٨٧/١/١٠٠١٨٠
٨٧٩٢٦

١٠٨٧٢٥

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی

بخش مهندسی مواد، گرایش شناسایی و انتخاب

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

عنوان:

تاثیر پارامترهای جوشکاری همزن اصطکاکی بر خواص مکانیکی و ریزساختار فولاد زنگ نزن ۳۰٤

مصطفی جعفرزادگان

استاد راهنما:

دکتر امیرعبداله زاده

استاد مشاور:

دکتر فرشید مالک قائینی

۱۳۸۷ /۹/ ۱۲

شهریور ۱۳۸٦

۱۰۸۷۲۵

۱۴۸۷۹

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای مصطفی جعفرزادگان پایان نامه ۸ واحدی خود را **با عنوان تاثیر پارامترهای جوشکاری همزن اصطکاکی برخواص مکانیکی وریز ساختار فولاد زنگ نزن ۳۰۴**

در تاریخ ۱۳۸٦/٦/۲٤ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - شناسائی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر عبداله زاده	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر فرشید مالک قائینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حمید رضا شاهوردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فرشید کاشانی بزرگ		
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حمید رضا شاهوردی	استادیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۳/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ ~~رساله دکتری~~ نگارنده در رشته مهندسی مواد است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار ~~خانم~~ / جناب آقای دکتر امیر عبدالله زاده مشاور ~~سرکار خانم~~ / جناب آقای دکتر فرشید مالک قائنی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند; به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مصطفی حیدرزادیان دانشجوی رشته مهندسی مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی حیدرزادیان

تاریخ و امضاء: ۸۶/۱۲/۱۵

تشکر و قدردانی

نگارنده بر خود لازم می‌داند از کلیه کسانی که به هر نحوی نگارنده را در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نماید. پیش و بیش از همه از جناب دکتر امیر عبداله‌زاده و دکتر فرشید مالک به پاس تمامی زحمات و راهنمایی‌های دلسوزانه کمال تشکر و امتنان را دارد. نگارنده همچنین از کمک‌های بی‌دریغ آقایان مهندس سعید و مهندس کارگر در تمامی مراحل انجام این تحقیق سپاس و قدردانی می‌نماید.

با وجود سعی در کاهش نقاط ضعف، این مجموعه عاری از خطا نبوده و بدیهی است که مسئولیت آن متوجه نگارنده می‌باشد.

چکیده

جوشکاری همزن اصطکاکی (FSW) یک فرایند جوشکاری حالت جامد است که در سال ۱۹۹۱ توسط شرکت TWI توسعه یافت. این روش مزایای فراوانی در اتصال فلزات و آلیاژهای مختلف به ویژه آلیاژهای آلومینیوم و منیزیم دارد و اخیراً بر روی فولادها نیز انجام شده است.

فولاد زنگ نزن ۳۰٤ جزو دسته فولادهای آستینیتی می‌باشد که کاربردهای فراوانی در صنعت دارد. از آنجایی که تاثیر پارامترهای جوشکاری همزن اصطکاکی بر خواص و ریزساختار جوش فولاد ۳۰٤ بطور کامل بررسی نشده است، در این تحقیق با تغییر عوامل اصلی (سرعت چرخش ابزار و سرعت جوشکاری) به بررسی خواص مکانیکی و ریزساختار جوشهای حاصل پرداخته شد. به این منظور ورقهای فولاد زنگ نزن ۳۰٤ با ضخامت ۲ mm با روش FSW در سرعت چرخش ابزار ۲۰۹، ٤۱۰ و ۸۱۰ rpm و سرعتهای جوشکاری ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۰۰mm/min توسط ابزار کاربید تنگستن جوشکاری شدند. اثر پارامترهای جوشکاری بر ریزساختار و خواص مکانیکی جوشها توسط آزمایشات متالوگرافی، SEM، آزمون کشش و سختی سنجی بررسی شد.

در نسبت سرعت جوشکاری به سرعت چرخش زیاد عیوب تونلی بوجود می‌آید که استحکام و درصد ازدیاد طول نمونه‌های کشش را کاهش می‌دهد. نسبت سرعت چرخش به سرعت جوشکاری زیاد نیز باعث افزایش حرارت ورودی و تشکیل فاز سیگما در سمت پیشرونده جوش می‌گردد.

ریزساختار ناحیه همزده جوش بدلیل تبلور مجدد دینامیک بسیار ریز دانه شده و اندازه دانه‌ها به حدود ۷-۲/۵ µm می‌رسد. کاهش اندازه دانه‌ها در ناحیه همزده باعث افزایش سختی این ناحیه می-گردد. استحکام نمونه‌های کشش نیز به دلیل ریز دانه شدن ناحیه همزده جوش بیش از فلز پایه می-باشد ولی ازدیاد طول کمتر از فلز پایه است.

کلید واژه‌ها: جوشکاری همزن اصطکاکی، فولاد زنگ نزن ۳۰٤، استحکام کششی، میکروسختی و ریزساختار

فهرست مطالب

فصل اول- مقدمه ۱
فصل دوم- مروری بر منابع ۳
۲-۱- معرفی روش جوشکاری همزن اصطکاکی ۳
۲-۲- متغیرهای فرآیند ۷
۲-۲-۱- هندسه ابزار ۷
۲-۲-۲- متغیرهای جوشکاری ۸
۲-۲-۳- طراحی اتصال ۱۰
۲-۳- تغییرات ریزساختاری ۱۱
۲-۳-۱- ناحیه همزده (اختلاطی) ۱۲
۲-۳-۱-۱- اندازه دانه در ناحیه همزده ۱۳
۲-۳-۱-۲- سازوکارهای تبلور مجدد دینامیکی ۱٤
۲-۳-۱-۳- انحلال و درشت شدن رسوبات در ناحیه همزده ۲۱
۲-۳-۲- ناحیه متأثر از عملیات ترمومکانیکی ۲۲
۲-۳-۲-۱- بازیابی دینامیکی ۲۳
۲-۳-۲-۲- روابط اصلی در بازیابی دینامیکی ۲٤
۲-۳-۲-۳- سازوکارهای بازیابی دینامیکی ۲٤
۲-۳-۳- ناحیه متأثر از حرارت ۲٦
۲-٤- خواص مکانیکی ۲۷
۲-٤-۱- تنشهای پسماند ۲۷
۲-٤-۲- سختی ۲۸
۲-٤-۳- استحکام و داکتیلته ۳۰
۲-۵- جوشکاری مواد مختلف با روش جوشکاری همزن اصطکاکی ۳۲
۲-٦- معرفی فولادهای زنگ نزن، خواص و کاربرد آنها ۳۳
۲-٦-۱- فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۳۵
۲-٦-۲-۱- متالورژی فیزیکی و مکانیکی فولادهای آستنیتی ۳۷
۲-٦-۱-۲- مشکلات جوشکاری ذوبی فولادهای زنگ نزن آستنیتی ٤۰
۲-۷- تحقیقات انجام شده در مورد جوشکاری همزن اصطکاکی فولادهای زنگ نزن ۳۰٤ و ۳۰٤L ٤۲
فصل سوم- آزمایشات ٤۹
فصل چهارم- نتایج و بحث ۵۸
٤-۱- بررسی عیوب موجود در جوشکاری همزن اصطکاکی فولاد ۳۰٤ و ترسیم پنجره فرایند ۵۸
٤-۲- بررسیهای ریزساختاری ٦۵

٤-٣- سختی سنجی..... ٧٩
فصل پنجم- نتیجه‌گیری..... ٩١
منابع و مراجع:..... ٩٣

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- تصویری شماتیک از فرآیند FSW ۵
شکل۲-۲- شکل شماتیک ابزار FSW ۷
شکل۲-۳- هندسه شانه ابزار، تصاویر از زیر شانه ابزار ۸
شکل ۲-٤- طرح های اتصال برای FSW ۱۰
شکل ۲-۵- نواحی مختلف ریزساختاری در جوشکاری همزن اصطکاکی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲٤-T۳۵۱ ..... ۱۱
شکل۲-٦- تأثیر پارامترهای فرایند بر شکل ناحیه همزده در A۳۵٦ ..... ۱۳
الف) ۲۰۳mm/min، ۹۰۰rpm ب) ۵۱ mm/min، ۳۰۰rpm ۱۳
شکل ۲-۷- دانه ریز یا دانه درشت شدن در تبلور مجدد دینامیکی و رابطه آن با Z ۱۳
شکل ۲-۸- نمودار توزیع نابجایی‌های تولید شده در اثر کرنش سختی در بین عناصر مختلف ساختار. ۱۷
شکل ۲-۹- میکروساختار Al-Li ۱۷
شکل ۲-۱۰- تصویر میکروسکوپ نوری از ناحیه FSW مربوط به آلیاژ Al-Li ۱۸
شکل ۲-۱۱- تصویر TEM از میکروساختار ناحیه DRX ۱۸
شکل ۲-۱۲- شماتیک تحولات شکل‌گیری ریزساختار در فرآیند FSW ۲۱
شکل ۲-۱۳- تأثیر دما بر منحنی‌های تنش و کرنش در فولاد ۰/٦۸ ٪C تغییر شکل یافته در فشار نامتقارن ۲۲
شکل ۲-۱٤- ریزساختار TMAZ در آلیاژ ۷۰۷۵Al ۲۲
شکل ۲-۱۵- منحنی‌های تنش- کرنش برای آلیاژ Al-Mg در دمای ٤۰۰C ۲۳
شکل ۲-۱٦- تغییرات ریزساختاری در بازیابی دینامیک ۲۵
شکل ۲-۱۷- ریزساختار صفحه ND-RD در آلیاژ Al-۰/۱Mg (نورد در شرایط T=۳۵۰C، ε=۱ و ε۰=۰/۲۵) ۲۵
شکل ۲-۱۸- مرزهای بزرگ زاویه در آلیاژهای آلومینیم (نورد T=٤۰۰C) ۲۵
شکل۲-۱۹- پروفیل سختی جوش همزن اصطکاکی ٦۰٦۳Al-T۵ ..... ۲۹
شکل ۲-۲۰- تصویر TEM از توزیع رسوبات در نواحی مختلف ریزساختاری جوش FSW ۲۹
شکل ۲-۲۱- تغییرات خواص کششی مناطق مختلف جوش در آلیاژ ۷۰۷۵Al ۳۱
شکل ۲-۲۲ – ریزساختار ورق فولاد زنگ نزن ۳۰٤: (a) کاملاً آستنیتی (b) آستنیت با نوارهای فریتی ۳۷
شکل ۲-۲۳- مقطع دوتایی از سیستم Fe-Cr-Ni در ۷۰ %Fe ۳۸
شکل ۲-۲٤ – رسوب کاربیدهای $M_{23}C_6$ در فولاد زنگ نزن ۳۰٤ با ۰/۰۵٪ کربن. ۳۹
شکل ۲-۲۵- تصویر میکروسکوپ نوری از (a) فلزپایه، (b) جوش ۳۰۰rpm، (c) جوش ۵۰۰rpm ٤۳
شکل ۲-۲٦- باندهای مشاهده در جوش FSW فولاد ۳۰٤، باندها در جوش ۳۰۰rpm مشخصتر هستند ٤۳
شکل ۲-۲۷- منحنی‌های کشش فلزپایه و جوشهای ۳۰۰ و ۵۰۰ rpm ٤۳
شکل ۲-۲۸- تصویر میکروسکوپ نوری نواحی مختلف جوش و فلز ٤٤
شکل ۲-۲۹ – تصاویر TEM از نواحی مختلف جوش FS و فلز پایه فولاد ۳۰٤ ..... ٤۵

شکل ۲-۳۰- پروفیل سختی در مقطع جوش FS فولاد ۳۰٤ ..... ٤٦
شکل ۲-۳۱- توزیع اندازه دانه در نواحی مختلف جوش FS و فلز پایه فولاد ۳۰٤ براساس نقشه‌های OIM. ٤٦
شکل ۲-۳۲- ناحیه اچ شده تیره در مرز بین SZ و TMAZ در ناحیه AS جوش فولاد ۳۰٤ ..... ٤٧
شکل ۲-۳۳- نتایج آزمون DLEPR نواحی مختلف جوش فولاد ۳۰٤ ..... ٤٧
شکل ۳-۱- ابزار جوشکاری از جنس کاربید تنگستن و ابعاد آن. ٤٩
شکل ۳-۲- کپسول گاز آرگون و فلومتر. ٥٠
شکل ۳-۳- دستگاه فرز سنگین NC به کار رفته در جوشکاری FSW فولاد ۳۰٤ ..... ٥٣
شکل ۳-٤- دستگاه دورسنج. ٥٣
شکل ۳-٥- تصویر شماتیک جوش FS ورق ۳۰٤ و محل تهیه نمونه‌های کشش و متالوگرافی. ٥٤
شکل ۳-٦- ابعاد نمونه‌های کشش در استاندارد ASTM E8M-99 ..... ٥٤
شکل ۳-۷- نمونه‌های تخت کشش طولی و عرضی از جوش FS ٥٥
شکل ۳-۸- تصویر دستگاه مورد استفاده در الکترواچ نمونه‌ها. ٥٦
شکل ۳-۹- محلهای سختی سنجی بر روی مقطع نمونه جوش. ٥٦
شکل ٤-۱- عیبی سراسری در جوشهای ۱A و ۳F بدلیل سرعت چرخش کم ابزار نسبت به سرعت جوشکاری. ٦١
شکل ٤-۲- وجود شیار در نمونه ۳A در ابتدای جوش. ٦١
شکل ٤-۳- ابزارهای شکسته شده در حین جوشکاری در شرایط ۲۰۰mm/min و ٤۱۰ rpm. ٦١
شکل ٤-٤- حفرات موجود در مقطع جوش نمونه ۲C (عیوب تونلی یا شیاری). ٦٢
شکل ٤-٥- عیوب تونلی و عیوب lazy S در نمونه‌های ۳D (سمت چپ) و ۳E (سمت راست). ٦٣
شکل٤-٦- کیفیت عالی سطح جوش FS فولاد ۳۰٤ (نمونه ۲A). ٦٣
شکل ٤-۷- پنجره فرایند FSW در جوشکاری فولاد زنگ‌نزن ۳۰٤ ..... ٦٤
شکل ٤-۸- درشت‌ساختار جوش پس از اچ الکتریکی با محلول ۱۰٪ اسید اگزالیک. ٦٦
شکل ٤-۹- تصویر فلز پایه شامل دانه‌های هم محور آستنیت با رگه‌های فریت باقیمانده. ٦٦
شکل ٤-۱۰- فلز پایه شامل دانه‌های آستنیت حاوی دوقلویی. ٦٨
شکل ٤-۱۱- ریزساختار نواحی مختلف جوش نمونه ۲A (٤۱۰ rpm و ٥۰ mm/min)، الکترواچ با اسید اگزالیک. ٦٨
شکل ٤-۱۲- ناحیه تیره اچ شده در نمونه۲A (٤۱۰ rpm و ٥۰ mm/min). ٦٩
شکل ٤-۱۳- تصویر ریزساختار مقطع جوش ۲A (٤۱۰ rpm و ٥۰ mm/min) در سمت پیشرونده، اچ با ماربل. ٦٩
شکل ٤-۱٤- فاز سیگما و فریت در نمونه‌های ۳A و ۳B ٦٩
شکل ٤-۱٥- ریزساختار فلز پایه، اچ الکترولیتی با محلول اسید نیتریک ٦۰٪. ۷۰
شکل ٤-۱٦- ریزساختار نواحی SZ و TMAZ نمونه ۲A (٤۱۰ rpm و ٥۰ mm/min). ۷۰
شکل ٤-۱۷- ریزساختار نواحی SZ و TMAZ نمونه ۲B (٤۱۰ rpm و ۱۰۰ mm/min). ۷۱
شکل ٤-۱۸- ریزساختار نواحی SZ و TMAZ نمونه ۲C (٤۱۰ rpm و ۱٥۰ mm/min). ۷۱
شکل ٤-۱۹- اندازه دانه‌ها در نواحی مختلف جوش در نمونه ۲A (٤۱۰ rpm و ٥۰ mm/min). ۷۳
شکل ٤-۲۰- ریزساختار نواحی مختلف جوش در نمونه ۳A (۸۱۰ rpm و ٥۰ mm/min). ۷٥

شکل ٤-٢١- ریزساختار نواحی مختلف جوش در نمونه ٣B (٨١٠ rpm و ١٠٠ mm/min)..... ٧٥
شکل ٤-٢٢- ریزساختار نواحی مختلف جوش در نمونه ٣C (٨١٠ rpm و ١٥٠ mm/min)..... ٧٦
شکل ٤-٢٣- ریزساختار نواحی مختلف جوش در نمونه ٣D (٨١٠ rpm و ٢٠٠ mm/min)..... ٧٦
شکل ٤-٢٤- ریزساختار نواحی مختلف جوش در نمونه ٣E (٨١٠ rpm و ٢٥٠ mm/min)..... ٧٧
شکل ٤-٢٥- تغییر اندازه میانگین دانه در نواحی SZ جوشها در دو سرعت چرخش ٤١٠ و ٨١٠ rpm..... ٧٨
شکل٤-٢٦- پروفیل سختی در مقطع نمونه ٢A (٤١٠ rpm و ٥٠ mm/min)..... ٨٠
شکل ٤-٢٧- تغییر اندازه دانه‌ها در سمت RS جوش نمونه ٢A (٤١٠ rpm و ٥٠ mm/min)..... ٨٢
شکل ٤-٢٨- ناحیه HAZ، TMAZ و SZ نمونه ٢A (٤١٠ rpm و ٥٠ mm/min)، اچ توسط اسید اگزالیک..... ٨٢
شکل ٤-٢٩- پروفیل سختی نمونه‌های ٢B (٤١٠ rpm و ١٠٠ mm/min) و ٢C (٤١٠ rpm و ١٥٠ mm/min)..... ٨٣
شکل٤-٣٠- پروفیل سختی در مقطع نمونه ٣A (٨١٠ rpm و ٥٠ mm/min)..... ٨٤
شکل ٤-٣١- پروفیل سختی نمونه‌های ٣B، ٣C، ٣D و ٣E..... ٨٥
شکل ٤-٣٢- محل شکست نمونه‌های کشش عرضی، الف: در جوش، ب: در فلز پایه..... ٨٥
شکل ٤-٣٣- نمونه‌کشش عرضی از جوش ٢C، شکسته شده از جوش..... ٨٦
شکل ٤-٣٤- استحکام نهایی و استحکام تسلیم نمونه‌های کشش طولی جوشهای ٤١٠ rpm..... ٨٦
شکل ٤-٣٥- سطح شکست نمونه کشش طولی ٢C و وجود حفرات..... ٨٧
شکل ٤-٣٦- درصد ازدیاد طول نمونه‌های کشش طولی جوشهای ٤١٠ rpm..... ٨٨
شکل ٤-٣٧- سطح شکست نمونه ٣B..... ٨٩
شکل ٤-٣٨- سطح شکست نمونه ٣D و عیوب تونلی موجود در بزرگنمایی‌هایی مختلف..... ٨٩
شکل ٤-٣٩- استحکام نهایی و استحکام تسلیم نمونه‌های کشش طولی جوشهای ٨١٠ rpm..... ٩٠
شکل ٤-٤٠- درصد ازدیاد طول نمونه‌های کشش طولی جوشهای ٨١٠ rpm..... ٩٠

فهرست جداول

جدول ۲-۱- بازده اتصال FSW در آلیاژهای مختلف آلومینیم ۳۰
جدول ۲-۲- ترکیب شیمیایی فولاد ۳۰٤ ..... ۳۷
شکل ۲-۳- مقطع دوتایی از سیستم Fe-Cr-Ni در ۷۰ %Fe ۳۸
جدول ۲-٤- رسوبات، ساختار و ترکیب آنها در فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۳۹
جدول ۳-۱- اچانتهای مورد استفاده در اچ نمونه‌ها ۵۵
جدول ٤-۱- تصویر جوشهای FSW بر روی ورقهای ۲mm فولاد زنگ نزن ۳۰٤ و نحوه نامگذاری نمونه‌ها ۵۹
شکل ٤-۲- پنجره فرایند FSW در جوشکاری فولاد زنگ‌نزن ۳۰٤ ..... ٦٤
جدول ٤-۳- اندازه دانه در نواحی SZ و TMAZ (سمت پیشرونده و پسرونده) جوشهای ٤۱۰ rpm ۷۲
جدول ٤-٤- اندازه دانه نواحی مختلف جوشهای ۸۱۰ rpm در سرعتهای مختلف جوشکاری. ۷۷

فصل اول- مقدمه

فرایند جوشکاری همزن اصطکاکی یا اغتشاشی اصطکاکی که اختصاراً به آنFSW[1] گفته می‌شود در سال ۱۹۹۱ میلادی توسط موسسه TWI انگلستان ابداع گردید و برای اولین بار بر روی آلیاژهای آلومینیوم انجام شد. این روش اتصال دارای راندمان انرژی بالا، میزان آلایندگی پایین و قابلیتهای بالاست. مزایای ویژه این فرایند سبب استفاده گسترده از آن در صنعت شده است. طبق پیش‌بینی کارشناسان، در دهه آتی این فرایند جایگزین بسیاری از فرایندهای جوشکاری ذوبی و حتی مقاومتی در صنعت خواهد شد و لذا شرکتهای بزرگ تولیدی حجم بالایی از بودجه‌های تحقیقاتی خود را جهت بررسی این فرایند اختصاص داده‌اند.

جوشکاری همزن اصطکاکی (FSW) فولادها و بویژه فولادهای زنگ نزن هنوز به اندازه آلیاژهای آلومینیوم توسعه و کاربرد نیافته است. یکی از دلایل اینست که FSW فرآیند جایگزین بهتری برای جوشکاری برخی از آلیاژهای آلومینیوم می‌باشد. این روش قادر به تولید جوشهای عاری از عیب و یا خواص خوب حتی در آلیاژهایی که عموماً با روشهای ذوبی جوشکاری نمی‌شوند، است. دوم اینکه فولادها معمولاً به عنوان آلیاژهای غیرقابل جوشکاری شناخته نمی‌شوند. در نهایت FSW فولادها از

1 - Friction Stir Welding

آلومینیوم بدلیل شرایط ابزار و خواص ترموفیزیکی آلیاژهای آهنی در مقایسه با آلومینیوم (بویژه هدایت حرارتی کمتر فولادها) مشکلتر است.

یک دسته پرکاربرد فولادها، فولادهای زنگ نزن آستنیتی هستند. این دسته از فولادها بدلیل خواص مکانیکی خوب در دمای بالا و مقاومت به خوردگی، بطور گسترده در نیروگاههای هسته‌ای و برای مصارف دمای بالا مانند مبدلهای حرارتی و راکتورهای شیمیایی بکار می‌روند.

جوشکاری ذوبی فولادهای آستینتی زنگ نزن مشکلاتی از قبیل ترک‌های انجمادی، ترک ناشی از تنش و خوردگی (SCC) و تخریب جوش بدلیل حساس شدن در ناحیه متاثر از حرارت (HAZ) دارد.

جوشکاری همزن اصطکاکی بدلیل دارا بودن قابلیتهای ذاتی، پتانسیل تولید جوشهایی با حرارت ورودی و اعوجاج کم، بدون جدایش ماکرو و ساختار تبلور مجدد یافته و دانه‌ریز را دارد. همچنین روش FSW معمولاً باعث بهبود خواص مکانیکی جوش می‌شود زیرا ناحیه همزده (SZ) در معرض تبلور مجدد دینامیک قرار گرفته و اغلب ساختار ریزدانه دارد.

فولاد ۳۰٤ به همراه فولاد ۳۰٤L اساس فولادهای آستنیتی ۸-۱۸ (۱۸٪ کروم و ۸٪ نیکل) را تشکیل داده و پرکاربردترین فولادهای آستینتی هستند. از آنجایی که تاثیر پارامترهای جوشکاری همزن اصطکاکی بر خواص و ریزساختار جوش فولاد ۳۰٤ بطور کامل بررسی نشده است، در این تحقیق جهت رسیدن به بهترین خواص با تغییر پارامترهای اصلی جوشکاری FSW (سرعت چرخش ابزار و سرعت جوشکاری) به بررسی خواص مکانیکی و ریزساختار جوشهای حاصل خواهیم پرداخت.

فصل دوم- مروری بر منابع

در این فصل ابتدا روش FSW، پارامترهای و ریزساختار ناشی از آن معرفی شده‌اند. سپس فولادهای زنگ نزن، کاربرد و مشکلات جوشکاری ذوبی آنها بیان خواهد شد و در ادامه به تحقیقات انجام شده بر روی جوشکاری همزن اصطکاکی فولاد ۳۰٤ و ۳۰٤L خواهیم پرداخت.

۲-۱- معرفی روش جوشکاری همزن اصطکاکی

جوشکاری همزن اصطکاکی یا جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) یک روش نوین اتصال حالت جامد می‌باشد. این روش اتصال‌دهی یک روش بهینه از نظر صرفه‌جویی در انرژی و دوستدار محیط زیست به شمار می‌آید. در عمل این روش در اتصال آلیاژهای مستحکم آلومینیوم در صنایع هوا و فضا و دیگر آلیاژهای فلزی که با روشهای معمول قابلیت جوش پذیری ندارند، قابل استفاده است. FSW یکی از روشهای مورد توجه در اتصال فلزات می‌باشد که در دهه اخیر توسعه فراوانی داشته است. اخیرا نیز روش اصطکاکی چرخشی برای بهبود میکروساختار مواد فلزی بکار گرفته شده است [۱].

طریقه انجام جوشکاری FSW بسیار ساده است. این کار بوسیله یک ابزار چرخنده غیر مصرفی شامل یک پین مخصوص و شانه (shoulder) انجام می‌گیرد. پین در حال چرخش به درز جوش (معمولاً بین دو ورق) وارد شده و در طول خط اتصال حرکت می‌کند (شکل۲-۱) و بدین ترتیب باعث اتصال دو ورق می‌گردد.

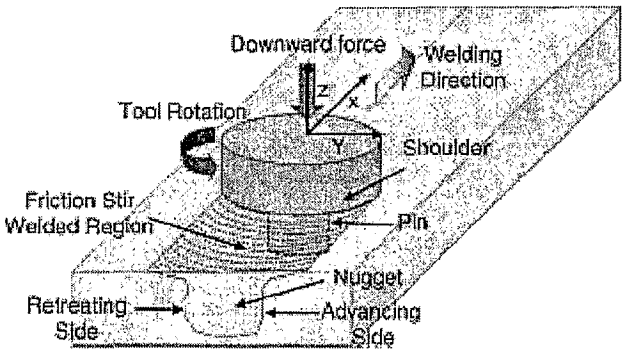
ابزار دو وظیفه اصلی دارد: ۱) گرم کردن قطعه ۲) حرکت و چرخش مواد برای ایجاد اتصال.

گرما بوسیله اصطکاک بین ابزار و قطعه کاری و تغییر شکل پلاستیک قطعه تامین می‌شود. گرمای موضعی ماده را در اطراف پین نرم کرده و ترکیب چرخشی و حرکت ابزار باعث انتقال مواد از جلوی پین به عقب آن می‌گردد. در نتیجه این فرآیند یک اتصال حالت جامد ایجاد می‌گردد. بخاطر اشکال هندسی مختلف ابزار حرکت مواد در اطراف پین می‌تواند پیچیده باشد.

در طول فرآیند FSW ماده تحت تغییر شکل پلاستیک شدیدی در دمای بالا قرار می‌گیرد که این باعث تولید دانه‌های هم محور و ریز تبلور مجدد یافته می‌شود. ساختار ریز در جوشهای FSW خواص مکانیکی خوبی را ایجاد می‌کند.

FSW در دهه اخیر پیشرفت فراوانی در اتصال فلزات داشته است و از آن به عنوان یک تکنولوژی سبز بخاطر صرفه جویی در انرژی و دوستدار محیط زیست بودن یاد می‌شود. در مقایسه با روشهای مرسوم جوشکاری روش FSW بطور قابل توجهی انرژی کمتری مصرف می‌کند. چون هیچ گاز یا فلاکس پوششی استفاده نمی‌شود، این روش آلوده کننده محیط زیست نمی‌باشد. اتصال هیچ نیازی به ماده پرکننده ندارد، بنابراین همه آلیاژهای آلومینیوم می‌توانند اتصال یابند بدون اینکه مشکلی از بابت ترکیب شیمیایی و اتصال ایجاد گردد [۱].

با استفاده از این روش حتی می‌توان آلیاژهای آلومینیوم غیر هم جنس و کامپوزیتها را به آسانی اتصال داد. در این روش ابزار توانایی چرخش و حرکت در هر مسیری جهت ایجاد یک اتصال را دارد که این باعث کاربرد در انواع مختلف اتصالات مانند اتصالات لب به لب و گوشه، T شکل و فیلت شده است [۱].



شکل ۲-۱- تصویری شماتیک از فرآیند FSW [۱].

مزایای کلیدی این روش در ذیل ذکر شده است.

- فرآیند فاز جامد
- فرآیند تک پاسه (۱-۶۰ mm در هر پاس آلیاژهای Al)
- فرآیند مکانیزه
- نیاز به مقطع زنی پروفیل لبه یا تمیز کاری مخصوص ندارد.
- هیچ گاز محافظ یا فلز پرکننده برای اکثر مواد لازم ندارد (گاز محافظ معمولاً برای فولادها و آلیاژهای تیتانیوم نیاز است).
- انقباض و اعوجاج کم
- جوشکاری یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی در هر موقعیت
- خواص مکانیکی عالی
- هیچ گونه دود جوشکاری و پاشش وجود ندارد (به خصوص در فولادهای زنگ نزن Cr^{6+} مضر وجود ندارد)
- تشعشعات خطرناک الکترومغناطیسی یا امواج فرابنفش وجود ندارد
- مصرف انرژی کم

- انجام جوشکاری ورقهای ضخیم (بویژه در آلومینیوم تا ۵۰mm در یک پاس)

علاوه بر مزایای فوق، اعوجاج کم، تجهیزات مصرف نشدنی، اتوماسیون کامل و عیوب بسیار کم، استحکام کششی بالا از مزایای دیگر این روش هستند.

همچنین سرعت جوشکاری FSW در ضخامت یکسان قابل مقایسه و حتی بهتر از روشهای دیگر می‌باشد. مطالبی نیز منتشر شده که نشان می‌دهد خواص خستگی از جوشکاری MIG بیشتر است. قطعات مس، منیزیم و آلومینیوم هم اکنون با این روش بصورت تجاری جوشکاری می‌شوند. برخی معایب FSW عبارتند از:

- قطعات باید به سختی با گیره نگه داشته شوند.
- معمولاً صفحه پشت بند لازم است.
- سوراخ کلید (keyhole) معمولاً در پایان هر جوش باقی می‌ماند.
- جوشهای فیلت و یا هرگونه هندسه جوشی که نیاز به فیلر دارد را نمی توان ایجاد کرد.
- گران بودن ابزار در برخی موارد [۳و۲].

اخیراً FSP[1] توسط محققان به عنوان یک ابزار مهم جهت بهبود میکروساختار نیز براساس همان اصول اولیه FSW توسعه داده شده است. در این مورد یک ابزار چرخنده جهت بهبود میکروساختار قطعه برای دستیابی به خواص مشخص به سطح آن وارد می‌شود که باعث بهبود دانه‌ها می‌گردد [۱].

1 - Friction Stir Processing