

فصل اول

فرآیندهای جوشکاری مقاومتی

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	۱-۱- مقدمه
۱	۱-۲- جوشکاری مقاومتی نقطه ای
۱۱	۱-۳- جوشکاری مقاومتی نواری
۱۵	۱-۴- جوشکاری زائده ای
۱۸	۱-۵- جوشکاری فرکانس بالا
۲۱	۱-۶- جوشکاری جرقه ای
۲۴	۱-۷- جوشکاری سر به سر
۲۶	۱-۸- جوشکاری ضربتی
۲۸	۱-۹- لحیم کاری سخت و نرم مقاومتی

در این فصل در مورد فرآیندهای مختلف جوشکاری مقاومتی و اصول کارکرد آنها و همچنین لحیم کاری نرم و سخت مقاومتی^۱ مباحثی به اختصار ارائه خواهد شد تا نمایی کلی از فرآیندهای مختلف در ذهن خواننده مجسم گردد.

در فرآیندهای جوشکاری مقاومتی، اتصال دو سطح توسط حرارت و فشار توأم انجام می گیرد. فلزات به دلیل مقاومت الکتریکی در اثر عبور جریان الکتریکی گرم شده و حتی به حالت ذوب نیز می رسند. اعمال جریان الکتریکی با چگالی زیاد در زمانهای کوتاه باعث به حالت خمیری در آمدن (قبل از ذوب) قطعه مورد جوشکاری می گردد. و اعمال نیروی فشار در زمانهای قبل و حین عبور جریان وجود یک مدار الکتریکی پیوسته را تضمین نموده و در زمان گرم شدن قطعه باعث فورج شدن محل جوشکاری می شود این فشار بعد از قطع جریان برق هم ادامه داشته و به فورج شدن و سپس خنک شدن محل جوشکاری کمک می کند.

دمای بیشینه ای که در این فرآیندها قابل دسترسی است معمولاً بالاتر از نقطه ذوب فلز پایه^۲ می باشد.

ادامه بحث را بر روی اصول فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای^۳ متمرکز نموده بقیه فرآیندها نیز اصولی تقریباً مشابه با این فرایند را دارند، با این تفاوت که محدود تغییراتی در شکل تجهیزات، متغیرها و تکنیک های فرایند اعمال گردیده تا متناسب با کاربرد مورد نظر قابل استفاده گردد.

۲-۱- جوشکاری مقاومتی نقطه ای:

جوشکاری مقاومتی نقطه ای فرآیندی است که در آن سطوحی که بر روی هم قرار گرفته اند از طریق حرارت تولید شده در یک یا چند نقطه به هم متصل می شوند. گرمای تولید شده در این نقاط، حاصل از فلوی جریان الکتریکی است که بین

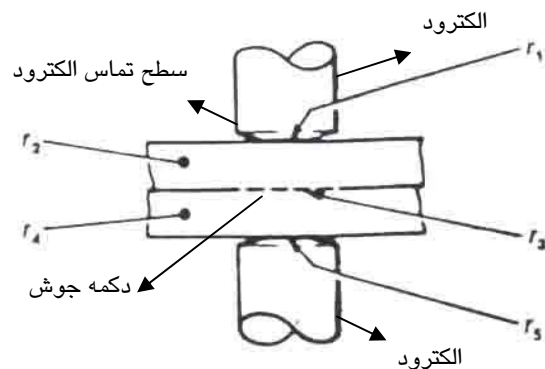
^۱ - Resistance soldering and Brazing

^۲ - Base metal

^۳ - Resistance spot welding (RSW)

الکترودها برقرار می شود و از میان قطعات نیز عبور می کند. ضمن اینکه الکترودها در این وضعیت با اعمال فشاری خاص، سطوح را به نزدیک می کنند.

شکل (۱-۱) شمای کلی از این فرآیند را نشان می دهد.



شکل ۱-۱ شمائی کلی از فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای

همانطور که گفته شد که فلزات در اثر عبور جریان الکتریکی گرم شده که

طبق قانون ژول حرارت حاصل از معادله (۱-۱) تعیین می شود:

$$Q = KRI^2 t \quad \text{معادله ۱-۱:}$$

که I شدت جریان ، R مقاومت، t زمان و Q حرارت میباشد.

فاکتورهای شدت جریان و زمان از طریق دستگاه جوشکاری قابل کنترل

هستند. اما مقاومت الکتریکی به عواملی مختلفی از جمله جنس و ضخامت، قطعه

کار، فشار بین الکترودها، اندازه و شکل و جنس الکترودها و چگونگی سطح کار

یعنی میزان صافی و تمیزی آن بستگی دارد.

در شکل (۱-۱) شمای کلی از مقاومت‌های مختلفی که در مسیر عبور جریان

قرار دارند نشان داده شده اند. R فرمول ژول (۱-۱) معمولا مجموع مقاومت‌هایی

است که در سیستم داریم:

$$R = \sum r_j \quad \text{معادله ۲-۱:}$$

R_1 و R_5 مقاومت تماس الکترونها با سطح کار^۱ می باشد که مقاومت‌های ناخواسته ای هستند و باعث اتلاف حرارت و نیز چسبیدن الکتروند به روی سطح کار می شوند. جنس الکتروند بر روی این مقاومت اثر می گذارند، همچنین اعمال فشار و تمیزی سطوح باعث کاهش این مقاومت های خواهد شد. توجه به این نکته ضروری به نظر می رسد که با خنک کاری مناسب الکترونها، مقاومت R_1 و R_5 نیز کاهش خواهد یافت. زیرا افزایش دمای یک ماده مقاومت الکتریکی آن را نیز افزایش می دهد.

R_2 و R_4 مقاومت الکتریکی دو قطعه (ورق) است که به دلیل کم بودن مقدار مقاومت الکتریکی فلزات معمولات مقادیری ناچیز نسبت به سایر مقاومت ها دارند.

$$R_2, R_4 = S \frac{L}{S} \quad \text{معادله ۱-۳:}$$

که S بستگی به جنس ورق دارد و L ضخامت ورق است و بالاخره R_3 مقاومت فصل مشترک است که در بین این مقاومتها بیشترین مقدار را داراست زیرا: اولاً با سیستم خنک کننده مستقیماً در تماس نیست و در نتیجه دمای این قسمت افزایش یافته که خود باعث می شود مقاومت نیز افزایش می یابد. ثانیاً چون این مقاومت مربوط به محل اتصال دو قطعه است دارای مقاومتی بالاتری از مقاومت بین قطعات و الکترونها (R_1 و R_5) می باشد.

البته توجه به این نکته ضروری است که در مسیر انتقال جریان از منبع تولید تا الکترونها به طور پیوسته مقاومت‌هایی وجود دارند که باعث ایجاد حرارت و افت جریان می شوند و در محاسبه مقدار جریان مورد نیاز برای جوشکاری باید مورد توجه قرار گیرند.

¹ - Contact resistance

البته با اتخاذ تمهیداتی می توان مقدار حرارت ایجاد شده را کاهش داد یا از افزایش دمای اجزاء انتقال جریان جلوگیری نمود که این مطالب در فصول بعدی به صورت کاملاً مفصل بحث خواهد شد.

دستگاه های جوشکاری مقاومتی شامل دو واحد کلی می باشند: واحد الکتریکی (حرارتی)، واحد فشاری (مکانیکی) و اولی برای بالا بردن درجه حرارت موضع مورد جوش؛ دومی به منظور ایجاد فشار لازم برای اتصال دو قطعه در محل جوش است. نیروهای اعمالی می توانند بصورت دستی، هیدرولیک، پنوماتیک و هیدروپنوماتیک ایجاد شوند. اعمال فشار تا مرحله انجماد ادامه پیدا خواهد کرد. این فشار باعث می شود که لبه ها رویهم قرار گرفته و هوا وارد حوضچه مذاب نشود یا ذوب بیرون نریزد. در مورد دلخواه اعمال فشار و تاثیر آن بر روی کیفیت جوشکاری در فصل بعد مطالبی آورده شده است.

الکترودها در فرآیند های جوشکاری مقاومتی به اشکال گوناگونی ساخته می شوند. الکترودها در این فرآیندها باید جریان الکتریکی را به موضع اتصال هدایت کرده در ضمن وظیفه نگهداری ورق ها به روی هم و ایجاد فشار مورد نظر و تمرکز سریع حرارت در موضع اتصال را دارند.

الکترودها باید دارای ویژگی های زیر باشند:

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

۲- دمای آنیل^۱ بالایی داشته باشند.

۳- ضریب هدایت الکتریکی مناسب داشته باشند.

۴- ضریب هدایت حرارتی بالایی داشته باشند.

الکترودها از مواد و آلیاژهای ویژه ای ساخته می شوند که در مورد آنها در فصل دوم به طور مفصل بحث خواهد شد. همچنین در مورد اشکال مختلف مورد استفاده نیز بحث شده است.

¹ - Annealing Temperature

در هر حال فرآیند جوشکاری نقطه ای، فرآیندی با بالاترین تمرکز حرارتی (حدود ۹۵٪) و کمترین اتلاف انرژی در بین فرآیندهای مختلف جوشکاری می باشد. همچنین مشکل پیچیدگی^۱ قطعه بر اثر حرارت و منطقه متأثر از حرارت^۲ (HAZ) در این فرآیند کمتر به چشم می خورد. همچنین محدودیت موقعیت^۳ جوشکاری وجود ندارد و می توان در موقعیتهای مختلف با دستگاهی متناسب با آن وضعیت عمل جوشکاری را انجام داد.

عدم نیاز به مواد مصرفی، گاز محافظ و فلز پرکننده از جمله مزایای این فرآیند می باشند. همچنین از نظر محیط زیستی نیز این فرآیند کاملاً سالم می باشد. محدودیتهایی نیز در این روش جوشکاری وجود دارد که عبارتند از: برای فلزاتی که هدایت حرارتی و الکتریکی بالایی دارند مشکل است و نیاز به دستگاه های مخصوصی با تمهیداتی خاص است. فلزاتی که در برابر سریع سرد شدن و گرم شدن حساس هستند؛ نیاز به دستگاه مخصوص خواهند داشت و نیز از لحاظ ماکزیم ضخامت محدودیت وجود دارد (ضخامت ۳ تا ۴ میلیمتر). اگر فلزات غیرهمجنس که طبیعتاً مقاومت الکتریکی متفاوت دارند را جوشکاری می نماییم باید توجه داشته باشیم که ناحیه مذاب ترجیحاً به سمت فلزی با مقاومت بیشتر رشد می کند، زیرا در این ناحیه حرارت بیشتری بوجود می آید. برای جلوگیری از این مساله می توان در سمت با مقاومت بیشتر از الکترودی با قطر کمتر و یا از الکتروود با مقاومت بیشتر استفاده کرد.

البته در هنگام جوشکاری فلزت غیرهمجنس باید به این نکته توجه نمود که آلیاژ حاصل از تشکیل حوضچه مذاب دارای چه ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و احیاناً فیزیکی خواهد شد و ریز ساختار آلیاژ تشکیل شده حاوی فازهای ترد نباشد.

^۱ - Distortion

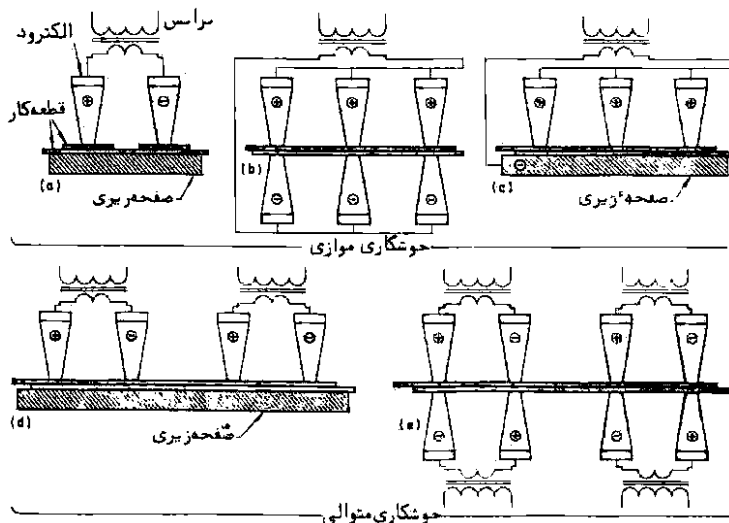
^۲ - Heat Attended zone

^۳ - Position

این روش بصورت وسیعی برای اتصالات ورقهای بدنه خودرو، در صنایع خانگی، تولیدات ساختمانی و در حد محدودتری در صنایع هواپیمایی کاربرد دارند. جالب است بدانید در یک خودرو در حدود ۱۰۰۰۰ نقطه جوش مقاومتی وجود دارد که امروزه توسط سیستمهای مدرن روباتیک و یا کنترل کامپیوتری هوشمند انجام می شود. با کنترل اتوماتیک جریان، زمان و نیروی الکترودها می توان علاوه بر دستیابی به کیفیت بالای محصولات، نرخ تولید را افزایش داده و با بهره گیری از نیروی کار با مهارت کمتر، هزینه این بخش را نیز کاهش داد. بنا به نیاز و شرایط کاری، در مواردی تغییراتی در نحوه جوشکاری نقطه ای صورت میگیرد. هرچند این تغییرات در ماهیت جوشکاری وجود ندارد ولی آشنایی با آنها ضروری به نظر می رسد که به چند نمونه آن در زیر اشاره می شود:

الف) جوش با الکترودهای چندتایی: به دلیل نیاز به حداقل نمودن تعداد ترانسفورماتورها و اندازه دستگاه و کاهش قیمتها، ضروری به نظر می رسد از سیستم هایی استفاده شود که در هر برخورد الکترودها دو یا چندین جوش بر روی قطعه ایجاد شود. این فرآیند نیز بسته به روش تامین انرژی و نحوه قرار گیری و اتصال الکترودها به ترانسفورماتور به چند دسته تقسیم می شود. از دیدگاه تامین انرژی در این فرآیند از دو نوع طرح استفاده می شود. موازی، سری (متوالی)، در سیستم موازی مستقیم از یک ترانسفورماتور استفاده می شود که مدار ثانویه بصورت های مختلف مطابق شکل (۱-۲) می تواند چندین جوش را همزمان انجام دهد. در سیستم سری از تعدادی ترانسفورماتور استفاده می شود که مطابق شکل (۱-۲) با طرح های مختلف می تواند همزمان چندین نقطه جوش را بر روی کار بوجود آورد. مزیت روش دوم آن است که می توان ولتاژ بالایی را در موضع جوش بوجود آورد و یا برای ایجاد ولتاژ معین از ترانسفورماتورهای کوچکتری استفاده کرد. اما در مقابل باید شرایط ترانسفورماتورها و مقاومتهای در

الکترودها و کیفیت سطوح کاملاً یکسان باشد تا خواص جوشهایی که همزمان ایجاد شده مشابه باشد.



شکل ۲-۱: انواع روشهای تامین انرژی در فرآیند جوشکاری مقاومتی با الکترودهای چندتایی

البته علاوه بر تقسیم بندی فوق، در برخی مراجع علمی طبقه بندی های دیگری نیز برای جوشکاری با الکترودهای چندتایی گفته شده که در ادامه به بحث در مورد آن می پردازیم: در برخی منابع در تعریف جوشکاری موازی^۱ به روشی اطلاق شده که در آن دو یا چند روش مستقیم بصورت همزمان و معمولاً در فواصل نزدیک به هم ایجاد می شود که در این روش الکترودهای بالایی به یک طرف ثانویه ترانسفورماتور و الکترودهای پایینی به طرف دیگر همان ترانسفورماتور متصل است (شکل (۲-۱) (b, c))

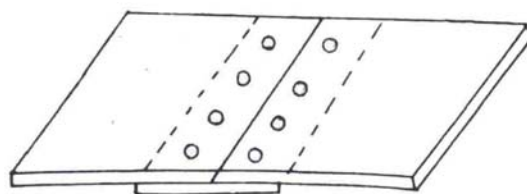
جوش مستقیم^۲ به حالتی گفته می شود که جریان جوشکاری بصورت مستقیم از الکترودها و قطعه کار بین آنها عبور نموده تا یک دکه جوش بوجود آید. در مواقعی که دسترسی به پشت قطعه کار مشکل باشد جوشکاری غیرمستقیم کاربرد دارد (شکل (۲-۱) (a)).

^۱ - Parallel Welding
^۲ - Direct Weld

در جوشکاری push-pull الکترودهایی که دقیقاً بر روی هم در دو سوی قطعات قرار گرفته اند به ترانسفورماتورهای مختلف متصل هستند و قطبیت متضاد با هم دارند (شکل (۲-۱) (e)). گاهی اوقات از این روش با عنوان جوشکاری بالا و پایین^۱ یاد می شود.

(ب) جوش دکمه ای یا دیسکی^۲: در جوشکاری ورق های سنگین و ضخیم نیاز به فشار انرژی الکتریکی زیادی است، با استقرار قطعات کوچک فلزی بین سطح مشترک ورق ها، عبور جریان الکتریکی را موضعی تر کرده و سطح تماس را کاهش می دهند و با ذوب این دکمه ها دو ورق با انرژی الکتریکی و فشار کمتری به یکدیگر متصل می شوند.

(ج) جوش «پل واره»^۳: مطابق شکل (۳-۱) از ورق های اضافی برای بالا بردن استحکام اتصال دو قطعه استفاده می شود.



شکل ۳-۱: جوش پل واره

(د) جوشکاری له کردنی^۴: این روش در تولید شبکه های سیمی نظیر سد یا محافظهای توری لامپهای مختلف و یا اتصال سیم به ورق به میزان فراوان بکار گرفته می شود. سیم ها با طرح لازم بر روی فک ها یا الکترودهایی که بصورت مسطح با شکاف های پیش بینی شده قرار می گیرند و با یک فشار و پایین آوردن الکترودهای الکتریکی از محل تماس سیمهای روی هم قرار داده شده عبور کرده

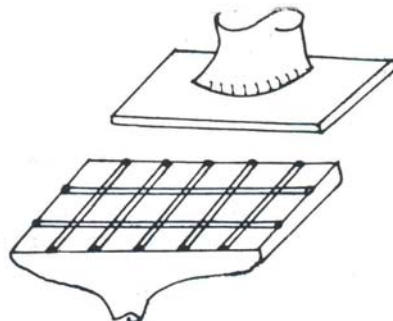
¹ - Over and Under Welding

² - Button or Disc Welding

³ - Bridge Welding

⁴ - Mash Welding

و بر اساس جوش مقاومتی ذوب موضعی در این محل ها بوجود آمده و پس از پایان عبور جریان الکتریکی عمل اتصال انجام می گیرد.



شکل ۱-۴: جوش له کردنی

ه) فرآیند جوشکاری کوک^۱: یکی از الکترودها در این فرآیند طوری طرح شده است که توسط سیستم کنترل شده ای حرکت متناوب رفت و برگشتی (بالا و پایینی) دارد و همزمان با این حرکت صفحه کار نیز شبیه پارچه در زیر چرخ خیاطی حرکت انتقالی افقی می کند. به این ترتیب یک سری جوش نقطه ای بطور متوالی با فاصله معین بین ورق ها ایجاد می شود که شبیه بخیه های دوخته شده در زیر چرخ خیاطی است. می توان فاصله نقطه جوش ها را آنچنان کاهش داد که دکمه های جوشکاری کمی بر روی هم سوار شوند. در این حالت به شدت جریان بیش از حد عادی نیاز است چومن مقداری از جریان الکتریکی از جوش مجاور عبور می کند.

و) جوش مقاومتی نقطه ای - غلتکی^۲: در این روش یک سری جوش نقطه ای مجزا و در یک ردیف از طریق یک یا دو الکتروود دوار در حال چرخش ایجاد می شود. در حین ایجاد این ردیف جوشها، نیروی جوشگری بین نقاط برداشته نمی شود. اصول این فرآیند نیز شبیه نقطه جوش است. شعاع الکترودها طول تماس را تعیین می کند. فاصله بین جوشها بستگی به تنظیم سرعت الکتروود و مدت زمان

^۱ - Stitch Welding

^۲ - Roll- Resistance Spot Welding

قطع جریان دارد. این روش در مقایسه با روش دستی زمان فوق العاده کمتری در جوشکاری نیاز دارد. به دلیل حرکت الکترودها، جوش حاصل در این فرآیند، دارای دکه کشیده شده ای است. البته توجه به این نکته ضروری به نظر می رسد که برخی مراجع علمی این روش را جزء فرایندهای جوشکاری مقاومتی نواری طبقه بندی کرده اند.

۱-۳- جوشکاری مقاومتی نواری^۱:

جوشکاری مقاومتی نواری فرایندی است که در آن مقاومت الکتریکی قطعه کار در برابر عبور جریان الکتریکی باعث ایجاد حرارتی شده که این حرارت با فشار اعمالی ترکیب شده تا یک مسیر جوش را ایجاد کند. در حقیقت درز جوش شامل مجموعه ای از نقطه جوش ها می باشد. در برخی مراجع علمی فرآیند را بصورت زیر طبقه بندی می کنند:

- جوشکاری نقطه ای غلطکی (با فواصل جوشکاری نشده نسبتاً بزرگ بین دکه ها)

- جوشکاری نقطه ای غلطکی تقویت شده^۲ (با فواصل جوشکاری نشده کوچک)

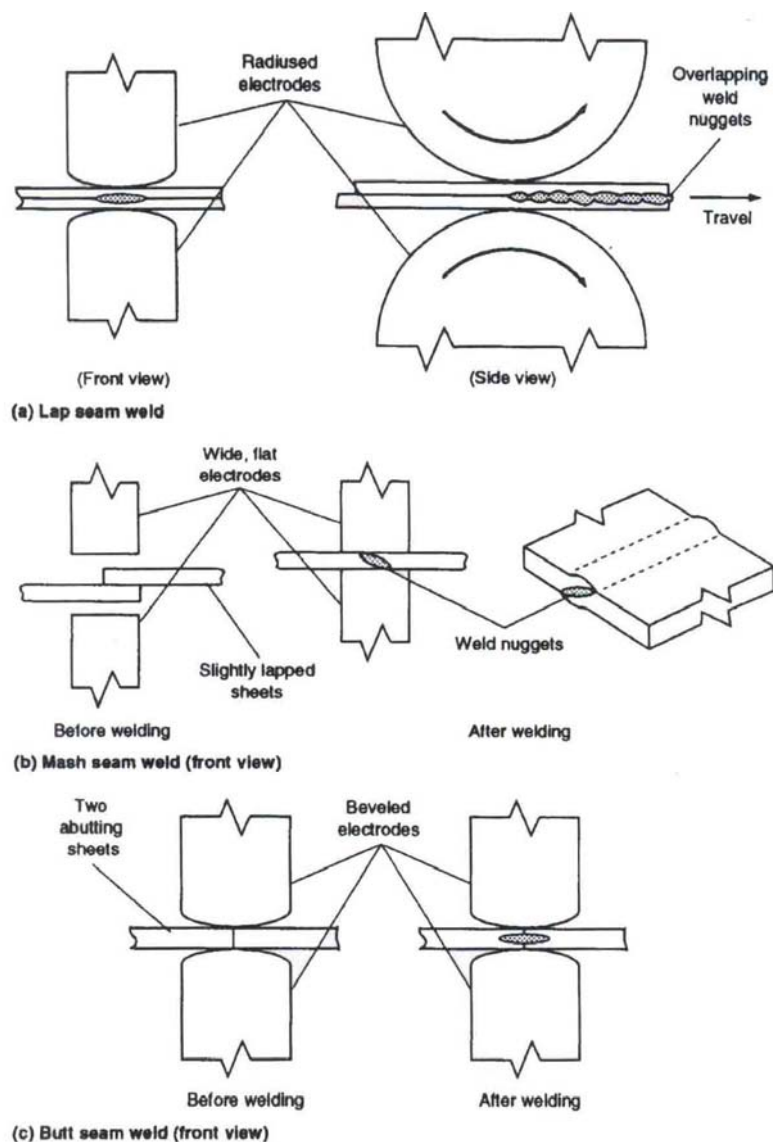
- جوشکاری درزی نشت ناپذیر^۳ (دکه های جوش سوار بر هم)

در این فرآیند اغلب دو الکتروود دایره ای شکل غلطکی برای اعمال جریان، نیرو و خنک کردن فلزکار مورد استفاده قرار می گیرد. اشکال گوناگون قطعه کار / غلطک موجود هستند. (شکل (۱-۵)).

¹ - Seam Resistance Welding

² - Reinforced Roll Spot Welding

³ - Leak-Tight Seam Welding



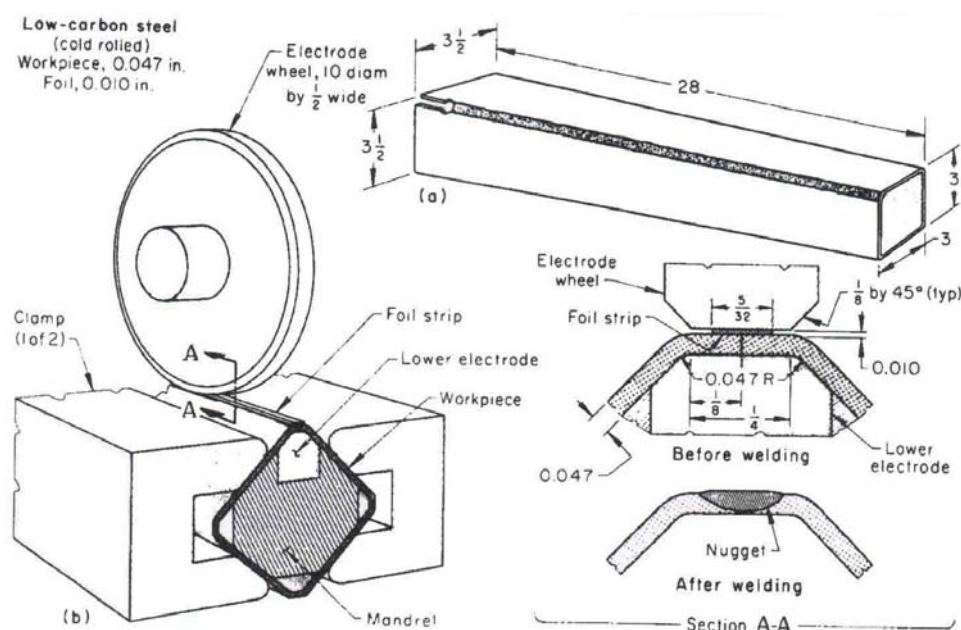
شکل ۱-۵: اشکال گوناگونی از اتصالات حاصل از جوشکاری مقاومتی درزی

هنگامیکه از دو الکترود غلطکی استفاده می شود، یک یا هر دو غلطک ها از طریق اعمال نیروی مستقیم به محور یا از طریق اعمال نیرو به سطح خارجی آنها به حرکت درمی آیند. در این نوع فرآیند می توان از الکترودهایی با اشکال دیگر نیز استفاده نکرد. مثلاً از ترکیب یک الکترود غلطکی و الکترود میله ای مسطح یا از یک سیستم تغذیه سیم درون شیار روی غلطک های استفاده می شود. (اشکال ۱-۶) و (۱-۵)) مزیت سیستم دوم این است که همیشه یک سطح تمیز و مناسب از سیم (که به عنوان الکترود عمل می کند) با قطعه کار در تماس می باشد. در

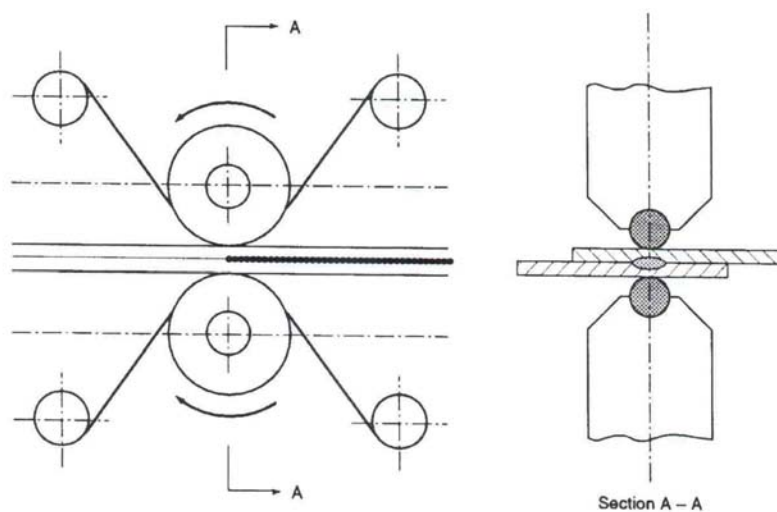
جوشکاری نواری، بدون اینکه نیروی اعمالی الکترودها بر قطعه کار برداشته شود، مجموعه ای از نقطه جوش ها شکل می گیرد. الکترود غلطکی ممکن است در حین فرآیند جوش چرخشی مداوم یا متناوب داشته باشد. سرعت جوشکاری، مقدار جریان، شکل موج جریان، نحوه خنک کردن، و مشخصات الکترود (نیرو، شکل و قطر) باید به دقت انتخاب شوند تا بهترین و بالاترین کیفیت جوش حاصل شود.

اصول کلی که در مورد جوشکاری مقاومتی نقطه ای گفته شد، در مورد

جوشکاری نواری نیز صادق است.



شکل ۶-۱: جوشکاری مقاومتی نواری با استفاده از یک الکترود غلطکی و یک الکترود میله ای

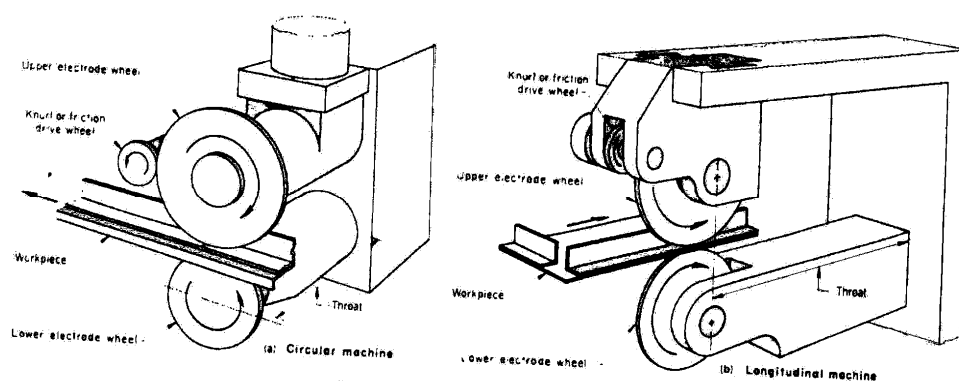


شکل ۷-۱: جوشکاری مقاومتی نواری با استفاده از الکترود سیمی

فرآیند جوشکاری مقاومتی نورای در صنایع خودرو سازی (مثلا ساخت مخزن سوخت، لوله اگزوز، اتصالات سقف) ساخت ظروف استوانه ای شکل و بطریهای فلزی رادیاتور شوفاژ فولادی و ... کاربرد دارد. مزایای این فرآیند در مقایسه با جوشکاری مقاومتی نقطه ای، جوشکاری زائده ای^۱ و جوشکاری لیزر عبارتند از:

- امکان دستیابی به یک اتصال نشت ناپذیر در برابر مایع یا گاز
- عرض درز ممکن است کمتر از قطر جوش نقطه ای شود زیرا امکان تراشیدن^۲ پیوسته الکترودها وجود دارد.
- سرعت بالای جوشکاری و توجیه اقتصادی آن
- در این روش نسبت به روش جوشکاری نقطه ای، فولادهای پوشش دار قابلیت جوشکاری بالاتری دارند، زیرا با اتخاذ تمهیداتی می توان باقیمانده پوششی را که بر روی الکترودها قرار می گیرند حذف نمود.
- نسبت به روش جوشکاری لیزر، در این روش فولادهای پوشش دار قابلیت جوشکاری بالاتری دارند زیرا امکان فرار مواد پوشش به دلیل اعمال فشار بالا در منطقه جوش، حداقل است.
- سختی جوش مقاومتی نواری که با هوا خنک می شود کمتر از سختی جوش حاصل از روش لیزر است.
- اصول دستگاه جوشکاری مقاومتی درزی (نواری) از نظر ترانسفورماتور، سیستم فشار دهنده و غیره شبیه بقیه دستگاه های جوش مقاومتی است. غلطک ها معمولا به چندین روش بر روی دستگاه قرار می گیرند که دو نوع مهم آن در شکل (۸-۱) مشاهده می شود که غلطک ها در نوع اول عمود و در دومی موازی سطح جلو دستگاه هستند.

^۱ - Projection Welding
^۲ - Dressing



شکل ۸-۱: قرار گرفتن غلطک ها در دو حالت برای جوشکاری مقاومتی نورای. a: ماشینی محیطی b: ماشین طولی

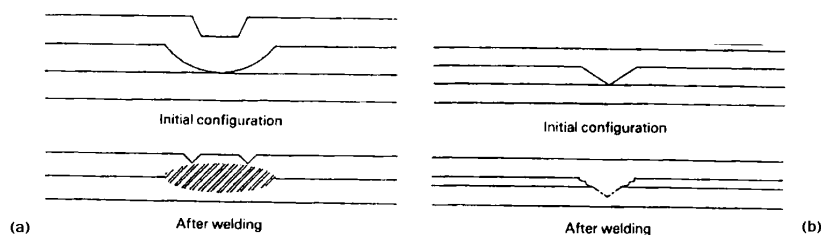
۴-۱- جوشکاری زائده ای^۱:

جوشکاری زائده ای (PW) یک نوع جوشکاری مقاومتی است که در آن فلوی جریان الکتریکی در نقطه تماس متمرکز می شود که بصورت زائده ای موضعی در یک (یا دو) قطعه ای که بایستی جوشکاری شوند ایجاد شده است. هدف از استفاده از این زائده تمرکز حرارت تولید شده در نقطه تماس است. در یک کاربرد خاص، این فرآیند از جریان، نیرو و زمان جوشکاری کمتری نسبت به فرآیندهای مشابه که بدون زائده انجام می شوند، استفاده می کند. ضمن اینکه ایجاد تعداد زیادی نقطه جوش در یک زمان خیلی کوتاه، فرآیند تولید را تسریع می کند. جوشکاری زائده ای از نظر کاربرد به دو گروه تقسیم می شود: جوشکاری زائده ای برجسته شده^۲، جوشکاری زائده ای جامد^۳. این دو فرآیند در شکل (۹-۱) نمایش داده شده اند.

^۱ - Projection Welding

^۲ - Embossed- Projection Welding

^۳ - Solid- Projection Welding



شکل ۹-۱: اشکال مختلف جوشکاری زائده ای. a: جوشکاری زائده ای برجسته شده. b: جوشکاری

زائده ای - جامد

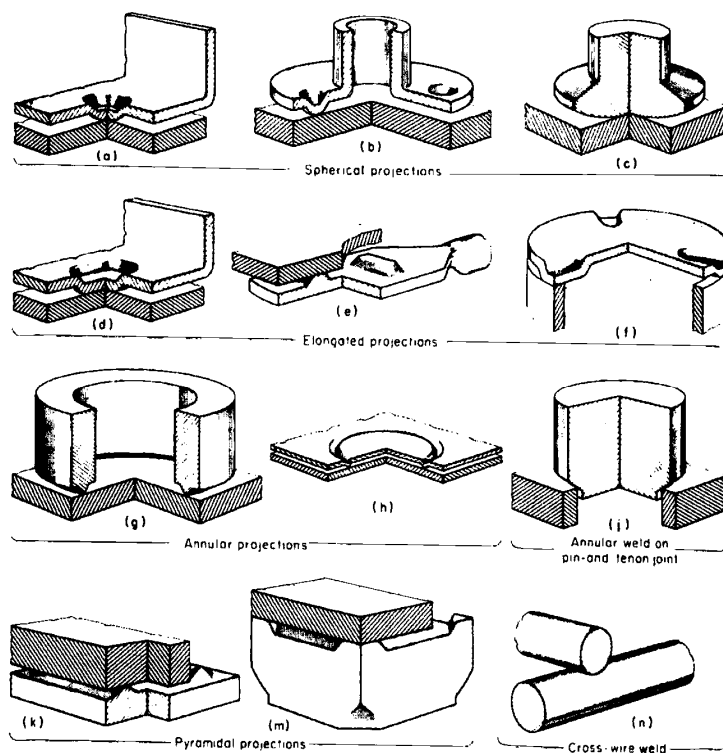
جوشکاری زائده ای برجسته شده، عموماً فرآیند اتصال ورق به ورق است که در آن یک زائده بر روی یکی از ورق ها ایجاد شده است. در جریان جوشکاری حرارت ابتدائی بر روی نقطه تماس و دیواره های زائده متمرکز می شود تا زائده متلاشی شود. در ادامه فرایند بصورت معمول با تشکیل دگمه جوش نوب شده ای کامل می شود. در جوشکاری زائده ای جامد نیاز است زائده بر روی یکی از دو جزء فورج شود. سپس در طول جوشکاری مقاومتی، نقطه تماس و زائده خودش گرم می شوند. در اینجا زائده به راحتی متلاشی نمی شود. بلکه متلاشی شدن از طریق نفوذ^۱ مواد مخالف است. بر خلاف جوشکاری زائده ای برجسته شده، اتصالات حاصل از این روش بیشتر به جوش های حالت جامد شبیه است نه نوبی. اتصال واقعی در حقیقت حاصل از فورج و اتصال نفوذی^۲ می باشد. این فرآیند از این نظر شبیه جوشکاری سر به سر^۳ یا جوشکاری سر به سر حلقه ای می باشد.

مثالهایی از جوشکاری زائده ای در شکل (۱-۱۰) نمایش داده شده اند.

^۱ - Penetration

^۲ - Diffusion Bonding

^۳ - Resistance Butt Welding



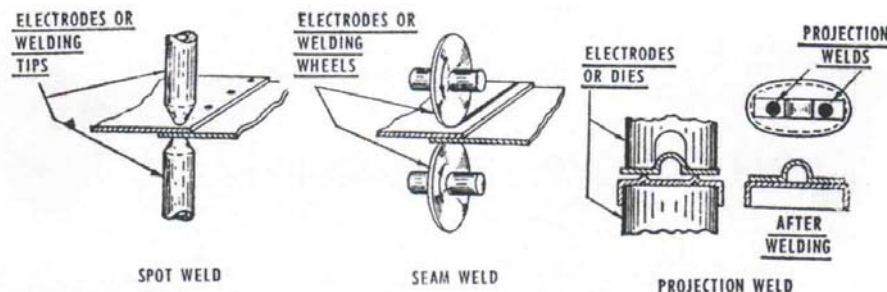
شکل ۱۰-۱: اشکال متنوع جوشکاری زائده ای

این فرآیند برای اتصالات ورق به ورق، جوش سیمهای متقاطع، برای اتصالات حلقوی و جوش مهره ها و پیچ ها بر روی ورق کاربرد دارد. بطور کلی، جوشکاری مقاومتی برای مواردی مناسب است که نسبت ضخامتها کمتر از ۳:۱ باشد، ولی با استفاده از جوشکاری زائده ای این محدودیت در انتخاب ضخامت وجود ندارد.

تفاوت کلی این فرآیند با فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای در شکل الکترودهاست که شبیه فک های پرس است. همچنین فشار و شدت جریان بالاتری نیاز است. در مورد جنس و شکل الکترودهای این فرآیند در فصل بعد به طور مفصل بحث خواهد شد.

شکل (۱۱-۱) فرآیندهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای، نواری و زائده ای را برای مقایسه در کنار هم نشان می دهد. فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه ای و نواری برای جوشکاری ضخامتهای بیشتر از ۰/۰۱ اینچ مناسب است. جوشکاری مقاومتی نقطه ای برای موادی با ضخامت کمتر از ۱/۴ اینچ و جوشکاری مقاومتی

نواری برای مواد با ضخامت کمتر از $\frac{1}{8}$ اینچ مناسب است. جوشکاری مقاومتی زائده ای برای ضخامت های 0.2 اینچ و بالاتر مناسب است.



شکل ۱-۱: مقایسه جوشکاری مقاومتی نقطه ای، نواری و زائده ای

۵-۱: جوشکاری فرکانس بالا^۱:

فرآیندی است که در آن منبع حرارتی برای ذوب سطوح اتصال از طریق جریان متناوب (AC) با فرکانس بالا (HF) تامین می شود. برخلاف جریان مستقیم (DC) یا جریان متناوب فرکانس پایین، جریان فرکانس بالا با چگالی بالایی در طول سطوح (اثر پوسته ای)^۲ جریان یافته و از سطوح موازی مجاور نیز بازگشت می نماید. (اثر نزدیکی^۳). این دو اثر به معنی آن است که گرم شدن و در نتیجه آن ذوب شدن می تواند بصورت کاملاً مشخصی بر روی مناطقی که نیاز است متمرکز شود. جریان فرکانس بالا می تواند از طریق یک سیم پیچ (جوشکاری فرکانس بالای القایی^۴) (HFIW) یا تماس الکتریکی (جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا^۵) (HFRW) تامین شود.

در فرآیند جوشکاری فرکانس بالای القایی، جریان از طریق یک سیم پیچ به قطعه کار (معمولاً لوله یا تیوپ) القاء می شود. و به دلیل اثرات پوسته ای و نزدیکی جریان، فلوی جریان در لبه های ورق در قسمت V شکل و در جهت ضخامت

^۱ - High-Frequency

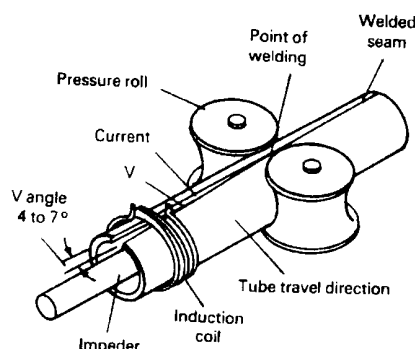
^۲ - Skin Effect

^۳ - Proximity Effect

^۴ - High-Frequency Induction Welding

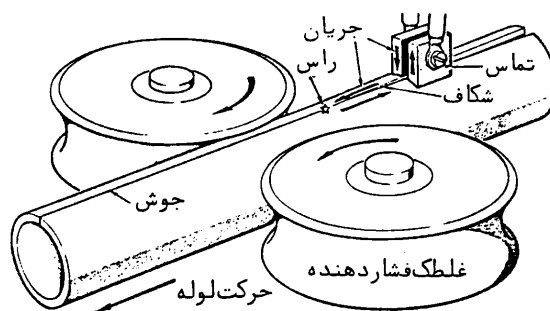
^۵ - High-Frequency Resistance Welding

متمرکز شده و باعث ذوب سطوح و در نتیجه اتصال آن می شود (شکل (۱-۱۲)). در برخی فلزات فعال، نیاز به یک گاز محافظ برای جلوگیری از اکسیداسیون منطقه جوش و HAZ نیز وجود دارد.



شکل ۱-۱۲: جوشکاری فرکانس بالای القائی

فرآیند جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا تقریباً شبیه فرآیند قبلی است با این تفاوت که جریان الکتریکی با فرکانس بالا (۴۵۰ kHz) توسط دو کفشک مطابق شکل (۱-۱۳) به سطح ورق نزدیک محل تماس دو لبه وارد شده و مدار بسته ای از جریان الکتریکی ایجاد شود. حرارت حاصل مذاب لازم در محل تماس دو لبه را بوجود می آورد. (با توجه به اثرات پوسته ای و نزدیکی). میزان و سرعت عملیات بستگی به ضخامت و جنس مواد مورد جوش و پارامترهای فرآیند دارد. به عنوان مثال با استفاده از یک منبع قدرت ۶۰ KW می توان درز لوله هایی با ضخامت ۰/۶ میلیمتر را تا سرعت ۹۰ متر در دقیقه جوش داد.



شکل ۱-۱۳: جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا

موادی که می توانند به طور موفقیت آمیزی جوشکاری فرکانس بالا شوند عبارتند از: فولادهای کربنی، فولادهای زنگ نزن، آلومینیوم، مس، برنج و تیتانیوم. موادی که قابلیت کار گرم پذیری ضعیفی دارند در دماهای جوشکاری ناپایدار هستند یا تضعیف برخی خواص آنها (در حین جوشکاری فرکانس بالا) در مراحل بعدی نمی تواند بازیابی شود، قابلیت جوشکاری کمتری با این فرآیند دارند.

مزایای جوشکاری فرکانس بالا عبارت است از:

- سرعت بالا و دارا بودن تنوع گسترده در اندازه و نوع مواد.
- کیفیت جوش در بسیاری موارد به حضور هوا بستگی ندارد و اتمسفرهای خاصی نیز برای جوشکاری مورد نیاز نیست (مگر برای فلزات فعال)
- کیفیت جوش نیز وابستگی کمی به اکسیدها و آلودگی های سطحی دارد.
- از معایب این فرآیند نیز می توان به موارد زیر اشاره کرد.
- برای جوشکاری با سرعت پایین و در تولید با حجم پایین مناسب نیست.
- این روش باید بصورت پیوسته انجام شود. در جوشکاری پیوسته نمی توان توقف / شروع مجدد داشته باشد، زیرا باعث ایجاد ناپیوستگی در جوش می شود.

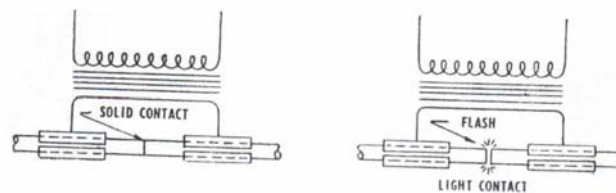
جوشکاری فرکانس بالا بیشتر در جاهای مناسب است که اتصال لبه هایی پیوسته یا سر به سر^۱ فلزات مورد نظر باشد. بزرگترین استفاده از جوشکاری HF در ساخت تیوپ و لوله های درزدار است. این فرآیند برای ساخت انواع مشخصی از تیوپ های مبدلهای حرارتی^۲ نیز مناسب است که از جنس هایی مختلف ساخته می شود. همچنین برای تولید اشکال ساختمانی مانند مقاطع T شکل، میله های H و I شکل می توان از این فرآیند استفاده کرد. واضح است که این فرآیند برای اتصالات طولانی نبش و سپری نیز بکار گرفته می شود.

^۱ - Butt

^۲ - Heat-Exchanger

۱-۶- جوشکاری جرقه ای^۱:

یک نوع فرآیند جوشکاری مقاومتی است که در آن یک اتصال سر به سر از طریق جرقه زدن و اعمال فشار ایجاد می شود. دو عامل ذوب شدن و فورج در این فرآیند بسیار حائز اهمیت هستند. این فرآیند قادر است اتصالی با استحکام برابر با فلزات پایه^۲ ایجاد نماید. شکل (۱-۱۴) فرآیند جوشکاری جرقه ای را بصورت شماتیک نمایش می دهد.



شکل ۱-۱۴: نحوه قرارگیری قطعات در جوشکاری جرقه ای (شکل سمت راست)

دو قطعه ای که باید به هم متصل شوند، توسط گیره ای هادی (مسی و گاه با سیستم سرد کننده) در مقابل هم نگه داشته می شوند. این گیره ها در حقیقت همان الکترودهای فرآیند هستند. سپس در قطعه آنقدر به هم نزدیک می شوند تا بین آنها جرقه ای ایجاد شود. پس از چند لحظه که مذاب بر سطح قطعات ایجاد شد، گیره ها با فشارمعینی به هم فشرده می شوند که نتیجه این عمل، در هم فرو رفتن قطعات است، در این لحظه جریان الکتریکی قطع و بدین ترتیب عمل اتصال انجام می گیرد.

جوشکاری جرقه ای برای اتصال قطعات فلزی که سطح مقطع مشابه ای دارند (چه از لحاظ شکل و چه از لحاظ اندازه) مناسب است. این فرآیند برای اتصال مواد هم جنس فولادی، آلومینیومی، برنجی و مسی مناسب است. در برخی موارد می توان موارد غیرمشابه را نیز با این روش به هم متصل ساخت. موادی با سطح

^۱ - Flash Welding

^۲ - Parent Metal

مقطع ۰/۱ تا ۲۰ اینچ مربع را می توان از این طریق جوشکاری کرد. کیفیت جوش

حاصل در این روش به عوامل مختلفی وابسته است که مهمترین

(۱) تفرانس قطعات قبل از جوشکاری (۲) دقت ماشین آلات و فیکسچرهای جوشکاری

(۳) دقت در انتخاب نیروهای مناسب (۴) تراشکاری و دقت ابعادی مناسب

الکترودهای مورد استفاده (۵) تعادل (بالانس) حرارتی مناسب: برای مواقعی که

سطح مقطع دو قطعه یا هدایت حرارتی و یا دمای ذوب آنها متفاوت باشد، بسیار

حائز اهمیت است. ایجاد تعادل حرارتی در قطعات نیز به اتخاذ تدابیری خاص دارد

که مهمترین آنها عبارتند از: ایجاد پخ های غیرمساوی در قطعات، استفاده از پل

های مسی و استفاده از فواصل غیرمساوی قطعات هنگام قرار دادن بر روی

دستگاه جوش. هدف نهایی از ایجاد تعادل حرارتی این است که نوک هر وسیله

یا قطعه تقریباً بطور مساوی ذوب شود تا عمل اتصال کاملتر انجام گیرد. (۶) مقدار

فشار.

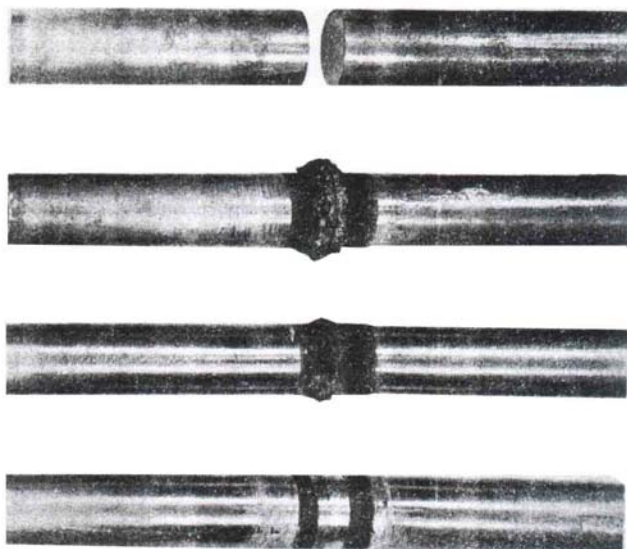
در شکل (۱-۱۵) دو میله توپر که از طریق جوشکاری جرقه ای به هم

متصل شده اند نمایش داده شده است. در این شکل دو میله قبل از جوشکاری، بعد

از جوشکاری، بعد از ماشینکاری و حذف مواد جرقه و بعد از حذف مواد محل

اتصال^۱ نمایش داده شده است.

^۱ - Upset



شکل ۱-۱۵: جوشکاری جرقه ای دو میله به هم، از بالا به پایین قبل از جوشکاری، بعد از

جوشکاری، بعد از حذف مواد جرقه و بعد از حذف مواد محل اتصال

جوشکاری جرقه ای نسبت به فرآیند جوشکاری سر به سر^۱، کاربرد بسیار وسیعتری دارد. در این فرآیند امکان اتصال انتها به انتهای ورقها و سایر مقاطع کشیده شده نیز وجود دارد. این فرآیند مزایای زیر را نسبت به روش جوشکاری سر به سر داراست:

(۱) استحکام جوش بالاتر (۲) عموماً نیازی به آماده سازی خاصی برای سطوح قبل از جوش نیست. (۳) نرخ تولید بالا (۴) مواد زائد محل اتصال خیلی کم است. (۵) تمرکز حرارتی بالاتر (۶) امکان اتصال فلزات غیر هم جنس وجود دارد. زیرا امکان برقرار نمودن جرقه تا زمانی که دو فلز به دمای ذوب شدن برسد وجود دارد. در حین حال جوشکاری سر به سر نیز مزایایی نسبت به این روش دارد که در قسمت بعد به آنها اشاره خواهد شد.

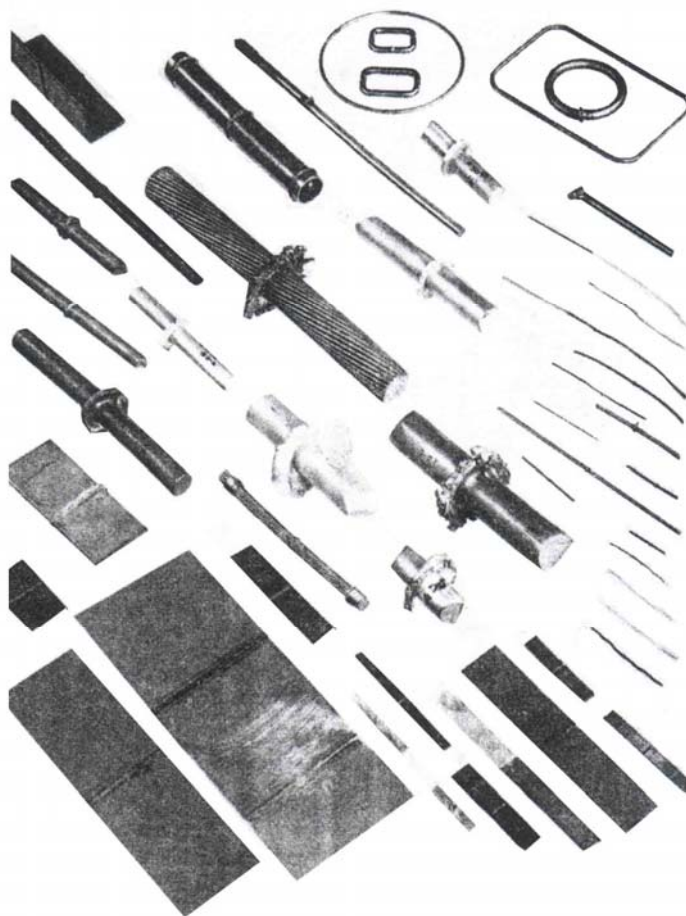
^۱ - Upset Welding

۷-۱- جوشکاری سر به سر:

جوشکاری سر به سر (uW) یک نوع فرآیند جوشکاری مقاومتی است که از حرارت و تغییر شکل^۱ برای تشکیل جوش استفاده می کند. حرارت ایجاد شده حاصل از مقاومت در برابر فلوی جریان الکتریکی در فصل مشترک سطوحی است که درون هم فرو رفته و قرار است به هم جوش شوند. به عبارت دیگر در این روش ابتدا نیروی جوشکاری به سطوح اعمال می شود تا در اثر آن تغییر فرم داده و مقداری در هم فرو بروند، سپس جریان الکتریکی بین دو قطعه برقرار می شود؛ که باعث ایجاد یک اتصال در حالت جامد می شود (به عبارت دیگر عموماً در محل اتصال ذوبی تشکیل نمی شود). اگر ذوبی در منطقه اتصال بوجود بیاید به علت نیروی اعمالی به بیرون پرتاب می شود. دامنه وسیعی از اشکال و مواد مختلف را می توان با استفاده از این فرآیند جوشکاری نمود که برخی از آنها در شکل (۱-۱۶) نمایش داده شده اند. در این روش می توان از جریانهای تک پالس یا پیوسته برای جوشکاری استفاده نمود. مزایای این فرآیند عبارتند از:

- سرعت: این فرآیند معمولاً کمتر از یک ثانیه طول می کشد.
- سادگی کنترل: فرآیند فقط سه متغیر عمده دارد (جریان، نیرو و زمان)
- عیوب کمتر: عیوب جوشکاری ذوبی مانند تخلخل، ذوب ناقص، پاشش و ترک خوردگی در این روش مشاهده نمی شود.
- خواص جوش مناسب: خواص متالورژیکی منطقه جوش و منطقه متأثر از حرارت، در این روش مناسب تر از فرآیندهای ذوب است. به عنوان مثال استحکام منطقه جوش مانند روشهای ذوبی کاهش نمی یابد. (به مقادیر آنیل شده نمی رسد)

¹ - Deformation



شکل ۱-۱۶: محصولات و اشکال متصل شده در جوشکاری سر به سر

- سادگی تجهیزات: تجهیزت این روش پیچیدگی خاصی نداشته و نیازمند هزینه های نگهداری بالایی نیست.
- برخی از مشکلات مربوط به حضور عناصر آلیاژی در منطقه جوش که در فرآیندهای ذوبی وجود دارد در اینجا مشاهده نمی شود.
- امکان انتقال موادی که از نظر جوشکاری مشکلاتی دارند. آلیاژهایی که به طور معمول غیرقابل جوشکاری هستند را می توان با این فرآیند جوشکاری کرد. مثلا انواع مختلفی از فولادهای زنگ نزن A-286، سوپر آلیاژها (شامل نیکل TD)، مواد دیرگداز (مثل تنگستن)، تیتانیوم (گرید ۲) و آلیاژهای آلومینیوم (گروه ۲۰۲۴) را می توان جوشکاری سر به سر کرد.

- اثرات شرایط جوشکاری (به جزء پارامترهای اصلی نیرو، جریان و فشار) عموماً خیلی محدود است.

محدودیت عمده این روش نیز آن است که یک روش آزمایش غیرمخرب مناسب برای تشخیص کیفیت اتصال اصلی موجود نمی باشد. مزایای خاص این روش نسبت به جوشکاری جرقه ای که آن را در برخی کاربردها مرجع می سازد، عبارت است از: ۱- پاشش جوشکاری جرقه ای را ندارد. ۲- بیرون آمدن مواد اضافه از منطقه جوش در این روش محدودتر است. ۳- در جوشکاری سر به سر معمولاً جوشی هموارتر و متقارن تر حاصل می شود.

دامنه وسیعی از مواد به شکل های متنوع (سیم، لوله، نوار و تیوپ) را می توان جوشکاری سر به سر نمود. این مواد شامل آلیاژهای آلومینیوم، مس، برنج، طلا، آلیاژهای نیکل، آلیاژهای مقاوم فولادهای کم کربن و پرکربن و فولادهای زنگ نزن هستند. محدوده قطر سیم ها و میله هایی که می توان جوشکاری سر به سر نمود از ۰/۰۰۵ تا ۱/۲۵ اینچ می باشد.

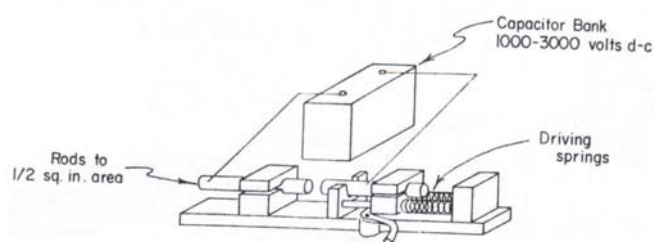
وسیعترین استفاده از این فرآیند در عملیات کشش سیم است گفته می شود که عملیات کشش سیم بصورت پیوسته بدون جوشکاری سر به سر غیر ممکن می باشد.

۸-۱- جوشکاری ضربتی^۱:

یک نوع فرآیند جوش مقاومتی است که در آن از طریق تخلیه سریع الکتریکی بین اجزاء قوسی ایجاد می شود که حرارت مورد نیاز فرآیند را تامین میکند. بلافاصله پس از تخلیه الکتریکی نیز فشاری ضربتی به اجزاء اعمال می گردد تا اتصال شکل گیرد. در این فرایند از تجهیزات متنوعی برای ذخیره انرژی الکتریکی (معمولاً یکسری خازن ولتاژ بالا یا پایین)، ایجاد قوس و اعمال نیروی

^۱ - Percussion Welding

ضربتی (معمولاً سیستم های پنوماتیکی) استفاده می شود. نمایی از یک دستگاه جوشکاری ضربتی ولتاژ بالا در شکل (۱۷-۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱۷-۱: شماتیکی از دستگاه جوشکاری ضربتی ولتاژ بالا

به دلیل زمان خیلی کوتاه جوشکاری منطقه HAZ این روش خیلی کوچک است (معمولاً کمتر از ۰/۰۱ اینچ). تمرکز حرارتی فوق العاده بالای این روش نیز باعث محدود شدن اکسیداسیون اجزاء شده و آن را برای استفاده در موادی که عملیات حرارتی شده اند، مناسب می سازد. این فرآیند برای اتصال سیم به سیم یا میله و سیم به قطعات مسطح نیز بکار می رود. موادی که قابلیت جوشکاری با این روش را دارند عبارتند از: مس، برنج، نیکل، نقره، فولاد، آلومینیم، مواد دیرگداز و فعال که می توانند به هم یا به فلزات دیگر جوش داده شوند. در مورد بعضی از فلزات نظیر آلومینیم و مس که مقاومت الکتریکی کمی دارند و دارای هدایت حرارتی زیادی نیز هستند؛ جوشکاری مقاومتی با روشهای معمولی مشکل است. در مورد این مواد باید جوشکاری مقاومتی با شدت جریان بالا و زمان کوتاه صورت گیرد. لذا روش جوشکاری ضربتی برای این نوع مواد بسیار مناسب است. استفاده از این روش در صنایع مختلف با سرعت زیادی در حال گسترش است. مهمترین استفاده از این روش در صنعت الکترونیک و برای اتصال هادی^۱ های اکسید کادمیوم -

^۱ - Contacts

نقره به صفحات برنجی یا مسی است. همچنین این روش در صنعت هوافضا نیز کاربردهایی دارد.

محدودیت عمده این فرآیند در نوع اتصال آن است. در این روش اتصالات لب به لب - میله به میله، میله به سطح و با اتخاذ تمهیدات و طراحی خاص سطح به سطح میسر است. همچنین از آنجا که کنترل دقیق مسیر قوس مشکل است، مجموع مساحتی که می توان در یک زمان جوشکاری نمود نمی تواند فراتر از ۰/۵ اینچ مربع باشد. محدودیت دیگر فرآیند این است که قطعاتی که باید جوشکاری شوند بایستی جدا از هم باشند ضمن اینکه از نظر اقتصادی نیز فوق العاده پرهزینه می باشد.

۹-۱- لحیم کاری سخت و نرم مقاومتی:

لحیم کاری به فرآیندی گفته می شود که اتصال قطعات با کمک حرارت دان آنها تا درجه حرارت معین و ذوب فلز پر کننده ای^۱ که در فصل مشترک دو قطعه قرار دارد، صورت می گیرد. فلز پر کننده که بر اثر حرارت ذوب شده بر اساس خاصیت موئینگی^۲ فصل مشترک قطعات را خیس کرده و پس از انجماد باعث اتصال دو سطح به هم می شود. و در این فرآیند سطوح اتصال ذوب نمی شوند و صرفاً فلز پر کننده به نقطه ذوب می رسد. در لحیم کاری سخت^۳ فلز پر کننده دارای دمای ذوبی بالاتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد است ولی در لحیم کاری نرم^۴ از مواد پر کننده با نقطه ذوبی کمتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد استفاده می شود. در هر حال در لحیم کاری فلز پر کننده باید دمای ذوبی کمتر از فلزات پایه داشته باشد.

^۱ - Filler Metal

^۲ - Capillary Action

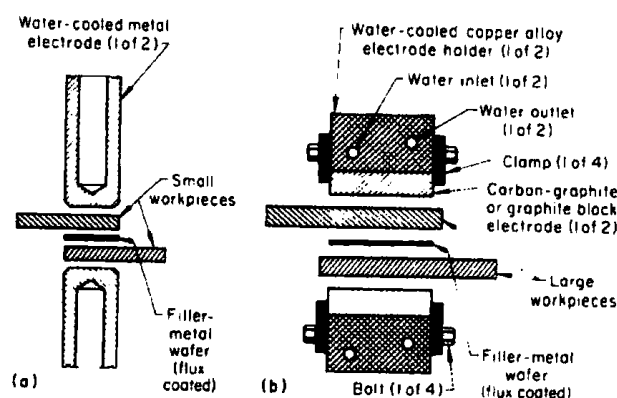
^۳ - Brazing

^۴ - Soldering

لحیم کاری سخت مقاومتی^۱ (RB) یک فرآیند اتصال مقاومتی است که در آن قطعه کار بصورت موضعی حرارت داده شده و فلز پر کننده ای که بین آن قرار دارد از طریق حرارت تولید شده ناشی از مقاومت در برابر فلوی جریان الکتریکی ذوب می شود. اصول فرآیند و تجهیزات مورد استفاده شبیه به فرآیند جوشکاری مقاومتی می باشد. با این تفاوت که در این فرآیند قطعه کار ذوب نمی شوند. بلکه ذوب شدن فلز پر کننده و انجماد مجدد آن باعث ایجاد اتصال می شود.

در شکل (۱۸-۱) شمائی از فرآیند لحیم کاری سخت مقاومتی نشان داده

شده است.



شکل ۱۸-۱: لحیم کاری سخت مقاومتی: (a) برای قطعات کوچک یا قسمتهای کوچکی از قطعات بزرگ. (b) برای

قطعات مسطح بزرگ به خصوص برای فلزاتی با هدایت الکتریکی بالا

در شکل (a) (۱۸-۱) الکترودهای مورد استفاده از نوع الکترودهای

جوشکاری مقاومتی است که با آب خنک می شود.

در شکل (b) (۱۸-۱) از الکترودهای کربنی استفاده شده که به گیره های^۲

الکترودی از جنس آلیاژ مس متصل می باشند. فرآیند لحیم کاری سخت مقاومتی برای اتصال قطعات کوچک، اتصال کوچک تجهیزات بزرگ و برای تولید با حجم پایین مناسب است. سطح اتصالی که با این فرآیند ایجاد می شود نمی تواند از 1300 mm^2 فراتر برود. از انواع الکترودهایی که در جوشکاری مقاومتی استفاده

¹ - Resistance Brazing

² - Holder

می شود یا الکترودهای کربنی یا گرافیتی می توان در این فرآیند استفاده کرد. در انتخاب فلز پر کننده نیز بایستی دقت شود که باید کمترین نقطه ذوب را دارا باشد. از انواع فلز پر کننده پایه نقره ای (نوع Bag)، آلومینیم - سیلیسیم و مس - فسفر در این فرآیند می توان استفاده کرد.

لحیم کاری نرم مقاومتی^۱ (RS) نیز فرآیندی مشابه لحیم کاری سخت مقاومتی است. از این فرآیند در اتصال قطعات کوچک به هم و اتصال اجزاء نزدیک به هم در یک مجموعه استفاده می شود. و با اعمال حرارت، گرم شدن موضعی باعث ذوب لحیم نرم می باشد. این مذاب سطوح را خیس می کند و سپس با انتقال حرارت به مناطق مجاور، لحیم به سرعت منجمد می شود. فرآیند لحیم کاری نرم برای اتصال فلزات آهنی و غیرآهنی قابل استفاده است. ولی محدودیت ضخامت و نوع طراحی قطعات در این فرآیند وجود دارد. گفته می شود ماکزیم ضخامت قابل لحیم کاری ۳/۲ میلیمتر می باشد. الکترودهای قابل استفاده در این فرآیند عبارتند از: کربنی، گرافیتی و تنگستنی. توصیه شده که در این روش از لحیم های سیمی شکل و فلاکس استفاده نشود.

^۱ - Resistance Soldering

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 اس. 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 ذوبش خواهند رساند زیرا الکتروودها که هدایت حرارتی بالایی دارند (۱ و ۷) و معمولاً 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.

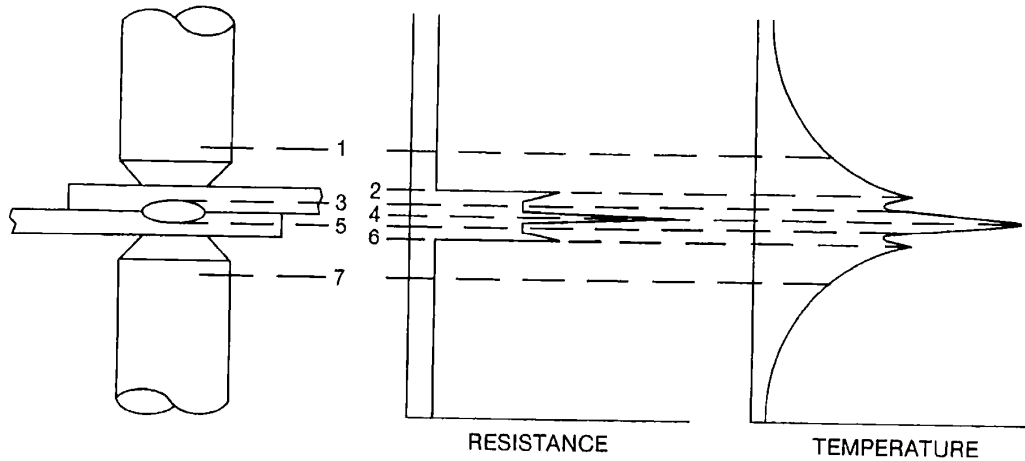
باید توجه نمود که گرمای تولید شده در این نقطه مورد نظر ما است و سایر گرمای تولید شده بایستی محدودتر شود. شکل (۱-۲) پروفیل ها را بعد از گذشت ۲۰ درصد از زمان جوشکاری نشان می دهد. باید توجه نمود که گرمای تولید شده در ۲ و ۶ به سرعت از طریق الکتروودهای مجاور پراکنده می شود.

در یک فرآیند جوشکاری که بصورت مناسبی کنترل می شود در ابتدا دمای نقاط بیشماری از منطقه تماس فصل مشترک به نقطه ذوب می رسد و به سرعت دکه 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

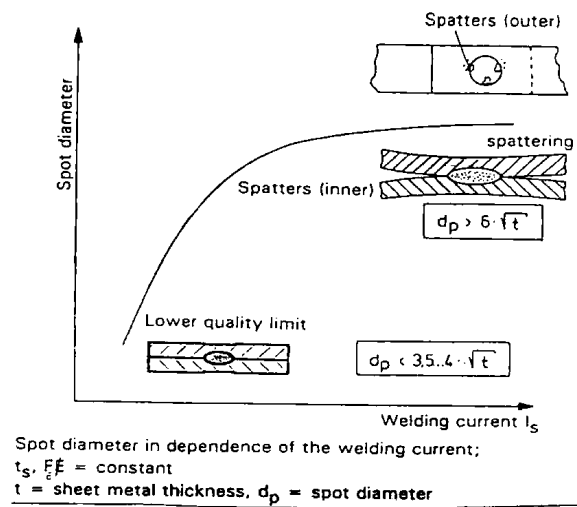
(۲) مقاومت تماس بین الکترودها و قطعه کار و خود قطعه کار



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 دکه جوش می باشد. در شکل (۲-۲) تاثیر مقدار جریان بر اندازه دکه 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.

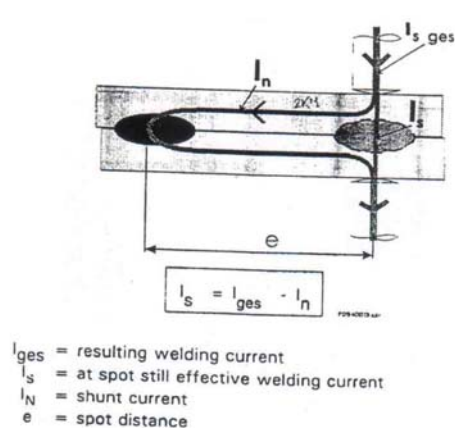
علاوه بر مقدار جریان، دانسیته جریان نیز ممکن است در فصل مشترک تغییر کند که می تواند ناشی از جریانهای انحرافی باشد. افزایش سطح الکترو (سطح در تماس با قطعه کار) یا اندازه زائده در جوشکاری زائده ای دانسیته جریان را کاهش خواهد داد. بنابراین حرارت جوشکاری کم می شود. این مساله ممکن است باعث کاهش قابل توجهی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

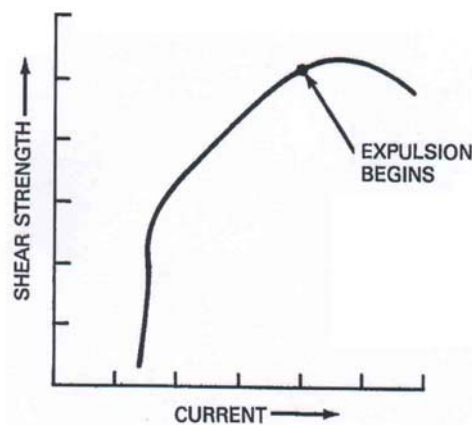
گفته شد که دانسیته جریان ممکن است در اثر جریانهای انحرافی تغییر نماید. در حقیقت جریان انحرافی با کاهش دانسیته جریان باعث کاهش استحکام جوش می شود. از نظر تکنیکی ممکن است بتوان در برخی موارد جریان انحرافی را مهار نمود. نحوه تاثیر این جریان ها در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است. مقدار جریان انحرافی بستگی به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

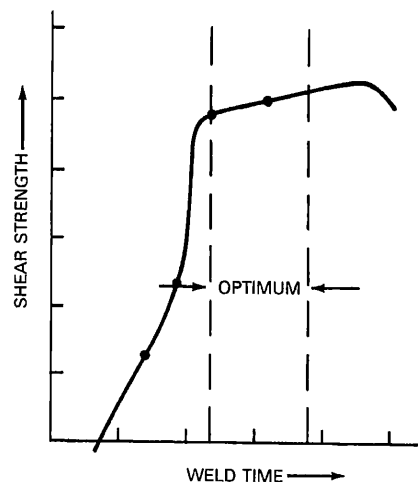
برشی جوش نقطه ای

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، منطقه 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 ۲-۵: 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

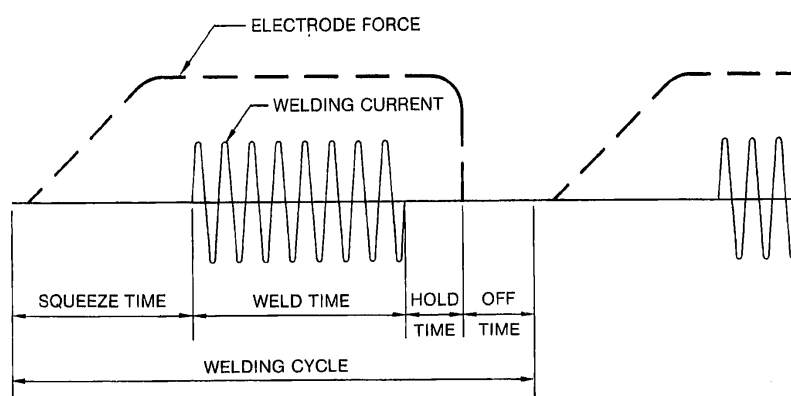
(۱) زمان squeeze: فاصله زمانی است که بین اعمال نیروی الکترودها به قطعه کار و اعمال جریان جوشکاری وجود دارد. این زمان باید طوری تنظیم شود که از اعمال تمام نیروی الکتروود قبل از برقراری جریان جوشکاری اطمینان حاصل شود.

(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

-
- ^۱ - Weld Time
 - ^۲ - Hold Time
 - ^۳ - 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 کوئنچ 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 شود و صرفاً پوشش از بین می رود و در مرحله بعد weld2 جریان اصلی جوشکاری اعمال می شود. اگر از عملیات حرارتی کوئنچ و تمیز کردن یا آنیل کردن نیز در فرآیند جوشکاری استفاده می شود. معمولاً از آن به عنوان weld3 یاد می شود.

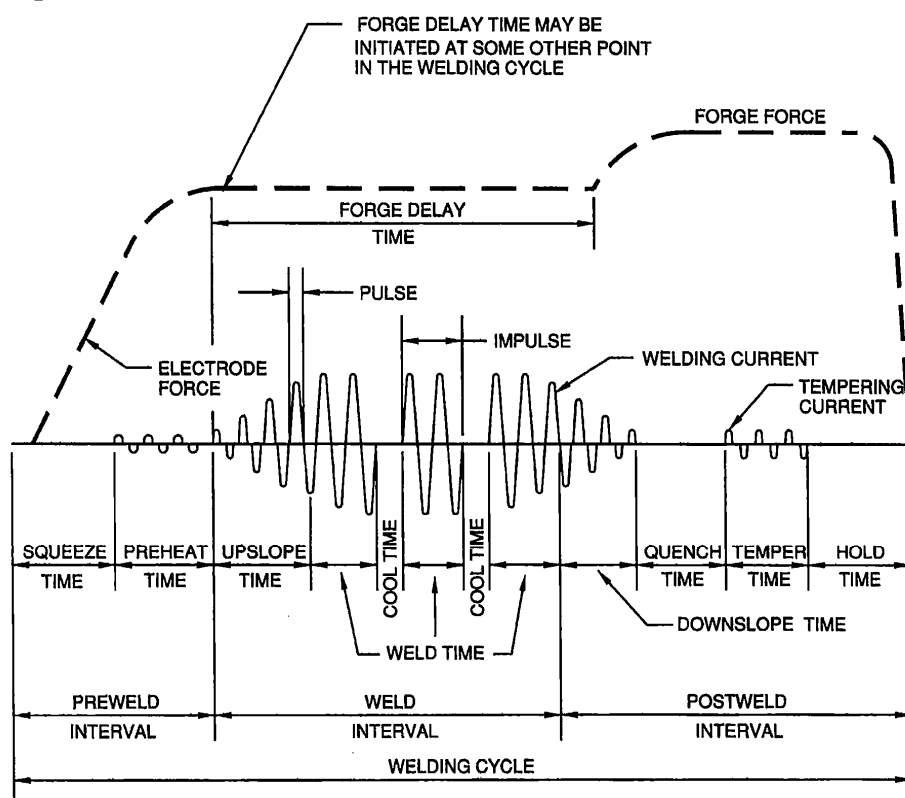
یک نکته جالب در شکل (۷-۲) شیب ابتدایی نمودار است که از آن به عنوان up-slope یاد می شود. به راستی علت اینکه جریان از ابتدا با مقدار ماکزیمم اعمال نشده چیست؟ در ابتدا اعمال جریان جوشکاری دمای قطعات پایین است. بنابراین مقدار مقاومت الکتریکی آنها کم است ولی با افزایش دما

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 کوئنچ 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 کوئنچ 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.

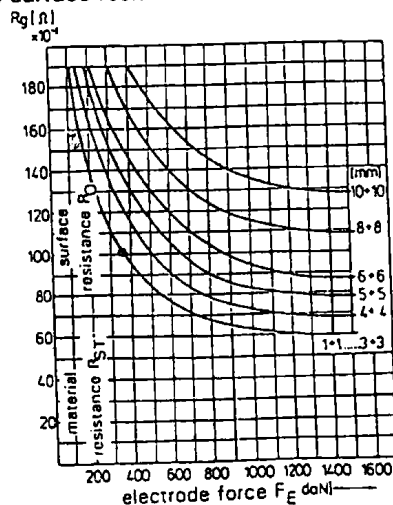
۲-۴- نیروی الکتروود (نیروی جوشکاری)

مقاومت R در فرمول ژول می تواند از فشار (نیروی) جوشکاری تاثیر پذیرد. 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 دکه 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 دکه 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 ذوبشان 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 ذوب 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.

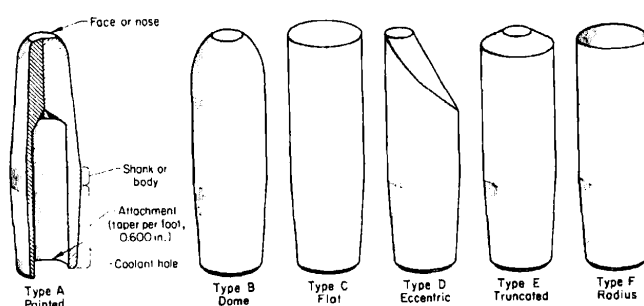
هرچند سختی، هدایت الکتریکی و مقاومت در برابر تغییر شکل در برابر حرارت و فشار خواصی هستند که میانگین آنها می تواند ما را در انتخاب الکترود یاری نماید. اما همیشه انتخاب یک الکترود مناسب کار ساده ای نیست. اشتباهی که باید از آن پرهیز کرد، ارزیابی مثلاً عمر الکترود نسبت به سختی آن در دمای اتاق و یا هدایت 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 الکتروده 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 الکتروده یا قطر نوک الکتروده فوق العاده حائز اهمیت است. این عامل می تواند بر دانسیته جریان و لذا شکل و اندازه نقطه جوش و عمر الکتروده اثر بگذارد. هنگام جوشکاری دو ورق تا ضخامت ۳ میلیمتر با استفاده از الکتروده مخروط ناقص (نوع E) قطر نوک الکتروده 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 الکتروده است. هنگام استفاده از این الکترودها قطر جوش ابتدایی مساوی با قطر الکتروده می باشد. هنگامیکه ضخامت دو ورق مساوی نباشد، ابعاد الکتروده 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 الکتروده و شرایط جوشکاری بایستی بر طبق قطر ابتدایی جوش (معادله (۲)) انتخاب شود.

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

که d قطر دگمه جوش و d_2 قطر ابتدایی نوک الکتروده و t ضخامت ورق است. (همه متغیرها بر حسب میلیمتر می باشند). در اثر استفاده از الکترودها 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 الکتروده 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 ($1/1$ 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°C و دمای آب خروجی از 30°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 الکترود چسبیده و باعث از بین رفتن الکترود می گردد. روغن و گیرس که برای حذف آلودگی ها استفاده می شوند در تخریب الکترودها 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 اگزوزهای خودرو

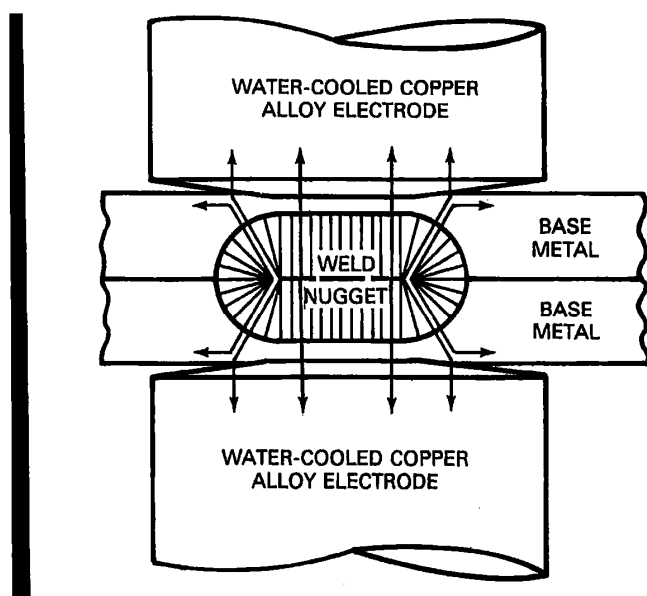
کاربرد دارد. در جوشکاری این نوع فولادها ابتدا باید فیلمهای سطحی و لایه های اکسیدی شکسته شود. برخی از این پوشش ها یا نقطه ذوب پایین دارند یا هدایت حرارتی الکتریکی بالا و یا با الکترودها آلیاژ شده که هر کدام از این عوامل می توانند یکسری مشکلات ویژه ای را به وجود آورند که برای جلوگیری از آن، باید اقدامات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

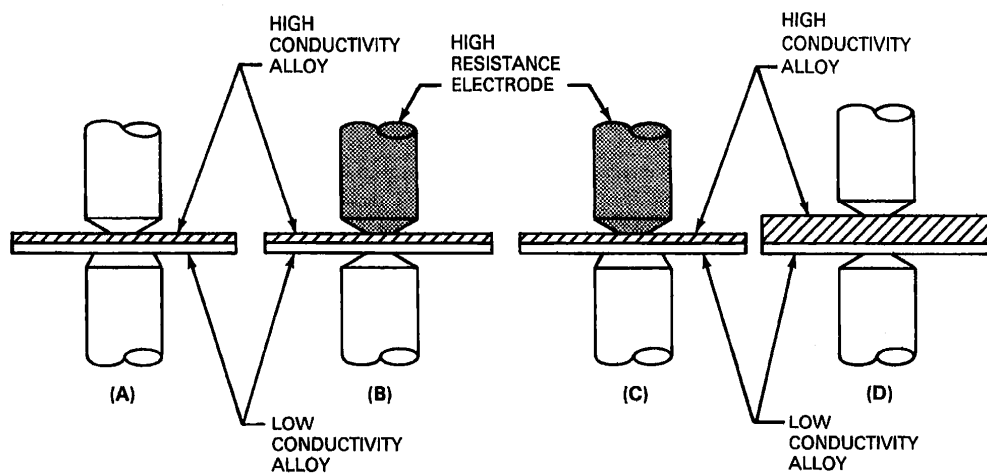
(۳) هدایت حرارتی و الکتریکی الکترودها

(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 منطقه 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 ۱۱-۲: 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 دارد.

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
- ها^۵ - دسترسی به تجهیزات مورد نیاز برای ایجاد اتصال^۶ - اثرات سطحی^۷ - 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

^۱ - Over lap

^۲ - Edge distance

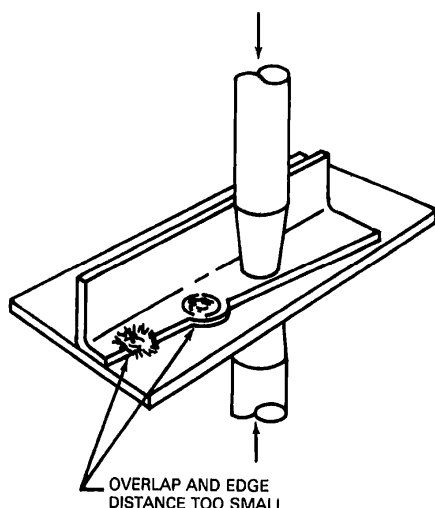
^۳ - Fit - up

^۴ - Joint Accessibility

^۵ - 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.

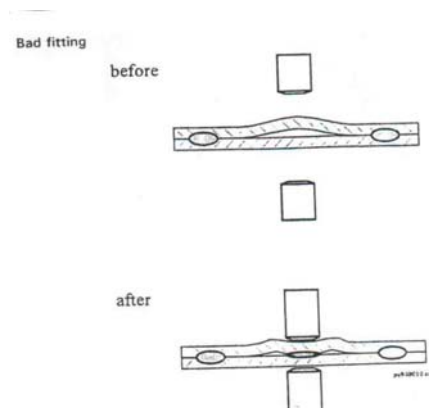
۲) رویهم افتادگی اتصال: حداقل رویهم افتادگی مجاز دو برابر حداقل فاصله لبه مجاز است. باید این فاصله نیز طوری باشد که از پاشش مذاب به بیرون و گرم شدن زیاد لبه ها جلوگیری شود. در شکل (۲-۱۲) اثر فاصله لبه و روی هم افتادن نامناسب نشان داده شده است.



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.

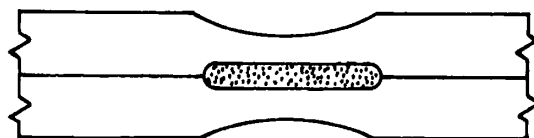
گاهی اوقات برای جبران جریانهای انحرافی، جریان جوشکاری را مقداری بالاتر از مقادیر معمولش قرار می دهند؛ در این حالت باید توجه کرد که هنگام ایجاد اولین نقطه جوش به سبب اینکه جریان انحرافی وجود ندارد؛ گرمای ورودی زیادی به محل اتصال اعمال می شود که ممکن است سبب پاشش مذاب شود. برای اجتناب از این مشکل، می توان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

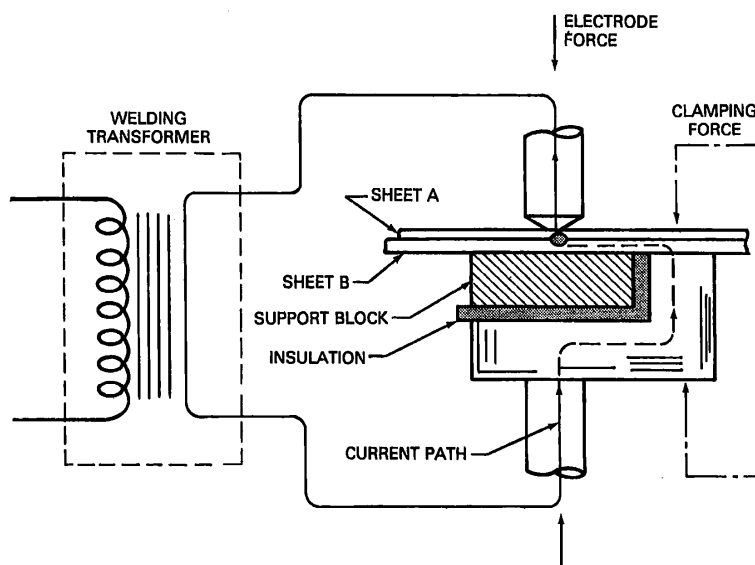
می دهد. این انقباض را نباید با نفوذ اضافی الکتروود درون قطعه کار که به دلیل انتخاب نادرست متغیرهای فرآیند می باشد، اشتباه گرفت.



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.

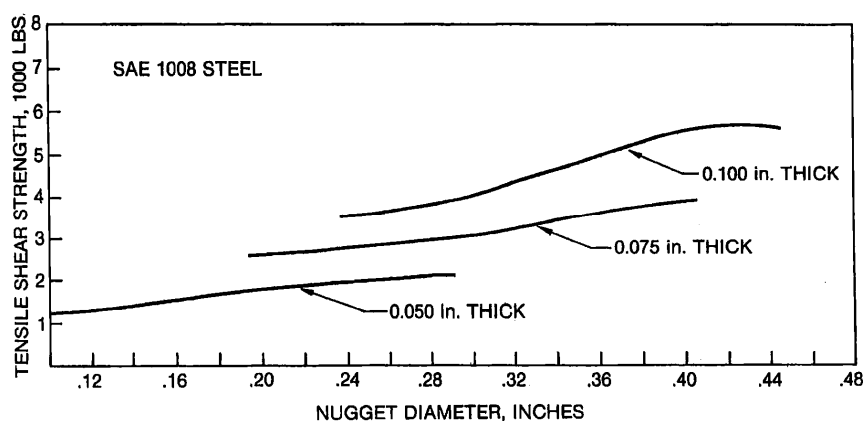
برخی عوامل دیگر مانند برخورد تصادفی الکترودها یا نگهدارنده ها به قطعه کار، لغزیدن، انحراف یا خم شدن اجزاء جوشکاری نیز می تواند باعث ایجاد اثرات سطحی در روی کار شوند که ناخواسته می باشند.



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

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.



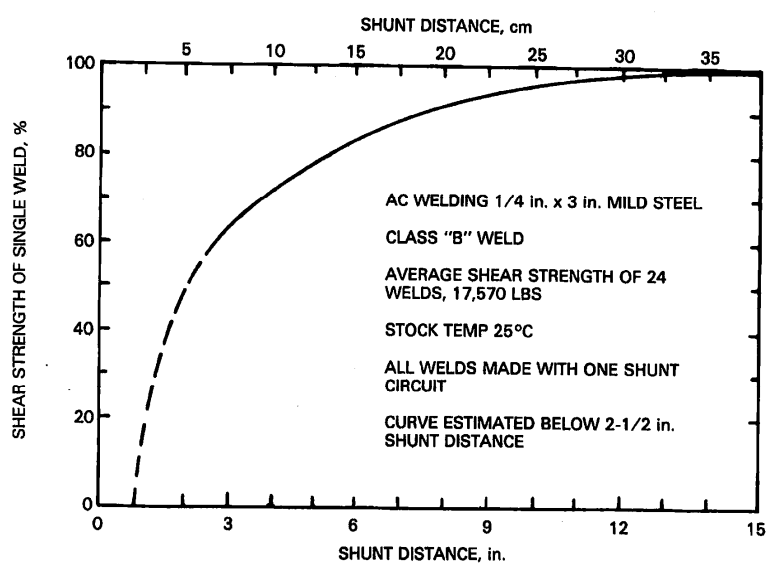
شکل ۲-۱۶: اثر اندازه دکه جوش و ضخامت ورق بر روی استحکام جوشی کششی، شکست یا پارگی در فلز پایه اتفاق افتاده است.

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

فصل سوم

دستگاه ها و تجهیزات جوشکاری مقاومتی

عنوان	صفحه
۱-۳- دستگاه های جوشکاری مقاومتی	۳
۱-۱-۳- دستگاه های جوشکاری مقاومتی نقطه ای	۳
۲-۱-۳- سایر دستگاه های جوشکاری مقاومتی	۱۲
۲-۳- کنترل جوشکاری مقاومتی	۱۵
۱-۲-۳- کنترل زمانها و توالی جوشکاری	۱۵
۲-۲-۳- کنتاکتور	۱۷
۳-۲-۳- کنترل کننده های کمکی	۱۷
۳-۳- کابل های جوشکاری مقاومتی	۱۸
۴-۳- الکترودهای جوشکاری مقاومتی	۱۹
۱-۴-۳- خواص مورد نظر از یک الکتروود مقاومتی	۲۰
۲-۴-۳- بررسی مواد مختلف مورد استفاده در ساخت الکترودهای مختلف	۲۱
الف) الکترودهای آلیاژی	۲۱
ب) الکترودهای رسوب سختی شده	۲۲
ج) الکترودهای پوشش داده شده بوسیله کاربید تیتانیم	۲۳
۳-۴-۳- بررسی جنس الکترودها مطابق با استانداردها	۲۴
الف) بررسی جنس الکترودها مطابق با کلاس بندی RWMA	۲۴
ب) بررسی جنس الکترودها مطابق با استاندارد ISO	۳۰
۴-۴-۳- سیستم خنک کردن الکترودها	۳۹
۵-۳- نگهدارنده ها	۴۰

در این فصل به بررسی انواع دستگاه های جوشکاری می پردازیم. البته توضیح کامل جزئیات اجزاء و طرح های مختلف این دستگاه ها و تجهیزات خارج از حوصله این کتاب می باشد. لیکن آشنایی مختصر با کلیات آنها ضروری به نظر می رسد. همچنین درباره تجهیزات جانبی مورد استفاده در فرآیند جوشکاری مقاومتی مباحثی ارائه خواهد شد.

انتخاب تجهیزات جوشکاری بستگی به طرح اتصال، موادی که باید جوشکاری شوند، کیفیت مورد نیاز، برنامه تولید و مسائل اقتصادی دارد. یک دستگاه جوشکاری مقاومتی از سه قسمت اصلی تشکیل می شود:

(۱) یک مدار الکتریکی با یک ترانسفورماتور و یک رگولاتور جریان و یک مدار ثانویه که شامل الکترودهاست که جریان الکتریکی را به قطعه کار منتقل می کنند.

(۲) یک سیستم مکانیکی شامل فریم دستگاه و قسمت های مربوط به نگهداری و اعمال نیروی جوشکاری.

(۳) ابزار کنترل (وسایل زمان سنجی) برای شروع جریان و مدت اعمال جریان. این ابزار ممکن است مقدار جریان، همچنین توالی و ترتیب اعمال آن و سایر زمان های سیکل جوشکاری را کنترل کنند.

دستگاه های جوشکاری مقاومتی از نظر اتوماسیون به دو دسته تقسیم می شوند، دستگاه های نیمه اتومات و دستگاه های اتومات. در دستگاه های نیمه اتومات، اپراور قطعه کار را بین الکترودها قرار میدهد و سوئیچ شروع جوشکاری را فشار می دهد و برنامه جوشکاری اجرا می شود. در دستگاه های اتومات، قطعات بصورت اتوماتیک درون دستگاه قرار داده می شوند، سپس جوش انجام شده و قطعه از دستگاه خارج می شود. بدون اینکه اپراتور دخالتی داشته باشد. دستگاه های جوشکاری از نظر الکتریکی به دو گروه تقسیم بندی می شوند: انرژی

مستقیم^۱ و انرژی ذخیره کننده^۲. طراحی هر دو گروه ممکن است بر اساس استفاده از برق تکفاز یا سه فاز باشد. بیشتر دستگاه های جوشکاری از نوع تکفاز انرژی مستقیم هستند. این نوع دستگاه های به دلیل سادگی، هزینه سرمایه گذاری اولیه اندک، نصب و نگهداری آسان بیشترین کاربرد را دارند.

طراحی سیستم مکانیکی و مدار ثانویه برای اکثر دستگاه های جوشکاری تقریباً شبیه به هم است اما تفاوت اصلی در طراحی ترانسفورماتور و سیستم کنترل دستگاه هاست. در یک شرایط ثابت، یک دستگاه جوشکاری تکفاز مقدار ولت – آمپر (KVA) بیشتری از دستگاه سه فاز نیاز دارد.

اصول دستگاه انرژی ذخیره کننده، جمع کردن و ذخیره کردن انرژی الکتریکی و سپس دشارژ آن به منظور ایجاد جوش است. انرژی معمولاً در خازن ها ذخیره می شود. معمولاً برق تک فاز برای این نوع دستگاه ها استفاده می شود. توان مورد نیاز معمولاً کم است زیرا زمان ذخیره سازی نسبتاً از زمان جوشکاری طولانی تر است.

۳-۱- دستگاه های جوشکاری مقاومتی

۳-۱-۱- دستگاه های جوشکاری مقاومتی نقطه ای

چندین نوع دستگاه جوشکاری نقطه ای وجود دارد: بازو متحرک، پرسی، قابل حمل و نوع چند تایی.

الف) نوع بازو متحرک^۳: ساده ترین و پرکارترین نوع دستگاه جوشکاری نقطه ای، طرح بازو متحرک آن است که به این دلیل بازو متحرک نامیده می شود که حرکتی در بازوی بالایی آن وجود دارد. در حقیقت این دستگاه شامل یک بازوی استوانه ای است که نیروی الکتروود و در بیشتر مواقع جریان جوشکاری را

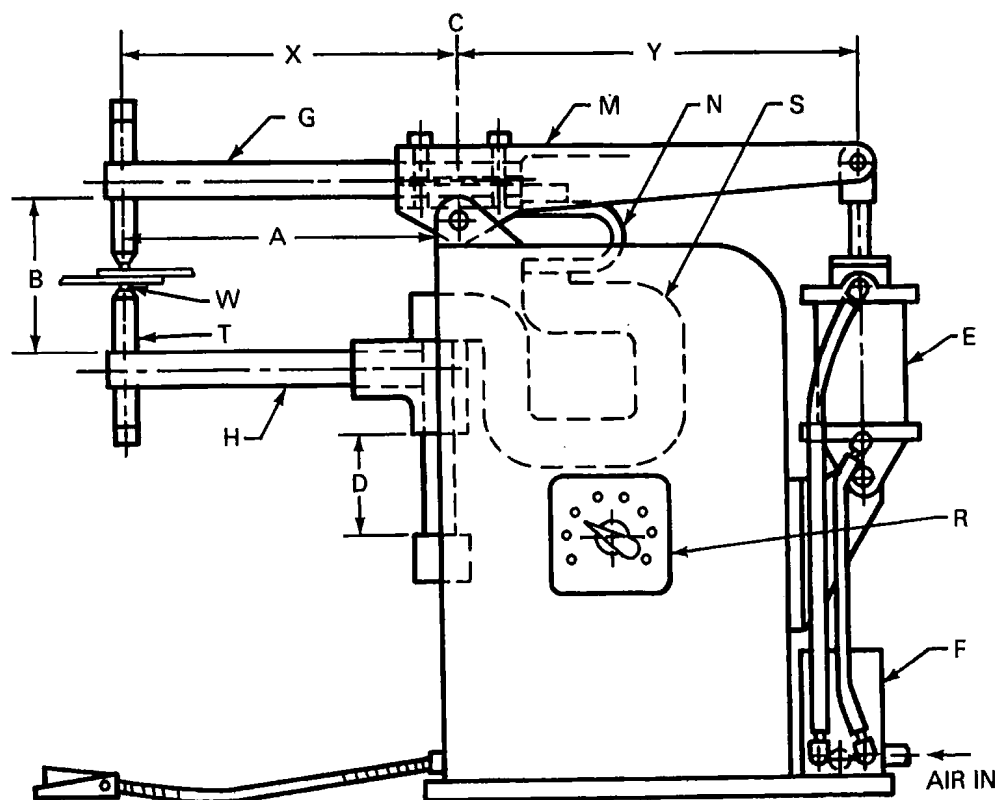
^۱ - Direct Energy

^۲ - Stored Energy

^۳ - Rocker Arm Type

نیز منتقل می کند. مسیر حرکت الکتروود بالایی قوسی است به شعاع X (با توجه به شکل ۱-۳). سه روش برای اعمال نیرو وجود دارد: ۱) هوا ۲) پا ۳) موتور.

دستگاه هایی که با هوا کار می کنند (شکل ۱-۳)) کاربرد بیشتری دارند. با عمل هوا، سیکل جوشکاری با استفاده از یک واحد کنترل بصورت اتوماتیک انجام می شود.



- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| A — THROAT DEPTH | H — LOWER HORN |
| B — HORN SPACING | M — ROCKER ARM |
| C — CENTERLINE OF ROCKER ARM | N — SECONDARY FLEXIBLE CONDUCTOR |
| D — LOWER ARM ADJUSTMENT | R — CURRENT REGULATOR (TAP SWITCH) |
| E — AIR CYLINDER | S — TRANSFORMER SECONDARY |
| F — AIR VALVE | T — ELECTRODE HOLDER |
| G — UPPER HORN | W — ELECTRODE |

شکل ۱-۳: دستگاه جوشکاری مقاومتی نقطه ای بازو متحرک که با هوا عمل می کند.

دستگاه هایی که با پا کار می کنند، برای ساخت ورق های فلزی گوناگونی مناسب است خصوصاً در حجم تولید کم و در مواردی که کیفیت ثابتی از جوش

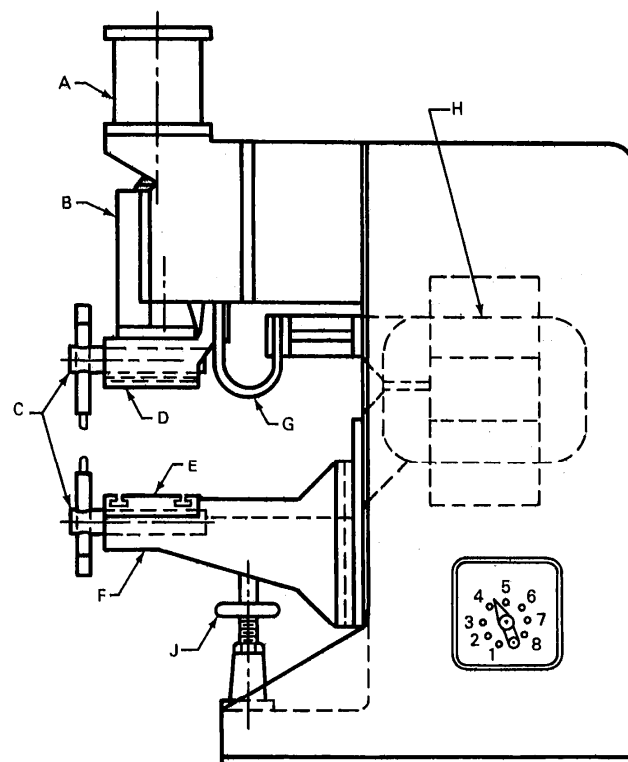
انتظار نباشد. دستگاه های جوشکاری نوع موتوری معمولاً در جاهایی که هوای فشرده در دسترس نباشد استفاده می شوند. معمولاً دستگاه های بازو متحرک استاندارد با طول دهانه (A) ۱۲ تا ۳۶ اینچ و ظرفیت ترانسفورماتور ۵ تا ۱۰۰ KVA موجود می باشد. به دلیل حرکت شعاعی الکتروود بالایی این دستگاه ها برای جوشکاری زائده ای توصیه نمی شوند.

فریم دستگاه ترانسفورماتور و سوئیچ تب و اجزاء مکانیکی و الکتریکی را در خود جای می دهد. در دستگاه هایی که با هوا خنک می شوند، در یک قطر سیلندر ثابت، هنگامیکه طول دهانه (A) افزایش می یابد، نیروی جوشکاری کم می شود. نیروی جوشکاری در این حالت حاصلضرب نیروی پیستون در نسبت بازوی اهرم $(\frac{Y}{X})$ است.

در دستگاه هایی که با موتور یا پا کار می کنند، به جای سیلندر هوا از فنرهای سفتی^۱ استفاده می کنند.

(ب) نوع پرسی: این نوع دستگاه ها برای جوشکاری نقطه ای بسیاری از قطعات و همه فرآیندهای جوشکاری زائده ای توصیه می شوند. در این نوع دستگاه ها، هد جوشکاری بر روی یک خط مستقیم در مسیر یا وضعیت مشخصی حرکت می کند دستگاه های جوشکاری نوع پرسی استاندارد که RWMA تعریف کرده، با ظرفیتهای ۵ تا ۵۰۰ KVA در بازار موجود هستند و طول دهانه آنها تا ۵۴ اینچ است. (شکل (۲-۳)).

^۱ - Stiff



- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| A — AIR OR HYDRAULIC CYLINDER | F — KNEE |
| B — RAM | G — FLEXIBLE CONDUCTOR |
| C — SPOT WELDING ATTACHMENT | H — TRANSFORMER SECONDARY |
| D — UPPER PLATEN | J — KNEE SUPPORT |
| E — LOWER PLATEN | |

شکل ۳-۲: دستگاه جوشکاری نقطه ای و زائده ای نوع پرس.

از انواع غیراستاندارد و با اشکال متنوع این نوع دستگاه مانند انواع مغناطیسی و نشستنی^۱ آن در صنایع خانگی، الکتریکی و جواهرآلات استفاده می شود.

دستگاه های نوع پرس بر اساس کاربرد و روش اعمال فشار تقسیم بندی می شوند. این دستگاه ها ممکن است برای جوشکاری مقاومتی نقطه ای، زائده ای و یا هر دو طراحی شوند. نیرو نیز ممکن است از طریق هوا، سیستم های هیدرولیکی یا الکترومغناطیسی یا بصورت دستی اعمال گردد. یک راهنمای کلی برای انتخاب دستگاهی از این نوع بصورت زیر است:

^۱ - Bench Type

(۱) دستگاه هایی که با سیستم هیدرولیکی کار می کنند معمولاً برای کمتر از ۲۰۰ KVA ساخته نمی شوند، زیرا قیمت بالاتری نسبت به دستگاه هایی که با سیستم هوا عمل می کنند دارند. همچنین این دستگاه ها برای جوشکاری زائده ای توصیه نمی شوند زیرا در مقایسه با سیستم هایی که با هوا عمل می کنند «follow-up» آهسته تری دارند. اصطلاح follow-up یک دستگاه جوشکاری به معنای توانایی مکانیزم نیرو برای عکس العمل به تغییرات دینامیکی است که در طول جوش اتفاق می افتد و نگه داشتن فشار گیره ای مناسب می باشد.

(۲) دستگاه های که با هوا کار می کنند امکان استفاده در سایزهای مختلف را دارند، هنگامیکه نیروی زیادی مورد نیاز باشد، سیلندر هوا و شیر کاملاً بزرگ خواهند شد و عملکرد دستگاه کند شده و مصرف هوا نیز بالا خواهد رفت. به همین علت، در انتخاب دستگاه های جوشکاری با توان ۳۰۰ KVA و پایین تر از دستگاه هایی استفاده می شود که با سیستم هوا عمل می کنند و دستگاه های با توان ۵۰۰ KVA و بیشتر را معمولاً از نوع هیدرولیکی انتخاب می کنند. در بین این دو توان، انتخاب هر یک از دو نوع سیستم آزاد است.

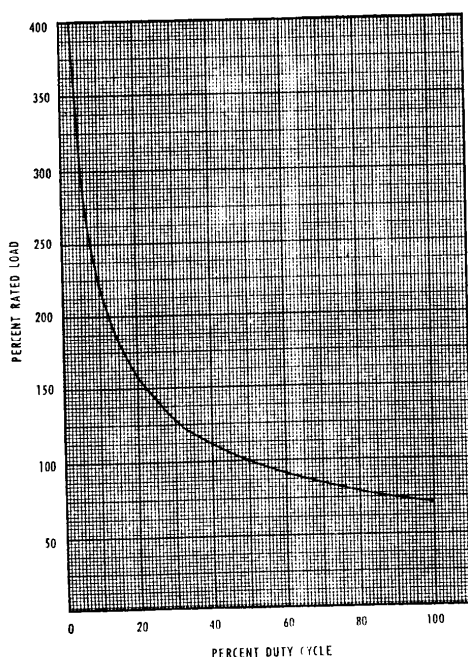
گفته شد که یکی از عوامل مهم در جوشکاری مقاومتی سیستم الکتریکی دستگاه جوشکاری است که در این فصل در مورد آن نیز مباحثی ارائه خواهد شد، لیکن آشنایی با دو اصطلاح KVA و ضریب کارکرد^۱ لازم به نظر می رسد. در دستگاه جوشکاری باید ولتاژ مناسبی برای تولید جریان کافی در اختیار باشد. این ولتاژ از طریق هندسه مدار ثانویه (مثلاً اندازه حلقه ثانویه) ترانسفورماتور، هدایت الکتریکی کنتاکتور در این مدار و مجموع مقاومت های تماسی اتصال و مقاومت کار مشخص می شود. این ولتاژ که ولتاژ مدار باز ثانویه می باشد وقتی که در جریان جوشکاری (جریان ثانویه) ضرب شود و تقسیم بر ۱۰۰۰ گردد، خروجی (KVA) یک ترانسفورماتور را مشخص می کند.

^۱ - Duty Cycle

جریان جوشکاری در زمان کوتاهی از زمان کل برقرار می شود. ضریب کارکرد یک ترانسفورماتور به عنوان زمانی که در یک دقیقه از ترانسفورماتور به طور واقعی جریان عبور می کند تعریف می شود و از فرمول زیر قابل محاسبه می باشد.

$$\text{فرمول ۱: } \text{Duty cycle \%} = \frac{\text{زمان برقراری جریان}}{\text{زمان قطع جریان} + \text{زمان برقراری جریان}} \times 100$$

یک ترانسفورماتور ۱۰۰ KVA می تواند در یک دقیقه ۳۰ ثانیه توان ۱۰۰ KVA را اعمال نماید. استاندارد این است که مقدار توان ترانسفورماتور جوشکاری را با ضریب کارکرد ۵۰٪ اندازه بگیرند. ضریب کارکرد را می توان با استفاده از نمودارهای نشان داده شده در شکل (۳-۳) که توان مورد نیاز را برای ضریب کارکرد های مختلف بدست آورد.



شکل ۳-۳: عملکرد ضریب کارکرد در مقابل توان

پس از آشنایی مختصر با توان KVA و ضریب کارکرد به ادامه بحث خویش در مورد دستگاه های جوشکاری پرسی بازمی گردیم. توجه به این نکته

ضروری به نظر می رسد که follow-up سریع الکتروود مشخصاً هنگام جوشکاری نقطه ای یا زائده ای مقاطع نسبتاً نازک به ویژه آلومینیومی و فلزات غیرآهنی مهم است. دستگاه هایی که با هوا عمل می کنند follow-up سریعتری از سیستم های هیدرولیکی دارند زیرا قابلیت فشردگی هوا بیشتر است. در سیستم های هیدرولیکی follow-up از طریق حرکت مایع ایجاد می شود و بنابراین ظرفیت پمپ تعیین کننده است.

ج) نوع قابل حمل: یک دستگاه جوشکاری نقطه ای قابل حمل از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است: ۱) یک گان یا ابزار جوشکاری قابل حمل ۲) یک ترانسفورماتور و در برخی مواقع رکتیفایر ۳) یک کانداکتور الکتریکی و تایمر (توالی زمان) ۴) یک کابل آبگرد بین ترانسفورماتور و گان. یک گان قابل حمل شامل فریم، یک سیلندر هیدرولیکی یا هوایی، گیره هایی که برای گرفتن دستگاه با دست تعبیه شده و سوئیچ دستی می باشد.

دو نوع اصلی گان وجود دارد: گان هایی که با هوا کار می کنند و دسته دوم هیدرولیکی هستند. همچنین ممکن است در یک تقسیم بندی دیگر این گروه از دستگاه ها را مشابه با دستگاه های جوشکاری نقطه ای به دو نوع پرسی و بازو متحرک تقسیم بندی نمود. طراحی گان بستگی به نیروی مورد نیاز برای الکتروود دارد. برای حداقل کردن اندازه و وزن یک گان، از سیلندرهایی هیدرولیکی معمولاً برای تولید نیروهای بیشتر از ۷۵۰ پوند استفاده می نمایند. اگرچه سیلندرهایی هوایی تا ۱۵۰۰ پوند نیز به خاطر سادگی تجهیزات گاهی اوقات استفاده می شود.

ترانسفورماتور گان های قابل حمل باید دارای ولتاژ ثانویه مدار باز^۱ دو تا چهار برابر بزرگتر از دستگاه های ایستگاهی باشند. علت این مساله هم اضافه شدن کابل هایی بین گان و ترانسفورماتور است. اضافه شدن این کابل ها سه اثر عمده دارد:

^۱ - Open circuit Secondary Voltages

۱- امپدانس^۱ را افزایش می دهد. بنابراین ولتاژ خیلی بالاتری در گان جوشکار نیاز است تا یک جریان ثانویه معادل با حالت ایستگاهی را ایجاد نماید.

۲- باعث افزایش اجزاء مقاومتی امپدانس شد، بطوریکه فاکتور توان خیلی بزرگتر از دستگاه های ایستگاهی می شود. در دستگاه dc، مقاومت زیاد شده جریان در دسترس را کاهش میدهد. مگر اینکه ولتاژ بصورت متناسبی افزایش یابد.

۳- باعث حداقل شدن اثر امپدانس بر روی خروجی جریان گان و فاکتور توان می شود.

نوع دیگری از گان ها که جدیداً استفاده می شود، گان ترانس سر خود^۲ نام دارد. در این مدل، ترانسفورماتور مستقیماً بر روی خود سیستم اعمال نیرو سوار می باشد و دارای چند مزیت است. اول اینکه خیلی فشرده تر و جمع و جورتر از ترانسفورماتورهایی است که قبلاً توضیح داده شد. همچنین فاکتور توان آن می تواند از ۸۵ درصد هم فراتر برود. یک کنترل ترکیبی^۳ برای عملکرد واحد گان در انواع مختلف گان های قابل حمل مورد نیاز است.

سیستم کنترل شامل کنتاکتور^۴ اولیه و تایمرجوش^۵ می شود. در سیستم های جدید بجای کنتاکتور از یک تایریستور استفاده می شود.

د) نوع جوشکاری نقطه ای چندتایی^۶: این دستگاه ها با اهداف ویژه طراحی می شوند تا یک قطعه مشخص را جوشکاری نمایند. این نوع دستگاه باید هنگامی استفاده شود که حجم تولید و تعداد نقاط یا زائده های جوشکاری یک قطعه آنقدر زیاد باشد که دستگاه جوش (تک) نقطه ای معمولی از نظر اقتصادی جوابگو نباشد. سه مزیت عمده این دستگاه ها عبارتند از: ۱) ایجاد تعداد زیادی جوش در

¹ - Impedance

² - Trans gun

³ - Combination Control

⁴ - Contactor

⁵ - Sequence Timer

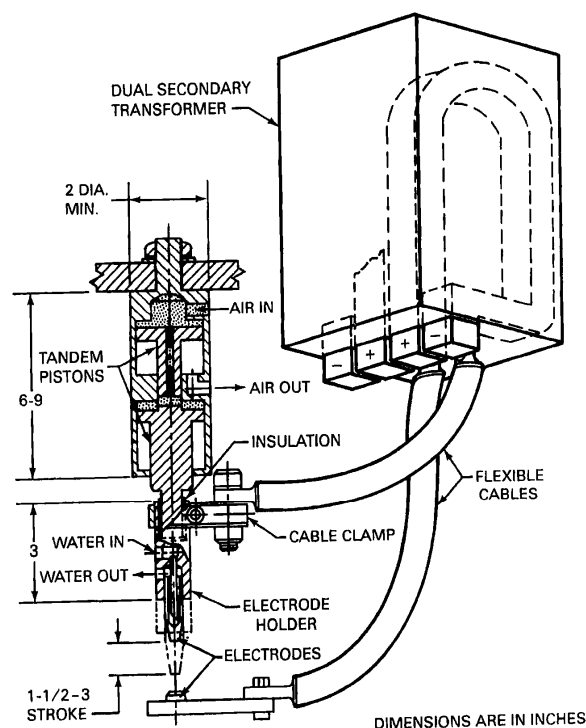
⁶ - Multiple type

هر با جوشکاری (۲) ابعاد و محل جوش ها منطقاً ثابت است. (۳) تجهیزات قابل اطمینان و آسان برای نگهداری

این نوع دستگاه های جوشکاری معمولاً چند ترانسفورماتوره (اکثراً دو ترانسفورماتوره) هستند. شکل (۳-۴) اجزاء استاندارد بکار رفته در دامنه وسیعی از دستگاه های جوشکاری چندتایی را نشان می دهد. نیرو از طریق سیلندرهای هوا یا هیدرولیکی به نگهدارنده ها و از آنجا به الکترودها اعمال می شود.

در طراحی این نوع دستگاه های جوشکاری چند فاکتورها خیلی مهم است که عبارتند از:

- ۱- اندازه، شکل و پیچیدگی قطعات ۲- ثبات قطعاتی که باید جوشکاری شوند. ۳- ترکیب شیمیایی و ضخامت قطعات ۴- سطح انتظار از ظاهر جوش ۵- مقدار تولید ۶- تجهیزات در دسترس (پرسها، فریم ها و ...) ۷- زمان تعویض قطعات مختلف ۸- فاکتورهای اقتصادی



شکل ۳-۴: اجزاء اصلی یک سیستم جوشکاری نقطه ای چندتابی

در بیشتر موارد، الکتروود پایینی از یک قطعه مکعبی آلایژ مسی ساخته می شود که یک یا چند الکتروود درون آن جا زده شده است. در حقیقت این الکتروودها هستند که در تماس با قطعه ای قرار می گیرند که قرار است جوشکاری گردد.

۳-۲-۱- سایر دستگاه های جوشکاری مقاومتی

- دستگاه های جوشکاری نواری: مشابه دستگاه های جوشکاری نقطه ای هستند به جز در شکل الکتروودهایی که استفاده می شوند. چندین نوع دستگاه جوشکاری نواری در بازار موجود هستند که انتخاب آنها بستگی به شرایط سرویس دارد. در برخی دستگاه ها قطعه کار در یک محل فیکس شده و الکتروود غلطکی از روی آن عبور می کند. این دستگاه در حقیقت از نوع قابل حمل است. در دستگاه جوشکاری ثابت، الکتروود ثابت می باشد و قطعه کار حرکت می کند. دستگاه جوشکاری نواری بایستی زمان های قطع و وصل جریان و چرخش

الکترودها را کنترل کند. اجزاء یک دستگاه جوشکاری استاندارد شامل یک فریم اصلی است که در آن محلی برای ترانسفورماتور و سوئیچ tap قرار دارد. یک هد جوشکاری شامل سیلندر هوا، یک بازو و یک پایه برای سوار شدن الکترودها بالایی و سیستم محرکه است. یک پایه برای سوار کردن الکترودها پایینی و سیستم محرکه (اگر استفاده شود) اتصالات مدار ثانویه، کنترل الکترونیکی و کانداکتورها و الکترودهای غلطکی می باشد. سه نوع دستگاه جوشکاری نواری وجود دارد (به شکل (۸-۱) مراجعه نمایید).

(۱) مدور^۱، که چرخش الکترودها در این دستگاه ها عمود بر سطح جلوی دستگاه می باشد. این نوع دستگاه ها برای مسیرهای طولانی در قطعه کارهای مسطح و برای جوشهای محیطی مانند جوشکاری یک هد به ظرفش بکار می رود.

(۲) دستگاه های طولی^۲: که محور چرخشی الکترودها موازی با دستگاه است. این نوع دستگاه ها برای جوشکاری هایی مانند جوش درز پهلویی یک ظرف استوانه ای و مسیرهای کوتاه در قطعات مسطح بکار می روند.

(۳) نوع عمومی^۳: که الکترودهای غلطکی در آنها ممکن است در هر دو موقعیت فوق قرار بگیرند.

مکانیزم های حرکت الکترودها غلطکی نیز به دو صورت است: در حالت drive Gear نیروی موتور مستقیماً به مرکز الکترودها وارد شده و آن را به چرخش درمی آورد. در حالت دوم چرخش غلطک های هموار یا دندانه داری^۴ که در تماس با الکترودهای اصلی می باشند، آنها را به حرکت درمی آورند.

در برخی موارد دستگاه هایی نیز برای اهداف و کاربردهای خاص طراحی می شوند: مانند دستگاه نوع الکترودها متحرک، نوع فیکسچر متحرک و قابل حمل.

^۱ - Circular

^۲ - Longitudinal

^۳ - Universal

^۴ - Knurl or Friction Roller

- دستگاه های جوشکاری جرقه ای: یک دستگاه جوشکاری جرقه ای شامل فریم اصلی، ورقهای ساکن، ورق های متحرک، سیستم گرفتن و فیکس کردن قطعه، یک ترانسفورماتور، یک سوئیچ tap، کنترل های الکتریکی و یک سیستم جرقه زدن و سر به سر کردن است. الکترودهایی که قطعه را نگهداری می کنند و جریان جوشکاری را به آن منتقل می کنند بر روی صفحات سوار می شوند.

- دستگاه های جوشکاری زائده ای: الکترودها یا قالب های جوشکاری زائده ی سطوح مسطح با سطح تماس بزرگتری از الکترودهای جوش نقطه ای دارند. دستگاه مقاومتی نوع پرسی معمولاً برای جوشکاری زائده ای بکار می رود.

- دستگاه های جوشکاری سر به سر: که خیلی شبیه دستگاه های جوشکاری جرقه ای می باشند، شامل یک فریم اصلی است که ترانسفورماتور و سوئیچ tap درون آن قرار دارند. الکترودهایی برای نگهداشتن قطعات و انتقال جریان به آنها و وسیله ای برای سر به سر کردن اتصال است. یک کنتاکتور اصلی برای کنترل جریان جوشکاری استفاده می شود. دستگاه های جوشکاری سر به سر ظرفیت کمتری نسبت به دستگاه های جوشکاری جرقه ای دارند.

- دستگاه های جوشکاری فرکانس بالا: دستگاه های این فرآیند کاملاً اتومات است و تجهیزات مورد استفاده ویژه ای در طراحی آن بکار می رود.

- دستگاه های جوشکاری ضربتی: در این فرآیند از دو نوع دستگاه استفاده می شود. دشارژ مغناطیسی و خازنی. دستگاه های آن معمولاً شبیه به دستگاه جوشکاری مقاومتی نوع پرسی است که مقداری اصلاح شده تا برای این فرآیند متناسب گردد. مثلاً ترانسفورماتورها و کنترل کننده ها و ابزارهایی از آن تغییر نموده اند.

۳-۲- کنترل جوشکاری مقاومتی

وظایف عمده کنترل کننده های جوشکاری مقاومتی عبارتند از: (۱) تولید سیگنالهایی برای کنترل عملکرد دستگاه (۲) شروع و متوقف کردن جریان جوشکاری (۳) کنترل میزان جریان سه قسمت کنترل در سیستم جوشکاری مقاومتی وجود دارند. کنترل زمان و توالی^۱ جوشکاری، کنتاکتورهای جوشکاری و کنترل کننده های کمکی.

۳-۲-۱- کنترل زمان ها و توالی جوشکاری

- تایمر جوش: این تایمر وسیله ای است برای کنترل توالی و مدت زمان اجزاء مختلف یک سیکل جوشکاری. همچنین ممکن است سایر حرکات مکانیکی دستگاه را نیز کنترل نماید. تایمرهای توالی در جوشکاری مقاومتی نقطه ای، نواری و زائده ای استفاده می شوند. چهار مرحله اصلی سیکل جوشکاری نقطه ای، نواری و زائده ای عبارتند از:

۱- زمان قبل از جوش squeeze ۲- زمان جوش ۳- زمان نگهداری ۴- زمان قطع که در مورد آنها قبلاً بطور مفصل صحبت شد.

تایمرهای جوشکاری چند پالس برای کنترل تعداد پالس جریان با یک فاصله زمانی معین بین هر پالس ساخته می شوند. این تایمرها در حقیقت مدت زمان هر پالس که زمان حرارت^۲ نامیده می شود، همچنین فواصل زمانی بین آنها را که زمان خنک کردن^۳ نامیده می شود را نیز کنترل می کنند. مجموع این زمانها (زمان های حرارت و خنک شدن) زمان جوشکاری نامیده می شود. تایمرها و کنترل کننده های ترکیبی که در حال حاضر استفاده می شوند بیشتر از نوع کنترل کننده های فازی بسیار

^۱ - Sequence

^۲ - Heat

^۳ - Cool

دقیق و سنکرون با برق ورودی^۱ هستند. کنترل کننده های غیرسنکرون تقریباً از رده خارج شده و کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

طبقه بندی تایمرهای توالی جوش طبق نظر RWMA^۲ بصورت زیر است:

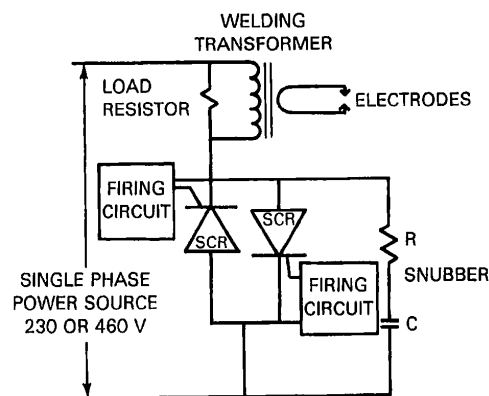
- ۱- نوع 1AS و A1A که فقط زمان جوشکاری را کنترل می کند.
 - ۲- نوع 1BS که زمان های حرارت و خنک شدن را برای جوشکاری چند پالسه کنترل می کند.
 - ۳- نوع A3B که زمان squeeze زمان نگهداری و زمان قطع را نیز کنترل می کند.
 - ۴- نوع A3C که مشابه A3B است منتهی زمان شروع squeeze را کنترل می کند. Pre squeeze که در حقیقت زمان حرکت الکتروود تا موقعی که به سطح کار برخورد کند. این نوع تایمرها برای جوشکاری تکراری با سرعت بالا استفاده می شود.
 - ۵- نوع A5B که مشابه A3B است ولی برای استفاده در جوشکاری چند پالسه طراحی می شود و زمان حرارت، خنک شدن و جوش را به جای زمان جوش کنترل می کند.
 - ۶- نوع 7B که تایمر توالی است و به همراه تایمر نوع 1AS برای کنترل زمان squeeze، جوش، نگهداری و قطع جریان بکار می رود.
 - ۷- نوع 9B که مشابه 7B است ولی به همراه تایمر جوش 1BS مورد استفاده قرار می گیرد.
- در نشانه گذاری SRWMA نشان دهنده تایمر بسیار دقیق همزمان است و A نشان دهنده یک تایمر سیکل کامل است.

¹ - Synchronous Precision Phase Cont

² - Resistance Welder Manufactures Association

۳-۲-۲- کنتاکتور^۱

یک کنتاکتور وسیله ای است که برای باز و بستن جریان اولیه ترانسفورماتور جوشکاری بکار می رود. کلمه کنتاکتور یک نام بی مسمی برای این وسیله است که از کنتاکتورهای مکانیکی (مغناطیسی) که اوایل برای کنترل ترانسفورماتور جوشکاری در کنترل کننده های جوشکاری غیرهمزمان استفاده می شده، باقی مانده است. کنترل کننده های مدرن جوشکاری عموماً از مجموعه ای SCR (یکسو کننده کنترل شده سیلیکونی^۲) استفاده می کنند که از یک مجموعه سوئیچ های نیمه هادی که بجای کنتاکتور عمل می کند ساخته شده. در تجهیزات تکفاز فقط از یک جفت SCR در خط اصلی مدار استفاده می شود. (شکل (۳-۵)).



شکل ۳-۵: دستگاه جوشکاری تک فاز با کانداکتورهای با جفت SCR در حقیقت با استفاده از

کانداکتورها میزان توان ورودی به مدار را کنترل کرده و با کنترل توان جریان و ولتاژ ورودی و مورد نظر را به مدار اولیه ترانسفورماتور انتقال داد.

۳-۲-۳- کنترل کننده های کمکی

شامل ابزارهای کنترل حرارت، کنترل شیب صعودی جریان (در ابتدای جوشکاری) و شیب پایانی جریان جوشکاری و کنترل جریانهای کوئیچ و تمیز کردن می باشد که با استفاده از تغییراتی در سوئیچ tap ترانسفورماتور یا روش

^۱ - Contactor

^۲ - Silicon Controlled Rectified

های دیگری مانند رگلاتورهای جریان و ولتاژ و ... این کنترل کننده ها عمل می کنند. کنترل کننده نیرو نیز بایستی مقدار نیروی اصلی جوشکاری و نیروی فورج را کنترل نماید.

همچنین در طول فرآیند ممکن است نیاز باشد جریان جوشکاری یا نیرو را اندازه گرفته و نیاز به کنترل آن داشته باشیم. در این مواقع می توان از آمپرسنج ها و نیروسنج های که برای فرایندهای جوشکاری مقاومتی طراحی می شوند استفاده نمود. همچنین ممکن است نیاز به تراشکاری نوک الکترو باشد، در این مواقع معمولاً از دستگاه های خاصی (dresser) که دارای تیغه های مخصوص این کار می باشد، استفاده می شود.

۳-۳- کابل های جوشکاری مقاومتی

کابل های جوشکاری مقاومتی را می توان به سه دسته تقسیم کرد: کابل های تک آبگرد^۱، کابل های تک هوا خنک^۲ و کابل های بدن ضربه^۳ هستند. جنس رشته بافته شده درون کابل و ترمینالها مس C11000 می باشد که بیشترین هدایت الکتریکی را داراست. جنس شیلنگ کابل نیز باید طوری انتخاب شود که در برابر سایش و خراشیدگی مقاومت کافی داشته باشد. شیلنگ ها را از مواد عایق می سازند. بر حسب نوع استفاده که قرار است از کابل صورت بگیرد، ابعاد دو نوع کابل باید طوری انتخاب شود که متناسب با مقاومت مدار کلی و عمر الکترودها باشد. در هنگام انتخاب کابل باید نوع سر کابل، gauge کابل و طول آن را مشخص کرد. در پیوست (۱) کتاب انواع انتهای کابل و اندازه های آنها برای

¹ - Air- cooled Jumper Cables

² - Water- cooled Jumper Cables

³ - Kick Cables

کابل هایی که با آب خنک می شوند و نیز انواع کابل هایی که با هوا خنک می شوند، آورده شده است. این کابل ها تولید شرکت T.J.Snow می باشد.

در کابل هایی که با آب خنک می شود (W.J) طراحی باید طوری صورت پذیرد که از جریان کامل آب در همه طول کابل اطمینان حاصل شود. همچنین خمش و تابیدگی کابل نباید باعث کاهش فلوی آب در کابل شود. در این نوع کابل ها می توان با کنترل فلو و دمای آب عمر کابل را افزایش داد. و معمولاً فلوی دو گالن بر دقیقه برای کابل های تک و ۲/۵ گالن بر دقیقه برای کابل های دوبل متناسب می باشد. در مورد کابل هایی که با هوا خنک می شوند، متاسفانه اکسیداسیون زیاد است. استفاده از یک ترمینال نقره اندود (داخل و بیرون) می تواند فرآیند اکسیداسیون را کاهش دهد.

علاوه بر عوامل فوق، عمر یک کابل به دو عامل دیگر نیز وابسته است، اتصال رشته مسی به ترمینال خروجی، که معمولاً مجموعه رشته مسی را به ترمینال پرس جوش یا لحیم کاری می کنند تا حداقل مقاومتی الکتریکی ممکن در این نقطه به وجود آید، همچنین اتصال مناسبی بین این دو جزء بوجود آید. عوامل مکانیکی مانند فشار و ضربه شیلنگ نیز بر روی عمر کابل اثر گذار می باشد.

۳-۴- الکترودهای جوشکاری مقاومتی

الکترودهای جوشکاری مطمئناً یک جزء حیاتی سیستم های جوشکاری را تشکیل می دهند. بدین منظور بایستی سه هدف ذیل را تامین نمود: ۱- اعمال فشار تا از چفت شدن مناسب ورق ها در طول جوشکاری مطمئن شویم. ۲- باید جریان مورد نیاز برای جوشکاری را حمل کنند. ۳- بایستی خنک شدن جوش را تسهیل کنند و دکه جوش را به گونه ای تحت پوشش قرار دهد که میزان پاشش در فصل مشترک الکترود ورق به حداقل برسد.

۳-۴-۱- خواص مورد نظر از یک الکتروود مقاومتی

الکتروودهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای که به منظور اتصال فلزات سبک یا ورق های فولادی عملیات سطحی شده بکار می روند، بایستی دارای برخی خواص شامل مقاومت حرارتی، هدایت الکتریکی، هدایت حرارتی و مقاومت سایشی متناسب با کاربردهایشان باشند. علاوه بر آن لازم است که ماده الکتروود دارای ساختار هموژن با قابلیت ماشینکاری و فرم دهی باشد.

در حالت کلی می توان گفت که الکتروود جوش نقطه ای به عنوان یک هدایت کننده جریان اعمالی به ماده جوشکاری استفاده می شود. بنابراین الکتروود مورد استفاده برای جوشکاری مقاومتی نقطه ای بایستی با توجه به شرایط جوشکاری و ماده ای که جوش داده می شود، از خواص مناسبی برخوردار باشد. در اغلب فرآیندهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای الکتروودها بایستی خصوصاً مقاومت حرارتی و هدایت الکتریکی در دمای بالا داشته باشند. زیرا این الکتروودها بطور پیوسته تحت شرایط دما و فشار بالا قرار دارند. ماده الکتروود باید پاشندگی کمی داشته باشند و بر روی ماده تحت جوشکاری ذوب نشوند (هنگامیکه الکتروود تحت شرایط دما و فشار بالا به مدت زیاد مورد استفاده قرار می گیرند).

تغییر در ترکیب شیمیایی الکتروود می تواند در کارکرد نهایی آن موثر باشد. به عنوان مثال، یک ماده سخت تر ممکن است که مقاومت سایشی بهتری داشته باشد، اما با افزایش مقدار این آلیاژ و در نتیجه، افزایش استحکام ماده معمولاً هدایت الکتریکی ماده کاهش می یابد. لذا یک ماده الکتروود مناسب بایستی علاوه بر ترکیب هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی خوب، استحکام مکانیکی و سختی کافی در دمای عملیات را داشته باشد.

۳-۴-۲- بررسی مواد مختلف مورد استفاده در ساخت الکترودهای مختلف

عنصر اصلی مورد استفاده در الکترودهای مقاومتی مس است، زیرا هدایت الکتریکی بالا و میزان مقاومت کمی دارد. اما مس خالص استحکام مکانیکی پایینی دارد. به همین دلیل بصورت آلیاژ یا پراکنده سخت شده و یا پوشش داده شده مورد قرار می گیرد تا علاوه بر هدایت خوب از استحکام بالایی نیز برخوردار شود.

الف - الکترودهای آلیاژی: معمولاً فلزاتی از قبیل کروم، زیرکونیوم، سیلیسیم یا نیکل را در مقادیر بسیار اندک به فلز پایه مس اضافه می کنند تا یک آلیاژ ایجاد شود که این آلیاژ به عنوان ماده الکتروود مصرف می شود. و هرچند هنگامیکه چنین آلیاژی به عنوان الکتروود مصرف می شود، ممکن است که تمام خواص مورد نظر نظیر مقاومت حرارتی، هدایت الکتریکی، هدایت حرارتی و مقاومت سایشی در حد مطلوب نباشد و برخی از آنها بطور جزئی در الکتروود موجود باشند. به عنوان مثال در آلیاژ مس - کروم که بطور گسترده ای به عنوان الکتروود جوشکاری مقاومتی نقطه ای بکار می رود و توسط یک روش ریخته گری معمولی تولید میشود از مس به عنوان فلز پایه به همراه ۰/۲ درصد وزنی کروم استفاده می شود و این آلیاژ به دلیل وجود ذرات کروم ریز پراکنده شده در زمینه مسی، خواص مکانیکی بهبود یافته ای دارد، هنگامیکه الکتروود ساخته شده از این آلیاژ تحت شرایط جوشکاری قرار می گیرد، پایداری حرارتی و مقاومت سایشی آن تضعیف می شود. علت این موضوع افزایش اندازه ذرات کروم رسوب کرده به دلیل گرم شدن الکتروود حین جوشکاری می باشد. و به همین دلیل اخیراً سعی بر استفاده از الکترودهای کامپوزیتی متشکل از مس و اکسید فلز می باشد که بعداً بطور مفصل به توضیح آن خواهیم پرداخت.

الکترودهای Cu-Cr و Cu-Cr-Zr ساختار کار سرد شده با دانه های به شدت کشیده شده و ممتد دارند و در داخل آنها فاز رسوب کرده و پراکنده شده

بصورت ریز و ظریف موجود است. اندازه دانه های الکترودهای Cu-Zr خیلی بزرگتر است. در بین الکترودهای آلیاژی، الکتروده مس - کادمیم دارای بیشترین هدایت حرارتی (۸۰ درصد حداقل مقدار استاندارد بین المللی برای مس آنیل شده) و کمترین سختی (حداقل ۶۵ RB) هدایت الکتروده مس - کروم اندکی کمتر است (۷۵٪) ولی سختی بالاتری دارد تا با این الکترودها جوش های طولانی تری را می توان انجام داد زیرا سختی بالاتری دارند.

ب- الکترودهای رسوب سختی شده

این الکترودها معمولاً شامل مس و اکسید فلز می باشند. برخی از این آلیاژها عبارتند از: $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ و Cu-SiO_2 ، Cu-ZrO_2 و Cu-BeO_2 . مشخص شده است که آلیاژ $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ خواص فوق العاده دارد. این آلیاژ توسط ترکیبی از روش متالورژی پودر و روش اکسیداسیون داخلی تولید می شود. مقاومت خزشی، هدایت الکتریکی و پایداری حرارتی (در دمای اتاق و دماهای بالا) این آلیاژ نسبت به انواع دیگر برتر است و به همین دلیل به عنوان ماده الکتروده مناسب است.

کمپانی نیپرت^۱ نوع پیشرفته تر الکترودهای مس رسوب سخت شده گیلدکاپ^۲ را عرضه کرده که این الکترودها برپایه فرمول A160 می باشند که حاوی ۱/۱ درصد وزنی اکسید آلومینیم می باشد. این آلیاژ در حدود ۸۰٪-۷۰ هدایت الکتریکی مس خالص را دارا می باشد. اما قیمت بالای آن موجب محدود شدن مصرف آن شده است. شرکت نیپرت برای مصرف کننده های که قیمت برایشان چندان مطرح نیست، یک تکنولوژی جدید کلاهک^۳ را ابداع کرده است. این

^۱ - Nipper

^۲ - Gild cop

^۳ - Cap-tip

فن آوری جدید از یک بدنه زیرکونیومی بر روی یک گلیدکاپ تشکیل شده است که معروف به کلاhek مرکب نیترو^۱ می باشد.

برخی از خواص مکانیکی چند نوع آلیاژ رسوب سختی شده آزمایش شده از جدول (۱-۳) آورده شده است. d اندازه متوسط ذرت آلیاژی، Δf منفی انرژی آزاد تشکیل اکسید σ تنش شکست در دمایی در حدود 20°C و δ تغییر طول نسبی می باشد.

Alloying metals	d (nm)	ΔF (cal/g · atom)	Type of oxide particle	σ (MPa)	δ (%)
Cu-0.2%Be	13	115,250	BeO	400	4
Cu-0.2%Al	25	103,133	Al ₂ O ₃	300	20
Cu-0.4%Al	30	103,133	Al ₂ O ₃	360	13
Cu-0.2%Ti	20	86,945	TiO ₂	230	16
Cu-0.4%Zr	21	103,700	ZrO ₂	290	18
Cu-0.2%Si	70	76,100	SiO ₂	180	17
Cu-0.2%Al-0.05%Ti	20	•	Al ₂ O ₃ , TiO ₂	320	9
Cu-0.4%Al-0.05%Be	20	•	Al ₂ O ₃ , BeO	•	•
Cu-0.2%Al-0.05%Si	20	•	Al ₂ O ₃	340	10
Cu-0.2%Si-0.05%Be	30	•	BeO	270	6
Cu-0.2%Si-0.05%Ti	56	•	TiO ₂	290	7

جدول ۱-۳ خواص مکانیکی برخی از آلیاژهای رسوب سختی شده

ج - الکترودهای پوشش داده شده بوسیله کاربید تیتانیوم: این الکترودها عمر طولانی تری دارند، کمتر به قطعه کار می چسبند و محدوده جوشکاری وسیعتری دارند. به دلیل هدایت بالاتر تیتانیوم مقداری صرفه جویی در هزینه های جانبی خواهیم داشت. همچنین مهندسين دریافته اند که در مورد این آلیاژها نیازی به پاکسازی سطح نداریم. تعداد زیادی از کارخانجات اتومبیل سازی گزارش داده اند که هنگام استفاده از کلاhek های پوشش داده شده با TiO الکترودها نمی چسبند. پوشش کاربید تیتانیوم با استفاده از یک فرآیند کم ولتاژ ابداعی به کلاhek

^۱ - Nit rode Composite Cup

جوش می خورد و یک پیوند متالورژیکی بین پودر کاربید تیتانیم زینتر شده و آلیاژ مس برقرار می شود. این نوع الکتروود بیشتر برای فولادهای پوشش داده شده استفاده می شود.

۳-۴- بررسی جنس الکتروودها مطابق با استانداردها

صنایع با تولید بالا متمایل به انجام جوشکاری های مداوم و در حجم بالا بوده و لذا نیاز به الکتروودهای خاصی دارند، که این امر باعث گردیده که طراحان الکتروودها توجه زیادی به قابلیت ها و محدودیت های جنس بکار رفته در الکتروودها نموده و الکتروودها را بنا به جنس آنها مورد دسته بندی قرار دهند. لذا در این قسمت به بررسی انواع الکتروودها بنا به جنس بکار رفته در آنها می نمایم که این بررسی مطابق با کلاس بندی RWMA و ISO صورت گرفته است.

الف) بررسی جنس الکتروودها مطابق با کلاس بندی RWMA:

با گذشت سالیان بسیار از کلاس بندی RWMA که برای اولین بار به منظور بهبود کیفیت الکتروودهای پایه مس بکار رفته، هنوز تغییرت عمده ای در جنس الکتروودها صورت نگرفته است. جدول (۲-۳) میزان حداقل خواص آلیاژهای مختلف کلاس بندی RWMA را نشان میدهد.

گروه A: آلیاژهای پایه مس

کلاس ۱: این گروه آلیاژهای مس - کادمیم (Cu-Cd) هستند که دارای ۱٪ کادمیم و مابقی مس هستند. از این گروه بطور عمومی در مواردی که نیاز به انتقال حرارت و یا انتقال جریان بالایی است استفاده می شود. مثلاً در جوشکاری های مقاومتی نقطه ای و نواری که این نکته مهم باشد؛ از این الکتروودها استفاده می کنند. این کلاس برای جوشکاری نقطه ای و نواری برای فلزاتی مانند آلومینیم، منیزیم و فولادهای گالوانیزه استفاده می شوند از آنجا که مواد این دسته دارای هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی هستند باید توسط سیستم های خنک کننده مناسب دمای

آنها را همواره زیر دماهای بحرانی نگهداشته شود. به عنوان مثال آلومینیم تمایل بسیار زیادی به آلیاژ شدن با مس و نتیجتاً چسبیدن الکتروود به قطعه کار را دارد و این آلیاژهای ایجاد شده شباهتهای بسیار کمی با فلزات اصلی این کلاس دارند. لذا این سیستم های خنک کننده باید مانع تشکیل این آلیاژها و چسبندگی الکتروود و تمایل به این چسبندگی گردند. همچنین این سیستم های خنک کننده امکان نفوذ بین دانه ای برای مواد با نقطه ذوب پایین موجود در الکتروود را بسیار کاهش می دهند. مواد کلاس ۱ قابلیت عملیات حرارتی را نداشته و باید خواص خود را از طریق عملیات کار سرد مانند کشش سرد، نورد سرد و فورج سرد بدست آورند. این کلاس مزیت خاصی نسبت به مس معمولی ریخته شده نداشته و کمتر مورد استفاده قرار گرفته و به این صورت ساخته می شوند.

کلاس ۲: این گروه آلیاژهای مس - کروم (Cu-Cr) هستند که ترکیب ۰/۸ درصد وزنی کروم و مابقی مس می باشد. مواد این کلاس دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به گروه کلاس ۱ بوده ولی هدایت حرارتی و هدایت الکتریکی آنها نسبت به کلاس ۱ کمتر است. این گروه خواص فیزیکی خوبی داشته و مقاومت آنها در برابر تغییر شکل در زیر فشارهای نسبتاً بالا آنها را به بهترین کلاس این نوع مواد تبدیل کرده است. اگر بخوایم که انواع مختلفی از مواد را در حالتهای گوناگون تنها با یک نوع الکتروود خاص جوش دهیم، الکترودهای کلاس ۲ انتخاب ایده آلی به حساب می آیند. این گروه کاربرد وسیعی در تولیدات انبوه در جوشکاری های نقطه ای و نواری در فولادهای کم آلیاژی، برنج و برنز دارند که شامل قسمت عمده ای از کاربرد جوشکاری مقاومتی می شود.

این گروه همچنین برای میله ها، پیچ ها، نگهدارنده ها، صفحه ها، گیره ها و انواع گوناگون اجزاء سیستم انتقال جریان در تجهیزات جوش مقاومتی مناسب هستند.

Group A Copper-Base Alloys	Proportional Limit Tension, psi			Hardness, Rockwell B			Conductivity, % ^a			Ultimate Tensile Strength, psi			Elongation, % in 2 in. or 4 diameters		
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 1	Class 2	Class 3	Class 1	Class 2	Class 3	Class 1	Class 2	Class 3	Class 1	Class 2	Class 3
	Round Rod Stock (Cold Worked)														
Rod Diam., In.															
Up to 1	17,500	35,000	50,000	65	75	90	80	80	75	45	60,000	65,000	100,000	13	9
Over 1 to 2	15,000	30,000	50,000	60	70	90	80	80	75	45	55,000	59,000	100,000	14	9
Over 2 to 3	15,000	25,000	50,000	55	65	90	80	80	75	45	50,000	55,000	95,000	15	9
Thickness, In.															
Up to 1	20,000	35,000	50,000	55	70	90	80	80	75	45	60,000	65,000	100,000	13	9
Over 1	15,000	25,000	50,000	50	65	90	80	80	75	45	50,000	55,000	100,000	14	9
Thickness, In.															
Forgings															
Up to 1	20,000	22,000 ^b	50,000	55	65	90	80	80	75	45	60,000	55,000	94,000	12	9
Over 1 to 2	15,000	21,000 ^b	50,000	50	65	90	80	80	75	45	50,000	55,000	94,000	13	9
Over 2	15,000	20,000 ^b	50,000	50	65	90	80	80	75	45	50,000	55,000	94,000	13	9
Castings															
All	-	20,000	45,000	-	55	90	-	70	45	-	45,000	85,000	-	12	5
Group A Copper-Base Alloys															
Proportional Limit Tension, psi		Hardness, Rockwell		Conductivity, % ^a		Ultimate Tensile Strength, psi		Elongation, % in 2 in. or 4 Diameters							
Class 4 Alloys		Class 5 Alloys		Class 6 Alloys		Class 7 Alloys		Class 8 Alloys							
Cast	60,000	33C	18 (Average)	90,000	0.5										
Wrought	85,000	33C	20 (Average)	140,000	1.0										
Class 5 Alloys, cast		Class 6 Alloys		Class 7 Alloys		Class 8 Alloys		Class 9 Alloys							
Type H	16,000	88B	12	70,000	2										
Type S	12,000	65B	15	65,000	12										
Group B Refractory Metals															
Ultimate Compression Strength, psi		Elongation, % in 2 in. or 4 Diameters													
Class 10 - Rods, bars, and inserts		Class 11 - Rods, bars, and inserts		Class 12 - Rods, bars, and inserts		Class 13 - Rods, bars, and inserts		Class 14 - Rods, bars, and inserts							
135,000		160,000		170,000		200,000		-							
72B		94B		98B		69B		85B							
45		40		35		30		30							

a. International Annealed Copper Standard.

b. Hot worked and heat treated but not cold worked.

جدول ۲-۳ حداقل خواص مواد الکترودهای RWMA

آلیاژهای کلاس ۲ قابلیت عملیات حرارتی را داشته و لذا برای ریخته گری مناسب هستند. این کلاس برای رسیدن به خواص اصلی بصورت قابل ملاحظه ای مورد

عملیات کار سرد قرار گرفته تا با این عملیاتها بعد از عملیاتهای حرارتی به خواص نهایی خود دست یابند.

کلاس ۳: این گروه آلیاژهای مس - بریلیم (Cu-Be) با مقادیر کمی بریلیم هستند. ترکیب شیمیایی آنها ۰/۵٪ بریلیم، ۱٪ نیکل و یا ۱٪ کبالت و بقیه مس می باشند. مواد کلاس ۳ دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به کلاس ۲ بوده ولی هدایت الکتریکی آنها نسبت به کلاس ۲ پایین تر است. از الکترودهای این کلاس خصوصاً در مواردی که در آنها مقاومت الکتروود در برابر تغییر شکل بسیار مهمتر از خواص هدایتی آن باشد، استفاده می شود. لذا این الکترودها ارزش زیادی در جوشکاری های نقطه ای و نواری در فشارهای بالا دارند. همچنین در مواردی که در آنها مقاومت حرارتی قطعه کار بالاست از این الکترودها استفاده می شود که به عنوان مثال از کاربردهای این الکترودها در جوشکاری فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای استحکام بالای فولاد و آلیاژهای آنیونل استفاده می شود.

این کلاس خصوصاً برای انواع جوشکاری تحت فشار و جوشکاری مواد پوشش دار و آستر دار یا لوله ها در دستگاه های جوشکاری نواری مناسب هستند.

خواص نهایی این گروه با خواص قطعه ریخته تفاوت چندانی نداشته زیرا خواص مکانیکی بسیاری از این مواد بستگی شدید به عملیات حرارتی انجام شده روی این مواد دارند. این امر در مواد کلاس ۲ کمتر مشاهده می شود. مواد کلاس ۳ ممکن است که مورد کشش سرد و یا نورد سرد به مقدار ناچیزی قرار بگیرند ولی این عملیات ها تنها حدود ۵٪ از خواص مکانیکی مورد نظر را به ماده ما می دهند و قسمت قابل توجهی از هدف این فرآیند ها برای ثابت کردن اندازه قطعه و آماده سازی نهایی (عملیات تمام کاری) آن می باشد.

کلاس ۴: این گروه آلیاژهای بریلیم - مس با مقادیر بالای بریلیم (۱/۸٪) است که حدود ۰/۳٪ نیز کبالت دارند. مواد این کلاس قابلیت پیرسختی داشته و بیشترین مقدار سختی و مقاومت را در میان الکترودهای پایه مس دارا می باشند. توانایی

بسیار پایین این مواد در انتقال حرارت و جریان الکتریکی و همچنین تمایل آنها به شکنندگی داغ موجب گردیده که مواد این کلاس برای جوشکاری هایی که در آنها سطح برخورد نسبتاً کوچک است مانند جوشکاری نقطه ای و نواری مناسب نباشند و بیشتر برای جوشکاری های با سطح تماس زیاد مانند جوشکاری تحت فشار یا در قالب های جوشکاریهای جرقه ای کاربرد زیادی دارند.

آلیاژهای کلاس ۴ قابلیت عملیات حرارتی داشته و امکان انجام این عملیات در هر مرحله ساخت و در انتهای مراحل تولید موجود است.

کلاس ۵: این گروه آلیاژهای آلومینیم - برنز هستند که ترکیب آنها شامل ۱۲ درصد آلومینیم و مابقی مس می باشد. این مواد در الکترودهای جوشکاری جرقه ای و در قالبهای دستگاه های جوشکاری لب به لب^۱ استفاده می شوند. استحکام بالا و مقاومت بالای این مواد در برابر ساییدگی و جرقه های پیوسته آنها را برای استفاده در بسیاری از اجزاء سیستم انتقال جریان یا اجزاء ماشین های جوشکاری مقاومتی و نگهدارنده ها سودمند نموده است.

آلیاژهای خاص مانند مس - زیرکونیوم از زمانی که به عنوان یک ماده با ارزش ها و قابلیت های خاص به عنوان الکتروود مورد استفاده قرار گرفته اند با استقبال زیادی مواجه شده اند و بسیار بکار برده می شوند. خصوصاً در جوشکاری نقطه ای و نواری برای موادی با پوشش های کامل یا آبکاری شده مانند ورق های گالوانیزه شده آهنی و فولادی این الکترودها بکار برده می شوند. اگر چه خواص این مواد چنان به نظر می رسد که شرایطی مانند ترکیب کردن آلیاژهای کلاس ۱ و ۲ را ایجاد می کنند. اما اختلاف مشاهده شده در این خواص به اندازه اختلاف در نتایج بدست آمده ای نیست که توسط مصرف کننده های مختلف به علت های مختلف و نامعلوم و غیرقابل پیش بینی و بحث انگیز در صنعت و به خصوص در کارخانه های بزرگ تولیدی به وجود آمده است.

^۱ - Butt

- گروه B: ترکیبات فلزات دیرگداز

این دسته از فلزات دیرگدازها نامیده می شوند زیرا بر خلاف گروه A که آلیاژهای پایه مسی هستند، این فلزات تحت تاثیر حرارت ناشی از عمل جوشکاری قرار نگرفته و تحریک نمی شوند. فلزات این گروه بصورت آلیاژی ساخته نمی شوند. بلکه به روش متالورژی پودر تهیه می شوند. مهمترین خاصیت و کاربرد این گروه در جوشکاری های با دمای بسیار بالا و همچنین جوشکاری های با مدت زمان طولانی و جوشکاری های بدون سیستم خنک کننده و یا تمرکز حرارتی بالا و یا تمرکز فشار بالا برای تسریع تغییر شکل می باشد.

کلاس های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ مخلوطی از مس و تنگستن هستند که سختی، استحکام و دانسیته آنها بیشتر و هدایت الکتریکی آنها کمتر از کلاس های دیگر می باشد. این مواد برای پوشش دادن نوک الکترود های جوشکاری نقطه ای برای جوشکاری فلزات با سختی و مقاومت بالا مانند فولاد زنگ نزن استفاده می شوند. همچنین این مواد در جوشکاری جرقه ای، زائده ای، سر به سر به عنوان قالب های جوشکاری استفاده می شوند.

کلاس های ۱۳ و ۱۴: آلیاژهای ساده تجاری تنگستن و مولیبدن هستند. این مواد به طور کلی به عنوان تنها الکترودهایی که کیفیت کار ارائه شده و عمر جوش بسیار بالایی دارند برای جوشکاری و لحیم کاری فلزات غیر آهنی با هدایت الکتریکی نسبتاً بالا بکار برده می شوند و از آنجا که میل ترکیبی بسیار پایینی با قطعه کار دارند می توانند برای جوشکاری فلزاتی که هدایت بیشتری از آنها دارند بکار روند. بدون اینکه به قطعه کار بچسبند. در بسیاری از این فرآیندها جوش به جای اینکه از سطوح داخلی شروع شود عملاً از سطوح دیگر آغاز شده و کاملاً در قطعه کار نفوذ می کنند. در جوشکاری کلافهای سیم های مسی و یا سیم های مسی - برنجی به یکدیگر و یا به گونه های دیگری از انواع برنرها و برنج ها عموماً از الکترودهای پوشش داده شده با مواد کلاس ۱۲ و ۱۳ استفاده می شود.

ب) بررسی جنس الکترودها بنا به استاندارد ISO

کلاس بندی استاندارد ISO 5182 تقریباً مشابه کلاس بندی RWMA بوده، لذا برای جلوگیری از تکرار مطالب به این توضیح بسنده می کنیم که در این استاندارد نیز هر دو گروه A و B با خواص ذکر شده و کلاسهای تقریباً مشابه کلاسهای گفته شده موجودند. لازم به ذکر است که در این استاندارد آلیاژ مس - زیرکونیوم در کلاس ۲ که آلیاژهای مس - کروم قرار دارند جا گرفته است و خواص آن با این آلیاژها بررسی شده است. همچنین در گروه B یک کلاس اضافه نسبت به RWMA وجود دارد که کلاس ۱۵ می باشد و آلیاژ تنگستن و نقره می باشد که بالاترین هدایت الکتریکی را در گروه B داراست ولی دمای نرم شدن آن و سختی کمتری نسبت به بقیه مواد این گروه دارد. جدول (۳-۳) جنس الکترودها را طبق طبقه بندی ISO نشان می دهد.

همچنین این استاندارد کاربردهای مرسوم هر کدام از این مواد را در فرآیندهای مختلف جوشکاری مقاومتی آورده است که در جدول (۴-۳) ملاحظه می نمایید.

Material								Softening temperature °C min.
Group	Type	Number	Designation	Nominal composition ¹⁾ %	Forms available (values in mm)	Hardness HV (30 kg) mm.	Electrical conductivity S/m mm.	
A	1	1	Cu-ETP	Cu (+ Ag) min. 99,90	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	85 90 90 40	56 56 56 50	150
		2	Cu Cd1	Cd 0,7 to 1,3	drawn > 25 drawn < 25 forged	90 95 90	45 43 45	250
		2	Cu Cr1	Cr 0,3 to 1,2	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	125 140 100 85	43 43 43 43	475
			Cu Cr1 Zr	Cr 0,5 to 1,4 Zr 0,02 to 0,2	drawn > 25 drawn < 25 forged	130 140 100	43 43 43	500
			Cu Cr Zr	Cr 0,4 to 1 Zr 0,02 to 0,15	hardened ground < 45	180 160	43 43	500
			Cu Zr	Zr 0,11 to 0,25	hardened ground < 30	130 130	47 47	500
	3	1	Cu Co2 Be	Co 2,0 to 2,8 Be 0,4 to 0,7	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	180 190 180 180	23 23 23 23	475
		2	Cu Ni2 Si	Ni 1,6 to 2,5 Si 0,5 to 0,8	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	200 200 168 154	18 17 19 17	500
		4	Cu Ni1 P	Ni 0,8 to 1,2 P 0,16 to 0,25	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	130 140 130 110	29 29 29 29	475
			Cu Be2 Co Ni	Be 1,8 to 2,1 Co-Ni-Fe 0,20 to 0,60	drawn > 25 drawn < 25 forged cast	350 350 350 350	12 12 12 12	300
			Cu Ag6	Ag 6 to 7	forged < 25 forged 25 to 50	140 120	40 40	400
			Cu Al10 Fe5 Ni5	Al 8,5 to 11,5 Fe 2,0 to 6,0 Ni 4,0 to 6,0 Mn 0 to 2,0	forged cast	170 170	4 4	650
	B	10	W75 Cu	Cu 25		220	17	1 000
		11	W78 Cu	Cu 23		240	16	1 000
		12	WC70 Cu	Cu 30		300	12	1 000
		13	Mo	Mo 99,5		150	17	1 000
		14	W	W 99,5		420	17	1 000
		15	W65 Ag	35 Ag		140	29	900

¹⁾ The nominal composition of materials is for information only. The material shall be manufactured to the properties shown in the table

جدول ۳-۲ : جنس الکتروڈ بنا به استاندارد ISO

Material	Spot welding		Projection welding	Flash or butt welding	Auxiliary application
A 1/1	Electrodes for welding aluminium	Electrode wheels for welding aluminium			Unstressed current-carrying parts; laminated shunts
A 1/2	Electrodes for welding aluminium Electrodes for welding coated steel (zinc, tin, aluminium, lead)	Electrodes for welding aluminium Electrode wheels for welding coated steel (zinc, tin, lead, etc.)		Dies or insert for welding mild steel	Electrodes for high-frequency resistance welding of non-ferrous metals
A 2/1	Electrodes for welding mild steel Holders and shafts and back-ups	Electrodes for welding mild steel	Large dies	Dies or inserts for welding mild and carbon steels, stainless steels and heat-resistant steels	Stressed current-carrying parts Backing for sintered electrode materials of Group B
A 2/2	Electrodes for welding mild steel and coated steel	Electrode wheels for welding mild steel and coated steel	Dies and inserts		Stressed current-carrying parts Parts for guns, e.g. holders, shafts
A 2/3	Electrodes for welding mild steel, coated steel and high strength low alloy steel	Electrode wheels for welding mild steel and coated steel	Dies and inserts		Stressed current-carrying parts Parts for guns, e.g. holders, shafts
A 2/4	Electrodes for welding mild steel, coated steel, and high strength low alloy steel	Electrode wheels for welding mild steel and coated steel	Dies and inserts		Stressed current-carrying parts
A 3/1	Electrodes for welding stainless and heat-resistant steels Stressed electrode holders, shafts and arms	Electrode wheels for welding stainless and heat-resistant steels Shafts and bushings	Dies or inserts	Dies or inserts under high clamping force	Stressed current-carrying parts
A 3/2	Stressed electrode holders, shafts and arms	Shafts and bushings			Stressed current-carrying parts
A 4/1	Electrode holders and bent arms	Shafts and bushings			Stressed current-carrying parts

Material	Spot welding	Seam welding	Projection welding	Flash or butt welding	Auxiliary application
A 4/2	Electrode holders and shafts under extreme mechanical stress	Machine arms under extreme mechanical stress	Dies or inserts under high electrode forces	Long dies for flash welding	
A 4/3	—	Electrode wheels for welding mild steel under high thermal stress			
A 4/4	Electrode holders	Shafts and bushings under light electrical loading	Plattens and dies		
B 10	—	—	Inserts for welding mild steel	Inserts for welding mild steel under high stress	Inserts for hot riveting and hot up-setting
B 11	—	—			Inserts for hot riveting and hot up-setting
B 12	—	—	Inserts for welding stainless steel	Small dies or inserts for welding steel	Inserts for hot riveting and hot up-setting
B 13	Inserts for welding copper-based high conductivity materials	—	—	—	Inserts for hot riveting and hot up-setting Inserts for resistance brazing
B 14	Inserts for welding copper-based high conductivity materials	—	—	—	Inserts for hot riveting and hot up-setting Inserts for resistance brazing
B 15	—	—	—	—	Electrodes for high-frequency resistance welding of ferrous materials

جدول ۳-۴ : کاربردهای مهم مواد مختلف الکترودها در فرآیندهای جوشکاری مقاومتی

هرچند برای تعیین جنس الکترودها باید به کلاس بندی های رایج (مثلاً

RWMA و ISO) که مربوط به بررسی جنس الکترودها هستند، مراجعه کرد. اما

مشکل زمانی رخ می دهد که در شرایط خاص و موردهای ویژه ای جنس الکترو

مصرفی و مورد نیاز در این گروه ها موجود نباشد و جنس الکترو کاربردی خارج

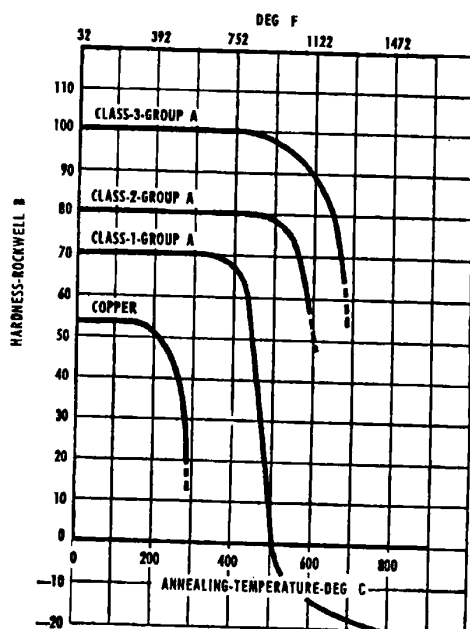
از این کلاس بندی ها قرار گیرد (مثلاً الکترودی که برای جوشکاری جرقه ای آلومینیم مورد استفاده قرار می گیرد)

همچنین در شرایطی که تعریف های متداول تغییر نماید زیرا این تعریف ها در شرایط خاصی قرار گرفته، در صورتی که اندازه قطعه کار حالت آن و بسیاری از عوامل دیگر که در کیفیت و ظاهر جوش نقش موثری دارند، در انتخاب الکتروود مشکل ایجاد خواهد شد. همچنین ممکن است که جنس مطلوب برای الکتروود در یک جوشکاری موجود نباشد که در این موارد تنها باید با استفاده از تجربه بالا و خلاقیت انتخاب الکتروود نسبتاً مناسبی را انجام داد. همچنین ممکن است که دادن جواب مناسب برای انتخاب جنس الکتروود ممکن نباشد.

سختی، هدایت الکتریکی و مقاومت در برابر تغییر شکل تحت حرارت و فشار خواصی هستند که میانگین آنها می تواند نوع مصرف الکتروود را مشخص نماید. اما اشتباهی که باید از آن پرهیز کرد ارزیابی مثلاً عمر الکتروود نسبت به سختی آن در دمای اتاق و یا هدایت الکتریکی آن به تنهایی است. این خواص شاید اهمیت داشته باشند اما برری 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 الکتروود باشد.

نیاز به پایین نگهداشتن دمای الکتروودهای گروه A زمانی مشخص می شود که مشاهده می شود که این آلیاژها خواص خود را در دماهای بالا از دست می دهند (شکل (۳-۶)). آلیاژهای کلاس ۱ (طبق طبقه بندی RWMA) تنها سختی خود را با افزایش دما از دست می دهند اما پیرسختی آلیاژهای کلاس ۲ و هدایت الکتریکی کلاس ۳ با افزایش دما شروع به کاهش می نماید. تاثیرات دما باید در ساخت الکتروودهای که با آلیاژ گروه A و یا گروه B قرار است ساخته شوند، در نظر گرفته شود. هرچند که آلیاژهای گروه B بر خلاف گروه A نشان نمی دهند که خواص شان تابع میزان حرارت و مدت زمان حرارت دیدن است. بنابراین می توان

گفت که یک قانون مناسب برای کاربرد آلیاژهای گروه A استفاده از آنها در دماهای پایین و مدت زمان کوتاه کاری است.

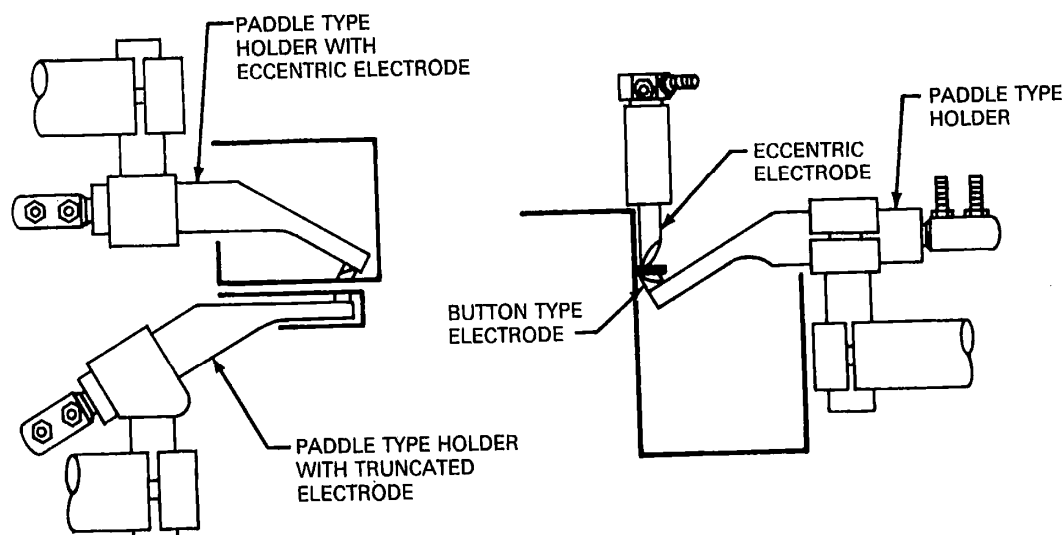


شکل ۳-۶: نمودار سختی بر حسب دمای آنیل برای کلاس های مختلف آلیاژهای مس

در هر حال مساله پر اهمیت در انتخاب جنس الکتروود، عمر بیشتر آن می باشد. عمر الکتروود عموماً به تعداد جوشهایی که بدون تمیز کردن نوک الکتروود پیش از پایین آمدن اندازه جوش از یک حد معقول می توان بر روی قطعه داد، اطلاق می شود. و اگر عمر الکتروود کم باشد می تواند باعث محدود شدن نرخ تولید شود، بدین صورت که به دلیل نیاز به تعویض و یا لکه گیری مکرر الکتروودها از سرعت تولید کاسته می شود. در حال حاضر تولید بر اساس تنظیم یک شرایط اولیه جوشکاری است که این شرایط در طول عمر الکتروود جوشکاری ثابت نگاهداشته می شود. اما تلاش بر این است که تولید آینده بر اساس تغییرات مرحله ای جریان و افزایش تدریجی نیروی الکتروود در طول عمل الکتروود باشد. هر چند در عمل، تعیین نرخ افزایش جریان و نیروی الکتروود مشکل است و کاهش نیروی الکتروود ناشی از افزایش قطر آن معمولاً در محاسبات در نظر گرفته نمی شود.

برخی فاکتورهای مهم و موثر در عمر الکترودها عبارتند از: هندسه الکترود، شرایط سطحی ورق، فاصله لبه، جفت شدن قطعات و خنک کردن الکترود، تغییر شکل الکترود و آلیاژ شدن بین الکترود و پوشش.

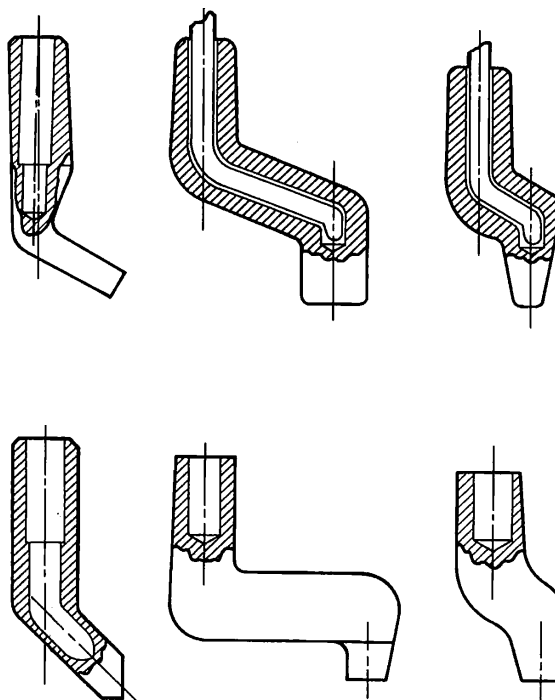
مثلاً اثبات شده است که الکترودهای گنبدی شکل یا سرگرد عمر کمتری نسبت به الکترودهای پخ زده شده مخروطی دارند. در مورد اشکال متنوع نوک الکترودهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای در فصل دوم مطالبی گفته شده است. در شکل (۷-۳) دو نوع ترکیب الکترود و نگهدارنده نمایش داده شده است.



شکل ۷-۳: ترکیب های متفاوت الکترود و نگهدارنده

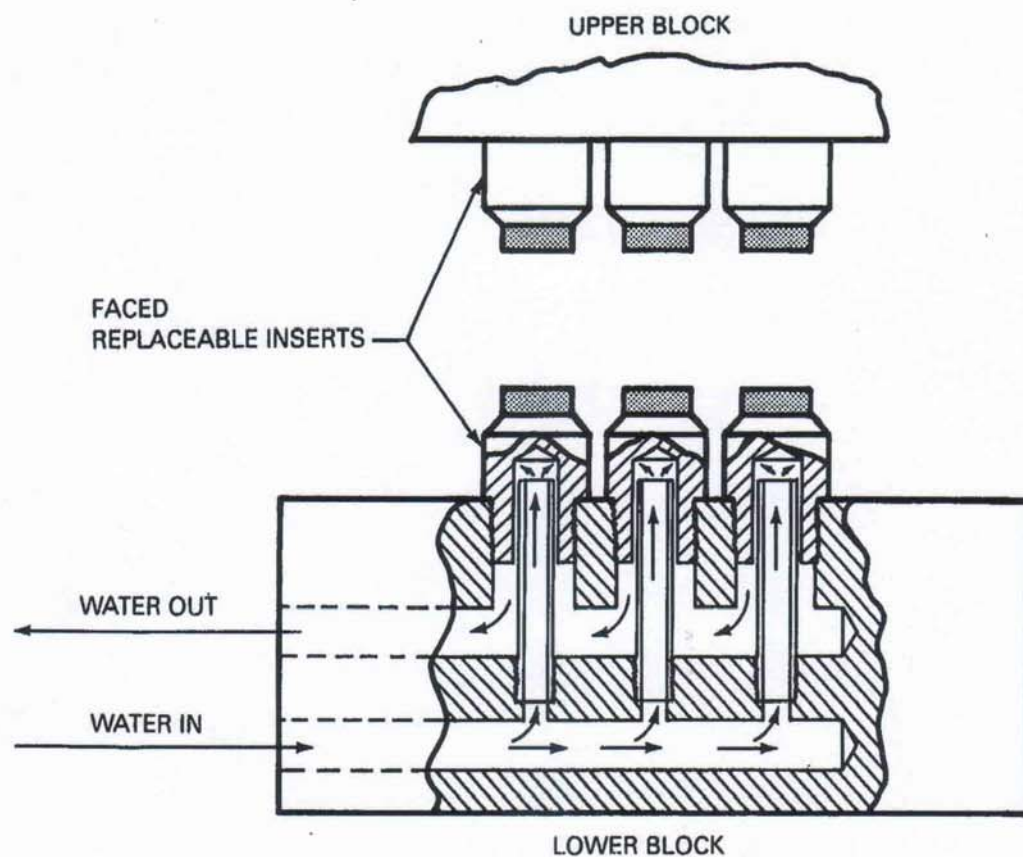
البته توجه به این نکته ضروری است که ممکن است ساقه (بدنه)^۱ الکترود بصورت مستقیم باشد و یا خمیده که الکترودهای خمیده ممکن است یک خم داشته باشند یا دو خم. انتخاب شکل بدنه بستگی به محل جوشکاری دارد. در شکل (۸-۳) انواع مرسوم بدنه الکترودهای جوشکاری نقطه ای تک خم و دو خم را ملاحظه می کنید.

^۱ - Shank

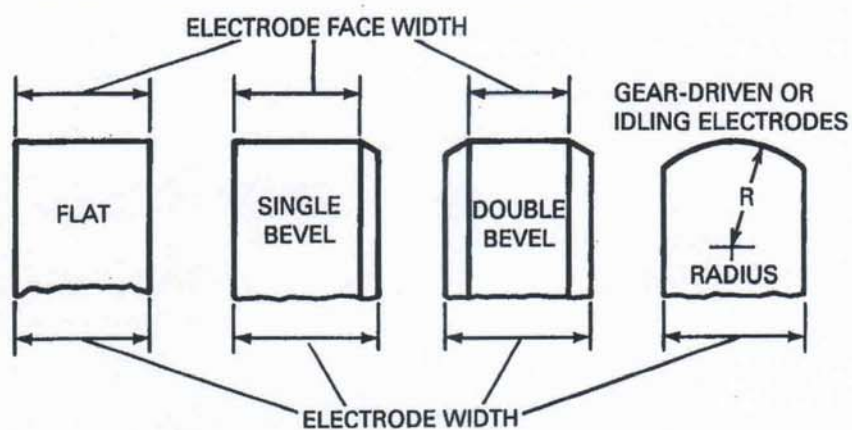


شکل ۳-۸: انواع متداول بدنه الکترودهای جوشکاری نقطه ای تک خم و دو خم

الکترودهای جوشکاری زائده ای باید سطوح صاف داشته باشند که بزرگتر از قطر زائده باشد. معمول این است که از الکترودهای مسطح بزرگ یا میله های مستطیلی شکل به عنوان الکترو استفاده می شود. و در شکل (۳-۹) ساختار متداول الکترودهای جوشکاری زائده ای را ملاحظه می کنید. اما در جوشکاری نواری همانطور که گفته شد الکتروها بصورت دیسکی یا غلطکی می باشند. شکل سطح غلطک های متنوع (شکل ۳-۱۰) می باشد که بسته به توزیع فشار و جریان مورد نیاز در دکمه جوش و نوع مکانیزم حرکت تعیین می شود.



شکل ۳-۹- ساختار متداول الکترودها و نگهدارنده ها در جوشکاری مقاومتی زائده ای چند تایی



شکل ۳-۱۰- انواع سطوح غلطکی الکترودهای جوشکاری نواری

۳-۴-۴- سیستم خنک کردن الکترودها

معمولاً توصیه می شود که برای جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولادی غیر پوشش دار تا ضخامت ۳ میلیمتر ($\frac{1}{8}$ اینچ) حداقل فلوی آب در الکترودها ۴ لیتر بر دقیقه ($\frac{1}{1}$ گالن بر دقیقه) باشد. برای ورق های پوشش دار فلوی آب بالاتری پیشنهاد می شود. لوله تغذیه آب خنک کننده داخلی باید طوری تنظیم شود که آب را دقیقاً به منطقه سطح پشت الکتروود که در تماس با قطعه کار است برساند. در اکثر موارد این تیوب جزئی از نگهدارنده^۱ الکتروود می باشد. ضخامت گوشه الکتروود در منطقه ای که در تماس با قطعه کار است نیز نباید از مقادیر استاندارد که در RWMA و ISO داده شده است فراتر برود. دمای آب ورودی نباید از 20°C (70°F) و دمای آب خروجی از 30°C (85°F) بیشتر شود.

برای اطمینان از اینکه دمای آب بالاتر از مقادیر فوق نشود، بایستی منبع آب خنک کننده الکترودها را از مدار آب خنک کننده ترانسفورماتور و تائریستورها جدا کرد. برای الکترودهای بالایی و پایینی نیز مدارهای جداگانه در نظر گرفت. در جوشکاری نواری، آب خنک کننده می تواند بصورت داخلی و خارجی باشد. سیستم های خنک کاری داخلی غلطک های را خنک می کنند ولی جوش را نه. مزیت عمده این روش آن است که فرآیند بصورت خشک است و از هزینه های مربوط به سیستم فاضلاب و آلودگی آب جلوگیری می شود. همچنین هزینه مربوط به خشک کردن آب روی قطعه که در برخی موارد ضروری است دیگر در این روش وجود ندارد (مثلاً باک بنزین اتومبیل). اگرچه قیمت دستگاه هایی که با این سیستم کار می کنند ممکن است بالاتر باشد. بنابراین قیمت عملیات خنک کاری داخلی ممکن است بالاتر از خنک کاری خارجی شود. در بعضی از سیستم های خنک کاری داخلی نباید آب مستقیماً غلطک را خنک کند و فقط شفت غلطک خنک شود کافی

¹ - Holder

است. از طریف دیگر در سیستم های خنک کننده بیرونی، نازل های پاشش نقاط جدایش غلطک - قطعه کار را هدف قرار می دهند.

فواید خنک کاری خارجی عبارتند از:

- تخریب های حرارتی سطوح جوش و پوشش کاهش یافته بنابراین قابلیت جوشکاری زیاد می شود.

- پیچش جوش کم می شود.

- خروج گازها و بخارات کمتر می شود.

- بهبود تمیز کاری غلطک ها به دلیل اینکه آب مستقیماً به داغ ترین نقطه غلطک برخورد می کند و باعث تولید یک عمل خنک کاری / کوئیچ کردن روی سطح غلطک ها می شود.

- سختی جوش زیاد می شود و استحکام جوش تحت شرایط بارگذاری بهبود می یابد (توجه برای بعضی موارد که با کوئیچ کردن ترد می شوند خنک کاری بیرونی مجاز نمی باشد).

۳-۵- نگهدارنده ها^۱

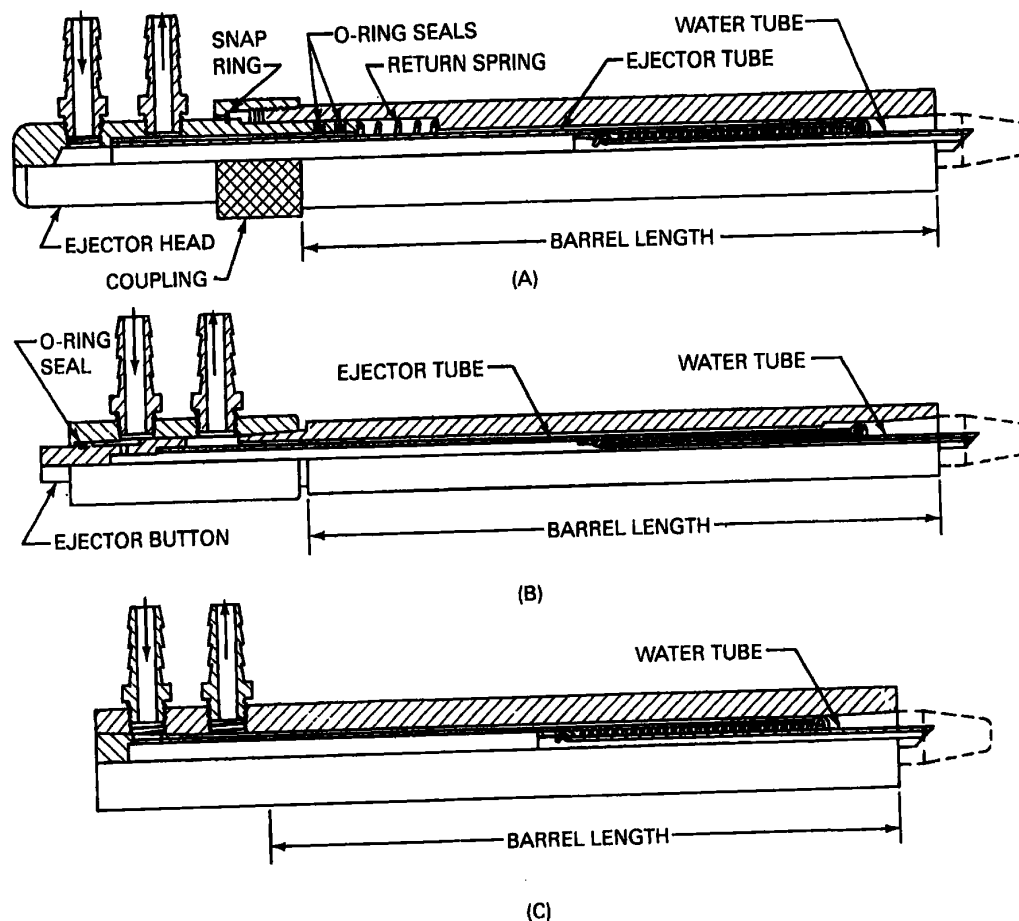
در دستگاه های جوشکاری نقطه ای الکترودها بر روی نگهدارنده هایی نصب می شوند طرح های نگهدارنده ها بسیار متنوع است که دلیل این تنوع نیز امکان موقعیت دهی مناسب الکترودها به قطعه کار می باشد. نگهدارنده ها به بازوهای دستگاه جوشکاری با قید و بست متصل می شوند. بیشتر آنها طوری طراحی می شوند که آب خنک کننده را به الکترودها هدایت کنند و برخی مکانیزمهای خاصی برای بیرون انداختن الکترودها دارند. سه طرح اساسی در نگهدارنده ها وجود دارد. مستقیم^۲، آفست و عمومی یا آفست تنظیمی^۳. این سه نوع می توانند مکانیزمهایی برای بیرون

¹ - Holders

² - Straight

³ - Adjustable offset

انداختن الکتروود داشته باشند یا فاقد آن باشند. نگهدارنده های مستقیم از هر دو نوع (با مکانیزم بیرون انداز و بدون آب) در شکل (۳-۱۱) نمایش داده شده اند.

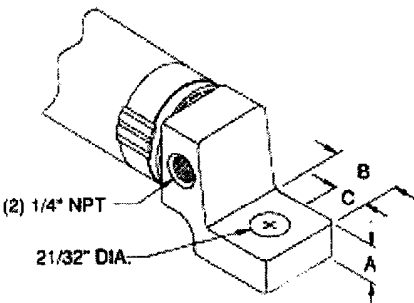


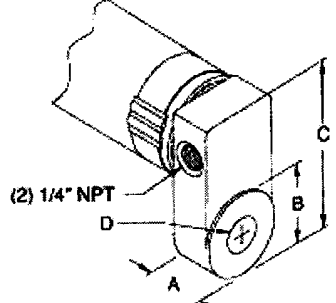
شکل ۳-۱۱: نگهدارنده های مستقیم متداول الکتروودهای جوشکاری نقطه ای. نوع (A) و نوع (B) بیرون انداز و نوع (C) بدون بیرون انداز

در سیستم هایی که از مکانیزم بیرون انداز الکتروود استفاده می کنند، بیرون انداز الکتروود را با ضربه نوک بیرون انداز یا دکمه ای چکش مانند به بیرون پرتاب می کند. در سیستم هایی که بیرون انداز ندارند، بوسیله آچار فرانسه و با چرخاندن الکتروود را بیرون می آورند. نگهدارنده ها در طول و قطرهای متنوعی موجود می باشند. نگهدارنده های آفست و عمومی با هدهای 30° و 90° تولید می شوند، همانطور که در شکل (۳-۷) نمایش داده شده است.

در برخی از نگهدارنده ها از یکسری فنر برای حرکت سریع تر سیستم استفاده می شود. نگهدارنده های الکترودهای چندتایی برای تولید دو یا بیشتر جوش نقطه ای بصورت همزمان در قطعه نیز موجود می باشند. این نگهدارنده ها الکترودهای چندتایی دارای سیستم های اعمال نیرو بصورت هیدرولیکی، مکانیکی یا فنری هستند. الکتروود پایینی ممکن است یک بلوک مسطح باشد که در برابر همه الکترودهای بالایی قرار می گیرد و یا یکسری الکتروود که بر روی یک بلوک نصب شده اند. از آنجا که جوش ها با استفاده از مدار موازی ساخته می شوند، تقسیم مناسب جریان برای هر جوش بستگی به مقاومت نسبی مسیرها دارد. مسیرهایی که امپدانس کمتری داشته باشند، جریان بیشتری را عبور خواهند داد و همانطور که می دانید اندازه جوش نیز به مقدار جریان عبوری وابسته است.

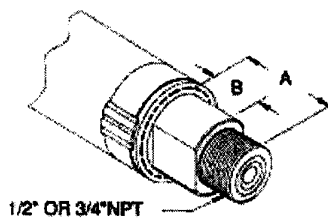
پیوست ۱: انواع سرکابلهای و سایز مربوط به هر کدام (ساخت شرکت T J.Snow)

Type B				
				
MCM	A	B	C	
350/400	9/16"	1-15/16"	9/16"	
500/600	9/16"	1-15/16"	5/8"	
750	5/8"	1-3/8"	11/16"	
1000	3/4"	1-1/2"	3/4"	

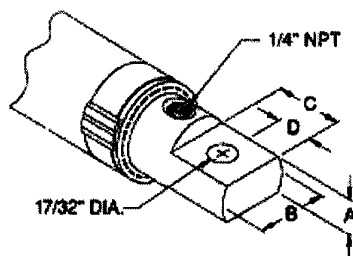
Type B-2				
				
MCM	A	B	C	D
350/400	11/16"	1-1/16"	2-11/16"	17/32"
500/600	13/16"	1-3/8"	2-7/8"	17/32"
750	13/16"	1-5/8"	3-1/8"	21/32"
1000	15/16"	1-7/8"	3-1/4"	21/32"

Type B-4				

Type B-5				

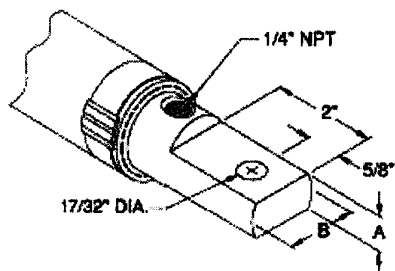


MCM	A	B
350/400	1-3/8"	1/2"
500/600	1-7/8"	5/8"
750	1-7/8"	5/8"
1000	2"	11/16"



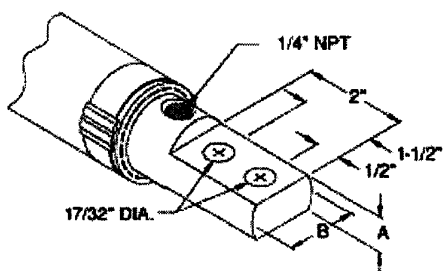
MCM	A	B	C	D
350/400	9/16"	1-1/8"	1-1/4"	1/2"
500/600	5/8"	1-1/4"	1-3/8"	5/8"
750	5/8"	1-3/8"	1-3/8"	5/8"
1000	5/8"	1-5/8"	1-3/8"	5/8"

Type B-6



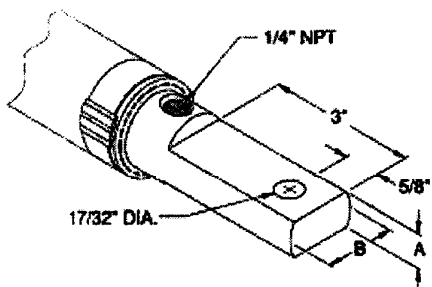
MCM	A	B
350/400	9/16"	1-1/8"
500/600	5/8"	1-1/4"
750	5/8"	1-3/8"
1000	5/8"	1-5/8"

Type B-6 (2 hole)



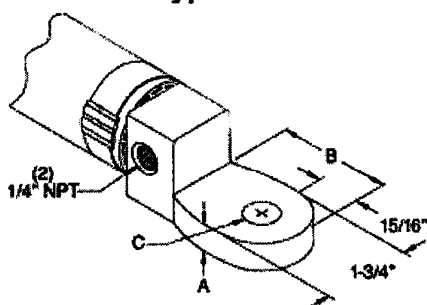
MCM	A	B
350/400	9/16"	1-1/8"
500/600	5/8"	1-1/4"
750	5/8"	1-3/8"
1000	5/8"	1-5/8"

Type B-7



MCM	A	B
-----	---	---

Type B-9

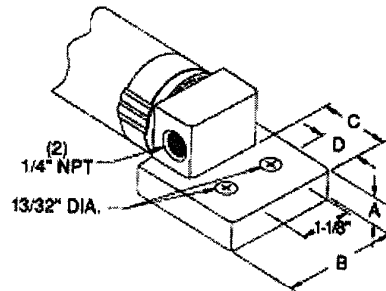


MCM	A	B	C
-----	---	---	---

350/400	9/16"	1-1/8"
500/600	5/8"	1-1/4"
750	5/8"	1-3/8"
1000	5/8"	1-5/8"

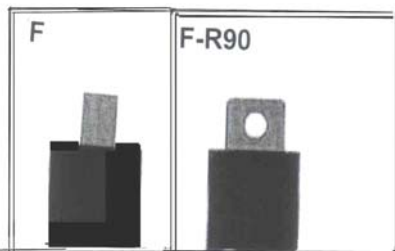
350/400	9/16"	2-1/8"	17/32"
500/600	9/16"	2-1/8"	17/32"
750	9/16"	2-5/16"	21/32"
1000	5/8"	2-3/8"	21/32"

Type B-11



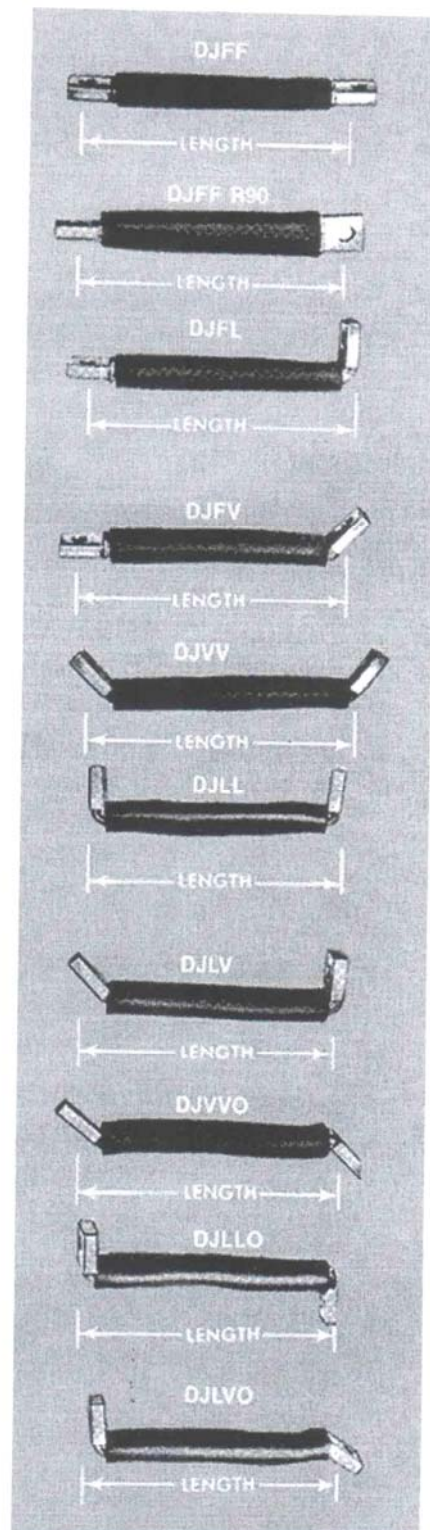
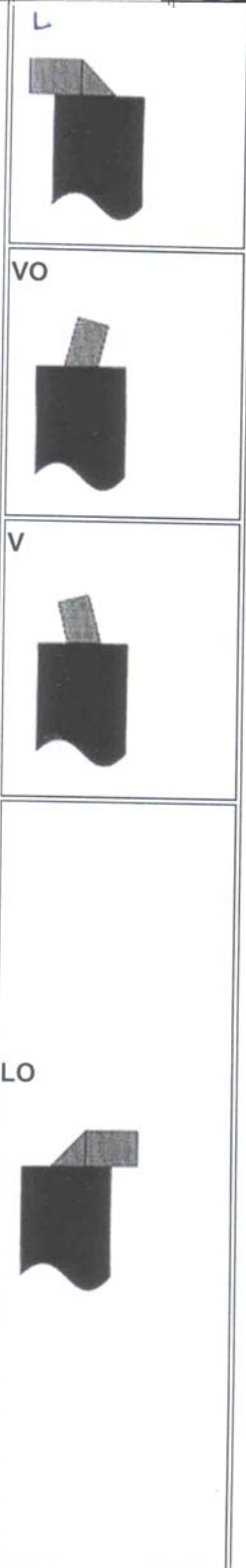
MCM	A	B	C	D
350/400	3/8"	2"	1-1/8"	9/16"
500/600	3/8"	2"	1-1/8"	9/16"
750	5/8"	2-1/2"	1-1/2"	7/8"
1000	3/4"	2-1/2"	1-1/2"	7/8"

MCM Size	Outer Diameter	Terminal Diameter
300	2"	1-7/16"
400-450	2-1/4"	1-11/16"
500	2-7/16"	1-7/8"
650	2-9/16"	1-7/8"



انواع انتها (سرکابل)

ترکیبات مختلف



فصل چهارم

جوشکاری مقاومتی فلزات و آلیاژهای مختلف

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۱-۴ - جوش پذیری فلزات مختلف	۲
۱-۱-۴ - فولادهای کم کربن	۵
۲-۱-۴ - فولادهای سختی پذیر	۷
۳-۱-۴ - فولادهای زنگ نزن	۷
۴-۱-۴ - فولادهای پوشش دار	۹
۵-۱-۴ - آلومینیم و آلیاژهای آن	۱۱
۶-۱-۴ - فلزات و آلیاژهای غیرمتشابه	۱۲
۲-۴ - شرایط جوشکاری برخی فلزات و آلیاژها	۱۳
۱-۲-۴ - جوشکاری مقاومتی فولادهای کم کربن	۱۳
۲-۲-۴ - جوشکاری مقاومتی فولادهای کم کربن متوسط و کم آلیاژ	۳۶
۳-۲-۴ - جوشکاری مقاومتی فولادهای زنگ نزن	۳۸
۴-۲-۴ - جوشکاری مقاومتی فولادهای پوشش دار	۴۱
۵-۲-۴ - جوشکاری مقاومتی آلومینیم و آلیاژهای آن	۴۷

در این فصل در ابتدا در مورد عوامل تاثیرگذار بر جوش پذیری^۱ (قابلیت جوش پذیری) فلزات مختلف مباحثی ارائه خواهد شد. در ادامه نیز جداول و نمودارهایی برای راهنمایی خوانندگان محترم از استانداردهای AWS آورده شده که می تواند در شروع کار به منظور تنظیم متغیرهای فرآیند بسیار مفید باشد.

۴-۱- جوش پذیری فلزات مختلف

خواص مختلفی بر روی جوش پذیری مقاومتی تاثیر گذار هستند که عبارتند از:

(۱) **مقاومت الکتریکی:** این خاصیت مهمترین خاصیت تاثیرگذار در جوشکاری مقاومت است زیرا گرمای تولید شده از طریق جریان جوشکاری مستقیماً با مقاومت متناسب است. برای فلزاتی که مقاومت الکتریکی کمتری دارند، جریان بیشتری برای تولید حرارت مورد نیاز است. مثلاً فلزی مثل مس خالص در جوشکاری مقاومتی مشکل دارد زیرا دارای مقاومت الکتریکی اندکی است. علاوه بر این انحراف جریان از جوش های مجاور نیز در این نوع فلزات پراهمیت تر می شود. بنابراین فلزات با مقاومت الکتریکی بالا قابلیت جوشکاری بیشتری نیز دارند. جریانهای بیشتر همچنین نیازمند ترانسفورماتور و خطوط توان بزرگی می باشد که این مساله قیمت دستگاه ها را افزایش می دهد.

(۲) **هدایت حرارتی:** این خاصیت از آن جهت مهم است که قسمتی از حرارت تولید شده در جوشکاری مقاومتی به دلیل هدایت به فلز پایه تلف می شود و توان ورودی باید بر این اتلاف انرژی غالب گردد. بنابراین فلزاتی که هدایت حرارتی بیشتری دارند قابلیت جوشکاری کمتری خواهند داشت. می توان گفت که هدایت الکتریکی و حرارتی دو خاصیتی هستند که تقریباً به موازات یکدیگر حرکت

¹ - Weld ability

می کنند. به عنوان مثال آلومینیم هم هادی حرارت است و هم هادی جریان خوبی است در حالیکه فولادهای زنگ نزن قابلیت هدایت حرارت و جریان ضعیفی دارند.

(۳) ضریب انبساط حرارتی: ضریب انبساط حرارتی بیانگر تغییرات ابعادی است که در قطعه رخ می دهد. هنگامیکه دما در آن تغییر نماید. اگر ضریب انبساط حرارتی زیاد باشد، پیچش^۱ و بشکه ای شدن^۲ در اتصالات جوش اتفاق می افتد.

(۴) سختی^۳ و استحکام: الکترودها به آسانی در فلزات نرم فرو می روند، در حالیکه در فلزات سخت، نیاز به نیروهای بالاتری برای جوشکاری وجود دارد. بنابراین در جوشکاری این فلزات الکترودهایی با سختی و استحکام بالا نیاز است تا از تغییر شکل سریع الکترودها در حین جوشکاری ممانعت شود.

(۵) مقاومت حد برابر اکسید شدن: همه فلزات معمول هنگامیکه در معرض هوا قرار می گیرند، اکسید می شوند. برخی از این فلزات سریع تر اکسید شده و برخی کندتر. معمولاً اکسید سطحی مقاومت الکتریکی را افزایش می دهد. لایه اکسید سطحی معمولاً قابلیت جوشکاری مقاومتی فلزات را کم می کند. در جوشکاری مقاومتی نقطه ای و نواری، این لایه می تواند باعث پاشش سطحی، چسبیدن فلز به الکتروود و ظاهر سطحی نامناسب جوش شود.

آلیاژهای آلومینیم به سرعت اکسید سطحی تشکیل می دهند. بنابراین جوشکاری این آلیاژها باید در زمان کوتاهی پس از تمیزکاری و زودودن لایه اکسیدی انجام شود تا از اکسید شدن مجدد تا حد امکان اجتناب گردد. در مورد فولادهای زنگ نزن اگر در کارگاه ساخت قبل از بسته بندی و حمل تمیزکاری اکسیدها صورت گرفته باشد، نیازی به انجام این کار قبل از جوشکاری نخواهد

^۱ - Warping

^۲ - Buckling

^۳ - Hardness

بود. اینکه چه مقدار از زدودن اکسیدها قبل از جوشکاری نیاز است بستگی به مقدار

اکسید موجود روی سطح و اثر آن بر روی خواص جوش خواهد داشت.

(۶) دامنه دمای خمیری: اگر فلزی در یک محدوده دمایی باریک ذوب شود

و جریان یابد نسبت به فلزی که دامنه خمیری وسیعتری دارد متغیرهای جوشکاری

آن باید بیشتر کنترل شود. دامنه های خمیری اثر قابل توجهی بر فرآیند جوشکاری

و انتخاب تجهیزات دارد.

آلیاژهای آلومینیم محدوده خمیری اندکی دارند و نیازمند کنترل دقیق

جریان جوشکاری، نیروی الکترودها و نحوه برخاستن الکتروود در طول جوشکاری

دارند. جوشکاری زائده ای آلومینیم بصورت تجاری انجام نمی شود. فولادهای کم

کربن دامنه خمیری وسیعی دارند و به آسانی جوشکاری مقاومتی می شوند.

(۷) خواص متالورژیکی: در جوشکاری مقاومتی یک حجم کوچکی از فلز

در زمانی کوتاه تا دمای فورج یا ذوبش گرم می شود. فلز گرم شده سپس به

سرعت از طریق الکترودها و فلز پایه پیرامونش سرد می شود. فلزات کار شده در

مناطق که در سیکل حرارتی مورد نیاز جوشکاری قرار می گیرند آنیل می شوند.

در مقابل سرد شدن سریع، باعث سخت شدن در برخی فولادهای می شود. فلز

جوش فولادهای پرکربن ممکن است بر اثر این سخت شدن ترک بردارند. بنابراین

نیاز است سیکل تمپر کردن بعد از جوشکاری اضافه شود تا از این پدیده اجتناب

گردد. برای بهینه کردن خواص مکانیکی در منطقه جوش آلیاژی قابل عملیات

حرارتی ممکن است نیاز به عملیات حرارتی پس از جوشکاری^۱ وجود داشته باشد.

¹ - Post weld Heat Treatment

۴-۱-۱- فولادهای کم کربن

این فولادها معمولاً کمتر از ۰/۲۵ درصد کربن دارند. بطور کلی قابلیت جوشکاری مقاومتی این نوع فولادها بالا است. مقاومت الکتریکی متوسطی دارند و قابلیت سختکاری آنها اندک است. در جوشکاری این فولادها در دامنه وسیعی از تنظیمات جریان، نیروی الکتروود و زمان جوشکاری قابلیت دسترسی به استحکام جوش مناسب وجود دارد. معمولاً یکسری نمودارها و جداول خاصی برای جوشکاری هر ورقی ارائه می شود که این پارامترها برای شروع کار مناسب هستند ولی برای بهینه کردن فرآیند بایستی این پارامترها را مقداری اصلاح نمود که این اصلاح بستگی به نوع دستگاه جوشکاری، خواص دینامیکی دستگاه جوش، مشخصات پنوماتیکی و مدار ثانویه، شکل الکتروود و جنس آن دارد.

به عنوان مثال برای گان های سبک وزن قابلیت اعمال نیرو محدود می باشد و مقادیر نیروی اعمالی برای ورق هایی با ضخامت بیش از ۱/۶ mm تا ۳۰٪ کاهش می یابد. جریان جوشکاری نیز بایستی مناسب انتخاب شود. هنگام جوشکاری ورق هایی با ضخامت های غیریکسان، شرایط جوشکاری بر اساس ورق نازکتر تنظیم می شود. اگر تعداد ورق ها بیش از دو ورق بود، شرایط جوشکاری بر اساس نازکترین ورق انتخاب خواهد شد.

در مورد جوشکاری فولادهای استحکام بالای کم آلیاژ (HSLA)، نیروی مورد نیاز الکتروود ممکن است تا ۲۰٪ افزایش یابد. جریان جوشکاری نیز بسته به نوع فولاد استحکام بالا ممکن است ۲۰٪ کاهش یابد. در مقادیر کربن معادل بالا و در ورق های با ضخامت بیش از ۲ میلیمتر احتمالاً برنامه جوشکاری پالسی مورد نیاز می باشد. شرایط جوشکاری شدیداً به آنالیز شیمیایی این نوع فولادها بستگی دارد. زیرا این امر می تواند باعث اختلاف شدیدی در مقاومت الکتریکی انواع گوناگون فولادهای استحکام بالا شود. به عنوان مثال مقدار کربن بیشترین اثر را

بر روی جوش پذیری فولاد می گذارد. با افزایش اندکی در مقدار کربن، مقدار سختی جوش سریعاً افزایش می یابد. سختی زیاد جوش می تواند منجر به شکست در فصل مشترک دکمه جوش و تخریب کامل جوش شود. برای انجام جوشکاری مناسب و قابل قبول، مقدار کربن باید زیر $0.3\% + 0.1\%$ نگه داشته شود که t ضخامت ورق به اینچ است. برای مواد بالای این دامنه، عملیات تمپر کردن پس از جوشکاری لازم است.

گفته شده فولادهای کم کربن معمولاً قابلیت جوشکاری بالایی دارند. از طریف دیگر در فولادهای HSLA جوش پذیری بستگی به ترکیب شیمیایی دارد. عناصر آلیاژی خاص یا ترکیبی از عناصر می تواند باعث ایجاد خواص مختلفی در دکمه جوش فولادهای کم کربن یا HSLA شوند. اثر برخی از عناصر در ذیل بحث شده است.

- فسفر و گوگرد: عمدتاً فسفر و تا حدودی گوگرد باعث کاهش استحکام در دکمه جوش می شوند. هنگامیکه مجموع مقادیر کربن، فسفر و گوگرد از یک حد بحرانی فراتر رود، شکست در فصل مشترک جوش مشاهده می شود.

- تیتانیم: آزمایش ها نشان می دهد که در فولادهای حاوی تیتانیم که بصورت گرم و یا سرد نورد شده اند، قابلیت جوشکاری کمتر از فولادهای HSLA می است که نایوبیم و یا وانادیم دارند. افزایش مقدار تیتانیم، ماکزیمم قطر دکمه جوش و استحکام کششی برشی و دامنه جریان را کاهش می دهد. مقدار تیتانیم نباید از 0.18% درصد افزایش یابد و در جوشکاری فولادهای حاوی تیتانیم باید از الکترودهایی با سایز بزرگتر و نیروهای بیشتر استفاده شود.

- نیتروژن: در فولادهای HSLA، نیتروژن باعث افزایش شکست در دکمه جوش می شود. نیتروژن بیشتر از مقدار بحرانی، در فولادهای نورد سرد شده

کشته نشده یافت می شود. اگر چه می توان با کاهش نیتروژن یا ترکیب نمودن آن با آلومینیم (در فولادهایی که با AI کشته شده اند) این حساسیت را کاهش داد.

۴-۱-۲- فولادهای سختی پذیر^۱:

که شامل فولادهای کربن متوسط، پرکربن و کم آلیاژ هستند (البته فولادهای آلیاژ متوسط و پرآلیاژی نیز ممکن است سختی پذیر باشند که در اینجا مورد بحث قرار نمی گیرند).

فولادهای کربن متوسط ۰/۲۵ درصد تا ۰/۵۵ درصد کربن دارند و فولادهای پرکربن ۰/۵۵ درصد تا ۱ درصد. فولادهای کم آلیاژ تا ۵/۵ درصد عناصر آلیاژی مانند کبالت، نیکل، مولیبدن، کروم، وانادیم، تنگستن، آلومینیم و مس دارند. افزودن هر عنصر آلیاژی منجر به شکل گیری خواص ویژه ای در فولاد می شود. اکثر این فولادها به عملیات حرارتی پس از جوشکاری نیازمند هستند و گر نه ترد و شکننده می شوند. با استفاده از سیکل تمپر کردن بعد از جوشکاری می توان از این امر جلوگیری کرد. بطور کلی فولادهای سخت پذیر قابلیت جوشکاری کمتری از فولادهای کم کربن دارند زیرا می توانند تحت عملیات جوشکاری سخت شوند.

۴-۱-۳- فولادهای زنگ نزن^۲:

فولادهای زنگ نزن مقادیر نسبتاً زیادی کروم و یا کروم - نیکل به عنوان عنصر آلیاژی دارند. معمولاً آنها را به پنج گروه تقسیم می کنند. مارتنزیتی، فریتی، آستینیتی، رسوب سخت شده (PH) و فولادهای دو فازه فریتی - آستینیتی. اینکه آیا یک فولاد زنگ نزن سختی پذیر است یا نه به مقدار کربن، کروم و نیکل آن بستگی

^۱ - Harden able Steels

^۲ - Stainless Steel

دارد. در ادامه در مورد قابلیت جوشکاری فولادهای زنگ نزن مهم و پرکاربردتر (مارتنزیتی، فریتی و آستینیتی) مباحثی ارائه شده است.

- انواع فریتی و مارتنزیتی: این فولادها ممکن است سختی پذیر (انواع مارتنزیتی) یا غیرقابل سخت شدن (انواع فریتی) باشند. هنگام جوشکاری مقاومتی انواع سختی پذیر، اقدامات احتیاطی که در مورد فولادهای با کربن بالا و کم آلیاژ گفته شد باید اعمال گردد. انواع فولادهای غیرسختی پذیر، ساختاری با انعطاف پذیری اندک و ریز ساختار درشتدانه ای در منطقه جوش دارند. این فولادها در جاهایی که جوشی انعطاف پذیر نیاز است مناسب نمی باشند. در انواع مارتنزیتی، عملیات حرارتی پس از جوشکاری انعطاف پذیری را افزایش می دهد. اگر چه عملیات حرارتی پس از جوشکاری انواع فریتی مفید نمی باشد.

- انواع آستینیتی: چندین نوع فولاد زنگ نزن آستینیتی با خواص متنوع برای استفاده های گوناگون وجود دارد. یکی از پرکاربردترین و متداول ترین آنها نوع 304 است که ۱۸٪ کروم، ۸٪ نیکل و تقریباً ۰/۱٪ کربن دارد. در انواع غیرپایدار شده^۱ حرارت دادن بین دمای ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت و در یک زمان کافی آنها را مستعد به رسوب کاربید کروم می نماید. بنابراین در این آلیاژها با جوشکاری در زمانهای کوتاه می توان از تشکیل کاربید کروم که مضر و ناخواسته می باشد اجتناب کرد.

بطور کلی این آلیاژها نسبت به فولادهای کم کربن نیاز به جریان کمتری دارند، زیرا مقاومت الکتریکی آنها تقریباً هفت برابر فولادهای کم کربن است. در مقابل به نیروهای بیشتری نیاز است. زیرا استحکام بالایی در دماهای بالا دارند. فولادهای زنگ نزن آستینیتی ضریب انبساط حرارتی بیشتری نسبت به فولادهای کربنی دارند. بنابراین جوشکاری نواری آنها همراه با مشکلات پیش^۲ همراه است.

^۱ - Non stabilized

^۲ - Warp

پیچیدگی^۱ را می توان با اعمال برنامه های جوشکاری که مقدار گرمای ورودی کمتری به قطعه می دهند جبران کرد. یادآوری این نکته ضروری به نظر می رسد که این نوع فولادها قابلیت سخت شدن را ندارند.

۴-۱-۴- فولادهای پوشش دار

فولادها ممکن است از طریق های گوناگون و با مواد متنوع پوشش داده شوند متداول ترین و پرکاربردترین فولادهای پوشش دار، نوع گالوانیزه و آلومینایز شده هستند که در قسمتهای بعدی شرایط جوشکاری آنها ارائه شده است.

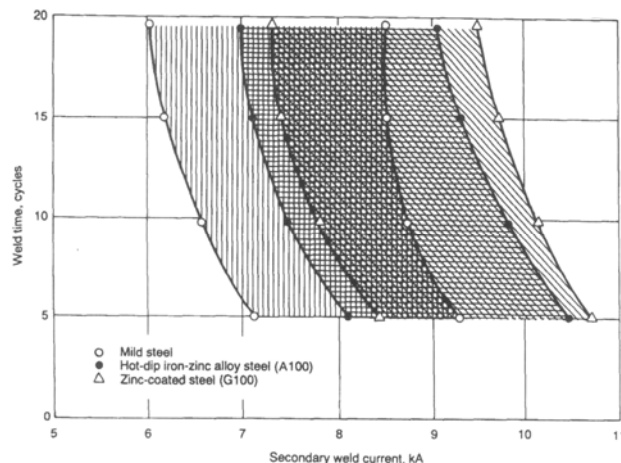
در فولادهای با روی پوشش داده شده دو نوع آلیاژ در دسترس می باشد:

- ۱- پوشش آهن - روی (که دو نوع غوطه وری داغ یا آبکاری شده^۲ می باشند) ۲-
- پوشش نیکل - روی آبکاری شده.

دامنه متغیرهای جوشکاری شده برای این فولادها مشابه فولادهای معمولی بدون پوشش است. البته مقداری دامنه جریان آن به سمت راست تغییر مکان داده است (شکل (۴-۱)). هنگامیکه این فولادها پوشش داده می شوند ضروری است که ضخامت لایه پوشش از یک تا ۱/۵ میکرون تجاوز نکند. زیرا دستگاه های معمول جوشکاری بتوانند با شکستن این لایه جریان را بین الکترودها برقرار نمایند.

^۱ - Distortion

^۲ - Electrode posited



شکل ۴-۱: نمودار نواحی جوش پذیری برای ورق هایی به ضخامت ۰/۸ میلیمتر. نیروی الکتروود ۱/۸ و قطر نوک الکتروود ۵ میلیمتر (نمودار زمان - جریان ثانویه) برای فولاد معمولی بدون پوشش در مقایسه با نوع فولاد پوشش دار

نیروی الکتروود مورد استفاده برای فولاد گالوانیزه ۱۰ تا ۲۵ درصد بزرگتر از آنچه که برای فولادهای بدون پوشش بکار می رود، است. افزایش نیرو به این دلیل است که پوشش مقاومت تماسی سطح اتصال را تقریباً به صفر می رساند. همچنین روی نرم شده بایستی از بین ورق ها تا حد امکان به سرعت بیرون زده شود و فلز پایه نرم شود. برای ایجاد جوش مناسب فولاد به فولاد، شرایط جوشکاری بایستی طوری باشد که روی بصورت کامل بین سطح تماس قطعه کار، در یک منطقه تقریباً به اندازه سطح الکتروود ذوب شود و این مذاب روی از منطقه دکه جوش بیرون زده شود.

باید از ذوب شدن روی بر روی سطح قطعه کار در محل تماس با الکتروودها تا حد امکان جلوگیری شود تا آلیاژ شدن و چسبیدن الکتروود حداقل شود و یک لایه یکنواختی از روی بر روی سطح کار به منظور مقاومت در برابر خوردگی باقی بماند. معمولاً الکتروودهای نوع E برای جوشکاری نقطه ای ورق های

گالوانیزه توصیه می شود. زاویه مخروط بایستی 120° تا 140° باشد و خنک کردن

الکترودها با حداقل نرخ فلوی آب ۲ گالن بر دقیقه صورت گیرد.

جدول (۱-۴) شرایط جوشکاری فولاد ۱۰۱۰ پوشش دار با ضخامت های

۰/۰۴ و ۰/۱۲۵ اینچ با پوشش ۱/۲۵ انس روی برفوت مربع ورق را با شرایط

جوشکاری ورق ۱۰۱۰ بدون پوشش با همان ضخامتها مقایسه می نماید.

ضخامت ۰/۱۲۵		ضخامت ۰/۰۴ اینچ		شرایط جوشکاری
بدون پوشش	پوشش دار	بدون پوشش	پوشش دار	
۲۶	۴۲	۱۰	۱۳	زمان جوشکاری (۶۰ بر ثانیه)
۱۹۰۰۰	۲۰۰۰۰	۹۵۰۰	۱۴۰۰۰	جریان جوشکاری (آمپر)
۱۸۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۶۵۰	نیروی الکتروود (پوند)
۱/۷۵	۲	۰/۷۵	۰/۷۵	حداقل فاصله جوش (اینچ)
۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۲۱	قطر دکمه جوش (اینچ)
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	حداقل تماس سوار شدن (اینچ)

الکتروود مورد استفاده در جوشکاری نمونه های بالا از کلاس ۲ انتخاب

شده است.

۴-۱-۵- آلومینیم و آلیاژهای آن:

تمامی آلیاژهای آلومینیم تجاری که بصورت ورق و اکستروژن تهیه می

شوند را می توان جوشکاری کرد مگر اینکه ضخامت آنها خیلی زیاد باشد. شرط

ایجاد جوش مناسب، استفاده از تجهیزات مناسب و تنظیم درست دستگاه های

جوشکاری، آماده سازی مناسب سطوح برای جوشکاری و درستی پارامترهای فرایند جوشکاری می باشد.

همانطور که می دانید آلومینیم و آلیاژهای آن هدایت حرارتی و الکتریکی نسبتاً بالایی دارند. بنابراین برای ایجاد جوش نورای و نقطه ای احتیاج به جریانهای جوشکاری بالاتر و زمانهای نسبتاً کوتاه تری دارند. علاوه بر این فاکتور دیگری که در جوشکاری آلومینیم حائز اهمیت است، محدوده خمیری شدن محدودی است که این نوع مواد دارند. این دامنه باریک بین نرم شدن و ذوب شدن به معنای آن است که پارامترهای فشار، زمان، و جریان بایستی به دقت کنترل شوند. همچنین سرعت حرکت الکترودها از روی قطعه کار نیز باید سریعتر انجام شود. برای رسیدن به کیفیت جوش یکنواخت لازم است قبل از جوشکاری لایه اکسید سطحی را از طرق مکانیکی یا شیمیایی حذف نمود.

۴-۱-۶- فلزات و آلیاژهای غیرمشتاب

در حالت کلی هر ترکیبی از فلزات که با هم آلیاژ شوند را میتوان جوشکاری مقاومتی کرد. خواص نهایی جوش تحت تاثیر آلیاژ حاصله خواهد بود. به عبارت دیگر خواص نهایی جوش از خواص فلزاتی که به هم متصل می شوند مستقل می باشد. و وابسته به آلیاژ شکل گرفته بین آنها است. در برخی اتصالات مانند مس به آلومینیم و آلومینیم به منیزیم آلیاژهایی با استحکام پایین تشکیل می شود. برخی دیگر مانند روی و آلیاژهای کروم بالا حتی در زمانهای جوشکاری خیلی کوتاه نیز باعث رشد دانه ها می شود. اگرچه زمانهای جوشکاری خیلی کوتاه هست ولی این مواد تحت تاثیر گرمایی که از آن عبور می کند قرار گرفته و خواصی مانند استحکام و مقاومت به خوردگی آنها کاهش می یابد. همچنین در جوشکاری فولادهای زنگ نزن اگر مقدار کربن آنقدر باشد که مشکل رسوب کاربید

محتمل باشد باید زمان خیلی کوتاه را برای جلوگیری از این مساله اعمال نمود. این مساله می تواند بصورت خودکار با کنترل پیش گرم کردن، پس گرم کردن و یا هر دو اتصال شود.

جدول (۲-۴) قابلیت جوشکاری نقطه ای را برای ترکیبات مختلفی از آلیاژها نشان می دهد. مس و نقره به سختی جوشکاری می شوند زیرا هدایت حرارتی و الکتریکی فوق العاده دارند. اما با استفاده از الکترودهای با هدایت کم (مانند آلیاژهای دیرگداز) می توان آنها را جوشکاری کرد. آلیاژهای مس معمولاً از طریق لحیم کاری سخت مقاومتری به هم متصل می شوند. در بسیاری از موارد اگر سطح مس قلع اندود شود، قابلیت جوشکاری آن افزایش می یابد.

Metals	Aluminum	Stainless steel	Brass	Copper	Galvanized iron	Steel	Lead	Monel	Nickel	Nichrome	Tinplate	Zinc	Phosphor bronze	Nickel silver	Terneplate
Aluminum	B	E	D	E	C	D	E	D	D	D	C	C	C	F	C
Stainless steel	F	A	E	E	B	A	F	C	C	C	B	F	D	D	B
Brass	D	E	C	D	D	D	F	C	C	C	D	E	C	C	D
Copper	E	E	D	F	E	E	E	D	D	D	E	E	C	C	E
Galvanized iron	C	B	D	E	B	B	D	C	C	C	B	C	D	E	B
Steel	D	A	D	E	B	A	E	C	C	C	B	F	C	D	A
Lead	E	F	F	E	D	E	C	E	E	E	...	C	E	E	D
Monel	D	C	C	D	C	C	E	A	B	B	C	F	C	B	C
Nickel	D	C	C	D	C	C	E	B	B	A	C	F	D	B	C
Nichrome	D	C	C	D	C	C	E	B	B	A	C	F	D	B	C
Tinplate	C	B	D	E	B	B	...	C	C	C	C	C	D	D	C
Zinc	C	E	E	E	C	F	C	F	F	F	C	C	D	F	C
Phosphor bronze	C	D	C	C	D	C	E	C	C	C	D	D	B	B	D
Nickel silver	F	D	C	C	E	D	E	B	B	B	D	F	B	A	D
Terneplate	C	B	D	E	B	A	D	C	C	C	C	C	D	D	B

جدول ۲-۴: مقایسه ای نسبی بین قابلیت جوشکاری مقاومتی نقطه ای برخی فلزات و آلیاژهای مهم

A : عالی : B : خوب : C : متوسط : D : ضعیف : E : خیلی ضعیف : F : غیرممکن

۲-۴- شرایط جوشکاری برخی آلیاژها

۲-۴-۱- جوشکاری مقاومتی فولادهای کم کربن^۱

جدول (۳-۴) پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای که در

AWS Welding Handbook آورده شده است را نشان می دهد.

^۱ - Low carbon Steel

Thickness in.	Electrode			Force, lb	Weld Time, (60Hz) cy	Welding Current, (Approx.) A	Minimum Contact Overlap, in.	Minimum Weld Spacing		Minimum Shear Strength, lb	Button Dia. in.
	Face Dia., in.	Shape *	Bevel Angle, Degrees**					2 stack, in.	3 stack, in.		
0.020	0.188	E,A,B	45	400	7	8,500	0.44	0.38	0.62	320	0.10
0.025	0.188	E,A,B	45	450	8	9,500	0.47	0.62	0.88	450	0.12
0.030	0.250	E,A,B	45	500	9	10,500	0.47	0.62	0.88	575	0.14
0.035	0.250	E,A,B	45	600	9	11,500	0.53	0.75	1.06	750	0.16
0.040	0.250	E,A,B	45	700	10	12,500	0.53	0.75	1.06	925	0.18
0.045	0.250	E,A,B	45	750	11	13,000	0.59	0.94	1.18	1150	0.19
0.050	0.312	E,A,B	30	800	12	13,500	0.59	0.94	1.18	1350	0.20
0.055	0.312	E,A,B	30	900	13	14,000	0.63	1.06	1.31	1680	0.21
0.060	0.312	E,A,B	30	1000	14	15,000	0.63	1.06	1.31	1850	0.23
0.070	0.312	E,A,B	30	1200	16	16,000	0.66	1.18	1.50	2300	0.25
0.080	0.312	E,A,B	30	1400	18	17,000	0.72	1.38	1.60	2700	0.26
0.090	0.375	E,A,B	30	1600	20	18,000	0.78	1.56	1.88	3450	0.27
0.105	0.375	E,A,B	30	1800	23	19,500	0.84	1.68	2.00	4150	0.28
0.120	0.375	E,A,B	30	2100	26	21,000	0.88	1.81	2.50	5000	0.30

جدول ۳-۴ شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولادی کم کربن بدون پوشش

در جدول فوق؛

* شکل الکتروود: E مخروطی ناقص ، A دماغه نقطه ای ، B شعاع ۳ اینچ

** فقط برای الکتروودهای مخروطی ناقص اعمال می شود و از صفحه سطح

الکتروود اندازه گیری می شود.

توجه:

۱- برای ضخامتهای بینابین، زمان و نیرو را interpolate نماید.

۲- حداقل فاصله بین جوشها از خط مرکزی یک جوش تا خط مرکزی

جوش مجاور می باشد.

جدول (۴-۴) پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کم کربن

که در AWS C11 آورده شده است را نشان می دهد.

THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)	ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 5 BELOW)		NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103)	WELD TIME (SINGLE IMPULSE) (SEE PAR. 104)	WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106)	MINIMUM WELD SPACING (SEE PAR. 107 AND NOTE 6 BELOW)	DIAMETER OF FUSED ZONE (SEE PAR. 108)	MINIMUM SHEAR STRENGTH (SEE PAR. 109)		THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)
	INCHES	D, IN., MIN. d, IN., MAX.		CYCLES (60 PER SEC.)	AMPS	IN.	IN.	IN., APPROX.	LB. ULTIMATE TENSILE STRENGTH BELOW 70000PSI	TENSILE STRENGTH 70000PSI AND ABOVE	
	0.010	3/8 1/8	200	4	4000	3/8	1/4	0.10	130	180	0.010
	0.021	3/8 3/16	300	6	6500	7/16	3/8	0.13	320	440	0.021
	0.031	3/8 3/16	400	8	8000	7/16	1/2	0.16	570	800	0.031
	0.040	1/2 1/4	500	10	9500	1/2	3/4	0.19	920	1200	0.040
	0.050	1/2 1/4	650	12	10500	9/16	7/8	0.22	1350	—	0.050
	0.062	1/2 1/4	800	14	12000	5/8	1	0.25	1850	—	0.062
	0.078	5/8 5/16	1100	17	14000	11/16	1 1/4	0.29	2700	—	0.078
	0.094	5/8 5/16	1300	20	15500	3/4	1 1/2	0.31	3450	—	0.094
	0.109	5/8 3/8	1600	23	17500	13/16	1 5/8	0.32	4150	—	0.109
	0.125	7/8 3/8	1800	26	19000	7/8	1 3/4	0.33	5000	—	0.125

جدول ۴-۴: شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولادی کم کربن طبق استاندارد AWS C11

توجه در جدول فوق:

۱- نوع فولاد SAE 1010

۲- سطح مواد باید عاری از پوسته ها، اکسیدها، رنگ ها، چربی و روغن باشد.

۳- شرایط جوشکاری را نازکترین ضخامت ورق های بیرونی تعیین می کند. (T)

۴- ضخامت کل نباید از ۴T تجاوز کند. همچنین حداکثر نسبت بین ضخامت ها ۳ به ۱ است.

۵- مواد الکتروود کلاس ۲ و حداقل هدایت الکتریکی ۷۵٪ مس و حداقل سختی ۷۵

راکول B

۶- حداقل فاصله جوش ها که این مقدار برای دو ورق می باشد تا اثر جریان

انحرافی از جوش مجاور بر روی جوش جدید خیلی اندک و قابل چشم پوشی باشد.

برای سه ورق فاصله ۳۰ درصد افزایش می یابد.

جدول (۴-۵) پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه ای که در

AWS Welding Handbook فصل ۱ جلد ۴ آورده شده است را نشان می دهد.

Thickness, in. ^a	Electrode face diam., in. ^b	Static electrode force, lbs	Weld time, cycles ^c	Approx. welding current, kA ^d	Approx. nugget diam., in.	Minimum pitch, in. ^e	Min. shear strength, lbs., when base metal tensile strength is	
							Below 70 ksi	Above 70 ksi
0.010	0.13	200	4	4.0	0.10	0.25	130	180
0.021	0.19	300	6	6.5	0.13	0.37	320	440
0.031	0.19	400	8	8.0	0.16	0.50	570	800
0.040	0.25	500	10	9.5	0.19	0.75	920	1200
0.050	0.25	650	12	10.5	0.22	0.87	1350	
0.062	0.25	800	14	12.0	0.25	1.00	1850	
0.078	0.31	1100	17	14.0	0.29	1.25	2700	
0.094	0.31	1300	20	15.5	0.31	1.50	3450	
0.109	0.38	1600	23	17.5	0.32	1.62	4150	
0.125	0.38	1800	26	19.0	0.33	1.75	5000	

جدول ۴-۵: شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولادی کم کربن

در جدول فوق: a: ضخامت نازکترین ورق بیرونی است. اطلاعات جدول فوق تا زمانی قابل استفاده است که ضخامت کل ورق ها تا چهار برابر ضخامت داده شده باشد. ماکزیم نسبت ضخامت دو ورق نباید از نسبت ۳ به ۱ تجاوز کند.

b: الکتروود با سطح صاف از گروه A کلاس دو طبق استاندارد RWMA

c: جریان تک پالس با فرکانس ۶۰ هرتز d: دستگاه AC تک فاز

e: حداقل فاصله بین در جوش مجاور که بین دو ورق ایجاد شده بدون اینکه جریان انحرافی تاثیر چندانی داشته باشد.

به دلیل کاربرد وسیع گان های قابل حمل (پرتابل) در صنایع خودروسازی AWS یک استاندارد تحت عنوان جوشکاری مقاومتی نقطه ای گان های قابل حمل در D 8.5 ارائه کرده است. این استاندارد دارای تعدادی نمودار است. که منطقه جریان و زمان مناسب برای جوشکاری ورق های کم کربن را نشان می دهد. این نمودارها از آزمایش بر روی ورق های 1008 حاصل شده است. بطور کلی در صنایع خودروسازی تمایل به استفاده از جریانهای بالا و زمان های کوتاهتر وجود دارد. سرعت جوشکاری تجهیزات پرتابل بر حسب نقطه بر دقیقه است. در حالیکه بر تجهیزات ثابت معمولاً بر حسب نقطه بر ساعت می باشد. به دلیل سرعت بالاتر مورد نیاز در دستگاه های پرتابل، زمان های جوش حداقل می باشد و جریانهای تا

حداکثر، در نمودارهای ارائه شده رابطه بین جریان و زمان جوشکاری در شرایطی که نیرو، هندسه و سرعت سرد شدن الکترودها ثابت است نمایش داده شده است. برای نشان داده رابطه بین زمان و جریان جوشکاری در یک ضخامت مشخص، دو مقدار جریان برای هر زمان انتخابی باید تعیین شود.

یک حداقل جریان مجاز که حداقل اندازه دکمه جوش قابل قبول را ایجاد نماید و یک حداکثر مقدار جریان که از طریق جرقه زدن و رسیدن به انرژی گرمایی اضافه تعیین می شود. این حد بالایی در نواحی جوش پذیری^۱ به عنوان منطقه انتقال^۲ معرفی شده است و به این ترتیب نقاط ماکزیمم و می نیمم جریان برای چندین زمان جوشکاری تعیین شده تا مناطق جوش پذیری بدست آیند.

هر جوشکاری تحت شرایط جریان و زمان منطقه جوش پذیری انجام شود (البته با هندسه الکتروود و نیروی مناسب که ذکر شده) جوشی با خواص قابل ایجاد خواهد کرد. جوشهایی که از ترکیب زمان و جریان جوشکاری سمت چپ منطقه جوش پذیری حاصل شوند، استحکام برشی و قطر دکمه جوش کمتری از حد قابل قبول خواهد داشت. ترکیب جریان و زمان جوش اگر در سمت راست منطقه جوش پذیری واقع شود. ساختار جوش طوری خواهد بود که مشخص است با انرژی گرمایی اضافه ایجاد شده، ضمن اینکه با این ترکیب جرقه های زیادی تولید شده و امکان فرو رفتن و یا چسبیدن الکتروود به سطح کار و کاهش عمر الکترودها وجود دارد. از ناحیه جوش پذیری می توان ترکیب زمان کوتاه جریان بالا یا زمان طولانی جریان کم را انتخاب نمود (شکل ۴-۲ الی ۴-۱۰ مراجعه شود).

اطلاعاتی که در جدول (۴-۶) ارائه شده ماکزیمم سرعت گان های جوشکاری مقاومتی پرتابل را برای ضخامت های گوناگون نشان میدهد. سرعت جوشکاری

^۱ - Welding Lobe

^۲ - Transition Area

باید از مقدار فوق الذکر تجاوز نماید. در این جدول، بسته به سرعت جوشکاری

زمان کل جوشکاری به بخشهای گوناگون تقسیم شده است.

Maximum Gun Speed Spots/Min	TIMER SETTING (Time/Spot) Cycles (60 Per Sec.)					Metal Thickness
	Squeeze	Weld	Hold	Off	Total	
60	16	24	6	14	60	0.105 & above
80	12	20	3	10	45	0.089
100	9	14	3	10	36	0.075
120	7	12	2	9	30	0.067
133	7	10	1	9	27	0.059
150	7	8	1	8	24	0.047
164	7	7	1	7	22	0.041
180	7	5	1	7	20	0.035
200	6	4	1	7	18	

جدول ۴-۶: تنظیم تایمر برای ضخامت های گوناگون در ماکزیمم سرعت گان پرتابل

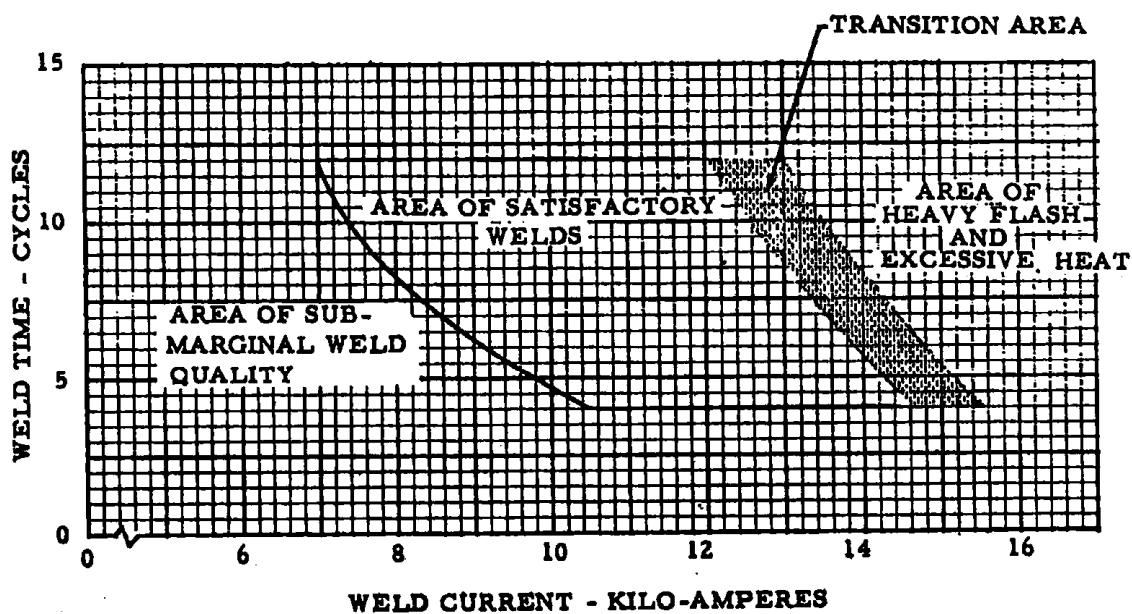
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۶۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۱ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر سطح ۱/۴ اینچ

قطر دکه (حداقل) : ۰,۱۸ اینچ



*Note; Lobe developed for second weld at 1/2 in. pitch.

توجه : این منطقه برای جوش دوم بفاصله ۱/۲ اینچ از جوش اول رسم شده است .

شکل ۴-۲ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورق فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۳۵ اینچ به ورق فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۳۵ اینچ

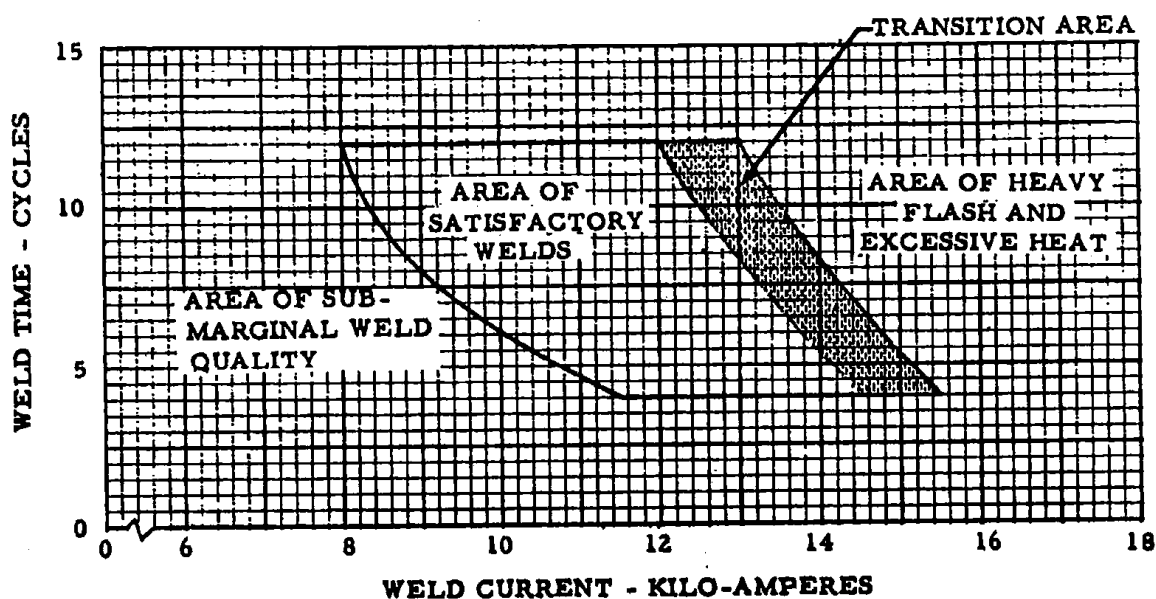
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۶۵۰ پوند

زمان نگهداری : ۱ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۱/۴ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۱۹ اینچ



*Note: Lobe developed for second weld at $\frac{3}{4}$ in. pitch.

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $\frac{3}{4}$ از جوش اول رسم شده است .

شکل ۳-۴ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۴۱ اینچ

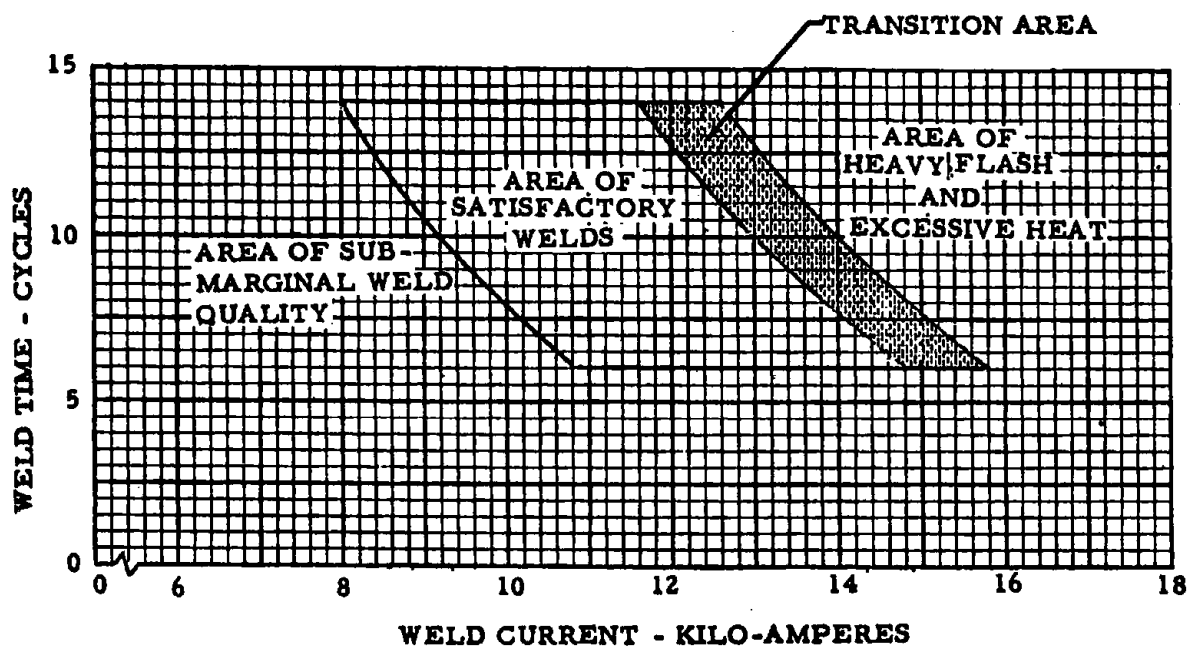
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۷۵۰ پوند

زمان نگهداری : ۱ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۱/۴ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۲ اینچ



*Note: Lobe developed for second weld at $\frac{3}{4}$ in. pitch.

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $\frac{3}{4}$ از جوش اول رسم شده است.

شکل ۴-۴ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۴۷ اینچ

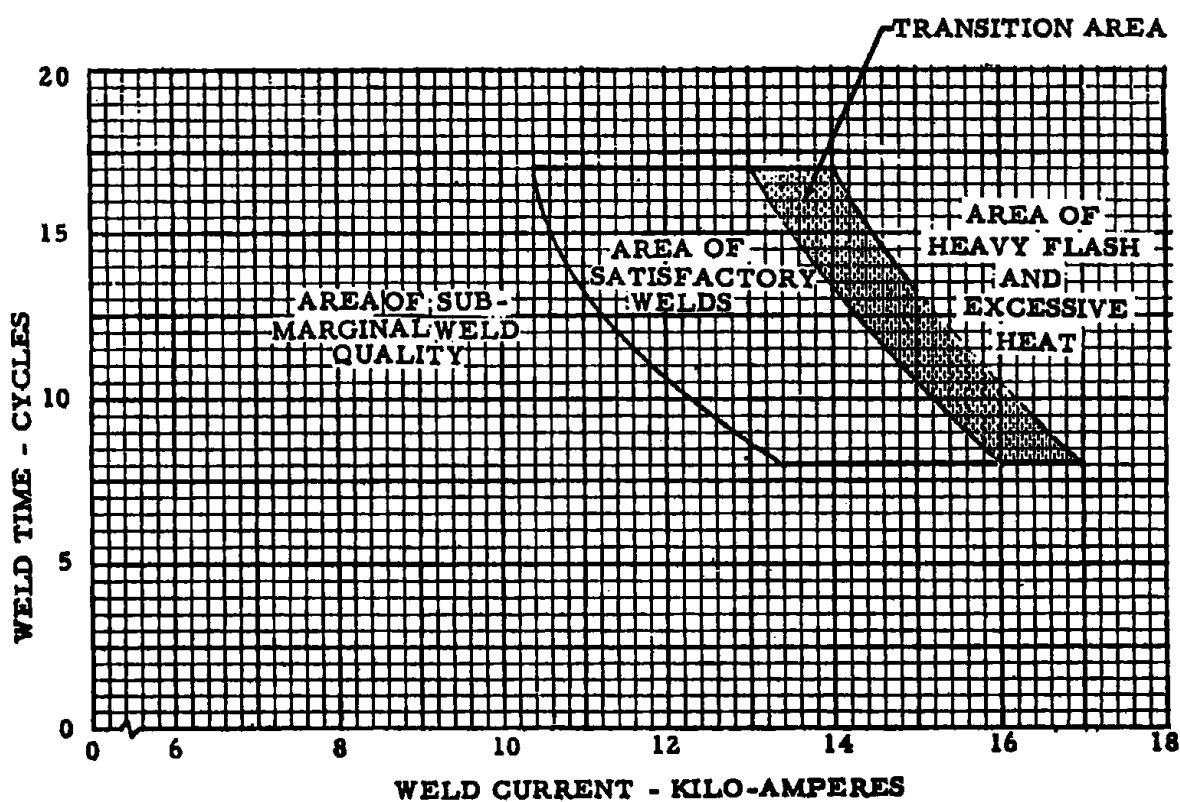
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۹۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۱ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۵/۱۶ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۲۳ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at $\frac{7}{8}$ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $\frac{7}{8}$ اینچ از جوش اول رسم شده است.

شکل ۴-۵ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۵۹ اینچ

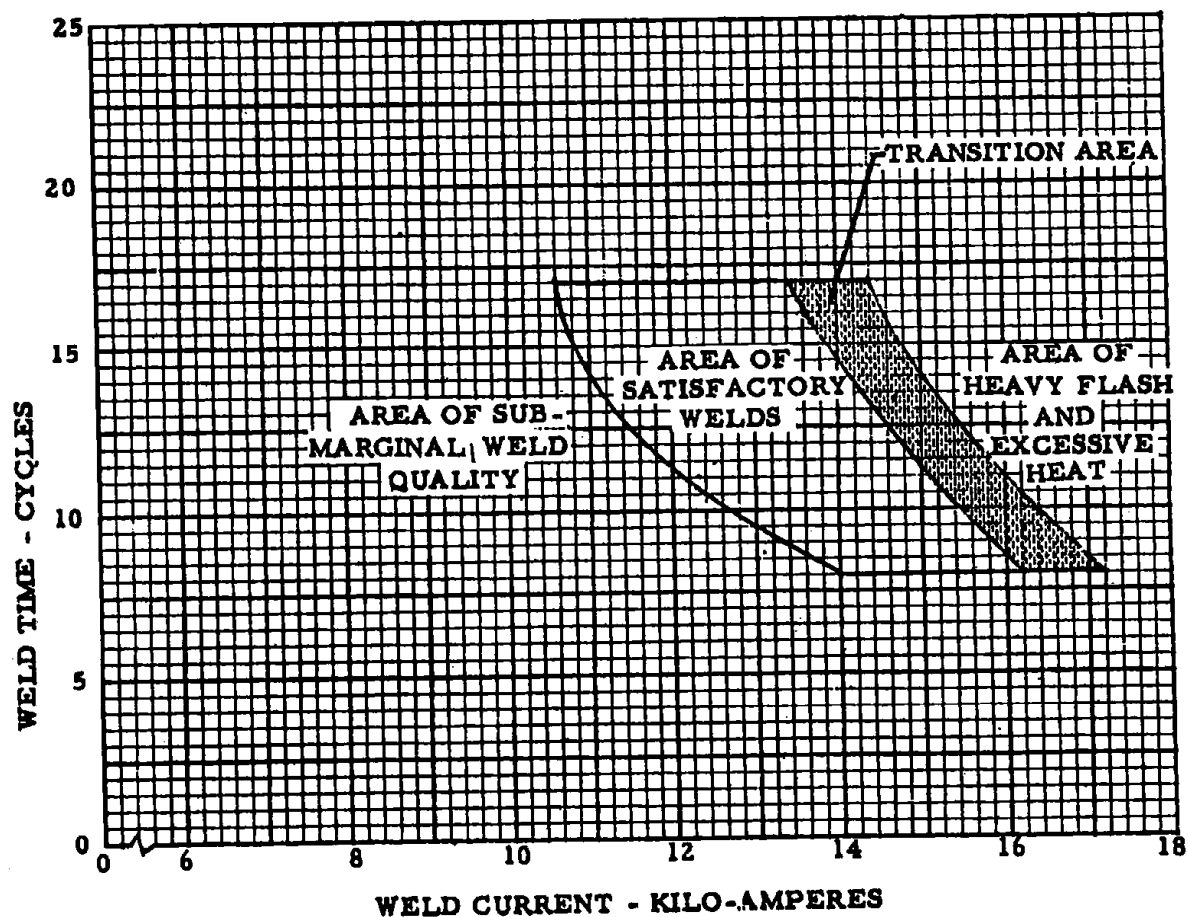
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۱۰۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۲ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۵/۱۶ اینچ

قطر دکمه جوش (حداقل) : ۰/۲۶ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at $\frac{7}{8}$ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $\frac{7}{8}$ از جوش اول رسم شده است .

شکل ۴-۶ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۶۷ اینچ

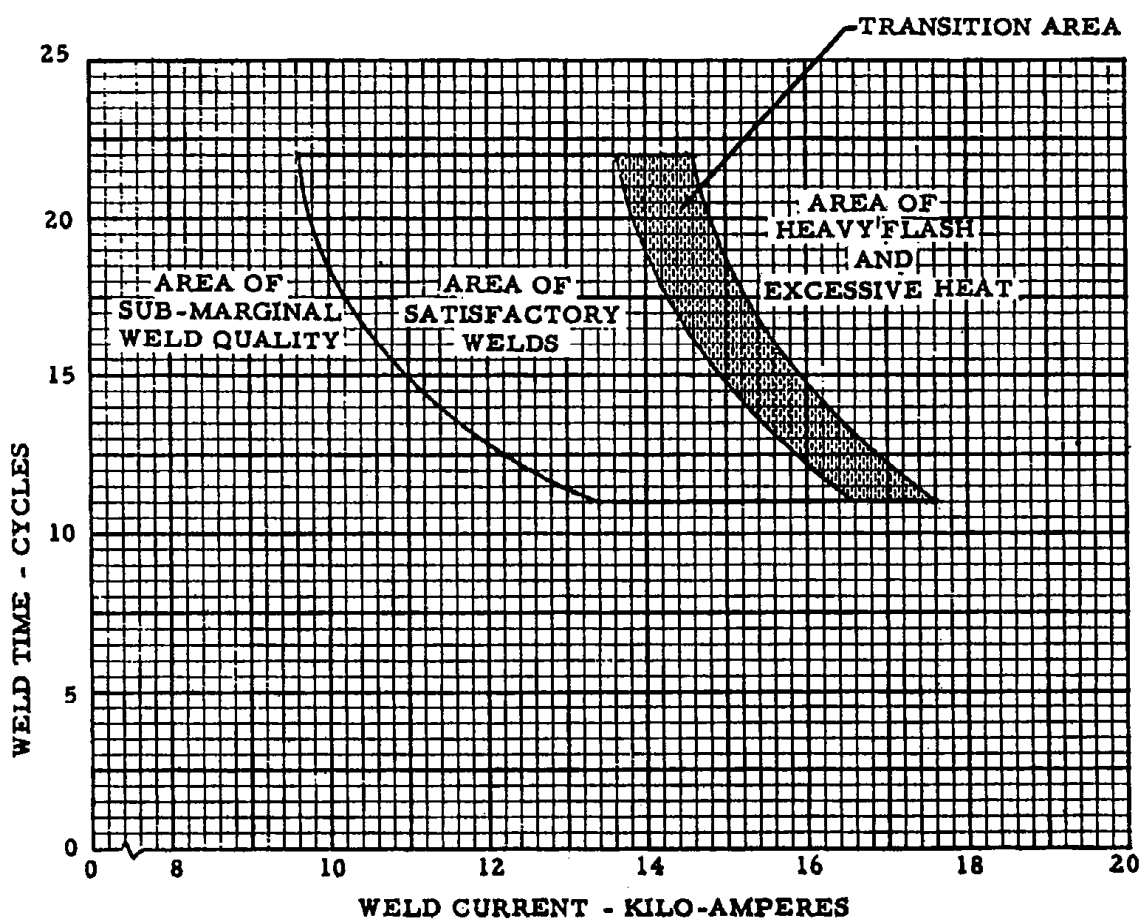
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۱۲۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۳ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۵/۱۶ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۲۸ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at $1\frac{1}{8}$ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $1\frac{1}{8}$ از جوش اول رسم شده است .

شکل ۴-۷ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۰۷۵ اینچ

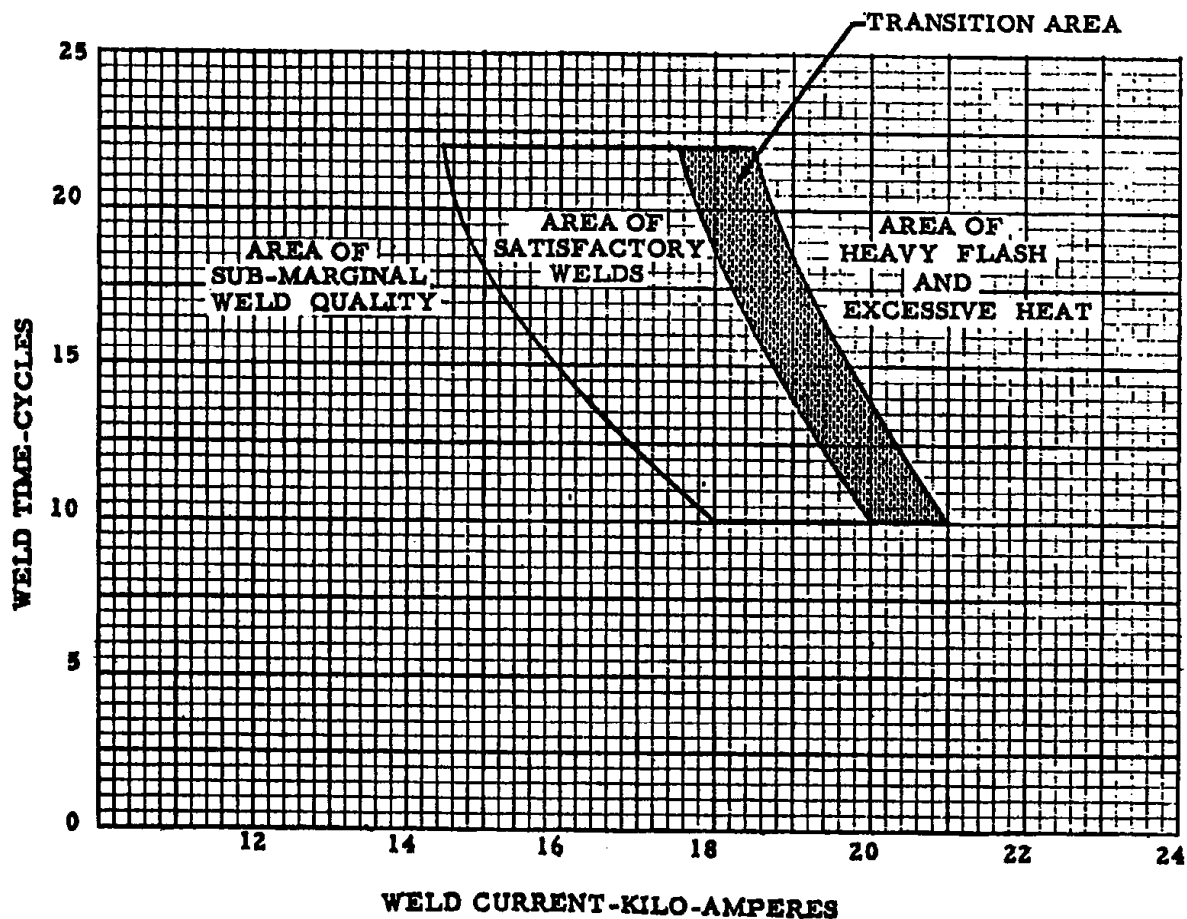
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۱۵۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۳ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۳/۸ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۲۹ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at $1\frac{3}{8}$ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله $1\frac{3}{8}$ از جوش اول رسم شده است .

شکل ۴-۸ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰,۰۸۹ اینچ

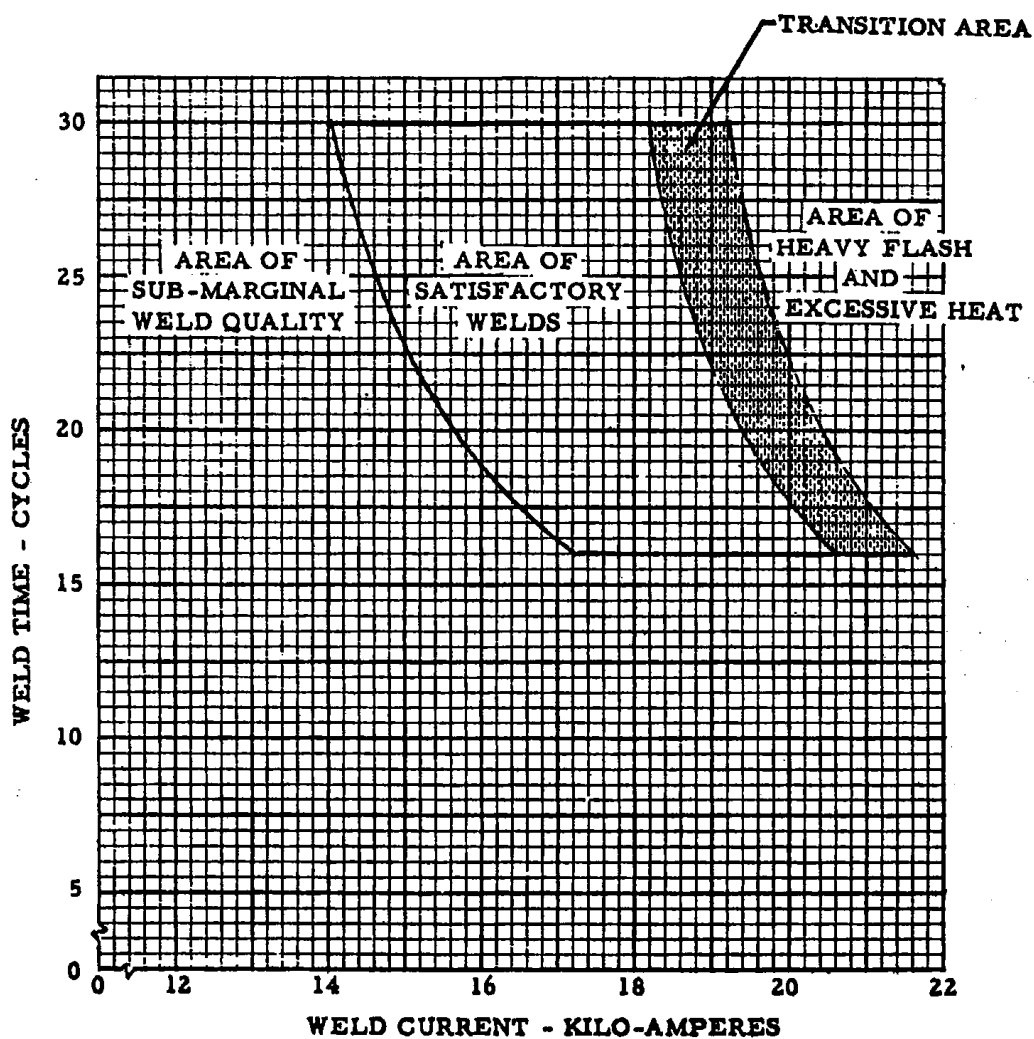
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۱۸۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۶ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۳/۸ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۳۱ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at 1½ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله ۱½ اینچ از جوش اول رسم شده است.

شکل ۴-۹ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۱۰۵ اینچ

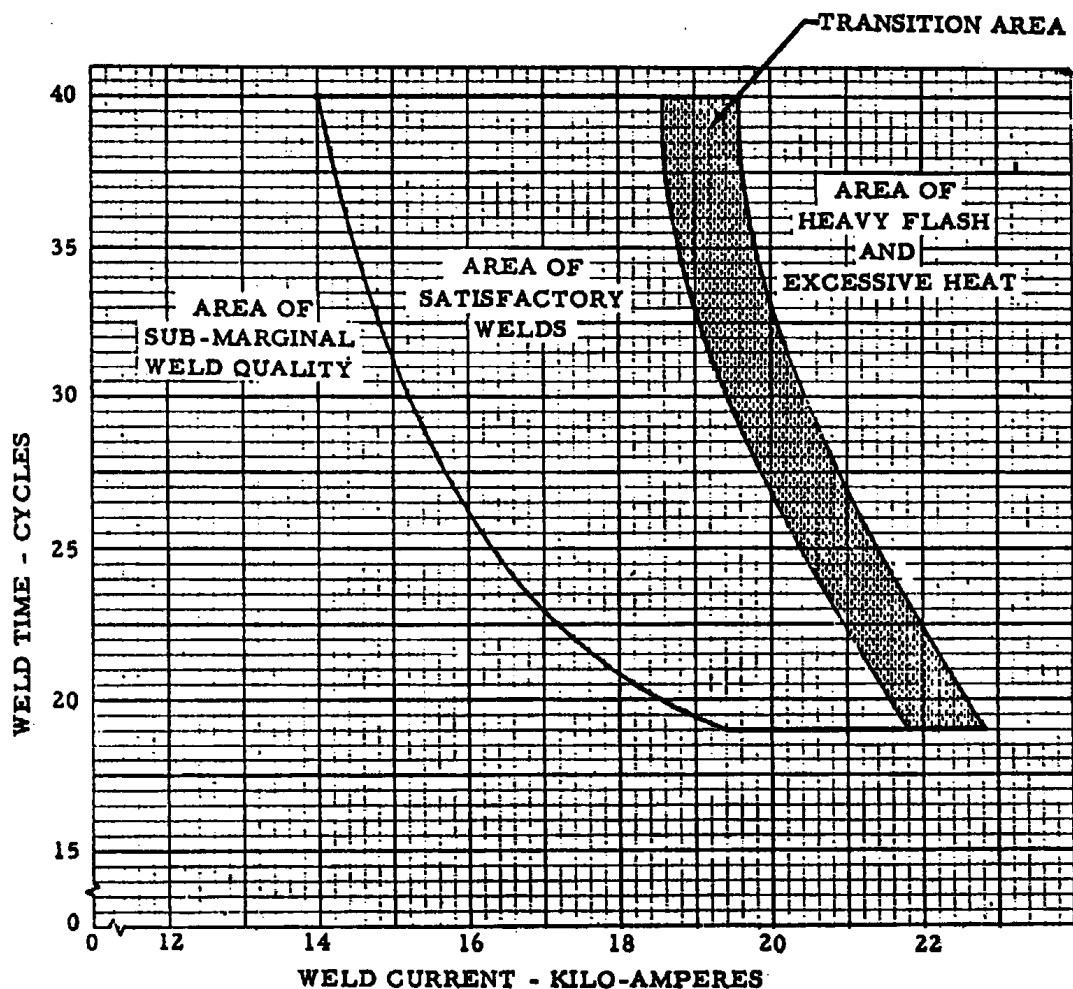
برنامه جوشکاری :

نیروی الکتروود : ۲۰۰۰ پوند

زمان نگهداری : ۶ سیکل

الکتروود : مخروط ناقص به قطر ۳/۸ اینچ

قطر دکه جوش (حداقل) : ۰/۳۱ اینچ



***Note: Lobe developed for second weld at 1½ in. pitch.**

توجه : این منطقه برای جوش دوم به فاصله ۱½ اینچ از جوش اول رسم شده است.

شکل ۴-۱۰ : ناحیه جوش پذیری برای اتصال ورقهای فولادی کم کربن به ضخامت ۰/۱۲ اینچ

جدول (۷-۴) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای چند پالسی را برای فولاد های کم

کربن بر طبق AWS Handbook (فصل اول، جلد چهارم) نشان می دهد.

Thickness, in. ^a	Electrode face diam, in. ^b	Static electrode force, lbs	No. of impulses ^c			Approx. welding current, kA ^d	Approx. nugget diam., in.	Min. shear strength, lbs
			Single spot	Multiple spot spacing				
				1-2 in.	2-4 in.			
0.125	0.44	1800	3	5	4	18.0	0.37	5,000
0.188	0.50	1950	6	20	14	19.5	0.56	10,000
0.25	0.56	2150	12	24	18	21.5	0.75	15,000
0.31	0.62	2400	15	30	23	24.0	0.87	20,000

جدول ۷-۴: شرایط جوشکاری مقاومتی چندپالسی برای فولادهای کم کربن طبق AWS Handbook

در جدول فوق:

a: ورق نازکتر، ماکزیم نسبت ضخامت دو ورق ۲ به ۱

b: الکتروود با سطح صاف، گروه A، کلاس ۲ (طبق استاندارد RWMA)

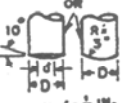


c: زمان حرارت ۲۰ سیکل، زمان خنک کاری ۵ سیکل (۶۰ هرتز)

d: دستگاه AC تکفاز

جدول (۸-۴) نیز که تقریباً مشابه جدول قبلی است شرایط جوشکاری

مقاومتی چند پالسه را برای فولاد کم کربن بر طبق استاندارد AWS C11 نشان

می دهد.

COMBINATION OF THICKNESSES TO BE WELDED (NOTES 1 AND 2 (SEE PAR. 101 AND NOTES 1 AND 2 BELOW))		ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 3 BELOW) OR  MIN. d = 1/2 IN.		NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103)	WELD TIME ON 20 CYCLES OFF 5 CYCLES (60 PER SEC.) (SEE PAR. 104)			WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106) 	MINIMUM DIAMETER OF FUSED ZONE (SEE PAR. 108) 	MINIMUM SHEAR STRENGTH (FOR STEEL OF TENSILE STRENGTH LESS THAN 70,000 PSI) (SEE PAR. 109)	COMBINATION OF THICKNESSES TO BE WELDED (SEE PAR. 101 AND NOTES 1 AND 2 BELOW)					
T-1	T-2	D, IN., MIN.	d, IN., MAX.		LB.	NO. OF PULSATIONS						IN.	IN. APPROX.	LB.	T-1	T-2	
						SINGLE WELDS	ADJACENT WELDS 1 IN. TO 2 IN. CENTERS 2 IN. TO 4 IN. CENTERS										
1/8	1/8	1	7/16	1800	3	5	4	18000	7/8	3/8	5000	1/8	1/8				
1/8	3/16	1	7/16	1800	3	5	4	18000	7/8	3/8	5000	1/8	3/16				
1/8	1/4	1	7/16	1800	3	5	4	18000	7/8	3/8	5000	1/8	1/4				
3/16	3/16	1 1/4	1/2	1950	6	20	14	19500	1 1/8	9/16	10 000	3/16	3/16				
3/16	1/4	1 1/4	1/2	1950	6	20	14	19500	1 1/8	9/16	10 000	3/16	1/4				
3/16	5/16	1 1/4	1/2	1950	6	20	14	19500	1 1/8	9/16	10 000	3/16	5/16				
1/4	1/4	1 1/4	9/16	2150	12	24	18	21500	1 3/8	3/4	15000	1/4	1/4				
1/4	5/16	1 1/4	9/16	2150	12	24	18	21500	1 3/8	3/4	15000	1/4	5/16				
5/16	5/16	1 1/2	5/8	2400	15	30	23	24000	1 1/2	7/8	20000	5/16	5/16				

جدول ۴-۸: شرایط جوشکاری مقاومتی چند پالسی برای فولادهای کم کربن طبق AWS C11

در جدول فوق:

۱- آزمایشها بر روی فولاد SAE 1010 صورت گرفته

۲- سطح فلز باید از آلودگی هایی مانند پوسته ها، اکسیدها، رنگ، روغن و

چربی زدوده شود.

۳- مواد الکتروود: کلاس ۲

حداقل هدایت الکتریکی ۷۵٪ مس

حداقل سختی ۷۵ راکول B

جدول (۴-۹) شرایط جوشکاری مقاومتی نواری را برای فولادهای کم

کربن نشان می دهد که بر طبق پیشنهاد AWS Handbook (فصل اول، جلد

چهارم) می باشد.

Thickness, in. ^a	Electrode face width, in. ^b	Static electrode force, lbs	Heat time, cycles ^c	Cool time, cycles ^c	Travel speed, in./min	Welds per in.	Approx. welding current, kA ^d
0.010	0.19	400	2	1	80	15	8.0
0.021	0.19	550	2	2	75	12	11.0
0.031	0.25	700	3	2	72	10	13.0
0.040	0.25	900	3	3	67	9	15.0
0.050	0.31	1050	4	3	65	8	16.5
0.062	0.31	1200	4	4	63	7	17.5
0.078	0.38	1500	6	5	55	6	19.0
0.094	0.44	1700	7	6	50	5.5	20.0
0.109	0.50	1950	9	6	48	5	21.0
0.125	0.50	2200	11	7	45	4.5	22.0

جدول ۴-۹: شرایط جوشکاری مقاومتی نواری برای فولادهای کم کربن بر طبق AWS Handbook

در جدول فوق:

a: ضخامت نازکترین ورق خارجی، اطلاعات وقتی قابل استفاده است که مجموع ضخامتهای ورق ها کمتر از ۴ برابر ضخامت داده شده باشد. ماکزیمم ضخامت دو ورق مجاوز ۳ به ۱ است.



b: الکتروود غلطکی با سطح صاف از گروه A، کلاس ۲ (طبق استاندارد

(RWMA

c: ۶۰ هرتز

d: دستگاه AC تکفاز

جدول (۴-۱۰) که تقریباً مشابه جدول قبلی است. شرایط جوشکاری مقاومتی نواری فولادهای کم کربن را بر طبق استاندارد AWS C11 نشان می دهد.

THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)	ELECTRODE WIDTH AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 5 BELOW) OR 		NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103)	ON TIME (SEE PAR. 104)	OFF TIME (PRESSURE- TIGHT) (SEE PAR. 104)	WELD SPEED (SEE PAR. 104)	WELDS PER INCH (SEE PAR. 104)	WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106 AND NOTE 6 BELOW) 	THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)
INCHES	W, IN., MIN.	E, IN., MAX.	LB.	CYCLES (60 PER SEC.)	CYCLES	IN. PER MIN.		AMPS	IN.	
0.010	3/8	3/16	400	2	1	80	15	8000	3/8	0.010
0.021	3/8	3/16	550	2	2	75	12	11000	7/16	0.021
0.031	1/2	1/4	700	3	2	72	10	13000	1/2	0.031
0.040	1/2	1/4	900	3	3	67	9	15000	1/2	0.040
0.050	1/2	5/16	1050	4	3	65	8	16500	9/16	0.050
0.062	1/2	5/16	1200	4	4	63	7	17500	5/8	0.062
0.078	5/8	3/8	1500	6	5	55	6	19000	11/16	0.078
0.094	5/8	7/16	1700	7	6	50	5.5	20000	3/4	0.094
0.109	3/4	1/2	1950	9	6	48	5	21000	13/16	0.109
0.125	3/4	1/2	2200	11	7	45	4.5	22000	7/8	0.125

جدول ۴-۱: شرایط جوشکاری مقاومتی نواری فولادهای کم کربن طبق AWS C11

در جدول فوق:

۱- آزمایش های بر روی فولاد SAE 1010 صورت گرفت.

۲- سطح فلز باید عاری از هر نوع آلودگی مانند پوسته، اکسید، رنگ،

روغن و چربی باشد.

۳- شرایط جوشکاری را ضخامت نازکترین ورق بیرونی T تعیین می کند.

۴- اطلاعات فوق زمانی قابل استفاده است که مجموع ضخامت کل ورق ها

از ۴T تجاوز نکند. ماکزیم نسبت ضخامت ۳ به ۱ است.

۵- مواد الکتروود: کلاس ۲

حداقل هدایت الکتریکی ۷۵٪ مس و حداقل سختی ۷۵ راکول B

۶- برای اتصالات بزرگ حداقل منطقه روی هم سوار شدن^۱ نشان داده

باید ۳۰ درصد افزایش یابد.

جدول (۴-۱۱) شرایط جوشکاری مقاومتی زائده ای فولادهای کم کربن را

بر طبق AWS Handbook (فصل اول، جلد چهارم) نشان می دهد.

¹ - Contacting Overlap

Thick- ness, t in. ⁴	Projection		Minimum pitch, in.	Minimum contact overlap, in.	Welding Schedule A for single projection ^a				Welding Schedule B for 1-3 projections, per projection ^b				Welding Schedule C for 3 or more projections, per projection ^c			
					Weld time, cycles ^e	Electrode force, lb	Welding current, A	Shear strength, lb	Weld time, cycles ^e	Electrode force, lb	Welding current, A	Shear strength, lb	Weld time, cycles ^e	Electrode force, lb	Weld current, A	Shear strength, lb
	Diam., in.	Height, in.														
0.022	0.090	0.025	0.38	0.25	3	150	4,400	370	6	150	3,850	325	6	80	2900	290
0.028	0.090	0.025	0.38	0.25	3	195	5,500	500	6	150	4,450	425	8	100	3300	340
0.034	0.110	0.035	0.50	0.38	3	240	6,600	700	6	150	5,100	525	11	125	3800	425
0.043	0.110	0.035	0.50	0.38	5	330	8,000	1060	10	210	6,000	875	15	160	4300	720
0.049	0.140	0.038	0.75	0.50	8	400	8,800	1300	16	270	6,500	1100	19	220	4600	875
0.061	0.150	0.042	0.75	0.50	10	550	10,300	1800	20	365	7,650	1575	25	330	5400	1225
0.077	0.180	0.048	0.88	0.50	14	800	11,850	2425	28	530	8,850	2150	34	470	6400	1750
0.092	0.210	0.050	1.06	0.62	16	1020	13,150	3250	32	680	9,750	2800	42	610	7200	2325
0.107	0.240	0.055	1.25	0.75	19	1250	14,100	3850	38	830	10,600	3450	50	740	8300	2900
0.123	0.270	0.058	1.50	0.81	22	1500	14,850	4800	45	1000	11,300	4200	60	900	9200	3600
0.135	0.300	0.062	1.63	0.88	24	1650	15,300	5500	48	1100	11,850	4850	66	1000	9900	4250

جدول ۴-۱۱: شرایط جوشکاری مقاومتی زائده ای برای فولادهای کم کربن طبق AWS Handbook

در جدول فوق: a: اگر جریان جوشکاری کم شود، برنامه A برای جوشکاری بیش از یک زائده مهم قابل استفاده است. اما پاشش اضافی ممکن است اتفاق بیفتد. همچنین توان بیشتری نسبت به برنامه B و C نیاز می باشد.

b: برنامه B می تواند برای جوشکاری بیش از سه زائده نیز استفاده شود. منتها امکان پاشش وجود دارد. ضمن اینکه توان بیشتری نسبت به برنامه C مورد نیاز می باشد.

c: برای C برای جوشکاری کمتر از سه زائده نیز قابل استفاده است اما جریان جوشکاری باید تقریباً ۱۵٪ افزایش یابد ضمن اینکه امکان بوجود آمدن عیب جدا شدن ورق ها نیز وجود دارد.

d: برای ورق هایی با ضخامت غیریکسان ($\frac{T}{t}$) تا حد ۳ به ۱ (۱:۳) زمان

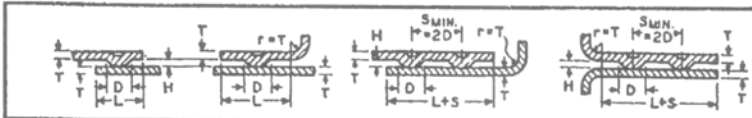
جوشکاری بایستی به اندازه f_t افزایش یابد که f_t از فرمول $f_t = 1.5(\frac{T}{t}) - 0.5$

تعیین می شود. (۲) جریان جوشکاری بر زائده بایستی به اندازه f_c افزایش یابد که

f_c از فرمول $f_c = 0.1(\frac{T}{t}) + 0.9$ تعیین می شود.

e: ۶۰ هرتز

جدول (۱۲-۴) اطلاعات طراحی جوشکاری زائده ای فولادهای کم کربن و برخی آلیاژهای دیگر را نشان می دهد. در این جدول ستون استحکام برش جوش برای سه محدوده مقاومت استحکام کششی فولادها تهیه شده است. مقادیری که در ستون اول هستند استحکام کششی زیر ۷۰۰۰۰ psi، برای فولادهای کم کربن قابل استفاده هستند. مقادیر دومین ستون استحکام کششی ۷۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ psi برای فولادهای کم کربن (SAE 1010) و فولادهای زنگ نزن که کاملاً آنیل شده یا ۱/۴ سخت شده اند قابل استفاده می باشد. سومین ستون استحکام کششی ۱۵۰۰۰۰ psi و بالاتر برای فولادهای زنگ نزن ۱/۲ تا کاملاً سخت شده قابل کاربرد هستند.



THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (NOMINAL) (SEE PAR. 201 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)	DIAMETER OF PROJECTION "D" (SEE PAR. 211 AND NOTES 7, 8 AND 10 BELOW)	HEIGHT OF PROJECTION "H" (SEE PAR. 211 AND NOTES 7, 9 AND 10 BELOW)	MINIMUM SHEAR STRENGTH (SINGLE PROJECTIONS ONLY) (SEE PAR. 205) LB.			DIAMETER OF FUSED ZONE MINIMUM (AT WELD INTERFACE) (SEE PAR. 207)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP "L" (SEE PAR. 209 AND NOTES 5 AND 6 BELOW)	THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (NOMINAL) (SEE PAR. 201 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)
			TENSILE STRENGTH BELOW 70,000 PSI	TENSILE STRENGTH 70,000 UP TO 150,000 PSI	TENSILE STRENGTH 150,000 PSI AND ABOVE			
INCHES	IN.	IN.				IN.	IN.	INCHES
0.010	0.055	0.015	130	180	250	0.112	1/8	0.010
0.012	0.055	0.015	170	220	330	0.112	1/8	0.012
0.014	0.055	0.015	200	200	380	0.112	1/8	0.014
0.016	0.067	0.017	240	330	450	0.112	5/32	0.016
0.021	0.067	0.017	320	440	600	0.140	5/32	0.021
0.025	0.081	0.020	450	600	820	0.140	3/16	0.025
0.031	0.094	0.022	635	850	1100	0.169	7/32	0.031
0.034	0.094	0.022	790	1000	1300	0.169	7/32	0.034
0.044	0.119	0.028	920	1300	2000	0.169	9/32	0.044
0.050	0.119	0.028	1350	1700	2400	0.225	9/32	0.050
0.062	0.156	0.035	1950	2250	3400	0.225	3/8	0.062
0.070	0.156	0.035	2300	2800	4200	0.281	3/8	0.070
0.078	0.187	0.041	2700	3200	4800	0.281	7/16	0.078
0.094	0.218	0.048	3450	4000	6100	0.281	1/2	0.094
0.109	0.250	0.054	4150	5000	7000	0.338	5/8	0.109
0.125	0.281	0.060	4800	5700	8000	0.338	11/16	0.125
0.140	0.312	0.066	6000	---	---	7/16	3/4	0.140
0.156	0.343	0.072	7500	---	---	1/2	13/16	0.156
0.171	0.375	0.078	8500	---	---	9/16	7/8	0.171
0.187	0.406	0.085	10000	---	---	9/16	15/16	0.187
0.203	0.437	0.091	12000	---	---	5/8	1	0.203
0.250	0.531	0.110	15000	---	---	11/16	1 1/4	0.250

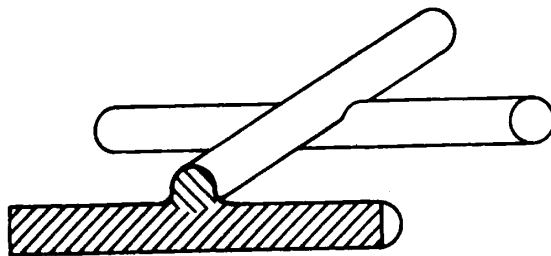
جدول (۱۲-۴) اطلاعات طراحی جوشکاری زائده ای

- توجه در جدول فوق : ۱- نوع مواد: فولادهای کم کربن SAE 1010.
- فولادهای زنگ نزن ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۴۷ و ۳۴۹. (ماکزیمم مقدار کربن فولاد نباید از ۰/۱۵٪ بیشتر باشد)
- ۲- مواد بایستی عاری از هر گونه آلودگی های سطحی نظیر پوسته ها، اکسیدها، رنگ، روغن و چربی باشند.
- ۳- نازکترین ورق معمولاً اندازه زائده را تعیین می کند و زائده بایستی بر روی ورق ضخیم تر و در جایی که امکانش وجود دارد ایجاد شود.
- ۴- اطلاعات جدول فوق برای ورق نازکتر است و فقط برای دو ضخامت می باشد.
- ۵- منطقه رویهم افتادگی در تماس^۱ هیچ شعاعی که ناشی از forming باشد را شامل نمی شود.
- ۶- جوش بایستی در مرکز رویهم افتادگی^۲ واقع شود.
- ۷- در اتصال فلزات غیرمشابه، زائده بایستی بر روی قطعه ای که هدایت الکتریکی بیشتری دارد ایجاد شود.
- ۸- تلرانس قطر زائده D در موادی که ۰/۰۵ اینچ و کمتر از آن ضخامت دارند. ۰/۰۳ اینچ است و در موادی که بیشتر از ۰/۰۵ اینچ ضخامت دارند، ۰/۰۷ اینچ می باشد.
- ۹- تلرانس ارتفاع زائده H در ورق هایی که ۰/۰۵ اینچ و کمتر از آن ضخامت دارند، ۰/۰۲ اینچ است و در موادی که بیشتر از ۰/۰۵ اینچ ضخامت دارند این تلرانس ۰/۰۵ اینچ می باشد.

^۱ - Contacting Overlap

^۲ - Overlap

جوشکاری سیم های متقاطع که صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارد شبیه جوشکاری زائده ای می باشد. البته روش های گوناگون برای تولید سیم های متقاطع وجود دارد که قسمتی از آن را در شکل (۴-۱۱) مشاهده می نمایید. فولادهای کم کربن کاربرد وسیعی در ساخت توری های با اشکال متنوع دارند. گاهی هم از فولادهای زنگ نزن و نیکل مس در ساخت این قطعات استفاده می شود که انتخاب جنس بستگی به کاربرد مورد نظر از توری دارد.



شکل ۴-۱۱ قسمتی از جوش سیم متقاطع

مهمترین مساله در جوشکاری توری ها (سیم های متقاطع) ظاهر جوش و در درجه بعدی استحکام آن است. در تنظیم دستگاه جوشکاری باید فاکتورهای زیر را در نظر گرفت. (۱) استحکام طراحی (۲) ظاهر جوش (۳) الکترودهای جوشکاری (۴) نیروی الکتروود (۵) زمان جوش (۶) جریان جوشکاری (حرارت).

کاربرد توری مشخص می کند که ظاهر یا استحکام کدامیک اهمیت بیشتری دارد. نیرو، جریان و زمان مورد نیاز برای جوشکاری شدیداً بستگی به مقداری است که سیم ها یا میله ها باید در هم فشرده شوند. این شرایط مقدار نشست^۱ نامیده می شود. نسبت کاهش ارتفاع اتصال به قطر سیم کوچکتر پارامتر نشست^۱ تعریف می شود. در جوشکاری با استحکام بیشتر معمولاً درصد نشست افزایش می یابد. معمولاً الکترودهای کلاس II برای جوشکاری استفاده می شوند. مقادیری که در جدول (۴-۱۳) داده شده است، ظاهر جوش مناسبی ایجاد می کند.

¹ - Set down

Wire Diameter in.	Cold Drawn Wire				Hot Drawn Wire			
	Weld Time, Cycles	Electrode Force, lbs.	Weld Current, A	Weld Strength, lbs.	Weld Time, Cycles	Electrode Force, lbs.	Weld Current, A	Weld Strength, lbs.
	15% Setdown					15% Setdown		
1/16	5	100	800	450	5	100	600	350
1/8	10	125	1800	975	10	125	1850	750
3/16	17	360	3300	2000	17	360	3500	1500
1/4	23	580	4500	3700	23	580	4900	2800
5/16	30	825	6200	5100	30	825	6800	4800
3/8	40	1100	7400	6700	40	1100	7700	6200
7/16	50	1400	9300	9600	50	1400	10000	8800
1/2	60	1700	10300	12200	60	1700	11000	11500
	30% Setdown					30% Setdown		
1/16	5	150	800	500	5	150	800	400
1/8	10	280	2850	1125	10	280	2770	850
3/16	17	600	5000	2400	17	600	5100	1700
1/4	23	850	6700	4200	23	850	7100	3000
5/16	30	1450	9300	6100	30	1450	9800	5000
3/8	40	2060	11300	8350	40	2060	11800	6800
7/16	50	2900	13800	11300	50	2900	14000	9800
1/2	60	3400	15800	13600	60	3400	16500	12400
	50% Setdown					50% Setdown		
1/16	5	200	1000	550	5	200	1000	450
1/8	10	350	3400	1250	10	350	3500	900
3/16	17	750	6000	2500	17	750	6300	1800
1/4	23	1240	8800	4400	23	1240	9000	3100
5/16	30	2000	11400	6500	30	2000	12000	5300
3/8	40	3000	14400	8800	40	3000	14900	7200
7/16	50	4450	17400	11900	50	4450	18000	10200
1/2	60	5300	21000	14600	60	5300	22000	13000

جدول ۴-۱۳: شرایط جوشکاری سیم متقاطع سیم های فولادی کم کربن

۴-۲-۲- جوشکاری مقاومتی فولادهای کربن متوسط و کم آلیاژ:

شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولاد کربن متوسط و کم

آلیاژ بر طبق AWS Handbook (فصل ۱ جلد ۴) در جدول (۴-۱۴) ارائه شده

است.

AISI No.	Thick-ness, in.*	Elec-trode face diam, in.*	Elec-trode force, lbs	Weld time cycles*	Quench time, cycles*	Temper time cycles*	Approx. welding current, kA*	Approx. Temper current, percent*	Approx. nugget diam., in.	Mini-mum pitch, in.†	Min. shear strength, lbs
1020	0.040	0.25	1475	6	17	6	16.0	90	0.23	1	1360
1035	0.040	0.25	1475	6	20	6	14.2	91	0.22	1	1560
1045	0.040	0.25	1475	6	24	6	13.8	88	0.21	1	2000
4130	0.040	0.25	1475	6	18	6	13.0	90	0.22	1	2120
4340	0.031	0.19	900	4	12	4	8.3	84	0.16	0.75	1080
	0.062	0.31	2000	10	45	10	13.9	77	0.27	1.50	3840
	0.125	0.63	5500	45	240	90	21.8	88	0.55	2.50	13,700
8630	0.031	0.19	800	4	12	4	8.7	88	0.16	0.75	1220
	0.062	0.31	1800	10	36	10	12.8	83	0.27	1.50	4240
	0.125	0.63	4500	45	210	90	21.8	84	0.55	2.50	13,200

جدول ۴-۱۴: شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های فولادی کربن متوسط و کم آلیاژ بر طبق AWS Handbook

در جدول فوق؛ a: دو ضخامت مساوی b: الکتروود با سطح صاف، گروه A، کلاس ۲ طبق استاندارد RWMA، c: سیکل ۶۰ هرتز d: دستگاه AC تفکاز e: درصد جریان جوشکاری f: حداقل فاصله بین دو جوش طوری که جریان انحرافی تغییر در شرایط جوشکاری ایجاد نمی کند.

جدول (۴-۱۵) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کربن متوسط و کم آلیاژ را بر طبق AWS C1.1 نمایش می دهد که شبیه به جدول قبلی است.

MATERIAL (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2, 3 AND 4 BELOW)			ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTES 3 AND 4)			NET ELECTRODE WELD AND TEMPER FORCE (SEE PAR. 103)	WELD TIME (SEE PAR. 104)	QUENCH TIME (SEE PAR. 104)	TEMPER TIME (SEE PAR. 104)	WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105)	TEMPER CURRENT	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106)	MINIMUM WELD SPACING (SEE PAR. 107 AND NOTE 5 BELOW)	DIAMETER OF FUSED ZONE (SEE PAR. 108)	MINIMUM WELD STRENGTH (SEE PAR. 109)		RATIO TENSILE SHEAR STRENGTH
															SHEAR STRENGTH LBS.	TENSILE STRENGTH LBS.	
TYPE	CONDITION	THICKNESS INCHES	D INCHES MIN.	d INCHES	R INCHES	LB.	CYCLES (60 PER SEC.)	CYCLES (60 PER SEC.)	CYCLES (60 PER SEC.)	AMPS	% OF WELDING CURRENT	IN.	IN.	INCHES (APPROX.)	SHEAR STRENGTH LBS.	TENSILE STRENGTH LBS.	PERCENT
SAE 1020	HOT ROLLED	0.040	5/8	1/4	6	1475	6	17	6	16000	90	1/2	1	0.23	1360	920	68
SAE 1035	HOT ROLLED	0.040	5/8	1/4	6	1475	6	20	6	14200	91	1/2	1	0.22	1560	520	33
SAE 1045	HOT ROLLED	0.040	5/8	1/4	6	1475	6	24	6	13800	88	1/2	1	0.21	2000	880	33
SAE X-430	HOT ROLLED	0.040	5/8	1/4	6	1475	6	18	6	13000	90	1/2	1	0.22	2120	640	30
SAE 4340	NORMALIZED & DRAWN	0.031	5/8	3/16	6	900	4	12	4	8250	84	7/16	3/4	0.16	1084	290	27
SAE 4340	NORMALIZED & DRAWN	0.062	3/4	5/16	6	2000	10	45	10	13900	77	5/8	1 1/2	0.27	3640	1440	37
SAE 4340	NORMALIZED & DRAWN	0.125	1	5/8	10	5500	45	240	90	21800	86	7/8	2 1/2	0.55	13680	4000	29
NE 6630	NORMALIZED & DRAWN	0.031	1/2	3/16	6	900	4	12	4	8650	86	7/16	3/4	0.16	1220	524	43
NE 6630	NORMALIZED & DRAWN	0.062	5/8	5/16	6	1800	10	36	10	12800	83	5/8	1 1/2	0.27	4240	2200	52
NE 6630	NORMALIZED & DRAWN	0.125	1	5/8	10	4500	45	210	90	21800	84	7/8	2 1/2	0.55	13200	4500	34
NE 8715	NORMALIZED & DRAWN	0.018	1/2	1/8	6	350	3	4	3	3900	85	7/16	5/8	0.10	400	200	50
NE 8715	NORMALIZED & DRAWN	0.062	5/8	5/16	6	1600	10	28	10	12250	85	5/8	1 1/2	0.27	3300	1800	55
NE 8715	NORMALIZED & DRAWN	0.125	1	5/8	10	4500	45	180	90	22700	85	7/8	2 1/2	0.55	12760	4500	35
HAX 9115	ANNEALED	0.040	5/8	1/4	6	1000	6	14	5	12000	79	1/2	1	0.22	1640	1020	61
HAX 9115	1/2 HARD	0.040	5/8	1/4	6	1240	6	14	5	12000	79	1/2	1	0.22	2040	1020	60
HAX 9115	ANNEALED	0.070	3/4	11/32	6	2325	8	34	8	22600	67	11/16	1 7/8	0.32	4250	2800	66
HAX 9115	1/2 HARD	0.070	3/4	11/32	6	2800	8	34	8	22600	71	11/16	1 7/8	0.32	5050	2520	50

جدول ۴-۱۵: شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای ورق های کربن متوسط و کم آلیاژ بر طبق AWS C1.1

در جدول فوق؛ ۱- مواد باید طوری از آلودگی و چربی ها عاری شوند که مقاومت تماسی سطح از ۲۰۰ میکرواهم فراتر نرود.

۲- اطلاعات برای دو ورق با ضخامت برابر و ضخامت هر یک T است. ۳- مواد الکتروود کلاس ۲ استاندارد RWMA، حداقل هدایت الکتریکی ۷۵٪ مس و حداقل

سختی ۷۵٪ راکول B است. ۴- قطر و شکل الکترود برای الکترودهای بالایی و

پایینی یکسان است.

۳-۲-۴ جوشکاری مقاومتهای فولادهای زنگ نزن

شرایط جوشکاری مقاومتهای فولادهای زنگ نزن بر طبق AWS

C1.1 در جدول (۴-۱۶) ارائه شده است.

THICKNESS *T* OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1,2,3 AND 4 BELOW)	ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 5)		NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103)	WELD TIME (SINGLE IMPULSE) (SEE PAR. 104)	WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 106)		MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 109)	MINIMUM WELD SPACING (SEE PAR. 108 AND NOTE 6 BELOW)	DIAMETER OF FUSED ZONE (SEE PAR. 107)	MINIMUM SHEAR STRENGTH (SEE PAR. 105)			THICKNESS *T* OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1,2,3 AND 4 BELOW)
										LB.			
										ULTIMATE TENSILE STRENGTH OF METAL			
										70000 UP TO 90000 PSI	90000 UP TO 150000 PSI	150000 PSI AND HIGHER	
INCHES	D, IN., MIN.	d, IN., MAX.	LB.	CYCLES (60 PER SEC.)	TENSILE STRENGTH BELOW 150000 PSI	TENSILE STRENGTH 150000 PSI AND HIGHER	IN.	IN.	IN., APPROX.			INCHES	
0.006	3/16	3/32	180	2	2000	2000	3/16	3/16	0.045	60	70	85	0.006
0.008	3/16	3/32	200	3	2000	2000	3/16	3/16	0.055	100	130	145	0.008
0.010	3/16	1/8	230	3	2000	2000	3/16	3/16	0.065	150	170	210	0.010
0.012	1/4	1/8	260	3	2100	2000	1/4	1/4	0.076	185	210	250	0.012
0.014	1/4	1/8	300	4	2500	2200	1/4	1/4	0.082	240	250	320	0.014
0.016	1/4	1/8	330	4	3000	2500	1/4	5/16	0.088	280	300	380	0.016
0.018	1/4	1/8	380	4	3500	2800	1/4	5/16	0.093	320	360	470	0.018
0.021	1/4	5/32	400	4	4000	3200	5/16	5/16	0.100	370	470	500	0.021
0.025	3/8	5/32	520	5	5000	4100	3/8	7/16	0.120	500	600	680	0.025
0.031	3/8	3/16	650	5	6000	4800	3/8	1/2	0.130	680	800	930	0.031
0.034	3/8	3/16	750	6	7000	5500	7/16	9/16	0.150	800	920	1100	0.034
0.040	3/8	3/16	900	6	7800	6300	7/16	5/8	0.160	1000	1270	1400	0.040
0.044	3/8	3/16	1000	8	8700	7000	7/16	11/16	0.180	1200	1450	1700	0.044
0.050	1/2	1/4	1200	8	9500	7500	1/2	3/4	0.190	1450	1700	2000	0.050
0.056	1/2	1/4	1350	10	10300	8300	9/16	7/8	0.210	1700	2000	2450	0.056
0.062	1/2	1/4	1500	10	11000	9000	5/8	1	0.220	1950	2400	2900	0.062
0.070	5/8	1/4	1700	12	12300	10000	5/8	1 1/8	0.250	2400	2800	3550	0.070
0.078	5/8	5/16	1900	14	14000	11000	11/16	1 1/4	0.275	2700	3400	4000	0.078
0.094	5/8	5/16	2400	16	15700	12700	3/4	1 3/8	0.285	3550	4200	5300	0.094
0.109	3/4	3/8	2800	18	17700	14000	13/16	1 1/2	0.290	4200	5000	6400	0.109
0.125	3/4	3/8	3300	20	18000	15500	7/8	2	0.300	5000	6000	7600	0.125

جدول ۴-۱۶: شرایط جوشکاری مقاومتهای فولادی زنگ نزن

در جدول فوق؛ ۱- انواع فولادهای زنگ نزن ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۴، ۳۰۸، ۳۰۹،

۳۱۰، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۲۱، ۳۴۷ و ۳۴۹.

۲- سطح قطعات بایستی عاری از هرگونه پوسته، اکسید، رنگ و چربی و روغن

باشد.




۳- ضخامت نازکترین قطعه بیرونی شرایط جوشکاری را تعیین می کند.

۴- مجموع ضخامت کل ورق ها نباید از ۴T فراتر برود. ماکزیم نسبت بین دو ضخامت نیز ۳ به ۱ است.

۵- مواد الکتروود:	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۱۱
حداقل هدایت الکتریکی	٪۷۵	٪۴۵	٪۳۰
حداقل سختی	۷۵	۹۵	۹۸ راکول B

۶- حداقل فاصله بین دو جوش در هر قطعه به طوری که نیازی به جبران جریانهایی انحرافی نباشد، برای سه قطعه این فاصله ۳۰ درصد زیادتر می شود.

جدول (۴-۱۷) شرایط جوشکاری مقاومتی پالسی فولادهای زنگ نزن را بر طبق AWS C 1.1 نشان می دهد.

THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2,3 AND 4 BELOW)	<div>ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 5 BELOW)</div> <div></div>		NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103)	WELD TIME ON 15 OFF 6 CYCLES CYCLES (60 PER SEC.) (SEE PAR. 104)	WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105)		<div>MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106)</div> <div></div>	MINIMUM WELD SPACING (SEE PAR. 107 AND NOTE 6 BELOW)	<div>MINIMUM DIAMETER OF FUSED ZONE (SEE PAR. 108)</div> <div></div>	MINIMUM SHEAR STRENGTH (SEE PAR. 109)		THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2,3 AND 4 BELOW)
										LB.		
										ULTIMATE TENSILE STRENGTH OF METAL		
										90000 UP TO 150000 PSI	150000 PSI AND HIGHER	
										INCHES	D, IN., MIN.	
0.156	1	1/2	4000	4	20700	17500	1 1/4	1 7/8	0.440	7600	10000	0.156
0.187	1	1/2	5000	5	21500	18500	1 1/2	2	0.500	9750	12300	0.187
0.203	1	5/8	5500	6	22000	19000	1 5/8	2 1/8	0.530	10600	13000	0.203
0.250	1	5/8	7000	7	22500	20000	1 3/4	2 3/8	0.600	13500	17000	0.250

جدول ۴-۱۷: شرایط جوشکاری مقاومتی پالسی فولادهای زنگ نزن

در جدول فوق؛ ۱- انواع فولادهای ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۴، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۶،

۳۱۷، ۳۲۱، ۳۴۷ و ۳۴۹.

۲- سطح قطعات بایستی عاری از هرگونه پوسته، اکسید، رنگ و چربی و روغن باشد.

۳- ضخامت نازکترین قطعه بیرونی شرایط جوشکاری را تعیین می کند.

۴- مجموع ضخامت کل ورق ها نباید از ۴T فراتر برود. ماکزیم نسبت بین دو ضخامت نیز ۳ به ۱ است.

۵- مواد الکتروود: کلاس ۳ کلاس ۱۱



حداقل هدایت الکتریکی ۴۵٪ ۳۰٪ مس

حداقل سختی ۹۵ ۹۸ راکول B

۶- حداقل فاصله بین دو جوش در هر قطعه به طوری که نیازی به جبران جریانهای انحرافی نباشد، برای سه قطعه این فاصله ۳۰ درصد بیشتر می شود.

جدول (۴-۱۸) شرایط جوشکاری مقاومتی نواری فولادهای زنگ نزن را

بر طبق AWS C1.1 نشان می دهد.

THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2,3 AND 4 BELOW)	ELECTRODE WIDTH AND SHAPE (SEE PAR. 102 AND NOTE 5 BELOW) 	NET ELECTRODE FORCE (SEE PAR. 103) LB.	ON TIME (SEE PAR. 104) CYCLES (60 PER SEC.)	OFF TIME FOR MAXIMUM SPEED (PRESSURE - TIGHT) (SEE PAR. 104) CYCLES		MAXIMUM WELD SPEED (SEE PAR. 104) IN. PER MINUTE		WELDS PER INCH (SEE PAR. 104)		WELDING CURRENT (APPROX.) (SEE PAR. 105) AMPS.	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (SEE PAR. 106 AND NOTE 6 BELOW) 	THICKNESS "T" OF THINNEST OUTSIDE PIECE (SEE PAR. 101 AND NOTES 1, 2,3 AND 4 BELOW)
				2 "T"	4 "T"	2 "T"	4 "T"	2 "T"	4 "T"			
				W, IN., MIN.								
0.006	3/16	300	2	1	1	60	67	20	18	4000	1/4	0.006
0.008	3/16	350	2	1	2	67	56	18	16	4600	1/4	0.008
0.010	3/16	400	3	2	2	45	51	16	14	5000	1/4	0.010
0.012	1/4	450	3	2	2	48	55	15	13	5600	5/16	0.012
0.014	1/4	500	3	2	3	51	46	14	13	6200	5/16	0.014
0.016	1/4	600	3	2	3	51	50	14	12	6700	5/16	0.016
0.018	1/4	650	3	2	3	55	50	13	12	7300	5/16	0.018
0.021	1/4	700	3	2	3	55	55	13	11	7900	3/8	0.021
0.025	3/8	850	3	3	4	50	47	12	11	9200	7/16	0.025
0.031	3/8	1000	3	3	4	50	47	12	11	10600	7/16	0.031
0.040	3/8	1300	3	4	5	47	45	11	10	13000	1/2	0.040
0.050	1/2	1600	4	4	5	45	44	10	9	14200	5/8	0.050
0.062	1/2	1850	4	5	7	40	41	10	8	15100	5/8	0.062
0.070	5/8	2150	4	5	7	44	41	9	8	15900	11/16	0.070
0.078	5/8	2300	4	6	7	40	41	9	8	16500	11/16	0.078
0.094	5/8	2550	5	6	7	36	38	9	8	16600	3/4	0.094
0.109	3/4	2950	5	7	9	38	37	8	7	16800	13/16	0.109
0.125	3/4	3300	6	6	8	38	37	8	7	17000	7/8	0.125

جدول ۴-۱۸: شرایط جوشکاری مقاومتی نواری فولادهای زنگ نزن

در جدول فوق؛ ۱- انواع فولادهای ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۴، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۶،

۳۱۷، ۳۲۱، ۳۴۷ و ۳۴۹.

۲- سطح قطعات بایستی عاری از هرگونه پوسته، اکسید، رنگ و چربی و روغن باشد.

۳- ضخامت نازکترین قطعه بیرونی شرایط جوشکاری را تعیین می کند.

۴- مجموع ضخامت کل ورق ها نباید از ۴T فراتر برود. ماکزیم نسبت بین دو ضخامت نیز ۳ به ۱ است.

۵- مواد الکتروود: کلاس ۳

حداقل هدایت الکتریکی ۴۵٪ مس

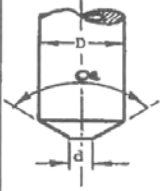


حداقل سختی ۹۵ راکول B

۶- برای قطعات بزرگ، حداقل فاصله سوار شدن رویهم بایستی ۳۰ درصد بیشتر می شود.

۴-۲-۴- جوشکاری فولادی پوشش دار

جدول (۸-۱۹) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کم کربن

گالوانیزه را نمایش می دهد. (طبق AWS C1.3)

MATERIAL THICKNESS (see par.101 & 201 and notes 1, 2, & 3 below)	ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (see par.102 & 202 and note 4 below)			NET ELECTRODE FORCE (see par. 103)	WELDING CURRENT (APPROX.) (see par. 105)	WELD TIME (see par. 104)	WELD NUGGET SIZE (see par. 108)	MINIMUM TENSION-SHEAR STRENGTH (see par. 109)	MINIMUM WELD SPACING (see par. 107)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (see par. 106)
										
INCHES	D IN.	d IN.	α DEG.	LB.	AMPS.	CYCLES	IN.	LB.	INCHES	INCHES
0.022	5/8	3/16	120	300	13000	8	0.15	550	5/8	5/8
0.030	5/8	3/16	120	400	13000	10	0.16	1000	5/8	5/8
0.036	5/8	1/4	120	500	13500	12	0.19	1180	3/4	5/8
0.039	5/8	1/4	120	650	14000	13	0.21	1400	3/4	5/8
0.052	5/8	1/4	120	725	14500	18	0.22	1700	7/8	11/16
0.063	3/4	1/4	120	850	15500	22	0.24	2500	1-1/8	3/4
0.078	3/4	5/16	120	1200	19000	24	0.28	3200	1-1/4	7/8
0.093	3/4	3/8	120	1400	21000	30	0.34	4200	1-1/2	1
0.108	7/8	3/8	120	1750	20000	37	0.40	5900	1-3/4	1-1/8
0.123	7/8	3/8	120	2000	20000	42	0.48	7200	2	1-1/8

جدول (۸-۱۹) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کم کربن گالوانیزه

در جدول فوق؛ ۱- سطح مواد باید عاری از هرگونه آلودگی بوده امکان

وجود روغن سبک اشکالی ندارد.

۲- برای ضخامت های مساوی در فلز

۳- وزن پوشش تجاری ۱/۲۵ انس بر فوت مربع است.

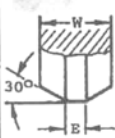
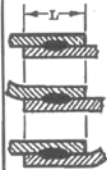
۴- مواد الکتروود طبق RWMA: گروه A کلاس ۲

۵- خنک کردن با آب: ۲ گالن بر دقیقه

ذکر این نکته ضروری است که شرایط جوشکاری فولادهای گالوانیزه

شده (چه بصورت آبکاری چه غوطه وری) تقریباً مشابه هم است. ولی برای

پوشش گالوانیزه سنگین یا غوطه وری داغ پیوسته این شرایط باید مقداری اصلاح گردد.

MATERIAL THICKNESS (see par.101, 201, 203 & notes 1, 2 & 3 below)	ELECTRODE WIDTH AND SHAPE (see par.102 & 202 and note 4 below) 		NET ELECTRODE FORCE (see par. 103)	WELDING CURRENT (APPROX.) (see par. 105)	WELD TIME (see par. 104)		WELDING SPEED (see par. 104)	WELDS PER INCH (see par. 104)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (see par. 106) 
	W	E			HEAT TIME	COOL TIME			
INCHES	IN.	IN.	LB.	AMPS.	CYCLES	CYCLES	IN./MIN.	W/IN.	INCHES
0.015	3/8	1/4	900	15000	2	2	120	7,5	3/8
0.036	1/2	1/4	1100	18000	4	2	60	10,0	1/2
0.039	1/2	1/4	1200	19000	4	3	60	9,0	1/2
0.052	1/2	1/4	1350	20000	5	1	90	7,0	9/16
0.063	1/2	5/16	1500	19800	8	2	54	7,0	5/8
0.078	5/8	5/16	1850	23000	10	7	30	7,0	11/16

جدول (۸-۲۰) شرایط جوشکاری مقاومتی نواری فولادهای کم کربن گالوانیزه

در جدول فوق؛ ۱- سطح مواد باید عاری از هر گونه آلودگی مانند گرد و

غبار، چربی، گریس، رنگ و غیره باشد. اما وجود روغن سبک مشکلی ندارد.

۲- برای ضخامت های مساوی دو فلز

۳- وزن پوشش تجاری ۱/۲۵ انس بر فوت مربع است.

۴- مواد الکتروود طبق RWMA : گروه A کلاس ۲

۵- برای ایجاد اتصالی مقاوم در برابر نشت - فشار نیاز است که پوشش قبل از جوشکاری حذف شود.

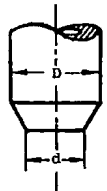

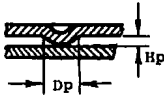
۶- محدود قطر اسمی الکتروود بین ۸ تا ۱۰ اینچ می باشد.

توجه: پارامتر جوش بر اینچ که با سرعت و زمان جوشکاری رابطه دارد از فرمول

$$\frac{3600}{\text{تعداد سیکل حرارت} + \text{تعداد سیکل خنک شدن}} \times \text{بدست می آید.}$$

جدول (۸-۲۱) شرایط جوشکاری مقاومتی زائد ای فولادهای کم کربن

گالوانیزه را نشان می دهد. (طبق AWS C1.3)

MATERIAL THICKNESS (see par.101 & 201 and notes 1, 2 & 3 below)	ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (see par.102 & 202 and note 4 below)	NET ELECTRODE FORCE (see par. 103)	WELDING CURRENT (APPROX.) (see par. 105)	WELD TIME (see par. 104)	WELD NUGGET SIZE (see par. 108)	MINIMUM TENSION-SHEAR STRENGTH (FOR SINGLE PROJECTIONS ONLY) (see par. 109)	PROJECTION SIZE (see note 5 below)
							
INCHES	D IN. d IN.	LB.	AMPS.	CYCLES	IN.	LB.	DIAMETER IN. HEIGHT IN.
0.039	5/8 3/8	250	10000	15	0.15	925	0.187 0.041
0.063	5/8 7/16	400	11500	20	0.25	2050	0.218 0.048
0.078	3/4 1/2	550	16000	25	0.25	2700	0.250 0.054
0.093	3/4 1/2	750	16000	30	0.30	4300	0.250 0.054
0.108	7/8 1/2	950	22000	33	0.31	4900	0.250 0.054

جدول (۸-۲۱) شرایط جوشکاری مقاومتی زائد ای فولادهای کم کربن گالوانیزه

در جدول فوق؛ ۱- سطح مواد باید عاری از هر گونه آلودگی مانند گرد و

غبار و گیریس باشد ولی وجود روغن سبک قبل از جوشکاری بر روی سطح

اشکالی ندارد.

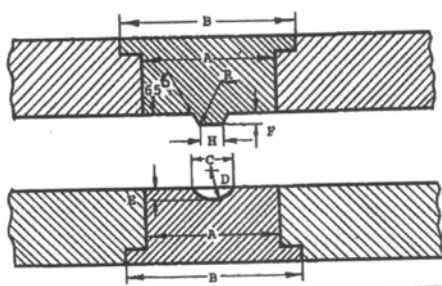
۲- برای ضخامت های مساوی دو فلز

۳- وزن پوشش تجاری ۱/۲۵ انس بر فوت مربع است.

۴- مواد الکتروود طبق RWMA گروه A کلاس ۲.

۵- ابعاد زائده (Die) و سوراخ (punch) در جدول (۸-۲۲) ارائه شده است.

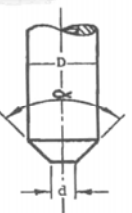

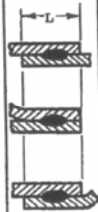
در جدول (۸-۲۲) اطلاعات لازم برای طراحی قالب (Die) و سوراخ برای جوشکاری زائده ای فولادهای گالوانیزه ارائه شده است. (طبق استاندارد AWS C1.3)



METAL THICKNESS INCHES	PUNCH AND DIE PARAMETER							
	A	B	C	D	E	F	H	R
			IN.	IN.	IN.	IN.	IN.	IN.
0.039	1/4	1/4	0.187	0.128	0.041	0.055	0.104	0.010
0.063	3/8	3/8	0.218	0.148	0.048	0.065	0.115	0.010
0.078	1/2	1/2	0.250	0.172	0.054	0.075	0.137	0.015
0.093	5/8	5/8	0.250	0.172	0.054	0.075	0.137	0.015
0.108	3/4	3/4	0.250	0.172	0.054	0.075	0.137	0.015

جدول ۸-۲۲: اطلاعات طراحی قالب (Die) و سوراخ برای جوشکاری زائده ای فولادهای گالوانیزه

در جدول (۸-۲۳) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کم کربن آلومینایز شده نشان داده شده است.

MATERIAL THICKNESS (see par.101 & 301 and notes 1 & 2 below)	ELECTRODE DIAMETER AND SHAPE (see par.102 & 302 and note 3 below)			NET ELECTRODE FORCE (see par. 103)	WELDING CURRENT (APPROX.) (see par. 105)	WELD TIME (see par. 104)	WELD NUGGET SIZE (see par. 108)	MINIMUM TENSION-SHEAR STRENGTH (see par. 109)	MINIMUM WELD SPACING (see par. 107)	MINIMUM CONTACTING OVERLAP (see par. 106)
										
INCHES	D IN.	d IN.	α DEG.	LB.	AMPS.	CYCLES	IN.	LB.	INCHES	INCHES
0.018	5/8	5/32	90	300	8600	8	0.15	500	5/8	5/8
0.021	5/8	5/32	90	350	8800	9	0.16	570	5/8	5/8
0.027	5/8	3/16	90	400	9000	10	0.17	840	5/8	5/8
0.033	5/8	3/16	90	500	9200	11	0.18	1080	5/8	5/8
0.039	5/8	1/4	90	600	11400	14	0.21	1500	3/4	5/8
0.052	5/8	1/4	90	800	11800	18	0.23	2000	7/8	11/16
0.063	3/4	1/4	90	1100	12000	24	0.24	2200	1	3/4
0.078	3/4	5/16	90	1400	16000	30	0.33	4300	1-5/16	7/8
0.093	3/4	3/8	90	1800	19000	36	0.40	4500	1-1/2	1

جدول (۸-۲۳) شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای فولادهای کم کربن آلومینایز شده

در جدول فوق؛ ۱- سطح مواد باید عاری از هرگونه آلودگی مانند گرد و غبار ، گیریس ، رنگ و غیره باشد. اما وجود روغن سبک (قبل از جوشکاری) بر روی سطح اشکالی ندارد.

۲- برای ضخامت های مساوی دو فلز

۳- مواد الکتروود طبق RWMA ، گروه A ، کلاس ۲

۴- خنک کردن با آب، ۲ گالن بر دقیقه.

۴-۲-۵- جوشکاری آلومینیم و آلیاژهای آن

برنامه جوشکاری نقطه ای برخی آلیاژهای آلومینیم با سه نوع دستگاه

مختلف در جداول (۴-۲۴) تا (۴-۲۶) ارائه شده است. (بر طبق AWS Handbook،

فصل ۸، جلد ۴)

Suggested schedules for spot welding of aluminum alloys with single-phase ac machines				
Thickness,*	Electrode face radius, in., top-bottom	Net electrode force, lbs.	Approximate welding current, kA	Welding time, cycles (60 Hz)
.032	2-2 or 2-Flat	800	27	4
.040	3-3 or 3-Flat	880	28	5
.050	3-3 or 3-Flat	1000	29.5	6
.062	3-3 or 3-Flat	1150	33.2	8
.070	4-4	1200	35.5	10
.081	4-4	1430	38.5	10
.090	6-6	1600	41.0	12
.100	6-6	1800	44.0	15
.110	6-6	2000	48.0	15
.125	6-6	2400	53.0	15

جدول ۴-۲۴: برنامه جوشکاری مقاومتی نقطه ای آلیاژهای آلومینیم با دستگاه AC تکفاز

در جدول فوق؛ a: ضخامت یکی از دو ورق

Suggested schedules for spot welding of aluminum alloys with three-phase frequency converter machines							
Sheet thickness,* in.	Electrode face radius, in.	Electrode force, lbs		Current,* kA		Time, cycles (60Hz)	
		Weld	Forge	Weld	Post-heat	Weld	Post-heat
0.020	3	500	—	26	0	1/2	0
0.025	3	500	1500	34	8.5	1	3
0.032	4	700	1800	36	9.0	1	4
0.040	4	800	2000	42	12.6	1	4
0.050	4	900	2300	46	13.8	1	5
0.063	6	1300	3000	54	18.9	2	5
0.071	6	1600	3600	61	21.4	2	6
0.080	6	2000	4300	65	22.8	3	6
0.090	6	2400	5300	75	30.0	3	8
0.100	8	2800	6800	85	34.0	3	8
0.125	8	4000	9000	100	45.0	4	10

جدول ۴-۲۵: شرایط جوشکاری نقطه ای آلیاژهای آلومینیم با دستگاه های سه فاز مبدل فرکانس

در جدول فوق؛ a: ضخامت یکی از دو ورق

b: برای آلیاژهای 7075-T6 ، 2024-T3,4 ، 2014-T3,4,6 مناسب

است. البته برای آلیاژهای نرم تر مانند 5052 ، 6009 و 6010 از جریانهای پایین

تر می توان استفاده کرد.

Sheet thickness, in.	Electrode face radius, in.	Electrode force, lbs		Current, *kA		Time, cycles (60Hz)	
		Weld	Forge	Weld	Post- heat	Weld	Post- heat
0.016	3	440	1000	19	0	1	0
0.020	3	520	1150	22	0	1	0
0.032	3	670	1540	28	0	2	0
0.040	3	730	1800	32	0	3	0
0.050	8	900	2250	37	30	4	4
0.063	8	1100	2900	43	36	5	5
0.071	8	1190	3240	48	38	6	7
0.080	8	1460	3800	52	42	7	9
0.090	8	1700	4300	56	45	8	11
0.100	8	1900	5000	61	49	9	14
0.125	8	2500	6500	69	54	10	22

جدول ۴-۲۶: شرایط جوشکاری مقاومتی نقطه ای آلیاژهای آلومینیم با دستگاه های یکسو کننده سه فاز

در جدول فوق؛ a: برای ضخامت یکی از دو ورق

b: برای آلیاژهای 7075-T6 ، 2024-T3,4 ، 2014-T3,4,6 مناسب است.

البته برای آلیاژهای نرم تر مانند 5052 ، 6009 و 6010 از جریانهای پایین تر می

توان استفاده کرد.

در جدول (۴-۲۷) شرایط جوشکاری مقاومتی نواری ورق آلومینی 5052-

H34 با دستگاه جوشکاری نواری AC تکفاز ارائه شده است (بر طبق AWS

Handbook، جلد ۴ ، فصل ۸).

Sheet thick- ness, ¹ in.	Welds per in.	On + off time, ¹ cycles (60 Hz)	Travel speed, ¹ ft/min	On time, cycles, (60 Hz)		Elect- rode force, lbs	Welding current, kA	Approx. weld width, ¹ in.
				Min	Max			
0.010	25	3½	3.4	½	1	420	19.5	0.08
0.016	21	3½	4.1	½	1	500	22.0	0.09
0.020	20	4½	3.3	½	1½	540	24.0	0.10
0.025	18	5½	3.0	1	1½	600	26.0	0.11
0.032	16	5½	3.4	1	1½	690	29.0	0.13
0.040	14	7½	2.9	1½	2½	760	32.0	0.14
0.050	12	9½	2.6	1½	3	860	36.0	0.16
0.063	10	11½	2.6	2	3½	960	38.5	0.19
0.080	9	15½	2.1	3	5	1090	41.0	0.22
0.100	8	20½	1.8	4	6½	1230	43.0	0.26
0.125	7	28½	1.5	5½	9½	1350	45.0	0.32

جدول ۴-۲۷: شرایط جوشکاری مقاومتی نواری (با مقاومت در برابر نشت گاز) برای آلومینیم

5052-H34 با دستگاه جوشکاری نواری AC تکفاز

در جدول فوق؛ a: ضخامت ورق نازکتر

b: اگر تایمر مجهز به شروع سنکرونی^۱ نیست از سیکل کامل و بالاتر

بعدی استفاده شود.

c: باید طوری تنظیم شود که تعداد نقطه جوش بر اینچ مناسبی حاصل

شود.

d: نیرو یا جریان جوشکاری و یا هر دو باید برای ایجاد عرض مطلوب

در جوش تنظیم شوند. از نیروهای کمتر برای آلیاژهای نرم تر استفاده شود. برای

آلیاژهای سخت تر از نیروهای بالاتر استفاده شود.

¹ - Synchronous initiation

فصل پنجم

کیفیت و آزمایشهای جوشکاری مقاومتی

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۵-۱- کنترل کیفی جوش مقاومتی	۲
۵-۲- آزمایشهای جوش مقاومتی	۱۰
۵-۲-۱- تایید دستگاه جوشکاری مقاومتی	۱۴
۵-۲-۲- تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای و زائده ای	۱۵
۵-۲-۳- تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نواری	۱۵
۵-۲-۴- متغیرهای اثر گذار بر تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی	۱۶
۵-۲-۵- تایید اپراتور جوشکاری مقاومتی	۱۹
۵-۳- کنترل کیفی الکترودها	۱۹
۵-۴- خطرات جوشکاری مقاومتی	۲۲

۵-۱- کنترل کیفی جوش مقاومتی

کیفیت جوش عمدتاً بستگی به کاربرد جوش دارد. مثلاً اگر جوش ایجاد شده در صنایع هوافضا و هواپیمایی کاربرد داشته باشد باید در کنترل آب یکسری استانداردهای سختگیرتری اعمال گردد. در سایر کاربردها، مانند صنایع خودروسازی، سخت گیری کمتری وجود دارد. معمولاً کیفیت جوش نقطه ای، نواری و زائده ای از طریق پارامترهای زیر تعیین می شود:

(۱) ظاهر جوش (۲) نفوذ^۱ (۳) استحکام و انعطاف پذیری^۲ (۴) اندازه جوش (۵) ناپیوستگی داخلی^۳ (۶) جدایش ورق ها و پاشش^۴

متأسفانه در مورد دو فاکتوری که به شدت بر استحکام جوش تاثیر می گذارند - یعنی اندازه دکه جوش و نفوذ - امکان ارزیابی از طریق بازرسی غیرمخرب وجود ندارد. علاوه بر این معمولاً هر کدام از آزمایشهای مخرب متالوگرافی و تست برشی کشش^۵ نمونه های جوش محدودیتهایی دارند. بنابراین طراح باید به این نکات در حین طراحی جوشکاری مقاومتی نقطه ای نواری و زائده ای توجه کند.

البته موفقیت‌هایی در مونیتور کردن و کنترل مناسب فرآیند جوشکاری حاصل شده است. مثلاً دستگاه هایی وجود دارند که انبساط حرارتی دکه جوش در حال پیشرفت و منطقه فلز پایه اطراف آنرا در طول حرارت دیدن و ذوب شدن اندازه می گیرند و با توجه به آن در مورد تولید جوش های مقاومتی قابل قبول اطمینان حاصل می شود. چنین موفقیت‌هایی می تواند ضعف ناشی از عدم وجود روش های بازرسی غیرمخرب اندازه دکه جوش و نفوذ را جبران نماید.

^۱ - Penetration

^۲ - Ductility and Strength

^۳ - Internal Discontinuity

^۴ - Separation and Expulsion

^۵ - Tensile shear test

ظاهر جوش: ظاهر جوش نقطه ای، نواری و زائده ای بایستی نسبتاً صاف باشد. البته اثر دایره ای یا بیضوی در سطح قطعه ظاهر می شود ولی سطح نباید ذوب شود یا بر روی آن اثری از رسوب الکتروود، حفره ترک و یا فرورفتگی اضافی الکتروود و یا هر شرایطی دیگری که عمل نامناسب الکتروود را نشان می دهد ظاهر گردد. جدول (۵-۱) برخی شرایط سطحی نامناسب، دلایل آنها و اثرات آن بر کیفیت جوش را نشان می دهد.

اندازه جوش قطر یا عرض منطقه ذوب شده بایستی مطابق با معیارهای طراحی باشد. جدول (۵-۲) قطر مورد نیاز منطقه ذوب شده را برای ضخامتهای گوناگون قطعه کار نمایش می دهد. در صورت عدم وجود چنین جداولی قوانین کلی زیر بایستی مدنظر باشد:

- (۱) آن دسته از جوش های مقاومتی نقطه ای قابل اطمینان هستند که حداقل قطر دکه آنها ۳/۵ تا ۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه بیرونی باشد.
- (۲) دکه های جوش در جوشهای نواری غیرقابل نشت بایستی حداقل ۲۵ درصد بر رویهم سوار شده باشند.

جدول ۵-۱: شرایط سطحی نامناسب در جوشکاری نقطه ای

نوع	علل	اثر
۱- اثر گودی الکتروودها	سطح الکتروودها بصورت نامناسبی تراشیده (dress) شود یا عدم کنترل نیروی الکتروود، مقدار گرمای تولید شده زیاد به دلیل مقاومت تماسی بالا (نیروی الکتروود کم)	کاهش استحکام جوش به دلیل کم شدن ضخامت در منطقه جوش، ظاهر نامناسب
۲- ذوب سطح (معمولاً همراه با اثر گودی الکتروودهاست)	آلودگی یا پوسته های سطحی فلز، نیروی کم الکتروود، تنظیم نامناسب قطعه کار، جریان بالای جوشکاری، تراشیدن نامناسب الکتروودها، تنظیم	جوش های کوچک به دلیل پاشش زیاد مذاب، حفره های بزرگ در منطقه ذوب که تا سطح ادامه دارند، افزایش هزینه ها به دلیل

عیوب به وجود آمده، کاهش عمر الکترودها و افزایش زمان تولید به دلیل وقفه های زمانی ایجاد شده برای تراشیدن الکترودها	نامناسب ترتیب (sequence) زمان، فشار و جریان	
کاهش استحکام جوش به دلیل تغییر در منطقه تماس فصل مشترک و پاشش مذاب فلز	تنظیم نامناسب قطعه کار، سایش یا تراشیدن نامناسب الکترودها، تابیدگی الکترودها روی شعاع فلنج ها، لغزش، تمیز کاری نامناسب سطح الکترودها	۳- شکل نامنظم جوش
ظاهر نامناسب، کاهش مقاومت به خوردگی، اگر جوش پاشش داشته باشد استحکام کاهش می یابد، کاهش عمر الکترودها	آلودگی یا پوسته های سطحی مواد، نیروی کم الکتروود یا جریان زیاد جوشکاری، نگهداشتن نامناسب الکتروود بر روی سطح کار، مواد نامناسب الکتروود، تنظیم نامناسب ترتیب زمانی فشار و جریان	۴- رسوب الکتروود روی کار (معمولاً همراه با ذوب سطحی است)
اگر جوش در کشش باشد یا اگر ترک یا عیب تا منطقه جوش ادامه یابد باعث کاهش استحکام خستگی می شود، افزایش خوردگی به دلیل تجمع مواد خورنده در ترک یا حفره	برداشتن سریع نیروی الکتروود قبل از اینکه جوش از حالت مذاب سرد شود، گرمای اضافه تولید شده به دلیل پاشش زیاد فلز مذاب، قرارگیری نامناسب قطعات رویهم که اغلب نیاز به نیروی الکتروود برای درست قرار گرفتن سطوح تماس است.	۵- ترکها، حفره های عمیق یا سوراخ ها

Nominal Thickness of Thinner Sheet		Nugget Size		Nominal Thickness of Thinner Sheet		Nugget Size	
in.	(mm)	in.	(mm)	in.	(mm)	in.	(mm)
0.001	(0.03)	0.010	(0.25)	0.036	(0.90)	0.160	(3.81)
0.002	(0.05)	0.015	(0.38)	0.040	(1.00)	0.160	(4.06)
0.003	(0.08)	0.020	(0.50)	0.045	(1.10)	0.170	(4.32)
0.004	(0.10)	0.030	(0.76)	0.050	(1.20)	0.180	(4.57)
0.005	(0.12)	0.035	(0.89)	0.056	(1.40)	0.190	(4.82)
0.006	(0.16)	0.040	(1.02)	0.063	(1.60)	0.200	(5.08)
0.007	(0.18)	0.045	(1.14)	0.071	(1.80)	0.210	(5.33)
0.008	(0.20)	0.050	(1.27)	0.080	(2.00)	0.225	(5.72)
0.010	(0.25)	0.060	(1.52)	0.090	(2.30)	0.240	(6.10)
0.012	(0.30)	0.070	(1.78)	0.100	(2.50)	0.250	(6.35)
0.016	(0.40)	0.085	(2.16)	0.112	(2.80)	0.260	(6.60)
0.018	(0.45)	0.090	(2.29)	0.125	(3.20)	0.280	(7.11)
0.020	(0.50)	0.100	(2.54)	0.140	(3.60)	0.300	(7.62)
0.022	(0.56)	0.105	(2.68)	0.160	(4.10)	0.320	(8.13)
0.025	(0.65)	0.120	(3.05)	0.180	(4.60)	0.340	(8.64)
0.028	(0.70)	0.130	(3.30)	0.190	(4.80)	0.350	(8.89)
0.032	(0.80)	0.140	(3.56)				

جدول ۵-۲: حداقل اندازه (قطر) دکمه جوش معمول برای ورق های گوناگون

(۳) در جوشکاری زائده ای قطر دکمه بایستی مساوی یا بزرگتر از قطر زائده اولیه باشد.

البته در مورد حداکثر اندازه قطر جوش نقطه ای، نواری و زائده ای نیز حدی وجود دارد. از آنجایی که این حد معمولاً تحت تاثیر عواملی مانند شکل قطعه، قیمت و عملی بودن ساختن جوش است، هر سازنده ای بایستی این حد را با توجه به نیازهای طراحی محاسبه نماید.

نفوذ: نفوذ عمق گسترش یافته دکمه جوش در قطعاتی است که باید جوش داده شوند. عموماً حداقل نفوذ ۲۰ درصد ضخامت قطعه نازکتر بیرونی می باشد. اگر نفوذ کمتر از ۲۰ درصد باشد گفته می شود که جوش سرد است زیرا گرمای تولید شده در منطقه جوش یا فصل مشترک اتصال خیلی کوچک می باشد. معمولاً ماکزیمم حد پذیرش نفوذ ۸۰٪ ضخامت قطعه نازکتر بیرونی است. نفوذ اضافی مثلاً ۱۰۰ درصد، پاشش، اثر گودی و از بین رفتن سریع الکترودها را به دنبال دارد.

استحکام و انعطاف پذیری: اتصالات جوشکاری نقطه ای، نواری و زائده ای معمولاً طوری طراحی می شوند که اگر قطعات در معرض نیروی کشش یا

فشاری قرار گیرند، به جوشهای نیروی برشی اعمال شود. در برخی موارد که نیرو به صفحه اتصال عمود می باشد، به جوش ها نیروی کششی یا ترکیبی از کششی و برشی اعمال می شود جوشهای نواری ممکن است تحت نیروهای پوسته ای^۱ قرار بگیرند.

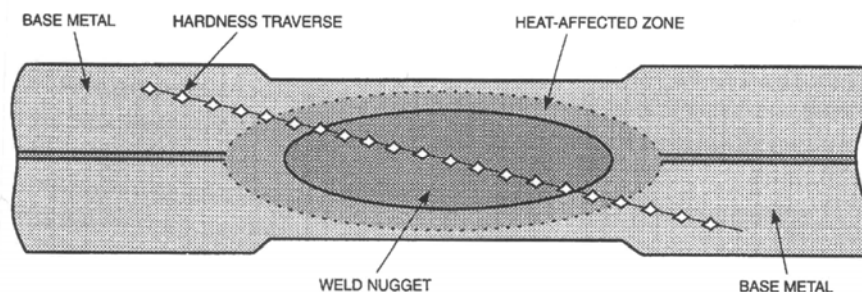
استحکام جوش های نقطه ای و زائده ای معمولاً بر حسب پوند (کیلوگرم) بر جوش اندازه گیری می شود. در جوشهای نواری استحکام بر حسب پوند در اینچ (Kg/in) طول اتصال اندازه گیری می شود. هنگامیکه قطر دکمه جوش افزایش می یابد، استحکام جوش های نقطه ای و زائده ای نیز افزایش می یابد، اگر چه تنش واحد متوسط کاهش می یابد، به عنوان مثال، در جوش مناسب فولادهای کم کربن، متوسط تنش برشی شکست از ۱۰ تا ۶۰ ksi (۶۹ تا ۴۱۴ MPa) تغییر می کند. مقادیر کم برای جوشهای نسبتاً بزرگ است و مقادیر بالا مربوط به جوش های کوچک در هر دو مورد، تنش کشش واقعی در منطقه جوش نزدیک مقدار تنش کششی نهایی فلز پایه است. به همین دلیل، استحکام برشی دایروی بصورت خطی با قطر دکمه تغییر می کند.

جوش های نقطه ای و زائده ای در پیچش و در جایی که محور پیچش عمود بر صفحه قطعات جوش خورده باشد، خیلی قوی نیستند. استحکام پیچشی با مکعب قطر دکمه تغییر می کند. در جوشهای انعطاف پذیر قبل از شکست تغییر فرم پیچشی اندکی اتفاق می افتد. بسته به انعطاف پذیری فلز جوش جابجایی زاویه ای از ۵ تا ۱۸۰ درجه تغییر می کند. روش های استاندارد اندازه گیری انعطاف پذیری مانند اندازه گیری درصد ازدیاد طول یا کاهش سطح مقطع در تست کشش، در مورد جوشهای نقطه ای، نواری و زائده ای کاربرد ندارد. تست سختی متداول ترین روش برای ارزیابی انعطاف پذیری چنین جوش هایی است. باید توجه نمود که اگر

^۱ - Peeling

چه برای یک آلیاژ با افزایش سختی انعطاف پذیری کاهش می یابد، ولی در آلیاژهای مختلف با یک سختی یکسان الزاماً مقدار انعطاف پذیری یکی نخواهد بود.

طبق استاندارد AWS D8.9 آزمایش میکروسختی باید مطابق با آنچه که در شکل (۵-۱) نمایش داده شده است انجام گیرد. روش های میکروسختی ویکرز یا نوپ برای این کار پیشنهاد شده است. دمای انجام آزمایش بایستی $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ باشد و نیروی ثابتی بین ۰/۲ تا ۱ کیلوگرم برای همه نافذها باید اعمال گردد. فاصله بین دو نقطه ای که سختی اندازه گیری می شود نباید کمتر از ۰/۴ mm و یا سه برابر قطر متوسط اثر مجاور باشد. سرعت تقریبی نافذ نباید بیش از $200 \mu\text{m/sec}$ باشد. زمان اعمال نیروی ابتدایی تا نیروی اصلی باید بین ۱۰ تا ۱۵ ثانیه باشد.



شکل ۵-۱: نحوه اندازه گیری سختی سطح مقطع عرضی جوش

روشهای مختلفی برای حداقل کردن سختی ناشی از سریع سرد کردن در جوشکاری مقاومتی وجود دارد. برخی از این روش های عبارتند از:

(۱) استفاده از زمانهای طولانی جوشکاری که حرارت دادن قطعه کار را افزایش می دهد.

(۲) پیش گرم کردن منطقه جوش با جریان پیش گرم

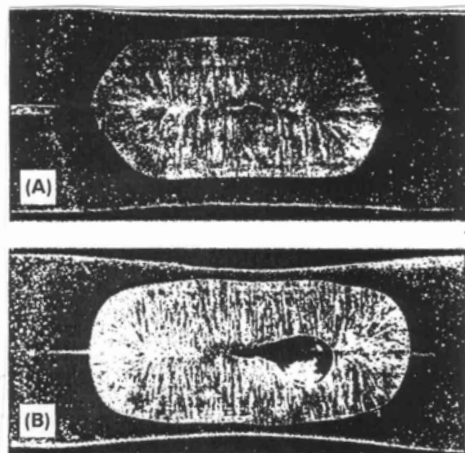
(۳) تمپر کردن جوش و منطقه متأثر از حرارت با جریان تمپر پس از جوشکاری

(۴) آنیل یا تمپر کردن کوره ای مجموعه اتصال ایجاد شده

ناپیوستگی داخلی: ناپیوستگی داخلی جوش مقاومتی شامل ترک ها، حفرات^۱، فلزات متخلخل، کرم خوردگی بزرگ^۲ در جوش و در برخی فلزات پوشش، ناخالصی های فلزی است. معمولاً این ناپیوستگی ها اگر همگی در قسمتهای مرکزی دکه جوش جمع شوند اثر مخربی بر استحکام استاتیکی یا خستگی جوش ندارند. زیرا در این قسمت مقدار تنش ها صفر است. از طرف دیگر، نباید در جاهایی که تنش های اعمالی به شدت متمرکز می شوند، مثلاً مناطق اطراف جوش عیوب ظاهر شوند.

در جوشکاری نقطه ای، نواری و زائده ای ورق های با ضخامت ۱ میلیمتر و بیشتر (همانطور که در شکل (۵-۲-۵) (A)) نشان داده شده است. ممکن است یک تخلخل انقباضی کوچک در مرکز جوش به وجود آید، این تخلخل انقباضی در برخی از جوشها کمتر از برخی دیگر ظاهر می شود زیرا عمل فورج کردن الکترودها روی فلز داغ متفاوت است. حفرات و تخلخل هایی که حاصل پاشش زیاد فلز مذاب باشد، همانطور که در شکل (۵-۲-۵) (B)) نشان داده شده است، نسبت به تخلخل های انقباضی خیلی بزرگتر هستند. معمولاً مقدار مشخصی تخلخل پاششی در تولید جوش های فلزات مختلف انتظار می رود. پاشش زیاد بیانگر شرایط نامناسب جوشکاری است.

^۱ - Porosity
^۲ - Cavity

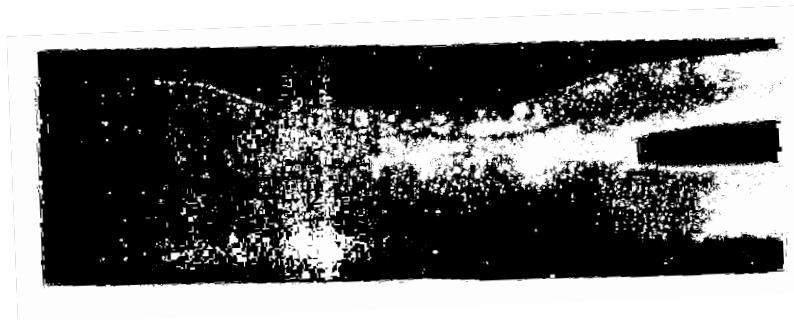


شکل ۵-۲: حفرات انقباضی در جوشهای نقطه ای

معمولاً عیوب داخلی جوشهای نقطه ای، نواری و زائده ای به دلیل نیروی کم الکتروود، جریان بالای جوشکاری، سوار شدن و تطبیق نامناسب قطعات به وجود می آید. همچنین سرعت بالای جوشکاری و یا برداشتن سریع نیروی الکتروود بلافاصله پس از توقف جریان جوشکاری نیز می تواند باعث ایجاد چنین عیوبی گردد. در چنین شرایطی دکمه جوش در جریان سرد شدن فورج نمی شود.

اگر در منطقه متأثر از حرارت (HAZ) عیوبی شبیه به ترک در بزرگنمایی پایین میکروسکوپ مشاهده شود، این عیوب باید در بزرگنمایی های بالاتر مورد مطالعه قرار بگیرند تا مشخص شود که آیا ترک واقعی هستند تا نوعی انجماد خاص مغزه بندی (coring) می باشند.

جدایش ورق: جدایش ورق در فصل مشترک به دلیل انبساط و انقباض فلز جوش و اثر فورج کردن الکتروودها بر روی دکمه داغ اتفاق می افتد. مقدار جدا شدن ورق ها در ضخامتهای گوناگون متفاوت است و با افزایش ضخامت ورق بیشتر می شود. جدایش اضافی ورق ها در شکل (۵-۳) نشان داده شده است.



شکل ۵-۳: جدایش زیاد در ورق ها

۵-۲- آزمایش های جوش مقاومتی

در این قسمت به بررسی آزمایش هایی که برای تایید کیفیت جوش مقاومتی انجام می گیرد می پردازیم. البته مطالب این بخش با توجه به استاندارد ASME^۱ گردآوری شده است. طبیعی است که ممکن است اختلافاتی بین این استاندارد و سایر منابع و استانداردها وجود داشته باشد. در عین حال باید به این نکته توجه نمود که استاندارد ASME یکی از مهمترین و معتبرترین استانداردهای مورد استفاده در صنایع مختلف است. این استاندارد را انجمن مهندسين مکانیک آمریکا تدوین نموده است. یکی از بخش های مهم این استاندارد، مجموعه استانداردها و کدهایی است که برای ساخت مخازن تحت فشار و بویلرها^۲ استفاده می شود. این کد یازده بخش^۳ دارد. بخش نهم این کد در مورد تایید فرایند جوشکاری و لحیم کاری و تایید جوشکار و لحیم کار مخازن و بویلرها می باشد. این کد یکی از سخت گیرترین استانداردها در زمینه جوشکاری می باشد. باید توجه نمود که این کد در ساخت مخازن تحت فشار و بویلرها استفاده می شود ولی

^۱ - American Society of Mechanical Engineering

^۲ - ASME Boiler and Pressure Vessel Code

^۳ - Section

استفاده از آن در موارد دیگر نیز گسترش یافته است. طبق این کد برای هر فرآیند جوشکاری باید یک دستورالعمل تایید شده (WPS)^۱ نوشته شود که تایید این دستورالعمل در صورت تأیید نتایج یکسری آزمایشهای خاص تعیین شده در کد (PQR)^۲ صورت می گیرد. همچنین جوشکار یا اپراتور جوشکاری (و در مورد جوشکاری مقاومتی، دستگاه جوشکاری) نیز باید قابلیت قابل قبولی به منظور ایجاد جوشهایی بدون نقص داشته باشند که بدین منظور کد آزمایشهای خاصی را برای تایید جوشکار و یا اپراتور جوشکار (و در مورد جوشکاری مقاومتی، تایید دستگاه) برای هر فرایند مشخص نموده است.

طبق کد ASME IX آزمایشهایی که برای جوش مقاومتی انجام می شود عبارتند از:

- آزمایش متالوگرافی: جوش باید مقطع زده شود و برای مشخص شدن فلز جوش باید اچ شود. مقطع جوش باید در بزرگنمایی 10x بررسی شود.

در جوش های نقطه ای، دکه جوش ایجاد شده باید در فصل مشترک بین ورقها باشد و باید بزرگتر یا مساوی $0.9\sqrt{t}$ باشد که t ضخامت ورق نازکتر است. در جوشهای زائده ای، اندازه دکه جوش نباید کوچکتر از اندازه زائده ابتدایی باشد. در جوشکاری نواری، عرض منطقه جوش در برش عرضی نباید کمتر از $0.9\sqrt{t}$ باشد که t ضخامت ورق نازکتر است.

- آزمایش های مکانیکی: نمونه های تست کشش بایستی مطابق شکل (۵-۵)

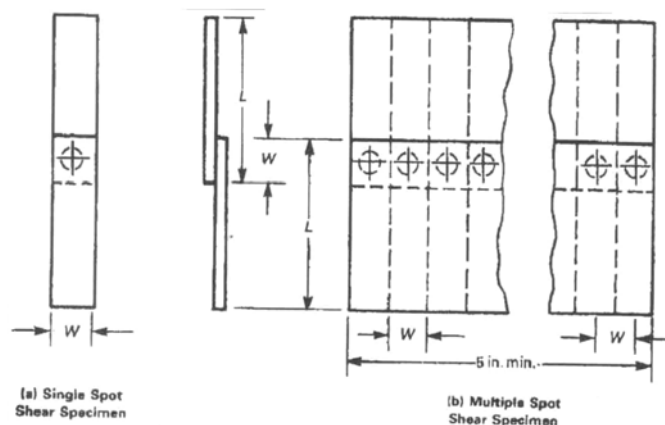
(۴) باشد. برای جوش های نقطه ای و زائده ای استحکام هر جوش باید مساوی یا بزرگتر از استحکام حداقل گفته شده برای مواد باشد. (جدول (۵-۳) و (۴-۵)). علاوه بر این، در هر گروه نمونه های آزمایشی ۹۰ درصد از مقادیر استحکام

^۱ - Welding Procedure Specification

^۲ - Procedure Qualification Re

برشی بایستی بین ۰/۹ و ۱/۱ برابر مقدار متوسط استحکام برشی گروه باشد. ۱۰٪

باقیمانده نیز باید بین ۰/۸ تا ۱/۲ برابر مقدار متوسط استحکام برشی گروه باشد.



GENERAL NOTES:

(a) Nominal Thickness of Thinner Sheet, in.	W in., min.
Over 0.008 to 0.030	0.68
Over 0.030 to 0.100	1.00
Over 0.100 to 0.130	1.25
Over 0.130	1.50

(b) L shall be not less than 4W.

(c) Sketch (b) shall be made of 5 specimens or more.

شکل ۴-۵: نحوه تهیه نمونه های کششی برشی در جوش مقاومتی

نمونه های آزمایش پارگی (Peeling) باید بر اساس شکل (۵-۵) آماده

شوند. نمونه ها بایستی بصورت مکانیکی پاره شوند و شکست بایستی در فلز پایه

و خارج از قسمت جوش اتفاق بیفتد تا قابل قبول باشد.

P-1 Through P-11 and P-4X Metals				
Nominal Thickness of Thinner Sheet, in.	Ultimate Strength 90,000 to 149,000 psi		Ultimate Strength below 90,000 psi	
	lb per spot		lb per spot	
	min	min avg	min	min avg
0.009	130	160	100	125
0.010	160	195	115	140
0.012	200	245	150	185
0.016	295	365	215	260
0.018	340	415	250	305
0.020	390	480	280	345
0.022	450	550	330	405
0.025	530	655	400	495
0.028	635	785	465	575
0.032	775	955	565	695
0.036	920	1,140	690	860
0.040	1,065	1,310	815	1,000
0.045	1,285	1,585	1,005	1,240
0.050	1,505	1,855	1,195	1,475
0.056	1,770	2,185	1,460	1,800
0.063	2,110	2,595	1,760	2,170
0.071	2,535	3,125	2,080	2,560
0.080	3,005	3,705	2,455	3,025
0.090	3,515	4,335	2,885	3,560
0.100	4,000	4,935	3,300	4,070
0.112	4,545	5,610	3,795	4,675
0.125	5,065	6,250	4,300	5,310

جدول ۳-۵: استحکام برشی مورد نیاز در نمونه های جوش نقطه ای و زائده ای برای P-1 تا P-11 و P-4x

توجه به این نکته ضروری است که ASME برای فلزات مختلف بر اساس

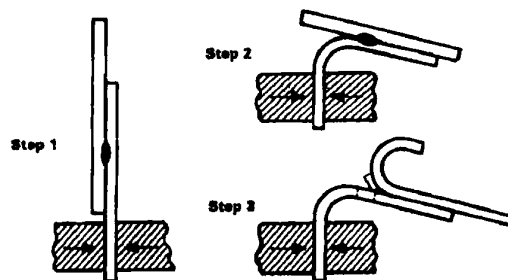
خواص جوشکاری شماره ای تحت عنوان P پیشنهاد داده است که P-1 تا P-11

مربوط به فلزات آهنی است. P-4x مربوط به آلیاژهای پایه نیکل می باشد و P-2x

آلیاژهای پایه آلومینیومی است.

P-2X Aluminum Alloys						
Nominal Thickness of Thinner Sheet, in.	Ultimate Strength 35,000 to 55,999 psi		Ultimate Strength 19,500 to 34,999 psi		Ultimate Strength below 19,500 psi	
	lb per spot		lb per spot		lb per spot	
	min	min avg	min	min avg	min	min avg
0.010	50	65	—	—	—	—
0.012	65	85	30	40	20	25
0.016	100	125	70	90	50	65
0.018	115	145	85	110	65	85
0.020	135	170	100	125	80	100
0.022	155	195	120	150	95	120
0.025	175	200	145	185	110	140
0.028	205	260	175	220	135	170
0.032	235	295	210	265	165	210
0.036	275	345	255	320	195	245
0.040	310	390	300	375	225	285
0.045	370	465	350	440	260	325
0.050	430	540	400	500	295	370
0.050	515	645	475	595	340	425
0.063	610	765	570	715	395	495
0.071	720	900	645	810	450	565
0.080	855	1,070	765	960	525	660
0.090	1,000	1,250	870	1,090	595	745
0.100	1,170	1,465	940	1,175	675	845
0.112	1,340	1,675	1,000	1,255	735	920
0.125	1,625	2,035	1,050	1,315	785	985
0.140	1,920	2,400	—	—	—	—
0.160	2,440	3,050	—	—	—	—
0.180	3,000	3,750	—	—	—	—
0.190	3,240	4,050	—	—	—	—
0.250	6,400	8,000	—	—	—	—

جدول ۴-۵: استحکام برشی مورد نیاز در نمونه های جوش نقطه ای و زائده ای برای آلیاژهای آلومینیم (یا P-2x)



Peel Test

Step 1 - Grip in vise or other suitable device.

Step 2 - Bend specimen.

Step 3 - Peel pieces apart with pincers or other suitable tool.

شکل ۵-۵: آزمایش پارگی Peeling در جوش مقاومتی نقطه ای

۵-۲-۱- تایید^۱ دستگاه جوشکاری مقاومتی

طبق کد ASME IX هر دستگاه جوشکاری مقاومتی به منظور تایید قابلیتش در ایجاد جوشهای مناسب و تولید محصول با کیفیت بایستی آزمایش شود. هر زمانی که دستگاه مجدداً تعمیر اساسی شود یا در منبع توان آن تغییری داده شود و یا هر تغییر اساسی در دستگاه ایجاد شود نیاز به تایید مجدد دستگاه وجود دارد. آزمایش تایید دستگاه جوشکاری مقاومتی نقطه ای و نواری عبارت است از ساخت مجموعه ای ۱۰۰ جوش بصورت متوالی. گروه هایی ۵ تایی از این جوشهای بایستی مورد تست برش - کشش قرار گیرد. ۵ جوش هم که حداقل شامل یکی از ۵ جوش سری اول و یکی از ۵ جوش سری آخر هستند بایستی تست متالوگرافی شوند. در این آزمایش تنظیم دستگاه در جریان آزمایش مجاز نمی باشد. تایید دستگاه بر روی آلیاژهای آلومینیم آن را برای همه مواد تایید می کند. همچنین تایید دستگاه بر روی آلیاژهای پایه آهنی (از P-1 تا P-11) و آلیاژهای پایه نیکل P-4x آن را برای جوشکاری فلزات با P-1 تا P-11 و P-4x تایید می کند.

¹ - Qualification

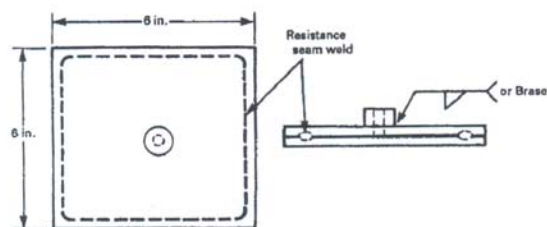
۵-۲-۲- تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای و زائده ای

آزمایش تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای و زائده ای بر اساس یک دستورالعمل روش جوشکاری انجام می شود و این آزمایش شامل ساخت یک گروه ۱۰ تایی نقطه جوش بصورت متوالی است. ۵ عدد از این جوشهای بایستی آزمایش برش - کشش مکانیکی شوند و ۵ تای دیگر را باید متالوگرافی کرد.

۵-۲-۳- تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نواری

برای تایید این فرایند به دو ورق نیاز است. بر روی یکی از این ورق ها سوراخی ایجاد کرده و لوله ای درون آن جا زده می شود و از طریق جوشکاری یا لحیم کاری سخت آن را به ورق متصل می کنند. سپس لبه های دو ورق را از چهار طرف جوشکاری نواری می کنند. بطوریکه بین دو ورق یک جوش غیرقابل نشست بوجود آید (شکل ۵-۶)

در قدم بعد فاصله بین دو ورق با فشار هوا پر می شود و افزایش فشار تار مرحله شکست ادامه می یابد. اگر شکست قطعه از فلز پایه باشد فرآیند تایید خواهد شد. علاوه بر این آزمایش نوار جوشی حداقل به اندازه ۶ اینچ (۱۵۲ میلیمتر) باید بین دو ورق (در همان ضخامتی که قرار است محصول نهایی تولید شود) جوشکاری گردد و جوش به شش نوار تقریباً مساوی تقسیم شود. سپس سطح مقطع هر کدام از نوارها از نظر متالوگرافی باید تایید شوند.



شکل ۵-۶: آزمایشی برای تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نواری طبق استاندارد ASME

۵-۲-۴- متغیرهای اثرگذار بر تایید فرآیند جوشکاری

جدول (۵-۵) متغیرهای فرآیند جوشکاری مقاومتی که در تهیه دستورالعمل فرآیند جوشکاری (WPS) اثرگذار هستند را نشان میدهد. این متغیرها با توجه به استاندارد ASME IX ارائه شده است. اگر تغییر متغیرهای اصلی خارج از محدود مجاز باشد. WPS تایید شده از درجه اعتبار ساقط خواهد شد و بایستی WPS جدیدی تهیه گردد.

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.13 ϕ Spot, projection, seam	X	
	.14 ϕ Overlap, spacing	X	
	.15 ϕ Projection shape, size	X	
QW-403 Base Metals	.1 ϕ P-No.	X	
	.21 \pm Coating, plating	X	
	.22 \pm T	X	
QW-406 Preheat	.6 ϕ Amplitude, cycles	X	
QW-407 PWHT	.5 ϕ PWHT	X	
QW-409 Electrical	.13 ϕ RWMA class	X	
	.14 $\pm \phi$ Slope	X	
	.15 ϕ Pressure, current, time	X	
	.16 Timing	X	
	.17 ϕ Power supply		X
	.18 Tip cleaning		X
QW-410 Technique	.31 ϕ Cleaning method	X	
	.32 ϕ Pressure, time	X	
	.33 ϕ Equipment	X	
	.34 ϕ Cooling medium		X
	.35 ϕ Throat		X

Legend:
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
- Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

جدول ۵-۵: متغیرهای دستورالعمل فرآیند جوشکاری مقاومتی طبق کد ASME IX

در جدول فوق باید توجه نمود که تغییرات زیر احتیاج به تایید مجدد

فرآیند جوشکاری (WPS مجدد) دارد:

QW-402-13: تغییر در نوع جوشکاری از نقطه ای به نواری یا زائده ای و بالعکس.

QW-402-14: کاهش در فاصله بین مرکز تا مرکز جوش ها وقتی که حالت سوار شدن ورق ها روی هم وجود داشته باشد. افزایش یا کاهش بیش از ۱۰٪ در فاصله جوش ها هنگامیکه به اندازه دو برابر قطرشان با هم فاصله دارند.

QW-402-15: تغییر در شکل و اندازه زائده در جوشکاری زائده ای.

QW-403-1: تغییر در عدد P فلز پایه

QW-403-21: افزودن یا حذف پوشش، رنگ یا clad یا تغییر در ترکیب شیمیایی یا محدوده ضخامت رنگ یا clad و یا تغییر در نوع پوشش بطوریکه در wps تایید شده اولیه نباشد.

QW-403-22: تغییر بیش از ۵ درصد در ضخامت فلز پایه ورق های بیرونی یا تغییر بیش از ۱۰ درصد در ضخامت کل ورق ها.

QW-406-6: تغییر بیش از ۱۰ درصد در مقدار یا تعداد تایید شده سیکل های پیش گرم کردن.

QW-407-5: در صورت بوجود آمدن هر کدام از شرایط زیر یک PQR جداگانه نیاز است: (a) حذف پس گرم کردن (b) تغییر بیش از ۱۰ درصد تعداد سیکل پس گرم کردن (c) اگر عملیات حرارتی بصورت جداگانه ای از جوشکاری انجام می شود، پس گرم کردن در دما و زمان خاص.

QW-409-13: تغییر در شکل یا ابعاد الکتروود جوشکاری مقاومتی یا تغییر در کلاس الکتروود (طبق طبقه بندی RWMA)

QW-409-14: افزودن یا حذف شیب ابتدایی و انتهایی جریان و یا تغییر بیش از ۱۰ درصد در مقدار یا زمان جریان شیب.

QW-409-15: تغییر بیش از ۵ درصد در مقادیر فشار الکترو، جریان جوشکاری یا سیکل زمان جوش که تایید شده باشند. در حالتی که دو متغیر از سه متغیر فوق ثابت باشد می توان متغیر سوم را تا ۱۰٪ تغییر داد بدون اینکه احتیاجی به تایید مجدد فرآیند وجود داشته باشد. تغییر از ac به dc و برعکس و افزودن یا حذف جریان پالسی در منبع توان dc نیاز به تایید مجدد فرآیند دارند. هنگام استفاده از جریان dc پالسی، تغییر بیش از ۵ درصد در مقدار، عرض و تعداد پالس ها که تایید شده می باشند مجاز نمی باشند. مگر اینکه تایید مجدد صورت پذیرد.

QW-406-16: تغییر در زمان سنکرونی به غیرسنکرونی احتیاج به تایید مجدد فرآیند دارد.

QW-409-17: تغییر در ولتاژ یا فرکانس منبع توان اولیه یا نسبت دوره های ترانسفورماتور تنظیم tap، موقعیت choke، ولتاژ مدار باز ثانویه یا تنظیم کنترل فازی نیاز به تایید مجدد فرآیند دارد.

QW-409-18: تغییر در فرآیند یا مدت زمان تمیز کاری نوک الکترو.

QW-410-31: تغییر در روش آماده سازی فلز پایه قبل از جوشکاری (مثلاً تغییر از تمیزکاری مکانیکی به شیمیایی یا سایشی و برعکس) احتیاج به تایید مجدد فرآیند دارد.

QW-410-32: تغییر بیش از ۱۰ درصد فشار نگهداشتن پیش و پس از جوشکاری، تغییر بیش از ۱۰٪ زمان نگهداری الکترو.

QW-410-33: تغییر از یک نوع جوشکاری به نوع دیگر یا اصلاح تجهیزات مثلاً نوع توان انرژی یا روش اعمال فشار.

QW-410-34: افزودن یا حذف وسیله خنک کاری الکترو و جایی که از آن استفاده می شود.

QW-410-35: تغییر در فاصله بین بازوهای الکترو.

۵-۲-۵- تایید اپراتور جوشکاری مقاومتی

طبق استاندارد ASME IX هر اپراتور جوشکاری مقاومتی نیز باید برای استفاده از هر کدام از دستگاه های جوشکاری که قرار است با آن کار کند تایید شود. تایید اپراتور بر روی فلز با شماره P-2 (آلیاژهای آلومینیم) او را برای کار با همه مواد تایید می کند. همچنین اگر اپراتور در جوشکاری یکی از فلزات P-1 تا P-11 و P-4x تایید شود، می تواند همه فلزات با P-1 تا P-11 و P-4x را جوشکاری کند. تست تایید اپراتور جوشکاری شامل ساخت یک گروه ۱۰ تایی جوش است. ۵ عدد از جوشها باید آزمایش برش - کشش یا پوسته ای کردن (Peeling) شوند و ۵ تای دیگر باید متالوگرافی شوند. در صورت تایید همه نمونه ها طبق استاندارد، جوشکار نیز تایید خواهد شد.

۵-۳- کنترل کیفی الکترودها

طبق استاندارد Z 3234 JIS الکترودها باید شرایط کیفی زیر را دارا باشند:

- (۱) از نظر کیفی یکنواخت بوده و عیوبی که آنها را برای استفاده مشکل دار می کند را نداشته باشند.
- (۲) از نظر ترکیب شیمیایی مطابق با استانداردهای مورد استفاده باشند.
- (۳) خواص مکانیکی، خواص دمای بالا و هدایت الکتریکی الکترودها بایستی مطابق با استانداردها باشد (که در فصل سوم اشاره شده است).
- (۴) از نظر تolerانس ابعادی نیز باید طبق استانداردها باشد. در این مورد می توان به استانداردهای JIS H 3100 و JIS H 3250 مراجعه نمود.

آزمایش هایی که برای کنترل کیفیت الکترودها صورت می گیرد عبارتند

از:

۱- تست کشش: که نمونه کشش در میله ها (Bar) باید بصورت طولی، در ورق ها، در جهت نورد یا عمود بر آن، و در نمونه های فورج شده موازی با فلوی فایبر تهیه شوند.

۲- تست سختی: در آزمایش سختی محل اندازه گیری سختی در ورق ها، نمونه های فورج شده و ریخته گری شده باید روی سطح باشد ولی در نمونه های میله ای، بر روی سطح مقطع عرضی حداقل ۲ میلیمتر زیر سطح میله باید صورت بگیرد.

۳- آزمایش هدایت الکتریکی: شکل نمونه آزمایش برای میله های گرد و چهارگوش به همان صورت اولیه است. ولی در مورد ورق ها باید نمونه های چهارگوش با عرض ۰/۵ تا ۱ برابر ضخامت ورق تهیه شود. در مورد نمونه های فورجینگ میله های گرد یا چهارگوش باید از محل مناسبی از نمونه بریده شوند. در مورد نمونه های ریخته گری شده نمونه های آزمایشی باید به قطر ۱۶ میلیمتر و طول ۲۵۰ میلیمتر تهیه شوند و به همان صورتی که در تولید محصول نهایی عملیات حرارتی می شوند؛ در اینجا نیز عملیات حرارتی گردند.

اندازه گیری هدایت الکتریکی بر اساس روش افست پتانسیل بصورتی که در شکل (۷-۵) نمایش داده شده است انجام می شود. البته روش های دیگری نیز برای اندازه گیری هدایت الکتریکی وجود دارد که در سایر استانداردها ارائه شده است.

در روش افست پتانسیل، همانطور که در شکل نشان داده شده است، در نمونه تهیه شده برای آزمایش جریان مستقیمی بین دو نقطه P و Q اعمال می شود و افت ولتاژی که بین دو نقطه p و q اتفاق می افتد اندازه گیری می شود. سپس با استفاده از فرمول (۱-۵) درصد هدایت الکتریکی نمونه تعیین می شود:

فرمول (۵-۱) : $C_t = \frac{1}{1 - 4 \times 10^{-5}(t - 20)C_t}$ = درصد هدایت الکتریکی

که در این فرمول: $C_t = 1724 \frac{I}{E} * \frac{l}{S}$

I: جریان الکتریکی اندازه گیری شده (A)

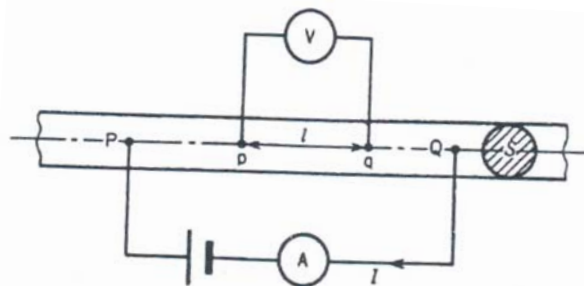
E: افت ولتاژ (μm)

l: طول (mm)

S: مساحت سطح مقطع (mm^2)

t: دما در زمان اندازه گیری ($^{\circ}\text{C}$)

فاصله بین نقاط P و Q نباید کمتر از 2l باشد و p و q که محل اندازه گیری افت ولتاژ می باشند باید تقریباً در وسط PQ قرار بگیرند و فاصله بین p و q (l) نباید کمتر از $5\sqrt{s}$ باشد.

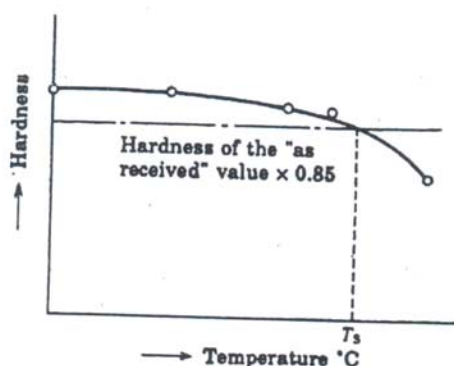


شکل ۵-۷: اندازه گیری هدایت الکتریکی به روش افت پتانسیل

۴- تست تعیین دمای نرم شدن: برای تعیین دمای نرم شدن طبق استاندارد JIS Z 3234 نمونه های آزمایش باید بصورت میله هایی به قطر ۱۶ میلیمتر یا مکعبهایی به ابعاد ۱۶×۱۶ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر تهیه شوند. کوره ای که در این آزمایش استفاده می شود، بایستی قابلیت کنترل دمایی مناسبی داشته باشد و محدوده مجاز تغییر دما $5^{\circ}\text{C} \pm$ است. پس از اینکه دمای کوره به مقدار ثابت و

مدنظر رسید، نمونه آزمایش را در این دما و به مدت ۲ ساعت قرار داده و سپس بلافاصله در هوا سرد می کنند. در قدم بعدی سختی نمونه را در دمای اتاق اندازه می گیرند. نتایج اندازه گیری سختی برای دماهای مختلف باید بصورتی که در شکل (۸-۵) نمایش داده شده است، ترسیم شود.

دمایی که سختی آن ۸۵٪ مقدار سختی اولیه باشد به عنوان دمای نرم شدن شناخته شود.



شکل ۸-۵: روش تعیین دمای نرم شدن (Softing)

۴-۵- خطرات جوشکاری مقاومتی

خطراتی که احتمالاً در جوشکاری مقاومتی با آن روبرو می شوید

عبارتند از:

- الکتریکی - میدان های مغناطیسی - فلز داغ - صدا

- خطرات مکانیکی - ذرات معلق - بخارات

- خطرات الکتریکی: ماشین آلات جوشکاری بایستی بر اساس تدابیر و

آیین نامه ای الکتریکی که توسط افراد متخصص تهیه می شود، نصب شوند.

دستگاه ها اغلب از منابع سه فاز استفاده می کنند که فوق العاده خطرناک هستند.

در مورد بحث ایمنی الکتریکی این تجهیزات استاندارد بریتانیایی

(British Standard) خاصی نیز موجود می باشد. همه قطعات و تجهیزاتی که در

ولتاژهای بالا کار می کنند و احتمال برخورد افراد با آنها وجود دارد، بایستی دارای محفظه، درب و قفل های ایمنی باشد. دستگاه هایی که خازنهای با ولتاژ بالا دارند باید طوری درون محفظه جا زده شوند که به محض باز شدن درب محفظه خازن ها دشارژ شوند. مدارهای کنترل بیرونی جوش باید در ولتاژهای پایین کار کنند. نباید برای تجهیزات ثابت بیش از ۱۲۰ ولت AC و برای تجهیزات متحرک ۳۶ ولت AC استفاده شود. همچنین در طول کار معمول و عادی دستگاه نباید خطری از نظر شوک های الکتریکی وجود داشته باشد. زیرا در الکترودهای حامل جریان و مناطقی که احتمال تماس دست با آنها وجود دارد به ندرت ولتاژ به بیش از ۲۰ ولت می رسد.

در یکی از فرآیندهای جوشکاری مقاومتی - جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا - ولتاژهایی بالایی در الکترودها اعمال می شود. در این دستگاه ها معمولاً فرکانس جریان الکتریکی آنقدر بالاست، معمولاً ۴۰۰ kHz، که در صورت تماس با ترمینالها، نیز خطر شوک الکتریکی بسیار اندکی وجود دارد. ولی سوختگی های ناشی از آن کوچک، عمیق و پردرد می باشند. بنابراین تدابیر احتیاطی به منظور جلوگیری از برخورد با چنین خطراتی باید اتخاذ شود.

- میدان های مغناطیسی: جریان هایی بالایی که در جوشکاری مقاومتی استفاده می شود، باعث ایجاد میدانهای مغناطیسی نسبتاً بالایی می شود که این میدان ها به خصوص در دستگاه های بزرگ DC یا انواع سه فاز (با خروجی فرکانس پایین) شدیدتر می باشد. هنگامیکه جریان پالسی شود، مثلاً در برخی جوشکاری های نقطه ای و نواری، میدان های مغناطیسی متغیر بر روی برخی امپلتهای بدن مانند دستگاه الکترونیکی ضربان قلب اثرگذار خواهد بود. بیماران قلبی ممکن است در این میدان های مغناطیسی دچار مشکل ضعف گردند. بنابراین از این نظر باید توجه کافی شود.

- فلز داغ: گاهی اوقات عدم توجه به گرمای ایجاد شده در قطعات جوشکاری شده، خصوصاً در مواردی که تغییر رنگی در فلز مشاهده نمی شود، باعث مشکلاتی نظیر انواع سوختگی می شود.

- خطرات مکانیکی: در جوشکاری مقاومتی گاهی لبه های قطعات بسیار تیز و برنده و یا دارای دندانهای تیز هستند. بنابراین یکی از مشکلات جوشکاری این نوع قطعات خراشیدگی و پارگی قسمت های مختلف بدن و لباس ها است. به منظور جلوگیری از این امر بایستی سعی کرد با روشهای مناسب تیزی های این قطعات را محدود نمود. همچنین از وسایل ایمنی مانند دستکش های مخصوص و لباس های مناسب استفاده کرد.

همچنین در این فرآیند احتمال گیر کردن دست یا انگشت در بین دو الکترود که در حین اعمال فشار هستند وجود دارد. که می تواند باعث له شدن و خرد شدن استخوان گردد، که مطمئناً همراه با درد شدیدی نیز است. بنابراین باید در حین استفاده از دستگاه مراقب این خطر نیز بود. همچنین باید از فیکسچرها یا گاردهایی برای جلوگیری از ورود دست به منطقه خطر و نیز از سنسورهایی که به این منظور طراحی شده اند استفاده نمود. همچنین در برخی موارد از دکمه های اضطراری قطع نیرو و جریان استفاده می شود.

- ذرات معلق: اگر جوشکاری مقاومتی در شرایط ایده آل انجام شود، ذرات داغ یا فلزات مذاب نباید به بیرون پرتاب شود. اما در شرایط کار معمولاً شاهد پاشش مذاب هستیم. بزرگترین خطر پاشش ذرات مذاب متوجه چشم اپراتور و افرادی است که در نزدیکی دستگاه جوشکاری قرار دارند. در جوشکاری مقاومتی جرقه ای بیشتر موارد پاشش ذرات قرمز رنگ داغی هستند که تا ۶ متر به اطراف پرتاب می شوند. توصیه می شوند که از عینک های ویژه و لباس های خاصی برای کار با این دستگاه ها استفاده شود.

- بخارات: اگر سطح قطعاتی که جوشکاری مقاومتی می شوند عاری از آلودگی هایی نظیر گرد و غبار، روغن و غیره باشند، بخار و گازهای اندکی در طول فرآیند جوشکاری متصاعد می شود. در کارگاه هایی که سیستم تهویه مناسبی دارند، مقدار گازهای متصاعد شده نمی تواند خیلی زیاد شود و سریعاً از محیط تخلیه می شود، ولی در محیط های کوچک و کارگاه های بدون سیستم تهویه مناسب مقدار زیاد این گازها می تواند برای بدن مضر باشد و ضروری است که از سیستم تهویه مناسب استفاده شود. در هر حال ضروری است که خصوصیات گازهایی که کارگران و سایر افراد در معرض آن قرار دارند مشخص شود و دقت شود که غلظت این گازها و بخارات از حد مجازشان تجاوز نکند. استفاده از کادمیم اخیراً در کشورهای صنعتی ممنوع شده است. اما اگر این ماده بر روی قطعاتی که قرار است جوشکاری شوند وجود دارد، باید به دقت مراقب بود تا گازهای ناشی از آن به سرعت از محیط بسته خارج شود. زیرا این ماده فوق العاده سمی است.

- صدا: برخی دستگاه های جوشکاری مقاومتی به عنوان مثال آنهایی که در جوشکاری جرقه ای استفاده می شوند، صدای زیادی تولید می کنند که برای شنوایی مضر می باشند. صداهایی که در قسمتهای مختلف دستگاه تولید می شود مانند خروجی (اگزوز) هوای فشرده، سیلندرها یا قسمتهای مختلف ترانسفورماتور بایستی تا حد امکان محدود شود.

اگر به هر دلیل نتوان صداهای تولیدی را از حد مجاز استاندارد کمتر کرد.

بایستی از وسایلی برای محافظت گوش ها استفاده نمود.



فصل ششم

پیوست ها

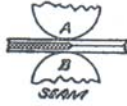


<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	پیوست
۲	پیوست ۲: فرم های اطلاعات فنی جوشکاری مقاومتی
۴	پیوست ۳: جدول قابلیت های جوش پذیری
۵	پیوست ۴: انواع صنعتی الکترودهای جوشکاری مقاومتی
۷	پیوست ۵: آزمایش دمای آنیل برای الکتروده جوشکاری مقاومتی و معیار قبولی الکتروده از نظر دمای آنیل
۸	پیوست ۶: راهنمای استفاده و عیب یابی دستگاه نقطه جوش
۱۲	پیوست ۷: مشخصات کابین کنترل نقطه جوش مدل CCP 801
۱۴	پیوست ۸: مشخصات ترانسفورماتور جوش آویز مدل PT 100H
۱۶	پیوست ۹: انواع متدال کنترلر (تایمر) در دستگاه های جوش مقاومتی
۱۷	واژه نامه

پیوست ۲: فرم های اطلاعات فنی جوشکاری مقاومتی

فرم هایی که در این پیوست ارائه شده، برای نگهداری اطلاعات فنی مورد نیاز در فرآیندهای جوشکاری مقاومتی است. این فرم ها (Data sheet) معمولاً برای کنترل کیفی یا به عنوان مراجع فنی که احتمالاً در آینده مورد استفاده قرار می گیرند تهیه می شوند.

RESISTANCE WELDING DATA SHEET				
EQUIPMENT IDENTIFICATION				
TYPE _____		SERIAL _____		
TRANSFORMER NO. _____		RATING _____		
CONTROL _____				
		SIDE A	SIDE B	
MATERIAL	Thickness			Weld Current
	Approx. Analysis (type)			S.C. Current
				Tap and/or Phase Setting
	Surface Cond.			Throat Opening
	Ult. Strength			Throat Spacing
	Yield Strength			Synchronous or non-synchronous timing
	Elongation %			Heat Time
	Red. in Area %			Cool Time
ELECTRODE	Hardness			Electrode Force
	Material			Tension Shear Test
	Shape			Tension Test
				TORSIONAL
				Yield Point
				Ultimate
				Mod. of Rupt.
				Degree Twist at Ult.
SEAM	Roll Speed Inches per Min.	Indentation		
	Spots per Inch	Other Tests:		
MASH	Width of Weld			
	Overlap or filler			
	Length of Weld			
Remarks:				Photos

شکل ۱: فرم اطلاعات فنی برای جوشکاری مقاومتی نقطه ای و زائده ای

RESISTANCE WELDING DATA SHEET					
EQUIPMENT IDENTIFICATION					
TYPE _____		SERIAL _____			
TRANSFORMER NO. _____		RATING _____			
CONTROL _____					
MATERIAL	Thickness	SIDE A	SIDE B	Weld Current	
	Approx. Analysis (type)			S.C. Current	
				Tap and/or Phase Setting	
	Surface Cond.			Throat Opening	
	Ult. Strength			Throat Spacing	
	Yield Strength			Synchronous or non-synchronous timing	
	Elongation %			Heat Time	
	Red. in Area %			Cool Time	
ELECTRODE	Hardness			Electrode Force	
	Material			Tension Shear Test	
	Shape			Tension Test	
		 		TORSIONAL Yield Point Ultimate Mod. of Rupt. Degree Twist at Ult.	
SEAM	Roll Speed Inches per Min.			Indentation	
	Spots per Inch			Other Tests:	
	Width of Weld				
MASH	Overlap or filler				
	Length of Weld				
Remarks:				Photos	

شکل ۲: فرم اطلاعات فنی برای جوشکاری مقاومتی نواری

پیوست ۳:

جدول قابلیت‌های جوش

Survey of Weldability



	Nickel alloys	Nickel	Nickel silver	Red Bronze	Tin Bronze	Silicon Bronze	Brass 67/33	Brass 80/20	Copper	Alum. and Aluminium alloys	Corrosion and Temperature Resistant steel	Unall. Steel Tinned, Galv., Lead Coated, Cadm. Plated	Unall. Steel Oxide Covered	Unalloyed Steel Bright Surface
Unalloyed Steel Bright Surface	Z 3 3 c	Z 3 3 c	S 3 3 c	S 3 3 c	Z 3 3 c	Z 3 3 c	N 3 3 c	N 3 3 c	N 3 3 c	S 7,8 3	D 5,6 3	D 3 3,5,6	Z 3 3	0 3 3
Unall. Steel Oxide Covered	S 3 3	D 3 3	N 3 3	S 3 3,5	N 3 3,5,6	S 3 2,3	S 3 a, f	S 3 2,3	N 3 a	N 1 3	Z 5,6 3	Z 2,3 3	Z 3 3	
Unall. Steel Tinned, Galv., Lead Coated, Cadm. Plated	S 3 3	S 3 3	S 3 3	N 3 3	N 3 3	N 3 3	S 3 3	S 3 3	N 3 3	N 1,3 3	S 5,6 3	Z 2,3 3	Z 3 3	
Corrosion and Temperature Resistant steel	S 3 3,5,6	S 3 3,5,6	S 3 3,5,6	N 3 3,5,6	N 3 3,5,6	S 3 3,5,6	S 3 3,5,6	S 3 3,5,6	S 3 3,5,6	N 3 2,5,6	D 5,6 3	D 3 3	D 3 3	
Alum. and Aluminium alloys	N 3 1,2	N 3 1,2	N 3 1,2	S 3 1,2	S 3 1,2	S 3 1,2	S 3 1,2	S 3 1,2	S 3 1,2	D 1,2 3	D 3 3	D 3 3	D 3 3	
Copper	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	N 3 4,7					
Brass 80/20	Z 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	S 3 4,7	Z 3 3	S 3 3	S 3 3	N 3 3					
Brass 67/33	S 3 3	S 3 3	S 3 3	S 3 3	S 3 3	D 3 3	S 3 3	S 3 3	D 3 3					
Silicon Bronze	D 3 3	S 3 3	S 3 3	S 3 3	D 3 3	D 3 3								
Tin Bronze	S 3 3	S 3 3	S 3 3	D 3 3	D 3 3									
Red Bronze	S 3 3	S 3 3	S 3 3	D 3 3	D 3 3									
Nickel silver	D 3 3	D 3 3	D 3 3											
Nickel	D 3 3	D 3 3												
Nickel alloys	D 3 3													

www.ParsPayawil.com



جنس الکتروود برای فلزات ردیف بالا
جنس الکتروود برای فلزات ستون چپ

- 1 CuTe
- 2 CuCd 1
- 3 Cu Cr Zr (CCZ)
- 4 W Cu (Wk)
- 5 Cu Co Ni Be (CCNB)
- 6 Cu Ni Cr Si (CNCS)
- 7 Wolfram electrode (الکتروود دارای تنگستن)



اطلاعات اضافه

- جهت جلوگیری از چسبیدن، الکتروودها باید تمیز شود.
- جهت جوش مناسب، قدرت بالا و زمان جوش پائین آورده شود.
- استحکام جوش کم است.
- روکش باید یکنواخت شود.
- کاملاً روش جوش رعایت شود.
- خطر تشکیل آلیاژهای بین فلزی وجود دارد.



کیفیت جوش

- عالی
- خوب
- رضایت بخش، قابل قبول
- بد
- غیر قابل قبول

پیوست ۴ : انواع صنعتی الکترودهای جوشکاری مقاومتی

آلیاژ
AB21

توضیح : یک آلیاژ آلومینیم برنز مثل آلیاژ AB18 با سختی بیشتر و خواص مکانیکی . مخصوصا مناسب است برای فشارهای زیاد تحت وضعیت سایش با مواد ساینده ، جایی که ضربه موجود نیست .
کاربرد :
● رینگ و اجزا غلطکهای شکل دهی برای خمش و کشش در قالبهای فلزی مخصوصا استیل.
● قطعات راهنما ، پوشها و تسمه های سایشی جایگزین فولاد سخت شده .
● تیغه های نگهدارنده برای سنگ زنی خارج از مرکز میله های فولادی .
● کاربردهای قالب پلاستیک ، پوش پران قالبهای پلاستیک پوش پین راهنما و صفحات سایش و ...

آلیاژ
AB22

توضیح : یک آلیاژ آلومینیم برنز با سختی بالا ، بهترین مقاومت سایش فشاری و خواص لغزشی کاربرد :
● خم کاری ، عملیات کششی و قالب فرم برای فولاد ضد زنگ ، مس ، برنج ، آلومینیم و منیزیم .
● در کاربردهای قالب پلاستیک که حداکثر نیاز به مقاومت سایشی فلز به فلز لازم است مانند افشانک (پران) و پوشها .
● قطعات سایشی تحت نیروی فشار زیاد و غلطکهای بادامک و تبعات آن .
● غلافهای افشانک (پران) و پوشها .
● پینهای راهنما و پوشهای میل راهنما .
● قطعات قالب دوار و لغزشی .

آلیاژ
AB25

توضیح : آلیاژ AB25 یک آلومینیم برنز است که خواص مکانیکی پایداری را آشکار می سازد . این ماده سختی بالایی را مضافا با قابلیت تحمل فشار عالی و خواص اصطکاکی خیلی خوبی داراست . مقاومت ممتاز این آلیاژ در مقابل سایش و ظرفیت بالای انتقال حرارت آن موجب عمر مفید و تقلیل زمان کار می شود . آلیاژ AB25 برای قالبهایی که احتیاج به سختی بالا و عمر طولانی دارد توصیه می شود .
کاربرد :
● در قالبهایی با کشش زیاد برای فولادهای ضد زنگ و کم کربن .
● قالبهای فرم برای تولید قطعاتی مانند ماسه کوب ، سینک ظرفشویی از فولاد ضد زنگ و بشکه ، سینیهای پذیرایی قسمت خشک کن لباس شوئی و غیره .
● غلطک شکل دهی ، خمکاری .
● کاربردهای مقاومت سایشی تحت فشار زیاد .

آلیاژ
AB26

توضیح : آلیاژ AB26 خاصیت استثنائی ، سختی بالایی را داراست که آنرا بطور منحصر بفردی در توانایی کار تحت فشارهای بسیار زیاد متمایز می کند . این آلیاژ موارد استفاده و قابلیت ماشین کاری محدودی دارد اما می تواند نتایج استثنائی بدهد .
کاربرد :
● در قالبهایی با کشش زیاد برای فولادهای ضد زنگ و کم کربن .
● غلطک شکل دهی تحت تنش زیاد و نهایت فشار .
● قالب برای فرم دهی قطعات کتری مانند گلونی .

جدول مشخصات فنی

آلیاژ مشخصات	CCZ	CCNB	B20	CNCS	WK20	WK25	WK30	AB18	AB21	AB22	AB25	AB26
سختی برینل (10/2.5) HP	140- 160	150- 220 280	85- 400		180-220 228	185	165	160- 180	250- 300 30 S	300	330- 370 30 S	418 30 S
هدایت حرارتی W/m.k at 20°C	320	210	110	160	134	150	154	63	42	42	33	33
هدایت الکتریکی M/ohm.mm2	82% IACS	Min 45% IACS	Min 22% IACS	Ca.25				14% IACS	10% IACS	10% IACS	8% IACS	8% IACS
مقاومت الکتریکی ohm.mm2/m	0.022	0.033- 0.05			0.07	0.045	0.04					
جرم مخصوص g/cm3	8.9	8.8	8.3	8.7	15.1	14.2	14.0	7.5	7.2	7.1	7.0	7.0

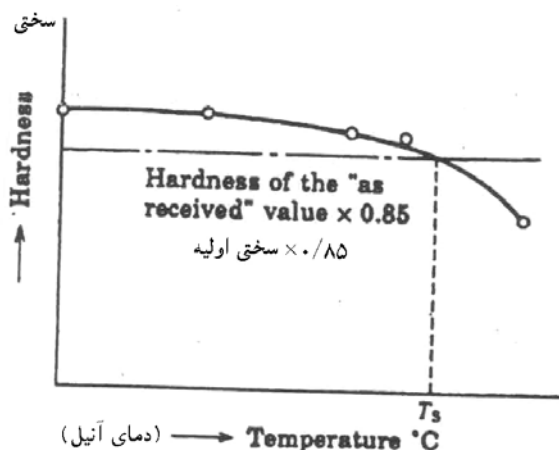
<p>Cr : 0.5 - 1.0 Zr : 0.05 - 0.2 Cu : remainder</p>	<p>توضیح: آلیاژ مس قابل عملیات حرارتی با هدایت الکتریکی بالا و قابلیت هدایت گرمایی با درجه بالایی از سختی و مقاومت کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> الکتروود جهت جوشکاری مقاومتی دیسک جهت جوشکاری درز (قرقره جوش) الکتروود جهت دستگاههای اسپارک (براده برداری جرقه ای) قطعات متشکله باطاقانهای تحت فشار بالای مکانیکی در صنعت الکتریسیته اجزای قالبهای پلاستیک برای هدایت حرارت صفحات خنک کننده و قالب جهت ریخته گری فلزات غیر آهنی 	آلیاژ CCZ
<p>Co : 0.8 - 1.3 Ni : 0.8 - 1.3 Be : 0.4 0.7 Cu : remainder</p>	<p>توضیح: آلیاژ مس سخت شونده با هدایت الکتریکی و حرارتی بالا و درجه بالایی از سختی و مقاومت کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> الکتروود جهت جوشکاری مقاومتی و جوشکاری (قرقره جوش) بویژه فولاد ضد زنگ ضد حرارت الکتروودهای ضربه جوش، فکهای الکتروود و نازل برش گاز بوشهای گیره و صفحات ماشین تزریق پلاستیک پیستون برای دایکاست با محفظه سرد (فلزات سبک) قالبها جهت ریخته گری فلزات رنگی غیر آهنی انواع نازلها جهت سیستمهای کانال داغ (Hot Canal) ماهیه در قالب خلا، پلاستیک و تزریق پلاستیک 	آلیاژ CCNI
<p>Ni : 2.4 Cr : 0.4 Si : 0.7 Cu : remainder</p>	<p>توضیح: آلیاژ مس قابل عملیات حرارتی با هدایت الکتریکی بالا و قابلیت هدایت گرمایی با درجه بالایی از سختی و مقاومت کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> پیستون در دستگاههای ریخته گری با مخزن سرد قالبها جهت ریخته گری فلزات رنگی غیر آهنی آلیاژ CCNC قابلیت تناوبی بیشتری نسبت به آلیاژ CCNB دارد قالب خلا، پلاستیک و تزریق پلاستیک 	آلیاژ CCNC
<p>Be : 1.8 - 2.1 Ni+Co : 0.2 - 0.5 Cu : remainder</p>	<p>توضیح: مقاومت بالا - استحکام خوب در مقابل فرسودگی - هدایت خوب - غیر مغناطیسی - مقاومت در مقابل سایش کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> نازلها و سوزنهای جهت سیستمهای HOT RUNNER نازل و سوزن برای سیستم راه گاه گرم (قالبهای پلاستیک) پکینگهای سیستمهای فشار بالای هیدرولیک هولدر (نگهدارنده) جهت تجهیزات پیچ جوش مقاومت بالا، غیر مغناطیسی، بدون جرقه، مناسب بوش، غلاف، یاطاقان برای افشرد (حفاری در دریا) صنایع هوایی، تجهیزات ابزار دقیق و کاربردهای پزشکی 	آلیاژ B20
<p>W : 80 Cu : 20 W : 75 Cu : 25 W : 70 Cu : 30</p>	<p>توضیح: ترکیب تنگستن - مس با استخوانبندی اصلی تنگستن که در شبکه منافذ آن نوعی فلز اشباع شده (مس) نفوذ نموده است.</p> <p>مقاومت در مقابل ذوب بدست داده است.</p> <p>این ماده، در نتیجه فرآیند صنعتی، دارای یک بافت آزاد و ساختار دانه دانه شده ریز یکسانی می باشد.</p> <p>قابلیت بالای مقاومت در مقابل تغییر شکل از ویژگیهای این ماده است.</p> <p>کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> الکتروود جهت جوشکاری مقاومتی تحت فشار زیاد (بطور مثال جوش فولاد با سیم نازک) اتصالات لغزنده جهت جوشکاری مقاومتی آرماتورهای فولادی برای لوله های سیمانی (بتونی) الکتروود جهت دستگاههای اسپارک الکتروود ضربه جوش داغ و فکهای تماس 	آلیاژ WK
<p>Al : 11.00 Fe : 3.50 Others : 2.00 Cu : remainder</p>	<p>توضیح: یک آلیاژ آلومینیم برنز سخت و بادوام که بطور کلی برای همه نوع کاربرد که در آن خواص لغزشی خوب، مقاومت در مقابل سایش، مقاومت در مقابل فرسودگی، استحکام و یا مقاومت در مقابل تغییر شکل تحت فشار استفاده می شود.</p> <p>این ماده به آسانی ماشینکاری می شود و روغن، شیارهای گریس، سوراخهای روغنکاری را قبول می کند.</p> <p>کاربرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> این آلیاژ برای کاربردهای مقاومت در برابر سایش، خراش و فرسودگی توصیه می شود. مانند چرخ دنده های مارپیچ، بوشها، مهره های اتصال، بادامکهای تنظیم، طوقه های نگهدارنده (COLLETS) پیستونها، شفت های پمپ، تکیه گاههای سوپاپ، یاطاقانهای غلاف دار و میل راهنما 	آلیاژ AB18

پیوست ۵: آزمایش دمای آنیل برای الکترودهای جوش نقطه ای و معیار قبولی الکتروود از

نظر دمای آنیل

نمونه آزمایش باید استوانه ای شکل به قطر ۱۶ سانتیمتر یا مربعی شکل با ضلع ۱۶ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر باشد و بایستی از نمونه بریده شود. پس از اینکه نمونه به یک دمای تقریباً ثابت و مورد نظر رسید، بایستی به مدت ۲ ساعت در این دما نگاه داشته شود. مقدار مجاز انحراف دما $\pm 5^{\circ}\text{C}$ می باشد. پس از پایان حرارت دادن نمونه را بایست به سرعت در هوا سرد کرد و سختی آن را در دمای اتاق اندازه گرفت. نتایج اندازه گیری بایستی مشابه شکل ۱ رسم شود. طبق نمودار نشان داده شده در شکل، دمایی که سختی نمونه تا ۸۵ درصد سختی اولیه افت کند دمای آنیل می باشد.

طبق این روش نمونه ای مورد قبل واقع می شود که دمای آنیل آن کمتر از مقادیر ذکر شده در استانداردها نباشد. به عبارت دیگر می توان گفت که در این روش با توجه به دمای آنیل مربوط به الکتروود مشخص (که در استاندارد تعیین شده) نمونه را تست کرده و در صورتیکه میزان افت سختی نمونه پس از تست کمتر از ۱۵ درصد باشد، نمونه مورد تایید واقع می شود.



پیوست ۶: راهنمای استفاده و عیب یابی دستگاه نقطه جوش

ملاحظات مکانیکی

اکثر موارد معایب بوجود آمده ناشی از سیستم مکانیکی بوده و از قسمت الکترونیکی آن سرچشمه نمی‌گیرد ، جهت رفع عیب مکانیکی دستگاه بررسی‌های زیر پیشنهاد می‌گردد .

۱. بررسی کلیه اتصالات الکترونیکی

این بررسی می‌بایست قسمت‌های اولیه - ثانویه - لاتونهای متحرک و حتی نوکیها را شامل گردد . هرگاه به دلیلی قسمتی از این اعضاء اکسید شده‌باشد با عبور جریان ضمن تولید حرارت عملاً با افزایش یافتن مقاومت آن ناحیه مانع از عبور جریان کافی از اتصالات می‌گردد که نتیجه آن جوشهای ضعیف و با کیفیت پائین خواهد بود به گونه‌ای که حتی با تغییر مقدار Heat (مقدار جریان) نیز نمی‌توان آن را جبران نمود

۲. بررسی چگونگی گردش آب

در این قسمت می‌بایست پارامترهای زیر بررسی گردد .

۱. درجه حرارت آب

۲. فشار آب ورودی به کابین

۳. PH آب ورودی

۴. میزان سختی آب ورودی

۵. محکم بودن اتصالات و بستهای بکار رفته در ماهیت

سینک تریستورها

۶. باز بودن مسیر آب از داخل هیت سینک‌ها

۳. بررسی سیستمهای پنوماتیک

مواردی که در این بررسی ها می بایست مورد ملاحظه قرار گیرد

عبارتند از :

۱. فیلتر شدن هوای فشرده ورودی
۲. بررسی واحد مراقبت که شامل آبگیر و روغن پاش و کافی بودن حجم روغن می باشد .
۳. عملکرد صحیح سیلندرها و شیرهای برقی با گرفتن فرمان الکتریکی
۴. تنظیم صحیح کنترلرهای فلو جهت رسیدن به سرعت مناسب حرکت رفت و برگشت جک .
۵. تنظیم صحیح فشار جک به منظور وارد آوردن فشار مورد نیاز در هنگام جوش

۴. سایر موارد

۱. بررسی کیفیت نوکیها ، بخصوص از نظر میزان پوشیده شدن آن توسط فلز قطعه کار و تمیز نمودن مرتب آن
۲. آیا آب بداخل نوکیها وارد می شود .
۳. تمیز کردن سطح قرقره ها از هر گونه آلودگی بخصوص فلز قطعه کار، در این موارد عملکرد صحیح سیستمهای مکانیکی آج زن بسیار مؤثر می باشد .
۴. آیا قرقره ها و یا نوکیها درست در مقابل یکدیگر قرار دارند ؟
۵. متعادل نمودن لبه قرقره ها و یا نوکیها درست در مقابل یکدیگر قرار دارند .

“ توجه ” : از دستگاه قرقره جوش و یا نقطه جوش برای جوش دادن ورقها در نواحی که به واسطه خمیدگی ورق خود دارای فواصل مکانیکی هستند خودداری نمائید ، زیرا بر اثر داغ بودن محل جوش به محض آنکه زیر قرقره بیرون آمدند ورقها از هم باز خواهند شد .

با رعایت نکات ذکر شده عملکرد راحت و مناسبی را از دستگاه برای شما آرزومندیم . لطفاً در صورت برخورد با هر گونه اشکالی مراتب را با این شرکت در میان بگذارید .

نوع عیب	علت عیب	مراحل رفع عیوب
ترانس لرزش و صدای زیادی دارد و فیوز دستگاه مرتباً می‌سوزد .	قطع تحریک یکی از تریستورها	<ul style="list-style-type: none"> • بازدید درخت سیم و اتصالات مربوطه • بازدید سوکتها و اتصالات مسیر تحریک تایریستور • بازدید تایمر P 801 <p>توضیح : توصیه می‌شود بازدید تایمر توسط نماینده شرکت صنایع جوش پارس پایا انجام شود .</p>
	خرابی یکی از تریستورها	<ul style="list-style-type: none"> • تعویض تایریستور معیوب و یا تعویض پک تایریستور
جوش ضعیف است و بازدید کردن مقادیر Heat باندازه کافی نمی‌رسد .	ضعیف بودن اتصالات در مسیر ثانویه ترانس	<ul style="list-style-type: none"> • بازدید اتصال ترانس به کابل • بازدید اتصال کابل به گان
	ضعیف شدن کابل (که با داغ کردن آن همراه است)	-
	نشتی انبر نقطه جوش (برق دزدی)	-
	فرسودگی عایقها و قطعات ایزوله کننده در گان نقطه جوش (همانطور که اطلاع دارید دو مسیر جریان در گان وجود دارد و این دو مسیر در داخل گان توسط عایقهایی از هم ایزوله شده‌اند)	-
	کثیف بودن و زنگ زدگی ورقهای مورد جوشکاری	-
	کثیف شدن و دو پهن شدن سطح الکترودها	<ul style="list-style-type: none"> • تمیز کردن و سوهانکاری الکترودها و در نهایت تعویض آنها
	کم بودن هوا	<ul style="list-style-type: none"> • تنظیم فشار باد در خروجی رگلاتور ۵ اتمسفر
	اتصال کوتاه یکی از تایریستورها	<ul style="list-style-type: none"> • تعویض تایریستور معیوب یا تعویض پک تایریستور
جوش دستگاه با جرقه و جریان زیادی توأم است .	بالا رفتن درجه حرارت پک تایریستور	<ul style="list-style-type: none"> • عمل نکردن ترموستات مربوطه • قطع مسیر آب در تایریستور
	ضعیف بودن اتصالات در مسیر اولیه ترانس	<ul style="list-style-type: none"> • بازدید اتصالات برق ورودی به ترانس و محکم کردن آن • بازدید اتصالات برق ورودی به کابین و تایریستور و محکم نمودن آن • بازدید کلید و پلاتینهای مربوطه • تعویض تایمر P 801

پیوست ۷ : مشخصات کابین کنترل نقطه جوش مدل CCP 801

الف - تایمر نقطه جوش مدل P 801 (مشخصات عمومی)

۱. ذخیره ۹ ترکیب جوش در حافظه داخلی تایمر
۲. خواندن و بکارگیری ۴ ترکیب از ۹ ترکیب ذخیره شده در حافظه ، در هر لحظه
۳. کنترل ۲ انبر جوش بطور همزمان ، دو عدد شیر برقی برای هر انبر جمعاً (۴ عدد) برای کنترل کورس بلند و کورس کوتاه انبر در نظر گرفته شده است .
۴. طراحی تایمر بر اساس پارامترهای مورد نیاز مشتری شامل ۳ مرحله جوش (WELD1, WELD2, WELD3) شیب شروع و شیب پایان (DOWNSLOPE , UPSLOPE) ضربان جوش (PULSATION)
۵. ۴ پدال فرمان ورودی
۶. پرت ورودی برای سنسورهای خطا (سنسور فشار آب، سنسور فشار باد، سنسور دمای تریستور و ترانس)
۷. ورود اطلاعات از طریق شناسی های روی جعبه با حداقل تعداد (۶ عدد)
۸. مشاهده اطلاعات از طریق LCD چراغ دار چهارسطر ۲۰ ستونی و به طریق محاوره ای
۹. خطایاب نرم افزاری
۱۰. استفاده از بهترین نوع مدار چاپی و قطعات الکترونیکی
۱۱. سیستم مدولار که امکانات تعمیرات دستگاه را بسیار راحت می کند .

ب - قسمت قدرت

۱. کلید قطع و وصل گردان با قفل جعبه جهت ایمنی کار با دستگاه
۲. طراحی کابین بصورتیکه افراد مجرب و مجاز بتوانند در حالت کار به داخل کابین دسترسی داشته باشند .
۳. پک تریستور آب گرد ایزوله

پیوست ۸: مشخصات ترانسفورماتور نقطه جوش آویز مدل PT 100H

۱. مشخصات عمومی :

ولتاژ ورودی : 380V

ولتاژ خروجی : 20V

کلاس ایزولاسیون : F

۲. مشخصات فنی :

جریان بی باری اولیه : 5-8 A

جریان اتصال کوتاه ثانویه : $>17\text{KA}$

سیم پیچی اولیه : کپسوله مدولار - روش اختصاصی صنایع جوش

پارس پایا

سیم پیچی ثانویه : مس ماشینکاری شده

ورق هسته : ورق ترانسفورماتور آلمانی یا ژاپنی با گوس بالا و با سائز

استاندارد

۳. تجهیزات جانبی :

واحدفیلتراسیون و رگلاتور و روغن پاش مارک Wircom ایتالیا

کلکتور آب رفت و برگشت

شیرهای قطع و وصل رفت و برگشت

شیرهای قطع و وصل باد

۴. نحوه اتصال کابل خروجی :

امكان محل اتصال ترمینال ترمینال 100 یا 150 جهت نصب کابل تک و

امكان اتصال کابل دویل

قابلیت نصب همزمان دو گان بر روی ترانس

پیوست ۹: انواع متداول کنترلر (تایمر) در دستگاه های جوش مقاومتی

کنترلر (تایمر)	P107	Welboy 20	Welboy 22	P 801	P 601	Nadex
تعداد پروگرام	1	10	10	10	10	>10
قابل استفاده برای قرقره جوش	-	+	+	-	+	-
قابل استفاده برای جوش سر به سر	-	+	+	-	-	-
Squeeze	+	+	+	+	+	+
Pre Squeeze	-	-	-	+	+	+
Weld 1 cool 1	-	-	+	+	+	+
Weld 2 cool 2	+	+	+	+	+	+
Pulsation (تکرار weld 2)	-	-	-	+	+	+
Weld 3	-	-	-	+	+	+
Upslope	-	+	+	+	+	+
Downslope	-	-	+	+	+	+
Off	+	+	+	+	+	+
Auto-Single حالت تک و اتوماتیک	+	+	+	+	+	+
تعداد پدال	1	2	2	4	2	4
تعداد شیر برقی خروجی	1	2	2	2	2	2
Off line	+	+	+	+	+	+
تنظیم درصد قدرت ترانس	+	+	+	+	+	+
تنظیم جریان خروجی	-	-	-	-	-	+
Counter	-	+	+	+	-	+
Stepper برنامه اضافه کردن جریان	-	-	-	-	+	+
تایریستور و کلید قدرت	-	-	-	+	-	+
کابین	-	-	-	+	-	+

واژه نامه

Resistance Welding	جوشکاری مقاومتی
Resistance Spot Welding	جوشکاری مقاومتی نقطه ای
Multiple Electrode Welding	جوشکاری با الکترودهای چندتایی
Button or Disc Welding	جوشکاری دکمه یا دیسکی
Bridge Welding	جوشکاری پل واره
Mash Welding	جوش له کردنی
Stitch Welding	جوش کوک
Projection Welding	جوشکاری زائده ای
Seam Welding	جوشکاری (مقاومتی) نواری (درزی)
Flash Welding	جوشکاری جرقه ای
Upset Welding	جوشکاری سر به سر
Electro- Procession Welding	جوشکاری ضربتی
Resistance Soldering	لحیم کاری نرم مقاومتی
Resistance Brazing	لحیم کاری سخت مقاومتی
Roll-Resistance Spot Welding	جوشکاری مقاومتی نقطه ای – غلتکی
High- Frequency Resistance Welding	جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا
High- Frequency Induction Welding	جوشکاری فرکانس بالای القائی
Current Shunting	جریان انحرافی
Nugget Weld	دکمه جوش
Weld time	زمان جوش
Off time	زمان قطع
Over Lap	رویهم افتادن
Sequence Welding	توالی جوشکاری

Hold time	زمان نگهداشتن
Multi-impulse Welding	جوشکاری چند پالسی
Gap	فاصله بین دو نقطه
Corrosion	خوردگی
Electrode Face	نوک الکترود
Fit-up	تطبیق (ورق ها رویهم)
Distortion	اعوجاج
Dressing	تراشیدن