نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال پنجم، شماره 1، بهار و تابستان1398، صفحه 61-51

تعیین تجربی اثر آنیل کردن بر منطقه بحرانی جوش سر به سر چند پاسه لوله فولادکم آلیاژ استحکام بالا در خطوط انتقال گاز طبیعی

مجید سبک روح

دانشکده مهندسی، مرکز آموزش عالی محلات، محلات

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱ ؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵)

چکیده

جوشکاری قوس فلزی الکترود پوشش‌دار بر روی فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله تاثیر عملیات حرارتی آنیل کردن بر خصوصیات جوش چند پاسه محیطی در موقعیت‌های متفاوت (ساعت ۶-۴/۳۰، ۷/۳۰-۳، ۳-۱/۳۰ و ۱/۳۰-۱۲) با قطر خارجی ۳۶اینچ به وسیله آزمایشهای کوانتومتری، متالوگرافی، کشش، ضربه و سختی سنجی بررسی شد. نتایج آزمون کشش، کمترین میزان استحکام تسلیم را (در راستای عمود بر جوش و در موقعیت ۶-۴/۳۰) برابر ۳۴۸ مگاپاسکال و کمترین انرژی شکست را (در راستای عمود بر جوش و درموقعیت ۳-۱/۳۰) برابر ۱۰۸ ژول ارزیابی می کند. انرژی شکست ۱۲ درصد نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی افزایش داشته است.میزان تغییرات سختی در نواحی و موقعیت‌های گوناگون ناچیز(کمتر از ۵ درصد) است. تصاویر حاصل از آزمون متالوگرافی با میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی نشان می‌دهد که مقدار پرلیت ناحیه پاس سطح جوش و منطقه تحت تاثیر حرارت نزدیک فلز جوش نسبت به فلز اصلی به‌ترتیب ۲۹ و ۸ درصد کاهش داشته است. میزان ازدیاد طول جوش نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی و فلز پایه به ترتیب ۷۵ و ۲۳ درصد افزایش داشته است. مقدار افزایش کربن، وانادیوم و تیتانیوم در منطقه جوش نسبت به فلز اصلی در موقعیت ۳-۴/۳۰ به ترتیب برابر با ۰/۰۲ ، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۶ می باشد.

کلمات کلیدی: آنیل کردن، فولاد کم آلیاژ استحکام بالا، خطوط انتقال گاز ، جوش سر به سر.

Experimental Determination of the Annealing Effect on Critical Area of HSLA Multi-Pass Girth Weld at Natural Gas Pipelines

M. Sabokrouh

Faculty of Engineering, Mahallat Institute of Higher Education, Mahallat, Iran.

(Received 13 October 2018 ; Accepted 26 November 2018)

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: msabokrouh@mahallat.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

Abstract

Shielded metal arc welding on the high strength low alloy steels in pipelines to transport natural gas from Iran is of great importance. In this article the effects of annealing heat treatment on properties of multi pass welding in different situations (6-4:30 , 4:30-3 , 3-1:30 , 1:30-12) with 36 in outside diameter is evaluated by chemical, metallography, tensile, toughness and hardness. Tensile test results showed the lowest yield strength (Vertical to weld and in position 6-4:30) equal to 348 MPa, and the lowest energy impact (Vertical to weld and in position 1:30-3) equal to 108J. The impact energy alignment to weld had a rate of 12 percent increase before the heat treatment. The amount of hardness variation in different areas and positions is negligible (less than 5 percent). Images of metallographic test made by light and electron microscopes demonstrated that the amount of perlite cap pass weld and heat affected zone near the weld metal were decreased compared to main metal to respectively 29 and 8 percent. The elongation weld of was increased ratio than before the heat treatment in base metal respectively 75 and 23 percent. The increase rate of C, V and Ti in the weld zone according to base metal in situation of 3-4:30 are respectively 0.02, 0.003 and 0.006.

Keywords: Annealing,High Strength Low Alloy Steel, Gas Pipeline, Girth Weld.

1- مقدمه

در بررسی یکپارچگی اتصال جوش سر به سر لوله در صنعت انتقال گاز طبیعی و به منظور رسیدن به نتایج با اطمینان بالا و پرهیز از محافظه‌کاری شدید، خصوصیات فولاد استفاده شده باید مورد بررسی قرار گیرد. این موضوع با توجه به گستردگی و ویژگی های منحصر به فرد فولادهای میکروآلیاژی اهمیت دارد و نمی توان تنها به اطلاعات ارائه شده (از سوی شرکت سازنده فولاد یا لوله) اکتفا کرد. استانداردهای صنعتی از حداقل نتایج نمونه های آزمایشی مختلف نتیجه شده است و معمولا به تنهایی بسیار محافظه کارانه بوده و مقداری از استحکام سازه را لحاظ نمی کنند. از سوی دیگر در برخی شرکت ها ممکن است، فولاد استفاده شده با استاندارد گرید مربوطه تطابق نداشته باشد[۱]. عناصر میکروآلیاژی تمایل بسیار زیادی به ترکیب با کربن و نیتروژن موجود در فولاد دارند. این عناصر همراه با جوش پذیری مناسب به طور موثری استحکام فولاد پایه را افزایش می دهند[۲]. وانادیوم در مقدار کم جهت کنترل شرایط عملیات حرارتی موثر است. فولاد حاصل از ترکیب وانادیم و نیتروژن استحکام بالایی داشته و در دماهای بالا پایداری زیادی از خود نشان می دهد[۳]. نیوبیم استحکام مکانیکی را به روش رسوب سختی بسته به میزان و اندازه کاربیدهای نیوبیم افزایش می دهد[۴]. تیتانیوم با مکانیزم رسوب سختی و به وجود آوردن نیترید تیتانیم، استحکام فولاد را افزایش می دهد. فولادهای میکروآلیاژی تیتانیم دار ساختار ظریفی دارند، بنابراین تیتانیم تاثیر مثبتی روی کنترل اندازه دانه در خلال گرمادهی مجدد دارد. از سوی دیگر افزایش بیشتر تیتانیم بر چقرمگی فولاد اثر منفی دارد، بنابر این میزان تیتانیم باید کنترل شده باشد[۵]. ممکن است جوش بدون عیب باشد، ولی بسیاری از عناصر شیمیایی آن سوخته باشد. جوش علاوه بر کیفیت ظاهری، باید سالم نیز باشد. چنین مواردی می تواند خسارات مالی و جانی قابل توجهی را به همراه داشته باشد[۶]. بنابراین استفاده از آزمون های متنوع متالورژیکی جهت مشخص شدن ترکیب شیمیایی (مانند کوانتومتری)، ریزساختار (متالوگرافی با استفاده از میکروسکپ های نوری و الکترونی) و آزمایش های مختلف مکانیکی جهت مشخص شدن خواص استاتیکی (آزمون کشش)، خواص دینامیکی (آزمون ضربه) و خواص محلی (آزمون سختی سنجی) ضروری به نظر می رسد. این مطلب با توجه به ویژگی و حساسیت فولادهای کم آلیاژ پر استحکام که در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی استفاده می‌شود، اهمیت بیشتری دارد [۷–۸]. به منظور بررسی بهتر جوش سر به سر خطوط انتقال گاز، سبک روح و همکارنش خواص مکانیکی و متالورژیکی موقعیت‌های مختلف لوله (با قطر خارجی ۳۶ اینچ و در ساعت‌های ۱:۳۰ – ۱۲، ۳ – ۱:۳۰، ۴:۳۰ – ۳ و ۴:۳۰ – ۶) برای تعیین منطقه بحرانی، جوش را وسیله آزمایش های کوانتومتری، متالوگرافی، کشش، ضربه و سختی سنجی بررسی کردند. نتایج آزمون کشش، کمترین میزان استحکام نهایی را (در موقعیت ۳ – ۴:۳۰) برابر ۴۶۳

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

مگاپاسکال و کمترین انرژی شکست را (در موقعیت ۱:۳۰ – ۳) برابر ۹۶ ژول ارزیابی میکند که ۶۱ درصد کاهش نسبت به فلز پایه را نشان می‌دهد[۹].

در ادامه سبک روح و همکارنش تاثیر عملیات حرارتی نرماله بر خصوصیات جوش چند پاسه محیطی در موقعیت‌های متفاوت را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد در اثر نرماله کردن مقدار فریت پاس ریشه و سطح جوش به ترتیب ۲۴ و ۶ درصد نسبت به فلز پایه افزایش یافته است. انرژی شکست در راستای عمود بر جوش ۷۰ درصد نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی افزایش داشته است[۱۰].

در عملیات حرارتی آنیلینگ، فولاد های هیپویوتکتوئید (با توجه به مقدار درصد کربن آن) را تا دمای مخصوص (حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بالای خط A3) خود گرم می کنند تا وارد فاز آستنیت شود[۱۱].

سپس به آرامی درون کوره سرد می شود. لذا دانه های فریت بزرگی تشکیل شده و پرلیت (تشکیل شده از آستنیت) خشن یا درشت است[۱۲].

به منظور بررسی دقیق تر در این مقاله تاثیر عملیات حرارتی آنیل کردن جوش محیطی لوله فولادی ایکس ۶۵ (با قطر خارجی ۳۶ و ضخامت ۰/۴۰۶ اینچ مورد استفاده در خطوط انتقال گاز طبیعی ایران) به منظور مشخصه‌سازی خواص مکانیکی و متالورژیکی آن و تعیین ارتباط این خواص با یکدیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2-معرفی لوله فولادی آزمایش شده

لوله فولادی مورد آزمایش از نوع درز جوش مستقیم، گرید ایکس ۶۵، قطر ۳۶ اینچ و ضخامت ۰/۴۰۶ اینچ می‌باشد. در حال حاضر نمونه لوله در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی ایران استفاده می‌شود. فولاد مربوطه از خانواده کم کربن پراستحکام و دارای مقادیر قابل توجهی عناصر میکروآلیاژ شامل تیتانیم، وانادیم و نیوبیوم می باشد. جدول(۱ و ۲) به‌ترتیب آنالیز شیمیایی عناصر موجود در فولاد و خواص مکانیکی لوله آزمایش شده را نشان می‌دهد.

جدول۱- آنالیز شیمیایی عناصر موجود در لوله فولادی ایکس۶۵

نام عنصر	C	V	Nb	Sn	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.10	0.003	0.027	0.004	0.30	0.04	0.02

جدول۲- خواص مکانیکی لوله

استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	استحکام نهایی (مگاپاسکال)	درصد ازدیاد طول	سختی ویکرز
473	570	41	186

3-برش کاری، پخ زنی و آماده سازی

برش‌کاری و پخ زنی لوله ایکس ۶۵ به قطر ۳۶ اینچ براساس استاندارد و توسط ماشین مخصوص برش‌کاری لوله انجام گرفت. شکل(۱) برشکاری لوله را نشان می‌دهد. پس از پخزنی لوله ها توسط ماشین مخصوص برای داشتن جوش سالم و با کیفیت، تمام سطح پخ لوله سنگ زده شد تا عاری از هر گونه اکسید و عیوب دیگر باشد، ضمن این‌که پاشنه جوش نیز بازدید و اصلاح شد. شکل(۲) آماده سازی لوله‌ها جهت اتصال را نشان می دهد.



شکل۱- برش‌کاری لوله



شکل۲-آماده سازی لوله

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

4- معرفی لوله فولادی آزمایش شده

جوشکاری بر روی دو قطعه لوله فولادی میکرو آلیاژ ۵۰ سانتی‌متری از نوع درز جوش مسقیم ایکس ۶۵ با قطر ۳۶ اینچ و ضخامت ۰/۴۰۶اینچ بر اساس استانداردهای ویژه در ۴ پاس، شامل پاس ریشه، گرم، پرکن و سطح و به‌ترتیب با دو الکترود ۳/۲ و ۴ میلی متر از ریشه تا سطح، توسط فرآیند جوشکاری قوس فلزی الکترود پوشش‌دار انجام گردید.

پخ‌زنی بر اساس استاندارد به‌وسیله ماشین مخصوص انجام گرفت و درز جوش برای عاری از هرگونه براده و آلودگی توسط سنگ جت و برس برقی تمیز شد. به علت قطر بالای لوله‌ها، از دو جوشکار با کیفیت مطابق دستورالعمل ویژه جوشکاری تایید شده توسط نتایج تعیین کیفیت فرآیند و دمای پیش‌گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و دمای بین پاسی بین ۱۰۰ الی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. بازرسی چشمی برای هر پاس جداگانه انجام گردید و پس از اتمام جوشکاری آزمون‌های رادیوگرافی و آلتراسونیک از قسمت سرجوش گرفته شد. هیچ‌گونه شیار جانبی و سطحی مشاهده نشد و میزان عیوب زیر حد استاندارد ارزیابی شد. جدول(۳) مشخصات فرآیند جوشکاری در هر پاس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است نوع الکترود در پاس ریشه متفاوت بوده و شدت جریان در هر پاس نسبت به پاس قبل افزایش یافته است. برای مهار لوله‌ها از قید و بند خارجی استفاده شد. طرح پخ و آماده‌سازی لوله‌ها مطابق استاندارد با زاویه پخ ۳۵ درجه و پیشانی پخ ۱/۶ میلی‌متر انجام گردید. شکل(۳ و ۴) به ترتیب قید و بند طرح اتصال جوش و نحوه شرایط فرآیند جوشکاری را نشان می‌دهد.

جدول۳- مشخصات فرآیند جوشکاری در هر پاس

پاس	کلاس الکترود	قطر الکترود	مقدار جریان
ریشه	E6010	3.2	100
گرم	E7010	3.2	125
پرکن	E7010	4	130
سطح	E7010	4	135

فرایند عملیات حرارتی آنیل کردن شامل مراحل حرارت دادن فولاد در دمای آنیل کردن، نگهداری در آن دما، آرام سرد کردن درون کوره و در نهایت خنک کاری در معرض هوا می باشد. برای قرار دادن نمونه ها درون کوره از سیم کشی و آویز استفاده شد.



شکل۳- آماده سازی قید و بند



شکل۴- جوشکاری لوله

سپس نمونه ها روی یک لولهٔ فلزی توسط سیم گیر مطابق شکل آویزان گردید. پس از بستن قطعات به سیم مفتول برای نگهداری آنها در کوره، نمونه را وارد کوره پیشگرم شد و ۳۰ دقیقه در کوره نگهداری گردید. سپس به مدت ۳ دقیقه وارد حمام نمک شد. مذاب داخل کوره از سیانول، پتاسیوم و نمک طعام خوراکی تشکیل شده است. پس از آن قطعه را در کوره

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

پیشگرم به مدت ۱۶ ساعت قرار گرفت. در پایان نمونه ها در معرض هوا قرار داده شد تا کاملا سرد شود. شکل(۵) عملیات آنیل کردن در کوره را نشان می دهد.



شکل ۵- فرآیند عملیات حرارتی آنیل کردن نمونه ها

5- تشریح آزمون های مخرب

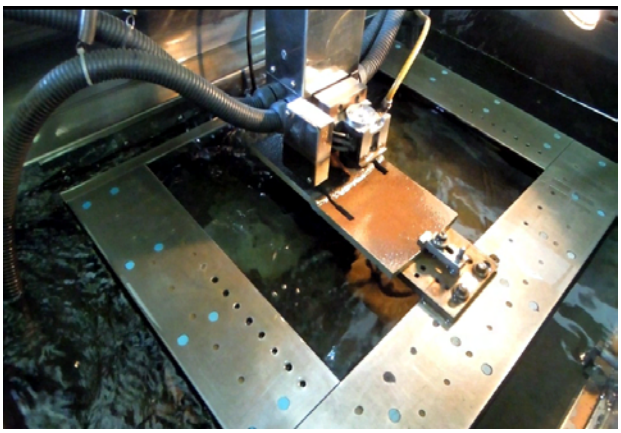
5-1-نمونه سازی

نمونه سازی بر روی جوش لوله با دقت بالا و با کمترین حرارت برش‌کاری توسط دستگاه‌های واترجت و وایرکات انجام گردید. برای برش‌کاری لوله توسط واترجت ابتدا محیط لوله به ۸ قسمت مساوی تقسیم گردید و سپس در ساعت‌های مشخص شده (۱:۴۰، ۳:۱۰، ۴:۴۰، ۶:۱۰، ۷:۴۰، ۹:۱۰، ۱۰:۴۰ و ۱۲:۱۰) برش‌های طولی توسط دستگاه واترجت و با پودر ساینده گرانیت انجام گردید و سپس روی قطعات جدا شده برش‌های عرضی داده شد.



شکل۶- برشکاری لوله توسط واترجت

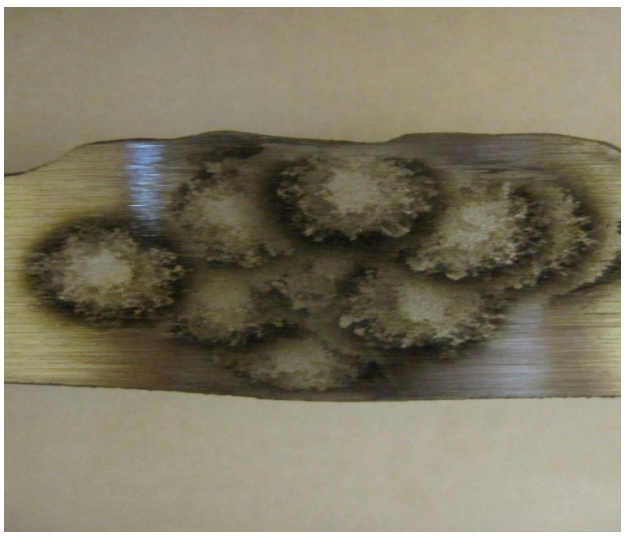
به این ترتیب قطعاتی به طول ۳۰ سانتی‌متری جدا گردید. شکل(۶) برش دستگاه واترجت را نشان می‌دهد. نمونه‌سازی توسط دستگاه وایرکات به‌طور اتوماتیک و در داخل آب مقطر انجام گردید. شکل(۷) برش پلیت اصلی توسط وایرکات را نشان می‌دهد.



شکل۷- برشکاری پلیت اصلی توسط وایرکات

5-2- آزمون کوانتومتری

برای تعیین خواص متالورژیکی، آنالیز شیمیایی جوش در موقعیت‌های مختلف با دستگاه کوانتومتر و به روش اسپکترومتری نشری توسط دستگاه ویژه بر اساس استاندارد در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام گردید. شکل(۸) آزمون کوانتومتری بر روی نمونه جوش را نشان می‌دهد. جداول(۴ الی ۷) نتایج آزمایش کوانتومتری را در نواحی مختلف جوش را نشان می دهد .



شکل۸- نمونه‌های آزمون کوانتومتری

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

جدول۴- ترکیب شیمیایی نمونه در موقعیت ۱۲-۱:۳۰

نام عنصر	C	V	Nb	Ti	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.11	0.004	0.002	0.007	0.10	0.03	0.55

جدول۵- ترکیب شیمیایی نمونه در موقعیت ۱:۳۰ - ۳

نام عنصر	C	V	Nb	Ti	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.11	0.004	0.002	0.008	0.13	0.03	0.58

جدول۶- ترکیب شیمیایی نمونه در موقعیت ۳ - ۴:۳۰

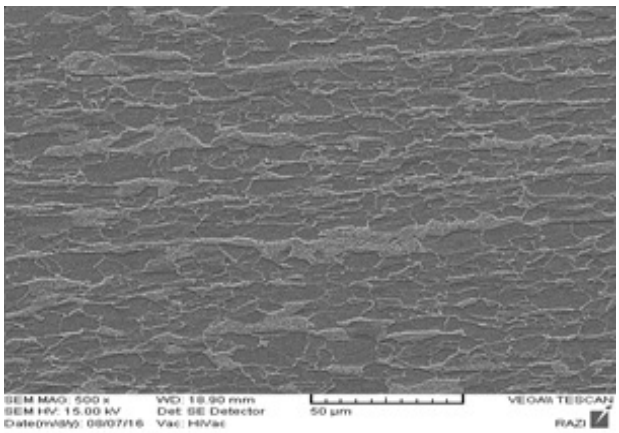
نام عنصر	C	V	Nb	Ti	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.12	0.006	0.002	0.008	0.11	0.03	0.59

جدول۷- ترکیب شیمیایی نمونه در موقعیت ۴:۳۰ - ۶

نام عنصر	C	V	Nb	Ti	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.12	0.004	0.002	0.007	0.10	0.03	0.52

5-3- مشاهده ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی روبشی

بررسی ریزساختار فلز پایه و نمونه‌هایی در راستای عمود بر جوش و در موقعیت‌های(۱۲ - ۱:۳۰)، (۱:۳۰ - ۳)و (۴:۳۰ - ۶) و در مناطق مختلف (ریشه جوش، ناحیه تحت تاثیر حرارت و منطقه جوش) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گردید. شکل(۹) ریزساختار فلز پایه را با بزرگنمایی ۵۰۰ نشان می دهد. شکل(۱۰) تصویر میکروسکوپی نمونه پاس ریشه جوش آنیل شده را با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر نشان می‌دهد.

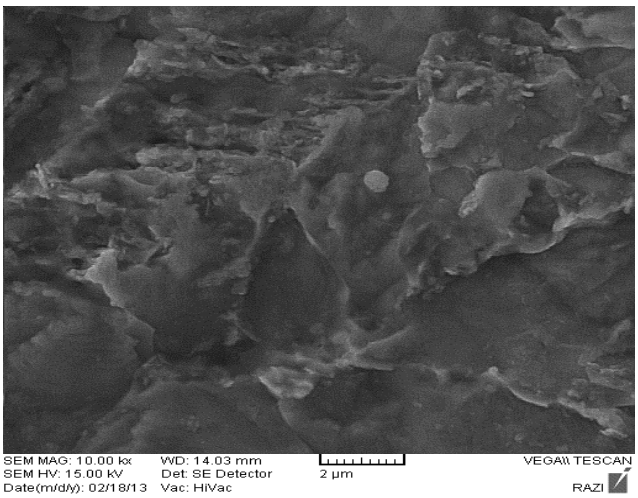


شکل۹- ریزساختار فلز پایه

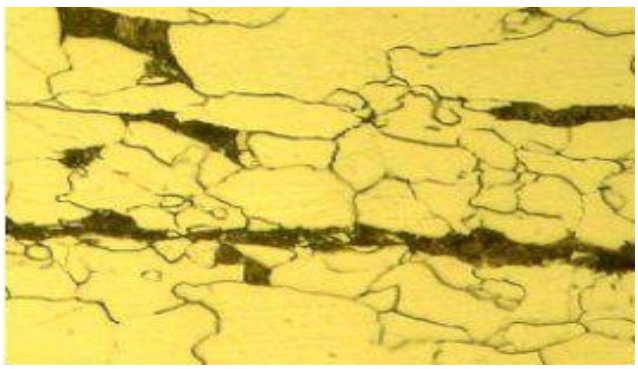
5-4- متالوگرافی

برای مشاهده ساختار فلز پایه، ناحیه جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت از آزمون متالوگرافی استفاده گردید. جهت آزمون متالوگرافی نواحی فوق نمونه طبق استاندارد از روی لوله مورد آزمایش تهیه گردید، به منظور بررسی روند تغییر ریزساختار (از منطقه جوش، مناطق اطراف آن و فلز پایه) تعیین اندازه از میکروسکوپ نوری در موقعیت بحرانی ۴:۳۰ - ۶ استفاده گردید. شکل(۱۱) تصاویر میکروسکوپی فلز پایه را با بزرگنمایی ۵۰۰ نشان می‌دهد.

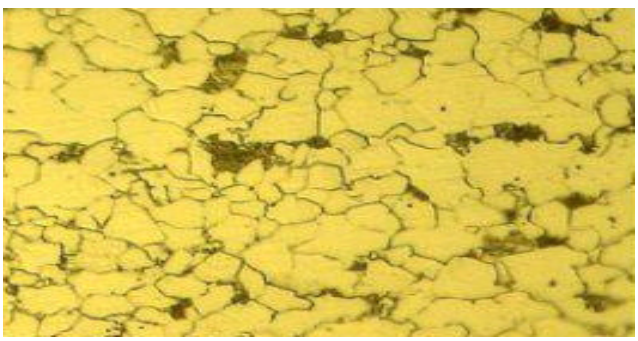
شکل(۱۲ الی ۱۷) به‌ترتیب تصاویر میکروسکوپی ناحیه متاثر ازحرارت مجاور فلز پایه، مجاور فلز جوش، پاس ریشه، گرم، سطح و پرکن را در بزرگنمایی ۵۰۰ نشان می‌دهد.



شکل۱۰- تصاویر میکروسکوپی ،ریشه جوش

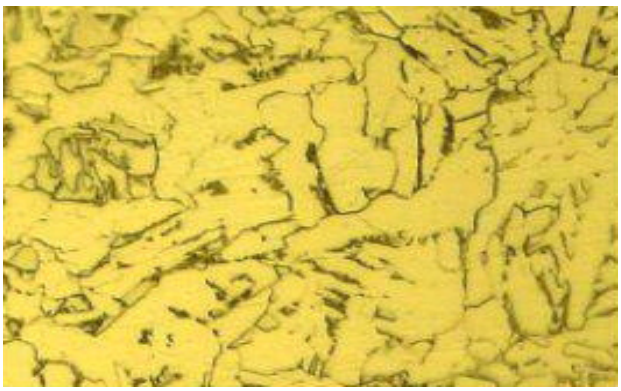


شکل۱۱- تصاویر میکروسکوپی فلز پایه با بزرگنمایی

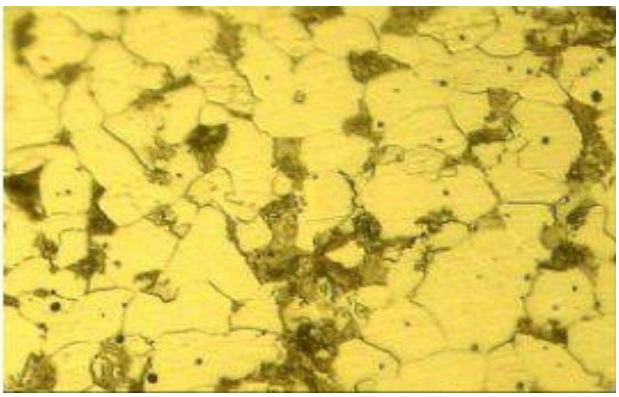


شکل۱۲- تصاویر میکروسکوپی ناحیه متاثر ازحرارت مجاور فلز پایه

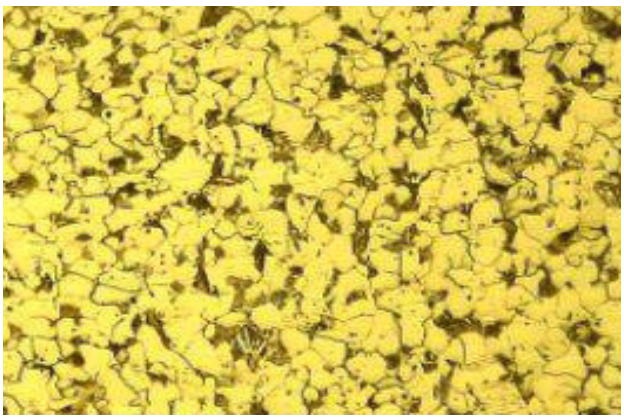
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۱۳- تصاویر میکروسکوپی ناحیه متاثر ازحرارت مجاور جوش



شکل۱۴- تصاویر میکروسکوپی پاس ریشه



شکل ۱۵- تصاویر میکروسکوپی پاس گرم



شکل۱۶- تصاویر میکروسکوپی پاس پرکن



شکل۱۷- تصاویر میکروسکوپی پاس سطح

5-5- آزمون کشش

آزمون کشش بر روی ۷ نمونه (۲ نمونه در راستاهای محوری و محیطی فولاد پایه، ۴ نمونه در راستای عمود بر جوش محیطی و درموقعیت‌های ۱۲ – ۱:۳۰، ۱:۳۰ – ۳، ۳ – ۴:۳۰ و ۴:۳۰ –۶ و یک نمونه در راستای جوش) توسط دستگاه آزمون کشش با ظرفیت ۲۰ تن و با سرعت کشش ۵ میلی‌متر بر دقیقه مطابق استاندارد انجام شد. بر روی نمونه‌های عمود بر جوش، شکست در خارج از منطقه‌ی درز جوش رخ داده بود. مطابق استاندارد نسبت استحکام تسلیم به کششی کمتر از ۰/۸۵ است. شکل(۱۸) در سطح مقطع شکست نمونه‌های آزمون کشش را نشان می دهد. نتایج آزمون کشش در جدول(۸) آمده است .



شکل ۱۸- سطح مقطع شکست نمونه‌ها

5-6- آزمون ضربه شارپی

برای تعیین مقاومت در راستای (طولی و محیطی) فلز پایه و در راستای جوش و در راستای عمود بر جوش توسط ماشین آزمایشگاهی بر اساس استاندارد انجام شد. نتایج بدست آمده انرژی شارپی را بیش از ۹۰ ژول نمایش می‌دهد. شکل(۱۹)

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

نمونه های شکست آزمون ضربه را نشان می‌دهد.نتایج آزمون‌های ضربه در جدول(۹) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که انرژی شارپی نمونه در موقعیت ۱:۳۰ – ۳ عمود بر جوش کاهش یافته است.



شکل۱۹- سطح مقطع شکست نمونه های آزمون ضربه

جدول۸- نتایج آزمون کشش

موقعیت	نمونه	استحکام تسلیم
راستای طولی لوله	فلز پایه	473
راستای محیطی لوله	فلز پایه	472
12 - 1:30	عمود بر جوش	381
1:30 - 3	عمود بر جوش	393
3 - 4:30	عمود بر جوش	376
4:30 - 6	در راستای جوش	411
4:30 - 6	عمود بر جوش	348

موقعیت	نمونه	درصد ازدیاد طول
راستای طولی لوله	فلز پایه	41
راستای محیطی لوله	فلز پایه	34
12 - 1:30	عمود بر جوش	30
1:30 - 3	عمود بر جوش	32
3 - 4:30	عمود بر جوش	25
4:30 - 6	در راستای جوش	42
4:30 - 6	عمود بر جوش	37

7-5-سختی سنجی

برای تعیین میزان سختی فلز پایه، ناحیه تحت تاثیر حرارت و منطقه جوش روی نمونه‌های آزمون (در ساعت‌های ۱۲–۱:۳۰ ، ۱:۳۰ – ۳، ۳ – ۴:۳۰ و ۴:۳۰ – ۶) از روش سختی‌سنجی ویکرز طبق استاندارد انجام شد. جدول(۱۰) عدد سختی فلز اصلی، ناحیه متاثر از حرارت و ناحیه جوش را درموقعیت‌های مختلف نمونه نشان می‌دهد. شماره گذاری از فلز پایه به سمت جوش انجام شده است. نقاط ۷، ۸ و ۹ به ترتیب در پاس های ریشه، پر کن و سطح می باشد.

جدول۹- انرژی شکست نمونه‌های آزمون ضربه جوش سر به‌سر لوله‌ی ایکس ۶۵ در موقعیت‌های مختلف

موقعیت	نمونه	انرژی شکست (ژول)
در راستای طولی لوله	فلز پایه	246
در راستای محیطی لوله	فلز پایه	163
12 - 1:30	در راستای جوش	118
1:30 - 3	در راستای جوش	125
1:30 - 3	عمود برجوش	108
4:30 - 6	عمود برجوش	123
4:30 - 6	در راستای جوش	115

جدول۱۰- عدد سختی فلز اصلی، ناحیه تحت تاثیرحرارت و ناحیه جوش درموقعیت‌های مختلف

	فلز اصلی			ناحیه تحت تاثیر حرارت			ناحیه جوش		
موقعیت	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12 - 1:30	175	178	179	176	177	171	158	159	163
1:30-3	178	177	177	179	174	177	160	151	152
3 - 4:30	182	181	183	187	172	177	165	160	168
4:30 - 6	178	180	172	177	175	174	165	160	167

6- بحث و بررسی

اختلاف آنالیز شیمیایی در فلز پایه و موقعیت‌های مختلف جوش محیطی به ترتیب در جدول‌های(۱ و ۴ الی ۷) قابل مشاهده است. بنابراین وجود خواص مکانیکی و متالورژیکی متفاوت در مناطق گوناگون جوش نسبت به فلز پایه منطقی است. آنالیز شیمیایی در موقعیت‌های مختلف جوش محیطی نیز متفاوت می‌باشد.

این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییر میزان درصد عناصر فلز پایه در موقعیت‌های مختلف بر اساس حرارت ورودی ناشی از شدت جریان الکتریکی، سرعت و نحوه حرکت الکترود

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

جوشکاری باشد. درصد عناصر میکروآلیاژی (تیتانیوم، وانادیم و نیوبیوم) در موقعیت‌های گوناگون تفاوت دارد و این امر سبب تغییر استحکام نهایی و استحکام تسلیم جوش می‌شود. درصد عناصر میکروآلیاژی (تیتانیوم، وانادیم و نیوبیوم) در موقعیت های گوناگون تفاوت دارد و این امر سبب تغییر استحکام تسلیم و استحکام نهایی جوش می‌شود. عنصر نیوبیوم در موقعیت های مختلف جوش نسبت به فلز پایه کاهش داشته است.

با انجام عملیات آنیل کردن عناصر وانادیم و تیتانیوم در موقعیت های مختلف جوش نسبت به فلز پایه افزایش داشته است. عنصر وانادیم در تمام موقعیت‌ها نسبت به فلز پایه افزایش داشته است و مقدار آن در موقعیت‌های ۱۲-۱:۳۰، ۱:۳۰ – ۳ و ۴:۳۰ – ۶ ثابت و در موقعیت ۳ – ۴:۳۰ نسبت به موقعیت‌های دیگر افزایش داشته است. میزان افزایش کربن در موقعیت ساعت‌های ۳- ۴:۳۰ و۴:۳۰ - ۶ بیشتر از موقعیت‌های ۱:۳۰ – ۳ و ۱:۳۰ -۱۲ می‌باشد. تیتانیم در موقعیت‌های ۱:۳۰ – ۳ و ۴:۳۰-۳ جوش بیشتر از نواحی دیگر است. مقدار کاهش عنصر نیوبیوم در موقعیت‌های مختلف نسبت به دیگر فلز پایه یکسان است.

بررسی های ریزساختاری نمونه ها نشان می دهد که ساختار میکروسکوپی در فلز پایه شامل پرلیت و فریت، ناحیه تحت تاثیر حرارت شامل ریزساختار درشت و خشنی از فریت سوزنی و فریت بینیتی و ناحیه جوش شامل فریت سوزنی (ویت من اشتاتن)، فریت مرز دانه‌ای (پرویوتکتوئید) و مقدار کمی بینیت است.

بررسی ریزساختار با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی انجام شده است. روش محاسبه درصد فازی روش نقطه شماری است. ساختار میکروسکوپی در فلز پایه شامل ریز دانه‌های فریت به همراه نواحی پرلیت (۲۴ درصد پرلیت و ۷۶ درصد فریت) می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی ناحیه تحت تاثیر حرارت مجاور به فلز پایه شامل ساختار دانه فریت به همراه نواحی کوچک پرلیت (۲۲ درصد پرلیت و ۷۸درصد فریت) می‌باشد.

تصاویر میکروسکوپی ناحیه تحت تاثیر حرارت مجاور به جوش شامل ساختار ویدمن‌اشتاتن و فریت سوزنی به همراه نواحی کوچک پرلیت (۲۲ درصد پرلیت و ۷۸ درصد فریت) می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی ریشه جوش شامل ساختار درشت دانه فریت به همراه نواحی کوچک پرلیت (۲۱ درصد پرلیت و ۸۱ درصد فریت) می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی پاس گرم‌کن شامل ساختار ریز دانه فریت به همراه نواحی کوچک پرلیت (۲۱ درصد پرلیت و ۸۱ درصد فریت) می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی پاس پرکن شامل ساختار درشت دانه فریت و ردیف‌های پرلیت (۲۰ درصد پرلیت و ۸۰ درصد فریت) می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی پاس سطح شامل ساختار شبکه فریت پرویوتکتوئید و پرلیت (۱۷ درصد پرلیت و ۸۳ درصد فریت) می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول(۸) میزان تغییر طول نمونه عمود بر جوش در موقعیت ۶ – ۴:۳۰ نسبت به فلز پایه ۹ درصد کاهش داشته است. میزان استحکام تسلیم نمونه‌ها در راستای جوش و در راستای عمود بر جوش حداکثر به ترتیب ۱۳ و ۲۶ درصد نسبت به فلز پایه کاهش داشته است. میزان تغییر طول نمونه‌ها در راستای جوش ۲۳ درصد نسبت به فلز پایه افزایش داشته است. مقدار استحکام تسلیم و تغییر طول نمونه عمود بر جوش در موقعیت ۶ – ۴:۳۰ نسبت به فلز نمونه قبل از عملیات حرارتی به ترتیب برابر ۲۳درصد کاهش و ۷۵ درصد افزایش داشته است .

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول(۹) کمترین مقدار انرژی شارپی در نمونه راستای عمود بر جوش و در موقعیت ۳ ۱:۳۰ – برابر ۱۰۸ ژول می‌باشد که از میانگین حداقل داده شده در استاندارد بیشتر است و این موضوع سلامت جوش را تایید می‌کند. کاهش مقاومت به ضربه در موقعیت‌های مختلف جوش محیطی نسبت به فلز پایه رفتار غیرخطی دارد. انرژی شکست نمونه‌ها در راستای جوش و در راستای عمود بر جوش نسبت به فلز پایه به‌ترتیب (۳۰ و ۵۶ درصد) کاهش داشته است. کاهش مقاومت به ضربه در راستای عمود بر جوش تقریبا دو برابر در راستای جوش می‌باشد. نتایج نشان

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

می‌دهد کمترین مقاومت به ضربه نمونه‌ها در راستای عمود بر جوش و راستای جوش به ترتیب در موقعیت ساعت۱:۳۰ – ۳ و ۴:۳۰ – ۶ می باشد.

در اثر عملیات حرارتی آنیل کردن فاصله بین لایه ای نسبتاً زیاد می شود. این نوع میکروساختار باعث کاهش استحکام و افزایش انعطاف پذیری می شود. این تغییرات حرارتی می‌تواند مورفولوژی عناصر محلول در فازها را عوض کند. بنابراین کاهش انرژی شارپی نسبت به فلز پایه در موقعیت‌های مختلف جوش منطقی به‌نظر می‌رسد. جدول(۱۰) نشان دهنده کاهش میزان سختی مناطق تحت تاثیر حرارت (در موقعیت‌های مختلف) نسبت به فلز پایه است. کمترین میانگین مقدار سختی جوش در موقعیت ۱:۳۰–۳ برابر ۱۵۴ ویکرز می‌باشد. در اثر عملیات حرارتی آنیل کردن فاصله بین لایه ای نسبتاً زیاد می‌شود. این نوع میکروساختار باعث کاهش سختی می شود.

7-نتیجه‌گیری

– افزایش کربن در موقعیت های ۳– ۴:۳۰ و۴:۳۰ – ۶ بیشتر از موقعیت های ۱:۳۰ – ۳ و ۱:۳۰ –۱۲ می‌باشد. تیتانیم در موقعیت‌های ۱:۳۰ – ۳ و ۴:۳۰–۳ جوش بیشتر از نواحی دیگر است.

– استحکام تسلیم و تغییر طول نمونه عمود بر جوش در موقعیت۶ – ۴:۳۰ نسبت به فلز نمونه قبل از عملیات حرارتی به ترتیب برابر ۲۳درصد کاهش و ۷۵ درصد افزایش داشته است .

– کمترین مقدار انرژی شارپی در نمونه راستای عمود بر جوش و در موقعیت ۳ ۱:۳۰ – برابر ۱۰۸ ژول می‌باشد انرژی شکست ۱۲ درصد نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی افزایش داشته است .

–کمترین میانگین مقدار سختی جوش در موقعیت ۱:۳۰–۳ برابر ۱۵۴ ویکرز می‌باشد. در اثر عملیات حرارتی آنیل کردن فاصله بین لایه ای نسبتاً زیاد می شود.

– در نواحی مختلف جوش و متاثر از حرارت ساختارهای متنوع متالورژیکی مشاهده‌گردید. ساختار میکروسکوپی فلز پایه، ناحیه تحت تاثیر حرارت نزدیک به فلز پایه، ناحیه تحت تاثیر حرارت نزدیک به فلز جوش، پاس ریشه، پاس گرم کن، پاس پرکن و پاس سطح به‌ترتیب شامل (۲۴، ۲۲، ۲۲، ۲۱، ۲۱، ۲۰ و ۱۷) درصد پرلیت می‌باشد. ساختار میکروسکوپی پاس سطح نسبت به سایر پاس‌ها متفاوت است و دارای ۱۷ درصد پرلیت می‌باشد.

منابع

1- T. Goldman, New joining technology for metal pipe in the construction industry, Construction Industry Institute & Break- through Strategy Committee, Texas, pp. 1-25, 2003 .

2-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.

3-Zhao, M.C., Yang, K., Shan, Y., "The effects of thermo-mechanical control process on microstructures and mechanical properties of a commercial pipeline steel", Materials Science And Engineering A, Vol.335, pp.14-20, 2002.

4-Sun, W., Lu, C., Tieu, A.K., Jiang, Z., Liu, X., Wang, G., "Influence of Nb, V and Ti on peak strain of deformed austenite in Mo-based micro-alloyed steels", Journal of Materials Processing Technology, Vol.125-126, pp.72-76, 2002.

5- Beidokhti. B., Koukabi. A.H., Dolati A., "Effect of titanium addition on the microstructure and inclusion formation in submerged arc welded HSLA pipeline steel", Journal of Materials Processing Technology, Vol.209, pp.4027-4035, 2009.

6-S. H. Hashemi, M. Sabokrouh, M. R. Farahani, Investigation of welding in multi-pass girth welding of thermomechanical steel pipe, Modares Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 60-73, 2013. (in Persian)

7-S. H. Hashemi, M. Sabokrouh, M. R. Farahani, Investigation of welding in multi-pass girth welding of thermomechanical steel pipe, Modares Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 60-73, 2013(in Persian)

8-M. Sabokrouh, S. H. Hashemi, M. R. Farahani, Experimental study of the weld microstructure properties in assembling of natural gas transmission pipelines, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 231, No. 6, pp. 1039-1047, 2017.

9-M. Sabokrouh, A. Ajorloo, Experimental determination of critical area of HSLA multi-pass girth weld at natural gas pipelines, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, , in Press. (in Persian)

10-M. Sabokrouh, M. Saroghi, Experimental investigation of normalizing effect on girth weld

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]

weldability in gas pipelines, Journal of Welding Science and Technology of Iran, in Press. (in Persian)
11-M. Leitner, S. Gerstbrein, M. Ottersböck, M.Stoschka, Fatigue Strength of HFMI-treated and Stress-relief Annealed High-strength Steel Weld Joints, Procedia Engineering, Vol. 133, pp. 477-484, 2015.
12-M.Soliman, H. Palkowski, Microstructure development and mechanical properties of medium carbon carbide-free bainite steels, Procedia Engineering, Vol.81, pp. 1306 – 131, 2014.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-10-30]