

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

بررسی تاثیر نانو ذرات اکسید کروم بر خواص جوش فولاد ساده کربنی در فرآیند جوشکاری SAW

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

حمید صادقی

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

شهریور ماه ۱۳۹۹

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب حمید صادقی به شماره دانشجویی ۹۷۱۳۵۲۸۰۰۱ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: حمید صادقی

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط

استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد راهنما:

تاریخ:

امضا:

پاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را بنمونان شد و به ہمیشگی رهروان علم و دانش مصخرمان نمود و خوشه
چینی از علم و معرفت را روزی مان ساخت

خدای راسبی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و
از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو
وجود پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی،
بودن و انسان بودن را معنا کردند.
تقدیم به وجود بارزشتان...

تقدیم بہ ہمسر مہربانم

کہ سایہ مہربانیش سایہ ساز زندگیم می باشد، او کہ اسوہ صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسہیل نمود.

چکیده:

بررسی تاثیر نانو ذرات اکسید کروم بر خواص جوش فولاد ساده کربنی در فرآیند

جوشکاری SAW

مقدمه: جوشکاری زیرپودری یکی از مهم‌ترین روش‌های جوشکاری قوس الکتریکی است که در صنایع کاربرد فراوانی دارد. در تحقیقات جوش استفاده از نانو ذرات یک ایده جدید و چاش برانگیز برای بهبود کیفیت اتصالات جوشی می‌باشد. با ایده گرفتن از این موضوع با افزودن نانو ذرات اکسید کروم به حوضچه جوش به بررسی خواص مکانیکی جوش پرداختیم. در فرآیند جوشکاری زیرپودری انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای ورودی فرآیند، امری ضروری به منظور دستیابی به کیفیت بالا برای جوش می‌باشد.

مواد و روش‌ها: نانو ذرات کروم در پوشش‌هایی با ضخامت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر قبل از انجام جوشکاری بر سطحی از فولاد کربن قرار داده شده و پارامترهای جوشکاری ثابت در نظر گرفته شده‌است. در این پایان‌نامه متغیرهای خروجی مانند نفوذ جوش، پهنای جوش، ارتفاع گرده جوش، رقت، سختی منطقه متاثر از گرما و منطقه ذوب شده به عنوان مشخصه‌های کیفیت جوش در فرآیند جوشکاری زیرپودری بر روی ورق فولاد ST37 مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت لایه نانو ذرات اکسید کروم رقت جوش ابتدا کاهش و در ادامه با بیشتر شدن ضخامت لایه نانو ذرات افزایش یافت. سختی منطقه مذاب و سختی منطقه متاثر از گرما با افزایش ضخامت لایه نانو ذرات اکسید کروم ابتدا افزایش یافتند، اما با بیشتر شدن ضخامت لایه نانو ذرات سیر نزولی پیدا کردند. علاوه بر این با افزایش ضخامت لایه نانو ذرات اکسید کروم نفوذ و ارتفاع جوش افزایش و پهنای جوش کاهش یافتند.

بحث: نانو ذرات برای ایجاد تغییرات مثبت بر خواص مکانیکی باید در مقادیر بهینه وارد شوند. این مقدار بهینه در این مطالعه در فلز جوش در پوشش ۰/۵ میلی‌متری نانو ذره اکسید کروم گزارش شده‌است که با مطالعات برخی محققین دیگر مطابقت دارد.

کلمات کلیدی: فرآیند جوشکاری SAW، نانو ذرات اکسید کروم، پارامترهای جوشکاری، خواص جوش

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: مقدمه	
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تاریخچه جوشکاری	۲
۳-۱- اهمیت جوشکاری	۵
۴-۱- انواع فرآیندهای جوشکاری فلزات	۶
۱-۴-۱- جوشکاری ذوبی	۶
۲-۴-۱- جوشکاری غیر ذوبی	۷
۵-۱- فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی	۷
۱-۵-۱- انواع روشهای جوشکاری با قوس الکتریکی	۷
۶-۱- جوشکاری زیرپودری	۸
۱-۶-۱- تعریف	۸
۲-۶-۱- اصول عملیات	۸
۳-۶-۱- مزیت‌های فرآیند جوشکاری زیرپودری	۹
۴-۶-۱- معایب روش جوشکاری زیرپودری	۱۰
۷-۱- جوشکاری فولادهای کربنی	۱۱
۸-۱- متغیرهای ورودی جوشکاری	۱۲
۱-۸-۱- جریان الکتریکی	۱۲
۲-۸-۱- ولتاژ	۱۳
۳-۸-۱- طول مؤثر الکتروود	۱۳
۴-۸-۱- سرعت جوشکاری	۱۴
۵-۸-۱- سرعت تغذیه سیم	۱۴
۹-۱- متغیرهای خروجی	۱۴
۱۰-۱- نانو مواد	۱۴
۱-۱۰-۱- تاریخچه نانو مواد	۱۴
۲-۱۰-۱- فناوری نانو	۱۵

۱۵..... ۱-۱۰-۳- خواص نانو ذرات

فصل ۲: مروری بر منابع

۱۸..... ۱-۲- مقدمه

۱۸..... ۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع

۱۹..... ۳-۲- فولادهای کم کربن

۱۹..... ۳-۲- پارامترهای ورودی جوشکاری

۱۹..... ۲-۳-۱- شدت جریان

۲۰..... ۲-۳-۲- ولتاژ جوشکاری

۲۰..... ۳-۳-۲- سرعت جوشکاری

۲۰..... ۲-۳-۴- ضخامت پوشش نانو مواد

۲۰..... ۴-۲- پارامترهای خروجی جوشکاری

۲۰..... ۲-۴-۱- نفوذ جوش

۲۱..... ۲-۴-۲- پهنای جوش

۲۱..... ۲-۴-۳- ارتفاع جوش

۲۱..... ۲-۴-۴- درجه رقت

۲۲..... ۲-۴-۵- سختی

۲۲..... ۲-۴-۵-۱- سختی منطقه ذوب

۲۳..... ۲-۴-۵-۲- سختی منطقه متاثر از گرما

۲۳..... ۲-۵- نتیجه گیری

فصل ۳: روش تحقیق

۲۵..... ۱-۳- مقدمه

۲۵..... ۲-۳- مواد و دستگاه‌های استفاده شده

۲۶..... ۳-۳- انتخاب ابعاد قطعه کار

۲۶..... ۳-۴- سیم الکتروود

۲۷..... ۳-۵- عملیات جوشکاری

۲۷..... ۳-۵-۱- منبع تغذیه جوشکاری

۲۷..... ۳-۵-۲- رباط جوشکاری

۲۸..... ۳-۶- آزمایش‌ها

۲۹.....	۳-۶-۱- بررسی نانو ذرات مختلف
۲۹.....	۳-۶-۲- نمونه برداری از منطقه جوشکاری شده
۲۹.....	۳-۶-۳- آماده کردن سطح نمونه
۳۱.....	۳-۶-۴- اندازه گیری هندسه جوش
۳۲.....	۳-۶-۵- سختی منطقه جوش
۳۳.....	۳-۷- خطاهای آزمایش

فصل ۴: نتایج و تفسیر آن‌ها

۳۶.....	۴-۱- مقدمه
۳۶.....	۴-۲- بررسی تاثیر نوع نانو ذرات
۳۸.....	۴-۳- ورود نانو ذرات به حوضچه جوش
۴۰.....	۴-۴- اثر مارانگونی بر فلز جوش
۴۱.....	۴-۵- مقادیر خروجی آزمایش
۴۲.....	۴-۵-۱- نفوذ جوش
۴۳.....	۴-۵-۲- پهنای گرده جوش
۴۳.....	۴-۵-۳- ارتفاع جوش
۴۴.....	۴-۵-۴- رقت جوش
۴۵.....	۴-۵-۵- سختی منطقه ذوب شده
۴۶.....	۴-۵-۶- سختی منطقه متاثر از گرما

فصل ۵: جمع بندی و پیشنهاد ها

۴۸.....	۵-۱- مقدمه
۴۸.....	۵-۲- جمع بندی
۴۹.....	۵-۳- پیشنهادها
۵۰.....	منابع

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ دستگاه‌ها و ابزارهای مورد استفاده.....	۲۵
جدول ۲-۳ مواد شیمیایی مورد استفاده.....	۲۶
جدول ۳-۳ ترکیب شیمیایی ST37.....	۲۶
جدول ۴-۳ درصد وزنی سیم جوش مصرفی.....	۲۷
جدول ۱-۴ مقادیر تجربی متغیرهای خروجی در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....	۴۱

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲ پارامتر های هندسی جوش: الف) نفوذ جوش ب) پهنای جوش ج) ارتفاع جوش	
د) رقت جوش.....	۲۱
شکل ۲-۲ نقطه میانگین در محاسبه سختی منطقه ذوب.....	۲۳
شکل ۳-۲ نقطه میانگین در محاسبه سختی منطقه متأثر از گرما.....	۲۳
شکل ۱-۳ نمایی از مجموعه جوشکاری استفاده شده.....	۲۸
شکل ۲-۳ تجهیزات جوشکاری زیرپودری.....	۲۸
شکل ۳-۳ دستگاه برش.....	۳۰
شکل ۴-۳ دستگاه سنباده زنی.....	۳۰
شکل ۵-۳ دستگاه پولیش زنی.....	۳۱
شکل ۶-۳ قطعه کارهای آماده.....	۳۱
شکل ۷-۳ میکروسکوپ مورد استفاده.....	۳۲
شکل ۸-۳ شکل الماس سختی سنجی ویکرز و اثر آن بر روی نمونه.....	۳۲
شکل ۹-۳ دستگاه اندازه گیری سختی.....	۳۳
شکل ۱-۴ با پوشش نانو اکسید کروم.....	۳۶
شکل ۲-۴ با پوشش نانو اکسید آلومینیوم.....	۳۷
شکل ۳-۴ با پوشش نانو اکسید سیلیسیوم.....	۳۷
شکل ۴-۴ با پوشش نانو اکسید تیتانیوم.....	۳۷
شکل ۵-۴ با پوشش نانو اکسید کلسیم.....	۳۸
شکل ۶-۴ بدون پوشش نانو اکسید فلزی.....	۳۸
شکل ۷-۴ تصویر X-Ray گرفته شده از نانو ذرات اکسید کروم.....	۳۹
شکل ۸-۴ تصویر TEM نانوذرات اکسید کروم.....	۴۰
شکل ۹-۴ توزیع اندازه نانوذرات اکسید کروم.....	۴۰
شکل ۱۰-۴ میزان نفوذ جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....	۴۲
شکل ۱۱-۴ میزان پهنای گرده جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....	۴۳
شکل ۱۲-۴ میزان ارتفاع جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....	۴۴
شکل ۱۳-۴ میزان رقت جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....	۴۵

شکل ۴-۱۵ میزان سختی منطقه مذاب در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....۴۶

شکل ۴-۱۶ میزان سختی منطقه متأثر از گرما در حضور نانو ذرات اکسید کروم.....۴۶

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

جوشکاری^۱ یکی از روش‌های ساخت می‌باشد که هدف آن اتصال دائمی مواد مهندسی از قبیل فلز، سرامیک، پلیمر و کامپوزیت به یکدیگر است، و این کار معمولاً از طریق ایجاد حرارت بالا و ذوب ماده و سپس سرد کردن برای ایجاد جوش انجام می‌شود (۱). به معنای وسیع، جوشکاری شامل تشکیل پیوندهای متالورژیکی در اتصالات جوش داده شده، لحیم شده و اتصالات متصل شده با ابزارهای مکانیکی یا با چسب‌های محکم است (۲). با گذشت سال‌ها، جوشکاری بیشتر از یک هنر بوده‌است تا یک علم، اما در چند دهه اخیر پیشرفت‌های اساسی در جوشکاری علم و فناوری رخ داده‌است. با توسعه روش‌های جدید در چهارراه علوم پایه و کاربردی، فرصت‌ها و پتانسیل‌های عظیمی وجود دارد تا بتواند یک طراحی علمی مبتنی بر ترکیب، ساختار و خواص جوش با کنترل هوشمند و اتوماسیون فرایندهای جوشکاری ایجاد کند (۳).

۱-۲- تاریخچه جوشکاری

قدیمی‌ترین نمونه استفاده از جوشکاری فلزات به عصر برنز باز می‌گردد و مربوط به جعبه‌های کوچک و استوانه‌ای شکلی است که با فشار لبه‌ها به هم متصل شده‌اند و دیرین‌شناسان زمان ساخت آنها را هزاره سوم پیش از میلاد مسیح تخمین می‌زنند. در طول عصر آهن و حدود هزاره دوم پیش از میلاد مسیح، مصریان و اهالی کرانه مدیترانه چگونگی اتصال دو قطعه آهنی به کمک آهنگری را آموخته و با استفاده از آن ابزارآلات فراوانی ساختند. در طول عصر میانه و با پیشرفت هنر آهنگری، وسایل فراوانی تولید شد که به وسیله چکش‌کاری به یکدیگر جوش داده می‌شدند. اولین نشانه‌های استفاده از فرآیند جوشکاری به شکل امروزی آن، مربوط به این عصر است. جوشکاری آهنگری ابتدایی‌ترین شکل این فرایند است که در آن قطعات فلز به صورت سرد یا گداخته بر روی هم قرار گرفته و در اثر کوبیدن به یکدیگر متصل می‌شوند.

1 Welding

اما پیدایش جوشکاری به روش قوس الکتریکی به سال ۱۸۰۲ باز می‌گردد، زمانی که دانشمندی روسی به نام واسیلی ولادیمیر پتروف پی برد که اگر دو تکه زغال چوب را به قطب‌های باتری بزرگی وصل نموده، آن‌ها را به هم تماس داده و سپس کمی از هم جدا کنیم، قوسی میان دو تکه زغال پدید آمده، انتهای ذغال‌ها از شدت گرما سفید شده و نور خیره کننده‌ای گسیل می‌شود. هفت سال بعد فیزیک دان انگلیسی به نام دیوی آزمایش مذکور را انجام داد، پدیده توضیح داده شده را مشاهده و تایید نمود و پیشنهاد کرد که آن به احترام ولادیمیر پتروف، قوس ولتا نامیده شود.

سرانجام در سال ۱۸۸۱ یعنی حدود ۷۹ سال پس از کشف پتروف، شخصی به نام موسیان قوس کربنی را برای ذوب فلزات به کار برد. حدود ۵ سال پس از آن و در سال ۱۸۸۶ یک دانشمند روسی به نام برناندوز اختراع روشی را به ثبت رساند که به وسیله آن قادر بود تا یک قطعه فلزی را با الکتروود ذغالی به صورت موضعی و با ایجاد قوس الکتریکی بین قطعه و الکتروود ذوب نماید. برناندوز در این روش دو قطعه فلزی را در فاصله ای مشخص از یکدیگر قرار داده و با استفاده از پدیده قوس و حرکت الکتروود ذغالی در طول شکاف بین دو قطعه و وارد نمودن همزمان میله‌ای فلزی از جنس قطعه کار در داخل قوس الکتریکی، حمام مذابی به وجود آورد که پس از منجمد شدن، شکاف موجود را پر نموده و باعث به هم پیوستن این قطعات می‌گردید. در سال ۱۸۹۱ دانشمند دیگر روسی بنام اسلاویانوف، روش الکتروود ذوب شونده را اختراع نمود. او در این روش الکتروود فلزی را جایگزین الکتروود ذغالی کرد که همزمان علاوه بر ایجاد قوس وظیفه فلز پرکننده را نیز برعهده داشت. در روش الکتروود ذوب شونده مذاب حاصل از الکتروود فلزی در فاصله بین نوک الکتروود و شکاف دو قطعه در معرض هوا قرار می‌گرفت که این امر باعث اکسید شدن مذاب و در نتیجه ایجاد اشکال در کیفیت جوش می‌شد. از طرف دیگر قوس الکتریکی ناپایدار بود که این امر به غیریکنواختی بیشتر جوش دامن می‌زد.

در سال ۱۹۰۵ یک صنعتگر سوئدی به نام اسکار جلیبرگ الکتروود فلزی پوشش دار را اختراع نمود. این الکتروود با فرو بردن سیم آهنی در ترکیب غلیظی از کربنات و سیلیکات و سپس خنک کردن آن تهیه می‌شد. پوشش این الکتروود قادر بود با تولید گاز و ایجاد سرباره،

مذاب حاصل از ذوب الکتروود و فلزات پایه را در مقابل آثار نامطلوب تماس با هوا محافظت نماید. علاوه بر این، پوشش الکتروود باعث پایداری قوس الکتریکی و یکنواخت شدن جوش می‌گردد. با اختراع الکتروود پوشش دار، صنعت این امکان را یافت تا جوش‌هایی با استحکام معادل فلز پایه به وجود آورد.

در سال ۱۸۵۶ دانشمندی به نام ژول به فکر جوشکاری مقاومتی افتاد. پس از او الیهو تامسون بین سال‌های ۱۸۷۶ تا ۱۸۷۷ به طرح‌های ژول جامه عمل پوشاند و فرایند جوشکاری مقاومتی را معرفی نمود. در سال ۱۸۹۵ لوشتالیه جوشکاری اکسی استیلن را ابداع و معرفی نمود که در آن ایجاد اتصال از طریق ذوب کردن فلز پایه توسط شعله حاصل از سوختن استیلن، با استفاده از ماده مصرفی یا بدون آن، انجام می‌شد.

در جریان جنگ‌های جهانی اول و دوم، جوشکاری بسیار پیشرفت کرد. نیازهای صنایع نظامی به ایجاد اتصالات مستحکم در کوتاه‌ترین زمان ممکن، به توسعه این روش ساخت سرعت بخشید.

در سال ۱۹۳۰ به طور همزمان در آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی تحقیقاتی برای مخفی ساختن قوس الکتریکی و دست‌یابی به قوسی پایدار صورت گرفت که منجر به اختراع فرایند جوشکاری زیرپودری با استفاده از الکتروود کربنی شد. در حدود سال ۱۹۳۵ این روش به شکل امروزی خود تغییر یافت و تبدیل به روشی اقتصادی برای جوشکاری شد.

در سال ۱۹۵۳ لوبافسکی و نووشیلوف جوشکاری روی الکتروود مصرفی تحت گاز محافظ دی‌اکسید کربن را ابداع و معرفی نمودند. مزایایی مانند سرعت بالا، کیفیت مناسب و امکان استفاده از گاز محافظ خنثی موجب شد تا این فرایند طرفداران زیادی پیدا کند.

در جریان جنگ جهانی اول و پس از جوش خوردن ترکش‌های ناشی از متلاشی شدن گلوله‌های توپ به بدنه ادوات جنگی، فرایند جوشکاری انفجاری کشف شد. در سال ۱۹۵۸ شخصی به نام کلر این فرایند را به کمک مواد منفجره بر روی آلیاژ برنج آزمایش کرد. در سال ۱۹۶۰ شخص دیگری به نام دوپونت اطلاعات این فرایند را گردآوری و به ثبت رساند. در سال ۱۹۶۲ استفاده از روکش‌دهی انفجاری در تولید سکه‌های سه لایه برای دولت ایالات متحده، آن را به صنعتی تجاری تبدیل نمود.

در سال ۱۹۵۰ به طور همزمان در کشورهای آمریکا و آلمان غربی جوشکاری با استفاده از پرتو الکترونی (EBW) توسعه یافت و در سال ۱۹۶۵ پرتو لیزری به منظور جوشکاری مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفت. کاربردهایی که در آنها فن‌آوری‌های مرسوم قادر به ایجاد اتصال مطمئن نبودند، از این فرایندها بسیار استقبال کردند.

در سال ۱۹۹۱ انستیتو جوشکاری (TWI) واقع در کمبریج انگلستان یکی از جدیدترین روش اتصال فلزات را تحت عنوان فرآیند جوشکاری اصطحاک‌آغتشاشی (Friction Stir Welding) معرفی نمود. این فرایند اولین بار برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیم به کار برده شد و یکی از روش‌های جوشکاری حالت جامد (Solid State Welding) است (۴).

۱-۳- اهمیت جوشکاری

در سراسر جهان جوشکاری یک فن‌آوری ساخت چند میلیارد دلاری است که به طور گسترده در ساخت و ساز ساختمان‌ها، پل‌ها، صنایع خودرو، هواپیما، هوافضا، انرژی، کشتی سازی و صنایع الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاید به دلیل اینکه جوشکاری یک تکنیک ساختمانی است، توسط بسیاری از آن‌ها به عنوان یک علم بدوی مشاهده می‌شود. در چند دهه گذشته، جوشکاری به عنوان یک فعالیت میان رشته‌ای که نیاز به سنتز دانش از رشته‌های مختلف و ترکیب پیشرفته‌ترین ابزارهای مختلف علوم پایه و کاربردی دارد، تکامل یافته است. صنعت جوشکاری به علوم مختلف از جمله فیزیک، ترمودینامیک، علم مواد، پدیده حمل و نقل، مدل سازی ریاضی، علوم رایانه، رباتیک، اقتصاد و انواع رشته‌های مهندسی از جمله مکانیک، شیمی و مهندسی برق وابستگی زیادی دارد. به همین دلیل دانشمندان زیادی علاقه‌مند به تحقیق در این زمینه بوده‌اند (۲).

هزینه جوشکاری نسبت به شیوه‌های دیگر اتصال، کم و مقرون به صرفه می‌باشد. این مسئله اگر تعداد قطعات برای جوشکاری زیاد باشد اهمیت بیشتری می‌کند. با استفاده از جوشکاری می‌توان اتصالات بسیار محکم و قوی، و همین‌طور دائمی را در بین قطعات ایجاد نمود. به دلیل تنوع بسیاری که امروزه در شیوه‌های مختلف جوشکاری به وجود آمده است، موارد بسیار کمی وجود دارد که جوشکاری با محدودیت روبه‌رو شده و قابل استفاده نباشد. به طور مثال جوشکاری را می‌توان در محل اجرای پروژه انجام داد و قطعات با هر ضخامت و

ابعادی را با استفاده از آن متصل نمود. با پیشرفت تکنولوژی جوشکاری، دستگاه‌های اتوماتیکی ساخته شده‌اند که به صورت خودکار و بدون نیاز به نیروی انسانی، اتصالات جوشکاری را به شیوه‌ای بسیار دقیق انجام داد (۴).

۱-۴- انواع فرآیندهای جوشکاری فلزات

توسعه فن‌آوری جوشکاری مدرن در نیمه دوم قرن ۱۹ آغاز شد، هنگامی که انرژی الکتریکی به راحتی در دسترس قرار گرفت. فرآیندهای مختلف جوشکاری بر اساس نوع منبع گرما تعریف شده‌است. در چند دهه اخیر، توسعه منابع گرمای جدید با شدت بالا مانند پرتوهای الکترونی و لیزرها، جوشکاری فلزات و آلیاژهای با نقطه ذوب بالا را تسهیل کرده و انگیزه بیشتری برای رشد جوشکاری فراهم کرده‌است (۲). فرآیندهای جوشکاری را می‌توان به دو دسته فرآیند جوشکاری ذوبی و فرآیند جوشکاری غیر ذوبی تقسیم‌بندی کرد.

۱-۴-۱- جوشکاری ذوبی

جوشکاری ذوبی فلزات و آلیاژها به طور گسترده‌ای در ساخت ساختمان‌ها و پل‌ها و همچنین در صنعت کشتی‌سازی، هوافضا، خودرو، شیمیایی، پتروشیمی، الکترون‌ها و صنایع تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). جوشکاری ذوبی روشی است که در آن حرارت ایجاد شده باعث ذوب فلز شده و ترکیب مذاب حاصل می‌شود، و پس از سرد شدن باعث اتصال دائمی برقرار می‌گردد. در این روش می‌توان با استفاده از فلز پرکننده (سیم جوش) یا بدون استفاده از آن انجام داد (۶).

در فرآیندهای جوشکاری ذوبی از حرارت برای ذوب کردن فلزات اصلی استفاده می‌کنند، دسته جوشکاری ذوبی شامل پرکاربردترین فرآیندهای جوشکاری می‌باشد و این فرآیندها را می‌توان به صورت گروه‌های کلی زیر طبقه‌بندی کرد:

- جوشکاری با گاز اکسی‌استیلن
- جوشکاری قوسی، از جمله جوشکاری با قوسی با گاز محافظ و جوشکاری زیرپودری
- جوشکاری با تشعشعات الکترونی و جوشکاری با تشعشعات لیزری (۵).

۱-۴-۲- جوشکاری غیرذوبی

فرایندهای جوشکاری غیرذوبی احتمالاً از قدیمی‌ترین روش‌های جوشکاری هستند که برای انسان شناخته شده‌است. مکانیسم‌های جوشکاری غیرذوبی متفاوت است. تا عصر حاضر جوشکاری غیرذوبی از طریق گرم کردن فلز تا حد جوش و ذوب شدن آن و امتزاج دو فلز در هم صورت می‌گرفته است. با دانش امروزی از پیوندهای بین اتمی فلزات و فرایندهای مولکولی و اتمی امکان استفاده از این روش را بجای روش‌های قبلی فراهم آورده‌است (۷).

در جوشکاری غیرذوبی دو سطح باید به هم نزدیک شوند تا در محدوده نیروهای جاذب بین اتمی قرار بگیرند. برای یک فلز، اتم‌ها توسط پیوند فلزی در کنار هم نگه داشته می‌شوند. سایر نیروها همچنین به میزان بسیار کمتر یا حتی ناچیز، به عنوان مثال، نیروی وان‌دروالس و جاذبه الکترواستاتیک بین دو قطب نقش دارند. نیروهایی که در جوشکاری غیرذوبی به کار رفته‌اند، عمدتاً نیروهایی هستند که از نیروهای جاذب بین اتمی ناشی می‌شوند. این در عمل بدان معنی است که سطوح باید در فاصله اتمی در تماس باشند، که برای بیشتر فلزات کمتر از ۱ نانومتر است (۸).

جوشکاری مافوق صوت، انفجاری، اصطکاکی و اتصال سرد معمولاً به عنوان فرایندهای جوشکاری غیرذوبی شناخته می‌شوند (۹).

۱-۵- فرایندهای جوشکاری با قوس الکتریکی

جوشکاری قوسی یک فرآیند جوشکاری است که در آن حرارت به وسیله یک قوس الکتریکی بین یک الکترود و قطعه کار به وجود می‌آید. قوس الکتریکی یک تخلیه الکتریکی بین دو الکترود از میان گازهای یونیزه شده‌است. جوشکاری قوسی یک روش جوشکاری است که از یک منبع تغذیه جوشکاری برای ایجاد قوس الکتریکی بین الکترود و ماده پایه و ذوب کردن فلزات در محل جوش استفاده می‌کند. جریان می‌تواند مستقیم و یا متناوب و الکترودها و مصرفی و یا غیر مصرفی باشند. منطقه جوش معمولاً توسط برخی از انواع گاز محافظ بخار یا سرباره محافظت می‌شود. فرایندهای جوشکاری قوس الکتریکی می‌توانند دستی، نیمه اتوماتیک و یا اتوماتیک کامل باشند (۷).

۱-۵-۱- انواع روش‌های جوشکاری با قوس الکتریکی

- جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار^۱

1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

- جوشکاری زیرپودری^۱
- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ^۲
- جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن^۳

۱-۶- جوشکاری زیرپودری

۱-۶-۱- تعریف

جوش زیرپودری (SAW) یکی از فرآیندهای جوشکاری توسط قوس الکتریکی که در آن یک یا چند قوس بین الکتروود فلزی لخت یا الکتروودها (سیم جوش توپر) و حوضچه جوش وجود دارد. قوس و فلز مذاب توسط بستری از روانساز دانه یا پودر جوش روی قطعات کار محافظت می‌شود. که در این روش نوک الکتروود داخل پودری از مواد معدنی ویژه قرار می‌گیرد و قوس در زیر این پودر در امتداد مسیر جوشکاری تشکیل می‌شود. جوش مذاب و ناحیه قوس با قرار گرفتن در زیر پودری گرانولی متشکل از آهک، سیلیس، اکسید منگنز، کلسیم فلوئورید و سایر ترکیبات از آلودگی‌های جوی و اکسید شدن محافظت می‌شود. زمانی که این پودر مذاب می‌شود خاصیت رسانایی الکتریکی پیدا می‌کند و در نتیجه مسیری برای جریان برق بین الکتروود و قطعه کار ایجاد می‌کند. این لایه ضخیم پودر، ناحیه ذوب شده را به صورت کامل می‌پوشاند و در نتیجه از پاشش مواد مذاب و جرقه‌ها و همچنین تابش اشعه ماورابنفش و پخش شدن دود جلوگیری می‌کند (۱۰). در سال ۱۹۵۰ این روش با استفاده از شدت جریان زیاد و گاز محافظ خنثی فقط برای آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گرفت به همین دلیل به آن جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز خنثی گفته می‌شود. همه فلزات مهم مهندسی مانند فولاد کربنی، آلومینیوم و مس می‌توانند با این روش جوشکاری شوند (۱۱).

۱-۶-۲- اصول عملیات

در جوشکاری زیرپودری، جریان الکتریکی از میان قوس و حوضچه ذوب جوش که از فلاکس مذاب و فلز جوش مذاب تشکیل شده‌است، عبور می‌کند. فلاکس مذاب به طور معمول، هدایت کننده مناسبی برای جریان الکتریکی می‌باشد اما فلاکس سرد، هدایت کننده نمی‌باشد. فلاکس‌های جوش زیرپودری فولادهای آلیاژی محتوی عنصرهای آلیاژی هستند که

1 Submerged Arc Welding (SAW)
 2 Gas Metal Arc Welding (GMAW)
 3 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

برای بهتر شدن ترکیب شیمیایی فلز جوش مناسب هستند. جریان الکتریکی از یک ژنراتور به وجود می‌آید و از اتصالات عبور می‌کند تا بین الکترود و فلز پایه قوسی ایجاد کند و سپس آن را ذوب کند. در این هنگام حوضچه مذاب را برای پرکردن اتصال ایجاد می‌کند. در تمامی تجهیزات، غلطک‌های هدایت با نیروی مکانیکی بطور پیوسته سیم الکترود مصرفی فلزی را از میان لوله تماس (نازل) و توده فلاکس به اتصالی که باید جوش گردد، هدایت می‌کند. سیم الکترود از یک فولاد کم کربن با ترکیب شیمیایی دقیق که در یک قرقره یا بشکه پیچیده تشکیل شده که در منطقه جوش ذوب شده و در طول اتصال رسوب می‌کند. فلاکس دانه‌ای در جلوی قوس ریخته شده که فلاکس ذوب نشده پس از انجماد فلز جوش، بوسیله سیستم مکش جمع کننده برای استفاده مجدد، جمع آوری می‌گردد. بازیابی فلاکس در جوش خودکار مجموعه‌ای از تجهیزات و یک لوله بازیابی فلاکس که درست پس از لوله تماس قرار گرفته است، می‌باشد.

جوش زیرپودری به هر دو روش خودکار و نیمه خودکار قابل انجام بوده و روش خودکار به خاطر مزایا بیشتر، بیشتر کاربرد دارد. در روش جوش کاملاً خودکار دستگاه بصورت خودکار الکترود و فلاکس را در طول مسیر جوش تغذیه و هدایت کرده و نرخ رسوب را کنترل می‌کند. در کاربردهای خاصی جوش خودکار زیر پودری دو یا چند الکترود بصورت متوالی در یک اتصال تغذیه می‌شوند. الکترودها در کنار یکدیگر بوده و ممکن است از سوی یک حوضچه تغذیه می‌شوند یا این که از یکدیگر فاصله دارند و پس از انجماد یکی حوضچه دیگری تشکیل شود و به شکل مستقل منجمد می‌شوند.

روش جدیدتر جوش خودکار زیر پودری، قوس‌های پشت سرهم است که جوش چند پاس در یک شیار اتصال را برای افزایش سرعت حرکت و نرخ رسوب جوشکاری تامین می‌کند. جوشکار در نیمه خودکار، به شکل دستی یک تفنگ جوشکاری، فلاکس و الکترود را به محل اتصال تغذیه هدایت می‌کند و خودش سرعت حرکت را کنترل می‌نماید (۱۱).

۱-۶-۳- مزیت‌های فرآیند جوشکاری زیرپودری

از مزیت‌های جوشکاری زیرپودری می‌توان موارد زیر را نام برد:

- اتصالات در جوشکاری زیرپودری را می‌توان با شیار با عمق کم ایجاد کرده که باعث می‌شود فلز پرکننده کمتر مصرف شود.

- برای حفاظت از چشمان اپراتور پوشش لازم نیست، اما خاطر احتمال پرتاب شدن جرقه جوش توصیه می شود.
- جوشکاری زیر پودری را می توان با سرعت حرکت و نرخ رسوب بالا و بر روی هر سطحی از جمله سطح صاف یا استوانه ای یا لوله و با هر اندازه و ضخامتی انجام داد.
- در این روش استفاده از فلاکس به عنوان اکسیدزدا باعث می شود تا جوش بهتر و با خواص مکانیکی مناسب ایجاد شود.
- می توان از سیم های الکتروود ارزان قیمت برای جوشکاری فولادهای غیرآلیاژی و کم کربن استفاده کرد. (استفاده از سیم های فولادی کم کربن باعث هدایت بهتر و جلوگیری از خوردگی می شوند) (۱۲).

۱-۶-۴- معایب روش جوشکاری زیرپودری

از معایب روش جوشکاری زیرپودری می توان موارد زیر را نام برد:

- پودر جوش ممکن است آلوده شود که باعث تخلخل در جوش می شود.
- با قرار گرفتن صحیح گرده جوش بر روی درز جوش باعث ایجاد جوش ناقص و باقی ماندن سرباره درون جوش می شود. نامناسب بودن قطعه می تواند باعث شود که فلز جوش به حالت شناور و سرباره در زیر باقی بماند یا اگر مهره جوش دور از لبه اتصال قرار داشته باشد فلز مذاب ممکن است که فلز پایه را ذوب کند. مهره جوش به شکل محدب باعث می شود که ولتاژ جوشکاری پایین بیاید که در پی آن ممکن است که سرباره محبوس شده بوجود آید و ذوب ناقص اجازه ندهد که فلز مذاب حتی پخش شود.
- ترک انجمادی در طول مرکز مهره به طور معمول اتفاق می افتد که دلیل آن شکل مهره جوش، طرح اتصال یا انتخاب نامناسب جوشکاری مورد استفاده، می باشد.
- ترک های هیدروژنی همانند ترک های انجمادی تقریباً بعد از جوشکاری ظاهر می شوند. ترک های هیدروژنی یک فرآیند تاخیری هستند و امکان دارد حتی

ساعت‌ها یا روزها بعد از جوشکاری کامل شده، اتفاق افتد. ترک هیدروژنی زمانی کمینه خواهد بود که منبع هیدروژن (برای مثال آب، روغن، گازها و ناخالصی) در پودر الکتروود یا اتصال وجود نداشته باشد.

- روش جوشکاری زیرپودری به مسطح بودن وضعیت جوشکاری محدود است، زیرا باعث ریختن فلاکس می‌شود (۱۲).

۷-۱- جوشکاری فولادهای کربنی

فولاد کربنی فولادی است که دارای حداکثر ۱/۶۵ درصد منگنز، ۰/۶ درصد سیلیسیم و ۰/۶ درصد مس همراه با مقادیر جزئی از عناصر دیگر می‌باشد. از نظر دسته بندی فولادهای ساده کربنی را به چهار دسته تقسیم می‌کنند (۱۳):

- فولادهای کم کربن با حداکثر ۰/۱۵ درصد کربن
- فولادهای با کربن جزئی (نرم) با حداکثر ۰/۰۴-۰/۳ درصد کربن
- فولادهای میان کربن با ۰/۳-۰/۶ درصد کربن
- فولادهای پرکربن که مقدار آن‌ها ۰/۶-۱/۷ درصد کربن است.

برحسب تقاضای بازار کارخانه‌های فولادسازی، انواع مختلفی از فولاد را تولید می‌کند که گاهی قابلیت جوش‌پذیری آن‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. با کنترل میزان درصد کربن، منگنز و سیلیسیم خواص مکانیکی این نوع فولادها را می‌توان تنظیم کرد. فولادهای کم کربن به صورت‌های اکسیژن‌زدایی نشده (ناآرام)، کم اکسیژن‌زدایی شده (نیمه‌آرام) و کاملاً اکسیژن‌زدایی شده (آرام) تهیه می‌شوند. نقطه تسلیم فولادهای کم کربن پایین بوده و با انواع فرآیندهای جوشکاری می‌توان آن‌ها را جوش داد (۱۴).

فولاد میان کربن برای قطعات و اجزا ماشین‌آلات کاربرد دارد. برای جوشکاری این دسته از فولادها نیاز به روش‌های خاصی از جمله پیش‌گرم کردن و پس‌گرم کردن (تنش‌گیری) دارد.

فولادهای پرکربن که عموماً به فولادهای ابزار هم موسوم است، در قالب‌ها، ابزار برش، غلطک‌ها و به طور کلی مواردی که به مقاومت سائیدگی بالا نیاز دارند به کار می‌رود و معمولاً موارد جوشکاری آن‌ها کمتر است. جوشکاری این دسته از فولادها راحت نیست و به کنترل

بسیار دقیق در عملیات و برنامه جوشکاری نیاز دارند تا از ترک برداشتن جوش و یا منطقه مجاور آن جلوگیری شود.

در مصارف جوشکاری بالاترین میزان فولاد متعلق به دو دسته جوشکاری فولادهای کم کربن و فولادهای نرم (با حداکثر ۰/۲۹ درصد کربن) می باشد (۱۴).

۸-۱- متغیرهای ورودی جوشکاری

به منظور ایجاد جوش با کیفیت و جهت جلوگیری از بوجود آمدن نقص در جوشکاری لازم است از عوامل تاثیرگذار بر کیفیت جوش آگاهی داشته باشیم و فاکتورهای موثر بر آن را بشناسیم. لذا در این قسمت به معرفی پارامترهای مهم تاثیرگذار بر جوش و چگونگی کنترل آنها می پردازیم. متغیرهای ورودی برای جوشکاری زیرپودری عبارت اند از:

- جریان الکتریکی
- ولتاژ
- طول مؤثر الکتروود
- سرعت جوشکاری و ...

۸-۱-۱- جریان الکتریکی

شدت جریان جوشکاری زیرپودری بر روی جوش دو اثر کمی و کیفی دارد. منظور از اثر کمی عمق جوش است و اثر کیفی نیز همان میزان حرارت داده شده به جوش است (۱۵) و (۱۶). برای جوشکاری SAW عمدتاً از جریان با قطبیت معکوس (DCEP) استفاده می گردد؛ چون در این حالت بازیابی عناصر الکتروود بیشتر است و اکسیداسیون کمتری اتفاق می افتد. در صورتی که به عمق جوش بیشتری نیاز باشد، از جریان با قطبیت مستقیم (DCEN) استفاده می شود (۱۷). جریان یک پارامتر اصلی برای جوشکاری است و باید با توجه به کیفیت جوش، ضخامت ورق و سرعت جوشکاری آن را انتخاب کرد (۱۸).

جریان جوشکاری و حرارت ورودی به یکدیگر وابسته اند، به طوریکه افزایش جریان باعث افزایش حرارت ورودی می شود. همچنین افزایش جریان جوشکاری باعث افزایش نفوذ جوش و گرده جوش می شود (۱۹ و ۲۰). زمانی که پارامترهای ورودی دیگر ثابت باشند، افزایش جریان باعث افزایش گرده جوش، مهره جوش باریک و نفوذ بیش از اندازه

می‌شود (۲۱). استفاده از جریان بسیار بالا باعث مصرف بیشتر مواد پیرکننده می‌شود، که این جریان بسیار بالا باعث افزایش بیشتر گرده جوش می‌شود و به دلیل نیاز به ماشین‌کاری باعث هزینه اضافی می‌شود. در مقابل، جریان خیلی کم نیز باعث ایجاد قوس متزلزل، ذوب ناقص و نفوذ ناکافی می‌شود (۲۲، ۲۳ و ۲۴).

۱-۸-۲-ولتاژ

ولتاژ جوشکاری عبارت است از اختلاف پتانسیل بین سیم جوش و سطح ذوب شده قطعه. طول قوس توسط جریان جوشکاری تعیین می‌شود که در نتیجه پهنای فلز جوش را کنترل می‌کند. با ثابت نگه داشتن دیگر پارامترهای جوشکاری، با افزایش ولتاژ پهنای جوش افزایش یافته اما باعث کاهش نفوذ جوش می‌شود. همچنین باعث ایجاد جوش پهن تر می‌شود، علاوه بر آن رقت فلز پایه متأثر از افزایش ولتاژ است (۲۳). ولتاژ جوشکاری همچنین شکل منطقه مذاب و ارتفاع جوش را تعیین می‌کند (۲۵، ۲۶ و ۲۷). ولتاژ خیلی زیاد باعث ایجاد بریدگی کناره جوش می‌شود. از طرف دیگر ولتاژ خیلی کم، باعث لکه‌دار شدن و عملکرد بد می‌شود (۲۸). با افزایش ولتاژ ارتفاع جوش کاهش (۲۵، ۲۶ و ۲۷) و درجه رقت را افزایش می‌دهد (۲۵، ۲۶ و ۲۸)، همچنین باعث افزایش عرض منطقه متأثر از گرما شده (۱۶ و ۲۷) و سختی جوش کاهش می‌یابد (۲۹).

۱-۸-۳-طول مؤثر الکتروود

فاصله مکانی که جریان برق به سیم وصل می‌شود تا مکانی که سیم به سطح کار می‌رسد، طول مؤثر الکتروود نام دارد (۳۰). با افزایش طول مؤثر الکتروود، مقاومت الکتریکی سیم زیاد شده و به دنبال آن حرارت تولیدی نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه نرخ رسوب و ذوب نیز افزایش می‌یابد (۳۱ و ۳۲). افزایش طول مؤثر سیم جوش، موجب کاهش نفوذ جوش نیز می‌شود (۲۴ و ۳۲). اگر طول مؤثر الکتروود کم باشد، یعنی نازل بیش از اندازه پایین می‌آید و با حرکت نازل و جارو کردن پودر اطراف آن، در محافظت قوس توسط پودر خلل وارد می‌شود. همچنین نازل ممکن است به علت حرارت ذوب شود (۲۷ و ۳۳).

۱-۸-۴- سرعت جوشکاری

سرعت حرکت قوس تاثیر زیادی بر کیفیت و خواص نهایی جوش دارد. سرعت جوشکاری با حرارت ورودی رابطه معکوس دارد. سرعت جوشکاری معمولاً برای کنترل پهنای جوش و نفوذ جوش بکار می‌رود (۲۲، ۲۳ و ۲۴). افزایش سرعت جوشکاری، باعث کاهش گرمای ورودی به منطقه جوش می‌شود (۱۶، ۲۷ و ۳۴). از طرف دیگر کاهش سرعت جوشکاری باعث ایجاد ترک خوردگی حرارتی می‌شود. علاوه بر این حوضچه جوشی بزرگ‌تر و منطقه متأثر از گرمای گسترده در اطراف جوش ایجاد شود (۱۷).

۱-۸-۵- سرعت تغذیه سیم

انواع زیادی از سیستم های تغذیه سیم وجود دارد. اکثر سیستم‌های تغذیه سیم از نوع سرعت ثابت هستند یعنی سرعت تغذیه سیم قبل از جوشکاری تنظیم شده و در هنگام جوشکاری ثابت می‌ماند. سرعت تغذیه سیم و شدت جریان جوشکاری رابطه مستقیم دارند که رابطه آن به صورت زیر تعریف می‌شود (۳۵):

$$W = I\alpha \quad (1-1)$$

۱-۹- متغیرهای خروجی

بعد از انجام جوشکاری اعمال مربوط به کیفیت جوش در حین انجام کار که شامل بازرسی چشمی محل جوش است باید انجام شود. این بررسی‌ها شامل بررسی ظاهر جوش، میکروساختار جوش، بررسی کیفیت و خواص جوش است. شکل ظاهری جوش شامل نفوذ، ارتفاع، پهنای جوش و میزان رقت می‌باشد (۳۶).

۱-۱۰- نانو مواد

۱-۱۰-۱- تاریخچه نانو مواد

در حقیقت تاریخ فناوری نانو به دوران ماقبل تاریخ و زمانی که بشر اولیه از نانومواد طبیعی استفاده می‌کرد، برمی‌گردد. ریچارد فاینمن متخصص کوانتوم نظری در سال ۱۹۵۹ مقاله ای تحت عنوان فعالیتهای نانو در آینده منتشر ساخت و بعنوان پایه گذار این علم شناخته شد. او بعدها جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد. فاینمن در ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹ فناوری نانو را برای عموم آشکار ساخت و گفت «فضای زیادی در سطح کوچک وجود دارد». کی اریک

درکسلر مفهوم نانوتکنولوژی را بسط داده و معروف کرد و رشته نانوتکنولوژی مولکولی را بنیان نهاد. در دهه ۱۹۸۰ معنی نانوتکنولوژی بصورت قطعی (نه تصادفی و اتفاقی) در ارتباط با اتم‌ها و مولکول‌های مجرد بصورت مفهومی و عمیق توسط اریک دکسلر شرح داده شد. وی اهمیت تکنولوژیکی پدیده‌ها و دستگاه‌ها در مقیاس نانو را از طریق سخنرانی‌ها و دو کتاب تأثیرگذار رواج داد. در سال ۱۹۸۰، درکسلر از سخنرانی انگیزشی فاینمن با عنوان «فضای کافی در پایین دست وجود دارد» که در سال ۱۹۵۹ ایراد کرده بود، آگاه شد. در سال ۱۹۸۱ نیز IBM دستگاهی اختراع کرد که به کمک آن می‌شود اتم‌ها را تک تک جابه‌جا کرد. در سال ۱۹۹۱ نانو لوله‌های کربنی کشف شد.

۱-۱۰-۲- فناوری نانو

فناوری نانو یک شاخه نسبتاً جدید از علم است که طیف گسترده‌ای از کاربردهای مختلف از تولید انرژی گرفته تا فرآیندهای تولید صنعتی تا کاربردهای زیست پزشکی را در بر گرفته است. فناوری نانو نشان دهنده یک مسیر انقلابی برای توسعه فناوری است که مربوط به مدیریت مواد در مقیاس نانومتر است. فناوری نانو در واقع به معنای هر فناوری در مقیاس نانو است که اندازه ذرات در آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر است (۳۷). فناوری نانو به معنای واقعی کلمه شامل ساخت و کاربرد سیستم‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در مقیاس اعم از مولکول‌های فردی یا اتم‌ها تا ابعاد زیر میکرون و همچنین ادغام این نانو موادهای حاصل در سیستم‌های بزرگ‌تر است. این پتانسیل را دارد که دیدگاه‌ها و انتظارات ما را تغییر دهد و توانایی حل مسائل جهانی را برای ما فراهم کند.

در سال‌های اخیر، فناوری نانو به عنوان یک زمینه چند رشته‌ای پدید آمده است، که در آن بدست آوردن درک اساسی از خصوصیات الکتریکی، نوری، مغناطیسی و مکانیکی نانوساختارها نوید بخش تحویل نسل بعدی مواد کاربردی با کاربردهای گسترده است. نانوساختارها همچنین می‌توانند راه حل‌هایی را برای چالش‌های فن‌آوری و محیط زیست در زمینه‌های کاتالیز، دارو، تبدیل انرژی خورشیدی و تصفیه آب ارائه دهند (۳۸).

۱-۱۰-۳- خواص نانو ذرات

موادی که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، نانومواد خوانده می‌شوند. فناوری نانو، توانمندی تولید و ساخت مواد، ابزار و سیستم‌های جدید با در دست

گرفتن کنترل در مقیاس نانومتری یا همان سطوح اتمی و مولکولی و استفاده از خواصی است که در این سطوح ظاهر می‌شوند. به‌طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند که این خود به نوع اتم بستگی دارد. به‌طور کلی، فناوری نانو، گسترش، تولید و استفاده از ابزار و موادی است که ابعادشان در حدود ۱-۱۰۰ نانومتر می‌باشد (۳۹). فناوری نانو به سه سطح قابل تقسیم است: مواد، ابزارها و سیستم‌ها. موادی که در سطح نانو در این فناوری به کار می‌رود، را نانو مواد می‌گویند. ماده نانو ساختار، به هر ماده‌ای که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس نانومتری (زیر ۱۰۰ نانومتر) باشد اطلاق می‌شود (۴۰). این تعریف به وضوح انواع بسیار زیادی از ساختارها، اعم از ساخته دست بشر یا طبیعت را شامل می‌شود. همه مواد از جمله فلزات، نیمه هادی‌ها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها در ابعاد نانو می‌توانند وجود داشته باشند (۴۱ و ۴۲).

فصل ۲:

مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه

متغیرهای جوشکاری از جمله ولتاژ، شدت جریان، سرعت، طول مؤثر الکتروود، پودر استفاده شده و ... بر کیفیت و خواص جوش تاثیر می‌گذارند. لازم به ذکر است که تمرکز منابع بررسی شده بر خواص مکانیکی جوش در منطقه متأثر از گرما و فولادهای کم کربن می‌باشد. در این فصل ابتدا به بررسی متغیرهای ورودی و سپس به بررسی تاثیر آن بر متغیرهای خروجی پرداخته شده است.

۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع

برخی از محققان جهت بررسی نفوذ جوش از پوشش‌های فعال مانند TiO_2 ، Cr_2O_3 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 ، MgCO_3 ، Cu_2O ، NiO و CeO_2 در سائز میکرون در فرآیندهای جوشکاری قوسی استفاده کرده‌اند (۳۳، ۴۳ و ۴۴). محققان دیگری تاثیر این مواد را در ابعاد نانو، بر هندسه و خواص جوش بررسی نمودند (۲۴، ۴۵ و ۴۶). شانپینگلو و همکاران نفوذ جوش و جابجایی مارانگونی را در حضور پوشش‌های فعال اکسیدی در فرآیند قوسی گاز تنگستن را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار پوشش SiO_2 ، Cu_2O ، Cr_2O_3 و NiO نسبت پهنا به عمق در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت، اما نسبت پهنا به عمق برای جوش به مقدار اکسید تیتانیوم حساس نیست (۴۷). هر-یو هوانگ مساحت جوش و نفوذ جوش را در حضور پوشش‌های فعال جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش میزان پوشش‌های فعال مقاومت کششی و سختی اتصال بهبود می‌یابد (۴۸). فتاحی و همکاران، بهبود چقرمگی فلز جوش AWS E6010 را با اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم را مورد بررسی قرار دادند (۴۹). آقاخانی و همکاران در جوشکاری زیرپودری توسط مدل فازی با استفاده از نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید اثر پارامترهای ورودی بر سختی منطقه مذاب را بررسی کردند و نتایج بدست آمده نشان داد که

با اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید در فرآیند جوشکاری زیرپودری سختی منطقه مذاب در ابتدا اندکی افزایش سپس مقداری ثابت و سپس کاهش یافت (۵۰). آقاخانی و نادریان مدل سازی و بهینه سازی درجه رقت در جوشکاری زیرپودری در حضور نانو ذرات اکسید کروم را بررسی کردند (۵۱).

۲-۳- فولادهای کم کربن

فولاد کربنی یا همان فولاد ساده کربنی یک نام گذاری کلی است که معرف خانواده بزرگی از فولادها است که کربن، اصلی ترین عنصر آلیاژی سازنده آنها است. در واقع در این آلیاژها کربن نقش اصلی را به عنوان عنصر آلیاژی ایفا می کند و خواص فولاد به صورت ویژه ای به مقدار کربن موجود در آنها وابسته است. یک فولاد ساده کربنی علاوه بر کربن می تواند شامل چندین نوع عنصر آلیاژی دیگری باشد. فولادهای کم کربن که به فولادهای نرم معروف اند. این فولادها به آسانی جوشکاری و ماشین کاری شده، قابلیت شکل پذیری بالایی داشته و ارزان قیمت نیز می باشند. فولادهای کم کربن معمولاً بین ۰/۰۴-۰/۳ درصد کربن دارند. فولادهای کم کربن کاربردهای زیادی در صنعت دارد به عنوان مثال به شکل ورق در بدنه های خودرو استفاده می شود. فولادهای کم کربن در عموم قطعات مهندسی، ساختمان کشتی ها و راه آهن به کار می روند. این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و قابلیت جوشکاری بالایی برخوردار بوده و در مواردی که قطعات تحت عملیات سختی سطحی قرار می گیرند، کاربرد خوبی دارند. سیالیت کم و تمایل به ایجاد ترک های گرم از مشخصات فولادهای کم کربن می باشد. استحکام کششی این نوع فولادها در حالت نرمال حدود ۴۰ تا ۴۲ کیلوگرم بر میلیمتر مربع و ازدیاد طول نسبی آن حدود ۲۵ درصد می باشد. مصرف اصلی این نوع فولادها در صنایع الکتریکی، ماشین سازی و موارد مشابه می باشد (۲۲، ۵۲، ۵۳، ۵۴ و ۵۵).

۲-۳- پارامترهای ورودی جوشکاری

۲-۳-۱- شدت جریان

جریان یک پارامتر اصلی برای جوشکاری است و باید با توجه به کیفیت جوش، ضخامت ورق و سرعت جوشکاری آن را انتخاب کرد. با افزایش جریان جوشکاری عمق و

عرض نفوذ جوش افزایش می‌یابد (۱۷). میزان جریان بیش از حد باعث اتلاف انرژی و مصرف سیم جوش می‌شود. افزایش جریان، باعث افزایش درجه رقت و کاهش پهنای جوش می‌شود (۲۵).

۲-۳-۲- ولتاژ جوشکاری

افزایش ولتاژ جوشکاری، باعث می‌شود نفوذ به مقدار جزئی افزایش و همچنین افزایش پهنای جوش پیدا می‌شود (۲۵، ۲۶ و ۲۷)، با افزایش ولتاژ ارتفاع جوش کاهش یافته (۲۵، ۲۶ و ۲۷) و درجه رقت افزایش می‌یابد (۲۵، ۲۶ و ۲۸)، همچنین در اثر افزایش ولتاژ عرض منطقه متأثر از گرما، افزایش یافته (۱۶ و ۲۷) و سختی جوش کاهش می‌یابد (۲۹).

۲-۳-۳- سرعت جوشکاری

سرعت جوشکاری در شکل و نفوذ جوش تأثیر قابل توجهی دارد. در سرعت خاصی نفوذ جوش حداکثر است و با افزایش سرعت از آن به بعد باعث کاهش نفوذ جوش می‌شود (۱۵، ۱۶، ۲۵ و ۳۴)، زمانی که حرارت ورودی کاهش می‌یابد درجه رقت و عرض منطقه متأثر از گرما کاهش یافته (۲۶ و ۳۴) و سختی منطقه ذوب شده افزایش می‌یابد (۵۶).

۲-۳-۴- ضخامت پوشش نانو مواد

نانو مواد با توجه به اندازه کوچک و اثرات سطح زیادشان، دارای خواص مکانیکی، الکتریکی و مغناطیسی منحصر به فردی نسبت به مواد معمولی هستند. این خواص آن‌ها را به مواد مناسبی برای کاربردهای متفاوت در صنایع دفاعی، هوافضا، الکترونیک و شیمیایی تبدیل کرده‌است. استفاده از نانوتکنولوژی در جوشکاری از اواخر قرن بیستم معرفی شد. با این حال مطالعات اندکی درباره نقش نانو ذرات در جوشکاری انجام شده‌است (۴۰).

۲-۴- پارامترهای خروجی جوشکاری

۲-۴-۱- نفوذ جوش

نفوذ جوش عبارت است از حداکثر فاصله عمودی بین سطح افقی بالایی مقطع برش خورده تا قسمت ذوب شده در فلز پایه (۵۷).

۲-۴-۲- پهنای جوش

پهنای جوش عبارت است از فاصله افقی در امتداد خط افقی بالای مقطع برش خورده که در اثر رسوب گذاری جوش ایجاد شده است (۵۸).

۲-۴-۳- ارتفاع جوش

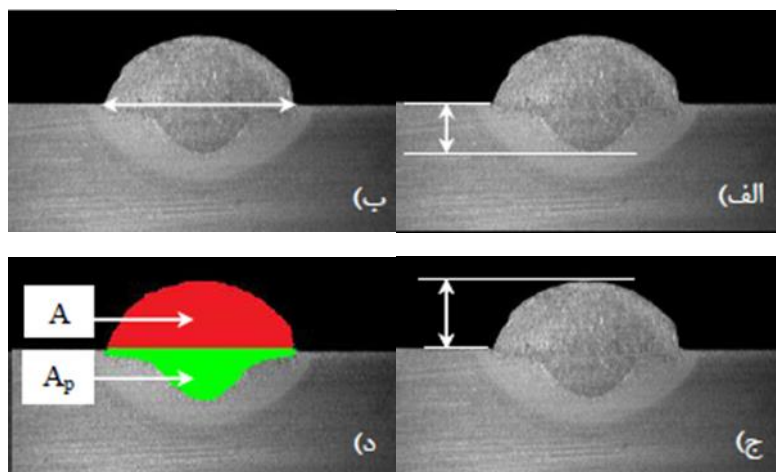
ارتفاع جوش عبارت است از حداکثر فاصله عمودی بین سطح افقی قطعه برش خورده تا قسمت رسوب گذاری شده ناشی از ذوب سیم جوش (۵۹).

۲-۴-۴- درجه رقت

درجه رقت عبارت است از نسبت مساحت منطقه نفوذ جوش در قطعه کار به کل مساحت منطقه ذوب شده.

$$\%Dilution = 100 \times \frac{A_P}{A_P + A_R} \quad (1-2)$$

در این رابطه A_P مساحت منطقه نفوذ جوش و A_R مساحت گرده جوش است (۵۱).



شکل ۱-۲ پارامترهای هندسی جوش: الف) نفوذ جوش ب) پهنای جوش ج) ارتفاع جوش د) رقت جوش

۲-۴-۵- سختی

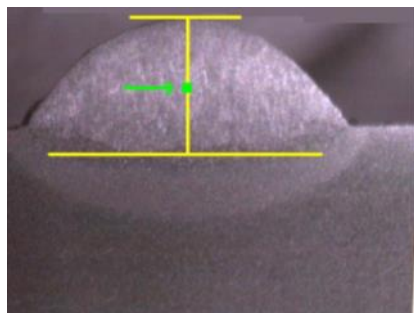
سختی یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی می‌باشد که به عنوان معیاری برای بیان مقاومت یک ماده در برابر تغییر شکل (فرورفتگی یا خراش) به کار می‌رود. آزمایش‌های اولیه سختی بر پایه کانی‌های طبیعی صورت می‌گرفت و توانایی یک ماده برای خراش دادن ماده نرم‌تر سنجیده می‌شد. مقیاس مو (Mohs) یک شاخص کیفی سختی می‌باشد که در آن نرم‌ترین ماده یعنی تالک با مقیاس ۱ تا الماس با مقیاس ۱۰ را در بر می‌گرفت. سپس روش‌های کمی تعیین سختی توسعه یافت که در آن یک فرورونده کوچک به سطح نمونه آزمایشی تحت شرایط کنترل شده بار و سرعت اعمال آن فشار داده می‌شود. برای بدست آوردن عدد سختی عمق یا اندازه فرورفتگی سنجیده شده و به عدد سختی نسبت داده می‌شود. ماده نرم‌تر دارای فرورفتگی وسیع‌تر و عمیق‌تر و عدد سختی کمتر است. سختی اندازه‌گیری شده نسبی است و در هنگام مقایسه مقادیر به دست آمده از روش‌های مختلف باید به آن توجه نمود (۶۰).

آزمایش‌های سختی بیشتر از آزمایشات دیگر انجام می‌شود زیرا:

- برای اندازه‌گیری سختی نیازی به تهیه نمونه نیست و تجهیزات آزمایش نسبتاً ارزان قیمت هستند.
- نمونه در حین اندازه‌گیری تخریب نمی‌شود و در آن فقط یک فرورفتگی کوچک ایجاد می‌شود.
- دیگر خواص مکانیکی، مانند استحکام کششی را می‌توان با استفاده از اطلاعات مربوط به سختی بدست آورد (۶۰).

۲-۴-۵-۱- سختی منطقه ذوب

از آنجا منطقه ذوب که تحت ذوب و جامد شدن قرار می‌گیرد، اندازه و شکل دانه‌ها، توزیع ظرفیت و عواملی نظیر تخلخل باید کنترل شود. گرادیان دما، سرعت رشد، خنک‌سازی و تشکیل آلیاژ از عوامل مهم در تعیین ریزساختار منطقه ذوب هستند (۲).

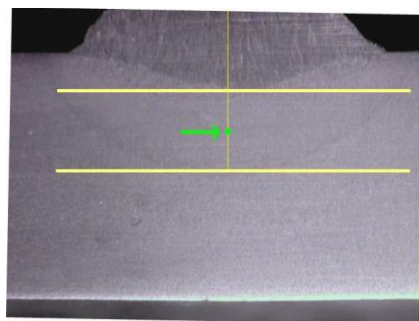


شکل ۲-۲ نقطه میانگین در محاسبه سختی منطقه ذوب

۲-۴-۵-۲- سختی منطقه متاثر از گرما

منطقه متاثر از گرما یا HAZ که مخفف Heat Affected Zone است. به منطقه‌ی اطراف فلز جوش گفته می‌شود که دمای آن بالا رفته‌است اما ذوب نشده‌است و این بالا رفتن دما در آن سبب ایجاد تغییرات متالورژیکی شده‌است و وسعت این ناحیه و شدت آن بستگی به خواص فلز پایه و تمرکز و شدت گرمای جوش و نوع فرآیند جوشکاری دارد (۲).

در شکل (۲-۳) نقطه‌ای که سختی‌اش به عنوان سختی میانگین منطقه متاثر از گرما در نظر گرفته شده، نشان داده شده‌است.



شکل ۲-۳ نقطه میانگین در محاسبه سختی منطقه متاثر از گرما

۲-۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده، متغیرهای خروجی از جمله نفوذ، پهنای، ارتفاع گرده جوش، رقت، سختی ناحیه متاثر از گرما و سختی ناحیه ذوب شده به عنوان شاخص‌های کیفیت در جوشکاری SAW فولاد ST37 مورد بررسی قرار گرفته‌است.

فصل ۳:

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این فصل به شرح و بررسی فعالیت‌های آزمایشگاهی انجام شده شامل انتخاب اندازه قطعه کار، نحوه جوشکاری، نحوه برش قطعات، نحوه سنباده‌زنی، نحوه پولیش زدن، اندازه‌گیری ابعاد هندسه جوش و درجه رقت، اندازه‌گیری سختی در منطقه ذوب شده و نهایتاً تهیه تصاویر میکروسکوپ نوری به منظور بررسی میکروساختار منطقه متأثر از گرما و ناحیه ذوب شده ناشی از جوشکاری پرداخته خواهد شد.

۳-۲- مواد و دستگاه‌های استفاده شده

مواد و دستگاه‌های استفاده شده در جداول زیر آورده شده است.

جدول ۳-۱ دستگاه‌ها و ابزارهای مورد استفاده

نام وسیله یا دستگاه
دستگاه جوش
دستگاه برش
دستگاه سنباده‌زنی
دستگاه پولیش‌زنی
میکروسکوپ الکترونی روبشی (TEM)
میکروسکوپ نوری
سیم جوش
سنباده

جدول ۳-۲ مواد شیمیایی مورد استفاده

نام مواد استفاده شده	نماد های شیمیایی
پودر نانو ذرات اکسید کروم	Cr_2O_3
فولاد نرم ST37	ST37
استون	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
محلول نایتال	2-5 cc HNO_3 100 cc $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ or CH_3OH
الکل	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
خمیر الماس پولیش

۳-۳- انتخاب ابعاد قطعه کار

انتخاب قطعات براساس انجام چند آزمایش مقدماتی انجام شد. به این صورت که با توجه به امکانات کارگاهی، قطعات از فولاد نرم ST37 با ضخامت 5 میلیمتر و سطح 150×50 میلیمتر انتخاب گردید که ترکیب شیمیایی قطعه کار در جدول (۳-۳) نشان داده شده است. برای آنالیز شیمیایی قطعه کار از روش اسپکتروسکوپی نشری^۱ (کوانتومتری) برای بدست آوردن درصد عناصر تشکیل دهنده استفاده شد.

جدول ۳-۳ ترکیب شیمیایی ST37

Element	Cr	P	S	Si	Ti	Mn	C	Fe
%W	۰/۰۳۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	۰/۴۱۷	۰/۱۱۳	Bal

۳-۴- سیم الکتروود

جنس سیم الکتروود معمولاً یک فولاد کم کربن با ترکیب شیمیایی می باشد. برای تولید سیم های الکتروود جوش زیرپودری در اندازه های مختلف از فولاد استفاده می شود. پوشش نازکی از مس برای بهبود هدایت الکتریکی و بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی بر روی سیم ایجاد می شود. خواص مکانیکی و انتخاب نوع خاص الکتروود و ترکیب شیمیایی آن به جنس

¹ Optical Emission Spectroscopy

فلز پایه و نوع فلاکس وابسته است. برای رسیدن به نرخ رسوب بالاتر می‌توان از دو یا چند الکتروود نازک‌تر به جای یک الکتروود ضخیم استفاده کرد. کاهش قطر الکتروود باعث افزایش چگالی جریان و فشار پلاسما در جهت افزایش عمق نفوذ و باریک شدن پهنای جوش می‌شود.

ترکیب سیم استفاده شده در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳-۴ درصد وزنی سیم جوش مصرفی

نوع سیم جوش	C	Si	Mn
50-11	۰/۰۴ - ۰/۰۸	۰/۵ - ۰/۸	۰/۹ - ۱/۳

۳-۵- عملیات جوشکاری

برای انجام جوشکاری از روش جوشکاری روی ورق^۱ استفاده شد. برای انجام این کار از یک سیستم نیمه اتوماتیک استفاده گردید. این سیستم شامل منبع تغذیه و رباط جوشکاری می‌باشد.

هر کدام از این قسمت‌ها به اختصار در ادامه شرح داده شده است.

۳-۵-۱- منبع تغذیه جوشکاری

منبع تغذیه مورد استفاده در این دستگاه Pars Arc 1203T می‌باشد.

۳-۵-۲- رباط جوشکاری

برای جوشکاری از رباط نیمه اتوماتیک PARS CAT P2310 استفاده شده است. این رباط شامل وایرفیدر، پنل کنترل ولتاژ، جریان و سرعت حرکت، مخزن پودر و ... می‌باشد. نمایی از مجموعه جوشکاری مذکور در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

1 Bead-on-plate



شکل ۳-۱ نمایی از مجموعه جوشکاری استفاده شده

۳-۶- آزمایش‌ها

برای انجام این آزمایش، پارامترهای ولتاژ، شدت جریان و سرعت به عنوان پارامترهای ورودی ثابت در نظر گرفته شد و سپس پودر نانو اکسید کروم (F) به عنوان تنها پارامتر متغیر در پنج سطح به ضخامت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلیمتر بر روی قطعات کشیده شد.



شکل ۳-۲ تجهیزات جوشکاری زیرپودری

۳-۶-۱- بررسی نانو ذرات مختلف

یکی از بیشترین موارد تحقیق بهبود در مقدار نفوذ جوش می‌باشد. از کاربردی‌ترین تکنیک‌ها فعال‌سازی پودر جوش بوده که این روش اولین بار توسط موسسه جوشکاری پاتون الکتریک در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد داده شد. نحوه فعال‌سازی به این صورت است که محل جوشکاری را ابتدا با یک فرچه به ماده معدنی نانو اکسید آغشته می‌کنند. این مواد بر میزان انبساط سطحی فلز جوش و در نتیجه نحوه جریان مذاب در فلز پایه تاثیر گذاشته که و میزان نفوذ را افزایش می‌دهند.

در این زمینه برای چند اکسید فلزی به بررسی میزان بهبود در نفوذ جوش پرداخته شده‌است. از پنج فلاکس اکسیدی SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 با انحلال در استون با ضخامت کمتر از ۰/۲ میلیمتر روی محل جوش در قطعه با استفاده از فرچه پوشش داده شده‌اند. قبل انجام جوشکاری چند قطعه آزمایشی، چند بار با شدت جریان مختلف جوشکاری شدند. در شدت جریان‌های بالاتر از ۴۰۰ آمپر موجب سوراخ شدن جوش ریشه می‌شد، شدت جریان ۴۰۰ آمپر را انتخاب نمودیم تا بر این مشکل غلبه کنیم و برای اینکه نرخ رسوب جوش بالا برود از سرعت ۲۰۰ mm/min استفاده نمودیم تا از تغییر شکل قطعات به صورت پروانه جلوگیری شود. همچنین در این فرآیند قطر الکتروود به کار گرفته شده ۳/۲ میلیمتر و زاویه جوشکاری الکتروود در ۶۰ درجه تنظیم شده‌است.

۳-۶-۲- نمونه‌برداری از منطقه جوشکاری شده

با آماده کردن مجموعه، جوشکاری روی قطعات انجام شد. سپس قطعات با دستگاه برش برداشته می‌شود.

۳-۶-۳- آماده کردن سطح نمونه

پس از برش قطعات، عملیات سنگ‌زنی بر روی سطح نمونه‌ها انجام می‌شود. در این مرحله زبری و لبه تیز قطعات حذف می‌شود. تا از خراب شدن سنباده‌ها و صفحه پولیش

جلوگیری شود. دستگاه سنگ‌زنی دارای دو سطح خشن و نرم است. ابتدا نمونه را روی سطح خشن و پس از صاف شدن نسبی آن را روی سطح نرم می‌گیریم تا نمونه صاف گردد.

بعد عملیات سنگ‌زنی، عملیات سنباده‌زنی در چهار مرحله روی سنباده‌های ۲۴۰، ۳۲۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ صورت می‌گیرد که سنباده ۲۴۰ خشن‌ترین و سنباده ۶۰۰ نرم‌ترین آن‌ها می‌باشد. در هنگام سنباده‌زنی به دلیل اینکه سنباده‌زنی بر روی سنباده‌هایی صورت می‌گیرد که آب بر روی آن جریان دارد نیاز به تمیز کردن نمونه در بین مراحل نخواهد بود.

مرحله بعدی عملیات پولیش‌زنی می‌باشد. برای انجام این کار از خمیر الماس و الکل استفاده می‌شود و به این ترتیب سطح نمونه، دارای سطح صاف و بدون خراش می‌شود. سپس سطح قطعات با محلول نایتال ۲٪ به مدت دو دقیقه اچ گردید. در زیر دستگاه‌های که برای انجام این آزمایش به کار رفته‌اند آورده شده‌است.



شکل ۳-۳ دستگاه برش



شکل ۳-۴ دستگاه سنباده‌زنی



شکل ۳-۵ دستگاه پولیش زنی



شکل ۳-۶ قطعه کارهای آماده

۳-۶-۴- اندازه گیری هندسه جوش

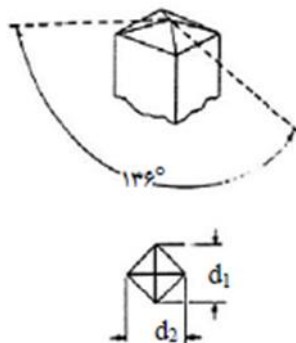
پس از مرحله آماده سازی قطعات، ابعاد هندسه جوش از جمله نفوذ، پهنا، ارتفاع گرده جوش و درجه رقت به وسیله میکروسکوپ اندازه گیری شد. شمایی از این میکروسکوپ در شکل (۳-۷) آمده است.



شکل ۳-۷ میکروسکوپ مورد استفاده

۳-۶-۵- سختی منطقه جوش

آزمایش‌های سختی سنجی مطابق به روش ویکرز با استاندارد ASTM E384 انجام شد، که الماس آن در شکل (۳-۸) نشان داده شده است (۶۱).



شکل ۳-۸ شکل الماس سختی سنجی ویکرز و اثر آن بر روی نمونه

سپس اثری که روی سطح نمونه ایجاد می‌شود در زیر میکروسکوپ مشاهده اندازه‌گیری شده و سپس تبدیل به عدد سختی می‌شود.

دقت در انجام آزمایش مستلزم آماده‌سازی دقیق سطح نمونه شامل سنگ‌زنی و صیقل‌کاری است. این روش را روش آزمایش ریزسختی^۱ می‌نامیم که برای سختی‌سنجی مناطق کوچک و انتخاب شده نمونه‌ها به کار می‌رود.

در این پایان‌نامه از سختی‌سنجی به روش ویکرز استفاده شده است. سختی‌سنجی در روش ویکرز از رابطه زیر بدست می‌آید (۶۲):

$$\text{VHN} = 1.854 P/d^2 \quad (۱-۳)$$

که در این رابطه P نیروی اعمالی بر حسب کیلوگرم و d میانگین دو قطر فرورونده الماسی بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

در کل آزمایش‌های انجام شده $P = 31.25 \text{ Kg}$ در نظر گرفته شده است. بنابراین:

$$\text{VHN} = 57.9375/d^2 \quad (۲-۳)$$

1 Micro hardness

سختی‌سنجی منطقه متاثر از گرما و منطقه ذوب شده هر کدام در یک نقطه نمونه اندازه‌گیری شد. شمایی از این دستگاه در شکل (۳-۹) آمده‌است. در نهایت نتایج خروجی حاصل از آزمایش گردآوری شد. واحدهای اندازه‌گیری نفوذ جوش، ارتفاع گرده جوش و پهنای جوش بر حسب میلیمتر (mm) و اندازه‌گیری سختی ویکرز و دایلویشن نیز بدون واحد می‌باشد.



شکل ۳-۹ دستگاه اندازه‌گیری سختی

۳-۷- خطاهای آزمایش

یکی از مواردی که در طی انجام آزمایش‌های علمی همواره باید مورد توجه قرار گیرد، عواملی است که می‌تواند نتیجه آزمایش را با خطا همراه کند. عوامل زیادی باعث ایجاد خطا در نتیجه آزمایش می‌گردد. این عوامل ممکن است در اثر خطای دستگاه‌هایی که برای انجام آزمایش یا گردآوری نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرند، عوامل محیطی و خطای انسانی باشد. خطا در انجام آزمایش، در نتایج تاثیر می‌گذارد و نتایج قابل اطمینانی به همراه نخواهد داشت. دستگاه جوشکاری به چند دلیل دلایل از جمله کالیبره نبودن سیستم تغذیه، کالیبره نبودن سیستم تنظیم پارامترهای ورودی (ولتاژ، جریان، سرعت جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش)، عدم تنظیم دقیق فاصله و زاویه نازل با قطعه کار می‌تواند سبب بروز خطا در آزمایش گردد. علاوه بر این موارد، دستگاه بر روی یک میز فلزی بزرگ قرار دارد که این میز در هنگام انجام آزمایش مقداری از گرمای ورودی به قطعه کار را دریافت می‌کند. این امر

می‌تواند باعث کاهش بازده قوس الکتریکی در گرمای ورودی گردد. گرمای ورودی از معادله (۳-۳) محاسبه می‌گردد (۱۹):

$$\text{Heat Input} = \frac{\eta \times V \times I}{s} \quad (3-3)$$

که در آن η بازده قوس الکتریکی است و برای جوشکاری زیر پودری ۶۰٪ در نظر گرفته می‌شود، V ولتاژ جوشکاری بر حسب ولت، I شدت جریان جوشکاری بر حسب آمپر و S سرعت جوشکاری بر حسب میلیمتر بر دقیقه می‌باشد.

پس از انجام آزمایش، برای گردآوری نتایج، نمونه‌ها در مقطع عمود بر خط جوش برش داده شد. سپس برای انجام مطالعات متالوگرافی، اندازه‌گیری هندسه جوش و سختی منطقه مذاب، سطح مقطع نمونه سنباده‌زنی شد. اگر سطح مقطع برش بر خط جوش عمود نباشد، سطح مقطع نمونه دارای انحنا باشد، زمان اچ کردن خیلی کم یا خیلی زیاد شود و همچنین کالیبره نبودن دستگاه سختی، مواردی هستند که هنگام گردآوری نتایج آزمایش می‌تواند سبب بروز خطا در نتیجه آزمایش و در نهایت نتیجه نهایی گردد.

در این پایان نامه انجام آزمایشات با کمترین درصد خطا انجام شده است.

فصل ۴:

نتایج و تفسیر آنها

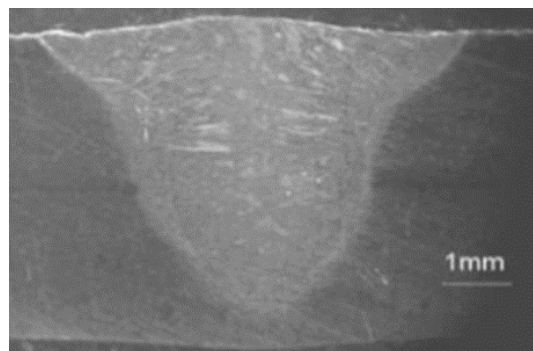
۱-۴- مقدمه

هدف اصلی از این مطالعه بررسی تأثیرات پوشش لایه نانوذرات اکسید کروم بر خواص جوش فولاد ساده کربنی بوده است. نمونه‌های جوش شده با ضخامت‌های مختلف نانوذرات اکسید کروم به منظور یافتن خواص مکانیکی تحت آزمایش قرار گرفتند. لذا در این بخش خواص مکانیکی از قبیل میکروسختی و ابعاد هندسه جوش، تصاویر میکروسکوپ نوری، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروساختار فلز جوش مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات مورد نظر در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام شد.

۲-۴- بررسی تأثیر نوع ذرات

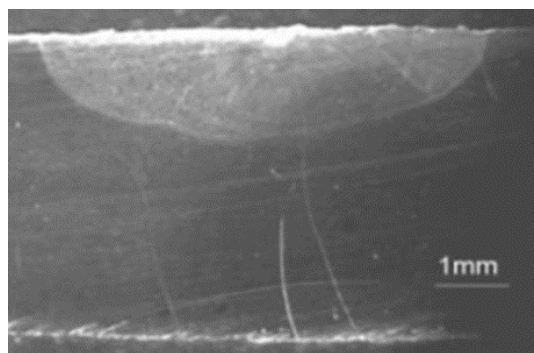
در این تحقیق به منظور بررسی و تأثیر انواع مختلف نانوذرات بر میزان نفوذ جوش از میکروسکوپ الکترونی روبشی (TEM)^۱ استفاده شده است.

اثر پوشش اکسیدی مانند نانو اکسید تیتانیوم، نانو اکسید کروم و نانو اکسید سیلیسیوم به صورت کاهش عرض مهره جوش و افزایش میزان نفوذ جوش مشاهده می‌شود. خصوصاً برای نانو اکسید سیلیسیوم بیشترین افزایش نفوذ مشاهده می‌شود. در این رده میزان تأثیر نانو اکسید کلسیم روی نفوذ جوش بسیار کم است.

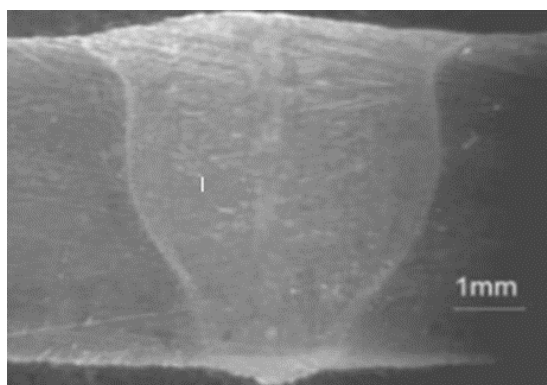


شکل ۴-۱ با پوشش نانو اکسید کروم

1 Transmission Electron Microscope (TEM)



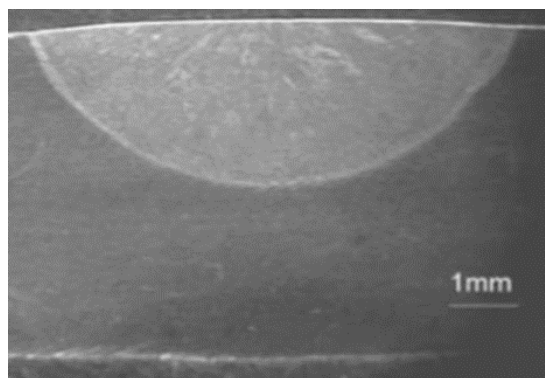
شکل ۴-۲ با پوشش نانو اکسید آلومینیوم



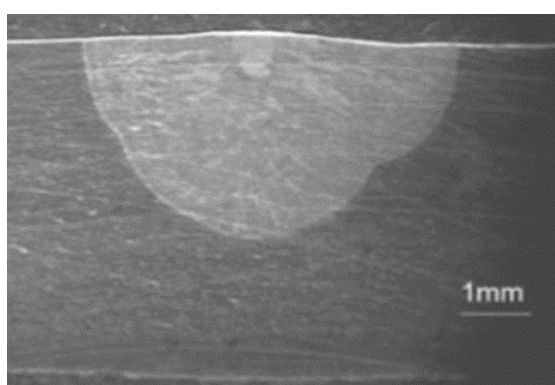
شکل ۴-۳ با پوشش نانو اکسید سیلیسیوم



شکل ۴-۴ با پوشش نانو اکسید تیتانیوم



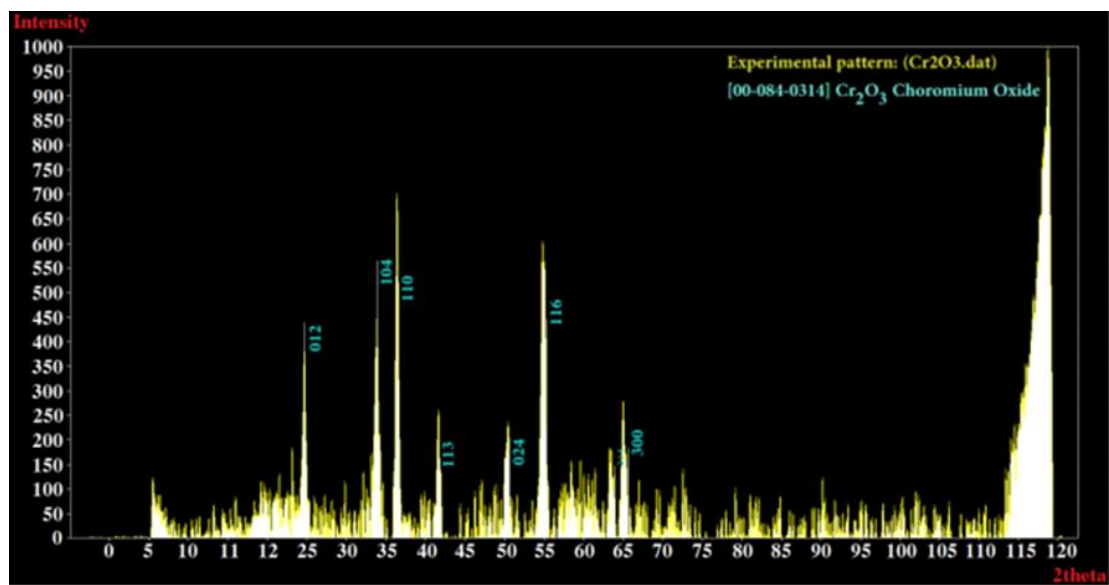
شکل ۴-۵ با پوشش نانو اکسید کلسیم



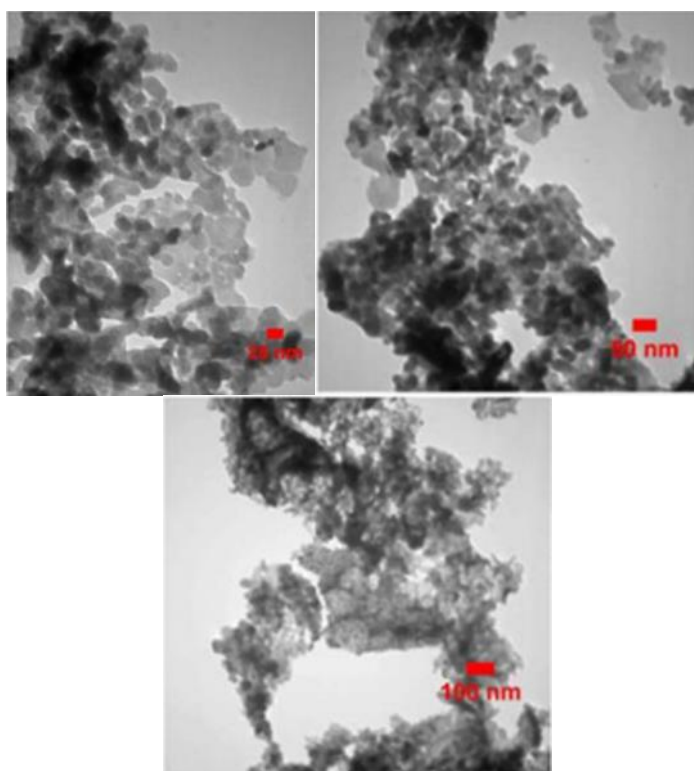
شکل ۴-۶ بدون پوشش نانو اکسید فلزی

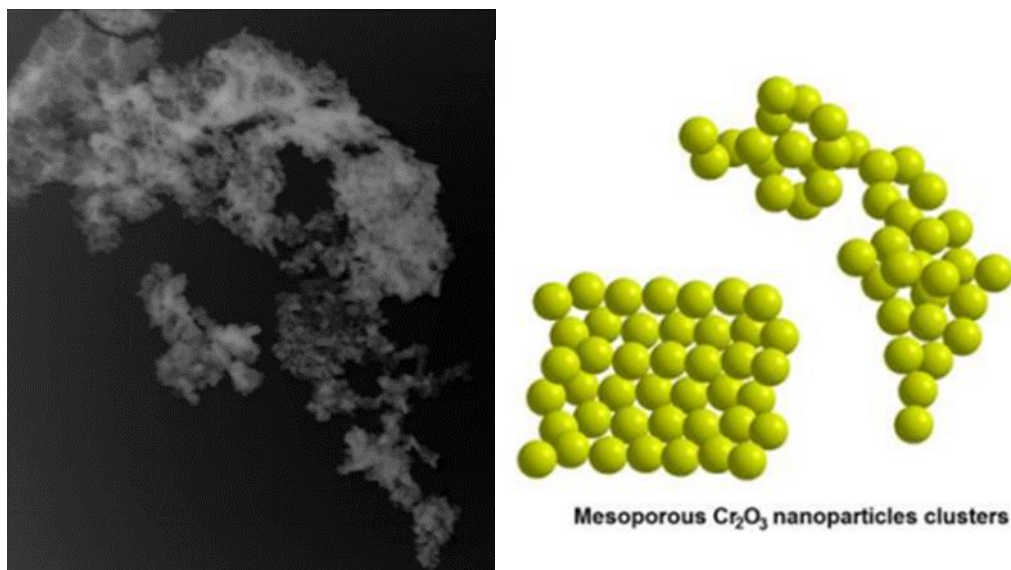
۴-۳- ورود نانو ذرات به حوضچه جوش

قبل از بررسی نتایج و تاثیر نانو ذرات باید حضور نانو ذرات در حوضچه جوش بررسی شود. به این ترتیب با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مجهز به میکرو آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس نانو ذرات در حوضچه جوش مشاهده شد. شکل (۴-۷) تصویر X-Ray گرفته شده از نانو ذرات اکسید کروم را نشان می دهد.

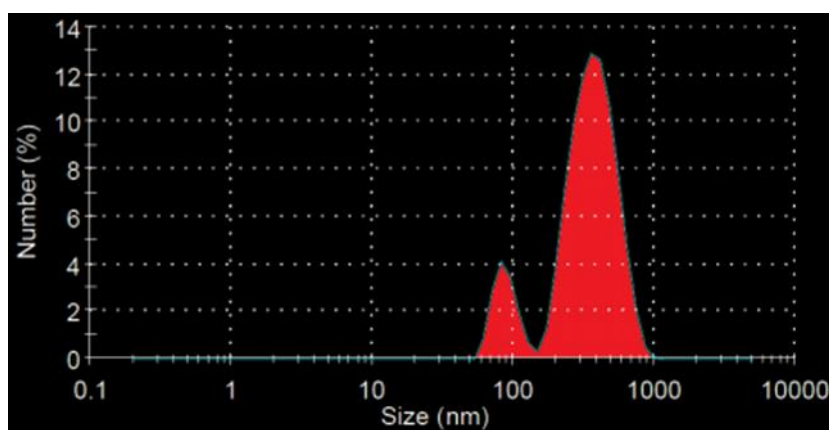


شکل ۷-۴ تصویر X-Ray گرفته شده از نانو ذرات اکسید کروم





شکل ۴-۸ تصویر TEM نانوذرات اکسید کروم



شکل ۴-۹ توزیع اندازه نانوذرات اکسید کروم

۴-۴- اثر مارانگونی بر فلز جوش

نانو ذرات مورد استفاده دارای مقادیر قابل توجهی اکسیژن هستند. از آنجایی که اکسیدها تمایل بسیار زیادی به واکنش با فلزات دارند و این واکنش با گرمای زیاد همراه است، بنابراین در این مطالعه با افزودن نانو ذرات به حوضچه جوش گرمای ورودی به قطعه افزوده شده است. بالا رفتن گرمای ورودی در حوضچه جوش باعث افزایش عمق نفوذ بیشتر می شود ممکن است به دلیل پدیده ای به نام جابجایی مارانگونی باشد (۶۳ و ۶۴). اثر مارانگونی به پدیده انتقال جرمی اطلاق می گردد که در طول فصل مشترک دو سیال به سبب وجود گرادیان

کشش سطحی میان آن دو رخ می‌دهد. در غیاب نانو اکسیدکروم فلز مذاب گرم‌تر با کشش سطحی کمتر در نزدیکی مرز سطح حوضچه، توسط فلز مذاب سردتر با کشش سطحی بیشتر در لبه های حوضچه به سمت خارج کشیده می‌شود. از طرف دیگر در حضور عناصر فعال سطح فلز مذاب سردتر با کشش سطحی کمتر در لبه‌های حوضچه، توسط فلز مذاب گرم‌تر در نزدیکی مرز حوضچه به سمت داخل کشیده می‌شود، این جابجایی باعث تشدید انتقال حرارت به سمت کف حوضچه جوش می‌گردد. به عبارت دیگر فلز مذاب، حرارت را از منبع حرارتی به سمت کف حوضچه با سرعت بیشتری حمل کرده و باعث افزایش نفوذ می‌شود (۶۵). در جوشکاری با مواد فعال سطحی در شروع جابجایی مارانگونی به علت وارونه شدن جابجایی جریان‌ات یک افزایش نفوذ قابل توجه وجود دارد، بنابراین در جوشکاری زیرپودری با افزودن ماده نانو می‌تواند باعث افزایش عمق نفوذ و کاهش پهنای حوضچه جوش شود (۶۶).

۴-۵- مقادیر خروجی آزمایش

در فصل قبل مقادیر تجربی متغیرهای خروجی جمع‌آوری گردید. نتایج بدست آمده در جدول نشان داده شده‌است.

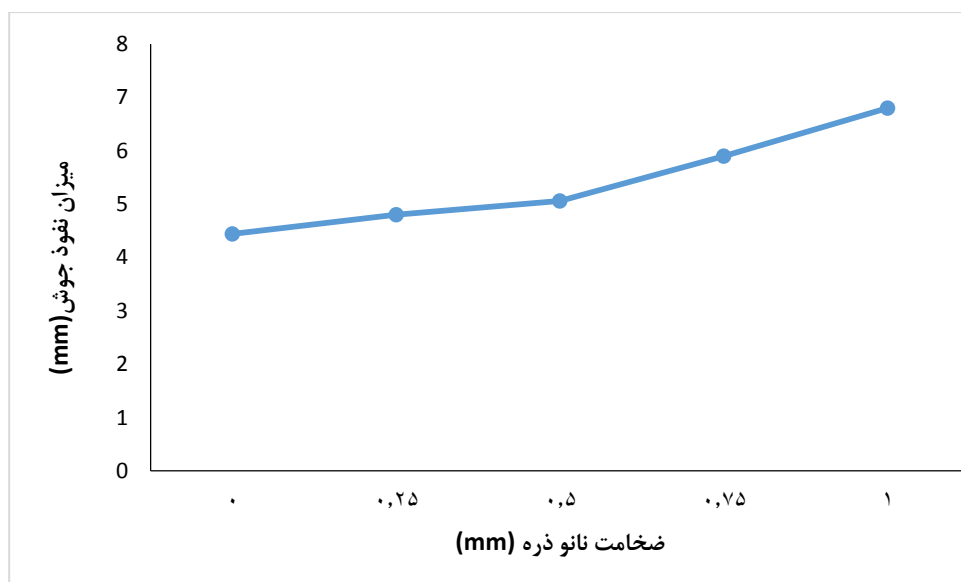
جدول ۴-۱ مقادیر تجربی متغیرهای خروجی در حضور نانو ذرات اکسید کروم

شماره آزمایش	ضخامت نانو ذره (mm)	نفوذ جوش (mm)	پهنای گرده جوش (mm)	ارتفاع جوش (mm)	رقت (%)	سختی منطقه متاثر از گرما	سختی منطقه مذاب
۱	۰	۴/۴۴	۲۱/۶۱	۲/۹۹	۶۳/۰۷	۱۳۵/۵۸	۱۴۸/۶۹
۲	۰/۲۵	۴/۸۰	۲۱/۱۱	۳/۰۵	۶۱/۵۸	۱۳۸/۸۷	۱۴۹/۱۵
۳	۰/۵	۵/۰۶	۱۹/۴۹	۳/۱۱	۵۹/۳۳	۱۴۲/۰۹	۱۶۲/۷۳
۴	۰/۷۵	۵/۹۰	۱۹/۳۴	۳/۷۰	۶۳/۴۵	۱۳۵/۶۱	۱۴۶/۲۳
۵	۱	۶/۸۰	۱۶/۷۹	۴/۱۸	۶۴/۰۱	۱۳۴/۴۴	۱۴۲/۳۵

۴-۵-۱- نفوذ جوش

افزایش ولتاژ و جریان جوشکاری هر دو باعث افزایش گرمای ورودی به قطعه کار می‌شود. در نتیجه باعث ذوب بیشتر و افزایش نفوذ جوش می‌شود. افزایش فاصله نازل تا قطعه کار باعث افزایش مقاومت الکتریکی می‌شود که باعث کاهش گرمای ورودی می‌شود. همچنین افزایش فاصله نازل تا قطعه کار باعث افزایش طول قوس می‌شود که موجب پهن‌تر شدن گرده جوش و کاهش نفوذ می‌شود.

با افزایش نانو ذرات اکسیدکروم به داخل حوضچه مذاب نفوذ بیشتری رخ می‌دهد. با افزایش نانو ذرات اکسیژن بیشتری آزاد می‌شود. اکسیژن آزاد شده باعث فعال شدن فلاکس حرارتی ورودی به قطعه کار می‌شود، که باعث افزایش ولتاژ و تمرکز بیشتر قوس الکتریکی می‌شود. در این تحقیق بیشترین عمق نفوذ جوش مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلی‌متر نانو اکسیدکروم به مقدار ۶/۸۰ میلی‌متر و کمترین نفوذ جوش مربوط به نمونه با پوشش ۰/۲۵ میلی‌متر نانو اکسیدکروم به مقدار ۴/۸۰ می‌باشد.

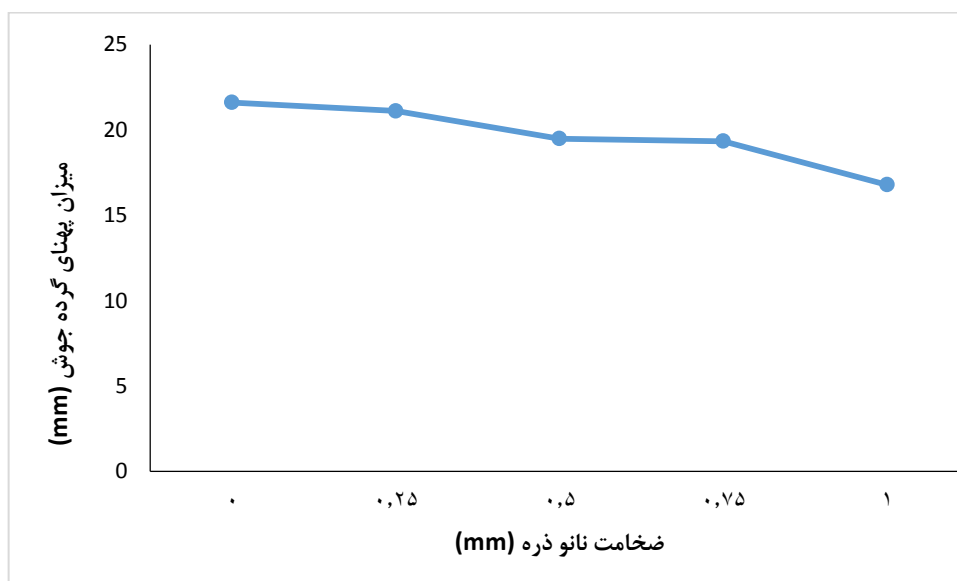


شکل ۴-۱۰ میزان نفوذ جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم

۴-۵-۲- پهنای گرده جوش

با افزایش ولتاژ و فاصله نازل تا قطعه کار به دلیل افزایش طول قوس پهنای جوش افزایش می‌یابد، اما افزایش جریان جوشکاری باعث کاهش پهنای جوش می‌شود. افزایش طول جریان جوشکاری افزایش حرارت ورودی را در پی دارد که موجب می‌شود به دلیل اثر مارانگونی جریان گرده جوش جمع شود و پهنای کاهش یابد. با افزایش سرعت جوشکاری به دلیل کاهش نرخ ذوب، پهنای جوش کاهش می‌یابد.

همچنین با افزایش نانو ذرات به داخل حوضچه مذاب اکسیژن بیشتری آزاد می‌شود که موجب می‌گردد اثر مارانگونی اتفاق افتاده و قوس متمرکز تر شده که باعث کاهش پهنای جوش می‌شود. بیشترین پهنای جوش مربوط به نمونه با پوشش ۰/۲۵ میلی‌متر نانو اکسیدکروم به مقدار ۲۱/۱۱ و کمترین پهنای جوش مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلی‌متر نانو اکسیدکروم به مقدار ۱۶/۷۹ می‌باشد.

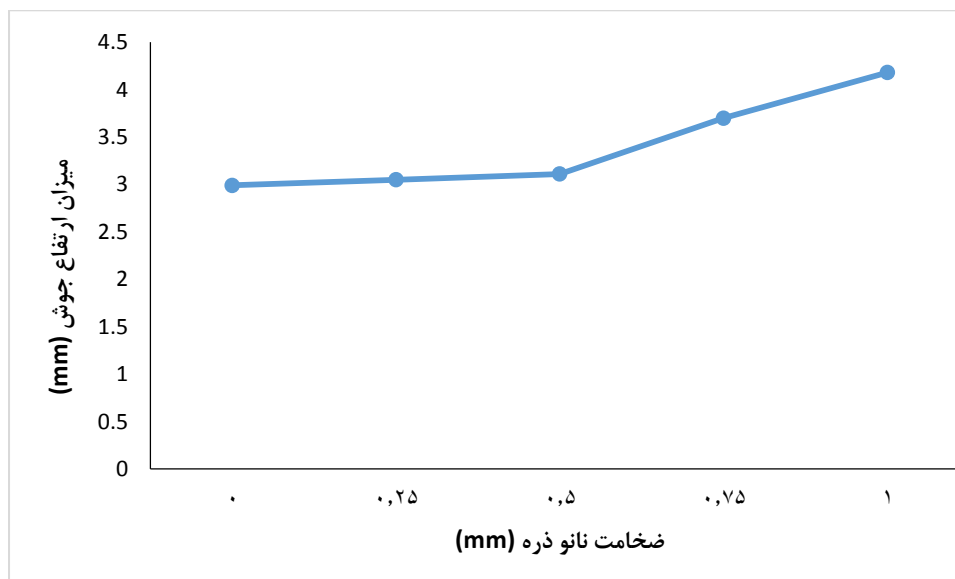


شکل ۴-۱۱ میزان پهنای گرده جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم

۴-۵-۳- ارتفاع جوش

با افزایش ولتاژ و فاصله نازل تا قطعه کار ارتفاع گرده جوش کاهش می‌یابد زیرا با افزایش این دو پارامتر ورودی، پهنای جوش افزایش یافته و باعث کاهش ارتفاع می‌شوند. همچنین افزایش سرعت جوشکاری باعث می‌شود نرخ ذوب کاهش یافته که منجر به کاهش

ارتفاع گرده جوش می‌شود. افزایش جریان باعث می‌شود دمای ورودی به قطعه کار افزایش یابد که موجب می‌شود اثر مارانگونی به سمت داخل جریان یابد و باعث افزایش گرده جوش شود. در این تحقیق بیشترین ارتفاع جوش مربوط به نمونه با پوشش ۰/۲۵ میلیمتر نانو اکسیدکروم به مقدار ۳/۰۵ میلیمتر و کمترین نفوذ جوش مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلیمتر نانو اکسیدکروم به مقدار ۴/۱۸ می‌باشد.



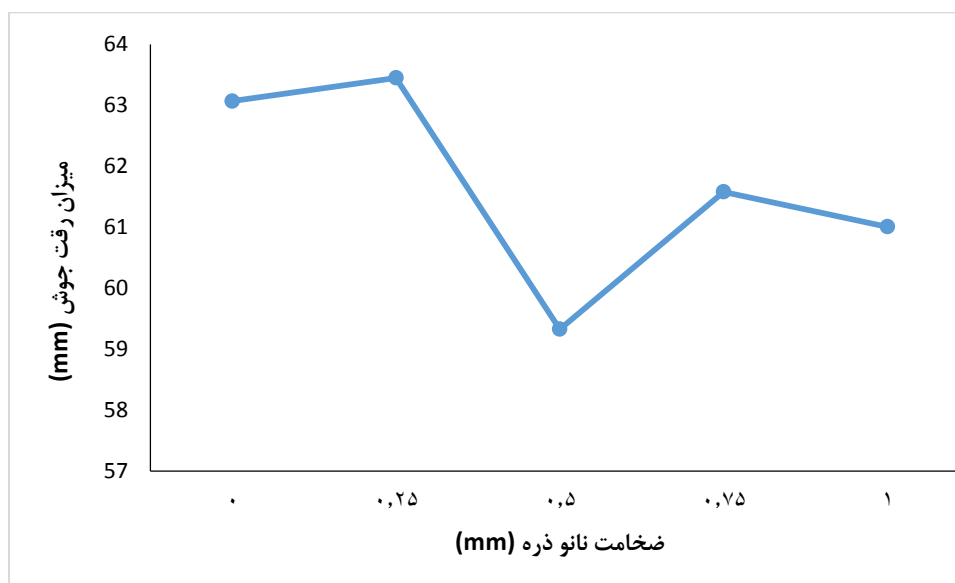
شکل ۴-۱۲ میزان ارتفاع جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم

۴-۵-۴- رقت جوش

با افزایش ولتاژ، پهنای جوش افزایش می‌یابد. با افزایش پهنای جوش مقدار ماده نفوذ یافته به داخل قطعه کار کاهش می‌یابد (اگرچه طول نفوذ جوش افزایش یابد)، در نتیجه باعث کاهش رقت می‌شود. با افزایش جریان حرارت ورودی افزایش می‌یابد. در نتیجه باعث ایجاد مذاب بیشتری می‌شود، در نتیجه رقت افزایش می‌یابد. اثر افزایش فاصله نازل تا قطعه کار نیز همانند اثر افزایش ولتاژ می‌باشد. افزایش سرعت جوشکاری باعث کاهش نرخ رسوب در واحد طول می‌شود در حالی که مقطع عرضی مهره جوش بسیار کوچک است.

با افزایش مواد نانو، آزاد شدن اکسیژن موجب تمرکز قوس و اثر مارانگونی به داخل حوضچه مذاب می‌شود که باعث افزایش رقت می‌شود. در سطوح میانی کاهش رقت را داشته‌ایم که دلیل آن افزایش بیشتر اثر مارانگونی به داخل حوضچه مذاب می‌باشد که موجب

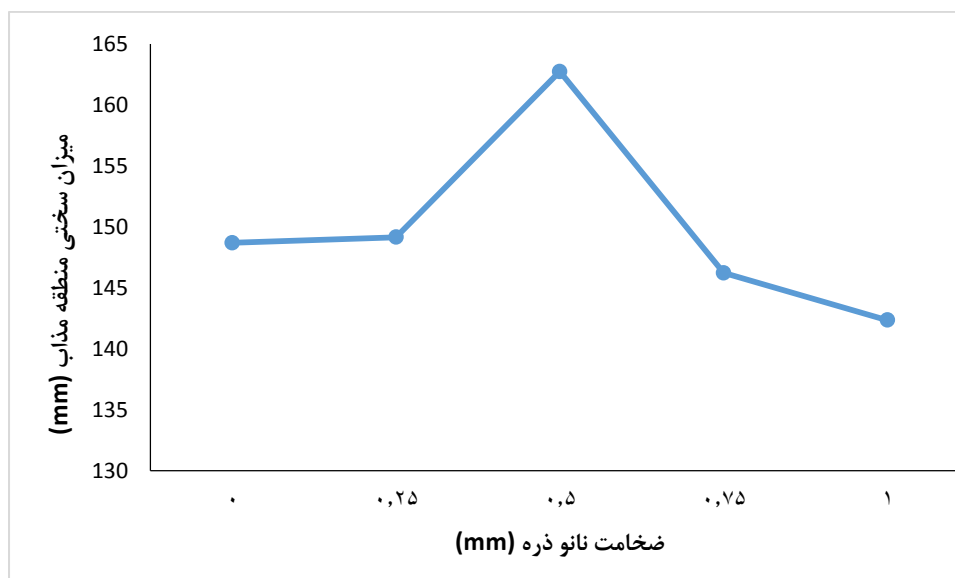
افزایش گرده جوش می‌شود، در نتیجه رقت کاهش می‌یابد. در بیشترین سطح از مواد نانو مجدداً افزایش رقت را داریم که دلیل آن همان اثر مارانگونی است اما در این مرحله نیروی قوس الکتریکی اجازه بیشتر شدن گرده جوش را نمی‌دهد و مذاب را به سمت داخل هدایت می‌کند. در این تحقیق بیشترین رقت جوش مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۶۴/۰۱ میلی‌متر و کمترین رقت جوش مربوط به نمونه با پوشش ۰/۵ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۵۹/۳۳ می‌باشد.



شکل ۴-۱۳ میزان رقت جوش در حضور نانو ذرات اکسید کروم

۴-۵-۵- سختی منطقه ذوب شده

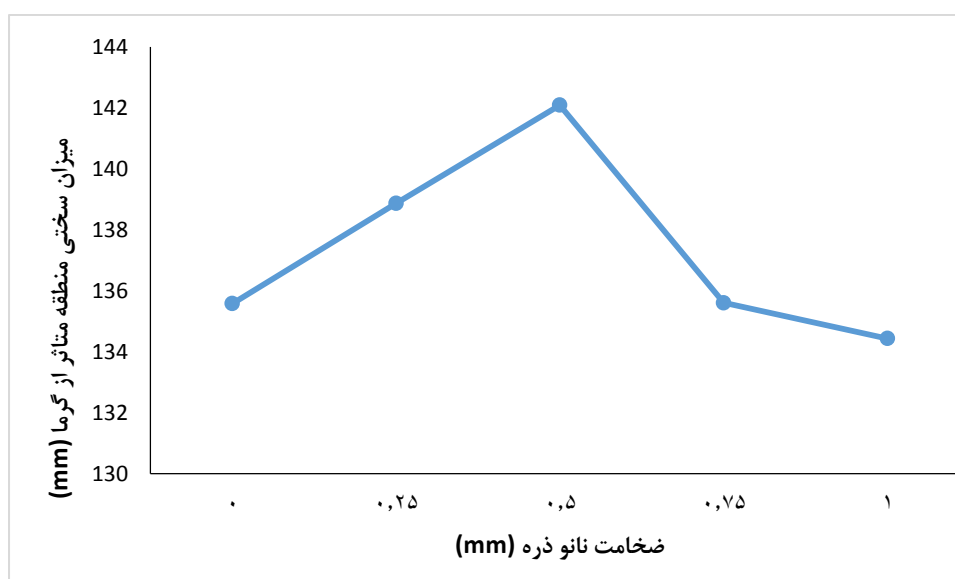
با افزایش ولتاژ جوشکاری علی‌رغم افزایش گرمای ورودی، پهنای مهره جوش نیز افزایش می‌یابد که موجب افزایش انتقال حرارت از این سطح می‌شود و افزایش سختی را در پی خواهد داشت. با افزایش جریان جوشکاری و کاهش سرعت به صورت خاص باعث افزایش گرمای ورودی به قطعه کار می‌شود که موجب کاهش سختی می‌شود. افزایش نانو ذرات نیز به دلیل سختی خود نانو ذرات باعث افزایش سختی می‌شود. بیشترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۰/۵ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۱۶۲/۷۳ و کمترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۱۴۲/۳۵ می‌باشد.



شکل ۴-۱۵ میزان سختی منطقه مذاب در حضور نانو ذرات اکسید کروم

۴-۵-۶- سختی منطقه متاثر از گرما

در تمامی اثرات ورودی‌ها به سختی منطقه متاثر از گرما می‌توان مشاهده کرد که افزایش گرمای ورودی به قطعه کار باعث کاهش سختی منطقه متاثر از گرما شده‌است که دلیل آن افزایش رشد دانه‌ها در این منطقه می‌باشد. بیشترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۰/۵ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۱۴۲/۰۹ و کمترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلی‌متر نانو اکسید کروم به مقدار ۱۳۴/۴۴ می‌باشد.



شکل ۴-۱۶ میزان سختی منطقه متاثر از گرما در حضور نانو ذرات اکسید کروم

فصل ۵:

جمع بندی و پیشنهاد ها

۵-۱- مقدمه

در این پایان‌نامه اثر نانو ذرات بر خواص مکانیکی جوش بررسی شده‌است. برای اطمینان از ورود نانو ذرات به حوضچه جوش بررسی‌های کاملی انجام شده‌است. برای بررسی اثر نانو ذرات، این نانو ذرات با ضخامت‌های مختلف بر سطح قطعات پوشش داده شدند. سپس نمونه‌ها توسط جوشکاری زیرپودریری، جوشکاری شدند، سپس تاثیر نانو ذرات بر خواص مکانیکی جوش از قبیل ریزسختی بررسی شدند.

۵-۲- جمع بندی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نانو ذرات به حوضچه جوش وارد شده‌اند. با بررسی تاثیر نانو ذرات بر پارامترهای جوشکاری و خواص مکانیکی، در ابتدا این نتیجه حاصل شد که نانو ذرات برای ایجاد تغییرات مثبت بر خواص مکانیکی باید در مقادیر بهینه وارد شوند. این مقدار بهینه در این مطالعه در فلز جوش در پوشش ۰/۵ میلیمتری نانو ذره اکسیدکروم گزارش شده‌است. بیشترین سختی در منطقه مذاب مربوط به نمونه با پوشش ۰/۵ میلیمتر نانو اکسیدکروم به مقدار ۱۶۲/۷۳ و کمترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلیمتر نانو اکسیدکروم به مقدار ۱۴۲/۳۵ می‌باشد. بیشترین سختی در منطقه متأثر از گرما مربوط به نمونه با پوشش ۰/۵ میلیمتر نانو اکسیدکروم به مقدار ۱۴۲/۰۹ و کمترین سختی مربوط به نمونه با پوشش ۱ میلیمتر نانو اکسید کروم به مقدار ۱۳۴/۴۴ می‌باشد. با افزایش مواد نانو، آزاد شدن اکسیژن موجب تمرکز قوس و اثر مارانگونی به داخل حوضچه مذاب می‌شود که افزایش رقت را به دنبال دارد. در سطوح میانی کاهش رقت و در بیشترین سطح از مواد نانو مجدداً افزایش رقت را داشتیم. با افزایش میزان نانو ذرات نفوذ جوش و ارتفاع جوش افزایش و پهنای گرده جوش کاهش یافته‌است.

از دلایل این تغییرات می‌توان به افزایش گرمای ورودی، انقباض قوس و بالا رفتن درجه حرارت قوس به سبب وجود مقادیر فراوان اکسیژن اشاره نمود. در نمونه با پوشش ۰/۷۵ و ۱ میلیمتری نانو ذرات اکسید کروم به علت افزایش حرارت ورودی، نرخ سرد شدن

کاهش می‌یابد که به جوش اجازه می‌دهد مدت زمان طولانی‌تری در محدوده دمایی بالا بماند. دانه‌های درشت ایجاد شده به کاهش در سختی منجر می‌شود. استفاده از نانو ذرات تا حد بهینه به دلایل مذکور باعث گسترش دانه‌های ریزتر و فاز مطلوب در ریزساختارها شد. دانه‌های ریزتر در ریز ساختارها باعث افزایش خواص مکانیکی مطلوب‌تر شده‌است.

۵-۳- پیشنهادها

- ۱) به عنوان ورودی مساله می‌توان متغیرهای دیگر مانند اثر زاویه جوشکاری، ضخامت قطعه کار، قطرهای مختلف فلز پرکننده و ترکیب‌های مختلف پودر مصرفی در نظر گرفت.
- ۲) جوشکاری به روش‌های دیگر انجام شود.
- ۳) استفاده از الکترودهای تهیه شده از نانو مواد به صورت مستقیم.

منابع:

- 1- Olson D. L, ASM Handbook, *Welding, Brazing and Soldering*, Asm Intl, 1993.
- 2- David S. A. DebRoy T, "*Current Issues and Problems in Welding Science*". Science, 1992, Vol. 257, pp. 497–502.
- 3- David, Babu & Vitek. *Advances in Welding Science and Technology*, Metals and Ceramics Division Oak Ridge National Laboratory, 1996.
- 4- AWS Handbook, *Gas Metal Arc Welding*, Vol. 2, 1997.
- 5- DebRoy T. David S. A, "*Physical processes in fusion welding*". *Reviews of Modern Physics*". 1995, Vol. 67, pp. 85–112.
- 6- Kalpakjian S. Vijai Sekar K. & Schmid S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*, Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2014.
- 7- Weman K. *Welding Processes Handbook*, Elsevier, 2011.
- 8- Oosterkamp A. Oosterkamp L. Nordeide A, "*Kissing Bond Phenomena in Solid-State Welds of Aluminum Alloys*". *Welding Journal*, 2004, Vol. 83, pp. 225-231.
- 9- Kreye H, "*Melting Phenomena in Solid State Welding Processes*". *Welding Research Supplement*, 1977, pp. 154-158.
- 10- Ogborn J. S, "*Submerged Arc Welding*". ASM International, ASM Handbook, 1993, Vol. 6, pp. 202-209.
- 11- Cary M. *Fundamental of welding*, Prentic Hall, 1991.
- 12- Lee C. S. Chandel R. S. Seow H. P, "*Effect of Welding Parameters on the Size of Heat Affected Zone of Submerged Arc Welding*". *Materials and Manufacturing Processes*, 2000, Vol. 15, pp. 649-666.
- 13- Sindo Kau, *Welding Metallurgy*, Allen Funwin, 1988.
- ۱۴- کوکبی، امیر حسین، «تکنولوژی جوشکاری»، انتشارات آزاده، ۱۳۷۴.
- 15- Karadeniz E. Ozsarac U. Yildiz C, "*The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes*". *Materials and Design*, 2007, Vol. 28, pp. 649–656.
- 16- Siva K. Murugan N. Raghupathy V. P, "*Modeling, analysis and optimisation of weld bead parameters of nickel based overlay deposited by plasma transfered arc Surfacing*". *Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering*, 2009, Vol. 1, pp. 174-182.
- 17- Weman K, *Welding Processes Handbook*, Woodhead Pub, 2003.

- 18- Karaoglu S. Secgin A, "*Sensitivity analysis of submerged arc welding process parameters*". Journal of Materials Processing Technology, 2008, Vol. 1, pp. 500-507.
- 19- Kikuta Y, "*Classification of Microstructures in Low C-Low Alloy Steel Weld Metal and Terminology*". Committee of Welding Metallurgy of Japan Welding Society, Osaka, Japan. 1987.
- 20- Butler C. A. Jackson C. E, "*Submerged Arc Welding Characteristics of the CaO-TiO₂-SiO₂ System*". Welding Journal, (Miami Fla.), 1967, Vol. 46, pp. 448-456.
- 21- Chandel R. S. Bala S. R, "*Effect of Welding Parameters and Groove Angle on the Soundness of Beads Deposited by the SAW Process*". Proceedings of an International Conference on Trends in Welding Research, ASM International, New York, USA, 1986.
- 22- Selected ASTM Standards for Metallurgy Students, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. 1965.
- 23- Yang J. R, "*Development of Microstructure in High Strength Weld Deposits*", Ph.D. Thesis, Trinity College, Cambridge, United Kingdom. 1987.
- 24- Bhole S. D. Billingham, J, "Effect of Heat Input on HAZ Toughness in HSLA Steels". Metals Technology, 1983, Vol. 10, pp. 363-367.
- 25- Karaoglu S. Secgin A, "*Sensitivity Analysis of Submerged Arc Welding Process Parameters*". journal of materials processing technology, 2008, Vol. 202, pp. 500-507.
- 26- Ganjigatti J. P, "*Global Versus Cluster-Wise Regression Analyses for Prediction of Bead Geometry in Mig Welding Process*". Journal of Materials Processing Technology, 2007, Vol. 189, pp. 352-366.
- 27- Gunaraj V. Murugan N, "*Predication and Comparison of the Area of the Heat Affected Zone for the Bead-On-Plate and Bead-On-joint in Submerged Arc Welding of pipes*". journal of materials processing technology, 1999, Vol. 95, pp. 246-261.
- 28- Shahi A. Pandey S, "*Modeling of the Effects of Welding Condition on Dilution of Stainless Steel Claddings Produced by Gas Metal Arc Welding Procedures*". journal of materials processing technology, 2008, Vol. 196, pp. 339-344.
- 29- Pal K. Pal S. K, "*Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: a Review*". journal of materials Engineering and Performance, 2011, Vol. 20, pp. 918-931.
- 30- Chandel R. S. Bala S. R, "*Effect of Welding Parameters and Groove Angle on the Soundness of Beads Deposited by the SAW Process*", Proceedings of an

International Conference on Trends in Welding Research, ASM International, New York, USA, 1986.

31- Nagesh D.S. Datta G. L, "*Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks*". Journal of Materials Processing Technology, 2002, Vol. 2, pp. 303–312.

32- Nouri M. Abdollah-zadeh A. Malek F, "*Effect of welding parameters on dilution and weld bead geometry in cladding*". Journal of Materials and Science Technology, 2007, Vol. 23, pp. 817-822.

33- Gunaraj V. Murugan N, "*Prediction of heat-affected zone characteristics in submerged arc welding of structural steel pipes*". Journal of Welding Research, 2002, pp. 94-102.

34- Gunaraj V. Murugan N, "*Application of Response Methodology for Predicting Weld Bead Quality in Submerged Arc Welding of Pipes*". Journal of Materials Processing Technology, 1999, Vol. 88, pp. 266-275.

35- Halmoy E, *Wire melting rate, droplet temperature and effective anode melting potential*. Proc. of International Conference on Arc Physics and Weld Pool Behavior, Paper 44, Welding Institute, London, 1979

36- - Cai Y. Luo Z. Huang Z. Zeng Y, "*Effect of cerium oxide flux on active flux TIG welding of 800 MPa super steel*". Journal of Materials Processing, 2016, Vol. 230, pp. 80-87.

37- Drexler K. E, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*: Johan Wiley and Sons, Inc, 1992.

38- Nasrollahzadeh M. Sajadi M. Sajjadi M. Issaabadi Z, "*An Introduction to Nanotechnology*". Interface Science and Technology, 2019, Vol. 28, pp. 1-27.

39- Mansoori G. Fauzi Soelaiman T, "*Nanotechnology – An Introduction for the Standards Community*". Journal of ASTM International, 2005, Vol. 2, pp. 1-22.

40- Chen B. Han F. Huang Y. Lu K. Liu Y. Li L, "*Influence of Nanoscale Marble (Calcium Carbonate CaCO_3) on Properties of D600R Surfacing Electrode*". Welding Journal, Research Supplement, 2009, Vol. 88, pp. 99-103.

41- Macwan D. Dave P. N. Chaturvedi S, "*a Review on Nano-Tio2 Sol-Gel Type Syntheses and its Application*". Journal of Materials Science, 2011, Vol. 46, pp. 3669-3686.

۴۲- نظری، محمد،، بشارتی گیوی، محمد کاظم،، فراهانی، محمد رضا، میلانی، جواد ملائی. و محمد زاده جمالیان، حسن. «بررسی اثر استفاده از نانو ذرات آلومینا بر ریز ساختار و خواص مکانیکی حاصل از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی پیوسته چند پاسه آلومینیوم ۲۰۲۴-T۶»، مهندسی مکانیک مدرس، شماره ۱۲، ۱۳۹۳، صص. ۸۵-۹۰.

- 43- Huang H. Y, "*Effects of Activating Flux on the Welded Joint Characteristics in Gas Metal Arc Welding*". Materials and Design, 2010, Vol. 31, pp. 2488-2495.
- 44- Wang Y. Tsai H. L, "*Effects of Surface Active Elements on Weld Pool Fluid Flow and Weld Penetration in Gas Metal Arc Welding*". Metallurgical and Materials Transactions B, 2001, Vol. 32, pp. 501-525.
- 45- Aghakhani M. Ghaderi M. R. Rajabi L. Derakhshan A. A, "*Modeling of Weld Penetration in Submerged Arc Welding of Mild Steel Coated with TiO₂ Nano Particles Using Response Surface Methodology*". Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing, 2011, Vol. 1, pp. 203-211.
- 46- Aghakhani M. Naderian P, "*Effect of combining Cr₂O₃ nano-particles and welding input parameters on the heat affected zone width in submerged arc welding process*".
- 47- Lu S. Fujii H. Sugiyama H. Tanaka M. Nogi. K, "*Weld penetration and Marangoni convection with oxide fluxes in GTA welding, Materials Transactions*". 2002, Vol. 43, pp. 2926-2931.
- 48- Huang H. Y, "*Effects of activating flux on the welded joint characteristics in gas metal arc welding*". Materials and Design, 2010, Vol. 31, pp. 2488-2495.
- 49- Fattahi M. Nabhani N. Vaezi M. Rahimi E, "*Improvement of impact toughness of AWS E6010 weld metal by adding TiO₂ nanoparticles to the electrode coating*". Materials Science and Engineering: A, 2011, Vol. 528, pp. 8031-8039.
- 50- Aghakhani M. Ghaderi M. R. Jalilian M. M. Derakhshan A. A, "*Predicting the combined effect of TiO₂ Nano-particles and welding input parameters on the hardness of melted zone in submerged arc welding by fuzzy logic*". Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, Vol. 27, pp. 2107-2113.
- 51- Aghakhani M. Naderian P, "*Modeling and optimization of dilution in SAW in the presence of Cr₂O₃ Nano-particles*". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, Vol. 78, pp. 1665-1676.
- 52- ASM International, Mechanical Testing and Evaluation, in: ASM Handbook, Materials Park, Ohio, Vol. 8, pp. 596-604, 2000.
- 53- Farrar R. A. Harrison P. L, "*Acicular Ferrite in Carbon-Manganese Weld Metals: An Overview*". Journal of Materials Science, 1987, Vol. 22, pp. 3812-3820.
- 54- Terashima S. Bhadashia H. K. D. H, "*Changes in Toughness at Low Oxygen Concentrations in Steel Weld Metals*", Science and Technology of Welding and Joining, 2007, Vol. 11, pp. 509-516.
- 55- Pargeter R. G, "*Acicular ferrite and inclusions in C-Mn steel weld metals*". The Welding Institute Research Bulletin, 1983, pp. 215-220.

56- Kim J. D. Peng Y, "Melt pool shape and dilution of laser cladding with wire feeding". Journal of Materials Processing Technology, 2000, Vol. 104, pp. 284-293.

57- Kazemi M. Aghakhani M. Haghshenas-Jazi E. Behmaneshfar A, "Optimization of the Depth of Penetration by Welding Input Parameters in SAW Process Using Response Surface Methodology". Metallurgical and Materials Transactions B, 2016, Vol. 47, pp. 714-719.

58- Aloraier A. Al-Fadhalah K. Paradowska A. M. Alfaraj E, "Effect of welding polarity on bead geometry, microstructure, microhardness, and residual stresses of 1020 steel". Journal of Engineering Research, 2014, Vol. 4, pp. 1-24.

۵۹- آقاخانی، مسعود. نیکزاد، آرش. «مدل سازی ارتفاع جوش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ در حضور نانو ذرات TiO_2 توسط شبکه عصبی مصنوعی». مهندسی مکانیک مدرس، شماره ۷، ۱۳۹۴، صص. ۱۵۹-۱۴۹.

60- Kumar A. Maheshwari S. Kumar Sharma S. "Optimization of Vickers Hardness and Impact Strength of Silica Based Fluxes for Submerged Arc Welding by Taguchi Method". Materials Today: Proceedings, 2015, Vol. 2, pp. 1092-1101.

61- ASTM E384, *Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials*, 2010.

62- Klas W, *Welding processes handbook*, New York, CRC Press LLC. 2003.

63- Berthier A., Pillard P., Carin M., Valensi F. & Pallerin S, "TIG and A-TIG welding experimental investigations and comparison to simulation Part 1: Identification of Marangoni effect", Science and Technology of Welding and Joining, 2012, Vol. 17, pp. 609-615.

64- Tsann-Shyi C. Kuang-Hung T. & Hsien-Lung T, "Study of the characteristics of duplex stainless steel activated tungsten inert gas welds". Materials and Design, 2011, Vol. 32, pp. 255-263.

65- Kou S, *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, New York. 1987.

۶۶- گلغذار، محمد علی. اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولاد ۱۳۸۵. اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۵

Abstract:

Introduction: Submerged arc welding is one of the most important arc welding methods that is widely used in industry. In welding research, using nano-particles is a new and challenging idea for improving quality of weldments. Inspiring from this matter and by adding chromium oxide nano-particles to the weld pool we checked mechanical properties. In Submerged arc welding process selecting appropriate values for input process parameters is essential in order to obtain high quality weldments.

Material and methods: The method is placing cerium nano-particles which are in 0.25, 0.5, 0.75 and 1 millimeters thick covers on a low-carbon steel surface before the welding; and welding parameters are considered to be fixed. In this thesis, the effect of thickness of chromium oxide nano-particles on output variables such as penetration, width, height, dilution, hardness of heat affected zone and hardness of melted zone, as characteristics of quality of weldments in Submerged arc welding of St37 steel plates have been investigated.

Results: The results showed that weld dilution decreased initially with increase in the thickness of chromium oxide nano-particles but further increase in its thickness, increased weld width accordingly. Hardness of melted zone and hardness of heat affected zone increased initially with increase in the thickness of chromium oxide nano-particles but its further increase in thickness decreased them accordingly. Moreover, with increasing the thickness of chromium oxide nanoparticles, the penetration and welding height increased and the welding width decreased.

Discussion: Nano-particles must be introduced in optimal amounts to make positive changes to the mechanical properties. This optimal value has been reported in this study in the weld metal in the 0.5 mm coating of chromium oxide nano-particles, which is consistent with the studies of some other researchers.

Keywords: SAW welding process, Chromium oxide nanoparticles, Welding parameters, Weld properties



Energy Institute of Higher Education

**Investigating the effect of chromium oxide nanoparticles
on the properties of simple carbon steel welding in SAW
welding process**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Master of Science in mechanical engineering**

**By:
Hamid Sadeghi**

**Supervisor:
Dr. Yousef Yassi**

September 2020