

بررسی شکل پذیری ورق‌های دولایه مس - فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرایند شکل دهی چرخشی

امیر رضایی شهرضا^{۱*}، فرشید دهقانی^۲، محمود سلیمی^۳، محمد حسین بینا^۴

۱- مربی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دهاقان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۳- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دانشجوی دکتری، دانشکده مواد پیشرفته و انرژی‌های نو، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی، تهران، ایران

*Amirrezaei.sh@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۲۷)

چکیده

در این تحقیق، شکل پذیری ورق‌های دولایه مس- فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L توسط فرایند شکل دهی چرخشی مورد بررسی قرار گرفته است. برای تولید ورق‌های دولایه از روش جوشکاری انفجاری و جهت یکنواختی سطح این ورق‌ها از نورد سرد استفاده شد. جهت بررسی فرایند نفوذ در فصل مشترک اتصال مس- فولاد زنگ نزن آستنیتی، ابتدا نمونه‌های کشش از قطعات جوشکاری شده، تهیه و عملیات حرارتی آنیل در دمای ۳۰۰°C (زیر دمای تبلور مجدد) به مدت زمان ۳۲ ساعت انجام شد. پس از انجام آزمون کشش بر روی نمونه‌های عملیات حرارتی شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز اسپکتروسکوپی انرژی پراکنده (EDS) جهت بررسی احتمال نفوذ در مواد متصل شده استفاده گردید. پس از اطمینان از سیکل عملیات حرارتی، ورق‌های دولایه با لایه داخلی مس و لایه خارجی فولاد، تحت فرایند شکل دهی چرخشی قرار گرفتند. فرایند شکل دهی چرخشی بر روی ورق‌های عملیات حرارتی شده انجام و پارامترهای مؤثر بر شکل پذیری نظیر جنس ابزار و مسیرهای شکل دهی ابزار و نسبت اسپینینگ مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های ریزساختاری نمونه‌ها نشان داد که فصل مشترک اتصال مس- فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L، موجی شکل است و عملیات حرارتی آنیل کردن به مدت ۳۲ ساعت، باعث افزایش قابل توجه نفوذ در فصل مشترک این اتصال و افزایش شکل پذیری چرخشی ورق‌های دولایه شده است. انتخاب ابزار SPK(1/2436)، مسیر حرکتی اینولوت و نسبت اسپینینگ پایین تر از ۲.۵ باعث افزایش شکل پذیری ورق‌های دولایه توسط فرایند شکل دهی چرخشی می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

ورق‌های دولایه، جوشکاری انفجاری، عملیات حرارتی آنیل کردن، نفوذ، شکل دهی چرخشی، شکل پذیری.

۱- مقدمه

از روش‌های بهبود خواص مکانیکی در کامپوزیت‌های فلزی، تولید ورق چندلایه است. یکی از کاربردهای ورق‌های دولایه از

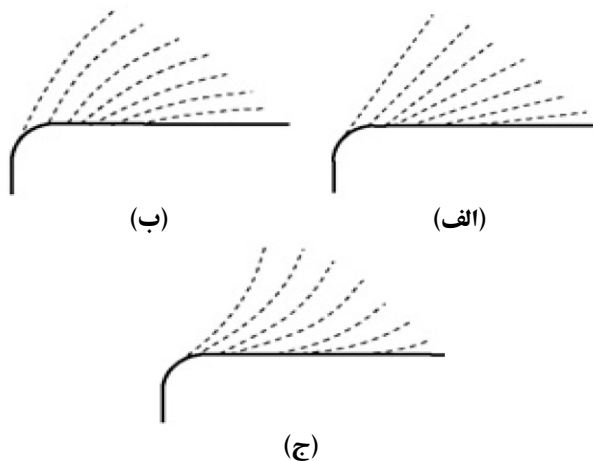
امروزه استفاده از مواد مرکب فلزی با خواص ویژه، که دسترسی به آن در یک آلیاژ میسر نیست، کاربرد فراوانی یافته است. یکی

صورت‌های زبان‌های، الماسی، دماغه‌ای گرد و کروی می‌باشد. ابزارهای الماسی برای آرایش لبه قطعه، ابزارهای زبان‌های برای پرداخت سطحی و ابزارهای دماغه کروی برای شکل دهی مقطعاتی با فرم و انحناهای داخلی کاربرد دارند [۵].

قطر رولر تأثیر اندکی بر کیفیت محصول دارد. دماغه و شعاع شانه نسبتاً کوچک رولر باعث کاهش یکنواختی ضخامت خواهد شد. عموماً در صنعت از فولاد برای ساخت رولرهای فرایند شکل دهی چرخشی استفاده می‌شود [۵].

در عملیات شکل دهی چرخشی سرد، گرمای ناشی از اصطکاک در خلال فرایند به صورت موضعی تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. بنابراین لازم است که از رولرهای فولادی حاوی حدود ۱۲٪ کرم و با سختی ۶۲ راکول سی استفاده شود. این وضعیت کمک می‌کند تا رولر در مقابل شرایط سخت کاری و دماهای زیاد سختی خود را حفظ کرده و عمر مفید آن افزایش یابد [۳ و ۵].

مسیر شکل دهی نیز یکی دیگر از فاکتورهای موثر در فرایند شکل دهی چرخشی است [۶-۷]. مسیره‌دهی به روش‌های متفاوت در فرایند اسپینینگ وجود دارد که می‌توان به مسیره‌های خطی، منحنی درجه دو و اینولوت^۲ اشاره کرد. شکل (۱) انواع مسیره‌های شکل دهی را نشان می‌دهد [۶].



شکل (۱): نمایشی از انواع مسیره‌دهی: الف) خطی، ب) منحنی درجه دو و ج) اینولوت [۵].

جنس مس و فولاد ضدزنگ استفاده آن‌ها در شیرهای انبساطی است. جنس لایه داخلی اتصالات مس و جنس لایه خارجی را فولاد زنگ‌نزن در نظر می‌گیرند به این علت که هدایت حرارتی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی نسبت به مس پایین‌تر است، باعث نگهداری حرارت شده و حرارت ورودی کمتری نیاز خواهد بود [۱].

یکی از روش‌های اتصال فولاد زنگ‌نزن آستنیتی به مس، جوشکاری انفجاری می‌باشد. جوشکاری انفجاری به عنوان یکی از روش‌های موثر در اتصال فلزات غیرمشابه، در اثر برخورد مورب و با سرعت بالای صفحه پرنده (روکش) به صفحه ساکن (پایه) بوجود می‌آید. مطالعات و پژوهش‌ها نشان داده است خصوصیات فصل مشترک ایجاد شده بین روکش و پایه نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت آن دارد. فصل مشترک حاصل از جوش انفجاری معمولاً به سه صورت صاف، موجی و یا یک لایه پیوسته مذاب منجمد شده مشاهده می‌شود [۲].

شکل دهی چرخشی نیز از جمله فرایندهای شکل‌دهی ورق‌های فلزی به صورت متقارن محوری است که در آن غلتک با طی مسیری از پیش تعیین شده، ورق فلزی را بر روی قالب شکل می‌دهد [۳]. از فاکتورهای موثر بر این فرایند می‌توان به نسبت اسپینینگ^۱، نوع ابزار و مسیر شکل دهی اشاره کرد. نسبت اسپینینگ طبق رابطه (۱) به صورت نسبت قطر بلانک (D) به قطر مندرل (d) تعریف می‌شود:

$$S.R = \frac{D}{d} \quad (1)$$

در صورت زیاد بودن نسبت اسپینینگ، مقدار کرنش شعاعی قابل توجهی به ماده وارد می‌شود و شکاف‌های محیطی در سطح قطعه کار بوجود می‌آید. همچنین مقدار مناسب نسبت اسپینینگ باعث کاهش کنگره‌ای شدن در قطعه کار می‌شود که مقدار بیشتر از آن باعث ایجاد کنگره‌هایی می‌شود که در رفت و برگشت چندین مرحله‌ای نیز از بین نمی‌رود [۳-۴].

کیفیت محصول و قطعه تولیدی در فرآیند اسپینینگ ماشینی به شدت به شکل رولر بستگی دارد. مهم‌ترین انواع پرفیل و شکل ظاهری رولرهایی که در عملیات اسپینینگ کاربرد دارند به

بررسی و پارامترهای مناسب جهت این فرایند استخراج گردید.

۲- مواد و روش تحقیق

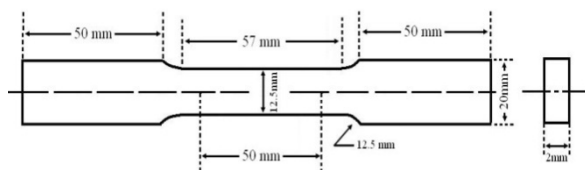
۲-۱- مواد

در این تحقیق از ورق‌های فولاد زنگ نزن آستینیتی ۳۰۴L (صفحه ساکن) و مس (صفحه پرنده) با ضخامت ۱ میلی متر استفاده شد. ترکیب شیمیایی ورق‌ها به روش کوانتومتری تعیین و در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن و مس مورد استفاده در پژوهش حاضر (درصد وزنی)

Alloy	Alloy Element (% wt)					
	Cr	Ni	Mn	C	Cu	Fe
304L	۱۸/۹۱	۸/۴۴	۱/۷۹	۰/۰۱۵	۰/۰۴۳	Bal.
Copper	۰/۰۳	۰/۰۳	-	-	Bal.	۰/۰۵

پس از انجام عملیات حرارتی و تهیه نمونه‌های نهایی کشش طبق استاندارد ASTM E8M-04 (شکل ۳)، آزمون کشش در دمای اتاق انجام شد. این آزمایش به وسیله دستگاه آزمایش کشش Hounsfield و با سرعت ۱۰ میلی متر بر دقیقه انجام شد. جهت بررسی لایه نفوذی تشکیل شده در مواد متصل شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Seron AIS-2100 و آنالیز اسپکتروسکوپی انرژی پراکنده (EDS) استفاده گردید.

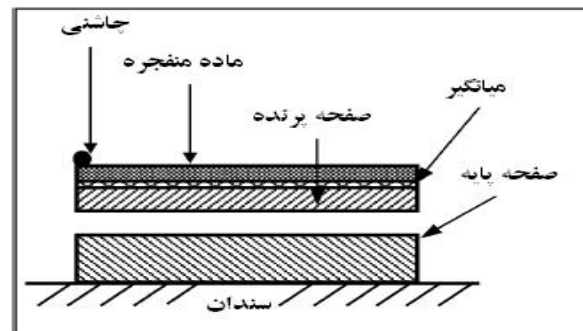


شکل (۳): ابعاد نمونه‌های آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM E8M-04

پس از عملیات حرارتی، ورق‌های دولایه با لایه داخلی مس و لایه خارجی فولاد، تحت فرایند شکل دهی چرخشی قرار گرفتند. برای به دست آوردن نسبت اسپینینگ، قطر ماندرل برابر

شکل دهی چرخشی بر روی ورق‌های تک لایه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است ولی تاکنون تحقیقات قابل توجهی در زمینه شکل پذیری ورق‌های چندلایه در فرایند شکل دهی چرخشی به روی قطعات استوانه‌ای شکل صورت نگرفته است. لذا در تحقیق حاضر به شکل پذیری ورق‌های دولایه مس - فولاد زنگ نزن آستینیتی پرداخته و جهت بهبود فرایند شکل دهی، ابتدا عملیات حرارتی آنیل کردن بر روی نمونه‌ها انجام و سپس فاکتورهای مؤثر بر فرایند شکل پذیری چرخشی نظیر جنس ابزار، مسیرهای شکل پذیری و نسبت اسپینینگ

شکل (۲) نحوه تنظیم اولیه صفحات جهت انجام جوشکاری انفجاری را نشان می‌دهد. صفحات پرنده و پایه به ترتیب در ابعاد $420 \times 520 \text{ mm}^2$ و $400 \times 500 \text{ mm}^2$ طراحی شدند و ماده آماتول (۹۰٪ تی.ان.تی و ۱۰٪ نیترات آمونیوم) به عنوان ماده منفجره انتخاب شد. پس از عملیات جوشکاری جهت یکنواختی سطح ورق‌های تولید شده، فرآیند نورد سرد با کاهش ضخامت حدود ۵٪ انجام گرفت. پس از عملیات نورد، نمونه‌های اولیه کشش تهیه و جهت ایجاد اتصال متالورژیکی و افزایش شکل پذیری عملیات حرارتی آنیل کردن در دمای 300°C (زیر دمای تبلور مجدد) و به مدت زمان ۳۲ ساعت انجام و سپس نمونه‌ها در محیط کوره سرد شدند.



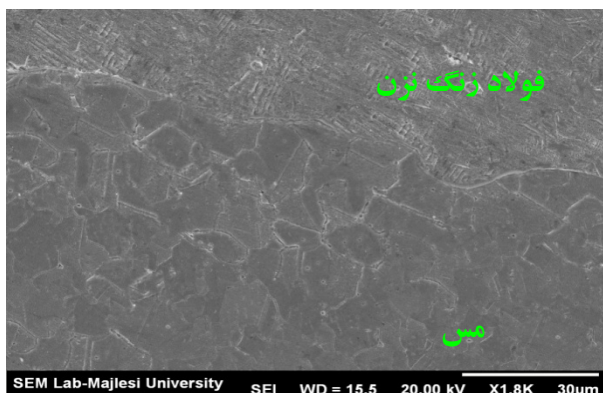
شکل (۲): نحوه تنظیم اولیه صفحات جهت انجام جوشکاری انفجاری

سرعت مناسب برای شکل پذیری ورق‌ها برابر با ۶۰ متر بر دقیقه انتخاب گردید.

۳- نتایج و بحث

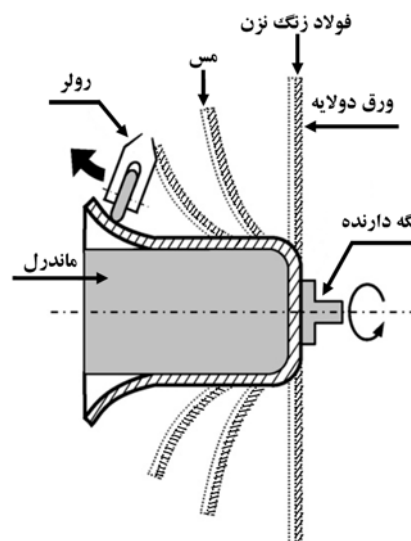
۳-۱- بررسی ریز ساختار

شکل‌های (۶ و ۷) به ترتیب ریزساختار فصل مشترک اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L / مس قبل و بعد از عملیات حرارتی آنیل کردن را نشان می‌دهد. این شکل‌ها نشان می‌دهند که فصل مشترک بوجود آمده به صورت موجی شکل است. عموماً فصل مشترک‌های صاف و موجی شکل در حین جوشکاری زوج‌های فلزی شکل می‌گیرد و فصل مشترک موجی شکل بدلیل خواص مکانیکی بهتر، ترجیح داده می‌شود. شکل (۶) نشان می‌دهد که هیچ حفره و منطقه ذوبی در فصل مشترک بوجود نیامده است. آکارر و همکاران [۸-۱۰]، گزارش داده‌اند که در نسبت‌های بالای مواد منفجره در اتصال فولاد- فولاد، یک منطقه ذوب در فصل مشترک بوجود می‌آید. به هر حال، در این تحقیق، به علت انتخاب صحیح پارامترهای جوشکاری، حفره یا منطقه ذوب در فصل مشترک مشاهده نشد. یکی دیگر از دلایل تشکیل نشدن حفره و منطقه ذوب در فصل مشترک، هدایت حرارتی بالای مس است، که باعث انتقال سریع حرارت ایجاد شده در حین جوشکاری انفجاری به محیط اطراف شده است. لایونه و مونیتر [۱۱]، نیز نتایج مشابهی را در اتصال غیرمشابه مس- فولاد مشاهده کردند.



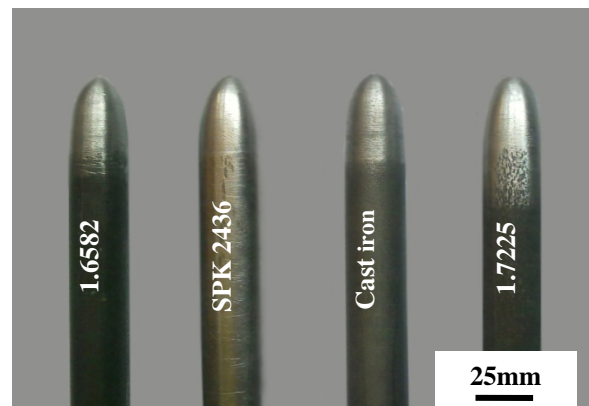
شکل (۶): ریزساختار فصل مشترک نمونه مرجع (بدون عملیات حرارتی)

۴۰mm در نظر گرفته شد، سپس گردهایی با قطرهای متفاوت از ۱۲۰-۸۸mm (متناسب با نسبت کشش ۳-۲/۲) تهیه گردید. شکل (۴) اجزاء فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل (۴): اجزای فرآیند اسپینینگ

ابزارهای لازم برای شکل دهی ورق‌های دولایه فلزی با لایه بیرونی فولاد زنگ نزن از نوع دماغه گرد و از جنس‌های فولادهای با شماره استاندارد DIN: ۱.۲۴۳۶، ۱.۶۵۸۲، ۱.۷۲۲۵ و چدنی انتخاب شدند. ابزارهای فولادی تا حدود ۶۰ راکول سی سخت شدند. نمونه‌های این ابزار بعد از عملیات حرارتی و پولیش در شکل (۵) آمده است.



شکل (۵) ابزارهای دماغه گرد مورد استفاده در این تحقیق

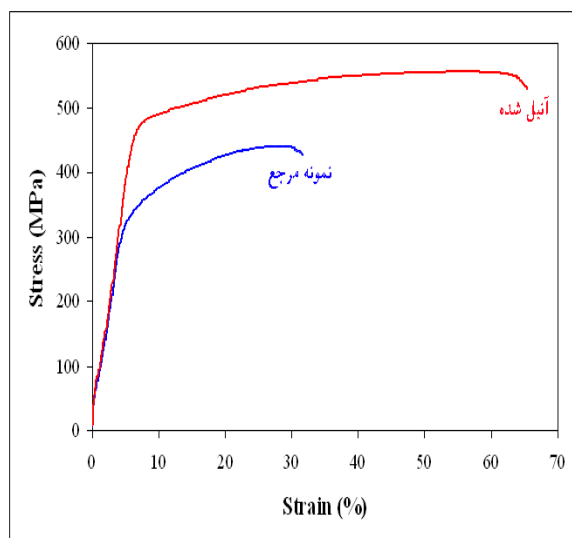
همچنین در این تحقیق از روانکار گریس نسوز استفاده شد و

۳-۲- بررسی خواص کششی

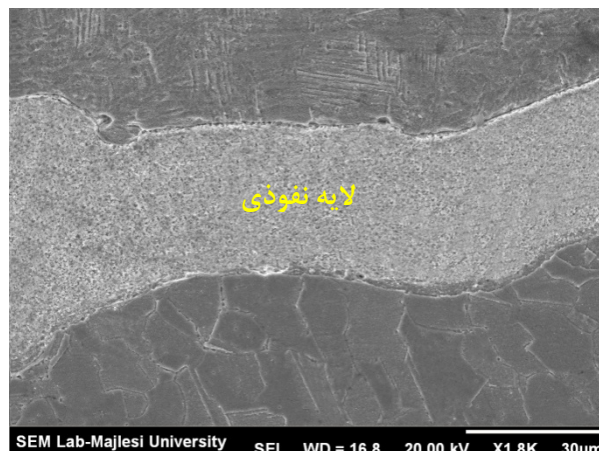
شکل (۹) نتایج آزمون کشش نمونه مرجع (بدون عملیات حرارتی) و آتیل شده در مدت زمان ۳۲ ساعت را نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود عملیات حرارتی آتیل منجر به افزایش استحکام کششی و انعطاف پذیری نمونه شده است. افزایش انعطاف پذیری را می‌توان به تشکیل لایه مرزی در فصل مشترک نسبت داد.

شکل (۱۰) سطح شکست فصل مشترک نمونه مرجع و عملیات حرارتی در مدت زمان ۳۲ ساعت را نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود در نمونه مرجع، سطح مقطع شکست فصل مشترک از نوع شکست ترد می‌باشد (شکل ۱۰-الف).

در حالی که سطح مقطع شکست فصل مشترک نمونه عملیات حرارتی شده در مدت زمان ۳۲ ساعت از نوع نرم می‌باشد (شکل ۱۰-ب). این نوع سطح مقطع شکست نشان دهنده افزایش انعطاف پذیری این نمونه نسبت به نمونه مرجع می‌باشد. نتایج بدست آمده از آزمون کشش نمونه‌های خام و عملیات حرارتی شده نشان می‌دهد که تنها نمونه‌های آتیل شده را می‌توان تحت فرایند شکل دهی چرخشی قرار داد زیرا این نمونه‌ها از استحکام و انعطاف پذیری مناسبی برخوردار هستند.



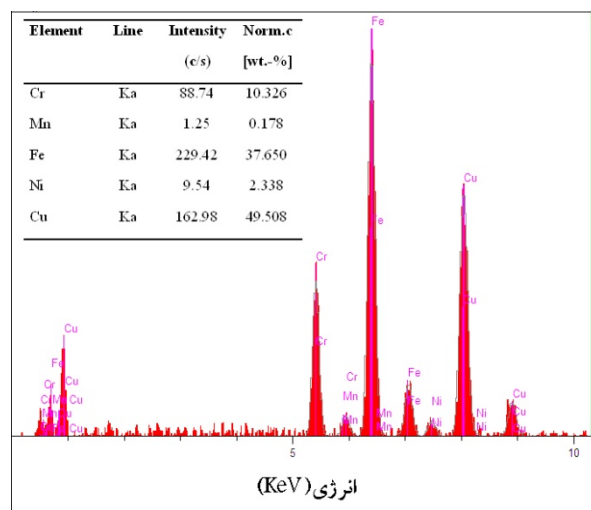
شکل (۹): منحنی تنش - کرنش نمونه مرجع و آتیل شده به مدت زمان ۳۲ ساعت.



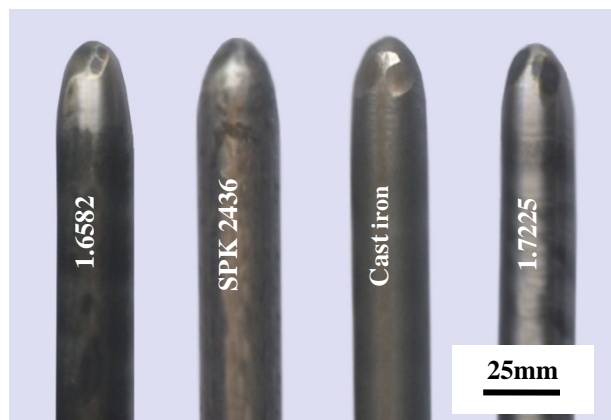
شکل (۷): ریزساختار فصل مشترک نمونه عملیات حرارتی شده به مدت زمان ۳۲ ساعت.

ترکیب شیمیایی لایه نفوذی ایجاد شده در فصل مشترک نمونه آتیل شده به مدت زمان ۳۲ ساعت بوسیله آنالیز EDS مشخص و در شکل (۸) نشان داده شده است. لایه نفوذی ایجاد شده در فصل مشترک غنی از مس، آهن و کروم است که میزان مس در این لایه به شدت افزایش یافته است.

این امر نشان می‌دهد که زوج مس - فولاد زنگ نزن را می‌توان به صورت انفجاری جوش داد و در دماهای بالا استفاده کرد و به دلیل نفوذ در فصل مشترک، هیچ نوع گسستگی مشاهده نمی‌شود.



شکل (۸): آنالیز EDS لایه نفوذی ایجاد شده در نمونه آتیل شده به مدت زمان ۳۲ ساعت.



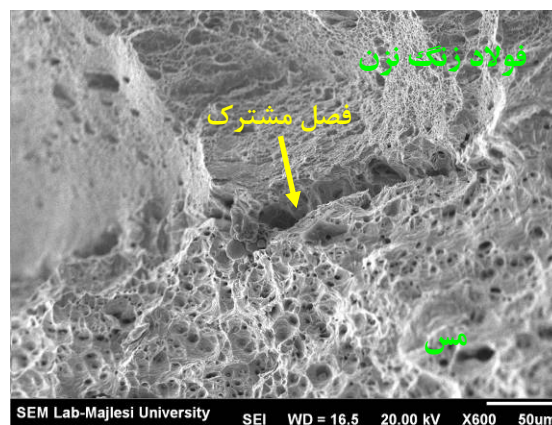
شکل (۱۱): ابزارهای دماغه گرد پس از فرآیند اسپینینگ

۳-۴- تأثیر مسیر شکل دهی بر شکل پذیری ورق‌های دولایه شکل (۱۲) قطعه تولید شده را با نسبت اسپینینگ ۲/۲ نشان می‌دهد. این فرآیند با استفاده از مسیر حرکتی از نوع اینولوت در ۴ پاس و با استفاده از روانکار در هر مرحله انجام گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این نسبت هیچ‌گونه از ترک‌های شعاعی و مماسی وجود نداشته و محصول بدون عیب می‌باشد.



شکل (۱۲): قطعه دولایه تولید شده با نسبت اسپینینگ ۲/۲، مسیر حرکتی ابزار از نوع اینولوت

شکل (۱۳) قطعه تولید شده را با نسبت اسپینینگ ۲/۲ و مسیر حرکتی از نوع خطی نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۱۰): سطح مقطع شکست نمونه‌های آموزش کشش: (الف) مرجع و (ب) عملیات حرارتی شده به مدت زمان ۳۲ ساعت.

۳-۳- تأثیر جنس ابزار بر شکل پذیری ورق‌های دولایه شکل (۱۱) ابزارهای مورد استفاده پس از یک پاس اسپینینگ و ابزار ۱.۲۴۳۶ را پس از پایان فرآیند اسپینینگ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ابزارهای ۱.۶۵۸۲، ۱.۷۲۲۵ و با لایه بیرونی فولاد زنگ نزن را ندارند.

همان‌طوری که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود قسمت دماغه‌ای شکل این ابزارها پس از یک پاس به طور کامل ساییده شده‌اند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که جنس ابزار مناسب برای فرایند شکل دهی چرخشی این ورق‌ها ۱.۲۴۳۶ می‌باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در این نوع از مسیر حرکتی به علت وجود ترک‌های شعاعی، ورق‌ها پاره شده‌اند.



شکل (۱۴): قطعه دو لایه تولید شده، با نسبت اسپینینگ ۲.۵



شکل (۱۳): قطعه دو لایه تولید شده با نسبت اسپینینگ ۲/۲، مسیر حرکتی ابزار از نوع خطی

شکل (۱۵) قطعه تولید شده با نسبت اسپینینگ ۲.۶ را نشان می‌دهد.



شکل (۱۵): قطعه دولایه تولید شده با نسبت اسپینینگ ۲.۶

همان‌طور که مشاهده می‌شود در این نسبت، ترک‌های شعاعی وجود داشته و قطعات پاره می‌شوند.

در ضمن مسیر حرکتی ابزار از نوع درجه دوم نیز در آزمایشات صورت گرفت که همانند مسیر حرکتی خطی پارگی ورق‌ها را به همراه داشت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که مناسب‌ترین مسیر ابزار برای بهبود شکل‌پذیری ورق‌های دولایه از نوع اینولوت می‌باشد.

۳-۵- بررسی نسبت اسپینینگ در ورق‌های دولایه

شکل (۱۴) قطعه تولید شده با نسبت های اسپینینگ ۲/۵ را نشان می‌دهد. این فرایند در ۵ پاس و با استفاده از روانکار در هر مرحله انجام شد. به منظور جلوگیری از ترک‌های شعاعی و همچنین چروکیدگی در لبه فلنچ در مرحله دوم و چهارم لبه‌های قطعه آرایش گردید.

این شکل نشان می‌دهد که در نسبت اسپینینگ ۲/۵ هیچ‌گونه ترک‌های شعاعی و مماسی وجود نداشته و محصول بدون عیب می‌باشد.



شکل (۱۵): قطعه دولایه تولید شده با نسبت اسپینینگ ۲.۶

به منظور جلوگیری از ترک‌های شعاعی و همچنین چروکیدگی در لبه فلنچ از همان مرحله اول لبه‌های قطعه آرایش گردید که تأثیری در رسیدن به نسبت‌های بالاتر نداشت. در ضمن قطعات تولید شده با نسبت‌های بالاتر از ۲/۵ نیز پاره شدند که با توجه به شکل‌های (۱۱ و ۱۳) می‌توان نتیجه گرفت که نسبت‌های اسپینینگ پایین‌تر از ۲/۵ برای شکل‌پذیری ورق‌های دولایه فولاد زنگ‌نزن - مس مناسب هستند.

نتایج حاصل از شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۴ نشان می‌دهد که برای افزایش شکل‌پذیری ورق‌های دولایه مس - فولاد زنگ‌نزن آستینیتی توسط فرآیند شکل‌دهی چرخشی بایستی جنس ابزار این ورق‌ها ۱.۲۴۳۶، مسیر حرکتی ابزار از نوع اینولوت و نسبت اسپینینگ پایین‌تر از ۲/۵ انتخاب گردد.

۳-۶- تأثیر عملیات حرارتی بر روی شکل‌پذیری ورق‌های دولایه

جهت بررسی تأثیر عملیات حرارتی آنیل کردن بر روی شکل‌پذیری ورق‌های دولایه، عملیات شکل‌دهی چرخش با استفاده از ابزار ۱.۲۴۳۶، مسیر حرکتی اینولوت و نسبت اسپینینگ ۲/۵ بر روی نمونه‌های مرجع انجام گرفت. همان‌طوری که شکل (۱۶) نشان می‌دهد نمونه بدون عملیات حرارتی به طور شدیدی پاره شده است.

مقایسه شکل‌های (۱۴ و ۱۶) نشان می‌دهد که عملیات حرارتی نقش مهمی در فرایند شکل‌دهی چرخشی ورق‌های دولایه دارد. افزایش شکل‌پذیری نمونه‌های عملیات حرارتی شده را می‌توان به تشکیل لایه نفوذی و افزایش استحکام و انعطاف‌پذیری این نمونه‌ها نسبت داد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

۴- نتیجه‌گیری

۱- عملیات حرارتی آنیل کردن به مدت ۳۲ ساعت، باعث افزایش قابل توجه نفوذ در فصل مشترک اتصال مس - فولاد زنگ‌نزن آستینیتی ۳۰۴L می‌شود.

۲- عملیات حرارتی آنیل منجر به افزایش استحکام و انعطاف‌پذیری ورق‌های دولایه گردید و شکل‌پذیری چرخشی آن‌ها را افزایش داد.

۳- انتخاب ابزار ۱.۲۴۳۶، مسیر حرکتی اینولوت و نسبت اسپینینگ پایین‌تر از ۲/۵ باعث افزایش شکل‌پذیری ورق‌های دولایه توسط فرآیند شکل‌دهی چرخشی می‌شود.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهقان و باشگاه پژوهشگران جوان تشکر و قدردانی می‌گردد.

- [8] M. Acarer, B. Gulenc and F. Findik, "Study of Some Welding Parameters of Explosively Joined Steel Parts", Proceedings of the 8th Denizli Materials Symposium, Denizli, Turkey, 2000.
- [9] M. Acarer, B. Gulenc and F. Findik, "Examination of Cracks and Fracture on Interfaces of Explosive Welded Metals by using Tensile Shear and Bending Test", Proceedings of the 5th International Fracture Conference, Firat University, Elazig, Turkey, pp. 301-309, 2001.
- [10] M. Acarer, B. Gulenc and F. Findik, "Investigation of Explosive Welding Parameters and their Effects on Microhardness and Shear Strength", Materials and Design, Vol.24, pp.659-664, 2003.
- [11] Z. Livne and A. Munitz, "Characterisation of Explosively Bonded Iron and Copper Plates", Journal of Materials Science, Vol. 22, pp.1495-1500, 1987.

۶- مراجع

- [1] A.Vestergaard, S.J.Hansen and H.T.Denning, "Valve, In Particular Expansion Valve For Refrigeration Stems Thereof" United States Patent, Assignee: DanfossAJS, Nordborg, Denmark Patent Number 45, US5810332, 1998.
- [2] ASM handbook, Volume 6, Welding Brazing and soldering, ASM international, 1993.
- [۳] د. نایش، "اولین هند بوک فارسی فرآیندهای شکل دهی چرخشی اسپینینگ، شیر فرمینگ، فلو فرمینگ"، گروه صنایع یا مهدی (عج)، انتشارات یا مهدی (عج)، ۱۳۸۴.
- [4] L.Wang and H.Long, "Investigation of Material Deformation in Multi-Pass Conventional Metal Spinning", Materials and Design, Vol. 32, pp.2891-2899, 2011.
- [5] J.H.Liu, H.Yang and Y.Q.Li, "A Study of the Stress and Strain Distributions of First-Pass Conventional Spinning Under Different Roller-Traces", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 129, pp. 326-329, 2002.
- [6] O. Music, J. M. Allwood and K. Kawai, "A Review of the Mechanics of Metal Spinning", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, pp. 3-23, 2010.
- [7] Q.Xia, S.Shima, H.Kotera and D.Yasuhuku, "A Study of the One-Path Deep Drawing Spinning of Cups", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 159, pp.397-400, 2005.

۷- پی‌نوشت

- 1- Spinning ratio
2- Involute