

اثر نوع فلاکس فعال کننده سطحی بر پروفیل جوش، پیچیدگی زاویه ای ناشی از جوشکاری A-TIG فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205

امیر لری امینی، حامد ثابت*، محسن قنبری حقیقی

گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

(دریافت مقاله: 1398/04/17؛ پذیرش مقاله: 1399/08/03)

چکیده

در این تحقیق فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 با استفاده از فلاکس های فعال کننده سطحی به روش A-TIG به صورت رویه (سطحی) جوشکاری شد. بدین منظور از دو فلاکس ZrO_2 و TiO_2 بصورت مجزا و مخلوط نمونه هایی با درصد های وزنی متفاوتی تهیه و استفاده شد. نتایج بررسی های چشمی نمونه های مختلف مشخص نمود که نمونه تهیه شده با فلاکس سطحی $50\% ZrO_2$ و $50\% TiO_2$ کمترین عرض گرده و نمونه حاوی $90\% ZrO_2$ بیشترین عمق نفوذ را دارد، همچنین نتایج بررسی ها نشان داد که میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مخلوط فلاکس ZrO_2 و 225% کمتر از نمونه بدون فلاکس است. نتایج آزمون ماکروسکوپی نمونه ها مشخص نمود که بیشترین طول و عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه حاوی $90\% ZrO_2$ و کمترین طول و عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه حاوی $90\% TiO_2$ است. نتایج آزمون سختی نیز نشان داد که بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی $90\% TiO_2$ با مقدار 950 ویکرز و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی $90\% ZrO_2$ با مقدار 410 ویکرز است. در مجموع نتایج کلیه آزمون ها مشخص نمود که فلاکس های سطحی ZrO_2 و TiO_2 با ایجاد تغییرات بر جریان های طولی و عرضی مذاب در حوضچه جوش بر عمق نفوذ، عرض گرده، میزان پیچیدگی زاویه ای، اندازه طول و عرض دانه های ماکروسکوپی و سختی فلز جوش فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 تاثیر مثبت می گذارند.

کلمات کلیدی: فرایند جوشکاری A-TIG، فولاد دوفازی، فلاکس فعال کننده سطحی.

The effect of activated flux type on the weld profile and angular distortion of A-TIG welding of the AISI 2205 duplex stainless steel

A. Lori Amini, H. Sabet, M. Ghanbari Haghighi

Department of Materials Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

(Received 8 July 2019 ; Accepted 24 October 2020)

Abstract

In this investigation, the AISI 2205 duplex stainless steel was welded in the form of bead on plate by A-TIG process with different amount of the ZrO_2 and TiO_2 activated fluxes. The results of the visual inspection showed that the

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h-sabet@kiaiu.ac.ir

specimen with 50% ZrO₂ and 50% TiO₂ activated flux, had the lowest face width and the specimen with contains 90% ZrO₂ activated flux, had the highest penetration depth. Also, the results showed that the angular distortion of the specimens with mix of the ZrO₂ and TiO₂ activated flux were 225% less than the specimen without activated flux. The results of macroscopic examination of different samples showed that the maximum length and width of the macroscopic grains were related to the sample with 90% ZrO₂ activated flux and the smallest length and width of the macroscopic grains were related to the sample with 90% TiO₂ activated flux. The hardness test results showed that the highest hardness of the samples was gained to 90% TiO₂ activated flux specimen with 950 HV and the lowest hardness value for the sample with 90% ZrO₂ activated flux with 410 HV. The results of all tests showed that surface activated fluxes (ZrO₂ and TiO₂) affected to the depth of penetration, face width, angular distortion, length and width of macroscopic grains and the hardness of weld metal by changing the longitudinal and transverse melt flow in the weld pool.

Keywords: A-TIG welding process, Duplex stainless steel, Activated flux.

1- مقدمه

ارائه شد و مزیت هایی نسبت به فرآیند TIG معمول داشت. در این روش با استفاده از یک سری فلاکس های فعال کننده سطحی، شرایطی در ستون قوس و حوضچه مذاب حاصل می گردد که منجر به افزایش عمق نفوذ جوش در روش TIG می شود [4].

بنابراین به کمک این روش می توان قطعات ضخیم تر را با سرعت بالاتری جوشکاری نمود. علاوه بر این با استفاده از فلاکس های فعال کننده سطحی می توان مصرف گاز محافظ و میزان روشن بودن قوس را تا مقدار زیادی کاهش داد که بدین ترتیب با کاهش هزینه این پارامترها، هزینه افزایش فلاکس جبران می گردد [4]. در خصوص بکارگیری از فلاکس های فعال کننده سطحی در جوشکاری TIG فولادهای زنگ نزن تحقیقات محدودی انجام شده است [5-7].

تحقیقات انجام گرفته توسط Zou و همکاران [5] نشان داد که از میان فلاکس های فعال کننده سطحی در روش A-TIG برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن، فلاکس فعال کننده سطحی SiO₂ بیشترین تاثیر و عمق نفوذ را بدلیل گرادیان دمایی بالا و تغییرات مثبت در کشش سطحی مذاب حاصل نمود. Tseng و همکاران [6] در مورد جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستینیتی با استفاده از فرآیند A-TIG مطالعاتی انجام دادند. آنان از فلاکس های Al₂O₃, MoO₃, TiO₂, SiO₂, MnO₂ در فرآیند A-TIG برای جوشکاری فولاد زنگ نزن 316L استفاده نمودند.

نتایج تحقیق آنان نشان داد که فلاکس های حاوی MnO₂ و SiO₂

فولاد زنگ نزن آستینیتی-فریتی یا دوفازی تقریباً از درصد حجمی برابر آستینیت و فریت تشکیل شده است. این آلیاژها حاوی 22 تا 25 درصد کروم، 5 تا 7 درصد نیکل، تا 4 درصد مولیبدن و مقادیری مس و نیتروژن هستند. فولادهای زنگ نزن دوفازی مجموعه ای از مقاومت به خوردگی خوب همراه با استحکام بالا را ارائه می دهند [1 و 2].

جوشکاری این فولادها عمدتاً توسط فرآیندهای جوشکاری قوسی با الکتروود روکش دار (SMAW)، جوشکاری با الکتروود فلزی تحت حفاظت گاز خنثی (MIG) و جوشکاری با الکتروود تنگستن تحت حفاظت گاز خنثی (TIG) انجام می شود [3].

فرآیند TIG عمدتاً برای جوشکاری ورق هایی با ضخامت کم و متوسط بین 3 الی 7 میلی متر که کیفیت متالورژیکی مناسب و خواص مکانیکی مطلوب مدنظر است انجام می گردد. علاوه بر این فرآیند TIG حرارت ورودی پایین تری نسبت به دیگر فرآیندهای جوشکاری دارد. در مقابل این مزایا، سرعت جوشکاری پایین و عمق نفوذ کم از محدودیت های بارز این فرآیند به شمار می آید. به گونه ای که نسبت به دیگر فرآیندهای جوشکاری، در مورد مقاطعی ضخیم تر از 10 میلی متر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست [3].

فرآیند جوشکاری TIG با استفاده از فلاکس های فعال کننده سطحی یا اکتیو تیگ (A-TIG) یکی از ابداعاتی که در سال 1965 میلادی توسط موسسه جوشکاری Paton در اوکراین

جدول 1- ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) فولاد AISI 2205.

| C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Mo | N | Fe |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|
| 0/030 | 2/010 | 0/030 | 0/014 | 1/030 | 22/500 | 4/750 | 3/210 | 0/151 | باقیمانده |

جدول 2- مشخصات فلاکس های مورد استفاده.

| نوع پودر | مشخصات پودر | | |
|------------------|-------------|------------------------------|---------------------|
| | کشور سازنده | دانسیته (g/cm ³) | ابعاد ذرات (میکرون) |
| TiO ₂ | بلژیک | 4/23 | 20 |
| ZrO ₂ | بلژیک | 5/68 | 10 |

جدول (2) ذکر شده است.

در مرحله اول به منظور به دست آوردن شرایط مناسب (شامل شدت جریان و اختلاف پتانسیل)، تعداد 6 عدد ورق، پس از آماده سازی سطحی (شامل سنباده زنی و شستن با استن)، جهت استفاده آماده شدند. برای این منظور از یک دستگاه جوش تیگ و با استفاده از ریل متحرک بدون استفاده از فلاکس و با ثابت نگاه داشتن پارامترهای ذکر شده در جدول (3) به صورت رویه جوشکاری شدند. شرایط جوشکاری (اختصاصی) این 6 نمونه در جدول (4) ذکر شده است، همچنین استاندارد مورد استفاده در این روش AWS D1.6 می باشد.

جدول 3- پارامترهای جوشکاری نمونه ها

| | |
|------------------------|---------------------------|
| Khazar -Tig AC/DC 350A | دستگاه جوشکاری |
| KARA-KF7514 | ریل متحرک |
| 4mm | فاصله الکترود تا قطعه کار |
| 10 mm/sec | سرعت حرکت خطی |
| 1 | تعداد پاس |
| 2/4mm | قطر الکترود |
| EWTh- 2 | جنس الکترود |
| 12lit/min | دبی گاز محافظ |
| Ar | نوع گاز محافظ |
| 99% | خلوص گاز محافظ |

جدول 4- شرایط 6 نمونه جوشکاری شده بدون فلاکس

| شماره نمونه | شدت جریان (آمپر) | اختلاف پتانسیل (ولت) |
|-------------|------------------|----------------------|
| 1 | 105 | 16 |
| 2 | 143 | 17/6 |
| 3 | 173 | 18/4 |
| 4 | 196 | 19 |
| 5 | 230 | 20/7 |
| 6 | 260 | 20 |

عمق نفوذ را افزایش و عرض گرده را کاهش می دهند. همچنین آنها گزارش دادند که فرایند A-TIG باعث افزایش پیچیدگی زاویه ای در حین جوشکاری ورق های فولادی 316L می شود. آنها اعلام نمودند که افزودن فلاکس های فوق، تاثیر قابل توجهی بر مقدار سختی ناحیه جوش نداشته است. Leconte و همکاران [7] در مورد تاثیر فلاکس های اکسیدی TiO₂ و ZrO₂ بر فرایند A-TIG فولاد زنگ نزن 304L مطالعاتی انجام دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد فلاکس های TiO₂ و ZrO₂ تاثیر قابل توجهی بر عرض گرده جوش داشته است. تحلیل آن ها بر تاثیر اکسیژن در تغییر جریان ماراگونی حوضچه مذاب بوده است. با توجه به تاثیر فلاکس های TiO₂ و ZrO₂ [7] در جوشکاری فولاد های زنگ نزن این تحقیق پایه گذاری شده است و هدف از این تحقیق بررسی اثر نوع و مقدار فلاکس فعال کننده سطحی بر پروفیل جوش (عمق نفوذ و عرض گرده) و پیچیدگی زاویه ای ناشی از جوشکاری A-Tig فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 با استفاده از فلاکس TiO₂ و ZrO₂ بصورت مجزا و مخلوط می باشد.

2- روش تحقیق

به منظور انجام این تحقیق، فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 به ابعاد 8×150×70 میلی متر تهیه شد. ترکیب شیمیایی این فولاد که به روش آزمون اسپکتروسکوپی نشر نوری انجام شده است در جدول (1) ارائه شده است.

در این تحقیق اثر نوع و مقدار فلاکس های پودری TiO₂ و ZrO₂ بصورت جداگانه و مخلوط با هم (به صورت معلق در ستون) بررسی شدند. مشخصات پودرهای فلاکس مورد استفاده در

جدول 5- شرایط نمونه ها با فلاکس های مختلف.

| شماره نمونه | وزن ZrO ₂ (گرم) | درصد ZrO ₂ | وزن TiO ₂ (گرم) | درصد TiO ₂ |
|-------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| ۷ | ۴ | ۱۰ | - | - |
| ۸ | ۱۲ | ۳۰ | - | - |
| ۹ | ۲۰ | ۵۰ | - | - |
| ۱۰ | ۲۸ | ۷۰ | - | - |
| ۱۱ | ۳۶ | ۹۰ | - | - |
| ۱۲ | - | - | ۴ | ۱۰ |
| ۱۳ | - | - | ۱۲ | ۳۰ |
| ۱۴ | - | - | ۲۰ | ۵۰ |
| ۱۵ | - | - | ۲۸ | ۷۰ |
| ۱۶ | - | - | ۳۶ | ۹۰ |
| ۱۷ | ۲۰ | ۵۰ | ۲۰ | ۵۰ |
| ۱۸ | ۱۲ | ۷۰ | ۲۸ | ۳۰ |
| ۱۹ | ۱۶ | ۶۰ | ۲۴ | ۴۰ |
| ۲۰ | ۸ | ۸۰ | ۳۲ | ۲۰ |
| ۲۱ | ۱۴ | ۶۵ | ۲۶ | ۳۵ |

مخلوط مایع فلاکس (فلاکس به همراه استون) و همچنین ایجاد ضخامت مناسب فلاکس (دو میلی متر برای کلیه نمونه ها) مرزبندی لازم با سایر قسمت ها توسط خمیر انجام گردید، که بعد از تبخیر کامل استون و قبل عملیات جوشکاری خمیر ها از سطح ورق جدا شدند و عملیات جوشکاری بصورت رویه (سطحی) بر روی نمونه ها انجام شد. بعد از جوشکاری سطحی نمونه ها ابتدا کلیه نمونه ها جهت تعیین کیفیت سطحی حاصل تحت بررسی چشمی قرار گرفتند سپس به منظور بررسی ریزساختار و عمق نفوذ، کلیه نمونه ها به صورت عرضی برش داده شدند و تحت آماده سازی شامل سوهانکاری، سنباده زنی (100 تا 2500) و پولیش (با محلول آلومینا و آب) و حکاکی توسط محلول ماربل قرار گرفتند، مقادیر عمق نفوذ و عرض گرده، پس از حکاکی نمونه ها با استفاده از یک دستگاه استریو میکروسکوپ مدل Meiji -2M و مطابق با استاندارد ASTM E112 انجام و تصاویر مورد نیاز تهیه شد.

در مرحله دوم بر اساس نتایج (بازرسی چشمی و بررسی مقاطع ماکروسکوپی) نمونه های 1 الی 6، تعداد 5 نمونه با فلاکس ZrO₂ و 5 نمونه با فلاکس TiO₂ مطابق با شرایط ارایه شده در جدول (5) (با مقدار ثابت 40 گرم فلاکس معادل 100% و دانسیته سطحی 25mg/mm²) با شدت جریان و اختلاف پتانسیل مناسب به دست آمده از نمونه های جوشکاری شده بدون فلاکس (196 آمپر و 19 ولت)، تهیه شدند. همچنین تعداد 5 نمونه با مخلوط فلاکس های TiO₂ و ZrO₂ تهیه شدند. برای این منظور پس از آماده سازی سطحی ورق ها (سنباده زنی و شستن با استن) و قرار دادن ورق ها در یک نگهدارنده مناسب، فلاکس های پودری TiO₂ و ZrO₂ بصورت جداگانه و مخلوط با هم (بصورت معلق در استون) تهیه و سپس به سطح (وسط) قطعات بطول 100 و عرض 15 میلی متر منتقل گردیدند، لازم به ذکر است که به منظور ایجاد شرایط یکسان جهت آزمایش ها، به منظور جلوگیری از عدم پراکندگی فلاکس ها هنگام انتقال

کننده سطحی ZrO_2 هستند. در بین این نمونه ها، نمونه های شماره 7 و 11 نمونه های سالم هستند و نمونه های شماره 8، 9 و 10 نمونه های معیوب می باشند. نمونه های شماره 7 و 11، نسبت W/D آن عدد 2/8 به دست آمده است که از نظر ظاهر جوش، ظاهری مناسب تر نسبت به هم گروهی های خود را دارا می باشند.

نمونه های شماره 8، 9 و 10 با نسبت W/D بالاتر (به ترتیب 3/1، 3، 4/8) ظاهری نامناسب داشته اند و عمق نفوذ کمتری را دارا بودند. بررسی این نمونه ها و مقایسه با نمونه های بدون فلاکس مشخص می نماید که حرکت جریان های طولی و عرضی انبساطی در حوضچه مذاب در این نمونه ها بعلاوه اثر گذاری فلاکس ZrO_2 بیشتر بوده است و در نتیجه به علت بالا بودن کشش سطحی مولکول های ZrO_2 ، افزایش عمق نفوذ و گرده جوش بر اساس جریان ماراگونی رخ داده است [8].

بررسی جدول (6) مشخص می نماید که بیشترین عمق نفوذ در کل نمونه های با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم)، مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO_2) با مقدار 10 میلی متر می باشد و بیشترین میزان عمق نفوذ را در کل نمونه های دارای فلاکس سطحی با 175% (1/75 برابر) افزایش، نسبت به نمونه 4، دارا می باشد. همانطور که در جدول (6) قابل مشاهده است، نمونه های شماره 12 تا 16، نمونه های حاوی فلاکس TiO_2 هستند. در بین این نمونه ها، نمونه های شماره 16 نمونه سالم است و نمونه های شماره 12، 13، 14 و 15 نمونه های معیوب می باشند. علاوه بر این نمونه شماره 16، نسبت W/D آن عدد 4/2 به دست آمده است که کمترین مقدار این نسبت در بین هم گروهی های خود می باشد. نمونه های شماره 12، 13، 14 و 15 علاوه بر نسبت W/D بالاتر از نمونه شماره 16 (به ترتیب 5، 6/5، 4/5، 4/8)، ظاهر نامناسبی نیز دارا بودند. بررسی نتایج جدول (6) همچنین مشخص می نماید که عمق نفوذ نمونه های شماره 12 الی 16 (فلاکس TiO_2) کمتر از عمق نفوذ نمونه های 7 الی 11 (فلاکس ZrO_2) می باشد که علت این امر ناشی از اثر کمتر جریان های عمودی در حوضچه جوش تحت تاثیر فلاکس های TiO_2 می باشد [9-10].

همچنین به منظور بررسی وضعیت اندازه دانه های ماکروسکوپی، پس از اندازه گیری طول و عرض (دانه های ماکروسکوپی) توسط نرم افزار J IMAGE با استفاده از رابطه (1) نسبت اندازه دانه ها تعیین شد [8].

$$(1) \quad \frac{\text{طول دانه ماکروسکوپی}}{\text{عرض دانه ماکروسکوپی}} = \text{نسبت اندازه دانه}$$

به منظور بررسی سختی منطقه جوش نمونه های مختلف، آزمون میکروسختی مطابق استاندارد ASTM E384 انجام گرفت. برای این منظور از دستگاه سختی سنجی مدل HVS-1000 با بار 100 گرم و تحت زمان 15 ثانیه استفاده شد. به منظور اندازه گیری پیچیدگی زاویه ای، از زاویه سنج GROZ مدل COMPASS مطابق با استاندارد GB-T 15675-2008 استفاده شد.

3- نتایج و بحث







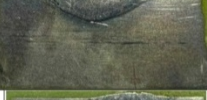



جدول (6) نتایج بازرسی چشمی و ماکروسکوپی نمونه های مختلف بدون فلاکس (نمونه های 1 تا 6) و با فلاکس (نمونه های 7 تا 21) را ارائه می دهد. همانطور که در جدول (6) مشخص است، در بین نمونه های شماره 1 تا 6، که فاقد فلاکس هستند و فقط برای تعیین شرایط مناسب تهیه شده اند، نمونه شماره 4 (نمونه جوشکاری شده با شدت جریان 196 آمپر و اختلاف پتانسیل 19 ولت)، دارای ظاهر سالم و بیشترین عمق نفوذ می باشد. البته نمونه های 1 تا 3 از نظر ظاهر جوش سالم هستند، ولی دارای عمق نفوذ کمتری نسبت به شماره 4 می باشند.

همچنین نمونه های شماره 5 و 6، دارای ظاهر معیوب (بریدگی کناره جوش) می باشند. از آنجا که بهترین شرایط (کمترین نسبت عرض گرده به عمق نفوذ W/D) برای نمونه های سالم (شماره 1 الی 4) نمونه شماره 4 می باشد، لذا شدت جریان و اختلاف پتانسیل جوشکاری این نمونه را به عنوان حالت مناسب در نظر گرفته شد و برای سایر نمونه ها این مقادیر لحاظ گردید. همانطور که در جدول (6) قابل مشاهده است، نمونه های شماره 7 تا 11، نمونه های حاوی فلاکس فعال

جدول 6- نتایج بازرسی چشمی و ماکروسکوپی نمونه های مختلف بدون فلاکس (نمونه های 1 تا 6)

و با فلاکس (نمونه های 7 تا 21).

| وضعیت ظاهر جوش و نوع عیب | تصویر گرده جوش | تصویر سطح مقطع جوش | نسبت عرض گرده به عمق نفوذ (W/D) | عرض گرده (W) (میلی متر) | عمق نفوذ (D) (میلی متر) | شماره نمونه |
|--------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| سالم | | | 4 | 2 | 0.5 | 1 |
| سالم | | | 4 | 4 | 1 | 2 |
| سالم | | | 4 | 6 | 1.5 | 3 |
| سالم | | | 3/5 | 7 | 2 | 4 |
| معیوب - بریدگی لبه جوش | | | 4/1 | 9 | 2/2 | 5 |
| معیوب - بریدگی لبه جوش | | | 2/8 | 10 | 3/5 | 6 |
| سالم | | | 2/8 | 8 | 2/8 | 7 |
| معیوب - پیچیدگی قوس | | | 3/1 | 7/8 | 2/5 | 8 |
| معیوب - گرده نامناسب | | | 3 | 7/5 | 2/5 | 9 |
| معیوب - وجود حفرات گازی | | | 4/8 | 10 | 2/1 | 10 |
| سالم | | | 2/8 | 10 | 3/5 | 11 |
| معیوب - وجود حفرات گازی | | | 5 | 5 | 1 | 12 |
| معیوب - گرده نامناسب | | | 6/5 | 6/5 | 1 | 13 |
| معیوب - گرده نامناسب | | | 4/5 | 6/8 | 1/5 | 14 |
| معیوب - گرده نامناسب | | | 4/8 | 7/2 | 1/5 | 15 |
| سالم | | | 4/2 | 7/1 | 1/7 | 16 |

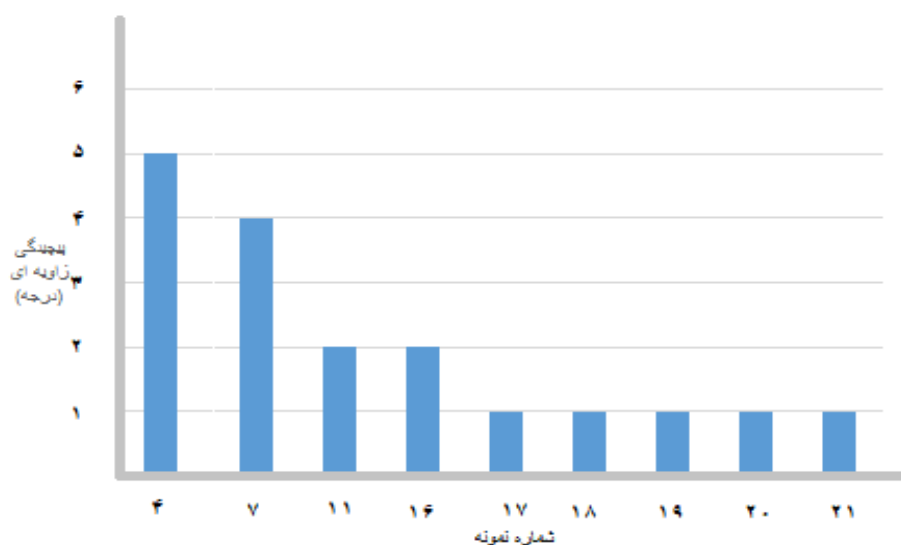
| شماره نمونه | عمق نفوذ (D) (میلی متر) | عرض گرده (W) (میلی متر) | نسبت عرض گرده به عمق نفوذ (W/D) | تصویر سطح مقطع جوش | تصویر گرده جوش | وضعیت ظاهر جوش و نوع عیب |
|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|---|--------------------------|
| ۱۷ | ۲ | ۶ | ۳ |  |  | سالم |
| ۱۸ | ۲/۲ | ۹ | ۴/۱ |  |  | سالم |
| ۱۹ | ۳ | ۷/۵ | ۲/۵ |  |  | سالم |
| ۲۰ | ۳ | ۹/۵ | ۳/۲ |  |  | سالم |
| ۲۱ | ۳ | ۸ | ۲/۷ |  |  | سالم |

بررسی نتایج جدول (6) همچنین مشخص می نماید که کمترین عرض گرده در بین کلیه نمونه های با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم) مربوط به نمونه شماره 17 (50% ZrO₂ و 50% TiO₂) با مقدار 6 میلی متر می باشد که تاییدی بر تاثیر تقابل جریان های طولی و عرضی (انسپاتی و انقباضی) در حوضچه مذاب ناشی از حضور توام فلاکس های ZrO₂ و TiO₂ در می باشد [9-11]. جدول (7) میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های منتخب یا نمونه های با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم) را ارائه می دهد، همچنین شکل (1) میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مذکور را نشان می دهد. اصولاً میزان پیچیدگی به حرارت ورودی جوشکاری مرتبط می باشد [13-15]، در نمونه هایی که با فلاکس فعال کننده سطحی جوشکاری شده اند قسمتی از حرارت ورودی صرف ذوب و انحلال فلاکس ها می گردد [16-19]، لذا حرارت ورودی کمتری به فلز پایه منتقل و پیچیدگی کمتری از خود نشان می دهند.

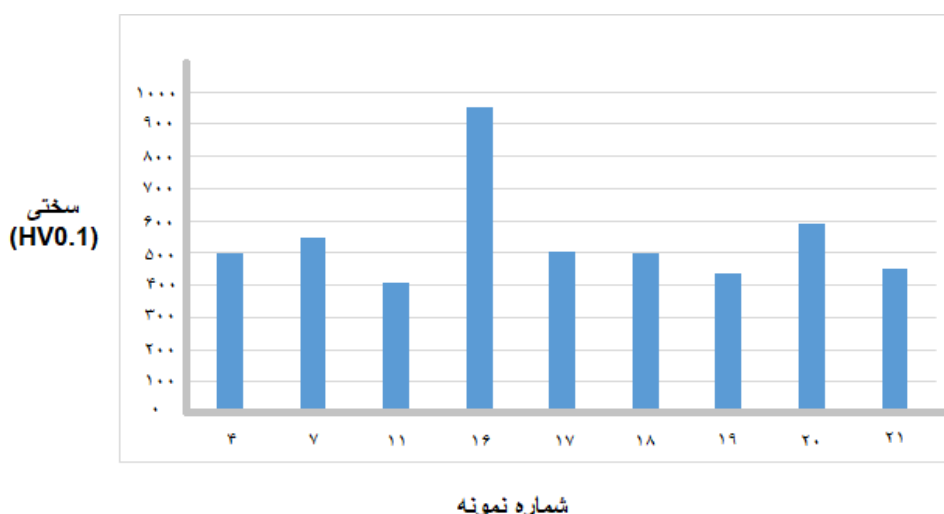
بررسی نتایج جدول (7) و شکل (1) مشخص می نمایند که بیشترین میزان پیچیدگی زاویه ای با مقدار 5 درجه مربوط به نمونه شماره 4 (بدون فلاکس سطحی) می باشد، در

مقادیر عمق نفوذ و عرض گرده جوش برای نمونه های حاوی مخلوط فلاکس های ZrO₂ و TiO₂ (نمونه های شماره 17 تا 21)، در جدول (6) ارایه شده است. همانگونه که از جدول (6) مشخص است، همه نمونه های این گروه، سالم می باشند. بالاترین نسبت W/D در این گروه از نمونه ها مربوط به نمونه شماره 18 با مقدار 4/1 و کمترین نسبت W/D مربوط به نمونه شماره 19 با مقدار 2/5 می باشد. بررسی نتایج این گروه از نمونه ها مشخص می نماید که کمترین عمق نفوذ مربوط به نمونه شماره 17 (50% ZrO₂ و 50% TiO₂) می باشد.

علت این امر ناشی از جریان عرضی قوی تر مذاب حوضچه تحت تاثیر فلاکس TiO₂ می باشد که با محدود کردن جریان عمودی مذاب باعث کاهش عمق نفوذ شده است [9-12]، به نحوی که با تغییر درصد فلاکس ZrO₂ و TiO₂ در مخلوط فلاکس سطحی (در نمونه شماره 18) عمق نفوذ افزایش یافته است و این روند برای نمونه شماره 19 نیز مشاهده می شود. در نمونه های شماره 20 و 21، تاثیر تقابل جریان های مارانگونی طولی و عرضی حوضچه مذاب [9-11]، قابل مشاهده می باشد که نتیجه آن تغییر نسبت W/D است.



شکل 1- میزان پیچیدگی نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول.



شکل 2- نمودار سختی مقطع جوش نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول.

جوشکاری با فلاکس های سطحی ZrO_2 و TiO_2 (نمونه های 17 الی 21) نسبت به نمونه شماره 4 (بدون فلاکس سطحی)، 225% کاهش یافته است.

نتایج بررسی اندازه دانه های ماکروسکوپی برای نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم) در جدول (8) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (8) مشخص می گردد، که بیشترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO_2) با 150 میکرومتر می باشد و کمترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90% TiO_2) با 45 میکرومتر می باشد، همچنین بیشترین عرض دانه های

سایر نمونه ها متناسب با میزان فلاکس فعال کننده سطحی بکار برده شده میزان پیچیدگی زاویه ای نسبت به نمونه 4 کاهش یافته است. در نمونه های شماره 17 تا 21 میزان پیچیدگی زاویه ای در کمترین میزان و معادل 1 درجه می باشد که با توجه به یکسان بودن وزن فلاکس های فعال کننده سطحی بکار رفته در این نمونه ها (جدول (5)) مقدار حرارت ورودی یکسانی به فلز پایه وارد شده [15، 16، 18] است و در نتیجه همگی میزان پیچیدگی زاویه ای یکسانی از خود نشان داده اند. همچنین بررسی نتایج جدول (7) و شکل (1) مشخص استفاده از مخلوط می نماید که میزان پیچیدگی زاویه ای در حین

جدول 7- میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول بدون فلاکس و با فلاکس TiO_2 و ZrO_2 .

| شماره نمونه | درصد ZrO_2 | درصد TiO_2 | میزان پیچیدگی زاویه ای (درجه) |
|-------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| ۴ | - | - | ۵ |
| ۷ | ۱۰ | - | ۴ |
| ۱۱ | ۹۰ | - | ۲ |
| ۱۶ | - | ۹۰ | ۲ |
| ۱۷ | ۵۰ | ۵۰ | ۱ |
| ۱۸ | ۷۰ | ۳۰ | ۱ |
| ۱۹ | ۶۰ | ۴۰ | ۱ |
| ۲۰ | ۸۰ | ۲۰ | ۱ |
| ۲۱ | ۶۵ | ۳۵ | ۱ |

جدول 8- اندازه دانه های ماکروسکوپی برای نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول.

| شماره نمونه | درصد ZrO_2 | درصد TiO_2 | طول دانه (میکرومتر) | عرض دانه (میکرومتر) | نسبت اندازه دانه ها | تصاویر ماکروسکوپی |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|
| ۴ | - | - | ۷۵ | ۴۵ | ۱/۷ |  |
| ۷ | ۱۰ | - | ۵۰ | ۴۵ | ۱/۱ |  |
| ۱۱ | ۹۰ | - | ۱۵۰ | ۸۰ | ۱/۹ |  |
| ۱۶ | - | ۹۰ | ۴۵ | ۳۰ | ۱/۵ |  |
| ۱۷ | ۵۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۱/۲ |  |
| ۱۸ | ۷۰ | ۳۰ | ۱۰۵ | ۵۰ | ۲/۱ |  |
| ۱۹ | ۶۰ | ۴۰ | ۱۲۰ | ۴۵ | ۲/۶ |  |
| ۲۰ | ۸۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۳۵ | ۱/۴ |  |
| ۲۱ | ۶۵ | ۳۵ | ۱۱۰ | ۳۵ | ۳/۱ |  |

با توجه به نتایج جدول (8) مشخص می گردد که اندازه طول و عرض دانه های ماکروسکوپی مرتبط نوع فلاکس مصرفی و تاثیر فلاکس ها بر جریان های طولی و عرضی حوضچه مذاب می باشد [19-22]. آنچه که مشخص است فلاکس ZrO_2 با تقویت جریان های طولی (و عرضی) انبساطی [7,8 و 20]. در مذاب حوضچه توانسته بیشترین طول و عرض دانه های ماکروسکوپی را ایجاد کند، در مقابل حضور فلاکس TiO_2 با تقویت جریان های عرضی انقباضی [10,7 و 21]. در مذاب

ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 ($\text{ZrO}_2\%90$) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 ($\text{TiO}_2\%90$) با 30 میکرومتر می باشد، بیشترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 21 ($\text{TiO}_2\%35$ و $\text{ZrO}_2\%65$) با نسبت 3/1 و کمترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی نیز مربوط به نمونه شماره 7 ($\text{ZrO}_2\%10$) با نسبت 1/1 می باشد.

حوضچه باعث ایجاد کمترین طول و عرض دانه‌های
ماکروسکوپی گردیده است.

جدول 9- مقادیر سختی نمونه‌هایی با کیفیت سطحی قابل قبول.

| شماره نمونه | سختی جوش (HV0.1) |
|-------------|------------------|
| ۴ | ۵۰۰ |
| ۷ | ۵۵۰ |
| ۱۱ | ۴۱۰ |
| ۱۶ | ۹۵۰ |
| ۱۷ | ۵۰۵ |
| ۱۸ | ۵۰۰ |
| ۱۹ | ۴۴۰ |
| ۲۰ | ۵۹۰ |
| ۲۱ | ۴۵۰ |

نتایج آزمون سختی مقطع جوش نمونه‌های مختلف (نمونه‌هایی با کیفیت سطحی قابل قبول) در جدول (9) ارائه شده است همچنین شکل (2) نمودار سختی نمونه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

همانطور که از نتایج جدول (9) و شکل (2) مشخص است، بیشترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 16 با مقدار 950 ویکرز می‌باشد. همچنین کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 11 با مقدار 410 ویکرز می‌باشد. با مقایسه نتایج آزمون سختی (جدول (9) و شکل (2)) با نتایج حاصل از اندازه دانه‌های ماکروسکوپی جدول (8) مشخص می‌گردد که تغییرات سختی مرتبط با اندازه دانه‌ها می‌باشد [19-22]. بررسی مجدد نتایج اندازه دانه‌های ماکروسکوپی (جدول 8) مشخص می‌نماید که کمترین اندازه طولی و عرضی دانه‌های ماکروسکوپی (مرز دانه‌های بیشتر) مربوط به نمونه شماره 16 می‌باشد. لذا مشاهده می‌گردد که بیشترین سختی مربوط به این نمونه است، در مقابل بیشترین اندازه طولی و عرضی دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 می‌باشد (مرزدانه‌های کمتر) لذا کمترین میزان سختی مربوط به این نمونه است.

4- نتیجه‌گیری

در تحقیق فوق اثر نوع و مقدار فلاکس فعال کننده سطحی بر پروفیل جوش، پیچیدگی زاویه‌ای و سختی ناشی از جوشکاری A-TIG فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 بررسی و نتایج ذیل حاصل گردید:

- کمترین عرض گرده مربوط به نمونه 17 (50% ZrO₂) و 50% TiO₂) با 6 میلی‌متر و بیشترین عمق نفوذ مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO₂) با 10 میلی‌متر بود.
- بیشترین میزان عمق نفوذ در کل نمونه‌های دارای فلاکس سطحی مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO₂) با 175% (75/1 برابر) افزایش نسبت به نمونه 4 بود.
- بیشترین میزان پیچیدگی زاویه‌ای مربوط به نمونه 4 (بدون فلاکس سطحی) با مقدار 5 درجه و کمترین میزان پیچیدگی زاویه‌ای مربوط به نمونه‌های 17 تا 21 (با مخلوط فلاکس‌های سطحی ZrO₂ و TiO₂) با مقدار 1 درجه می‌باشد.
- میزان پیچیدگی زاویه‌ای نمونه‌های فلاکس دار سطحی ZrO₂، TiO₂ و 225% کمتر از نمونه شماره 4 (بدون فلاکس سطحی) بودند.
- بیشترین طول دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO₂) با 150 میکرومتر و کمترین طول دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90% TiO₂) با 45 میکرومتر بود.
- بیشترین عرض دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO₂) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90% TiO₂) با عدد 30 میکرومتر بود.
- بیشترین مقدار سختی نمونه‌ها مربوط به نمونه شماره 16 (90% TiO₂) با مقدار 950 ویکرز و کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 11 (90% ZrO₂) با مقدار

TiO₂ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مجله مهندسی

مکانیک مدرس، شماره 7، صفحه 16-24.

- [10] I.Varol, C.Lippold, WA. Baeslack, 2014, Welding of Duplex Stainless Steels, Key Engineering Materials, 69-70.
- [11] T.S.Chern, K.H.Tseng, H.L.Tsai, 2011, Study of the Characteristics of Duplex Stainless Steel Activated Tungsten Inert Gas Welds. Materials Design, 32 (1), 255-263.
- [12] H.Fujii, T.Sato, S.P.Lu, K.Nogi, 2008, Development of an Advanced A-TIG (A-TIG) Welding Method by Control of Marangoni Convection. Materials Science Engineering, A, 495, 296-303
- [13] D.S.Howse, W. Lucas, 2000, Investigation into Arc Constriction by Active Fluxes for Tungsten Inert Gas Welding, Science and Technology of Welding and Joining, 5 (3), 189-193.
- [14] H.Y.Huang 2009, Effects of Shielding Gas Composition and Activating Flux on GTAW Weldments, Materials Design, 30 (7), 2404-2409.
- [15] H.Y.Huang, S.W.Shyu, K.H.Tseng, C.P.Chou, 2005, Evaluation of TIG Flux Welding on the Characteristics of Stainless Steel, Science and Technology of Welding and Joining, 10 (5), 566-573.
- [16] S.Leconte, P. Paillard, P. Chapelle, G. Henrion, J. Saindrenan, 2006, Effect of Oxide Fluxes on Activation Mechanisms of Tungsten Inert Gas Process. Science and Technology of Welding and Joining, 11 (4), 389-397.
- [17] Y.L.Xu, Z.B. Dong, Y.H. Wei, C.L. Yang, 2007, Marangoni Convection and Weld Shape Variation in A-TIG Welding Process, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 48(2), 178-186.
- [18] S. Leconte, P. Paillard, and J. Saindrenan, 2006 و Weld Shape Variation and Electrode Oxidation Behavior under Ar-(Ar-CO₂) Double Shielded GTA Welding Science and Technology of Welding and Joining, 11(6), 43-47.
- [19] B. Bonnefois, L. Coudreuse, and J. Charles, 2004, An Improved Theoretical Model for A-TIG Welding Based on Surface Phase Transition and Reversed Marangoni Flow, Welding Journal, 18, 208-212.
- [20] E. Ahmadi, A. R. Ebrahimi, R. Azari Khosroshahi, 2013, Welding of 304L Stainless Steel with Activated Tungsten Inert Gas Process (A-TIG), International Journal of ISSI, 10(1) 27-33.
- [21] M. Zuber, V. Chaudhri, V. K. Suri, and S. B. Patil, 2014, Effect of Flux Coated Gas Tungsten Arc Welding on 304L, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 6(3), 177-181
- [22] A. Singh, V. Dey, R. Rai, 2017, Techniques to Improve Weld Penetration in TIG Welding (A review), Materials Today, vol. 4(2), 1252-1259.

410 ویکرز بود.

- نتایج کلیه آزمون ها مشخص می نماید که فلاکس های فعال کننده سطحی ZrO₂ و TiO₂ با ایجاد تغییرات بر جریان های طولی و عرضی مذاب در حوضچه جوش بر عمق نفوذ، عرض گرده، میزان پیچیدگی زاویه ای، اندازه طول و عرض دانه های ماکروسکوپی و سختی فلز جوش تاثیر می گذارند.

منابع

- [1] J. Lippold, 2015, Welding of Duplex Stainless Steel Using Response Surface Methodology, 2014, Materials Characterization, 1, 66-84.
- [2] A. Berthier, 2012, TIG and A-TIG Welding Experimental Investigations and Comparison with Simulation Part 1 – Identification of Marangoni Effect, Science and Technology of Welding and Joining, 17(8), 609 – 615.
- [3] W.Lucas, D.Howse, 1996. Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes. Welding Materials, 64 (1), 11-17.
- [4] K.D.Ramkumar, P.S.Goutham, V.S.Radhakrishna, A.Tiwari, S.Anirudh, 2016, Studies on the Structure-Property Relationships and Corrosion Behavior of the Activated Flux TIG Welding of UNS S32750. Journal of Manufacturing Process, 23:231-41.
- [5] Y. Zou, R. Ueji, H. Fujii, 2014, Mechanical Properties of Advanced Active-TIG Welded Duplex Stainless Steel and Ferrite Steel, Materials Science and Engineering A, 620(3), 140-148
- [6] K.H. Tseng, C. Y. Hsu, 2011, Performance of Activated TIG Process in Austenitic Stainless Steel Welds, Journal of Materials Processing Technology, 211, 503-512.
- [7] S. Leconte, P. Paillard, P. Chapelle, G. Henrion and J. Saindrenan, 2006, Effect of Oxide Fluxes on Activation Mechanisms of Tungsten Inert Gas Process, Science and Technology of Welding and Joining, 11 (4), 389-400
- [8] T.K .Pal., Maity.U.K, 2011, "Effect of Nano Size TiO₂ Particle on Mechanical Properties of AWS11018M Type Electrode", Materials Science and Applications, 2(9).PP.1285-292.
- [9] آقاخانی محمد، نیکزاد آرش، 1393، مدل سازی ارتفاع جوش در فرایند جوشکاری TIG با در حضور نانو ذرات