

## تعیین تجربی اثر آنیل کردن بر منطقه بحرانی جوش سر به سر چند پاسه لوله فولاد کم 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

جویشکاری قوس فلزی الکتروود پوشش دار 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 ۳-۱/۳۰، ۴/۳۰-۶، ۳-۷/۳۰، ۳-۱/۳۰ و ۱۲-۱/۳۰) با قطر خارجی ۳۶ اینچ 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 ۳-۱/۳۰) برابر ۱۰۸ ژول ارزیابی می‌کند. انرژی شکست ۱۲ درصد نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی راستای عمود بر جوش و در موقعیت ۳-۱/۳۰ برابر ۴/۳۰-۶) برابر ۳۴۸ مگاپاسکال و کمترین انرژی شکست را (در راستای عمود بر جوش و در موقعیت ۳-۱/۳۰) برابر ۱۰۸ ژول ارزیابی می‌کند. 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 به ترتیب 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 ۳-۱/۳۰-۴ به ترتیب برابر با ۰/۰۲، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۶ می‌باشد.

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

## 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

ظرفی 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 [5]. 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 [6]. 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 می شود، اهمیت بیشتری دارد [7-8]. به منظور بررسی بهتر جوش سر به سر خطوط انتقال گاز، سبک روح و همکارانش خواص مکانیکی و متالورژیکی موقعیت های مختلف لوله (با قطر خارجی 36 اینچ و در ساعت های 1:30 - 12، 3 - 1:30، 4:30 - 3 و 4:30 - 6) 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 3 - 4:30) برابر 463

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 محافظه کاری 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 معمولاً 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 [1]. 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 [2]. 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 [3]. نیویم استحکام مکانیکی را به روش رسوب سختی بسته به میزان و اندازه کاربیدهای نیویم افزایش می دهد [4]. تیتانیوم با مکانیزم رسوب سختی و به وجود آوردن نیتريد تیتانیم، استحکام فولاد را افزایش می دهد. فولادهای میکروآلیاژی تیتانیم دار ساختار

جدول ۱- آنالیز شیمیایی عناصر موجود در لوله فولادی ایکس ۶۵

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

جدول ۲- 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

برش کاری و پخ زنی لوله ایکس ۶۵ به قطر ۳۶ اینچ براساس استاندارد و توسط ماشین مخصوص برش کاری لوله انجام گرفت. شکل (۱) برشکاری لوله را نشان می دهد. 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 این که پاشنه جوش نیز بازدید و اصلاح شد. شکل (۲) آماده سازی لوله ها جهت اتصال را نشان می دهد.



شکل ۱- برش کاری لوله



شکل ۲- آماده سازی لوله

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 می دهد [۹].

در ادامه سبک روح و همکارانش تاثیر عملیات حرارتی نرماله بر خصوصیات جوش چند پاسه محیطی در موقعیت های متفاوت را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد 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 هیپووتکتوئید (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 مشخصه سازی خواص مکانیکی و متالورژیکی آن و تعیین ارتباط این خواص با یکدیگر مورد بررسی قرار می گیرد.

### 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 می باشد. در حال حاضر نمونه لوله در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی ایران استفاده می شود. فولاد مربوطه از خانواده کم کربن پر استحکام و دارای مقادیر قابل توجهی عناصر میکروآلیاژ شامل تیتانیم، وانادیم و نیوبوم می باشد. جدول (۱ و ۲) به ترتیب آنالیز شیمیایی عناصر موجود در فولاد و خواص مکانیکی لوله آزمایش شده را نشان می دهد.

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.



شکل ۳- آماده سازی قید و بند



شکل ۴- جوشکاری لوله

سپس نمونه ها روی یک لوله 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

#### ۴- معرفی لوله فولادی آزمایش شده

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

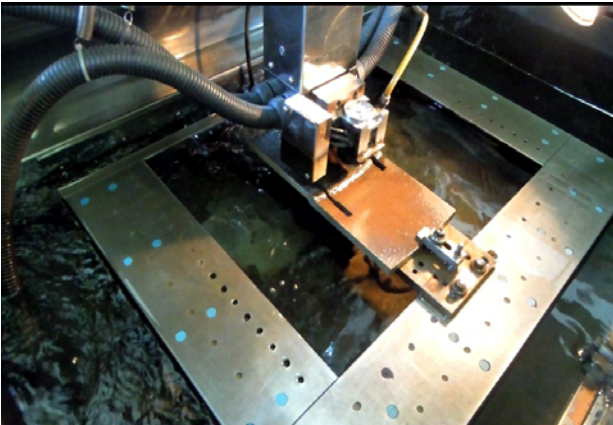
پیخ زنی بر اساس استاندارد به وسیله ماشین مخصوص انجام گرفت و درز جوش برای عاری از هرگونه براده و آلودگی توسط سنگ جت و برس برقی تمیز شد. به علت قطر بالای لوله ها، از دو جوشکار با کیفیت مطابق دستورالعمل ویژه جوشکاری تایید شده توسط نتایج تعیین کیفیت فرآیند و دمای پیش گرم ۱۰۰ درجه سانتی گراد و دمای بین پاسی بین ۱۰۰ الی ۲۵۰ درجه سانتی گراد استفاده شد. بازرسی چشمی برای هر پاس جداگانه انجام گردید و پس از اتمام جوشکاری آزمون های رادیوگرافی و آلتراسونیک از قسمت سر جوش گرفته شد. هیچ گونه شیار جانبی و سطحی مشاهده نشد و میزان عیوب زیر حد استاندارد ارزیابی شد. جدول (۳) مشخصات فرآیند جوشکاری در هر پاس را نشان می دهد. همان طور که در جدول مشخص است نوع الکتروود در پاس ریشه متفاوت بوده و شدت جریان در هر پاس نسبت به پاس قبل افزایش یافته است. برای مهار لوله ها از قید و بند خارجی استفاده شد. طرح پیخ و آماده سازی لوله ها مطابق استاندارد با زاویه پیخ ۳۵ درجه و پیشانی پیخ ۱/۶ میلی متر انجام گردید. شکل (۳ و ۴) به ترتیب قید و بند طرح اتصال جوش و نحوه شرایط فرآیند جوشکاری را نشان می دهد.

جدول ۳- مشخصات فرآیند جوشکاری در هر پاس

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

فرآیند عملیات حرارتی آنیل کردن شامل مراحل حرارت دادن

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.



شکل ۷- 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 می‌دهد.



شکل ۸- نمونه‌های آزمون کوانتومتری

پیشگرم به مدت ۱۶ ساعت قرار گرفت. در پایان نمونه‌ها در معرض هوا قرار داده شد تا کاملاً سرد شود. شکل (۵) عملیات آنیل کردن در کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۵- فرآیند عملیات حرارتی آنیل کردن نمونه‌ها

## 5- تشریح آزمون‌های مخرب

### 5-1- نمونه‌سازی

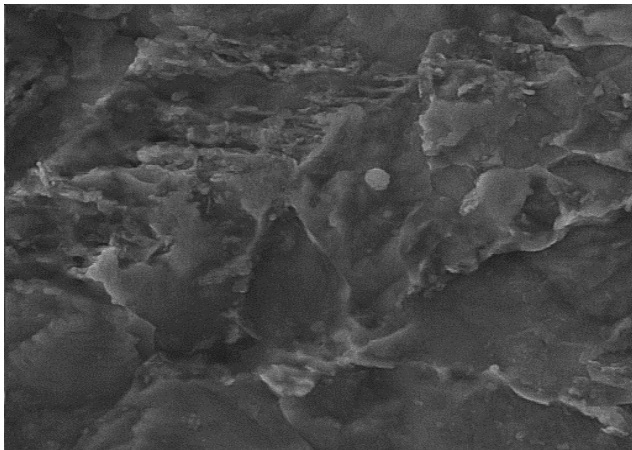
نمونه‌سازی بر روی جوش لوله با دقت بالا و با کمترین حرارت برشکاری توسط دستگاه‌های واترجت و وایرکات انجام گردید. برای برشکاری لوله توسط واترجت ابتدا محیط لوله به ۸ قسمت مساوی تقسیم گردید و سپس در ساعت‌های مشخص شده (۱:۴۰، ۳:۱۰، ۴:۴۰، ۶:۱۰، ۷:۴۰، ۹:۱۰، ۱۰:۴۰ و ۱۲:۱۰) برش‌های طولی توسط دستگاه واترجت و با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



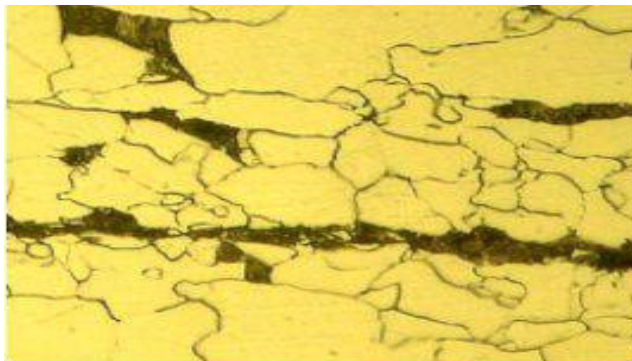
شکل ۶- برشکاری لوله توسط واترجت

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.

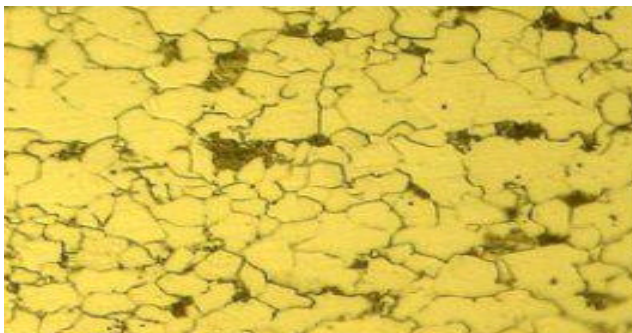
شکل (۱۲) الی (۱۷) به ترتیب تصاویر میکروسکوپی ناحیه متأثر از حرارت مجاور فلز پایه، مجاور فلز جوش، پاس ریشه، گرم، سطح و پرکن را در بزرگنمایی ۵۰۰ نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی، ریشه جوش



شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپی فلز پایه با بزرگنمایی



شکل ۱۲- تصاویر میکروسکوپی ناحیه متأثر از حرارت مجاور فلز پایه

جدول ۴- 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

جدول ۵- 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

جدول ۶- ترکیب شیمیایی نمونه در موقعیت ۳ - ۴:۳۰

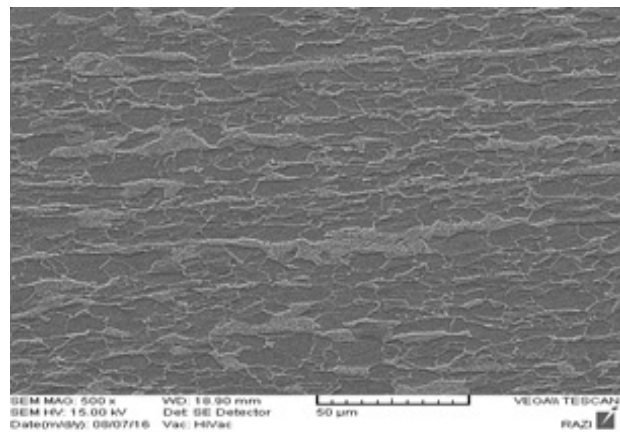
نام عنصر	C	V	Nb	Ti	Si	Cu	Ni
درصد وزنی	0.12	0.006	0.002	0.008	0.11	0.03	0.59

جدول ۷- 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

### 3-5- مشاهده ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی روبشی

بررسی ریزساختار فلز پایه و نمونه‌هایی در راستای عمود بر جوش و در موقعیت‌های (۱۲ - ۱:۳۰)، (۳ - ۱:۳۰) 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 می‌دهد. شکل (۱۰) تصویر میکروسکوپی نمونه پاس ریشه جوش آئیل شده را با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر نشان می‌دهد.



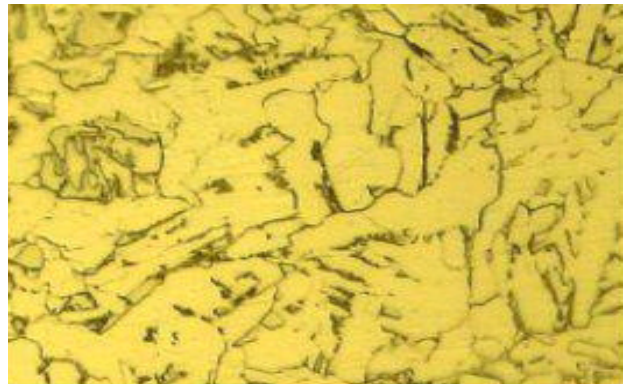
شکل ۹- ریزساختار فلز پایه

### 4-5- 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



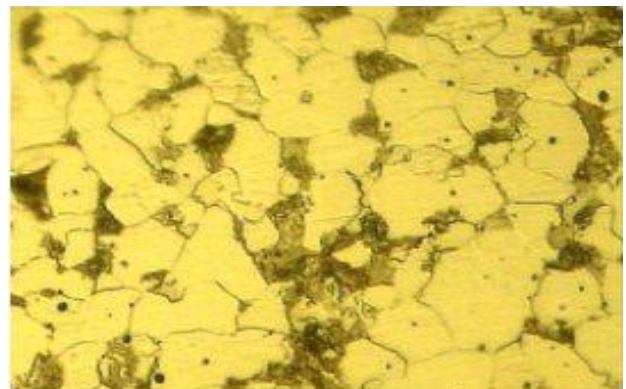
شکل ۱۷- تصاویر میکروسکوپی پاس سطح



شکل ۱۳- تصاویر میکروسکوپی ناحیه متأثر از حرارت مجاور جوش

### 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 می‌دهد. نتایج آزمون کشش در جدول (۸) آمده است.



شکل ۱۴- تصاویر میکروسکوپی پاس ریشه



شکل ۱۵- تصاویر میکروسکوپی پاس گرم



شکل ۱۸- سطح مقطع شکست نمونه‌ها



شکل ۱۶- تصاویر میکروسکوپی پاس پرکن

### 5-6- آزمون ضربه شاریپی

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 شاریپی را بیش از ۹۰ ژول نمایش می‌دهد. شکل (۱۹)

، ۱:۳۰ - ۳، ۳ - ۴:۳۰ و ۴:۳۰ - ۶ از روش سختی سنجی ویکرز طبق استاندارد انجام شد. جدول (۱۰) عدد سختی فلز اصلی، ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه جوش را در موقعیت‌های 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.

جدول ۹- انرژی شکست نمونه‌های آزمون ضربه جوش سر به سر 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 بر جوش	108
4:30 - 6	عمود بر جوش	123
4:30 - 6	در راستای جوش	115

جدول ۱۰- عدد سختی فلز اصلی، ناحیه تحت تاثیر حرارت و ناحیه جوش

در موقعیت‌های مختلف

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

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



شکل ۱۹- سطح مقطع شکست نمونه های آزمون ضربه

جدول ۸- 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

## 5-7- سختی سنجی

برای تعیین میزان سختی فلز پایه، ناحیه تحت تاثیر حرارت و منطقه جوش روی نمونه‌های آزمون (در ساعت‌های ۱۲-۱:۳۰)



تصاویر میکروسکوپی ناحیه تحت تاثیر حرارت مجاور به جوش شامل ساختار ویدمن‌اشتن 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 پایه قبل از عملیات حرارتی به ترتیب برابر ۲۳ درصد 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 به ترتیب (۳۰ و ۵۶ درصد) کاهش داشته است. کاهش مقاومت به ضربه در راستای عمود بر جوش تقریباً دو برابر در راستای جوش می‌باشد. نتایج نشان

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 موقعیت‌های گوناگون تفاوت دارد و این امر سبب تغییر استحکام تسلیم و استحکام نهایی جوش می‌شود. عنصر نیوبیوم در موقعیت‌های مختلف جوش نسبت به فلز پایه کاهش داشته است.

با انجام عملیات آنیل کردن عناصر وانادیم و تیتانیوم در موقعیت‌های 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، ۳-۱:۳۰ 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 و ۴:۳۰ - ۶ بیشتر از موقعیت‌های ۳ - ۱:۳۰ و ۱۲-۱:۳۰ می‌باشد. تیتانیوم در موقعیت‌های ۳ - ۱:۳۰ و ۳-۴:۳۰ جوش بیشتر از نواحی دیگر است. مقدار کاهش عنصر نیوبیوم در موقعیت‌های مختلف نسبت به دیگر فلز پایه یکسان است.

بررسی‌های ریزساختاری نمونه‌ها نشان می‌دهد 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 من‌اشتن)، 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 ۷۸ درصد فریت) می‌باشد.

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 به ترتیب شامل (۲۴، ۲۲، ۲۱، ۲۱، ۲۰ و ۱۷) درصد پرلیت می باشد. ساختار میکروسکوپی پاس سطح نسبت به سایر پاس ها متفاوت است و دارای ۱۷ درصد پرلیت می باشد.

#### 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

می دهد کمترین مقاومت به ضربه نمونه ها در راستای عمود بر جوش و راستای جوش به ترتیب در موقعیت ساعت ۱:۳۰ - 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 می تواند مورفولوژی عناصر محلول در فازها را عوض کند. بنابراین کاهش انرژی شارپی نسبت به فلز پایه در موقعیت های مختلف جوش منطقی به نظر می رسد. جدول (۱۰) نشان دهنده کاهش میزان سختی مناطق تحت تاثیر حرارت (در موقعیت های مختلف) نسبت به فلز پایه است. کمترین میانگین مقدار سختی جوش در موقعیت ۱:۳۰ - ۳ برابر ۱۵۴ ویکرز می باشد. در اثر عملیات حرارتی آنیل کردن فاصله بین لایه ای نسبتاً زیاد می شود. این نوع میکروساختار باعث کاهش سختی می شود.

#### 7- نتیجه گیری

- افزایش کرنش در موقعیت های ۳ - ۴:۳۰ و ۴:۳۰ - ۶ بیشتر از موقعیت های ۱:۳۰ - ۳ و ۱۲ - ۱:۳۰ می باشد. تیتانیوم در موقعیت های ۱:۳۰ - ۳ و ۳ - ۴:۳۰ جوش بیشتر از نواحی دیگر است.
- 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 ۲۳ درصد 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 می باشد 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 می باشد. 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 مشاهده گردید. ساختار میکروسکوپی فلز

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.

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,