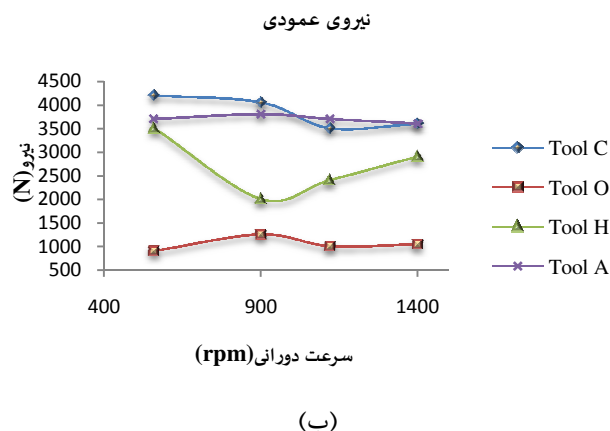
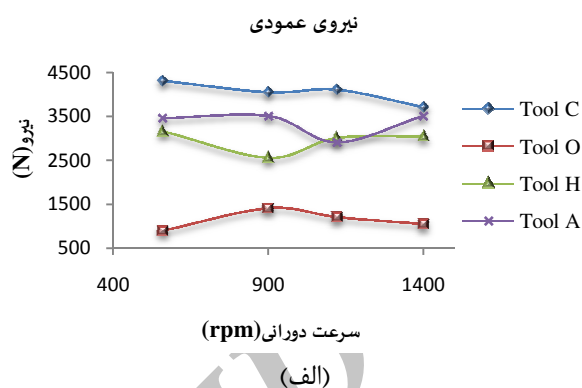
نیروهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق، نیروی عمودی (در راستای محور ابزار) و نیروی جوشکاری (در راستای پیشروی) می‌باشد. در نمودارهای به دست آمده، حداکثر نیروی عمودی و حداکثر نیروی جوشکاری بعد از نفوذ ابزار، در طول مسیر جوشکاری برای هر چهار ابزار به دست آورده شد. شکل ۴، نمودارهای حاصل از نیروی عمودی در دو سرعت پیشروی (63 و 100 mm/min) را برای چهار ابزار و تغییر سرعت دورانی نشان می‌دهد.

با توجه به نمودارها در شکل ۴، با خارج از محور کردن محور پین ابزار نسبت به محور شانه ابزار (ابزار O)، در مقایسه با ابزار با پین هم‌مرکز با شانه ابزار (ابزار C) نیروی عمودی را به میزان قابل توجهی (حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد) کاهش داده است و در ابزار H و ابزار A نسبت به ابزار C برای نیروی عمودی، نیروها در حدود ۲۰ درصد کاهش یافت. در ابزار O با توجه به خارج از محور بودن پین ابزار، در زمان شروع جوشکاری وقتی ابزار در مرحله فرورفتن قرار می‌گیرد، به دلیل لنگ بودن ابزار، سوراخی که پین ایجاد

خارج از محور قرار دادن پین ابزار نسبت به شانه ابزار (ابزار O)، قسمتی از پین که به طور مداوم دور خود می‌چرخد، ابعاد پین مؤثر را ایجاد می‌کند که مقدار حجم ثابتی در حالت دوران پیدا خواهد کرد که در مقایسه با پین ابزار C کوچکتر خواهد شد، چون در پین ابزار C کل پین به دور خود می‌چرخد ولی در حالت لنگ، قسمت خارج از مرکز پین در حال چرخش به دور محور شانه ابزار است و موقعیت ثابتی در حالت دوران ندارد و پین مؤثر کوچک می‌شود. از طرفی با خارج از محور شدن پین، مساحت مؤثر شانه ابزار کاهش می‌یابد و با وجود اینکه بیشترین نیروی محوری به مساحت شانه بستگی دارد، با کاهش مساحت مؤثر شانه ابزار باعث کاهش نیروی محوری می‌شود. با توجه به اینکه تعداد دوران بالا می‌باشد مواد زیر شانه ابزار با پین لنگ در حالت فورجینگ قرار دارند و راه خروج ندارند و از جلو ابزار به پشت آن منتقل می‌شوند. قسمتی از پین که به صورت لنگ می‌باشد در حالت دوران باعث بهتر مخلوط کردن مواد و انتقال از جلو به پشت پین و بهبود در خواص مکانیکی جوش می‌شود. در ابزار O با توجه به کوچک بودن پین مؤثر، فضای اشغال شده در حالت دوران بزرگ بوده که فضای جوشکاری شده نسبت به دیگر ابزارها بزرگ‌تر می‌باشد و جوش بهتری ایجاد می‌کند، ولی تنها عیب این ابزار بزرگ بودن سوراخ باقی مانده در آخر پاس جوشکاری می‌باشد.

با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود که ابزار C دارای بیشترین نیروی جوشکاری بوده، چون پین در حالت هم محور با محور شانه قرار دارد، کل پین در فرایند جوشکاری مؤثر می‌باشد که با خارج از محور کردن آن و کوچک شدن پین مؤثر، نیروها کاهش می‌یابد، به طوری که در ابزارهای A و H نیروی جوشکاری، کاهش (حدود ۲۰ درصد) داشته است، چون پین به صورت خارج از محور و شکل پین به صورت لبه‌ای می‌باشد و در هنگام دوران به صورت لبه برنده مواد را می‌شکافد نیروها کاهش یافته است که نیروی جوشکاری در ابزار A به دلیل داشتن انحنا و ماهکی بودن نسبت به پین H کاهش بیشتری داشته است. در ابزار O نیروها منفی می‌باشد که نشان دهنده این است که پین تمایل به کشیدن ورق‌ها به طرف خود را دارد. به صورتی که با خارج از محور بودن پین ابزار، پین سرعت خطی بسیار بالاتری نسبت به دیگر ابزارها پیدا خواهد کرد و از طرفی محیط بزرگ‌تری را دربر می‌گیرد و گشتاور زیادی ایجاد می‌کند که مواد را با قدرت بیشتری از جلو به پشت پین منتقل می‌کند، در زمان جابه‌جایی

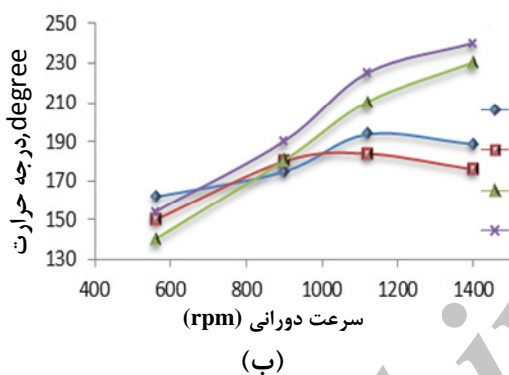
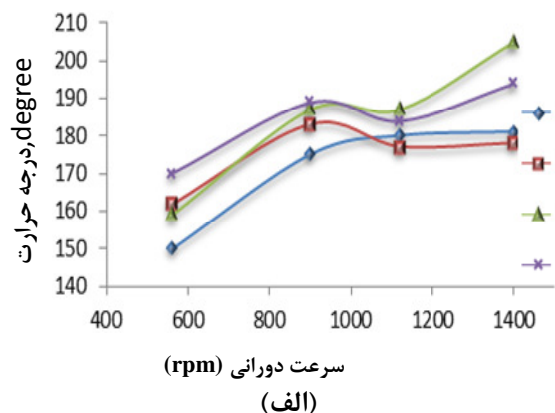
نیروی عمودی شده است، ولی بر روی ابزارهای دیگر تغییر چشم‌گیری ایجاد نکرده است.



شکل (۴): تأثیر سرعت دورانی بر نیروی عمودی، (الف) سرعت پیشروی ۶۳ mm/min و (ب) سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min در فرایند FSW با ابزارهای: پین هم‌مرکز با شانه ابزار (C)، پین خارج از محور نسبت به شانه ابزار (O)، ابزار با پین نیم‌دایره‌ای (H)، ابزار با پین هلالی شکل (A).

شکل ۵، نمودارهای حاصل از نیروی جوشکاری در راستای پیشروی ابزار، در دو سرعت پیشروی (۶۳ و ۱۰۰ mm/min) را برای چهار ابزار و تغییر سرعت دورانی نشان می‌دهد. قطر شانه و پین ابزار از پارامترهای بحرانی مؤثر بر نیروها و دمای داخلی فرایند FSW می‌باشد [۱۱]. با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۴ و ۵ می‌توان نتایج را بدین گونه تفسیر کرد که با دوران ابزار با پین هم‌محور با محور شانه (ابزار C)، کل پین به دور خود می‌چرخد که در این حالت ابعاد کل پین، مؤثر می‌باشد. ولی با

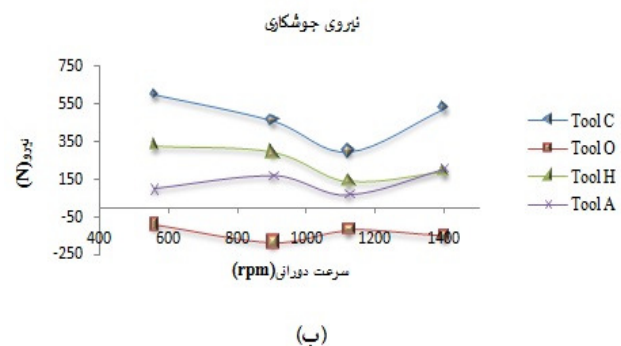
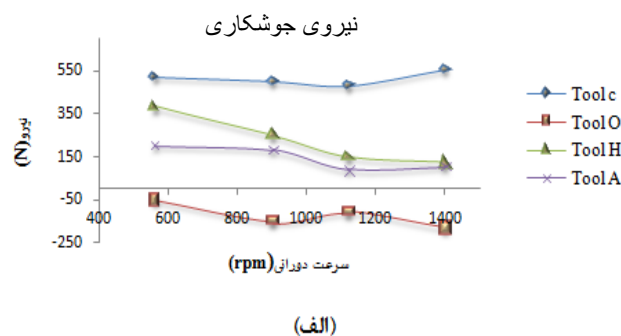
دوران با سرعت پیشروی ثابت (۶۳ و ۱۰۰) در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۶): تأثیر سرعت دورانی بر دمای ابزار، الف) سرعت پیشروی ۶۳ mm/min و ب) سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min در فرایند FSW با ابزارهای: پین هم‌مرکز با شانه ابزار (C)، پین خارج از محور نسبت به شانه ابزار (O)، ابزار با پین نیم‌دایره‌ای (H)، ابزار با پین هلالی شکل (A).

با توجه به شکل ۶-الف، در سرعت پیشروی ۶۳ mm/min افزایش دما و هم تغییرات دمایی خیلی کم می‌باشد ولی در شکل ۶-ب، در سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min با افزایش سرعت دوران دمای ابزارهای H و A با شیب زیادی افزایش یافته‌اند، که نسبت به ابزارهای C و O بیشتر است، ابزارهای H و A به دلیل داشتن شکل پین خاص باعث مخلوط کردن بیشتر مواد و ایجاد اصطکاک بیشتر در جوشکاری می‌شود و باعث افزایش دما می‌شود. در ابزار O کمترین تغییرات دمایی وجود دارد و موقعیت دمایی ابزار O نسبت به موقعیت دمایی ابزار C از دمای کمتری برخوردار بوده است از طرفی شیب تغییر دمایی این ابزار کم است.

مواد بدون هیچ مقاومتی از فضای خالی اطراف پین استفاده کرده و به پشت پین منتقل می‌شوند و تحت فشار پین به هم فشرده و توسط شانه فورجینگ خواهد شد که نیروی زیادی دربر خواهد داشت، نیروی فشرده‌گی مواد توسط پین در پشت پین از نیروی وارده از طرف جلو به پین بیشتر بوده، به همین دلیل نیروهای اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر منفی نشان داده شده است. در ابزارهای H و A به دلیل کوچک بودن لنگی پین‌ها و داشتن شکل لبه‌ای به اندازه ابزار O در کاهش نیروی محوری توان نداشته‌اند.



شکل (۷): تأثیر سرعت دورانی بر نیروی جوشکاری، الف) سرعت پیشروی ۶۳ mm/min و ب) سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min در فرایند FSW با ابزارهای: پین هم‌مرکز با شانه ابزار (C)، پین خارج از محور نسبت به شانه ابزار (O)، ابزار با پین نیم‌دایره‌ای (H)، ابزار با پین هلالی شکل (A).

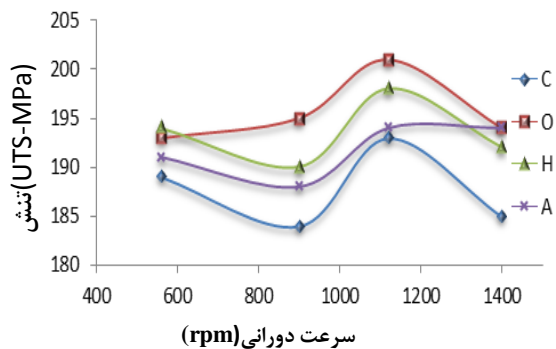
۳-۲- بررسی دمای ابزار

در آزمایش‌های انجام شده، دمای سطح بالای شانه ابزار حین عملیات جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی اندازه‌گیری شد. نمودارهای دما برای پارامترهای مختلف مطابق جدول ۲ حاصل گردید. حداکثر تغییر دمای هر چهار نوع ابزار بر حسب تعداد

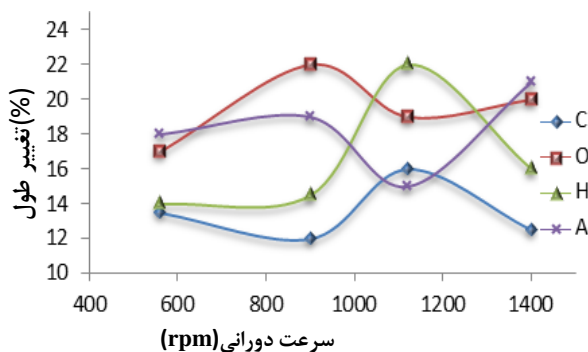
۳-۳- بررسی آزمون کشش

آزمون کشش بر روی نمونه‌های جوشکاری شده با سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min برای هر چهار ابزار انجام شد. مقدار استحکام نهایی برای فلز پایه ۲۱۵ MPa و ازدیاد طول ۲۲/۶ درصد می‌باشد و در شکل ۷ استحکام نهایی و درصد ازدیاد طول برحسب دوران برای چهار ابزار نشان داده شده است.

مطابق شکل ۷-الف، قطعاتی که توسط ابزار O جوشکاری شده‌اند نسبت به ابزارهای دیگر استحکام کششی بالاتری دارد، در ابزار O به دلیل خارج از محور بودن پین ابزار اغتشاش بیشتری ایجاد کرده و زمانی که ابزار مواد را از جلو به پشت منتقل می‌کند به دلیل خارج از محور بودن پین، مواد را بهتر از سایر ابزارها فورجینگ می‌کند و باعث ایجاد ساختاری ریز دانه می‌شود و استحکام کششی را افزایش می‌دهد. ابزار H و ابزار A به دلیل داشتن توان کمتر در انتقال مواد و فشرده سازی مواد در پشت سر خود نسبت به ابزار O دارای استحکام کمتری می‌باشد و همان طور که مشاهده می‌شود ابزار A ضعیف تر از ابزار H در افزایش استحکام عمل کرده است چون پین دارای شکلی هلالی است و فورجینگ مواد پشت پین ضعیف تر است. در ابزار C به دلیل هم مرکز بودن محور پین با محور شانه عمل انتقال مواد از جلو پین به پشت پین به سادگی انجام شده ولی توانی در فشرده سازی مواد انتقال داده شده از جلو به پشت پین ندارد به همین دلیل دارای کمترین استحکام نسبت به سایر ابزارها می‌باشد. با توجه به ثابت بودن سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min در بین سرعت دورانی‌های انتخاب شده، سرعت دورانی ۱۱۲۰ rpm بیشترین استحکام را در هر چهار ابزار ایجاد کرده است و با کاهش و افزایش سرعت دورانی نسبت به این سرعت دورانی برای سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min استحکام کاهش خواهد یافت، در نتیجه برای سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min مناسب ترین سرعت دورانی حدود ۱۱۲۰ rpm می‌باشد. مطابق شکل ۷-ب، ابزار O دارای بالاترین ازدیاد طول و ابزارهای H و A کمتر از ابزار O و بیشتر از ابزار C می‌باشند، که در سرعت دورانی ۱۱۲۰ rpm روند میزان ازدیاد طول برای ابزارهای C و H مشابه و برای ابزارهای O و A مشابه هم می‌باشند. شکل ۸ نمونه شکسته شده آزمون کشش برای قطعه جوشکاری شده با ابزار O و سرعت دورانی ۵۶۰ rpm و سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۷): نتایج به دست آمده از آزمون کشش با سرعت پیشروی ثابت ۱۰۰ mm/min و تغییر سرعت دوران الف) استحکام نهایی، ب) درصد ازدیاد طول، پین هم مرکز با شانه ابزار (Tool C)، پین خارج از محور نسبت به شانه ابزار (O)، ابزار با پین نیم دایره‌ای (H)، ابزار با پین هلالی شکل (A).



شکل ۸): نمونه شکسته شده آزمون کشش ابزار O،

(سرعت دورانی ۵۶۰ rpm و سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min).

۵- مراجع

1. Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham J.C., Murch, M.G., Temple-Smith, P., Dawes, C.J. "Improvements Relating to Friction Welding", G.B. Patent Application No. 9,125,978.8, 1991.
2. Mishraa, R.S. and Ma, Z.Y. "Frictions Stir Welding and Processing", Mater Sci. Eng. R, Reports, Vol. 50, No. 1-2, pp. 1-78, 2005.
3. Nandan, R., DebRoy, T., and Bhadeshia, H.K.D.H. "Recent Advances in Friction-Stir Welding Process, Weldment Structure and Properties", Progr. Mater Sci., Vol. 53, No. 6, pp. 980-1023, 2008.
4. Uematsu, Y., Tokaji, K., Shibata, H., Tozaki, Y., and Ohmune, T. "Fatigue Behavior of Friction Stir Welds Without Neither Welding Flash nor Flaw in Several Aluminium Alloys", Int. J. Fatigue, Vol. 31, No. 10, pp. 1443-1453, 2009.
5. Prado, R.A., Murr, L.E., Shindo, D.J., and Soto, H.F. "Tool Wear in the Friction Stir Welding of Aluminium Alloy 6061+20% Al₂O₃, A Preliminary Study", Scripta Materialia, Vol. 45, No. 1, pp. 75-80, 2001.
6. Murr, L.E., Flores, R.D., Flores, O.V., McClure, J.C., Liu, G., and Brown, D. "Friction-Stir Welding: Microstructural Characterization", Mater Res Innov, Vol. 1, No. 4, pp. 211-223, 1998.
7. Oosterkamp, A., Oosterkamp, L.D., and Nordeide A. "Kissing Bond Phenomena in Solid State Welds of Aluminum Alloys Weld", Welding J., Vol. 83, No. 8, pp. 225-231, 2004.
8. Zeng, W.M., Wu, H.L., and Zhang, J. "Effect of Tool Wear on Microstructure, Mechanical Properties and Acoustic Emission of Friction Stir Welded 6061 Al Alloy", Acta Metall. Sin, Vol. 19, No. 1, pp. 9-19, 2006.
9. Dawes, C.J. and Thomas W.M. "Friction Stir Process for Aluminum Alloys", Welding J., Vol. 75, No. 3, pp. 41-45, 1996.
10. Badarinarayan, H., Shi, Y., Li, X., and Okamoto, K. "Effect of Tool Geometry on Hook Formation and Static Strength of Friction Stir Spot Welded Aluminium' 5754-0 Sheets", Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 49, No. 11, pp. 814-823, 2009.
11. Kumar, R., Singh, K., and Pandey, S. "Process Forces and Heat Input as Function of Process Parameters in AA5083 Friction Stir Welds", Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 22, No. 2, pp. 288-298, 2012.
12. Rai, R., De, A., Bhadeshia, H.K.D., and DebRoy, T. "Review: Friction Stir Welding Tools", Sci. Technol. Weld. Joining, Vol. 16, No. 4, pp.325-342, 2011.
13. Elangovan, K. and Balasubramanian, V. "Influences of Tool Pin Profile and Tool Shoulder Diameter on the Formation of Friction Stir Processing Zone in AA6061 Aluminium Alloy", Mater. Des, Vol. 29, No.2, pp.362-373, 2008.
14. Chen, T.P. and Lin, W.B. "Optimal FSW Process Parameters for Interface and Welded Zone Toughness

نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص می شود که خارج از محور کردن پین ابزار نسبت به شانه ابزار تأثیر بسزایی در کاهش نیروها دارد، به طوری که برای نیروی عمودی و نیروی جوشکاری، ابعاد پین مؤثر و سطح مؤثر شانه تأثیر گذار هستند که برای نیروی عمودی سطح مؤثر شانه بیشترین تأثیر را می گذارد و برای نیروی جوشکاری و استحکام نهایی حالتی از پین که بتواند بیشترین فورجینگ را بر روی موادی از جلو پین به پشت پین انتقال داده شده ایجاد کند نیروی جوشکاری را کاهش و استحکام را افزایش می دهد.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی شکل ابزار در فرایند FSW بر روی قطعه کار AA ۵۰۸۳ پرداخته شده است. پارامترهای اندازه گیری شده شامل نیرو عمودی (در راستای محور ابزار) و نیرو جوشکاری (در راستای مسیر جوشکاری)، دما و مشخصات مکانیکی بوده و تأثیر شکل ابزار بر پارامترهای فوق همراه با تغییر سرعت دورانی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

- ابزار با پین خارج از محور تأثیر بیشتری بر کاهش نیروی های عمودی و جوشکاری (بین ۵۰ تا ۷۰ درصد) نسبت به ابزار با پین هم محور با محور شانه ابزار داشته است. ابزارهای با شکل پین نصفه و هلالی شکل دارای نیروهای وارده بیشتری نسبت به ابزار با پین خارج از محور و نیروهای وارده کمتری نسبت به ابزار با پین هم محور می باشند.

- دمای ابزار برای سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min در ابزار با پین غیر هم محور با شانه ابزار کمتر از ابزار با پین هم محور است و دمای ابزار در ابزارهایی با شکل پین نصفه و هلالی با افزایش تعداد دوران افزایش زیادی نسبت به دو ابزار هم محور و خارج از محور داشته اند. برای سرعت پیشروی ۶۳ mm/min تغییرات دمایی در چهار ابزار بسیار نزدیک به یکدیگرند.

- ابزارهایی که دارای قدرت بیشتری در مخلوط کردن مواد و فورجینگ مواد در انتقال مواد از جلو پین به پشت پین می باشد در آزمون کشش مقادیر استحکام نهایی بیشتری دارند. در این زمینه ابزار با پین خارج از محور با سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min و سرعت دورانی ۱۱۲۰ rpm بهترین شرایط را در آزمون کشش دارد.

- روند تأثیر تغییر سرعت دورانی بر دمای ابزار در شکل ابزارهای مورد آزمایش یکسان است.

15. Nourouzi, S. and Shakeri, M. "Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloy Joining by Friction Stir Welding in Air and Underwater Friction Stir Welding", *Modares Mech. Eng.*, Vol. 13, No. 3, pp.146-52, 2013 (In Persian).
16. Azizi, A., Zakeri, V., Mostofi-zadeh, A., and Azarafza, R. "Influence of friction stir welding process and tool parameters on strength properties of AA7075-T6 aluminum alloy joints", *Modares Mech. Eng.*, Vol. 13, No. 12, pp.56-62, 2013 (In Persian).
12. Rai, R., De, A., Bhadeshia, H.K.D., and DebRoy, T. "Review: Friction Stir Welding Tools", *Sci. Technol. Weld. Joining*, Vol. 16, No. 4, pp.325-342, 2011.
13. Elangovan, K. and Balasubramanian, V. "Influences of Tool Pin Profile and Tool Shoulder Diameter on the Formation of Friction Stir Processing Zone in AA6061 Aluminium Alloy", *Mater. Des.*, Vol. 29, No.2, pp.362-373, 2008.
14. Chen, T.P. and Lin, W.B. "Optimal FSW Process Parameters for Interface and Welded Zone Toughness of Dissimilar Aluminium-Steel Joint", *Sci. Technol. Weld. Joining*, Vol. 15, No. 4, pp. 279-285, 2010.

Archive of SID