بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ساخت و تولید

موضوع :

شناسایی عوامل اثرگذار و پیش بینی میزان سختی در عملیات جوشکاری قوسی با الکترود دستی درفولاد ST37

اساتید راهنما :

دکتر مقصود سلیمانپور

دکتر طاهر ازدست

تنظیم و نگارش :

امیر چوپان

شهریور ۱۳۹۱

فرم شماره ۱۴

دانشکده ...فنی...

پایان نامه آقای/خانم ...امیرچوپان... به شماره دانشجویی ...۸۸۱۰۰۱۰۰۷... با عنوان ...بهسازی عوامل اثرگذار بر پیش بینی میزان سختی در عملیات جوشکاری قوسی با الکترود دستی در فولاد ST37...

تاریخ ...۱۳۹۱/۷/۸... و شماره ثبت ..... شماره ..... مورد پذیرش

هیات محترم داوران با رتبه ...عالی... و نمره ...۱۷/۵ هفده و پنج... قرار گرفت.

کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱)استاد راهنما و رئیس هیات داوران	دکتر مقصود سلیمان پور	
۲)استاد راهنمای دوم	دکتر طاهر رازدشت	
۳)استاد مشاور (در صورت وجود)	—	
۴)داور خارجی	دکتر ولی علی میرزالو	
۵)داور داخلی	دکتر علی دنیوی	
۶) نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر رسول شعبانی	

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

31

تقدیم به :

با حمد وسپاس خدای توانا که در تالیف این پایان نامه یاریم داد و بدون یاریش مرا یارای آن نبود ، پایان نامه خود را تقدیم می کنم به بهترین بنده خدا و پیامبرش محمد مصطفی (صلی الله علیه و آله و سلم) بزرگترین معلم بشریت که زندگی خود را وقف نجات تمام انسانیت و خوشبختی آنان کرد و دلسوز تمامی آنها بود ، حتی آنان که دیروز دشنامش داده و مسخره اش می کردند وآنان که امروز کالیکاتورش را می کشند. درود بی نهایت خدا بر تو یا رسول الله جان و خاندان و یاران پاکت .

در نهایت پایان نامه خود را به دو گوهر گرانبهای زندگیم ، پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم که تمام هم و غم خود را صرف تربیت من کردند. خداوندا برآنان رحم کن واز ایشان خشنود باش .

وهمچنین پایان نامه خود را به همسر مهربانم تقدیم می کنم که در این راه مشوق من بود.

ودر آخر از زحمات اساتید گرانقدر ، دکتر سلیمان پور و دکتر ازدست به خاطر زحمات و راهنمایی های سودمندشان برای تدوین این پایان نامه ، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:

جوشکاری قوسی دستی با الکترود روپوش دار[1] یکی ازجوشکاری های رایج در صنعت می باشد. یکی از خواص مکانیکی فلزات سختی می باشد. سختی ممکن است مثل برخی از خواص مکانیکی دیگر مثل استحکام کششی مهم نباشد ، اما آزمایش سختی ، سریع و کم هزینه بوده در حالیکه آزمایش استحکام کششی پرهزینه می باشد. با داشتن مقدار سختی فولادها می توان مقدار استحکام کششی آنها را تخمین زد. و نیز احتمال بروز تنش ها را در جوشکاری پیش بینی کرد. لذا بررسی کردن وضعیت سختی جوشکاری در فولادها حایز اهمیت است.

عامل هایی از قبیل پیش گرمی ، پس گرمی ، شدت جریان ، ولتاژ ، حرارت ورودی و تنش های پسماند بر روی سختی در تحقیقات محققان بررسی شده است. در این پایان نامه هم تأثیر چهار عامل ضخامت، الکترود ، حرارت و شدت جریان بر روی سختی بررسی شده است. و هر عامل در سه سطح در نظر گرفته شده اند. ازآنجاییکه در نظر گرفتن کلیه حالت های چهار عامل با سه سطح ۸۱ آزمایش می شود که از نظر هزینه و زمان انجام آنها مقرون به صرفه نخواهد بود ، با استفاده از روش تاگوچی و استفاده از آرایه متعامد L27 آزمایشات طراحی و انجام شدند. مزیت این روش انجام آزمایش این است که تعداد آزمایشات به یک سوم کاهش یافته است.

در این پایان نامه نمونه های فولادی ST37 با جوشکاری قوسی با الکترود دستی جوشکاری شدند. در نهایت سختی نمونه ها براساس استاندارد HRB اندازه گیری شدند و با استفاده از تحلیل تاگوچی و آنالیز واریانس در نرم افزار Minitab عوامل مؤثر بر سختی فلز جوش نمونه ها شناسایی شدند. که در بین عوامل ، ضخامت از همه عوامل دیگر مؤثرتر شناخته شد و الکترود و شدت جریان بعد از ضخامت عوامل مؤثر بعدی شناسایی شدند و در این بین عامل حرارت عامل غیر مؤثر شناخته شد. نتایج هم چنین نشان می دهد که تنها عامل مؤثر بر سختی در منطقه متأثر از حرارت عامل ضخامت می باشد. برای تعیین رابطه بین عوامل مؤثر و سختی از نرم افزار SPSS استفاده شد که برای هر الکترود یک رابطه تعیین شد و در نهایت برای بهینه کردن مقدار سختی با استفاده از نرم افزار Lingo برای هر الکترود مقدار بهینه شدت جریان و ضخامت برای حداکثر سختی نیز تعیین گردید.

کلمات کلیدی : سختی ، جوشکاری قوسی باالکترود دستی ، فولاد ST37 ، تاگوچی ، آنالیز واریانس ، رگرسیون غیر خطی

[1] Shield Metal Arc Welding)SMAW(

فهرست مطالب **صفحه**

۱–۱– فصل اول– جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار

۱-۱- ۱- اهمیت جوشکاری ---------- ۱۳

۱-۱-۲- تاریخچه جوشکاری ---------- --- ۱۳

۱-۱-۳- انواع اتصالات ---------- ۱۵

۱-۱-۴- تعریف جوشکاری ---------- ۱۵

۱-۱- ۵ - جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار ---------- ۱۷

۱-۱-۵-۱- الکترود ---------- ۱۸

۱-۱-۵-۲- منابع یا مولد جریان الکتریسیته---------- ۲۴

۱-۱-۵-۳- انبر ---------- ۲۶

۱-۱-۵-۴- مزایا و محدودیت‌ها---------- ۲۷

۱-۱-۶- وضعیت ها و حالت های جوشکاری---------- ۲۷

۱-۱-۷- پیش گرم و پس گرم کردن---------- ۲۸

۱–۲– سختی سنجی

۱-۲-۱- اهمیت سختی ---------- ۳۰

۱-۲-۲- تاریخچه آزمایش سختی ---------- ۳۰

۱-۲-۳- تعریف سختی ---------- ۳۱

۱-۲-۴- انواع آزمایش سختی سنجی---------- ۳۱

۱-۲-۴-۱- سختی سنجی به روش برینل ---------- ۳۳

۱-۲-۴-۲- سختی سنجی به روش ویکرز ---------- ۳۵

۱-۲-۴-۳- سختی سنجی به روش راکول ---------- ۳۷

۱-۳- اهمیت سختی سنجی در جوشکاری فولادها

۱-۳-۱- استحکام کششی ----------۳۹

۱-۳-۲- میکرو ساختار مواد ----------۴۰

فصل دوم – مروری بر تحقیقات انجام شده---------- ۴۲

۲ -۱- جمع بندی ----------۵۵

فصل سوم - روش های طراحی آزمایشات و ساختن و تحلیل مدل

۳-۱-تاگوچی ----------۵۶

۳-۱-۱- مقدمه ----------۵۶

۳-۱-۲- فلسفه تاگوچی ----------۵۶

۳-۱-۳- تاریخچه طراحی آزمایش ها ----------۵۷

۳-۱-۴- طراحی آزمایشات ----------۵۷

۳-۱-۵- تابع زیان ----------۵۹

۳-۱-۶- آرایه های متعامد ----------۶۰

۳-۱-۷- تجزیه و تحلیل داده ها و نتیجه گیری ----------۶۲

۳-۱-۸- نقش تحلیل واریانس در طراحی آزمایشات ----------۶۲

۳-۲-آنالیزواریانس ----------۶۳

۳-۳- رگرسیون ---------- ۶۵
۳-۳-۱- مقدمه ---------- ۶۵
۳-۳-۲- رگرسیون خطی ---------- ۶۵
۳-۳-۳- رگرسیون غیر خطی ---------- ۶۷

فصل چهارم– تجهیزات ، مواد ، روش ها

۴-۱- مقدمه ---------- ۶۸
۴-۲- طراحی آزمایشات ---------- ۶۸
۴-۳- انجام آزمایش ---------- ۷۲
۴-۴- فرایند جوشکاری قطعات ---------- ۷۲
۴-۵- فرایند سختی سنجی ---------- ۷۴

فصل پنجم - نتایج محاسبات

۵-۱- نتایج سختی سنجی ---------- ۷۸
۵-۲- آنالیز واریانس داده های سختی منطقه فلز جوش با استفاده مدل خطی GLM-------- ۸۳
۵-۳- آنالیز داده ها ی سختی منطقه فلز جوش با استفاده از تاگوچی ---------- ۸۵
۵-۴- نتایج نمودارهای تأثیرات مهم برای سختی منطقه فلز جوش ---------- ۸۶
۵-۵- آنالیز واریانس داده های سختی منطقه HAZ با استفاده مدل خطی ---------- ۸۷
۵-۶- آنالیز داده ها ی سختی منطقه HAZ با استفاده از تاگوچی ---------- ۸۹
۵-۷- نتایج نمودارهای تأثیرات مهم برای سختی منطقه HAZ ---------- ۸۹
۵-۸- یافتن رابطه سختی ---------- ۹۱

۵-۹- بهینه سازی مقدار سختی---------- ۹۲

فصل ششم - نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری ----------۹۳

۶-۲- محدویت ها ----------۹۴

۶-۳- پیشنهادات ----------۹۵

پیوست ----------۹۷

منابع ----------۱۰۳

فهرست شکل ها **صفحه**

شکل (۱-۱) : جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار(الف) شمای کلی فرایند (ب)منطقه ی جوشکار ۱۷

شکل (۱-۲) : الکترود سلولزی ۶۰۱۰ ---------- ۲۰

شکل (۱-۳) :الکترود رتیلی ۶۰۱۳ ---------- ۲۱

شکل (۱-۴) :الکترود قلیایی ۷۰۱۸ ---------- ۲۲

شکل (۱-۵) : منحنی ولت – آمپر مولد قدرت جوشکاری قوسی با الکترود دستی --------- ۲۶

شکل (۱-۶) : وضعیت ها و جوش ها ---------- ۲۸

شکل (۱-۷) :آزمون سختی سنجی و یک نمونه ی واقعی ---------- ۳۶

شکل (۱- ۸) : نمونه هایی از فرو رونده ها(Indenter) برای سختی سنجی راکول --------- ۳۸

شکل (۲- ۱) : تاثیر گرمای عملیات حرارتی روی سختی فلز پایه ،HAZ و فلز جوش ------- ۴۳

شکل (۲-۲) : تغییرات سختی ویکرز و ضخامت لایه ی مارتنزیت از فلز جوش تا فلز پایه---- - ۴۳

شکل (۲- ۳) : سختی ویکرز اندازه گیری شده در فلز جوش ، در نیمی از ضخامت ---------- ۴۶

شکل (۲- ۴) : میکرو سختی دونمونه ی جوش: موازی با جهت نورد (L) و عمود برجهت نورد (T) ۴۷

شکل (۲- ۵) : مقایسه ی مقادیر سختی اونیورسال و ویکرز در امتدادنزدیک به نصف ضخامت جوش ۴۸

شکل (۲- ۶) :میکرو سختی زیر نواحی مختلف فلز جوش برایS =۰/۵ تا۴/۵(فاصله از پایین سطح اتصال جوش) ---------- ۴۹

شکل (۲- ۷) : مقادیر میکروسختی ویکرز ---------- ۵۱

شکل (۲- ۸) : سختی مقطع جوش برای سه روش جوشکاری GTAW وSMAW و GMAW ۵۲

شکل (۳-۱) : مدل کلی یک فرایند---------- ۵۸

شکل (۳-۲) : یک تابع زیان درجه دو---------- ۵۸

شکل (۳-۳) : آرایه متعامد L27 ---------- ۶۱

شکل (۳-۴) : نمودار تابع خطی ساده---------- ۶۶

شکل (۴-۱) : ابعاد ورق ها قبل از جوشکاری---------- ۷۲

شکل (۴-۲) : نمونه جوشکاری شده با الکترود رتیلی ۶۰۱۳---------- ۷۳

شکل (۴-۳) : نمونه جوشکاری شده با الکترود قلیایی ۷۰۱۸---------- ۷۴

شکل (۴-۴) : نمونه جوشکاری شده با الکترود سلولزی ۶۰۱۰---------- ۷۴

شکل (۴-۵) : نمونه آماده شده برای سختی سنجی---------- ۷۵

شکل (۴-۶) : دستگاه سختی سنجی INDENTEC---------- ۷۵

شکل(۵-۱تا ۵-۲۷): داده های سختی سنجی نمونه ها در فلز جوش ، HAZ وفلز پایه---- ۷۸ -۸۱

شکل (۵-۲۹) : نمودارهای تأثیرات مهم برای نسبت های سیگنال به اغتشاش فلز جوش--- ۸۶

شکل (۵-۳۰) : نمودارهای تأثیرات مهم برای سختی فلز جوش---------- ۸۶

شکل (۵-۳۱) : نمودارهای تأثیرات مهم برای نسبت های سیگنال به اغتشاش HAZ----- ۹۰

شکل (۵-۳۲) : نمودارهای تأثیرات مهم برای سختی HAZ ---------- ۹۰

فهرست جدول ها

صفحه

جدول (۱-۱) :اولین عدد سمت راست کد استاندارد مشخصات الکترودها ---------- ۲۴

جدول (۱-۲) : سختی مواد مختلف در مقیاس برینل ---------- ۳۴

جدول (۱-۳) : بعضی آزمایش های متداول سختی راکول ---------- ۳۸

جدول (۱- ۴) : مشخصات مکانیکی برخی فولادهای متداول---------- ۴۰

جدول (۲- ۱) : تاثیر ولتاژروی خواص مکانیکی فلز جوش ---------- ۵۳

جدول (۲- ۲) : تاثیر شدت جریان روی خواص مکانیکی فلز جوش ---------- ۵۳

جدول (۲- ۳) : تاثیر سرعت جوشکاری روی خواص مکانیکی فلز جوش---------- ۵۴

جدول (۳-۱) : جدول آنالیز واریانس یک طرفه ---------- ۶۴

جدول (۴-۱) : جدول طراحی آزمایشات براساس ارایه متعامدL27---------- ۷۰

جدول (۴-۲) : جدول عامل های آزمایش و سطوح آنها ---------- ۷۰

جدول (۴-۳) : جدول نهایی آزمایشات براساس آرایه متعامد L27 ---------- ۷۱

جدول (۴-۴) : خواص شیمیایی فلزST37 ---------- ۷۲

جدول (۴-۵) : خواص مکانیکی فلزST37 ---------- ۷۲

جدول (۵- ۱) : نتایج سختی منطقه فلز جوش (WM) نمونه ها براساس سختی HRB----- ۸۲

جدول (۵- ۲) : سختی منطقه متأثر از حرارت جوش (HAZ) نمونه ها براساس سختی HRB - ۸۳

فصل اول

۱–۲– جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار

۱–۱– ۱- اهمیت جوشکاری :

جوشکاری یکی از مهم ترین فرایندهای ساخت و تولید در صنعت می باشد. احتیاجات بشر به اتصالات مدرن، سبک، محکم و مقاوم در سالهای اخیر و مخصوصاً بیست سال اخیر، سبب توسعه سریع این فن گردید و سرمایه‌گذاری های عظیم چه از طرف دولتها و چه صنایع نظامی و تخصصی در این مورد اعمال گردید. رقابت در علوم هسته‌ای یکی دیگر از علل پیشرفت فوق سریع این فن در چند ده سال اخیر شد که به علم جوشکاری تبدیل گردید. در صنایع مختلف دیگری نظیر خودرو سازی، نفت و گاز، پتروشیمی، تاسیسات و ساختمان و پل ها، حمل و نقل، کشتی سازی، صنایع ریلی، نیروگاه ها، صنایع دفاعی و هوا فضا، محصولات پزشکی، الکترونیکی و تجهیزات دقیق و ... نیز جوشکاری کاربردهای فراوانی دارد.

۱–۱–۲– تاریخچه جوشکاری:

آثار باقیمانده از گذشته های بسیار دور نشانگر این واقعیت است که انسان های اولیه با استفاده از اصول فیزیکی که امروزه اساس جوشکاری مدرن را تشکیل می دهد قطعات فلزی را به یکدیگر متصل می کردند. تجزیه و تحلیل ابزارهای کشف شده از قرون اولیه نشان می دهد که برای اتصال دو قطعه فلزی به یکدیگر، لبه های گداخته شده این قطعات را روی یکدیگر قرار داده و با ضربات چکش بهم متصل می کردند. بشر از دیر باز برای ساختن وسایل مورد نیازش به فکر استفاده از روش ها و تکنیک هایی بوده که با استفاده از آنها بتواند قطعات را به همدیگر متصل سازد . برای اتصال دادن روش های زیادی وجود داشت، اما بشر همواره به جستجوی اتصالی با استحکام بالا بوده است. بعد از شناخت و استخراج و بکار گیری فلزات این مطلب اهمیت بیشتری یافت ؛ تا بالاخره با کشف قوس الکتریکی توسط سرهمفری دیوی در ۱۸۰۷ میلادی این رویا به تحقق پیوست. و حدود هشتاد سال بعد از آن از جوشکاری برای اتصالات فلزات استفاده شد. [۱]

در سال ۱۸۸۷ یکی از دانشمندان روسی بنام برناداس[1] اختراع متدی را به ثبت رساند که به وسیله آن قادر بود تا یک قطعه فلزی را با الکترود ذغالی به صورت موضعی با ایجاد قوس الکتریکی بین قطعه و الکترود ذوب نماید.

در این زمان نامبرده دو قطعه فلزی را در فاصله معینی از یکدیگر قرار داده و با استفاده از پدیده فوق الذکر و حرکت الکترود ذغالی در طول شکاف بین دو قطعه و وارد نمودن همزمان میله ای فلزی از جنس قطعه در

[1] Bernadas

داخل قوس الکتریکی، حمام مذابی به وجود آورد که بعد از منجمد شدن شکاف موجود را پر نموده و باعث به هم پیوستن این قطعات گردید.

چند سال بعد یعنی در سال ۱۸۹۱ دانشمند دیگر روسی بنام سلاوجانیو[1] ، روش الکترود ذوب شونده را اختراع نمود. در این روش به جای الکترود ذغالی از یک الکترود فلزی استفاده شده که همزمان وظیفه فلز پرکننده را نیز به عهده داشت.

در روش الکترود ذوب شونده ذوب حاصل از الکترود فلزی در فاصله بین نوک الکترود و شکاف دو قطعه در معرض هوا قرار می گرفت که این امر باعث اکسیده شدن مذاب و در نتیجه ایجاد اشکال در جوش می گردید. از طرف دیگر قوس الکتریکی نیز ناپایدار بود که خود به خود غیر یکنواختی جوش را به دنبال داشت.

برای برطرف نمودن این عیوب در سال ۱۹۰۵ یک صنعتگر سوئدی بنام کیلبرگ[2] الکترود فلزی پوشش دار را اختراع نمود. پوشش این الکترود را مخلوطی از مواد معدنی مختلف تشکیل می داد که قادر بود با تولید گاز و ایجاد سرباره، مذاب حاصل از ذوب الکترود را در مقابل آثار نامطلوب تماس با هوا محافظت نماید. علاوه بر این، پوشش الکترود باعث پایداری قوس الکتریکی و یکنواخت شدن جوش می گردید.

با اختراع الکترود پوشش دار، صنعت این امکان را یافت تا جوش هایی با استحکام معادل فلز پایه بوجود آورد. اولین قایق ده متری تعمیراتی که تمام اتصالات آن توسط جوشکاری انجام شده بود در سال ۱۹۱۸ بـه آب انداختـه شد. از اواخر دهـه ۱۹۳۰ که احداث پل ها و خطوط راه آهن و نیز ساخت کشتی های اقیانوس پیما و غیره با روش جوش دادن قطعات به یکدیگر با سرعت آغاز گردید، تا به امروز که انسان به ساختن فضا پیما، آسمان خراش، نیروگاه هسته ای، میکروپروسسور و غیره مشغول است، هنوز جوشکاری از روش های بسیار مهم اتصال محسوب می شود. فرآیندهای جوشکاری نه تنها برای اتصال فلزات هم جنس بلکه در موارد خاص با رعایت نکات تکنیکی و متالورژیکی ویژه برای اتصال فلزات غیر هم جنس (مس- آلومینیوم)، فلز به غیر فلز (سرامیک به فلز) و حتی غیر فلز به غیر فلز (سرامیک به سرامیک) نیز استفاده می شود. علاوه بر کاربرد جوشکاری در اتصالات دائم، کاربردهای دیگری نیز در صنعت معمول است (نظیر بازسازی عیوب قطعات ریختگی یا ماشین کاری شده، بازسازی قطعات فرسوده و مستهلک شده و ایجاد موضوع جوش با خواص ویژه در فرآیند ساخت بعضی از قطعات صنعتی) که هر کدام جایگاه ویژه ای داشته و ضمن اینکه اهمیت آنها کمتر از کاربرد اصلی اتصال آن نیست. تاکنون فرایندهای مختلف جوشکاری در دنیا ابداع شده است که هر کدام کاربرد ویژه و نقاط ضعف و قوت خود را دارند. به عنوان مثال فرایند جوشکاری پتکی یا آهنگری[3] هنگامی که انسان

[1] Slavjaniv
[2] Kjellberg
[3] Forge Welding

اولیه با آتش و فلز آشنا شد متوجه شد که می توان دو قطعه فلزی بصورت سرد یا گداخته روی هم قرار داده و در اثر کوبیدن موجب اتصال آنها شود، یا فرایند جوشکاری اصطکاکی تلاطمی[1] که عمر کوتاهی دارد و هنوز مراحل ابتدایی کاربردی آن مطرح است و یا فرایندهای پیشرفته دیگری که مراحل آزمایشگاهی را طی می کنند. همچنین فرایند جوشکاری نسبتاً جدیدی نیز ابداع شده است که ورق به ضخامت ۶۰۰ میلیمتر را با یک پاس بدون پخ سازی جوش می دهند و یا فرایندی که عملیات جوشکاری را باید در زیر میکروسکوپ انجام داد و محل جوش را نمی توان با چشم غیر مسلح دید. یکی از مهمترین و اصلی ترین تلاشهای متخصصین، ابداع فرایندهای جوشکاری با کمترین هزینه و بیشترین سرعت و خواص کاملاً مشابه قطعه اصلی است. [۲]

۱-۱-۳- انواع اتصالات:

در بحث اتصالات دو نوع اتصال وجود دارد:

اتصالات موقت :

اتصالات موقت به اتصالاتی گفته می شود که در صورت لزوم بتوان قطعات متصل شده را به راحتی از هم جدا نمود. در این روش هنگام جدا کردن قطعات، وسیله اتصال از بین نرفته و مجدداً قابل استفاده می باشد.
از وسایلی که برای اتصالات موقت بکار می روند می توان پیچ و مهره ها، خارها و پین ها را نام برد.

اتصالات دائم:

اتصالات دائم به اتصالاتی گفته می شود که جدا کردن قطعات متصل شونده مورد نظر نباشد. چون جدا کردن قطعات متصل شونده بدون از بین بردن وسیله امکان پذیر نیست. مانند جوشکاری ، لحیم کاری. [۳]

۱-۱-۴- تعریف جوشکاری:

جوشکاری اتصال دایمی دو ماده از طریق آمیزش موضعی در اثر ترکیب مناسب دما ، فشار و شرایط متالورژیکی است. از آنجا که محدوده ی ترکیب فشار و دما می تواند از دمای بالا بدون فشار تا فشار زیاد بدون دما گسترده باشد ، تنوع روش های جوشکاری بسیار زیاد است. در واقع جوشکاری به اتصالی گفته می شود که نتوان محل اتصال را از قسمت های دیگر قطعات مجزا نمود و به عبارتی دیگر خواص جوش ایجاد شده با قطعات مورد اتصال یکسان یا نزدیک به هم باشد.[۴]

دوتا ماده ی مورد اتصال می توانند فلزات (انواع فلزات آهنی نظیر فولادها و چدن ها و غیر آهنی) یا نافلزات (پلاستیک ها) ویا فلزات با نافلزات باشند. جوشکاری به علت کاربرد در حوزه های متفاوت دارای تنوع زیادی می

[1] Stir Friction Welding

باشد به نحوی که بالای صد نوع شاخه ی جوشکاری امروزه در کارهای متفاوت مورد استفاده قرار می گیرد. ابتدایی ترین نوع روش جوشکاری قوس الکتریکی و جوشکاری مقاومتی می باشند. جوشکاری اکسی اسیتیلن ، آرگون ، پلاسما و لیزر و پرتو الکترونی و... هم از دیگر انواع جوشکاری بوده که طی سالیان اخیر مورد استفاده و توسعه قرارگرفته اند.

در این بین روش جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار حائز اهمیت می باشد و استفاده ی گسترده ای در صنعت دارد واین به خاطر عمومیت استفاده ی این روش برای انواع فلزات و شرایط کاری بوده ونیز تجهیزات ارزان و سهولت روش جوشکاری می باشد.

جوشکاری در یک تقسیم بندی به دو نوع قوسی و غیر قوسی تقسیم بندی می شود. جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار از نوع جوشکاری قوسی می باشد. قبل از پرداختن به این روش جوشکاری لازم است در مورد مبانی قوس الکتریکی مطالبی ذکر شود.

تئوری قوس الکتریکی:

قوس الکتریکی در نتیجه عبور جریان الکتریسیته از یک فاصله هوایی (بین الکترود قطعه کار) ایجاد می گردد. به عبارت دیگر قوس الکتریکی بین یک آند که قطب مثبت یک منبع جریان برق و کاتد که قطب منفی است تولید می شود. از نقطه نظر تئوری الکتریکی قوس الکتریکی آن است که یونها از قطب مثبت عبور می کند و به طرف قطب منفی می روند زیرا که یونهای فلزات دارای بار مثبت هستند بنابراین جذب قطب منفی می شوند آند و کاتد وقتی که با همدیگر تماس پیدا می کنند و از یکدیگر جدا می شوند یک فاصله «درز هوایی» بین آنها ایجاد می شود یونها به خاطر جذب شدن به کاتد منفی از میان این فاصله هوایی عبور می کنند و جذب کاتد می شوند. وقتی که یونها از فاصله هوایی عبور می کنند با ملکولهای گاز جو«هوا» برخورد می کنند و یک سطح یونیزاسیون حرارتی تولید می کنند. بنابراین یک قسمت از حرارت قوس الکتریکی مربوط به حرارت حاصل از برخورد یونها و ملکولهای هوا می شود. این سطح از گاز یونیزه شده مانند یک هادی با مقاومت زیاد عمل می کند و موجب می گردد که یونهای بیشتری از آن به کاتد جریان یابد و همین که یونها به کاتد ضربه می زنند حرارت تولید می گردد. بنابراین قسمت دیگر از حرارت قوس الکتریکی مربوط به حرارت حاصل از برخورد یونها به کاتد می باشد.

تعریف قوس الکتریکی:

اگر دو جسم هادی را که جریان الکتریکی با شدت زیاد از آن عبور می کند. برای لحظه ای به یکدیگر وصل کنیم و سپس آنها را در یک فاصله معینی از همدیگر نگه داریم قوس ایجاد میشود که به آن قوس الکتریکی می گوئیم.[۳]

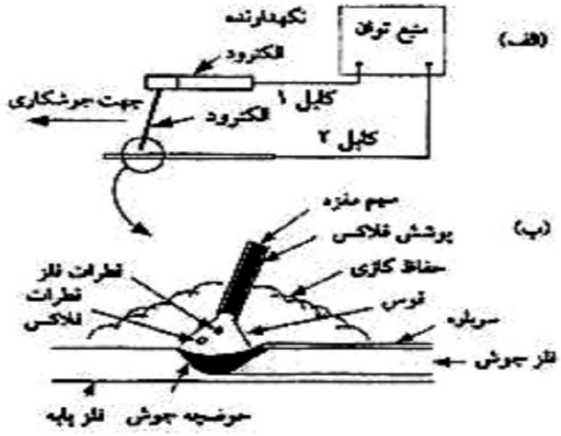
۱–۱– ۵ – جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار:

درسال ۱۹۵۶ کیلبرگ اولین الکترود پوشیده شده از فلاکس را معرفی کرد و نشان داد که فلاکس یا پوشش علاوه بر پایدار کردن قوس اثرات مثبت دیگری هم دارد.[۵]

جوشکاری قوسی فلز پوشش‌دار[1] یا جوشکاری قوسی دستی، فرایندی است که در آن فلزات توسط حرارت ناشی از برقراری قوس بین الکترود پوشش‌دار و قطعه کار ذوب شده و به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل ۱–۱). این روش را جوشکاری با قلم جوش نیز می‌نامند. نگهدارنده الکترود توسط یک کابل به یک خروجی منبع برق وصل شده و قطعه کار نیز به خروجی دیگر توان منبع قدرت متصل می‌گردد.

هسته‌ی الکترود پوشش‌دار، جریان الکتریکی را به قوس هدایت کرده و علاوه بر این فلز مذاب لازم برای اتصال را فراهم می‌کند. به منظور ایجاد اتصال الکتریکی لازم، ۵/۱ سانتیمتر از قسمت بالای الکترود، لخت بوده و در نگهدارنده الکترود (انبر) قرار می‌گیرد. نگهدارنده الکترود، یک گیره فلزی است که دارای عایق محافظ خارجی به منظور تأمین ایمنی جوشکاری می‌باشد.

حرارت ناشی از قوس باعث می‌شود که هم سیم مغزی و هم پوشش الکترود ، در نوک الکترود ، به صورت قطرات مذاب درآید. فلز مذاب به حوضچه جوش انتقال یافته و در فلز جوش منجمد می‌شود. فلاکس مذاب که سبک تر است ، بر روی سطح حوضچه مذاب شناور شده و به صورت یک لایه سرباره روی سطح فلز جوش منجمد می‌شود.[۶]



شکل (۱–۱) : جوشکاری با الکترود دستی پوشش‌دار(الف) شمای کلی فرایند (ب)منطقه ی جوشکاری [۶]

[1] Shield Metal Arc Welding (SMAW)

برای آغاز جوش ، جوشکار نوک الکترود را به طور مختصر با قطعه کار تماس می دهد و سپس به سرعت آن را در فاصله ای از قطعه کار نگه می دارد که یک قوس پایدار به وجود آید. گرمای شدید به سرعت نوک سیم الکترود ، پوشش و مقداری از فلز پایه ی مجاور منطقه ی جوش را ذوب می کند. با ذوب و تبخیر پوشش الکترود ،اتمسفری از گازهای محافظ دور قوس را گرفته و آن را پایدار می کند وفلز مذاب و داغ را از آلودگی حفظ می نمایند. محتویات گدازآورنده ی پوشش با تمام ناخالصی های درون فلز مذاب ترکیب شده و آنها را به سطح می آورند تا در پوشش سرباره ای که روی جوش تشکیل می شود، حبس شوند. این پوشش سرباره ای ، فلز در حال سرد شدن را از اکسایش محافظت می کنند و با کند کردن سرعت سرد شدن جوش ، از ایجاد ساختار سخت جلوگیری می نماید. سرباره پس از سرد شدن به سهولت از روی جوش کنده می شود.

فولادهای کربن دار ، فولادهای آلیاژی ، فولادهای زنگ نزن و چدن ها را عموما به وسیله ی فرایندهای جوشکاری برقی با الکترود پوشش دار ، جوشکاری می کنند. و جوشکاری را می توان در تمام وضعیت ها انجام داد. برا ی جوشکاری ورق های نازک حالت متناوب به کار می رود. روش قطبیت معکوس با جریان مستقیم برای نفوذ به عمق قطعه کارهای ضخیم مورد استفاده قرار می گیرد. انتقال فلز یا از نوع گلوله ای یا از نوع اتصال کوتاه بوده و دمای قوس الکتریکی ۵۰۰۰ درجه ی سانتیگراد می باشد. ولتاژ جوشکاری بین ۱۵ تا ۴۵ ولت و جریان بین ۱۰ الی ۵۰۰ آمپر می باشد.

از آنجا که باید اتصال الکتریکی با مرکز الکترود حفظ شود ، سیم فلز پرکننده در بیشتر الکترودهای پوشش دار میله ای با طول محدود است . از آنجا که جریان باید نزدیک قوس تحویل داده شود ، طول الکترود محدود است ، در غیر این صورت الکترود زیاد گرم شده و پوشش آن از بین خواهد رفت. جوشکاری برقی باالکترود پوشش دار یک روش ساده و چند منظوره است و فقط به یک منبع تغذیه ،کابل های برق ، الکترود گیر و تعداد محدودی الکترود نیاز دارد . از آنجا که تجهیزات این روش قابل حمل بوده و انرژی لازم را حتی می توان به وسیله ی ژنراتورهای بنزینی یا دیزلی تولید کرد ، این روش در کارگاه های چند منظوره متداول است و به طور وسیعی درعملیات جوشکاری تعمیری مورد استفاده قرار می گیرد[۷]. تجهیزات مورد استفاده در این نوع جوشکاری به شرح زیر می باشند.

۱-۱-۵-۱- الکترود:

الکترودهای جوشکاری قطعاتی هستند هادی جریان الکتریسیته که در مجاورت قوس الکتریکی ذوب شده و بعنوان سیم جوشکاری وظیفه پرکردن فضای بین قطعات (درز جوش) را بعهده دارند. جنس الکترودها بستگی به نوع قطعات اتصال داشته و آنها را می توان به دو گروه تقسیم نمود:

الف – الکترودهای بدون روپوش

ب – الکترودهای روپوش دار

در گذشته با استفاده از برق یا جریان مستقیم و مفتولهای فلزی بدون روپوش فلزات را جوشکاری می کردند. در موقع کار با الکترودهای بدون روپوش اکسیژن هوا با حوضچه مذاب تماس پیدا کرده و گرده جوش متخلخل شده و محل جوش شکننده و مقاومت آن کم می شد. با بکار بردن جریان متناوب از الکترودهای بدون روپوش نمی توان بخوبی استفاده کرد زیرا به کار می چسبد . الکترودهای بدون روپوش در دو نوع لخت و مغزی دار می باشند.

اما الکترودهای روپوش دار که در این روش جوشکاری به کار می روند دارای مزایای زیرند :

- موجب استقرار قوس الکتریکی می گردد.
- از تغییر آلیاژ دادن جوش جلوگیری می کند.
- امکان عکس برداری یا خاصیت پرتونگاری را میسر می سازد.
- از سریع سرد شدن جلوگیری می کند.
- سطح گرده جوش را صاف و یکنواخت می کند.
- آلودگیهای داخل جوش را در سطح کار شناور می سازند.
- مواد آلیاژی به جوش اضافه می کنند.
- از چسبیدن الکترود به سطح کار جلوگیری می کند.
- ایجاد اتمسفر محافظت کننده (یک گاز محافظ در اطراف محل جوش)
- کاهش پاشش فلز جوش به اطراف و افزایش کارایی عمل رسوب
- تاثیر بر روی نفوذ قوس
- تاثیر بر روی شکل دانه ی جوش
- تامین فلز پرکننده ی اضافی [۷،۳]

تقسیم بندی الکترودها بر اساس نوع پوشش آنها:

از حدود ۱۹۵۰ میلادی ، الکترودها را در انگلستان ، براساس جنس پوشش آنها طبقه بندی می نمودند ، که این تقسیم بندی در نوع خود مؤثر و تا امروز، دربعضی صنایع کاربرد دارد :

طبقه بندی انگلیسی :

۱- کلاس اول : سلولزی

۲- کلاس دوم : روتیلی

۳- کلاس سوم : اسیدی

۴- کلاس چهارم : اکسیدی

۵- کلاس پنجم : قلیایی یا بازی

۶- کلاس ششم : روتیلی+ پودر آهن

به دلیل اینکه در پایان نامه آزمایشات با سه نوع اکترود اصلی روتیلی , قلیایی , سلولزی می باشد؛ لذا در اینجا به بررسی این سه نوع پرداخته می شود.

کلاس اول سلولزی:

بیش از ۴۰ درصد وزن پوشش این نوع الکترودها را سلولز ($Cx\ Hy\ O2$) تشکیل می دهد که در اثر سوختن ، مقدار زیادی هیدروژن و اکسید آزاد می کند . گازهای حاصل حوضچه مذاب و قوس الکتریکی را از نفوذ گازهای مخرب موجود دراتمسفر محافظت می نماید؛ ازاین رو ، استفاده از این خانواده الکترودها اغلب درجوشکاری پاس ریشه خطوط لوله انتقال نفت و گاز و سایر سیالات که درفضای باز انجام می شوند کاربرد وسیعی پیدا کرده است.

شکل (۱-۲) : الکترود سلولزی ۶۰۱۰ [۸]

وجود گازهای فعال آزاد شده حاصل ازسوختن سلولز مثل هیدروژن و دی اکسید کربن ، علاوه بر یونیزاسیون قوسی با ولتاژ بالا پدید می آورند به دلیل انرژی فزاینده خود ، حرارت حوضچه جوش را نیز تا حد قابل توجهی افزایش داده وسبب نفوذ بسیار خوب جوش در داخل فلز پایه می گردند ، (الکترودهای نفوذی) . نظر به این که اغلب بیشتر حجم مواد تشکیل دهنده ی پوشش های سلولزی را مواد