



بررسی خواص متالورژیکی و مکانیکی در قطعات جوشکاری شده به روش تیگ جهت جایگزینی مواد

محمود مرادی^۱، علی خرم^{۲*} و هادی عبداللهی^۳

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹

چکیده

در این پژوهش خواص متالورژیکی و مکانیکی قطعات جوشکاری شده به روش تیگ، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای این منظور، فرآیند جوشکاری تیگ، روی ورق‌های نورد شده از دو ماده XH50 و Hastelloy x انجام شد. برای مقایسه این دو ماده و همچنین امکان جایگزینی ماده، ابتدا آنالیز عنصری دو ماده بررسی و سپس خواصی از قبیل، ریزساختار، استحکام کششی و میکروسختی برای قطعات اولیه و همچنین برای قطعات جوشکاری شده، مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که منطقه متأثر از حرارت در ماده Hastelloy x بسیار پهن‌تر از نمونه XH50 و شامل سه ناحیه است. با وجود خواص کششی تقریباً مشابه در دو ماده، خواص ماده Hastelloy x از نظر میکروسختی ماده اولیه و همچنین از نظر استحکام کششی و میکروسختی قطعه جوشکاری شده، به طور محسوسی بهتر است. میانگین استحکام کششی جوش در نمونه‌های Hastelloy x حدود ۳۱٪ بیشتر از استحکام جوش در نمونه‌های XH50 است که این امر ناشی از تشکیل فازهای ترد بین دانه‌ای در آلیاژ نمونه XH50 است. نتایج حاکی از آن است که در قطعات جوشکاری شده به روش تیگ، استفاده از ماده Hastelloy x مطلوب‌تر است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آلیاژ XH50 باشد.

کلمات کلیدی: جوشکاری تیگ؛ جایگزینی ماده؛ خواص متالورژیکی؛ خواص مکانیکی.

Investigation of Metallurgical and Mechanical Properties of TIG Welded Parts for Material Replacement

M. Moradi¹, A. Khorram^{2,*}, H. Abdollahi³

¹ Department of Mechanical Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

² Department of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

³ Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Iran.

Abstract

In this research, metallurgical and mechanical properties of TIG welded joints were investigated. For this purpose, TIG welding process was carried out on XH50 and Hastelloy x rolled sheets. For comparison and feasibility of material replacement, initially elemental analysis of the two materials was accomplished and then the properties such as microstructure, tensile strength and micro-hardness were examined for both base and welded specimens. The results show that heat affected zone in Hastelloy x welded samples is wider than that of XH50 welded samples and heat affected zone in Hastelloy x welded joints consists of three regions. Despite the same tensile properties of the two materials, micro-hardness of the initial material, tensile strength and micro-hardness of the welded joints of Hastelloy x were significantly higher than those of XH50. The tensile strength average of Hastelloy x welded joints is approximately 31% higher than that of XH50 welded joints due to formation of brittle phases in XH50 samples. Results reveal that Hastelloy x is more desirable than XH50 for TIG welded parts and could be a appropriate replacement for XH50 alloy.

Keywords: TIG Welding; Material Replacement; Metallurgical Properties; Mechanical Properties.

۱- مقدمه

جایگزینی مواد از سال‌های گذشته مورد توجه بسیار بوده است و کاربرد ویژه‌ای در پزشکی به عنوان پروتز داشته است. در ابتدا استفاده از آلیاژهای تیتانیوم، به عنوان بایومترال به سبب مدول کمتر، سازگاری بیشتر و مقاومت خوردگی بالاتر نسبت به فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای پایه کبالت رو به افزایش بود. راک [۱] ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آلیاژهای تیتانیوم مورد استفاده در پروتزهای مصنوعی را بررسی کرد. تمرکز مطالعه آن‌ها، روی خواص خستگی و سایش این آلیاژها بود. نتایج نشان می‌دهد که آلیاژهای β ، مقاومت به سایش بهتری در مقایسه با آلیاژهای $\alpha+\beta$ دارند. پلی اتیلن یک ماده مناسب برای جایگزینی اتصال انگشت است. امکان اتصال عرضی پلی اتیلن، سبب گسترش کاربردهای صنعتی این ماده شده است. سایش پلی اتیلن روی خود که به صورت عرضی متصل شده است، توسط آنسورس بررسی شد [۲]. نتایج حاکی از آن است که نرخ سایش پلی اتیلن که به صورت عرضی متصل نشده است، نسبت به فولاد زنگ نزن ۶ برابر بیشتر است. فاگان [۳] یک مدل سه بعدی المان محدود برای تحلیل مفصل ران بدن با شرایط بارگذاری فیزیولوژیکی توسعه داد. هدف از مطالعه آن‌ها، انتخاب ماده مناسب برای مفصل ران بود. مفصل ران ساخته شده از تیتانیوم نسبت به فولاد زنگ نزن، منجر به افزایش تنش در ماده چسبنده تا حدود ۳۵ درصد می‌شود. شیخ و همکاران [۴]، تکنیک تحلیل تنش المان محدود را برای بهینه‌سازی طراحی و انتخاب ماده در قطعات تحت بارگذاری خمشی استفاده کردند. آنها یک مدل سه بعدی برای تحلیل ران استخوان جایگذاری شده در پروتز ایجاد کردند و اثر مدول یانگ پروتز و مدول یانگ ماده چسبنده را روی تنش ایجاد شده مطالعه کردند. افزایش مدول یانگ ماده چسبنده، سبب تنش بالاتر در آن می‌شود و کاهش غیرقابل توجهی در تنش‌های پروتز ایجاد می‌کند. تاک سیل [۵]، ماده مناسب برای جایگزینی دیسک‌های گردن و کمر را بررسی کردند. مواد مورد استفاده آلیاژهای کبالت-کروم، تیتانیوم، فولاد زنگ نزن، پلی اتیلن و سرامیک‌ها بودند. آن‌ها دریافتند، سطوح حمل بار در معرض سایش و شکست می‌باشند. کتی و همکاران [۶]، نانوکامپوزیت‌های پلیمری و کامپوزیت‌های مختلف را به عنوان ماده جدید برای جایگزینی استخوان مطالعه کردند و

بیان کردند، این نانوکامپوزیت‌های پلیمری، ماده مناسبی برای استفاده در بدن می‌باشند. بهرامی نسب و جهان [۷]، ماده مناسب برای قطعه زانو را با استفاده از روش ویکور^۱ انتخاب کردند. آنها نتیجه گرفتند NiTi، متخلخل بالاترین مناسب‌ترین ماده برای جایگزینی است. نتایج آن‌ها یک روش سیستماتیک برای مقایسه مواد جدید برای قطعات ران بدن را مطرح می‌کند. فلاح نژاد و همکاران [۸]، تأثیر هندسه و ماده را روی استحکام محوری و پیچشی اتصال سر به گردن بررسی کردند. برای این منظور، آن‌ها یک مدل المان محدود سه بعدی ایجاد کردند تا روش مونتاژ و دمونتاژ مخصوصاً استحکام محوری و پیچشی را روی هندسه و ترکیب ماده مطالعه کنند. نتایج نشان می‌دهد، عدم انطباق زاویه‌ای بین قطعات سر و گردن وجود دارد که نقش مهمی را در استحکام پیچشی ایفا می‌کند. عدم انطباق کوچک زاویه‌ای، منجر به استحکام پیچشی زیاد می‌شود.

جایگزینی مواد در صنایع مختلف نیز، مورد توجه است. جایگزینی ماده اینکونل X750 به سبب ترک‌های خوردگی تنش بین دانه‌ای در قطعات، توسط روبل و همکاران [۹] بررسی شد. بر پایه آزمایشات آن‌ها، آلیاژهای پایه نیکل با استحکام بالا به ترک‌های خوردگی تنش بین دانه‌ای حساس می‌باشند و ماده اینکونل X750، به فولاد زنگ نزن آستنیتی و در حالت خاص به اینکونل ۷۱۸ برای پین‌های اتصال تغییر یافت. آنوار و همکاران [۱۰]، جایگزینی سرامیک با آلومینیوم را در مبدل‌های حرارتی مطالعه کردند و ترکیب‌های متفاوت ۱۰۰٪ سرامیک، ۷۰٪ سرامیک همراه با ۳۰٪ آلومینیوم، ۵۰٪ سرامیک همراه با ۵۰٪ آلومینیوم و ۳۰٪ سرامیک همراه با ۷۰٪ آلومینیوم را بررسی کردند. آن‌ها ۷۰٪ سرامیک همراه با ۳۰٪ آلومینیوم، به عنوان ماده جایگزین مناسب برای مواد مرسوم معرفی کردند.

جوشکاری به روش تیگ، یکی از روش‌های جوشکاری قوسی است که از الکتروود تنگستنی مصرف نشدنی جهت ایجاد قوس الکتریکی همراه با یک گاز محافظ بهره می‌برد. این روش برای اتصال تقریباً تمام مواد با ضخامت‌های مختلف و همچنین مواد غیرهمجنس کاربرد دارد. این روش برای جوشکاری آلومینیوم و فولاد زنگ نزن، بیشترین کاربرد را

^۱ VIKOR

جهت عمود بر راستای نورد، به روش تیگ تهیه گردید. ماده پرکننده مورد استفاده در جوشکاری، AMS 5798 است که برای هر دو ماده XH50 و Hastelloy x یکسان در نظر گرفته شد. پس از انجام جوشکاری‌های اولیه و با تغییر پارامترهای دستگاه جوشکاری جهت دستیابی به عمق نفوذ بهتر و کیفیت ظاهری مناسب، پارامترهای ثابت فرآیند که در جدول ۲ ارائه شده‌اند، به عنوان مناسب‌ترین پارامترهای جوش انتخاب شدند. خواص مکانیکی اتصال (تست کشش و سختی) و میکروساختار جوش در نمونه‌های جوشکاری شده ارزیابی گردیدند. آزمایش جوشکاری برای هر ماده، ۳ بار تکرار شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه (برحسب % وزنی)

عنصر	Hastelloy x	XH50
کروم	۲۰/۲۴	۲۲/۵۵
آهن	۱۸/۱۱	۳۲/۶۸
سیلیسیم	۰/۱۵	۰/۵۸
مولیبدن	۸/۹۳	۰/۲۵
کیالت	۱/۴۸	۰/۲۵
مس	۰/۲۸	-
تیتانیوم	۰/۰۱	۰/۷۹
تنگستن	۰/۵۳	۴/۲۷
نیوبیوم	۰/۳۹	۰/۰۶
منگنز	۰/۴۸	۰/۱۹
آلومینیوم	۰/۱۹	۰/۳۶
کربن	۰/۰۸	۰/۱
نیکل	پایه	پایه

جدول ۲- پارامترهای ثابت جوشکاری

متغیر	مقدار
ولتاژ	۱۱/۵ ولت
آمپراژ	۳۲ آمپر
نرخ گاز محافظ آرگون	۸ لیتر بر دقیقه
سرعت جوشکاری	۱ میلیمتر بر ثانیه

۳- نتایج

۳-۱- بررسی ریزساختار ورق‌های نورد شده

شکل ۱ الف ریز ساختار ماده Hastelloy x را نشان می‌دهد. ریز ساختار این ماده، دارای دانه‌های هم محور آستنیتی است که متشکل از زمینه محلول جامد گاما است. چنانچه در شکل ۱ ب نشان داده شده است، کاربیدهای ریز $M_{23}C_6$ روی

دارد [۱۱]. خواص مکانیکی و متالورژیکی مواد مختلف جوشکاری شده به این روش در جدیدترین تحقیقات، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند [۱۲-۱۴].

در این مطالعه جایگزینی ماده روسی XH50 با ماده Hastelloy x که کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد و دسترسی بیشتری به آن در ایران هست، مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش خواص متالورژیکی و مکانیکی دو ماده جدید در حالت پایه و پس از جوشکاری به روش تیگ، مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از مطالعه خواص نظیر، ریزساختار، استحکام کششی و میکروسختی در دو حالت پایه و جوشکاری شده به روش تیگ، امکان جایگزینی دو ماده بررسی می‌شود.

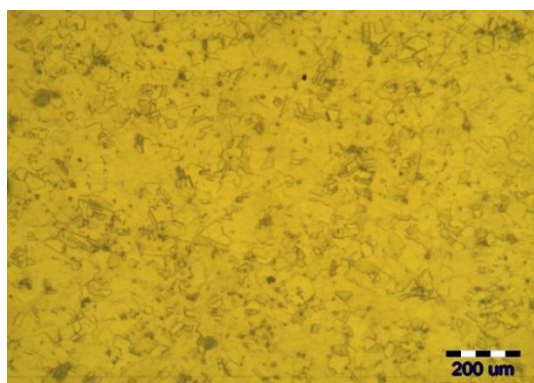
۲- روش انجام آزمون

اولین گام در شناسایی مواد، به دست آوردن آنالیز عنصری ماده است. نتایج آنالیز عنصری، توسط دستگاه کوانتومتری برای ماده Hastelloy x و ماده روسی XH50 در جدول ۱ ارائه شده است. براساس مطالعات به عمل آمده از منابع موجود، با توجه به ترکیب عناصر، ماده XH50 جزء سوپرآلیاژهای پایه آهن-نیکل-کروم است [۱۵-۱۷].

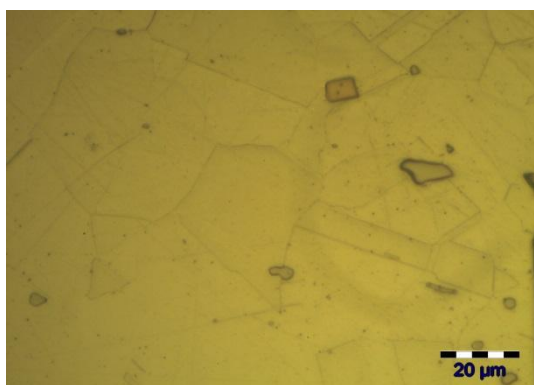
هر دو ماده به صورت نورد تولید شده‌اند. ضخامت ورق‌های مورد استفاده، ۱ میلی‌متر است. جهت انجام متالوگرافی، نمونه‌های کوچکی توسط برش سیمی تخلیه الکتریکی از نمونه‌های اولیه تهیه گردید. با عملیات قالبگیری، سنباده زنی، پرداخت در محلول آبی پودر آلومینا (Al_2O_3) و حکاکی شیمیایی در محلول ماربل برای ماده XH50 و محلول کارلینگ برای Hastelloy x، نمونه‌های متالوگرافی طبق استاندارد ASTM E3، آماده‌سازی شدند. با استفاده از میکروسکوپ نوری، تصاویر متالوگرافی از نمونه‌ها تهیه شد. به منظور بررسی خواص استحکامی ماده، نمونه تست‌های کشش در دو جهت نورد (طولی) و جهت عمود بر نورد (عرضی)، مطابق با استاندارد ASTM E8 آماده‌سازی شدند. میکروسختی نمونه‌های مانده شده، توسط دستگاه میکروسختی سنجی در مقیاس ویکرز با نیروی ۵۰۰ گرم اندازه‌گیری شد.

راستای جوشکاری در قطعه عمود بر راستای نورد ورق است. نمونه‌های تست جوشکاری از ورق‌های نورد شده در

کاربید MC، معمولاً یک ساختار درشت گرد یا بلوکی دارد. کاربید $M_{23}C_6$ در مرز دانه‌ها به صورت ذرات بی‌قاعده ناپیوسته گرد یا بلوکی هستند؛ گرچه انواع ورقه‌ای و با قاعده آن نیز دیده شده است [۱۷-۱۹]. کاربید M_7C_3 در بالای دمای $1000^\circ C$ در مرز دانه‌ها تشکیل می‌شود. کاربید M_6C ، در طی سرد شدن به صورت ناهمگن داخل و خارج دانه‌ها و اغلب در میان ستون‌ها توزیع می‌شود و پایداری‌اش از $M_{23}C_6$ در دمای بالا بیشتر است و به عنوان یک رسوب مرز دانه‌ای و کنترل کننده اندازه دانه در طی فرایند، اهمیت بیشتری دارد [۲۰ و ۲۱].



(الف)

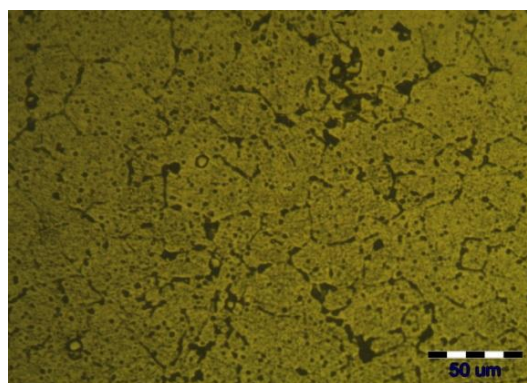


(ب)

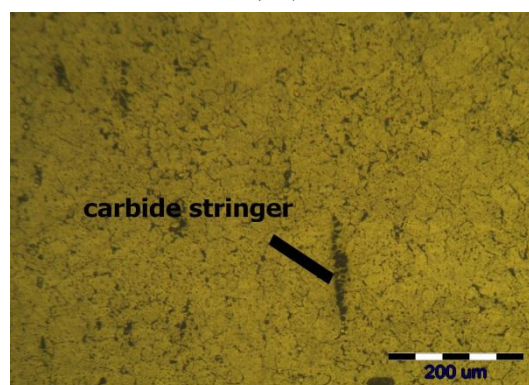
شکل ۲- ریزساختار ماده XH50، الف) چگونگی پراکندگی فازها در زمینه و ب) توزیع کاربید در ریزساختار

با توجه به توضیحات ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که مقدار اندکی رسوبات در زمینه دیده می‌شود که چنانچه در شکل ۲ب نشان داده شده است، احتمالاً از نوع MC می‌باشند؛ همچنین کاربیدهایی که روی مرزدانه‌ها رسوب نموده-

مرز دانه‌ها توزیع شده است. مقداری کاربیدهایی درشت M_6C و $M_{23}C_6$ نیز، درون دانه‌ها یافت می‌شود. این ریزساختار شبیه ریزساختار قطعات کارسرد شده است که خوشه‌های کاربید درون ریزساختار مشاهده می‌شود.



(الف)



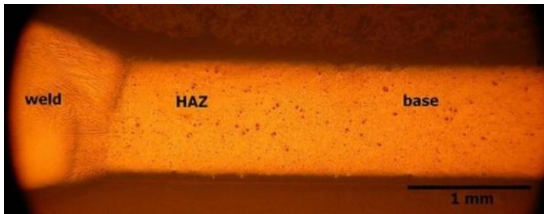
(ب)

شکل ۱- ریزساختار ماده Hastelloy x، الف) چگونگی پراکندگی فازها در زمینه و ب) ساختار خوشه کاربیدی در ریزساختار

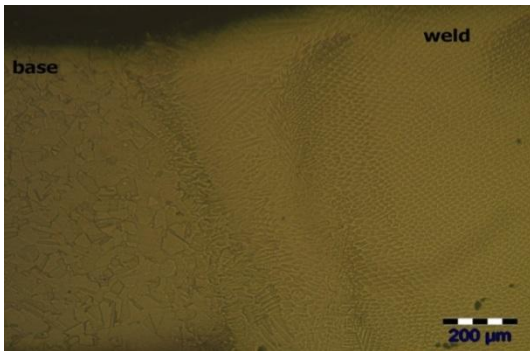
شکل ۲ الف ریزساختار ماده XH50 را نشان می‌دهد. ریزساختار این ماده، دانه‌های تبلور مجدد یافته حاصل از نورد گرم یا آنیل را نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، ریزساختار فلز پایه ماده XH50 شامل، زمینه محلول جامد گاما است که به علت رسوب کاربیدها روی مرزدانه‌ها و دوقلویی‌ها، به خوبی دانه‌ها از هم متمایز می‌شوند.

شکل ۲ ب توزیع کاربید در ریزساختار ماده XH50 را نشان می‌دهد. کاربیدهایی موجود از نوع MC، $M_{23}C_6$ ، M_6C ، M_7C_3 می‌باشند که ساختار آن‌ها FCC است.

۳-۳- بررسی ریزساختار قطعات جوشکاری شده
 شکل ۳ مناطق مختلف در نمونه جوشکاری شده XH50 را نشان می‌دهد. در این نمونه تغییرات محسوسی بین ریزساختار مناطق مجاور جوش با مناطق دیگر فلز پایه مشاهده نشد. شکل ۴ ریزساختار جوش در مجاور فلز پایه را نشان می‌دهد که بیانگر رشد دندریتی به سمت مرکز جوش است؛ همچنین شکل ۵، مرکز جوش را نشان می‌دهد که در آن در منطقه بزرگی مجدداً دانه‌ها به صورت هم محور می‌باشند؛ همچنین در ریزساختار ناحیه جوش، جدایش کاربیدها به صورت مرزدانه‌ای قابل رؤیت است.



شکل ۳- مناطق مختلف در نمونه جوش داده شده XH50



شکل ۴- ریزساختار جوش در مجاور فلز پایه در نمونه جوش داده شده XH50



شکل ۵- ریزساختار وسط ناحیه جوش نمونه XH50

اند، احتمالاً از نوع $M_{23}C_6$ می‌باشند. درون دانه‌ها نیز، کاربیدهای M_6C و M_7C_3 دیده می‌شود و مقادیری از این کاربیدها روی مرز دانه‌ها وجود دارد.

۳-۲- خواص مکانیکی ورق‌های نورد شده

جدول ۳ نتایج تست کشش را در هر دو راستای طولی و عرضی برای دو ماده نشان می‌دهد. شایان ذکر است که از هر مورد ۳ نمونه تست، آماده‌سازی شده و میانگین نتایج ۳ نمونه ارائه شده است.

چنانچه انتظار می‌رفت، استحکام در راستای طولی بیشتر از استحکام عرضی ماده است. آزمایشات نشان می‌دهند که استحکام طولی، تقریباً ۳۵٪ بیشتر از استحکام عرضی است. در مقایسه دو ماده دیده می‌شود که استحکام تسلیم ماده Hastelloy x نسبت به ماده XH50 در راستای طولی و عرضی به ترتیب، ۲/۶۵٪ و ۶/۵۷٪ بیشتر است که اختلاف محسوسی نمی‌باشد.

جدول ۴ میکروسختی را بر اساس استاندارد ASTM E8 در مقیاس ویکرز با نیروی ۵۰۰ گرم برای هر دو ماده نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، میانگین میکروسختی در مقیاس ویکرز برای ماده Hastelloy x، حدوداً ۳۰٪ بیشتر از معادل آن در ماده XH50 است. لذا تست سختی سنجی که یکی از معیارهای بنیادی مقایسه خواص مکانیکی است، چنین نتیجه قابل توجهی را در بر داشت که گویای اختلاف در خواص دو ماده است.

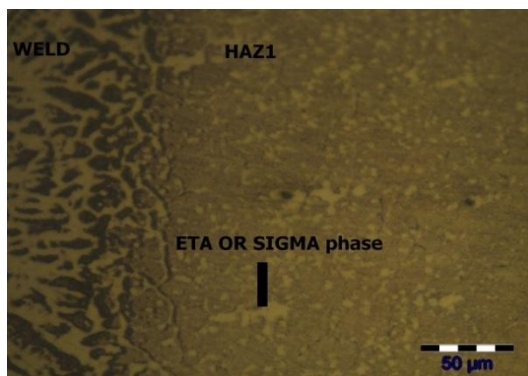
جدول ۳- نتایج تست کشش طولی و عرضی برای دو ماده

Hastelloy x		XH50		
راستای طولی	راستای عرضی	راستای طولی	راستای عرضی	
۴۸۰/۴	۳۵۶/۵	۴۶۸	۳۳۴/۵	استحکام تسلیم (MPa)
۸۴۱/۶	۶۸۸/۹	۸۴۹/۲	۶۸۷/۴	استحکام نهایی (MPa)
۳۹/۸	۴۰/۸	۴۴/۳	۴۱/۸	درصد ازدیاد طول

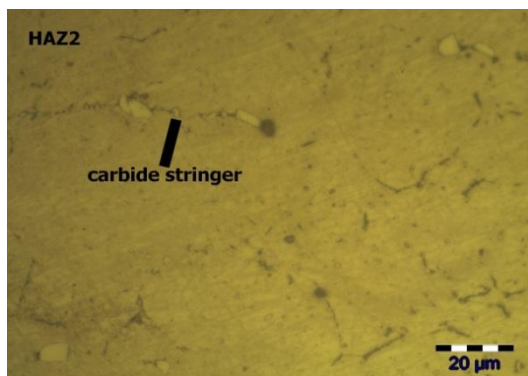
جدول ۴- نتایج میکروسختی

XH50		Hastelloy x		محل اندازه‌گیری	
نقطه ۳	نقطه ۲	نقطه ۱	نقطه ۳	نقطه ۲	نقطه ۱
۱۶۳	۱۵۷	۱۶۱	۲۰۹	۲۱۲	۲۰۶
میکروسختی (ویکرز)					

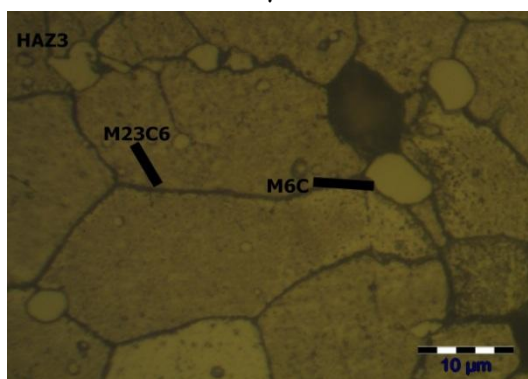
درون دانه‌ها به چشم می‌خورد. جزیره‌های تیره رنگی در زمینه ریزساختار متالوگرافی مشاهده می‌شود که با توجه به ساختار دانه‌ای مستقل خود می‌تواند بیانگر تشکیل فازهای بین فلزی باشد که مسلماً به منظور تحلیل دقیق تر نیازمند آنالیز فازی است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۸- تصویر منطقه متأثر از حرارت در نمونه جوش داده شده Hastelloy x (الف ناحیه اول ب) ناحیه دوم ج) ناحیه سوم و توزیع کاربیدها.

شکل ۶ مناطق مختلف در نمونه جوشکاری شده Hastelloy x را نشان می‌دهد؛ چنانچه دیده می‌شود، منطقه متأثر از حرارت بسیار پهن تر از نمونه XH50 است. منطقه متأثر از حرارت شامل، سه ناحیه است که به خوبی از هم متمایز می‌شوند. (شکل ۷)

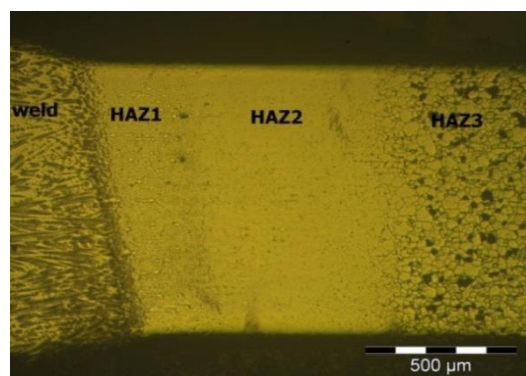
شکل ۸ الف تصویر ناحیه اول منطقه متأثر از حرارت را نشان می‌دهد. در ناحیه اول که مجاور خط جوش است ریزساختار شامل، دو فاز گاما و یک فاز روشن دیگر است که احتمالاً آتا یا سیگما است. در این ناحیه تمامی کاربیدها تقریباً حل شده‌اند.

شکل ۸ ب تصویر ناحیه دوم منطقه متأثر از حرارت نمونه ماده Hastelloy x را نشان می‌دهد. در ناحیه دوم، زمینه محلول جامد گاما بوده که خوشه‌های کاربید M_6C نیز، در آن به چشم می‌خورد.

شکل ۸ ج تصویر ناحیه سوم منطقه متأثر از حرارت نمونه ماده Hastelloy x را نشان می‌دهد. ریزساختار این ناحیه شامل، دانه‌های گاما است که روی مرز دانه‌ها کاربیدهای $M_{23}C_6$ به شدت تجمع یافته‌اند و البته این نوع کاربیدها درون دانه‌ها نیز رسوب نموده‌اند. کاربیدهای M_6C .



شکل ۶ - مناطق مختلف در نمونه جوش داده شده Hastelloy x



شکل ۷- سه ناحیه متمایز متأثر از حرارت در نمونه جوش داده شده Hastelloy x

همچنین با مقایسه جداول ۳ و ۵ دیده می‌شود که استحکام کششی جوش در ماده XH50، حدوداً ۲۵٪ کمتر از استحکام فلز پایه است. شکل ۱۰ محل شکست را در نمونه ماده XH50 نشان می‌دهد. سطح شکست مشابه نمونه‌های اصلی عمود بر محور کشش است و نوع شکست نیز، شکست نرم است که در نواحی نزدیک به منطقه جوش اتفاق افتاده است؛ زیرا در حین سرد شدن، عناصر استحکام بخش (دیرگداز) به علت دیر شدن داخل حوضچه مذاب باقی می‌مانند و عناصر با نقطه ذوب پایین در نواحی نزدیک منطقه جوش تجمع می‌کنند؛ بنابراین استحکام کاهش یافته و چنین نتیجه‌ای در بر خواهد داشت.

اندازه‌گیری میکروسختی نمونه‌های جوش داده شده در سه منطقه فلز پایه، منطقه متأثر از حرارت و منطقه جوش صورت پذیرفت. نتایج میکروسختی سنجی در مقیاس ویکرز (HV)، در جدول ۶ ارائه شده است. سختی منطقه جوش، بیشتر از منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه است. افزایش سختی منطقه جوش در مقایسه با سایر مناطق به سبب تغییر میکروساختار این منطقه است که به سبب سرد شدن سریع ایجاد می‌شود. این افزایش سختی می‌تواند به فازهای استحکام بخش مانند، M_23C_6 و M_6C نسبت داده شود. همانطور که مشاهده می‌شود، سختی در منطقه جوش و متأثر از حرارت ماده Hastelloy x، بیشتر از ماده XH50 است. این مطلب را می‌توان در ارتباط با بالابودن استحکام جوش نیز استدلال کرد.

جدول ۶- نتایج تست میکروسختی نمونه‌های جوش شده

نمونه	منطقه جوش	منطقه متأثر از حرارت	فلز پایه
نمونه ۱ (Hastelloy x)	۳۴۵	۲۲۶	۲۴۳
نمونه ۲ (Hastelloy x)	۳۴۶	۲۲۲	۲۱۹
نمونه ۳ (Hastelloy x)	۳۴۲	۲۵۲	۲۴۸
نمونه ۱ (XH50)	۲۵۱	۲۰۵	۱۹۱
نمونه ۲ (XH50)	۲۶۳	۱۷۳	۱۷۹
نمونه ۳ (XH50)	۲۵۳	۱۷۱	۱۸۰

مطابق دیاگرام‌های فازی سه تایی C-Cr-Fe و C-Fe-Ni، کاربیدهای M_6C و $M_{23}C_6$ هنگام سرد شدن تشکیل می‌شوند [۲۲]. سایر محققان نیز تشکیل این کاربیدها را گزارش کرده‌اند [۲۳].

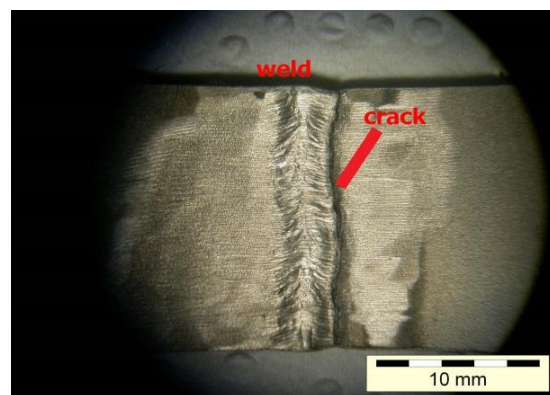
۳-۴- خواص مکانیکی قطعات جوشکاری شده

سه عدد نمونه تست کشش از هر کدام از دو نوع ماده جوشکاری شده، توسط برش سیمی آماده‌سازی شد. تست کشش توسط دستگاه اونیورسال صورت پذیرفت. جدول ۵ نتایج تست کشش جوش را نشان می‌دهد که حاصل میانگین سه مورد است.

چنانچه دیده می‌شود، استحکام نمونه جوش داده شده Hastelloy x، تقریباً ۳۱٪ بیشتر از استحکام نمونه جوش داده شده XH50 است؛ زیرا منطقه متأثر از حرارت افزایش یافته و عدم پیوستگی کمتر می‌شود. با مقایسه نتایج جداول ۳ و ۵ دیده می‌شود که در ماده Hastelloy x، استحکام کششی جوش تقریباً با فلز پایه مشابه است. شکل ۹ محل شکست را در نمونه Hastelloy x نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که محل شکست در نمونه‌های اصلیف از مجاور جوش بوده، سطح شکست عمود بر محور کشش است؛ زیرا مقادیر استحکام کششی و سختی به هم مرتبط می‌باشند.

جدول ۵- نتایج تست کشش نمونه‌های جوشکاری شده

Hastelloy x	XH50	خواص مکانیکی
۴۹۲/۴	۳۷۵	استحکام تسلیم (MPa)
۸۲۵/۴	۷۱۹/۱	استحکام نهایی (MPa)
۲۴/۵	۲۷/۷	درصد ازدیاد طول

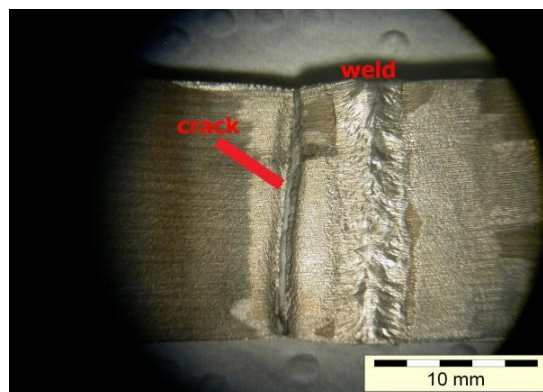


شکل ۹- محل شکست در نمونه Hastelloy x

نیز رسوب کرده‌اند. کاربیدهای M_6C ، درون دانه‌ها به چشم می‌خورد.

(۴) میانگین میکروسختی در مقیاس ویکرز برای Hastelloy x، در هر دو حالت پایه و جوشکاری شده، حدوداً ۳۰٪ بیشتر از معادل آن در XH50 است.

(۵) استحکام کششی جوش در XH50، حدود ۲۵٪ کمتر از استحکام فلز پایه آن و در Hastelloy x این مقدار برای جوش بیشتر از فلز پایه است؛ همچنین استحکام جوش Hastelloy x، حدود ۳۱٪ بیشتر از استحکام جوش XH50 است که این امر ناشی از تشکیل فازهای ترد بین دانه‌های در آلیاژ نمونه XH50 است.



شکل ۱۰- محل شکست در نمونه XH50

۴- نتیجه گیری

پس از بررسی خواص متالورژیکی و مکانیکی به منظور شناسایی خواص دو ماده در دو حالت پایه و جوشکاری شده با روش تیگ، با توجه به نتایج و دلایل زیر، ماده Hastelloy x می‌تواند جایگزینی مناسب برای ماده XH50 باشد:

(۱) استحکام کششی دو ماده Hastelloy x و XH50 در راستای طولی و عرضی نورد نسبت به همدیگر اختلاف محسوسی ندارند و استحکام کششی در راستای طولی نورد نسبت به راستای عمود بر جهت نورد، در هر دو نمونه حدود ۳۵٪ بیشتر است.

(۲) در نمونه جوشکاری شده XH50، تغییرات محسوسی بین ریزساختار مناطق مجاور جوش با مناطق دیگر فلز پایه مشاهده نشد. در مرکز جوش در منطقه بزرگی دانه‌ها به صورت هم محور می‌باشند؛ همچنین در ریزساختار ناحیه جوش، جدایش کاربیدها به صورت مرزدانه‌ای قابل مشاهده است.

(۳) منطقه متأثر از حرارت در ماده Hastelloy x، بسیار پهن‌تر از نمونه XH50 است. منطقه متأثر از حرارت شامل، سه ناحیه است. در ناحیه اول که مجاور خط جوش است ریزساختار شامل، دو فاز گاما و یک فاز روشن دیگر است که احتمالاً آتا یا سیگما است. در این ناحیه تمامی کاربیدها تقریباً حل شده‌اند. در ناحیه دوم، زمینه محلول جامد گاما بوده که خوشه‌های کاربید M_6C نیز، در آن به چشم می‌خورد. ریزساختار ناحیه سوم منطقه متأثر از حرارت شامل، دانه‌های گاما است که روی مرز دانه‌ها کاربیدهای $M_{23}C_6$ به شدت تجمع یافته‌اند و البته این نوع کاربیدها درون دانه‌ها

۵- مراجع

- [1] Rack ML (1998) Titanium alloys in total joint replacement—a materials science perspective. *Biomaterials* 19(18):1621-1639.
- [2] Sibly TF, Unsworth A (1991) Wear of cross-linked polyethylene against itself: a material suitable for surface replacement of the finger joint. *J Biomed Eng* 13(3): 217-220.
- [3] Fagan MJ (1986) Material selection in the design of the femoral component of cemented total hip replacements. *Clin Mater* 1(3): 151-167.
- [4] El-Sheikh HF, Mac Donald BJ, Hashmi MSJ (2002) Material selection in the design of the femoral component of cemented total hip replacement. *J Mater Process Technol* 122(2-3): 309-317.
- [5] Taksali S, Grauer JN, A. Vaccaro R (2004) Material considerations for intervertebral disc replacement implants. *The Spine J* 4(6): 231-238.
- [6] Katti KS (2004) Biomaterials in total joint replacement. *Colloids Surf B: Biointerfaces* 39(3): 133-142.
- [7] Bahraminasab M, Jahan A (2011) Material selection for femoral component of total knee replacement using comprehensive VIKOR. *Mater & Des* 32(8-9): 4471-4477.
- [8] Fallahnezhad K, Farhoudi H, Oskouei R H, Taylor M (2016) Influence of geometry and materials on the axial and torsional strength of the head-neck taper junction in modular hip replacements: A finite element study. *J Mech Behav Biomed Mater* 60:118-126.
- [9] Rubel H, Marschke D, Tautz J, Micheel G (1989) Inconel X-750 as material for core internals and core components - Status of in-service experience and replacements at siemens kwu group. *Nucl Eng Des* 112: 329-336.

- [16] Bradley EF (1998) A technical guide of superalloys. ASM International, Materials Park, Ohio.
- [17] Charre MD (1997) The microstructure of superalloys. Clima Molybdenum Co. Sym., Zurich.
- [18] Marriott JB, Merz M, Nihoul J, Ward IM (1987) High temperature alloys, Springer, New York.
- [19] Betteridge W, Shaw SWK (1987) Development of superalloys. Mater sci technol 3(9): 682-694.
- [20] Decker RF, Smits CT (1972) The Metallurgy of nickel base superalloys. Paul D. Merica Research laboratory, New York.
- [21] Smits CT (1984) A history of superalloy metallurgy for superalloy metallurgist. The metallurgical society of AIME, Warrendale.
- [22] Villars P, Prince A, Okamoto H (1995) Handbook of ternary alloy phase diagrams, ASM International, Materials Park, Ohio.
- [23] Zhang Li, Gobbi SL, Richter KH (1997) Autogenous welding of Hastelloy X to MAR-M247 by laser. J Mater Process Technol 70:285-292.
- [10] Anwar R, Vermol VV, Rahman S, Hassan OHR, Dung TW (2014) Reformulating Local Ceramic Stoneware with Alumina as Replacement Material for the Heat Sink. JAH 31: 507-516.
- [11] Groover MP (2010) Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems. 4rd edn., Wiley, New York.
- [12] Huang B, Zhang J, Wu Q (2017) Microstructure and mechanical properties of China low activation martensitic steel joint by TIG multi-pass welding with a new filler wire. Nucl Mater 490: 115-124.
- [13] Vidyarthi RS, Kulkarni A, Dwivedi DK (2017) Study of microstructure and mechanical property relationships of A-TIG welded P91-316L dissimilar steel joint. Mater Sci Eng A 695: 249-257.
- [14] Wang G, Li Q, Li YJ, Wu AP, Ma NX, Yan DY, Wu HQ (2017) Effects of weld reinforcement on tensile behavior and mechanical properties of 2219-T87 aluminum alloy TIG welded joints. TNMSC 27: 10-16.
- [15] Donachi MJ, Donachi SJ (2002) Superalloys a technical guide. 2re edn., ASM International, Materials Park, Ohio.