

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال پنجم، شماره 1، بهار و تابستان1398، صفحه 75-63

بهینه نمودن مقدار عنصر آلیاژی نیکل در ترکیب شیمیایی فلزجوش راسب شده از الکترود E7018-G

میلاد طغرائی سمیرمی ، مسعود مصلایی پور یزدی^{*} ، مهدی کلانتر ، امیر سیف الدینی دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۳ ؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹)

چکیدہ

در پژوهش حاضر، تاثیر عنصر آلیاژی نیکل بر خصوصیات فلزجوش راسب شده از الکترود B-8018 مورد ارزیابی و پژوهش واقع شد. بدین منظور الکترودهایی حاوی مقادیر مختلف نیکل (• تا ۱/۷ درصد وزنی) طراحی و ساخته و توسط فرآیند جوشکاری قـوس دستی، جوشکاری شدند. مطالعات ساختاری حاکی از تاثیر دوگانه نیکل بر ریزساختار فلزجوش حاصله بود. توضیح آنکه با افزایش نیکل تا ۱/۲ درصد وزنی جـز فریت سوزنی در ریزساختار فلزجوش افزایش و دانه بندی منطقه مجددا گرم شده از فلزجوش ظریفتر گردید. اما مقادیر زیاد نیکل (بیشتر از ۱/۲ فریت سوزنی موجب افزایش اجزائی از قبیل فریت ویدمن اشتاتن در ساختار فلزجوش می شد. برای ارزیابی تاثیر نیکل بر خصوصیات مکانیکی فلز جوش از پارامتر حاصلضرب استحکام کششی در انرژی ضربه (CVN×CVN) استفاده شد. بررسی های خواص مکانیکی نشان داد که بیشترین مقدار پارامتر مان افزایش مقدار نیکل، مرتبط با تشکان مورد. افزایش سختی فلزجوش با افزایش مقدار نیکل، مرتبط با تشکیل

كلمات كليدى: E7018-G، ريزساختار، فريت، ضربه، استحكام .

Optimization of Ni Content in the Deposited Weld Metal Composition of E7018-G Electrode

M. Toghraei Semiromi, M. Mosallaee PourYazdi, M. Kalantar, A. Seifoddini

Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

(Received 25 August 2018 ; Accepted 29 January 2019)

Abstract

In the present study, effect of Ni alloying element on the characteristics of deposited weld metal of E7018-G electrode was evaluated. Therefore, electrodes contained different amounts of Ni (0-1.7wt.%) were designed, manufactured and welded via SMAW process. Microstructural studies revealed dichotomy effect of Ni on the deposited weld metal

* نويسنده مسئول، پست الكترونيكي: mosal@yazd.ac.ir

microstructure, i.e. increasing the Ni content up to 1.2wt.% improved the formation of acicular ferrite in the weld metal microstructure and caused significant grain refinement at the reheated zone of weld metal. While, higher Ni content (>1.2wt.%) resulted in some raising in the widmannstatten ferrite content in the weld metal. Strength multiplied by impact energy parameter (UTS×CVN) was used for mechanical properties assessment. Mechanical properties evaluation revealed the highest UTS×CVN parameter achieved in the weld metal contained 1.2wt.% Ni. Hardness of the weld metal increased with increasing Ni content which is related to the formation of micro constituents in the microstructure of weld metal and increasing their content with increasing Ni content.

Keywords: E7018-G, Microstructure, Ferrite, Impact, Strength.

استحاله آستنیت به فریت در تمام سرعت های سرد شدن فلزجوش می شود. به طوری که دمای شروع تشکیل فریت چندوجهی، بیشتر از دمای شروع تشکیل فریت سوزنی کاهش می یابد که این به معنای کاهش فریت چندوجهی و افزایش فریت سوزنی در ریزساختار فلزجوش با کاهش دما می باشد.

همچنین افزایش نیکل باعث ریزدانگی دانه های فریت سوزنی و کاهش مقدار فریت سوزنی درشت در ریزساختار می شود (به دلیل تاثیر آستنیت زایی نیکل و در نتیجه ایجاد فاز فریت در دماهای پایین تر). لازم به ذکر است که در مقادیر نیکل بالاتر از ۲/۵ درصد، مقدار فریت ویدمن اشتاتن در ریزساختار افزایش یافته و احتمال تشکیل فاز مارتنزیت نیز در فلزجوش بیشتر می شود[۱۰].

تحقیقات تیلور [۱۱] ، نشان داد که در حالت کلی افزایش نیکل منجر به کاهش فریت مرزدانه ای شده و در مقابل باعث افزایش و ریزترشدن فریت سوزنی در ریزساختار فلزجوش می شود. در مقادیر بالای نیکل بیشتر از ۲/۵ درصد یک تغییر در صفحات فریت سوزنی ایجاد شده بود. لازم به ذکر است که صفحات فریت سوزنی ایجاد شده بود. لازم به ذکر است که اثر نیکل به شرایط و درصد دیگر عناصر آلیاژی موجود در ممکن است توسط عناصر دیگر تغییر یابد.ایوانز[۱۲] ، تاثیر اضافه شدن درصدهای مختلف نیکل (۵/۰، ۱، ۲/۳، ۲/۵ درصد) را بر روی فلزجوش فولادهای کم آلیاژ در چهار درصد مختلف منگنز(۲/۵ ۲/۰ ۱ ۲/۵ ۸/۱ ما ۲/۱ (۱/۸ ۲/۵)

خواص مكانيكي فلزجوش به عواملي از قبيل يارامترهاي جوشکاری، ترکیب شیمیایی، نرخ سرمایش و ریزساختار فلزجوش بستگی دارد[۱و۲]. عموما ریزساختار مطلوب برای فلزجوش ریزساختاری است که بخش عمده آن از فریت سوزنی تشکیل شده باشد، زیرا فریت سوزنی به دلیل ابعاد ریز (۰/۱-۳ μm)، زاویه مرزدانه ای بالا (اختلاف زاویه تا حدود ۷۰ درجه بین دانه ها)، دانسیته بالای نابه جایی ها در اثر تحول غیر تعادلی تشکیل فریت سوزنی(۱۰۱۰lines/cm²) و همچنین به دلیل حضور میکروفازها بین لایه های فریت سوزنی، موجب ایجاد ترکیبی عالی از استحکام و چقرمگی در فلزجوش می شود. به همین دلیل مکانیزم و پارامترهای تاثیرگذار بر جوانه زنی و رشد فریت سوزنی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته تا بتوان فریت سوزنی را به عنوان ريزساختار غالب در فلزجوش ايجاد نمود [۳–۵].اضافه شدن نيكل به تركيب شيميايي فلزجوش، باعث افزايش مقدار و ريزدانگي فريت سوزني در ريزساختار فلزجوش مي شود. لازم به ذکر است که در مقادیر نیکل بالا (با توجه به مقدار منگنز موجود در فلزجوش در مقادیر نیکل بیشتر از ۲درصد وزنی)، ممکن است فریت سوزنی توسط فازهای دیگری از قبیل مارتنزيت-آستنيت (M-A) جايگزين شود. اين فازها مي توانند باعث كاهش چقرمگی فلزجوش شوند[۶-۹]. تغییرات ريزساختاري با افزايش مقدار نيكل را مي توان توسط نمودارهای CCT2 مربوط به فلزجوش های C-Mn-Ni (شکل۱) تفسیر نمود. همانگونه که از قسمت های مختلف شکل(۱) استنباط می شود، افزایش نیکل منجر به کاهش دمای



C=0.05%, Mn=1.2%, Ni=1.1% (لف) C-Mn-Ni مربوط به فلزجوش های C-Mn-Ni الف) C-Mn-Ni بنیکل بر نمودارهای CCT مربوط به فلزجوش های C-Mn-Ni الف) C=0.05%, Mn=1.2%, Ni=3.58% (ب) C=0.05%, Mn=1.18%, Ni=2.52% (ب) C=0.05%, Mn=1.2%

چقرمگی فلزجوش می شود.ایوانز چنین گزارش نمود که با کاهش مقدار منگنز در فلزجوش، مقدار بحرانی نیکل برای افت خواص مکانیکی فلزجوش افزایش می یابد. نظر به محدوده نسبتا وسیع نیکل در ترکیب شیمیایی استاندارد الکترود B-7018 و نقش کلیدی نیکل در خواص فلزجوش راسب شده از این دسته از الکترودها، و همچنین کاربرد وسیع منگنز، مقدار بحرانی نیکل تغییر می یابد. به عنوان مثال در مقدارمنگنز ۶/۰درصد وزنی با افزایش نیکل استحکام و چقرمگی فلزجوش به طور پیوسته اما با شیب کم افزایش مییابد. اما به ازای مقدار منگنز بیشتر از ۱ درصد وزنی اضافه شدن نیکل به ترکیب فلزجوش یک مقدار بحرانی از خود نشان میدهد. بدین معنا که پس از مقدار بحرانی، اضافه شدن نیکل باعث کاهش

این نوع الکترود (جوشکاری تجهیزات ایستگاه های گاز و نفت، ساخت تجهیزات نیروگاه ها و پالایشگاه ها، کشتی سازی و غیره)، در این پژوهش تاثیر مقدار نیکل بر ریزساختار و خواص مکانیکی فلزجوش راسب شده از الکترود G-E7018-مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته و محدوده بهینه مقدار نیکل در ترکیب شیمیایی این دسته از الکترودها تعیین می شود.

2- مواد و روش تحقيق

به منظور ارزیابی تاثیر درصد نیکل بر ریزساختار و خواص مكانيكي فلزجوش حاصل از الكترودهاي E7018-G، پنج دسته از این الکترود با مقدار نیکل متغیر در محدوده مجاز ترکیب شیمیایی این دسته از الکترودها مطابق با استاندارد ANSI/AWS-A5.5 با قطر ۳/۲۵ mm طراحی و تولید شد. مقدار نیکل موجود در پوشش الکترودها به اندازه ای انتخاب شد که فلزجوش نهایی حاصل از پنج دسته الکترود به ترتیب شامل حدود ۰/۶، ۸/۰، ۱/۲ و ۱/۷ درصد وزنی نیکل باشد و درصد سایر عناصر (Mn, Si, Cr, Mo) تقریبا ثابت نگه داشته شد. برای تعیین ترکیب شیمیایی فلزجوش حاصل از الکترودهای ساخته شده، از آزمون نشر نوری توسط دستگاه کوآنتومتری مدل ARL-3460 استفاده شد.برای این منظور بر روی یک صفحه فولادی به ابعاد ۶۰×۴۰×۲۰ میلیمتر مکعب که نمونه کوانتومتری نامیده می شود (شکل ۲) ابتدا عملیات آسترکشی طبق استاندارد ANSI/AWS-A5.5 برای جلوگیری از مشارکت فلزپایه در ترکیب شیمیایی فلزجوش انجام شد و سپس جوشکاری در شش لایه (هر لایه شامل سه پاس) بر روی نمونه کوانتومتری انجام شد.

در ادامه سطح فوقانی فلزجوش ایجادشده سنگ زده شد و مورد آزمون کوانتومتری قرار گرفت. جوشکاری به روش قوس الکترود دستی بر روی کوپن هایی استاندارد از جنس فولاد DIN-St37 با ابعاد ۲۹۰×۱۳۰×۱۳ میلیمتر مکعب و با سرعت متوسط ۳–۲ میلیمتر بر ثانیه صورت گرفت. در شکل(۳) به طور شماتیک مشخصات کوپن جوشکاری شده و محل برشکاری نمونه های تست کشش و ضربه نشان داده

شده است.





شکل۳-شماتیک کوپن جوشکاری شده وموقعیت برش نمونه های تست کشش وضربه [۱۳].

شرایط جوشکاری در وضعیت تخت مطابق با استاندارد AWS-A5.5 و با پارامترهای یکسان برای پنج نوع الکترود انجام شد. همانطور که در شکل(۴) نشان داده شده است شیار موجود در کوپن توسط ۶ لایه جوش (۱۲پاس) پرشد. در این شکل محل مربوط به اندازه گیری پروفایل سختی نمونه ها نیز به صورت خط نقطه چین مشخص شده است. پارامترهای فرآیند جوشکاری در جدول(۱) ذکر شده است. دمای بین پاسی به دقت در محدوده 2° ۵±۱۸۵ کنترل شد.

برای مطالعه ریزساختاری فلزجوش، نمونه های متالوگرافی از مقطع عرضی جوش برش و پس از عملیات آماده سازی سطحی و پولیش کاری توسط محلول اچ نایتال ۳٪ ((C2H5OH) Ethanol (C2H5OH)) به مدت ۳ ثانیه اچ شد. بررسی های ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ شد. بررسی های ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل Olympus و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدلX 6 PHENOM-Pro انجام شد. درصد اجزای سازنده میکروساختار با استفاده از برنامه آنالیز تصاویر در

بزرگنمایی ۵۰۰ برابر تعیین شد. از آزمون های کشش، ضربه و سختی برای بررسی تاثیر ترکیب شیمیایی بر خواص مکانیکی فلزجوش استفاده شد.



شکل ۴- شماتیک هندسی فلزجوش و محل مربوط به اندازه گیری پروفایل سختی (خط نقطه چین).

نمونه های آزمون کشش با طول گیج ۳m ۲۵.۴ در راستای طول فلزجوش تهیه گردید و آزمون کشش توسط دستگاه SANTAM STM-400 با سرعت کشش ۱۰ mm/min در دمای محیط (C° ۲۵) صورت گرفت. نمونه های ضربه مطابق با استاندارد AWS-A5.5 با ابعاد ۵۵×۱۰×۱۰ میلی متر مکعب در راستای عمود بر فلزجوش برش کاری و تحت عملیات شیارزنی قرار گرفته و سپس آزمون ضربه توسط دستگاه SANTAM STM-300J در دمایC° ۴۶- انجام و متوسط انرژی ضربه برای هر فلزجوش گزارش شد. برای اندازه گیری سختی فلزجوش نمونه های مختلف، پروفایل سختی ویکرز در راستای فلزجوش/ فلزیایه با فاصله mm ابین هر اندازه گیری تحت بار ۳۰ kg توسط دستگاه Instron Wolpert DIA722 بدست آورده شد (محل پروفایل سختی در شکل(۴) نشان داده شده است). مطالعات شکست نگاری بر روی سطح مقطع شکست حاصل از نمونه های کشش، توسط یک دوربین ديجيتال و به صورت دقيق تر توسط ميكروسكوپ الكتروني روبشی مدل SEM PHENOM-Pro X در بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر انجام شد.

جدول ۱– جزئیات فرآیند جوشکاری SMAW مورد استفاده در این

پروهش

حرارت ورودى	سرعت جوشكاري	ولتار (v)	تريكى		
(kJ/mm)	(mm/s)		پلاريته	جریان (A)	فرايند
0.9-1.2	2-3	21±1	DCEP	140	SMAW

3- نتایج و بحث
3-1- ترکیب شیمیایی
آنالیز ترکیب شیمیایی فلزجوش حاصل از الکترودهای مختلف بر اساس نتایج حاصل از آزمون کوآنتومتری در جدول(۲)
آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود درصد نیکل موجود در فلزجوش در گستره ۱۰/۰-۱/۶۶ درصد وزنی تغییر یافته و درصد سایر عناصر تقریبا ثابت می باشد.

جدول ۲-ترکیب شیمیایی فلزجوش حاصل از الکترودها

Elements	94.0	9/ 6:	9/ M.	9/ D	9/.6	94 Cr	9/ NI	9/ Mo	94 V
Electrode ID	70C	70.51	70.9111	701	705	7001	70.11	201410	70 V
E7018-G-0	0.06	0.51	1.36	0.018	0.015	0.02	0.01	0.02	0.007
E7018-G-0.6	0.05	0.39	1.42	0.019	0.015	0.02	0.59	0.01	0.01
E7018-G-0.8	0.05	0.48	1.35	0.020	0.012	0.02	0.84	0.02	0.06
E7018-G-1.2	0.05	0.46	1.39	0.020	0.015	0.02	1.22	0.01	0.007
E7018-G-1.7	0.05	0.55	1.36	0.018	0.013	0.02	1.66	0.01	0.007

جدول۳- نتایج حاصل از متالوگرافی کمی در ناحیه ستونی

Constituents Electrode ID	PF (%)	FS (%)	AF (%)
E7018-G-0	27±3	21±4	52±4
E7018-G-0.6	21±2	18±4	61±3
E7018-G-0.8	17±3	16±2	67±3
E7018-G-1,2	10±3	11±2	79±2
E7018-G-1.7	9±1	15±4	76±2

2-3- ارزيابي ريزساختاري

ریزساختار جوش های چندپاسه شامل یک منطقه با دانه های ستونی(ADZ) و یک منطقه مجددا گرم شده (RHZ) می باشد. ناحیه RHZ خود به دو قسمت ۱- مجددا گرم شده دانه درشت (CGRZ) و ۲- مجددا گرم شده دانه ریز (FGRZ) تقسیم بندی می شود. با توجه به درصد کم عناصر حل شونده در فولادهای کم آلیاژ، انجماد فلزجوش این فولادها با رشد رونشستی فریت دلتا (δ) ستونی، از فصل مشترک فلزپایه و فلزجوش شروع می شود[۱۴].با کاهش دما فریت دلتا در اثر یک استحاله حالت جامد به آستنیت تبدیل می شود. آستنیت در مرزدانه های δ - δ جوانه زده و به یک ساختار با دانه های

این پاس فقط شامل ناحیه ستونی می باشد. همانگونه که از قسمتهای مختلف شکل(۵) استنباط می شود، ریز ساختار فلزجوش عمدتا شامل فريت چندوجهي، فريت ويدمن اشتاتن، فریت سوزنی و بینیت می باشد که تغییر در مقدار هرکدام از این فازها، به شدت بر روی خواص مکانیکی فلزجوش تاثیر می گذارد[۲۲-۲۴].در پژوهش حاضر، مشاهده شد که با افزایش نیکل در ترکیب شیمیایی فلزجوش در محدوده • تا ۱/۲ درصد، فریت چندوجهی و فریت ویدمن اشتاتن در ریزساختار ناحیه ستونی کاهش یافته و در مقابل مقدار فریت سوزنی افزایش می یابد به طوری که در ۱/۲ درصد نیکل فاز غالب ريزساختار فريت سوزني مي باشد (شكل ۵). نتايج حاصل از متالوگرافی کمی در ناحیه ستونی، به صورت تابعی از مقدار نیکل موجود در فلزجوش در جدول(۳) ارائه شده است. این جدول نشان می دهد که تمامی نمونه ها حاوی نسبت بالايي از فريت سوزني هستند. همچنين مشخص است که با افزایش مقدار نیکل موجود در فلزجوش، درصد فریت سوزنی بر خلاف دیگر اجزا (فریت چندوجهی و ویدمن اشتاتن)، به صورت قابل ملاحظهای افزایش یافته است .با توجه به شکل های(۵ و۶) می توان مشاهده کرد که اضافه شدن نیکل باعث ریزتر شدن دانه های فریت سوزنی و همچنین باریکتر شدن مناطق ستونی می گردد. افزایش نیکل منجر به کاهش دمای استحاله آستنیت به فریت می شود [۲۳] و در نتیجه ایجاد فریت سوزنی در دماهای پایین تر، باعث ريزترشدن و همگن تر شدن اين فاز در ريزساختار مي شود. بهول و همکاران نیز[۲۴]، گزارش کرده اند که نیکل و اکسیژن می توانند جوانه زنی فازهای ثانویه را افزایش دهند. توزیع پراکنده ذرات فاز ثانویه می تواند باعث افزایش تشکیل فریت سوزنی، اصلاح و ریز شدن دانه ها و بهبود ریزساختار و خواص مكانيكي فلزجوش شود (زيرا اين ذرات فاز ثانويه به عنوان محل های مناسب جوانه زنی فریت سوزنی عمل میکنند). مطالعات ریزساختاری آشکاری نمود که در مقادیر نیکل بالاتر (۱/۷ درصد وزنی) علاوه بر کاهش جزئی در مقدار فريت سوزني، كسرحجمي فريت ويدمن اشتاتن در ريزساختار تا

ستونی توسعه پیدا می کند که از لحاظ ظاهری بسیار شبیه به دانه های فریت دلتا اولیه است. یهنای دانه های آستنیت معمولا در حدود μm ۱۰۰ و طول آنها در حدود ۵۰۰۰ μm می باشد [۱۵و۱۶].در فوق تبریدهای کم زیر دمای A3، فریت چندوجهی (PF) اولین فازی است که به صورت لایه هایی نازک و پیوسته در مرزدانه های آستنیت ستونی تشکیل می شود. این لایه ها با یک سرعت کنترل شده (که به میزان نفوذ کربن بستگی دارد) رشد می کنند. این فاز برای چقرمگی مضر است، زیرا مقاومت کمی در برابر اشاعه ترک تورقی دارد [۱۷].با كاهش بيشتر دما، فريت تمايل دارد به صورت صفحه اي شکل، با یک مکانیزم جایگزینی به جای فریت چندوجهی تشکیل شود (زیرا در فوق تبریدهای زیاد، فقط فصل مشترکهای نامنظم فعال می شوند، چون انرژی ترمودینامیکی زیادی آزاد می گردد و در نتیجه شکل ظاهری جوانه فریت می تواند به صورت صفحه ای باشد) که به این نوع از فریت، فریت ویدمن اشتاتن یا فریت با صفحات جانبی (FS) گفته می شود. هرچه میزان فوق تبرید بیشتر باشد، فریت ویدمن اشتاتن نازک تر و کشیده تر می شود. به دلیل شکل صفحهای فریت ویدمن اشتاتن، مقدار زیادی از کربن میتواند در کنارههای صفحات در حال رشد قرار گیرد به طوری که لبه صفحات هميشه توسط آستنيت احاطه شده است. بنابراين صفحات فریت ویدمن اشتاتن با یک سرعت ثابت و بسیار سريع تر از فريت چندوجهي کشيده مي شوند. در دماهاي پایینتر، رشد فریت ویدمن اشتاتن به درون دانه ها بسیار کند شده و جوانه های جدیدی از فریت به صورت سریع تر در جلوی فریت در حال رشد جوانه زنی می کنند. این فریتهای جدید که فریت سوزنی (AF) نامیده می شوند، بر روی ذرات ناخالصی جوانه زده و دارای سوزن های کوتاه فریت که به صورت تصادفی رشد و جهت گیری نموده اند، میباشند [۱۸-۲۱]. در شکل(۵) ریزساختار ناحیه ستونی مربوط به آخرین پاس (پاس۱۲) برای فلزجوش ها با درصد نیکل مختلف نشان داده شده است و از آنجایی که فلزجوش در آخرین پاس جوشكارىتحتحرارتپاس،اىبعدىقرار نمىگيرد ريزساختار



شکل ۵– ریزساختار ناحیه ستونی برای فلزجوش ها با درصد نیکل مختلف. الف) • درصد نیکل، ب) ۶/• درصد نیکل، ج) ۸/۰ درصد نیکل، د) ۱/۲ درصد نیکل و ه) ۱/۷ درصد نیکل

حدودی افزایش یافته است. گزارشات حاصل از تحقیقات قبلی صورت گرفته در مورد تاثیر نیکل بر خواص و ریزساختار فلزجوش های کم کربن [۱۷–۲۵]، حاکی از این است که در مقادیر نیکل بالاتر (بیشتر از ۲/۵ درصد) امکان ایجاد فازهای ترد و سخت مانند مارتنزیت-آستنیت نیز در ریزساختار وجود دارد. تشکیل نسبت زیادی از فازهای فریت چندوجهی، فریت ویدمن اشتاتن و مارتنزیت در ریزساختار تاثیر بسیار مضر بر چقرمگی فلزجوش دارد زیرا این فازها مسیرهای اشاعه ترک مطلوبی را فراهم می کنند که در هنگام شکست تورقی فلزجوش مقاومت کمی از خود نشان می دهند.

ریزساختار CGRZ و FGRZ برای دو مقدار • و ۱/۲ درصد نیکل در شکل(۷) نشان داده شده است.

ریزساختار CGRZ شبیه به ناحیه ستونی است با این تفاوت که دانه های آستنیت ستونی توسط دانه های هم محور جایگزین شده است و فازها از نظر اندازه بزرگتر هستند. همانند ناحیه ستونی در CGRZ هم با افزایش درصد نیکل، مقدار فریت سوزنی افزایش یافته و در مقابل مقدار فریت چندوجهی و فریت ویدمن اشتاتن کاهش یافته است (شکل ۷-الف و ج). همچنین مشاهده می شود که اصلاح و یکنواختی ریزساختار در CGRZ با افزایش درصد نیکل اتفاق افتاده است. در مقادیر کم



شکل ۶- تصاویر SEM از ریزساختار منطقه فریت سوزنی درناحیه ستونی فلزجوش الف) • درصد و ب) ۱/۲ درصد نیکل



FGRZ و CGRZ مربوط به فلزجوش با • درصد نیکل ج و د) به ترتیبCGRZ و FGRZ مربوط به فلزجوش با • درصد نیکل ج و د) به ترتیب CGRZ و FGRZ مربوط به فلزجوش با ۱/۲ درصد نیکل

ریزی در این ناحیه تشکیل می شود [۲۲]. افزایش مقدار نیکل، ریزساختار این ناحیه را غیریکدست کرده و مقدار میکروفازها افزایش می یابند (علت افزایش این میکروفازها می تواند جدایش بیشتر نیکل در مرز سلولی فاز در حال انجماد (فریت) با افزایش نیکل باشد). تعیین دقیق طبیعت این میکروفازهای سیاه رنگ نیاز به مطالعات TEM بیشتری دارد. نیکل ریزساختار FGRZ یکدست تر بوده و شامل دانه های فریت هم محور و مقدار کمی از میکروفازها (نقاط سیاه رنگ در شکل ۷–ب) می باشد. علت تشکیل دانه های فریت هم محور در این ناحیه این است که در SGRZ دما تا حدود ۹۰۰ درجه سانتی گراد میرسد که در این حالت حین سرد شدن، این ناحیه دستخوش عملیات نرماله شده و دانههای هم محور و



شکل ۹- تغییرات استحکام تسلیم و نهایی و انرژی ضربه بر حسب مقدار نیکل موجود در فلزجوش الف) استحکام، ب) انرژی ضربه.

عناصر آلیاژی مانند نیکل می توانند جایگزین اتم های آهن گاما شده و باعث اعوجاج شبکه و افزایش ثابت شبکه شوند و در نتيجه مي توانند باعث افزايش استحكام فلزجوش شوند [۲۶و۲۷]. نتایج حاصل از آزمون کشش و ضربه و روند تغییرات استحکام تسلیم، استحکام نهایی و انرژی ضربه به صورت تابعی از مقدار نیکل موجود در فلز جوش، در جدول(۴) و شکل (۹) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده مي شود با افزايش نيكل موجود در فلزجوش، استحکام تسلیم و استحکام نهایی هر دو افزایش می یابند. این افزایش استحکام را می توان به دلیل افزایش فریت سوزنی ریز در ریزساختار فلزجوش با افزایش درصد نیکل دانست. افزایش نیکل در محدوده ۰-۱/۲ درصد انرژی ضربه را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داد اما در مقادیر نیکل بالاتر (۱/۷درصد) افت انرژی ضربه ایجاد می شود که نشان دهنده کاهش چقرمگی ضربه فلزجوش است. این افت چقرمگی ضربه را می توان به افزایش جزئی فریت ویدمن اشتاتن در ریزساختار

بررسی های کمی انجام شده نشان داد که میانگین اندازه دانههای منطقه FGRZ در حدود μm ۲±۴ می باشد. با اندازه گیری میکروسختی از FGRZ تحت بارkg γ/۵ برای

دو فلزجوش با صفر درصد و ۱/۲٪ نیکل مشخص شد که با افزایش درصد نیکل سختی این منطقه افزایش یافته است. این افزایش سختی را می توان به دلیل افزایش میکروفازهای سیاه رنگ در ریزساختار با افزایش درصد نیکل دانست (شکل ۸). مقادیر سختی گزارش شده در شکل(۸) میانگین پنچ اندازهگیری در این منطقه برای هر فلزجوش است.

- 3-3- ارزيابي خواص مكانيكي
- 3-3-1- آزمون کشش و ضربه

نیکل نقش مهمی در استحکام بخشی از طریق تشکیل محلول جامد و استحکام بخشی از طریق ریزکردن دانه ها در فولادها ایفا می کند. ثابت شبکه آهن گاما برابر با ۳/۶۴ آنگستروم میباشد.

نسبت داد. در شکل(۱۰) نیز تغییرات پارامتر حاصلضرب استحکام کششی نرماله شده در انرژی ضربه نرماله شده (به عنوان معیاری برای ارزیابی همزمان استحکام و چقرمگی ضربه)، بر حسب مقدار نیکل موجود در فلزجوش نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل دیده می شود افت چقرمگی ضربه در مقدار نیکل/۱ درصد رخ داده است. با توجه به تحقیقات قبلی صورت گرفته در مورد تاثیر نیکل بر خواص و ریزساختار فلزجوش های کم کربن [۲۲–۲۵]، پیش بینی می شود که در مقادیر نیکل بالاتر (بیش از ۲۵ درصد) نیز افت شدیدی در چقرمگی ضربه فلزجوش به وجود آید، زیرا احتمال ایجاد فازهای ترد و سختی مانند مارتنزیت-آستینت در ریزساختار فلزجوش وجود دارد.

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون کشش و ضربه برای نمونه ها با درصد نیکل مختلف



3-3-2- **سختی سنجی** تاثیر نیکل بر پروفایل سختی در راستـای مقطـع فلـزجـوش در

شکل(۱۱) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش درصد نیکل در فلزجوش یک افزایش سختی نسبتا قابل ملاحظه ای از فلزپایه به سمت فلزجوش به وجود آمده است که این امر می تواند به دلیل تغییرات در ریزساختار و ترکیب شیمیایی مناطق مربوطه باشد. افزایش سختی را می توان به دلیل تغییرات ریزساختار (افزایش فریت سوزنی ریز) و افزایش میکروفازها در ریزساختار با افزایش درصد نیکل دانست. در فلزجوش با ۱/۷ درصد نیکل ، افزایش سختی چندانی نسبت به نمونه ۱/۲ درصد نیکل مشاهده نشد.



شکل ۱۱-پروفایل سختی نمونه ها با درصد نیکل مختلف.

3-3-3 ارزیابی سطح شکست نمونه های کشش

بررسی های ماکروسکوپی سطح مقطع نمونه های کشش (شکل ۱۲) نشان داد که با افزایش نیکل، حالت منطقه شکست نمونه ها از حالت برشی به سمت حالت مخروط-فنجان پیش می رود به طوری که در مقدار نیکل ۱/۲ درصد ، حالت شکست به طور کامل مخروط-فنجان است. این نشان دهنده این امر است که با افزایش نیکل تا مقدار ۱/۲ درصد، شکست نمونهها به صورت نرم تر اتفاق افتاده است.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح مقطع شکست نمونه ها (شکل ۱۳)، نشان داد که تقریبا در تمامی نمونه ها سطح شکست حاوی دیمپل می باشد. به علاوه مشخص شد که با افزایش نیکل میزان یکنواختی دیمپل ها افزایش یافته و اندازه دیمپل ها نیز کوچکتر شده است به طوریکه شکست نمونه با ۱/۲ درصد نیکل را می توان کاملا نرم و داکتیل دانست.

Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2024-04-27



شکل ۱۲- تصاویر ماکروسکوپی از سطح مقطع شکست نمونه های کشش با درصد نیکل مختلف.



شکل ۱۳ – تصاویر SEM سطح شکست نمونه های کشش الف) • درصد نیکل ب) ۱/۲ درصد نیکل

4- نتيجه گيري

تاثیر اضافه شدن نیکل در محدوده ۰-۱/۷ درصد وزنی بر ریزساختار و خواص مکانیکی فلزجوش راسب شده از الکترود E7018-G مورد بررسی قرار گرفت. از مهمترین نتایج این کار پژوهشی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- با افزایش درصد نیکل در ترکیب شیمیایی فلزجوش در محدوده ۰۰-۱/۲ درصد وزنی، مقدار فریت سوزنی هم در منطقه ستونی و هم در منطقه مجددا گرم شده به طور یکنواخت افزایش می یابد و در مقابل مقدار فازهای فریت چندوجهی و فریت ویدمن اشتاتن در این مناطق کاهش می یابد.

۲- افزایش نیکل باعث اصلاح، یکنواختی و ریزتر شدن فازها در مناطق ستونی و مجددا گرم شده می شود.

۳- در مقادیر نیکل بالا (۱/۷ درصد) مشاهده شد که علاوه بر کاهش جزئی در مقدار فریت سوزنی، کسرحجمی فریت ویدمن-اشتاتن در ریزساختار تا حدودی افزایش یافته است که افزایش این فاز می تواند تاثیر مضر بر چقرمگی فلز جوش

داشته باشد، زیرا این فاز مسیرهای اشاعه ترک مطلوبی را فراهم می کند که در هنگام شکست تورقی فلزجوش مقاومت کمی از خود نشان می دهد. ۴- با افزایش درصد نیکل مقدار میکروفازها در تمام مناطق ریزساختار فلزجوش افزایش می یابد. ۵- با افزایش درصد نیکل در محدوده ۰-۱/۲ درصد وزنی، استحکام تسلیم و کششی، سختی و چقرمگی ضربه افزایش مییابند اما در مقادیر نیکل بالاتر (۱/۷ درصد)، چقرمگی ضربه افت می کند.

تقدیر و تشکر

در پایان از همکاری اساتید و کارشناسان محترم دانشگاه یزد و ریاست محترم و مدیران تولید و تحقیق و توسعه شرکت الکترود یزد که اینجانب را در انجام این پروژه یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

منابع

1- Bhadeshia.H.K.D.H, Svensson.L.E, Gretoft.B,"A model for the development of microstructure in low

14-Esterling. K.E, Introduction to physical metallurgy of welding, 1st ed., London: Butterworths, 1985.

15-Bhadeshia. H.K.D.H, Svensson. L.E, Gretoft. B, "The austenite grain structure of low alloy steel weld deposits". Journal of Materials Science, Vol. 21, pp. 3947–3951, 1986.

16-Honeycombe. R.W.K, Bhadeshia. H.K.D.H, Steels: microstructure and properties, 3rd ed. Oxford: Butterworth–Heinemann Publications, 2006

17- Bhadeshia. H.K.D.H, Models for the elementary mechanical properties of steel welds. In: Cerjak H, Bhadeshia. H.K.D.H, editors. The proceeding of mathematical modelling of weld phenomena III. London: Institute of Materials; pp. 229–284. 1997.

18- Yang. J.R, Huang. C.Y, Huang. C.F, Aoh. J.N, "Influence of acicular ferrite and bainite microstructures on toughness for an ultra-low-carbon alloy steel weld metal". Journal of Materials Science Letters, pp. 1290–1293, 1993

19-Byun. J.S, Shim. J.H, Suh. J.Y, Oh. Y.J, Cho. Y.W, Shim. J.D, Lee. D.N, "Inoculated acicular ferrite microstructure and mechanical properties". Materials Science and Engineering A319–321, pp. 326–331, 2001.

20-Ohkita. S, Horii. Y, "Recent development in controlling the microstructure and properties of low alloy steel weld metals". ISIJ International; Vol. 35, pp. 1170–1182. 1995.

21-Sindo Kou, Welding metallurgy, 2nd ed., published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 232-234, 2003.

22-Kang. B.Y, Kim. H.J, and Hwang. S. K, "Effect of Mn and Ni on the variation of the microstructure and mechanical properties of low carbon weld metals". ISIJ International, Vol. 40, pp. 1237-1245, 2000.

23-Guo. N, Liu. D, Guo. W, Li. H and Feng. J,"Effect of Ni on microstructure and Mechanical properties of underwater wet welding joint". Materials & Design, Vol. 77, pp. 25-31, 2015.

11, pp. 25-51, 2015.

24-Bhole. S.D, Nemadeb. J.B, Collins. L, Liu. C, "Effect of nickel and molybdenum additions on weld metal toughness in a submerged arc welded HSLA line-pipe steel". Journal of Materials Processing Technology, Vol.

173, pp. 92–100, 2006.

25-Zhang. Z. and Farrar R.A, "Influence of Mn and Ni on the Microstructure and Toughness of C-Mn-Ni Weld Metals". Welding Research Supplement, pp. 183-196, 1997.

26-Yin. S.K, Wang. Y.S, Peng. Y, "Microstructure character and its effect on toughness for weld metals

alloy steel (Fe–Mn–Si–C) weld deposits". Acta Metallurgica, pp. 1271–1283, 1985.

2- Bhadeshia. H.K.D.H, Svensson. L.E, Modeling the evolution of microstructure in steel weld metal. In: Cerjak H, Easterling KE, editors. The proceeding of the mathematical modeling of weld phenomena. London: Institute of Materials; pp. 109–182.1993.

3-Yang.J.R, Huang.C.Y, Huang.C.F, Aoh. J.N, "Influence of acicular ferrite and bainite microstructures on toughness for an ultra-low-carbon alloy steel weld metal". Journal of Materials Science Letters, pp. 1290–1293, 1993.

4-Byun. J.S, Shim.J.H, Suh.J.Y, Oh.Y.J, Cho.Y.W, Shim. J.D, Lee. D.N, "Inoculated acicular ferrite microstructure and mechanical properties". Materials Science and Engineering A319–321, pp. 326–331, 2001.

5-Ohkita.S, Horii.Y, "Recent development in controlling the microstructure and properties of low alloy steel weld metals". ISIJ International; Vol. 35, pp. 1170–1182. 1995.

6-Evans.G.M and Bailey. Metallurgy of basic weld metal. Woodhead Publishing Limited, 1997.

7-Bose-Filho. W.W, Carvalho. A.L.M, Strangwood. M, "Effect of alloying elements on the microstructure and inclusion formation in HSLA multipass welds". Materials Characterization, Vol. 58, pp. 29–39, 2007.

8-Trindade, V.B, Payao, J.C, Souza. L.F.G, Paranhos, R.R, "The Role of Addition of Ni on the microstructure and mechanical behavior of C-Mn weld metals". Exacta, Sao Paulo, Vol. 5, pp. 177-183, 2007

9- Mao. G, Cao. R, Yang. J, Jiang. Y, Wang. S, "Effect of Nickel Contents on the Microstructure and Mechanical Properties for Low-Carbon Bainitic Weld metals". Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 26, pp. 2057-2071, 2017.

10- Zhuyao Zhang and Farrar. R.A, An Atlas of CCT Diagrams Applicable to Low Carbon Low Alloy Weld Metals, Published by The Institute of Materials, pp. 11-15, 1995.

11- Farrar. R. A, Harrison. P. L, "Review Acicular Ferrite in carbon-manganese weld metals". Journal of Materials Science, Vol. 22, pp. 3812-3820, 1987

12-Evans. G. M, "The Effect of Nickel on microstructure and properties of C-Mn all weld metal deposits". Weld. Res. Abroad 41. 1991.

13-AWS.A5.5; Specification for low alloy steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding, 10th ed., 2014.

"Influence of alloying elements and density on aqueous corrosion ehavior of some sintered low alloy steels". Materials & Design, Vol. 40, pp. 336–342, 2012.

with different strength grades". Journal of Iron and Steel Research, International, Vol. 26, pp. 55–60, 2014.

27-Kandavel. T.K, Chandramouli. R, Karthikeyan. P,