

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



The Effect of Titanium on the Mechanical Properties of High Strength Weld Metal Electrode E-12018M2

Abstract

The effect of titanium on strength and impact energy of the weld metal to produce E12018-M2 electrode for HSLA-100 SMA Welding was investigated. In this study 0.04-0.06 %wtC, 0.4-0.5 %wtSi, 1-1.2 %wtMn, 3-3.2 %wtNi, 0.7 %wtMo, 0.3 %wtCr and about 90 ppm Ti was as chemical composition optimization. The increase of titanium from 90 to 400 ppm caused increasing in inclusion volume ratio and the difference between volume ratio inclusions in top bead and reheated beads. Also with increasing concentration of the titanium and tendency of this element to react with oxygen, the concentration of titanium within the inclusions increases. With increasing titanium, manganese and silicon concentrations in inclusions reduce and increase the concentration of these two elements in the weld metal. In addition, the voltage of 23 V, the current of 160-175 A, preheat and inter-pass temperature of 107-120°C and welding speed of 2-3 mm/S are known as appropriate welding parameters for welding E12018-M2 electrode without cracks.

Keywords: SMAW, HSLA-100 Welding, E12018-M2 electrode, Inclusion.

تأثیر تیتانیوم بر خواص مکانیکی فلز جوش الکتروستحکام بالای E-۱۲۰۱۸M۲

چکیده

این پژوهش به منظور یافتن مقدار بهینه عنصر تیتانیوم و بررسی تأثیر آن بر استحکام و انرژی ضربه فلز جوش در تولید الکتروستحکام E-۱۲۰۱۸M۲ جهت جوشکاری ورق فولادهای استحکام بالا به روش جوشکاری الکتروستحکام دستی صورت گرفته است. در این تحقیق در حضور ۰/۰۴-۰/۰۵ wt% Si، ۰/۴-۰/۵ wt% Mn، ۱-۱/۲ wt% Ni، ۳-۳/۲ wt% Mo و ۰/۷ wt% Cr، مقدار ۹۰ ppm Ti به عنوان ترکیب شیمیایی بهینه به دست آمد. افزایش تیتانیوم از ۹۰ تا ۴۰۰ ppm باعث شد که اختلاف مقدار آخال‌ها بین پاس‌های و پاس‌های میانی و همچنین نسبت حجمی آخال‌ها افزایش یابد. با افزایش غلظت تیتانیوم و تمایل بیشتر این عنصر به واکنش با اکسیژن، غلظت این عنصر درون آخال‌ها و سرباره ناشی از جوش الکتروستحکام افزایش یافت. افزایش تیتانیوم و خارج شدن منگنز و سیلیسیم درون آخال‌ها و سرباره موجب افزایش غلظت این دو عنصر در فلز جوش و در نتیجه افزایش استحکام و سختی و کاهش انرژی ضربه فلز جوش شد. علاوه بر این ولتاژ ۲۳۷، شدت جریان ۱۶۰A-۱۷۵، دمای پیشگرم و بین پاسی ۱۰۷-۱۲۰°C و سرعت جوشکاری ۳-۲ mm/S به عنوان پارامترهای جوشکاری مناسب برای جوشکاری دستی با الکتروستحکام E-۱۲۰۱۸M۲ بدون ترک مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری قوس الکتروستحکام (SMAW)، جوشکاری HSLA-۱۰۰، الکتروستحکام E-۱۲۰۱۸، انرژی ضربه، آخال.

Conference 2014

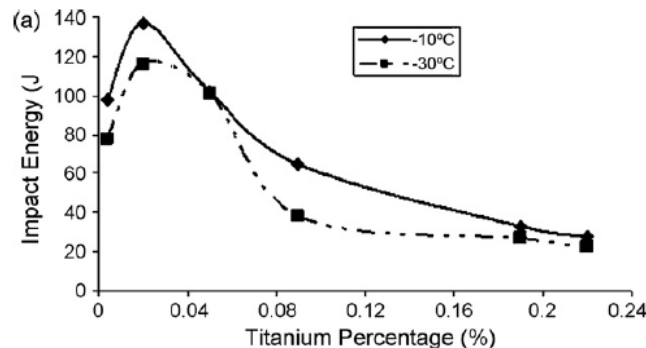
مقدمه

تحقیقات متعددی به منظور یافتن میزان و نحوه اثرگذاری عناصر مختلف از جمله کربن، منگنز، نیکل، کروم و مولیبدن بر خواص فیزیکی و مکانیکی فلز جوش در جوشکاری فولاد HSLA-۱۰۰ انجام شده است. یکی از عناصری که از یک طرف در مقادیر بسیار اندک (کمتر از ۱/۰ wt.%) تأثیر زیادی بر خواص فلز جوش دارد و از طرف دیگر نحوه اثرگذاری آن بر فلز جوش تحت تأثیر میزان سایر عناصر آلیاژی است، تیتانیوم می‌باشد. در این تحقیق تأثیر مقدار تیتانیوم بر خواص مکانیکی، میزان سایر عناصر و اندازه و نسبت آخال‌ها در میکروساختار فلز جوش بررسی شده است. هدف از این تحقیق یافتن مناسب‌ترین مقدار تیتانیوم از طریق بررسی تأثیر این عنصر بر خواص مکانیکی و آخال‌های فلز جوش به نحوی است که بالاترین انرژی ضربه در الکتروود ۱۸M۲۰-۱۲۰ E به دست آید.

پیشینه پژوهش

آخال‌ها^۱ به عنوان یک فاکتور مهم در کنترل میکروساختار و چقرمگی فلز جوش شناخته شده‌اند. این آخال‌ها در استحاله آستنیت به فریت سوزنی نقش مکان‌های جوانه‌زنی فاز فریت را به عهده دارند. در صورتی که تیتانیوم در فلز جوش کم باشد، عمده‌ترین عناصر درون این آخال‌ها منگنز و سیلیسیم به صورت ترکیبات MnO، MnS و SiO_۲ خواهند بود. با افزایش تیتانیوم در مقادیر بیشتر از ۲۳۰ ppm، این عنصر در آخال‌ها به صورت TiN، Ti_۲O_۳ و TiC جایگزین منگنز و سیلیسیم شده و بدین ترتیب غلظت این دو عنصر در فلز جوش افزایش می‌یابد. در حضور تقریباً ۷۰۰ ppm تیتانیوم مقدار این عنصر در آخال‌ها تا حدود ۶۰-۷۰ wt.٪ افزایش می‌یابد [Bose-Filho, Carvalho and Strangwood, 2007]. با افزایش تیتانیوم مقادیر سختی، تنش تسلیم و حد نهایی کشش افزایش و حد نهایی کرنش کاهش خواهند یافت. تأثیر مقدار تیتانیوم بر انرژی ضربه در فلز جوش دارای ۰/۰۶ wt.٪ کربن و ۲/۰ wt.٪ نیکل در شکل ۱ مشخص شده است. در این شکل مقدار منگنز در حضور ۴۰ ppm تیتانیوم، ۱/۹۰ wt.٪ و در حضور ۲۲۰ ppm تیتانیوم، ۲/۲۹ wt.٪ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در ابتدا افزایش تیتانیوم موجب افزایش انرژی ضربه و مقاومت به ترک هیدروژنی می‌گردد. مکانیزم این پدیده به این صورت است که پراکندگی مناسب آخال‌های اکسیدی تیتانیوم، محل مناسبی برای رسوب‌های TiC و TiN می‌باشد. رسوبات ریز TiC موجب پراکندگی مناسب سختی و افزایش مقاومت به آثار مخرب هیدروژن در محیط‌های دارای H_۲ و H_۲S می‌گردد [Beidokhti, Koukabi and Dolati, 2009]. TiC و MnS به ترتیب دام‌های موقتی و دائم برای به دام انداختن هیدروژن هستند. پس جایگزینی MnS بوسیله TiC باعث تبدیل دام‌های موقتی هیدروژن به دام‌های دائمی شده و در نتیجه مقاومت فلز جوش به ترک هیدروژنی افزایش می‌یابد.

¹ inclusions



شکل ۱- تأثیر مقدار تیتانیوم در انرژی ضربه فلز جوش [Beidokhti, 2009].

همچنین مطابق نمودار الینگهام تمایل اکسیژن به واکنش با تیتانیوم بیشتر از منگنز است و به همین دلیل در واکنش‌های درون حوضچه مذاب تیتانیوم بیشتر از منگنز اکسید شده و به سرباره حاصل از جوشکاری می‌رود. واکنش کمتر با اکسیژن موجب افزایش بازیابی عنصر منگنز شده و غلظت این عنصر را در فلز جوش افزایش می‌دهد [Gaskell, 2003]. همانطور که ذکر شد، حضور تیتانیوم به علت آزاد شدن منگنز از درون آخال‌ها و سرباره منجر به افزایش غلظت این عنصر در فلز جوش می‌شود. در ابتدا با افزایش منگنز انرژی ضربه افزایش می‌یابد. اما سپس با افزایش بیشتر مقدار منگنز و عبور از حد بهینه با افت انرژی ضربه مواجه خواهیم شد. در این حالت مقدار زیاد منگنز موجب تشکیل فریت همراه با میکروفازهای مارتنزیت/آستنیت و بینیت می‌گردد که علت آن افزایش عناصر آلیاژی و سختی‌پذیری است. همچنین افزایش تیتانیوم در مقادیر بیشتر از حد بهینه ابتدا باعث افت انرژی ضربه می‌گردد ولی در مقادیر بیشتر از یک حد مشخص (در این حالت ۹۰۰ ppm) دیگر اثر زیادی بر انرژی ضربه ندارد.

در مجموع کاهش انرژی ضربه در مقادیر بالای تیتانیوم به دو علت عمده می‌باشد:

- ۱- افزایش منگنز ناشی از بهبود بازیابی این عنصر به علت افزایش تیتانیوم.
 - ۲- اثر استحکام بخشی تیتانیوم به علت رشد بیش از حد بهینه ذرات با زمینه تیتانیوم مانند TiC که به علت درشت شدن، تا حدودی مقاومت به تردی فلز جوش را کاهش می‌دهند [Beidokhti, 2009].
- استاندارد مرجع برای تولید الکترودهای فولادی کم آلیاژ برای جوشکاری به روش SMAW، AWS می‌باشد که در آن شرایط تولید الکترودهای خانواده E۱۲۰۱۸-M به صورت کلی ذکر شده است. اما شرایط تولید الکترودهای E۱۲۰۱۸-M به صورت خاص در مشخصه ساخت MILITARY آورده شده است [AWS A5.5, 2006]. مطابق AWS A ۵.۵، کلیه الکترودهای E۱۲۰۱۸-M باید دارای استحکام تسلیم در محدوده ۷۴۵-۸۳۰ MPa و انرژی ضربه ۲۷ J به روش CVN^۲ در دمای ۵۰°C- باشند. این الکترودها به عملیات حرارتی پس از جوشکاری نیازی ندارد اما دمای پیشگرم و بین پاسی باید در محدوده ۹۵-۱۲۰°C باشد. همچنین ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی خواسته شده در MIL-E-۱۰/۲۲۲۰۰C(SH) به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

^۲ Charpy V-Notched

جدول ۱- ترکیب شیمیایی الکتروود E۱۲۰۱۸-M۲ [AWS A5.5, 2006].

درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر
۰.۱۲/۰	S	۴-۵/۱	Ni	۰/۰۷	C
۰.۲۵/۰	P	۶۵/۰	Cr	۸۵/۱-۸۰/۰	Mn
۰.۵/۰	V	۰/۹	Mo	۶۵/۰	Si

جدول ۲- خواص مکانیکی الکتروود E-۱۲۰۱۸-M۲ [AWS A5.5, 2006].

مقدار	خواص مکانیکی	مقدار	خواص مکانیکی
۸۰ J	انرژی ضربه در دمای ۱۸°C -	۷۰۵-۸۵۰ MPa	YS
۶۰ J	انرژی ضربه در دمای ۵۱°C -	بالا تر از ۸۳۰ MPa	UTS
بدون ترک‌های بزرگتر از ۳mm	خمشی جانبی عرضی	۱۸	%E

روش پژوهش

ترکیب شیمیایی مفتول به کار گرفته شده در این تحقیق به روش XRF مورد آنالیز قرار گرفت که نتیجه آن در جدول ۳ آمده است. در این پژوهش همه جوشکاری‌ها به صورت تخت و All Weld انجام شد. جوشکاری با فلز پایه ورق فولادی مطابق ST۵۲-DIN به طول، عرض و ضخامت به ترتیب ۴۰۰، ۱۴۵ و ۱۹mm بود که قبل از انجام جوشکاری برای هر الکتروود ابتدا دو زیرلایه به ضخامت مجموعاً ۵mm اعمال شد و پس از آن جوشکاری با فاصله ریشه و زاویه پخ بین دو ورق به ترتیب ۱۳mm و ۶۰° توسط پشت بند همجنس با فلز پایه انجام شد. ولتاژ و شدت جریان ورودی به ترتیب ۲۳۷ و ۱۷۵A-۱۶۰ و دمای پیشگرم و بین پاسی در محدوده ۱۲۰-۱۰۷°C در همه آزمایش‌ها اعمال شدند. در کلیه جوشکاری‌ها نرخ رسوب‌گذاری الکتروود بین ۳/۸-۴/۵gr/s بدست آمد. الکتروود پس از تولید ابتدا در دمای ۴۰۰°C به مدت یک ساعت و برای خشک شدن چسب رطوبت داده شده و سپس قبل از جوشکاری مجدداً به مدت یک و این بار در دمای ۴۲۰°C به منظور خروج رطوبت و کاهش هیدروژن بازپخت شد. طول و قطر مفتول فولادی مورد استفاده به ترتیب ۳۵ و ۴mm، قطر پوشش الکتروود ۶/۷mm و نوع جریان برق مورد استفاده در این جوشکاری، جریان مستقیم قطب مثبت^۳ بود.

به منظور بررسی میکروساختار فلز جوش توسط میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی نمونه‌های متالوگرافی در صفحه عمود بر جهت جوشکاری تهیه شدند. سطح خط‌چین شده پاس نهایی جوشکاری و سطح مشکی رنگ در مقطع B-B در شکل ۲ نشان دهنده سطح بررسی شده در تصاویر متالوگرافی هستند.

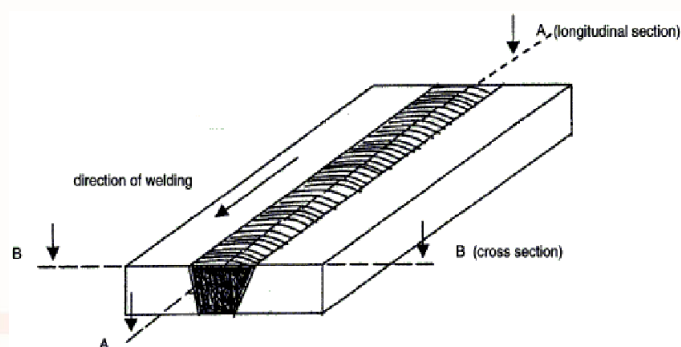
آزمایش میکروسختی به روش ویکرز با بار ۱۰۰grF و زمان اعمال بار ۱۵S بر روی سطح مورد بررسی در متالوگرافی انجام شد. در هر نمونه سختی در دو محل بررسی شد که این دو محل به ترتیب دارای فاصله ۱ و ۱۰mm از بالای نمونه (محل اعمال پاس آخر) بودند. در هر محل از پنج نقطه سختی گرفته شد که بیشترین و کمترین مقدار سختی حذف شده و میانگین سختی سه نقطه دیگر به عنوان عدد سختی گزارش شد.

³dcep

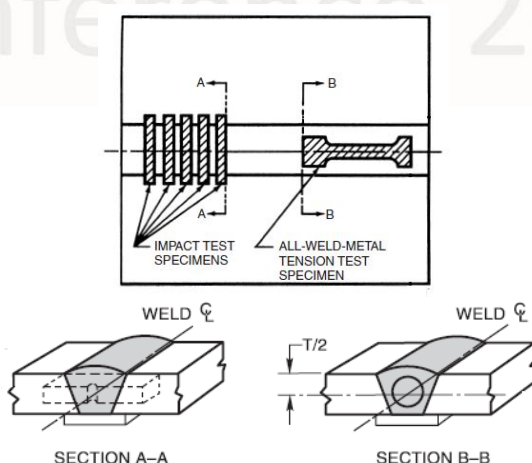
نحوه تهیه نمونه کشش در مقطع B-B و نمونه ضربه نیز در مقطع A-A در شکل ۳ مشخص شده‌اند. آزمایش خمش عرضی جانبی^۴ با زاویه ۱۸۰° و قطر ماندل ۳۸mm انجام شد. جهت آنالیز ترکیب شیمیایی بر روی ورق که قبل از جوشکاری تمیز شده بود ۱۰ لایه جوشکاری شد و سطح جوش به فاصله ۲۲mm بالاتر از فلز پایه قرار گرفت [AWS B4.0M, 2000].

جدول ۳- آنالیز ترکیب شیمیایی مفتول مورد استفاده به روش XRF

مقدار	عنصر شیمیایی	مقدار	عنصر شیمیایی
۰.۵/۰	Cu	۰.۶۱/۰	C
۰.۰۱۷	Cr	۴۵/۰	Mn
۰.۲/۰	Ni	۰.۱/۰	Si
کمتر از حد تشخیص دستگاه	V	کمتر از حد تشخیص دستگاه	P
کمتر از حد تشخیص دستگاه	Ti	۰.۱۵/۰	S



شکل ۲- سطح بررسی شده در تصاویر متالوگرافی



شکل ۳- نحوه تهیه نمونه کشش و ضربه از فلز جوش

⁴Transverse Side Bend

اندازه‌گیری دو عنصر اکسیژن و نیتروژن به روش احتراق و ادغام^۵ انجام شد. طبق این اندازه‌گیری مقدار نیتروژن ۱۱۲ppm و مقدار اکسیژن ۳۳۵ppm در فلز جوش بدست آمد. همچنین مقدار عنصر بور نیز توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد که مقدار آن ۶۵ppm گزارش شد. دستگاه مخصوص اندازه‌گیری کربن و گوگرد (CS) مقدار دقیق این دو عنصر را مشخص کرد. غلظت سایر عناصر به روش XRF به دست آمد. همچنین ترکیب شیمیایی درون آخال‌ها بصورت میانگین سه نقطه از هر نمونه و از طریق آنالیز عنصری میکروسکپ الکترونی روبشی انجام شد و نسبت سطحی این آخال‌ها در سطح مقطع مورد بررسی در تصاویر متالوگرافی توسط نرم افزار Clemex Image Analyser صورت پذیرفت. میانگین ۶ نمونه متالوگرافی شده از هر الکتروود به عنوان نسبت سطحی آخال‌های آن الکتروود گزارش شد. در انتها آزمایش اندازه‌گیری هیدروژن قابل نفوذ انجام شد و مقدار هیدروژن اندازه‌گیری شده در همه نمونه‌ها کمتر از (۱۰۰gr/۳/۵ (ml/ اندازه‌گیری شد [ANSI/AWS A4.3, 1993].

تجزیه و تحلیل داده‌ها

بررسی تأثیر تیتانیوم بر فلز جوش

به منظور بررسی تأثیر عنصر تیتانیوم بر خواص مکانیکی فلز جوش، مقدار تیتانیوم از ۴۰۰ تا ۹۰ppm کاهش داده شد و سایر عناصر بدون تغییر باقی ماندند. خواص مکانیکی الکتروودهای ۱۱-Ama، ۵۱-Ama، ۵۲-Ama و ۵۳-Ama در جدول ۴ آمده است. از بررسی جدول ۴ و مقایسه الکتروودها می‌توان فهمید افزایش تیتانیوم از ۹۰ تا ۴۰۰ppm باعث کاهش درصد تغییر طول و انرژی ضربه می‌گردد و در فلز جوش الکتروودهای مورد بررسی مقدار تیتانیوم بهینه کمتر از ۹۰ppm می‌باشد. همچنین با کاهش تیتانیوم در این ۴ الکتروود باید استحکام نیز کاهش یابد، اما در ۵۲-Ama استحکام و تنش تسلیم نسبت به ۵۳-Ama افزایش یافته که علت آن افزایش مقدار نیکل و مولیبدن و استحکام‌بخشی ناشی از افزایش این دو عنصر در الکتروود ۵۲-Ama می‌باشد. همچنین آزمایش میکروسختی به روش ویکرز برای هر چهار نمونه جوشکاری شده در پاس نهایی (Top Bead) و پاس‌های حرارت دیده (Reheated Bead) انجام شده که نتیجه آن در جدول ۵ آمده است.

بررسی‌های میکروساختاری

بررسی‌های میکروساختاری از پاس نهایی و پاس‌های میانی توسط دو میکروسکپ نوری (OM) و الکترونی روبشی (SEM) انجام پذیرفت که تصاویر آنها در شکل‌های ۴ تا ۷ آورده شده‌اند. همانطور که از تصاویر میکروسکپ الکترونی روبشی مشخص است درون میکروساختار آخال‌هایی مشاهده می‌شوند که در شکل ۸ این آخال‌ها در بزرگنمایی بالاتر مشاهده می‌شوند. ترکیب شیمیایی درون این ذرات توسط آنالیز عنصری میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDX) بر حسب درصد وزنی اندازه‌گیری شد که در جدول ۶ مشخص شده‌اند. همچنین نسبت سطحی آخال‌ها در فلز جوش در سطح مقطع متالوگرافی شده توسط نرم افزار Clemex Image Analyser در پاس نهایی و پاس‌های میانی مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در جدول ۷ آمده است.

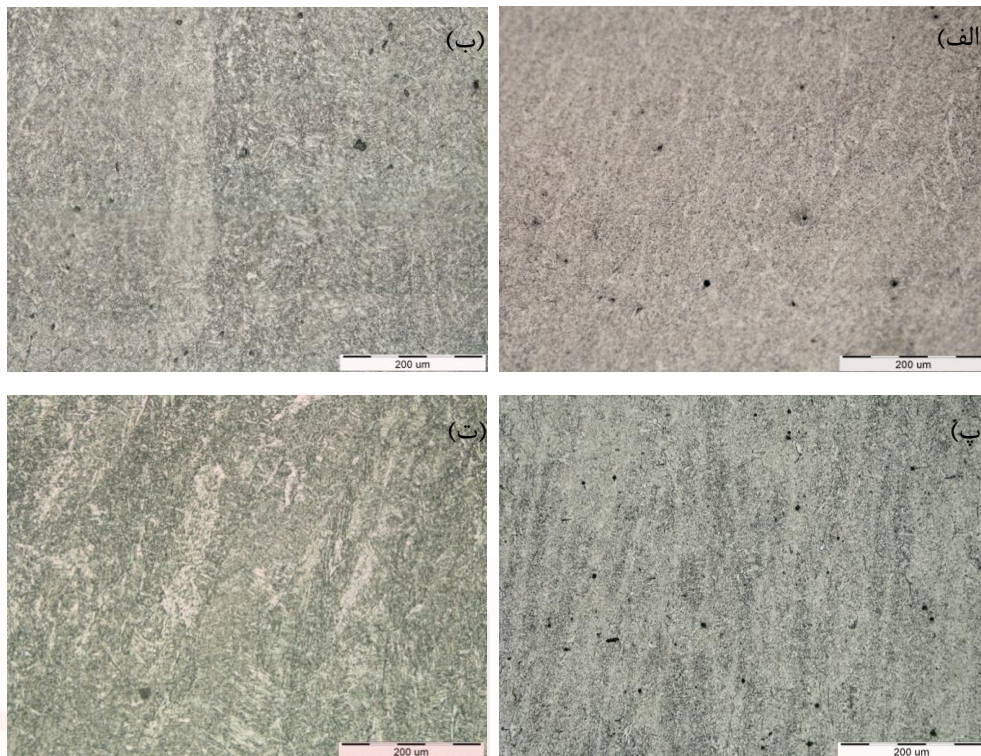
⁵Combustion and Fusion Technic

جدول ۴- ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی الکترودهای Ama-۵۱، Ama-۵۲ و Ama-۵۳.

	Ama-۱۱	Ama-۵۱	Ama-۵۲	Ama-۵۳
Chemical Composition				
Mn	۱/۱	۱/۴	۱/۳	۱/۱
Ni	۳/۵	۳/۲	۳/۷	۳/۱
Si	۰/۴۸	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۴۴
Cr	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۱
Mo	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۷۷	۰/۶۸
C	۰/۰۵۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۳	۰/۰۴۰
Ti	۰/۰۱۲	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۰۹
Nb	کمتر از حد تشخیص دستگاه	کمتر از حد تشخیص دستگاه	۰/۰۰۵	کمتر از حد تشخیص دستگاه
Cu	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴
V	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
S	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳
P	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹
C.E	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۲
Mechanical Properties				
ave. YS (Mpa)	۷۹۶/۵	۸۲۳	۸۶۷	۷۳۹
YS (Mpa)	۷۹۳ و ۸۰۰	۸۱۵ و ۸۳۱	۸۶۷	۷۳۰ و ۷۴۸
ave. UTS (Mpa)	۸۸۱/۵	۸۹۷/۵	۹۳۴	۷۸۸/۵
UTS (Mpa)	۸۶۷ و ۸۹۶	۹۰۲ و ۸۹۳	۹۳۴	۷۸۶ و ۷۹۱
ave. E%	۲۲/۱	۲۱/۳	۲۱	۲۲/۶
E%	۲۲/۲ و ۲۲	۲۱/۶ و ۲۱	۲۱	۲۲/۲ و ۲۳
ave. CVN(J) at -۵۰°C	۶۲	۴۸	۵۷	۷۸
CVN(J) at -۵۰°C	۶۶ و ۶۹، ۵۰، ۶۰، ۶۰	۳۶ و ۵۹، ۳۹، ۵۴، ۵۱	۵۴ و ۶۱، ۵۹، ۵۹، ۵۴	۷۶ و ۸۶، ۷۸، ۷۰، ۸۰

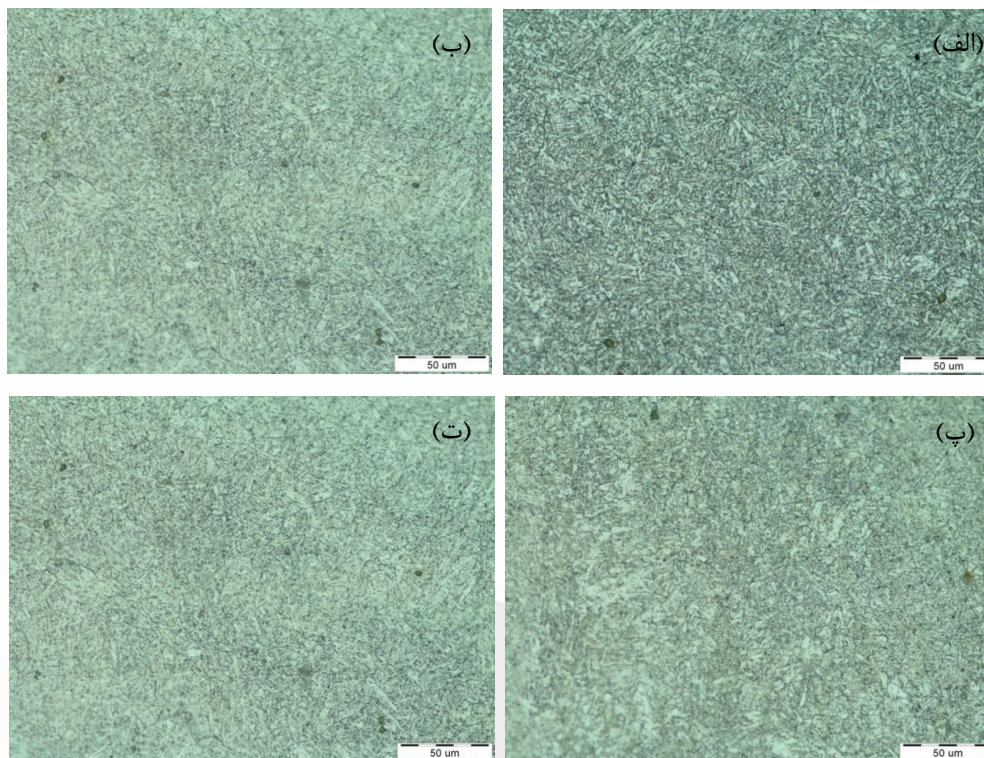
جدول ۵- میکروسختی به دست آمده به روش ویکرز بر روی نمونه‌ها.

الکترو		سختی (HV)	الکترو		سختی (HV)
Ama-۴۱	پاس نهایی	۳۸۲	Ama-۵۲	پاس نهایی	۳۸۷
	پاس های حرارت دیده	۳۶۱		پاس های حرارت دیده	۳۷۸
Ama-۵۱	پاس نهایی	۳۹۰	Ama-۵۳	پاس نهایی	۳۶۴
	پاس های حرارت دیده	۳۸۳		پاس های حرارت دیده	۳۲۸

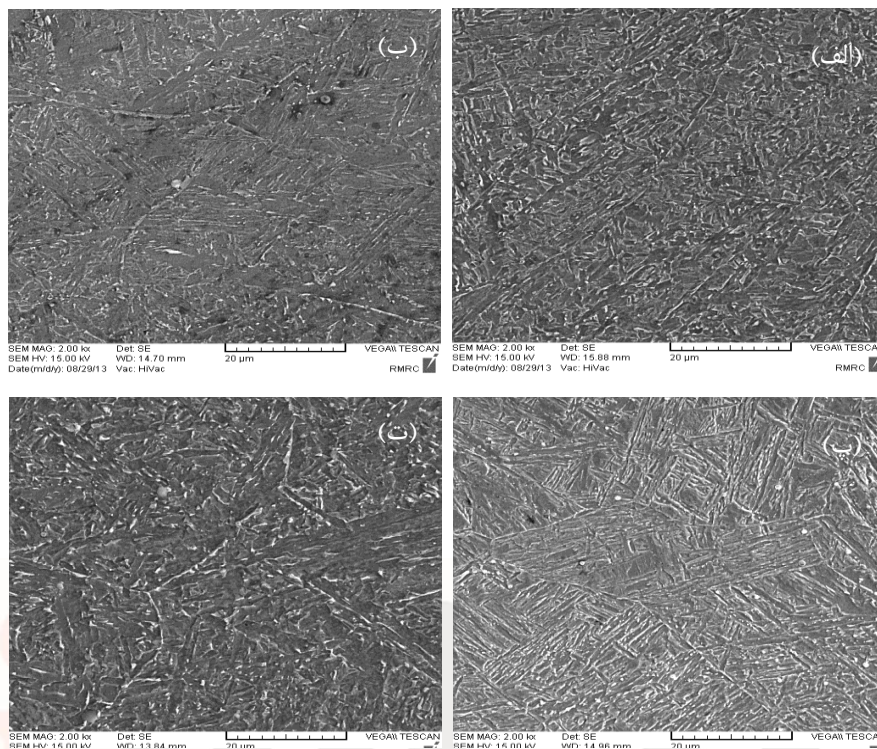


شکل ۴- تصاویر میکروسکپ نوری از پاس آخر نمونه‌های: الف) Ama-۴۱، ب) Ama-۵۱، پ) Ama-۵۲ و ت) Ama-۵۳

Conference 2014

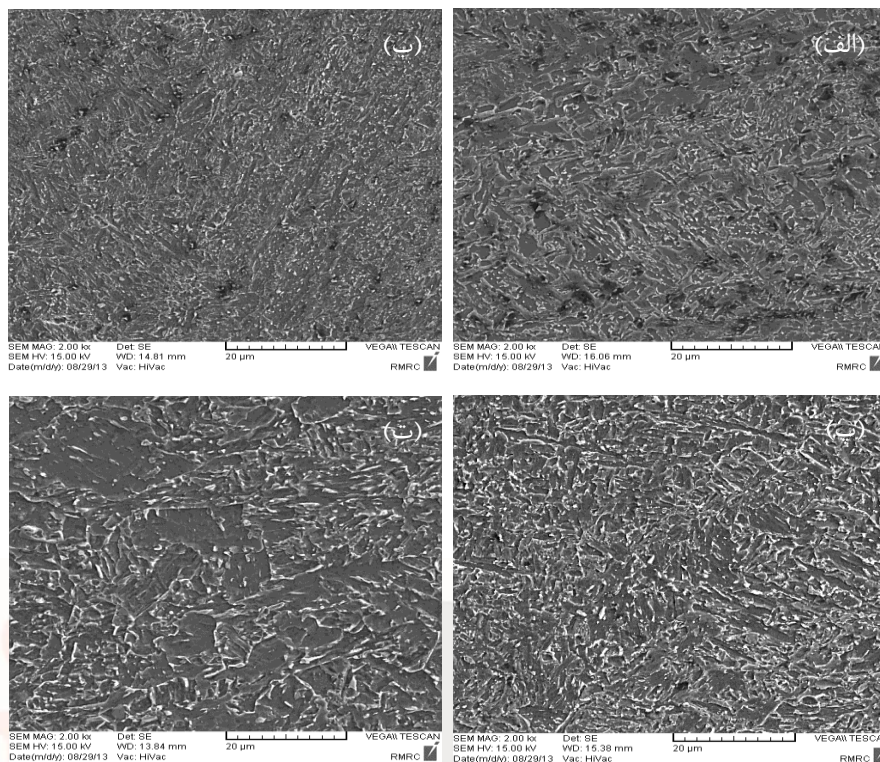


شکل ۵- تصاویر میکروسکپ نوری از پاس‌های میانی نمونه‌های: الف) (Ama-۴۱، ب) (Ama-۵۱، پ) (Ama-۵۲ و ت) (Ama-۵۳

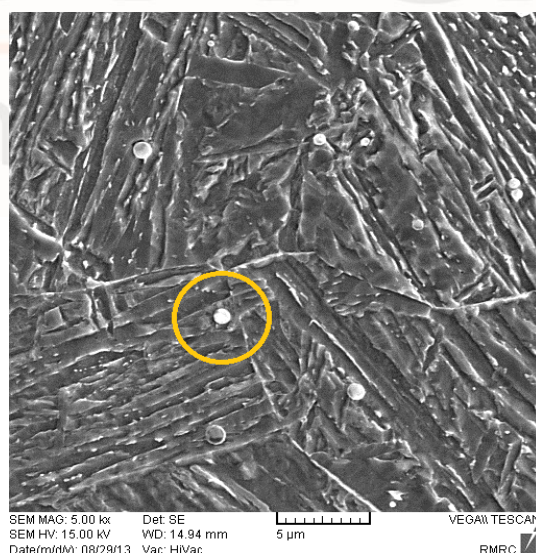


شکل ۶- تصاویر میکروسکپ الکترونی روبشی از پاس نهایی نمونه‌های: الف) Ama-۴۱، ب) Ama-۵۱، پ) Ama-۵۲ و ت) Ama-۵۳

Conference 2014



شکل ۷- تصاویر میکروسکپ الکترونی روبشی از پاس‌های میانی نمونه‌های: الف) Ama-۴۱، ب) Ama-۵۱، پ) Ama-۵۲ و ت) Ama-۵۳



شکل ۸- آخال‌های درون میکروساختار

جدول ۶- ترکیب شیمیایی درون آخال ها

	Ama-۴۱	Ama-۵۱	Ama-۵۲	Ama-۵۳
Si	۲/۸۵	۱/۹۷	۲/۱۸	۳/۴۷
Ti	۰/۸۹	۸/۱۳	۶/۳۳	۰/۳۴
Cr	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۶۱
Mn	۸/۴۰	۴/۱۱	۵/۷۱	۸/۵۸
Ni	۱/۴۱	۱/۷۲	۲/۱۱	۱/۶۲
Mo	۴/۱۶	۳/۳۵	۲/۳۶	۲/۲۱

جدول ۷- نسبت سطحی آخال ها در فلز جوش

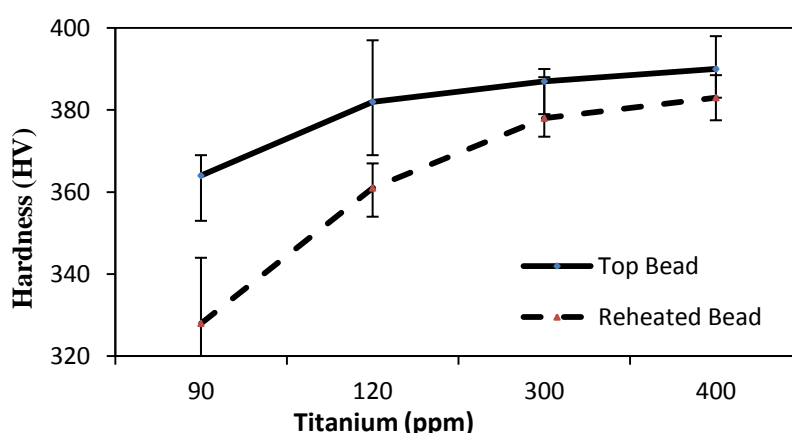
	Ama-۴۱	Ama-۵۱	Ama-۵۲	Ama-۵۳
پاس نهایی	۰/۲۰٪	۰/۹۰٪	۰/۶۷٪	۰/۱۱٪
پاس های میانی	۰/۱۸٪	۰/۵۲٪	۰/۳۶٪	۰/۱۰٪

iMat
Conference 2014

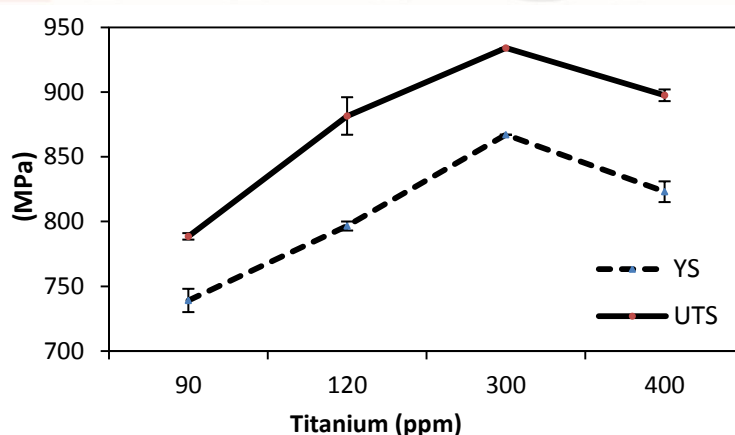
نتیجه گیری

خواص مکانیکی

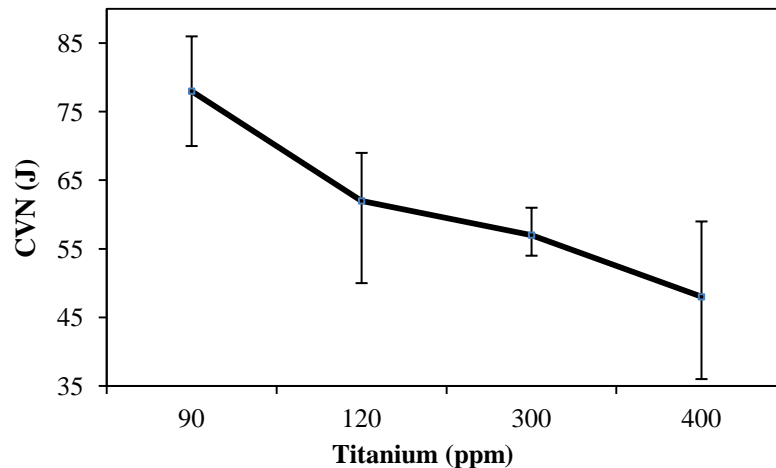
اولین نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد پایین بودن میزان عیوب و عدم حضور ترک در تمامی نمونه‌هاست که باعث شد در طول این تحقیق هیچکدام از جوشکاری‌ها در آزمون پرتونگاری مردود نگردد. پس می‌توان پارامترهای جوشکاری مورد استفاده در این تحقیق را به عنوان پارامترهای جوشکاری مناسب برای استفاده الکتروود E-۱۲۰۱۸M۲ عنوان نمود. در شکل‌های ۹ تا ۱۱ تأثیر افزایش تیتانیوم بر خواص مکانیکی نمایش داده شده است.



شکل ۹- تأثیر تیتانیوم بر سختی فلز جوش



شکل ۱۰- تأثیر تیتانیوم بر تنش تسلیم و استحکام کششی فلز جوش



شکل ۱۱- تأثیر افزایش تیتانیوم بر انرژی ضربه فلز جوش

افزایش تیتانیوم تا یک مقدار بهینه منجر به افزایش انرژی ضربه می‌شود که این مقدار بهینه با توجه به غلظت سایر عناصر آلیاژی به ویژه منگنز، و بور مشخص می‌شود [Evans and Bailey, 1997]. در مقادیر کمتر از حد بهینه افزایش تیتانیوم منجر به حضور این عنصر در آخال‌ها و سرباره شده که این اتفاق باعث کاهش غلظت منگنز و سیلیسیم در این ناخالصی‌ها و افزایش غلظت این دو عنصر در فلز جوش و افزایش استحکام و چقرمگی ضربه می‌گردد [Evans, 1992]. اما در مقادیر تیتانیوم بیشتر از حد بهینه افزایش این عنصر منجر به افزایش فاز فریت همراه با میکروفازهای مارتنزیت/آستنیت و بینیت می‌شود که این اتفاق منجر به افزایش تنش تسلیم و استحکام و کاهش شکل‌پذیری و انرژی ضربه می‌گردد.

همچنین در مقادیر تیتانیوم بیشتر از حد بهینه افزایش این عنصر منجر به رشد ناخالصی‌ها شده که این پدیده باعث به هم پیوستن و کاهش تعداد ناخالصی‌های مفید شده و در نتیجه سطح مشترک این ناخالصی‌ها که محل جوانه‌زنی فریت سوزنی هستند کاهش یافته و موجب کاهش نسبت حجمی فاز فریت سوزنی می‌شود [Garet et al., 1998]. در کارهای قبلی نیز برای مقدار منگنز مشابه با تحقیق ما، غلظت بهینه تیتانیوم در مقادیر کمتر از ۲۰۰ ppm گزارش شده‌اند [Evans, 1992]. در اینجا نیز با توجه به شکل ۱۱ و مقایسه آن با کارهای دیگران [Beidokhti, 2009; Evans, 1992] به این نتیجه می‌رسیم که در الکترودهای تولید شده در این تحقیق حد بهینه تیتانیوم باید کمتر از ۱۰۰ ppm باشد. به همین علت در الکترودهای Ama-۵۱ و Ama-۵۲ کمترین و در الکترو Ama-۵۳ بیشترین انرژی ضربه به دست آمده است.

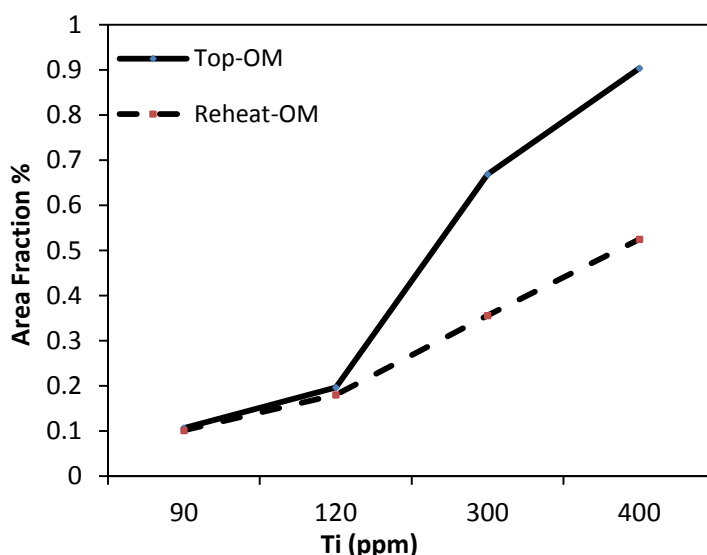
همچنین در کارهای گذشته [Beidokhti, 2009; Evans, 1992] مشخص شد که افزایش تیتانیوم منجر به افزایش اندک سختی می‌گردد به شکلی که افزایش تقریباً ۵۰ ppm تیتانیوم باعث افزایش نهایتاً ۱۰ HV در سختی فلز جوش می‌گردد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد (شکل ۹). علاوه بر این در تحقیقاتی که پیش از این انجام شده بود [Beidokhti, 2009] مشخص شد که افزایش تقریباً ۲۰۰ ppm تیتانیوم منجر به افزایشی در حدود ۸۰-۱۰۰ MPa در تنش تسلیم و استحکام کششی می‌شود. این نتایج بسیار نزدیک به نتایج به دست آمده در این تحقیق هستند و قابلیت اعتماد به نتایج این تحقیق را افزایش می‌دهند. اما در Ama-۵۲ استحکام و تنش تسلیم نسبت به Ama-۵۳ افزایش یافته که علت آن افزایش مقدار نیکل و مولیبدن و استحکام‌بخشی ناشی از افزایش این دو عنصر در الکترو Ama-۵۲ می‌باشد که اثر آن بیشتر از کاهش مقدار تیتانیوم می‌باشد.

بررسی میکروساختار

مطابق شکل‌های ۴ و ۵ در Ama-۴۱ فاز غالب در میکروساختار فریت سوزنی می‌باشد و مقدار اندکی فریت اولیه نیز وجود دارد که در پاس‌های میانی (که در هنگام جوشکاری پاس‌های بعدی تحت حرارت مجدد قرار گرفته‌اند) اندکی افزایش در مقدار فریت اولیه قابل رؤیت است. اما کاهش تیتانیوم در الکتروود Ama-۵۳ منجر به تشکیل فریت همراه با فاز ثانویه و افزایش فریت اولیه شده است. همچنین افزایش تیتانیوم تا مقدار ۳۰۰ ppm باعث شده که میکروساختار در پاس نهایی Ama-۵۲ کاملاً فریت سوزنی باشد. در پاس‌های میانی Ama-۵۲ نیز عمده ساختار فریت سوزنی بوده و در کنار آن فاز فریت اولیه نیز مشاهده می‌گردد. افزایش بیشتر تیتانیوم تا مقدار ۴۰۰ ppm باعث شده که ساختار پاس نهایی جوشکاری شده دارای نسبت حجمی تقریباً برابری از فریت سوزنی و فریت همراه با فاز ثانویه باشد. در حالی که در پاس‌های میانی همین الکتروود فریت همراه با فازهای ثانویه تا حدودی جایگزین فریت اولیه شده است.

چیزی که در این بررسی‌ها مشخص است این است که میکروساختارهای حاصل از جوشکاری با خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده همخوانی ندارند. در مقایسه میکروساختار Ama-۵۳ با Ama-۴۱ مشاهده می‌شود که در Ama-۵۳ مقدار فریت سوزنی نسبت به کاهش یافته و به جای آن مقداری فریت همراه با فاز ثانویه که یک فاز ترد می‌باشد تشکیل شده است. اما در آزمایش‌های مکانیکی کاهش استحکام و افزایش انرژی ضربه در Ama-۵۳ مشاهده می‌شود. همچنین افزایش تیتانیوم در الکتروود Ama-۵۲ نسبت به Ama-۵۳ باعث شده که دیگر در میکروساختار به دست آمده شاهد فریت همراه با فاز ثانویه نباشیم و فریت سوزنی جایگزین این فاز گردد، در صورتی که انرژی ضربه در Ama-۵۲ نسبت به Ama-۵۳ کاهش یافته است. این پدیده در کارهای انجام شده قبل از این تحقیق نیز مشاهده و گزارش شده است [Evans, 1997; Jorge et al., 2001]. در تحقیقات انجام شده توسط Evans و همکارانش [۱۹۹۷] مشاهده شده که افزایش برخی عناصر آلیاژی از جمله کروم تا یک مقدار مشخص منجر به افزایش فریت سوزنی و کاهش فریت همراه با فاز ثانویه می‌شود اما در آزمایش‌های مکانیکی افزایش استحکام و کاهش انرژی ضربه و درصد نهایی تغییر طول مشاهده شده است.

نکته دیگر افزایش آخال‌ها با افزایش تیتانیوم است که در شکل ۱۲ مشخص است. با توجه به اینکه آزمایش ضربه در دماهای کمتر از صفر درجه سانتیگراد انجام شده است، اهمیت حضور آخال‌ها بسیار بیشتر از دماهای بیشتر از صفر درجه سانتیگراد است. همانطور که در شکل ۱۱ مشخص است افزایش تیتانیوم منجر به افزایش نسبت سطحی و به تبع آن نسبت حجمی آخال‌ها شده است. به علت تمایل بالای تیتانیوم به واکنش با اکسیژن، افزایش تیتانیوم منجر به افزایش آخال‌های اکسیدی می‌شود [Bose-Filho, 2007]. نکته دیگری که از شکل قابل برداشت است افزایش اختلاف مقدار آخال در پاس نهایی و پاس‌های میانی با افزایش مقدار تیتانیوم است. علت این پدیده این است که با گرمایش مجدد در پاس‌های پایینی اکسیژن تا حدودی از درون آنها آزاد و خارج می‌شود اما در پاس نهایی به دو علت میزان آخال‌ها بیشتر است:

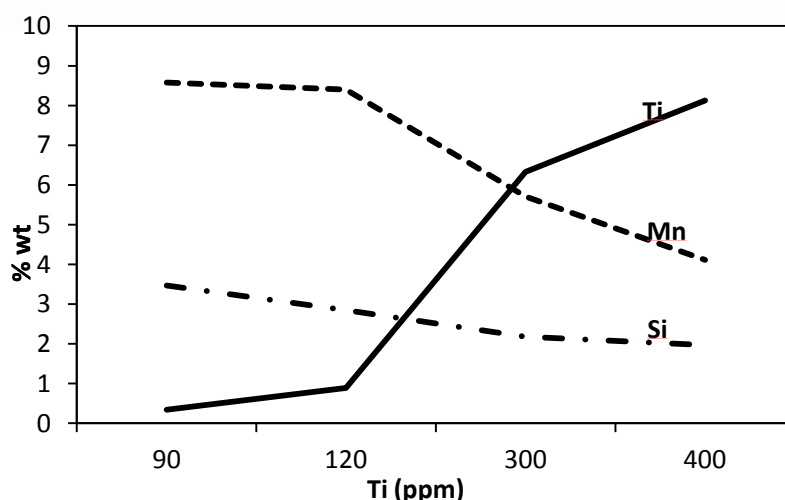


شکل ۱۲- درصد سطحی آخال‌ها نسبت به غلظت تیتانیوم

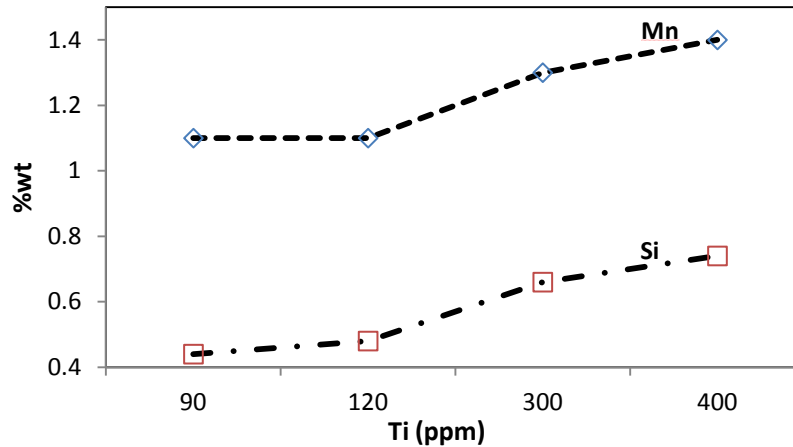
۱- بیشتر بودن سرعت سرد شدن نسبت به پاس‌های میانی.

۲- بیشتر بودن مقدار اکسیژن در دسترس.

افزایش تیتانیوم و سیلیسیم به عنوان دو عنصر مهم درون آخال‌ها منجر به تغییر در ترکیب شیمیایی آخال‌ها و به تبع آن فلز جوش می‌شود که تأثیر تیتانیوم بر غلظت سیلیسیم و منگنز درون آخال‌ها در شکل ۱۳ و در فلز جوش در شکل ۱۴ رسم شده است. مطابق شکل ۱۳ افزایش تیتانیوم در فلز جوش منجر به ورود بیشتر این عنصر به درون آخال‌ها شده و به همین علت سهم دو عنصر منگنز و سیلیسیم درون آخال‌ها کاهش می‌یابد که همین اتفاق در کارهای انجام شده در گذشته نیز گزارش شده است [Bose-Filho, 2007; Beidokhti, 2009] به همین علت مطابق شکل ۱۴ افزایش تیتانیوم به روکش الکتروود منجر به افزایش سیلیسیم و منگنز در فلز جوش می‌شود.



شکل ۱۳- تأثیر تیتانیوم بر ترکیب شیمیایی درون آخال‌ها



شکل ۱۴- تأثیر تیتانیوم بر ترکیب شیمیایی درون فلز جوش

پس با توجه به اینکه در آزمایش ضربه در دماهای کمتر از صفر درجه سانتیگراد نقش آخال‌ها تعیین کننده است باید گفت که افزایش آخال‌ها و همچنین افزایش منگنز و سیلیسیم در فلز جوش که با افزایش حضور تیتانیوم در فلز جوش رخ می‌دهد، موجب افزایش استحکام و سختی و کاهش انرژی ضربه فلز جوش می‌گردد.

در پایان نتایج زیر از این تحقیق بدست آمد:

- ۱- افزایش تیتانیوم از ۹۰ تا ۴۰۰ ppm باعث افزایش غلظت منگنز و سیلیسیم در فلز جوش شده و انرژی ضربه را کاهش می‌دهد.
- ۲- با افزایش تیتانیوم، مقدار آخال‌ها در فلز جوش و غلظت این عنصر در آخال‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار تیتانیوم در آخال‌ها، مقدار منگنز در آنها کاهش یافته و در فلز جوش افزایش می‌یابد که این پدیده باعث افزایش استحکام فلز جوش می‌شود.
- ۳- با افزایش غلظت آخال‌ها در فلز جوش، اختلاف غلظت آخال‌ها در پاس‌های میانی و پاس‌های میانی فلز جوش نیز افزایش می‌یابد.

مراجع

- ANSI/AWS A4.3 (1993). Standard methods for determination of the diffusible hydrogen content of martensitic, bainitic, and ferritic steel weld metal produced by arc welding.
- AWS A5.5 (2006). Specification for low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding.
- AWS B4.0M (2000). Standard methods of mechanical testing for welds.
- Beidokhti, B., Koukabi, A. H., & Dolati, A. (2009). "Effect of titanium addition on the microstructure and inclusion formation in submerged arc welded HSLA pipeline steel", *Materials Processing Technology*, Vol. 209, Pp 4027-4035.
- Beidokhti, B., Koukabi, A. H., & Dolati, A. (2009). "Influences of titanium and manganese on high strength low alloy SAW weld metal properties", *Materials Characterization*, Vol. 60, Pp 225-233.
- Bose-Filho, W.W., Carvalho, A.L.M., & Strangwood, M. (2007). "Effect of alloying elements on the microstructure and inclusion formation in HSLA multipass welds", *Material Characterization*, Vol. 58, No. 1, Pp 29-39.
- Evans, G. M. (1992). "The effect of titanium on the microstructure and properties of C-Mn all-weld metal deposits", *Welding Research Abroad*, Vol. 38(8/9), Pp 13-21.
- Evans, G. M., & Bailey, N. (1997). "Metallurgy of Basic Weld Metal", Abington Publishing.
- Garet, M., Brass, A.M., Haut, C., & Gutierrez-Solana, F. (1998). "Hydrogen trapping on non metallic inclusions in Cr-Mo low alloy steels", *Corrosion Science*, Vol. 40, Pp 1073-1086.
- Gaskell, D. R. (2003). Introduction to the thermodynamics of materials (3th ed.), Taylor and Francis Group.

Jorge, J.C.F., Souza, L.F.G., & Rebello, J.M.A. (2001). "The effect of chromium on the microstructure/toughness relationship of C-Mn weld metal deposits", *Material Characterization*, Vol. 47, Pp 195-205.

iMat
Conference 2014