

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Parameters optimization for the resistance spot welding of nano/ultrafine grained AISI 304L steel

Abstract

Austenitic stainless steels are the most commonly used stainless steels in structural application. Meanwhile relatively low hardness and yield strength especially in the annealed state is one the most problems of this grade. In the recent decade, reduction of grain size to ultrafine region has introduced as an applicable method for improving of mechanical properties. Welding of ultrafine and nanostructured materials is a great concern due to the cast microstructure in the weld zone and considerable grain growth in the heat affected zone. In the present study an ultrafine grained AISI 304L steel was produced by martensite thermomechanical processing and successfully welded by resistance spot welding. Controlling of heat input by optimization of the applied force, welding time and welding current caused successful welds with acceptable mechanical properties.

Keywords: AISI 304L, ultra-fine grained, Resistance spot welding, Optimization

بهینه سازی پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای در اتصال فولاد فوق ریزدانه / نانو ساختار AISI 304L

چکیده:

فولادهای زنگ‌زن آستنیتی از جمله پرکاربردترین دسته فولادهای زنگ‌زن می‌باشند که بیش از نیمی از کلیه کاربردهای فولادهای زنگ‌زن را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که استحکام تسلیم نسبتاً اندک این فولادها به خصوص در حالت آنیل شده تا حدی کاربرد این فولادها را با محدودیت روبرو ساخته است. کاهش اندازه دانه‌ها به عنوان یکی از موفق‌ترین روش‌ها در خصوص بهبود خواص مکانیکی شناخته شده است. این در حالی است که ایجاد ساختار ریختگی در منطقه جوش و رشد دانه‌ها در ناحیه متأثر از حرارت پس از جوشکاری فولادهای فوق ریزدانه به شدت سبب افت خواص آنها خواهد گردید. در تحقیق حاضر فولاد زنگ‌زن AISI 304L با ساختار فوق ریزدانه و سختی ۳۴۰ ویکرز توسط فرایند ترمومکانیکی مارتنزیت تولید و قابلیت جوش پذیری آن با استفاده روش جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای تحت ارزیابی قرار گرفت. حرارت ورودی جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای توسط کنترل پارامترهای شدت جریان، نیروی اعمالی و زمان جوشکاری جهت دستیابی به خواص مکانیکی بهینه گشت. بهینه سازی پارامترهای جوشکاری منجر به دستیابی به سختی ۲۸۵ ویکرز گردید که ناشی از ریز شدن موضعی دانه‌ها در مناطقی از فلز جوش، به علت ایجاد کرنش سختی و تبلور مجدد در ساختار فلز جوش بود.

واژه‌های کلیدی: فولاد AISI 304L، فوق ریزدانه، جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای، بهینه سازی.

مقدمه:

فولادهای زنگ‌زن آستینیتی، معرف بزرگ‌ترین گروه‌های عام فولادهای زنگ‌زن هستند. که به دلیل شکل‌پذیری عالی، چقرمگی زیاد در دمای اتاق و دمای بالا و مقاومت خوب در برابر پوسته شدن و اکسایش بیشترین کاربرد را در صنعت نسبت به سایر گروه‌های زنگ‌زن به خود اختصاص داده و در تناژ بالاتری نسبت به سایر گروه‌ها تولید می‌شوند (لیپولد، کوتکی، ۲۰۰۵). فولاد زنگ‌زن یک گزینه مناسب برای کاربردهای سازه و بدنه خودروها می‌باشد. این ماده علاوه بر صرفه‌جویی در وزن، توانایی تحمل تصادف و مقاومت به خوردگی، قابل‌باز یافت نیز هست. استحکام این فولادها برابر با فولادهای نرم می‌باشد به طوری که استحکام تسلیم آن‌ها در دمای محیط ۲۰۰-۳۰۰ MPa است. به همین دلیل برای استفاده بهتر از این فولادها در صنایع مختلف نیاز به افزایش استحکام در آن‌ها از طریق مکانیزم‌های استحکام دهی خواهد بود (پورانور، مرعشی، ۲۰۱۲). در میان مکانیزم‌های مختلف تقویت‌کنندگی، ریزدانه شدن تنها روشی است که هم استحکام و هم چقرمگی را بهبود می‌دهد. در این میان جهت تولید فولاد ۳۰۴ ال فوق ریزدانه از طریق فرایند ترمومکانیکی مارتنزیت‌روشی مناسب می‌باشد (سونگا و همکاران، ۲۰۰۶، فروزان و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد فراوان این‌گونه فولادها صنعت را برآن داشته است تا با انواع مختلف روش‌های اتصال نظیر جوشکاری بتوان قطعات مورد نیاز را تولید نمود. فولادهای زنگ‌زن آستینیتی با انواع روش‌های جوشکاری قوس الکتریکی، مقاومتی، شعله و لحیم‌کاری قابل متصل شدن می‌باشند. جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای (RSW)^۱ فرایندی است که در آن اتصال دو سطح توسط حرارت ناشی از مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی و فشار توأم انجام می‌گیرد (انجمن آهن و فولاد آمریکا، ۱۹۷۹). از جمله مهم‌ترین پارامترهای متغیر در این نوع جوشکاری می‌توان به زمان جوش، جریان جوشکاری، نیروی الکتروود اشاره نمود (مارتین، تی‌ادرا، لویز، ۲۰۰۹). تحقیقات اندکی در زمینه جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای فولادها فوق ریزدانه 304L انجام شده است، خدابخشی کاظمی‌نژاد و کوکبی (۲۰۱۲) با جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای ورق‌های فولادی کم‌کربن فوق ریزدانه نشان دادند که با افزایش میزان حرارت ورودی، میزان نیروی شکست در آزمایش کشش افزایش می‌یابد. مارتین و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تغییرات سختی در ناحیه دکه جوش فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای نتیجه گرفتند که سختی نه تنها در این منطقه کاهش پیدا نکرد بلکه به دلیل پدیده کرنش سختی که در نتیجه حضور باندهای لغزش اتفاق می‌افتد سختی این ناحیه نسبت به فلز پایه افزایش می‌یابد. دانسون اوزیک (۲۰۰۸) در بررسی‌های خود دریافت که حفراتی که در مرکز جوش نقطه‌ای ایجاد می‌شود ناشی از کمبود نیروی لازم نسبت به دیگر پارامترها از جمله شدت جریان است. و اگر این حفرات به صورت کامل و موضعی در مرکز جوش قرار داشته باشند سبب کاهش استحکام قطعه نمی‌شوند، چرا که میزان تنش در این گونه آزمایش‌ها در مرکز جوش نقطه‌ای تقریباً صفر است و تنش به مناطق کناری و گوشه‌های جوش وارد می‌شود. مشیدی و ستاری‌فر (۲۰۱۲) به بررسی ابعاد دکه جوش (پارامتر موثر در خواص مکانیکی) در جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای فولادهای زنگ‌زن آستینیتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش شدت جریان جوشکاری و مدت زمان جوشکاری باعث افزایش ابعاد دکه جوش می‌گردد، اثر شدت جریان در این رابطه بسیار بیشتر از زمان جوشکاری است.

¹ Resistance Spot Welding

هدف از انجام پژوهش حاضر بهینه سازی پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای فولاد فوق ریزدانه / نانوساختار AISI 304L و ارزیابی ریزساختار نمونه بهینه است.

مواد و روش انجام تحقیق:

در این تحقیق از فولاد زنگ نزن 304L استفاده گردید. نمونه‌ها در ابعاد 40mm* 80mm با ضخامت اولیه ۱۰ میلی‌متر آماده سازی گردید. آنالیز عنصری فولاد در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی فولاد AISI 304L (درصد وزنی).

Element	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Co	Cu	V	Fe
Wt%	0.026	18.35	8.01	0.15	1.24	0.323	0.024	0.005	0.129	0.24	0.1	Remain

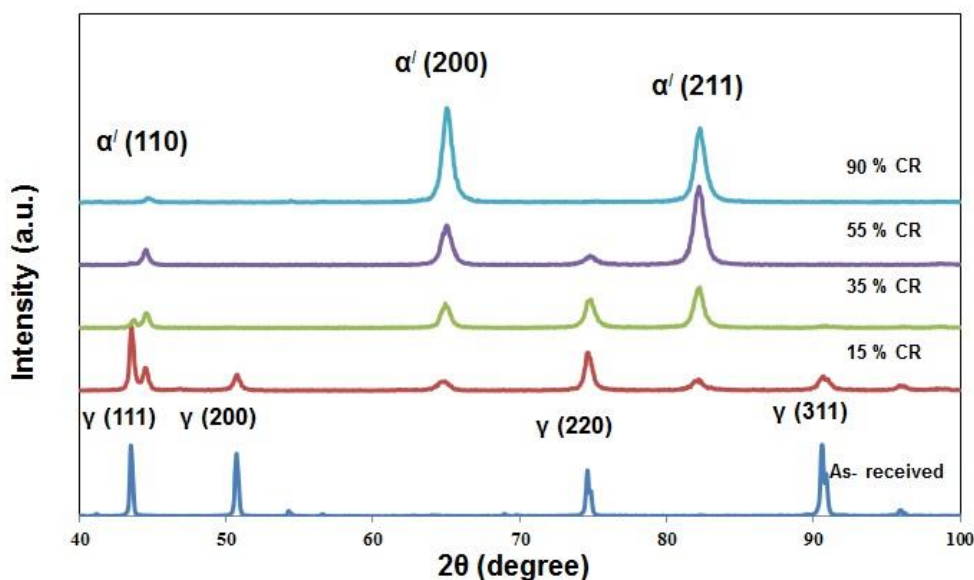
فرآیند نورد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و تا ۹۳ درصد کاهش در ضخامت انجام گرفت. نمونه‌های به دست آمده از فرآیند نورد با ضخامت ۰/۷ میلی‌متر در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار گرفت و بلافاصله کوئنچ گردید. نمونه آنیل شده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه که دارای کمترین اندازه دانه و بیشترین سختی بود به عنوان نمونه بهینه انتخاب گردید و تحت جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای قرار گرفت. محدوده پارامترهای فرایند شامل میزان شدت جریان، میزان اعمال نیرو توسط الکترودها و مدت زمان جوشکاری بر اساس استاندارد AWS C1-1 و مطابق جدول ۲ انتخاب گردید. جهت بررسی میزان بازگشت آستنیت از دستگاه فریتوسکوپ مدل FISCHER:FMP30 و جهت آنالیز فاز از طریق دستگاه XRD مدل PHILIPS استفاده گردید. ریز ساختار نمونه‌ها نیز توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل PHILIPS تحت بررسی قرار گرفت. پس از انجام عملیات جوشکاری، محل جوش مقطع زده شده و نمونه‌ها جهت انجام متالوگرافی مانع گردید. پس از سمباده زنی و انجام پولیش بر روی نمونه‌ها، با استفاده از محلول الکترواچ شامل ۶۵ میلی لیتر اسید نیتریک و ۳۵ میلی لیتر آب مقطر الکترواچ شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری ریزساختار مورد مطالعه قرار گرفت. میکرو سختی نمونه‌ها با بار ۲۰۰ گرم با زمان اعمال بار ۱۵ ثانیه و ماکرو سختی با اعمال بار ۱۰ کیلوگرم به روش ویکرز اندازه گیری گردید. آزمون‌های مکانیکی با سرعت ۱ mm/min انجام شدند. بار ماکزیمم از منحنی بار- جابجایی به دست آمد.

جدول ۲- پارامترهای مورد نظر جوشکاری.

کد نمونه	میزان نیرو (KN)	شدت جریان (KA)	مدت زمان اعمال جریان جوشکاری (S)
I	۲	۴	۰/۱
II	۲	۴	۰/۱۵
III	۲	۶	۰/۱
IV	۲	۶	۰/۱۵
V	۳	۴	۰/۱
VI	۳	۴	۰/۱۵
VII	۳	۶	۰/۱
VIII	۳	۶	۰/۱۵

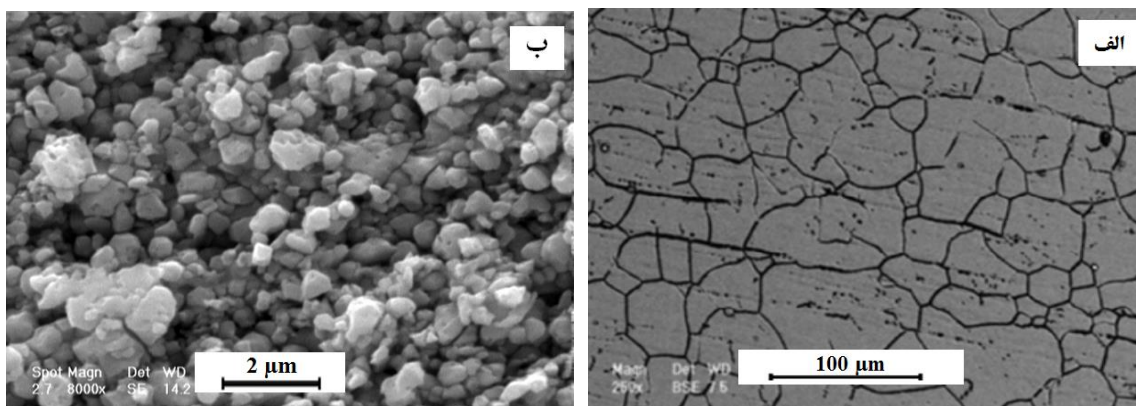
نتایج و بحث:

شکل ۱ نتایج آنالیز فازی نمونه‌های نورد شده با درصدهای متفاوت را نشان می‌دهد. با انجام نورد و ایجاد کاهش در سطح مقطع در نمونه ساختار آستنیتی اولیه نمونه با افزایش درصد نورد تغییر فاز داده و به ساختار مارتنزیتی تبدیل می‌شود (سونگا و همکاران، ۲۰۰۶، فروزان و همکاران ۲۰۱۰). این استحاله تقریباً در حدود ۵۵٪ کاهش در سطح مقطع نمونه به صورت کامل پایان پذیرفته و ادامه نورد تا ۹۰ درصد کاهش در ضخامت تنها منجر به شکسته شدن ساختار مارتنزیتی می‌گردد. ریز شدن ساختار مارتنزیتی موجب ایجاد محل جوانه زنی بیشتر برای دانه‌های آستنیتی در فرایند عملیات حرارتی شده و در نهایت باعث ایجاد ساختار فوق ریزدانه / نانو ساختار می‌گردد.



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس نمونه های نورد شده در کاهش ضخامت‌های متفاوت.

شکل ۲ ریزساختار فولاد زنگ‌زن آستنیتی AISI 304L را پیش و پس از عملیات ترمومکانیکی نشان می‌دهد. ریزساختار اولیه فولاد شامل دانه‌های آستنیت با میانگین اندازه دانه ۳۵ میکرومتر می‌باشد (شکل ۲ الف)). رسوبات کشیده شده در ریزساختار اولیه نشان دهنده فریت دلتا می‌باشد که از ابتدا در اثر فرآیند انجماد اولیه شکل گرفته و در ساختار باقی مانده‌اند. جدول ۳ ارتباط میان زمان آنیل نمونه ۹۰ درصد کار سرد شده و میزان بازگشت آستنیت و همچنین سختی نهایی را بیان می‌دارد. انتخاب زمان مناسب آنیل بر این مبنا انجام گرفت که میزان مارتنزیت استحاله نیافته در نمونه آنیل شده کمتر از ۵ درصد باشد. بنابراین حداقل زمان آنیل معادل ۱۲۰ دقیقه تعیین شد که منجر به دستیابی به فولاد فوق ریزدانه / نانوساختاری با سختی ۳۴۰ ویکرز و توزیع اندازه دانه ۵۰۰ - ۲۰۰ نانومتر گردید. (شکل ۲ ب)).



شکل ۲. ساختار میکروسکوپی الکترونی روبشی فولاد AISI 304L (الف) نمونه اولیه (ب) نمونه فوق ریز دانه/نانو ساختار شده.

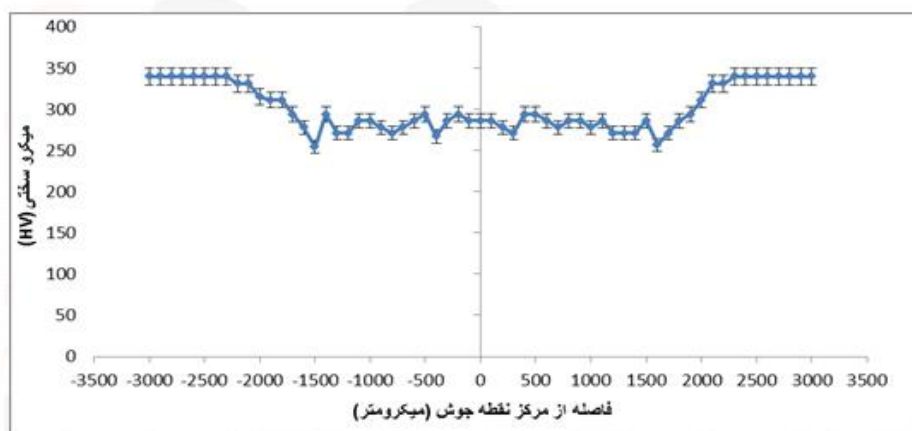
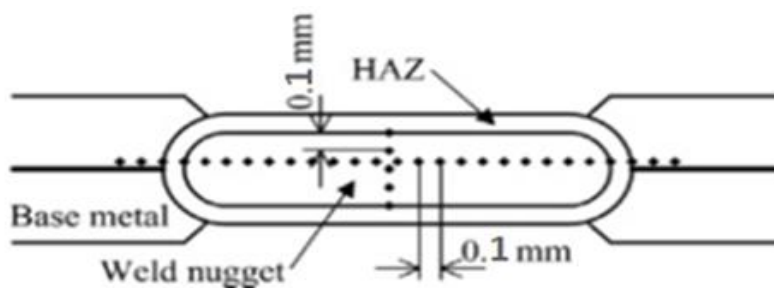
جدول ۳- ارتباط بین میزان استنیت بازگشتی و میزان سختی نمونه ها.

زمان آنیل	10 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min
میزان استنیت بازگشتی	88 %	90 %	94 %	97 %	98 %	99 %	99 %	100 %
سختی بر حسب (HV10)	430	410	380	360	340	330	320	310

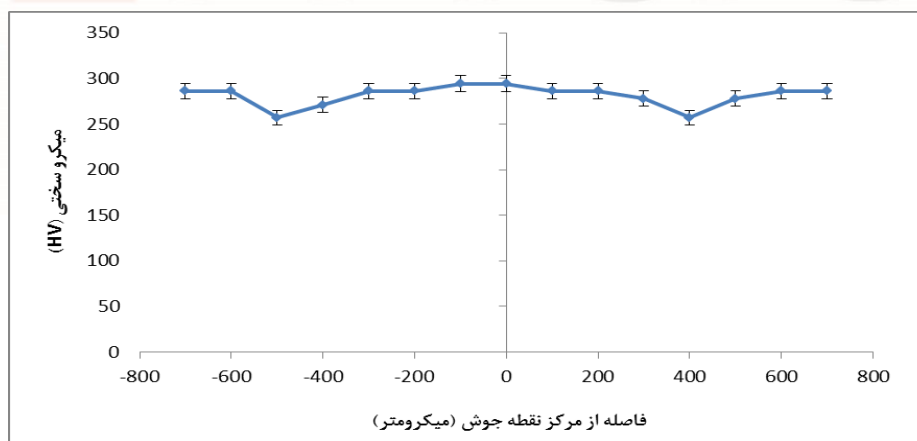
جدول ۴ نتایج حاصل از میکروسختی منطقه جوش نمونه های جوشکاری مقاومتی شده با پارامترهای مختلف را نشان می دهد با توجه به میزان سختی و همچنین ریزساختار نمونه ها در شرایط مختلف جوشکاری مشاهده می گردد که با افزایش میزان شدت جریان اعمالی، میزان نیروی وارده و مدت زمان جوشکاری به میزان مشخص، مقدار سختی حاصل از فلز جوش نیز افزایش می یابد بدین صورت که از نمونه ی یک تا نمونه ی شش با افزایش میزان شدت جریان و مدت زمان جوشکاری (افزایش گرمای ورودی به قطعه) و همچنین افزایش میزان نیروی اعمالی، مقدار سختی در فلز جوش افزایش یافته است، اما در نمونه های هفت و هشت این افزایش پارامترها نه تنها باعث افزایش سختی نشده بلکه به دلیل ورود مقدار بیش از اندازه گرما به قطعه کار باعث بزرگ شدن اندازه دانه ها و به دنبال آن کاهش سختی شده است (مارتین و همکاران، ۲۰۰۹، دارسون، ۲۰۰۸). شکل ۳ نمودار پروفیل سختی در مقطع طولی دکمه جوش را نشان می دهد که میزان سختی در ناحیه جوش نسبت به فلز پایه کمتر و در حدود ۸۳٪ سختی فلز پایه است و در حدود ۲۸۵ - ۲۹۰ ویکرز می باشد. همان گونه که در شکل پیداست در ناحیه متأثر از حرارت سختی به کمترین حد خود رسیده که دلیل آن می تواند رشد دانه ها بخاطر گرمای بیش از حد و عدم ایجاد کرنش سختی در این ناحیه باشد. پروفیل سختی در مقطع عرضی نیز نشان دهنده کاهش سختی در ناحیه متأثر از حرارت نسبت به فلز جوش می باشد.

جدول ۴- میکروسختی حاصل از نمونه های جوشکاری شده بر حسب ویکرز.

کد نمونه	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
سختی فلز جوش (HV)	۲۱۸	۲۲۵	۲۴۸	۲۶۵	۲۸۰	۲۸۵	۲۶۰	۲۷۰



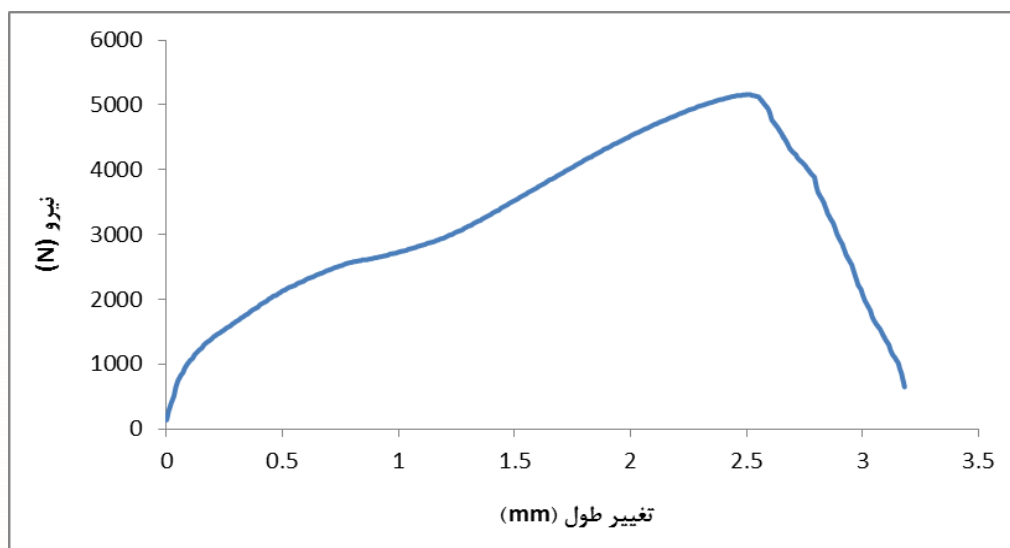
شکل ۳. نمودار پروفیل سختی مقطع طولی نقطه جوش.



شکل ۴. نمودار پروفیل سختی مقطع عرضی نقطه جوش.

شکل ۵ نمودار منحنی نیرو - تغییرات طول را نشان می‌دهد. نقطه تسلیم در نیروی ۲۶۰۰ نیوتن و تغییر طول ۱ میلی‌متر اتفاق افتاده است، و نیز حداکثر نیرو قبل از شکست جوش در نیروی ۵۱۶۰ نیوتن و تغییر طول ۲/۵ میلی‌متر اتفاق افتاده است. نوع شکست در این

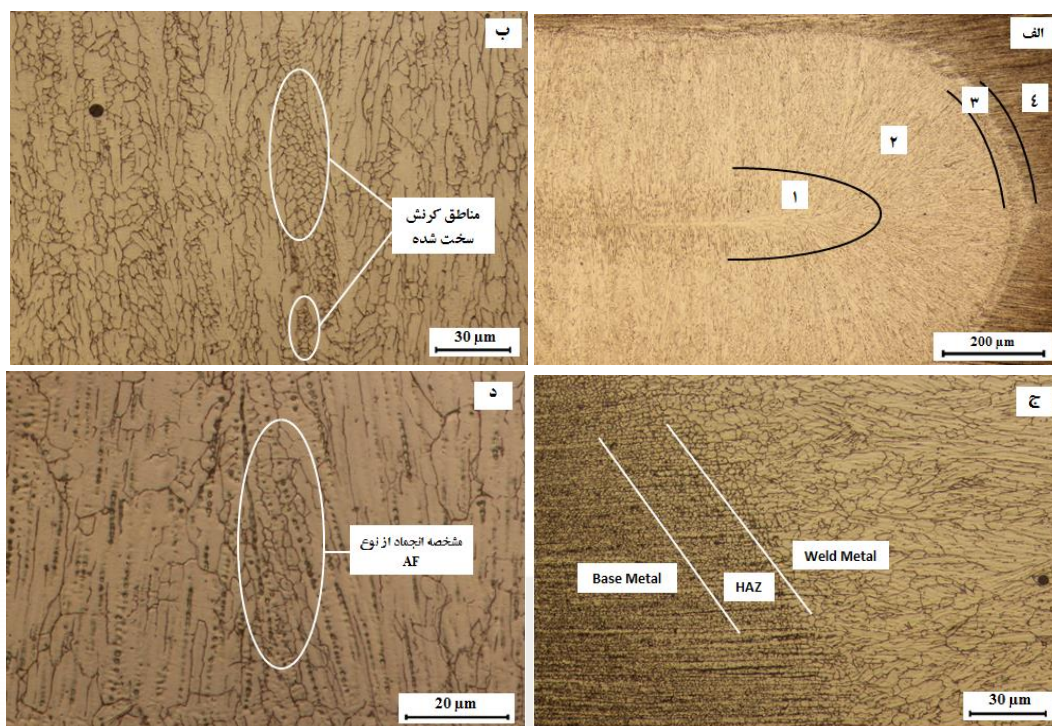
گونه تست‌ها به دو صورت شکست از فصل مشترک جوش (IF)^۱ یا شکست از فلز پایه (PF)^۲ یا به عبارتی درآمدن دکمه جوش است. که حالت بیرون آمدن دکمه جوش بهتر بود و نشان از کیفیت خوب نقطه جوش دارد. رابطه مستقیمی بین حداکثر بار و اندازه ناحیه ذوب وجود دارد. این اثر ناشی از بیشتر شدن مساحت کلی پیوند به واسطه افزایش اندازه FZ می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که اندازه FZ، مهم‌ترین عامل کنترل کننده خواص مکانیکی جوش‌های مقاومتی نقطه‌ای در AISI 304 است تحقیقات نشان می‌دهد که نمونه‌های با دکمه جوش کوچکتر و فلز پایه مستحکم‌تر (نظیر نمونه آزمایش شده) دارای شکست فصل مشترک‌اند و نمونه با دکمه جوش بزرگتر شکست از نوع بیرون آمدن دکمه جوش است. نتایج آزمایش نشان داد که شکست از نوع شکست فصل مشترک بوده و نوع تنش ایجاد شده در این شکست نیز از نوع تنش برشی می‌باشد. در حالی که تنش ناشی از شکست بیرون آمدگی دکمه جوش از نوع کششی می‌باشد. (پورانور و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۵. منحنی نیرو - تغییر طول برای آزمون کشش - برش.

¹ - Interfacial Failure (IF)

² - Pullout Failure (PF)



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی نوری از نمونه جوش با پارامتر بهینه الف) مناطق مختلف انجماد، ناحیه HAZ و فلز پایه ب) پدیده کرنش سختی در فلز جوش ج) مقایسه اندازه دانه در مناطق مختلف جوش و فلز پایه د) تشکیل زنجیره فریت دلتا در حین انجماد.

شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ نوری از منطقه جوش و ناحیه متأثر از حرارت نمونه جوشکاری شده با پارامترهای بهینه (نمونه شماره شش) را نشان می دهد. مشاهدات میکروسکوپی نشان می دهد که این منطقه از یک ناحیه با دانه های هم محور در مرکز جوش (ناحیه ۱ شکل ۳- الف) و یک ناحیه دندریتی در اطراف دکه جوش (ناحیه ۲ شکل ۳- الف) تشکیل شده است. نواحی شماره سه و چهار نیز به ترتیب ناحیه متأثر از حرارت و فلز پایه را نشان می دهند. جهت کشیده شدن دندریت ها حاکی از نحوه انتقال حرارت از منطقه فلز جوش به بیرون می باشد به گونه ای که نرخ انتقال حرارت در این فرایند بسیار بالا بوده و برای نمونه های ضخیم در حدود 3000°C/s و برای نمونه های با ضخامت های خیلی کم در حدود 100000°C/s می باشد (انجمن آهن و فولاد آمریکا، ۱۹۷۹). در بزرگنمایی های بالاتر مشاهده می شود که در اثر اعمال نیروی زیاد و با توجه به بالا بودن دمای فلز در منطقه اعمال نیرو پدیده کرنش سختی اتفاق افتاده است (مناطق مشخص شده در شکل ۳- ب) که این پدیده باعث عدم افت قابل ملاحظه سختی در منطقه دکه جوش نسبت به فلز پایه گشته است (مارتین و همکاران، ۲۰۰۹). در تصویر ج از شکل ۳ اختلاف اندازه دانه در ناحیه فلز جوش با ناحیه متأثر از حرارت و فلز پایه قابل ملاحظه است. میانگین اندازه دانه ها در فلز جوش حدوداً برابر ۱۵ میکرومتر بوده که این در مقایسه با فلز پایه که در حدود ۳۰۰ نانومتر است، مقدار بزرگی می باشد. تصاویر متالوگرافی حاصل از منطقه جوش (شکل ۳- د) نشان می دهد که در طی انجماد فلز جوش مکانیزم انجماد از نوع انجماد AF بوده، بدین صورت که در پایان فرایند انجماد آستنیت اولیه، در اثر یک واکنش یوتکتیک، مقداری فریت تشکیل می شود. این نوع انجماد در صورتی اتفاق می افتد که عناصر فریت زای کافی (عمدتاً Cr و Mo) در طی

انجماد در مرز دانه‌های فرعی انجماد جدا شده تا تشکیل فریت را به عنوان محصول نهایی انجماد تشویق کنند. به نظر می‌رسد که این انجماد توسط یک واکنش یوتکتیک رخ داده است. فریتی که در طول مرز تشکیل می‌شود تقریباً پایدار است و به دلیل اینکه غنی از عناصر فریت‌زا می‌باشد در برابر استحاله به آستنیت در طی سرد کردن جوش مقاوم است. در این نوع انجماد چون انجماد به صورت آستنیت اولیه است، ریز ساختار انجمادی کاملاً مشهود است (لیپولد و همکاران، ۲۰۰۵).

نتیجه گیری:

در تحقیق حاضر فولاد زنگ نزن آستینی AISI 304L با ساختار فوق ریزدانه و میانگین اندازه دانه ۳۰۰ نانومتر از طریق فرایند ترمومکانیکی مارتنزیت از فولاد اولیه درشت دانه تولید گردید. فرایند ترمومکانیکی مارتنزیت اعمال شده شامل ۹۳ درصد نورد سرد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و آنیل در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه بود. کاهش اندازه دانه‌ها منجر به افزایش سختی از میزان اولیه ۲۶۰ ویکرز به ۳۴۰ ویکرز گردید. نمونه فوق ریزدانه / نانو ساختار حاصل تحت فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای با ترکیبی از پارامترهای متفاوت جریان، زمان و نیروی اعمالی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌های مکانیکی نشان داد که ترکیب بهینه‌ای از این پارامترها (نیروی اعمالی ۳ کیلو نیوتن، شدت جریان ۴ کیلو آمپر، مدت زمان جوشکاری ۰/۱۵ ثانیه) منجر به دستیابی به سختی ۲۸۵ ویکرز در فلز جوش گردید که نسبت به سختی فلز پایه میزان قابل قبولی را نشان می‌دهد. علت این امر ناشی از رخداد پدیده کرنش سختی در فلز جوش می‌باشد که باعث عدم افت محسوس سختی فلز جوش نسبت به فلز پایه گشته است. این در حالی است که مکانیزم انجماد مربوط به نمونه جوشکاری شده با شرایط بهینه بیان کننده مکانیزم انجماد AF می‌باشد. نتایج آزمایش مکانیکی نشان داد که شکست از نوع شکست فصل مشترک بوده و نوع تنش ایجاد شده در این شکست نیز از نوع تنش برشی می‌باشد.

مراجع:

لیپولد، جی و کوتکی، دی. (۱۳۸۹). متالورژی جوشکاری و جوش‌پذیری فولادهای زنگ نزن، (ترجمه مرتضی شمعیان).

اصفهان: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

Dursun O., (2008). "An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel". *Journal of Materials and Design*, Vol. 29, Pp. 597–603.

Forouzan, F., Najafizadeh, A., Kermanpur, A., Hedayati, A., Surkialiabadi, R., (2010). "Production of nano/submicron grained AISI 304L stainless steel through the martensite reversion process", *Journal of Mater. Sci. Eng., A*, Vol. 527, Pp. 7334–7339.

Khodabakhshi, F., Kazeminezhad, M., Kokabi, A.H., (2012). "Resistance spot welding of ultra-fine grained. steel sheets produced by constrained groove pressing: Optimization and characterization", *Journal of Materials Characterization* Vol. 69, Pp. 71-83.

Pouranvar, M., Marashi, S.P.H., (2012). "Failure Mode Transition in AISI 304 Resistance Spot Welds", *Welding journal*, Vol. 91, Pp. 303-309.

Martín, Ó., Tiedra, P., López, M., (2009). "Quality prediction of resistance spot welding joints of 304 austenitic stainless steel", *Journal of Materials and Design*, Vol. 30, Pp. 68-77.

Moshayedi, H., Sattari-Far, I., (2012). "Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 21, Pp. 347-354.

Songa, R., Ponge, D., Raabe, D., Speer, J.G., Matlock, D.K., (2006). "Overview of processing, microstructure and mechanical properties of ultra-fine grained bcc steels", *Journal of Materials Science and Engineering*, Vol. 441, Pp. 1-17.

"Welding of Stainless Steel and other Joining Methods", Produced by American Iron and Steel Institute, A Designers Handbook Series, Pp 26-28, 1979.