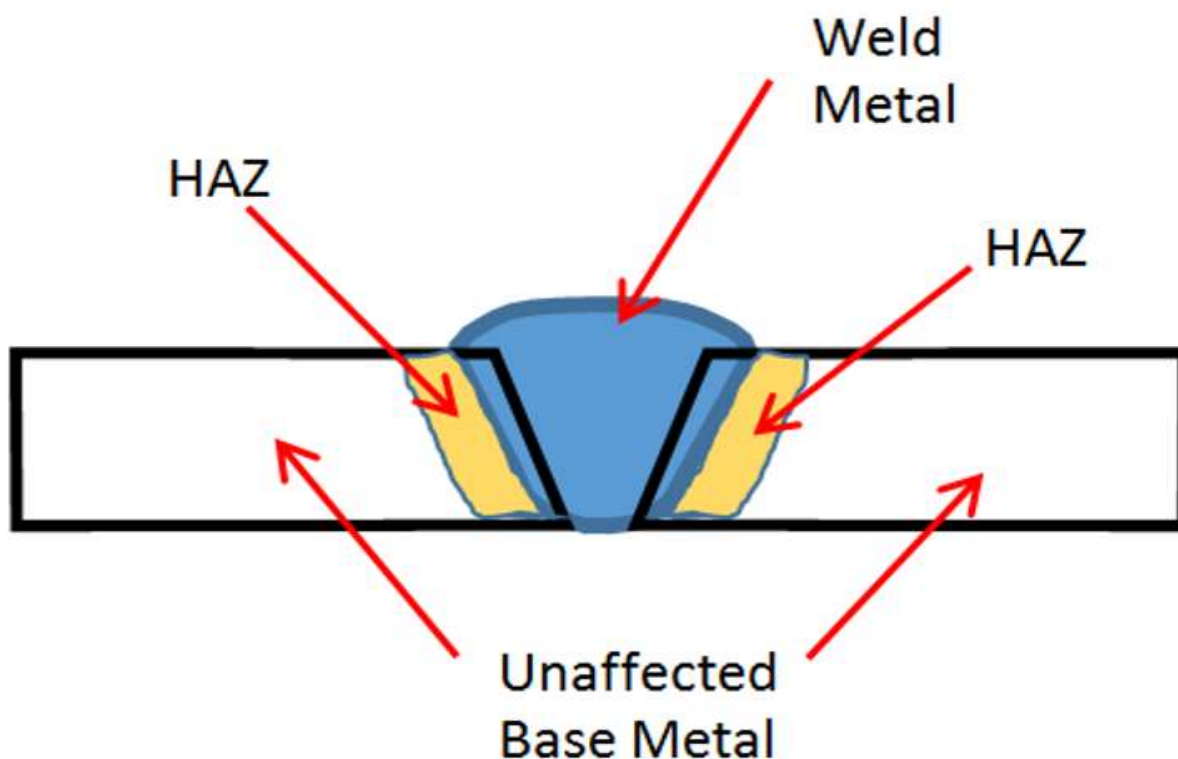


تفاوت بین فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت (HAZ)

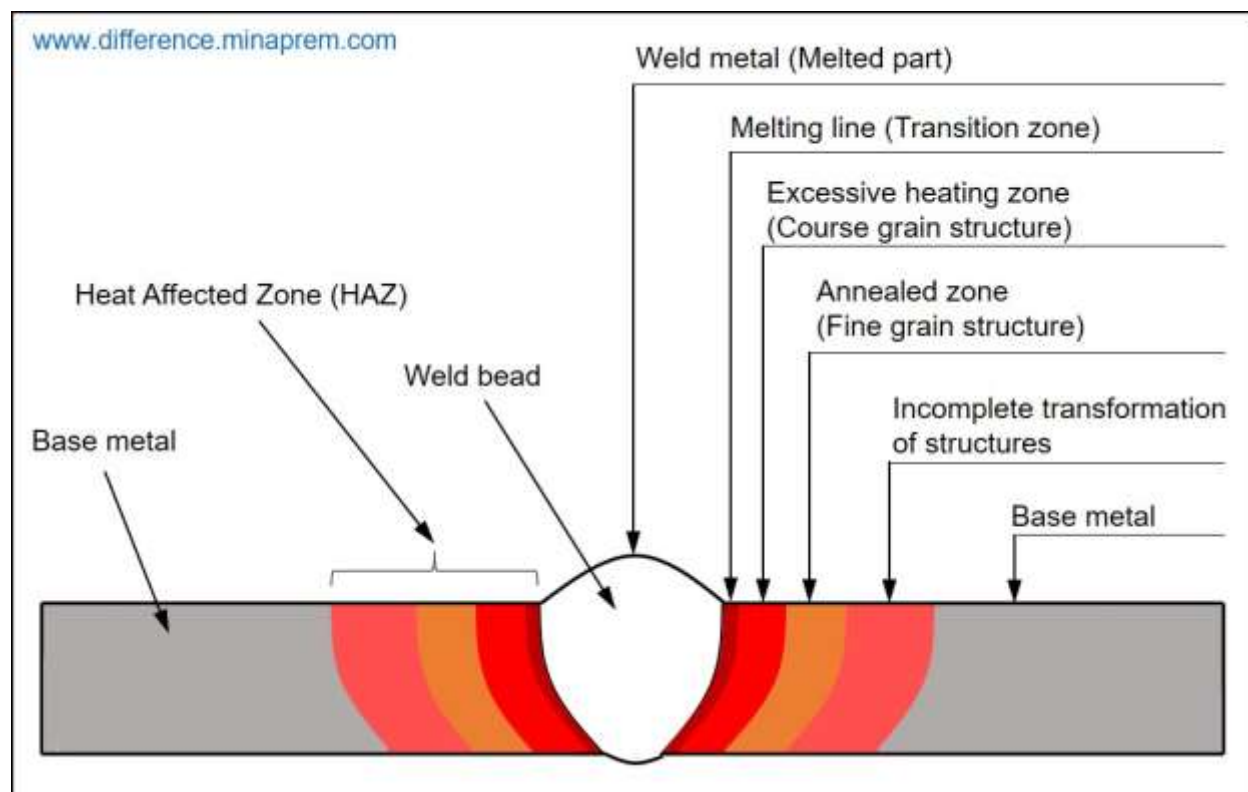


نویسنده : داوود سلیمانچی

جوشکاری یکی از فرآیندهای تولیدی است که در آن دو یا چند ماده می توانند به طور دائم از طریق تشکیل ادغام با یا بدون اعمال حرارت خارجی، فشار یا فلز پرکننده به یکدیگر متصل شوند. فرآیندهای جوشکاری را می توان به طور کلی به عنوان جوشکاری ذوبی و جوشکاری حالت جامد طبقه بندی کرد. در فرآیندهای جوشکاری ذوبی، مقدار قابل توجهی گرما (انرژی حرارتی) از منبع خارجی به منظور ذوب (ذوب) سطوح فایینگ اجزایی که قرار است به یکدیگر متصل شوند، اعمال می شود. چنین گرمایی می تواند از طریق قوس الکتریکی، مقاومت الکتریکی، واکنش گرمازا، یا پرتوهای شدید لیزر، پلاسما یا الکترون اعمال شود. برعکس، در فرآیندهای جوشکاری حالت جامد معمولاً گرما از منابع خارجی اعمال نمی شود یا حتی اگر مقدار کمی گرما اعمال شود، اجزاء اجازه ذوب شدن ندارند. بنابراین اتصال در حالت جامد بدون تغییر فاز (از جامد به مایع) انجام می شود. در چنین فرآیندهای جوشکاری معمولاً به جای گرما، فشار خارجی اعمال می شود. در هر صورت، یک جوش یا مهره جوش در نمونه های جوش داده شده در امتداد محل اتصال تشکیل می شود.

در جوشکاری ذوبی، بخشی از فلزات پایه که محل اتصال را احاطه کرده اند، ذوب شده و دوباره جامد می شوند. این ناحیه در اطراف محل اتصال که ذوب می شود و دوباره جامد می شود، **فلز جوش (یا مهره جوش)** نامیده می شود. بنابراین فلز جوش فاز خود را (جامد به مایع و بار دیگر مایع به جامد) تغییر می دهد تا ادغام شود. فلز پرکننده نیز در صورت اضافه شدن ذوب می شود و روی محل اتصال رسوب می کند تا در نهایت به بخشی از فلز جوش تبدیل شود. بنابراین فلزات جوش همیشه بالاتر از دمای ذوب ماده مربوطه گرم می شوند. بر این اساس، کل مواد فلز جوش در معرض حرارت بیش از حد، ذوب، اختلاط در حالت مایع و در نهایت

انجماد قرار می گیرد. ریزساختار و خواص مکانیکی فلز جوش می تواند به طور قابل توجهی با اجزای اصلی متفاوت باشد. به طور معمول هندسه فلز جوش با پارامترهای سه بعدی، یعنی عمق نفوذ، عرض مهره جوش و تقویت مشخص می شود. این پارامترها به تعداد زیادی از عوامل مانند نوع فرآیند جوشکاری، میزان حرارت اعمال شده، خواص مواد قطعه کار و غیره بستگی دارند. در حالی که ناحیه فلز جوش در فرآیند جوشکاری ذوبی به وضوح قابل توجه است، در فرآیندهای جوشکاری حالت جامد نیز باریک است. به عدم ذوب شدن



منطقه متأثر از حرارت (HAZ) بخشی از فلز پایه است که در طول جوشکاری ذوبی ذوب نمی شود، اما قبل از سرد شدن تا دمای اتاق تا دمای بالا (زیر دمای ذوب ماده مربوطه) گرم می شود HAZ. در اطراف فلز جوش قرار دارد HAZ. حاوی فلز پرکننده نیست. فلز پایه در HAZ تحت گرمایش و سرد شدن بعدی قرار می گیرد. با این حال، هیچ تغییر فازی رخ نمی دهد) به این معنی که HAZ همیشه در فاز جامد باقی می ماند. (با توجه به چرخه حرارتی، خواص متالورژیکی و مکانیکی HAZ می تواند به طور قابل توجهی از فلزات پایه متفاوت باشد. با این حال، ترکیب شیمیایی با فلز پایه مطابقت دارد (به استثنای تغییر ترکیب به دلیل مقیاس کوچک انتقال اتم انتشاری). هندسه HAZ معمولاً فقط با عرض آن تعریف می شود. عرض HAZ، بار دیگر، با فرآیند جوشکاری، پارامترهای انتخاب شده، میزان گرمایش، خواص فلز پایه، تعداد پاس ها، و غیره متفاوت است.

در حالی که هر دو فلز جوش و HAZ جزء یکپارچه هر اتصال جوشی هستند، ویژگی های آنها بسته به تعداد زیادی ویژگی و شرایط متفاوت است. هر دو قطعه در معرض چرخه حرارتی قرار می گیرند و در نتیجه مستعد تنش پسماند ناخواسته و ترک هستند. در حالی که خواص فلز جوش را می توان در حین جوشکاری با انتخاب مناسب ترکیب پرکننده، ترکیب محافظ و غیره تغییر داد، این مورد برای HAZ امکان پذیر نیست. استحکام فلز جوش عمدتاً ۱۰۰٪ (اگر نه بیشتر) از استحکام فلز پایه باقی می ماند. با این حال، منطقه HAZ نسبتاً آسیب پذیرتر است که در طول عمر مفید از کار بیفتد. بنابراین در حین جوشکاری، به ویژه جوشکاری قوس الکتریکی، نهایت دقت برای حفظ عرض HAZ و خواص آن در حد قابل تحمل است. شباهت ها و تفاوت های مختلف بین فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت (HAZ) یک اتصال جوش داده شده در زیر در قالب جدول آورده شده است.

کدام نوع از فرآیندهای جوشکاری HAZ کمتری تولید می کند؟

با توجه به فرآیندهای جوشکاری، با فرض جوشکاری مواد، ضخامت و اتصال یکسان، فرآیندهایی که گرمای ورودی کمتری دارند، سریعتر سرد می شوند. این منجر به یک HAZ کوچکتر می شود. برعکس، فرآیندهای گرمای ورودی بالاتر، سرعت خنک کنندگی کمتری خواهند داشت، بنابراین منجر به HAZ بزرگتر می شود.

برای اهداف بحث، می توانیم گرمای ورودی فرآیندهای جوشکاری رایج را به صورت زیر رتبه بندی کنیم:

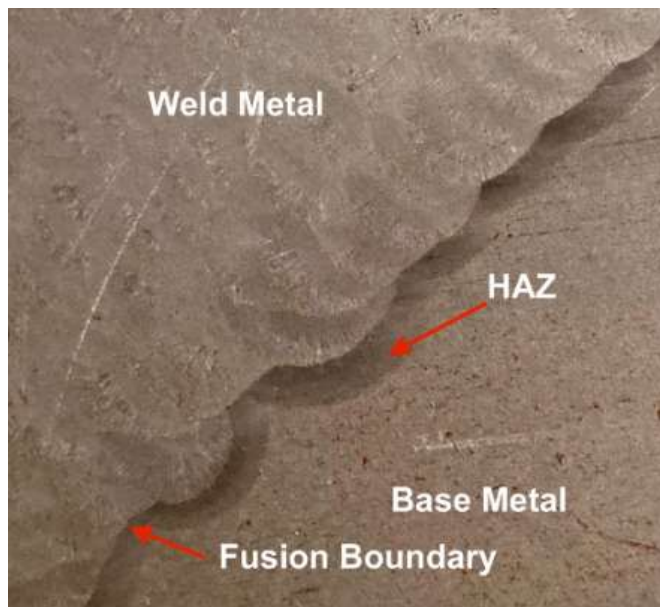
- کم: جوشکاری قوسی تنگستن گاز (GTAW)
- رسانه: قوس فلزی محافظ (SMAW)، قوس فلزی گازی (GMAW)، قوس هسته ای شار (FCAW) و قوس هسته ای فلزی (MCAP)
- ارتفاع: جوشکاری زیر پوستی (SAW)
- بسیار زیاد: جوشکاری سرباره الکتریکی (ESW) فرآیند جوش الکترولاگ را نمی توان به عنوان یک فرآیند جوشکاری رایج در نظر گرفت، اما برای ساخت مواد ضخیم در یک پاس استفاده می شود و برای مقاصد مقایسه در اینجا گنجانده شده است.

با ارجاع به جدول ۱ زیر، سه فرآیند با ورودی گرمای معمولی (پارامترهای جوشکاری معمولی) در محدوده متوسط تا بسیار بالا برای جوشکاری فولاد انتخاب شده است. تفاوت در اندازه HAZ بلافاصله آشکار می شود. فرآیند SMAW، با ورودی حرارت ۱۰۴ کیلوژول بر میلی متر، دارای HAZ با عرض ۲ میلی متر است، در حالی که گرمای ورودی بسیار بالا ESW، در ورودی گرمای ۸۸ KJ/mm، دارای HAZ عرض ۱۷.۸۰ میلی متر است.

عرض HAZ	ورودی گرما	سرعت سفر	ولتاژ	جاری	روند
میلی متر	KJ/mm	میلی متر بر ثانیه	ولت	آمپر	
17.80	88	0.32	34	800	Electroslag (ESW)
3.10	3.3	5.1	28	600	قوس فرعی (SAW)
2.00	1.4	3.4	23	200	قوس فلزی محافظ (SMAW)

جدول ۱. مقایسه فرآیند جوشکاری و عرض HAZ

بنابراین، از این جدول نشان دهنده، می توان دریافت که فرآیندهای جوشکاری با ورودی حرارت کمتر، کوچکترین مناطق تحت تأثیر حرارت را تولید می کنند، همه چیزهای دیگر برابر هستند. شکل ۲ یک مقطع ماکرو از قسمتی از یک جوش SMAW 75 میلی متری چند پاسی را با بزرگنمایی کمتر از ۵x نشان می دهد. منطقه تحت تأثیر حرارت حکاکی تیره تر بین فلز جوش و فلز پایه (اصل) قرار دارد. گرمای ورودی در حداکثر ۱.۵ KJ/mm کنترل شد و مواد، به دلیل ضخامت، تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد نیز از قبل گرم شدند. عرض HAZ حاصل ۲.۰۰ میلی متر است.



شکل ۲ ماکرو جوش SMAW که سه ناحیه را نشان می دهد. فلز پایه، فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت (HAZ)

از نظر ویژگی های فلزی، هنگام ارزیابی ویژگی های خود HAZ باید موارد دیگری را در نظر گرفت. با توجه به تغییرات دما در سراسر HAZ، بخش های جداگانه خواص متفاوتی خواهند داشت زیرا دماهای متفاوتی را برای زمان های مختلف مشاهده می کنند. این واقعیت، و اهمیت آن یا موارد دیگر، خارج از محدوده این مقاله است، اما ممکن است در یک مقاله خواهر در تاریخ آینده پوشش داده شود.

به غیر از جوشکاری، اکثر فرآیندهای برش نیز HAZ ایجاد می کنند و ممکن است بسته به فلز و فرآیند برش مورد استفاده، اقدامات احتیاطی بعد از برش انجام شود. برعکس، فرآیند برش و اثرات باعث ایجاد HAZ نمی شود زیرا مواد را گرم نمی کند.

شباهت بین فلز جوش و HAZ

- چندین ویژگی فیزیکی، مکانیکی و متالورژیکی هر دو فلز جوش و HAZ به دلیل چرخه حرارتی تحت تأثیر قرار می گیرند.
- هر دو بخش یکپارچه یک اتصال جوش داده شده هستند. در جوشکاری ذوبی، هر دو به وضوح قابل توجه هستند. اما در جوشکاری حالت جامد معمولاً باریک هستند.
- استحکام و کیفیت اتصال جوش به کیفیت مهره جوش و HAZ بستگی دارد.

تفاوت بین فلز جوش و HAZ

منطقه متأثر از گرما (HAZ)	فلز جوش
---------------------------	---------

HAZ معمولاً به عنوان بخشی از فلز پایه در نظر گرفته می شود.	فلز جوش معمولاً به عنوان یک بخش جداگانه در نمونه جوش داده شده در نظر گرفته می شود، نه اینکه آن را به عنوان بخشی از فلز پایه در نظر بگیریم.
HAZ در اجزای اصلی اطراف مهره جوش وجود دارد.	ناحیه فلز جوش در محل اتصال دو جزء اصلی وجود دارد.
HAZ هرگز ذوب نمی شود. همیشه جامد باقی می ماند. بنابراین هیچ تغییر فازی در HAZ رخ نمی دهد.	در جوشکاری ذوبی، فلز جوش به دلیل برخورد و انجماد متعاقب آن (جامد به مایع و بار دیگر مایع به جامد) دچار تغییر فاز می شود.
هیچ ماده پرکننده ای ندارد. این صرفاً بخشی از مواد پایه است.	حاوی بخش قابل توجهی از مواد پرکننده (به جز در جوشکاری خودزا) است.
ترکیب شیمیایی HAZ عمدتاً با فلزات اصلی یکسان است.	ترکیب شیمیایی مهره جوش ممکن است با فلزات اصلی متفاوت باشد.
خواص HAZ را نمی توان در طول جوشکاری به طور مطلوب بهبود بخشید (عرض آن را فقط می توان تا حدی کنترل کرد).	خواص فلز جوش را می توان در حین جوشکاری به روش های مختلفی بهبود بخشید (مانند انتخاب مناسب ترکیب پرکننده، گاز محافظ و غیره).
HAZ به ویژه در فرآیندهای جوشکاری ذوبی قابل توجه است. با جوش حלת جامد، HAZ بسیار باریک است و عمدتاً قابل تشخیص نیست.	مهره جوش در هر دو فرآیند جوشکاری ذوبی و جوشکاری حالت جامد تولید می شود. با این حال، در جوشکاری حالت جامد باریک است.
تنها پارامتر هندسی مورد توجه HAZ، عرض جانبی آن است.	هندسه فلز جوش با سه پارامتر مشخص می شود، یعنی (i) عمق نفوذ، (ii) عرض مهره جوش، و (iii) ارتفاع آرماتور.

خلاصه :

در فرآیند جوشکاری، سه ناحیه مهم در ماده پایه (فلز اصلی) وجود دارد: فلز جوش، منطقه متاثر از حرارت (HAZ)، و فلز پایه.

فلز جوش بخشی از ماده است که در حین فرآیند جوشکاری ذوب شده و سپس دوباره منجمد می‌شود. این ناحیه شامل:

- **ترکیب مواد افزودنی:** موادی که به حوضچه جوش اضافه می‌شوند تا کیفیت جوش بهبود یابد.
- **ساختار میکروسکوپی جدید:** به دلیل انجماد سریع، ساختار میکروسکوپی فلز جوش معمولاً متفاوت از فلز پایه است. و به طور کلی ریزتر و با دانه بندی یکنواخت تر است.
- **استحکام و خواص مکانیکی:** بسته به نوع جوشکاری و مواد افزودنی، خواص مکانیکی فلز جوش ممکن است بهتر یا ضعیف‌تر از فلز پایه باشد.
- **ترکیب شیمیایی فلز جوش** می تواند متفاوت از فلز پایه باشد، بسته به نوع مواد پرکننده و فرآیند جوشکاری.
- **مقاومت به خوردگی فلز جوش** می تواند بهتر یا بدتر از فلز پایه باشد، بسته به نوع مواد پرکننده و فرآیند جوشکاری.

۲ - منطقه متاثر از حرارت (Heat-Affected Zone - HAZ)

منطقه متاثر از حرارت ناحیه‌ای از فلز پایه است که در نزدیکی فلز جوش قرار دارد و به دلیل گرمای تولید شده در فرآیند جوشکاری تحت تاثیر قرار می‌گیرد، اما ذوب نمی‌شود. ویژگی‌های اصلی HAZ شامل:

- **تغییرات میکروساختاری:** به دلیل گرما، ساختار میکروسکوپی فلز پایه در این ناحیه تغییر می‌کند. این تغییرات ممکن است شامل دانه‌بندی مجدد، تشکیل فازهای جدید، و یا تغییرات در ترکیب شیمیایی باشند.
- **تغییرات خواص مکانیکی:** خواص مکانیکی مانند استحکام، سختی و انعطاف‌پذیری در HAZ ممکن است نسبت به فلز پایه و فلز جوش تغییر کند. این تغییرات بستگی به میزان گرمای وارد شده و سرعت خنک شدن دارند.
- **پتانسیل برای ایجاد نقاط ضعف:** به دلیل تغییرات میکروساختاری، HAZ ممکن است نقاط ضعف و نقاط شروع ترک‌های ناشی از خستگی و تنش باشد.
- **مقاومت به خوردگی HAZ** می تواند در برخی نواحی بدتر از فلز پایه باشد.

اهمیت درک تفاوت های بین فلز جوش و HAZ :

- **انتخاب مواد پرکننده و فرآیند جوشکاری مناسب:** برای دستیابی به خواص مکانیکی و شیمیایی مطلوب در اتصال جوش داده شده، انتخاب مواد پرکننده و فرآیند جوشکاری مناسب با توجه به فلز پایه و کاربرد مورد نظر ضروری است.
- **بررسی و تست جوش:** HAZ به دلیل تغییرات ساختاری و افت احتمالی استحکام، بیشتر در معرض ترک خوردگی و سایر عیوب است. بنابراین، بازرسی و تست جوش ها برای اطمینان از کیفیت و ایمنی آنها بسیار مهم است.
- **اصلاحات پس از جوشکاری:** در برخی موارد، برای بهبود خواص HAZ و افزایش استحکام و انعطاف پذیری اتصال جوش داده شده، ممکن است لازم باشد از عملیات حرارتی پس از جوشکاری مانند آنیل کردن یا تمپر کردن استفاده شود.

درک تفاوت های بین فلز جوش و HAZ برای جوشکاران، مهندسين جوش و بازرسان جوش از اهميت بالايی برخوردار است تا بتوانند اتصالات جوش را به طور ايمن و با کيفيت طراحي، اجرا و بازرسي کنند.

مقایسه کلی

- **ذوب و انجماد:** فلز جوش ذوب می شود و سپس دوباره منجمد می شود، در حالی که HAZ تنها تحت تاثیر حرارت قرار می گیرد و ذوب نمی شود.
 - **تغییرات میکروسکوپی:** فلز جوش ساختار میکروسکوپی جدیدی پیدا می کند، در حالی که در HAZ ساختار میکروسکوپی فلز پایه تغییر می کند.
 - **مواد افزودنی:** فلز جوش ممکن است مواد افزودنی را شامل شود، در حالی که HAZ تنها مواد موجود در فلز پایه را دارد.
 - **خواص مکانیکی:** خواص مکانیکی هر دو ناحیه ممکن است تغییر کند، اما این تغییرات در فلز جوش و HAZ می توانند متفاوت باشند.
- در مجموع، هر دو ناحیه در فرآیند جوشکاری مهم هستند و برای تضمین کیفیت و استحکام جوش، باید به درستی مدیریت شوند.