

# جوشکاری مقاومتی

---

مهندس مسعود ساری



آبان ماه ۹۵

۱	..... انواع جوشکاری
۱-۱	..... جوشکاری SMAW
۲-۱	..... جوشکاری TIG
۳-۱	..... جوشکاری MIG
۴-۱	..... جوشکاری MAG
۵-۱	..... جوشکاری PAW
۶-۱	..... جوشکاری SAW
۷-۱	..... جوشکاری FCAW
۵	..... جوشکاری مقاومتی
۱-۲	..... اصول اساسی جوشکاری مقاومتی
۲-۲	..... عملیات اساسی جوشکاری مقاومتی
۳-۲	..... انواع جوشکاریهای مقاومتی
۴-۲	..... اصول جوشکاری
۵-۲	..... نقطه جوش هفت تیری
۶-۲	..... دستگاههای نقطه جوش لحظه ای
۷-۲	..... اصول جوشکاری سر به سر فشاری
۸-۲	..... جوشکاری سر به سر لحظه ای
۹-۲	..... دستگاههای درز جوش
۱۰-۲	..... نقطه جوش برجسته

- ۱۱-۲ نقطه جوش خازنی ..... ۱۲
- ۱۲-۲ جوش مقاومتی به کمک ورقه نازک فلزی ..... ۱۳
- ۱۳-۲ جوشکاری مقاومتی با بافت فلزی ..... ۱۳
- ۱۴-۲ جوشکاری مقاومتی تصادمی ..... ۱۳
- ۱۵-۲ جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا ..... ۱۴
- ۱۶-۲ تنظیم کردن دستگاههای نقطه جوش ..... ۱۵
- ۱۷-۲ مروری بر نکات حفاظتی در جوشکاری مقاومتی ..... ۱۵
- ۳ دستگاهها و ملزومات جوشکاری مقاومتی ..... ۱۶**
- ۱-۳ دستگاههای جوشکاری مقاومتی ..... ۱۷
- ۲-۳ ترانسفورماتورها ..... ۱۸
- ۳-۳ الکتروود های مورد نیاز دستگاههای نقطه جوش ..... ۲۱
- 4 جوشکاری فرکانس بالا در تولید لوله های باز tube high frequency welding in open ..... ۲۲**
- ۱-۴ تئوری فرکانس بالا (high frequency theory) ..... ۲۳
- ۲-۴ چرا فرکانس بالا انتخاب می شود؟ ..... ۲۴

## ۱ انواع جوشکاری

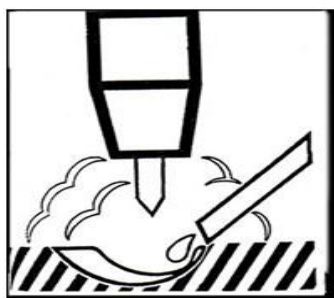
### ۱-۱ جوشکاری SMAW



این عبارت مخفف Metal Arc Welding Stick می‌باشد. این روش جوشکاری که معمول‌ترین نوع جوشکاری در ایران می‌باشد، توسط الکتروود کوتاه و روپوش دار انجام می‌شود که به آن الکتروود قلمی، قدی یا شاخه‌ای گفته می‌شود. طول این گونه الکتروودها عموماً ۱۵ الی ۴۵ سانتیمتر بوده اما جهت مصارف خاص طول‌های بلندتر نیز تولید می‌گردد. قطر الکتروود نیز تابع نیاز مصرف است، که از ۱/۵ میلیمتر تا ۶ میلیمتر مصرف عمومی دارد و گاهی برای مصارف خاص قطرهای دیگری نیز تولید می‌شود. این الکتروودها از دو قسمت متمایز تشکیل می‌شوند. یکی مغزی الکتروود که از نوعی فلز به شکل ROD است و دوم پوشش الکتروود که مخلوطی از مواد شیمیایی و معدنی است. روش جوشکاری در این نوع سیستم اکثراً دستی (Manual) است و گاهی نیز سیستم را تا حدی ماشینی می‌کنند و به دلیل اینکه الکتروود مداوم می‌بایست تعویض گردد ماشینی کردن این سیستم بطور کامل عملی نخواهد بود. در این نوع سیستم جوشکاری، الکتروود (بسته به نوع آن و نیز نوع دستگاه جوش مورد مصرف و جنس فلز پایه) به یکی از قطب‌های مثبت و یا منفی دستگاه جوش وصل شده و قطب دیگر نیز به قطعه وصل می‌شود و قوس الکتریکی میان الکتروود و قطعه کار توسط مالش الکتروود به قطعه کار ایجاد گشته، عمل جوشکاری انجام می‌گردد.

### ۲-۱ جوشکاری TIG

جوشکاری TIG مخفف Tungsten Inert Gas است.



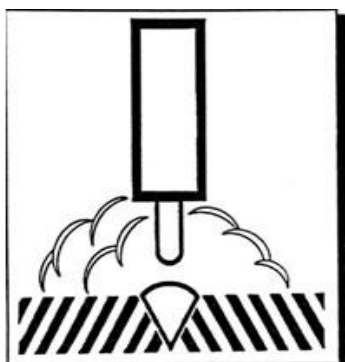
این روش به (Gas Tungsten Arc Welding GTAW) نیز مشهور می‌باشد. در کشورهای آلمانی زبان، بجای کلمه تنگستن از کلمه ولفرام Wolfram استفاده می‌شود و لذا جوش را WIG می‌نامند. در این روش جوشکاری یک قطب جریان، به قطعه کار وصل گردیده و قطب دیگر جریان به یک الکتروود مصرف نشدنی که همان تنگستن است، متصل می‌شود. تنگستن یا ولفرام یک فلز سخت با دمای ذوب حدود ۳۸۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. لذا الکتروود تنگستن بسیار دیر ذوب می‌گردد. قوس الکتریکی مابین الکتروود تنگستن و قطعه کار برقرار می‌شود و فضای قوس و الکتروود سرخ شده و حوضچه مذاب فلز پایه، بوسیله Inert Gas یا گاز خنثی در مقابل عوامل اتمسفریک خصوصاً ترکیب با اکسیژن محافظت می‌شوند. چرا که گاز خنثی با هیچ یک از عناصر میل ترکیبی ندارد

و به محض جاری شدن ، اکسیژن و هوای موجود در منطقه جوش را به کنار می‌راند . چون این گاز از اطراف الکتروود تنگستن و از داخل تورچ عبور می‌کند ، تا حدی نیز در خنک کردن تنگستن و تورچ موثر است.

گاز خنثی اکثراً آرگون است ولی گازهای هلیوم و نیتروژن نیز در بعضی موارد بسته به نوع کار مورد مصرف قرار می‌گیرند . در صورت نیاز به فلز پرکننده و یا Filler metal می‌توان سیم یا Wire Solid فلزی را توسط دست و یا ماشین به حوضچه مذاب هدایت کرد بدون اینکه جریان برق از سیم عبور کند. در صورتی که Solid Wire در طولهای کوتاه و مستقیم، مثلاً یک متری بریده شود به آن Filler Rod گفته می‌شود که معمولاً در جوشکاری‌های Manual یا دستی با سیستم TIG یا اکسی استیلن استفاده گردیده و یا بعنوان مغزی کاربرد دارد. این روش جوشکاری به شکل دستی، ماشینی و یا اتوماتیک قابل اجرا است.

### ۳-۱ جوشکاری MIG

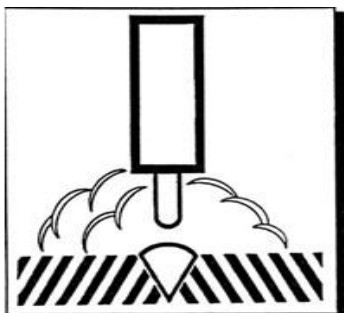
این عبارت مخفف Inert Gas Metal است .



این روش به (GMAW (Gas Metal Arc Welding) نیز شهرت دارد. در این روش جوشکاری یک قطب جریان به قطعه کار وصل گردیده و قطب دیگر یک سیم ذوب شونده است که آلیاژی نزدیک به آلیاژ فلز پایه دارد . سیم جوش یا Solid Wire، فلزی توپر است که به شکل ممتد و بدون پوشش پودری تولید می‌شود. این نوع سیم جوش به شکل قرقره، کویل، Reel و یا Drum، بسته‌بندی شده

و در سیستم‌های جوشکاری MIG، MAG، SAW و نیز در برخی موارد در جوشکاری ماشینی، بصورت TIG و پلاسما مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تولید بسیاری از این سیم جوش‌ها، از پوشش مس جهت هدایت بهتر جریان الکتریسته و نیز جلوگیری از زنگ زدگی سریع استفاده می‌گردد. این نوع جوشکاری بصورت دستی، نیمه اتوماتیک، ماشینی و اتوماتیک انجام می‌شود. حرکت سیم الکتروود بطرف قطعه کار و حوضچه جوش توسط دستگاه وایر فیدر انجام می‌شود که سیم را با سرعت مشخص توسط دو قرقره یا چهار قرقره بطرف حوضچه جوش و قطعه کار هدایت می‌کند. کلمه Metal در نام MIG به دلیل وجود این سیم ذوب شونده بوده که در واقع الکتروود جوش محسوب می‌گردد. گاز خنثی و غیر فعال یا Inert Gas، نقش حفاظت از حوضچه و قوس را همانند جوش TIG به عهده دارد. در این روش جوشکاری گاهی اوقات نیز از ترکیب گازهای خنثی با گازهای CO<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> (با درصد کم) جهت جوشکاری استفاده می‌شود.

#### ۴-۱ جوشکاری MAG



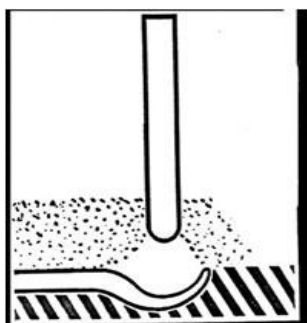
این عبارت مخفف Active Gas Metal است. جوشکاری MAG دقیقاً همان دستگاه و همان روش قبلی MIG است، با این تفاوت که بجای Inert Gas یا گاز خنثی از Active Gas یا گاز فعال استفاده شده است و لذا به نام MAG تبدیل شده است. گاز فعال گازی است که در واکنش حوضچه مذاب شرکت خواهد کرد. گاز جوشکاری MAG همان گاز  $\text{CO}_2$  است که غالباً جهت جوشکاری فولاد ساده یا کم آلیاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاز  $\text{CO}_2$  در قوس الکتریکی به گازهای  $\text{CO}$  و  $\text{O}_2$  تجزیه شده که گاز  $\text{CO}$  گاز خنثی و بی اثر بوده و نقش حفاظت از حوضچه جوش را به عهده می‌گیرد و  $\text{O}_2$  با عناصر اکسید شونده قوی مانند  $\text{Mn}$  و  $\text{Si}$  که در سیم جوش پایه قرار دارند ترکیب شده و بصورت سرباره‌ای بسیار نازک روی سطح جوش قرار می‌گیرد. در صنایع جوشکاری فعلی در سطح جهان، ترکیب گازهای خنثی و فعال بیشتر مورد استفاده واقع می‌شود. یکی از دیگر خواص گاز  $\text{CO}_2$  آن است که در مسیر حرکت خود شدیدا حرارت را جذب نموده و محیط را سرد می‌نماید. لذا گان و یا تورچ در جوشکاری MAG حتی تا ۴۰۰ آمپر به شکل سیستم خنک کننده با هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۵-۱ جوشکاری PAW



این عبارت مخفف Arc Welding Plasma است که در زبان فارسی جوشکاری پلاسما نامیده می‌شود. این روش بسیار شبیه به جوشکاری TIG است و در واقع نوع خاصی از جوش TIG می‌باشد. اگر در جوش TIG گاز یونیزه شده داخل قوس الکتریکی را که همان پلاسما نامیده می‌شود بصورت متمرکز شده استفاده کنیم، جوش TIG به جوش پلاسما تبدیل خواهد شد. در این روش توسط یک نازل جوشکاری مخصوص پلاسما، که می‌توان آنرا به یک عدسی تشبیه نمود، گازهای یونیزه شده را از داخل یک سوراخ و یا نازل به نحوی عبور می‌دهند که تمرکز انرژی بسیار بالا رود، درست همانطور که یک عدسی نورهای پراکنده را در کانون خود متمرکز می‌سازد. لذا دستگاه‌های جوش TIG قابل استفاده در جوشکاری پلاسما هستند و صرفاً به یک کنسول مخصوص جهت تنظیم گاز و یک تورچ مخصوص پلاسما، نیازمند می‌باشند. جوش پلاسما بر روی ورق‌های بسیار نازک و نیز ورق‌های بسیار ضخیم حتی تا یک اینچ و بدون پخ زدن لبه‌ها، خصوصاً در جوشکاری آلومینیم کاربردهای فراوانی دارد.

## ۶-۱ جوشکاری SAW



این عبارت مخفف Arc Welding Submerged است. این جوشکاری که بنام جوش زیر پودری در ایران شهرت دارد، یکی از مرسوم‌ترین روش‌های جوشکاری ماشینی در ایران می‌باشد. این روش به لحاظ سیستم کار، شبیه به جوشکاری MAG است با این تفاوت که بجای گاز محافظ از یک نوع پودر مخصوص جوشکاری و یا Flux استفاده می‌شود که خواص متعددی را جهت جوشکاری ایجاد می‌نماید.

## ۷-۱ جوشکاری FCAW



این عبارت مخفف Welding Flux Cored است. این نوع جوشکاری که با سیم توپودری انجام می‌شود بسیار شبیه به جوش MAG است با این تفاوت که بجای سیم Solid و توپیر از نوع خاصی سیم جوش که به شکل لوله توخالی بوده و داخل آن پودرهای خاصی قرار دارد، استفاده می‌گردد. این نوع سیم بنام‌های Tubular wire یا Flux Cored Wire و یا اسامی مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع خاصی از این سیم‌ها بدون استفاده از گاز محافظ کمکی، قادر به جوشکاری می‌باشد که بنام Inner Shielded Wire و یا گاهی و Self Shielded wire و یا

اسامی مشابه شناخته شده‌اند. در این نوع از سیم‌ها در واقع پودرهای داخل لوله پس از برقراری قوس جوش، گازهای مخصوص کنترل اتمسفر را متصاعد می‌کنند و عمل محافظت حوضچه جوش و قوس الکتریکی را بخوبی انجام می‌دهند. غیر از این نوع سیم‌ها بقیه انواع آن حتما نیاز به گاز محافظ خنثی و یا اکتیو و یا پودر جوش خواهند داشت. مولد جریان برق جوش قوس الکتریک جریان برق جوش قوسی، Arc Welding به روشهای زیر ایجاد می‌شود.

۱- دینامیک و یا متحرک که به آن دینامو یا Generator اطلاق می‌شود و در اثر چرخش یک مولد برق مورد نیاز جوش تامین می‌گردد. وسیله چرخش یا یک موتور الکتریکی است که مجموعه این موتور الکتریکی و ژنراتور جوش را بنام Motor Generator یا در ایران بنام دینام جوش می‌شناسند، که در سال‌های اخیر تولید این وسیله به دلایل اقتصادی و مصرف انرژی بالا کاهش یافته است. دومین وسیله چرخش ژنراتور موتور احتراقی دیزلی، بنزینی و یا گازی است که به مجموعه این موتور احتراقی و ژنراتور جوش، موتور

جوش گفته می‌شود. موتور جوش‌ها غالباً در مناطقی که دسترسی به الکتریسته امکان‌پذیر نباشد یا مشکلاتی در برداشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- استاتیک و یا ثابت که به آن ترانسفورماتور می‌گویند. ترانسفورماتور می‌تواند برق تک فاز یا سه فاز شهر را به برق ولتاژ پایین و آمپراژ بالا که مناسب جهت جوشکاری می‌باشد، تبدیل نماید. ولتاژ قوس مورد نیاز جوشکاری معمولاً از ۱۰ تا ۴۰ ولت بوده که عموماً در دستگاه‌های جوشکاری، جهت تامین این ولتاژ از ولتاژ بی‌باری بین فاصله ۵۰ تا ۹۰ ولت استفاده می‌شود.

برق تولید شده توسط ترانسفورماتور صرفاً برق AC با شکل موج سینوسی همانند برق شهر می‌باشد. برق AC توسط یکسو کننده ( Rectifier ) به برق ( DC ( Direct Current ) تبدیل می‌شود. جریان برق تولید شده توسط ژنراتور جوش هم می‌تواند AC باشد که سپس توسط دیود به DC تبدیل شود و هم می‌تواند مستقیماً DC باشد که در این حالت ساختمان ژنراتور جوش تغییر خواهد کرد. در سیستم‌های INVERTER که اخیراً در تولید دستگاه‌های جوش بتدریج جای خود را باز کرده است، نیز از ترانسفورماتور استفاده می‌شود لیکن با این تفاوت که با تغییر فرکانس و افزایش زیاد آن می‌توان ترانسفورماتور با حجم کمتری استفاده نمود. ذکر این نکته ضروری است که برق ورودی دستگاه‌های جوش یا تک فاز ( SinglePhase ) و یا سه فاز ( Three Phase ) می‌باشد. اصطلاح برق دو فاز که در ایران برای دستگاه‌ها بکار می‌رود در کارخانه سازنده دستگاه‌ها بکار نمی‌رود. تک فاز یا Single Phase در واقع دو خط برق است که ولتاژ مابین آنها باید مشخص شود. معمولاً در دستگاه‌های Single Phase کارخانه سازنده مشخص می‌کند که ولتاژ بین دو خط برق ۱۱۰، ۲۲۰، ۳۸۰، و یا ... می‌تواند باشد، لذا نمی‌بایست در مرحله اول با مشاهده تکفاز بودن دستگاه صرفاً تصور نمود نمی‌توان از دو خط فاز با ولتاژ ۳۸۰ استفاده نمود بلکه در بسیاری از موارد برای دستگاه‌های تکفاز، ولتاژ ۳۸۰ ولت توسط کارخانه سازنده دستگاه پیش بینی شده است.

## ۲ جوشکاری مقاومتی

کلیه جوش‌های مقاومتی بر این اساس استوارند که وقتی یک جریان الکتریکی بخواهد از فلزی عبور کند، مقاومت فلز در مقابل عبور جریان، آن را گرم می‌کند. با اعمال جریان کافی، دمای ایجاد شده در فلز به حدی می‌رسد که باعث ذوب آن گردیده و جوشکاری را ممکن می‌سازد.

اصطلاح " جوشکاری مقاومتی " شامل روش‌های گوناگونی بوده و تحت اسامی مختلفی از جمله جوشکاری سر به سر فشاری، سر به سر لحظه‌ای، درز جوش، نقطه جوش برجسته، نقطه جوش خازنی، جوش



مقاومتی از نوع پینی، جوش مقاومتی به کمک ورقه نازک فلزی، جوش مقاومتی با بافت فلزی، جوش مقاومتی تصادمی، جوش مقاومتی با فرکانس بالا و .... ارائه می‌گردد. برخی از این اسامی، نام‌های داده شده از طرف انجمن آمریکائی جوشکاری بوده و بقیه مربوط به اصطلاحاتی است که در کارگاه‌های جوشکاری به آنها داده شده است. جوشکاری مقاومتی مزایای گوناگونی دارد. در این روش عملیات به سرعت صورت پذیرفته، پیچیدگی فلز ناچیز بوده، مراحل به سادگی قابل کنترل است و جوش یکنواخت می‌باشد. این طریقه جوشکاری بخصوص برای انجام عملیات خودکار بسیار مناسب می‌باشد.

## ۱-۲ اصول اساسی جوشکاری مقاومتی

وقتی جریان الکتریکی از میان دو قطعه فلزی که به هم چسبیده‌اند عبور می‌کند، مقاومت زیاد موضعی موجب تولید گرمای فوق العاده زیادی می‌شود. اگر جریان کافی به کار رود، فلزات مورد استفاده ابتدا در حالت خمیری قرار گرفته و سپس ذوب می‌شوند. هنگامی که دو فلز در حالت خمیری یا مذاب قرار داشته باشند، به یکدیگر فشار داده شوند، دو قطعه درهم آمیخته شده و به صورت یک قطعه واحد در خواهند آمد. با توجه به اینکه دو قطعه مزبور نمی‌توانند در تماس کامل با یکدیگر قرار گیرند، قسمت‌هایی از دو فلز که سطوح تماس را تشکیل می‌دهند مقاومت زیادی از خود نشان داده و به همین لحاظ ابتدا این سطوح گرم شده و به بالاترین دمای ممکن دست می‌یابند. در زمانی که قطعات کار در حالت خمیری قرار دارند، به یکدیگر فشرده شده و همچنین تا کمی پس از قطع جریان و خنک شدن در همان وضع باقی بمانند، جوش خوبی عاید شده و با توجه به سرعت انجام این عمل، بسیاری از خواص فیزیکی آنها دست نخورده باقی خواهند ماند. اگر محل اتصال کاملاً پاکیزه باشد خواص فیزیکی جوش حاصل به خوبی هر روش دیگر جوشکاری خواهد بود.

دستگاهی که برای انجام جوشکاری مقاومتی بکار می‌رود در واقع یک ترانسفورماتور یا مبدل الکتریکی است که جریان متناوب کار می‌کند. برای اینکه این دستگاه بتواند عملیات جوشکاری را به خوبی انجام دهد، باید قادر باشد در یک ولتاژ نسبتاً کم، جریان فوق العاده زیادی را عرضه نماید. در این صورت معلوم است که تعداد حلقه‌های سیم پیچی اولیه این ترانسفورماتور باید به مراتب بیشتر از تعداد حلقه‌های ثانویه آن باشد. گاهی اوقات ثانویه این ترانسفورماتورها تنها از یک حلقه تشکیل می‌شود. در بعضی از دستگاه‌های نقطه جوش شبیه نوع " هفت تیری " سیم ثانویه بلند است و از دو یا سه حلقه تشکیل می‌گردد.

## ۲-۲ عملیات اساسی جوشکاری مقاومتی

کاربرد صحیح جوشکاری مقاومتی به عمل کرد مناسب و کنترل متغیرهای زیر بستگی دارد.

۱- جریان

۲- فشار

۳- زمان

۴- سطح تماس الکتروود

کلیه جوشکاری‌های مقاومتی به جریان کافی برای گرم کردن فلزات مورد نظر و همچنین رساندن آنها به حد خمیری‌شان، نیاز دارند. جریان جوشکاری مورد نظر را می‌توان با استفاده از قسمت کنترل جریان که بر روی دستگاه پیش‌بینی شده است، تنظیم نمود. در تهیه یک جوش مقاومتی به دو سری فشار نیاز داریم. فشار جوش و فشار چکشی، فشار جوش، فشاری است که الکتروودها در حین عبور جریان از منطقه مورد نظر بر قطعات کار وارد می‌کنند و آنها را در همان حال نگه می‌دارند. معمولاً به محض اینکه قطعات کار به حالت خمیری خود برسند، جریان جوشکاری قطع شده و در زیر فشار چکشی الکتروودها، قطعات مورد نظر به هم فشار داده می‌شوند. معمولاً اعمال این فشار تا زمان کوتاهی که در واقع زمان گرفتن (جامد شدن) جوش باشد ادامه خواهد داشت. پس از تکمیل جوش، فشار مزبور از روی الکتروودها برداشته شده و قطعه حاضر شده را خارج می‌کنند. در خلال هر سیکل جوشکاری، چه برای کار با ماشین‌های خودکار و چه برای جوشکاری با دستگاه‌های دستی، چهار فاصله زمانی را باید مد نظر داشت که عبارتند از

۱- زمان جوشکاری

۲- زمان فشرده شدن قطعات به یکدیگر

۳- زمان نگه داری قطعات

۴- زمان خاموشی

زمان جوشکاری به فاصله زمانی اطلاق می‌شود که جریان برق در مدار جاری باشد. زمان فشرده شدن قطعات به یکدیگر فاصله زمانی است که در اثر فشار الکتروودها قطعات به یکدیگر چسبیده‌اند. فاصله زمانی که در طی آن جوش در حال خنک شدن است، زمان نگه‌داری نامیده می‌شود. پس از این مرحله، فاصله زمانی بین آزاد شدن الکتروودها پس از خنک شدن جوش و آغاز سیکل بعدی، زمان خاموشی دستگاه نامیده می‌شود. اندازه جوش به وسیله مساحت در تماس نوک الکتروودها کنترل می‌شود. این مساحت را می‌توان متناسب با نیازهای هر کار و با استفاده از زوج الکتروودهای گوناگون به دلخواه تغییر داد. جوش‌ها به سرعت انجام شده و جوش حاصله بسیار تمیز و محکم می‌باشد. الکتروودها باید از فلزی که در مقابل سایش مقاوم بوده و از هدایت الکتریکی زیادی برخوردار باشند، انتخاب گردند. یکی از فلزاتی که هر دو خواص را دارا است بریلیموم می‌باشد. در اینجا نیز جوشکار باید از لوازم ایمنی مناسب مانند عینک، دستکش و روپوش استفاده نماید تا در مقابل جرقه‌هایی که به اطراف پاشیده می‌شوند در امان بماند. برخی از دستگاه‌های خودکار دارای حفاظی می‌باشند که منطقه جوش را در بر گرفته و پنجره‌ای در آن تعبیه شده که جوشکار را قادر به مشاهده محل جوش می‌نماید.

دستگاه‌های خودکار را معمولاً تکنیسین‌ها و مهندسين مجربي که در کارخانه سازنده دوره لازم را گذرانده‌اند تنظيم می‌نمایند.

در دستگاه‌های دستی یا غیر خودکار برای کنترل متغیرهای موجود تا حدود زیادی از وجود کارگر استفاده می‌کنند. در اینجا سطح تماس نوک الکتروود از اهمیت زیادی برخوردار بوده و اندازه الکتروودها، جریان، زمان و فشار توصیه شده برای ضخامت‌های مختلف و همچنین انواع گوناگون فلزات را کارخانه سازنده در اختیار می‌گذارند.

مسائل ویژه ای از قبیل اتصال دو فلز با ضخامت‌های مختلف به هم یا اتصال یک ورق فولادی به یک میل گرد و غیره به استعداد و مهارت و قوه ابتکار کارگر بستگی دارند.

## ۳-۲ انواع جوشکاری‌های مقاومتی

در عمل دستگاه‌های متعددی وجود دارند که همه بر پایه و اصول یاد شده عمل می‌کنند. در برخی از معمول-ترین این دستگاه‌ها نام برده شده اند.

۱- نقطه جوش ساده

۲- نقطه جوش هفت تیری

۳- نقطه جوش لحظه ای

۴- جوشکاری مقاومتی از نوع سر به سر فشاری

۵- جوشکاری مقاومتی از نوع سر به سر لحظه ای

۶- درز جوش

۷- نقطه جوش برجسته

۸- نقطه جوش خازنی

۹- جوش مقاومتی از نوع پینی

۱۰- جوش مقاومتی به کمک ورقه نازک فلزی

۱۱- جوش مقاومتی با بافت فلزی

۱۲- جوش مقاومتی تصادمی یا ضربتی

۱۳- جوش مقاومتی با فرکانس بالا

در واقع تمام این عملیات بر یک اساس پایه گذاری شده‌اند. آنچه که در تغییر است ساختمان این دستگاه‌ها و همچنین طرق مختلف آماده‌سازی فلزات می‌باشد.

یکی از راه‌های اتصال ورق‌های فلزی به هم، سوراخ کردن آنها و سپس استفاده از پیچ یا پرچ می‌باشد. راه دیگری که برای انجام این کار وجود دارد نقطه جوش کردن دو قطعه به هم است.

نقطه جوش در واقع جوشکاری مقاومتی دو قطعه فلز به هم است که در طی آن و با استفاده از یک قسمت مذاب، دو قطعه را به هم جوش می‌دهند. در این روش قسمتی از دو انتهای قطعات مورد نظر را بر روی هم قرار داده و آنها را بین دو فک الکترودها محکم نگه می‌دارند. در این هنگام از فاصله بین الکترودها یک جریان الکتریکی عبور داده می‌شود. بدیهی است که مقاومت ورق فلزی حبس شده بین الکترودها باعث گرم شدن آن شده و در اثر فشاری که الکترودها به فلز وارد می‌سازند، در آن محل مناطق مذاب در هم آمیخته می‌شوند. این روش در بسیاری از مراحل ساخت قطعات، چه به عنوان یک گام مقدماتی جهت انجام جوشکاری‌های بعدی و چه به عنوان یک عمل نهایی بسیار مرسوم و متداول می‌باشد.

برای راه انداختن یک دستگاه نقطه جوش دستی، کارگر باید الکترودها را تمیز کرده، جریان آب خنک کننده را برقرار ساخته، ترانسفورماتور متغیر را بر روی جریان صحیح تنظیم نمود و کلید دستگاه را در حالت روشن قرار دهد. اینک کارگر فلزاتی را که باید جوشکاری شوند بر روی الکتروود ثابت قرار داده و با فشردن اهرم پایی الکتروود متحرک حرکت کرده و دو قطعه مورد جوش را به هم می‌فشارد. در صورتی که فشار وارد به اهرم پایی اندکی دیگر ادامه یابد یک کلید الکتریکی که در اثر تغییر مکان اهرم و تنظیم کشش آن، فشار وارد به قطعات را در حین جوشکاری کنترل می‌کند. به مجرد اینکه کارگر حدس زد زمان لازم برای جوشکاری سپری شده است، فشار وارد بر اهرم پایی را کمی بیشتر کرده و اهرم آن را با پا به پایین‌ترین قسمت ممکن می‌رساند تا با باز کردن کلید الکتریکی موجبات قطع جریان را فراهم سازد. در این موقع کارگر پای خود را برای یک مدت کوتاه بر روی پدال نگه می‌دارد تا اندکی پس از قطع جریان و قبل از حذف فشار وارد به دو قطعه، قسمت در هم آمیخته شده خنک شده و منجمد گردد.

دستگاه‌های نقطه جوش به کمک وسایل مختلفی از جمله الکترومکانیکی، هیدرولیکی و پنوماتیکی موجبات حرکت الکتروود خود را تامین می‌نمایند. مدارهای الکتریکی، این دستگاه‌ها را با استفاده از مدارهای لامپی و نیمه هادی کنترل می‌نمایند.

امروزه دستگاه‌های خودکار زیادی ساخته شده است که همه این دستگاه‌ها از همین روش جوشکاری استفاده می‌نمایند.

دستگاه‌های نقطه جوش معمولاً دارای چندین سری الکتروود می‌باشند. اگرچه غالب دستگاه‌های که بیش از یک زوج الکتروود دارند معمولاً برای ساخت یک مقصود و هدف معین طراحی شده‌اند. ساخت بدنه اتومبیل مثال خوبی از کاربرد نقطه جوش در روش های تولید امروزی می باشد.

## ۵-۲ نقطه جوش هفت تیری

این دستگاه یک نمونه متحرک از دستگاه‌های نقطه جوش است که آن را به سادگی می توان جابه‌جا کرد و در وضعیتی قرار داد که بتوان سطوح نامنظم را جوشکاری کرد. استفاده از این نوع جوش در بسیاری از کارگاه‌های ورق کاری و تولید ساخت قطعات فلزی از جمله کارخانجات اتومبیل سازی بسیار مرسوم است. برای تغییر مکان الکتروودها معمولاً از روغن با فشار هوا ( هیدرولیکی یا پنوماتیکی) بهره می گیرند. زمان بندی، فشار و میزان جریان الکتریکی لازم معمولاً به وسیله تکنیسین یا مهندس مسئول صورت می گیرد. بنابراین کارگر فقط کافی است محل های مورد جوش را انتخاب کرده، الکتروود ثابت را در آن محل در زیر یکی از قطعات قرار داده و ماشه را بکشد. بقیه کارها را کنترل‌های اتوماتیک انجام می دهند. کارگر باید سعی کند که الکتروودها را همواره در وضعیت مناسبی نگه دارد. بهترین کار این است که گهگاهی نوک الکتروود را تعویض کنیم .

## ۶-۲ دستگاههای نقطه جوش لحظه ای

این دستگاه‌ها را بیشتر در مواردی که لازم است جریان کنترل شده بسیار دقیقی برای یک زمان بسیار کوتاه از مدار عبور کند به کار می‌برند. نقطه جوش لحظه‌ای را بیشتر برای جوشکاری آلومینیوم، آلیاژهای آن و همچنین نقطه جوش کردن فولاد ضد زنگ به کار می‌برند. مدت زمان عبور جریان الکتریکی از مدار این دستگاه‌ها آنقدر کوتاه است که فقط کنترل کننده‌های الکترونیکی قادر به انجام آن می‌باشند. در این روش گرم کردن و همچنین خنک کردن فلز آنقدر به سرعت صورت می‌گیرد که امکان وقوع عملیات حرارتی و همچنین بروز ضایعات ناشی از اکسیداسیون آن به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. بدنه این دستگاه‌ها معمولاً شبیه بدنه پرس‌ها بوده، به طریق پنوماتیکی به کار افتاده و با استفاده از مدارهای الکترونیکی کنترل می‌شود.

## ۷-۲ اصول جوشکاری سر به سر فشاری

در این روش قطعاتی را که قرار است به هم جوش شوند در دو فک مجزا قرار می‌دهند. سپس به یکدیگر نزدیک می‌کنند. در جوش سر به سر، پس از تماس دو قطعه، آنها را به یکدیگر فشار داده و سپس یک جریان الکتریکی را از یکی به دیگری جاری می‌سازند. در این موقع، در اثر وجود مقاومت الکتریکی در قطعات مورد جوش، سطح مقطع یا محل تماس دو قطعه آنقدر گرم می‌شود که آنها را در حالت مذاب به هم متصل نماید. چه در هنگام عبور جریان و چه تا مدت کوتاهی پس از قطع آن، هر دو قطعه به یکدیگر فشار وارد می‌کنند. بدیهی است که به مجرد ذوب شدن، در هم آمیخته شده و پس از خنک شدن به صورت یک قطعه واحد در می‌آیند.

در این فرآیند و در اثر فشاری که در خلال آن صورت می‌گیرد، دو فلز به طور درونی و ذاتی با یکدیگر ممزوج شده و در صورتیکه در آنها هر گونه ناخالصی وجود داشته باشد به خارج منطقه جوش هدایت گردیده و محدوده گرم شده به حداقل ممکن می‌رسد.

#### ۸-۲ جوشکاری سر به سر لحظه ای

این روش یکی دیگر از طرق جوشکاری مقاومتی است که در آن قطعات را لب به لب قرار داده و پس از اینکه هر دو قطعه به درجه حرارت خمیری خود رسیدند با اعمال فشار قابل ملاحظه‌ای آن را به هم می‌فشارند تا اتصال صورت گیرد. از این روش در بسیاری از کارهای تولیدی و علی‌الخصوص در اتصال میله‌ها و لوله‌ها به هم استفاده می‌کنند.

دو قطعه ای را که قرار است به هم جوش بدهند در گیره‌های مخصوص این دستگاه قرار می‌دهند. سپس قطعات را به هم نزدیک کرده و مقاومت آنها در مقابل عبور جریان الکتریکی باعث گرم شدن سطوح تماس‌شان می‌شود. به مجرد اینکه فلزات به نقطه ذوب خود نزدیک می‌شوند، جریان قطع شده ولی با اعمال یک فشار قابل ملاحظه سعی می‌کنند آنها را به هم نزدیک نمایند. در این هنگام است که فلز مذاب تحت فشار از خود جرقه‌هایی را به اطراف پراکنده می‌سازد. به محض اینکه با اندکی کاهش دما، فلز به حالت خمیری خود می‌رسد، دو قطعه را تحت فشار بسیار زیادی به هم می‌چسبانند، در خلال همین عملیات است که سرباره‌ها به خارج هدایت شده و یک جوش بسیار تمیز باقی می‌ماند.

#### ۹-۲ دستگاه‌های درز جوش

در بیشتر این دستگاه‌ها و با استفاده از دو الکتروود غلطکی، در نزدیکی کناره دو قطعه مورد جوش که به صورت روی هم قرار گرفته‌اند، یک خط ممتد یا مقطع جوشکاری می‌شود. همزمان با حرکت این غلطک‌ها بر روی فلزات مورد جوش، جریانی که از فاصله بین دو غلطک می‌گذرد باعث آن می‌شود که فلزات مورد جوش تا نقطه ذوب‌شان گرم گردند. این روش را می‌توان درز جوش مقاومتی نامید. دستگاه را می‌توان طوری تنظیم نمود که نقطه جوش‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک خط پیوسته را تشکیل دهند و یا طوری تنظیم را انجام داد که بین جوش‌ها فاصله ناچیزی باقی بماند. در اینجا بد نیست اشاره شود که در مورد اول یعنی حالتی که خط جوش به صورت پیوسته می‌باشد، هر نقطه جوش کاملاً در کنار نقطه جوش مجاور خود قرار ندارند بلکه قسمتی از سطح آن را می‌پوشاند. از این روش در بسیاری از اتصالات روی همی که قرار است در مقابل گاز یا مایعی آب بندی باشند، استفاده می‌نمایند.

از روش درز جوش روی هم منقطع برای اتصال دادن فلزاتی که در مقابل عملیات حرارتی وضعیت بحرانی دارند استفاده می‌کنند. یک روش درز جوش دیگر هم وجود دارد که درز جوش لب به لب نامیده می‌شود. در جوشکاری

درز طولی لوله ها از این طریقه استفاده می کنند. در اینجا دو غلطک با هم زاویه ای ساخته و همزمان با فشار آنها به لوله، لبه های لوله به یکدیگر چسبیده و جریان الکتریکی فلز را به حالت خمیری رسانده و امتزاج صورت می گیرد.

#### ۱۰-۲ نقطه جوش برجسته

این هم یکی دیگر از روش های نقطه جوش کردن قطعات است که در آن ، قبل از شروع کار در یکی از دو قطعه مورد جوشکاری برجستگی یا برآمدگی هایی ایجاد می کنند. برای این کار از سنبه و ماتریس های خاصی استفاده کرده و برجستگی ها را در محل دقیقی که از قبل مشخص شده اند ایجاد می کنند. سپس قطعه برجسته شده را بر روی قطعه دوم تکیه داده و آنها را تحت فشار قرار می دهند و در همین زمان جریان الکتریکی شدیدی را در مدار جاری می سازند. طبیعی است که جریان الکتریکی به جای اینکه از تمام سطح دو فلز عبور کند از محل تماس برجستگی های ورق اول که با ورق دوم در تماس است می گذرد و آن نقاط را آنقدر گرم می کند که عمل امتزاج صورت پذیرد .

یکی از محاسن این روش آن است که در این حالت نقطه جوش ها دقیقاً در نقاطی که از قبل تعیین شده صورت می گیرد. بعلاوه در آن واحد می توان چندین نقطه را جوش داد. هر چند که با توجه به ابزارهای لازم جهت انجام این روش می توان دریافت که اجرای آن فقط در مورد تولیدات زیاد مقرون به صرفه می باشد.

#### ۱۱-۲ نقطه جوش خازنی

نقطه جوش خازنی یکی دیگر از روش های مختلف اجرای جوش مقاومتی است که در واقع طریقه ویژه ای بوده و در حین انجام آن از حداکثر انرژی و حداقل زمان سود می جویند. معمول ترین راه این است که جریان الکتریکی قابل ملاحظه را در یک سری خازن ذخیره کرده و سپس این خازن ها را در الکترودها و بالطبع فلزات مورد جوش تخلیه می نمایند. در اینجا برای اینکه زمان عبور جریان از مدار به حداقل ممکن کاهش یابد از کنترل های الکترونیکی سود می جویند. بنابراین اگر در این روش ، مراحل عملیاتی به طور صحیح و مناسب صورت گیرند ، جوشکاری آنقدر به سرعت صورت می پذیرد که معمولاً پیچیدگی صفحات و آلودگی آنها به کلی حذف می شود. این روش در واقع فرآیندی است که به کمک آن می توان صفحات با قطرهای مختلف را با موفقیت به هم جوش داد. به علاوه با بهره گیری از این روش تقریباً می توان کلیه فلزات و آلیاژهای آنها را به هم جوش داد. یکی از کاربردهای وسیع این روش در اتصال قسمت های مختلف ساختمان داخلی موشک که باید از دقت فوق العاده زیادی برخوردار باشد ، است. شکل ظاهری این دستگاه بسیار شبیه نقطه جوش های معمولی است.

## ۱۲-۲ جوش مقاومتی به کمک ورقه نازک فلزی

این روش را باید در واقع یک روش انحصاری دانست. با وجودی که این روش یکی از روش های جوشکاری مقاومتی است ولی خصوصیات متعددی دارد که آن را از سایر روش ها متمایز می سازد. با استفاده از این فرایند می توان ورقه های فولادی را با روش لب به لب به هم جوش داد. برای اینکار ورق های مورد نظر را بین یک جفت الکتروود که در واقع غلطک های نورد مانند بزرگی هستند، قرار داده، بالا و پایین درز بین دو ورق را با یک لایه نازک از ورقی که از جنس خود صفحات مورد جوش است می پوشانند. به ضخامت این ورقه اضافه شده که در حدود ۰/۰۱ اینچ است. در این جا ورقه نازک مورد بحث علاقه زیادی به متمرکز کردن جریان جوشکاری در سطوح مجاور اتصال داشته و بر خلاف سایر روش های جوشکاری مقاومتی، جوش تمام شده گرده برجسته ای دارد. از این فرآیند در اتصال ورقه های فلزی جهت ساخت بدنه اتومبیل و موارد مشابه به این دلیل استفاده می کنند که این درزها را می توان به کمک فرآیندهای پرداخت کاری فلزی معمولی انجام داده و به هیچ لحیم یا ماده پر کننده اضافی نیازی نیست .

## ۱۳-۲ جوشکاری مقاومتی با بافت فلزی

یکی دیگر از روش های مختلف جوشکاری مقاومتی است که در آن دو قطعه کار را به صورت روی هم به یکدیگر تکیه می دهند. ورقه های بافت فلزی را با عملی شبیه نمد مالی از رشته های بسیار ریزی از فلز مورد نظر تهیه می کنند. ورقه های بافته شده شبیه پارچه های ضخیم نمدی می باشد. سپس نواری از این ورقه ها به اندازه دلخواه بریده و بین دو ورقی که قرار است به هم جوشکاری شوند قرار می دهند. این روش با بسیاری از عملیات جوشکاری مقاومتی قابل اجراست. بافت فلزی یاد شده را می توان با بافت مختلفی از جمله مس، برنج، نقره و یا آلیاژ دیگر تلفیق نمود. از یک چنین الیافی می توان جهت اتصال دو فلز با جنس های مختلف به هم استفاده نمود. مس را می توان به فولاد ضد زنگ متصل نمود و ساخت اتصالات مشابه دیگر نیز مقدور می باشد.

در این روش، الکتروودها به فشار کمتری نیاز دارند، زیرا مقاومت بافت فلزی مورد بحث در برابر جریان الکتریکی به مراتب بیشتر از خود فلزات بوده و به این لحاظ ابتدا آنها گرم شده و به دمای بالاتری می رسند . همین دمای بالا است که شرایط خوبی را برای ایجاد یک جوش مقاومتی مناسب فراهم می آورد. همچنین از آنجایی که در این روش الکتروودها فشار کمتری را به سطح قطعات کار وارد می آورند، سطوح تمام شده گودی و پستی و بلندی های کمتری دارد.

## ۱۴-۲ جوشکاری مقاومتی تصادمی

در این روش جوشکاری مقاومتی، در اثر یک تخلیه الکتریکی تمام سطوح فلزات مورد جوش گرم می شوند. بلافاصله پس از تخلیه الکتریکی بین سطوح مجاور ، عمل جوشکاری با اعمال یک نیروی زیاد و سریع که موجب تصادم دو قطعه می گردد.



در موقع کار، قطعات جوش دادنی را در فاصله ناچیزی از هم قرار داده و یکی از آن دو را به سمت دیگری حرکت می‌دهند. پس از اینکه کلیه سطوح دو قطعه تا دمای لازم جهت جوشکاری گرم شدند، ضربه ای به آنها وارد شده و دو قطعه را با شدت به هم می‌کوبد و عملیات تکمیل می‌شود.

در این روش جوش کاری از چهار نوع منبع تغذیه استفاده می‌کنند که عبارتند از

۱ - منبع خازنی با ولتاژ کم

۲ - منبع خازنی با ولتاژ زیاد

۳ - الکترومغناطیسی یا اندوکسیونی

۴ - ولتاژ متناوب کم که ولتاژ لازم برای جوشکاری را از یک ترانسفورماتور می‌گیرد.

قوس الکتریکی به وسیله فرکانس زیاد جریان مستقیم جوشکاری آغاز می‌شود. نیروی لازم برای ضربه زدن به صفحات کار را به وسیله سیلندر پنوماتیکی، الکترومغناطیسی، فنرها و یا حتی نیروی وزن قطعات سنگین (نیروی ثقل) تامین می‌کنند. در این روش پس از اتمام جوشکاری، فلزات کمی کوتاه‌تر از طول اول شان می‌شوند هر چند در مواردی که جریان جوشکاری به وسیله تخلیه یک خازن در مدار تامین می‌شود این کاهش قابل اغماض است.

#### ۱۵-۲ جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا

وقتی جریانی با فرکانس فوق العاده بالا از میان یک هادی عبور می‌کند، جریان الکتریکی، نزدیک یا کاملاً از کنار سطح خارجی آن رد شده و از تمام مغز آن جاری نمی‌شود. از این پدیده با فرکانس بالا، برای جوشکاری ورق هایی به ضخامت تا ۰/۰۴ اینچ استفاده می‌کنند. در این روش جوشکاری از جریاناتی با آمپراژ کم ولی با فرکانس فوق العاده زیاد مثلاً در حدود ۴۵۰۰۰۰ سیکل بر ثانیه استفاده می‌کنند. این فرکانس فوق العاده زیاد سطوح قطعات کار را گرم کرده و وقتی قطعات تحت تاثیر نیروی خارجی قرار می‌گیرند تا به هم بچسبند، سطوح متماس با امتزاج قابل توجهی به یکدیگر متصل می‌شود.

با استفاده از این روش، مس را به فولاد و آلیاژ فولاد را به فولاد نرم متصل می‌سازند. بد نیست اشاره شود که به کمک این روش و در زیر پوششی مملو از یک گاز خنثی می‌توان فلزات ناشناخته را نیز جوشکاری کرد.

دستگاه‌های الکترونیکی که برای کنترل و تنظیم این روش جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا به کار می‌روند فوق العاده پیچیده هستند و فقط با گذراندن یک دوره کار آموزی زیر نظر کارخانه سازنده می‌توان یک تکنیسین مجرب و کار آزموده شد تا بتوان از این دستگاه‌ها نگه داری کرده و در موقع لزوم آنها را تنظیم و سرویس نمود.

## ۱۶-۲ تنظیم کردن دستگاههای نقطه جوش

میزان نبودن نوک الکترودها، معیوب بودن ورق های مورد جوشکاری، گیره کردن نادرست و روش نامناسب جوشکاری که باعث بروز کمانش در قطعات کار شود. همگی از مواردی هستند که ممکن است به ایجاد تغییر شکل- های فیزیکی بیانجامند. در موقع بروز تغییر شکل های فیزیکی باید فاصله دست به کار شده و علت بروز آن را جستجو کرده و مرتفع نمود.

تنظیم نادرست کنترل ها، کوتاه بودن زمان فشار دادن قطعات به هم و نادرست بودن موقعیت قطعات نسبت به نوک الکترودها از معمول ترین دلایل سوراخ شدن قطعات کار و ایجاد حفره در آنها است. دیگر شرایط فیزیکی از قبیل وجود براده و گرد و غبار و غیره در روی سطوح متماس باعث تمرکز شدید جریان الکتریکی در آن مناطق می شود. در اینجا است که ظرفیت نامناسب فلز مورد جوش برای جذب یا هدایت آن جریان الکتریکی، باعث سوراخ شدن فلز می شود .

اگر سطح مقطع نوک الکترودها با هم موازی بوده ولی در یک راستا نباشند ، بدیهی است که مساحت موثر الکترودها به طور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت.

در اثر ناموازی بودن نوک الکترودها فشار اعمال شده و جریان جاری در مدار فقط به کسری از سطح نوک الکترودها وارد خواهد شد.

## ۱۷-۲ مروری بر نکات حفاظتی در جوشکاری مقاومتی

جوشکاری مقاومتی و دستگاه های آن را اگر به طور مناسب به کار برده شوند، یکی از بی خطرترین روش ها و دستگاه های جوشکاری می باشند. مهمترین خطرها را جرقه هایی که به اطراف پراکنده می شوند، شوک الکتریکی، اجسام تیز یا داغ و بالاخره قسمت های متحرک دستگاه، تشکیل می دهند.

به کلیه کارگرانی که با انواع دستگاه های جوشکاری مقاومتی کار می کنند. توصیه می شود که از ماسک یا عینک حفاظتی استفاده کنند. معمولاً از محل اتصالی که قرار است جوشکاری شود جرقه هایی به اطراف پراکنده می شود. پوشیدن لباس های حفاظتی مناسب نیز ضروری است.

ولتاژ جوشکاری در دو نوک الکترودها بسیار ناچیز است. سیم کشی مدار اولیه ترانسفورماتور دستگاه ها را فقط تکنیسین های کار آزموده باید بازرسی کنند. کلیه این دستگاه ها را باید به سیم اتصال زمین مجهز نمود. طبیعی است هر سطحی که باید جوشکاری شود خیلی داغ خواهد شد. اگر لازم است قطعه جوشکاری شده به محل دیگری برده شود کارگر باید حتماً از دستکش های چرمی یا پنبه نسوز استفاده کند. بعلاوه این دستکش ها دست کارگر را در مقابل لبه های تیز و غیره محافظت خواهند کرد.

بیشتر دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی برقی هستند. به این دلیل نیرو و فشار وارد به الکترودها ممکن است خیلی زیاد باشد. بنابراین اگر به دلیلی دست کارگر در موقع پایین آمدن الکترودها بین آنها گیر کند امکان وارد آمدن خسارات جانی وجود دارد. به این منظور از تدابیر ایمنی خاصی استفاده می‌کنند تا در موقع شروع به کار دستگاه هیچ قسمتی از بدن کارگر در معرض خطر نباشد.

### ۳ دستگاه‌ها و ملزومات جوشکاری مقاومتی

طراحی و ساخت دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی به ترکیبی از طراحی الکتریکی، ساختمان عمومی دستگاه، مکانیسم‌های آن و مدارهای کنترل کننده‌اش بستگی پیدا می‌کند. این دستگاه‌ها از مکانیسم‌های ساده تا دستگاه‌های بسیار پیچیده در دسترس می‌باشند.

اگر قرار باشد از جوشکاری مقاومتی نتیجه خوبی عاید شود لازمه‌اش وجود کنترلی دقیق بر هر سه متغیری است که در این روش وجود دارند.

انجمن سازندگان دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی (RWMA) و انجمن سازندگان دستگاه‌های الکتریکی ملی (NEMA) برای این دستگاه‌ها، استانداردهای خاصی تعیین نموده‌اند. با استفاده از همین استانداردها است که سازندگان اینگونه دستگاه‌ها به تولید و عرضه دستگاههایی با ظرفیت و دوام مشخص اقدام کنند. مهمترین لوازمی که در این دستگاه‌ها به مصرف می‌رسند عناصر مدارهای کنترل کننده الکترونیکی و الکترودها می‌باشند.

دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی را به طرق مختلفی تقسیم بندی می‌کنند. یکی از این راه‌ها بر طبق نوع اتصالی است که آن دستگاه می‌تواند تولید کند مانند اتصال لب به لب یا روی هم. دستگاه‌های ویژه اتصال روی هم را معمولاً طوری طراحی می‌کنند که قادر به ایجاد نقطه جوش ساده، درز جوش و نقطه جوش برجسته باشند، دستگاه‌های مخصوص اتصال لب به لب را طوری می‌سازند که با استفاده از آنها می‌توان جوش مقاومتی از نوع سر به سر لحظه ای یا سر به سر فشاری را انجام داد.

تقسیم بندی دیگر بر اساس نوع برق ورودی به دستگاه می‌باشد که عبارتند از:

۱- برق تک فاز معمولی

۲- برق سه فاز معمولی

۳- انرژی ذخیره شده

از این میان فقط دو روش اول و دوم که در واقع برق مورد نیاز دستگاه را مستقیماً از برق شهر تامین می- نمایند مرسوم تر و معمول تر می باشند.

### ۱-۳ دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی

از نظر طراحی، اغلب دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی بسیار شبیه هم می‌باشند. تنها چیزی که در این دستگاه‌ها تفاوت دارد وضعیت است که فلز در زیر دستگاه نگه داشته شده وضعیت الکترودها و بالاخره نمای ظاهری آنها می- باشد.

روش‌های به کار رفته جهت راه اندازی مکانیسم‌ها و همچنین روش‌های کنترل زمان‌های مختلف و دیگر عوامل جوشکاری نیز از جمله پارامترهایی هستند که در دستگاه‌های مختلف با هم تفاوت دارند.

به طور عموم این دستگاه‌ها را می توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود.

- ۱- دستگاه‌های با کنترل زمان و فشار الکتروود دستی یا غیر خودکار
- ۲- دستگاه‌هایی که زمان جوشکاری آنها به صورت دستی کنترل شده ولی فشار الکترودها را فشار روغن یا فشار هوای فشرده تامین می‌نماید. در این نوع دستگاه‌ها برای کنترل جریان روغن یا هوا، نیروی الکترودها و جریان برق سلونوئیدی الکتریکی استفاده می‌کنند.
- ۳- دستگاه‌هایی که زمان جوشکاری آنها به صورت خودکار کنترل شده و کنترل نیروی الکترودها و جریان برق به وسیله فشار هوای فشرده و یا سلونوئیدی الکتریکی صورت می‌پذیرد.

قسمت‌های مختلف دستگاه‌های دستی یا غیر خودکار عبارتند از

الف- بدنه

ب- ترانسفورماتور

ج- الکترودها یا بازوی جوشکاری

د- مکانیسم های راه اندازی و عمل کننده

ه- کلیدهای کنترل کننده

ترانسفورماتورهای مصرف شده در دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی ساختمان خاصی داشته و معمولاً دارای چندین انشعاب یا جای تنظیم می‌باشند. این ترانسفورماتورها ممکن است با هوا یا جریان آب خنک شوند. سیم پیچی ثانویه معمولاً از یک دور تشکیل شده و یا دارای چندین حلقه‌ی موازی می باشد. انتهای این حلقه‌ها را معمولاً به وسیله لحیم معمولی، و پیچ و مهره و یا لحیم سخت بازوهای الکترودها متصل می‌سازند.

بازوهای جوشکاری و مکانیسم‌های راه انداز دستگاه‌های مختلف با هم فرق دارند. هر چند که در مجموع کلیه دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی برای این کار از روش‌های مشابهی استفاده می‌کنند که عبارتند از

- ۱- بهره‌گیری از نیروی پا جهت فشردن قطعات مورد جوشکاری به هم
- ۲- استفاده از یک کلید با اهرم پایی که به یک الکتروود مغناطیسی مربوط است
- ۳- به کار بردن سیلندر های هیدرولیکی و پنوماتیکی

مکانیسم راه انداز همچنین کلید جریان جوشکاری را نیز به کار می‌اندازد. به مجرد عمل کرد مکانیسم، کلید که به موقعیت بازوهای در برگیرنده قطعه و الکتروودها بستگی دارد، جریان را قطع و وصل می‌کند. طبق دستورات شرکت برق، در موقع اتصال دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی به برق شهر، ضریب قدرت و سایر مشخصات دستگاه باید به طور کامل مورد بررسی قرار گیرند.

کلید دستگاه معمولی کنتاکت‌های مسی بزرگی دارد که آن‌ها را به سادگی می‌توان تمیز یا تعویض نمود. به منظور جبران سائیدگی و همچنین هماهنگ کردن زمان بندی جوشکاری با حرکت الکتروودها یا نوک آن‌ها، این کنتاکت‌ها قابل تنظیم می‌باشند.

قسمت‌های مختلف دستگاه‌های خودکار تفاوت‌چندانی با قسمت‌های مختلف دستگاه‌های دستی ندارد با این اختلاف که در مورد دستگاه‌های خودکار، حرکت بازوی الکتروودها و قطع و وصل کلیدها، همگی به صورت اتوماتیک صورت می‌گیرند. الکترومغناطیس‌های با زمان بندی خودکار، فشار روغن و فشار هوای فشرده کلیه عملیات لازم را به صورت اتوماتیک انجام می‌دهند. یکبار که یکی از این دستگاه‌ها را برای انجام یک کار مشخص تنظیم کنند، دیگر دخالت کارگر ضرورتی نداشته و دستگاه تقریباً تمام کارهای لازم جهت تولید یک جوش مشابه را به صورت خودکار انجام می‌دهد.

### ۲-۳ ترانسفورماتورها

دستگاه‌های جوش مقاومتی ترانسفورماتوری دارند که با برق شهر کار می‌کنند. وظیفه این ترانسفورماتور آن است که با استفاده از برق شهری که به ورودی آن داده می‌شود، در خروجی، جریانی با شدت بالا و ولتاژ کم را به نوک الکتروودهای دستگاه برساند. از آنجا که این ترانسفورماتورها ولتاژ برق را کاهش می‌دهند به آنها ترانسفورماتورهای کاهنده می‌گویند. برای مثال، اگر ضریب قدرت و راندمان ترانسفورماتوری ۱۰۰٪ فرض شوند، با استفاده از آن می‌توان ۲۰ آمپر برق ۱۱۵ ولت ورودی را به ۱۰۰ آمپر در ۲۳ ولت مبدل نمود و یا در صورتیکه ولتاژ خروجی ۲/۳ ولت کافی باشد، به جریانی معادل ۱۰۰۰ آمپر دسترسی پیدا نموده و یا اگر در مورد یک کار خاص ۰/۲۳ ولت اکتفا کند جریان موجود در خروجی ۱۰۰۰۰ آمپر خواهد بود. جریان جاری در مدار ثانویه دستگاه‌های

جوشکاری معمولاً در حدود ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ آمپر است و این در حالی است که ولتاژ مدار باز معمولاً در حدود ۱۰ ولت کاهش می‌یابد.

بیشتر ترانسفورماتورها به صورت نوبتی کار می‌کنند یعنی این ترانسفورماتورها جریان را فقط برای مدت زمان-های کوتاهی در مدار خروجی جاری می‌سازند. سیکل عملکرد یک ترانسفورماتور خارج قسمت زمان جاری بودن جریان به زمان خاموشی ترانسفورماتور است.

یکی از نکات جالبی که در برخی از دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی مشاهده شده این است که سیم پیچی اولیه، ثانویه و هسته برخی از ترانسفورماتورهای این دستگاه‌ها همزمان با عبور جریان نسبت به یکدیگر حرکت کرده و سپس متوقف می‌شوند. در یک طرح خوب ترانسفورماتور باید طوری ساخته شود که از ساییدگی عایق سیم‌های آن جلوگیری به عمل آید.

سیم پیچی ثانویه را معمولاً میله‌های نورد شده یا ریخته شده مسی تشکیل می‌دهند. گاهی اوقات با جوشکاری یا لحیم کاری لوله‌ها یا میله‌های مجوف مسی به سیم پیچی ثانویه، ترانسفورماتور را با عبور جریان آب خنک می‌شود.

دستگاه‌های کوچکتر با هوا خنک شده و به رادیاتور کمکی نیازی ندارند. هسته متورق این ترانسفورماتورها را معمولاً از فولاد آرام که در خود ۴٪ سیلیس دارد می‌سازند.

عایق سازی مدار اولیه باید طوری باشد که امکان وقوع هرگونه اتصال زمین تصادفی را از بین ببرد. در جدا ساختن (عایق سازی) سیم پیچی تسمه ای شکل مدار اولیه از حلقه‌های مجاور یا بدنه دستگاه باید دقت زیادی داشت.

ظرفیت ترانسفورماتورها با هم فرق می‌کنند. ظرفیت ترانسفورماتورها را معمولاً برحسب KVA می‌سنجند. KVA داده شده در واقع، ورودی یا قدرت داده شده به مدار اولیه می‌باشد. برای مثال در صورتی که جریان داده شده به یک مبدل ۴۳/۴۸ آمپر و ولتاژ ورودی ۲۳۰ ولت باشد.

$$230 * 43/48 = 10000/40 \# 10KAV$$

همان طوری که مشاهده می‌شود ترانسفورماتور از نوع KAV10 خواهد بود. سیکل عملکرد یک ترانسفورماتور جوشکاری معمولاً ۵۰٪ است. یعنی در هر دقیقه فقط در ۳۰ ثانیه آن می‌توان به طور واقعی جوشکاری کرد و یا در ۲۰ ثانیه فقط از ۱۰ ثانیه آن می‌توان جوشکاری نمود و یا خلاصه در هر مقطع زمانی دیگر لااقل معادل آن به دستگاه استراحت داده شود.

سیکل عملکرد از ۱٪ شروع شده و در دستگاه‌های مختلف ممکن است تا ۱۰۰٪ نیز برسد ولی حد متوسط و معمول آن ۵۰٪ می‌باشد. در صورتی که سیکل عملکرد بالا باشد برای اطمینان از ایجاد یک دمای مطمئن و بی‌خطر KVA مناسب برای سیکل عملکرد ۵۰٪ را مشخص می‌سازد.

برخلاف سایر ترانسفورماتورها که آنها را براساس خروجی شان مشخص می‌کنند، ترانسفورماتورهای جوشکاری را برحسب ورودی شان از یکدیگر متمایز می‌سازند، از آنجایی که متناسب با میزان هدایت الکتریکی، فلزی که قرار است جوشکاری شود، مدار الکتروود و عوامل دیگر، خروجی ترانسفورماتور تغییر می‌کند. سازنده دستگاه فقط ظرفیت مدار اولیه یا ورودی را مشخص می‌سازد.

فقط دستگاهی با KVA مجاز خودکار می‌کند که دمای آن در حدی که برای عایق‌های مصرف شده اش بی‌خطر است باقی بماند. وقتی از حد از حد KVA یا سیکل عملکرد داده شده تجاوز می‌شود، در اثر افزایش دما، بازده ترانسفورماتور به سرعت کاهش می‌یابد. در این حالت، حتی امکان شکسته شدن یک یا چند عایق نیز وجود دارد.

نقطه جوش‌های کوچک را ممکن است برحسب (VA ولت - آمپر) کنند. البته این حالت بیشتر در مواردی رخ می‌دهد که KVA به صورت اعشاری درآید مانند VA 300 که قرار باشد برحسب KVA درج شود به صورت 3/0 KVA در می‌آید.

برخی از دستگاه‌های جوشکاری مقاومتی بزرگ از ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده می‌کنند. اگر موردی پیش آید که ناچار شویم ضخامت فلز مورد جوش را افزایش دهیم، باید به خاطر داشت که جریان مورد نیاز برای جوشکاری این ضخامت جدید نیز افزایش می‌یابد. اگرچه باید توجه داشت که این افزایش جریان با افزایش ضخامت فلز تناسب ۱ به ۱ ندارد.

باید توجه داشت جریان جاری در مدار اولیه ترانسفورماتور مستقیماً از برق شهر گرفته می‌شود، لذا همواره تابع مشخصات الکتریکی برق شهر می‌باشد. برای مثال یک دستگاه KVA 100 ممکن است جریانی در حدود ۱۰۰۰ آمپر بکشد. در این صورت بررسی برق ورودی همواره یک امر ضروری است. به این ترتیب ۱۰٪ افت در ولتاژ خط ورودی ممکن است باعث ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش گرما در محل جوشکاری شود. لذا نباید فراموش کرد که اگر ولتاژ خط (ولتاژ ورودی) مرتباً تغییر کند، دستگاه‌های خودکار ممکن است جوش‌هایی تولید کنند که خارج از استانداردهای قابل قبول باشند.

الکترودهایی که در دستگاههای نقطه جوش به کار می‌روند در واقع هادی‌هایی هستند که جریان الکتریکی را به سطح فلزات جوش دادنی انتقال می‌دهند. این الکترودها باید شرایط خاصی را دارا باشند که عبارتند از

- ۱ - هادی خوبی برای جریان برق باشند.
- ۲ - هادی خوبی برای هدایت گرما باشند.
- ۳ - باید از سختی و استحکام مکانیکی خوبی برخوردار باشند.
- ۴ - باید از کمترین تمایل ممکن جهت ممزوج شدن با فلزات جوش دادنی برخوردار باشند.

مس خالص هدایت گرمایی و الکتریکی خوبی دارد، هر چند که نسبتاً نرم بوده و به خوبی ساییده نمی‌شود. همچنین با افزایش گرما، نرمی آن بیشتر هم می‌شود.

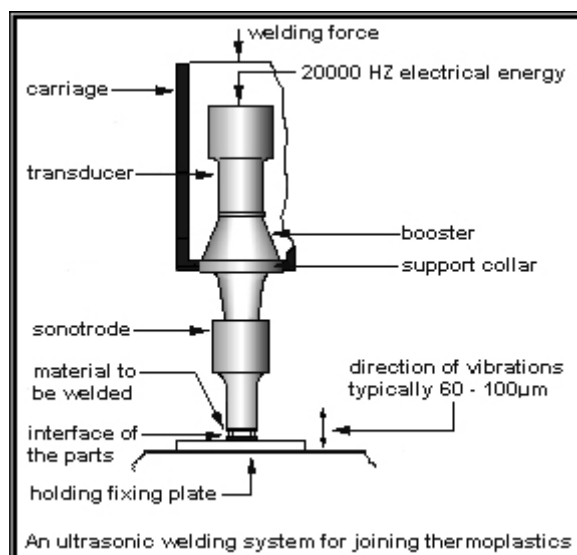
الکترودها باید هادی خوبی برای جریان برق باشند تا بدون اینکه بیش از حد مجاز گرم شوند، جریان الکتریسته را به سطح فلزات جوش دادنی انتقال دهند. در عین حال الکترودها باید هادی خوبی برای گرما باشند تا گرمای زیادی که در محل اتصال تولید کند، بدون اینکه دمای قطعه کار را تا حدود زیادی بالا ببرد، از نوک الکترودها به بدنه الکترودها هدایت شود.

طبق تقسیم بندی انجمن‌های مربوطه (منجمله RWAA و RWMA) مواردی که جهت ساخت الکترودهای دستگاههای جوشکاری مقاومتی به کار می‌روند به دو گروه و چندین طبقه تقسیم می‌شوند. این گروه‌ها عبارتند از گروه A و B.

گروه A الکترودهایی هستند که فلز اصلی آلیاژ آنها مس که هدایت الکتریکی و گرمایی خوبی داشته و همچنین سختی و سایش قابل توجهی را دارند، تشکیل می‌دهد.

جوش کاری فرکانس بالا یکی از انواع روش‌های جوش کاری مقاومتی می‌باشد که در آن انرژی گرمایی توسط مقاومت در برابر جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی تامین می‌شود. در این روش جریان الکتریکی متناوب و با فرکانس بالا می‌باشد. این نوع جوش امکان اتصال بخش گسترده‌ای از فلزات و حتی مواد دیگر مانند پلاستیک و ... را فراهم می‌کند. در زیر نمونه‌ای از این نوع جوش آورده شده است تا علاوه بر آشنایی با پارامترهای مهم در جوش کاری فرکانس بالا با یک روش کاربردی از این نوع جوشکاری نیز آشنا شویم.





شکل ۱- جوش دهنده ی الترا سونیک(فرا صوتی) یکی از روش های ایجاد کردن گرما استفاده از مقاومت جسم در برابر فرکانس های فرا صوتی

#### ۴ جوشکاری فرکانس بالا در تولید لوله های باز tube high frequency welding in open

جوش دهنده های سطح جامد می توانند با ۶۰ هرتز فرکانسهای بالا ایجاد کنند. این جوش دهنده ها با راندمان ۹۰٪ با تجهیزات لوله ی خلا با ماکزیمم راندمان ۶۵٪ مقایسه شده است. بهبودی طراحی جوش دهنده در بهترین حالت تا ۵٪ راندمان را افزایش می دهد. در مقابل، راندمان پروسه کمتر از ۲۰٪ است بنابراین افزایش راندمان می تواند راندمان پروسه را به طور چشم گیری افزایش دهد. اگر مقدار واقعی انرژی برای جوش 1.5mm ضخامت لب به لب فولاد را در طول ۱۰۰ متر در هر دقیقه آن کمتر از 0.2Kw خواهد شد. در صورتی که در هر نوع جوشکاری القایی شناخته شده این مقدار انرژی برابر 100Kw خواهد شد.

۴/۵٪ انرژی تولید شده توسط جوش دهنده از طریق گرم کردن مناطق غیر ضروری هدر می رود. بیشترین میزان هدر رفتن انرژی در پیچ، مانع و ریل های جوش و ماشین نگهدارنده لوله اتاق می افتد.

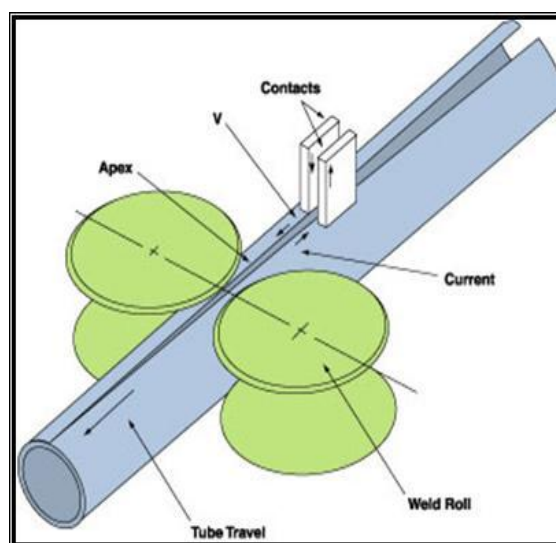
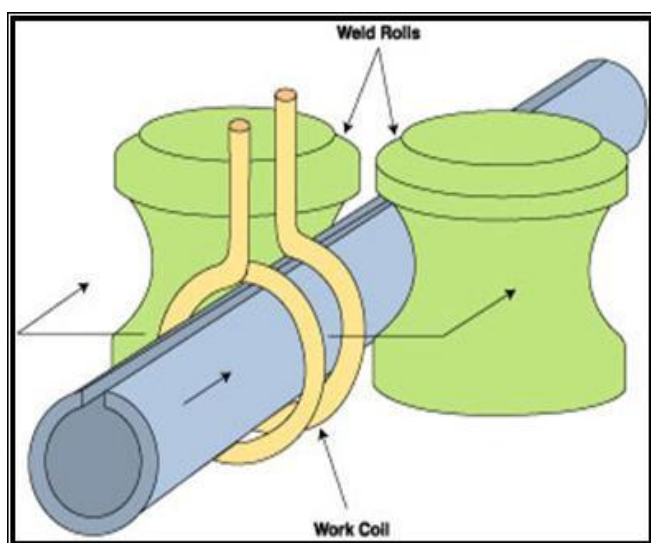
راه های کم کردن اتلاف انرژی نصب صحیح پیچ، مانع و ماشین لوله گیر است. جوشکاری لوله با فرکانس بالا یکی از رایج ترین پروسه های جوشکاری است. این روش حتی بدون وجود اطمینان از نصب صحیح تجهیزات می تواند اقتصادی باشد البته نصب صحیح تجهیزات می تواند در هزینه های مصرف انرژی صرفه جویی کند. در بسیاری از موارد مصرف انرژی می تواند تا ۵۰٪ به وسیله ی یک پروسه ی جوشکاری مناسب کاهش یابد.



شکل ۲ جوشکاری لوله باز به روش فرکانس بالا

#### ۱-۴ تئوری فرکانس بالا (high frequency theory)

جوشکاری فرکانس بالا (ERW) یکی از انواع جوشکاری مقاومتی الکتریکی است. ولتاژ به کار گرفته شده در این روش به دو صورت تماسی (HF contact) القایی (HF induction) به کار گرفته می‌شود. این ولتاژ در عرض لبه‌های باز لوله در نقاط پیش از نوک منطقه ی "V" شکل اعمال می‌شود.



شکل ۳ مقایسه ی نوع تماسی و القایی

این ولتاژ، جریانی ایجاد می‌کند که در طی لبه‌ها جایی که نقاط دو لبه به هم می‌رسند شارش پیدا می‌کند و به سرعت گرمای زیادی را ایجاد می‌کند.

چرخ‌های جوش (weld rolls) با فشار زیاد، دو لبه‌ی گرم شده را به هم می‌فشارد و با لغزش لوله در چرخ‌های جوش لبه‌ها مانند یک انتشار زنجیر وار به هم متصل می‌شوند. این فشار، فلز ذوب شده و آلودگی‌های سطحی را از محل اتصال پاک می‌کند. این نوع جوش یکی از مستحکم‌ترین ساختارهای جوشی ممکن می‌باشد.

تنها تفاوت موجود بین جوشکاری فرکانس بالای برخوردی و جوشکاری فرکانس بالای القایی این است که در نوع برخوردی، ولتاژ مستقیماً به لبه‌های شکاف، به وسیله لغزش در تماس‌ها اعمال می‌شود در صورتی که در نوع القایی ولتاژ به وسیله یک جریان القایی محاطی ناشی از پیچ‌ها القا می‌شود.

هر دو روش مزایا و معایبی دارند ولی به طور کلی در جوش القایی قطعه صاف‌تر، با جوش بیشتر ولی با راندمان و ارزش پایین‌تر تولید می‌شود. در شکل دو نوع تماسی و القایی نشان داده شده است.

#### ۲-۴ چرا فرکانس بالا انتخاب می‌شود؟

اگر ما فرکانس 60Hz را به کار ببریم، نیرو به هر دو لبه‌های اتصال (محل‌های اتصال) همانند شکل (1-a) اعمال می‌شود و بیشترین جریان در سطح بیرونی لوله شارش می‌یابد و کل لوله را گرم می‌کند.

جریان همیشه در جایی که مقاومت ظاهری (impedance) کمتری داشته باشد جاری می‌شود. (نه حتماً مقاومت اصلی (resistance)).

مقاومت اصلی و مقاومت ظاهری در جریان DC و یا جریان AC با فرکانس پایین خیلی شبیه هم هستند. توضیح فنی این که در فرکانس پایین مقاومت ظاهری به وسیله اجزای مقاومتی خود حکفرما می‌گردد. وقتی فرکانس افزایش پیدا کرد، میدان مغناطیسی حاصل از جریان رفت و برگشتی تغییر می‌کند و واکنش القایی، فاکتور اصلی در تعیین مقاومت ظاهری می‌شود.

راه‌های اصلی جریان در دو راه در طول شکاف لبه‌ها از ابتدای شکاف به سمت نوک V می‌باشد و یک راه فرعی جریان هم در اطراف محیط دایره لوله وجود دارد که به عنوان القا کننده رفتار می‌کند. القا با فرکانس نسبت مستقیم دارد. به هر حال اثر فرکانس روی جریان گذرنده از پیچ بسیار مسلم است.

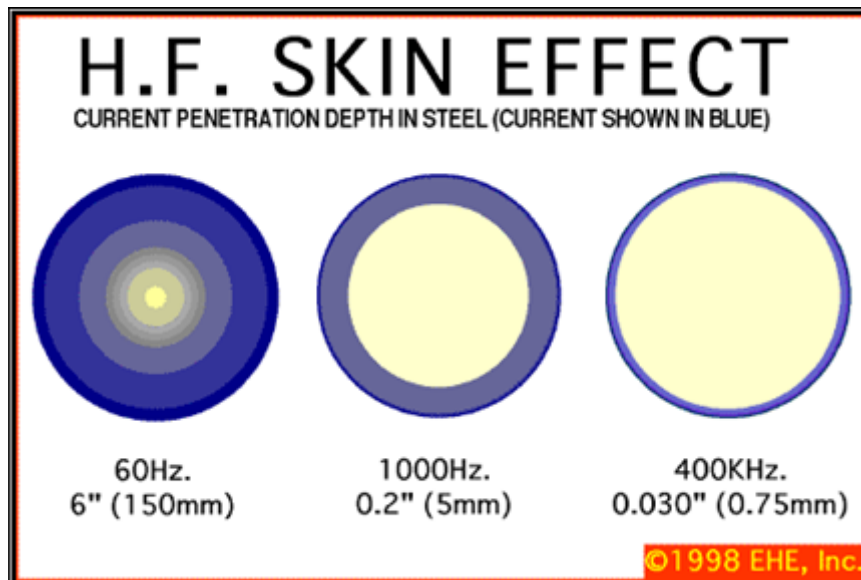
دلیل دیگر استفاده از فرکانس بالاتر این است که در مورد جوش القایی کوچک نگه داشتن اندازه پیچه مطلوب است. شکل پیچه و لوله دقیقا مثل یک مبدل (transformer) است. پیچه وزش ابتدایی را ایجاد می کند و لوله یک چرخش ثانویه را ایجاد می کند.

مقدار نیرویی که می تواند در یک مبدل ایجاد شود به پایداری جریان مغناطیسی و سرعتی که در جریان مغناطیسی تغییر ایجاد می شود (به خاطر اعمال فرکانس) بستگی دارد.

با وجود فرکانس بالاتر جریان مغناطیسی پایین تری نیاز است. کم شدن جریان مغناطیسی باعث کم شدن تعداد دور و جریان در پیچه می شود.

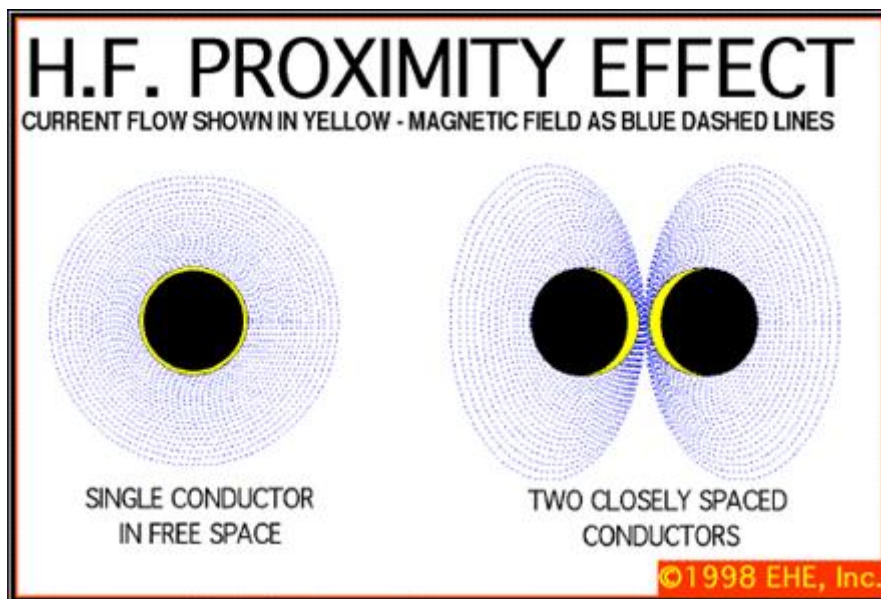
اگر جوش لوله در فرکانس 60Hz ممکن باشد، انجام این کار نیاز به صدها دور سیم در پیچه و همچنین عبور هزاران آمپر از آن دارد اما یک پیچه جوش کاری معمولی ۱ تا ۳ دور گردش دارد و حداکثر چند صد آمپر را حمل می کند.

فرکانس های بالاتر همچنین روی جریان عبوری در  $\gamma$  اثر می گذارند. با افزایش فرکانس، جریان به لبه های شکاف متمرکزتر می شود. اثر پوسته ای (skin effect) است که باعث می شود جریان روی سطح راه نماها جاری شود (مطابق شکل ۴).



شکل ۴ اثر پوسته ای

آثار مجاورتی است که ( proximity effect ) باعث می شود جریان روی راهنماهای مجاور بر روی صفحات مجاور متمرکز شود (مطابق شکل ۵).



شکل ۵ آثار مجاورتی

هر دو این آثار از تداخل یا واکنش بین میدان های مغناطیسی مرتبط با شارش جریان در پیچه ناشی می شوند. ترکیب این دو اثر باعث گرم شدن مقدار فلز کمتر، استفاده از جریان کمتر و در نتیجه افزایش راندمان جوش می شود.