بررسی عیوب در جوش

راههای شناسایی عیوب

راهکارهای رفع عیوب

حسین حق سیرت

مقدمه

نبودن نقص‌های زیان بخش و عوامل موثر دیگر در شکست نابهنگام، در قطعات و مجموعه ها و همچنین در سازه های کامل مهندسی اهمیت دارد.

در ماده یا قطعه در حین ساخت، انواع نقص‌ها با اندازه های متفاوت ممکن است به وجود آید که ماهیت و اندازه دقیق این نقص، کارکرد آتی قطعه را تحت تاثیر قرار می دهد. نقص‌های دیگری مانند ترک‌های ناشی از خستگی یا خوردگی، در حین کار با ماده نیز ممکن است به وجود آید. بنابراین برای آشکارسازی نقص‌ها در مرحله ساخت و همچنین برای آشکارسازی و مشاهده آهنگ رشد آن‌ها در حین عمر کاری هر قطعه یا مجموعه باید وسایل قابل اعتمادی در اختیار داشت.

مهندسان با تعیین خواص مواد به وسیله انجام آزمون‌های استاندارد بر روی قطعات آزمون کاملاً آشنایند و بیشتر دانستنی‌های مورد نیاز، از قبیل خواص کششی، فشاری، برشی و ضربه ای ماده به کمک این آزمون‌ها به دست می آید، اما این گونه آزمون‌ها ماهیتی ویرانگر دارند. همچنین خواص ماده که به کمک آزمون استاندارد ویرانگر تعیین می شود لزوماً مشخصه های کاربردی قطعه پیچیده ای که بخشی از مجموعه مهندسی بزرگتری است، را ارائه نمی کند.

با استفاده از اصول محرز فیزیکی، شماری از سیستم‌های بازرسی ساخته شده است که بدون تغییر یا تخریب قطعات و مجموعه های مورد آزمون، دانسته های مربوط به کیفیت ماده یا قطعه را به دست می دهند؛ این آزمون‌ها، آزمون‌های غیرمخرب نام‌گذاری شده‌اند.

مجموعه حاضر متشکل از برگزیده ای از برخی روشهای بازرسی غیرمخرب مورد استفاده در صنایع مختلف علی الخصوص جوشکاری و نیز ناپیوستگی های موجود در جوش می باشد.

بدیهی است که در قلمرو بازرسی با بهبود روشهای موجود و گسترش گستره کاربرد آن‌ها پیشرفت‌های پیوسته ای به وجود می آیند و فرآیندهای جدیدی برای تامین نیازهای رو به افزون بازرسی ابداع می شوند.

کیفیت جوش

مفهوم کیفیت جوش

برای این که یک مجموعه جوش (یا لحیم) در طول عمر خود از قابلیت اعتماد مورد نیاز برخوردار باشد، می‌بایست در درجه‌ای از کیفیت یا مشخصات مورد نظر قرار گیرد. کیفیت در برگیرندهٔ ملاحظات طراحی است، بدین معنی که هر فلز جوش تولید شده باید:

۱) از طراحی مناسب جهت برآورده کردن سرویس مورد نظر در طول عمر مورد نیاز برخوردار باشد.

۲) با مواد و جوش‌هایی ساخته شده باشد که با مفاهیم طراحی در تطابق باشند.

۳) از عملکرد و نگهداری صحیحی برخوردار باشد.

کیفیت، یک اصطلاح نسبی است و برخورداری از کیفیتی بالاتر از حد مورد نیاز برای یک کاربرد، غیرضروری و در واقع غالباً هزینه‌بر می‌باشد.بنابراین سطوح کیفیت در فلزات جوش متفاوت و جوش‌های منفرد، بسته به نیازمندی‌های سرویس می‌تواند تفاوت داشته باشد.

کیفیت جوش غالباً به طور تقریبی به معنی میزان نقایص هندسی در یک جوش ،در نظر گرفته می‌شود، ولی این مفهوم می‌بایست جنبه‌های دیگری از قبیل سختی، ترکیب شیمیایی، و چقرمگی را نیز در بر بگیرد که همگی در تناسب یک جوش با مقصودمورد نظر، سهم دارند.

انتخاب کیفیت مورد لزوم برای حصول قابلیت اطمینان مطلوب، در وهلهٔ اول به حالت‌های محتمل برای انهدام، در شرایط سرویس بستگی دارد.

کیفیت جوش مستقیماً با یکپارچگی فلز جوش ارتباط پیدا می کند. این عامل زیربنای تمامی گام‌های ساخت و بازرسی است که جهت حصول اطمینان از محصول جوشکاری شده‌ای که قادر به انجام عملکردهای مورد نظر برای عمری معین خواهد بود، ضروری می‌باشد. عوامل اقتصادی و ایمنی، هر دو، ملاحظات کیفیت جوش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مسائل اقتصادی ایجاب می‌کنند که یک محصول رقابتی باشد و مسائل ایمنی حکم می‌کنند که از احتمال آسیب‌دیدگی کارکنان و یا خسارت گسترده به کارخانه و تجهیزات اجتناب گردد.

اکثریت نظام‌نامه‌ها و استانداردهای حاکم بر تولیدات جوشکاری شده، الزامات کیفیت را برای سازه‌های جوشکاری شده تعریف می‌کنند تا از این طریق بتوانند ایمنی کارکرد سازه را در حدی منطقی تضمین نمایند. الزامات نظام‌نامه یا استاندارد را باید به عنوان حداقل تلقی کرده و بدون قضاوت دقیق و مستدل مهندسی نباید از معیارهای پذیرش جوش تخطی کرد. جهت کاربردهای حساس ممکن است الزاماتی سخت‌تر از موارد مشخص شده در نظام‌نامه یا استاندارد، جهت حصول اطمینان از ایمنی، ضروری باشد.

معیارهای پذیرش جوش جهت بازرسی جوش‌ها عموماً با استفاده از روش‌های غیرمخرب و به منظور بررسی انحرافات از استانداردهای قابل قبول تعریف می‌شوند. تمامی انحرافات سنجیده شده و پذیرش یا رد جوش، معمولاً بر پایهٔ شرایط دقیقاً تعریف شده صورت می‌پذیرد. به طور معمول، تعمیرات در شرایط غیرقابل پذیرش یا معیوب، به منظور رساندن کیفیت به استانداردهای پذیرش، مجاز می‌باشد. بسیاری از نظام‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط با کیفیت جوش، استفاده از محصول را در بر نمی‌گیرند و نگهداری تولیدات یا محصول را برعهده کاربر می‌گذارند و این خود کاربر است که باید نسبت به بهبود، تقویت یا اعمال استانداردهای اضافی کیفیت جوش اقدام کند تا تضمین شود که محصول از حداقل الزامات مشخص شده فراتر خواهد رفت.

کیفیت جوش- اگر چه تعریف دقیق آن دشوار می‌باشد- غالباً براساس نظام‌نامه‌ها، استانداردها یا آیین‌نامه‌هایی مورد قضاوت قرار می‌گیرد که مبنای آن‌ها تخمین‌های منطقی در مورد اقتصادی و ایمنی می‌باشد. مستندات ممکن است توسط کاربر اصلاح و بهبود پیدا کرده تا انعکاس دهندهٔ ملاحظات اضافی مرتبط با مسائل اقتصادی، ایمنی یا هر دوی این موارد باشند. در موارد دیگر، کیفیت قابل قبول جوش باید توسط مهندسی طراحی یا مشتری تعریف گردد. جوش‌ها از حیث اندازه، شکل، طرح بیرونی ، سلامت استحکام یا سایر جنبه‌ها آزمایش می‌شوند. لذا تعریف کیفیت جوش، عبارت است از تشخیص حضور، بازرسی و حذف یا تعمیر تمامی عیوب.

انتخاب کیفیت جوش

تعیین الزامات کلی برای فلز جوش عاملی اساسی است که تیم‌های طراحی و گروه‌های کیفی درگیر آن می‌باشند. کیفیت بیش از اندازه لازم، می‌تواند منجر به ایجاد هزینه‌های بالا، بدون هیچ‌گونه مزیت اضافی گردد، در همین حال، کاهش کیفیت در فلزات جوش ممکن است منجر به هزینه‌های نگهداری زیاد و نقصان بیش از حد در کارآیی گردد. لذا، هدف، تعیین کردن مشخصه‌هایی است که منجر به دستیابی به مقصود مورد نظر شود.

خوشبختانه، در نظام‌نامه‌ها و استانداردها، راهنمایی‌های ارزشمندی فراهم شده است که غالباً سطوح مجاز تنش، خواص و ناپیوستگی‌ها را در فلزات جوش مشخص می‌کند. این استانداردها مبتنی بر تجربه هستند و ایمنی آن‌ها اثبات گردیده است.

انتخاب کیفیت همچنین دربرگیرندهٔ آن دسته از فاکتورهای اساسی که می‌توانند با استفاده از مکانیک شکست مورد تحلیل قرار گیرند و شماری فاکتورهای دیگر می‌باشند. فاکتورهای اصلی عبارتند از:

۱) شرایط سرویس

(a) سطح تنش، اندازه‌های مناسب سطوح مقطع می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند تا از اضافی نبودن سطوح تنش اطمینان حاصل شود.

(b) طبیعت تنش، تحت بارگذاری دینامیک یا سیکلی، به ویژه زمانی که تعداد سیکل‌ها از 10^4 تجاوز می‌کند، خستگی می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

(c) دمای کاری. دماهای پایین و بالا به ترتیب مستلزم طراحی برای شکست ترد و خزش می‌باشند.

(d) خوردگی و سایش

۲) خواص ماده

متناسب با طراحی انجام شده می‌بایست مواد دارای استحکام، چقرمگی، مقاومت به خوردگی و سایر خواص مرتبط در حد مناسب، انتخاب شوند. همچنین، سازنده باید از استفاده از روش‌هایی که خواص ماده را به مقادیری کم‌تر از سطوح قابل پذیرش کاهش می‌دهند خودداری کند، مواردی از قبیل شکل‌دهی سرد و گرم، عملیات حرارتی پس از جوشکاری، حرارت ورودی اضافی و یا ناکافی، از جمله روش‌های تضعیف خواص ماده می‌باشند.

نقائص هندسی

طراحی باید نقایص هندسی را محدود کند تا بدین طریق ،اطمینان حاصل شود که این نقایص سبب ایجاد ترک یا نشتی نمی‌شوند. سازنده باید از روش‌هایی استفاده کند که از وقوع این نقایص در جوش اجتناب شود.

۴) خطر ایجاد عیوب

زمانی که موادی که جوشکاری آن‌ها دشوار است، در موقعیت‌های نامتعارف و یا در مکآن‌هایی که معمولاً کنترل کیفیت از اطمینان کم‌تری برخوردار است، جوشکاری می‌شوند، احتمال وجود عیوب بالا خواهد بود.

۵) خطر عدم تشخیص عیوب

ارزیابی داخلی جوش‌های گوشه معمولاً دشوار است. ارزیابی سایر جوش‌ها، زمانی که بازرسی آن‌ها محدود گردد، نیز این‌چنین هستند.

۶) عواقب انهدام

در جایی که احتمال انهدام بالا باشد، ممکن است کیفیت بالاتر و بازرسی بیشتر لازم باشد. عواقب انهدام با افزایش موارد زیر، وخیم‌تر می‌گردد:

(a) اندازهٔ فلز جوش

(b) انرژی ذخیره شده (انرژی پتانسیل بالا در برج‌های مرتفع، مخازن تحت فشار، دریچه‌های سد و غیره؛ انرژی جنبشی بالا در قطارهای در حال حرکت کشتی‌ها و غیره.)

(c) موقعیت مکانی نسبت به مردم.

(d) نقص در تولید (یک لولهٔ ساده بویلر، ممکن است نیازمند تلاش کمی برای تعمیر باشد، ولی در موردی این چنین، نقص ایجاد شده در تولید، هزینه زیادی تحمیل خواهد کرد.)

در پایان، مبنای انتخاب کیفیت کلی، تلفیقی از طراحی ساخت و آزمایش است که منجر به حصول کم‌ترین میزان هزینه کل در طول کل عمر فلز جوش می گردد. حداقل هزینه‌های اولیه، حداقل وزن، حداقل نقایص و ... هیچ‌یک نباید به تنهایی مبنای انتخاب کیفیت قرار گیرند.

کیفیت بهینه در هزینه‌ها مبتنی بر موارد مختلفی به شرح زیر است:

۱- هزینه‌های طراحی، مواد، ساخت، تضمین کیفیت

۲- هزینه‌های انهدام احتمالی ضرب در احتمال رخداد انهدام

۳- هزینه‌های سرویس (از جمله نگهداری).

بنابراین، خریدار باید واقف باشد که کم‌ترین هزینه ساخت بیان‌گر کم‌ترین هزینهٔ کل نمی‌باشد. .

ناپیوستگی در جوش

طبقه‌بندی ناپیوستگی‌ها

ناپیوستگی‌های اتصالات جوشکاری ذوبی را می‌توان به طور کلی در سه گروه عمده دسته‌بندی کرد، که عبارتند از ناپیوستگی‌های مرتبط با فرآیند و روش‌ها،ناپیوستگی‌های متالورژیکی و ناپیوستگی‌های مرتبط با طراحی. جدول ۱آن ناپیوستگی‌هایی را که به طور معمول در هر یک از سه گروه عمده در نظر گرفته می‌شوند، فهرست می‌کند. ناپیوستگی‌های فهرست شده، نباید به صورت قطعی و مطلق متعلق به یک گروه خاص تلقی شوند، چرا که ممکن است منشأ ثانویه‌ای در سایر گروه‌ها داشته باشند. ناپیوستگی‌های مرتبط با فرآیند و روش‌ها و ناپیوستگی‌های مرتبط با طراحی در اکثر موارد منعکس کننده مواردی هستند که سبب تغییر، یا تشدید تنش‌ها در منطقه جوش یا متأثر از حرارت (HAZ) می‌گردند برخی ناپیوستگی‌های متالوژیکی ممکن است سبب تغییر خواص فلز نیز شوند و اثرات متالوژیکی شیار را ایجاد کنند.

ناپیوستگی های جوش ذوبی

قبل از آغاز بحث ، به مقایسه اصطلاحات ناپیوستگی، عیب و نقص پرداخته می‌شود:

ناپیوستگی

ناپیوستگی به یک قطع شدگی در ساختار معمول جوش گفته می‌شود. این ناپیوستگی می‌تواند عدم یکنواختی در خواص مکانیکی، متالورژیکی یا فیزیکی فلز پایه یا فلز جوش باشد. **یک ناپیوستگی لزوماً یک نقص نیست.**

عیب

عیب تقریباً هم معنی ناپیوستگی است اما به طور ضمنی دلالت بر نامطلوب بودن آن دارد.

نقص

نقص یک ناپیوستگی است که وجود آن یا اثرات ناشی از آن باعث عدم تطابق جوش با استانداردهای مورد پذیرش می گردد. این اصطلاح به قطعات مردود اطلاق می‌شود.

این بخش فقط در مورد ناپیوستگی‌هایی است، که بسته به خواص و یا نظام نامه های مشخص، می‌توانند جزء نقص(عیب) محسوب شوند. ناپیوستگی‌هافقط در صورتی عیب محسوب می‌شوند که از لحاظ نوع، اندازه، توزیع یا محل، از حدود مشخص شده خارج باشند.

تقسیم بندی عیوب در جوش

عیوب در استانداردهای مختلف به روشهای متفاوتی تقسیم بندی شده اند. در اینجا به یکی از روشهای متداول تقسیم بندی می پردازیم.

انواع عیوب:

عیوب تکنیکی

عیوب متالورژیکی

عیوب مکانیکی

عیوب تکنیکی

این عیوب عمدتاً بواسطه عدم استفاده صحیح از فرآیند و یا در اثر سهل انگاری فرد جوشکار بوجود می آید که شامل عیوب زیر می باشد.

حفره یا تخلخل (Porosity)

حفره ها ناپیوستگی های توخالی هستند که در اثر محبوس شدن گاز در حین انجماد و یا در اثر بخارات حرارتی بوجود می آیند. این جاهای خالی می تواند در سطح و یا عمق قطعه بوجود آیند و به صورت یکنواخت و یا غیر یکنواخت در داخل قطعه پراکنده شوند.

انواع حفره ها

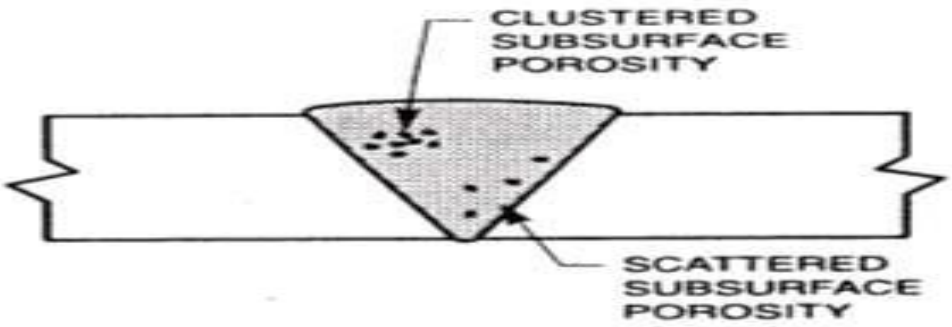
الف – حفره های پراکنده (Scattered Porosity)

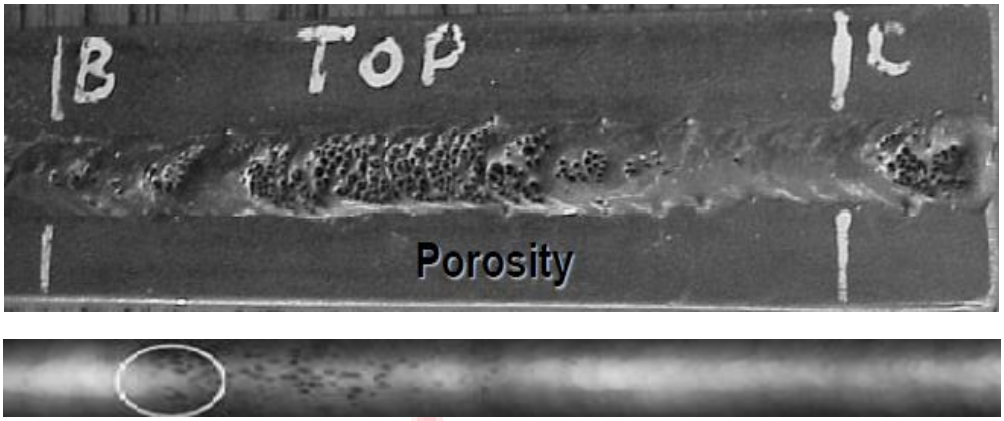
نمونه این نوع حفره ها بطور شماتیک در شکل زیر آورده شده است. این نوع حفره ها در فلز جوش پراکنده می باشند.

حفره های پراکنده در سطح جوش

حفره های خوشه ای (دسته ای) (Cluster Porosity)

نمونه این نوع حفره ها در شکل زیر آورده شده است. این نوع از حفره ها معمولاً بصورت خوشه ای در یک محل بوجود می آیند. محل قرار گرفتن آنها در جوش قاعده خاصی ندارد و هر جای فلز جوش می تواند باشد.

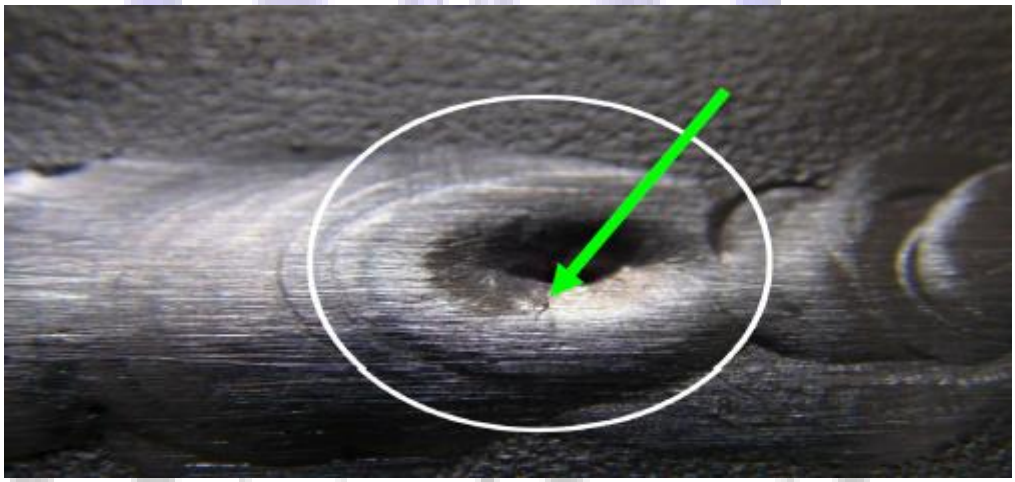




حفره های خوشه ای(دسته ای)

ج- حفره های لوله ای (Piping Porosity)

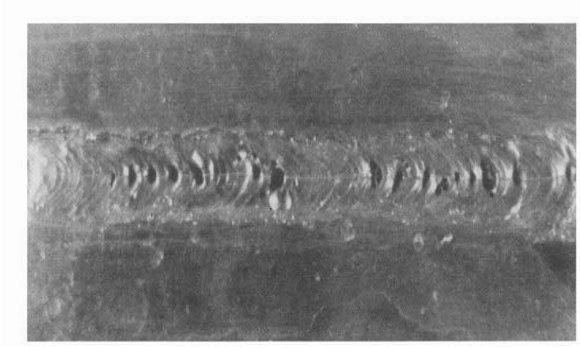
در شکل زیر نمونه این نوع حفره‌ها آورده شده است. این نوع حفره به حفره‌هایی گفته می شود که طول آنها نسبت عرض شان بیشتر است و عموماً بصورت قائم و عمود بر سطح جوش تشکیل می گردد.



حفره های لوله ای در سطح جوش

د- حفره های پشت سر هم (Aligned Porosity)

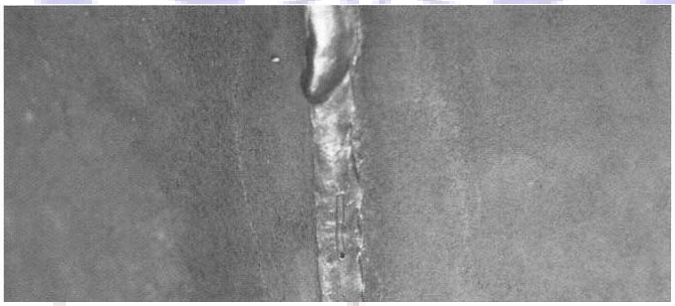
در شکل زیر این نوع از عیوب آورده شده است. این حفره ها معمولاً در یک راستا قرار دارند و می تواند بصورت کروی یا طولی باشند. این نوع حفره ها را معمولاً حفره‌های خطی نیز می نامند (Liner Porosity).



حفره های پشت سر هم با ترک

ه- حفره های کشیده شده (Elongated Porosity)

نمونه این نوع عیب در شکل آورده شده است. این نوع حفره از حفره هایی می باشد که طول آن نسبت به عرضش بیشتراست و معمولاً بصورت موازی با خط جوش تشکیل می شود و معمولاً در حد فاصل گل جوش و فلز جوش بوجود می آید. البته این بدین معنی نیست که در داخل قطعه تشکیل نمی شوند چرا که احتمال تشکیل در داخل قطعه نیز وجود دارد.



حفره های کشیده در سطح جوش

علل بوجود آمدن حفره ها و نحوه جلوگیری و یا کاستن آنها

علل اصلی بوجود آمدن حفره در جوش می تواند عوامل زیر باشد.

الف – وجود گازهایی مانند هیدروژن (H_2)، نیتروژن(N_2) و اکسیژن (O_2) در اتمسفر جوشکاری

وجود گازهای ذکر شده باعث بوجود آمدن حفره در جوش می شود. راهها و دلایل مختلفی برای ورود گازهای فوق در جوش می باشد. بسته به نوع فرآیند جوشکاری راههای ورود مختلف می باشد. مثلاً در جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود دستی دلایل وجود هیدروژن می تواند پوشش الکترود باشد. مقدار هیدروژن موجود در پوشش الکترود به سه عامل اصلی بستگی دارد.

۱ - آب یا رطوبت جذب شده از اتمسفر در طول زمان مصرف: اگر الکترود پس از تولید صحیح نگهداری و بکار گرفته نشود و در معرض هوا قرار داشته باشد، باعث جذب رطوبت هوا توسط پوشش آن خواهد شد. اگر میزان جذب رطوبت زیاد باشد باعث فاسد شدن الکترود ودر صورتیکه میزان جذب کم باشد در حین جوشکاری این رطوبت تجزیه شده و به H_2 و O_2 تبدیل می‌شود. که هر دو گاز از عوامل اصلی بوجود آمدن حفره در جوش می باشد. نکته دیگر نوع پوشش می باشد. بسته به نوع پوشش الکترود میزان جذب رطوبت متفاوت است. برای این منظور جهت حفظ سلامتی الکترودها باید به توصیه های سازنده الکترود در نحوه انبارداری و بکارگیری آنها توجه نمود.

۲- از نظر ترکیب شیمیایی : در ترکیبات پوشش الکترود درصدی رطوبت وجود دارد که جزء ذات آنها می باشد. مسلماً بهتر است قبل از استفاده پوشش الکترودها خشک شوند.

۳- رطوبت که در حین عمل آوری الکترود و تولید به آن اضافه می شود : جهت تهیه خمیر فلاکس به هر شکل اگر در پوشش الکترود رطوبت وجود داشته باشد، موجب بوجود آمدن عیوب در جوش می شود. یکی ازاین عیوب حفره ها می باشد.

علاوه بر این گاز اکسیژن و هیدروژن نیز از طریق هوا می توانند وارد حوضچه مذاب گردند که موجب بوجود آمدن حفره در جوش می شوند. برای رفع این عیب استفاده از الکترود های کم هیدروژن، و یا الکترودهای با قدرت اکسیدزدائی بالا توصیه شده است.

ب- سرعت انجماد زیاد

اگر سرعت انجماد بالا باشد فرصت لازم جهت خروج گازها از حوضچه مذاب و فلز جوش وجود نخواهد داشت. لذا این امر موجب به وجود آمدن حفره در جوش می شود. برای رفع این نقیصه می توان از عمل پیش گرم کردن و کنترل دمای بین پاسی استفاده نمود.

ج- قطعات کثیف

اگر قطعات مورد اتصال کثیف باشند، احتمال بوجود آمدن حفره در جوش افزایش می یابد. دلیل این امر تجزیه ناخالصیها و تبدیل آنها به گاز می باشد. چرا که بیشتر این ناخالصی ها شامل مواد روغنی، گریس و هیدروکربورها بوده که عمدتاً دارای هیدروژن می باشند. برای رفع این عیب تمیز کردن و کلاً آماده سازی مناسب قطعات می توان در کاستن و یا از بین بردن این عیب مفید باشد.

د- فلز پرکننده آلوده (Dirty filler wire)

در اینجا اگر قطعات تمیز باشند ولی فلز پرکننده که می تواند الکترود یا سیم جوش باشد آلوده باشد، موجب بوجود آمدن حفره در جوش می گردد.

برای این منظور استفاده از –فلز پرکننده مناسب می تواند باعث کاهش این عیب گردد. لذا باید از موادی استفاده کرد که دارای بسته بندی مناسب بوده و بطور صحیح انبارداری و نگهداری شده باشند.

ه- عوامل دیگر

طول قوس نامناسب، جریان جوشکاری نامناسب، انتخاب الکترود ویا سیم جوش نامناسب نیزاز عواملی می باشند که باعث حفره در جوش می گردند. بارعایت و انتخاب صحیح پارامترهای فوق می توان حفره های جوش را کاهش داد و یا از بین برد.

و- وجود روی در ورقهای گالوانیزه

وجود روی در ورقهای گالوانیزه نیز باعث ایجاد حفره در جوش می شود و برای کاهش آن می توان روی را از حوضچه مذاب دور نمود. برای این منظور می توان از روشهایی مانند MIG Brazing که در آن به لایه گالوانیزه صدمه وارد نمی شود، استفاده نمود.

ز- وجود گوگرد زیاد فلز پایه

وجود گوگرد زیاد نیز در فلز پایه باعث بوجود آمدن حفره در جوش می شود. جهت برطرف کردن آن می توان از الکترود های قلیایی استفاده کرد.

آخال ها (ناخالصیها) (Inclusions)

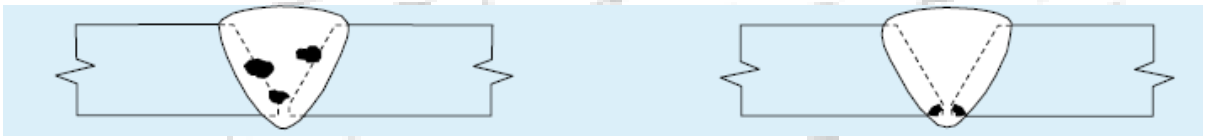
آخال در اثر ورود جسم جامد خارجی نظیر سرباره، فلاکس، تنگستن (در جوشکاری TIG) و اکسید در جوش بوجود آید.

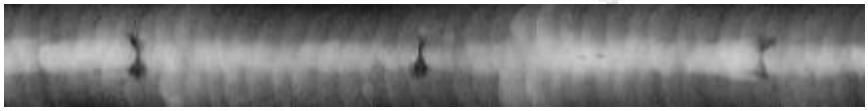
انواع آخال (Types of Inclusions)

الف- سر باره محبوس شده (Slag Inclusions)

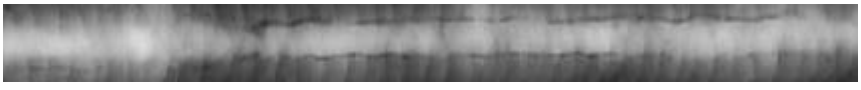
این عیب در اثر وجود ناخالصی غیر فلزی در جوش بوجود می آید. این مسئله می تواند در اثر فلاکس و یا مواد غیر فلزی باشد و معمولاً در بعضی از فرآیندهای جوشکاری و لحیم کاری سخت بوجود می آید.

این عیب در کناره های جوش، در سطح جوش و در بین پاسهای مختلف مشاهده می گردد. علل بوجود آمدن این عیب را می توان موارد زیر بر شمرد.





Interpass slag inclusions



Elongated slag lines

۱- عدم زدودن سرباره جوش

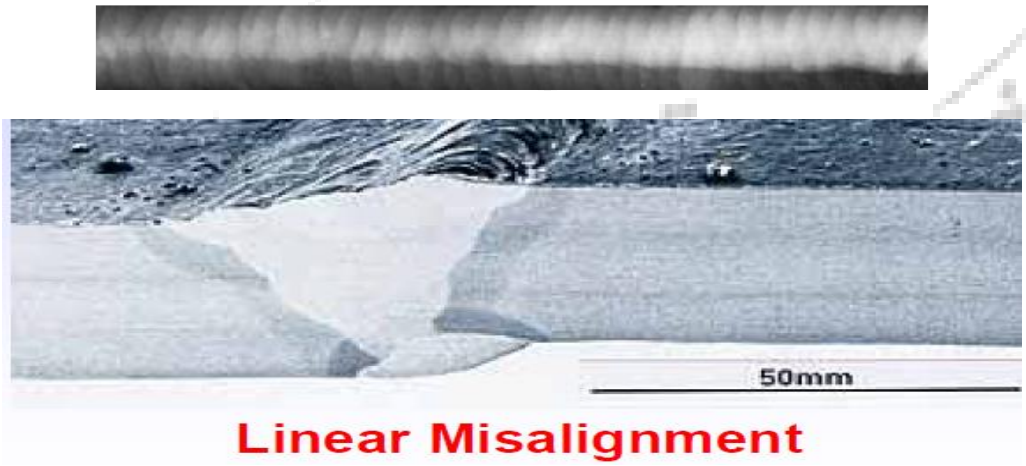
در جوشهای چند پاسه اگر پس از اتمام هر پاس و قبل از شروع پاس بعدی سطح جوش تمیز نگردد، احتمال باقی ماندن سرباره جوش قبلی در جوش بعدی وجود داشته و باعث ایجاد عیب می گردد. برای این منظور باید سطح جوش اول بطور کامل تمیز گردد. می توان از چکش مخصوص و برس سیمی و بعضی مواقع از دستگاه سنگ فیبری استفاده نمود.

۲- وجود اکسید در سطح قطعه

وجود اکسید در سطح قطعه نیز باعث بوجود آمدن این عیب می گردد. برای برطرف کردن آن باید سطح قطعه و سطح جوش را در جوش های چند پاسه تمیز نمود.

۳- نامناسب بودن طرح اتصال

اگر طرح اتصال جوش نامناسب باشد احتمال بوجود آمدن این عیب وجود دارد. مثلاً اگر زاویه پخ در اتصال کم باشد احتمال باقی ماندن سرباره در جوش وجود خواهد داشت.



۴- صحیح نبودن زاویه هدایت الکترود

اگر زاویه هدایت الکترود صحیح نباشد احتمال باقی ماندن سرباره در جوش زیاد می باشد.

۵- معیوب بودن پوشش الکترود

اگر به هر دلیلی قسمتی از پوشش الکترود از مغزی آن جدا شود، احتمال بوجود آمدن آخال سرباره افزایش می یابد. برای جلوگیری از این مسئله باید از بکار بردن الکترودهای معیوب اجتناب نمود.

ب- ناخالصی تنگستن (Tungsten Inclusion)

این عیب در فرآیندهایی نظیر جوشکاری با گاز محافظ و الکترود ذوب نشدنی (TIG)و جوشکاری پلاسما (PBW) که درآنها ازالکترود ذوب نشدنی تنگستنی و یا آلیاژهای تنگستن استفاده می شود، بوجود می آید. در این فرآیندها الکترود ذوب نشدنی تنگستن نقش ایجاد قوس را دارد. اگر بنا به دلایلی مقداری از تنگستن از الکترود تنگستنی جدا شده و وارد حوضچه شود و در داخل جوش حبس بماند، عیب ناخالصی تنگستن ایجاد می گردد. در فیلم رادیوگرافی اثر این عیب بصورت لکه های سفید رنگ دیده می شود. بعضی از دلایل بوجود آمده این عیب به قرار زیر می باشد.

۱- تماس نوک الکترود تنگستنی با حوضچه مذاب

اگر نوک الکترود تنگستنی با حوضچه مذاب تماس پیدا کند باعث ذوب و در نتیجه حبس شدن آن در حین انجماد جوش می شود. برای جلوگیری از این عمل باید سعی نمود طول قوس را همیشه ثابت نگه داشت و از برخورد الکترود تنگستن باحوضچه مذاب جلوگیری نمود.

۲- برخورد الکترود تنگستنی با سیم جوش

اگر در حین جوشکاری سیم جوش باالکترود تنگستنی برخورد داشته باشد آلوده به تنگستن شده که این آلودگی درحین جوشکاری واردفلز جوش میشود وباعث بوجودآمدن عیب مذکور خواهدشد.

برای جلوگیری از این مسئله باید سعی نمود تا الکترود تنگستن و سیم جوش در حین جوشکاری با یکدیگر برخورد نداشته باشند.

ج- بالا بودن شدت جریان

اگر شدت جریان جوشکاری از حد معمول بالاتر انتخاب شود باعث ذوب شدن الکترود تنگستنی شده و در نتیجه باعث بوجود آمدن عیب مذکور می شود لذا برای جلوگیری از این مسئله باید از شدت جریان مناسب استفاده نمود.

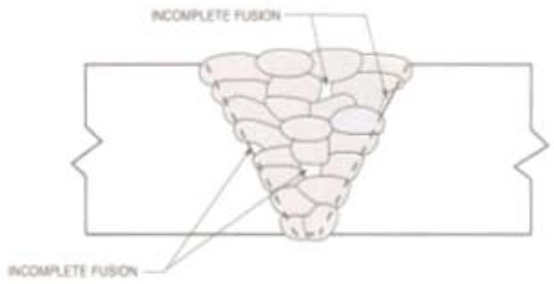
د- کم بودن قطر الکترود تنگستنی

اگر قطر الکترود تنگستن کم باشد این مسئله نیز باعث ذوب شدن آن شده و در نتیجه موجب بوجود آمدن عیب مذکور خواهد شد.

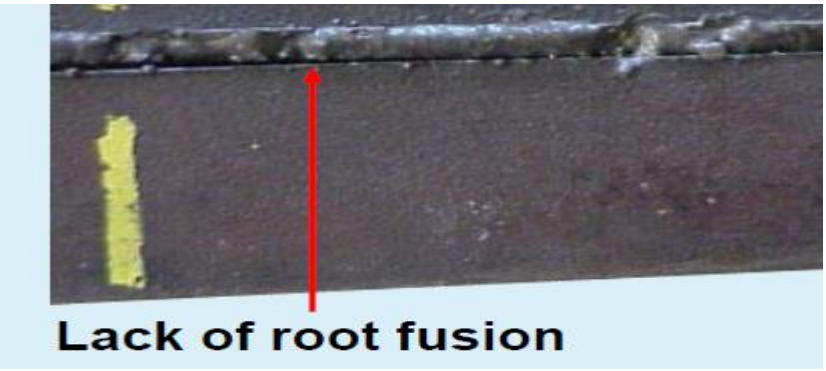
اگر میزان آخال در جوش از حد مشخص شده در استاندارد بیشتر باشد باید جوش را بازسازی کرد. جهت برطرف کردن آخال (ناخالصی ها) از جوش می توان از دستگاه سنگ و یا روش شیار زنی استفاده نمود.

ذوب ناقص Incomplete Fusion

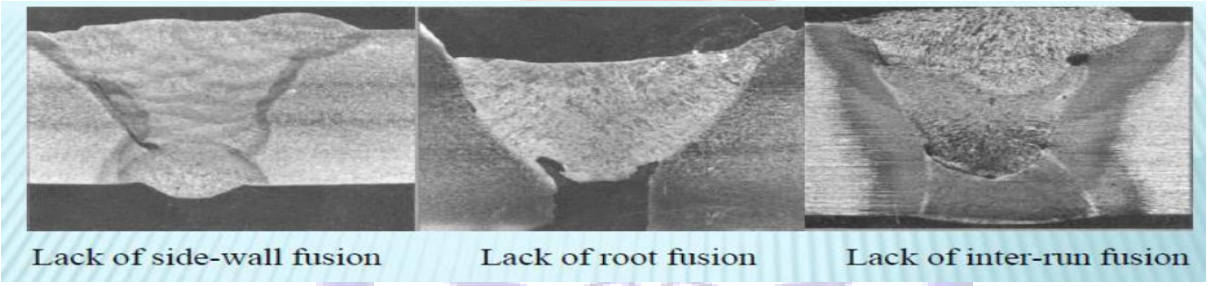
این عیب جزء ناپیوستگی هایی است که بین فلز جوش و سطح ذوب و یا عدم ذوب پاس جوش قبلی ایجاد می گردد. لذا در این قسمت ها ناپیوستگی بوجود می آید. در شکل حالت های مختلف این عیب نشان داده شده است.



محلهای مختلف عیب ذوب ناقص



عیب ذوب ناقص در ریشه



این عیب می تواند در جوشهای جناغی (Groove) و همچنین در جوشهای نبشی (filet) ایجاد گردد. در جوشهای نبشی این عیب بیشتر در ریشه جوش تشکیل می گردد. دلایل متعددی موجب بوجود آمدن این عیب می گردد که در ادامه به آنها می پردازیم.

عیب ذوب ناقص در جوشهای جناغی

الف –کافی نبودن انرژی ورودی (Insufficient Heat input) :

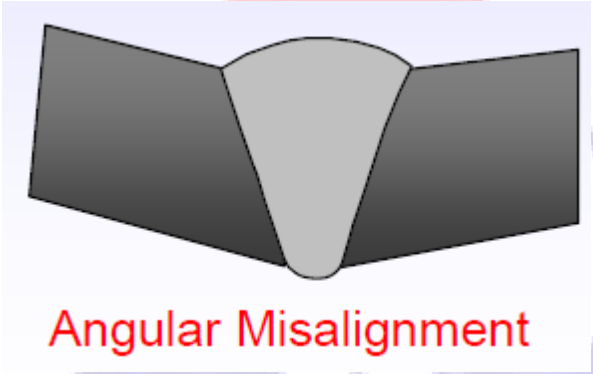
اگر انرژی ورودی به حد کافی نباشد ذوب بصورت کامل انجام نشده و موجب عیب مذکور می گردد. لذا باید توجه داشت انرژی ورودی بطور صحیح انتخاب شود.

ب- انتخاب غلط اندازه و نوع الکترود

عدم انتخاب صحیح نوع و اندازه الکترود باعث بوجود آمدن عیب مذکور می شود. دلیل اینکه اندازهٔ الکترود با پارامترهای مختلف جوشکاری ارتباط دارد و انتخاب غلط آن با تأثیرگذاری بر پارامترهای مختلف باعث بوجود آمدن عیب می گردد.

ج) مناسب نبودن طرح اتصال (Improper Joint Design)

مناسب نبودن طرح اتصال نیز یکی از عوامل بوجود آمدن عیب در جوشکاری بخصوص موجب بوجود آمدن عیب مذکور می شود. لذا باید در طراحی اتصال دقت نمود تا زاویه پخ مناسب انتخاب و بکار گرفته شود.



د- کافی نبودن گاز محافظ در فرآیندهای تحت پوشش گاز

در هنگام جوشکاری با این فرآیندها باید دقت نمود تا پارامترهای جوشکاری از جمله شدت و میزان گاز محافظ مناسب و کافی باشد.

ه- غلط بودن وضعیت الکترود و مشعل

اگر در هنگام جوشکاری زاویه الکترود و مشعل جوشکاری صحیح انتخاب نشده باشد موجب بوجود آمدن عیب (IF) می شود. لذا باید درهنگام جوشکاری دقت نمود تا زاویه هدایت الکترود و مشعل صحیح انتخاب گردد.

و- دویدن فلز جوش در جوشکاری قوسی

در صورتیکه آمپر جوشکاری کم باشد یا سرعت جوشکاری بالا باشد در این وضعیت فلز مذاب از الکترود جلوتر حرکت می کند و لذا باعث می شود که عمل ذوب بطورکامل انجام نشود. برای اصلاح می توان از شدت جریان و سرعت مناسب جوشکاری استفاده نمود.

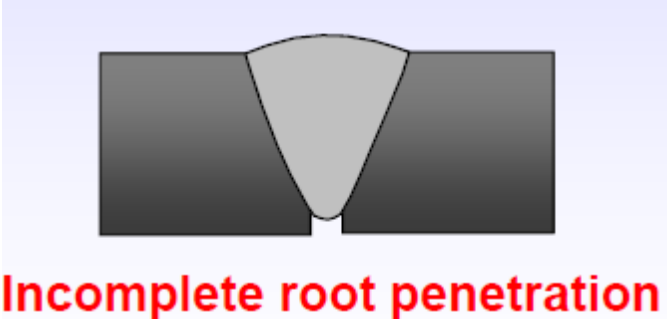
ز- وجود لایه های اکسید و یا سرباره در پخ و یا سطح جوش

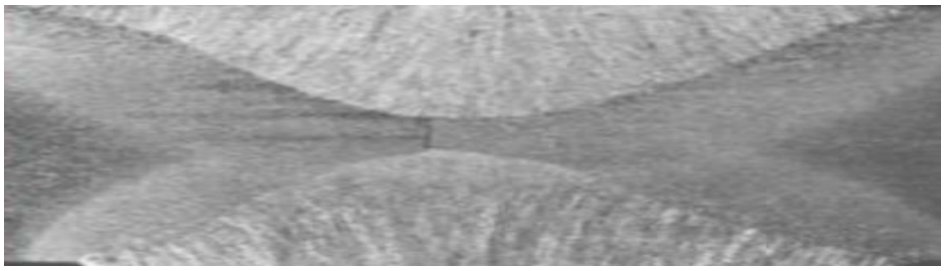
اگر بنا به هر دلیلی در محل جوشکاری موادی مانند اکسید سرباره وجود داشته باشد، موجب عدم اتصال مناسب مذاب و فلز پایه شده و در نتیجه باعث ایجاد عیب مذکور می گردند. برای جلوگیری از این مسئله باید قبل از جوشکاری نسبت به تمیز کردن محل جوشکاری اقدام نمود.

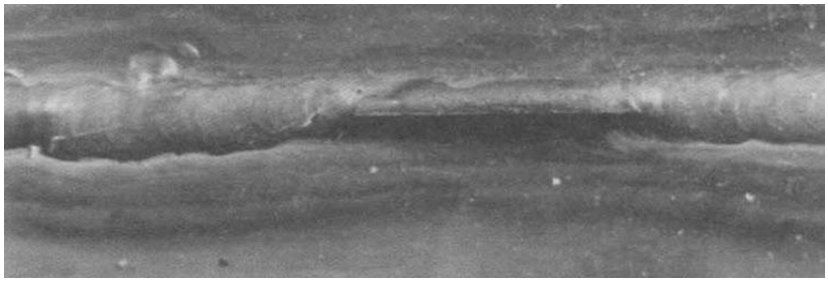
اگر میزان (IF) از محدوده پذیرش آن در استاندارد بیشتر باشد، باید محل جوشکاری ترمیم گردد. برای برطرف کردن این عیب می توان از لایه برداری (Gouging) و یا سنگ زنی (Grinding) استفاده نموده و محل عیب را برداشته و با فرآیند مناسب جوش را بازسازی نمود.

نفوذ ناقص Incomplete Joint Penetration (IJP)

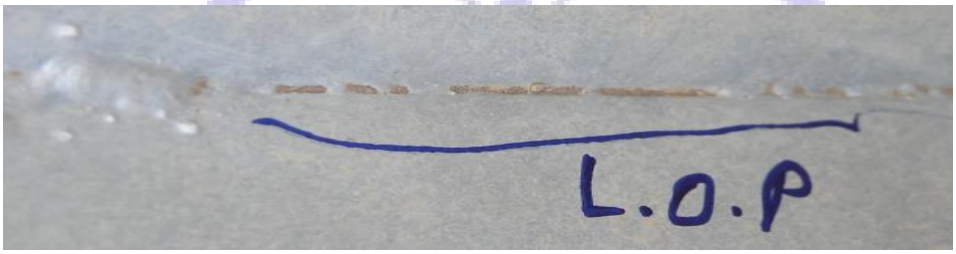
این عیب به ناپیوستگی گفته می شود که نفوذ اتصال ناقص باشد و جوش کل ضخامت قطعه را نپوشانده باشد. نمونه این عیب را در شکل مشاهده می کنید. این نوع عیب در صورتیکه مشاهدهٔ ریشه جوش امکان پذیر باشد به راحتی قابل ملاحظه است. علل متعددی می تواند باعث بوجود آمدن این عیوب گردد که در زیر به آنها اشاره می گردد.







نفوذ ناقص در اثر جا ماندن مواد مصرفی



عیب عدم نفوذ

الف – بزرگ بودن پاشنه جوش (Root Face) و یا کافی نبودن فاصله دو قطعه از یکدیگر (Root gap) برای اصلاح باید در طراحی جوش دقت نمود تا پارامترهای ذکر شده صحیح انتخاب گردد.

ب- کافی نبودن انرژی جوشکاری (Insufficient heat input)

پایین بودن انرژی ورودی جوشکاری نیز باعث تشکیل عیب نفوذ ناقص می شود. با تعیین انرژی ورودی صحیح می توان از بوجود آمد این عیب جلوگیری نمود.

ج- جاری شدن سرباره در جلوی قوس

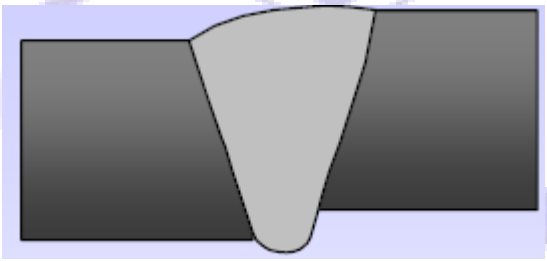
این عمل نیز می تواند موجب بوجود آمدن (IJP) شود. با اصلاح زاویه الکترود نسبت به قطعهٔ کار می توان از بوجود آمدن این عیب جلوگیری کرد.

د- بزرگ بودن قطر الکترود

اگر قطر الکترود نیز بزرگ باشد باعث بوجود آمدن عیب (IJP) می شود. انتخاب صحیح قطر الکترود باعث کاهش(IJP) می شود.

ه- در یک راستا نبودن دو لبهٔ جوشکاری

اگر دولبهٔ قطعه کار مورد جوشکاری در یک راستا نباشند، باعث بوجود آمد (IJP) می شود. لذا قبل از جوشکاری و در هنگام آماده سازی قطعات باید دقت نمود تا دولبهٔ قطعه در یک راستا مونتاژ گردند. تا از بوجود آمدن این عیب جلوگیری گردد.



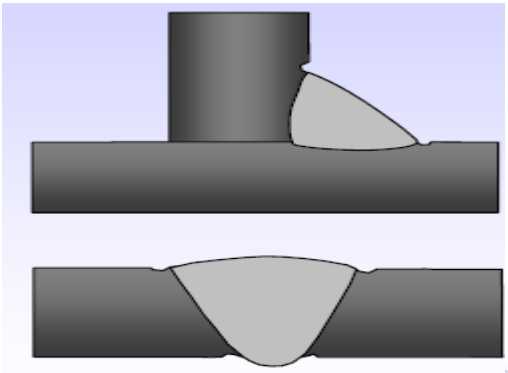
Plate/pipe Linear Misalignment (Hi-Lo)

در صورتیکه این عیب قابل دسترسی باشد می توان آنها را بوسیله گوجینگ و یا سنگ زنی برطرف و جوش را بازسازی نمود. در غیر این صورت جوش پذیرفته نیست.

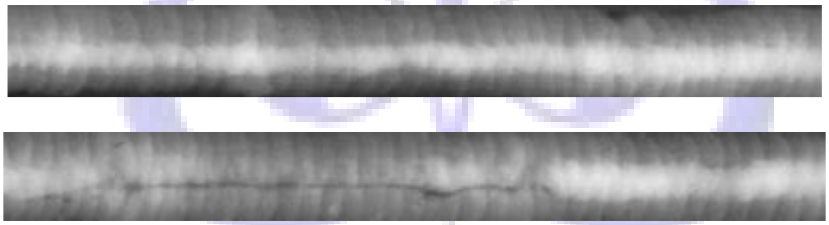
آزمایش های مورد استفاده جهت تشخیص این عیب در جوش، در معیارهای پذیرش آن در بخش ۵ مورد بررسی قرار می گیرد.

بریدگی کنار جوش Under Cut (U/C)

این عیب ناپیوستگی است که در کنار جوش یا پنجه جوش (Weld Toe) یا در سطح جوش (Weld Face) بوجود می آید. این ناپیوستگی بصورت یک شیار باریک مشاهده می گردد. در شکل این عیب را مشاهده می کنید.



شکل الف- ۱۰-۳- عیب بریدگی (سوختگی) کنار جوش



شکل ب-۱۰-۳- عیب بریدگی (سوختگی) کنار جوش در پنجه یک جوش

علل متعددی موجب (U/C) در جوش می شود که در ادامه به آنها می پردازیم.

الف- زیاد بودن جریان جوشکاری

اگر جریان جوشکاری بیش از حد باشد، باعث بوجود آمدن (U/C) می گردد. لذا تعیین صحیح جریان می تواند باعث کاهش این عیب گردد.

ب- عدم مهارت کافی جوشکار

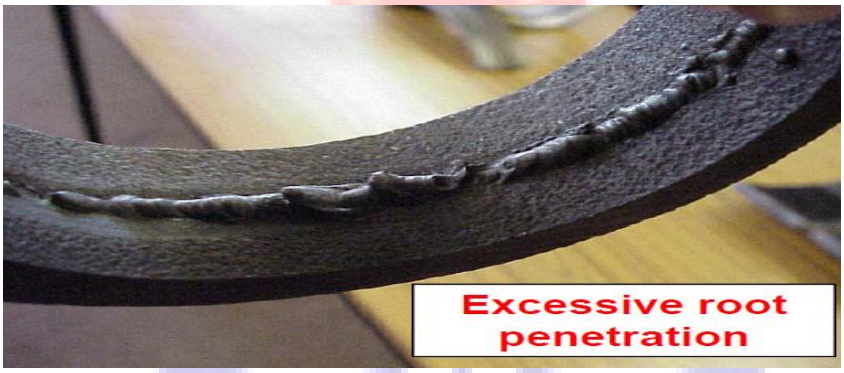
اگر جوشکار مهارت کافی نداشته باشد می تواند باعث بوجود آمدن عیب مذکور گردد.

اگر میزان (U/C) بیش از مقدار تعیین شده در استاندارد باشد، باید برطرف گردد. نحوه تشخیص و معیار پذیرش این عیب در استاندارد در بخش ۵ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

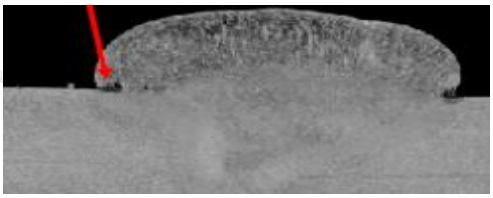
سرریز شدن فلز جوش (Over Lap)

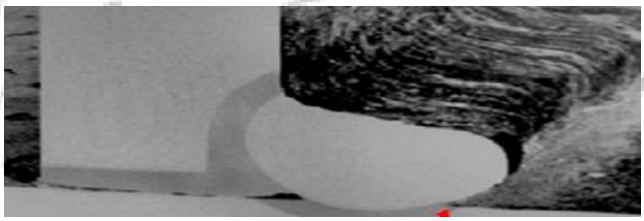
سرریز شدن یا بیش از حد رسوب کردن فلز جوش در پنجه جوش یا ریشه جوش را Over Lap گویند. این عیب در جوشهای جناغی (Groove) و نبشی(Fillet) می تواند بوجود آید. در شکل زیر این عیب را مشاهده می کنید. این عیب بسادگی با تست RT قابل تشخیص می باشد. چنانچه میزان آن از حد قابل قبول در استاندارد بیشتر باشد باید برطرف گردد.

جهت برطرف کردن آن میتوان از فرآیند لایه برداری(Gouging) و یا سنگ زنی (Grinding) استفاده نمود.



عیب رسوب بیش از حد (سر رفتن مذاب) در جوش





عیب سرریز شدن (سر رفتن مذاب) در جوش

علت بوجود آمدن این عیب در جوش می تواند عوامل زیر باشد.

الف- سرعت جوشکاری آهسته

اگر سرعت جوشکاری آهسته تر از حد معمول باشد، باعث سر ریز شدن مذاب می شود. لذا برای برطرف کردن و یا جلوگیری از بوجود آمدن باید سعی نمود سرعت به طور مناسبی انتخاب شود

ب- عدم مهارت کافی جوشکار

عدم مهارت جوشکار یکی از عوامل بوجود آورندۀ این عیب می باشد. با آموزش های متعدد می توان این مهارت را افزایش داد.

ج- تأثیر نیروی ثقل

این عامل نیز می تواند با جوشکار ماهر تا حدودی برطرف گردد. در صورتیکه جوشکار از مهارت کافی برخوردار نباشد، بدلیل تاثیر نیروی ثقل وجاری شدن مذاب عیب Over Lap بوجودمی آید.

۷-۱-۳- عدم رسوب کافی مذاب (Under Fill)

این عیب در سطح جوش ویا در ریشه جوش ایجاد می گردد. نمونۀ آن در شکل مشاهده می شود. پارامترهای مختلفی می‌تواند دلیل بوجود آمدن این عیب در جوش شود. مثلاً در عیب Under Fill که در ریشه جوش بوجود می آید، عواملی مانند کم بودن فاصله دو قطعه از یکدیگر(Gap) و یا زیاد بودن پاشنه جوش (Root Face) و عدم هدایت صحیح الکترود یا مشعل می توانند دخیل باشند.

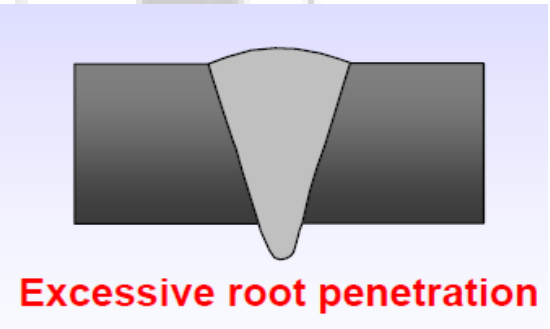
Under Fill در سطح جوش می تواند در اثر عدم هدایت صحیح الکترود که ناشی از عدم مهارت کافی جوشکار است حاصل گردد. دلیل دیگر اینکه گاهاً دیده شده است، برای تسریع در اجرای کار جوشکاران با شدت جریان بالا و سرعت زیاد جوشکاری اقدام بکار می نمایند، که این عمل می تواند باعث بوجود آمدن Under Fill گردد.

عیب رسوب ناقص

گرده بیش از حد جوش (Excessive Reinforcement)

گرده بیش از حد در جوشکاری جناغی Groove بوجود می آید و آن حالتی است که فلز جوش ارتفاعی بیش ازحد معمول ازسطح قطعه کار داشته باشد. این مسئله می تواند درسطح و یا در ریشه جوش بوجود آید.که به ترتیب به آن Root Reinforcement, face Reinforcement گویند. نمونه‌ای از این عیب در شکل نشان داده شده است.

گرده بیش از حد جوش غیر قابل قبول می باشد و میزان مجاز آن در استانداردها آورده شده است. گرده جوش بیش از حد موجب تمرکز تنش در پنجه جوش می گردد (Toes Weld). لذا باید از بوجود آمدن آن جلوگیری نمود. این عیب در اثر ذوب بیش از حد ماده واسطه (filler metal) بوجود می آید و برای رفع آن می توان ارتفاع گرده جوش را با عملیات سنگ زنی به حد نرمال رساند.



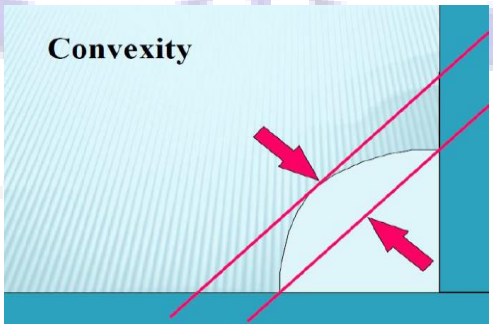
گرده جوش محدب و مقعر (Convexity and Concavity)

تحدب بیش از حد در شکل نشان داده شده است. ماکزیمم فاصله سطح جوش تا خط اتصال جوش میزان تحدب را مشخص می نماید. تحدب بیش از حد نیز مانند گرده بیش از حد جوش قابل قبول نمی باشد و بر اساس استاندارد محدوده ای برای آن در نظر گرفته شده است، که در. تقعرجوش در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است وآن ماکزیمم فاصله از سطح جوش مقعر تا خط اتصال جوش می باشد. اندازه جوش نبشی مقعر بستگی به اندازه گلوئی جوش دارد (Throat). در این جوش ها اندازه ساق جوش معمولاً بزرگتر از اندازه واقعی آن می باشد. میزان تحدب و تقعر می تواند ناشی عوامل ذیل باشد:

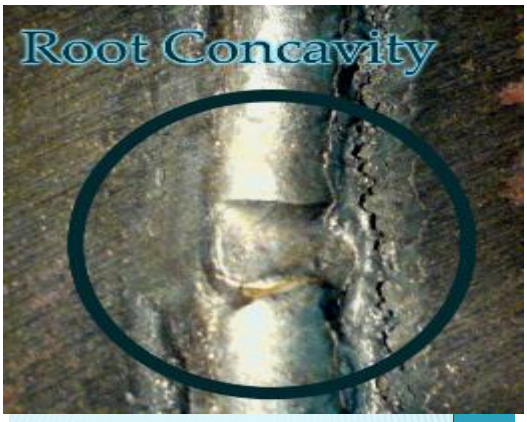
۱- صحیح نبودن زاویه مشعل یا الکترود با سطح کار.

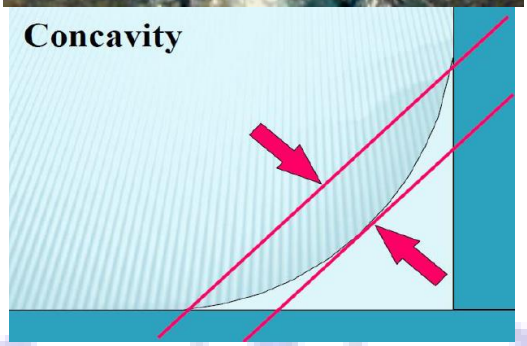
۲- پایین بودن سرعت جوشکاری باعث ایجاد تحدب جوش و سرعت زیاد باعث ایجاد تقعر جوش می گردد.

۳- نوع پوشش الکترود در فرآیند جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترود دستی نیز در تحدب و تعقر گرده جوش مؤثر می باشد.



عیب تحدب بیش از حد





جوش مقعر

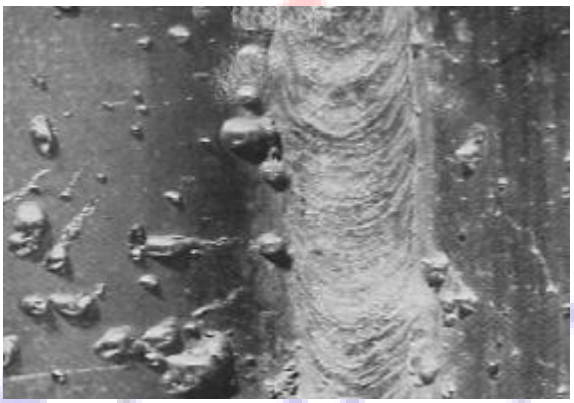
۱۰-۱-۳- لکه قوس (Arc Strikes)

این عیب در صورت سهل انگاری جوشکار ممکن است بوجود آید. هنگامی که در جوشکاری بطور ناخواسته الکترود یا مشعل جوشکار به سطح قطعه کاربرخورد کند، در یک لحظه یک منطقه کوچک از سطح قطعه کار ذوب می گردد. عیب حاصله را لکهٔ قوس می‌گویند. بدلیل سرعت سرد شدن بالا و همچنین عدم حفاظت کافی در این منطقه کوچک احتمال بوجود آمدن ترک وجود دارد. لذا این عیب غیر قابل قبول بوده و باید بر طرف گردد.

جرقه جوش (Spatter)

پاشش مذاب از حوضچه جوش به اطراف به صورت قطرات ریز مذاب را جرقه جوش گویند. این عیب بر روی سطح جوش و ناحیه اطراف آن بوجود می آید و باید برطرف گردد.

علت اصلی آن بالا بودن بیش از حد شدت جریان جوشکاری و یا تنظیم نبودن جریان گاز محافظ جوشکاری می باشد. برای رفع آن باید شدت جریان یا فشار گاز محافظ تنظیم گردد.



عیب جرقه در جوش

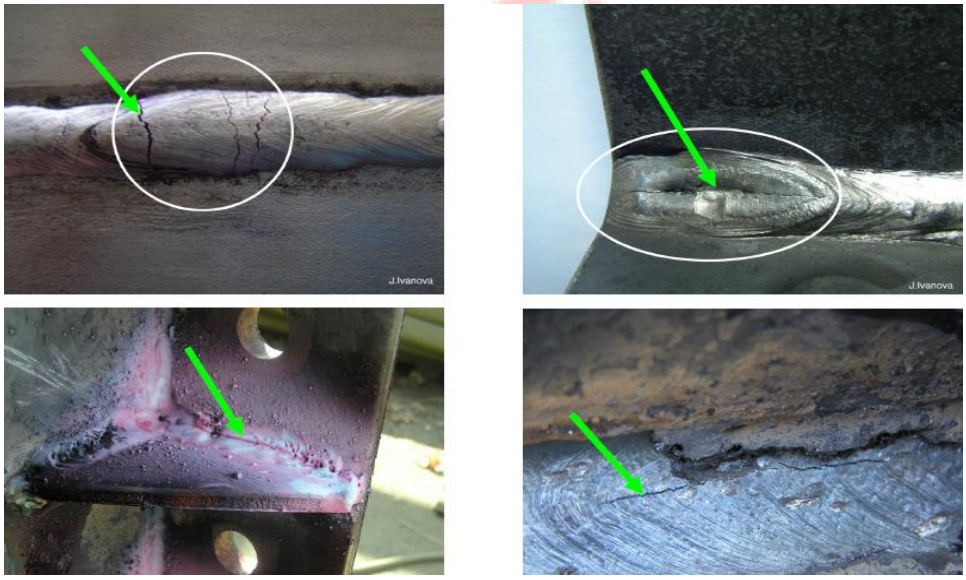
PLATE LAMINATION

ترک‌ها

زمانی که تنش‌های موضعی از حد استحکام ماده فراتر روند در جوش و یا فلز پایه ایجاد می‌شوند. ترک خوردگی معمولا به علت افزایش تنش در نزدیکی ناپیوستگی‌ها در جوش یا فلز پایه، یا در نزدیکی شیارهای مکانیکی مربوط به طراحی جوش به وجود می‌آیند. تنش پسماند بالا و تردی هیدروژن معمولاً موجب

تشکیل ترک می‌شود. ترک‌های مربوط به جوشکاری معمولاً ترد هستند و تغییر شکل پلاستیک کمی در مرز ترک نشان می‌دهند.

انواع ترک‌ها به دو دستهٔ ترک‌های گرم و ترک‌های سرد تقسیم می‌شوند. ترک‌های گرم در حین انجماد به وجود می‌آیند. در حالی که ترک‌های سرد بعد از تکمیل انجماد به وجود می‌آیند. ترک‌های سرد که به آن‌ها ترک‌های تأخیری نیز گفته می‌شود، معمولا در رابطه با تردی هیدروژنی به وجود می‌آیند. ترک‌های گرم بین دانه‌ها اشاعه پیدا می‌کنند و ترک‌های سرد هم بین دانه‌ها و هم داخل دانه‌ها گسترش پیدا می‌کنند.



جهت‌گیری ترک

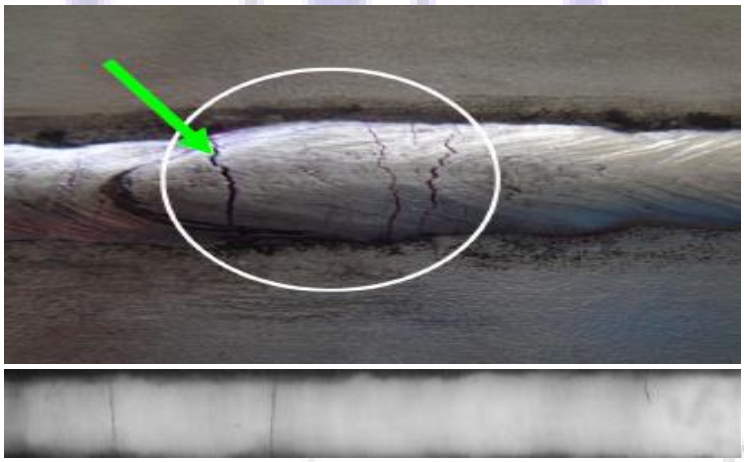
ترک‌ها می‌توانند طولی یا عرضی باشند، که این امر به جهت‌گیری آن‌ها بستگی دارد. ترک موازی محور جوش ترک طولی نامیده می‌شود، فارغ از این که یک ترک مرکزی در فلز جوش یا یک ترک انتهایی در منطقه حرارت دیده فلز پایه باشد. ترک‌های عرضی عمود بر محور جوش هستند. این ترک‌ها ممکن است از نظر اندازه محدود باشند و به طور کامل در فلز جوش قرار گیرند یا از فلز جوش به منطقه حرارت دیده مجاور خود در فلز پایه اشاعه پیدا کنند. در برخی قطعات جوش داده شده، ترک‌های عرضی در جوش دیده نمی شوند بلکه در منطقه حرارت دیده مشاهده می‌شود.

ترک‌های طولی

در جوشکاری با قوس زیرپودری، به علت سرعت بالای جوشکاری به وجود می‌آیند و گاهی نیز در اثر تخلخل‌هایی به وجود می‌آیند که در سطح جوش قابل مشاهده نیستند. ترک‌های طولی در جوش‌های کوچک بین مقاطع سنگین، معمولا بر اثر سرعت بالای سرد شدن و تنش بالا رخ می‌دهند.

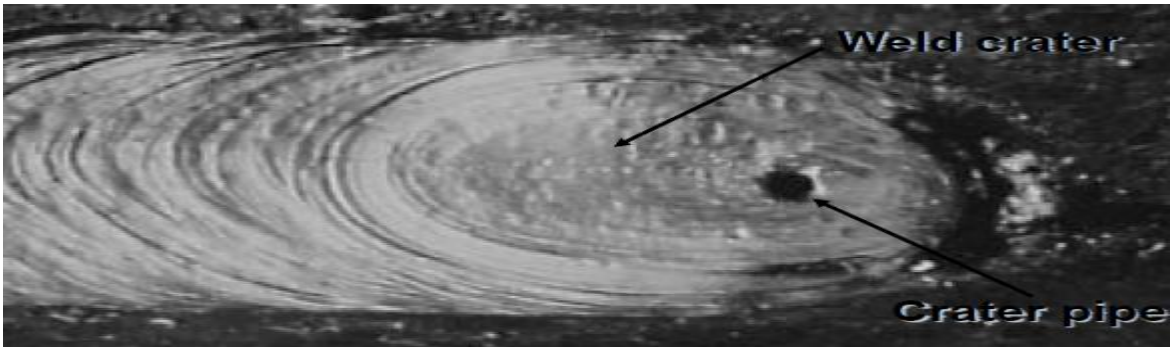
ترکهای عرضی

معمولا بر اثر تنش‌های طولی انقباضی، روی فلز جوش با چکشخواری کم به وجود می‌آیند.



ترک‌های چاله انتهایی جوش

در اثر قطع نامناسب جوشکاری قوسی در چاله انتهایی جوش به وجود می‌آیند. گاهی به آن‌ها ترک‌های ستاره‌ای نیز گفته می‌شود، هر چند که به شکل‌های دیگری هم مشاهده می‌گردند. این ترک‌ها کم عمق هستند، ترک‌های گرم معمولا یک شبکه چنگکی ستاره‌ای ایجاد می‌کنند.



ترک‌های گلویی

این ترک‌ها، ترک‌های طولی در وجه جوش، در جهت محور هستند و معمولاً ولی نه همیشه از انواع ترک گرم هستند.

ترک‌های انتهایی

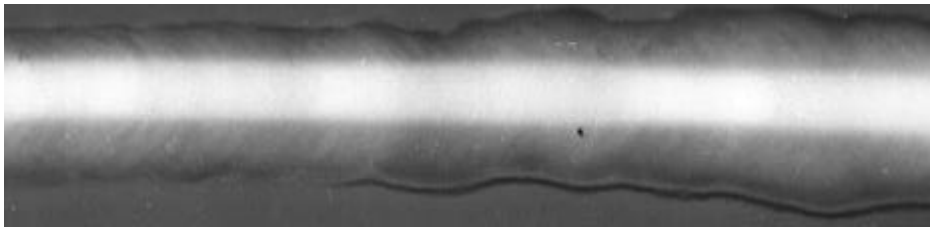
معمولا ترک‌های سرد هستند. از انتهای جوش، جایی که در آن تنش‌های انقباضی متمرکز شده‌اند، آغاز شده و اشاعه می‌یابند. ترک‌های انتهایی تقریباً عمود بر سطح فلز پایه به وجود می‌آیند. این ترک‌ها معمولاً بر اثر تنش‌های انقباضی حرارتی روی منطقه حرارت دیده وجود می‌آیند. برخی ترک‌های انتهایی به این علت به وجود می‌آیند که خواص کششی عرضی فلز پایه نمی‌تواند تنش‌های انقباضی که در جوش ایجاد می‌شود را تحمل کند.

ترک‌های ریشه

ترک‌های طولی ایجاد شده در ریشه جوش یا سطح ریشه هستند. این ترک‌ها می‌توانند از نوع گرم یا سرد باشند.

ترک‌های مهره جوش و منطقه حرارت دیده

معمولا ترک‌های سردی هستند که در منطقهٔ حرارت دیدهٔ فلز پایه ایجاد می‌شوند. معمولاً کوتاه بوده، اما ممکن است به هم بپیوندند و یک ترک پیوسته ایجاد کنند. این ترک‌ها در صورت وجود سه عامل (۱) هیدروژن، (۲) ریزساختار با چکشخواری نسبتاً پایین و (۳) تنش پسماند بالا، تشکیل می‌شوند. ترک‌های مهره جوش باعث ایجاد مشکلات اساسی می گردند. ترک‌های مهره جوش و منطقه حرارت دیده می‌توانند به صورت طولی یا عرضی باشند. این ترک‌ها در فواصل یکسان در مهره های جوش و همچنین در مرزهایی در منطقه حرارت دیده که تنش‌های پسماند در آن بالاتر است به وجود می‌آید.



تخلخل در جوش‌های ذوبی

علل تخلخل:

گازهای حل شده همواره در حین جوشکاری در فلز جوش مذاب وجود دارند. زمانی که مقدار این گازهای موجود، از حد حلالیت جامد آن‌ها بزرگ‌تر باشد، در حین انجماد در فلزجوش تخلخل ایجاد می‌گردد. علل تخلخل در فلزجوش، وابستگی به فرآیند جوشکاری ، دستورالعمل جوشکاری و در برخی موارد به نوع و ماهیت شیمیایی فلز پایه دارد. فرآیند جوشکاری، دستورالعمل جوشکاری، نوع فلزپایه و فرآیند مورد استفاده جهت تولید فلزپایه، مستقیماً مقادیر و نوع گازهایی را که در حوضچه مذاب جوش حضور دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرآیند و روند جوشکاری سرعت انجماد را کنترل می‌کنند. این مورد، عاملی غلبه کننده محسوب می‌شود که سبب ایجاد تخلخل در فلز جوش می‌گردد. استفاده از دستورالعمل جوشکاری صحیح برای فرآیند جوشکاری و فلزپایه مفروض، باید منجر به تولید جوش‌هایی شود که اساساً عاری از تخلخل هستند.

جدول علل و راه‌حل‌های معمول برای ناپیوستگی‌های جوش

علت	راه حل
تخلخل	
هیدروژن، نیتروژن، یا اکسیژن اضافی دراتمسفر جوشکاری	استفاده از فرآیند جوشکاری کم ـ هیدروژن؛ فلزات پرکنندهٔ حاوی مقادیر زیاد مواد اکسیژن‌زدا؛ افزایش سیلان گاز محافظ
سرعت بالای انجماد	بکارگیری پیشگرم یا افزایش حرارت ورودی
فلز پایه کثیف	تمیزکاری سطوح اتصال و سطوح مجاور
فلز پرکنندهٔ کثیف	استفاده از فلزهای پرکننده‌ای که به طور مخصوص تمیزکاری و بسته‌بندی شده باشند، و نگهداری آن‌ها در محل تمیز
صحیح نبودن طول قوس، جریان جوشکاری، یا نحوه به‌کارگیری دستی الکترود	تغییر شرایط و تکنیک‌های جوشکاری
تبخیر روی از برنج	استفاده از فلز پرکننده مس ـ سیلسیم کاهش حرارت ورودی
فولاد گالوانیزه	استفاده از الکترودهای E7010 ودستکاری حرارت قوس به منظور تبخیر گالوانیزه (روی) پیشاپیش حوضچهٔ مذاب جوش
رطوبت اضافی در پوشش الکترود و یا روی سطوح اتصال	استفاده از روش‌های توصیه شده جهت نگهداری و ذخیره‌سازی الکترودها، پیشگرم فلز پایه
فلز پایه محتوی گوگرد بالا	استفاده از الکترودهای دارای واکنش‌های سرباره سازی بازی (قلیایی)
آخال	
زدودن ناموفق سرباره	تمیزکاری سطح و گردهٔ قبلی جوش
به دام افتادن اکسیدهای دیرگداز	برس‌کشی کامل روی گردهٔ قبلی جوش
تنگستن در فلز جوش	اجتناب از تماس بین الکترود و قطعه کار؛ استفاده از الکترودهای بزرگ‌تر
طراحی نادرست اتصال	افزایش زاویه شیار (groove angle) اتصال
آخال‌های اکسیدی	فراهم کردن محافظت گازی مناسب
ترک‌خوردن فلز جوش	
اتصال بسیار مقید	پیش‌گرم،رهاسازی تنش‌های پسماند بصورت مکانیکی، به حداقل رساندن تنش‌های انقباضی با استفاده ازbackstep یا رعایت ترتیب جوشکاری
درجه رقت بیش از حد	تغییر دادن جریان جوشکاری و سرعت حرکت جوشکاری با الکترود پوشش‌دار منفی؛ لایه نشانی (buttering) سطوح اتصال پیش از انجام جوشکاری
ترک خوردن فلز جوش	

الکترودهای معیوب	تعویض با الکترودهای نو؛ پختن الکترود به هدف حذف رطوبت
ضعف در جور کردن (fit – up)	کاهش درز اتصال؛ افزایش build up با فلز جوش
گرده جوش کوچک	افزایش سایز الکترود؛ افزایش جریان جوشکاری؛ کاهش سرعت حرکت
فلزپایهٔ غنی از گوگرد	استفاده از فلز پرکننده حاوی گوگرد کم
اعوجاج زاویه‌ای	تغییر به جوشکاری متعادل در هر دو طرف اتصال
ترک خوردن چاله انتهایی جوش	پرکردن چاله انتهایی جوش پیش از خاموش کردن قوس؛ استفاده از دستگاه زوال جریان جوشکاری (decay device) در زمان تمام کردن گردهٔ جوش
ترک خوردن فلز پایه	
هیدروژن در اتمسفر جوشکاری	استفاده از فرآیند جوشکاری کم هیدروژن؛ انجام پیشگرم و دوساعت نگهداری پس از جوشکاری یا انجام بی‌درنگ عملیات حرارتی پس از جوشکاری
ترک داغ	استفاده از حرارت ورودی پایین؛ رسوب‌دهی لایه‌های نازک؛ تعویض فلز پایه
داکتیلیتی پایین	به کارگیری پیشگرم؛ آنیل کردن فلز پایه
تنش‌های پسماند زیاد	طراحی مجدد فلزجوش؛ تغییر توالی مراحل جوشکاری ؛ اعمال عملیات حرارتی واسطه‌ای تنش‌زدایی
سختی‌پذیری بالا	پیشگرم؛ افزایش حرارت ورودی؛ عملیات حرارتی بدون سرد کردن تا دمای اتاق
فازهای شکننده در ریزساختار	عملیات حرارتی انحلال پیش از جوشکاری

گازهای حل شده در فلز جوش

گازهایی که ممکن است در حوضچهٔ مذاب جوش حاضر باشند، عبارتند از:

۱) هیدروژن

۲) اکسیژن

۳) نیتروژن

۴) مونوکسید کربن

۵) دی‌اکسید کربن

۶) بخار آب

۷)سولفید هیدروژن

۸) آرگون

۹) هلیم

از میان این‌ها، تنها هیدروژن، اکسیژن، و نیتروژن هستند که میزان حلالیت آن‌ها در حوضچه مذاب جوش، قابل توجه تلقی می‌شود. قابلیت انحلال آن‌ها در فلز منجمد بسیار کمتر است.

هیدروژن، عامل اصلی تخلخل در جوشکاری فلزات محسوب می‌شود. این عنصر ممکن است از منابع متعددی به حوضچهٔ مذاب جوش راه یابد. به عنوان مثال ممکن است در اتمسفر گازی احاطهٔ کننده منطقه قوس یا در اجزای هیدروژن‌ساز از قبیل سلولز فلاکس یا پوشش الکترود موجود باشد. هیدروژن، همچنین ممکن است به واسطه تجزیه آب به حوضچهٔ مذاب جوش وارد شود. رطوبت می‌تواند در فلاکس، پوشش الکترودها، و اتمسفر، یا روی سطوح فلز پایه موجود باشد. همچنین هیدروژن حل شده در فلز پایه ممکن است خود در حین جوشکاری به جوش راه یابد. فلزات پرکننده نیز ممکن است محتوی هیدروژن حل شده باشند. گوگرد و سلنیم موجود در فلز پایه ممکن است با هیدروژن ترکیب شده و تشکیل گاز دهند.

نیتروژن می‌تواند در جوش‌های فولادی و در آلیاژهای نیکل عامل تخلخل باشد. این گاز ممکن است از اتمسفر یا از گاز محافظی که آلوده باشد، به حوضچه مذاب جوش راه یابد. نیتروژن همچنین ممکن است به شکل نیتریدها یا نیتروژن حل شده در فلز پایه یا فلز پرکننده موجود باشد.

اکسیژن حل شده در فلز مذاب جوش نیز می‌تواند عامل تخلخل باشد. اکسیژن در صورت موجود بودن در فولاد مذاب می‌تواند با کربن واکنش داده و تشکیل Co یا Co_2 دهد. اکسیژن می‌تواند به شکل اکسیدهای موجود روی فلز پرکننده یا فلز پایه، به شکل ترکیبات موجود در فلاکس یا پوشش الکترود و نیز از اتمسفر به حوضچه مذاب جوش وارد گردد. ناکافی بودن مقادیر مواد اکسیژن‌زدا در فلزات پایه فولادی، فلزات پرکننده، فلاکس یا پوشش الکترودها می‌تواند منجر به اکسیژن‌زدایی ناقص حوضچه مذاب جوش گردد.

اهمیت یکپارچگی جوش

تخلخل به طور فراگیری به عنوان یک ناپیوستگی در جوش ارزیابی شده است. عملاً برای تمامی انواع فلزات پایه، آزمایشاتی به منظور تعیین اثر تخلخل هم بر رفتار استاتیک و هم بر رفتار دینامیک اتصالات جوشکاری شده تعریف شده است. در سطوح ۲ تا ۳ درصد،اثر تخلخل بر استحکام استاتیک، محسوس نیست. این حد عموماً بالاتر از آن چیزی است که توسط نظام‌نامه‌ها و استانداردهای صنعتی مجاز شمرده می‌شود. اثر بر استحکام تسلیم از الگویی مشابه استحکام کششی پیروی می‌کند.

اثر تخلخل بر داکتیلیتی، قدری مشخص‌تر است. هر قدر استحکام تسلیم یا استحکام کششی مواد بالاتر باشد، اثر تخلخل بر داکتیلیتی بیشتر خواهد بود.

علاوه بر این، آلاینده گازی مسبب تخلخل،ممکن است خواص فلز جوش را از طریق انحلال در آن تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، گاز موجود در خلل و فرج ، ممکن است فلز احاطه کننده حفره را تا آن حد تحت تأثیر قرار دهد که حفره در هنگام بارگذاری در سرویس مانند یک ترک عمل کند. (H_2 در فولاد چنین اثری دارد، ولی سایر گازها ممکن است این اثر را نداشته باشند.)

تأثیر تخلخل بر چقرمگی دینامیک فلز جوش از اطمینان کمتری برخوردار است. طراح می‌بایست پیش از تعیین حدود تخلخل قابل قبول برای فلز جوش آثار تخلخل را بر جوش‌هایی که در معرض انواع بارگذاری های مورد انتظار هستند تحت بررسی قرار دهد.

در مواد آهنی که تحت عملیات حرارتی پس از جوشکاری قرار گرفته باشند، اثر تخلخل تا حد زیادی تخفیف پیدا می‌کند. اثر سادهٔ از دست رفتن سطح مقطع، تا زمانی که سطح تخلخل از ۳ درصد حجمی تجاوز نکرده باشد، رفتار را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

در آلیاژهایی که دارای ساختار کریستالی مکعبی با سطوح مرکزدار هستند (Al,Cu,Ni) ، اثر تخلخل به طور کلی کوچک در نظرگرفته می شود. برای تمامی فلزات در دماهای بالا (محدوده خزش) ، مجدداً اثر حاصله، تنها به از دست رفتن سطح مقطع ارتباط پیدا می‌کند.

پراهمیت‌ترین بررسی در خصوص تخلخل، در مقولهٔ اثر آن بر خواص خستگی اتصالات سر به سر جوشکاری شده به روش ذوبی ، چه اتصالات تقویت شده و چه تقویت نشده، انجام گرفته است. در جوش‌های تقویت شده اثر تخلخل روی استحکام خستگی، فارغ از میزان تخلخل، تحت‌الشعاع تمرکز تنش روی سطوح قرار می‌گیرد. با این وجود زمانی که تقویت جوش برداشته شود، تخلخل‌های آشکار شده، در انهدام ناشی از خستگی نقش ایفا می‌کنند.

در خصوص جوش‌های گوشه، اثرات تمرکز تنش پنجه‌های جوش و مکان‌های آغاز و پایان زیاد بوده و عملاً تمامی موارد مربوط به تخلخل را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. چنین به نظر می‌رسد که تخلخل در جوش‌های گوشه، مادامی که در حد معقولی نگه‌داشته شده باشد، عامل مؤثری بر رفتار خستگی به حساب نمی‌آید. اثر تخلخل سطحی در جوش‌های سر به سر و گوشه کمی‌متفاوت است. تخلخل سطحی مخرب‌تر از تخلخل مدفون شده و یا داخلی است. اگرچه مسلماً بدتر از ترک نخواهد بود. ظهور تخلخل سطحی ممکن است گلوگاه جوش مورد نیاز برای تحمل بار مورد نظر را کاهش دهد. علاوه بر این، تخلخل سطحی غالباً حاکی از آن است که فرآیند خارج از کنترل است، در نتیجه ممکن است سایر عوامل نیز همراه با هم منجر به تغییر رفتار خستگی شوند.

- **آخال‌های سرباره‌ای**
- **علل و راه‌حل‌ها**

ناپیوستگی‌های به دام افتاده سرباره‌ای، به طور معمول با فرآیندهای جوشکاری محافظت شده با فلاکس ایجاد می‌شوند: SMAW، FCAW، SAW و جوشکاری با سرباره الکتریکی از جمله فرآیندهای محافظت شده با فلاکس هستند. سرباره ایجاد شده در حین جوشکاری،در نتیجه واکنش‌های شیمیایی در حوضچهٔ مذاب جوش مابین عناصر موجود در پوشش الکترودها یا فلاکس‌های جوشکاری و مواد موجود در فلزات پرکننده و پایه به وجود می‌آیند. برخی از محصولات، این واکنش‌ها ترکیبات غیر فلزی هستند که تنها به درجات کمی در فلزات مذاب جوش قابل حل هستند. به طور طبیعی، سرباره در سطح فلز جوش مذاب قرار می‌گیرد (مگر این که از

نظر فیزیکی محدود شده باشد)،که این امر به دلیل وزن مخصوص کمتر و مسائل مربوط به انرژی فصل مشترک می‌باشد.

در حین فرآیند جوشکاری، سرباره تشکیل شده و براثر عملکرد هم‌زنندهٔ قوس به زیر سطح فلز جوش مذاب رانده می‌شود. سرباره، همچنین ممکن است پیشاپیش قوس جریان یابد، و فلز ممکن است روی آن راسب شود. در هر صورت، سرباره به واسطهٔ دانسیته پایین‌تر، تمایل به صعود به سطح دارد.

عواملی وجود دارند که ممکن است از آزاد شدن سرباره جلوگیری کرده و سبب به دام افتادن سرباره در فلز جوش شوند. برخی از این عوامل عبارتند از:

۱) ویسکوزیته بالای فلز جوش

۲) انجماد سریع

۳) دمای بیش از حد پایین

۴) نادرست بودن حرکت الکترود

۵) undercut در پاس‌های قبلی

فاکتورهای هندسی از قبیل، پروفیل نامناسب جوش، undercut های تیز، یا هندسه نادرست شیار، نیز می‌توانند از طریق ایجاد مکان‌هایی جهت تجمع سرباره در زیر لایه جوش، سبب به دام افتادن سرباره شوند. در هنگام ایجاد پاس ریشه، در صورتی که الکترود بیش از حد بزرگ بوده و قوس به جای سطوح ریشه، با سطوح پخ برخورد کند، امکان این وجود دارد که سرباره به داخل درز اتصال بغلتد و در زیر فلز جوش به دام بیفتد. عوامل سهیم در به دام افتادن سرباره را می‌توان توسط تکنیک جوشکاری که خود عامل و درمان نهایی سرباره‌های محبوس هستند، تحت کنترل درآورد. علل و راه‌حل‌های سربارهٔ به دام افتاده را می‌توان به شرح ذیل جمع‌بندی کرد:

علل:

۱) تکنیک ضعیف در کنترل حرکت الکترود

۲) جاری شدن سرباره پیشاپیش قوس، به واسطهٔ قرارگیری نادرست اتصال

۳) برداشت ناقص سربارهٔ منجمد شده از مهره‌های جوش یا لایه‌هایی از جوش‌های چند پاسه.

۴) پروفیل نامناسب جوش در جوش‌های چندپاسه.

۵) وجود پوسته های[1] سنگین یا زنگ‌زدگی روی فلز پایه

۶) آخال‌های حاصل از تکه‌های ذوب نشده پوشش ناشی از الکترودهایی که پوشش صدمه دیده دارند.

راه‌حل‌ها:

۱) قطعه باید به گونه‌ای قرار داده شود که از کنترل ناقص سرباره اجتناب شود.

۲) الکترود یا فلاکس را می‌توان به منظور بهبود کنترل سربارهٔ مذاب تعویض کرد.

۳) برداشت سرباره مابین پاس‌ها به طور کامل انجام پذیرد.

۴) در صورتی که سطح جوش زیر باشد و احتمال به دام افتادن سرباره را ایجاد کند، باید آن را صاف و صیقلی کرد.

۵) پوسته‌های سنگین یا زنگ‌زدگی‌های روی سطوح باید زدوده شوند.

۶) از الکترودهای دارای پوشش آسیب‌دیده استفاده نشود.

اهمیت یکپارچگی جوش

تأثیر آخال‌های سرباره بر رفتار جوش، مشابه اثر تخلخل است که پیش از این توضیح داده شد. اثر آخال‌های سرباره بر خواص استاتیک کششی اصولاً تا جایی که سطح مقطع حاضر جهت تحمل بار را تحت تأثیر قرار دهد، اثری قابل ملاحظه تلقی می‌شود. حضور سرباره ایزوله در منطقه جوش، در صورتی که درصد حجمی آن ۴ درصد یا کمتر باشد، به طور کلی بر چقرمگی فلز جوش تأثیری ندارد. در فلزات جوش دارای استحکام کششی کمتر از ۷۵ksi، داکتیلیتی به طور کلی تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. در هر حال به موازات افزایش استحکام کششی، داکتیلیتی متناسب با سربارهٔ موجود افت می‌کند.

آخال‌های سرباره ممکن است به شکلی کشیده شوند که دنبالهٔ آن‌ها به عنوان محل تمرکز تنش نقش داشته باشد. بنابراین، سرباره، به ویژه هنگامی که گرده جوش برداشته شده و جوش تحت عملیات حرارتی پس از جوشکاری واقع شده است، می‌تواند رفتار خستگی جوش را تحت تأثیر قرار دهد. مشابه آن چه که در خصوص تخلخل گفته شد، سرباره‌ای که در سطح یا در مکانی بسیار نزدیک به سطح جوش (سطح یا ریشه)

واقع شده باشد، رفتار خستگی را بسیار بیشتر از سربارهٔ مشابهی که در بطن فلز جوش واقع است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. سرباره، در کنار هیدروژن حل شده در فلز جوش، می‌تواند استحکام خستگی را از طریق کاهش سایز بحرانی ذرات سرباره، لازم برای جوانه‌زنی ترک خستگی، تحت تأثیر قرار دهد.

- **ذوب ناقص**

ذوب ناقص بر اثر همجوش ناقص فلز جوش به فلز پایه، مهره‌های مجاور یا لایه‌های فلز جوش به یکدیگر ایجاد می‌گردد. ذوب ناقص ممکن است در هر نقطه‌ای در یک جوش شیاری یا از جمله در ریشه جوش به وقوع بپیوندد.

- **علل و راه حل‌ها**

ذوب ناقص تقریباً همواره، در نتیجه تکنیک‌های نادرست جوشکاری در خصوص یک هندسهٔ اتصال مفروض و فرآیند جوشکاری مفروض،رخ می‌دهد. این پدیده ممکن است به سبب عدم توانایی در افزایش دمای فلز پایه یا فلز جوشی که قبلاً رسوب داده شده است، تا دمای ذوب، به وقوع بپیوندد. همچنین ، حضور اکسیدها یا سایر مواد خارجی، مانند سرباره بر روی سطوح اتصال، در صورتی که از طریق اعمال فلاکس یا به روش‌های مکانیکی، برداشته نشوند، ممکن است منجر به ذوب ناقص گردد. علل و راه‌حل‌های ذوب ناقص به شرح زیر جمع‌بندی می‌شوند:

- علل:

۱)حرارت ورودی ناکافی در نتیجه جریان پایین جوشکاری یا سرعت بالای حرکت

۲) موقعیت نادرست الکترود

۳) جریان یافتن فلز جوش در مقابل قوس، به دلیل محل اتصال

۴) القاء بیش از حد در مدار جوشکاری در حین انتقال مدار کوتاه با جوشکاری جوش قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ

۵) عدم توانایی در برداشتن اکسیدها یا سرباره ازسطوح شیار یا مهره‌هایی که قبلاً راسب شده‌اند.

۶) نوع یا سایز نادرست الکترود

۷) طراحی نادرست اتصال

۸)محافظت ناکافی گاز

- راه‌حل‌ها:

۱) شرایط جوشکاری برای ذوب کامل باید توسط تست جوش مورد بررسی و تأیید قرار بگیرد، تا الزامات حداقل حرارت ورودی برقرار گردد.

۲) موقعیت صحیح الکترود باید به کار گرفته و در حین کار حفظ شود.

۳) موقعیت قطعه یا شرایط جوشکاری باید تغییر کند تا از جریان یافتن فلز جوش پیشاپیش قوس جلوگیری شود.

۴) القا بیش از حد در انتقال مدار ـ کوتاه با جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ می‌بایست کاهش پیدا کند، حتی به قیمت پاشش اضافی.

۵) اکسیدها یا سرباره می‌بایست به روش‌های شیمیایی یا مکانیکی برداشته شوند.

- **اهمیت یکپارچگی جوش**

ناپیوستگی های ذوب ناقص، یکپارچگی اتصال جوش را تا حد زیادی مانند تخلخل و آخال‌های سرباره تحت تأثیر قرار می‌دهد. درجه تحمل‌پذیر بودن ذوب ناقص در اتصال جوشکاری برای انواع گوناگون بارگذاری،مشابه آن چیزی است که در خصوص تخلخل و آخال‌های سرباره مطرح گردید.

- **نفوذ ناکافی اتصال**

نفوذ ناکافی اتصال عموماً با جوش‌های شیاری مرتبط است. در برخی طراحی‌های فلز جوش ،نفوذ کامل اتصال همیشه در تمام اتصالات جوشکاری شده ضروری نیست. برخی اتصالات با نفوذ جزئی اتصال[۲] طراحی می‌شوند. در هر حال، چنین جوش‌هایی در صورتی که گلوگاه مؤثر جوش، کمتر از حد مشخص شده در مشخصات فنی جوشکاری باشد، می‌توانند دارای نفوذ ناکافی اتصال باشند. نفوذ ناکافی اتصال در جوش، تابعی از هندسه شیار و همچنین دستورالعمل جوشکاری است علل و راهکارهای رفع نفوذ ناکافی اتصال به شرح زیر است:

- **علل و راه‌حل‌ها**

- علل:

۱) پاشنه جوش بیش از حد ضخیم یا درز اتصال ناکافی ریشه.

۲) استفاده از توالی نادرست در جوشکاری.

۳) حرارت ورودی ناکافی در نتیجه پایین بودن بیش از حد جریان جوشکاری یا سرعت حرکت بیش از حد.

۴) جریان یافتن سرباره، پیشاپیش قوس به دلیل موقعیت نادرست الکترود یا قطعه.

۵) قطر الکترود بیش از حد بزرگ.

۶) القاء بیش از حد در مدار جوشکاری در حین انتقال مدارکوتاه با جوشکاری GMAW .

۷) ناهم‌ترازی جوش طرف دوم.

۸) ناکامی در سوراخکاری تا فلز سالم در هنگام سوراخکاری معکوس جوش.

۹) پل‌زدن درز اتصال‌ها در اتصالات.

- راه‌حل‌ها:

۱) کاهش قطر سطح ریشه یا افزایش درز اتصال

۲) استفاده از دستورالعمل‌های جوشکاری از پیش تعیین شده.

۳) تنظیم شرایط مناسب جوشکاری و اعمال حداقل حرارت ورودی مورد نیاز برای حصول نفوذی مشخص.

۴) استفاده از موقعیت صحیح برای الکترود یا قطعه تا از سرریز شدن سرباره جلوگیری شود.

۵) استفاده از الکترودهای کوچکتر، زمانی که زاویهٔ شیار برای الکترودهای بزرگ‌تر، زیادی کوچک باشد.

۶) کاهش القاء در مدار جوشکاری جهت انتقال مدار کوتاه، حتی به قیمت پاشش اضافی.

۷) بهبود دید جوشکار از شیار جوش.

۸) بررسی روند سوراخکاری معکوس و حصول اطمینان از سوراخکاری تا فلز سالم.

۹) استفاده از درز اتصال عریض‌تر یا جایگزینی فرآیند با فرآیندی که نفوذ عمیق‌تری دارد.

- **اهمیت یکپارچگی جوش**

نفوذ کافی اتصال در جوش‌های تک شیار ، به ویژه در صورتی که ریشه جوش در معرض تنش‌های کششی یا خمشی واقع باشد، نامطلوب است. ناحیه ذوب نکرده، امکان ایجاد مکان‌های تمرکز تنشی را فراهم می‌کند که می‌توانند بدون تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای منتهی به انهدام شوند. هر چند تنش‌های کاری در سازه ممکن است در این نقطه در برگیرندهٔ کشش یا خمش نباشند، تنش‌های انقباضی و اعوجاج متعاقب قطعات در حین جوشکاری، بسیاری اوقات سبب جوانه‌زنی ترک در ناحیه جوش نخورده خواهد شد. چنین ترک‌هایی ممکن است در طول رسوب مهره‌های متوالی، پیشرفت کنند، تا جایی که از داخل یا تقریباً در تمام ضخامت جوش، توسعه پیدا کنند.

نفوذ ناکافی اتصال در هر نوع جوش شیاری که در معرض بارگذاری سیکلی کششی در حین سرویس قرار خواهد گرفت، نامطلوب می‌باشد. این ناپیوستگی می‌تواند سبب جوانه‌زنی ترکی گردد که ممکن است اشاعه پیدا کرده و منجر به انهدام فاجعه‌بار گردد.

- **ترک‌ها**

ترک‌خوردگی دراتصالات جوشکاری شده، براثر تجاور تنش‌های موضعی از استحکام نهایی فلز به وجود می‌آید. معمولاً هنگامی که ترک‌ها در حین یا در نتیجهٔ جوشکاری به وجود می‌آیند، تغییر شکل کمی به طور آشکار قابل مشاهده است.

فلز جوش یا پایه‌ای که از داکتیلیتی قابل ملاحظه‌ای تحت تنش‌های تک‌محوری برخوردار است، ممکن است تحت تنش‌های دو محوری یا سه‌محوری بدون تغییر شکل قابل توجهی منهدم شود. انقباض ناشی از انواع عملیات جوشکاری، بسیاری اوقات سبب برقراری سیستم‌های چندجهتی تنش می‌گردد. در صورتی که اتصال یا هر بخشی از آن (مانند منطقه متأثر از حرارت) به دلیل چنین تنش‌هایی، نتوانند بدون انهدام تغییر شکل قابل توجهی را تحمل کنند، تنش‌های اضافی اعمال شده روی اتصال ممکن است، منجر به انهدام آن گردد.

ناحیه ذوب نشده در ریشه جوش، در صورتی که در معرض تنش‌های کششی یا خمشی باشد، می‌تواند بدون تغییر شکل قابل توجهی منجر به ایجاد ترک گردد. در هنگام جوشکاری دو صفحه به یکدیگر، در همان

حینی که لایه‌های متوالی راسب می‌شوند، ریشه جوش در معرض تنش کششی قرار دارد و چنانکه قبلا اشاره شد، ریشه‌ای که به طور ناقص ذوب شده باشد، بسیاری اوقات امکان آغاز ترک و پیشرفت آن عملاً در خلال تمامی ضخامت جوش را فراهم می‌آورد.

پس از این که اتصال جوشکاری شده سرد شد، در صورتی که فلز جوش یا منطقه متأثر از حرارت، سخت یا شکننده باشد، احتمال ترک‌خوردگی افزایش می‌یابد. فلز داکتیل با تسلیم موضعی، ممکن است قادر نباشد تمرکز تنشی را که ممکن است سبب انهدام فلز شکننده شود، تحمل کند.

- **ترک‌خوردگی فلزجوش**

توانایی فلز جوش در سالم ماندن تحت سیستم تنشی که در حین عملیات جوشکاری اعمال می‌گردد، تابعی از ترکیب شیمیایی و ساختار فلز جوش می‌باشد. در جوش‌های چندلایه، ترک‌خوردگی به احتمال بیشتر در لایه اول (پاس ریشه) فلز جوش اتفاق می‌افتد. چنین ترک‌هایی اگر تعمیر نشوند، غالباً در خلال لایه‌های بعدی راسب شونده، اشاعه پیدا می‌کنند.

زمان مواجهه با ترک‌خوردگی فلز جوش، با استفاده از یک یا تعداد بیشتری از اصلاحات زیر، می‌توان به حدودی از بهبود دست یافت:

۱) تغییر حرکت الکترود یا شرایط الکتریکی به گونه‌ای که شکل خارجی یا ترکیب شیمیایی رسوب، بهبود پیدا کند.

۲) کاهش سرعت حرکت، تا ضخامت رسوب افزایش یافته و فلز جوش بیشتری برای مقاومت در برابر تنش‌ها فراهم شود.

۳) استفاده از پیشگرم به منظور کاهش تنش‌های حرارتی.

۴) استفاده از الکترودهای کم‌هیدروژن

۵) انجام جوش‌ها به صورت مراحل متوالی تا تنش‌های انقباضی متعادل گردند.

۶) اجتناب از شرایط سرد شدن سریع.

سه نوع از ترک که در فلز جوش بوجود می‌آیند، به شرح زیرند:

ترک‌های عرضی جوش: این ترک‌ها عمود بر محور جوش هستند و در برخی موارد فراتر از جوش و به درون فلز پایه گسترش می‌یابند. این نوع از ترک در اتصالاتی که از میزان محدودیت بالاتری برخوردارند، معمول‌تر می‌باشند.

ترک‌های طولی جوش: این ترک‌ها عمدتاً در داخل فلز جوش یافت می‌شوند و معمولاً محدود به مرکز جوش هستند چنین ترک‌هایی ممکن است بر اثر توسعهٔ ترک‌های تشکیل شده در انتهای جوش به وقوع بپیوندند. آن‌ها همچنین ممکن است گسترش ترک‌هایی که در لایه اول شکل گرفته‌اند، در لایه‌های متوالی باشند.

ترک‌های حوضچه انتهایی جوش: هنگام قطع عملیات جوشکاری، تمایل شکل‌گیری ترک در حوضچه‌ها وجود دارد. این ترک‌ها معمولاً ستاره‌ای شکل بوده و تنها تا لبهٔ حوضچه پیشروی می‌کنند. با این وجود، این ترک‌ها ممکن است نقطهٔ شروعی برای ترک‌های طولی باشند، به ویژه زمانی که ترک‌ها در حوضچه ایجاد شده در انتهای جوش به وقوع بپیوندند.

ترک‌های حوضچه بیشترین مواقع در مواد دارای ضرایب انبساط حرارتی بالا، از قبیل فولادهای زنگ نزن آستنیتی یافت می‌شوند. در هر حال، اگر پیش از قطع قوس، حوضچه‌ها تا شکلی نسبتاً محدب پر شوند، می‌توان وقوع چنین ترک‌هایی را به حداقل رسانده یا از تشکیل آن‌ها به کلی جلوگیری کرد.

- **ترک‌خوردگی فلز پایه**

ترک‌خوردگی در فلز پایه معمولاً ذاتاً طولی بوده، درون منطقه متأثر از حرارت به وقوع می‌پیوندد، و تقریباً همواره با فلزات پایه سختی‌پذیر مربوط هستند. سختی و کمبود داکتیلیتی در منطقه متأثر از حرارت اتصالات جوشکاری شده، اثراتی متالوژیکی هستند که در نتیجه سیکل حرارتی جوشکاری ایجاد می‌شوند و از جمله عوامل اصلی تمایل به ایجاد ترک‌خوردگی می‌باشند. در خصوص فولادهای کم کربن، متوسط کربن، و کم آلیاژ ، سختی و قابلیت تغییر شکل بدون پارگی، بستگی به گروهی دارد که فولاد بدان متعلق است و همچنین وابسته به سرعت سرد شدن از دمای بالا در پی عملیات جوشکاری می‌باشد. سرعت سرد شدن بستگی به تعدادی از عوامل فیزیکی مانند موارد زیر خواهد داشت:

۱) دمای ایجاد شده توسط عملیات جوشکاری

۲) دمای فلز پایه دست نخورده

۳) ضخامت و هدایت حرارتی فلز پایه

۴) حرارت ورودی در واحد زمان در یک مقطع مفروض از جوش

۵) دمای محیط

با یک سرعت سرد شدن مفروض، فولادهای کم کربن به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فولادهای متوسط کربن سخت می‌شوند. فولادهای کم آلیاژ تغییرات گسترده‌تری را در مشخصه‌های سخت شدن از خود نشان می‌دهند؛ برخی از آن‌ها ممکن است مشابه فولاد کم کربن بوده و برخی دیگر همانند فولاد متوسط کربن رفتار می‌کنند.

فولادهای پرآلیاژی شامل فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فریتی هستند. مورد دوم مشابه فولادهای متوسط کربن و کم آلیاژ رفتار می‌کند. به استثناء این که آن‌ها در سرعت سرد شدن مفروض به میزان بیشتری سخت می‌شوند. فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فریتی بر اثر کوئنچ شدن از دماهای بالا، سخت نخواهند شد. به طور کلی فولادهای زنگ نزن فریتی، بر اثر انواع عملیات جوشکاری، ترد (ولی نه سخت) می‌شوند.

مشخصه‌های متالورژیکی فلزات از اهمیت بنیادی برخوردارند. ترک خوردگی فلز پایه با کمبود داکتیلیتی در منطقه متأثر از حرارت مرتبط می‌باشند. مشخص شده است که حرارت‌های مختلف از یک فولاد سختی‌پذیر معین، ممکن است در تمایل به ترک‌خوردگی تفاوت زیادی با یکدیگر داشته باشند. به علاوه، در جوشکاری SMAW ، مشخصه‌های الکترود، چنانکه توسط پوشش تعیین شده باشد، استعداد ترک‌خوردگی در منطقهٔ متأثر از حرارت را به طرز قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار خواهد داد.

زمان روبه‌رو شدن با ترک خوردگی فلز پایه در فولادهای سختی‌پذیر، شرایط را می‌توان از راه‌های ذیل بهبود بخشید:

۱) استفاده از پیشگرم برای کنترل سرعت سرد شدن

۲) حرارت ورودی کنترل شده

۳) استفاده از الکترود صحیح

۴) کنترل درست مواد جوشکاری

مسأله دیگری که ممکن است هنگام جوشکاری فولادهای متعدد تحت شرایط معین با آن روبه‌رو شد، ترک‌خوردگی ناشی از هیدروژن است. این نوع ترک خوردگی تحت اسامی گوناگون دیگری از جمله ترک‌خوردگی under bead ، ترک‌خوردگی سرد و ترک‌خوردگی با تأخیر نیز نامیده می‌شود. این نوع ترک‌خوردگی، عموماً در دمایی تقریبی زیر ۲۰۰°F، بلافاصله پس از سرد شدن یا پس از مدت چندین ساعت رخ می‌دهد. زمان تأخیر بستگی به نوع فولاد، بزرگی تنش‌های جوشکاری و مقدار هیدروژن مناطق جوش و متأثر از حرارت خواهد داشت. ترک‌خوردگی با تأخیر،معمولاً پس از آن رخ می‌دهد که فلز جوش تا دمای محیط سرد شده باشد.

در هر صورت، این نوع ترک‌خوردگی توسط هیدروژن محلول محبوس در حفره‌های کوچک یا نابجایی‌ها در فلز ایجاد می‌گردد. گاهی اوقات، اگر چه به ندرت،فلز جوش ممکن است زمانی که استحکام تسلیم آن کمتر از ۹۰ksi باشد، دچار ترک‌خوردگی شود. نفوذ هیدروژن از فلز جوش به درون منطقه متأثر از حرارت در حین جوشکاری در ترک‌خوردگی در این منطقه نقش دارد. ریزساختار فولاد نیز عامل مؤثری در این خصوص می‌باشد.

ترک‌خوردگی ناشی از هیدروژن می‌تواند با استفاده از موارد زیر تحت کنترل قرار گیرد:

۱) فرآیند جوشکاری یا الکترودی که هیدروژن کم‌تری تولید کرده یا اصلاً تولید نکند.

۲) ترکیبی از عملیات جوشکاری و حرارتی که هیدروژن را حذف نماید یا زیرساختاری غیرحساس به هیدروژن تولیدکند.

۳) روند جوشکاری که منجر به تنش‌های جوشکاری پایین گردد.

- **اهمیت یکپارچگی جوش**

ترک‌خوردگی، در اشکال مختلف خود، باعث نوعی از ناپیوستگی جوش می‌شود که برای کارآیی، مخرب‌ترین نوع محسوب می‌شود. ترک، ذاتاً دارای نواحی انتهایی تیزی است و به همین رو به عنوان تمرکز دهنده تنش عمل می‌کند. تمرکز تنشی که بر اثر ترک به وجود می‌آید، بزرگ‌تر از آنی است که توسط سایر ناپیوستگی‌ها ایجاد می‌گردد. لذا در اکثر نظام‌نامه‌های ساخت[۳] ، ترک در فلز جوش‌ها در هر اندازه که باشد، مجاز شمرده نمی‌شود. ترک‌ها باید از ناحیه جوش حذف شده و جوش مورد تعمیر قرار بگیرد.

ارزیابی ترک‌ها و ناپیوستگی‌های ترک ـ شکل را می‌توان توسط رویکرد مکانیک شکست انجام داد. زمانی که ترک‌ها براساس عملکرد سرویس مورد ارزیابی واقع می‌شوند، غالباً امکان تحمل آن‌ها برای یک اندازه، جهت‌گیری و مکان مشخص وجود خواهد داشت.

- **بی‌نظمی‌های سطحی**

بی‌نظمی‌های سطحی زیر ممکن است در جوش مشاهده شوند:

۱) موج سطحی نامنظم بد ـ شکل

۲) پاشش بیش از حد

۳) حوضچه‌ها

۴) برآمدگی‌ها و حوضچه‌های سرریز شده

۵) جرقه‌های قوس

معمولاًجوشکار مسؤول مستقیم این نوع ناپیوستگی‌ها محسوب می‌شود که در نتیجه تکنیک نادرست جوشکاری یا تنظیمات نادرست دستگاه ایجاد می‌شوند. جوش‌های سالمی که پرداخت نهایی ضعیفی داشته باشند، علی‌رغم این که برای سرویس مورد نظر کافی باشند، قابل پذیرش نخواهند بود. توانایی و مهارت جوشکار باید مورد بحث قرار گیرد.

در برخی موارد، الکترودهای معیوب یا مرطوب و خواص نامناسب فلز پایه ممکن است منجر به ایجاد ناپیوستگی و ظاهر نامطلوب جوش شوند. بی‌نظمی‌های نادرست مهره‌های جوش از آن جایی که در بردارندهٔ تغییر ناگهانی در مقطع هستند، جزء ناپیوستگی‌ها محسوب می‌شوند. این گونه تغییرات ناگهانی در مقطع، عوامل بالقوه ایجاد تمرکز تنش‌های بالا هستند و باید براساس الزامات سرویس به دقت مورد ارزیابی قرار بگیرند.

پاشش، به خودی خود الزاماً عیب تلقی نمی‌شود، ولی به احتمال بسیار زیاد نشان‌هایی از تکنیک نادرست جوشکاری و محتمل بودن سایر عیوب مرتبط با آن می‌باشد جرقه‌های قوس چه با الکترود و چه با نگهدارنده می‌تواند آغازگر انهدام در خمش یا در فولادهای آلیاژی شوند. حتی در خصوص فولادهای نرم روبه‌رو با

تنش‌های استاتیک بالا یا شرایط معمول خستگی توصیه نمی‌شوند. تعمیر چنین آسیبی ممکن است دشوار و هزینه‌بر باشد و در بردارندهٔ تراشه‌برداری و پیشگرم احتمالی در خصوص فولادهای کم‌آلیاژ می‌باشد.

- **خواص ناکافی اتصال جوش**

خواص مکانیکی یا شیمیایی خاص، یا هردوی این موارد برای تمام جوش‌های موجود در یک فلز جوش مورد نیاز هستند. اینگونه الزامات، بستگی به نظام‌نامه‌ها یا مشخصات فنی دارند که فلز جوش را تحت پوشش قرار می‌دهند، و فاصله گرفتن از الزامات مشخص شده ممکن است عیب تلقی شوند. خواص مورد نیاز، عموماً با استفاده از قطعه آزمون‌هایی که مخصوص این کار آماده شده‌اند معین می‌گردند ولی آن‌ها را می توان از روی فلز جوش‌های نمونه‌ای که از تولید، گرفته شده‌اند، تعیین کرد. در هنگام استفاده از قطعه آزمون بازرس باید توجه کند که روند مشخص شده مورد پیروی قرار گرفته است، در غیر این‌صورت نتایج حاصله، الزاماً بیان‌گر خواص فلز جوش‌های تولید نخواهند بود.

آن خواص مکانیکی که ممکن است ناکافی باشند، عبارتند از استحکام کششی، استحکام تسلیم، داکتیلیتی، سختی و چقرمگی. خواص شیمیایی ممکن است به واسطهٔ ترکیب شیمیایی نادرست فلز پرکننده یا رقت بیش از حد، ناکافی و ناقص باشند. هر دو مورد ممکن است منجر به کمبود مقاومت به خوردگی شوند.

منابع:

مرکز پژوهش و جوش ایران

کلید جوشکاری