

تحلیل تجربی تاثیر پارامترهای جوشکاری GTAW بر خواص مکانیکی و متالورژیکی اتصالات غیرهمجنس فولاد کربنی ST37 به فولاد زنگ نزن AISI304

کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمد امین فروتن محرمی
فرامرز آشنای قاسمی*
محمد رضا فراهانی

چکیده

در این مقاله به بررسی خواص مکانیکی اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI304 به فولاد کم کربن St37 که با فرآیند جوشکاری با گاز محافظ آرگون و الکتروود مصرف نشدنی تنگستن و فلز پرکننده 309 به هم متصل شده اند، پرداخته شده است. با تغییر در حرارت ورودی قوس، سرعت جوشکاری و دمای بین پاسی، تاثیر این پارامترها بر ریزساختار و استحکام کششی اتصال بررسی شده است. نتایج بررسی های متالوگرافی نشان می دهد با افزایش حرارت ورودی قوس زمان انجماد افزایش یافته، در نتیجه کسر بیشتری از فریت فلز پایه ی کربنی به آستنیت تبدیل شده و استحکام را افزایش می دهد. از طرفی مشاهده شد با افزایش شدت جریان شرایط برای تبلور مجدد و در نتیجه کاهش اندازه دانه در منطقه متاثر از حرارت مساعدتر شده که می تواند استحکام اتصال را بهبود دهد. نتایج آزمون کشش نشان می دهد ضعیف ترین ناحیه ی اتصال نمونه ها منطقه متاثر از حرارت فولاد کربنی می باشد و شکست تمام نمونه های جوشکاری شده در این ناحیه رخ داده است. بیشترین استحکام کششی مربوط به نمونه ای است که با حداقل شدت جریان و با بیشترین سرعت پیشروی و بدون زمان بین پاسی جوشکاری شده است. این پارامترهای فرآیندی منجر به پدیده ی تبلور مجدد در مرز فلز جوش و قسمتی از ناحیه ی متاثر از حرارت شده و با کاهش چشمگیر اندازه دانه، استحکام کششی را افزایش داده است.

واژه های کلیدی: جوشکاری غیرهمجنس، فولاد زنگ نزن 304، فولاد کم کربن St37، جوشکاری قوسی الکتروود تنگستن با گاز محافظ.

Experimental Analysis of GTAW Welding Parameters Effects on the Mechanical and Metallurgical Properties of ST37 Carbon Steel- AISI304 Stainless Steel Dissimilar Welded Joints

M. A. Foroutan Moharami Mechanical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.
F. Ashenai Gasemi* Mechanical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.
M. Farahani School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

In this article, mechanical properties of dissimilar joints of austenite stainless steel AISI304, with low carbon steel St-37 fabricated with tungsten inert gas welding technique (GTAW) and 309 filler metal are investigated. By changing the arc heat input, welding speed and also inter-pass temperature, the effect of these parameters on the weld microstructure and tensile strength were investigated. Metallographic studies show that by increasing the arc heat input, solidification time was increased, so more transformation from ferrite to austenite was occurring and consequently the joint strength was increased and consequently. On the other hand, it was observed that by increasing the intensity of the current, the heat affected area was extended, the weld grain size was increased and consequently, the mechanical properties of the weld were decreased. Tensile test results showed that the weakest connecting zone of the samples is the carbon steel heat-affected zone. The highest tensile strength was obtained from the specimen welded with minimum current and most progressing speed without any inter pass time. This process condition led to recrystallization at the border of weld metal and part of the heat affected zone and resulted in significant reduction in the grain size and led to considerable improvement for the weld tensile strength.

Keywords: Dissimilar Welding, 304 Stainless steel, St-37 Low-carbon steel, Gas tungsten arc welding.

محصول باید به حداقل برسد بسیار مناسب هستند. فولادهای کربنی به خاطر قیمت مناسب و قابلیت جوشکاری بسیار خوبشان به سایر فولادهای گران قیمت ترجیح داده می شوند و ضرورت اتصال فولادهای زنگ نزن به فولادهای کربنی را ایجاب می کنند [1]. اتصالات غیرهمجنس بین فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فولادهای فریتی کم کربن به شکل های گسترده در سیستم های انتقال انرژی با دمای بالا مورد استفاده قرار می گیرد [2] مانند مبادله کن های گرمایی، راکتورهای

۱- مقدمه

فولادهای زنگ نزن آستنیتی بصورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. این فولادها برای کاربردهایی از جمله نگهداری گازهای مایع، تجهیزات مربوط به میعان و تقطیر گازها و دیگر مواردی که می بایست در برابر خوردگی مقاوم باشند، استفاده می شوند. این فولادها به ویژه جهت نگهداری مواد غذایی و دارویی که آلودگی

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: f.a.ghasemi@sruttu.edu

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۲۲

هسته‌ای، صنایع پتروشیمی و خطوط بخار نیروگاه‌ها. در این کاربردها بخش‌هایی از قطعه که در معرض دماهای پایین‌اند از فولاد کم‌کربن و بخش‌هایی که در معرض دماهای بالاتر قرار دارند از فولاد زنگ‌نزن ساخته می‌شوند.

تاکنون مطالعات زیادی روی جوشکاری دو فلز غیرهمجنس انجام شده ولی به دلیل تنوع در جنس فلزات پایه و همچنین فرآیندهای مختلف جوشکاری، همچنان نقاط مبهمی وجود دارد که می‌بایست جهت حصول اطمینان در بحث و نتیجه‌گیری، تحقیقاتی در این زمینه انجام داد. در پژوهش‌های پیشین به بررسی اتصال غیرهمجنس با استفاده از انواع روش‌های جوشکاری مانند جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن^۱، جوشکاری نقطه‌ای^۲، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی^۳ و دیگر فرآیندها پرداخته شده است. کریمی‌منش و همکارانش [3] که تاثیر حرارت ورودی قوس و سرعت جوشکاری بر مقاومت ضربه‌ی فولاد زنگ‌نزن 304 در فرآیند جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن را بررسی کردند، با تغییر در پارامترهای حرارت ورودی قوس و سرعت جوشکاری، تاثیر پارامترهای عنوان شده بر ریزساختار، میزان فریت فلز جوش و انرژی ضربه شاری را بررسی کردند.

جعفرزادگان و همکارانش [4] نیز خواص مکانیکی و ریزساختار اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ‌نزن 304 به فولاد کم‌کربن St37 را بررسی نمودند. آنها تغییراتی در پارامترهای جوشکاری اعمال کردند. سپس با بررسی نمونه‌ها و انجام آزمون‌های مختلف مانند آزمون کشش و ضربه، خواص مکانیکی هر یک از نمونه‌ها را سنجیدند. متالوگرافی پژوهش آنها مشخص نمود، با توجه به اینکه دما به میزان زیادی بالا رفته و در شرایطی که قطعه در حال جوشکاری زمانی در دمای بالا قرار گرفته، شرایط برای پدیده‌ی تبلور مجدد فراهم بوده است.

رحمانی و همکارانش [5] در مورد اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ‌نزن سوپر دوفازی 32750 به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304L پژوهش نمودند. بدین منظور روش جوشکاری قوسی تنگستن با گاز محافظ با دو فلز پرکننده ER25104L و ER309LMo استفاده شد. در آزمون کشش تمامی نمونه‌ها از منطقه متاثر از گرمای فلز پایه فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304L و بصورت نرم دچار شکست شدند.

در پژوهشی دیگر شایان‌فر و همکارانش [6] به بررسی تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار فلز جوش و منطقه متاثر از گرمای جوش غیرهمجنس فولاد ASTM A517 و فولاد زنگ‌نزن AISI 316 L از طریق بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری پرداختند. آنها از روش جوشکاری با گاز آرگون و الکتروود تنگستن در دو حالت جریان پالسی و معمولی جهت اتصال دو فلز استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که اندازه‌ی دانه در منطقه‌ی متاثر از گرما در روش پالسی نسبت به روش معمولی کمتر بوده است. همچنین ساختار فلز جوش کاملاً آستنیتی بوده که در روش پالسی دارای ساختار ریزتری است. علاوه بر این نحوه‌ی رشد فلز جوش مجاور فولاد A517 نسبت به فلز جوش مجاور 316L متفاوت است. انرژی ضربه در هر سه منطقه فلز جوش و مناطق

متاثر از گرما در روش پالسی افزایش یافته و شکست در فلز جوش و منطقه‌ی متاثر از حرارت فولاد 316L از نوع کاملاً نرم بوده و در منطقه‌ی متاثر از گرما فولاد A517 از نوع نیمه ترد می‌باشد.

حاجیانیا و همکارانش [7] به بررسی اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ‌نزن 347 به فولاد کم‌آلیاژ 335 با فرآیند جوشکاری با الکتروود تنگستن و گاز محافظ پرداختند. نتایج آزمون کشش آنها نشان داد ضعیف‌ترین ناحیه‌ی اتصال، ناحیه متاثر از گرما فولاد کم‌آلیاژ می‌باشد. در یکی دیگر از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شد، فولس و بلیک [8] گزارش کردند، در صورتی که از تاثیر درجه رقت و اختلاط با فلز پایه جلوگیری شود، تغییرات حرارت ورودی تاثیر چندانی بر میزان فریت فلز جوش ندارد.

رمضان ایلماز و همکارانش [9] در بررسی‌هایشان روی خواص مکانیکی فولادهای آستنیتی به این نکته رسیدند که نرخ انجماد سریع، بازیابی آستنیت را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش فریت باقی مانده در فلز جوش شده که این اتفاق تاثیر منفی بر نرمی، چقرمگی و مقاومت به خوردگی داشته است. همچنین ایشان نشان دادند نرخ‌های انجماد کندتر که به واسطه‌ی سرعت‌های جوشکاری پایین و حرارت ورودی بالاتر ایجاد می‌شوند، بازیابی آستنیت را بهبود داده که آن را مفید ارزیابی کردند.

در تحقیق حاضر، به بررسی خواص مکانیکی اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI304 به فولاد کم‌کربن St37 که با روش جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن متصل شده‌اند، پرداخته شده است. سوال اساسی تحقیق حاضر این است که، استفاده از کدام پارامترهای فرآیند جوشکاری و با چه کمیتی اتصال مذکور را به خواص مکانیکی مطلوب می‌رساند. به دلیل خصوصیات متفاوتی که فولاد کربنی و فولاد زنگ‌نزن دارند، جوشکاری آنها با فرآیندهای مختلف خواص مکانیکی و متالورژیکی متفاوتی را ایجاد می‌کند، لذا برای رفع این مشکل باید از نظر متغیرهای جوشکاری به یک نقطه‌ی بهینه رسید که این موضوع در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به طراحی آزمایش و تحلیل آماری انجام شده، شرایط بهینه به سادگی از نمودارها قابل استخراج می‌باشند.

۲-تجربی

۱-۲-مواد و روش‌ها

در این پژوهش از فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI304 و فولاد کم‌کربن St37 به عنوان فلزات پایه استفاده شد. برای انجام جوشکاری، قطعاتی از فلزات پایه با ابعاد 50 x100 میلی‌متر مربع و با ضخامت 5 میلی‌متر تهیه شد.

ورق فولاد زنگ‌نزن مورد استفاده از جنس فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کروم نیکل‌دار بوده که در استاندارد ASME [10] در گروه SA240 قرار گرفته که به نام فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304 شناخته می‌شود. جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب ترکیب شیمیایی فولاد 304 و فولاد کربنی St37 را نشان می‌دهند. فولاد 304 دارای تنش تسلیم 215 مگاپاسکال، تنش نهایی 505 مگاپاسکال و ازدیاد طول تا شکست 40% است. فولاد کربنی St37 نیز دارای تنش تسلیم 235 مگاپاسکال، تنش نهایی 360 مگاپاسکال و ازدیاد طول تا شکست 16% است.

¹ Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

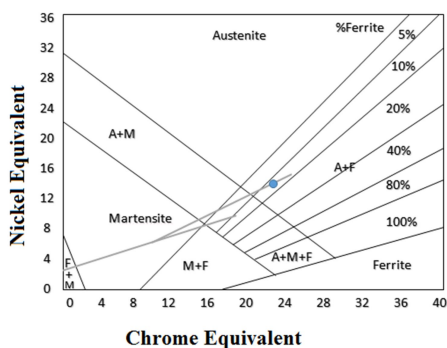
² Spot Welding (SW)

³ Friction Stir Welding (FSW)

نمونه‌ها، گاز محافظ آرگون با خلوص 99.99 درصد با دبی خروجی 14 لیتر بر دقیقه بکار گرفته شد. جوشکاری نیز در تمامی نمونه‌ها 3 پاس (2 پاس رو و 1 پاس ریشه) در نظر گرفته شد.

با توجه به میزان نیکل و کروم معادل فلزات پایه و به کمک دیاگرام شافلر² [11] فلز پرکننده‌ی مناسب جهت این جوشکاری انتخاب می‌شود. ابتدا نیکل و کروم معادل فولاد زنگ‌نزن 304 و فولاد کربنی St37 محاسبه شده و در دیاگرام شافلر رسم می‌شود. سپس به همین شیوه میزان نیکل و کروم معادل فلز پرکننده‌ی پیشنهادی که ER309 می‌باشد محاسبه و در دیاگرام شافلر ترسیم می‌گردد. این مقادیر در جدول 3 ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل 1 نشان داده شده است، با در نظر گرفتن درجه رقت 80% که از آزمایشات به دست آمده است، میزان فریت فلز جوش در بازه‌ی 10 درصد می‌باشد. فلز پرکننده‌ی ER309 دارای مشخصه‌ی SFA-5.9 در استاندارد ASME می‌باشد.



شکل 1- دیاگرام شافلر جهت تعیین درصد فریت فلز جوش

$$\text{Equivalent Chrome} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \% \text{Si} + 0.5 \% \text{Nb} + 2 \% \text{Ti}$$

$$\text{Equivalent Nickel} = \% \text{Ni} + 30 \% \text{C} + 0.5 \% \text{Mn}$$

دماهای پیش‌گرم بالا سبب افزایش زمان انجماد می‌شود و می‌تواند اثرات نامطلوبی بر خواص مکانیکی و ریزساختار فولاد زنگ‌نزن 304 بگذارد. از آنجاکه فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی مستعد ترک هیدروژنی نیستند، پس عملیات پیش‌گرم بجز در قطعات ضخیم نیاز نیست.

دمای پیش‌گرم و بین‌پاسی بالا به میزان کمی بر استحاله فریت به آستنیت تاثیر دارد، چون این استحاله در دماهای بسیار بالا رخ می‌دهد. همچنین لازم به اشاره است، در مواردی که ایجاد رسوبات کاربیدی موجب حساس شدن فلز می‌شوند، دمای بین‌پاسی از یک میزان ماکزیمم باید کمتر باشد تا رسوبات کاربیدی ایجاد نشود. زیرا سرد شدن آرام در محدوده رسوب‌گذاری کاربیده‌ها، احتمال رسوب‌گذاری را افزایش می‌دهد [12]. با رسوب این کاربیده‌ها نواحی اطراف مرزانه از کروم تهی شده و بدین ترتیب درصد وزنی کروم در این مناطق به مقدار پایین‌تری از درصد وزنی لازم کروم جهت ایجاد مقاومت به خوردگی میرسد [13].

جدول 1- ترکیب شیمیایی فلز پایه از جنس فولاد نوع 304 [10]

عنصر	درصد وزنی
کربن	0.0215
سیلیسیم	0.6
فسفر	0.0287
گوگرد	0.00020
منگنز	1.04
نیکل	8.39
کروم	18.61
مولیبدن	0.0213
سرب	0.0019
کبالت	0.334
کلسیم	0.001
مس	0.0567
وانادیوم	0.12
نیوبیوم	0.0075
آهن	70.71

جدول 2- ترکیب شیمیایی فلز پایه از جنس فولاد کربنی St37 [10]

عنصر	درصد وزنی %
کربن	0.017
سیلیسیم	0.134
فسفر	0.007
گوگرد	0.015
منگنز	0.550
نیکل	0.026
کروم	0.016
عناصر دیگر	0.275
آهن	98.96

2-2- فرآیند جوشکاری

جوشکاری توسط فرآیند قوسی الکتروود تنگستن توریم‌دار با محافظت گاز آرگون و در موقعیت جوشکاری تخت، بر روی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304 و فولاد کربنی St37 انجام شده است. پخ ایجاد شده به صورت V شکل و با زاویه 60 درجه و تقریباً 1 میلی‌متر ریشه در هر ورق بوده است. برای جلوگیری از اعوجاج ورق‌ها توسط گیره مقید شدند. جوشکاری با جریان و قطبیت مستقیم¹ انجام شد، همچنین الکتروود تنگستنی از نوع توریم‌دار با قطر 2.4 میلی‌متر انتخاب و در تمام

² Schaeffler

¹ Direct Current Electrode Negative (DCEN)

جدول ۳- درصد کروم و نیکل معادل فلزات پایه و پرکننده

ماده	نیکل معادل	کروم معادل
فولاد St 37	3.57	0.2725
فولاد 304	9.55	19.58
ER 309	15.4	24.5

به منظور بررسی اثر شدت جریان، سه آمپراژ 100، 140 و 180 آمپر بر مبنای مطالعات اولیه انتخاب گردید. برای بررسی اثرات دمای بین پاسی، تمام نمونه‌ها با زمان بین پاسی 10 دقیقه (دمای بین پاسی 25 درجه سانتیگراد) و با زمان بین پاسی صفر دقیقه (دمای بین پاسی متوسط 700 تا 800 درجه سانتیگراد) جوشکاری شده‌اند. پارامتر سرعت جوشکاری نیز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور برای هر آمپراژ، جوشکاری با حداقل و حداکثر سرعت ممکن انجام پذیرفت. با توجه به وابستگی بین دو پارامتر آمپراژ و سرعت جوشکاری، حداقل و حداکثر سرعت ممکن جوشکاری برای نمونه‌های ساخته شده در آمپرهای مختلف یکسان نخواهد بود که این مساله تکنیکی در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. با انجام آزمایشات متعدد و بازرسی چشمی جوش در این پژوهش، برای هر آمپری حداقل و حداکثر سرعت جوشکاری قابل اجرا تعیین گردید. نهایتاً 12 نمونه جوشکاری شده به ابعاد 100x100 میلی‌متر و ضخامت 5 میلی‌متر بدست آمد. جدول 4 پارامترهای جوشکاری نمونه‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق را مطابق با طراحی آزمایش انجام شده نشان می‌دهد.

جدول ۴- پارامترهای جوشکاری نمونه‌ها (A): شدت جریان، V: اختلاف

پتانسیل I: زمان بین پاسی)

شماره نمونه	نمونه	آمپراژ (A)	سرعت جوشکاری (mm/min)	زمان بین پاسی (min)
1	A100 V135 I0	100	135	0
2	A100 V135 I10	100	135	10
3	A140 V170 I0	140	170	0
4	A140 V170 I10	140	170	10
5	A180 V240 I0	180	240	0
6	A180 V240 I10	180	240	10
7	A100 V120 I0	100	120	0
8	A100 V120 I10	100	120	10
9	A140 V135 I0	140	135	0
10	A140 V135 I10	140	135	10
11	A180 V150 I0	180	150	0
12	A180 V150 I10	180	150	10

همچنین شکل ۲ تصویر نمونه را پس از جوشکاری پاس ریشه و تصویر نمونه پس از پاس نهایی را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

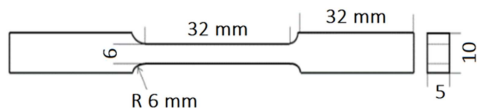
شکل ۲- نمونه‌ی جوشکاری (الف) پس از جوش پاس ریشه، (ب) پس از جوشکاری نهایی

۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ی آزمایشگاهی

با توجه به اینکه عملیات جداسازی نمونه‌ها باید کمترین تاثیر بر خواص مکانیکی و متالورژیکی آنها داشته باشد، از فرآیند وایرکات برای جداسازی نمونه‌ها از قطعات جوش خورده استفاده شد. از هر نمونه‌ی جوش، 3 نمونه‌ی آزمون کشش و یک نمونه جهت متالوگرافی تهیه شد.

۲-۴- آزمون کشش

برای انجام آزمون کشش، نمونه‌هایی به صورت عمود بر مقطع جوش و بر اساس استاندارد ASTM E8 [14] تهیه شد. آزمون کشش برای هر نمونه 3 بار با نرخ 4 mm/min در دمای محیط، تحت شرایط یکسان و توسط دستگاه ژوئیک رول تکرار شد. در شکل 3 نمونه‌ی آزمون کشش مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۳- طرحواره نمونه‌ی آزمون کشش

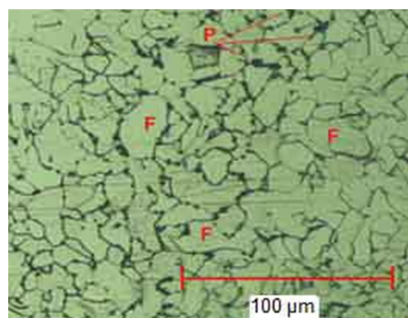
۲-۵- متالوگرافی

جهت مقایسه ریزساختار و بررسی اثر افزایش شدت جریان، سرعت و زمان بین پاسی نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که تغییرات خواص مکانیکی در آنها قابل محسوس است، برای متالوگرافی انتخاب شد. برشکاری با استفاده از مایع خنک کننده انجام گردید تا تغییری در ریزساختار آنها ایجاد نگردد. این نمونه‌ها فلزات پایه، فلز جوش و نواحی

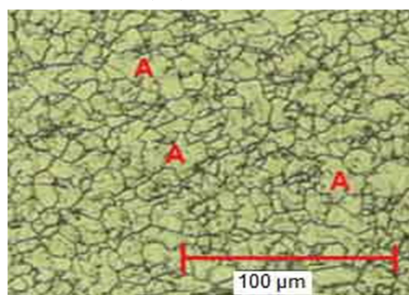
St37-HAZ	27.9	312	A140 V170 I10	4
St37-HAZ	27.2	292	A180 V240 I10	6
St37-HAZ	30.3	314	A100 V120 I0	7
St37-HAZ	14.7	317	A140 V135 I0	9
St37-HAZ	27.7	321	A140 V135 I10	10
St37-HAZ	30.2	309	A180 V150 I0	11
St37-HAZ	27.2	347	A180 V150 I10	12

۳-۳- اثر تغییر شدت جریان بر خواص جوش

ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI304 به گونه‌ای می‌باشد که ریزساختار غالب آن آستنیتی و با توجه به میزان عناصر فریت‌زا و یا ریختگی و کار شده بودن، آستنیتی یا مخلوطی از آستنیت و فریت است. همچنین فولاد کم‌کربن St37 دارای ریزساختاری با زمینه‌ی فریتی با ذرات پرلیت توزیع یافته در بین دانه‌ها می‌باشد [3]. تصویر ۴ ریزساختارهای فلزات فولاد فریتی St37 و فولاد آستنیتی AISI 304 را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) ریزساختار فولاد فریتی St37، (ب) ریزساختار فولاد آستنیتی AISI 304

تصاویر ۵ و ۶ مربوط به نمونه‌هایی است که به ترتیب با شدت جریان 180 و 140 آمپر، زمان بین‌پاسی ۱۰ دقیقه و با کمترین سرعت پیشروی جوشکاری شده‌اند. تغییر شدت جریان باعث ایجاد تغییراتی در ساختار آنها گردیده است که تغییرات اندازه‌ی دانه را در نواحی متأثر از حرارت فولاد 304 نشان می‌دهد.

متأثر از گرما^۱ را شامل می‌شوند. ابتدا سمت فولاد کم‌کربن نمونه‌ها با محلول نایتال 4٪ به مدت زمان 15 ثانیه اچ شد. سپس سمت فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304 به صورت الکترولیتی در محلول HNO₃ 60٪ با ولتاژ 1.2 V و آمپراژ 0.02A به مدت زمان 2 دقیقه حکاکی شد [15]. در ادامه نمونه‌ها آماده‌سازی شده و ارزیابی ریزساختار به کمک میکروسکوپ الکترونی مدل نفوفوت ۳۲ انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عیوب تکنیکی در نمونه‌های جوش

انرژی جوشکاری به صورت نظری برابر است با $V \times I / v$ که در آن V ولتاژ الکترو، I شدت جریان جوشکاری و v سرعت جوشکاری است. شکل‌گیری جوش سالم نیازمند تامین انرژی مناسبی می‌باشد. انتخاب پارامتر حداقل و حداکثر زمان جوشکاری، با استفاده از انجام آزمایشات متعدد و بازرسی چشمی جوش نهایی انجام گردید. همان‌طور که به‌عنوان نمونه در شکل ۵ قابل مشاهده است، نمونه‌ها با دقت و کیفیت ظاهری قابل قبول جوشکاری شده‌اند. با این وجود احتمال پیش آمدن عیوبی مانند عدم ذوب کافی^۲ و عدم نفوذ کافی^۳ در نمونه‌هایی که با سرعت بالا یا با شدت جریان پایین جوشکاری شده‌اند، وجود دارد. این عیوب در بازرسی چشمی قابل تشخیص نمی‌باشند و پس از انجام تست های کششی، در مقطع جوش نمایان شدند. نمونه‌های ۲، ۵ و ۸ از جمله نمونه‌هایی هستند که دارای عیوب تکنیکی بودند. با وجود اینکه از هر جوش سه نمونه آزمون کشش تهیه شده بود، لیکن نمونه های فوق در هر سه تست کشش، استحکام بسیار پایینی را از خود نشان دادند که این استحکام با توجه به عیوب مشاهده شده در مقطع جوش قابل تفسیر می‌باشد.

۳-۲- نتایج آزمون کشش نمونه‌های جوشکاری شده

با تغییر در پارامترهای جوشکاری، تغییراتی در خواص اتصال ایجاد شده و نمونه‌ها رفتار متفاوتی از خود نشان دادند. جدول ۵ میزان استحکام نهایی، درصد ازدیاد طول و محل شکست نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج آزمون کشش نشان داد در تمام نمونه های جوشکاری شده همانند نتایج پژوهش حاجیان‌نیا و همکارانش [7] ضعیف‌ترین بخش اتصالات، ناحیه‌ی متأثر از حرارت فولاد St37 می‌باشد. نتایج آزمون کشش نمونه های ۲، ۵ و ۸ به دلیل داشتن عیوبی که در بخش قبل به آن اشاره شد قابل بررسی و استناد نبوده و از جدول نتایج حذف گردید.

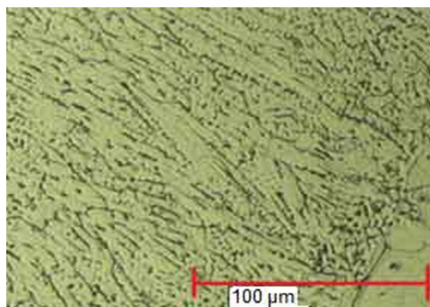
جدول ۵- نتایج آزمون کشش

شماره نمونه	نمونه	استحکام نهایی (MPa)	ازدیاد طول تا شکست (%)	محل شکست
1	A100 V135 I0	379	20.9	St37-HAZ
3	A140 V170 I0	285	25.1	St37-HAZ

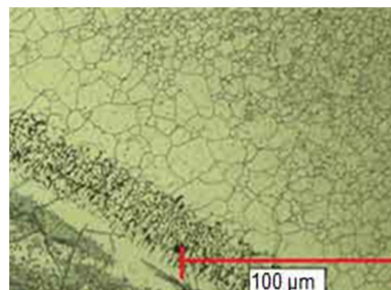
¹ Heat Affected Zone (HAZ)

² Lake of Fusion (LOF)

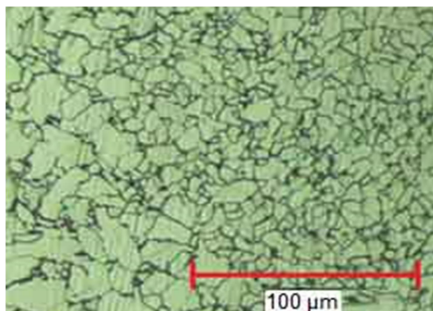
³ Lake of Penetration (LOP)



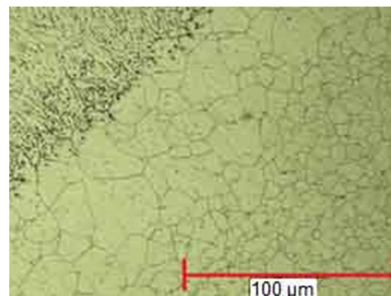
شکل ۸- فلزجوش فولاد (A140 V135 I10)



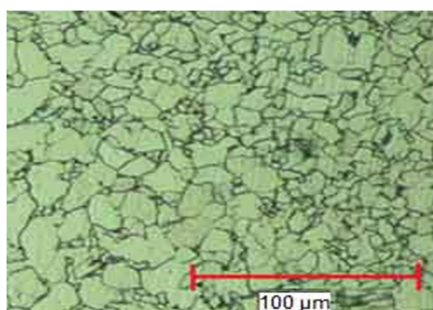
شکل ۵- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد 304 (A180 V150 I10)



شکل ۹- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد St37 (A180 V150 I10)



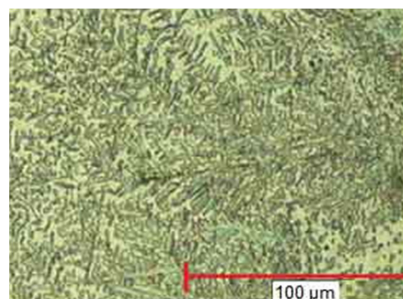
شکل ۶- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد 304 (A140 V135 I10)



شکل ۱۰- منطقه متأثر از گرما فولاد St37 (A140 V135 I10)

با مقایسه‌ی تصاویر ۵ و ۶ می‌توان تفاوت‌های محسوس را در ریزساختار منطقه متأثر از گرما فولاد زنگ‌نزن مشاهده نمود. تغییر در اندازه دانه در نزدیکی مرز بسیار محسوس می‌باشد. ناحیه‌ی درشت‌دانه‌ی نزدیک به مرز عریض‌تر و همچنین دارای دانه‌های بزرگ‌تری می‌باشد. تبلور مجدد و کاهش اندازه دانه در نمونه جوشکاری شده با شدت جریان بالاتر می‌تواند موجب افزایش سختی و استحکام گردد. جعفرزادگان و همکارانش [4] نیز در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند. شکل‌های ۷ و ۸ ریزساختار فلزجوش نمونه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

در شکل ۷ مشاهده می‌شود که ساختار فلز جوش با میزان حرارت ورودی بالاتر فریت‌ها بصورت تجمعی قرار گرفته‌اند، که باعث شده بصورت فریت پر شکل دیده شود. در حالی که در شکل 12، دانه‌های فلزجوش از سمت مرز ناحیه‌ی متأثر از گرما به سمت فلز جوش انجماد پیدا کرده و ساختاری دندریتی قابل مشاهده می‌باشد. تصاویر ۹ و ۱۰ تغییرات اندازه دانه در ناحیه متأثر از گرما فولاد St37 نمونه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

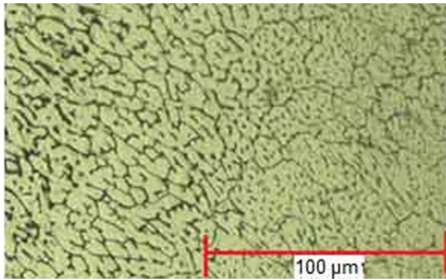


شکل ۷- فلزجوش (A180 V150 I10)

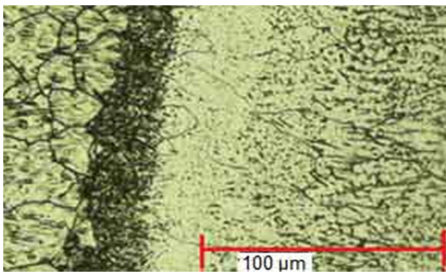
تبلور مجدد و تغییرات اندازه دانه در ناحیه متأثر از گرما فولاد کربنی با شدت کمتری نسبت به ناحیه متأثر از گرما فولاد زنگ‌نزن اتفاق افتاده است. همانند ناحیه متأثر از گرما فولاد زنگ‌نزن با افزایش شدت جریان، شرایط برای جوانه‌زنی و رشد مجدد دانه‌ها بیشتر شده و تبلور مجدد کامل‌تری رخ داده است.

با افزایش شدت جریان از 100 به 140 آمپر به درشت دانگی ناحیه‌ی متأثر از گرما افزوده شده و از چقرمگی فلز پایه و ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد کربنی St37 کاسته می‌شود که موجب کاهش استحکام نهایی می‌گردد. به طور متوسط جوشکاری با شدت جریان 100 آمپر تا 96.25% از استحکام کششی فلز پایه‌ی کربنی را تامین می‌نماید. با افزایش شدت جریان از 140 آمپر، دما برای رشد مجدد دانه‌ها و پدیده‌ی تبلور مجدد فراهم شده و در نزدیکی مرز فلزجوش که در اثر افزایش دما دچار درشت‌دانگی شدید شده بود، ساختاری با دانه‌های بسیار ریز به وجود می‌آید.

با افزایش شدت جریان از 140 به 180 آمپر عرض ناحیه متأثر از گرما که دچار تغییرات ساختاری شده با 41 درصد افزایش از 1100 μm

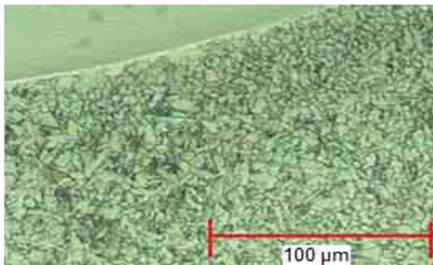


شکل ۱۳- فلزجوش (A180 V240 II0)

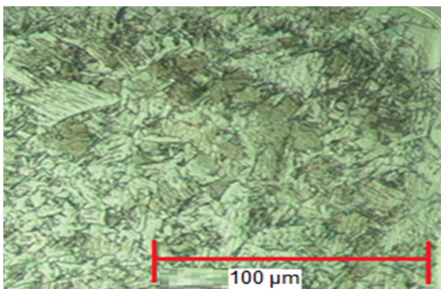


شکل ۱۴- فلزجوش (A180 V150 II0)

شکل‌های ۱۵ و ۱۶ تصاویر ناحیه متأثر از گرما فولاد کربنی را در نمونه‌ی جوشکاری شده با شدت جریان ۱۸۰ آمپر و سرعت پیشروی ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه با زمان بین‌پاسی ۱۰ دقیقه در مرکز و نزدیکی سطح نمونه نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- ناحیه متأثر از گرما St37 در مرکز نمونه (A180 V150 II0)



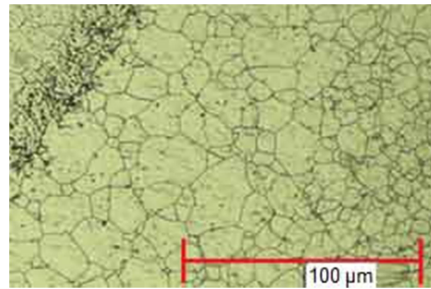
شکل ۱۶- ناحیه‌ی متأثر از گرما St37 نزدیکی سطح نمونه (A180 V150 II0)

تصویر شماره ۱۷ ناحیه متأثر از گرما فولاد کربنی را در عمق نمونه‌ی جوشکاری شده با شدت جریان ۱۸۰ آمپر، سرعت ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه با زمان بین‌پاسی ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد.

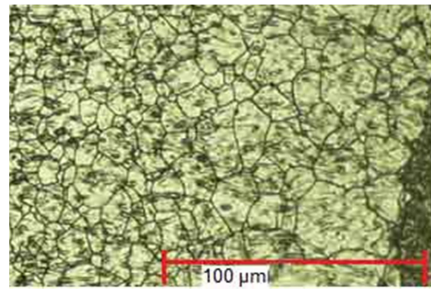
به میزان ۱۵۶۰ μm رسیده است. همچنین با مقایسه‌ی نمونه‌هایی که به واسطه‌ی شدت جریان بالاتر حرارت ورودی قوس آنها بالاتر بوده، مشخص می‌شود که با بالا رفتن حرارت ورودی، میزان اختلاط فلز پایه و طولانی‌شدن زمان انجماد و افزایش قله دمایی در ناحیه‌ی مذاب، درصد بیشتری از فریت فولاد St37 به آستنیت تبدیل شده [16] و موجب کاهش میزان فریت می‌شود.

۴-۳- اثر تغییر سرعت جوشکاری بر خواص جوش

تصاویر ۱۱ و ۱۲ مناطق متأثر از گرما فولاد زنگ‌نزن نمونه‌ای می‌باشد که با شدت جریان ۱۸۰ آمپر و با سرعت‌های به ترتیب ۱۵۰ و ۲۴۰ میلی‌متر بر دقیقه جوشکاری شده است.



شکل ۱۱- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد 304 (A180 V150 II0)



شکل ۱۲- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد 304 (A180 V240 II0)

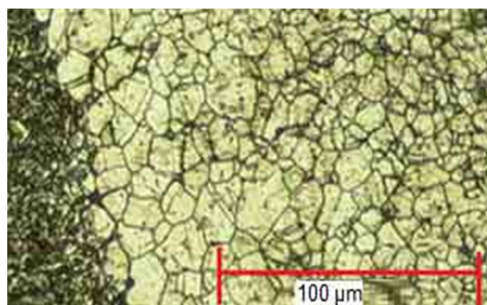
با مقایسه‌ی شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشخص می‌شود که شدت و میزان عرض محدوده‌ی درشت‌دانگی با کاهش سرعت پیشروی رابطه مستقیم دارد و با کاهش سرعت پیشروی به عرض محدوده‌ی درشت دانگی افزوده می‌شود. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ اثر تغییرات سرعت پیشروی بر فلزجوش در شدت جریان ثابت ۱۸۰ آمپر را نشان می‌دهد. همان‌طور مشاهده می‌شود، تغییرات سرعت پیشروی بر روی تبدیل فریت فولاد کم‌کربن و چگونگی توزیع فریت باقی‌مانده در ساختار فلزجوش اثر می‌گذارد. مشاهده می‌شود که در ساختار فلز جوش با سرعت جوشکاری کمتر و در نتیجه میزان حرارت ورودی بالاتر، فریت‌ها بصورت تجمعی قرار گرفته‌اند که معمولاً استحکام بالاتری را به همراه دارند. این در حالی است که در شکل ۱۳، توزیع یکنواخت تر دانه های فریت با استحکام مکانیکی کمتر برای نمونه با سرعت جوشکاری بالاتر قابل مشاهده می‌باشد.

نمونه‌های شماره ۲ و ۱۲ به ترتیب با سرعت‌های ۱۳۵ و ۱۵۰ میلیمتر بر دقیقه جوشکاری شده است. در منطقه متأثر از حرارت نمونه‌های مذکور، ساختار متفاوتی به وجود آمده و پدیده‌ی تبلور مجدد در آنها رخ داده است. این امر باعث کاهش چشمگیر اندازه دانه و رشد دانه‌های جدید در ناحیه‌ی منطقه متأثر از گرما شده و در نتیجه استحکام نهایی در این نمونه‌ها به ترتیب به میزان ۵.۳ و ۴ درصد از استحکام نهایی فولاد St37 فراتر رفته است. همچنین در ضعیف‌ترین اتصال نمونه توانست تا ۷۹ درصد از استحکام نهایی فولاد St37 را تحمل نماید.

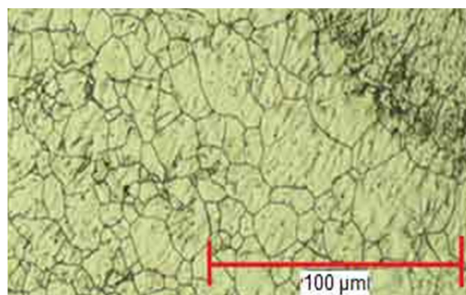
در حالت بهینه استحکام نهایی ۶.۷۶٪ نسبت به نتایج پژوهش جعفرزادگان و همکارانش [۴] که با روش اصطکاکی اغتشاشی اتصال فولاد St37 به فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ را بررسی کرده بودند رشد داشته است. با بررسی نمونه‌ای که در آن سرعت جوشکاری از ۱۵۰ به ۲۴۰ میلیمتر بر دقیقه افزایش یافته است، مشاهده شد که عرض ناحیه متأثر از حرارت با ۳۰ درصد کاهش از ۱۵۵۰ μm به ۱۲۰۰ μm رسیده است. با افزایش سرعت جوشکاری از ۱۳۵ به ۱۷۰ میلیمتر بر دقیقه در نمونه‌های ۴ و ۱۰ و یا افزایش سرعت جوشکاری در نمونه‌های ۶ و ۱۲ از ۱۵۰ به ۲۴۰ میلیمتر بر دقیقه، به دلیل تعدد پاس‌های جوشکاری و سیکل‌های دمایی متعدد، تغییرات محسوسی در میزان ازدیاد طول مشاهده نشد.

۵-۳- اثر دمای بین‌پاسی بر خواص جوش

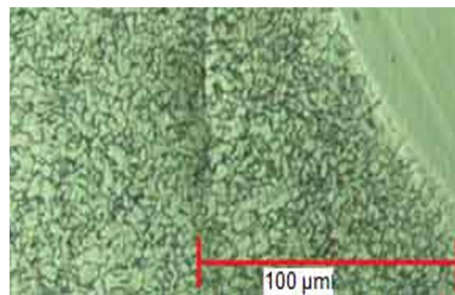
شکل‌های ۱۹ و ۲۰ مربوط به مناطق متأثر از گرما نمونه‌ی جوشکاری شده با شدت جریان ۱۰۰ آمپر و سرعت ثابت ۱۳۵ میلیمتر بر دقیقه و در زمان بین‌پاسی صفر و ۱۰ دقیقه می‌باشد.



شکل ۱۹- ناحیه متأثر از گرما فولاد 304 (A100 V135 I10)

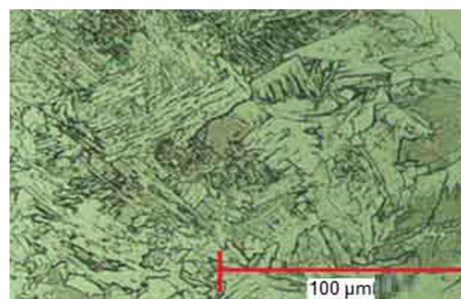


شکل ۲۰- ناحیه متأثر از گرما فولاد 304 (A100 V135 I0)



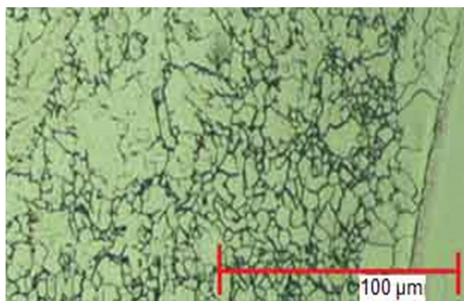
شکل ۱۷- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد St37 در عمق نمونه (A180 V150 I10)

تصویر شماره ۱۸ ناحیه متأثر از گرما فولاد کربنی را در نمونه‌ی جوشکاری شده با شدت جریان ۱۸۰ آمپر، سرعت ۲۴۰ میلیمتر بر دقیقه و زمان بین‌پاسی ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد.

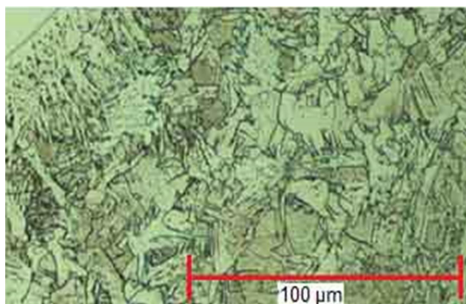


شکل ۱۸- ناحیه‌ی متأثر از گرما فولاد St37 (A180 V240 I10)

در نمونه‌ای که با شدت جریان ۱۸۰ آمپر و سرعت پیشروی ۱۵۰ میلیمتر بر دقیقه جوشکاری شده، میزان دما و سیکل زمانی به‌گونه‌ای بوده که پدیده‌ی تبلور مجدد در عمق جوش اتفاق افتاده است. نقاطی از فلز جوش که نزدیک به سطح هستند و در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ مشاهده می‌شوند، به دلیل بالا بودن نرخ کاهش دما، سیکل زمانی لازم برای تبلور مجدد را نداشته و با پیشروی به سمت عمق جوش و کاهش نرخ سرد شدن، تبلور مجدد به صورت کامل‌تری رخ داده است. این ناحیه در شکل ۱۷ به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. در نمونه‌هایی که سرعت جوشکاری ماکزیمم بوده حرارت ورودی بر واحد طول کاهش یافته و موجب افزایش نسبی اندازه دانه فریت شده است. می‌توان گفت که با افزایش سرعت سرد شدن استحالته حالت جامد فریت به آستنیت کامل انجام نمی‌شود که این باعث افزایش میزان فریت می‌شود [۱۷]. این نتایج با یافته‌های رمضان ایلماز و همکارانش مطابقت دارد [۹]. نکته‌ی قابل توجه دیگر افزایش نسبی میزان فریت در ریشه‌ی فلز جوش است که عموماً به دلیل اختلاط و رقت بیشتر با فلز پایه که یکی از آنها فولاد فریتی است، در پاس اول نسبت به پاس‌های بعدی می‌باشد. فولس و بلیک [۸] نیز در پژوهش‌های خود به چنین نتایجی دست یافتند. به طور کلی مشاهده شد که کاهش سرعت پیشروی و افزایش نرخ انجامد به زمان تبدیل فریت به آستنیت اضافه و به طور میانگین بر استحکام کششی افزوده می‌شود. به دلیل تعدد پاس‌های جوشکاری و توزیع دمایی تکراری اثر سرعت جوشکاری بر استحکام نهایی اندک بوده و در این پژوهش تاثیر اندکی مشاهده می‌شود.



شکل ۲۳- ناحیه متأثر از گرما فولاد St37
(A100 V135 I10)



شکل ۲۴- ناحیه متأثر از گرما فولاد St37
(A100 V135 I10)

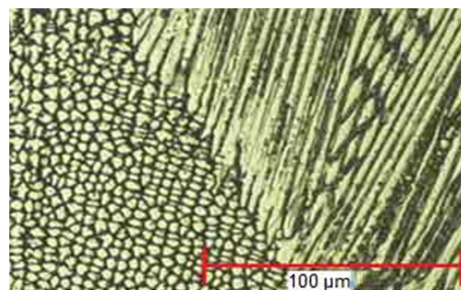
نتایج آزمون کشش نمونه‌ها نشان می‌دهد، افزایش زمان بین‌پاسی در مجموع منجر به افزایش استحکام اتصال شده است. با تغییر زمان بین‌پاسی از صفر به 10 دقیقه استحکام کششی به‌طور متوسط حدوداً 10 درصد افزایش یافته است. در نمونه‌هایی که زمان بین‌پاسی صفر می‌باشد، پاس اول به‌عنوان پیش‌گرم ظاهر شده و نرخ انجماد را کاهش داده، که منجر به افزایش اندازه دانه و در نتیجه کاهش استحکام شده است. نمونه‌ی شماره 3 مصداق این رخداد است که در آن استحکام کششی به میزان 5 درصد استحکام فلز پایه نسبت به حالتی که با زمان بین‌پاسی 10 دقیقه جوشکاری شده بود کاهش داشته است. با کاهش زمان بین‌پاسی از 10 دقیقه به صفر نرخ انجماد کاهش یافته و نمونه زمان بیشتری را در دمای بالا قرار می‌گیرد و عرض ناحیه‌ی مذکور 47 درصد بیشتر شده و از $780 \mu\text{m}$ به $1150 \mu\text{m}$ افزایش می‌یابد. با بررسی تمامی نمونه‌ها مشخص شد، اثر سرعت پیشروی و زمان بین‌پاسی در جوشکاری با شدت جریان بالا به مراتب کمتر از اثر این دو پارامتر در شدت جریان پایین است.

جوشکاری با زمان بین‌پاسی صفر دقیقه موجب تجمع فریت در مرز ناحیه متأثر از گرما و فلز جوش شده است درحالی که با افزایش زمان بین‌پاسی توزیع فریت مناسب‌تر بوده و از تجمع آن در مرز فلز جوش منطقه متأثر از گرما کاسته شده و در نهایت استحکام نهایی در این نمونه‌ها افزایش یافته است. با توجه به تعدد پاس‌های جوشکاری و ایجاد ساختارهای متفاوت به دلیل سیکل‌های متنوع دمایی در نقاط مختلف فلزات پایه و فلز جوش، اثر زمان بین‌پاسی به تنهایی بر میزان ازدیاد طول در لحظه شکست نمونه‌ها قابل تفسیر نیست.

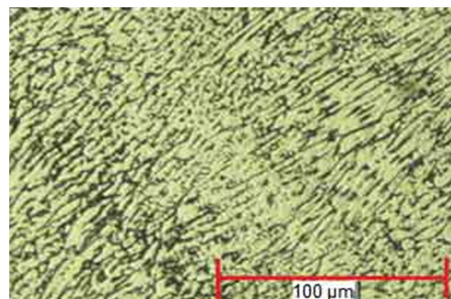
۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر پارامترهای جوشکاری GTAW بر

جوشکاری پاس اول با زمان بین‌پاسی صفر به عنوان دمای پیش‌گرم برای پاس دوم عمل نموده و موجب افزایش اندازه‌ی دانه در مرز ناحیه متأثر از گرما و فلز جوش گشته است. در صورتی که زمان بین‌پاسی 10 دقیقه موجب افزایش نرخ انجماد شده و با کاهش اندازه‌ی دانه موجب ریزتر شدن ساختار و افزایش استحکام گردیده است. شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نواحی فلز جوش نمونه‌های جوشکاری شده با زمان‌های بین‌پاسی 10 دقیقه و صفر را نشان می‌دهند.



شکل ۲۱- فلز جوش (A100 V135 I10)



شکل ۲۲- فلز جوش (A100 V135 I0)

شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نشان می‌دهند که تفاوت دمای بین‌پاسی باعث رشد متفاوت دندربیتی و صفحه‌ای شده است. با افزایش دمای بین‌پاسی به 10 دقیقه، نرخ انجماد افزایش یافته و در نتیجه فرصت برای رشد دندربیت‌ها و دانه‌ها بیشتر شده است. شکل‌های ۲۳ و ۲۴ که در ذیل آمده مربوط به مناطق متأثر از حرارت فولاد St37 نمونه‌ی جوشکاری شده با شدت جریان 100 آمپر و سرعت ثابت 135 میلیمتر بر دقیقه در زمان بین‌پاسی 10 دقیقه و صفر است.

همچنین در منطقه متأثر از گرما فولاد کربنی که با زمان بین‌پاسی 10 دقیقه جوشکاری شده، آثاری از شروع پدیده‌ی تبلور مجدد و رشد مجدد دانه‌ها مشاهده می‌شود. با مقایسه تصاویر بالا مشخص می‌شود که اگر پاس‌های جوشکاری بدون وقفه انجام شود نرخ انجماد کاهش یافته، فرصت برای تبدیل فریت به آستنیت در فلز جوش فراهم می‌شود ولی در نواحی متأثر از گرما اندازه دانه‌ها بزرگتر می‌شود. این نتایج با یافته‌های پژوهش کریمی‌منش و همکارانش مطابقت دارد [3].

- [7] Hajiannia I., Shamanian M., kasiri M., Microstructure and mechanical properties of AISI 347 stainless steel/A335 low alloy steel dissimilar joint produced by gas tungsten arc welding, *Materials and Design*, Vol. 50, pp.566-573, 2013.
- [8] Fowls R. J., Blake S. E., Influence of heat input on austenitic stainless Steel weld metal properties, Vol. 1, No. 2, pp. 17-24, 2008.
- [9] Yilmaz R., Usun H., Mechanical properties of Austenitic stainless steels Welded by GMAW and GTAW, *Journal of Marmara of Pure and Applied, Sciencesa*, Vol. 18, No. 3, pp. 97-113, 2002.
- [10] ASME Boiler and pressure Vessel Code Sec II, SA-240, Specification for Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet and Strip for Pressure Vessels.
- [11] Schaeffler A.L., Constitution diagram for stainless steel weld metal, *Metal Progress* 56(11):680 - 680B.
- [12] Lippold J. C., Kotecki D., *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, First edition, wiley publication, 2005.
- [13] Shimada M., Kokawa H., Optimization of Grain boundary Character Distribution for Intergranular Corrosion Resistant 304 Stainless steel by twin induced grain boundary engineering, *Acta Material*, Vol. 50, pp. 2331-2341, 2002.
- [14] ASTM E8 M, Standard test methods for tension testing of metallic materials, Vol. 1, No. 1, pp. 20-23, 2003.
- [15] ASM handbook, Ninth Edition, vol. 9, Ohio: American Society for Metals, 2002.
- [16] Chadwick G.A., *Metallography of Phase Transformations*, Crane, Russak and Co, New York, 1972.
- [17] Sudhakaran R., Murugan V., Modeling and analysis of Ferrite number of Stainless steel gas tungsten arc welded plates using response surface Methodology, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 64, No. 9, pp. 1487-1504, and 2011.

خواص مکانیکی اتصالات لب به لب غیرهمجنس فولاد کربنی St37 به فولاد زنگ‌نزن 304 پرداخته شد. با تغییر در شدت جریان، سرعت و زمان بین‌پاسی، نمونه‌های متعددی به صورت تجربی ساخته و آزمون شد. پس از انجام بررسی مکانیکی و متالورژیکی، نتایج زیر به دست آمد:

- ۱- بالاترین استحکام کششی در نمونه‌ای که با کمترین شدت جریان، بیشترین زمان بین‌پاسی و در سریع‌ترین حالت جوشکاری شده بود بدست آمد. استحکام نهایی نمونه‌ی جوشکاری شده در این شرایط 5.3% نسبت به استحکام نهایی فولاد کربنی افزایش یافته است.
- ۲- جوشکاری با شدت جریان بالا و سرعت پیشروی پایین، شرایط را برای رخداد پدیده‌ی تبلور مجدد و کاهش شدید اندازه دانه و در نتیجه افزایش خواص مکانیکی فراهم می‌نماید. استحکام نهایی نمونه‌ی جوشکاری شده در این شرایط 3.9% نسبت به استحکام نهایی فولاد کربنی افزایش یافته است.
- ۳- کمترین عرض منطقه متأثر از گرما به میزان $780 \mu\text{m}$ در نمونه‌ای که با کمترین شدت جریان، بیشترین سرعت و با زمان بین-پاسی بالا جوشکاری شده بود ایجاد شد.
- ۴- ضعیف‌ترین ناحیه‌ی اتصال نمونه‌ها منطقه متأثر از گرما فولاد کربنی بود که به دلیل گرمای اعمال شده دچار درشت‌دانه‌گی شده و منجر به شکست تمامی نمونه‌ها از این منطقه شد.

۵- سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق قرارداد شماره 3877 مورخ 1395/2/20 انجام گردیده است.

۶- مراجع

- [1] Shah Hossieni H., Shamanian M., Characterization of Microstructures and Mechanical Properties of Inconel 617/310 Stainless steel Dissimilar Welds, *Materials Characterization*, Vol. 62, pp. 425-431, 2010.
- [2] Arivazhagan N., Singh S., Investigation on AISI 304 Austenitic Stainless steel to AISI 4140 low alloy steel Dissimilar Joints by Gas Tungsten Arc, Electron Beam and Friction Welding, *Materials and Design*, Vol. 32, pp. 3036-3050, 2011.
- [3] Karimi Manesh M., Sattari Far I., Omidvar H., (Translator) Effects of Arc Heat Input and Welding Speed on the Cryogenic Impact Strenght of Type 304L Austenite Stainless Steel Weld Metal, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 205-213, 2015.
- [4] Jafarzagdegan M., Feng A.H., Abdollah-zadeh A., Saeid T., Shen J., Assadi H., Microstructural Characterization in Dissimilar Friction Stir Welding between 304 Stainless Steel and St37 Steel, *Materials Characterization*, Vol. 74, pp. 28-41, 2012.
- [5] Rahmani M., Shamanian M., kasiri M., (Translator) Mechanical Properties of Dissimilar Welding of Duplex 32750 Stainless Steel to AISI304L Austenetic Stainless Steel, *Jornal of Modern Processes in Materials Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 101-110, 2014.
- [6] Shayanfar P., Shamanian M., (Translator) Dissimilar Welding of Quench-Tempered Steel A517 to AISI316L Stainless Steel, *Jornal of Modern Processes in Materials Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 75-89, 2014.