

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال ششم، شماره2، پاییز و زمستان 1399، صفحه 41-51

# اثر نوع فلاکس فعال کننده سطحی بر پروفیل جوش، پیچیدگی زاویه ای ناشی از جوشکاریAISI 2205 فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205

امیر لری امینی، حامد ثابت<sup>\*</sup>، محسن قنبری حقیقی گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران (دریافت مقاله: 1398/04/17 ؛ یذیرش مقاله: 1398/08/03)

چکیدہ

در این تحقیق فولاد زنگ نزن دوفازیZO2 ZrO و ZrO محاوا مخلوط نمونه هایی با درصد های وزنی متفاوتی تهیه و استفاده شد. نتایج جو شکاری شد. بدین منظور از دو فلاکسZrO و ZrO و TiO محورت 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 و 50 %ZrO کمترین عرض گرده و نمونه موای کرسی های چشمی نمونه های مختلف مشخص نمود که نمونه تهیه شده با فلاکس سطحی 50 %ZrO و 50 %ZrO کمترین عرض گرده و نمونه حاوی 90%ZrO بیشترین عمق نفوذ را دارد، همچنین نتایج بررسی ها نشان داد که میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مخلوط فلاکسZrO و 700 محروط نمونه ها مشخص نمود که بیشترین عرض گرده و نمونه مای حاوی 90%ZrO بیشترین عمق نفوذ را دارد، همچنین نتایج بررسی ها نشان داد که میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مخلوط فلاکسZrO و 270 . ZrO پی 270 بیشترین عمق نفوذ را دارد، همچنین نتایج بررسی ها نشان داد که میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مخلوط فلاکس 270 و 270 . ZrO و 700 . ZrO و 200 . ZrO و 200 گروه و عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه جاوی 90%ZrO و عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO است. نتایج آزمون سختی نیز نشان داد که بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO است. در مجموع نتایج کلیه آزمون ها مشخص نمود که فلاکس های سطحیZrO و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدار 200 و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدار 200 و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدار 200 و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدار 200 و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدار 200 و یکرو و یکرو و یکرو و کمترین میزان سختی میزان پیچیدگی زاویه ای اندار 200 و یکرو و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی 90%ZrO یا مقدی مود که فلاکس های سطحیZrO و حرض دانه های حاوی و عرض دانه های علولی و عرضی مذانه های علولی و عرضی مذان میزان پیچیدگی زاویه ای از دوفازی 200 یا حاوی تول گرده، میزان پیچیدگی زاویه ای از دوفازی 200 یا در میزان پیچیدگی زاوی و یای از دوفای و می مرفا مونی گرده، میزان پیچیدگی زاویه ای از دوفا و عرض دانه های مک

كلمات كليدي: فرايند جوشكاري A-TIG، فولاد دوفازي، فلاكس فعال كننده سطحي.

## 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

\* نويسنده مسئول، پست الكترونيكي: <u>h-sabet@kiau.ac.ir</u>

specimen with 50% ZrO<sub>2</sub> and 50% TiO<sub>2</sub> activated flux, had the lowest face width and the specimen with contains 90% ZrO<sub>2</sub> activated flux, had the highest penetration depth. Also, the results showed that the angular distortion of the specimens with mix of the ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> 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% ZrO<sub>2</sub> activated flux and the smallest length and width of the macroscopic grains were related to the sample with 90% TiO<sub>2</sub> activated flux. The hardness test results showed that the highest hardness of the samples was gained to 90% TiO<sub>2</sub> activated flux specimen with 950 HV and the lowest hardness value for the sample with 90% ZrO<sub>2</sub> activated flux with 410 HV. The results of all tests showed that surface activated fluxes (ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>) 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.

ارائه شد و مزیت هایی نسبت به فرآیندTIG معمول داشت. در این روش با استفاده از یک سری فلاکسهای فعال کننده سطحی، شرایطی در ستون قوس و حوضچه مذاب حاصل میگردد که منجر به افزایش عمق نفوذ جوش در روش بااراین به کمک این روش می توان قطعات ضخیم تر را با بنابراین به کمک این روش می توان قطعات ضخیم تر را با سرعت بالاتری جوشکاری نمود. علاوه بر این با استفاده از فلاکسهای 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 می جبران می گردد[4]. در خصوص بکارگیری از فلاکسهای فعال کننده سطحی در جوشکاریTIG فولادهای زنگنزن

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 روشA-TIG برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن، فلاکس فعال کننده سطحیSiO2 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 آستنیتی با استفاده از فرایندTIG مطالعاتی انجام دادند. آنان از فلاکس هایTiO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub>,MnO<sub>2</sub>, MoO<sub>3</sub> ,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در فرایند نمودند.

نتایج تحقیق آنان نشان داد که فلاکس های حاویMnO و SiO

1- مقدمه فولاد زنگ نزن آستنیتی-فریتی یا دوفازی تقریبا از درصد حجمی برابر آستنیت و فریت تشکیل شده است. این آلیاژها حاوی22 تا 25 درصد کروم ،5 تا7 درصد نیکل، تا4 درصد مولیبدن و مقادیری مس و نیتروژن هستند. فولادهای زنگ نزن دو فازی مجموعه ای از مقاومت به خوردگی خوب همراه با استحکام بالا را ارایه می دهند[1و2].

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

فرایند TIG عمدتاً برای جوشکاری ورق هایی با ضخامت کم و متوسط بین3 الی7 میلی متر که کیفیت متالورژیکی مناسب و خواص مکانیکی مطلوب مدنظر است انجام می گردد. علاوه بر این فرآیندBTTحرارت ورودی پایین تری نسبت به دیگر فرآیندهای جوشکاری دارد. در مقابل این مزایا، سرعت جوشکاری پایین و عمق نفوذکم از محدویت های بارز این فرآیند به شمار می آید. به گونه ای که نسبت به دیگر فرآیندهای جوشکاری، در مورد مقاطعی ضخیم تر از10 میلی متر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست[3].

فرآیند جوشکاریTIG با استفاده از فلاکس های فعال کننده سطحی یا اکتیو تیگ (A-TIG) یکی از ابداعاتی که در سال1965 میلادی توسط موسسه جوشکاریPaton در اوکراین جدول 1- تركيب شيميايي (درصد وزني) فولاد AISI 2205 .

С	Mn	Р	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Fe
•/• ••	۲/۰۱۰	•/• • •	•/•14	۱/۰۳۰	22/200	4/200	۳/۲۱۰	•/101	باقيمانده

استفاده.	مورد	های	فلاكس	مشخصات	-2	جدول
----------	------	-----	-------	--------	----	------

	مشخصات پودر					
ىوع پودر	کشور سازنده	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	ابعاد ذرات (میکرون)	خلوص پودر (درصد)		
TiO <sub>2</sub>	بلژیک	۴/۲۳	۲.	٩٩		
ZrO <sub>2</sub>	بلژیک	۵/۶۸	١٠	٩٩		

عمق نفوذ را افزایش و عرض گرده را کاهش می دهند. همچنین آنها گزارش دادند که فرایندA-TIG باعث افزایش پیچیدگی زاویه ای در حین جوشکاری ورق های فولادى316L مى شود. آنها اعلام نمودند كه افزودن فلاکس های فوق، تاثیر قابل توجهی بر مقدار سختی ناحیه جوش نداشته است.Leconte و همکاران [7] در مورد تاثیر فلاکسهای اکسیدیzrO<sub>2</sub> وZrO بر فرایندA-TIG فولاد زنگ نزن304L مطالعاتی انجام دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد فلاکس های TiO<sub>2</sub> وZrO<sub>2</sub> تاثیر قابل توجهی بر عرض گرده جوش داشته است. تحليل آنها بر تاثير اكسيژن در تغيير جريان ماراگونی حوضچه مذاب بوده است. با توجه به تاثیر فلاکس هایTiO<sub>2</sub> وZrO<sub>2</sub> [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 زاویهای ناشی از جوشکاری-A Tig فولاد زنگ نزن دوفازیAISI 2205 با استفاده از فلاكسZrO<sub>2</sub> وTiO<sub>2</sub> بصورت مجزا و مخلوط مي باشد.

2- روش تحقيق

به منظور انجام این تحقیق، فولاد زنگ نزن دوفازی AISI 2205 به ابعاد70×150×8 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 پودریTiO<sub>2</sub> وZrO بصورت جدگانه و مخلوط با هم (بهصورت معلق در ستون) بررسی شدند. مشخصات پودرهای فلاکس مورد استفاده در

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- پارامتر های جوشکاری نمونه ها

Khazar -Tig AC/DC 350A	دستگاه جوشکاری		
KARA-KF7514	ریل متحرک		
۴mm	فاصله الكترود تا قطعه كار		
\.mm/sec	سرعت حركت خطى		
١	تعداد پاس		
۲/۴mm	قطر الكترود		
EWTh- 2	جنس الكترود		
۱۲lit/min	دبی گاز محافظ		
Ar	نوع گاز محافظ		
7.99	خلوص گاز محافظ		

جدول 4- شرايط 6 نمونه جو شکاری شده بدون فلاکس

اختلاف پتانسیل (ولت)	شدت جریان (آمپر)	شماره نمونه
18	۱۰۵	١
۱۷/۶	144	۲
۱۸/۴	٦٧٣	٣
١٩	۱۹۶	۴
۲۰/۷	۲۳۰	۵
۲.	78.	۶

درصد TiO2	وزن TiO <sub>2</sub> (گرم)	درصد ZrO2	وزن ZrO <sub>2</sub> (گرم)	شماره نمونه
-	-	١.	۴	٧
-	-	۳۰	١٢	٨
-	-	۵۰	۲.	٩
-	-	٧٠	۲۸	١٠
-	-	٩٠	۳۶	11
۱.	۴	-	-	17
۳۰	١٢	-	-	١٣
۵۰	۲.	-	-	14
٧٠	۲۸	-	-	۱۵
٩٠	۳۶	-	-	18
۵۰	۲.	۵۰	۲.	١٧
30	۲۸	70	١٢	١٨
40	74	60	18	١٩
20	٣٢	80	٨	۲۰
35	75	65	14	۲۱

جدول 5- شرايط نمونه ها با فلاكس هاي مختلف.

مخلوط مایع فلاکس (فلاکس به همراه استون) و همچنین ایجاد ضخامت مناسب فلاکس (دو میلی متر برای کلیه نمونه ها) مرزبندی لازم با سایرقسمت ها توسط خمیر انجام گردید، که بعد از تبخیر کامل استون و قبل عملیات جوشکاری خمیر ها ازسطح ورق جدا شدند و عملیات جوشکاری بصورت رویه (سطحی) بر روی نمونهها انجام شد. بعد از جوشکاری سطحی نمونههاابتدا کلیه نمونه ها جهت تعیین کیفیت سطحی حاصل ریزساختار و عمق نفوذ، کلیه نمونهها 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 ASTM انجام و تصاویر مورد نیاز تهیه شد.

در مرحله دوم بر اساس نتایج (بازرسی چشمی و بررسی مقاطع ماکروسکوپی) نمونه های1 الی6، تعداد5 نمونه با فلاکس ZrO<sub>2</sub> و5 نمونه با فلاکس TiO2 مطابق با شرایط ارایه شده در جدول(5) (با مقدار ثابت40 گرم فلاکس معادل100% و دانسیته سطحی 25mg/mm<sup>2</sup>) 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 تعداد5 نمونه با مخلوط فلاکس های2017 وZrOz 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 پودری2017 وZrOz بصورت جدگانه و مخلوط با شعات بطول 100 وعرض15 میلی متر منتقل گردیدند، لازم به قطعات بطول100 وعرض15 میلی متر منتقل گردیدند، لازم به دکر است که به منظور ایجاد شرایط یکسان جهت آزمایشها، به منظور جلوگیری از عدم پراکندگی فلاکسها هنگام انتقال

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

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 گرم و تحت زمان 15 ثانیه استفاده شد.به منظور اندازه گیری پیچیدگی زاویه ای، از زاویه سنج GB-T 15675-2008 مطابق با استاندارد COMPASS استفاده شد.

3- نتايج و بحث

جدول(6) نتایج بازرسی چشمی و ماکروسکوپی نمونه های مختلف بدون فلاکس ( نمونه های 1 تا 6) و با فلاکس (نمونههای 7 تا 21) را ارایه می دهد .

همانطور که در جدول(6) مشخص است، در بین نمونه های شماره1 تا 6، که فاقد فلاکس هستند و فقط برای تعیین شرایط مناسب تهیه شده اند، نمونه شماره4 (نمونه جوشکاری شده با شدت جریان196 آمپر و اختلاف پتانسیل19 ولت)، دارای ظاهر سالم و بیشترین عمق نفوذ می باشد. البته نمونه های1 تا3 از نظر ظاهر جوش سالم هستند، ولی دارای عمق نفوذ کمتری نسبت به شماره4 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

کننده سطحیZrO<sub>2</sub> 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، نسبتW/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 نسبتW/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 بعلت اثر گذاری فلاکسZrO2 بیشتر بوده است و در نتیجه به علت بالا بودن کشش سطحی مولکول هایZrO2، افزایش عمق نفوذ و

گرده جوش براساس جریان ماراگونی رخ داده است[8]. بررسی جدول (6) مشخص می نماید که بیشترین عمق نفوذ در كل نمونه هاى با كيفيت سطحي قابل قبول (سالم)، مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub> %90) 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 فلاکسTiO<sub>2</sub> 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 شماره16، نسبتW/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 نسبتW/D بالاتر از نمونه شماره 16 (به ترتيب 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( فلاکسTiO<sub>2</sub>) کمتر ازعمق نفوذ نمونه های 7 الی 11 (فلاکسZrO<sub>2</sub>) می باشد که علت این امر ناشی از اثر کمتر جریان های عمودی در حوضچه جوش تحت تاثير فلاكس هاي2TiO مي باشد [9-10].

## امیر لری امینی و همکاران، نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال ششم، شماره2، پاییز و زمستان 1399، صفحه41-41 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 گردہ جوش	تصویر سطح مقطع جوش	نسبت عرض گرده به عمق نفوذ (W/D)	عرض گردہ (W) (میلی	عمق نفوذ (D)(میلی متر)	شماره نمونه
سالم			۴	۲	•/۵	١
سالم			۴	۴	١	۲
سالم	Concert (		۴	۶	١/۵	٣
سالم	time (Collect		٣/۵	Y	۲	۴
معیوب- بریدگی لبه جوش	en estatution	-	4/1	٩	۲/۲	۵
معیوب- بریدگی لبه جوش	Manage A		۲/۸	١.	٣/۵	۶
سالم			۲/۸	٨	۲/۸	٧
معيوب- پيچيدگى قوس	Carolina Carolina	No.	٣/١	٧/٨	۲/۵	٨
معيوب-گرده نامناسب			٣	۷/۵	۲/۵	٩
معیوب-وجود حفرات گازی			۴/۸	١.	۲/۱	١٠
سالم	Conten (		۲/۸	١٠	٣/۵	۱۱
معیوب-وجود حفرات گازی	the second	The second	۵	۵	١	١٢
معيوب-گرده نامناسب			۶/۵	۶/۵	١	١٣
معيوب-گرده نامناسب	dec.		۴/۵	۶/٨	١/۵	14
معيوب-گرده نامناسب			۴/۸	۷/۲	١/۵	۱۵
سالم		A CONTRACTOR	۴/۲	۲/۱	١/٧	18

وضعیت ظاهر جوش و نوع عیب	تصویر گردہ جوش	تصویر سطح مقطع جوش	نسبت عرض گرده به عمق نفوذ (W/D)	عرض گردہ (W) (میلی متر)	عمق نفوذ (D)(میلی متر)	شماره نمونه
سالم			٣	۶	٢	۱۷
سالم			۴/۱	٩	۲/۲	۱۸
سالم			۲/۵	۷/۵	٣	۱۹
سالم			٣/٢	۹/۵	٣	۲.
سالم	A STATE OF STATE		۲/۷	٨	٣	۲۱

مقادیر عمق نفوذ و عرض گرده جوش برای نمونه های حاوی مخلوط فلاکس های2rO<sub>2</sub> و2TiO (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 D/W در این گروه از نمونه ها مربوط به نمونه شماره 18 با مقدار 1/4و کمترین نسبت D/W مربوط به نمونه شماره 19 با مقدار 2/5 می باشد. بررسی نتایچ این گروه از نمونه ها مشخص می نماید که کمترین عمق نفوذ مربوط به نمونه شماره 17 (25%2ro و 20%2ro) می باشد.

علت این امر ناشی از جریان عرضی قوی تر مذاب حوضجه تحت تاثیر فلاکس 2TiO می باشد که با محدود کردن جریان عمودی مذاب باعث کاهش عمق نفوذ شده است[9-12]، به نحوی که با تغییر درصد فلاکس 2rOz و TiO2 در مخلوط فلاکس سطحی (درنمونه شماره 18) عمق نفوذ افزایش یافته است و این روند برای نمونه شماره 19 نیزمشاهده می شود. در نمونه های شماره 20و 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.

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% 200 و 50 %TiO2) با مقدار 6 میلی متر می باشدکه تاییدی بر تاثیر تقابل مریان های طولی و عرضی (انبساطی و انقباضی) در حوضچه مذاب ناشی از حضور توام فلاکس های2rO2 و TiO2 در میباشد [9-11]. جدول (7) میزان پیچیدگی زاویهای نمونههای منتخب یا نمونههای با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم) را ارائه میدهد، همچنین شکل (1) میزان پیچیدگی زاویه ای نمونههای مذکور را نشان میدهد. اصولا 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 جرارت ورودی صرف ذوب و انحلال فلاکس ها می گردد ییچیدگی کمتری از خود نشان میدهند.

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







جوشکاری با فلاکس های سطحیZrO<sub>2</sub> وTiO<sub>2</sub> (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) ارایه شده است. با توجه به نتایج جدول (8) مشخص می گردد ،که بیشترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%00 ) با150 میکرومتر می باشد و کمترین طول دانههای ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90%TiO) 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 فلزپایه وارد شده[16،15و18] ،است و در نتیجه همگی میزان پیچیدگی زاویه ای یکسانی ازخود نشان داده اند. همچنین بررسی نتایج جدول (7) و شکل (1) مشخص استفاده از مخلوط می نماید که میزان پیچیدگی زاویه ای در حین

میزان پیچیدگی زاویه ای (درجه)	درصد TiO <sub>2</sub>	درصد ZrO <sub>2</sub>	شماره نمونه
۵	-	-	۴
۴	-	۱.	٧
۲	-	٩٠	11
۲	٩٠	-	18
١	۵۰	۵۰	١٧
١	30	70	۱۸
١	40	60	١٩
١	20	80	۲۰
١	35	65	۲۱

جدول 7- ميزان پيچيدگي زاويه اي نمونه هايي با كيفيت سطحي قابل قبول بدون فلاكس و با فلاكس ZrO<sub>2</sub> و TiO<sub>2.</sub>

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

تصاویر ماکروسکوپی	نسبت اندازه دانه ها	عرض دانه (میکرومتر)	طول دانه (میکرومتر)	درصد TiO <sub>2</sub>	درصد ZrO2	شماره نمونه
	١/٧	۴۵	۷۵	-	-	۴
	١/١	۴۵	۵۰	-	١٠	٧
10 µm	١/٩	٨٠	۱۵۰	-	٩٠	11
19 <b>0</b> Jan	١/۵	۳.	۴۵	٩٠	-	18
	١/٢	۵۰	۶.	۵۰	۵۰	١٧
Set 1	۲/۱	۵۰	١٠۵	30	70	١٨
	۲/۶	۴۵	١٢٠	40	60	١٩
	١/۴	۳۵	۵۰	20	80	۲.
-10 um	٣/١	۳۵	11.	35	65	۲۱

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 فلاکس2rO با تقویت جریان های طولی (و عرضی) انبساطی[7،8و20]. در مذاب حوضچه توانسته بیشترین طول و عرض دانه های ماکروسکوپی را ایجاد کند، در مقابل حضور فلاکس2TO با تقویت جریان های عرضی انقباضی[7،0و21]، در مذاب ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (2rO<sub>2</sub>%90) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (TiO<sub>2</sub>%90) با 30 میکرومتر می باشد، بیشترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 21 (50%2rO<sub>2</sub> و 35%2rO) با نسبت 1/3 و کمترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی نیز مربوط به نمونه شماره 7 (2rO<sub>2</sub>%01) با نسبت 1/1 می باشد.

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

سختی جوش (HV0.1)	شماره نمونه
۵۰۰	۴
۵۵۰	۷
41.	١١
۹۵۰	18
۵۰۵	١٧
۵۰۰	١٨
44.	١٩
۵۹۰	۲.
40.	۲۱

جدول 9- مقادير سختي نمونه هايي با كيفيت سطحي قابل قبول.

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

همانطور که ازنتایج جدول (9) و شکل (2) مشخص است، بیشترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 16 با مقدار 950 ویکرز می باشد. همچنین کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 11 با مقدار410 ویکرز می باشد. با مقایسه نتایج آزمون سختی(جدول (9) و شکل (2)) با نتایج حاصل از اندازه دانه های ماکروسکوپی جدول (8) مشخص می گردد که تغییرات سختی مرتبط با اندازه دانه ها می باشد [19-22]. بررسی مجدد نتایج اندازه دانه های ماکروسکوپی (جدول 8) مشخص می نتایج اندازه دانه های ماکروسکوپی (جدول 8) مشخص می می اسختی مرتبط با اندازه طولی و عرضی دانه های ماکروسکوپی مشاهده می گردد که بیشترین سختی مربوط به این نمونه است، در مقابل بیشترین اندازه طولی و عرضی دانه های ماکروسکوپی مشاهده می گردد که بیشترین سختی مربوط به این نمونه است، مربوط به نمونه شماره 11 می باشد (مرزدانه های کمتر) لذا کمترین میزان سختی مربوط به این نمونه است.

4- نتیجه گیری 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 دوفازیAISI 2205 بررسی و نتایج ذیل حاصل گردید:

- کمترین عرض گرده مربوط به نمونه 17 (50 %ZrO<sub>2</sub> و TiO<sub>2</sub>%50) با 6 میلی متر و بیشترین عمق نفوذ مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%90) با 10 میلی متر بود .
- بیشترین میزان عمق نفوذ در کل نمونه های دارای فلاکس سطحی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%90) با 175%
   (75/1 برابر) افزایش نسبت به نمونه 4 بود.
- بیشترین میزان پیچیدگی زاویه ای مربوط به نمونه 4
  (بدون فلاکس سطحی) با مقدار 5 درجه و کمترین میزان پیچیدگی زاویه ای مربوط به نمونه های 17 تا 21 (با مخلوط فلاکسهای سطحیZrO<sub>2</sub> وZrO<sub>2</sub>) با مقدار 1
  درجه می باشد.
- میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های فلاکس دار سطحیZrO<sub>2</sub> و 225، TiO<sup>2</sup> کمتر از نمونه شماره 4 (بدون فلاکس سطحی) بودند.
- بیشترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%90) با 150 میکرومتر و کمترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (TiO<sub>2</sub>%90) با 45 میکرومتر بود.
- بیشترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%90) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (TiO<sub>2</sub>%90) با عدد 30 میکرومتر بود.
- بیشترین مقدار سختی نمونه ها مربوط به نمونه شماره 16
  (TiO<sub>2</sub>%90) با مقدار 950 ویکرز و کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO<sub>2</sub>%90) با مقدار

[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.Huang2009, 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  $\mathfrak{g}$  Weld Shape Variation and Electrode Oxidation Behavior under Ar-(Ar-CO<sub>2</sub>) 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, <u>Welding of 304L Stainless Steel with Activated</u> <u>Tungsten</u> 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 <u>.6(3)</u>, 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.

منابع

410 ويكرز بود .

[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 Praperties of AWS11018M Type Electrode ",Materials Science and Applications, 2(9). PP. 1285-292.

[9] آقاخانی محمد، نیکزاد آرش، 1393، مدل ساز ی ارتفاع جوش در فرایند جوشکاری TIG با در حضور نانو ذرات