



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۳۵ تا ۴۳
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 35- 43



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)
Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)
(AJSR - ME)

تاثیر پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بر خواص مکانیکی اتصال لبه رویهم آلیاژ آلومینیم به فولاد زنگ نزن آستنیتی

علی سلطانی^۱، محسن شاکری^۲، سلمان نوروزی^{۳*}، حامد جمشیدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل

۲- استاده، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل

۴- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل

(دریافت ۱۳۹۲/۳/۲۸، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۶)

چکیده

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یکی از فرآیندهای جوشکاری در حالت جامد است که به دلیل دمای پایین در موضع جوش مانع ایجاد عیوبی می شود که در جوشکاری ذوبی اتفاق می افتد. در این مقاله اثرات سه پارامتر مهم سرعت دورانی، سرعت پیشروی و زاویه انحراف ابزار بر استحکام اتصال لبه رویهم آلیاژ آلومینیم به فولاد زنگ نزن آستنیتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که افزایش بیش از حد سرعت دورانی یا کاهش سرعت پیشروی می تواند باعث پدید آمدن عیوبی همچون تشکیل پلیسه، حفرات و کاهش ضخامت موثر ورق در ناحیه اتصال شود که خواص مکانیکی اتصال را به شدت تحت تاثیر قرار خواهد داد. بطوریکه حداکثر نیروی شکست در سرعت دورانی، ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه، برابر با ۷۷۵۰ N بوده که با افزایش سرعت دورانی به ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به ۳۳۵۰ N کاهش می یابد. همچنین مشخص شد که با افزایش زاویه انحراف، استحکام اتصال ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد بطوریکه با افزایش زاویه انحراف از ۱/۵ به ۲/۵ درجه، نیروی شکست از ۷۷۵۰ N به ۴۱۸۰ N کاهش می یابد که از جمله علل آن می تواند افزایش حرارت ورودی، ایجاد پلیسه و کاهش حجم مواد در زیر شانه ابزار و در نهایت شکل گیری عیوب در ناحیه اتصال باشد.

کلمات کلیدی

اتصال لبه رویهم، آلیاژ آلومینیم، فولاد زنگ نزن، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، زاویه انحراف.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: s-nourouzi@nit.ac.ir

۱- مقدمه

خطی موجب افزایش حرارت ورودی به موضع جوش شده و باعث می شود که اندازه این عیب بزرگتر شود و در نتیجه خواص مکانیکی اتصال کاهش می یابد. همچنین با کاهش حرارت ورودی که در اثر کاهش سرعت دورانی یا افزایش سرعت خطی اتفاق می افتد از یک سو می توان اندازه این عیب را کاهش داد و از سوی دیگر می توان باعث عدم پیوستگی آن شد که نتیجه این امر بهبود خواص مکانیکی است. همچنین پارامترهای دیگر شامل عمق نفوذ، شکل و هندسه پین و تعداد پاس فرآیند توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت [۵، ۸، ۷]. با این وجود برخی از پارامترهای مهم همچون زاویه انحراف، کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این تحقیق دو سری آزمایش انجام شده است. در آزمایش های سری اول به بررسی اثرات سرعت دورانی و سرعت پیشروی بر خواص مکانیکی اتصال لبه رویهم آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ به فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ پرداخته شده است. سپس با مشخص شدن مناسب ترین پارامتر سرعت دورانی و سرعت پیشروی، اثرات زاویه انحراف بر استحکام اتصال مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی خواص مکانیکی اتصال آزمون برش کششی^۱ و میکروسختی روی نمونه ها انجام شد. همچنین مقطع اتصال به کمک میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت.

۲- نحوه انجام آزمایش

ورق های آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ با ضخامت ۲ میلیمتر و فولاد زنگ نزن آستنیتی با ضخامت ۱ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفتند. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آنها در جداول (۲و۱) آمده است. قطعه کارها بصورت مستطیلی و با ابعاد 150×120 mm به نحوی که در شکل ۱ نشان داده شده است از ورق های اصلی تهیه شدند. با توجه به سازوکار اتصال در جوشکاری لبه رویهم که شامل قفل شدن مکانیکی در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی است [۲]، بمنظور ایجاد شرایط مناسب تر برای برقراری اتصال، سطح ورق ها بوسیله سنگ سمباده، زبر شدند [۱۰] و سپس روی یک نگه دارنده بصورتی که قطعه کار آلومینیمی با مقدار بر هم نهی ۴۰ میلیمتر بر روی قطعه کار فولادی قرار گیرد، گیره بندی شدند. با توجه به شکل ۲ ابزار دورانی از جنس کاربید تنگستن با قطر شانه ۱۴ mm میلیمتر و قطر پین ۴ میلیمتر و طول ۲/۲ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش های اولیه در زاویه انحراف ثابت ۱/۵ درجه و با سرعت دورانی و سرعت پیشروی مختلف انجام شدند. با بررسی نمونه ها مشخص شد که بهترین پارامتر سرعت دورانی و سرعت پیشروی بترتیب ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و ۸۰ میلیمتر بر دقیقه

نیاز به متصل کردن مواد غیر همجنس روز به روز در حال افزایش است. ایجاد یک اتصال مناسب بین مواد غیر همجنس می تواند با کاهش وزن یک مجموعه همراه باشد که خود موجب کاهش مصرف سوخت خواهد شد. بنابراین برای ایجاد این نوع از اتصالات نیاز به توسعه روش های مناسب، قابل اطمینان و در عین حال کم هزینه است [۱]. این روش از جوشکاری در اتصال ورق های غیر همجنس در صنایع کشتی سازی و هوا و فضا کاربرد دارد. استحکام مکانیکی بالای آلیاژهای فولادی در کنار چگالی پایین و مقاومت به خوردگی بالای آلیاژ های آلومینیمی باعث می شود تا قطعات حاصل از اتصال بین این مواد خواص ترکیبی مطلوبی داشته باشند که در صنایع متنوعی همچون حمل و نقل، خودروسازی، هوایی و دریایی می تواند مورد استفاده قرار گیرد [۲]. اتصال بین دو ماده غیرهمجنس با استفاده از فرایند جوشکاری ذوبی بدلیل تفاوت زیاد در نقطه ذوب و تفاوت زیاد انبساط حرارتی باعث بوجود آمدن تنش های پسماند زیادی در جوش می شود، همچنین تشکیل فازهای بین فلزی بدلیل بالا بودن دمای جوشکاری سبب می شود که در مجموع خواص مکانیکی مناسبی برای اتصال حاصل نشود. بنابراین اتصال بین آلومینیم و فولاد با استفاده از روش های جوشکاری ذوبی در بسیاری از موارد بسیار مشکل و یا حتی غیرممکن است [۳]. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یکی از روش های جوشکاری در حالت جامد است که بدلیل دمای پایین در موضع جوش مانع ایجاد عیوبی همچون ترک، اعوجاج و دیگر عیوبی می شود که می توانند در جوشکاری های ذوبی اتفاق بیافتند. همچنین علاوه بر این خصوصیات، بدلیل کاهش حجم عناصر بین فلزی و ضخامت پایین این لایه ها روش مناسبی برای اتصال بین مواد غیر همجنس می تواند باشد. از جمله پارامترهای موثر بر این فرایند شکل و هندسه ابزار، سرعت دورانی، سرعت پیشروی، عمق نفوذ و تعداد پاس فرایند است که توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. هرشایکیش و همکاران [۴] اثرات سرعت دورانی و سرعت پیشروی را بر انرژی حرارتی ورودی به ناحیه اتصال و تاثیر آن بر استحکام اتصال را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج بدست آمده میتوان مشاهده کرد که در اثر افزایش یا کاهش بیش از حد انرژی حرارتی ورودی به موضع جوش، استحکام اتصال کاهش می یابد که علت آن تشکیل عیوب در ناحیه اتصال است. همچنین در تحقیقی که توسط چن و همکاران [۵] صورت گرفت مشخص شد که از جمله عیوب اثرگذار در اتصال لبه رویهم، نازک شدگی یا کاهش ضخامت موثر ورق^۱ می باشد که سرعت دورانی و خطی می تواند بر اندازه و شکل آنها تاثیر بگذارد. افزایش سرعت دورانی یا کاهش سرعت

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴

عناصر (%)	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	V	Other	Al	...
آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۲۵	۲/۲	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۲۴	۰/۱۱۵	۹۷/۰۲	...
عناصر (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Other	Fe
فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴	۰/۰۳	۰/۴۹	۱/۰۹	۰/۰۲۵	<۰/۰۰۳	۱۸	۰/۰۲	۸/۱	۰/۳۱۴	۷۳/۹۳

جدول ۲: خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ و فولاد زنگ نزن آستنیتی

مواد	استحکام کششی (MPa)	درصد ازدیاد طول	سختی (HV ₁)
آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲	۲۸۵	۱۵	۸۴
فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴	۸۱۴	۴۷	۱۹۰

در فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی رویهم حرارت مورد نیاز برای برقراری اتصال از طریق اصطکاک حاصل از تماس شانه ابزار با سطح ورق بالایی تامین می شود. افزایش نسبت مجذور سرعت دورانی به سرعت پیشروی (ω^2/V) افزایش حرارت ورودی به ناحیه اتصال را به دنبال خواهد داشت [۱۵]. افزایش بیش از حد حرارت موضعی در ناحیه جوشکاری موجب سیلان بیش از اندازه مواد در زیر شانه ابزار، چسبیدن مواد به سطح شانه ابزار و افزایش اغتشاش در ناحیه اتصال می شود که در اثر آن، مواد از اطراف شانه ابزار خارج شده و باعث تشکیل پلیسه در اطراف ناحیه اتصال می گردد. افزایش پلیسه به معنای کاهش حجم مواد در ناحیه اتصال و زیر شانه ابزار است که در نتیجه آن حفرات و عیوب در ناحیه اتصال می توانند شکل گیرند. با توجه به شکل ۴ می توان مشاهده کرد که در اثر افزایش سرعت دورانی پلیسه در اطراف ناحیه جوش تشکیل شده است (شکل ۴-ج) که می تواند موجب تشکیل حفرات در اتصال شود. شکل گیری حفرات می تواند خواص مکانیکی اتصال را تحت تاثیر قرار دهد. شکل ۵ نیروی شکست اتصال را برای نمونه های مختلف نشان می دهد. مشاهده می شود که حداکثر نیروی شکست برای نمونه ۲ (با شرایط سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه) معادل ۷۷۵۰N بدست آمده است. همچنین می توان مشاهده کرد که با افزایش سرعت دورانی استحکام اتصال کاهش می یابد بطوریکه کمترین میزان استحکام برای نمونه ۷ (با شرایط سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۵۶ میلیمتر بر دقیقه) با نیروی شکست ۳۲۷۰N بدست آمده است. شکل ۶ تصویر میکروسکوپی از سطح مقطع نمونه های ۲ و ۷ را نشان می دهد. با توجه به بالا بودن حرارت برای نمونه ۷ (بیشترین نسب ω^2/V) و به دنبال آن افزایش میزان پلیسه در ناحیه اتصال حفراتی در ناحیه اتصال شکل گرفته اند.

است. بنابراین آزمون های بعدی برای بررسی اثرات زاویه انحراف ابزار در شرایط سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه و با عمق نفوذ پین به اندازه ۲/۴ میلیمتر از سطح آلومینیم انجام شد. برای بررسی استحکام برشی اتصال، نمونه هایی عمود بر راستای جوشکاری تهیه شد، بطوریکه ناحیه جوش در وسط نمونه ها قرار داشت. ابعاد و هندسه نمونه براساس استاندارد ASTM برای اتصال رویهم در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۱].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر سرعت دورانی و سرعت پیشروی بر استحکام

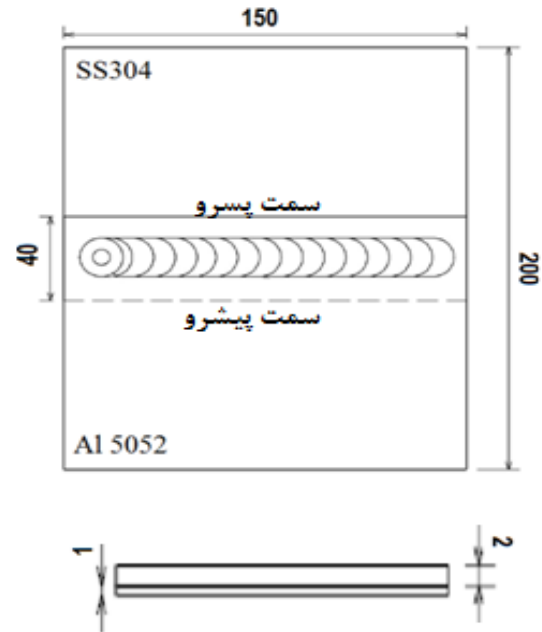
برای بررسی اثرات سرعت دورانی و سرعت پیشروی بر اتصال، آزمایش های اولیه با سرعت دورانی و سرعت پیشروی مختلف مطابق جدول ۳ انجام شد.

جدول ۳: پارامترهای جوشکاری مورد بررسی

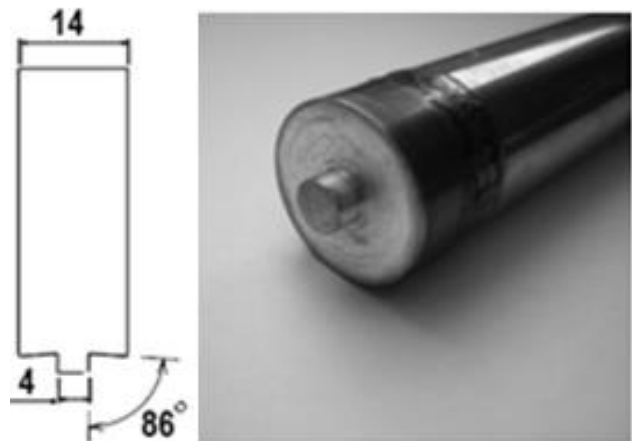
شماره	سرعت دورانی (rpm)	سرعت پیشروی (mm/min)
۱	۱۰۰۰	۵۶
۲	...	۸۰
۳	...	۱۱۲
۴	۱۴۰۰	۵۶
۵	...	۸۰
۶	...	۱۱۲
۷	۲۰۰۰	۵۶
۸	...	۸۰
۹	...	۱۱۲

واقع با افزایش حرارت ورودی به ناحیه اتصال در حین جوشکاری افزایش اغتشاش و اختلاط دو ماده را شاهد هستیم. با عبور ابزار، ناحیه جوشکاری در اثر انتقال حرارت با محیط دمای خود را از دست می‌دهد، در هنگام خنک شدن ناحیه اتصال به دلیل اختلاف ضریب انقباض دو فلز، در مناطقی از اتصال که این دو فلز در تماس با هم هستند حفراتی می‌تواند به وجود آید که افزایش نسبت ω^2/V می‌تواند شرایط نامطلوبی را بوجود آورد. از جمله عوامل دیگری که در شکل‌گیری عیوب موثر است، به نحوه قرارگیری ورق‌ها در اتصال رویهم مربوط می‌شود. در اتصال رویهم به دلیل موقعیت قرارگیری ورق‌ها، سطح تماس بین دو ورق کاملاً افقی است، برای ایجاد اتصال بین دو ورق نیاز به جریان مواد در جهت عمود بر سطح تماس است که این مسئله باعث کاهش ضخامت موثر ورق در دو سمت دکمه جوش (سمت پیشرو^۳ و پسرو^۲) می‌شود. وجود این عیب در ناحیه اتصال موجب کاهش سطح مقطع موثر و بروز شکست در نیروهای پایین می‌شود. در اثر افزایش نسبت ω^2/V حرارت و اغتشاش در ناحیه اتصال افزایش یافته که موجب افزایش اندازه این عیب، کاهش سطح مقطع موثر و به دنبال آن کاهش استحکام اتصال می‌شود. شکل ۷ مقطع شکست نمونه‌های ۲ و ۷ را نشان می‌دهد.

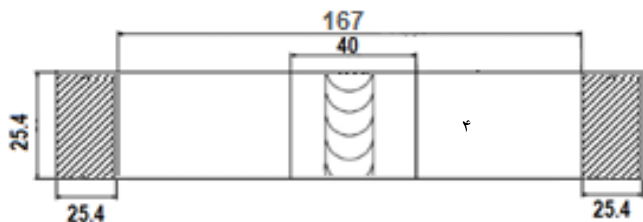
با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان دید که برای نمونه ۲، اتصال از ناحیه دکمه جوش با سطح وسیعی جدا شده است این در حالی است که برای نمونه ۷ اتصال از سمت پیشرو با سطح بسیار کوچکتری نسبت به نمونه ۲ جدا شده است که علت آن کاهش بیشتر ضخامت موثر ورق در سمت پیشروی بوده است. عامل موثر دیگر بر خواص مکانیکی قطعات جوشکاری شده تشکیل ترکیبات بین فلزی به دلیل دمای بالا در فرایند جوشکاری است. تشکیل ترکیبات بین فلزی نیز به دلیل ماهیت ترد آنها می‌تواند اثرات مخربی بر استحکام اتصال داشته باشد بطوریکه با افزایش حرارت در اثر افزایش نسبت ω^2/V ، افزایش مقدار این ترکیبات را در ناحیه اتصال شاهد خواهیم بود. شکل ۸ نمودار تغییرات میکروسختی اتصال را در امتداد خطوط مشخص شده در شکل ۶-الف با فواصل ۱ میلی‌متر از هم نشان می‌دهد. سختی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ به ترتیب ۸۴ و ۱۹۰ ویکرز اندازه‌گیری شد. سختی در نقاط مختلف منطقه جوشکاری در ورق آلومینیم کمتر از فلز پایه است که می‌تواند به علت اثرات حرارتی و افزایش رشد دانه در این ناحیه باشد. چرا که در اتصال لبه رویهم تمام سطح شانه ابزار روی سطح آلومینیم قرار دارد. کمترین مقدار سختی برابر با ۶۳/۷ ویکرز در ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) می‌باشد. همچنین سختی در سمت پیشرو از سمت پسرو پایین‌تر است که علت آن بالاتر بودن حرارت جوشکاری در سمت پیشرو



شکل ۱: ابعاد و هندسه ورق‌های جوشکاری شده

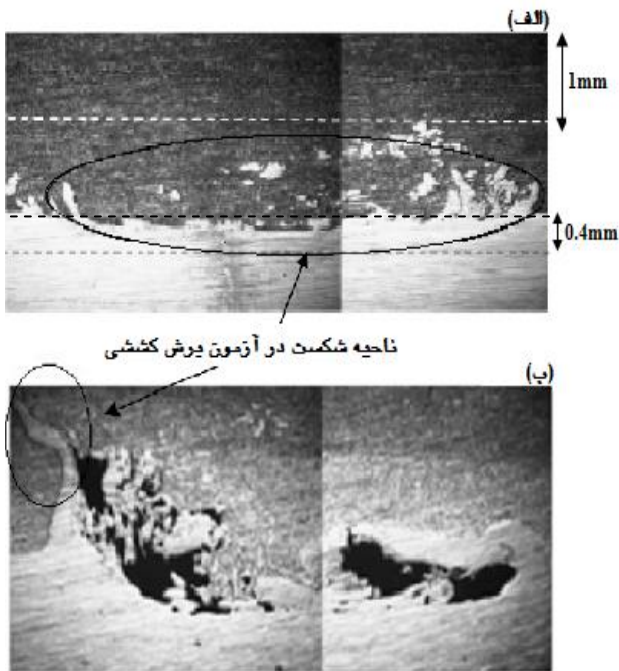


شکل ۲: مشخصات ابزار کاربرد تنگستنی



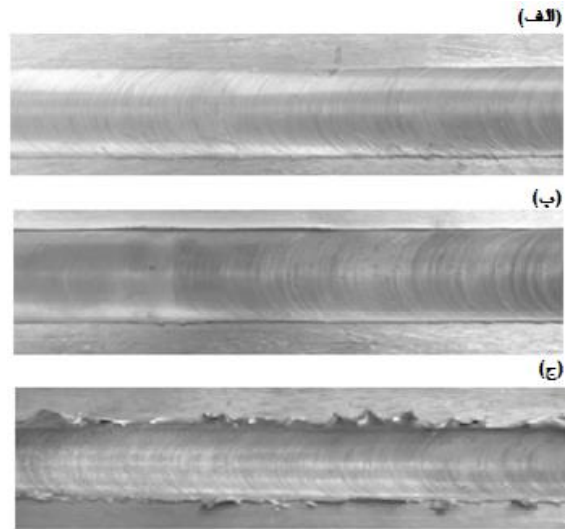
شکل ۳: ابعاد و هندسه نمونه آزمون برش کششی

عامل دیگری که می‌تواند در تشکیل حفرات موثر باشد تفاوت در خواص حرارتی آلیاژ آلومینیم و فولاد است، عاملی که موجب اختلاف در نقطه ذوب و ضریب انقباض این دو ماده می‌شود. در



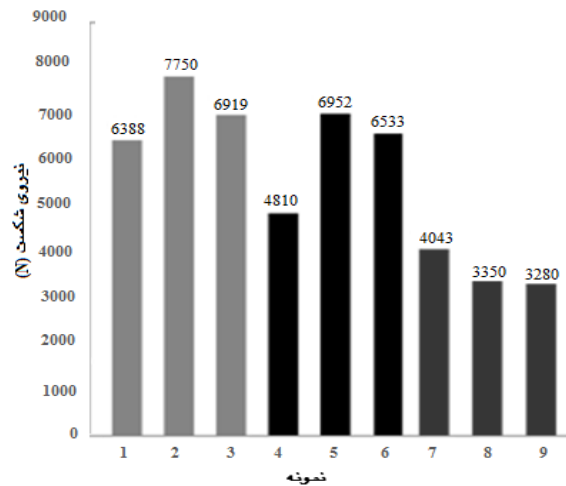
شکل ۶: تصویر ماکروسکوپی از سطح مقطع اتصال
الف: نمونه ۲ ب: نمونه ۷

است. بالاترین میزان سختی نیز در ناحیه دکمه جوش است که علت آن وجود حرارت و تغییر شکل پلاستیک زیاد در این ناحیه می باشد که موجب تبلور مجدد دینامیکی و ایجاد ساختاری با دانه بندی ریز می شود.



شکل ۴: کیفیت سطحی اتصال در سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه و سرعت دورانی الف: ۱۰۰۰ دور بر دقیقه ب: ۱۴۰۰ دور بر دقیقه، ج: ۲۰۰۰ دور بر دقیقه

بطوریکه حداکثر میزان سختی ۸۲/۷ ویکرز برای نمونه ۲ بدست آمده است. باتوجه به توزیع سختی در ناحیه زیر شانه ابزار در فولاد زنگ نزن آستنیتی می توان مشاهده کرد که در ناحیه زیر دکمه جوش میزان سختی، بالاتر از سایر نقاط و همچنین بالاتر از فلز پایه است که می تواند به تغییر شکل پلاستیک و کار سختی و افزایش چگالی نابجایی در اثر اعمال فشار توسط پین ابزار در این ناحیه ارتباط داشته باشد [۱۶]. عامل دیگری که می تواند بر افزایش سختی در فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ اثر گذار باشد رسوب فاز σ در ناحیه زیر دکمه جوش به دلیل حرارت بالا در این ناحیه است. فولاد زنگ نزن آستنیتی در دمای محیط شامل سه فاز فریت δ ، مرزهای بین فازی آستنیت (γ) / فریت δ و فاز آستنیت است. با افزایش دما فاز σ و آستنیت ثانویه در فریت δ رسوب می کند که حضور فاز σ باعث افزایش سختی در این ناحیه می شود [۱۴]. با مقایسه توزیع سختی در آلومینیم و فولاد می توان دید که منطقه تحت تاثیر فرایند جوشکاری در بخش آلومینیم بزرگتر از فولاد است. چراکه شانه ابزار بطور کامل روی سطح آلومینیم قرار دارد و در نتیجه ناحیه بزرگتری را تحت تاثیر حرارت جوشکاری قرار می دهد این در حالی است که در فولاد تنها ناحیه زیر دکمه جوش به دلیل تماس با پین ابزار تحت تاثیر قرار می گیرد.

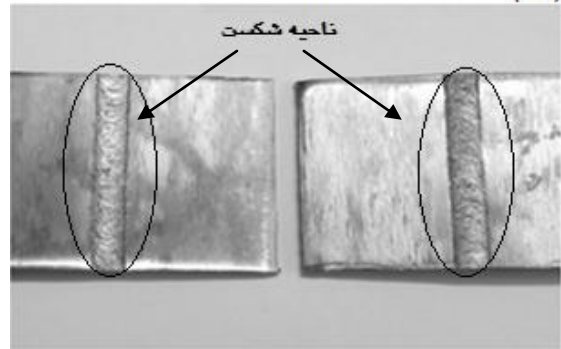


شکل ۵: نمودار نیروی شکست اتصال با شرایط مختلفی از سرعت دورانی و پیشروی ابزار

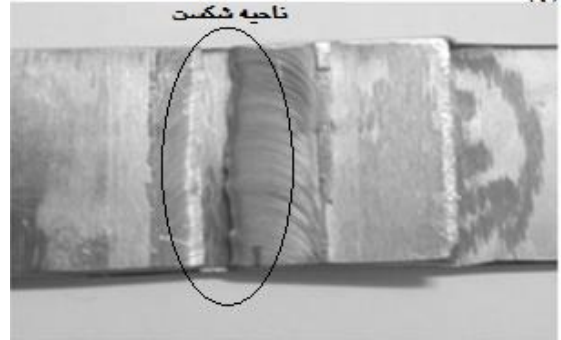
۲-۳- اثرات زاویه انحراف بر استحکام برشی اتصال

با توجه به شرایط مطلوب از نظر خواص مکانیکی و همچنین عدم تشکیل عیوب در ناحیه اتصال برای نمونه ۲، برای بررسی اثرات زاویه انحراف بر خواص مکانیکی اتصال از سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه استفاده شد. اتصال با زاویه انحراف ۱ تا ۲/۵ درجه با فاصله ۰/۵ درجه از هم انجام شد. در شکل (۹) جوش‌های انجام شده در زاویه انحراف های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۹-الف در زاویه انحراف ۱ درجه مشاهده می‌شود که به دلیل کم بودن نیروی فورج و عدم جریان مناسب مواد از جلوی ابزار به پشت آن و به دنبال آن پرشدن نامناسب حفره های بجا گذاشته شده توسط پین ابزار، شاهد ایجاد حفره سرتاسری در سطح جوش هستیم [۱۲]. بدلیل عیوب زیاد در نمونه جوشکاری شده با زاویه ۱ درجه، نمونه در حین آماده‌سازی برای انجام آزمون برش کششی شکسته شد. مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه به ۱/۵ درجه (شکل ۹-ب) کیفیت سطحی جوش به شرایط مطلوبی رسیده است، به نحوی که سطح جوش بطور کامل پر شده و هیچگونه پلیسه در اطراف جوش دیده نمی‌شود که این مسئله گویای شرایط مناسب از نظر نیروی فورج و جریان مواد است بطوریکه از بیرون پاشیدن مواد و تشکیل پلیسه در اطراف جوش جلوگیری شده است. با توجه به شکل ۱۰ می‌توان دید که نیروی شکست اتصال در این زاویه انحراف به 7750 N افزایش یافته که حاکی از کیفیت مناسب جوش است. در شکل ۱۱ مقطع عرضی نمونه‌ها با زوایای مختلف انحراف نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۱-الف با زاویه انحراف ۱/۵ درجه هیچگونه حفره در موضع جوش مشاهده نمی‌شود که دلیلی بر استحکام بالای این نمونه است. با افزایش زاویه انحراف به ۲ درجه (شکل ۹-ج) کیفیت ظاهری جوش تغییر چندانی نداشته است اما نیروی شکست اتصال به 7300 N کاهش یافت. شکل ۱۱-ب نشان می‌دهد که با زاویه انحراف ۲ درجه حفراتی در سمت پیشرو و پسرو ایجاد می‌شوند که می‌توانند محل تمرکز تنش و انتشار ترک و همچنین دلیلی بر کاهش استحکام این نمونه نسبت به نمونه با زاویه انحراف ۱/۵ درجه باشد. در زاویه ۲/۵ درجه (شکل ۹-د) با وجود کیفیت سطحی مناسب برای جوش می‌توان افزایش میزان پلیسه را در اطراف محل اتصال مشاهده کرد که ناشی از افزایش میزان نیروی فورج در اثر افزایش فشار و افزایش حرارت است بطوریکه موجب سیلان بیش از حد مواد در زیر شانه ابزار شده و منجر به بیرون پاشیدن مواد از زیر شانه ابزار می‌شود [۳]. همین امر باعث افزایش حجم حفرات در جوش شده است که اثرات مخربی را روی استحکام خواهد داشت. این اثرات بخوبی در شکل ۱۱-ج نشان داده شده است. می‌توان دید که با

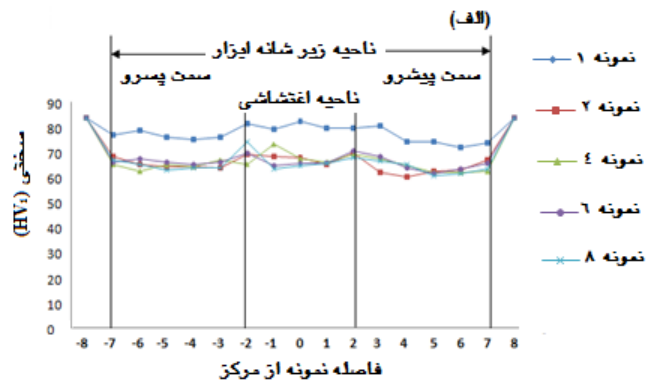
(الف)



(ب)

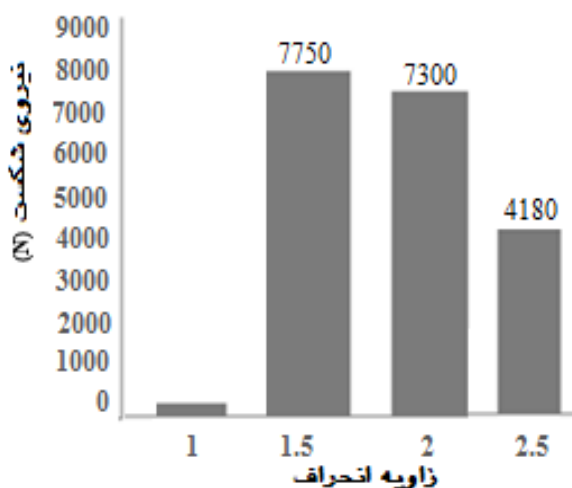


شکل ۷: ناحیه شکست اتصال در آزمون برش کششی الف: نمونه ۲، ب: نمونه ۷



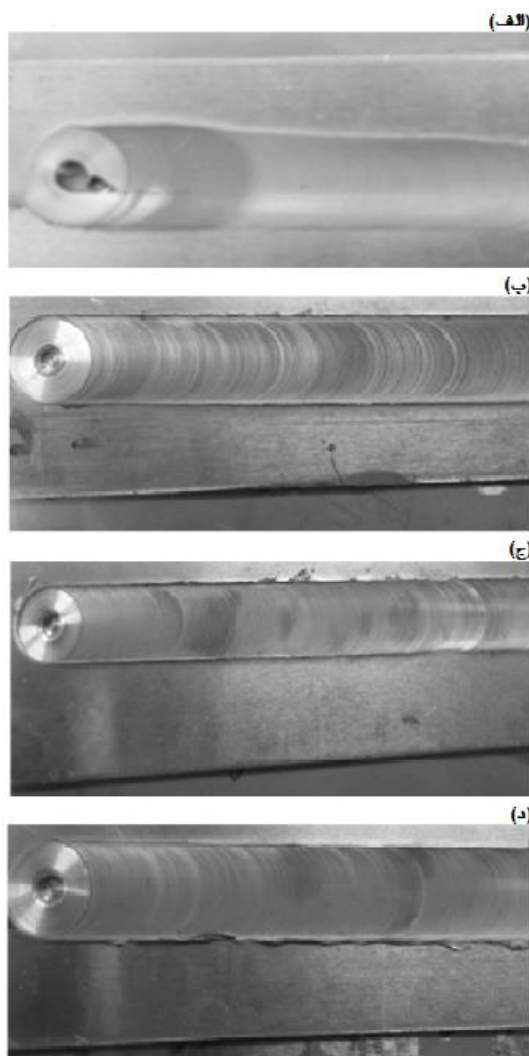
شکل ۸: نمودار توزیع سختی الف) آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ ب) فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴

ناحیه اتصال می‌باشد. علت این امر اثرات حرارتی مرتبط با این ناحیه است چراکه حرارت جوشکاری باعث رشد دانه و در نتیجه کاهش میزان سختی در این ناحیه می‌شود. بیشترین میزان سختی در ناحیه مرکزی جوش می‌باشد که برابر ۷۶/۷ ویکرز است. علت افزایش سختی در این ناحیه به دلیل وجود اثرات حرارتی و اغتشاشی است که منجر به ایجاد تبلور مجدد دینامیکی و ایجاد ساختاری با دانه‌بندی ریزتر در این ناحیه می‌شود [۱۳]. با توجه به شکل ۱۲-ب میزان سختی در فولاد زنگ نزن آستنیتی در ناحیه دکمه جوش افزایش زیادی داشته است بطوریکه حداکثر سختی به ۳۶۵ ویکرز در ناحیه مرکز جوش می‌رسد. از آنجایی که این ناحیه تحت تاثیر اثرات اغتشاشی پین قرار ندارد بنابراین اثرات مرتبط با تبلور مجدد نمی‌تواند در افزایش سختی این ناحیه نقش داشته باشد. علت افزایش سختی می‌تواند ناشی از تغییر شکل پلاستیک در اثر اعمال فشار توسط پین ابزار و در نتیجه بروز پدیده کارسختی باشد. همچنین احتمال رسوب فاز σ در این ناحیه به دلیل وجود حرارت بالا می‌باشد. از سوی دیگر اختلاف زیادی میان سختی برای زاویه زوایای انحراف به ترتیب ۳۰۵، ۳۴۴ و ۳۶۵ ویکرز است که علت افزایش سختی ناشی از افزایش نیروی فورج و به دنبال آن افزایش تغییر شکل پلاستیک در این ناحیه است.



شکل ۱۰: نیروی شکست اتصال در زاویه انحراف مختلف

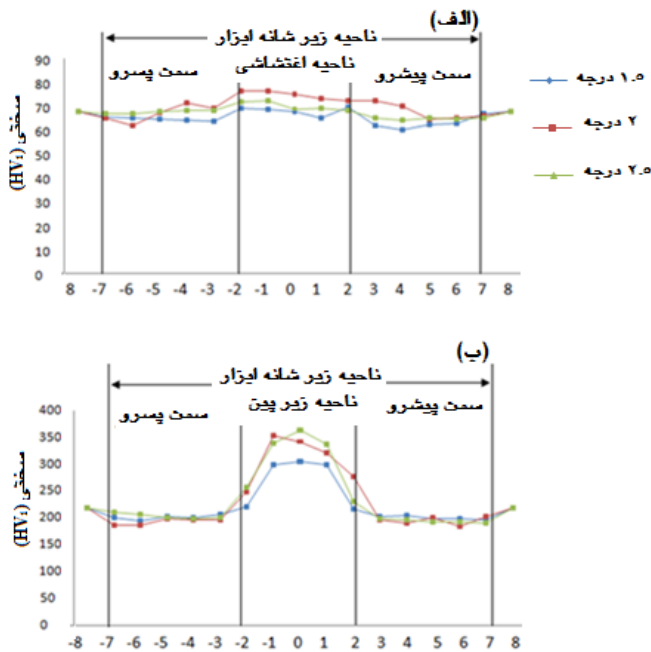
جوشکاری در این زاویه انحراف، حجم حفرات موجود در جوش به شدت افزایش یافته است که در نهایت باعث شکستن اتصال در نیروهای پایین می‌شود. بطوریکه نیروی شکست اتصال (شکل ۱۰) به ۴۱۸۰ N کاهش یافته است.



شکل ۹: جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی روی هم با زاویه انحراف، الف: ۱ درجه، ب: ۱/۵ درجه، ج: ۲ درجه، د: ۵/۵ درجه

۳-۳- اثرات زاویه انحراف بر میکروسختی اتصال

میکروسختی در امتداد خطوط نشان داده شده در شکل ۱۱-الف با فواصل ۱ میلی‌متر از یکدیگر اندازه‌گیری و نتایج حاصل از آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۲-الف می‌توان دید که تغییرات سختی در بخش آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ برای هر سه زاویه تقریباً یکسان است. مقدار سختی در ناحیه متأثر از حرارت ۶۳ ویکرز بوده که کمترین میزان سختی در



شکل ۱۲: نمودار تغییرات میکروسختی در ناحیه، الف: آلیاژ آلومینیم، ب: فولاد زنگ نزن استنتیتی ۳۰۴

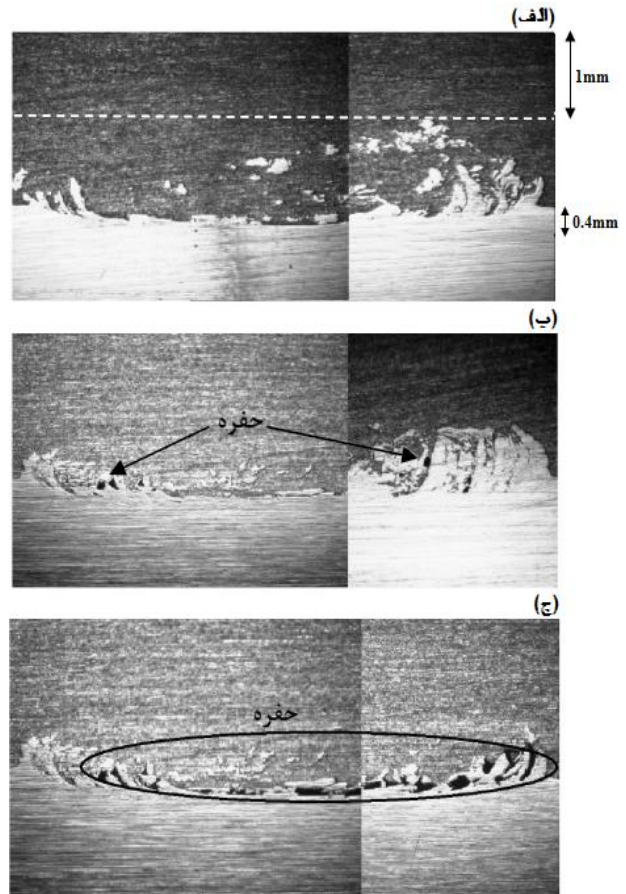
۳- بالاترین میزان تغییرات سختی در ناحیه زیر دکمه جوش و در فولاد اتفاق می افتد بطوریکه میزان سختی از ۱۹۰ ویکرز برای فلز پایه به ۳۶۵ ویکرز در ناحیه زیر دکمه جوش افزایش می یابد که می تواند به دلیل تغییر شکل پلاستیک و ایجاد پدیده کارسختی در این ناحیه باشد همچنین احتمال رسوب فاز σ به دلیل حرارت بالا در این ناحیه وجود دارد.

۴- با افزایش بیش از حد زاویه انحراف استحکام اتصال کاهش می یابد که علت آن افزایش نیروی فورج و به دنبال آن افزایش میزان پلیسه و ایجاد حفرات در ناحیه اتصال است. بطوریکه افزایش زاویه انحراف باعث افزایش استحکام جوش می-گردد ولیکن با افزایش بیشتر آن (از ۱/۵ به ۲/۵) نیروی شکست اتصال از ۷۷۵۰ N به ۴۱۸۰ N کاهش می یابد.

۵- با افزایش زاویه انحراف سختی در ناحیه فولاد زنگ نزن استنتیتی در ناحیه زیر دکمه جوش اندکی افزایش می یابد که می تواند به دلیل افزایش نیروی فورج در اثر افزایش زاویه انحراف باشد، به نحوی که با تغییر زاویه انحراف از ۱/۵ به ۲/۵ مقدار سختی از ۳۰۵ ویکرز به ۳۶۵ ویکرز افزایش می یابد.

۵- مراجع

- [۱] Ogura Tomo, Saito Yuichi, Nishida Taichi; Nishida Hidehito, Yoshida Takumi, Omichi Noriko; Fujimoto Mitsuo and Hirose Akio, "Partitioning evaluation of mechanical



شکل ۱۱: مقطع عرضی اتصال در زاویه انحراف، الف: ۱،۵ درجه، ب: ۲ درجه، ج: ۲،۵ درجه

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق اتصال آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ به فولاد زنگ نزن استنتیتی ۳۰۴ با جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بصورت لبه رویهم صورت گرفت که نتایج زیر بدست آمده است:

۱- با افزایش بیش از حد سرعت دورانی یا کاهش سرعت پیشروی، حرارت ورودی به ناحیه اتصال افزایش می یابد که می-تواند باعث تشکیل حفرات و عیوب در جوش شود، بطوریکه حداکثر نیروی شکست در نمونه ۲ (با سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۸۰ میلیمتر بر دقیقه) معادل ۷۷۵۰ N بدست آمده است.

۲- افزایش حرارت ورودی می تواند باعث افزایش اغتشاش و در نتیجه کاهش بیشتر ضخامت موثر ورق شود که اثرات مخربی را بر استحکام اتصال خواهد داشت. بطوریکه با افزایش سرعت دورانی به ۲۰۰۰ دور بر دقیقه نیروی شکست اتصال به ۳۲۸۰ N کاهش می یابد.

Mechanics and Applications, vol. 2(3), pp. 24-28, 2010.

Chen Y.C. and Nakata K., "Effect of the Surface State of Steel on the Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Lap Joints of Aluminum and Steel by Friction Stir Welding", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 39A, pp. 1985- 1992, 2008. [۱۰]

Dunn D.J., "Engineering and structural Adhesives", Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading. ASTM D1002- 01. ISSN, 0889- 3144. [۱۱]

Mishra Rajiv S., Mahoney W. Murray, Sato Yutaka; Hovanski Yuri; Verma Ravi, "Friction stir welding and processing", John Wiley & Sons, ISBN:978- 1- 11860- 578- 3 pp. 1- 78. [۱۲]

Elrefaey A., Gouda M., Takahashi M., and keuchi K., "Characterization of Aluminum/Steel Lap Joint by Friction Stir Welding", ASM International. Vol.14, pp. 10-17, 2005. [۱۳]

Hsieh Chih-Chun and Weite Wu., "Overview of Intermetallic Sigma (σ) Phase Precipitation in Stainless Steels", International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy. Volume, 2012. [۱۴]

Ghosh M., Kumarand K., Mishra R.S., "Analysis of microstructural evolution during friction stir welding of ultra high strength steel", Scripta Materialia, Vol. 63, pp. 851-854, 2010. [۱۵]

Bisadi H., Tavakoli A., TourSangsaraki M., Tour Sangsaraki K., "The influences of rotational and welding speeds on microstructures and mechanical properties of friction stir welded Al5083 and commercially pure copper sheets lap joint", Materials and Design, Vol. 43, pp. 80- 88, 2013. [۱۶]

properties and the interfacial microstructure in a friction stir welded aluminum alloy/stainless steel lap joint", Scripta materialia, 66, pp. 531-534, 2012.

Movahedi M., Kokabi A.H., Seyed Reiham S.M. and Najaf H., "Mechanical and Microstructural Characterization of Al-5083/St12 lap joint made by friction stir welding", Materials Science and Engineering, pp. 1- 78, 2005. [۱۷]

Kimapong Kittipong and Watanabe Takehiko, "Effect of Welding Process Parameters on Mechanical Property of FSW Lap Joint between Aluminum Alloy and Steel", Materials Transactions, Vol. 46, pp. 2211-2217, 2005. [۱۸]

Das Hrishikesh; Basak Sushovan, Das Goutam, and Kumar Pal. Tapan, "Influence of energy induced from processing parameter on the mechanical properties of friction stir welded lap joint of aluminum to coated steel sheet", Int J Adv Manuf Technolgy , Vol. 64, Issue 9- 12, pp. 1653- 1661, 2013. [۱۹]

Yazdani S., Chen Z.W., and Littlefair G, "Effects of friction stir lap welding parameters on weld features on advancing side and fracture strength of AA6060-T5 welds", J Mater Sci, Vol. 47, pp. 1251- 1261, 2012. [۲۰]

Soundararajan Vijay, Yarrapareddy Esvar, and Kovacevic Radovan, "Investigation of the Friction Stir Welding of Aluminum Alloys AA 5182 and AA 6022", the Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 16(4), pp. 477- 484, 2007. [۲۱]

Chen Y.C.; Nakata K, "Effect of tool geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir lap welded magnesium alloy and steel", Materials and Design, Vol. 30, pp. 3913- 3919, 2009. [۲۲]

Dubourg L., Merati A., and Jahazi M., "Process optimization and mechanical properties of friction stir lap welds of 7075-T6 stringers on 2024-T3 skin", Materials and Design, Vol. 31 , pp. 3324- 3330, 2010. [۲۳]

Ahmadi H., 2010 Mostafa Arab N. B. Ashenai Ghasemi F., and Eslami Farsani R., 2012, "Influence of Pin Profile on Quality of Friction Stir Lap Welds in Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite", Inter. journal of [۲۴]

۶- زیر نویس ها

^۱ Hooking defect

^۲ Tensile shear test

^۳ Advancing side

^۴ Retreating side