

بررسی رفتار فلاکس اکسیدی برای جوشکاری فولاد زنگنزن ۳۱۶L توسط فرایند تیگ

> حسین صادقی ^۱ شرکت فناور محور بهسازان پوشش آتروپات

> > خلاصه

جهت ساخت یک سازه جوشکاری نیاز است تا برای افزایش کیفیت و نرخ رسوب فلز جوش، عمق نفوذ کنترل گردد. همچنین در صنایع مهم که عمق نفوذ، مهره جوش و خصوصیات متالورژیکی از حساسیت بالایی برخوردار است از فرایند جوشکاری قوس تنگستن بطور چشمگیری استفاده میشود. اما در مقایسه با دیگر فرایندهای که از قوس الکتریکی جهت جوشکاری استفاده میکنند، فرایند جوشکاری تیگ به دلیل عمق نفوذ کم قابلیت محدودی در جوشکاری مقاطع ضخیم دارد (حداکثر تا ضخامت ۲ میلی متر برای فولادهای زنگنزن) که بهروری فرایند جوشکاری تیگ را بشدت کاهش میدهد. روش استفاد از فلاکس فعال سطح امکان عبور از محدوده ضخامتی برای فرایند جوشکاری تیگ را بشدت کاهش میدهد. روش پژوهش به بررسی مشخصات ظاهر سطحی، شکل هندسی، سختی، حجم فریت و خصوصیات متالورژیکی بدست آمده از سه نوع فلاکس دفال سطح امکان عبور از محدوده ضخامتی برای فرایند جوشکاری تیگ را بوجود میآورد. بنابراین در این مه نوع فلاکس دفال سطح امکان عبور از محدوده ضخامتی برای فرایند جوشکاری تیگ را بوجود میآورد. بنابراین در این مه نوع فلاکس دفال مطح امکان عبور از محدوده ضخامتی برای فرایند جوشکاری تیگ را بوجود میآورد. بنابراین در این و جوشکاری با فرایند تیگ تحت شرایط یکسان نشان داد که جوشکاری تیگ با فلاکس های SIO و SIO و SIO به ترتیب باعث افزایش عمق نفوذ ۲ و ۵.۲ برابری فلز جوش میشوند. این درحالی است که فلاکس SIO اثر منفی بر روی عمق نفوذ و پهنای فلز جوش در مقایسه با روش مرسوم تیگ خواهد داشت. استفاده از فلاکس های SIO و SIO و TiO باعث کاهش محرارت ورودی و افزایش حجم فاز فریت میگردد. همچنین ریزساختار و سختی فلز جوش با و بدون فلاکس تفاوت

واژ گان كليدى: فولاد زنگ نزن 316L، فرايند قوس تنگستن-آر گون، فلاكس فعال سطح.

کانال شعله که وظیفه نگهداری قوس پلاسما در مرکز ستون قوس را بر عهد دارد از درجه حرارت کمتری نسبت به پلاسما برخوردار میباشد. شیب دمایی حاکم بر سطح مذاب باعث ایجاد شیب کشش سطحی بر سطح حوضچه جوش میشود. تحت چنین شرایطی نسبت تغیرات کشش سطحی به تغییرات دمایی نرخ کاهشی داشته که به معنی منفی بودن شیب دمای کشش سطحی مذاب میباشد (شكل ۲-الف). بنابراين در غياب عناصر فعال سطح همچون O و S به علت دمای بالای ناحیه پلاسما کشش سطحی منفی شدہ ($\partial \gamma/_{\partial \mathrm{T}} < 0$) و الگوی حرکتی فلز مذاب جوش از مرکز به سمت بیرون و لبههای حوضچه جوش ترغيب مي شود. به همين دليل نسبت عمق به عرض فلز جوش کاهش پیدا میکند (شکل۲– ب). اما در حضور مواد فعالسطح شرايط كشش سطحي مذاب نسبت به دما به گونهای تغییر پیدا میکند که شیب دمای کشش سطحی مثبت می شود ($0 < \frac{\partial \gamma}{\partial \mathrm{T}}$). در این حالت مذاب از لبهها به سمت مرکز حوضچه جوش جریان پیدا میکند و الگوى حركت مذاب همگرا مى شود مطابق شكل (٢- ب). علت این پدیده از آنجا ناشی می شود که با افزایش دما کشش سطحی در حضور عناصر فعال سطح افزایش می-يابد[١٠–٧]. طبق تحقيقات بعمل آمده از سوى محققين عمق نفوذ بدست آمده از این روش در حدود ۸ الی ۱۲ ميلىمتر مىباشد. اين راهكار مى تواند راندمان بالاتر، اعوجاج کمتر و عمق نفوذ بیشتری را در مسیر جوشکاری ايجاد نمايد و به خاطر بهبود عمق نفوذ جوش قابليت رقابت پذیری فرایند قوس تنگستن را در صنعت افزایش دهد. بطور كلى با افزايش شدت حرارتي مشكلات تكنيكي همچون لبه سازي قطعات ضخيم، رعايت فاصله ریشه اتصال، راندمان پایین، ناهمواری سطحی برطرف و منجر به بازگردانی سرمایه یا انرژی می گردد[۱۲-۱۰].

از جمله روشهای دستیابی به عمق نفوذ مطلوب به هنگام جوشکاری فولادهای زنگنزن آستنیتی توسط فرایند قوس تنگستن بکارگیری فلاکس های فعال سطح می-باشد[۱-۲]. روش اکتیوتیگ' ایدال ترین روش جهت افزایش عمق نفود و بهبود خصوصیات فلز جوش می-باشد[۳–۵]. در روش مذکور فلاکس فعال سطح در موضع اتصال بصورت پوششی نازک اعمال شده و سپس موضع اتصال جوشكاري مي شود. فلاكس ها معمولا حاوي تركيباتي همچون اكسيدها، سولفيد ها، هاليدها و فلورايدها می باشند. فلاکس بکاررفته در روش اکتیوتیگ با توجه به ترکیب شیمیایی فلز پایه تعیین میشود. اینگونه اثبات شده است که در زمان حضور عناصر فعال سطح در حوضچه جوش بطور محسوسي عمق نفوذ جوش افزايش مييابد. کانگ هانگ توانست با بکارگیری ذرات FeO و FeS عمق نفوذ جوش بر روی فولاد زنگ نزن ۳۱۶L را بطور موثری افزایش دهد[۵]. با بررسی الگوی حرکتی مذاب در برخی آلیاژها مشخص شده است که با افزایش دما کشش سطحی فلز مذاب کاهش مییابد. اما بررسی این پدیده در حضور قوس تنگستن که باعث ایجاد شیب دمایی در بالای حوضچه جوش می گردد اندکی متفاوت میباشد. قوس الکتریکی حاصل از فرآیند قوس تنگستن دارای دو کانال هم مرکز که عبارتند از کانال مرکزی یا پلاسما و کانال بیرونی یا شعله، میباشد. نتیجه این دو کانال، حاکم شدن شیب دمایی بر سطح مذاب میباشد. همانطور که روشن است شیب دمایی حاکم بر سطح حوضچه جوش از مرکز به سمت لبه های حوضچه جوش کاهش پیدا می کند (شکل ۱) [۶-۱۰]. از آنجا که عامل انتقال حرارت در ستون قوس الكترون هاى آزاد مىباشند، حضور حداكثرى أنها در کانال پلاسما باعث می گردد تا فلز مذاب در زیر این کانال از درجه حرارت بیشتری برخوردار باشد. همچنین

^{&#}x27;Active TIG(A-TIG)

حال آنکه در این پژوهش به بررسی اثر حاصل از ترکیبات اکسیدی SiO2، TiO2 و ZnO بر روی نسبت عمق به پهنای فلز جوش فولاد زنگنزن آستنیتی 316L حاصل از فرایند آرگون پرداخته شده است. همچنین تلاش شده تا با بکار گیری فلاکس های فعال سطح معایب و نواقص فلز جوش برطرف گردد.

روش انجام آزمایش

در این پژوهش از ورق فولاد زنگنزن آستنیتی ۳۱۶L به ضخامت ۵ میلی متر استفاده شد. در جدول (۱) ترکیب شيميايي فلز پايه ارائه شده است. قطعات مورد جوشكاري به ابعاد ۵۰×۱۰۰ میلیمتر تهیه و توسط کاغذ سنباده ۴۰۰ اكسيدزدايي شدند. جهت مطالعه تاثير نوع فلاكس جوشکاری در دو حالت با و بدون فلاکس انجام شد. به همين خاطر از تركيبات اكسيدي SiO₂، 2nO و ZnO بطور مجزا استفاده شد. جهت تهيه فلاكس، ذرات مورد نظر درون یک نگهدارنده قرار داده و سپس در مسیر جوشکاری توسط برس اعمال گردید (شکل-۳). نشاندن لایه ای از فلاکس تهیه شده در مسیر جوشکاری بگونه ای انجام شده كه سطح فلز پايه بطور نامحسوس قابل رويت باشد. همچنین ضخامت لایه نشانده شده فلاکسmm ۱/۱ به ۳–۱۱ mg/cm² می باشد. به منظور مطالعه دقیقتر نتایج حاصل از فرایند جوشکاری و بررسی تفاوت بین روش با و بدون فلاکس عملیات جوشکاری تمامی نمونه-ها تحت شرایطی یکسان انجام گردید. به همین منظور یک ماشین جوشکاری با قابلیت تنظیم سرعت طراحی گردید. سپس تورچ جوشکاری برروی آن نصب گردید. به کمک ماشین طراحی شده اطمینان کاملی از حیث ثابت بودن شرایط در تمامی مراحل جوشکاری حاصل گشته و نتایج بررسی با کمترین خطا گزارش گردیده است (شکل ۴). فرايند جوشكاري با قطبيت مستقيم و با استفاده از الكترود تنگستنی ۲درصد اکسید توریا انجام شد. همچنین عملیات جوشكارى طبق (جدول-٢) صورت گرفت. عمليات نمونه

برداری از مقطع عمود بر محور جوش از میان مسیر جوشکاری شده صورت گرفت. پس از نمونه برداری قطعات آماده سازی اولیه شده و در محلول اسید نیتریک رقیق در H2O بصورت الکتروشیمیایی با چگالی جریان میقی در A/Cm² به مدت ۴۰ ثانیه اچ گردید. جهت بررسی های ماکروسکوپی و میکروسکوپی به ترتیب از ماکروسکوپ استریو و میکروسکوپ نوری استفاده گردید. آزمون سختی سنجی تحت بارگذاری ۱۰ نیوتون و زمان ۱۰ ثانیه برای هر نمونه انجام پذیرفت. سنجش مقدار فریت در فلز جوش توسط دستگاه فریت سنج انجام گرفت.

نتايج و بحث

بررسى تاثيرات فلاكس بر كيفيت سطح فلز جوش

(شکل ۵) ظاهر سطحی فلز جوش فولاد زنگنزن آستنیتی را در دو حالت با و بدون فلاکس که پس از عملیات جوشکاری حاصل شده است را نشان میدهد. (شكل ۵-الف) نتيجه عمليات جوشكاري قوس تنگستني بدون فلاکس را نشان میدهد که منجر به تشکیل جوش با ظاهر سطحی یکنواخت گردیده است. در نتیجه عملیات جوشکاری در حضور فلاکس ZnO (شکل ۵-ب) سطح جوش حاصل شده غیر یکنواخت بوده و در نهایت منجر به سرباره سازی گردیده است. همچنین فلاکس TiO₂ پس از عملیات جوشکاری سرباره فراوانی را تشکیل می-دهد که در فلز جوش محبوث گردیده است (شکل ۵-ج). به معنای دیگر سرباره متشکل از فلاکس TiO₂ پس از عملیات جوشکاری به آسانی قابل زدودن نمیباشد. اما در مقابل ظاهر سطحي فلز جوش بدست آمده از عمليات جوشکاری با فلاکس SiO2 یکنواخت و عاری از سرباره مىباشد (شكل ۵-د). با توجه به نتايج حاصل از جوشکاری هر کدام از فلاکسها مشخص میگردد که فلز جوش فولاد زنگ نزن ۳۱۶L با فلاکس ZnO و یا ۳۱۶ سطح نامطلوبی خواهد داشت، در حالی که فلاکس SiO₂

منجر به تولید فلز جوش عاری از نقص می گردد. تولید یک فلز جوش بدون نقص که در زمان بکارگیری فلاگس SiO2 حاصل می شود می تواند به نقطه ذوب و چگالی پایین ذرات SiO2 نسبت به ذرات TiO2 و ZnO مربوط باشد. به سبب نقطه ذوب پایین فلاکس SiO2 در هنگام باشد. به سبب نقطه ذوب پایین فلاکس SiO2 در هنگام ترار گرفت در دمای بالای قوس تنگستن – گاز به آسانی تجزیه شده و در فلز جوش محبوس نمی گردد. از طرفی به دلیل چگالی پایین ذرات SiO2 قبل از انجماد کامل فلز جوش به سطح رسید و محبوث نمی گردد.

بررسی تاثیر فلاکس بر شکل هندسی فلز جوش

(شكل- ۶) نشان دهنده مقطع عرضي فلز جوش فولاد زنگنزن آستنیتی ۳۱۶L در دو حالت با و بدون فلاکس مي باشد. در (شكل ۶-الف) مقطع عرضي فلز جوش فولاد زنگنزن 316L بدون فلاکس مشخص شده است. همچنین (شکل۶–ب) مقطع عرضی فلز جوش در نتیجه بکارگیری فلاکس ZnO را نشان میدهد. با توجه به مقاطع بدست آمده از دو روش بدون فلاکس و با فلاکس ZnO در حین جوشکاری قوس تنگستنن- گاز می توان گفت استفاده از فلاکس ZnO تاثیرات مطلوبی بر افزایش عمق نفوذ جوش و افزایش نسبت هندسی جوش نخواهد گذاشت. اما در مقابل، هنگام بکارگیری دو فلاکس TiO2 و SiO₂ در ضمن جوشکاری قوس تنگستن- گاز می توان عمق نفوذ جوش را به ترتیب ٪۲۰۰ و ٪۲۵۰ نسبت به زمانی که از فلاکس استفاده نمی شود افزایش داد (شکل ۶-ج،د). بنابراین به کمک هر دو فلاکس SiO₂ و TiO₂ می-توان نسبت عمق نفوذ به عرض فلز جوش (نسبت هندسی) را بطور مطلوبی مطابق آنچه که در (شکل – ۷) نشان داده شده افزایش داد. همانطوری که از (شکل ۷) مشخص میشود ابعاد هندسی مقطع عرضی فلز جوش با و بدون فلاكس فعال سطح بطور محسوسي متفاوت ميباشد. با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت با افزایش عمق نفوذ جوش نسبت هندسی نیز روند افزایشی را نشان می-

دهد. افزایش نسبت هندسی فلز جوش به این معنا است که چگالی انرژی چشمه حرارتی افزایش یافته که منجر به باز تولید غلظت بالایی از حرارت در حوضچه جوش می گردد. بنابراین با افزایش چگالی انرژی چشمه حرارتی، حرارت مورد نیاز بر واحد طول جوش کاهش یافته و باعث کاهش حرارت ورودی می گردد. این پدیده به هنگام استفاده از دو فلاکس SiO2 و TiO2 مورد توجه می باشد][.

مکانیسم اصلی افزایش دهنده عمق نفوذ جوش در اکتیو تیگ

دو فاکتور مهم در بررسی هندسه مقطع عرضی فلز جوش عمق و پهنا ميباشد كه با تغيير همرفت سيال حوضچه جوش به خاطر حضور عناصر فعال سطح مي تواند دستخوش تغییراتی شود. اینگونه تاثیرات را به نام همرفت مارانگونی دانشمند ایتالیایی نام گذاری کرده اند. O2 و S از جمله عناصری می باشند که از سوی محققین به عنوان عناصر فعال سطح معرفي شدهاند[10-١٣]. به همین علت جوشکاری در غیاب عناصر فعال سطح باعث می شود تا شیب دمای کشش سطحی مذاب حوضچه جوش منفى باشد (شكل ۲- الف). در اين حالت كشش سطحی مرکز حوضچه جوش کمتر از لبه های حوضچه جوش میباشد. در نتیجه گرادیان کشش سطحی سبب بوجود آمدن همرفت واگرای مارانگونی خواهد شد (شکل ۲- ب). تحت این شرایط یک حوضچه جوش کم عمق با توجه به پهنای زیاد حاصل می شود. (شکل ۶- الف). هیپل و همکارانش گزارش کرده اند که در حضور مقدار مناسبی از سولفور درون حوضچه جوش می توان ضریب دمای کشش سطحی را از مقدار منفی به مقدار صفر یا مثبت تغییر داد[۱۳]. همچنین جوشکاری در حضور تركيبات اكسيدى همچون SiO2 و TiO2 باعث مى شود تا كشش سطحي حوضچه جوش نسبت به لبه حوضچه جوش افزایش یافته و شیب کشش سطحی معکوس شود (شکل ۲-ج). در این شرایط حرارت سطح حوضچه

جوش به درون حوضچه جوش برگشته و باعث تشکیل یک فلز جوش عمیق و باریک می گردد (شکل ۲- د). همانطور که در (شکل ۶- د) مشاهده می شود پروفیل جوش در حضور فلاکس حاوی ذرات SiO2 دارای عمق نفوذ بیشتری حتی در مقایسه با پروفیل جوش بدست آمده از فلاکس حاوی ذرات SiO2 (شکل ۷- ج) است. اما عملیات جوشکاری در حضور فلاکس حاوی ذرات ZnO باعث بوجود آمدن پروفیل جوش کم عمق و عریض می-گردد. بنابراین همرفت درون حوضچه جوش در حضور ترکیب ZnO مشابه زمانی است که فرایند جوشکاری بدون فلاکس بوده و اثر مطلوبی بر افزایش عمق نفوذ جوش نخواهد گذاشت. (شکل ۷- ب).

تاثير فلاكس فعال سطح بر ريز ساختار فلز جوش

در ریزساختار فولاد زنگنزن آستنیتی ۳۱۶L فاز فریت بفرم لایهای در زمینه آستنیتی وجود دارد (شکل-۸). نتایج حاصل از بررسی های ریزساختاری که در اثر عملیات جوشکاری با و بدون فلاکس رخ میدهد در (شکل ۹) مشخص شده است. در حین عملیات جوشکاری بدون فلاکس ریز ساختار اولیه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶L به کلی دگرگون میگردد. ریزساختار تشکیل شده پس از عملیات جوشکاری بدون فلاکس شامل آستنیت دندریتی و فریت کرمی یا اسکلتی میباشد(شکل۹- الف). زمانی که فلز مذاب با نرخ متوسط از منطقه دوفازی آستنیت/ فریت دلتا سرد شود فریت بشدت ناپایدار گشته و فاز آستنیت اولیه از طریق یک واکنش نفوذی کنترل شده شروع به مصرف فاز فریت میکند. این روند تا زمانی که فاز فریت دلتا از عناصر آلفاژن تهی گردد ادامه یافته و در دماهای پايين تر با محدود شدن سرعت نفوذ، فاز فريت دلتا پايدار می گردد. براساس نتایج حاصل از فریت سنجی میزان فاز فریت دلتای فلز جوش بدون فلاکس در حدود ۵/۳ می-باشد. اما مسأله افزایش حجم فریت فلز جوش پدیده ای است که در هنگام بکارگیری فلاکس فعال سطحی رخ می-

دهد. (شکل ۹- ب،ج) ریزساختار بدست آمده از دو فلاکس TiO₂ و SiO₂ را نشان میدهد. فاز فریت دلتای فلز جوش فولاد زنگنزن آستنیتی با استفاده از دو فلاکس SiO2 و TiO2 به ترتیب به ۹ و ۷/۲ نسبت به زمانی که از فلاکس استفاده نمیشود، افزایش مییابد. شکل ۱۰ نشان دهنده مقدار افزایش حجم فاز فریت در دو حالت با و بدون فلاكس فعال سطح ميباشد. علت افزايش حجم فاز فریت در فلز جوش به خاطر افزایش چگالی توان منبع حرارتی میباشد[۱۸-۱۴]. اما اینکه چگونه افرایش چگالی توان منجر به افزایش فاز فریت می شود را می توان اینگونه بیان نمودکه چون افزایش چگالی توان چشمه حرارتی از یکسو منجر به کاهش حرارت ورودی شده و از دیگر سو منجر به افزایش عمق نفوذ میگردد فاز فریت درون فلز جوش افزایش می یابد. بنابراین با افزایش نرخ سرد شدن فلز جوش حجم فاز فریت افزایش مییابد. به معنای دیگر با افزایش عمق نفوذ، فصل مشترک مذاب و فلز پایه گسترش یافته و نرخ سرد شدن افزایش مییابد. به همین دلیل دمای فلز مذاب با نرخ بالاتری از منطقه دو فازی آستنیت/فریت کاهش یافته و استحاله فریت به آستنیت بصورت ناقص انجام میشود. این پدیده باعث میگردد تا فاز فریتدلتا تا دمای محیط پایدار باقی بماند. همچنین نتایج حاصل ازسختی سنجی نشان داد که در هنگام استفاده از فلاکس های TiO2 و ZnO میانگین سختی فلز جوش به ترتیب ۲۰۹ و ۲۱۷ ویکرز بوده که در مقایسه با فلز جوش بدون فلاکس(۲۱۲ VHN) افزایش چندانی را نشان نمیدهد. اما میانگین سختی فلز جوش بدست آمده با فلاکس SiO₂ (۲۶۲ VHN) بوده که در مقایسه با دو فلز جوش پیشین و فلز جوش بدون فلاکس افزایش شدیدی را نشان میدهد.

با توجه به ریزساختار فلز جوش حاصل از هر سه فلاکس و نتایج آزمون فریت سنجی می توان دریافت که در هنگام بکارگیری فلاکس فعال سطحی تغییرات زیادی در اثنای فلز جوش رخ نخواهد داد. حال آنکه با بکارگیری

فلاکس های حاوی عناصر فعال سطح این امکان فراهم می آید تا عمق نفوذ جوش در فولاد با ساختار آستنیتی را بدون خطر ترک گرم بهبود داد[۲۰-۱۹].

نتيجه گيرى

براساس نتایج حاصل از این مطالعه پیرامون تاثیرات سه نوع فلاکس SiO2، SiO2 و ZnO برروی سطح فوقانی جوش، نسبت ابعادی جوش، سختی، حجم فاز فریت دلتا وبررسی های ریزساختاری پرداخته شده است، مشخص می گردد که:

- جوشکاری قوس تنگستن به کمک فلاکسهای فعالسطحی سبب می شود تا عمق نفوذ جوش افزایش یابد.
- ۲. دو فلاکس TiO₂ و ZnO باعث تشکیل سرباره درسطح جوش می شوند. اما جو شکاری به کمک فلاکس حاوی ذرات SiO₂ سطح فلز جو ش مطلوبی را تشکیل می دهد.
 - ۳. جوشکاری قوس تنگستن با استفاده از دو فلاکس SiO2 و TiO2 باعث میشوند تا عمق نفوذ جوش نسبت به حالت بدون فلاکس (۱mm) به ترتیب ۲۵۰٪ و ۲۰۰٪ افزایش یابد. بعلاوه فلاکس حاوی ذرات ZnO اثر مطلوبی

بر افزایش نسبت هندسی فلز جوش نخواهد داشت.

- ۴. هنگام بکارگیری دو فلاکس SiO₂ و TiO₂ به دلیل افزایش چگالی توان و در نتیجه آن افزایش عمق نفوذ حجم فاز فریت دلتا نسبت به حالت بدون فلاکس به ترتیب ٪۳۷ و ٪۳۳ افزایش دارد.
- ۵. با مطالعه و مقایسه سه پودر اکسیدی TiO₂ SiO₂ و ZnO این مطلب استنتاج گردید که شرط اکسیدی بودن فلاکس برای افزایش عمق نفوذ ناکافی میباشد. به همین سبب مشخص گردید که دو فلاکس فعال سطحی مشخص گردید که دو فلاکس فعال سطحی siO₂ و SiO₂ توانایی تغییر الگوی حرکت نیروی مارانگونی را به سود افزایش عمق نفوذ خواهند داشت.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با مساعدت آموزشکده فنی امام خمینی(ره)، آزمایشگاه فارابی و کارخانه الکترود یزد که تحت نظارت دقیق و مدون در طی مراحل مطالعاتی و آزمایشگاهی جناب دکتر مصلایی پور قرار داشته است، انجام پذیرفته و همچنین از مسئول آزمایشگاه مواد و متالورژی دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه یزد جناب مهندس کاظمی قدردانی

مراجع

 C.R. Heiple and P. Burgardt, EG&G Rocky Flats, ASM Specialty Handbook, 1996.
 Kou.S, Welding metallurgy, 2nd ed, University of Wisconsin, 2003.
 J.F.Lancaster, Metallurgy of Welding, 5nd ed, Chapnan & Hall, 1993.
 Robert W. Messler, Jr. Principles Of Welding, Materials Science and Engineering Department Rensselaer Polytechnic Institute Troy, NY, Wiley-VCH.1999.
 K.H. Tseng, K.J. Chuang, Application of iron-based powders in tungsten inert gas welding for 17Cr–10Ni–2Mo alloys, Journal of Powder Technology, 228, 36-46, 2012. [7] T.S. Chern, K.H. Tseng, H.L. Tsai, Study of the characteristics of duplex stainless steel activated tungsten inert, Journal of Materials and Design 32, 255–263, (2011).
[8] K.H. Tseng, C.Y. Hsu, Performance of activated TIG process in austenitic stainless steel welds, Journal of Materials Processing Technology ,211,503–512, (2011).
[9] K.H. Tseng, N.S. Wang, GTA welding assisted by mixed ionic compounds of

stainless steel, Powder Technology, 251, 52-60, (2014).

[10] S.Lu, H.fujii, H Sugiyama, M.Tanaka, K.Nogi, Welde Penetration and Marangoni Convectionwith Oxide Flux in GTA Welding, Material Transactions, 43, 11, 2926-2931, 2002.

[11] H.Y. Huang, S.W. Shyu. K.H. Tseng. C. P. Chou, Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel, Science and Technology of Welding and Joining,10, 5, 2005.

[12] K.H. Tseng, K.L.Chen, Comparisons Between TiO2- and SiO2-Flux Assisted TIG Welding Processes, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 12, 6359-6367, 2012.
[13] C.H. Kuo, K.H.Tseng, C.P.Chou, Effect of activated TIG flux on performance of dissimilar welds between mild steel and stainless steel, Engineering Materials Vol479, 74-80, 2011.

[14] K.H. Tseng, W.C. Wang, Study of Silica-Titania Mixed Flux Assisted TIG Welding Process, Advanced Materials Research Vols. 291-294. 949-953, 2011.

[15] Y. ZHAO, Y.SHI, Y.LEI, The Study of Surface-Active Element Oxygen on Flow Patterns and Penetration in A-TIG Welding, METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS, VOL 37, 485-493, 2006.

[16] H.Y. Huang, Research on the Activating Flux Gas Tungsten Arc Welding and Plasma Arc Welding for Stainless Steel, Met. Mater. Int., Vol. 16, No. 5, 819-825, 2010.
[17] P. Vasantharaja, M. Vasudevan, Studies on A-TIG welding of Low Activation Ferritic/Martensitic (LAFM) steel, Journal of Nuclear Materials , 421, 117–123, (2012).
[18] H. Fujii, T. Sato, S. Lu, K.Nogi, Development of an advanced A-TIG (AA-TIG) welding method by control of Marangoni convection, Materials Science and Engineering A 495, 296–303, (2008).

[19] Y. Morisada, H. Fujii, N. Xukun, Development of simplified active flux tungsten inert gas welding for deep penetration, Materials and Design, 54, 526–530, (2014).
[20] A. Traidiaa, F. Roger, J. Schroeder, E. Guyot, T. Marlaud, On the effects of gravity and sulfur content on the weld shape in horizontal, Journal of Materials Processing Technology 213, 1128–1138, 2013.

[21] Y. WANG, Q. SHI, and H.L. TSAI. Modeling of the Effects of Surface-Active Elements on Flow Patterns and Weld Penetration ,METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS B, 32B,145-160,2001.

[22] Shanping Lu, Hidetoshi Fujii, Kiyoshi Nogi. Arc ignitability, bead protection and weld shape variations for He–Ar–O2 shielded GTA welding on SUS304 stainless steel, journal of materials processing technology. 2 0 9,1231–1239, (2009).

С	Si	Mn	Mo	Cr	Ni	Р	S	Fe
0.02	0.47	1.77	2.05	17.10	10.11	0.031	0.002	Balance

ى قوس تنگستن.	د جوشکاری	استفاده براي فرايند	۲- متغیرهای مورد	جدول شماره
---------------	-----------	---------------------	------------------	------------

زاويه نوك الكترد	قطر الكترود	نرخ خروج گاز	نوع گاز	سرعت جوشكاري	آمپراژ	
۶.°	۲,۴mm	い Lit/min	آرگون	۱۵ Cm/min	۱۵۰ A	

جدول ۳- خلاصه مشخصات ظاهری جوش تیگ با انواع فلاکس.

زیر برش	سرباره	فلاكس
ندارد	ندارد	SiO ₂ %
ندارد	دارد	TiO ₂ /
دارد	دارد	ZnO //



شكل ۱-شماي قوس الكتريكي با قطبيت مستقيم.



شکل شماره ۲- الگوی جریان سیال درون حوضچه جوش.



شکل ۳- شمای آماده سازی و اعمال فلاکس برای جوشکاری.



شكل ۴- دستگاه مكانيزه مورد استفاده جهت انجام عمليات جوشكاري.



ب) SiO₂



الف) بدون فلاكس





 $TiO_2 (=$

د) ZnO

شكل۵ تاثيرات جوشكاري تيگ با انواع فلاكس بر ظاهر سطحي فلز جوش.



شکل ۶- مقطع عرضی فلز جوش الف: فلز جوش بدون فلاکس، ب: فلز جوش با فلاکس ZnO ، ج: فلز جوش با فلاکسTiO2 ، د: فلز جوش با فلاکس SiO₂



شکل ۷- مشخصات هندسی فلز جوش با و بدون فلاکس.



شکل ۸- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فولاد زنگنزن آستنیتیL۳۱۶L.



شكل ٩- ريزساختار فلز جوش با و بدون فلاكس. الف) بدون فلاكس ب) TiO₂ ج) SiO₂ د) ZnO.



شکل ۱۰- مقدار حجم فاز فریت در دو حالت با و بدون فلاکس فعال سطح.