

فصل دوم

عوامل مؤثر در جوشکاری مقاومتی

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	۱-۲- مقاومت الکتریکی
۴	۲-۲- جریان جوشکاری
۷	۳-۲- زمان جوشکاری
۱۲	۴-۲- نیروی جوشکاری
۱۴	۵-۲- الکترودها
۱۹	۱-۵-۲- سرد کردن الکترودها
۲۰	۶-۲- اثر شرایط سطحی
۲۱	۷-۲- اثر ترکیب شیمیایی فلز
۲۲	۸-۲- پراکندگی حرارت
۲۴	۹-۲- تعادل حرارتی
۲۷	۱۰-۲- طراحی اتصال

در فصل اول گفته شد که گرمای تولید شده در فرآیند جوشکاری مقاومتی از قانون ژول ($Q=RI^2t$) پیروی می کند. همانطور که از این فرمول مشخص است گرمای تولیدی با مربع جریان جوشکاری، زمان جوشکاری و مقاومت الکتریکی رابطه مستقیم دارد. مقدار جریان و زمان را می توان به طور مستقیم کنترل نمود. فشار اعمالی در حین جوشکاری می تواند بر روی مقاومت (R) تاثیر گذار باشد. این مقاومت که خود ناشی از چندین مقاومت مختلف است تحت تاثیر عوامل دیگری مانند جنس قطعات و الکتروود و ضخامت آنها و نحوه خنک کردن الکتروودها نیز می باشد. علاوه بر فاکتورهای فوق، نحوه انتخاب سیکل جوشکاری، انتخاب الکتروود مناسب، شرایط سطحی قطعات حین جوشکاری، ترکیب شیمیایی اجزاء و نحوه طراحی نیز بر روی کیفیت جوش، نحوه انجام فرآیند و نرخ تولید تاثیرگذار خواهند بود.

در این فصل به بررسی عوامل مختلف تاثیر گذار بر جوشکاری مقاومتی خواهیم پرداخت. کنترل دقت پارامترهای مختلف می تواند فرآیند جوشکاری را به سمت فرآیندی ایده آل سوق دهد.

۲-۱- مقاومت الکتریکی:

مدار ثانویه یک دستگاه جوشکاری مقاومتی از یک سری مقاومت تشکیل شده است. به عبارت دیگر R در فرمول ژول مجموع مقاومت هایی است که در سیستم داریم. بنابراین گرمای تولید شده در هر نقطه ای در مدار به طور مستقیم با مقدار مقاومت الکتریکی در آن نقطه متناسب است.

در شکل (۲-۱) توزیع مقاومت و حرارت در قطعه کار و الکتروودها در جوشکاری مقاومتی نقطه ای، نواری و زائده ای نمایش داده شده است. حداقل هفت مقاومت بصورت سری با هم قرار گرفته اند، در مدار اثر گذار هستند که عبارتند از:

(۱) ۱ و ۷: مقاومت الکتریکی مواد الکتروود هستند که مقدار آنها بستگی به جنس الکتروودها دارد.

(۲) ۲ و ۶: که مقاومت الکتریکی بین الکتروود و فلز پایه هستند. مقدار این مقاومتها بستگی به شرایط سطحی فلز پایه (قطعه کار) و الکتروود، اندازه و شکل و سطح الکتروود و نیروی الکتروود دارد. (مقاومت به طور معکوس با نیرو رابطه دارد). در این نقاط گرمای زیاد ناخواسته ای تولید می شود. این گرما سطح فلز پایه را به دمای زوبش خواهند رساند زیرا الکتروودها که هدایت حرارتی بالایی دارند (۱ و ۷) و معمولا با آب نیز خنک می شوند این گرما را منتقل خواهند نمود.

(۳) ۳ و ۵: که مقاومت الکتریکی خود فلز پایه هستند که با ضخامت آن نسبت مستقیم و با سطح مقطع مسیر جریان نسبت عکس دارند. همچنین جنس ورقها نیز عامل بسیار تاثیرگذاری بر این مقاومتها خواهد بود.

(۴) ۴: مقاومت فصل مشترک فلز پایه در نقطه ای که جوش شکل می گیرد می باشد. این نقطه بالاترین مقاومت را دارد و بنابراین نقطه ای است که بالاترین حرارت در آن تولید می شود.

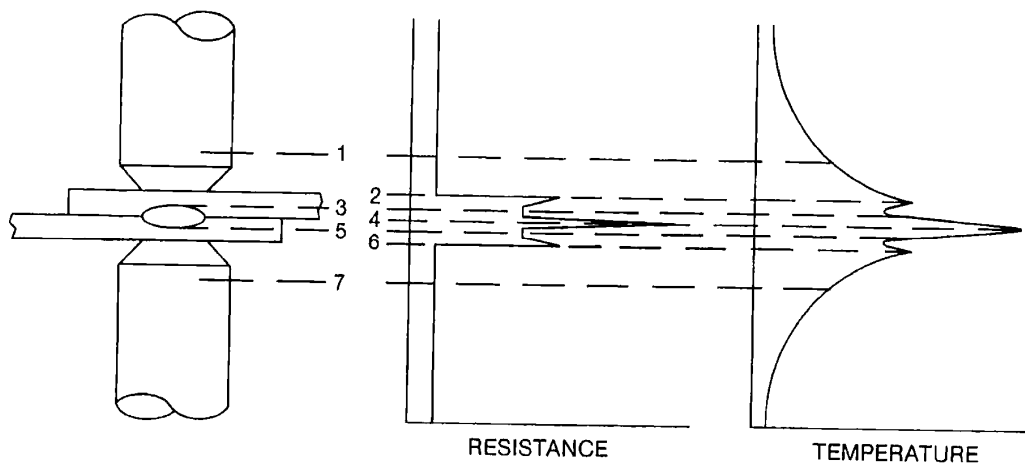
باید توجه نمود که گرمای تولید شده در این نقطه مورد نظر ما است و سایر گرمای تولید شده بایستی محدودتر شود. شکل (۲-۱) پروفیل ها را بعد از گذشت ۲۰ درصد از زمان جوشکاری نشان می دهد. باید توجه نمود که گرمای تولید شده در ۲ و ۶ به سرعت از طریق الکتروودهای مجاور پراکنده می شود.

در یک فرآیند جوشکاری که بصورت مناسبی کنترل می شود در ابتدا دمای نقاط بیشماری از منطقه تماس فصل مشترک به نقطه زوب می رسد و به سرعت دکمه جوش شکل می گیرد.

فاکتورهایی که بر گرمای تولید شده در منطقه اتصال (در یک جریان و زمان ثابت) اثر گذارند عبارتند از:

(۱) مقاومت الکتریکی الکتروودها و فلز پایه

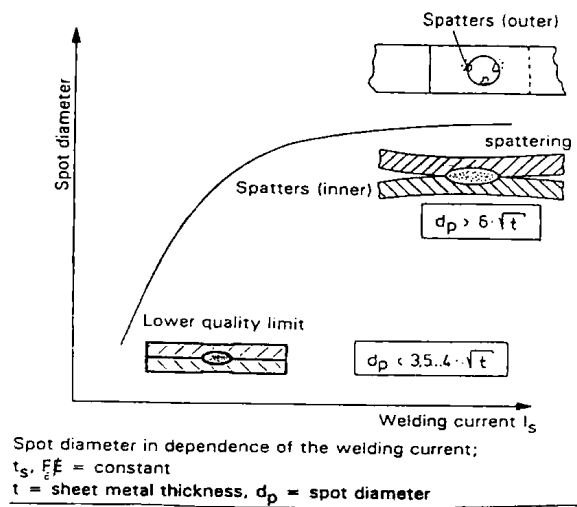
(۲) مقاومت تماس بین الکترودها و قطعه کار و خود قطعه کار



شکل ۱-۲: نمودارهای مقاومت الکتریکی و دما در قسمتهای مختلف اجزاء جوشکاری مقاومتی

۲-۲- جریان جوشکاری:

در عامل فرمول ژول، جریان اثر بیشتری نسبت به مقاومت یا زمان در تولید حرارت دارد؛ بنابراین یک فاکتور مهم قابل کنترل می باشد. معمولاً در جوشکاری مقاومتی در ۷۰ درصد مواقع از جریان AC و ۳۰ درصد مواقع از جریان DC استفاده می شود. بیشترین تاثیر جریان بر روی اندازه دکمه جوش می باشد. در شکل (۲-۲) تاثیر مقدار جریان بر اندازه دکمه جوش نقطه ای به تصویر کشیده شده است.



شکل ۲-۲: تاثیر میزان جریان بر قطر دکه جوش

دو عامل که در تغییرات جریان جوش مؤثرند عبارتند از تغییرات ولتاژ خطی مولد و تغییر در امپدانس مدار ثانویه که ناشی از تغییر در هندسه یا ورود مواد مغناطیسی به مدار ثانویه دستگاه می باشد.

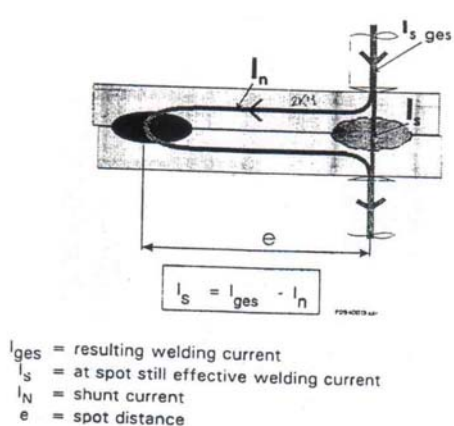
علاوه بر مقدار جریان، دانسیته جریان نیز ممکن است در فصل مشترک تغییر کند که می تواند ناشی از جریانهای انحرافی باشد. افزایش سطح الکتروود (سطح در تماس با قطعه کار) یا اندازه زائده در جوشکاری زائده ای دانسیته جریان را کاهش خواهد داد. بنابراین حرارت جوشکاری کم می شود. این مساله ممکن است باعث کاهش قابل توجهی در استحکام جوش بشود.

اندازه دکه جوش و استحکام جوش با افزایش جریان به سرعت زیاد می شود. جریان بیش از حد باعث پاشش مذاب خواهد شد. که در نتیجه آن تخلخل های داخلی شکل می گیرد. و نیز باعث ترک خوردگی و کاهش خواص مکانیکی جوش می شود در شکل (۲-۳) اثر جریان جوشکاری بر استحکام برشی جوش نقطه ای نشان داده شده است. در جوشکاری نقطه ای و نواری، جریان اضافی

باعث می شود که فلز پایه خیلی گرم شود و در هم فرو برود. همچنین باعث گرم شدن شدید الکترودها و از بین رفتن سریع تر آنها می شود.

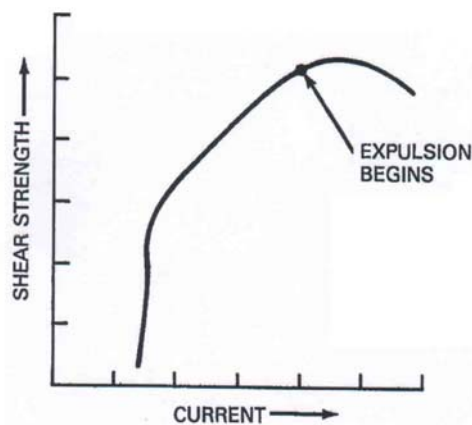
گفته شد که دانسیته جریان ممکن است در اثر جریانهای انحرافی تغییر نماید. در حقیقت جریان انحرافی با کاهش دانسیته جریان باعث کاهش استحکام جوش می شود. از نظر تکنیکی ممکن است بتوان در برخی موارد جریان انحرافی را مهار نمود. نحوه تاثیر این جریان ها در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است. مقدار جریان انحرافی بستگی به فاصله نقطه جوش، ضخامت ورق و هدایت الکتریکی دو ورق دارد.

باید توجه نمود که مهمترین عامل در تعیین استحکام جوش مقاومتی، دانسیته جریان در طول جوشکاری است. در نتیجه سایش الکترودها در طول جوشکاری، سطح تماس الکتروود افزایش یافته و لذا با کاهش دانسیته جریان، استحکام نقطه جوش کاهش می یابد. با افزایش جریان جوشکاری یا کاهش سطح تماس الکتروود توسط عملیات مکانیکی و یا در نهایت تعویض الکتروود می توان بر این مشکل غلبه کرد.



شکل ۲-۴: جریانهای انحرافی در جوش

نقطه ای دو طرفه



شکل ۲-۳: اثر جریان جوشکاری بر استحکام

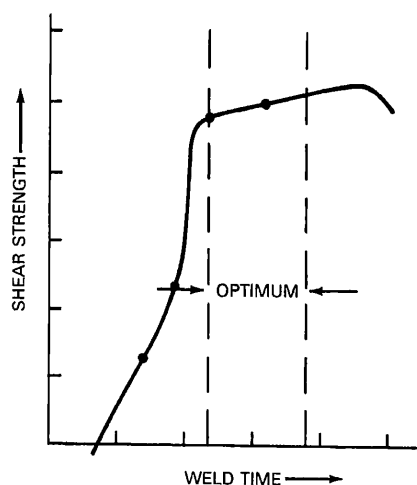
برشی جوش نقطه ای

۲-۳- زمان جوشکاری

سرعت تولید حرارت (یا زمان جوشکاری) بایستی طوری باشد که جوشهایی با استحکام مناسب بوجود آید بدون آنکه الکترودها خیلی گرم شوند (زیرا گرمای شدید الکترودها، عمر آنها را کاهش خواهد داد) گرمای تولید شده با زمان جوشکاری متناسب است. طبیعی است که مقداری از گرمای تولیدی از طریق هدایت به فلز پایه و الکتروود و مقدار خیلی کمی نیز از طریق تابش هدر می رود. این حرارت تلف شده با افزایش زمان جوشکاری بیشتر می شود. در جوشکاری مقاومتی نقطه ای، در یک دانسیته جریان مناسب برای رسیدن به نقطه ذوب یک زمان جوشکاری می نیمی مورد نیاز است. اگر جریان بعد از این زمان نیز ادامه یابد، دمای نقطه ۴ (دکمه جوش) به دمایی بسیار بالاتر با نقطه ذوب خواهد رسید و فشار داخلی ممکن است مذاب ایجاد شده را به بیرون پرتاب کند. همچنین گاز و بخار فلز ممکن است به همراه ذرات ریزی از فلز به سمت بیرون پرتاب شوند.

زمان طولانی جوشکاری همان اثری را که جریان اضافی بر روی فلز پایه و الکترودها می گذارد دارد. علاوه بر این، منقطه متاثر از حرارت نیز بزرگ خواهد شد. مثالی از رابطه بین زمان و استحکام برشی جوش در شکل (۲-۵) نمایش داده شده است. و انتقال حرارت تابعی از زمان است. و زمان طولانی باعث انتقال بیشتر حرارت به مناطق مجاور جوش خواهد شد.

باید توجه نمود که اگر زمان جوشکاری زیاد شود، دکمه جوش تا اندازه محدودی رشد می کند و از آن به بعد فقط بر عمق جوش افزوده می شود و بدین ترتیب استحکام کاهش می یابد. اگر زمان خیلی کوتاه باشد، دکمه جوش کوچک می شود و استحکام به مقدار زیادی کاهش می یابد.



شکل ۵-۲: استحکام برشی - کششی بصورت تابعی از زمان جوشکاری

هنگام جوشکاری نقطه ای ورق های ضخیم، معمولاً جریان جوشکاری در چندین زمان کوتاه و بصورت ناگهانی (یا در اصطلاح پالسی) اعمال می شود، بدون اینکه در این مدت نیروی الکترودها حذف شود. هدف از پالسی کردن جریان ایجاد حرارت در فصل مشترک بین قطعات بصورت تدریجی است. آمپر مورد نیاز برای انجام جوشکاری (در این ورق ها) می تواند سریعاً فلز را ذوب کند و اگر زمان حرارت پالسی خیلی طولانی شود، باعث پاشش می شود.

فاکتور دیگری که باید بدان توجه شود زمان کل فرآیند جوشکاری است. زمان کل شامل زمان جوشکاری و زمان فشردن ورق ها می باشد. زمان فشردن بایستی به گونه ای انتخاب شود که از رسیدن میزان نیروی اعمالی به بیش از ۹۸ درصد نیروی استاتیک در ابتدای جریان جوشکاری اطمینان حاصل شود.

توالی^۱ فرآیند جوشکاری مقاومتی یا سیکل جوشکاری معمولاً از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است.

^۱ - Sequence

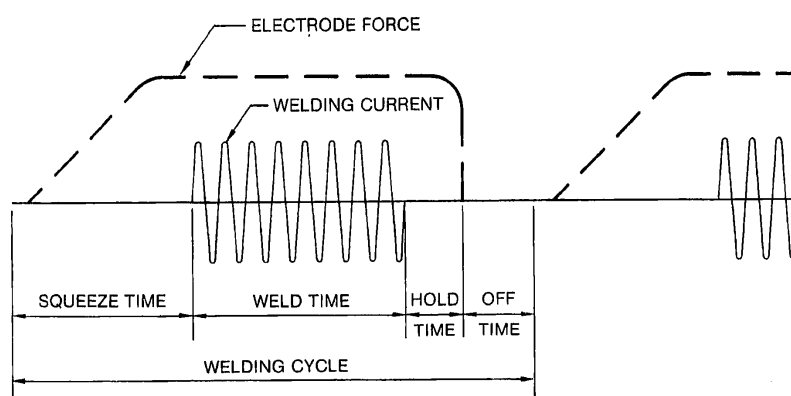
(۱) زمان squeeze: فاصله زمانی است که بین اعمال نیروی الکترودها به قطعه کار و اعمال جریان جوشکاری وجود دارد. این زمان باید طوری تنظیم شود که از اعمال تمام نیروی الکتروود قبل از برقراری جریان جوشکاری اطمینان حاصل شود.

(۲) زمان جوش^۱: زمانی است که جریان جوشکاری برای ایجاد جوش اعمال می شود.

(۳) زمان نگهداشتن^۲: فاصله زمانی است که جریان جوشکاری قطع شده است ولی هنوز نیروی الکترودها به قطعه کار اعمال می شود تا دکمه جوش منجمد شده و آنقدر خنک شود که استحکام مناسبی در آن ایجاد شود.

(۴) زمان قطع^۳: زمانی است که الکترودها قطع کار را رها می کند. این عبارت بیشتر در سیکل های جوشکاری که تکراری هستند یا دستگاه بصورت اتوماتیک کار می کند، مفهوم پیدا می کند.

شکل (۲-۶) سیکل جوشکاری ساده ای را نشان میدهد ممکن است علاوه بر زمان های فوق، یکسری زمانهای ویژه برای انجام پروسه های خاصی به سیکل جوشکاری افزوده شود. که این پروسه ها بسته به شرایط قطعه کار به منظور بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی منطقه جوش افزوده شده اند.



شکل ۲-۶: سیکل جوشکاری تک پالس برای جوشکاری نقطه ای و زائده ای

- 1 - Weld Time
- 2 - Hold Time
- 3 - Off Time

پر واضح است که باید برای هر کدام از این پروسه ها زمان جداگانه ای تعریف کرد که عبارتند از:

- (۱) نیروی پیش فشردن^۱ برای نشان دادن الکترودها و قطعه کار بر روی هم.
- (۲) پیش گرم کردن برای کاهش گرادیان حرارتی در فلز در زمان شروع جوشکاری.
- (۳) نیروی فورج به منظور فورج کردن دکمه جوش
- (۴) زمان کوئیچ و تعمیر برای تولید خواص استحکامی مطلوب در جوشکاری فولادهای آلیاژی سختی پذیر
- (۵) زمان پس گرم کردن برای ریز کردن اندازه دانه جوش در فولادها
- (۶) جریان نزولی برای تاخیر انداختن سرد شدن آلومینیم.

در جوشکاری فولادهای پوشش دار، معمولاً زمانی کوتاه را برای اعمال جریان در نظر می گیرند تا در این زمان پوشش تبخیر شود. معمولاً از این مرحله در جوشکاری این فولادها با عنوان weld1 یاد می شود. باید توجه نمود که در این مرحله دکمه جوش تشکیل نمی وشد و صرفاً پوشش از بین می رود و در مرحله بعد weld2 جریان اصلی جوشکاری اعمال می شود. اگر از عملیات حرارتی کوئیچ و تمیز کردن یا آنیل کردن نیز در فرآیند جوشکاری استفاده می شود. معمولاً از آن به عنوان weld3 یاد می شود.

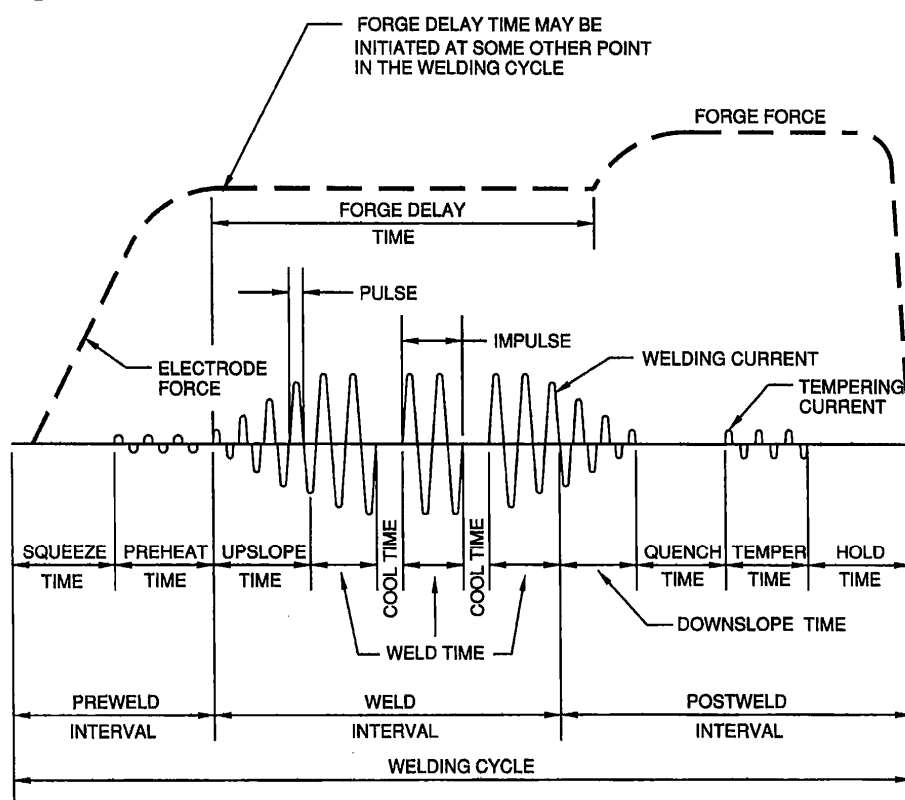
یک نکته جالب در شکل (۷-۲) شیب ابتدایی نمودار است که از آن به عنوان up-slope یاد می شود. به راستی علت اینکه جریان از ابتدا با مقدار ماکزیمم اعمال نشده چیست؟ در ابتدا اعمال جریان جوشکاری دمای قطعات پایین است. بنابراین مقدار مقاومت الکتریکی آنها کم است ولی با افزایش دما

¹ - Pre compression

مقاومت نیز افزایش پیدا می کند. بنابراین در ابتدا که مقاومت کم است جریان زیادی به قطعه کار اعمال می شود و ممکن است تجهیزات جوشکاری آسیب ببینند.

همچنین ممکن است جریان با یک شیب خاصی نزول کند که از آن به عنوان Down slope یاد می شود. این شیب کاهش جریان به منظور کنترل انجماد دکه جوش و جلوگیری از ترک خوردگی در فلزاتی است که با کونچ کردن سخت می شود یا به ترک گرم حساس هستند (شکل (۷-۲)).

همانطور که گفته شد جوشکاری چند پالس^۱ شامل دو یا چند پالس جریان است که بین هر کدام از آنها زمانی برای خنک شدن دکه جوش قرار داده شده است. این سیکل جوشکاری برای کنترل سرعت گرم شدن در فصل مشترک ورق های فولادی نسبتاً ضخیم بکار می رود (شکل (۷-۲)).



شکل ۷-۲: سیکل جوشکاری چند پالسی به همراه زمان پیش گرم کردن زمان Upslep و زمان Downslep و زمان کونچ و زمان تمپر و نیروی فورج

^۱ - Multiple Impulse Welding

زمان جوشکاری یا زمان جوش را (به جزء در مولدهای ذخیره انرژی) از طریق ابزار الکتریکی، مکانیکی، پنوماتیکی می توان کنترل نمود. دامنه زمانها معمولاً از یک دوم سیکل (برای جریان متناوب با فرکانس ۵۰ سیکل در ثانیه برابر با $\frac{1}{100}$ ثانیه خواهد بود) برای ورقهای خیلی نازک تا چندین ثانیه برای ورقهای ضخیم تغییر می کند. برای دستگاه هایی که از سیستم مولد با انرژی ذخیره شده استفاده می کنند (یا به صورت خازن ای بصورت مغناطیسی) زمان جوشکاری از طریق ثابت الکتریکی^۱ تعیین می شود.

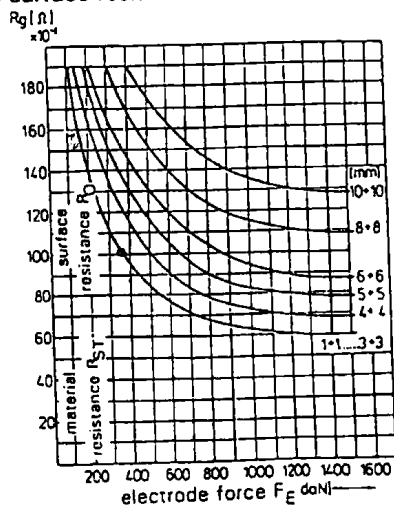
۲-۴- نیروی الکتروود (نیروی جوشکاری)

مقاومت R در فرمول ژول می تواند از فشار (نیروی) جوشکاری تاثیر بپذیرد. به این صورت که فشار مقاومت تماسی در فصل مشترک قطعه کارها را کاهش می دهد. افزایش فشار جوشکاری معادل افزایش آمپر جوشکاری می باشد البته تا مقادیر محدودی. البته اثرش بر روی گرمای تولید شده ممکن است معکوس باشد. هنگامی که فشار افزایش یابد مقاومت تماس و حرارت تولید شده در فصل مشترک کاهش خواهد یافت، برای افزایش گرما به مقدار قبلی، آمپر یا زمان را باید زیاد کرد تا این مساله جبران شود.

سطوح قطعات فلزی از نظر میکروسکوپی از یکسری برجستگی و فرورفتگی تشکیل شده اند. وقتی که اینها تحت فشار کم قرار بگیرند، تماس واقعی فلز با فلز در مناطق برجستگی می باشد که درصدی از مساحت کل است. وقتی که فشار زیاد شود، نقاط زیادی له می شوند و سطح تماس واقعی فلز با فلز زیاد می شود؛ بنابراین مقاومت تماسی کاهش می یابد. در شکل (۲-۸) تاثیر نیروی الکتروود بر مقاومت الکتریکی سطح به تصویر کشیده شده است.

^۱ - Electrical Constant

influence on the surface resistance



شکل ۲-۸: تاثیر نیروی الکتروود بر مقاومت سطح ورق

در بیشتر موارد، مواد الکتروود نرم تر از قطعه کار می باشند. بنابراین با استفاده از نیروی مناسب سطح تماس بیشتری بین قطعه کار و الکتروود بوجود می آید تا قطعه کار با قطعه کار.

نیروی اعمالی به الکتروودها از طریق ابزار مکانیکی، مغناطیسی هیدرولیکی، پنوماتیکی، هیدروپنوماتیکی (در مواقعی که محدودیت مکان داریم) و یا دستی تامین می شود فشاری که به سطح قطعه کار اعمال می شود بستگی به مساحت سطح مقطع الکتروود دارد. وظایف نیروی یا فشار عبارتند از:

(۱) ایجاد بی نهایت نقطه تماس در فصل مشترک

(۲) کاهش مقاومت تماسی ابتدایی در فصل مشترک ها

(۳) جلوگیری از پاشش مذاب از منطقه اتصال

(۴) کمک به انجماد تحت فشار دکمه جوش

توجه به این نکته ضروری است که نیروی الکتروود تاثیر خیلی زیادی بر کیفیت جوش دارد و بر پارامترهایی نظیر کیفیت سطحی، خلل و فرج در دکمه جوش و استحکام جوش تاثیر می گذارد اگر نیروی خیلی زیاد باشد، حرارت بیشتر

تولید می شود و در نتیجه استحکام کاهش می یابد و اگر نیرو خیلی کم باشد، شاهد پاشش و جرقه در سطح دکمه جوش خواهیم بود و تخلخل و حفرات لوله ای در جوش بوجود می آید.

نیروها ممکن است در سیکل جوشکاری به صورتهای زیر اعمال شوند.

(۱) یک نیروی جوش ثابت

(۲) نیروی پیش فشردن و نیروی جوشکاری که نیروی ابتدایی برای کاهش مقاومت تماسی اولیه و نزدیک کردن قطعات به هم در نقطه تماس بکار می رود و مقدارش معمولاً بالاست. در مرحله بعد نیروی کمتری به عنوان نیروی جوشکاری اعمال می شود.

(۳) نیروی پیش فشردن، جوشکاری و فورج: که به دو مورد اول در قسمت (۲) اشاره شد. بعد از این دو نیرو، نیروی فورج در انتهای جوشکاری اعمال می شود تا تخلخل ها و ترک های گرم دکمه جوش کاهش یابند.

(۴) نیروی جوش و فورج

توجه به این نکته ضروری است که در جوشکاری زائده ای نیروی الکتروود بستگی به طراحی زائده، تعداد زائده های موجود در اتصال و جنس فلزی که قرار است جوشکاری شود متفاوت است. نیرو باید آنقدر باشد تا به محض اینکه زائده ها به دمای نوبشان رسیدند، بصورت کامل صاف شوند. به طوری که باعث اتصال در قطعه شوند. نیروی اضافی باعث می شود که زائده بصورت ناگهانی متلاشی شود و دکمه جوش رینگی شکل تشکیل شود که مرکز آن دارای نوب ناقصی باشد.

۲-۵- الکتروودها:

الکتروودهای جوشکاری مقاومتی چهار عمل اصلی را انجام می دهند.

(۱) هدایت جریان الکتریکی به کار و در جوشکاری نقطه ای و نواری، ثابت نگهداشتن دانسیته جریان در منطقه جوش در جوشکاری زائده ای دانسیته جریان به اندازه شکل و تعداد زائده ها بستگی دارد.

(۲) انتقال نیرو به قطعه کارها

(۳) انتقال قسمتی از حرارت تولید شده از منطقه جوش

(۴) نگهداشتن مناسب وضعیت نسبی قطعات در جوشکاری زائده ای

اگر فشاری در میان نبود، انتخاب مواد الکتروود می بایست بر اساس هدایت الکتریکی و حرارتی ماده صورت می گرفت. از آنجایی که الکتروودها تحت تاثیر نیروهای غالباً زیادی قرار دارند، بایستی توانایی تحمل تنش های اعمالی را در دماهای بحرانی داشته باشند، بدون اینکه تغییر فرم اضافی بدهند. همانطور که در فصل اول نیز ذکر شد. الکتروودها بایستی دارای ویژگی های زیر باشند:

۱- استحکام و سختی مناسب داشته باشند و در اثر فشار له نشوند.

۲- دمای آنیل (نرم شدن) بالایی داشته باشند.

۳- ضریب هدایت الکتریکی مناسبی داشته باشند.

۴- هدایت حرارتی بالایی داشته باشند.

در صنعت الکتروودهایی از آلیاژهای مختلف مس با خواص فیزیکی و مکانیکی متفاوتی در اختیار است. تغییر در ترکیب شیمیایی الکتروود می تواند در کارکرد نهایی آن موثر باشد. به عنوان مثال یک ماده سخت تر ممکن است مقاومت سایش بهتری داشته باشد، اما با افزایش مقدار این عنصر در آلیاژ، معمولاً هدایت الکتریکی ماده تضعیف خواهد شد. لذا یک ماده الکتروود مناسب بایستی علاوه بر ترکیب هدایت الکتریکی و حرارتی خوب، استحکام مکانیکی و سختی کافی در دمای عملیات را داشته باشد.

انتخاب یک آلیاژ مناسب برای یک کاربرد خاص بستگی به خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی آلیاژ دارد. به عنوان مثال برای فولادهای نرم الکترودهایی از جنس Cu-Cr-Zr استفاده می شود. از طرفی دیگر الکترودهایی که برای جوشکاری آلومینیم بکار می روند بایستی هدایت حرارتی و الکتریکی بالایی داشته باشند و استحکام فشاری بالایی از آنها انتظار نمی رود. اما در الکترودهای جوشکاری مقاومتی فولادهای زنگ نزن بایستی هدایت الکتریکی را قربانی استحکام فشاری نمود تا الکترود بتواند در برابر نیروهای بالا مقاومت نماید.

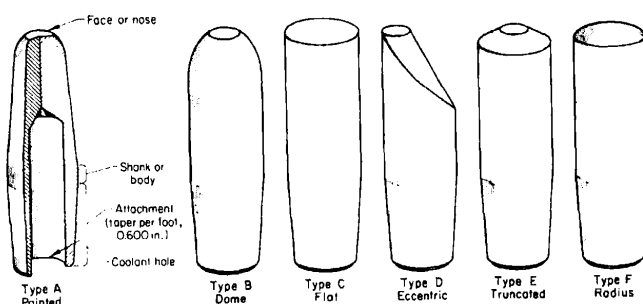
هرچند سختی، هدایت الکتریکی و مقاومت در برابر تغییر شکل در برابر حرارت و فشار خواصی هستند که میانگین آنها می تواند ما را در انتخاب الکترود یاری نماید. اما همیشه انتخاب یک الکترود مناسب کار ساده ای نیست. اشتباهی که باید از آن پرهیز کرد، ارزیابی مثلا عمر الکترود نسبت به سختی آن در دمای اتاق و یا هدایت الکتریکی آن به تنهایی است. این خواص شاید اهمیت داشته باشند اما بررسی آنها در شرایط خاص و کاربرد آنها در آن شرایط باید در رتبه اول اهمیت قرار گیرد. چنانکه برآیند این خواص در شرایط کاربردی باید تعیین کننده میزان توانایی الکترود باشد.

هرچند برای تعیین جنس، الکترودها باید به استانداردهایی خاص (که در فصل سوم به آن اشاره خواهد شد) که مربوط به بررسی جنس الکترودها هستند، مراجعه کرد. اما مشکل زمانی رخ می دهد که در شرایط خاص و موردهای ویژه ای جنس الکترود مصرفی و مورد نیاز در این گروه ها موجود نباشد و جنس الکترود کاربردی خارج از این کلاس بندی واقع باشد. (به عنوان مثال الکترودی که برای جوشکاری جرقه ای آلومینیم مورد استفاده قرار می گیرد). الکترودهایی که در جوشکاری مقاومتی مورد استفاده قرار می گیرند نسبت به سایر ابزار بکار رفته در این نوع جوشکاری با سرعت بیشتری فرسوده و مستهلک می شود. که این فرسودگی باعث کاهش کیفیت و خواص جوش می گردد. به عنوان مثال این

فرسودگی در جوشکاری مقاومتی نقطه ای با تغییر فرم نوک الکتروود صورت گرفته و کیفیت جوش را کاهش می دهد. در هر حال $1/2$ تا $3/4$ هزینه یک جوش نقطه ای مربوط به الکتروود آن است. لذا با طراحی مناسب و افزایش عمر الکتروود می توان صرفه جویی بیشتری در تولید بدست آورد.

عمر الکتروود عموماً به تعداد جوشهایی که بدون تمیز کردن نوک الکتروود و پیش از پایین آمدن اندازه جوش از یک حد معقول می توان بر روی قطعه داد، اطلاق می شود. یک الکتروود با عمر کم می تواند باعث محدود شدن نرخ تولید شود. به این صورت که به دلیل نیاز به تعویض و یا لکه گیری مکرر الکتروودها از سرعت تولید کاسته می شود. در مورد عوامل موثر بر عمر الکتروود در فصل سوم بحث خواهد شد ولی دانستن این نکته خالی از لطف نخواهد بود که انتخاب ترکیب مناسبی از اشکال الکتروود، متالورژی الکتروود و فرآیندهای افزایش جریان الکتریکی می توان عمر الکتروود را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید.

RWMA اشکال مختلف الکتروودهای جوشکاری نقطه ای را بصورت استاندارد ارائه نموده است. که در شکل (۲-۹) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بر اساس شکل دماغه یا صورت^۱ طبقه بندی الکتروودها صورت گرفته که از A تا F نامگذاری شده است.



شکل ۲-۹: اشکال دماغه الکتروودهای جوشکاری نقطه ای طبق استاندارد RWMA

^۱ - Face

الکترودهای نوع A (نقطه ای) بیشتر مواقعی بکار برده می شوند که استفاده از قطر کامل الکتروود به دلیل بزرگ بودن آن ممکن نباشد. الکترودهای نوع D (خارج از مرکز، که آفست نیز نامیده می شوند) بیشتر برای جوشکاری گوشه های قطعه که دسترسی محدودتری دارند بکار می روند.

هنگام جوشکاری مقاومتی نقطه ای توجه به قطر سطح تماس الکتروود یا قطر نوک الکتروود فوق العاده حائز اهمیت است. این عامل می تواند بر دانسیته جریان و لذا شکل و اندازه نقطه جوش و عمر الکتروود اثر بگذارد. هنگام جوشکاری دو ورق تا ضخامت ۳ میلیمتر با استفاده از الکتروود مخروط ناقص (نوع E) قطر نوک الکتروود بایستی از رابطه (۱-۲) تبعیت کند:

$$d_2 = \sqrt{t} \quad \text{فرمول ۱:}$$

که d_2 قطر ابتدایی نوک (به میلیمتر) و t ضخامت ورق در تماس با الکتروود است. هنگام استفاده از این الکتروودها قطر جوش ابتدایی مساوی با قطر الکتروود می باشد. هنگامیکه ضخامت دو ورق مساوی نباشد، ابعاد الکتروود و اندازه جوش مورد نیاز بر اساس ضخامت ورق نازکتر مشخص می شود. در جوشکاری نقطه ای سه ورق، ورق با ضخامت متوسط را به عنوان t (بر حسب میلیمتر) در نظر می گیرند. هنگام استفاده از الکترودهای نقطه ای (نوع A) و گنبدی (نوع B) بکار بردن معادله (۱) مناسب نمی باشد. در این موارد ابعاد نوک الکتروود و شرایط جوشکاری بایستی بر طبق قطر ابتدایی جوش (معادله (۲)) انتخاب شود.

$$d = d_2 = 5\sqrt{t}$$

که d قطر دکمه جوش و d_2 قطر ابتدایی نوک الکتروود و t ضخامت ورق است. (همه متغیرها بر حسب میلیمتر می باشند). در اثر استفاده از الکتروودها معمولاً نوک آنها قارچی شکل شده و اندازه نوک زیاد می شود. در صنایع خودروسازی و استانداردهای بین المللی پیشنهاد می شود که قطر سر الکتروود از یک حدی نسبت به مقدار ابتدایی اش بیشتر نشود. این مقدار برابر با افزایش قطر

الکتروود تا $1/3 d$ است. به عبارت دیگر هنگامی که قطر الکتروود به این مقدار رسید، یا الکتروود را باید تعویض نمود یا اینکه تا اندازه و شکل اولیه اش تراشکاری^۱ شود.

۲-۵-۱- سرد کردن الکتروودها

به منظور جلوگیری از افزایش دما در الکتروودها (که می تواند سبب ایجاد مشکلات زیادی در فرآیند شود) معمولاً از یک مدار آب برای خنک کاری آنها استفاده می شود. عموماً توصیه می شود که برای جوشکاری دو ورق فولادی غیرپوشش دار تا ضخامت ۳ میلیمتر فلوی آب درون الکتروودها حداقل ۴ لیتر در دقیقه (۱/۱ گالن در دقیقه) باشد. هنگام جوشکاری ورقهای پوشش دار فلوی بالاتری نیاز است. دمای آب خنک کننده درون تیوپ تغذیه کننده باید طوری تنظیم شود که از رسیدن آب خنک کننده به پشت الکتروود اطمینان حاصل شود. ضخامت گوشت الکتروود نباید از حدود مشخصی تجاوز کند تا عمل خنک کاری دچار مشکل نشود. دمای آب ورودی نباید از $20^{\circ}C$ و دمای آب خروجی از $30^{\circ}C$ گرمتر شود. برای اطمینان از اینکه آب خنک کننده در این محدوده دمایی کار می کند، منبع آب خنک کننده الکتروود بایستی از مدار آب خنک کننده ترانسفورماتور و تریستورها^۲ جدا باشد. همچنین مدارهای جداگانه ای برای الکتروودهای بالایی و پایینی بایستی تعبیه شود.

به منظور جلوگیری از افزایش دمای بیش از حد اجزاء دستگاه جوشکاری، علاوه بر الکتروودها معمولاً در طول فرآیند جوشکاری، برخی از قسمت‌های دیگر نیز با آب خنک می شود مثلاً ترانسفورماتورها یا تریستورها.

خنک کردن ترانسفورماتور جوشکاری باعث کاهش مقاومت داخلی آن و افزایش جریان جوشکاری می شود. در صورت خنک نشدن مناسب این جزء ممکن

¹ - Dress

² - Thyristor

است دستگاه از کار بیفتد. دمای ورودی آب برای خنک کردن این جزء باید حداکثر 18°C باشد. خنک کردن تریستورها باعث افزایش عمر آنها می شود. حداکثر دمای آب ورودی برای این قسمت 30°C می باشد.

در جوشکاری نواری، علاوه بر خنک کردن داخلی اجزاء در مقدار ثانویه دستگاه جوشکاری از طریق پاشش آب، یا غوطه وری خنک کاری بیرونی نیز انجام می شود. اگر اجزاء از این طریق نیز خنک نشوند، سایش الکترودها و اعوجاج^۱ قطعه کار ممکن است زیاد شود. برای فولاد های معمولی، محلول بوراکس^۲ ۵ درصد برای حداقل نمودن خوردگی^۳ معمولاً استفاده می شود.

۲-۶- اثر شرایط سطحی

شرایط سطحی قطعات بر میزان حرارت تولید شده تاثیر می گذارد. زیرا مقاومت تماسی تحت تاثیر اکسیدها، آلودگی ها و چربی ها و سایر مواد زائد است که روی سطوح قرار دارند. هنگامیکه سطوح جوش تمیز باشند، بیشترین یکنواختی خواص در جوش حاصل خواهد شد. جوشکاری قطعاتی با پوششهای غیریکنواخت اکسیدی یا آلودگی های دیگر باعث ایجاد مقاومت در مقاومت تماسی خواهد شد. این امر باعث ایجاد ناسازگاری در گرادیان حرارتی می شود. ناخالصی های سنگی و حجیم روی سطح کار همچنین می تواند بر نوک الکتروود چسبیده و باعث از بین رفتن الکتروود می گردد. روغن و گیریس که برای حذف آلودگی ها استفاده می شوند در تخریب الکتروودها شرکت می کنند.

همچنین آلودگی های سطحی اگر در فلز جوش محبوس شوند ممکن است به عنوان یک عیب باعث تضعیف خواص متالورژیکی جوش شوند.

1 - Distortion

2 - Borax

3 - Corrosion

۲-۷- اثر ترکیب شیمیایی فلز

مقاومت الکتریکی فلز مستقیماً بر روی مقدار گرم شدن در طول جوشکاری اثرگذار است. در فلزاتی با هدایت الکتریکی بالا مانند مس و نقره حرارت اندکی حتی در دانسیته جریان بالا تولید می شود.

این حرارت اندک تولید شده نیز به سرعت در قطعه و الکترودها پخش می شود. ترکیب شیمیایی یک فلز گرمای ویژه، دمای ذوب، گرمای نهان ذوب و هدایت حرارتی آن را مشخص می کند. این خواص مقدار حرارت مورد نیاز برای ذوب فلز و ایجاد جوش را معین می سازد. اگر چه مقدار حرارت مورد نیاز برای رساندن جرم مشخصی از فلزات تجاری به نقطه ذوبشان خیلی نزدیک به هم است. به عنوان مثال فولاد زنگ نزن و آلومینیم با وجود اینکه نقطه ذوبشان خیلی با هم اختلاف دارد ولی برای رسیدن به دمای ذوب به مقادیر گرمای (ژول بر گرم) تقریباً مساوی نیاز دارند. از طرف دیگر مشخصات جوشکاری نقطه ای آنها خیلی با هم متفاوت است. به عنوان یک قانون کلی می توان گفت خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی خرده خواص غالب می باشد. هدایت (حرارتی، الکتریکی) آلومینیم تقریباً ده برابر بزرگتر از هدایت الکتریکی و حرارتی فولاد زنگ نزن است. بنابراین جریان مورد نیاز برای آلومینیم بایستی خیلی بیشتر از فولاد زنگ نزن باشد.

همچنین برخی آلیاژها ممکن است خاصیت سختی پذیری داشته باشند که در جوشکاری آنها باید دقتی شود که احیاناً اطراف منطقه جوش ک سریع سرد می شوند ترد و شکننده نشوند و اگر نیاز شد عملیات حرارتی آنیل کردن بر روی آنها انجام شود. همچنین می دانید که ورق های کم کربن که با فلزات مقاوم در برابر خوردگی یا آلیاژهای آنها (مثل روی، آلومینیم، قلع و قلع - روی) پوشش داده می شوند. بطور وسیعی در صنعت جوشکاری نقطه ای می شوند. جوشکاری نقطه ای فولادهای با پوشش قلع - سرب در حجم وسیعی برای تولید آگزوزهای خودرو

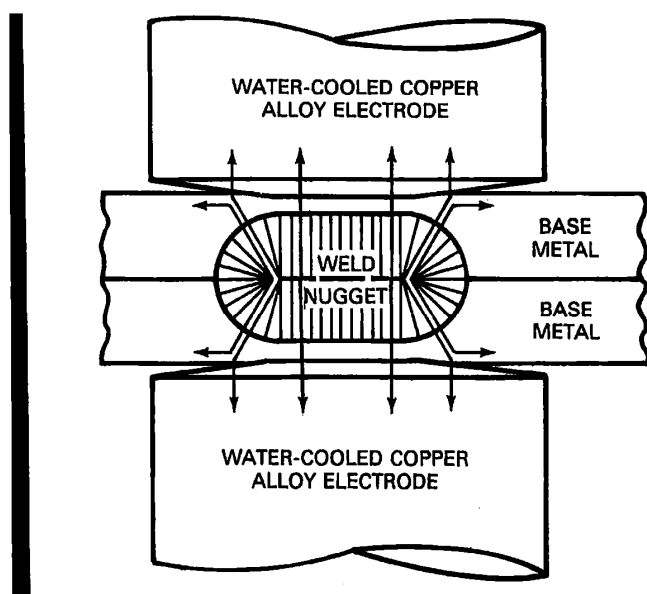
کاربرد دارد. در جوشکاری این نوع فولادها ابتدا باید فیلمهای سطحی و لایه های اکسیدی شکسته شود. برخی از این پوشش ها یا نقطه ذوب پایین دارند یا هدایت حرارتی الکتریکی بالا و یا با الکترودها آلیاژ شده که هر کدام از این عوامل می توانند یکسری مشکلات ویژه ای را به وجود آورند که برای جلوگیری از آن، باید اقدامات خاصی اندیشیده شود. در فصل چهارم در مورد شرایط جوشکاری برخی فولاد های پوشش دار مطالبی ارائه شده است.

فلزات غیر آهنی نظیر آلومینیم، منیزیم، مس، روی و قلع و برخی آلیاژهای آنها را می توان جوشکاری نقطه ای نمود ولی برای انجام جوشکاری آنها یکسری پارامترهای خاصی باید مدنظر باشد.

۲-۸- پراکنندگی حرارت

همانطور که در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است، در طول جوشکاری حرارت از طریق هدایت به قطعه کار و الکترودها منتقل می شود. این انتقال حرارت در طول اعمال جریان و پس از آن تا زمانی که جوش تا دمای محیط خنک شود ادامه می یابد. و انتقال حرارت را می توان به دو مرحله تقسیم نمود: (۱) در طول زمان اعمال جریان (۲) بعد از قطع جریان.

مقدار انتقال حرارت در مرحله اول بستگی به ترکیب شیمیایی و جرم قطعه کارها، زمان جوشکاری و ابزار خنک کننده خارجی دارد. ترکیب شیمیایی و جرم قطعه کار را می توان از طریق طراحی پیش بینی نمود. خنک کردن خارجی بستگی به سیکل جوشکاری و ابزار جوشکاری دارد.



شکل ۲-۱۰: پخش حرارت به فلز پایه و الکترودها در طول جوشکاری مقاومتی

حرارت تولید شده در یک آمپر مشخص با هدایت الکتریکی فلز پایه نسبت عکس دارد. هدایت حرارتی و دمای قطعه سرعت پخش شدن یا هدایت گرما از منطقه جوش را تعیین می کند. در بیشتر موارد هدایت حرارتی و الکتریکی یک آلیاژ خاص مشابه است. فلزاتی با هدایت حرارتی بالا مثل مس و نقره جریان خیلی زیادی نیاز دارند تا بتوانند جوشی تشکیل دهند و حرارتی را که به سرعت در فلز پایه و الکترودها تلف می شوند جبران کنند. جوشکاری مقاومتی این فلزات خیلی مشکل است.

اگر بعد از قطع جریان، الکترودها در تماس با قطعه کار باقی بمانند، خیلی سریع دکه جوش را خنک خواهند کرد. با افزایش زمان جوشکاری سرعت پخش حرارت به فلز پایه کاهش می یابد زیرا حجم زیادی از فلز پایه گرم می شود و این مساله باعث می شود گرادیان دمایی بین فلز پایه و منطقه جوش کاهش یابد. معمولا برای ورق های ضخیم زمانهای جوشکاری طولانی بوده. بنابراین سرعت سرد شدن آهسته تر از ورقهای نازک و زمانهای جوشکاری کوتاه است.

اگر الکترودها بلافاصله بعد از قطع جریان جوشکاری برداشته شوند، ممکن است مشکلاتی بوجود آید. در ورق های نازک این امر ممکن است سبب نوعی تاب برداشتن^۱ شود. در ورقهای ضخیم زمان خاصی نیاز است تا دکمه بزرگ جوش که تازه بوجود آمده تحت اعمال فشار خنک شده و منجمد شود. بنابراین در این ورق ها بهتر است که الکترودها در تماس با کار باشد تا زمانی که دمای جوش به حدی برسد که جوش ایجاد شده استحکام کافی برای تحمل هر بار اعمالی را داشته باشد. برخلاف این، در جوشکاری نواری، به علت اینکه الکترودها به طور مداوم می چرخند، زمان نگهداشتن کوتاه است. بنابراین ضروری است که آب بصورت پاششی قطعه کار را خنک کند تا گرما با سرعت زیادی از بین برود. در برخی موارد حتی عملیات جوشکاری را کاملاً زیر آب انجام می دهند. البته خنک کردن جوش بصورت سریع در همه جا مناسب نیست. مثلاً در مورد فلزات حساس به ترد شدن در اثر کوئنچ کردن، معمولاً اجازه می دهند که گرما بصورت تشعشع از درون فلز دفع شود و فلز به آرامی سرد شود.

۲-۹- تعادل حرارتی

تعادل حرارتی هنگامی رخ می دهد که عمق ذوب (نفوذ) جوش در دو قطعه یکسان باشد. در اکثر فرآیندهای جوشکاری نقطه ای و نواری فرآیند به جوشکاری ورق هایی با ضخامت مساوی و با استفاده از الکترودهایی با شکل و اندازه یکسان محدود است. تعادل حرارتی در این موارد بصورت خود به خود برقرار می باشد، اگر چه در برخی موارد هم شاهد هستیم که گرمای تولیدی در قطعات غیرمتعادل است. تعادل حرارتی تحت تاثیر فاکتورهای زیر است.

(۱) هدایت حرارتی و الکتریکی فلزاتی که باید به هم جوشکاری شوند.

(۲) هندسه نسبی قطعات در اتصال

^۱ - Warp age

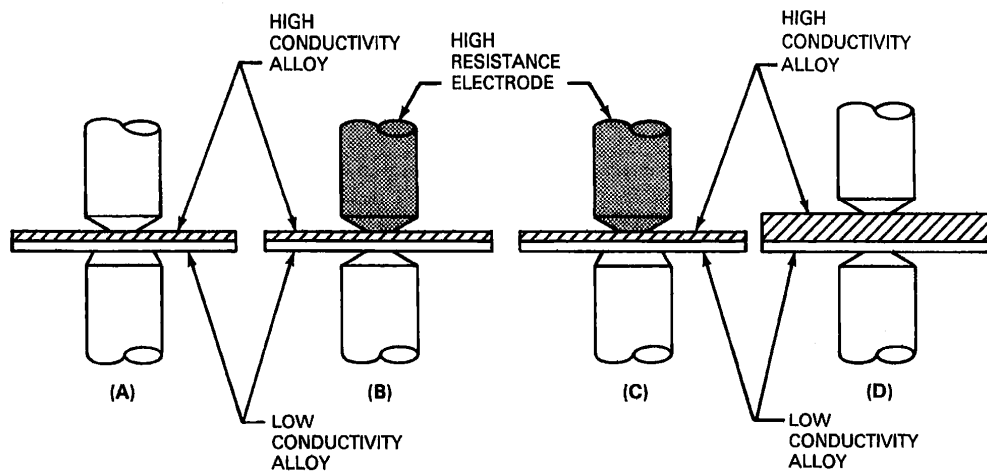
(۳) هدایت حرارتی و الکتریکی الکترودها

(۴) هندسه الکترودها

در جوشکاری قطعاتی که از نظر ترکیب شیمیایی یا ضخامت و یا هر دو اختلاف قابل توجهی دارند، گرم شدن غیرمتعادل خواهد شد. عدم تعادل حرارت را می توان از طریق راه های مختلفی مانند طراحی مناسب قطعه کارها و الکترودها، انتخاب جنس مناسب الکتروود یا محل زائده (در مورد جوشکاری زائده ای) حداقل نمود. همچنین تعادل حرارتی را می توان با استفاده از کوتاه کردن زمان جوشکاری یا کم کردن جریان ایجاد نموده به شرط اینکه جوش قابل قبولی حاصل شود.

همانطور که در شکل (۲-۱۱) نمایش داده شده است، در جوشکاری نقطه ای استفاده از الکترودهایی با اندازه ها و اشکال مختلف یا ترکیب شیمیایی متفاوت می توان مشکل عدم تعادل حرارتی را کاهش داد. در شکل (۲-۱۱-A) یک الکتروود با سطح تماس کوچکتر بر روی فلزی که هدایت الکتریکی بالاتری دارد قرار داده شده است. سطح تماس کمتر، چگالی جراین را در فلز هادی تر افزایش می دهد و گرمای کمتری از منطقه اتصال از طریق این فلز منتقل می شود و منطق مذاب از فلز با هدایت کمتر به فلزی با هدایت الکتریکی بیشتر منتقل خواهد شد. پیشنهاد دیگر استفاده از الکترودهای با مقاومت بالا برای فلز هادی تر است تا حرارت در آنها تلف شود (شکل B). شکل C ترکیبی از حالت های A و B می باشد.

تعادل حرارتی بهتر وقتی فراهم می شود که ضخامت فلز هادی تر را افزایش دهیم، همانطور که در شکل D نمایش داده شده است.



- (A) ELECTRODE WITH SMALLER FACE AREA AGAINST HIGH-CONDUCTIVITY ALLOY
 (B) HIGH-ELECTRICAL RESISTANCE ELECTRODE AGAINST HIGH-CONDUCTIVITY ALLOY
 (C) SAME AS B. WITH ADDITION OF LARGER ELECTRODE FACE AGAINST LOW-CONDUCTIVITY MATERIAL
 (D) INCREASE THICKNESS OF HIGH-CONDUCTIVITY WORKPIECE

شکل ۲-۱۱: روشهای افزایش تعادل حرارتی در جوشکاری مقاومتی فلزاتی با هدایت الکتریکی متفاوت

جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های مشابه که ضخامتشان متفاوت است نیز مشکل دارد. قطعه ضخیم تر مقاومت الکتریکی بیشتر (هدایت الکتریکی کمتری) از ورق نازکتر نشان می دهد. در نتیجه نفوذ عمیق تر در قطعه ضخیم تر بوجود می آید. تعادل حرارتی را می توان با کاهش دانسیته جریان در ورق ضخیم تر (با استفاده از الکترودی با قطر بزرگتر) و یا از طریق کاهش اتلاف حرارت در ورق نازکتر یا ترکیبی از این دو حالت بهبود بخشید. استفاده از جریان چند پالسی یا pulsation نیز می تواند در این حالت تعادل حرارتی را بهبود ببخشد.

در جوشکاری نواری فلزات غیرمشابه یا ضخامت های متفاوت همان مشکلاتی که در مورد عدم تعادل حرارتی جوشکاری نقطه ای ذکر شد، ممکن است پیش بیاید. روش هایی که برای ایجاد تعادل حرارتی استفاده می شوند نیز مشابه روشهایی است که ذکر شد. بر روی قطعاتی که نیاز است دانسیته جریان کمتر یا خنک کاری سریعتری اعمال شود. سطح تماس بین کار و الکتروود را می توان از

طریق افزایش قطر یا عرض الکتروود غلطکی افزایش داد یا می توان جنس الکتروود را تغییر داد.

در جوشکاری زائده ای نیز بحث تعادل حرارتی حائز اهمیت است. مثلاً هنگامیکه می خواهیم یک قطعه حجیم فولادی را به یک ورق نازک جوشکاری زائده ای نماییم، اگر زائده روی ورق نازک قرار بگیرد، زائده به طور موثر و کافی نمی تواند نقطه ای را در قطعه حجیم گرم کند و ذوب نماید. و اگر زائده روی قطعه قرار گیرد، الکتروودهای مسی که با آب خنک می شوند، اجازه نخواهند داد ورق نازک به قدر کافی گرم شود. در این شرایط یک الکتروود با مواد سخت که هدایت الکتریکی کمی دارد در پشت ورق نازک قرار می گیرد و جایگزین الکتروود مسی می شود تا بتوان جوشکاری را با موفقیت انجام داد.

۲-۱۰- طراحی اتصال

در جوشکاری مقاومتی نقطه ای اتصال از نوع رویهم^۱ می باشد. فاکتورهایی که هنگام طراحی جوش نقطه ای باید در نظر گرفت عبارتند از:

- ۱- فاصله لبه ها^۲ - رویهم افتادگی اتصال^۳ - تطبیق ورق ها^۴ - حاصله جوش
- ۵- دسترسی به تجهیزات مورد نیاز برای ایجاد اتصال^۴ - اثرات سطحی^۵ - استحکام جوش

(۱) فاصله لبه ها: فاصله مرکز دکمه جوش تا لبه ورق است. به منظور جلوگیری از پاشش مذاب به بیرون باید این فاصله به قدر کافی باشد. اگر جوش نقطه ای خیلی نزدیک به لبه باشد باعث گرم شدن شدید لبه و احیاناً تخریب آن و یا بیرون افتادن قسمتی از دکمه جوش از روی ورق می شود. در این حالت جوش

¹ - Over lap

² - Edge distance

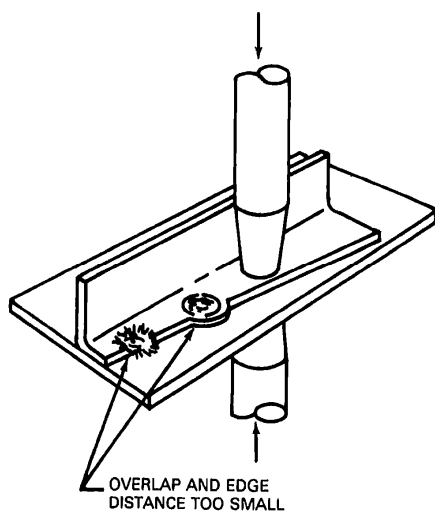
³ - Fit - up

⁴ - Joint Accessibility

⁵ - Surface marking

از نظر ظاهری نامناسب است. استحکام کافی ندارد و ممکن است الکترودها نیز در کار فرو بروند و حداقل فاصله لبه مورد نیاز تابعی از ترکیب شیمیایی و استحکام فلز پایه، ضخامت مقطع، شکل نوک الکتورد و سیکل جوشکاری است.

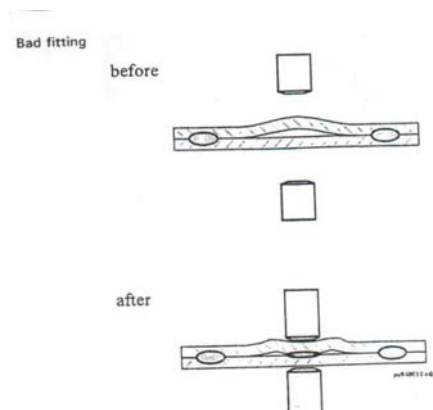
۲) رویهم افتادگی اتصال: حداقل رویهم افتادگی مجاز دو برابر حداقل فاصله لبه مجاز است. باید این فاصله نیز طوری باشد که از پاشش مذاب به بیرون و گرم شدن زیاد لبه ها جلوگیری شود. در شکل (۲-۱۲) اثر فاصله لبه و روی هم افتادن نامناسب نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۲: اثر فاصله لبه و روی هم افتادن نامناسب

۳) تطبیق ورق ها: ورق هایی که باید جوشکاری شوند، بایستی خیلی نزدیک به هم باشند و فاصله ای بین آنها نباشد. تطبیق نامناسب ورق ها سبب ایجاد پاشش و کاهش شدید استحکام می شود. در شکل (۲-۱۳) یک تطبیق نامناسب از ورق ها و جوش حاصل از آن نشان داده شده است. مطابق شکل علت امر این است که در این حالت نیروی موثر الکتروود بسیار اندک است و چگالی جریان بسیار اندک عبور می کند. برای غلبه بر این مشکل می توان نیروی الکتروود را افزایش داد (حداکثر در حدود ۳۰٪) ولی با قبول این ریسک که در نقاط با تطابق نامناسب ممکن است که باز هم شاهد ذوب ناقص باشیم. همچنین باید توجه کرد که

اگر از نیروی جوشکاری برای از بین بردن فاصله^۱ استفاده شود. در حقیقت نیروی موثر جوشکاری کاهش خواهد یافت که این مساله می تواند باعث کاهش استحکام جوش شود.



شکل ۲-۱۳: تطبیق نامناسب ورق در جوشکاری مقاومتی نقطه ای و جوش حاصل از آن

۴) فاصله جوش ها: همانطور که در قسمت (۲-۲) گفته شد، اگر چند نقطه جوش در کنار هم وجود داشته باشد، در ایجاد نقطه جوش جدید مقداری از جریان جوشکاری از طریق جوش های مجاور منحرف می شود که این مساله بایستی هنگام تعیین فاصله بین جوشهای نقطه ای در نظر گرفته شود و در تنظیم دستگاه جوشکاری اعمال گردد.

تقسیم جریان به طور عمده بستگی به مقاومت الکتریکی دو مسیر دارد. یکی مسیر جوشهای مجاور و دیگری عرض فصل مشترک ورق ها. اگر طول مسیر تا جوش مجاور نسبت به ضخامت اتصال به قدر کافی بزرگ باشد، مقاومت الکتریکی آن در مقایسه با مقاومت الکتریکی اتصال زیاد خواهد شد و اثر جریان انحرافی حداقل می شود.

حداقل فاصله بین نقاط جوش بستگی به هدایت الکتریکی و ضخامت فلز پایه، قطر دکمه جوش و تمیزی سطوحی که روی هم قرار گرفته اند دارد. به عنوان

^۱ - Gap7

مثال فلزاتی که هدایت الکتریکی بالاتر یا مقاطع ضخیم تری دارند، نیازمند فاصله های بیشتری بین نقاط جوش هستند. هنگامیکه اتصال سه یا بیشتر ورق مطرح باشد، حداقل فاصله بین نقاط افزایش می یابد.

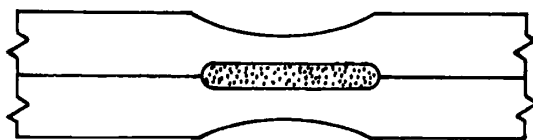
گاهی اوقات برای جبران جریانهای انحرافی، جریان جوشکاری را مقداری بالاتر از مقادیر معمولش قرار می دهند؛ در این حالت باید توجه کرد که هنگام ایجاد اولین نقطه جوش به سبب اینکه جریان انحرافی وجود ندارد؛ گرمای ورودی زیادی به محل اتصال اعمال می شود که ممکن است سبب پاشش مذاب شود. برای اجتناب از این مشکل، می توان با استفاده از تایمر یا کنترل جریان گرمای ورودی کمتری را در جوش اول بکار برد.

۵) دسترسی به تجهیزات مورد نیاز برای ایجاد اتصال: در طراحی اتصال بایستی اندازه و شکل الکترودها و نگهدارنده های الکترودها^۱ و نوع تجهیزات جوشکاری که بصورت تجاری در دسترس هستند را در نظر گرفت و با توجه به تجهیزات در دسترس، طراحی را انجام داد.

۶) اثرات سطحی: اثر سطحی که همان فرورفتگی قطعه در نقطه جوشکاری شده است در اثر حرارت جوشکاری و فرو رفتن الکترودها درون سطوح حاصل می شود. هنگامیکه جریان جوشکاری برقرار می شود، قطعه در برابر حرارت موضعی تولید شده مقاومت کرده و تمایل دارد که در همه جهات منبسط شود. به دلیل فشار اعمال شده از طریق الکترودها، انبساط به صفحه (سطح) ورق ها و عمود بر الکترودها محدود می شود. هنگامیکه جوش در حال خنک شده است، انقباض که تقریباً در جهت عمود بر الکترودها باعث تولید سطوح مقعر یا اثرات سطحی در محل الکترودها می شود. شکل (۲-۱۴) این اثر را نشان

¹ - Holder

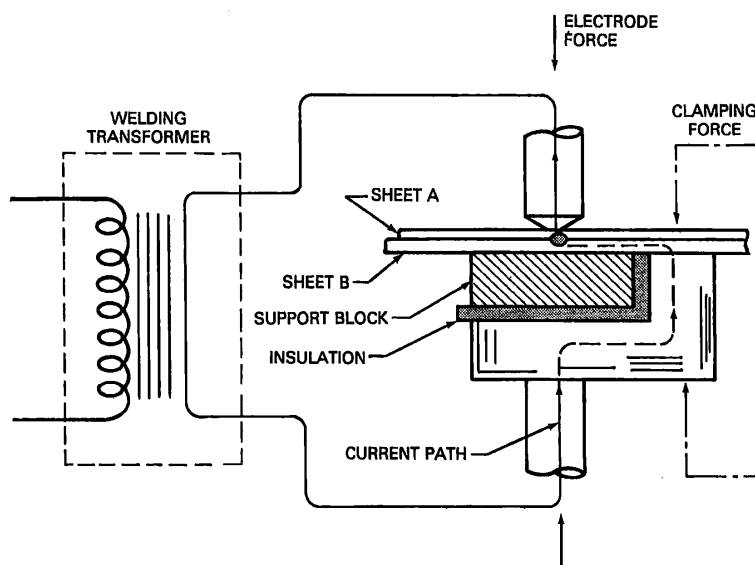
می دهد. این انقباض را نباید با نفوذ اضافی الکتروود درون قطعه کار که به دلیل انتخاب نادرست متغیرهای فرآیند می باشد، اشتباه گرفت.



شکل ۲-۱۴: اثرات سطحی جوشکاری نقطه ای ممکن است دور تعقر جوش بوجود آید.

این انقباض به ندرت از هزارم اینچ تجاوز می کند. یک برآمدگی دایره ای هم بعد از برخی از عملیات نهایی تولید، مانند رنگ زدن، این اثرات ممکن است خیلی بیشتر به چشم بیایند. حذف کامل این اثرات مشکل است. اما می توان با تکنیکهایی آن را کاهش داد یا از محل دید به پشت کار منتقل کرد. به عنوان مثال، می توان با کمترین زمان ممکن برای جوشکاری، عمق نوب درون ورق ها را کاهش داد. روش های گوناگونی برای حداقل نمودن این اثرات بکار می رود. متداولترین روش استفاده از الکترودهایی با نوک بزرگ و مسطح در ظرفی از قطعه کار است که در معرض دید قرار دارد. این الکتروود بایستی از آلیاژهای سخت مسی ساخته شوند تا در مقابل سایش مقاوم باشد. روش دیگر استفاده از روش جوشکاری غیرمستقیم است که در قسمت (۱-۲) به آن اشاره ای شد و در شکل (۲-۱۵) نیز نمونه ای از آن نمایش داده شده است.

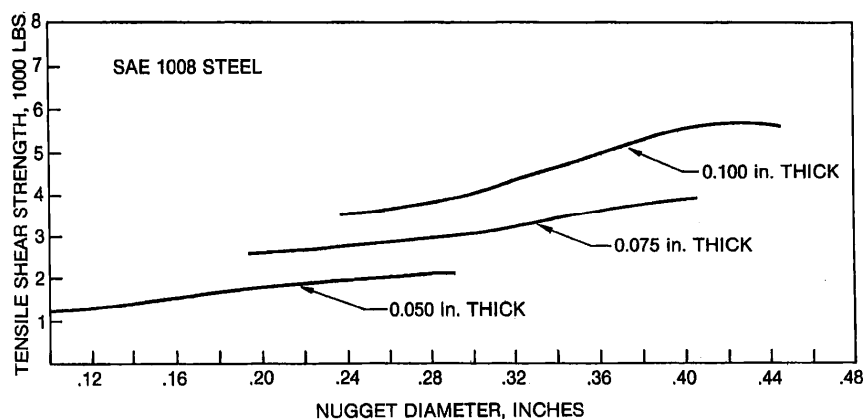
برخی عوامل دیگر مانند برخورد تصادفی الکترودها یا نگهدارنده ها به قطعه کار، لغزیدن، انحراف یا خم شدن اجزاء جوشکاری نیز می تواند باعث ایجاد اثرات سطحی در روی کار شوند که ناخواسته می باشند.



شکل ۲-۱۵: استفاده از تکنیک جوشکاری غیرمستقیم برای حداقل کردن اثرات سطحی نگری یک

طرف کار

۷) استحکام اتصال: استحکام اتصال جوش نقطه ای از طریق آزمایشهایی خاصی تعیین می شود که در فصل ۵ در مورد آن توضیح داده خواهد شد. در آزمایش کشش معمولاً جوشهایی با استحکام پایینی از دکمه جوش شکسته می وشدند ولی در جوشهای با استحکام بالا شکستگی (پارگی) در فلز پایه رخ می دهد. برای اینکه شکست از فلز پایه شروع شود، یک مقدار حداقلی برای قطر دکمه جوش نیاز است که برای هر نوع فلز پایه، شرایط سطحی و نوع پوشش، این حداقل، مقدار مشخصی است. شکل (۲-۱۶) نشان می دهد که هنگامیکه اندازه دکمه جوش در فولادهای کم کربن زیاد شود، افزایش اندکی در استحکام جوش حاصل می شود.



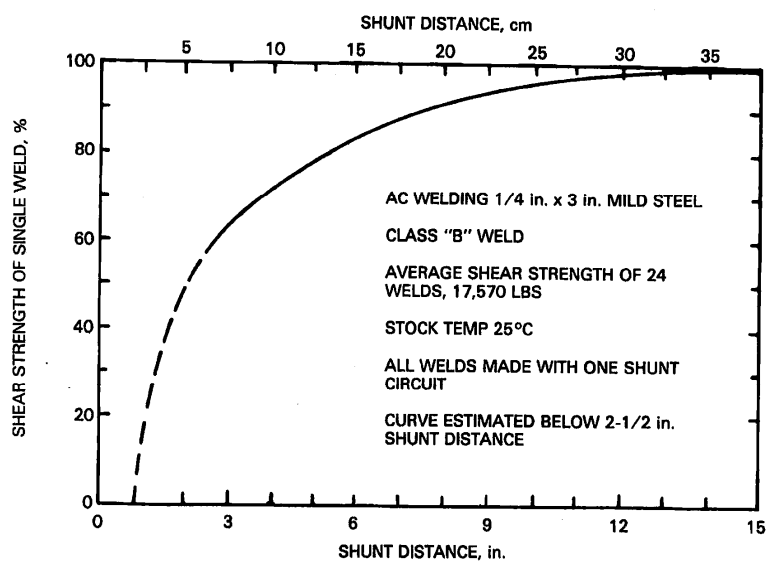
شکل ۲-۱۶: اثر اندازه دکمه جوش و ضخامت ورق بر روی استحکام جوشی کششی، شکست یا پارگی در فلز پایه اتفاق افتاده است.

و استحکام جوشهای چندتایی بستگی به ضخامت فلز، فاصله بین نقاط و مدل جوش دارد. به دلیل انحراف جریان به جوشهای قبلی، فاصله بین نقطه جوش ها ممکن است استحکام اتصال را تغییر دهند. هنگامیکه فاصله بین جوشهای نقطه ای کاهش می یابد، استحکام اتصال نیز ممکن است کم شود.

شکل (۲-۱۷) اثر فاصله نقاط را بر استحکام برشی جوش های نقطه ای نشان می دهد. این اطلاعات از جوشکاری نوارهای فولادی نرم^۱ به ضخامت ۶/۳ میلیمتر و عرض ۷۶ میلیمتر حاصل شده است. همه جوشها با یک جریان انحرافی انجام شده است. استحکام متوسط بیست و چهار نقطه جوش ۸۰۰۰ کیلوگرم بوده است.

برای بدست آوردن استحکام مناسب بایستی فاصله بین جوشها مناسب انتخاب شود تا اثرات جریان انحرافی حداقل شود.

^۱ - Mild Steel



شکل ۲-۱۷: اثر جریان انحرافی (فاصله نقاط) بر استحکام برشی کششی اتصال