

## فصل پنجم

### کیفیت و آزمایشهای جوشکاری مقاومتی

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

## 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<sup>۱</sup> (۳) استحکام و انعطاف پذیری<sup>۲</sup> (۴) اندازه جوش (۵) ناپیوستگی داخلی<sup>۳</sup> (۶) جدایش ورق ها و پاشش<sup>۴</sup>

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<sup>۵</sup> 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.

---

<sup>1</sup> - Penetration

<sup>2</sup> - Ductility and Strength

<sup>3</sup> - Internal Discontinuities

<sup>4</sup> - Separation and Expulsion

<sup>5</sup> - 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

<p>عیوب به وجود آمده، کاهش عمر الکترودها و افزایش زمان تولید به دلیل وقفه های زمانی ایجاد شده برای تراشیدن الکترودها</p>	<p>نامناسب ترتیب (sequence) زمان، فشار و جریان</p>	
<p>کاهش استحکام جوش به دلیل تغییر در منطقه تماس فصل مشترک و پاشش مذاب فلز</p>	<p>تنظیم نامناسب قطعه کار، سایش یا تراشیدن نامناسب الکترودها، تابیدگی الکترودها روی شعاع فلنج ها، لغزش، تمیز کاری نامناسب سطح الکترودها</p>	<p>۳- شکل نامنظم جوش</p>
<p>ظاهر نامناسب، کاهش مقاومت به خوردگی، اگر جوش پاشش داشته باشد استحکام کاهش می یابد، کاهش عمر الکترودها</p>	<p>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</p>	<p>۴- رسوب الکتروود روی کار (معمولاً همراه با ذوب سطحی است)</p>
<p>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 خوردنده در ترک یا حفره</p>	<p>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.</p>	<p>۵- ترکها، حفره های عمیق یا سوراخ ها</p>

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<sup>۱</sup> قرار بگیرند.

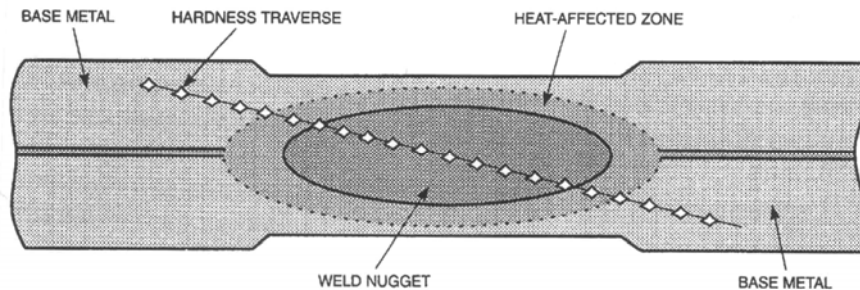
استحکام جوش های نقطه ای و زائده ای معمولاً بر حسب پوند (کیلوگرم) بر جوش اندازه گیری می شود. در جوشهای نواری استحکام بر حسب پوند در اینچ (Kg/in) طول اتصال اندازه گیری می شود. هنگامیکه قطر دکمه جوش افزایش می یابد، استحکام جوش های نقطه ای و زائده ای نیز افزایش می یابد، اگر چه تنش واحد متوسط کاهش می یابد، 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

---

<sup>۱</sup> - 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  $0.4\text{ mm}$  و یا سه برابر قطر متوسط اثر مجاور باشد. سرعت تقریبی نافذ نباید بیش از  $200\ \mu\text{m}/\text{sec}$  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

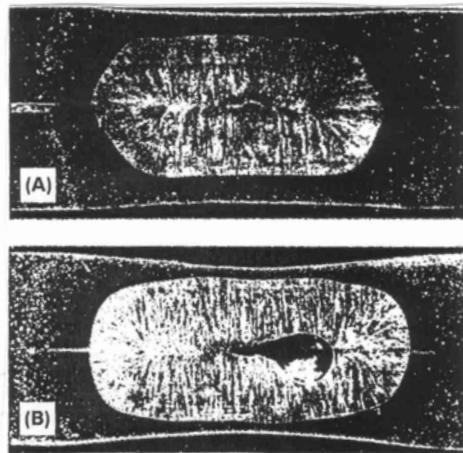
ناپیوستگی داخلی: ناپیوستگی داخلی جوش مقاومتی شامل ترک ها، حفرات<sup>۱</sup>، فلزات متخلخل، کرم خوردگی بزرگ<sup>۲</sup> در جوش و در برخی فلزات پوشش، ناخالصی های فلزی است. معمولاً این ناپیوستگی ها اگر همگی در قسمتهای مرکزی دکمه جوش جمع شوند اثر مخربی بر استحکام استاتیکی یا خستگی جوش ندارند. زیرا در این 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.

---

<sup>1</sup> - Porosity  
<sup>2</sup> - 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 (۳-۵) 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<sup>1</sup> 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<sup>2</sup> استفاده می شود. این کد یازده بخش<sup>3</sup> 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

---

<sup>1</sup> - American Society of Mechanical Engineering

<sup>2</sup> - ASME Boiler and Pressure Vessel Code

<sup>3</sup> - Section

استفاده از آن در موارد دیگر نیز گسترش یافته است. طبق این کد برای هر فرآیند جوشکاری باید یک دستورالعمل تایید شده (WPS)<sup>۱</sup> نوشته شود که تایید این دستورالعمل در صورت تأیید نتایج یکسری آزمایشهای خاص تعیین شده در کد (PQR)<sup>۲</sup> 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 فرآیند 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، دکمه جوش ایجاد شده باید در فصل مشترک بین

ورقها باشد و یابد بزرگتر یا مساوی  $0.9\sqrt{t}$  باشد که t ضخامت ورق نازکتر

است. در جوشهای زائده ای، اندازه دکمه 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 (۵-۴)).

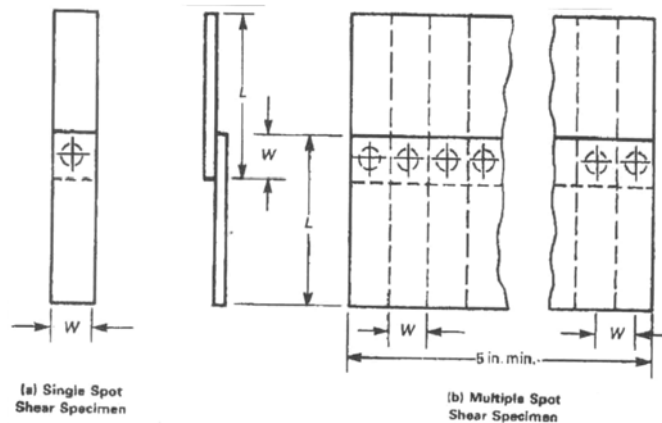
علاوه بر این، در هر گروه نمونه های آزمایشی ۹۰ درصد از مقادیر استحکام

---

<sup>1</sup> - Welding Procedure Specification

<sup>2</sup> - 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.

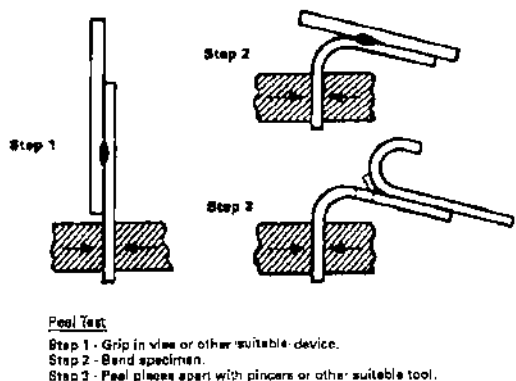
P-1 Through P-11 and P-4X Metals				
Nominal Thickness of Thinner Sheet, in.	Ultimate Strength 90,000 to 149,000 psi		Ultimate Strength below 90,000 psi	
	lb per spot		lb per spot	
	min	min avg	min	min avg
0.009	130	160	100	125
0.010	160	195	115	140
0.012	200	245	150	185
0.016	295	365	215	260
0.018	340	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 Aluminium 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 آلومینیوم (یا P-2x)



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

#### ۵-۲-۱- تایید<sup>۱</sup> 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.

<sup>۱</sup> - Qualification

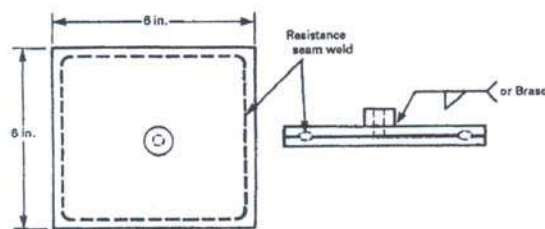
### ۲-۲-۵- تایید فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای و زائده ای

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.

### ۳-۲-۵- 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

#### ۴-۲-۵- 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 $\phi$ Spot, projection, seam	X	
	.14 $\phi$ Overlap, spacing	X	
	.15 $\phi$ Projection shape, size	X	
QW-403 Base Metals	.1 $\phi$ P-No.	X	
	.21 $\pm$ Coating, plating	X	
	.22 $\pm$ T	X	
QW-406 Preheat	.6 $\phi$ Amplitude, cycles	X	
QW-407 PWHT	.5 $\phi$ PWHT	X	
QW-409 Electrical	.13 $\phi$ RWMA class	X	
	.14 $\pm \phi$ Slope	X	
	.15 $\phi$ Pressure, current, time	X	
	.16 Timing	X	
	.17 $\phi$ Power supply		X
	.18 Tip cleaning		X
QW-410 Technique	.31 $\phi$ Cleaning method	X	
	.32 $\phi$ Pressure, time	X	
	.33 $\phi$ Equipment	X	
	.34 $\phi$ Cooling medium		X
	.35 $\phi$ Throat		X

Legend:  
 + Addition > Increase/greater than  $\uparrow$  Uphill  $\leftarrow$  Forehand  $\phi$  Change  
 - Deletion < Decrease/less than  $\downarrow$  Downhill  $\rightarrow$  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:



QW402-13: 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 الکتروود، 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 الکتروود.

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 الکتروود.

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 الکتروود و جایی که از آن استفاده می شود.

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

### 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 تایی 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 افت 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 افت 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 (۱-۵) :  $C_i = \frac{1}{1 - 4 * 10^{-5}(t - 20)C_i}$  = درصد هدایت الکتریکی

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

I: جریان الکتریکی اندازه گیری شده (A)

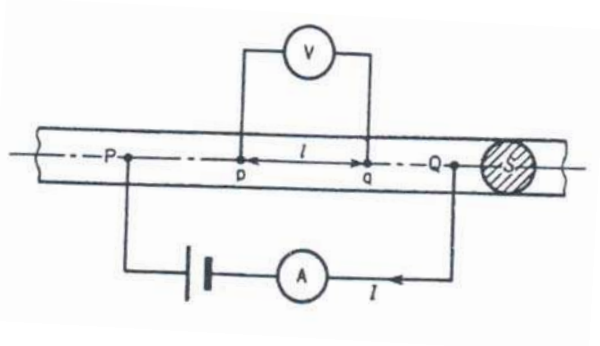
E: افت ولتاژ (μm)

l: طول (mm)

S: مساحت سطح مقطع (mm<sup>2</sup>)

t: دما در زمان اندازه گیری (°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.

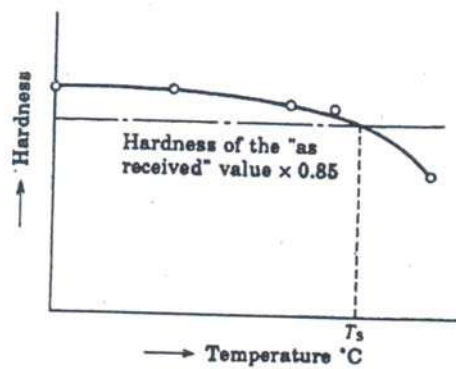


شکل ۵-۷: اندازه گیری هدایت الکتریکی به روش افت پتانسیل

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  $5^{\circ}C \pm$  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 امپلنت های 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.