

خم کاری ورق

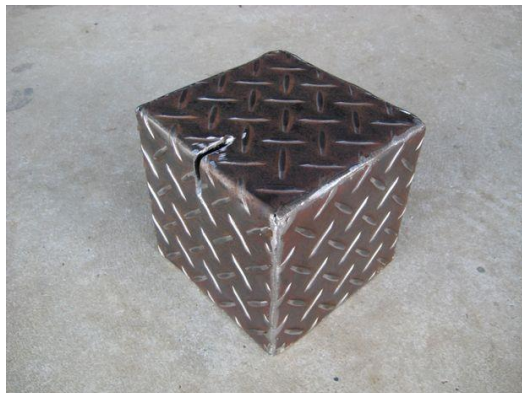
مقدمه

خم کاری یکی از روش های تولید قطعات مختلف در صنعت به حساب می آید که معمولا در کنار فرآیند جوشکاری منجر به تولید محصول نهایی می شود. برای مثال در فرآیند تولید لوله های درز دار از خم کاری به علاوه ی جوشکاری استفاده می شود. ترتیب کار به این صورت است که ابتدا یک ورق با ضخامت مشخص توسط دستگاه خم شده و به شکل U در می آید. در ادامه با خم کاری مضاعف به O تبدیل می شود و درز آن توسط فرآیند جوشکاری بسته می گردد. شکل 1 این موضوع را نشان می دهد.



شکل 1. لوله ی درز دار

برای ساخت جعبه ها نیز یکی از روش های مرسوم خم کاری به همراه جوشکاری است. در صورتی که بخواهیم یک جعبه ی بسیار ساده ی مکعبی داشته باشیم می توان تعدادی ورق با ابعاد مشخص را برداشت و با ایجاد جوش های خطی بین ورق ها آن ها را به هم متصل کرد. در واقع بدون آن که عملیات خم کاری روی ورق ها انجام دهیم صرفا با جوشکاری ورق ها، جعبه تولید شده است. شکل 2 این موضوع را نشان می دهد.



شکل 2. جعبه ی مکعبی ساده که به روش جوشکاری ورق تولید شده است

اما در صورتی که بخواهیم جعبه های پیچیده تر تولید کنیم باید عملیات خم کاری نیز وارد شود. در واقع در این روش ابتدا ورق ها در محل های مختلف به میزان مشخصی خم می شوند و در برخی قسمت ها با هم همپوشانی پیدا می کنند. در قسمت های همپوشانی، با استفاده از جوش های مقاومتی نقطه ای عمل اتصال دهی انجام می شود. در جلسات خم کاری کارگاه تخصصی جوش، هدف ما تولید جعبه با استفاده از روش خم کاری به علاوه ی جوشکاری مقاومتی نقطه ای است. برای آن که بتوانیم جعبه درست

کنیم باید با نقشه خوانی، ابزار رسم نقشه روی ورق، ابزار برش ورق، دستگاه های خم کاری ورق، سوراخ کاری و جوشکاری مقاومتی نقطه ای آشنا شویم.

نقشه خوانی

عملیات خم کاری و برش کاری بر روی ورق های فولادی طبق یک نقشه انجام می شود. این نقشه باید روی ورق پیاده شود. برای خواندن نقشه باید با زبان نقشه آشنا باشیم. در نقشه اطلاعات ابعادی قطعه ای که قرار است ساخته شود آمده است و خطوط مختلف موجود در نقشه هر کدام معنای خاصی دارند که در ادامه به آن می پردازیم.

خط منقطع درشت: در هر قسمتی از نقشه که این خط کشیده شده باشد باید عملیات برش کاری انجام شود.

خط منقطع باریک: در هر قسمتی از نقشه که این خط کشیده شده باشد باید عملیات خم کاری انجام شود.

دایره ی توخالی: این بدان معنا است که باید در این قسمت سوراخ کاری انجام شود.

نمونه ای از نقشه هایی که در کارگاه مورد استفاده قرار می گیرد در شکل 3 آمده است.

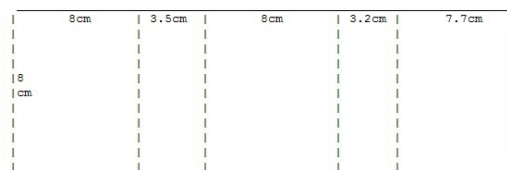


FIGURE 1

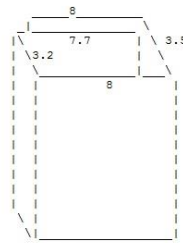


FIGURE 2

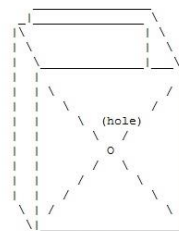


FIGURE 3

شکل 3. نقشه ی خم کاری

ابزار و طریقه ی رسم نقشه روی ورق

همان طور که گفته شد باید ابتدا نقشه روی ورق پیاده شود. برای کشیدن نقشه روی ورق نمی توان از خودکار یا مداد استفاده کرد. بنابراین باید از یک ابزار مخصوص به نام سوزن خط کش استفاده کرد. این ابزار شبیه خودکار است با این تفاوت که نوک آن فلزی و تیز است. با کشیدن آن روی ورق، خراش ایجاد می شود و اثر آن روی ورق می افتد. به این ترتیب می توانیم نقشه را بر روی ورق پیاده کنیم. شکل 4 سوزن خط کش را نشان می دهد.



شکل 4. سوزن خط کش

بنابراین ابتدا ابعاد را از روی نقشه می خوانیم. سپس با استفاده از خط کش و سوزن خط کش نقشه را بر روی ورق پیاده می کنیم.

ابزار و طریقه برش کاری

پس از آن که نقشه بر روی ورق پیاده شد، باید در قسمت های که نیاز به برش کاری وجود دارد عملیات برش انجام شود. چون در کارگاه ورق هایی که مورد استفاده قرار می گیرند عمدتاً ضخامت کمتر از 1 میلی متر دارند بنابراین از قیچی ورق بر برای بریدن ورق ها استفاده می شود. شکل 5 قیچی ورق بر را نمایش می دهد.



شکل 5. قیچی ورق بر

به طور کلی روش های دیگری نیز برای برش کاری ورق ها وجود دارند که به برخی از آن ها از جمله: کاتر، اره لنگ، اره نواری و گیوتین می توان اشاره کرد. نکته ی کلیدی در انتخاب روش برش کاری ضخامت قطعات است. زمانی که ضخامت خیلی زیاد می شود بیشتر سراغ اره نواری و گیوتین می رویم و در ضخامت های بسیار کم از قیچی ورق بر استفاده می شود.

ابزار و طریقه خم کاری ورق

مطابق با نقشه، برخی از قسمت ها باید خم شوند. در خم کاری باید ترتیب خم کاری رعایت شود در غیر این صورت نمی توان برخی از قسمت ها را خم کرد. برای خم کاری از دو دستگاه استفاده می شود. یک دستگاه صرفاً می تواند لبه های طولی را خم کند. زمانی که این لبه ها خم شدند امکان آن که قطعه دوباره وارد دستگاه خم کاری شود نیست. در واقع برای خم کردن لبه های عرضی ورق ها باید به سراغ دستگاه دوم برویم. نکته ی مهم دیگر درباره ی خم کاری مربوط به زاویه ی آن است. در این کارگاه تمامی خم ها 90 درجه هستند. دستگاه بر روی زاویه ی 92 درجه تنظیم شده و زمانی که زاویه به 92 رسید اهرم دیگر بالاتر نمی آید. علت آن

که 2 درجه بیشتر گرفته ایم آن است که فولاد مقداری خاصیت فنری دارد و به محض بار برداری به اندازه ی 2 درجه بر می گردد و خم 90 درجه حاصل می شود.

سوراخ کاری با مته

همان طور که گفته شد در نقشه قسمت هایی که به صورت دایره ی توخالی هستند باید توسط مته سوراخ شوند. دستگاه سوراخ کاری با مته در شکل 6 نمایش داده شده است.



شکل 6. دستگاه سوراخ کاری با مته

در صورتی که ورق را زیر مته قرار دهیم ممکن است مته روی ورق حرکت کند و دقیقا همان محلی که مد نظر ما است سوراخ نشود. لذا قبل از سوراخ کاری توسط مته باید ابتدا توسط سنبه یک فرورفتگی در محل سوراخ کاری ایجاد کنیم. برای این منظور ورق را روی سندان قرار می دهیم و با چکش به پشت سنبه ضربه وارد می کنیم تا روی ورق اثر ایجاد کند. در این حالت زمانی که ورق را زیر مته قرار می دهیم، مته همان قسمت را سوراخ می کند. شکل های 7 و 8 به ترتیب سنبه و سندان را نمایش می دهند.



شکل 7. سنبه



شکل 8. سندان

در سوراخ کاری با مته، باید با مفهوم شماره مته نیز آشنا باشیم. برای مثال منظور از مته ی 4، مته ای است که سوراخ 4 میلی متری ایجاد می کند. همین موضوع برای اعداد دیگر نیز صادق است.

برای چکش زدن به پشت سنبه از چکش فلزی استفاده می شود. اما علاوه بر این چکش ها، یک سری چکش با سر پلاستیکی نیز در کارگاه مورد استفاده قرار می گیرند. هدف از استفاده از این چکش ها آن است که در مواردی که ورق کج شده با ضربه زدن بر روی آن ورق را صاف کنیم. در صورتی که برای صاف کردن ورق از چکش فلزی استفاده شود، سطح ورق را خراب می کند. چکش های فلزی و پلاستیکی در شکل 9 آمده اند.



شکل 9. چکش های پلاستیکی و فولادی

بنابراین با استفاده از برش کاری، سوراخ کاری و خم کاری موفق به تولید اشکال خمیده ی مجزایی می شویم که باید توسط جوشکاری مقاومتی نقطه ای به هم متصل شوند.

مبانی جوشکاری مقاومتی نقطه ای

فلزات در برابر عبور جریان الکتریسته از خود مقاومت نشان می دهند. این مقاومت منجر به تولید حرارت در قطعه می شود که از رابطه ی $Q=RI^2t$ به دست می آید. در این رابطه R مقاومت در برابر عبور جریان، I جریان عبوری، t مدت زمان عبور جریان و Q مقدار حرارت تولید شده است. در هر قسمتی که مقاومت در برابر عبور جریان بیشتر باشد، حرارت بیشتری تولید می شود و در همان

کارگاه تخصصی جوش- خم کاری ورق

قسمت مذاب تشکیل می شود. در ادامه اثبات خواهیم کرد که این مذاب در فصل مشترک دو ورق ایجاد می شود و در نتیجه ی تشکیل مذاب بر موانع اتصال غلبه می شود.

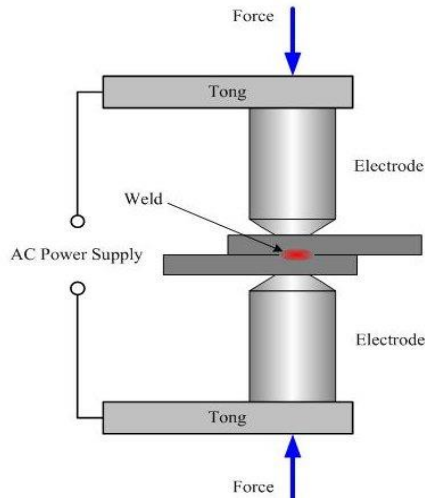
تصویر دستگاه جوشکاری مقاومتی نقطه ای در شکل 10 آمده است. همان طور که می بینیم دستگاه دارای دو الکترود از جنس آلیاژ مس است که یکی به قطب مثبت و دیگری به قطب منفی وصل شده است. علت آن که از آلیاژ مس استفاده شده آن است مس مقاومت بسیار کمی در برابر عبور جریان از خود نشان می دهد و در نتیجه الکترود ها خودشان گرم یا ذوب نمی شوند. از طرفی الکترود ها مجهز به سیستم آبگرد هم هستند که اجازه ی افزایش دما و گرم شدن الکترود های مسی را نمی دهد. دستگاه دارای قسمتی است که شدت جریان و مدت زمان عبور جریان در آن مشخص می شود. سپس با فشار پدال پایی، الکترود ها به پایین حرکت کرده و گیرش بین الکترود ها و ورق اتفاق می افتد. نیروی اعمالی توسط الکترود ها با قطعات قابل تنظیم است. در صورتی که پدال پایی را بیشتر به پایین فشار دهیم، جریان در مدت زمان مشخص از نمونه عبور می کند و اتصال دهی انجام می شود.



شکل 10. دستگاه جوشکاری مقاومتی نقطه ای

شماتیک نمونه هایی که مابین الکترود ها قرار می گیرند و محل تشکیل مذاب (دکمه جوش) در شکل 11 آمده است.

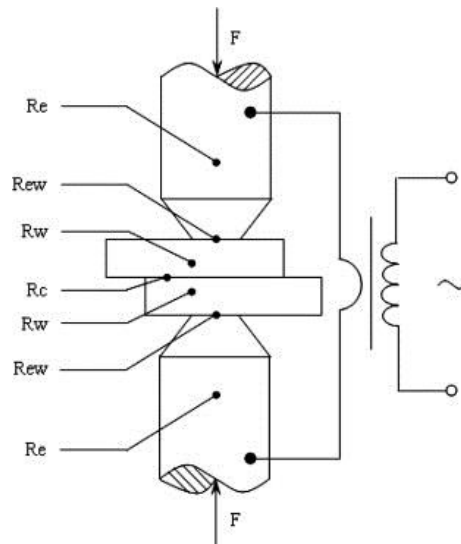
کارگاه تخصصی جوش- خم کاری ورق



شکل 11. شماتیک جوشکاری مقاومتی نقطه ای

انواع مقاومت ها

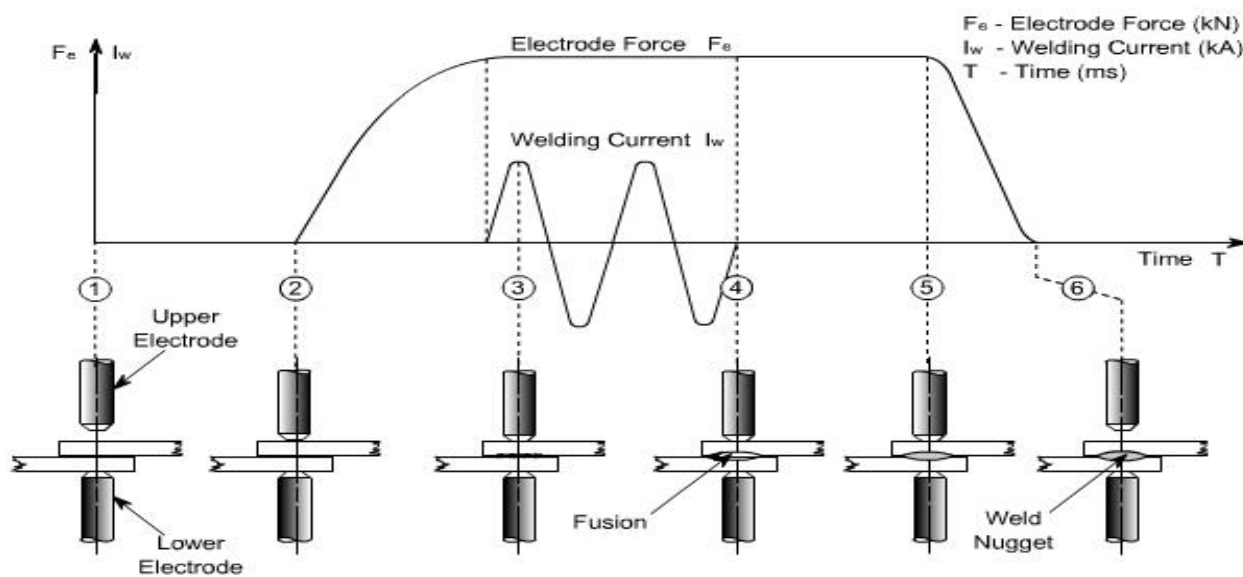
به طور کلی در فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای دو نوع مقاومت می توان تعریف کرد: 1- مقاومت بالکی 2- مقاومت فصل مشترکی. منظور از مقاومت بالکی مقاومت یک ماده در برابر عبور جریان است و منظور از مقاومت فصل مشترکی، مقاومت فصل مشترک دو ماده ی هم جنس یا غیر هم جنس در برابر عبور جریان است. به طور کلی مقاومت های فصل مشترکی از مقاومت های بالکی بزرگ تر هستند. دلیل این موضوع آن است که در فصل مشترک دو قطعه سطح اتصال بسیار کوچک است و مابین دو نمونه در بسیاری از قسمت ها هوا وجود دارد. از طرفی در قسمت هایی هم که اتصال وجود دارد فلز با فلز در تماس نیست بلکه اکسید فلز با اکسید فلز در تماس است (زیرا فلزات در دمای اتاق دارای لایه ی اکسیدی روی سطح خود هستند). حال به دلیل حضور این اکسید ها و به دلیل آن که سطح تماس بسیار کوچک است ($R = \frac{\rho L}{A}$)، مقاومت در فصل مشترک بسیار بالا می باشد. حال با احتساب این موضوع به شکل 12 توجه کنید. با توجه به این شکل در مسیر عبور جریان 7 مقاومت وجود دارد که شامل دو مقاومت بالکی مربوط به الکترودها (R_e)، دو مقاومت بالکی مربوط به قطعات (R_w)، دو مقاومت فصل مشترکی بین الکترودها و قطعه کار (R_{ew}) و یک مقاومت فصل مشترکی بین دو قطعه کار (R_c) می شود. این 7 مقاومت به صورت سری قرار گرفته اند پس جریان عبوری از همه یکسان است. از طرفی مدت زمان عبور جریان هم که یکسان است، پس حرارت تولیدی در محلی بیشتر است که مقاومت حرارتی بالاتری داشته باشد. با توجه به این که مقاومت های فصل مشترکی بیشتر از بالکی هستند، پس حرارت تولیدی در آن ها بیشتر است. بنابراین حرارت تولیدی در فصل مشترک دو قطعه، و در فصل مشترک الکترودها و قطعه زیاد است. حال برای آن که بفهمیم در کجا ذوب تشکیل می شود باید علاوه بر حرارت تولیدی به حرارت تلف شده هم توجه کنیم. حرارتی که ناشی از مقاومت در برابر عبور جریان تولید می شود، توسط الکترودها تلف می شود. در واقع الکترودها به دلیل آن که سیستم آبگرد دارند، دمای نسبتا پایینی داشته و انتقال حرارت از جایی که دمای بالاتر دارد به جایی که دمای پایین تر دارد انجام می شود. بنابراین به جای آن که حرارت تولیدی صرف ذوب کردن شود توسط الکترودها تلف می شود. حال درست است که حرارت تولیدی در فصل مشترک الکترودها و قطعه بالا است، ولی اتلاف حرارتی نیز بالا می باشد. فصل مشترک دو قطعه کار جایی است که به دلیل بالا بودن مقاومت، حرارت بسیاری تولید می شود و به دلیل فاصله داشتن با الکترودهای مسی با سیستم آبگرد، حرارت کمتری تلف می شود. بنابراین در فصل مشترک دو قطعه ذوب تشکیل می گردد.



شکل 12. مقاومت های بالکی و فصل مشترکی در برابر عبور جریان

سیکل نیرو و جریان

قبل از جوشکاری روی دستگاه مقدار شدت جریان، زمان و نیروی اعمالی توسط الکترودها تنظیم می شود. حال با فشار دادن پدال پایینی، الکترودها روی قطعات قرار گرفته و به تدریج نیروی وارده به نیروی اسمی می رسد. با فشار بیشتر پدال پایینی جریان برقرار می شود و در مدت زمان مشخص از نمونه عبور می کند. پس از اتمام این زمان، باید اجازه دهیم نمونه تحت نیرو باقی بماند زیرا در صورتی که نیرو را برداریم دو ورق از هم فاصله می گیرند و در جوش تخلخل به وجود می آید. پس باید اجازه دهیم تحت نیرو، ابتدا مذاب جامد شود سپس نیرو را برداریم. پس تا مدتی پس از جوشکاری پای خود را روی پدال نگه می داریم و در نهایت به آرامی پدال را آزاد می کنیم. سیکل نیرو و جریان گفته شده در شکل 13 آمده است.



شکل 13. سیکل نیرو و جریان اعمالی

زمان و جریان جوشکاری

با توجه به رابطه ای که برای یافتن میزان حرارت تولید شده ناشی از عبور جریان گفته شد، با افزایش هم شدت جریان و هم زمان، حرارت تولیدی افزایش می یابد اما اثر جریان بسیار بیشتر از زمان است زیرا در رابطه به صورت توان دوم وارد شده است. به طور کلی زمان و جریان باید به گونه ای انتخاب شوند که در فصل مشترک دو قطعه یک دکمه ی جوش با قطر کافی تشکیل شود. در فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای جریان را کیلو آمپر و زمان را در حد دهم ثانیه در نظر می گیرند. جریان مصرفی حین جوشکاری از نوع AC است و مدت زمان عبور جریان بر اساس سیکل تعیین می شود. برای تبدیل سیکل به ثانیه از فرکانس برق شهری استفاده می شود.

سوال) در یک فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه ای بر روی دستگاه عدد 40 سیکل برای مدت زمان جوشکاری انتخاب شده است. زمان را بر حسب ثانیه بیابید.

جواب) فرکانس برق شهری در ایران 50 هرتز است. بنابراین 50/40 ثانیه زمان عبور جریان می شود.

سوال) برای جوشکاری مقاومتی نقطه ای دو قطعه ی روی هم، حرارت تولیدی $q=2400Rj$ بوده و در فصل مشترک ذوب رخ داده است. آیا می توان گفت در صورتی که حرارت تولیدی $q=3000Rj$ باشد حتما ذوب در فصل مشترک دو قطعه تشکیل می شود؟

جواب) دقت داشته باشید که آن چیزی که تعیین می کند ذوب تشکیل شود یا نه صرفا حرارت تولیدی نیست. در واقع ما یک حرارت تولیدی داریم و یک حرارت تلف شده که تفاضل آن ها تعیین کننده ی میزان حرارتی است که صرف ذوب می شود. حرارت اتلافی وابسته به ضریب رسانایی حرارتی ماده، ضخامت قطعه و الکتروود های مسی است. در صورتی که ضریب رسانایی بالا باشد باید در زمان کوتاه، جریان زیادی به قطعه بدهیم تا فرصت انتقال حرارت پیدا نکند و حرارت تلف نشود و صرف ذوب قطعه گردد. حال زمانی که $Q=3000Rj$ داریم، ممکن است زمان خیلی زیاد بوده و شدت جریان خیلی کم باشد. در این حالت ذوب رخ نمی دهد زیرا پیش از آن که صرف غلبه بر گرمای نهان ذوب و تشکیل مذاب شود، توسط قطعه مکش می گردد.

قطر دکمه مناسب

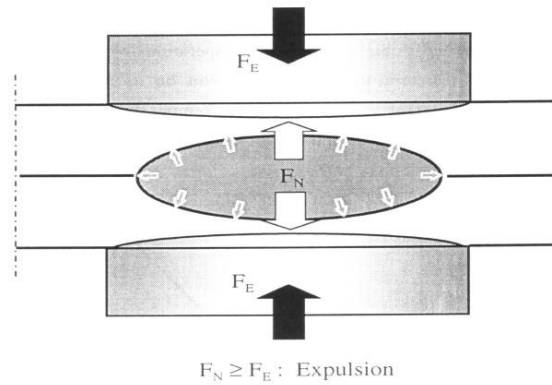
طبق استاندارد های مختلف اعداد مختلفی گزارش شده ولی برای فولاد های معمولی حدود $d=4\sqrt{t}$ است که در آن t ضخامت قطعه و d قطر دکمه ی جوش است. یعنی برای یک قطعه ی 1 میلی متری، قطر دکمه ی مناسب حدود 4 میلی متر است.

بیرون زدن مذاب

تبدیل جامد به مذاب با افزایش حجم همراه است. بنابراین یک نیرو تحت عنوان نیروی ناگت (دکمه ی جوش) می توان تعریف کرد که بر خلاف نیروی الکتروود است. در صورتی که این نیرو از نیروی الکتروود بیشتر شود بیرون زدگی مذاب رخ می دهد. بیرون زدگی خیلی کم مذاب مشکلی ندارد و از نظر خواص مکانیکی خوب هم هست. اما اگر زیاد باشد، مذاب دو ورق را از هم دور می کند و مذاب فصل مشترک خارج می شود. این موضوع منجر به ایجاد تخلخل و کاهش خواص مکانیکی در جوش می شود. شماتیک نیروی مذاب در برابر نیروی الکتروود در شکل 14 آمده است.

کارگاه تخصصی جوش- خم کاری ورق

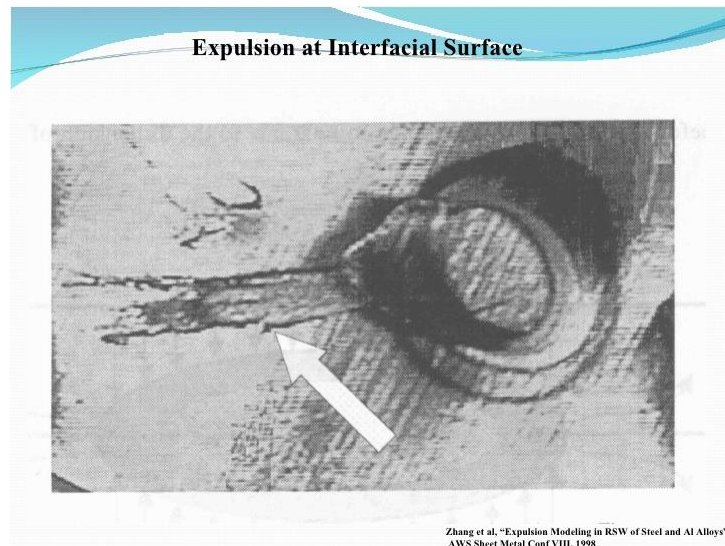
$$P_{total} = P_{melt} + P_{expansion} + P_{vapour} + P_{lubricant}$$



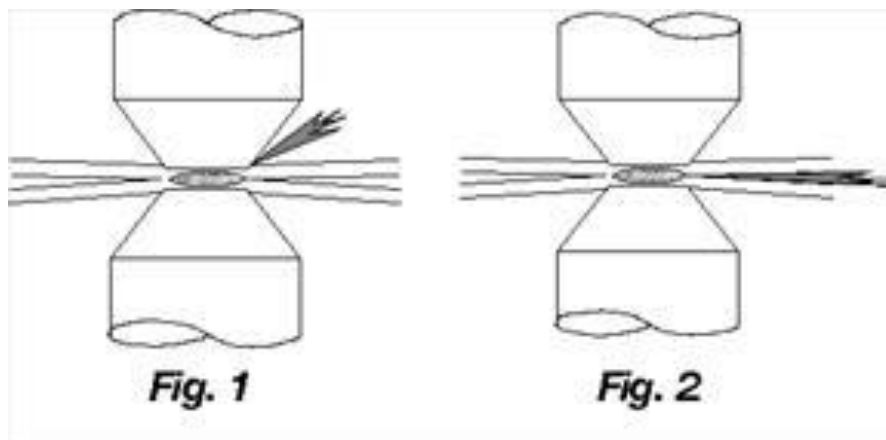
Zhang et al., "Expulsion Modeling in RSW of Steel and Al Alloys",
AWS Sheet Metal Conf VIII, 1998

شکل 14. علل بیرون زدگی مذاب

با توجه به آن چه گفته شد، در صورتی که نیروی الکتروود کم باشد یا حجم مذاب زیاد باشد این موضوع رخ می دهد. زمانی که نیرو الکتروود کم است، نیروی ناگت به آن غلبه کرده و بیرون زدگی رخ می دهد و در صورتی که حجم مذاب خیلی زیاد باشد باز نیروی ناگت بر نیروی الکتروود غالب است. بیرون زدگی مذاب حتی می تواند بین الکتروود و قطعه کار هم رخ دهد. شکل 15 و 16 به ترتیب بیرون زدگی مذاب بین دو قطعه و بین قطعه و الکتروود را نشان می دهند.



شکل 15. بیرون زدگی مذاب بین دو ورق



شکل 16. شماتیک بیرون زدگی بین دو قطعه و بین قطعه و الکتروود

سوال) در صورتی که نیروی نگهدارنده ی اعمالی توسط الکتروود ها خیلی زیاد یا خیلی کم باشد چه اتفاقاتی رخ می دهد؟

جواب)

خیلی زیاد: مذاب ایجاد نمی شود. در واقع در این حالت در فصل مشترک دو قطعه سطح تماس افزایش می یابد و مقاومت فصل مشترکی به شدت کم می شود. پس مذاب تشکیل نمی شود.

زیاد: در صورتی که نیرو زیاد باشد در محل تماس الکتروود و قطعه فرورفتگی ایجاد می شود.

کم: بیرون زدگی مذاب رخ می دهد. در واقع نیروی ناگت بر نیروی الکتروود غالب شده و بیرون زدگی رخ می دهد.

خیلی کم: مذاب تشکیل نمی شود. زیرا در این حالت اصلا دو قطعه روی هم قرار نمی گیرند. بنابراین مابین آن ها هوا وجود دارد که چون عایق است اجازه ی عبور جریان نمی دهد. بنابراین جریان عبوری صفر و حرارتی تولید نمی شود. پس مذاب تشکیل نمی گردد.

سوال) در صورتی که جریان جوشکاری خیلی کم یا خیلی زیاد باشد چه مشکلی پیش می آید؟

جواب)

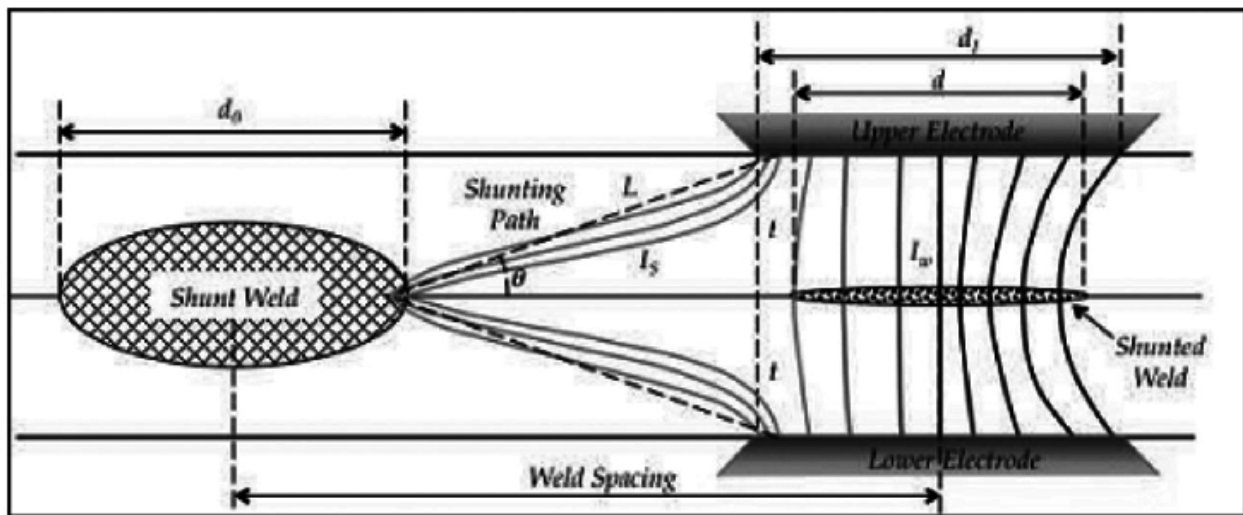
جریان خیلی کم: حرارت تولیدی بسیار کاهش یافته و مذاب در فصل مشترک تشکیل نمی شود.

جریان خیلی زیاد: حجم مذاب بسیار زیاد شده، بر نیروی الکتروود غلبه کرده و بیرون زدگی رخ می دهد.

اثر شانت (دزدی جریان)

در صورتی که جوش های متوالی نزدیک هم داشته باشیم این اتفاق رخ می دهد. جریان همیشه مسیر با مقاومت کمتر را برای عبور انتخاب می کند. زمانی که می خواهیم جوش نقطه ای دوم را بدهیم، اگر جوش دوم به جوش اول نزدیک باشد، جریان به جای عبور از فصل مشترک دو قطعه ترجیح می دهد از ناگت (دکمه جوش) اول عبور کند. پس بخشی از جریان به جای عبور از فصل مشترک و ایجاد جوش دوم، مسیر دیگری را می پیماید و اصطلاحا گفته می شود که دزدی جریان رخ داده است. در نتیجه ی این موضوع اندازه ی ناگت دوم کوچک تر از ناگت اول می شود. می توان یک فاصله ی بحرانی بین نقاط جوش تعریف کرد که فراتر از آن اثر

شانته مشاهده نمی شود. این فاصله ی بحرانی در مواد مختلف با هم فرق دارد و تابع مقاومت الکتریکی و ضخامت ماده است. شماتیک پدیده ی شانت در شکل 17 نشان داده شده است.



شکل 17. پدیده ی شانت

تکلیف 3

سوال) می خواهیم دو قطعه ی فولادی معمولی با دو جنس متفاوت را به وسیله ی جوشکاری مقاومتی نقطه ای به هم متصل کنیم. ضخامت یکی از قطعات 1.5 برابر دیگری است و مقاومت الکتریکی قطعه ی نازک تر دو برابر قطعه ی ضخیم تر است. انتظار دارید دکمه ی جوش به سمت کدام قطعه متمایل شده باشد؟ قطعه ی ضخیم تر یا نازک تر؟ دلیل خود را به طور کامل توضیح دهید.