

جوشکاری مقاومتی



اتصال قطعات به همدیگر، از نیازهای اصلی و اولیه مهندسين برای ساخت چیزهای جدید است. به طور کلی در صنایع مختلف کوچک و بزرگ، اتصال انواع قطعات مختلف به هم همیشه یکی از چالش‌های جذاب تولیدکنندگان بوده است. اتصال بسته به هدف تولید کننده می‌تواند موقت و یا دائمی باشد، چرا که وسیله‌ها ممکن است با اهداف متفاوت ساخته شوند، اما وقتی صحبت از اتصال دائمی به میان می‌آید، جوشکاری اولین و شاید بهترین راهی است که به ذهن همه می‌رسد.

به طور کلی جوشکاری یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان [انواع اتصالات فلزی](#) و غیر فلزی را انجام داد. جوشکاری فلزی در [مدل‌های مختلف جوشکاری](#) ذوبی و غیر ذوبی انجام می‌شود که هر کدام از این روش‌ها نیز دارای انواع مختلفی هستند که در مقالات مشابهی به بررسی آنها پرداخته ایم.

امروزه یکی از روش های جوشکاری غیر ذوبی که کاربرد وسیعی نیز در صنایع مختلف دارد جوشکاری مقاومتی است. به همین جهت در این مقاله نیز قصد داریم انواع جوش مقاومتی، مزایا و معایب و همچنین کاربردهای هر روش را مورد بررسی قرار دهیم و همچنین روش استفاده و کاربرد آن را نیز شرح دهیم. با ما همراه باشید.

جوشکاری مقاومتی چیست؟



طبق تعریف علمی، جوشکاری مقاومتی (RW مخفف Resistance Welding) یکی از روش های جوشکاری الکتریکی است که عملکردش مبتنی بر ترکیب گرما، فشار و زمان است. ایجاد گرما در جوشکاری مقاومتی به وسیله جریان برق ایجاد می شود و به وسیله الکترودهای مخصوص به قطعه کار منتقل می شود. البته در کنار گرما، فشار و زمان نیز از دیگر فاکتورهای مهمی هستند که در این حالت باید به کار گرفته شوند. لازم به ذکر است که تمامی این فاکتورها باید با توجه به ضخامت فلزی که قرار است روی آن کار شود، اندازه گیری و تنظیم می شوند.

یک نکته مهم دیگر این است که در **روش جوشکاری مقاومتی**، فلز به صورت کامل ذوب نمی شود، بلکه از طریق انتقال جریان برق به قسمت مورد نظر و رخداد جوش، حالتی شبیه به ذوب شدگی و یا کاهش مقاومت ماده مورد نظر اتفاق می افتد و همزمان با این اتفاق، با اعمال فشار اتصال انجام می شود.

امروزه **جوش مقاومتی الکتریکی** بسیار پرکاربرد است که این محبوبیت ریشه در سرعت کار بسیار بالا و همچنین کنترل ساده و دقیق فرایند **جوشکاری** است. این ویژگی ها موجب استفاده گسترده از این روش در صنایع مختلف شده است.

علاوه بر کنترل فشار و گرما هنگام **جوش مقاومتی**، توجه کردن به نکات مهم دیگری مانند مدت زمان جریان عبوری، ضخامت قطعه، میزان جریان عبوری و شکل سطح مقطع الکتروود نیز بسیار با اهمیت است. و اصطلاحاً می توان گفت **جوشکاری مقاومتی** به این عوامل بستگی دارد. گرمای بیش از حد و فشار زیاد از حد باعث از بین رفتن فلز و متعاقباً خراب شدن عملیات جوشکاری می شود.

اگر بخواهیم دقیق تر به **جوشکاری مقاومتی** نگاه کنیم باید بگوییم که در این **روش جوشکاری**، گرما و فشار برای ایجاد انعقاد ترکیب می شوند. در این روش، الکتروودها در تماس با ماده قرار می گیرند و جریان الکتریکی بین آنها عبور می کند. گرمای حاصل از مقاومت الکتریکی باعث افزایش دمای قطعه های کار و سطح مشترک بین آنها می شود.



همان الکترودهایی که جریان را تأمین می‌کنند، قابلیت وارد کردن فشار را نیز دارند و معمولاً میزان این فشار در طول چرخه‌ی جوشکاری متغیر است. در ابتدا مقدار معینی فشار وارد می‌شود تا قطعه‌های کار به خوبی با هم تماس داشته باشند و همزمان مقاومت الکتریکی سطح مشترک نیز کنترل شود. وقتی درجه حرارت مناسب جوشکاری به دست آمد، فشار برای ایجاد انسجام افزایش پیدا می‌کند و تا سرد شدن ناخن جوش (weld nugget) نیز این فشار حفظ می‌شود.

از آنجایی که در این روش از فشار استفاده می‌شود، انعقاد و جوش خوردن در دمای کمتری نسبت به جوشکاری هواگاز و جوشکاری برق اتفاق می‌افتد. اگر دقیق تر به این مساله نگاه کنیم متوجه می‌شویم که در بسیاری از فرآیندهای **جوشکاری مقاومتی** فلز پایه ذوب نمی‌شود که این یک ویژگی خاص در آن روش به حساب می‌آید.

در برخی از **فرآیندهای جوشکاری مقاومتی**، بلافاصله پس از انعقاد، فشار اعمال شده به قطعه کار بالاتر می‌رود تا عمل آهن‌گری نیز به میزان دلخواه انجام شود. جالب است بدانید که همراه

با این تغییر شکل مقداری اصلاح دانه (در ریزساختار) اتفاق می‌افتد که در نوع خودش بسیار جالب است.

از طرفی پس از جوشکاری نیز می‌توان از حرارت اضافی برای تنش زدایی یا تمپرینگ نیز استفاده کرد. در **جوشکاری مقاومتی** می‌توان ظرف چند ثانیه یا کمتر به درجه حرارت مورد نیاز و انعقاد دست یافت و به همین دلیل **جوشکاری مقاومتی** یک فرایند بسیار سریع و کاملاً اقتصادی است. این ویژگی‌ها باعث شده که **جوشکاری مقاومتی** برای تولید خودکار بسیار مناسب باشد. در ادامه کاربردهای این روش جوشکاری را بررسی خواهیم کرد.

کاربردهای کلی جوشکاری مقاومتی (RW)



به طور کلی در ساخت و مونتاژ و موارد بسیار زیادی در صنعت از **روش جوش مقاومت الکتریکی** استفاده می‌شود که دلیل اصلی این محبوبیت نیز به سرعت و دقت بالا در **جوش**

مقاومتی برمی گردد. از طرفی هزینه های اجرایی پایین و سادگی اجرا نیز استفاده از **روش های مختلف جوشکاری مقاومتی** را در صنعت بسیار شایع کرده است.

یکی از دلیل های دیگر پرکاربرد بودن این روش جوشکاری، این است که **جوشکاری مقاومت الکتریکی** دارای انواع مختلفی است که کاربرد های هر کدام از آنها نیز با توجه به **روش جوش مقاومتی** متغیر است. از مهم ترین و پر استفاده ترین انواع آن می توان به نمونه های نقطه ای، نواری، زائده ای ، فرکانس بالا و ... اشاره کرد. در ادامه این مقاله **انواع جوشکاری مقاومتی** را توضیح می دهیم و ویژگی ها و کاربرد هر کدام را نیز شرح می دهیم.

همین گستردگی و تنوع در روش ها باعث ایجاد مزایای مختلف و امتیازهای خاصی در هر روش خاص از **جوشکاری مقاومتی** می شود که آنها را تبدیل به گزینه ای جذاب، کاربردی، سریع و البته کم هزینه برای صنایع مختلف می کند.

مهم ترین **کاربرد های جوش مقاومتی** به صورت تیتروار عبارتند از:

جوشکاری ورقه های بدنه خودرو در صنعت خودرو سازی

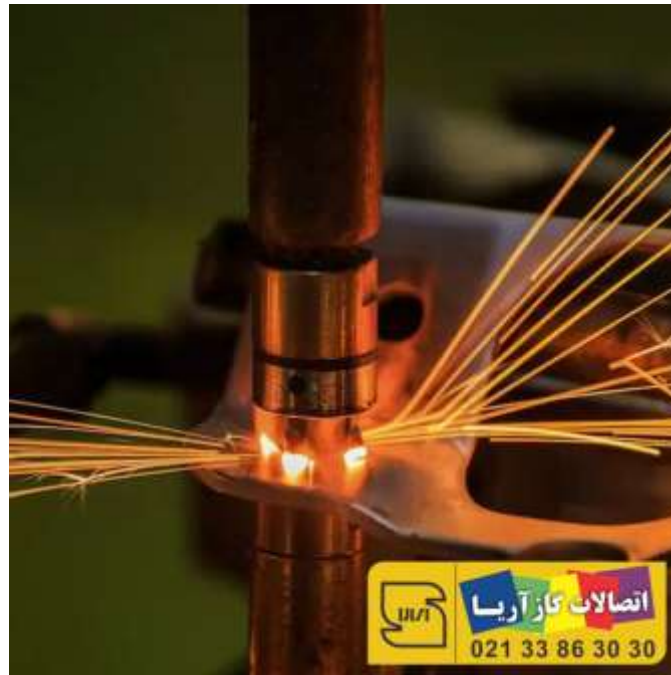
تولید مخازن تحت فشار

ساخت لوله های درز دار فلزی

چسباندن چسب های فلزی در دندانپزشکی

حالا وقت آن رسیده است تا با هر کدام از **روش های جوشکاری مقاومتی** بیشتر آشنا شویم و برای شروع به سراغ روش نقطه ای می رویم.

جوشکاری مقاومتی نقطه ای



جوشکاری مقاومتی نقطه ای یکی از انواع **جوش مقاومتی** است که از آن برای اتصال و جوش تعدادی ورق استفاده می شود. روش کار در **جوشکاری مقاومتی نقطه ای** به این صورت است که با اعمال گرما و فشار فرایند جوش انجام می شود.

مکانیزم **جوشکاری نقطه ای** به این صورت است که جریان برق و گرما به وسیله الکتروود های مسی، به سطح ورق های مورد نظر برای جوشکاری اعمال می شود. در ادامه مواد تا مرحله ذوب شدن پیش می روند و شرایط برای فرایند جوش آماده می شود. در این مرحله اتصال به وجود می آید و با شکل گیری اتصال اولیه جریان برق قطع می شود تا با اعمال فشار فرآیند اتصال تکمیل شود.

یک نکته مهم در مورد این روش این است که در این روش گرما و فشار در این روش توسط دو الکتروود مسی به نقطه مورد نظر اعمال می شوند و در واقع این دو الکتروود مسی باعث باعث می شوند تا جوش مقاومتی به وجود بیاید.

استفاده از مس به این دلیل است که فلز مس رسانای قوی است و گرمای بیشتری را منتقل می کند و دلیل این نامگذاری نیز به این خاطر است که جوش در نقطه های مشخص شده انجام می شود. این روش یکی از قدیمی ترین انواع **جوش مقاومتی** است که کاربرد گسترده ای دارد و سرعت و دقت کار نیز در آن بسیار بالا است.

کاربرد جوش مقاومتی نقطه ای



جوشکاری نقطه ای مقاومتی بخاطر سهولت استفاده و راحتی کار با آن در موارد مختلفی کاربرد و استفاده دارد و در این روش جوشکاری می توان از ربات نیز استفاده کرد. از مهم ترین **کاربرد های جوش مقاومتی** در صنایع گوناگون می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- صنعت اتومبیل سازی
- صنایع هوا و فضا
- صنعت راه آهن
- ساخت مخازن فلزی
- صنایع الکترونیک

مزایای جوشکاری مقاومتی نقطه ای

- مدت زمان کوتاه انجام فرایند جوشکاری و سریع بودن
- استفاده از الکترودهای غیر مصرفی و کاهش هزینه ها
- امنیت جوشکاری بالا بدلیل ولتاژ کم
- دوستدار محیط زیست و دارای خروجی جوشکاری تمیز
- اتصال الکترو مکانیکال با دوام و قابل اعتماد
- عدم وجود پاشش در فرآیند جوشکاری

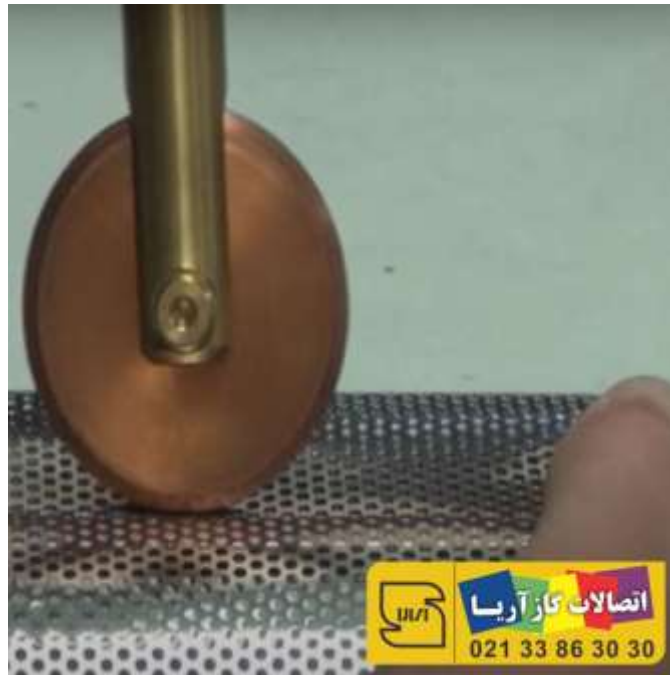
معایب جوشکاری مقاومتی نقطه ای

در این روش جوشکاری نیز مانند دیگر روش های جوش، معایب و محدودیت هایی در حین جوشکاری وجود دارد. **معایب جوشکاری مقاومتی نقطه ای** که در حین کار به وجود می آیند بسیار ناچیز هستند که حتی می توان از آنها چشم پوشی کرد، اما به صورت تیتروار به آنها می پردازیم:

- دسترسی کامل باید به هر دو الکتروده باشد.
- هر دستگاه، جوش مقاومتی با ضخامت خاص را انجام می دهد.
- اتصال و جوش فقط در نقطه تماس الکتروده با فلز انجام می شود.

- ظاهر جوشکاری مناسب نیست و ترکیب بدی دارد.
- اگر فشار کافی نباشد اتصال و جوش رخ نمی دهد.

جوشکاری مقاومتی نواری یا غلطکی



این روش در فرایند اتصال ورق ها به یکدیگر انجام می شود. در **جوش مقاومتی غلطکی یا نواری** مانند دیگر روش های **جوش مقاومت الکتریکی** از دو عامل مهم جریان برق و فشار مکانیکی برای جوش دادن استفاده می شود و الکتروود های آن نیز به شکل دیسک و غلطک می باشند که با انتقال جریان برق از غلطک ها به ورق های فلزی و سپس اعمال فشار به آنها، فرآیند جوشکاری انجام می شود.

مکانیزم کار و فرآیند **جوشکاری مقاومتی نواری** به این صورت است که لبه های ورق های فلزی از زیر غلطک ها - که همان الکتروود های مسی هستند - عبور می کنند و با اعمال گرمای بالا به وسیله جریان بالای برق باعث حالت ذوب شدگی در مواد می شوند.

پس از این مرحله توسط اعمال فشار با همان غلطک ها درز جوش به وجود می آید. این روش از جوشکاری بسیار پرکاربرد است و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد.

کاربرد جوشکاری مقاومتی نواری یا غلطکی

از روش جوشکاری نواری در صنایع مختلفی از جمله پتروشیمی و خودرو سازی استفاده می شود. یکی از عمده کاربرد های این روش از جوش مقاومتی برای ساخت مخزن های تحت فشار است و از دیگر کاربرد های آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ساخت تانکر های سوخت
- ساخت طبل های استیل
- ساخت سیستم اگزوز
- ساخت ترانسفورماتور های مخصوص یخچال ها مختلف
- ساخت مخازن تحت فشار در اندازه های مختلف

مزایای جوش مقاومتی نواری یا غلطکی

- سرعت بالای جوشکاری
- دستیابی به یک اتصال نشت ناپذیر
- استحکام بالا
- عدم پاشش جوش
- امکان جوشکاری به صورت اتوماتیک

معایب جوش مقاومتی نواری یا غلطکی

جوشکاری سخت در حالت های نواری و غیر صاف

عدم جوش مناسب در ورق های ضخیم

جوشکاری مقاومتی زائده ای

جوشکاری مقاومتی زائده ای یک از انواع جوش مقاومتی است که در آن روی یکی از قطعات اتصالی زائده هایی مانند پیچ و یا گل جوش قرار داده می شود و دلیل نام گذاری آن به این اسم نیز همین مورد است.

این کار به وسیله یک تفنگ جوشکاری (هفت تیر) انجام می شود. در طول فرآیند جوشکاری با عبور جریان الکتریکی و رسیدن گرما به این زائده ها، فرآیند ذوب اتفاق می افتد و در ادامه بر اثر فشاری که به ورقه ها وارد می شود، اتصال انجام می شود.

باید به این نکته نیز توجه داشت که ایجاد زائده ها به این دلیل است که جریان روی قسمت های برجسته شده و زائده ای شکل متمرکز شود تا اتصال در این نقاط به بهترین شکل انجام شود.

لازم به ذکر است که جوشکاری مقاومتی برجسته نیز در واقع همان جوشکاری مقاومتی زائده ای است.

کاربردهای جوشکاری مقاومتی زائده ای

این روش از جوشکاری با توجه به شکل خاص خودش، در برخی از صنایع کاربردهای گسترده ای دارد. جوشکاری مقاومتی زائده ای روشی است که به وسیله آن می توان اتصال های مقاومی را در قطعات مختلف به وجود آورد.

برخی از کاربرد های جوش مقاومتی زائده ای عبارتند از:

- صنایع خودروسازی

- برای ساخت درب و پوشش های فن
- برای ساخت قطعات کمپرسورها
- برای جوشکاری الماس

مزایای جوش مقاومتی زائده ای

جوشکاری مقاومتی زائده ای این امکان را به شما می دهد تا هنگام کار و استفاده از آن اتصال های دقیق و بسیار مناسبی را به وجود آورید که در نتیجه مقاومت بسیار بالایی را نیز ایجاد خواهند کرد. مهم ترین ویژگی ها و مزیت های این **روش جوشکاری مقاومتی** عبارتند از:

- صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی (برق)
- طول عمر بالای الکتروود های مصرفی در این روش
- امکان جوشکاری کردن در ضخامت های مختلف از فلز پایه
- ایجاد تعادل گرمایی
- سرعت بالا

معایب جوشکاری مقاومتی زائده ای

تمام **روش های جوش مقاومتی** دارای معایبی نیز هستند که در برابر ویژگی ها و مزیت های آنها ناچیز است. **جوشکاری مقاومتی زائده ای** نیز از این قائله مستثنی نیست. معایب کلی این **روش جوشکاری مقاومتی** عبارتند از:

- عدم استفاده در جوشکاری فلزاتی مانند مس و برنج
- زمان زیاد جهت ایجاد زائده
- برای هر نوع قطعه کاری نمیتوان آن را به کار برد

جوشکاری فرکانس بالا

جوشکاری فرکانس بالا فرآیندی است که در آن حرارت لازم برای ذوب سطوح اتصالی، 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 جریان پیدا می کند و از سطوح موازی مجاور نیز بازگشت جریان صورت می گیرد.

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.

در روش **جوشکاری فرکانس بالا**، جریان فرکانس بالا می تواند از طریق یک سیم پیچ (HFIW) یا تماس الکتریکی (HFRW) تامین شود. **جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا** در فرآیند **جوشکاری مقاومتی** فرکانس بالا القائی، جریان از طریق یک سیم پیچ به قطعه کار (معمولاً لوله یا تیوب) 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 متمرکز شده و باعث ذوب سطوح و در نتیجه اتصال آن می شود.

در برخی فلزات فعال، نیاز به یک گاز محافظ برای جلوگیری از اکسیداسیون منطقه جوش و HAZ نیز وجود دارد.

فرآیند مقاومتی در روش فرکانس بالا

جریان الکتریکی با فرکانس بالا (450kHz) توسط دو کفشک مخصوص، 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.

میزان و سرعت عملیات جوشکاری در روش فرکانس بالا بستگی به ضخامت و جنس مواد مورد جوش و پارامترهای فرآیند مختلف فرآیند جوشکاری دارد.

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

- 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.

معایب جوشکاری فرکانس بالا

- برای جوشکاری مقاومتی فرکانس بالا 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 فلزات مورد نظر باشد.

کاربردهای جوشکاری فرکانس بالا

بزرگترین استفاده از **جوشکاری HF** در ساخت تیوپ و لوله های درزدار است. این فرآیند برای ساخت انواع مشخصی از تیوپ های مبدل های حرارتی 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.

جمع بندی

همانطور که اشاره کردیم **جوشکاری مقاومتی** یکی از انواع روش های جوشکاری غیر ذوبی است که دارای روش ها و انواع مختلفی می باشد و کاربرد فراوانی دارد که در این مقاله به انواع آن، کاربرد ها و مزایای این نوع از جوشکاری پرداخته و به صورت کامل هر کدام را مورد بررسی قرار دادیم.

انعطاف و ویژگی های خاصی که در **جوشکاری مقاومتی** وجود دارد سبب شده تا این روش جوشکاری کاربرد گسترده ای در صنعت داشته باشد. با این حال فراموش نکنید که جوشکاری هر روز در حال پیشرفت است و روش های جدید تر و بهینه تر هر روز در حال جایگزینی با روش های قدیمی هستند، لذا بهتر است در این زمینه اطلاعات خودتان را همیشه آپدیت نگه دارید.