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

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 دوفازیAISI 2205 با استفاده از فلاکس های فعال کننده سطحی به روشA-TIG به صورت رویه (سطحی) جوشکاری شد. بدین منظور از دو فلاکسZrO_2 وTiO_2بصورت مجزا و مخلوط نمونه هایی با درصد های وزنی متفاوتی تهیه و استفاده شد. نتایج بررسی‌های چشمی نمونه های مختلف مشخص نمود که نمونه تهیه شده با فلاکس سطحی50 %ZrO_2 و50 %TiO_2 کمترین عرض گرده و نمونه حاوی90%ZrO_2 بیشترین عمق نفوذ را دارد، همچنین نتایج بررسی ها نشان داد که میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های مخلوط فلاکسZrO_2 وTiO_2 ،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 حاوی90%ZrO_2 و کمترین طول و عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه حاوی90% TiO_2 است. نتایج آزمون سختی نیز نشان داد که بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی90%TiO_2 با مقدار950 ویکرز و کمترین میزان سختی مربوط به نمونه حاوی90%ZrO_2 با مقدار410 ویکرز است. در مجموع نتایج کلیه آزمون ها مشخص نمود که فلاکس های سطحیZrO_2 وTiO_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 دوفازیAISI 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@kiau.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

specimen with 50% ZrO_2 and 50% TiO_2 activated flux, had the lowest face width and the specimen with contains 90% ZrO_2 activated flux, had the highest penetration depth. Also, the results showed that the angular distortion of the specimens with mix of the ZrO_2 and TiO_2 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_2 activated flux and the smallest length and width of the macroscopic grains were related to the sample with 90% TiO_2 activated flux. The hardness test results showed that the highest hardness of the samples was gained to 90% TiO_2 activated flux specimen with 950 HV and the lowest hardness value for the sample with 90% ZrO_2 activated flux with 410 HV. The results of all tests showed that surface activated fluxes (ZrO_2 and TiO_2) 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

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 می‌شود[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 فرآیندTIGحرارت 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 میلی‌متر 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 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 TIGمی‌شود[4].

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 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 توسطZou و همکاران [5] نشان داد که از میان فلاکس های فعال کننده سطحی در روشA-TIG برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن، فلاکس فعال کننده سطحیSiO_2 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 فرایندA-TIG مطالعاتی انجام دادند. آنان از فلاکس هایAl_2O_3, MoO_3, MnO_2,SiO_2,TiO_2 در فرایند A-TIG برای جوشکاری فولاد زنگ‌نزن 316L استفاده نمودند.

نتایج تحقیق آنان نشان داد که فلاکس های حاویMnO_2 وSiO_2

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول 1- ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) فولاد2205 AISI .

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Fe
۰/۰۳۰	۲/۰۱۰	۰/۰۳۰	۰/۰۱۴	۱/۰۳۰	۲۲/۵۰۰	۴/۷۵۰	۳/۲۱۰	۰/۱۵۱	باقیمانده

جدول 2- مشخصات فلاکس های مورد استفاده.

نوع پودر	مشخصات پودر			
	کشور سازنده	دانسیته (g/cm^3)	ابعاد ذرات (میکرون)	خلوص پودر (درصد)
TiO_2	بلژیک	۴/۲۳	۲۰	۹۹
ZrO_2	بلژیک	۵/۶۸	۱۰	۹۹

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 فولادی316L می شود. آنها اعلام نمودند که افزودن فلاکس‌های فوق، تاثیر قابل توجهی بر مقدار سختی ناحیه جوش نداشته است.Leconte و همکاران [7] در مورد تاثیر فلاکس‌های اکسیدیTiO_2 وZrO_2 بر فرایندA-TIG فولاد زنگ نزن304L مطالعاتی انجام دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد فلاکس‌های TiO_2 وZrO_2 تاثیر قابل توجهی بر عرض گرده جوش داشته است. تحلیل آن‌ها بر تاثیر اکسیژن در تغییر جریان ماراگونی حوضچه مذاب بوده است. با توجه به تاثیر فلاکس هایTiO_2 وZrO_2 [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 دوفازی2205 AISI با استفاده از فلاکسZrO_2 وTiO_2 بصورت مجزا و مخلوط می باشد.

2- روش تحقیق

به منظور انجام این تحقیق، فولاد زنگ نزن دوفازی 2205 AISI 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_2 وZrO_2 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)، تعداد6 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) این6 نمونه در جدول(4) ذکر شده است، همچنین استاندارد مورد استفاده در این روشAWS D1.6 می‌باشد.

جدول 3- پارامتر های جوشکاری نمونه ها

دستگاه جوشکاری	Khazar -Tig AC/DC 350A
ریل متحرک	KARA-KF7514
فاصله الکترود تا قطعه کار	۴mm
سرعت حرکت خطی	۱۰mm/sec
تعداد پاس	۱
قطر الکترود	۲/۴mm
جنس الکترود	EWTh- 2
دبی گاز محافظ	۱۲lit/min
نوع گاز محافظ	Ar
خلوص گاز محافظ	٪۹۹

جدول 4- شرایط 6 نمونه جوشکاری شده بدون فلاکس

شماره نمونه	شدت جریان (آمپر)	اختلاف پتانسیل (ولت)
۱	۱۰۵	۱۶
۲	۱۴۳	۱۷/۶
۳	۱۷۳	۱۸/۴
۴	۱۹۶	۱۹
۵	۲۳۰	۲۰/۷
۶	۲۶۰	۲۰

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

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	70	۲۸	30
۱۹	۱۶	60	۲۴	40
۲۰	۸	80	۳۲	20
۲۱	۱۴	65	۲۶	35

در مرحله دوم بر اساس نتایج (بازرسی چشمی و بررسی مقاطع ماکروسکوپی) نمونه های1 الی6، تعداد5 نمونه با فلاکس ZrO_2 و5 نمونه با فلاکس TiO_2 مطابق با شرایط ارایه شده در جدول(5) (با مقدار ثابت40 گرم فلاکس معادل100% و دانسیته سطحی $25mg/mm^2$) 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 هایTiO_2 وZrO_2 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 پودریTiO_2 وZrO_2 بصورت جدگانه و مخلوط با هم (بصورت معلق در استون) تهیه و سپس به سطح (وسط) قطعات بطول100 وعرض15 میلی متر منتقل گردیدند، لازم به ذکر است که به منظور ایجاد شرایط یکسان جهت آزمایش‌ها، به منظور جلوگیری از عدم پراکندگی فلاکس‌ها هنگـام انتقال 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 تحت بررسی چشمی قرار گرفتند سپس به منظور بررسی 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 میکروسکوپ مدلMeiji -2M و مطابق با استاندارد ASTM E112 انجام و تصاویر مورد نیاز تهیه شد.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

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

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

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 بار100 گرم و تحت زمان 15 ثانیه استفاده شد.به منظور اندازه‌گیری پیچیدگی زاویه‌ای، از زاویه‌سنج GROZ مدل COMPASS مطابق با استاندارد2008-15675 GB-T 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 (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.

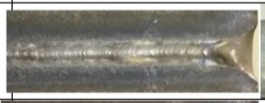
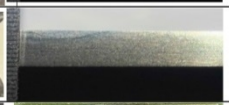
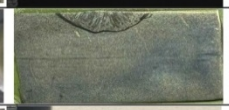
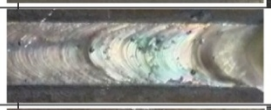
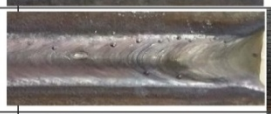
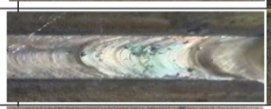
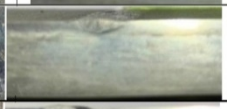
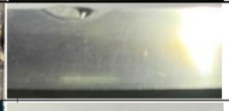
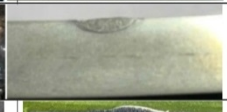
همچنین نمونه های شماره5 و6، دارای ظاهر معیوب (بریدگی کناره جوش) می باشند. از آنجا که بهترین شرایط (کمترین نسبت عرض گرده به عمق نفوذW/D) برای نمونه های سالم (شماره 1 الی 4) نمونه شماره 4 می باشد، لذا شدت جریان و اختلاف پتانسیل جوشکاری این نمونه را به عنوان حالت مناسب در نظر گرفته شد و برای سایر نمونه 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_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، 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 فلاکسZrO_2 بیشتر بوده است و در نتیجه به علت بالا بودن کشش سطحی مولکول هایZrO_2 ، افزایش عمق نفوذ و گرده جوش براساس 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 می‌باشد 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_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 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 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(فلاکسTiO_2) کمتر ازعمق نفوذ نمونه های 7 الی 11 (فلاکسZrO_2) می باشد که علت این امر ناشی از اثر کمتر جریان های عمودی در حوضچه جوش تحت تاثیر فلاکس هایTiO_2 می باشد[9-10].

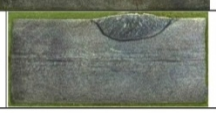
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

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).

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
۱	۰/۵	۲	۴			سالم
۲	۱	۴	۴			سالم
۳	۱/۵	۶	۴			سالم
۴	۲	۷	۳/۵			سالم
۵	۲/۲	۹	۴/۱			معیوب- بریدگی لبه جوش
۶	۳/۵	۱۰	۲/۸			معیوب- بریدگی لبه جوش
۷	۲/۸	۸	۲/۸			سالم
۸	۲/۵	۷/۸	۳/۱			معیوب- پیچیدگی قوس
۹	۲/۵	۷/۵	۳			معیوب-گرده نامناسب
۱۰	۲/۱	۱۰	۴/۸			معیوب-وجود حفرات گازی
۱۱	۳/۵	۱۰	۲/۸			سالم
۱۲	۱	۵	۵			معیوب-وجود حفرات گازی
۱۳	۱	۶/۵	۶/۵			معیوب-گرده نامناسب
۱۴	۱/۵	۶/۸	۴/۵			معیوب-گرده نامناسب
۱۵	۱/۵	۷/۲	۴/۸			معیوب-گرده نامناسب
۱۶	۱/۷	۷/۱	۴/۲			سالم

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

ادامه 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).

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

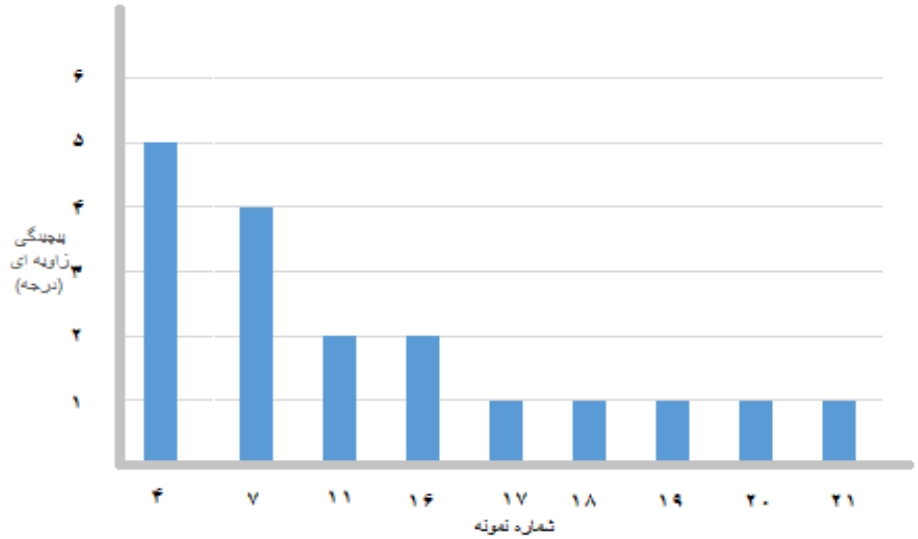
مقادیر عمق نفوذ و عرض گرده جوش برای نمونه های حاوی مخلوط فلاکس هایZrO_2 وTiO_2 (نمونه‌های شماره 17 تا 21)، در جدول (6) ارایه شده است. همانگونه که از جدول (6) مشخص است، همه نمونه های این گروه، سالم می باشند. بالاترین نسبت W/D در این گروه از نمونه ها مربوط به نمونه شماره 18 با مقدار 4/1و کمترین نسبت W/D 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%ZrO_2 و 50%TiO_2) می باشد.

علت این امر ناشی از جریان عرضی قوی تر مذاب حوضچه تحت تاثیر فلاکس TiO_2 می باشد که با محدود کردن جریان عمودی مذاب باعث کاهش عمق نفوذ شده است[9-12]، به نحوی که با تغییر درصد فلاکس ZrO_2 و TiO_2 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.

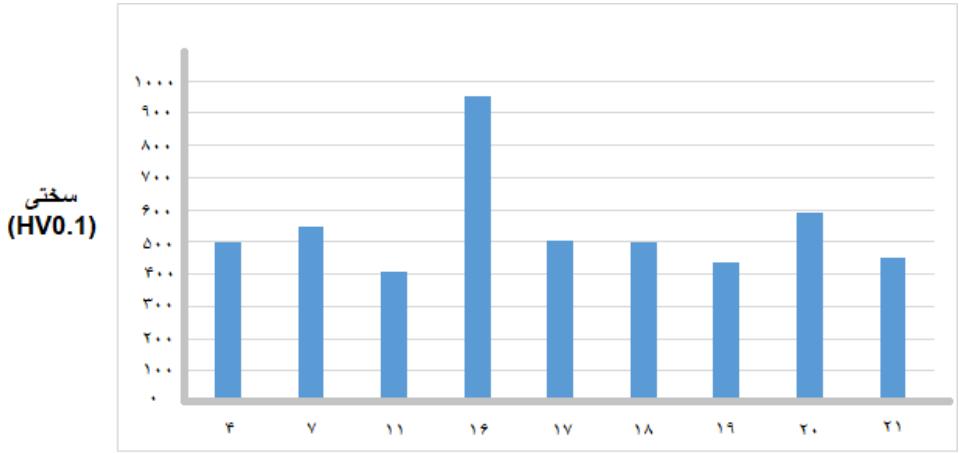
بررسی نتایج جدول (6) همچنین مشخص می نماید که کمترین عرض گرده در بین کلیه نمونه های با کیفیت سطحی قابل قبول (سالم) مربوط به نمونه شماره 17(50 %ZrO_2 و 50 %TiO_2) با مقدار 6 میلی متر می باشدکه تاییدی بر تاثیر تقابل جریان های طولی و عرضی (انبساطی و انقباضی) در حوضچه مذاب ناشی از حضور توام فلاکس هایZrO_2 وTiO_2 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 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 می‌دهند.

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

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل1- میزان پیچیدگی نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول.



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

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[15،16و18] ،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 می‌نماید که میزان پیچیدگی زاویه‌ای در حین جوشکاری با فلاکس های سطحیZrO_2 وTiO_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) ارایه شده است. با توجه به نتایج جدول (8) مشخص می گردد ،که بیشترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO_2%90) با150 میکرومتر می باشد و کمترین طول دانه‌های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (TiO_2%90) با 45 میکرومتر می باشد ، همچنین بیشترین عرض دانه های

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول 7- میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه هایی با کیفیت سطحی قابل قبول بدون فلاکس و با فلاکس ZrO_2 و TiO_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	70	30	۱
۱۹	60	40	۱
۲۰	80	20	۱
۲۱	65	35	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	70	30	۱۰۵	۵۰	۲/۱	
۱۹	60	40	۱۲۰	۴۵	۲/۶	
۲۰	80	20	۵۰	۳۵	۱/۴	
۲۱	65	35	۱۱۰	۳۵	۳/۱	

ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (ZrO_2%90) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (TiO_2%90) با 30 میکرومتر می باشد، بیشترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 21 (ZrO_2%65 و TiO_2%35) با نسبت 3/1 و کمترین نسبت اندازه طول دانه به عرض دانه ماکروسکوپی نیز مربوط به نمونه شماره 7 (ZrO_2%10) با نسبت 1/1 می باشد.

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 فلاکسZrO_2 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 فلاکسTiO_2 با تقویت جریان های عرضی انقباضی[7،10و21]، در مذاب

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

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

جدول 9- مقادیر سختی نمونه هایی 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 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 نماید که کمترین اندازه طولی و عرضی دانه های ماکروسکوپی (مرز دانه های بیشتر) مربوط نمونه شماره 16 می باشد. لذا مشاهده می گردد که بیشترین سختی مربوط به این نمونه است، در مقابل بیشترین اندازه طولی و عرضی دانه های ماکروسکوپی 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_2 و 50%TiO_2) با 6 میلی متر و بیشترین عمق نفوذ مربوط به نمونه شماره 11 (90%ZrO_2) با 10 میلی متر بود .
- بیشترین میزان عمق نفوذ در کل نمونه های دارای فلاکس سطحی مربوط به نمونه شماره 11 (90%ZrO_2) 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_2 وTiO_2) با مقدار 1 درجه می باشد.
- میزان پیچیدگی زاویه ای نمونه های فلاکس دار سطحیZrO_2 وTiO_2 ،225% کمتر از نمونه شماره 4 (بدون فلاکس سطحی) بودند.
- بیشترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (90%ZrO_2) با 150 میکرومتر و کمترین طول دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90%TiO_2) با 45 میکرومتر بود.
- بیشترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 11 (90%ZrO_2) با 80 میکرومتر و کمترین عرض دانه های ماکروسکوپی مربوط به نمونه شماره 16 (90%TiO_2) با عدد 30 میکرومتر بود.
- بیشترین مقدار سختی نمونه ها مربوط به نمونه شماره 16 (90%TiO_2) با مقدار 950 ویکرز و کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه شماره 11 (90%ZrO_2) با مقدار

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]

410 ویکرز بود .

- نتایج کلیه آزمون ها مشخص می نماید که فلاکس‌های فعال کننده سطحیZrO_2 و TiO_2 با ایجاد تغییرات بر جریان‌های طولی و عرضی مذاب در حوضچه جوش بر عمق نفوذ، عرض گرده، میزان پیچیدگی زاویه‌ای، اندازه طول و عرض دانه های ماکروسکوپی و سختی فلز جوش تاثیر می‌گذارند.

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 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 TiO_2 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.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 و Weld Shape Variation and Electrode Oxidation Behavior under Ar-(Ar-CO_2) 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.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-19]