

(۱) دستورالعمل جوش استاندارد (Standard WPSs)

استانداردهای مختلفی برای کنترل کیفی و چگونگی اجرای عملیات جوشکاری وجود دارد. اما تقریباً تمامی کدها و استانداردهای موجود، اجرای عملیات جوشکاری را بر اساس یک دستورالعمل جوش (WPS) تایید شده الزام کرده اند. هر اتصال باید دارای یک WPS و هر یک یا چند WPS باید بر اساس الزامات کد مربوطه دارای یک PQR باشند. از طرفی تدوین یک PQR دارای مراحل مختلفی است که کاری زمان بر و پرهزینه می‌باشد. از توضیحات ارائه شده چنین استنباط می‌شود که تدوین مستندات جوشکاری کاری بسیار مشکل است- که در بسیاری موارد چنین نیز هست.

به همین منظور برخی موسسات استاندارد اقدام به ارائه راهکارهایی جهت کاستن از این مشکلات نموده اند. از جمله این راهکارها تدوین دستورالعملهای جوش از قبل تایید شده (PreQualified WPS) در برخی کدها مانند AWS- D1.1 است که مصارف مشخص و محدود به کاربرد کد مربوطه دارند. راهکار دیگری که مصرف گسترده تری دارد انتشار WPSهای استاندارد می‌باشد. بدین ترتیب که سازمان AWS بر اساس میزان کاربرد، کدهایی را تدوین نموده که شامل اطلاعات و پارامترهای دستورالعمل جوش برای موارد پرکاربرد می‌باشد. این کدها بر اساس نوع ماده فرآیند جوشکاری ضخامت قطعه و الکتروود مصرفی دسته بندی شده اند. برای هر یک از WPSهای استاندارد نیز PQR لازم وجود داشته و شماره آن در کد مربوطه آمده است. بنابراین در صورتی که پارامترهای WPS تدوین شده توسط سازنده، در محدوده تعیین شده توسط یکی از این کدها باشد، تحت شرایطی دیگر نیازی به تهیه PQR مجزا نمی‌باشد.

خوشبختانه کد ASME نیز استفاده از دستورالعملهای استاندارد AWS را تحت شرایطی که در ASME IX Art V.pdf آورده است مجاز می‌داند. این شرایط اگرچه سخت گیرانه تر از شرایط AWS است، اما به هر حال کار را از حالت عادی بسیار ساده‌تر کرده و نیاز به PQR را در بسیاری موارد برطرف می‌سازد. از جمله شرایط استفاده از این کدها در ASME این است که سازنده باید برای هر کد دستورالعمل استاندارد یک نمونه با ثبت کلیه پارامترهای جوشکاری تهیه کرده و تحت بازرسی چشمی تستهای مکانیکی یا رادیوگرافی قرار دهد که در صورت تایید نمونه می‌تواند از آن دستورالعمل برای اتصالات دیگری که در محدوده آن قرار می‌گیرند بدون تهیه PQR استفاده نماید.

(۲) تکنیک های مرسوم جوشکاری و موارد مربوط به آنها

(۱) به دلیل خصوصیات، نیازمندی ها، مسائل و مشکلات موجود، همه روش ها به یک میزان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. برخی از روش ها، کاربردهای خاص و محدودی دارند و برخی به صورت عام و گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه سعی می‌کنیم تا روشهای مرسوم جوشکاری را بیشتر توصیف کرده و با تاکید بر ابزار و تکنیک، پیاده سازی آن را تشریح کنیم.

۲-۱) جوش قوس الکتریکی:

یکی از روشهای مرسوم، انواع جوش های قوس الکتریکی است که در میان عوام مرسوم به جوش برق است. این نوع جوشکاری از انرژی الکتریکی استفاده می‌نماید. در جوش برق، از یک مفتول که همجنس با قطعات است برای اتصال و پر کردن فضای میان قطعات استفاده می‌شود، این مفتول الکتروود نامیده می‌شود. میان الکتروود و قطعاتی که قرار است به یکدیگر متصل شوند، اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی مناسب ایجاد می‌گردد. این اختلاف پتانسیل معمولاً از دو طریق فراهم می‌گردد، یکی از این روش ها بکار گیری ترانسفورماتور است که می‌تواند با

استفاده از برق شهر و یا برق صنعتی اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی مورد نیاز جوشکاری را تامین نماید. روش دیگر تامین اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی مورد نیاز استفاده از ژنراتورها است. ژنراتور با استفاده از انرژی سوختی، انرژی الکتریکی لازم را فراهم می کند

۲-۲) جوش ذوبی:

وقتی که فلزات با جوش ذوبی به هم متصل می شوند، لبه های فلز در ناحیه جوش گرم می شوند تا دو لبه به حد ذوب رسیده و به هم مخلوط شوند، یک فلز اضافی به صورت میله (الکتروود)، رخنه ها و شکافها و کمبود مقدار فلز ناشی از اکسیداسیون را جبران می کند. مسلم است منابع حرارتی که دارای درجه حرارت بیش از نقطه ذوب فلزات یا آلیاژهای آهن هستند و انرژی آنها می تواند ورقهای ضخیم را ذوب کند، طبیعتاً مضر هستند. جوش ذوبی یکی از مواردی است که بایستی خطرات آن مشخص و احتیاطهای مناسب درباره این گونه جوشکاری را در نظر گرفت.

۳-۲) تجهیزات جوشکاری با قوس (قسمتهای اصلی):

این وسیله به نحوی طراحی شده که ولتاژ زیاد و متناوب جریان برق را که منبع اصلی تغذیه برق به دستگاه است، به ولتاژ بدون خطر و جریان زیاد مناسب برای جوشکاری تبدیل کند. خروجی ترانسفورماتور جوشکاری می تواند بصورت جریانی متناوب موجی یا یک جریان موجی مستقیم باشد. بمنظور ایمنی ولتاژ خروجی ترانس جوشکاری بین ۵۰-۱۰۰ ولت محدود می شود، اگرچه میزان جریان خروجی ممکن است تا ۵۰۰ آمپر برسد.

۴-۲) خطراتی که در نتیجه کاربرد دستگاههای جوشکاری با برق وجود دارد:

- ۱- قسمت اولیه (ولتاژ زیاد) که بایستی مدار اتصال آن بوسیله یک برقکار ماهر نصب شود.
- ۲- قسمت ثانویه (ولتاژ ضعیف) که مدار خروجی دستگاه است و جوشکار، خود با اتصال دادن کابل اتصال بدنه و تنظیم ولتاژ برای میزان آمپر مورد نیاز اقدام به بهره برداری می نماید.
- برای رفع این خطرات حتی الامکان موارد زیر بایستی مدنظر گرفته شود. این موارد از اصول ایمنی است که بایستی بررسی شود. در شرایط کار ترانس، موارد ویژه دیگری نیز لازم است که باید به شرح زیر رعایت شوند:

- ۱- اطمینان حاصل کنید منبع تغذیه دستگاه، توسط کلید فیوز عمل نماید. بنابراین دستگاه را می توان از شبکه برق اصلی جدا نمود و دسترسی به این کلید در هر زمان به آسانی میسر باشد.
- ۲- اطمینان حاصل کنید سیم رابط اولیه دستگاه جوش در مقابل صدمات مکانیکی مسلح شده و عایق بندی آن برای فشار برق تغذیه تا حد ۷۴۱۵ مناسب است.
- ۳- اطمینان حاصل کنید که عایق بندی کلیه کابلها سالم باشند و ترمینالها مطمئن و بی عیب هستند. در صورت مشکوک بودن نبایستی از دستگاه استفاده کنید، مگر دستگاه توسط برقکار ماهری چک شود.

۴- اطمینان حاصل کنید بدنه دستگاه با کابلی که بتواند تحمل جریان ثانویه را داشته باشد، به زمین ارت شده باشد.

۵- اطمینان حاصل کنید سلکتور رگولاتور جریان، دارای یک وضعیت برای قطع جریان دارد. بنابراین حتی در موقع بروز حادثه جریان جوشکاری را بدون برگشت به کلیدی که روی کابل اولیه ترانس است، قطع نماید.

۶- اطمینان حاصل کنید مدار خارجی دستگاه مناسب با جریان زیادی که بایستی برای کار مورد نظر استفاده شود، می باشد.

۲-۵) مدار خارجی دستگاه جوش برقی:

معمولاً آماده سازی و اتصالات جوشکاری توسط خود جوشکار انجام می گیرد در این رابطه سه اتصال مهم وجود دارد.

۱-ارتباط کابل جوشکاری از دستگاه به انبر جوشکاری برای عبور جریان جوشکاری.

۲-کابل اتصال آهن که جریان برگشتی جوشکاری را از قطعه کار به دستگاه برگشت می دهد.

۳-انتهای کابل معمولاً توسط بست پیچ دار یا انبر فنردار مخصوص مجهز شده و به قطعه کار اتصال می یابد.

۴-سیم اتصال زمین: این اتصال برای کلیه مدارات جوشکاری لازمست که قطعه کار بدنه دستگاه و سایر اسکلت بندی فلزی را که ممکن است در تماس با مدار برق جوشکاری قرار گیرند به پتانسیل زمین ارتباط دهد. انتخاب وضعیت جریان و استفاده از کابل های مناسب جوشکاری یک اصل مهم ایمنی بشمار می رود. زیرا باید توجه داشت در صورت عدم رعایت مسائل فوق چه عیوبی ممکنست در عمل بوجود آید.

مهمترین عیوب به شرح زیر است:

۱-بدی اتصالات

۲-استفاده از کابل های درازی که نیاز به آن طول نباشد (به سبب افت ولت بیش از حد)

۳-عایق بندی خراب

۴-استفاده نمودن از کابل های اتصال به ثانویه ترانس جوشکاری که ظرفیت عبور جریان لازم را برای جوشکاری نداشته باشد. شکل اختلاف اساسی بین کابل اتصال آهن و کابل جوشکاری دستگاه ترانس را نشان می دهد. این کابل دارای سه یا چهار رشته سیم نسبتاً ضخیم است در صورتیکه جدیداً با دارا بودن صدها رشته سیم نازک از نرمش و قابل انعطاف بودن آن و همچنین ظرفیت لازم برای جریانهای خیلی زیاد برخوردار است. این سیمهای افشان نازک که بدون پوشش کاغذی هستند برای این منظور است که رشته ها با لیز خوردن روی هم بتوانند وضعیت خم شدن را قبول کنند پوشش عایقی و مقاوم برای جدار خارجی کابل با مواد عایقی نظیر لاستیکهای گوگرددار (TVR) معمول گردیده است.

الف - نمونه‌ای کامل چند رشته که برای اتصال مدار اولیه دستگاه جوشکاری به منبع جریان است نشان می‌دهد.

ب - کابل جوشکاری با سیمهای افشان بمنظور استفاده از انعطاف زیاد آن. خطرات اصلی که در مدار خارجی ترانسهای جوشکاری وجود دارد در این جدول ذکر شده است که این خطرات را می‌توان با استفاده از کابل‌های مناسب و اتصال صحیح آنها به مدار برطرف نمود. مشخصات ساختمانی و مقدار جریان کابل‌های با عایق بندی لاستیکی/غلاف دار لاستیکی و عایق بندی لاستیکی/P.C.P کابل غلافدار با هادیهای مسی در این جدول داده شده است. کابل‌هایی که از دستگاه جوشکاری به الکتروود جوشکاری و اتصال آهن وصل می‌شود بایستی مناسب با جریان ماکزیمم جوشکاری باشد.

زمان بهره‌برداری (Duty Cycle) یک دستگاه جوشکاری هیچگاه بطور مداوم تحت بهره‌برداری واقع نمی‌شود زیرا جوشکار در ضمن جوشکاری زمانهایی صرف تعویض الکتروود، تفاله‌زدائی از ناحیه جوش و غیره می‌نماید. نسبت درصد بین زمانیکه عملاً جوشکاری انجام می‌شود یا بعبارت دیگر قوس الکتریکی جریان دارد به زمانیکه کار جوش کاری انجام می‌گیرد زمان بهره‌برداری (Duty Cycle) نامیده می‌شود.

$$\text{کل مدت جوشکاری} \times 100 = \frac{\text{مدت زمانیکه قوس الکتریکی بر قرار است}}{\text{زمان بهره برداری}}$$

(که کل مدت جوشکاری مساویست با زمان برقراری جوش + صرف وقت‌های جنبی در ارتباط با جوشکاری) مسیر ترانسهای جوشکاری مدت زمانی که تحت برقراری جریان ماکزیمم قرار می‌گیرند (40% Duety Cycle) کل مدت جوشکاری است اگر در جوشکاری از کمترین جریان دستگاه استفاده شود این درصد ممکنست افزایش یابد.

۶-۲) انبرهای جوشکاری:

انبرهای جوشکاری بایستی با سرکابل‌های جوشکاری اتصال محکمی داشته باشند. کابلها بایستی متناسب با جریان ماکزیممی که برای جوشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند انتخاب شوند که از گرم شدن آنها در کار جلوگیری شود. انواع زیادی از انبرهای جوشکاری قابل تهیه است بعضی از آنها دارای اجزای عایق بندی است و بعضی دیگر همانطوریکه در شکل دیده می‌شود کاملاً عایق بندی شده هستند. انبرهای جوشکاری که دارای اجزای عایق بندی هستند در عوض دارای یک دسته و یک سپر محافظ دست از جنس مقاوم در برابر حرارت و غیرقابل اشتعال هستند. این سپر حفاظتی وظیفه دوگانه‌ای دارد یکی اینکه دست را از لیز خوردن بسوی قطعه کار که هم گرم و هم تحت ولتاژ است جلوگیری نماید و هم اینکه بطور فیزیکی بتواند در روی سطح کار بدون اینکه موجب اتصال کوتاه شود قرار گیرد. انبرهای کاملاً عایق بندی شده همانطوریکه از اسمشان معلوم است کلیه قسمت‌های فلزی آن بجزء قسمت کوچکی که الکتروود را نگه می‌دارد با ماده موثری عایق بندی شده‌اند.

الف - انبری که اجزائی از آن عایق بندی شده.

ب - نوعی که کاملاً عایق بندی شده.

۷-۲) دستگاه جوش سیار:

این دستگاه ولتاژ تولیدی خطرناکی را ایجاد نمی نماید، ولی طبیعتاً خطرات ذاتی خود را بشرح زیر دارد:

۱- مخزن سوخت قابل اشتعال مربوط به موتور

۲- مسمومیت گاز آگزوز آن : تهویه مناسب برای خروج گازهای آگزوز وقتی که دستگاه در محیط های بسته مورد استفاده قرار می گیرد بایستی پیش بینی شده باشد.

۸-۲) لوازم حفاظت انفرادی برای محافظت سر و صورت:

برای کلیه عملیات جوشکاری ضروری است که در مقابل تشعشعات پخش ذرات و تفاله های داغ جوشکاری سر و صورت جوشکاران محافظت شود برای این منظور جوشکاران بایستی یا بوسیله کلاه و یا نقاب صورت دستی خود را محافظت نمایند. در این شکل نمونه هایی از این ماسکهای جوشکاری نشان داده شده اند. یک ماسک دستی جوشکاری همانطوریکه سر و صورت جوشکار را محافظت می کند دیگر دست او را نیز محافظت می کند ماسک دستی دارای دسته ای عایق است که جوشکار را در مقابل حرارت و جریان الکتریکی محافظت می نماید. دسته ماسک جوشکاری ممکنست داخل محفظه یا خارج آن باشد در صورتیکه دسته در بیرون ماسک باشد بایستی بوسیله حفاظی که بتواند دست را در مقابل حرارت و نور قوس محافظت کند مجهز باشد.

کلاه جوشکاران معمولاً دارای بانندی تنظیم دار است که برای سر جوشکار اندازه گردد.

باندهای کلاه جوشکاری و وسیله تنظیم آن بایستی از جنس کاملاً عایقی باشد این عایقها بایستی جاذب رطوبت باشند زیرا در صورت جذب عرق بدن هادی می شوند.

قاب آن با چرخ روی محوری در دو وضعیت قرار می گیرد: وضعیت پائین برای کار جوشکاری و وضعیتی که قاب بدور محور بالا زده شود که برای زمانی است که جوشکار جوشکاری نمی کند بتواند دید داشته باشد.

بعضی از جوشکاران ترجیح می دهند که از ماسک دستی بجای کلاه جوشکاری استفاده نمایند، زیرا ماسک دستی برای آنها کمتر خسته کننده است و این درحالی است که اگر جوشکار از کلاه محافظ استفاده نماید هر دو دست او نیز آزاد است.

اثر مضریکه از تابش اشعه جوشکاری ناشی می شود برای استفاده از جریان DC یا AC یکسان است تابش اشعه مادون قرمز به چشم و صورت باعث ایجاد گرمای ناخوشایندی می شود که ممکنست سبب ناراحتیهای متعددی برای چشم شود. اگر بدن جوشکار یا افرادیکه در مجاور او کار می نمایند تحت تابش مقدار زیادی اشعه مافوق بنفش قرار گیرند اثرات آن ممکنست نظیر آفتابزدگی در پوست و یا حالتی که قوس زدگی چشم است پیش بیاید و بایستی اضافه نمود که مقدار خیلی زیاد اشعه مرئی خیره کننده ای که در جوشکاری بوجود می آید در تعداد کمی از جوشکاران باعث سردرد ناشی از فشار به چشمان می شود.

واضح است که احتیاطات گفته شده برای جلوگیری از اثرات مضر تشعشعات ناشی از جوشکاری و پرتاب ذرات مذاب به چشم است این گونه خطرات را می تواند با استفاده از شیشه های فیلتر رنگی و دانسیته مخصوص که شدت نور مرئی را نیز کاهش می دهد برطرف نمود برای کلاهها و ماسکهای جوشکاری یک فیلتر شیشه ای رنگی و یک شیشه شفاف نسبتاً ارزان قیمت به عنوان محافظ روی شیشه رنگی پیش بینی شده است.

هر فیلتری که در آن استاندارد BS679 رعایت شده باشد بایستی علامت دائمی روی آن بشرح زیر وجود داشته باشد:

BS679-۱

۲- علامت تائیدیه انستیتو استاندارد انگلیس

۳- نام سازنده علامت یا شماره مجوز

۴- ارقام و حروف دلالت بر تیرگی و نوع جوشکاری (گاز یا برق) دارد. شیشه‌های فیلتری گران قیمت هستند، بنابراین بایستی برای محافظت آنها از یک شیشه شفاف که روی آنها قرار می‌گیرد، در مقابل آسیب‌های ناشی از پرتاب ذرات و یا دود و دمه جوشکاری محافظت شوند. این شیشه‌های محافظ نسبتاً ارزان و به آسانی قابل تعویض هستند. برداشتن تفاله جوش بوسیله خرد کردن که معمولاً توسط جوشکار با ضربه زدن چکش بر روی جوش صورت می‌گیرد ممکنست سبب حوادثی برای صورت و چشم گردد، زیرا جوشکاران اغلب عادت دارند اینگونه کارها را بدون حفاظت انجام دهند استفاده از عینک و محافظ صورت که دارای شیشه شفاف باشد در اینگونه امور الزامی است.

وقتی که نقاب صورت بایستی بکار برد برای تفاله زدائی توصیه براین است که از یک شیشه نشکن یا روکشش پلاستیکی در روی نقاب استفاده شود. در موقع استفاده از ماسک دسته‌دار یا کلاه کاسک جوشکاری که برای دو منظوره فوق استفاده می‌شود، وسیله یا محفظه شیشه‌ای برای بیرون آوردن یا داخل کردن شیشه فیلتر محل خوب و بی‌عیبی برای نگهداری فیلتر باشد.

۲-۹) محصور نمودن یک پست جوشکاری:

افرادی که در مجاورت یک پست جوشکاری کار می‌نمایند که شامل سایر جوشکاران نیز می‌شود، ممکن است در معرض تابش نور خیره کننده جوشکاری قرار گیرند و سبب ناراحتی آنها شود. نگاه کردن چند ثانیه‌ای به یک قوس جوشکاری که محصور نشده باشد، حتی در فاصله چندین متری آن سبب خیرگی چشم شده و ممکن است بعد از گذشت ۴ تا ۱۲ ساعت احساس سوزش در چشم نمایند. این احتمال وجود دارد که کسی در معرض نور خیره کننده واقع شده است، از خواب بیدار شود با حالتی که احساس درد چشم می‌کند. معمولاً این افراد احساس می‌کنند که شن در چشمان آنها رفته است، چشم آنان زخم سوخته اشک ریزان می‌شود. هر جا که امکان دارد ناحیه جوشکاری بایستی به طریقی محصور شود که نفوذ پرتوهای نورانی به حداقل خود برسد. دیوارهای محل جوشکاری یا یک پست جوشکاری بایستی با رنگ‌های جاذب مات نقاشی شود که بازتاب خیلی کمی داشته باشند رنگ نقاشی نبایستی مشکی باشد. بنابر تجربه که مورد تائید واقع شده استفاده از رنگ‌های مات خاکستری تیره یا آبی یا سبز بطور یکسان موثرند. اگر فردی در معرض تابش نور خیره کننده قرار گرفته باشد، اثر برق زدگی چشم را می‌توان با استفاده فوری از محلولهای مخصوص چشم که در قفسه کمکه‌های اولیه وجود دارد، به حداقل رسانید. یکبار تجربه برای شخص که در معرض نور خیره کننده جوشکاری قرار گرفته باشد کافی است تا از پریشانی‌ها و رنج و عذابی که متحمل شده در آینده بطور جدی محتاط باشد.

۲-۱۰) خطر آتش سوزی:

خطریکه معمولاً فراموش می‌شود که به آن توجه شود، سوختگی بدن ناشی از سطوح داغی است که روی قطعاتی که تازه جوش داده شده، پدید می‌آید. اینگونه نواحی جوش داده شده را بایستی بوسیله گچ یا مواد رنگی با علامت داغ است، هشدار داد. اینگونه احتیاطات ساده ایمنی هنگام جوش کاری با برق و یا برشکاری با گاز بایستی مراعات شود. همچنین از دیگر مواردی که جوشکاری را از خطر سوختگی حفظ می‌کند، توجه به جرقه‌ها، ذرات مذاب و تفاله‌های داغ جوشکاری است که در صورت وجود مواد قابل اشتعال در حریم جوشکاری ممکن است موجب آتش‌سوزی شود. لذا قبل از انجام جوشکاری بایستی لباسهای کهنه، ضایعات پنبه‌ای - گونی کاغذ و غیره را از ناحیه جوشکاری دور ساخت. سطل‌های محتوی شن یا آزیست جهت انداختن سر تکه‌های الکتروود جوشکاری در محل قرار داده شود.

انداختن سرتکه‌های الکتروود جوشکاری بر روی کف کارگاه که داغ هستند، می‌تواند با سوزانیدن کف کفش و فرو رفتن در آن سبب حادثه گردند. همچنین پا گذاشتن روی تکه باقیمانده الکتروود جوشکاری که روی کف محل پرتاب شده، می‌تواند همان اثری را که پا روی یک اسکیت چرخ‌دار گذارده می‌شود، دارا باشد.

نظافت‌های عمومی محل‌های جوشکاری به نظر نمی‌رسد که تا این اندازه اساسی و مهم هستند. هر جا که جوشکاری با برق یا برشکاری با گاز انجام می‌شود، منطقه کار بایستی با ورق‌های فلزی یا پارچه‌های آزیستی محصور شود. کف محل در صورتیکه دارای پوشش چوبی است، بایستی با لایه‌ای از شن و یا گذاردن سطوح فلزی پوشانیده شود.

جرقه و تکه‌های مذاب فلزی نبایستی به داخل شکاف و درزهای کف انداخته شود. حساس بودن جوشکاری لزوم استفاده آزیستی پارچه نسوز از بستن، برای جلوگیری از ریزش جرقه‌های جوش را ایجاد می‌نماید.

۲-۱۱) تهویه:

هنگامیکه مقدار زیادی الکتروود برای جوشکاری مصرف می‌شود، جوشکار در صورت وجود هواکش مناسب میل ندارد از بیماریهای ناشی از دود و دم رنج ببرد. با تهویه موضعی نه تنها می‌توان دود و دم را در ناحیه جوشکاری رقیق و خارج ساخت، بلکه می‌توان درجه حرارت را نیز کاهش داد و به راحتی به جوشکار در بازدهی کار کمک نمود.

۴) راهنمای جوشکاری فولادهای ضد زنگ بر اساس استاندارد EN-1011

۱) موارد عمومی :

ابزارهای مورد استفاده در آماده سازی فولادهای ضد زنگ باید مخصوص این فولادها بوده و در مورد دیگر فلزات استفاده نشوند. آلودگی ابزار به فلزات دیگر می‌تواند باعث ایجاد خوردگی در فولادهای ضد زنگ گردد. اکسید های سطحی بوجود آمده در اثر جوشکاری باید با روشهای مناسب حذف شوند. قطعات مورد استفاده برای آغاز و اتمام قوس جوشکاری باید از جنسی مشابه فلز پایه انتخاب شوند.

در صورتیکه قطعه فقط از یکطرف جوشکاری شود، پاس ریشه باید از طرف مقابل تحت حفاظت گازهای محافظ قرار گرفته و پاس اول توسط TIG یا پلاسما اجرا شود.

در صورت استفاده از پشت بند دائم، این پشت بند باید از جنس فلز پایه باشد. همچنین در صورت امکان ایجاد خوردگی شیاری نباید از پشت بند دائم استفاده شود.

در صورت استفاده از پشت بند موقت مسی باید سطح پشت بند در قسمت ریشه جوش شیاری ایجاد گردد تا احتمال نفوذ مس در جوش کاهش یابد. می توان از آبکاری کرم یا نیکل نیز استفاده کرد. در صورت استفاده از گاز محافظ در سمت ریشه جوش باید زمان اعمال گاز به درستی رعایت گردد تا احتمال اکسید شدن ریشه از بین برود. تمیز کاری پس از جوش باید حتماً اجرا گردد تا مقاومت خوردگی فولادها کاهش پیدا نکند.

تمیز کاری را می توان به روشهای مختلف انجام داد:

- برس زنی با برس سیمی از جنس فولاد ضد زنگ
- بلاست با ذرات شیشه یا گوی های فولاد ضد زنگ
- سنگ زنی با سنگ های تمیز و مخصوص فولاد ضد زنگ
- اسید شویی
- پرداخت الکترولیتی

۲) جوشکاری انواع فولادهای ضدزنگ

۲-۱) جوشکاری فولادهای آستنیتی:

تمامی فرآیندهای قوس الکتریکی را می توان برای این نوع فولادها بکار برد. حرارت ورودی را باید تا جای ممکن پایین نگه داشت تا باعث پیچیدگی، ترک گرم و حساس شدن فلز پایه نگردد. همچنین از پیش گرم نمودن این فولادها باید اجتناب شود.

آرایش لبه ها مانند فولادهای کربنی می باشد. در مورد ورقهای نازک می توان با ذوب کردن لبه ها بدون نیاز به فلز پرکننده جوشکاری را انجام داد. فلز پرکننده باید بر اساس توصیه سازنده انتخاب شود. این مواد را می توان بر اساس استاندارد های 12073 EN 1600 , EN 12072 , EN انتخاب کرد.

مواد مصرفی در جوشکاری فولادهای آستنیتی معمولاً فلز جوشی شامل مقادیری فریت هستند تا احتمال ایجاد ترک گرم را کاهش دهند. گاز محافظ در فرآیند TIG اغلب آرگون، آرگون هیدروژن و یا آرگون هلیوم می باشد. فولادهای آستنیتی دارای ضریب انبساط بالا و هدایت حرارتی کم هستند، لذا بسیار مستعد پیچیدگی اند، بنابراین این موضوع باید کنترل شود. عملیات حرارتی پس از جوش در اغلب موارد برای این فولادها نیازی نمی باشد. البته ممکن است جهت کاهش تنش پسماند یا افزایش خواص مطلوب عملیات حرارتی آنیل اجرا گردد.

۲-۲) جوشکاری فولادهای فریتی:

این فولادها را نیز می توان با انواع فرآیندهای قوس الکتریکی جوشکاری نمود. این فولادها مستعد رشد دانه می باشند، لذا باید حرارت ورودی کم باشد. گاهی ممکن است پیش گرم ۲۰۰ - ۳۰۰°C در فولادهای نیمه فریتی با ضخامت بیشتر از ۳mm نیاز باشد. از ورود کربن و نیتروژن به درون جوش باید جلوگیری شود. مواد مصرفی آستنیتی به دلیل داکتیلیتی بیشتر نسبت به فلز پایه برای جوشکاری این فولادها ترجیح داده می شود. در صورتیکه خطر ورود سولفور از محیط به درون قطعه باشد، لایه نهایی جوش که با محیط در تماس است باید از مواد فریتی انتخاب شود. جهت جلوگیری از خوردگی نباید مقدار کرم فلز جوش کمتر از فلز پایه باشد.

مواد مصرفی فریتی را نیز در مواقعی که نیاز به انبساط حرارتی برابر و یا نمای ظاهری یکسان سطح باشد، می توان انتخاب نمود. گاز محافظ باید با پایه آرگون باشد و به هیچ وجه نباید شامل CO₂، هیدروژن یا نیتروژن باشد.

در فولادهای فریتی به دلیل ضریب انبساط کم و هدایت حرارتی بالا مشکل پیچیدگی بسیار کمتر از فولادهای آستنیتی است. آنیل قطعه پس از جوشکاری در دمای $700 - 800$ C انجام می گیرد تا علاوه بر افزایش داکتیلیتی منطقه HAZ و کاهش تنشهای پسماند، مقاومت خوردگی بین دانه ای نیز بهبود یابد.

۳-۲) جوشکاری فولادهای دوبلکس:

جوشپذیری فولادهای دوبلکس با تنظیم درصد آستنیت - فریت و افزایش نیتروژن بهبود یافته است و احتمال رشد دانه و یا ایجاد بیش از حد فریت در ناحیه HAZ کاهش یافته است.

برای جوشکاری این فولادها از تمامی فرآیندهای قوس الکتریکی می توان استفاده کرد. در مواردیکه جوشکاری بدون فلز پر کننده اجرا می شود، ناحیه اتصال باید بعد از جوشکاری آنیل شده و به سرعت تا دمای اتاق سرد شود.

به پیش گرم در این فولادها نیاز نمی باشد، اما می توان حداکثر تا 100 C، جهت حذف رطوبت، قطعه را پیش گرم کرد.

میزان حرارت ورودی در این فولادها باید در یک محدوده مشخص قرار گیرد. حرارت ورودی کم باعث سریع سرد شدن و افزایش میزان فریت و حرارت ورودی بالا باعث رسوب می گردد. ماکزیمم دمای بین پاسی برای فولادهای کم و متوسط آلیاژ، 250 C می باشد.

فولادهای پرآلیاژ $100 - 150$ جهت دسترسی به ساختار جوش مناسب باید از مواد مصرفی با نیکل بالا استفاده شود.

برای فولادهای کم و متوسط آلیاژ که در محیطهای خورنده قرار می گیرند، می توان از مواد مصرفی دوبلکس با مقادیر بالای کرم، مولیبدن و نیتروژن استفاده کرد. از هیدروژن در گازهای محافظ باید اجتناب گردد. فولادهای دوبلکس به ترک هیدروژنی حساس هستند.

فولادهای دوبلکس حاوی مقادیر بالای نیتروژن ($< 0.20\%$)، نسبت به تشکیل تخلخل مستعد می باشند. احتمال ایجاد تخلخل در حالت جوشکاری بالاسری بیشتر می شود. برای رفع این مشکل باید پاسها نازک بوده و از طول قوس زیاد اجتناب گردد.

عملیات پس گرمایی در این فولادها اغلب نیاز نمی باشد. در صورت نیاز به آنیکل محلولی، بعد از جوشکاری این عمل باید در دمای بالاتر از دمای عملیات مشابه برای فلز پایه انجام گیرد. پس از این عملیات $300 - 400$ C قطعه باید به سرعت تا دمای محیط سرد شود.

۴-۲) جوشکاری فولادهای مارتنزیتی:

این فولادها را اغلب به روش TIG یا MMA جوشکاری می کنند، البته روشهای قوس الکتریکی دیگر را نیز در شرایط خاص می توان استفاده کرد. در کلیه حالات می توان از مواد آستنیتی یا مواد مشابه به فلز پایه استفاده کرد. حرارت ورودی باید حد نرمال باشد و پیش گرم اجرا گردد (بسته به نوع فولاد بین $100 - 300$ C). در این فولادها نیز به دلیل هدایت حرارتی بالا و ضریب انبساط پایین پیچیدگی مشکل عمده ای نمی باشد. در صورتی که از مواد مصرفی آستنیتی برای جوشکاری این فولادها استفاده شود، احتیاجی به PWHT نمی باشد. ولی در صورت استفاده از مواد مصرفی مشابه فلز پایه عملیات حرارتی طبق توصیه سازنده فلز پایه الزامی است.

۵) کلیات جوشکاری ترمیمی

۵-۱) مقدمه

جوشکاری تعمیری یکی از فرآیندهای مهم تعمیرات و نگهداریست که شامل جوشکاری ترمیمی و سطح پوشانی می گردد. با توجه به اینکه در صنایع فلزی حجم کارهای تعمیرات و نگهداری بسیار بیشتر از ساخت می باشد، تعداد جوشکاران فعال در زمینه جوش تعمیری بیشتر است. این موضوع اهمیت جوشکاری تعمیراتی را در صنایع نشان می دهد.

قطعات بطور پیوسته دچار سایش، خوردگی و شکست می شوند. در بسیاری موارد امکان جایگزینی قطعه کاملاً مشابه وجود ندارد. این موضوع در مواردی که صنعت یا قطعه قدیمی باشد، بیشتر صدق می کند. با توجه به اینکه در تعمیر قطعات می توان نواقص و نقاط ضعف اصلی را بر طرف کرد، قطعه تعمیر شده می تواند کارایی بهتری داشته باشد. همچنین با توجه به کاهش زمان توقف و رفع نیاز خرید قطعه جدید، هزینه تعمیرات کاهش می یابد. در ادامه سعی شده به کلیات و اصول اجرایی یک جوشکاری ترمیمی موفق بر اساس ملزومات استاندارد بصورت خلاصه اشاره گردد.

۵-۲) جوشکاری ترمیمی

در قطعات تولید شده عیوب مختلفی را می توان مشاهده کرد که این عیوب می توانند ناشی از فرآیند تولید و یا حین کارکرد قطعه بوجود آمده باشند. بسته به نوع و علت ایجاد عیب، جوشکاری ترمیمی به چند دسته تقسیم می شود:

- جوشکاری تکمیلی در حین تولید (finishing weld)
- اصلاح جوشکاریهای غیر قابل قبول (correction of non confirming weld)
- جوشکاری تعمیری حین کارکرد قطعه (repair weld)

۵-۲-۱- جوشکاری تکمیلی در حین تولید:

نحوه جوشکاری تکمیلی بستگی به نوع فرآیند تولید دارد. به عنوان مثال در مورد قطعات ریختگی از جوشکاری تکمیلی برای برطرف کردن حفره ها، تخلخل و یا اصلاح شرایط ابعادی قطعه استفاده می شود. در اینگونه موارد باید مقدار حرارت ورودی و تنشهای پسماند احتمالی را در نظر گرفت، چرا که ممکن است شرایط قطعه را غیر قابل قبول سازد. بنابراین گاهی اوقات باید عملیات حرارتی خاصی نیز اعمال گردد. گاهی اوقات مشتری برای انجام این فرآیند دستورالعمل خاصی را درخواست می کند.

۵-۲-۲- اصلاح جوشکاریهای غیر قابل قبول:

معمولاً کیفیت جوش و تلورانسهای قطعه باید با شرایط مندرج در استاندارد مورد استفاده و یا قرارداد منطبق باشد (استانداردهای ISO 13920 و ISO 10042 و ISO 5817). در صورتیکه این مورد احراز نگردد، باید اقدامات اصلاحی بر اساس استاندارد ISO 3834 انجام گیرد. پس از اجرای اقدامات اصلاحی قطعه باید مجدداً تحت بازرسی، آزمون و کنترل کیفی قرار گرفته و با شرایط مورد نیاز مطابقت گردد. همچنین شرایط و علل ایجاد عیب باید به درستی بررسی و رفع گردد.

۵-۲-۳- جوش تعمیری حین کارکرد قطعه:

در صورتیکه حین کارکرد قطعه دچار شکست شود و یا عیوبی در جوش و یا فلز پایه ایجاد گردد ، مراحل زیر قبل از اجرائی جوش تعمیرکاری بایستی انجام گیرد :

- تعیین ریشه و علل ایجاد عیب

- تعیین دقیق فلز پایه و مواد مصرفی جوش

- بررسی استاندارد مورد استفاده و قرارداد پیرامون موضوع تعمیر

- تهیه برنامه تعمیر (شامل مراحل تعمیر)

۵-۲-۳-۱- تعیین ریشه و علل ایجاد عیب :

دلیل ایجاد عیب ها در جوش باید قبل از بازسازی مشخص گردد . (به عنوان مثال با آزمایشهای متالوگرافی) . تنها با دانستن علت ایجاد عیب می توان از تکرار آن پس از بازسازی جلوگیری کرد.

دلایل ایجاد عیوب می تواند جزو موارد زیر باشند :

-تنش بیش از حد مجاز

-خطای طراحی و محاسباتی

-انتخاب ماده نامناسب

-جابجا شدن فلز پایه و یا ماده مصرفی با فلز یا ماده نامناسب

-عیوب مراحل ساخت (آماده سازی ، سرهم بندی ، جوشکاری ، عملیات حرارتی)

پس از بررسی علت ایجاد عیب و ریشه یابی آن، جهت رفع آن ممکن است به اجرای یک یا چند مورد از موارد زیر نیاز باشد :

-تغییر طراحی (مثلاً "ابعاد جوش")

-تغییر مواد پایه یا مواد مصرفی جوش

-تغییر مراحل و پارامترهای جوش

-ماشینکاری و پرداخت بیشتر جوشها

۵-۲-۳-۲- فلز پایه و مواد مصرفی جوش:

الف- فلز پایه

در صورتیکه نوع دقیق فلز پایه در مستندات معتبر بازرسی موجود نباشد ، باید آنالیز شیمیایی انجام شود. در مورد فولادهای ساختمانی ریز دانه با تنش تسلیم بالاتر از ۳۵۵MPa باید دقت خاصی در مورد میکرو آلیاژها صورت گیرد .

در مواردی که از فولادهایی با عمر بیش از ۳۰ سال استفاده شده است، هنگام برنامه ریزی تعمیر باید به مقدار نیتروژن توجه شود (امکان شکست ترد) .

در صورتیکه خواص مکانیکی فلز پایه مشخص نباشد، باید نمونه هایی از قسمت‌های کم تنش قطعه، تهیه شده و تست گردد .

خصوصیات زیر باید مشخص شود :

- استحکام کششی

- استحکام تسلیم

- افزایش طول

- چکش خواری (خواص ضربه)

- کاهش سطح مقطع در راستای ضخامت (در صورت نیاز)

در صورت نیاز آزمونهای متالوگرافی نیز باید انجام گیرد (مانند تعیین ساختار ماده ، محل عیب) .

ب- مواد مصرفی جوش

مواد مصرفی جوش استفاده شده، باید مشخص گردد (مثلاً" توسط آنالیز شیمیایی؛ در جوشکاری ترمیمی مواد ۳۰٪ باشند) . به خصوص برای جوش ریشه اغلب توصیه می شود که از مواد مصرفی با استحکام تسلیم کمتر از فلز پایه استفاده شود . در مواردی که لایه جوش ماشینکاری و برداشته می شود ، باید حتماً" از این مواد استفاده شود .

۵-۲-۳-۳- استاندارد مورد استفاده و قرارداد

جوشکاری ترمیمی باید کاملاً" مطابق با استاندارد مشخص شده و یا دستورالعمل قرارداد اجرا گردد و کیفیت و تلورانسهای خواسته شده، بدست آید . در بعضی موارد برنامه ترمیم باید توسط یک بازرس یا مشتری، بررسی و تأیید شود. همچنین امکان دارد روال کار حین اجرا توسط بازرس یا مشتری نظارت گردد . بعد از اتمام جوشکاری حداقل آزمونهای اصلی برای نمونه اولیه باید اجرا شود .

۵-۲-۳-۴- برنامه ترمیم

برای هر ترمیمی باید برنامه تهیه گردد و اغلب نیاز است که این برنامه توسط بازرس یا خریدار تأیید شود . موارد موجود در برنامه ترمیم بسیار شبیه به برنامه جوشکاری است .

در طراحی برنامه باید به موارد زیر توجه خاص صورت گیرد :

- تمیز کاری

- نوع ماده

- نام تجهیز و قسمت‌هایی که باید ترمیم گردند

- طراح قسمت‌های معیوب که باید برداشته شوند و روش برداشتن عیوب

- مواد مصرفی جوش

-دستورالعمل جوش ترمیمی

-گواهینامه جوشکار

-آزمونهای تأیید دستورالعمل جوش

-ترتیب و توالی عملیات ترمیم

-مقدار مجاز انقباض

-عملیات حرارتی (دما ، زمان ، سرعت گرم و سرد کردن) (در صورت نیاز)

-عملیات پس از جوشکاری (چکش زنی ، ماشینکاری ، پرداخت)

-روشهای آزمون (زمان و مشخصات آزمون)

-بازرسی و بررسی جوش ترمیمی

۵-۲-۴- مراحل اجرای جوشکاری ترمیمی:

فعالیت‌های مهم برای اجرای جوشکاری ترمیمی را می توان به سه دسته تقسیم کرد :

-آماده سازی برای جوشکاری

-جوشکاری ترمیمی

-عملیات پس از جوشکاری

۵-۲-۴-۱- آماده سازی برای جوشکاری

قبل از آغاز جوشکاری باید موارد زیادی در نظر گرفته شود .مهمترین این موارد عبارتند از:

-ایمنی : محل اجرای جوشکاری ترمیمی باید آماده سازی شده و کلیه موارد ایمنی در نظر گرفته شود .

-تمیزکاری : تمامی آلودگیها مانند غبار ، روغن ، رنگ و ... باید از سطح قطعه تحت جوشکاری پاکسازی گردد .
روش پاکسازی بستگی به نوع ماده و محل قطعه کار دارد . برای اغلب تجهیزات و سازه ها تمیزکاری با بخار لازم است . در صورت عدم امکان اجرای تمیزکاری با بخار می توان از شستشوی شیمیایی و یا بلاست استفاده کرد .
همچنین از تمیزکاری با ابزار مانند برس ، سنگ سمباده و ... نیز می توان استفاده کرد .

-پیاده سازی : بجز در مواردی که کار ترمیم بسیار ساده است، در سایر موارد نیاز به پیاده سازی وجود دارد .

-محافظت از تجهیزات و سطوح ماشین شده نزدیک به محل کار : در صورت اجرای جوشکاری ترمیمی ، تجهیزات و قطعاتی که در نزدیکی محل قرار دارند، باید از جرقه جوش ، شعله ، جرقه های برش و سایر خطرات محافظت شوند . برای محافظت می توان از ورقه های فلزی و یا برزنت استفاده کرد . سطوح ماشین شده باید تا فاصله ۵ متر از محل جوش پوشانیده شوند .

-بست و مهار : در تعمیرات پیچیده امکان دارد به بست یا مهار سازی نیاز باشد . علت این امر به وزن زیاد قطعه و یا نیروهای اعمالی به قطعه تحت جوشکاری بر می گردد . اگر اجزاء اصلی سازه بریده شوند، باید نیرو توسط مهارهای موقتی تحمل گردد . این مهارها می توانند بصورت موقت به سازه جوشکاری شود .

-الگو سازی : در اغلب موارد تعمیراتی لازم است که قسمتی از ماده برداشته شود تا امکان ایجاد جوش با نفوذ کامل ایجاد گردد. در این موارد باید الگویی ساخته شود که قسمتی را که باید بریده شود و برای جوشکاری آماده شود، مشخص نماید. الگو باید طوری طراحی شود که کمترین ماده برداشته شود و راحت ترین موقعیت جوشکاری را ایجاد نماید.

-پیش گرمایی : پیش گرم کردن و برش با برنال یا گوج کردن جزو عملیات آماده سازی جوشکاری می باشند. هنگامی که برنال کاری یا کوج نیاز باشد، باید پیش گرمایی مشابه پیش گرمایی لازم برای جوشکاری انجام گردد. هر چند که تنش های ایجاد شده در برش کاری کمتر از جوشکاری است، اما در برشکاری نیز امکان ایجاد شوک های حرارتی مشابه جوشکاری وجود دارد. پیش گرم کردن قبل از جوشکاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است و باید دقیقاً رعایت شود. بسیاری از عیوب جوش ناشی از عدم پیش گرم کردن مناسب قبل از جوشکاری است. عوامل اصلی موثر بر دمای پیشگرم شامل کربن معادل، ضخامت قطعه و پارامترهای جوشکاری می باشد.

-برشکاری و گوج کردن : برشکاری با مشعل، گوج و برش قوس کربن، بیشترین مصرف را در مراحل جوشکاری ترمیمی دارند که بسته به نوع ماده و مشکل لبه سازی یکی از آنها انتخاب می گردد. البته در صورت استفاده از قوس کربن باید پارامترها به گونه ای تنظیم شود که از رسوب کربن در سطوح جوشکاری جلوگیری شود. در مورد بعضی مواد نمی توان از روشهای فوق استفاده کرد (مانند فولاد ضدزنگ). در اینگونه موارد از روشهای مکانیکی و سنگ زنی استفاده می شود. در صورت استفاده از گوج یا مشعل، پس از اتمام فرآیند لبه ها باید مجدداً تا ۲mm سنگ زده شوند.

-سنگ زنی و تمیزکاری : سطوح ایجاد شده در مرحله قبل به اندازه مناسب صاف نبوده و دارای نقاط سوخته، اکسید و غیره می باشد. سطوح جوش باید قبل از جوش صاف و تمیز گردد. در موارد بحرانی که احتمال ایجاد ترک های اضافی وجود دارد، بهتر است پس از سنگ زنی تست MT یا PT صورت گیرد تا از باقی نماندن ترک اطمینان حاصل شود.

۵-۲-۴-۲- اجرای جوش ترمیمی

جوشکاری ترمیمی موفق شامل موارد و پارامترهای زیر می گردد :

- دستورالعمل جوش : دستورالعمل جوش باید برای استفاده جوشکاران تهیه گردد. این دستورالعمل باید شامل پروسه، نوع ماده مصرفی، پیش گرم و سایر اطلاعات تخصصی لازم برای اجرای جوشکاری باشد.

- تجهیزات جوشکاری : تجهیزات جوشکاری باید به اندازه کافی در دسترس باشد، به طوریکه تأخیری در کار ایجاد نشود. این تجهیزات شامل ماشین جوش، کابل، آون، گیره و ... می باشد.

- مواد : مواد کافی نیز باید در دسترس باشد. این مواد شامل الکتروود و مواد مصرفی جوش، قطعات جایگزین، تقویتی ها و غیره می باشد. همچنین سوخت جهت پیش گرم و برش نیز باید در حد کافی موجود باشد.

- ترتیب جوشکاری : ترتیب جوشکاری و نحوه اجرای پاسها بسیار اهمیت دارد و باید بطور واضح در دستورالعمل تشریح گردد.

- ایمنی : در تمام مراحل باید شرایط به گونه ای تعبیه شود تا ایمنی کامل برقرار گردد.

- کیفیت جوش : کیفیت جوش باید بطور مداوم بررسی گردد. جوش نهایی باید کاملاً صاف و بدون شیار باشد.

- جوشکار : در نهایت باید تعداد کافی جوشکار تأیید شده و با مهارت برای اجرای سریع کار وجود داشته باشد .

۵-۲-۴-۳- عملیات پس از جوشکاری

پس از اتمام جوشکاری باید قطعه به آهستگی سرد شود و نباید در برابر باد یا محیط سرد قرار گیرد . همچنین تا زمانی که قطعه به دمای محیط نرسیده، نباید نیرویی به محل تعمیر شده، اعمال گردد .

- بازرسی : جوش باید تحت بازرسی قرار گیرد . این بازرسی می‌تواند شامل بررسیهای غیر مخرب مانند MT، UT یا RT باشد . جوش ترمیمی باید از کیفیت بالایی برخوردار باشد ، زیرا باید جایگزین ماده اصلی گردد .

- عملیات تمیزکاری : این عملیات شامل جداسازی مهارها ، سنگ زنی محل‌های اتصالات موقت، پاکسازی جرقه های جوش ، سرباره جوش و جمع آوری پوششهای محافظ و غیره می شود .

- رنگ آمیزی مجدد : در صورت لزوم پس از تمیزکاری، ناحیه تعمیر شده باید رنگ آمیزی گردد . همچنین قطعات ماشین آلات باید در صورت نیاز گریس کاری شوند.

- سره هم بندی : پس از تکمیل مراحل تجهیز مجدداً " سرهم بندی می شود .

۶) تست هیدروستاتیک سازه های جوشکاری شده فولاد زنگ نزن

بسیاری از سازه های جوشکاری شده به منظور اطمینان از قابلیت تحمل فشار کاری که برای آن طراحی شده اند، تحت تست هیدروستاتیک قرار می گیرند. این تست در صورتیکه به درستی اجرا نگردد، می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی شود. یکی از موارد مهم که باید در این تست مد نظر قرار گیرد، جلوگیری از ایجاد خوردگی در سازه، در اثر قرار گرفتن در شرایط حساس خارج از شرایطی که برای آن طراحی شده است، می‌باشد. علاوه بر خطراتی که می‌تواند خوردگی در سازه بوجود آورد، ایجاد آلودگی نیز می‌تواند یکی از پیامدهای این تست باشد که باید اجتناب گردد، به خصوص در مورد مخازنی که برای حمل مواد طراحی شده اند.

ایجاد خوردگی تاخیری در حین تست هیدروستاتیک و بعد از آن می‌تواند به سازه آسیب بزند. این موضوع در سازه‌های تولید شده از فولاد زنگ نزن با توجه به حساسیت این نوع فولادها به خوردگی های تاخیری از حساسیت بیشتری برخوردار است. این آسیب ممکن است بعد از چند هفته یا چند ماه نمایان شده و ترمیم آن می‌تواند بسیار مشکل و هزینه بر باشد. هر چند اگر ملاحظات لازم رعایت گردد، تست هیدروستاتیک می‌تواند بدون ریسک اجرا گردد. این ملاحظات اساساً به کیفیت و نحوه فرآوری آب مورد استفاده در تست و چگونگی عملیات روی سازه بعد از تست وابسته است.

بسیاری از کدها و استانداردهای موجود راهنمایی های کلی در زمینه تست هیدروستاتیک سازه های ساخته شده از فولاد ضد زنگ ارائه کرده اند، اما متأسفانه علی رغم اهمیت موضوع و آسیبهایی که می‌تواند ایجاد نماید، هیچ استاندارد یا دستورالعمل جامعی در این زمینه وجود ندارد.

آسیبهای خوردگی که می‌تواند پس از تست هیدروستاتیک سازه های فولاد ضد زنگ ایجاد شود، ممکن است ناشی از یک یا ترکیبی از مکانیزمهای زیر باشد:

۱- خوردگی شیاری و حفره ای شدن

۲- ترک خوردگی تنشی

۳- خوردگی میکروبی

با توجه به شرایطی که می‌تواند باعث ایجاد و یا تشدید مکانیزمهای فوق گردد در تست هیدروستاتیک سازه های فولاد ضد زنگ باید موارد زیر رعایت گردند:

- حذف و یا به حداقل رساندن شیارها در طراحی و ساخت سازه
- متمایل (شیب دار) کردن خطوط و اجزا افقی سازه جهت تخلیه خودبخودی و تامین تخلیه گاه کافی در نقاط بالایی و پایینی سیستم
- ایجاد جوشهایی با نفوذ کامل و کنترل دستیابی به آنها
- اجرای عملیات سطحی روی جوشها تا دستیابی به حداقل درجه کیفی B
- آماده سازی سطح II بر اساس دستورالعمل AS/NZS 1554.6:1994. آماده سازی سطح را می‌توان توسط روشهای زیر انجام داد:

(الف) اسیدشویی

(ب) برس زنی با برس سیمی فولاد زنگ نزن

(ج) استفاده از سنباده یا ذرات ساینده با سایز #۱۸۰ یا نرمتر

(د) پرچ کردن با گاز خنثی

- استفاده از تمیزترین آب قابل دسترس - سختی گیری شده آب مقطر یا آب شرب. در صورتیکه تامین کننده آب شرب در دسترس نباشد باید آب مورد استفاده جهت تعیین خوردگی آن آنالیز شود. مقدار کلراید آب باید با توجه به نوع فولاد کنترل شده و خواص شیمیایی آن (سولفات pH) تنظیم گردد. همچنین باید آنرا تصفیه یا فیلتر کرده و به منظور جلوگیری از ایجاد خوردگی میکروبی آنرا ضد عفونی نمود.

- کلر باقیمانده از عملیات ضد عفونی در آب ورودی به سیستم نباید از ۲ppm برای ۳۰۴ و یا ۵ppm برای ۳۱۶ تجاوز نماید.

- آب باید قبل از ورود به سیستم با عملیات مرحله ای فرآوری شده و در پایان گندزدا افزوده گردد.

- صرفنظر از کیفیت آب باید بلافاصله پس از تست (ظرف مدت ۳ روز) سازه تخلیه و خشک شود و جهت اطمینان از خشک شدن کامل درون آن بازرسی گرد- اگر کلراید باقیمانده در آب تخلیه شده کمتر از ۰.۲ppm باشد و یا آب حاوی لای و یا ذرات معلق باشد باید سازه بلافاصله با آب ضد عفونی و فرآوری شده شستشو گردد.

۷) جوشکاری فولادهای آستنیتی منگنز دار

فولادهای آستنیتی منگنز دار که به فولادهای منگنزی هادفیلد Hadfield نیز موسوم هستند. بسیار چقرمه tough بوده و غیر مغناطیسی می باشند. معمولاً درجه حرارت تغییر حالت و سختی پذیری فولادهای کم آلیاژی توسط مقدار بالای منگنز پایین آورده می شوند و آوستینت تا درجه حرارت محیط نیز پایدار می ماند. این فولادها به استحکام بالا، انعطاف پذیری خوب و مقاومت در برابر سایش عالی، مشهور هستند و بصور مختلف ریختگی، ورق، سیم، میله و غیره عرضه می‌شوند. قطعات ریخته شده یا نورد شده این گروه فولادها غالباً بصورت کوبینج شده بکار می‌روند.

نکته جالب توجه اینکه برعکس اغلب فولادها این گروه از فولاد بعد از کوینج یا سریع سرد شدن در آب چقرمه تر یا سمج تر می شوند. اما تحت عملیات حرارت دادن مجدد ترد می شوند. عملیات حرارتی معمول در فولادهای آستنیتی حرارت دادن و اوستینیتته کردن $1060^{\circ}\text{C} - 980$ ($1950^{\circ}\text{F} - 1800$) برای مدت حدود ۳۰ - ۲۰ دقیقه و سریع سرد کردن در آب است تا خواص مکانیکی مطلوب بدست آید. بالای این دما ساختار کاملاً آستنیتی می باشد.

در حین عملیات حرارتی به ویژه در درجات حرارت بالا، لایه نازکی از سطح دکربوره و احتمالاً "مقداری از منگنز هم می سوزد که در حین سریع سرد شدن به صورت مارتنزیتی همراه با " ترک " های ریز در می آید که از نظر خواص مکانیکی ضعیف بوده ولی خاصیت مغناطیسی دارد. این موضوع به ویژه در قطعات نازک و آنهایی که تحت نیروهای خستگی زا قرار می گیرند، ممکن است قابل توجه باشد و در بعضی موارد ضرورت ایجاد می کند تا این لایه تراشکاری شود. این پدیده در حین برشکاری یا جوشکاری نیز ممکن است اتفاق بیفتد. تبدیل و تغییر فاز ممکن است در درجه حرارت ثابت در اثنای حرارت دادن مجدد در درجه حرارت بالای Alupper ایجاد شده و ساختاری شامل ورقه های کاربید و پرلیت بوجود آورد (کاربید در درجه حرارت $593^{\circ}\text{C} - 538$ (1100°F) و پرلیت $760^{\circ}\text{C} - 538$ ($1400 - 1000^{\circ}\text{F}$) ظاهر می شوند). تغییر فاز از مرزخانه ها شروع شده و ترکیب شیمیایی تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی ساختار بوجود آمده دارد. به هر حال نتیجه این تغییرات کاهش استحکام و انعطاف پذیری است.

با توضیحات بالا می توان گفت که تبدیل و تغییرات از درجه حرارت محیط تا 482°C

(900°F) اتفاق نمی افتد. بنابراین باید توجه کرد که قطعات جوش داده شده را نباید به هیچ وجه تحت عملیات حرارتی پس گرم یا تنش زدایی قرار داد. بطور کلی این فولاد نباید بالای 316°C (600°F) تحت حرارت مجدد قرار گیرد، مگر در شرایط خاص و زمان بسیار کوتاه. از طرف دیگر این فولادها شدیداً تحت کار سرد، سخت می شوند. اگر قطعه ای که تحت کار سرد قرار گرفته است، با حرارت دادن مجدد، مواجه شود، ترد شدن آن خیلی سریع تر اتفاق می افتد، چون نطفه های بیشتری برای تغییر فاز وجود دارد. این لایه نازک است و در ضمن حرارت دادن زیر قوس الکتریکی ذوب می شود، اما در شرایطی که کیفیت ویژه برای اتصال تقاضا شود، باید حتی المقدور این قشر کار سختی شده را با دقت سنگ زده یا تراشید.

ضریب انبساط حرارتی فولادهای آستنیتی منگنز دار شبیه فولادهای آستنیتی کرم - نیکل دار بوده و تقریباً یک ونیم برابر فولادهای فرتیتی است که خود مشکلاتی را از نظر تنش های حرارتی و انقباضی در حین گرم و سرد شدن بوجود می آورد. خواص مکانیکی این گروه فولادها بین 204°C تا 45 - (400°F تا 50) عالی است و به طور کلی برای موارد سایش بیشتر بکار می رود.

فقط روش های جوشکاری با قوس الکتریکی برای فولادهای منگیزی توصیه می شود، زیرا با توجه به توضیحات در مقدمه، حرارت دادن مجدد این فولادها که قبلاً سمج یا چقرمه شده، باعث از دست دادن شدید استحکام کششی و انعطاف پذیری آنها می شود، بنابراین هر فرآیند جوشکاری که تناوب طولانی حرارت داشته باشد، مناسب نیست (جوشکاری با گاز یا شعله). جوشکاری مقاومتی نیز بر روی فولادهای منگنز دار متداول می باشد.

از پیش گرم کردن قطعه فولاد آستنیتی منگنز دار قبل از جوشکاری اکیدا باید پرهیز کرد. علاوه بر فلز اصلی قطعه کار فلز جوش رسوب داده شده نیز تحت حرارت دادن مجدد نباید قرار گیرد، هر چند این تاثیر ناشی از حرارت مجدد با بهسازی هایی که در تولید فلز پر کننده یا الکتروود پیش بینی شده، تا حدودی محدود است و فقط باعث ضخیم شدن مرزخانه ها می شود. بهسازی در الکتروود یا مفتول جوشکاری شامل کاهش هر چه بیشتر کربن و افزودن بعضی عناصر کند کننده تبدیل فاز می باشد.

جوشکاری فولاد آستنیتی منگیزی به فولادهای دیگر (کربنی و کم آلیاژی) فقط با استفاده از فلز پرکننده فولاد منگیزی امکان پذیر است و در صورتی که با تفکیک صحیح جوشکاری کار شود. بهترین نتیجه وقتی حاصل می شود که میزان فسفر در مفتول یا الکتروود کمتر از 0.025% و منگنز بیش از ۱۴ درصد و "میزان امتزاج" در لبه

فولاد غیر منگیزی کمتر از ۲۵ درصد باشد . در غیر این صورت ممکن است ترک برداشتن در جوش یا مجاور آن اتفاق افتد . هرگز نباید از مفتول یا الکتروود فولاد کربنی یا کم آلیاژی در این موارد استفاده شود. بعضی جوشکارها مفتول فولاد ضد زنگ ۳۰۸ را ترجیح می دهند. البته باید عمق نفوذ و میزان امتزاج پایین نگهداشته شود . انواع گوناگونی از الکتروود جوشکاری با ترکیبات متفاوت برای جوشکاری این گروه فولادها تولید و عرضه می شود که بعضی از آنها صرفاً" برای عملیات سطحی رسوب دادن لایه سخت در مواضع تحت سایش زیاد مناسب است . جدول زیر خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی چند نمونه فلز جوش رسوب داده شده با چند نوع مفتول بر روی فولاد آستنیتی منگنز دار نشان می دهد . خاصیت ضربه پذیری نمونه دیگری از فلز جوش در جدول بعدی آورده شده است .

خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی چند نمونه لز جوش از الکترودهای فولاد منگنزدار

نوع	نقطه تسلیم Psi	استحکام کششی Psi	درصد نسبی تغییر طول	درصد کاهش نسبی سطح	سختی BHN	روش جوشکاری
NiMn	۶۴۱۰۰	۱۲۱۳۰۰	۴۷/۰	۳۷/۶	۲۰۷	الکتروود دستی
NiCrMn	۷۵۶۰۰	۱۱۹۸۰۰	۴۲/۰	۳۳/۲	۲۲۳	الکتروود دستی
MoMn	۶۷۹۰۰	۱۱۹۸۰۰	۳۲/۰	۳۳/۱	۲۴۱	الکتروود دستی
CrMn	۱۲۰۰۰۰	۱۴۶۰۰۰	۳۰/۰	۰۰۰۰	۱۹۴	الکتروود دستی
NiCrMn	۷۸۷۰۰	۱۲۲۳۰۰	۳۷/۰	۳۱/۶	۲۳۵	الکتروود مداوم
NiCrMn	۷۹۴۰۰	۱۲۰۶۰۰	۳۸/۰	۳۴/۰	۲۰۷	زیر پودری

درصد ترکیب شیمیایی

انواع	C	Mn	p	Si	Ni	Cr	Mo	V
NiMn	۰/۷۵	۱۴/۵	۰/۰۲	۰/۷	۳/۵	۰۰۰۰	۰۰۰ ۰۰۰	۰۰۰ ۰۰۰
NiCrMn	۰/۷۵	۱۴/۰	۰/۰۲	۰۰۰۰	۳/۵	۴/۰	۰۰۰ ۰۰۰	۰۰۰ ۰۰۰
MoMn	۰/۷۵	۱۴/۷	۰/۰۱	۰/۰۷	۰۰۰۰	۰۰۰۰	۰۰۰ ۱/۰	۰۰۰ ۰۰۰
CrMn	۰/۳۵	۱۴/۱	۰/۰۲	۰/۶	۱/۰	۱۴/۵	۰/۶ ۱/۷	۰۰۰ ۰۰۰
NiCrMn	۰/۸۰	۱۵/۲	۰/۰۲	۰۰۰	۳/۲	۴/۰	۰۰۰ ۰۰۰	۰۰۰ ۰۰۰
NiCrMn	۰/۷۸	۱۶/۷	۰/۰۲	۰/۸	۳/۷	۴/۳	۰۰۰ ۰۰۰	۰۰۰ ۰۰۰

خواص ضربه ای فلز جوش Ni - Mn*

درجه حرارت آزمایش	خواص ضربه ای (فوت - پوند)
۷۵ F	۱۱۸
۰ F	۹۶

۸۰	- ۷۵ F
۵۵	- ۱۵۰ F

• آنالیز تقریبی فلز جوش عبارتند از:

C 0.75% , Mn 14.5% , P 0.021% , Si 0.65% , Ni 3.5% , Cr 0.4%

علیرغم بهبود در کیفیت الکتروود جوشکاری برای این گروه فولادها ، توجه و مهارت در فرآیند جوشکاری و رسوب دادن فلز جوش و بعضی تاثیرات در منطقه مجاور جوش حائز اهمیت است .

الکتروود با منگنز بالا صرفاً " بمنظور پر کردن مواضع سائیده شده بکار می رود و در مقابل الکتروود منگنز مولیبدن دارای سمجی و چقرمگی کمتری است . معمولاً سازنده ها با توجه به سوختن و از دست رفتن بعضی عناصر آلیاژی در حین جوشکاری ، مقدار اضافی در ترکیب الکتروود یا مفتول پیش بینی می کنند، اما طبیعی است که اگر جوشکاری با طول قوس زیاد از حدیابه هم زدن غیر معمول (Pudding) حوضچه جوش و یا عدم رعایت نکات دیگر انجام شود، مقدار اضافی سوختن موثر موجب تقلیل خواص و کیفیت فلز جوش رسوب داده شده می شود .

الکتروودهای دستی فولاد منگنزی به صورت های گوناگون سیم آلیاژی پوشش دار ، سیم با عناصر آلیاژی در پوشش آن و لوله ای با عناصر آلیاژی در مغز آن تولید و عرضه می شود .

با توجه به مقدمه و توضیحات بالا می توان خلاصه روش جوشکاری و نکات مهم مربوطه برای حفظ کیفیت خوب در فلز جوش (استحکام و سمجی بالا) را با الکتروود دستی بصورت زیر خلاصه کرد :

(۱) جوشهایی که یک یا هر دو جزء مورد اتصال از فولاد آستنیتی هستند، باید از الکتروودهای منگنزی یا ضد زنگ (کرم - نیکل دار) استفاده کرد .

(۲) از فرآیند جوشکاری با شعله یا اکسی استیلن استفاده نشود ، احتمال ایجاد تردی در فلز قطعه کار و جوش وجود دارد .

(۳) الکتروود را باید در جای خشک نگهداری کرده و یا قبل از استفاده آنرا پخت یا خشک کرد .

(۴) رعایت نکات و دستورات سازنده الکتروود در مورد قطب و نوع جریان الکتریکی مصرفی الزامی است.

(۵) تمیز کردن کامل رنگ ، چربی و آلودگی های دیگر از سطح و لبه مورد جوش

(۶) تا آنجا که ممکن است قشر سطحی سخت شده در اثر کار سرد در مسیر جوشکاری برطرف شود، چون لایه مذکور دارای ساختار مارتنزیتی بوده و حساسیت زیادی در برابر ترکیدگی دارد .

(۷) هر نوع عیب سطحی نظیر ذرات ماسه سوخته شده یا محبوس شده ، خلل و فرجهای انقباضی shrinkage porosity و ترکیدگی ها باید قبل از جوشکاری برداشته شوند .

(۸) در تعمیرات مربوط به " ترکیدگی " ، فلز اطراف " ترک " تا عمق آن برداشته شده و ابتدا و انتهای مسیر پیشرفت ترک را نیز با سوراخ کردن با جوش عرضی بست . البته این موضوع خیلی ساده هم نیست، چون انتهای عمق ترکیدگی در قطعه را به راحتی نمی توان تشخیص داد .

(۹) کوبیدن (peening) بدون توقف بر روی فلز جوش در حالت گداختگی کمکی در کاهش تنش های داخلی انقباض در اثنای سرد شدن و تقلیل پیچیدگی می کند .

(۱۰) هرگز فولاد آستنیتی منگنز دار را با الکتروود فولاد کربن یا کم آلیاژی نباید جوش داد .

(۱۱) حرارت داده شده به ازای هر اینچ باید در حد می نیمم (با توجه به ایجاد جوش سالم) نگهداشته شود حرارت داده شده در واحد طول را می توان با فرمول ساده زیر محاسبه کرد :

$$H = E.I.60 / S$$

S = سرعت پیشرفت جوشکاری (سانتیمتر در دقیقه)

I = شدت جریان (آمپر)

E = اختلاف پتانسیل قوس (ولت)

H = حرارت داده شده در هر سانتیمتر (ژول بر سانتیمتر)

درجه حرارت قسمت مجاور جوش پس از یک دقیقه رسوب فلز جوش 316°C (600°F) تجاوز نکند، کاربرد سیستم اندازه گیری درجه حرارت کار در حین جوشکاری مفید است.

باید این امکان وجود داشته باشد تا با دست فاصله ۱۵ سانتیمتری (۶ اینچی) مسیر جوشکاری را در تمام لحظات لمس کرد. به خاطر داشته باشیم که نفوذ حرارتی فولاد منگنزی ۱/۴ فولادهای کربنی است. در جوشکاری قطعات نازک و سبک دقت بیشتر در این امر لازم است. عواملی که به کاهش حرارت داده شده در واحد طول کمک می کند عبارتند از:

الف - نگهداشتن طول قوسی کوتاه (طول قوس زیاد ولتاژ را افزایش داده و حرارت را در سطح وسیع تر توزیع می کند).

ب - به هم زدن هر چه کمتر حوضچه جوش (بهم زدن جوش و یا حرکت زیگزاگی) موجب بازیابی کمتر منگنز و کاهش سرعت پیشرفت جوشکاری می شود.

ج - پیش گرم کردن فولاد منگنزی مفید نیست (انواع کم آلیاژی ممکن است در شرایط خاص کمی پیش گرم کرد).

د - استفاده از جوشهایی با طول کوتاه در قسمتهای مختلف بطور متناوب برای بهتر پخش شدن حرارت و عدم بالا رفتن درجه حرارت در یک نقطه

ه - تامین زمان کافی برای سرد شدن هر قسمت از جوش رسوب داده شده: گاهی می توان از آب نیز برای سرد کردن استفاده کرد، در صورتیکه دقت شود تا رطوبت به نقطه مورد جوش در پاس بعدی نرسد.

و - استفاده از مفتول یا میله هایی از فولاد منگنزی در مواردیکه نیاز به مقدار رسوب بالا است. این مفتول ها قبلاً در موضع جوش قرار داده می شوند و ذوب شدن و ادغام آنها در حوضچه جوش موجب سریع تر سرد شدن فلز جوش می شود.

استفاده از فرآیندهای نیمه خودکار و خودکار جوشکاری برای این گروه فولادها نیز متداول است، در این فرآیند به الکترودهای مداوم نیاز است که بصورت سیم های آلیاژی توپر یا لوله ها با محتوای مواد فلاکسی یا سرباره ساز و احیاناً عناصر تولید و عرضه می شوند. سیم های توپر در فرآیند های خودکار و نیمه خودکار معمولاً باریک است. بعضی از الکترودهای لوله ای با قوس باز به کمک محافظت گاز CO_2 و یا مخلوط CO_2 و آرگون بکار برده شده و برخی دیگر در فرآیند قوس زیر پودری و به کمک پوشش سرباره استفاده می شوند. یکی از بیشترین کاربردهای جوشکاری بر روی فولادهای منگنزی پرکردن مواضع سائیده شده به کمک رسوب فلز جوش است. معمولاً فلز جوش دارای همان ترکیب شیمیایی فلز قطعه کار است، هر چند در بعضی موارد لایه رسوب داده شده از مقاومت سایشی بیشتری برخوردار است. همانطور که در اتصالات فولادهای منگنزی گفته شد، اینگونه کارهای سطحی و تعمیراتی نیز با روش قوس الکتریکی و تمرکز حرارت هر چه بیشتر انجام می گیرد تا پدیده "حرارت مجدد" و رسوب کاربرد و بالاخره کاهش خواص مکانیکی اتفاق نیفتد.

در این موارد باید فرض کرد که سطح سائیده شده در اثر کار، سخت شده و اگر در منطقه حرارتی ناشی از جوشکاری قرار گیرد، احتمال ترک برداشتن آن بسیار زیاد است. برای اجتناب از این مشکل در زیر مجاور جوش، باید قبل از جوشکاری این لایه سخت شده را به کمک سنگ زدن یا برشکاری با قوس برداشت. همانطور که قبلاً گفته شد باید سعی شود از فلز پرکننده ای استفاده شود که تطابق ترکیب شیمیایی با فلز قطعه کار داشته باشد و جوش ها کوتاه و منقطع باشد (پایین نگهداشتن حرارت داده شده در واحد طول). تصور اینکه فقط پایین

نگهداشتن آمپر کافی است، اشتباه است. چه بسا با آمپر بالا و سرعت جوشکاری سریع می توان از پخش حرارت به اطراف و بالا رفتن درجه حرارت این مناطق جلوگیری کرد.

نکات گفته شده دیگر در مورد کوبیدن جوش یا استفاده از میله های فولاد منگنزی و یا عدم پیش گرم کردن در جوشکاری تعمیراتی نیز صادق است و از تکرار آنها خودداری می شود.

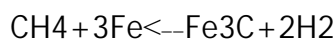
پیچیدگی قطعه پس از جوشکاری هم اغلب یکی از مشکلات می باشد. استفاده از گیره ها و نگهدارنده ها و یا بستن پشت به پشت دو فک خرد کننده و یا کوبیدن فلز رسوب داده شده گداخته و تدابیر دیگر می تواند موجب کاهش پیچیدگی و تغییر شکل شود.

به طور کلی رفع عیوب ریختگی قطعات فولاد منگنزی را باید پس از عملیات کوبینج کردن آنها انجام داد. زیرا در حالت ریخته شده Cast - AS بسیار ترد و شکننده بوده ممکن است در حین جوشکاری شکسته شوند. دیواره های کناری حفره های انقباضی باید چنان سائیده شود که دارای شیبی برابر ۱۵ درجه (حداقل) باشد.

۸) حمله هیدروژنی در دمای بالا - HTHA

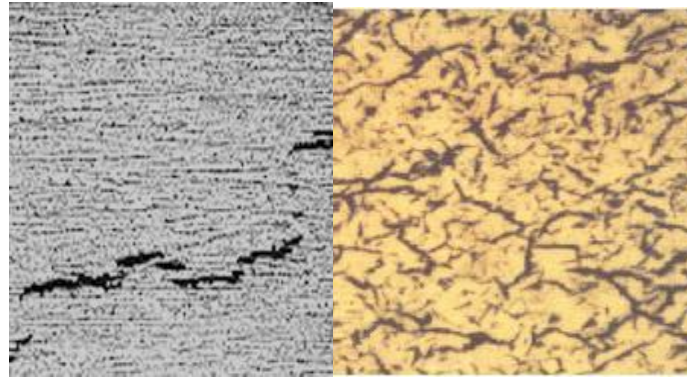
مکانیزمهای تخریب مواد که با شرایط محیطی تشدید می گردند، در صنایع مختلفی به وقوع می پیوندند. یکی از این مکانیزمها حمله هیدروژنی در دمای بالاست که می تواند باعث شکستهای بسیار مخربی گردد، لذا باید توجه ویژه ای در زمینه منشا حمله هیدروژنی، انتخاب مواد و به ویژه انتخاب روش بازرسی مناسب به منظور تشخیص به موقع و مراقبت وضعیت مناسب تجهیزات مستعد، حمله هیدروژنی صورت گیرد.

حمله هیدروژنی در دمای بالا در اثر واکنش بین هیدروژن اتمی با کربن و تشکیل متان اتفاق می افتد.



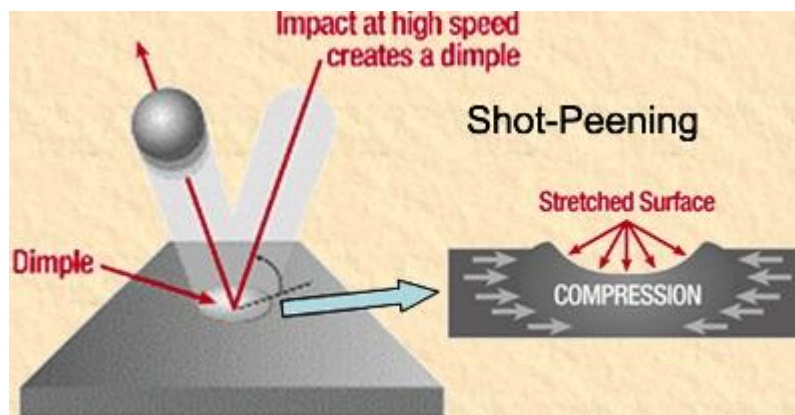
در دما و فشار بالا، هیدروژن اتمی به سرعت در دیواره مخازن تحت فشار نفوذ می کند. میزان فشار گاز متان تولید شده در اثر این واکنش، تابعی است از دما، فشار جزئی هیدروژن و شرایطی که باعث ناپایداری کاربرد می شود. فشار گاز متان باعث رشد حفرات از مناطق جوانه زنی آنها در راستای مرز دانه ها می گردد. در اثر تشکیل متان در فولاد، استحکام و چکش خواری آن کاهش می یابد. نرخ تخریب خواص ماده به فشار متان، نرخ خزش و نسبت مرزدانه های گسسته شده بستگی دارد. در دما و تنش بالا ممکن است مکانیزمهای حمله هیدروژنی و خزش با یکدیگر ترکیب شوند، چرا که هر دو مکانیزم در اثر تشکیل و رشد حفرات در مرز دانه ها ایجاد می شوند. در یک دما و فشار جزئی هیدروژن مشخص، حمله هیدروژنی ابتدا در مناطقی اتفاق می افتد که بیشترین ناپایداری کاربرد را دارند. این مناطق اغلب ناحیه جوش و نواحی اطراف آن را شامل می شوند. در اغلب کاربردها رشد فشار جزئی هیدروژن به اندازه کافی بالا هست که باعث پیشرفت حمله هیدروژنی در قسمت قابل توجهی از ضخامت قطعه شود. نتیجه این پدیده کاهش نسبتاً شدید زمان رشد حمله هیدروژنی از سطح به نیمه ضخامت قطعه می باشد. بنابراین ما با یک کاهش قابل توجه در خواص ماده روبرو می شویم که می تواند باعث پارگی سریع باقیمانده ضخامت قطعه در اثر اعمال بار بیش از حد باشد، به خصوص وقتی که علاوه بر این کاربردها، ناپیوستگیها (عیوب) و نواحی با تنش بالا نیز وجود داشته باشند. در این نواحی، تنش بالا و تغییرات تنشی می تواند باعث ایجاد میکروترکها شده و نفوذ هیدروژن را با فشار عملیاتی به درون قطعه تسهیل نماید.

نتیجه این حالت ایجاد حمله هیدروژنی بصورت موضعی می باشد. در این حالت میکروترکها همانند ماکروترکها جهت گیری و رشد می کنند و در نتیجه تخریب تحت این شرایط ناشی از نشستی ایجاد شده در اثر رشد ترک خواهد بود. هر چند که احتمال ایجاد شکست ناگهانی همواره وجود دارد.



۹) فرآیند ساچمه زنی (Shot Peening)

ساچمه زنی یک فرآیند کار سرد است که در آن سطح قطعه توسط ذرات ریز نسبتاً کروی (ساچمه) تحت ضربات شدید قرار می‌گیرد. هر گلوله ساچمه مانند یک چکش ضربه زنی کوچک عمل کرده و در سطح قطعه یک گودی یا فرورفتگی ایجاد می‌کند. برای تشکیل این گودی باید لایه سطحی فلز به نقطه تسلیم کششی خود برسد تا تغییر فرم پلاستیک ایجاد شود. در لایه زیرین سطح ذرات فشرده شده سعی می‌کنند تا سطح را به حالت اولیه خود برگردانند که در نتیجه یک ناحیه نیم کروی از فلز کارسرد شده که تحت تنش فشاری شدیدی قرار دارد، ایجاد می‌گردد. با ادامه ساچمه زنی و همپوشانی فرورفتگیهای ناشی از برخورد ساچمه ها به سطح، یک لایه یکنواخت با تنش فشاری باقیمانده تشکیل می‌شود.



این موضوع روشن است که معمولاً ایجاد و رشد ترکها در ناحیه تحت فشار ممکن نیست. از طرف دیگر تقریباً تمام ترکهای ناشی از خستگی یا خوردگی ناشی از سطح یا نزدیک سطح آغاز می‌شوند. در نتیجه قطعاتی که ساچمه زنی شده اند دارای عمر کاری بیشتری در اینگونه شرایط می‌باشند. مقدار تنش فشاری باقیمانده در قطعه در اثر ساچمه زنی حداقل برابر نصف مقدار استحکام کششی ماده می‌باشد.

در اغلب فرآیندهای شکست زمانبر عامل اصلی شکست تنشهای کششی می‌باشند. این تنشها می‌تواند ناشی از اعمال بار خارجی و یا تنشهای باقیمانده در اثر فرآیند ساخت (مانند جوشکاری سنگ زنی و ...) باشد. تنش کششی تمایل دارد تا ذرات تشکیل دهنده قطعه را از هم دور کند و لذا می‌تواند باعث ایجاد ترک شود. تنش فشاری باعث فشرده شدن مرز دانه های سطحی شده و شروع ترک را بمدت قابل ملاحظه ای به تاخیر می‌اندازد.

از طرف دیگر از آنجایی که رشد ترک در ناحیه تحت فشار بسیار آهسته تر می‌باشد، هرچه عمق سطح فشرده شده بیشتر باشد میزان مقاومت به ترک بیشتر خواهد بود.

ساجمه زنی معمولاً برای کاهش اثر تنشهای پسماند ناشی از جوشکاری در فلزات استحکام بالا، سازه‌های تحت بارهای سیکلی و دینامیک و همچنین جوشکاری‌های ترمیمی قطعات، خصوصاً مواقعی که امکان تنش زدایی وجود ندارد، کاربرد وسیعی دارد.

۱۰) پس‌گرم در جوشکاری فولادهای A514/A514M

فولادهای A514/A517 یک گروه از فولادهای سازه کونج و تمپر شده با ترکیبی از خواص مکانیکی مناسب هستند. مهمترین این خواص، استحکام تسلیم بالا (حداقل استحکام تسلیم 90-100 ksi)، جوشپذیری و تافنس خوب در دماهای پایین می‌باشد. استفاده از این فولادهای پر استحکام باعث کاهش هزینه و افزایش راندمان می‌گردد. هرچند جوش پذیری این فولادها خوب است، اما برای ایجاد یک اتصال موفق باید به برخی نکات مهم توجه داشت. از جمله مهمترین این نکات عملیات پس‌گرم می‌باشد. منظور از عملیات پس‌گرم در این نوشتار، عملیات حرارتی پس از جوشکاری در دمای بالاتر از 370°C و کمتر از دمایی است که سازنده برای تمپر کردن این فولاد استفاده نموده است. بطور کلی این فولادها نباید تحت عملیات پس‌گرم قرار بگیرند، چرا که ممکن است در اثر این عملیات، تافنس در ناحیه جوش و HAZ کاهش یافته و یا ترک در قطعه ایجاد شود.

عناصر آلیاژی که برای دستیابی به استحکام و تافنس بالا در این فولادها بکار رفته در اثر عملیات پس‌گرم تاثیر عکس بر خواص خواهند داشت. عملیات پس‌گرم برای این فولادها-مانند سایر فولادها- تنها زمانی می‌تواند انجام شود که از مفید بودن آن اطمینان حاصل شده و آثار مخرب احتمالی آن قابل کنترل باشد. به هر حال در برخی موارد لزوم اجرای عملیات پس‌گرم غیر قابل انکار است. بخصوص در مواردی که امکان ایجاد ترک یا ترک خوردگی تنشی (SCC) در اثر تنشهای باقیمانده از جوش یا کار سرد روی قطعه وجود داشته و یا تافنس قطعه در اثر جوشکاری یا کار سرد کاهش یافته باشد. در این گونه موارد باید بررسی دقیقی صورت گیرد تا بتوان عملیات پس‌گرمی موفق و با کمترین احتمال آسیب اجرا کرد.

نتایج تستهای ضربه انجام شده نشان می‌دهد که عملیات پس‌گرم در محدوده دمایی $510-650^{\circ}\text{C}$ می‌تواند باعث آسیب به تافنس فلز جوش و ناحیه HAZ گردد. میزان این آسیب به ترکیب شیمیایی، دمای عملیات و مدت زمان قرار گرفتن قطعه در آن دما بستگی داشته و اثر مخرب آن با کاهش سرعت سرد کردن افزایش می‌یابد.

همچنین هنگامی که جوش این فولادها تحت عملیات پس‌گرم بالاتر از 510°C قرار می‌گیرد- مانند بسیاری فولادهای دیگر- ممکن است در ناحیه درشت دانه شده HAZ ترکهای بین دانه ای ایجاد شود. ترکهای بین دانه ای که در اثر تنش بالا ایجاد می‌شوند، اغلب در مراحل اولیه عملیات پس‌گرم اتفاق می‌افتند. امکان ایجاد این ترکها با افزایش میزان مهار جوش (Weld Restraint) و شدت تمرکز تنش بالا می‌رود. عناصر کرم، مولیبدن و وانادیوم عوامل اصلی در ایجاد این ترکها هستند، ولی عناصر کاربیدزای دیگر نیز به این قضیه کمک می‌کنند. رسوب کاربیدها در دمای بالا در خلال اجرای عملیات پس‌گرم تعادل بین مقاومت به لغزش مرز دانه ها و مقاومت به تغییر فرم را در دانه های درشت ناحیه HAZ بر هم می‌زند. این پدیده قبلاً به طور کاملتر توضیح داده شده است. این ترکها به نام ترکهای بازگرمایشی (Reheat Crack)، ترکهای آزادکننده تنش (Stress Relieve Crack) و ترکهای تنشی (Stress Rapture Crack) شناخته می‌شوند. برای کاهش احتمال ایجاد این ترکها در مواردی که انجام پس‌گرم الزامی باشد، می‌توان از روشهای زیر استفاده کرد:

- ۱- رعایت دقیق میزان پیش‌گرم و کنترل حرارت ورودی حین جوشکاری با استفاده از تکنیکهای مناسب
- ۲- انتخاب طرح اتصال، محل جوشکاری و ترتیب آن به گونه ای که میزان مهاربودن جوش به حداقل برسد.

- ۳- طراحی اتصال و شکل گرده نهایی به گونه ای که حداقل تمرکز تنش ایجاد شود.
- ۴- استفاده از فلز جوشی که استحکام آن در دمای عملیات پساگرم کمتر از استحکام ناحیه HAZ فلز پایه باشد.
- ۵- پوشش دادن و یا لایه کشی ناحیه پنجه جوشهای گوشه توسط یک یا چند لایه جوش بصورت حلقه زنجیری: برای این کار باید از فلز جوش با استحکام کم استفاده شود.
- ۶- چکش زنی ناحیه جوش به منظور کاهش تنشهای پسماند در آن

لازم به ذکر است که اجرای هیچکدام از موارد فوق به تنهایی یا بصورت ترکیبی متضمن حذف کامل احتمال ایجاد ترک در موارد عملی نمی‌باشد، بلکه تنها کاهش دهنده این احتمال است. در صورت اجرای عملیات پساگرم، دمای آن نباید از دمای تمپرینگ تولید کننده فلز بالاتر باشد. پساگرم در دمایی حدود 10°C کمتر از دمای تمپرینگ تولید کننده از کاهش استحکام فولاد جلوگیری می‌کند. همچنین توصیه می‌شود که قطعات جهت بررسی وجود ترک قبل و بعد از عملیات پساگرم تحت تستهای غیر مخرب قرار گیرند.