Filecivil.ir

Civil Engineering Website

سایت جامع دانشجویان و مهندسین عمران

بازرسی جوش فولاد (3.1) - WIS1

TWI - HITAN

ترجمه : مجید عباسی

بازرسی جوش (WIS5)

بخش	عنوان
1)	واژه ها و تعاریف
2)	وظایف و مسئولیتها
3)	عیوب جوش
4)	آزمایش مکانیکی
5)	روشهای جوشکاری و تأیید جوشکار
6)	بازرسی مواد
7)	دستورالعمل (Code) و استاندارد
8)	علائم جوش در نقشه
9)	مقدمه ای بر فرایندهای جوش
10)	جوشکاری قوس فلزی دستی (MMAW)
11)	جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی (TIG / GTAW)
12)	جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز خنثی یا فعال (MIGW, MAGW)
13)	جوشکاری قوسی زیر پودری (SAW)
14)	مواد مصرفی جوشکاری
15)	آزمایش غیر مخرب
16)	تعمیر جوش (Weld Repairs)
17)	تنش پسماند (Residual Stress) و اعوجاج (Distortion)
18)	عملیات تنش زدایی فولاد
19)	جوشکاری و برشکاری اکسی گاز سوز (Oxy-Fuel Gas)
20)	فرایندهای برشکاری قوسی
21)	ایمنی جوش
22)	جوش پذیری فولاد
23)	بخش بازرسی چشمی

بخش اول: واژه ها و تعاریف

آماده سازی اتصال جوش لب به لب یک طرفه (Single Butt Weld) :

آماده سازی اتصال یک طرفه معمولا" بر روی مواد نازکتر ، یعنی هنگامی که دسترسی از هر دو طرف فلز محدود بوده ، صورت می گیرد.
چنین انتخابی ممکن است با قابلیت فرایند جوش و موقعیت اتصال (joint) و یا قابلیت وضعیتی مواد مصرفی جوش و میزان مهارت موجود نیز تحت تأثیر قرار گیرد.
آماده سازی اتصال دو طرفه (double sided) معمولا" بر روی مواد ضخیم تر ، یعنی هنگامی که هیچ محدودیتی برای دسترسی به هر دو طرف فلز وجود نداشته ، صورت می گیرد.
به علاوه ، استفاده از آنها نیز ممکن است به منظور کنترل اثر اعوجاج (distortion) باشد و یا از لحاظ اقتصادی ، در هنگام جوشکاری قسمتهای ضخیم تر بکار می رود.

آماده سازی اتصال جوش :

هنگام جوشکاری باید همه عرض یا پهنای رویه (face) هردو فلز ذوب شود. در بیشتر اوقات باید محل اتصال (joint) را آماده کرد و به منظور دسترسی کامل فرایند جوش و همچنین ذوب کامل هر دو رویه ، اقدام به برداشتن فلز از محل اتصال نمود. لذا برای انجام چنین کاری ، می توان از عمل سنگ زنی ، برشکاری قوسی یا شعله ای و یا از تراشکاری (machining) استفاده نمود، اما لازم به ذکر است که عمل سنگ زنی تقریبا"1 یا 2 میلی متر فلز ممکن است بعد از عمل برشکاری شعله ای مورد نیاز باشد.
هدف از آماده سازی جوش ، امکان دسترسی فرایند جوش ، نفوذ و ذوب کامل محل اتصال و رویه آن می باشد. وظیفه فاصله ریشه (root gap)، امکان نفوذ فلز جوش است و وظیفه رویه ریشه (root face) ، انتقال حرارت بیش از حد بوده و به عنوان یک حوضچه حرارتی (heat sink) عمل می کند.
به طور کلی ، هرچه میزان انرژی قوس فرایند بالاتر باشد ، پهنا یا عرض رویه ریشه مانند فرایند جوش (SAW) بیشتر است.
منظوراز این قانون ساده عبارتست از: هرچیزی که به مقدار زیاد از آن برداشته شود ، پس باید بیشتر نسبت به جایگزینی آن اقدام گردد.
همچنین این قانون تأثیر بسزایی هم بر اقتصاد و هم اعوجاج دارد. نوع رویه ریشه (root face) ، فاصله ریشه(root gap) ، زاویه شیب یا پخ (bevel) وانتخاب آماده سازی اتصال یک یا دو طرفه نیز صرفا" با انتخاب فرایند جوش ، پارامتر های فرایند جوش ، موقعیت و قابلیت دسترسی به اتصال جوش مشخص می گردد.

اتصال سپری یا T شکل جوش گوشه ای :

در بازرسی چشمی معمولا" از « طول ساق » (leg length) برای اندازه گیری اتصالات جوش گوشه ای استفاده می شود. همچنین ضخامت گلویی طرح جوش ، با اندازه طول ساق ضربدر عدد 0.7 ، به آسانی بدست می آید.
با اندازه گیری میزان گلویی جوش و سپس کسر اندازه ضخامت گلویی طرح آن که در شکل فوق محاسبه شده ، نیز می توان فلز جوش اضافی را سنجید.

مثال:
اگر اندازه طول ساق جوش گوشه ای محدب 10 میلی متر باشد، در نتیجه ضخامت گلویی طرح مساوی است با 0.7 *10 ، که همان 7 میلی متر می باشد.
اگر ضخامت واقعی گلویی جوش 8.5 میلی متر باشد ، در نتیجه میزان فلز جوش اضافی را می توان به شرح زیر محاسبه کرد:

فلزجوش اضافی 8.5- 7mm = 1.5 mm

ضخامت گلویی طرح جوش « ظاهری » (Nominal) و « عملی » (Effective) :

هنگامی که از فرایندهای نفوذ کننده عمیق با غلظت جریان بالا استفاده می کنید ، امکان ایجاد ابعاد گلویی عمیق تر نیز وجود دارد.
چنین چیزی ممکن است در محاسبات طرح به منظور رفع تنش ها بکار رود و کاهش وزن کلی جوش در یک سازه بزرگ جوش شده به عنوان مزیت قابل توجهی به شمار می رود.
انجام جوش گلویی عمیق زمانی امکان پذیر است که از فرایندهای نفوذ بالا (غلظت جریان بالا) شامل فرایند (FCAW) و (SAW) استفاده کنید.
همچنین علامت گلویی «a » یا «s » در استاندارد (BSEn 22553) ، برای علائم جوش در نقشه های سراسر اروپا بکار می رود.

نمایه های جوش گوشه ای (Fillet Weld Profiles) :

اتصالاتی که از لحاظ دینامیکی ، تحت فشار یا بار تنش های دوره ای قرار دارد، استفاده از جوش گوشه ای مقعر (concave fillet weld) برای کاهش هر گونه تمرکز تنشی و یا به حداقل رساندن محلهای شروع ترکهای خستگی (fatigue crack) ترجیح داده می شود.

در کاربردهای حساس نیز احتمالا" یکی از شرایط و روشهای جوشکاری این است که پنجه های جوش (toes) به آرامی سنگ زده شود و یا حتی با بکارگیری جریان فرایند (TIG) به منظور رفع هر گونه فرورفتگی و شکاف موجود ، به صورت صاف ومسطح در آید.

تأثیر ترکیب نامناسب پنجه جوش :

اکثر مشخصات جوشکاری عموما" به این نکته می پردازند که « ترکیب پنجه های جوش (toe blend) باید صاف و یکنواخت باشد.»
این بیانیه که نوعی بیانیه «کمی» بوده ودر معرض بسیار شدید تفسیر فردی قرار دارد ، می تواند مسائلی را به بار آورد. همچنین برای کمک به ارزیابی خود از معیار پذیرش ترکیب پنجه جوش ، باید به خاطر سپرد که هر چه اندازه زاویه پنجه زیاد باشد ، در نتیجه میزان تمرکز تنش ها نیز بیشتر است ؛ این میزان بین 20 تا 30 درجه و تقریبا" به نسبت 2:1 می باشد.
ترکیب نامناسب پنجه جوش (poor toe blend) زمانی وجود دارد که ارتفاع فلز جوش اضافی بیش از حد باشد، هرچند چنین امکانی نیز وجود دارد که ارتفاع فلز جوش در محدوده معینی قرار گیرد ، ولی با این وجود ، ترکیب پنجه صاف و یکنواخت نخواهد بود . از این رو چنین ترکیبی ، نوعی عیب به حساب آمده و مورد قبول نمی باشد.
لازم به ذکر است که ترکیب نامناسب پنجه در ریشه جوش نیز از همان تأثیر برخوردار خواهد بود.

خلاصه ای از اصطلاحات و تعاریف جوش و اتصال :

- **جوش:** عبارتست از ترکیب و اتصال موادی که با حرارت و یا فشار تولید شده اند.
- **اتصال (joint) :** یعنی شکل و ترکیب اجزا.
- **آماده سازی اتصال جوش:** عبارتست از آماده سازی اتصال به منظور امکان نفوذ و ذوب کامل رویه اتصال (joint face).
- **انواع جوش :** عبارتست از جوش لب به لب (butt weld) ، جوش گوشه ای (fillet weld)، جوش نقطه ای (spot weld)، جوش شکافی یا درزی (seam weld) و جوش لبه ای (edge weld).
- **انواع اتصال :** عبارتست از اتصال شیب یا پخ دار (bevel joint)، اتصال V شکل (V joint)، اتصال J شکل (J joint) ، اتصال U شکل (U joint) و (یک طرفه و دو طرفه).

- **اصطلاحات آماده سازی اتصال :** شامل زاویه شیب یا پخ دار (**bevel angle**)، زاویه بین محوری اتصال (**included angle**)، رویه ریشه (**root face**) و فاصله ریشه (**root gap**).

- **اصطلاحات جوش :** رویه جوش (**weld face**)، ریشه جوش (**weld root**)، منطقه ذوب (**fusion zone**) ، حد و مرز ذوب (**fusion boundary**)، منطقه متأثر از جوش (**HAZ**) ، پنجه جوش (**weld toes**) و پهنای جوش (**weld width**).

- **اندازه گیری جوش لب به لب :** ضخامت گلویی طرح، ضخامت واقعی گلویی، فلز جوش اضافی و نفوذ اضافی ریشه.

- **اندازه گیری جوش گوشه ای :** ضخامت گلویی طرح، ضخامت واقعی گلویی، فلز جوش اضافی و طول ساق جوش.

بخش دوم: وظایف و مسئو لیتهای بازرس جوش

وظیفه بازرس جوش عبارتست از انجام کلیه عملیات مربوط به جوش مطابق با روشها و یا مشخصات کتبی تأیید شده ؛ این وظایف از نظارت و کنترل برخی عملیاتهای ذیل تشکیل می گردد:

الف) وظایف قبل از جوشکاری :

1. **ایمنی:** بازرس جوش می بایست از انجام تمام عملیاتها مطابق با قوانین ایمنی محلی، شرکتی و یا ملی اطمینان حاصل کند. (به عبارتی دیگر باید از وجود مجوز کار (**permits to work**) در محل کار مطمئن شود.)

2. **اسناد و مدارک :** اسناد و مدارکی که بازرس جوش باید کنترل کند به شرح ذیل است:
   - مشخصات (سال و بازبینی)
   - نقشه (بازبینی های صحیح)
   - مشخصات روش جوشکاری (**Welding Procedure Specification**) و تایید جوشکاران
   - گواهینامه کالیبراسیون (دستگاههای جوشکاری، وسایل جانبی و تمامی ابزارهای بازرسی)
   - گواهینامه مواد مصرفی (**consumables**) و مواد (**material**)

3. **فرایند جوش و وسایل جانبی :**
   کنترل دستگاههای جوشکاری و همه وسایل جانبی مربوط از قبیل (کابل، دستگاه تنظیم کننده (**regulator**)، آون یا گرمخانه الکترود و غیره.)

4. **مواد مصرفی وارده (Incoming Consumables) :**
   کنترل اندازه، نوع و وضعیت مواد مصرفی جوش لوله و ورق.

5. **علامت گذاری آماده سازی اتصال و شروع جوش :** در این حالت مواردی که بازرس جوش باید کنترل نماید ، عبارتند از:
   - کنترل و اصلاح روش برشکاری آماده سازی اتصال جوش (استفاده از عملیات پیش گرمایش برای برشکاری گرمایی در صورت لزوم.)
   - کنترل و اصلاح آماده سازی محل جوش از قبیل (زوایای شیب یا پخ، رویه ریشه (**root face**)، فاصله ریشه (**root gap**)، شعاع ریشه، سطح و غیره.)

- کنترل و اصلاح اعوجاج و پیچیدگی (**distortion**) قبل از جوشکاری شامل (استفاده از جوش موقت (**tacking**)، پل زدن (**bridging**)، بست (**jigs**)، گیره تنظیم نصب (**line up clamps**) و غیره.
- کنترل و اصلاح عمل پیش گرمایش قبل از جوش موقت .
- نظارت و بازرسی کل جوشهای موقت.

ب) وظایف حین جوشکاری:

1. کنترل میزان پیش گرمایش شامل (روش و محل گرمایش)
2. کنترل مواد مصرفی جوش (**consumables**) شامل (مشخصات، اندازه، وضعیت ویا هر گونه عملکرد ویژه)
3. کنترل نوع فرایند و پارامترهای متغیر جوش شامل (ولتاژ، آمپر، و سرعت حرکت جوش (**travel speed**))
4. کنترل گاز **purging** شامل (نوع، جریان و یا فشار گاز)
5. کنترل وضیعت های جوشکاری پاس ریشه، دوم و تمامی پاسهای بعد و تمیز کاری بین پاسی
6. کنترل حداقل و حداکثر دمای بین پاسی
7. مطابقت با سایر متغیرهای تأیید شدهٔ روش جوشکاری

ج) وظایف بعد از جوشکاری:

1. بازرسی چشمی اتصال جوش شامل (وضعیت ابعادی)
2. کنترل شرایط آزمایشهای غیر مخرب (**NDT**) شامل (آگاهی و معلومات اپراتور ، روش و انجام آزمایش)
3. شناسایی تعمیرات جوش ناشی از ارزیابی گزارش های چشمی و یا آزمایشهای غیر مخرب (**NDT**)
4. کنترل عملیات تنش زدایی (**PWHT**) از قبیل (روش عملیات و سیستم ثبت دما)
5. بازرسی مجدد چشمی و آزمایشهای غیر مخرب (**NDT**) بعد از عملیات تنش زدایی
6. کنترل روشهای آزمایش هیدرواستاتیک شامل خطوط لوله و یا مخازن تحت فشار

د) تعمیر جوش :

1. کنترل روش حفر عیب جوش (**excavation**) شامل (تأیید و اجرا)
2. کنترل روش تعمیر جوش از قبیل (تأیید روشهای قبل از جوشکاری و تأیید جوشکار)
3. کنترل اجرای روش تایید شده قبل از جوشکاری (مطابق با روش تعمیر جوش)
4. بازرسی مجدد چشمی و کنترل آزمایشهای غیر مخرب مورد تأیید محل تعمیر
5. ارائه گزارشهای بازرسی و تمامی اسناد و مدارک مربوط به واحد کنترل کیفیت

مسئولیتهای بازرس جوش عبارتست از :

1. **مشاهده تمامی اعمال مربوط به کیفیت جوش در حین انجام کارکه شامل بازرسی چشمی محل جوش است.**
2. **ثبت همه نکات بازرسی مربوط به کیفیت جوش ، از قبیل نقشه نهایی و برگه گزارشی که نشان دهنده تمامی عیوب شناسایی شده جوش است.**
3. **مقایسه همه اطلاعات گزارش داده شده با معیارهای پذیرش و نکاتی که در طول استاندارد کاربردی قید شده اند.**
4. **ارائه گزارش بازرسی نهایی از یافته های خود به واحد کنترل کیفیت جهت تفکیک و تحلیل و انجام هر گونه عمل چاره ساز.**

بخش سوم: عیوب جوش (Welding Imperfections)

عیوب جوش چیست؟

عیب جوش عبارتست از ناپیوستگی (discontinuity) مواد که در طی فرایند جوش بوجود می آید.
همه اشیاء دارای ناپیوستگی بوده ، اما آنها صرفا" زمانی که از «حد پذیرش» فراتر روند، به عنوان «عیب» (defect) به شمار می روند، زیرا احتمال دارد که محصول معیوب و برای هدف مورد نظر نامناسب باشد.
همانطورکه جوشها رامی توان به عنوان « فرایند ریختگی» (casting) در نظر گرفت ، لذا احتمال وجود عیب هایی نیز هست که با ریخته گری مواد در ارتباطند و یا دارای عیب های خاصی اند که با فرایند جوش خاصی که مورد استفاده قرار گرفته ، در ارتباطند.

عیب های جوش را می توان به صورت ذیل دسته بندی نمود:

- ترک (Cracks)
- آخال توپر یا سخت (Solid Inclusions)
- عیوب سطحی و مقطعی (Surface and Profile)
- نا همترازی (Misalignment)
- منفذ یا حفره گاز و تخلخل (Gas Pores and Porosity)
- ذوب ناقص (Lack of Fusion)
- آسیب مکانیکی (Mechanical Damage)

الف) ترک (Cracks):

ترکها گاهی اوقات ممکن است در مواد جوش شده و یا به دلایل زیادی اتفاق بیافتند ، اما عموما" می توان ابراز داشت که سه عامل باعث بروز ترک در مواد شده که عبارتند از:

- نیرو (Force)
- محدودیت (Restraint)
- ساختار سست (Weakened Structure)

ترکهای خاصی که بعدا" مورد بحث و گفتگو واقع می شود، عبارتند از:

- ترک هیدروژنی (H2 Crack)

- ترک انجماد (Solidification Crack)
- پارگی تورق یا لایه لایه (Lamellar Tears)

احتمال ترک مواد در حین جوشکاری را می توان تحت اصطلاح «جوش پذیری» ارزیابی نمود. تعریف «جوش پذیری» عبارتست از :

« امکان جوشکاری مواد به وسیله فرایندهای جوشکاری رایج»

همه ترکها دارای لبه های تیزی اند که تمرکزتنش بالایی را بوجود می آورد. این امر عموما" منجر به پیشرفت سریع ترک می گردد ، هر چند این عامل نیز به خواص فلز بستگی دارد. ترکها به عیب های « سطحی » که به طور کلی دارای دو بعد قابل روّیت و سنجش (طول و عمق) بوده ، دسته بندی می گردند و اکثر آنها نیز به دسته عیوبها تقسیم می شوند ، اگر چه برخی استانداردها نیز وجود «ترکهای چاله جوش» (crater cracks) را مجاز می شمارند.

ب) حفره های گازی (Gas Pores) :

حفره های گازی شامل حفره هایی به قطر 1/5 میلی متر ودارای گازهای درونی اند که هنگام انجماد بوسیله خروج گازها از محلول موجود در فلز جوش در حال انجماد ، تشکیل می گردند.

ج) تخلخل (Porosity) :

تخلخل عبارتست از حفره های گازی به قطر کمتر از 1/6 میلی متر که عموما" از طریق تعداد ، اندازه و دسته بندی شان (ریز ، درشت و خوشه ای) طبقه بندی می گردند. « blow hole » عبارتست از یک حفره تکی پر از گاز به قطر برابر با 1/6 میلی متر و یا بیشتر از آن ،
تخلخل عمدتآ زمانی بوجود می آید که جوشکاری بر روی ورق کاملا" کثیف صورت گیرد و یا از مواد مصرفی جوش و الکترود مرطوب استفاده شود. گازها نیز احتمالا" از تفکیک رنگها ، فرآورده های روغنی و محصولات خوردگی و ضد خوردگی موجود در فلز جوش تشکیل می گردند.
تخلخل غالبا" به هنگام بکارگیری فرایند (MIG) و یا (TIG) به خاطر فقدان گاز محافظ و ورود هوا به داخل قوس جوش به دلیل هوای محیط و یا وزش باد و همچنین تنظیم نادرست جریان گاز محافظ بوجود می آید.
تخلخل همچنین در عمق جوشهای قوسی (sub arc) به دلیل مسافتی که گازهای محبوس در منطقه ریشه باید طی کرده تا از سطح جوش جدا شوند ، یافت می گردد و یا این عیب ممکن است زمانی اتفاق بیافتد که از الکترودهای مرطوب (MMA) و فلاکس یا پودر مرطوب (sub arc) استفاده می شود.

از این رو با تمیز کاری و حفاظت صحیح فلز به هنگام بکارگیری فرایندهای جوش (MIG) و یا (TIG) و نیز الکترود خشک احتمالا" از بروز تخلخل جلوگیری به عمل می آید. همچنین آن در فیلم رادیوگرافی به شکل کروی با سایه دانسیته متغیر مشخص می گردد.

د) حفره های انقباضی (Shrinkage Cavities) :

حفره انقباضی شامل فضای توخالیست که در طول انجماد جوش با عمق زیاد ایجاد می گردد. نسبت پهنا (width ratio) احتمالا" زمانی اتفاق می افتد که نسبت d:w بیش از 2:1 بوده و غالبا" با فرایند (SAW) در ارتباط است و تعریف آن عبارتست از « ماده انعطاف پذیر داغ با لبه های تیز است که به صورت ترک عمل می کند.»

ه) آخال سخت یا تو پر (Solid Inclusions) :

آخال های سخت شامل آخال های فلزی و غیر فلزی اند که احتمالا" در حین بکارگیری فرایند جوش در فلز جوش باقی می مانند. نوع آخال جوش مورد نظردر واقع به نوع فرایند جوش بستگی دارد.آخال سرباره (slag inclusions) نیز احتمالا" در فرایند های (MMA) و (SAW) که از فلاکس یا پودر برای محافظت جوش و تمیزکاری شیمیایی حوضچه جوش استفاده شده ، بوجود می آید. درفرایندهای جوش دیگر از قبیل (MIG) و (TIG) به منظور جلوگیری از اکسیداسیون جوش ، از سیلیکات ، آلومینیم و سایر عناصر استفاده می شود. این فرایندها احتمال دارد آخال های سیلیکات و آلومینیم ایجاد کنند. هر کدام از این ترکیبات غیر فلزی ممکن است در طی عمل جوشکاری در فلز جوش باقی بماند. چنین حالتی اغلب بعد از حبس سرباره اتفاق می افتد. حبس سرباره عمدتا" به دلیل استفاده نادرست از روش جوشکاری صورت می گیرد.آخال های فلزی مانند آخال تنگستن نیز احتمالا" به هنگام بکارگیری فرایند (TIG) و به دلیل استفاده از یک روش جوش نامناسب ، زاویه غلط نوک تنگستن و آمپر بالا بوجود می آید. همچنین آخال های مسی ممکن است در حین جوشکاری با فرایند (MIG) و یا (MAG) به دلیل عدم مهارت جوشکاری و تنظیم نادرست جوشکاری مکانیزه و یا اتوماتیک (MIG) ایجاد شود.

رویدادهای دیگر جوشکاری از قبیل (arc blow) و یا انحراف قوس الکتریکی بوسیله نیروهای مغناطیسی ، نیز باعث حبس آخال های سخت در فلز جوش می گردد. محل این آخال ها احتمالا" در میان فلز جوش ویا جوشهایی است که در نهایت باعث « ذوب ناقص» بین پاسی دیواره جانبی اتصال می شود.

دلایل ایجاد آخال های داخلی سخت عبارتند از:

- **عدم مهارت جوشکار (بکارگیری روش نادرست جوشکاری)**
- **بکارگیری نادرست فرایند جوش و یا الکترود**

- عدم تنظیم صحیح پارامترهای جوش از قبیل ولتاژ، آمپر و سرعت حرکت جوش
- ضربه قوس (arc blow) مغناطیسی
- کاربرد وضعیتی نادرست فرآیند و یا مواد مصرفی جوش
- عدم تمیز کاری صحیح بین پاسی جوش

و) ذوب ناقص (Lack of Fusion) :

ذوب ناقص عبارتست ازعدم اتصال و پیوستگی میان دو مواد. این عیب احتمالا"با سایر عیب های (imperfections) مذکور در بخش گذشته همراه بوده و یا از طریق آنها بوجود بیاید. ذوب ناقص به مانند ترکهایی که باعث ایجاد محلهایی با تمرکز تنش بالا شده به عنوان یک عیب جدی به شمار می رود. ذوب ناقص و یا سررفتگی (overlap) ـ نوعی ذوب ناقص ـ نیز ممکن است در حین جوشکاری وضعیتی و به علت عمل جاذبه و کاربرد نادرست فرآیند در محل رویه جوش (weld face) اتفاق بیافتد.

Arc blow ، به عنوان علت اصلی ذوب ناقص به شمار می رود، بویژه به هنگام بکارگیری فرآیندهایی با جریان برق بالا مانند (sub arc) که از جریان برق بالای مستقیم (+DC یا -DC) استفاده می شود. ذوب ناقص نیز احتمال دارد در محل ریشه جوش یعنی بر روی یک یا دو لبه ورق ایجاد گردد و یا اینکه همراه با عیب دیگری مانند نفوذ ریشه ناقص (incomplete root penetration) ظاهر شود. علاوه بر این ، ذوب ناقص به عنوان عیب رایجی در « جوشکاری انتقال غوطه وری (dip) فرآیند (MIG) » فلزاتی با ضخامت بیش از 3 میلی متر بویژه در هنگام جوشکاری عمودی سرازیر به شمار می رود و چنین حالتی به علت سردی درونی این نوع انتقال فلز و نیز عمل جاذبه صورت می گیرد.

عواملی که باعث ایجاد عیوب ذوب ناقص شده ، عبارتست از:

- عدم مهارت جوشکار (بکارگیری روش نادرست جوشکاری)
- بکارگیری نادرست فرآیند جوش و یا الکترود
- عدم تنظیم صحیح پارامترهای جوش از قبیل ولتاژ، آمپر و سرعت حرکت جوش
- ضربه قوس (arc blow) مغناطیسی
- کاربرد وضعیتی نادرست فرآیند و یا مواد مصرفی جوش
- عدم تمیز کاری صحیح بین پاسی جوش

ز) عیوب سطحی و مقطعی (Surface & Profile) :

این عیوب عموما" به علت روشهای نامناسب جوشکاری از قبیل کاربرد پارامترهای نادرست جوش، اندازه الکترود و غیره بوجود می آید. این دسته احتمالا" به دو دسته دیگر رویه جوش (weld face) و ریشه جوش (weld root) تفسیم می شود.

همچنین در شکل (الف و ب) ، تصاویری از این عیوب نشان داده شده است.

شکل (الف) :

- **جرقه جوش (Spatter) :**

جرقه جوش ، عامل مهم کاهش مقاومت جوش به شمار نمی رود ، اگر چه ممکن است عیوب دیگر را مخفی نماید . ازاین رو باید قبل از بازرسی جوش ، اقدام به تمیز کردن آن نمود. جرقه جوش نیز احتمال دارد از آزمایشهای غیر مخرب ممانعت کرده و برای رنگ و یا هر پوشش دیگری زیان آور باشد. همچنین آن به علت اثر گرمایش و سرمایش موضعی ، باعث بروز ترکهای بسیار ریز و لکه های سخت در برخی مواد می شود.

- **شیار کاملا" پر نشده (Incompletely Filled Groove) :**

در این حالت رسوب جوش از حد مجاز خود پایین تر بوده و در صورتی که با ذوب ناقص دیواره جانبی همراه باشد، عامل اصلی تمرکز تنش به شمار می رود.

- **ذوب ناقص ریشه (Lack of Fusion) :**

این حالت باعث ایجاد تمرکز تنش شدید در ریشه جوش می شودو همچنین احتمال دارد که منطقه ریشه را نسبت به خوردگی سیال حساس تر نماید.

شکل (ب) :

- **عیب پیازی شکل (Bulbous Contour) :**

نوعی عیب است که باعث تمرکز تنش حاد در منطقه پنجه جوش پاسهای تکی شده و احتمالا" در ایجاد ترکیب نامناسب پنجه جوش نیز موّثر است.

- **لکه قوس (Arc Strikes) :**

جرقهٔ هرز (stray – arcing / stray flash) باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل بروز ترکهای متعدد در منطقه جوش شده و همچنین فرورفتگی های موضعی در فلز بوجود می آورد که پایین تر از حد مجاز است.
لکه های قوس عموما" باید تحت بازرسی آزمایشهای غیر مخرب قرار گیرد و سپس نسبت به رفع و تعمیر آنها اقدام شود.

- **پهنای نامنظم گرده یا مهره جوش (Irregular Bead Width) :**

نوعی عیب سطحی بوده که اغلب در استانداردهای کاربردی تحت عبارت ذیل به آن اشاره می شود:
« گرده یا مهره جوش باید به طور منظم در امتداد طول خطی خود باشد.»

- **بریدگی کنار جوش (Undercut):**

بریدگی کنار جوش عبارتست از فرو رفتگی در پنجه جوش و یا فلز مبنا که به علت جوشکاری ایجاد می شود. این عیب عموما" به دلیل بکارگیری روش نادرست جوشکاری ، جریان بسیار بالای الکترود و نیز موقعیت جوشکاری بوجود می آید و اغلب در بالای پنجه جوش گوشه ای یعنی به هنگام انجام جوش گوشه ای با طول ساق بلند در یک پاس ، تشکیل می گردد. بریدگی کنار جوش ، نوعی عیب جدی به شمار می رود و بویژه در صورتی که حاد باشد ، منجر به تمرکز تنش بالا در جوش می شود. همچنین طول ، عمق و شدت آن به دقت اندازه گیری می شود و در سازه های جوش گوشه ای که برای کاربردهایی تحت بار و فشار خستگی (fatigue) در نظر گرفته شده ، اغلب باید پنجه (toes) این نوع جوشها به آرامی سنگ شود و یا اینکه برای رفع هر گونه بریدگی کنار پنجه جوش ، از پاس جوش فرایند (TIG) استفاده نمود.

- **شیار های انقباضی (Shrinkage Grooves) :**

این نوع عیب احتمال دارد در محل ریشه به علت وجود نیروهای انقباضی و کششی در فلز داغ مبنا اتفاق بیافتد و اغلب با عیب بریدگی کنار ریشه (root undercut) اشتباه گرفته می شود.

- **تحدب ریشه (Root Concavity / Suck Back) :**

این عیب هنگامی بوجود می آید که از فشار گاز بسیار بالا در مرحله (purging) استفاده شده و یا زمانی که فاصله ریشه (root gap) بسیار زیاد بوده و جوشکاری ریشه با پاس بسیار نازک صورت گیرد که در این حالت ، به علت فشارهای انقباضی ، پاس دوم جوش احتمالا" اقدام به پس زدن پاس ریشه می نماید.

- **نفوذ اضافی (Excess Penetration) :**

این نوع عیب اغلب با استفاده از جریان بسیار بالای جوش و یا حرکت آهسته الکترود و به علاوه فاصله زیاد و نیز رویه نازک ریشه برای جریان و فرایند جوش بکار برده شده ، ایجاد می گردد و آن به همراه عیب دیگری تحت عنوان سوختگی سرا سری (burn through) ظاهر می شود.

منظور از سوختگی سرا سری ، فروپاشی حوضچه جوش است که باعث سوراخ ویا فرورفتگی در پاس نهایی ریشه جوش می شود.

- **اکسیداسیون ریشه (Root Oxidation) :**

این نوع عیب احتمالا" به هنگام جوشکاری فلزات واکنش پذیری از قبیل فولاد ضد زنگ (stainless steel) همراه با جریان گاز (purging) آلوده و ناکافی پدید می آید.

- **حفره لوله ای چاله جوش (Crater Pipes) :**

این عیب اغلب در حین استفاده از فرایند جوش (TIG) ، در انتهای پاس جوش و به هنگام انجماد نهایی جوش اتفاق می افتد و علت آن ناشی از الکترود ناکافی تا رسیدن به مرحله انجماد جوش می باشد. از این رو می توان با بکارگیری دقیق الکترود و نیز کنترل سرازیری ، آن را رفع نمود.

به طور خلاصه عیوب سطحی و مقطعی جوش عبارتند از:

- شیار کاملا" پر نشده (Incompletely Filled Groove)
- جرقه جوش (Spatter)
- لکه قوس (Arc strikes) و یا جرقه هرز (Stray – Arcing / Stray Flash)
- نفوذ ناقص ریشه (Incomplete Root Penetration)
- عیب پیازی شکل و نامنظم (Bulbous or Irregular Contour)
- ترکیب نامناسب پنجه جوش (Poor Toe Blend)
- پهنای نامنظم گرده یا مهره جوش (Irregular Bead Width)
- بریدگی کنار جوش (Undercut)
- تحدب ریشه (Root Concavity / Suck Back)
- نفوذ اضافی و سوختگی سرا سری (Excess Penetration / Burn Through)
- اکسیداسیون ریشه (Root Oxidation)

ح) آسیب مکانیکی (Mechanical Damage) :

آسیب مکانیکی عبارتست از آسیب سطحی مواد که در طول فرایند تولید بوجود می آید و ناشی از عوامل زیر می باشد:

- سنگ زنی

- چکش کاری
- قلم کاری
- تراشکاری
- قطع اتصالات جوش با چکش کاری
- استفاده از تفنگ سوزنی برای به هم فشردن پاس جوش پوششی

عیوب بالا به مانند جرقه هرز (stray – arcing) زیان آورند ، زیرا از ضخامت ورق کم کرده و همچنین باعث تمرکز تنش موضعی می شوند. از این رو قبل از تکمیل کار باید اقدام به تعمیر آنها نمود.

ط) نا همترازی (Misalignment) :

از این عیب دو نوع وجود دارد که عبارتند از :

- نا همترازی خطی (Linear Misalignment)
- نا همترازی زاویه ای (Angular Misalignment)

- **نا همترازی خطی (Linear Misalignment) :**

این حالت را می توان در هنگام آماده سازی جوش ، با بکارگیری و نظارت صحیح روش آماده سازی اتصال جوش ازقبیل جوش موقت (tacking) ، پل زدن (bridging) ، بستن گیره (clamping) و غیره ، تحت کنترل درآورد. همچنین اندازهٔ ارتفاع فلز جوش اضافی همواره از پایین ترین قسمت ورق تا بالاترین نقطهٔ پاس پوششی جوش (weld cap) گرفته می شود.

- **نا همترازی زاویه ای (Angular Misalignment) :**

این حالت نیز احتمالا" با کاربرد صحیح روشهای کنترل اعوجاج (distortion) از قبیل جوشکاری متوازن (balanced welding) ، تعادل (offsetting) ، بکارگیری بست و گیره (jigs & clamps) و غیره تحت کنترل در می آید.

در نهایت ، بکارگیری روشهای کاری صحیح و آموزش درست جوشکاران ، بروز عیوب غیر قابل قبول جوش را به حداقل می رساند.

خلاصه ای از عیوب جوش :

عیب جوش	نوع عیب	دلایل و محل بروز عیب
1– ترک (Cracks)	حد میانی	فلز جوش
	هیدروژنی	فلز جوش و منطقه HAZ
	پارگی تورق یا لایه لایه	فلز مبنا
2– تخلخل و حفره جوش (Porosity / Cavities)	تخلخل	الکترود مرطوب لوله و ورق کثیف فقدان گاز محافظ
	حفره گاز به قطر کمتر از 1/6 میلی متر	
	blow hole به قطر کمتر از 1/6 میلی متر	
	حفره انقباضی	فلز جوش d:w > 2:1
3– آخال سخت یا توپر (Solid Inclusions)	سرباره MMA / SAW	تمیز کاری نامطلوب بین پاسی حبس سرباره . ضربه قوس
	سیلیکات TIG / MAG	
	تنگستن TIG	فرورفتن تنگستن در حوضچه جوش
	مس (MIG / MAG)	فرورفتن نوک تماس الکترود در حوضچه جوش
4– ذوب ناقص (Lack of Fusion)	ذوب ناقص دیواره جانبی (که باعث شکستگی سطحی جوش می گردد.)	ضربه قوس (arc blow) روش نادرست جوشکاری
		روش نادرست جوشکاری
	ذوب نا قص ریشه	روش نادرست جوشکاری
	پیچش سرد (cold lapping)	روش وضعیتی جوشکاری
5- عیوب سطحی . مقطعی (Surface and Profile)	ترکیب نامناسب پنجه جوش	روش نادرست جوشکاری
	لکه جوش	روش نادرست جوشکاری
	نفوذ ناقص	فاصله ریشه وآمپر ، رویه ریشه
	شیار کاملا" پر نشده	روش نادرست جوشکاری
	جرقهً جوش	موادمصرفی مرطوب
	عیب پیازی شکل (bulbous contour)	روش نادرست جوشکاری
	بریدگی کنار جوش در سطح و پاس ریشه	آمپر بسیار بالا و روش نادرست جوشکاری
	شیار انقباضی (ریشه)	نیروهای انقباضی
	تحدب ریشه	فشار گاز بسیار بالا
	نفوذ اضافی یا سوختگی سراسری	فاصله ریشه وآمپر ، رویه ریشه
	حفره لوله ای چاله جوش (عمدتا" در فرایند TIG)	جریان نادرست برق
6– آسیب مکانیکی	علائم چکش کاری و سنگ زنی و غیره	عدم مهارت کافی
7– نا همترازی (Misalignment)	نا همترازی خطی	نصب بد فلز مبنا ، اعوجاج
	نا همترازی زاویه ای	نصب بد فلز مبنا ، نا همترازی لوله

بخش چهارم : آزمایش مکانیکی (Mechanical Testing)

آزمایشهای مکانیکی عموما" به منظور اطمینان از دستیابی به خواص مکانیکی معین به میزان مورد نیاز ، انجام می شود.
هنگامی که فلز جوش می شود ، خواص مکانیکی ورق در(منطقه متأثر از جوش) HAZ ، نیز احتمالا" به علت اثرات گرمایی فرایند جوش تغییر می کند. همچنین فلز جوش نیز لازم است تا به حداقل میزان دمای مشخص شده ، برسد.

خواص یا ویژگیهای مکانیکی ارزیابی شده عموما" عبارتند از :

- سختی **(Hardness) :** توانایی مقاومت مواد در برابر فرورفتگی یا فشار (**indentation**).
- چقرمگی **(Toughness) :** توانایی مواد برای جذب انرژی ضربه ای (**impact energy**) و مقاومت در برابر شکستگی (**fracture**).
- مقاومت **(Strength) :** توانایی مقاومت مواد در برابر نیروی معمولا" کششی (**force tension**).
- شکل پذیری **(Ductility) :** توانایی تغییر شکل ارتجاعی مواد تحت نیروی کششی.

برای انجام این ارزیابی ها ، به آزمایشهای ویژه ای نیاز است ؛ از این رو برای آزمایش خواص مکانیکی ویژه ، تعدادی آزمایش مکانیکی وجود دارد که رایج ترین آنها عبارتند از:

- آزمایش سختی یا سختی سنجی **(Hardness Test)**، شامل (**Vickers / Brinell / Rockwell**).
- آزمایش چقرمگی **(Toughness Test)** ، شامل (**Charpy V / Izod / CTOD**) .
- آزمایش کششی **(Tensile Test)** ، شامل (**Reduced / Radius** و کل فلز جوش.)

این سه نوع آزمایش از واحدهایی (**units**) تشکیل و از آنها برای سنجش کمیت (**quantity**) استفاده می شود و تحت عنوان « آزمایشهای کمی » هستند.

همچنین برای ارزیابی کیفیت جوش ، از سایر آزمایشها استفاده می کنیم که عبارتند از :

- آزمایش ماکرو **(Macro Test)**

- آزمایش خمش **(Bend Test)**، شامل خمش کناری (**side bend**) ، خمش رویه ای(**face bend**) و خمش ریشه ای (**root bend**).
- آزمایش شکست **(Fracture Test)** جوش گوشه ای.
- آزمایش **(Nick-Break)** جوش لب به لب.

این آزمایشها هیچ واحدی نداشته و از آنها برای سنجش کیفیت (**quality**) استفاده می شود و تحت عنوان آزمایش های کیفی (**qualitative tests**) هستند.

الف) آزمایش سختی یا سختی سنجی (Hardness Test) :

این نوع آزمایش برای کنترل میزان سختی جوش بکار می رود و انواع آن عبارتست از :

- مقیاس **(Rockwell)** (الماس یا توپ فولادی)
- هرم **(Vickers)** (الماس)
- **BHN (Brinell)** (توپ فولادی به قطر **5** یا **10** میلی متر)
- **Shore Schlerescope** (حالت ارتجاعی اندازه ها)

اکثر آزمایشهای سختی از طریق مراحل زیر انجام می شود :

- قرار دادن یک توپ فلزی و یا الماس به داخل ماده ای تحت بار یا فشار ثابت
- سپس اندازه گیری فرورفتگی (**indentation**) ناشی از آن و مقایسهٔ آن با یکی از مقیاس واحدهای مربوط به آن نوع آزمایش شامل (**BHN / VPN**).

بررسی های سختی سنجی عموما" همانطوریکه در شکل نشان داده شده در سرتاسر جوش صورت می گیرد و در برخی کاربردها نیز احتمالا" لازم است تا میزان سختی در محل ذوب و یا اتصال جوش ثبت شود.
دستگاه سختی سنجی (**Shore Schlerescope**) ، میزان سختی را با انداختن یک وزنه از ارتفاع به سوی سطح فلز و نیز اندازه گیری ارتفاع برگشت آن ، اندازه می گیرد. بنابراین هرچه برگشت ارتفاع زیاد باشد ، میزان سختی مواد نیز بیشتر است. دستگاههای سختی سنجی قدیمی و سنگین در مقایسه با سایر روشهای آزمایش سختی قابل حمل تر بودند. در حال حاضر دستگاهی موجود است که بر اساس اصل جهندگی یا ارتجاعی (**resilience principle**) کار می کند و به اندازه یک خودکار روان نویس می باشد. این دستگاه عموما" به منظور نمایش میزان سختی در همه مقیاس های فوق ، مقیاس بندی می شود.

ب) آزمایش چقرمگی (Toughness Test) :

این نوع آزمایش برای کنترل مقاومت در برابر بار یا فشار ضربه ای بکار می رود و انواع آن عبارتست از :

- **آزمایش Charpy V : نمونه قطعه آزمایشی است که به طور افقی در دستگاه و در شکاف(notch) عقب گذاشته می شود و (واحد اندازه گیری آن بر حسب ژول است .)**
- **آزمایش Izod : نمونه قطعه آزمایشی است که به طور عمودی در دستگاه و در شکاف جلو گذاشته می شود و (واحد اندازه گیری آن بر حسب Ftlbs است .)**
- **آزمایش CTOD : که (واحد اندازه گیری آن بر حسب میلی متراست.)**

عوامل زیادی وجود دارد که بر چقرمگی جوش و فلز جوش تأثیر می گذارد و یکی از اثرات مهم نیز، اثر دمای آزمایش می باشد. در آزمایش (Charpy V) و(Izod) ، چقرمگی شکست با مقدار انرژی ضربه ای که از طریق شکست قطعهً 10 میلی متری مربع بوسیلهً چکش آویزانی جذب شده ، مورد ارزیابی قرار می گیرد و نموداری را نیز می توان با بکارگیری دمای پایه ایجاد کرد. عمق شکاف 2 میلی متر ، شعاع ریشه 0.25 و زاویهً شکاف نیز 45 درجه است. همچنین منحنی را می توان بوسیلهً عوامل متعددی از قبیل آلیاژ و حرارت ورودی (heat input) جا بجا نمود.

- **آلیاژ (Alloying) :**

منحنی را می توان با افزایش منگنز تا حدود 1.6 درصد به سمت چپ حرکت داد ؛ به عبارتی دیگر ، این مقدار افزایش منگنز از تأثیر مثبتی بر بهبود چقرمگی فولاد مسطح فریتی (آهن دار) برخوردار است. فلز نیکل نیز دارای اثر مثبتی بر روی چقرمگی فولاد دما پایین ، می باشد ؛ هر چند به عنوان عنصر فلزی بسیار گرانقیمتی است و در تنها در جا هاییکه دما بسیار پایین بوده ، بکار می رود. فولادهایی با 9 درصد نیکل ، از چقرمگی دمای پایین بسیار خوبی برخوردارند و همچنین فولاد ضد زنگ کاملا" سخت (austenitic) چقرمگی قابل سنجشی را در دمای 270 درجه سانتیگراد و یا چند درجه بالای صفر مطلق از خود نشان می دهد.

- **حرارت ورودی (Heat Input) :**

این منحنی را نیز می توان با حرارت ورودی بسیار بالای جوشکاری به سمت راست حرکت داد و چنین چیزی به خاطر اثری تحت عنوان رشد دانه ها اتفاق می افتد. دانه ها در دمای بالا رشد کرده و برای ایجاد دانه های بزرگتر با همدیگر ذوب می شوند. همچنین مقدار انرژی مورد نیاز برای شکستن ساختار دانه ای بزرگ نسبت به ساختار دانه ای کوچک ، بسیار کمتر است. از این رو دمای بین پاسی را باید کنترل نمود.

ج) آزمایش کششی (Tensile Test) :

این نوع آزمایش برای اندازه گیری مقاومت کششی بکار می رود و انواع آن عبارتست از :

- آزمایش کششی عرضی (**Transverse Tensile Test**) که از دو قسمت زیر تشکیل می شود:

1- قسمت کاهش یافته (**Reduced Section**) ، که از آن برای آزمایش مقاومت جوش استفاده می شود.
2- قسمت کاهش یافته شعاعی (**Radius Reduced Section**) ، که برای ارزیابی مقاومت فلز جوش بکار می رود.

- آزمایش کششی کل فلز جوش ، که از آن برای آزمایش فلز جوش **UTS** ، نقطه تسلیم (**yield point**) و امتداد یا کشیدگی (**elongation**) و یا **(E** ، بر حسب درصد**)** استفاده می شود.

آزمایش کششی عرضی به منظور آزمایش مقاومت کششی در این منطقه ، بر سرتا سر جوش انجام می شود. همچنین آزمایش کششی کاهش یافته ، نوعی آزمایش استاندارد است که در آن قطعه فلز ابتدا برش داده شده و سپس از آن برای ایجاد محلی جهت مهار دستگاه با تمرکز تنش بسیار پایین ، کاسته می شود. آزمایش شعاعی نیز احتمالا" به منظور ارزیابی مقاومت فلز جوش ، به طرف جوش برش داده می شود.
شکست یا گسیختگی (**failure**) ، عموما" در مواد ورق پیش بینی می شود ، هرچند باوجود شکستگی در جوش یا منطقه (**HAZ**) و در صورت رسیدن به حداقل تنش کششی معین ، دلیلی برای رد آزمایش وجود ندارد.
فلز جوش در آزمایش تنش کاهش یافته شعاعی (**radius reduced tensile test**) تغییر می یابد. از این رو وجود شکست در جوش به علت **CSA** پیش بینی می گردد. گاهی اوقات از آن نیز برای نمایش مقاومت کششی فلز جوش استفاده می شود ، اما چنین چیزی به دلیل بروز تمرکز های تنش موضعی ، خیلی صحت ندارد.

آزمایش های کششی کل فلز جوش ، نیز به منظور تعیین مقاومت فلز جوش و شکل پذیری (**ductility**) به مانند کشیدگی (**elongation**) **E** درصد ، صورت می گیرد. در این حالت ، جوش عمیقی در یک ورق انجام شده و سپس نمونه قطعه کششی در امتداد طول جوش که شامل **99.9** درصد فلز جوش رقیق نشده است ، برش داده می شود. قبل از آزمایش نیز علائمی در فاصلهٔ **50** میلی متری امتداد طول نمونه قطعه ، ایجاد می گردد. با انجام این آزمایش ، میزان تنش تسلیم و شکست ، ثبت شده و به صورت مستند در می آید و در نهایت پس از فرایند شکست ، قطعات باهمدیگر به عقب برگشته و عمل امتداد (**elongation**) نیز از طول معیار اصلی محاسبه شده و به صورت **E** بر حسب درصد مشخص می گردد.

د) آزمایش ماکرو (Macro Test) :

این نوع آزمایش برای کنترل میزان کیفیت درونی جوش بکار می رود.
نمونه قطعه ماکرو معمولا" از نقطه شروع و یا پایان ریشه جوش و از پاس دوم آزمایش تأیید جوشکار، بریده می شود. بازرس جوش نیز نقطه شروع یا پایان جوش را در طی آزمایش تأیید جوشکار علامتگذاری می کند. هنگامی که عمل برش صورت می گیرد ، با استفاده از کاغذ آخال گیری یا سنباده (grit papers) ، نمونه قطعه صیقل داده می شود و این عمل از زاویه 90 درجه تا مسیر قبلی صیقل ونیز تا رفع کامل خراش های آن ، انجام می گیرد، سپس در محلول اسیدی که معمولا" شامل 5 تا 10 درصد اسید نیتریک در الکل بوده ، قرار داده می شود. همچنین باید به این نکته توجه کرد که نمونه قطعه مذکور را نباید بیش از حد و یا کمتر از حد مجاز در این محلول فرو برود ، زیرا عناصر موجود در آن ظاهر نخواهد شد. بعد از فرو بردن نمونه قطعه در محلول برای مدت زمان مناسب ، باید آن را با آب شست و سپس خشک نمود . همچنین به منظور اطمینان از بروز هر گونه عیب جوش ، نمونه قطعه را می بایست در همه مراحل تولید ، تحت بازرسی چشمی قرار داد. در نهایت نیز گزارشی از یافته های چشمی تهیه شده و سپس با حد پذیرش آن در استانداردهای کاربردی ، مقایسه و ارزیابی می شود.

فهرست ارزیابی آزمایش ماکرو عبارتست از :

- **ارتفاع فلز جوش اضافی**
- **سرباره به همراه ذوب ناقص بین پاسی**
- **ارتفاع گرده یا مهره جوش (bead height) نفوذ ریشه**
- **سرباره به همراه ذوب ناقص دیواره جانبی**
- **نا همترازی زاویه ای**
- **نوار های تفکیک (segregation bands)**

ه) آزمایش خمش (Bend Test) :

این نوع آزمایش برای کنترل شکل پذیری و ذوب جوش در منطقه تحت تنش بکار می رود و انواع آن عبارتست از :

- **خمش رویه ای (Face Bend)**
- **خمش ریشه ای (Root Bend)**
- **خمش کناری (Side Bend)**
- **خمش های طولی (Longitudinal Bends)**

آزمایش های خمش عموما" به خاطر آزمایش های تأیید جوشکار انجام می گیرد ، با وجود این نیز ممکن است در هنگام تأیید روش جوشکاری، به منظور ایجاد ذوب خوب دیوارهٔ جانبی ، ریشه و یا رویه جوش ، مورد استفاده

قرار گیرد. سپس بازرسی رویهٔ نمونه قطعه نیز باید بعد از انجام آزمایش به منظور کنترل عدم وجود عیب در محل آزمایش انجام شود.
برای موادی با ضخامت بیش از 12 میلی متر، حدود 10 الی 12 میلی متر از آن معمولا" در امتداد طول برش داده شده و سپس تحت آزمایش خمش کناری قرار می گیرد. آزمایش خمش ، به عنوان نوعی روش کیفی آزمایش مکانیکی به شمار می رود. همچنین شکل پذیری (ductility) احتمالا" در آن مشاهده شده ، ولی مورد سنجش قرار نمی گیرد.

و) آزمایش شکست (Fracture Test) جوش گوشه ای :

این نوع آزمایش برای ارزیابی ذوب ریشهٔ جوش گوشه ای بکار می رود.
این آزمایش معمولا" فقط در هنگام آزمایش تأیید جوشکار انجام می شود و نمونه قطعه آزمایش نیز از قسمت رویه جوش تا عمق حدودا" 1 تا 2 میلی متر و مطابق با استاندارد بوسیلهٔ اره بریده می شود. سپس با گیره نگه داشته شده و بعد با ضربه چکش از قسمت عقب شکسته می شود. بعد از شکستن قطعه ، هر دو سطح شکسته شده نیز باید به خاطر وجود هر گونه عیبی ، مورد بازرسی قرار گیرد.
در نهایت ، ورق عمودی X ، تا زاویهٔ 90 درجه حرکت داده شده و پیوستگی خط ذوب ریشه نیز باید مورد بررسی و مشاهده قرار گیرد. از این رو هر خط راست به نشانهٔ ذوب ناقص ریشه است و همین عامل در اکثر استانداردها برای رد یا عدم پذیرش جوشکار کفایت می کند.
بعد از بازرسی عیوب هر دو سطح شکسته شده ، قطعهٔ شکسته X را تا زاویهٔ 90 درجه و به طور عمودی بچرخانید و خط ذوب ریشه را مورد بازرسی قرار دهید.
آزمایش شکست جوش گوشه ای ، به عنوان نوعی آزمایش مکانیکی کیفی به شمار می رود.

ز) آزمایش (Nick-Break) :

این نوع آزمایش برای ارزیابی میزان نفوذ و ذوب ریشه جوش لب به لب دو طرفه و نیز رویه های داخلی جوش لب به لب یک طرفه بکار می رود و معمولا" در طول آزمایش تأیید جوشکار انجام می شود.
نمونه قطعه آزمایش نیز معمولا" از قسمت رویه جوش تا عمقی که میزان آن مطابق با استاندارد بوده ، بوسیلهٔ اره بریده می شود. سپس با گیره نگه داشته شده و بعد با ضربه چکش از قسمت عقب شکسته می شود. بعد از شکستن قطعه ، هر دو سطح شکسته شده را باید به طور افقی تا زاویه 90 درجه چرخاند و همانطور که در شکل C نشان داده شده ، باید آن را به خاطر وجود هر گونه عیبی ، مورد بازرسی قرار داد.
همچنین آزمایش لب به لب (Nick-break) به عنوان نوعی آزمایش کیفی به شمار می رود.

آزمایش مکانیکی کمی و کیفی :

1- آزمایش مکانیکی کمی:

در این حالت به منظور تشکیل میزان خواص مکانیکی جوش ، اقدام به آزمایش قطعات جوشکاری از لحاظ مکانیکی می نماییم. از این رو آزمایشهایی که احتمالا" بکار برده شده ، عبارتند از:

- **آزمایش سختی ، شامل Vickers (VPN) ، Brinell (BHN) و Rockwell (استفاده از مقیاس C برای فولاد).**
- **آزمایش چقرمگی ، شامل Charpy V (واحد اندازه گیری آن بر حسب ژول است.) ، Izod (واحد اندازه گیری آن بر حسب Ftlbs است.) و CTOD (که واحد اندازه گیری آن بر حسب میلی متر است.)**
- **آزمایش مقاومت کششی ، شامل (کاهش یافته عرضی ، کاهش یافته شعاعی و آزمایش طولی کل فلز جوش.)**

همه آزمایش های بالا دارای واحد اندازه گیری و همینطور تحت عنوان « آزمایش های کمی » هستند. این نوع آزمایش ها تنها برای تأیید روش جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرند.

2- آزمایش مکانیکی کیفی :

در این حالت نیز به منظور تشکیل میزان کیفیت جوش ، اقدام به آزمایش قطعات جوشکاری از لحاظ مکانیکی می نماییم. از این رو آزمایشهایی که احتمالا" بکار برده شده ، عبارتند از:

- **آزمایش ماکرو**
- **آزمایش خمش شامل (رویه ای ، ریشه ای ، کناری و طولی)**
- **آزمایش شکست جوش گوشه ای**
- **آزمایش لب به لب (Nick-Break)**

آزمایش های مذکور دارای هیچ نوع واحد اندازه گیری نبوده و تحت عنوان « آزمایش های کیفی » هستند.
برخی آزمایش های کیفی نیز احتمالا" در طول انجام تأیید روش جوش ، به منظور برقراری نفوذ و ذوب مطلوب مورد استفاده قرار می گیرد.

خلاصه ای از آزمایش مکانیکی :

نام آزمایش	ویژگی (در صورت کاربرد)	کمی یا کیفی	واحد اندازه گیری (در صورت کاربرد)	کاربرد اصلی
مقیاس (Rockwell)	سختی (hardness)	کمی	استفاده از مقیاس C برای فولاد	آزمایش های روش جوشکاری
هرم (Vickers)	سختی (hardness)	کمی	VPN	آزمایش های روش جوشکاری
Brinell	سختی (hardness)	کمی	BHN	آزمایش های روش جوشکاری
Shore Schlerescope	سختی (hardness)	کمی	حالت ارتجاعی سنجش (برحسب میلی متر)	اندازه گیری مواد موجود و ذخیره شده
Charpy V	چقرمگی (toughness)	کمی	ژول (واحد انرژی جذب شده)	آزمایش های روش جوشکاری
Izod	چقرمگی (toughness)	کمی	واحد فوت و پوند (Ft.lbs)	آزمایش های روش جوشکاری
CTOD	چقرمگی شکل پذیری شکاف	کمی	0.0000 میلی متر + ارائه گزارش مفصل	آزمایش های روش جوشکاری
آزمایش کششی عرضی	مقاومت کششی	کمی	N یا میلی متر مربع و یا PSI	آزمایش های روش جوشکاری
آزمایش کششی کل فلز جوش	شکل پذیری مقاومت کششی	کمی	N یا میلی متر مربع و یا امتداد PSI به طور درصدی	آزمایش های روش جوشکاری
آزمایش کششی عرضی کاهش یافته شعاعی	مقاومت کششی	کمی	N یا میلی متر مربع و یا PSI	آزمایش های روش جوشکاری
آزمایش ماکرو	کاربرد ندارد.	کیفی	کاربرد ندارد.	آزمایش های روش یا تأیید جوشکار
آزمایش خمش (رویه ای ، ریشه ای وکناری)	احتمال بررسی و مشاهده شکل پذیری وجود دارد.	کیفی	کاربرد ندارد.	آزمایش های روش یا تأیید جوشکار
آزمایش شکست جوش گوشه ای (اتصال سپری و رویهم)	کاربرد ندارد.	کیفی	کاربرد ندارد.	آزمایش های روش یا تأیید جوشکار
آزمایش لب به لب (Nick-Break)	کاربرد ندارد.	کیفی	کاربرد ندارد.	آزمایش های روش یا تأیید جوشکار

بخش پنجم : روشهای جوشکاری و تأیید جوشکاران

روشهای جوشکاری:

روش جوشکاری چیست ؟

روش جوشکاری عبارتست از روش اصولی تولید جوش بی عیب ونقص. این روش به دلیل اهداف ساخت یا تولید ، عموما" به صورت یک مدرک کتبی و کامپیوتری ثبت و نگهداری می شود.

آزمایش نمونه جوش:

اکثر روشهای جوش تولیدی مورد تأیید واقع می شوند ، زیرا به طور کامل مورد آزمایش قرار می گیرند. پس از انجام جوش آزمایشی با بکارگیری « مشخصات روش جوشکاری مقدماتی » (**p WPS**) ، به طور کلی نمونه قطعهً جوش شده به منظور ارزیابی میزان کیفیت جهت بازرسی چشمی و آزمایش غیر مخرب ، ارائه می گردد.
در صورتی که جوش آزمایشی مورد تأیید آزمایش ها ی غیر مخرب باشد ، احتمالا" بعد از آن تحت هر گونه آزمایش مکانیکی لازم قرار می گیرد. نمونهً آزمایش نیز از محل های قطعهً آزمایشی جوش شده ای ، بریده می شود که عموما" در استاندارد کاربردی قید شده و سپس جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه ارسال می گردد.
این آزمایش ها احتمالا" شامل آزمایش های کمی از قبیل (آزمایش سختی ، چقرمگی و یا کششی) و نیز آزمایش های کیفی مانند (آزمایش ماکرو ، خمش و شکست) می باشند.

اسناد و مدارک :

در صورتی که همه این آزمایش ها نیازهای استاندارد را تأمین کند ، روش جوشکاری نیز مورد تأیید واقع خواهد شد. همچنین « ثبت تأیید روش جوشکاری» (**WPAR**) ، از پارامترهای گونا گون جوشکاری و داده های ثبت آزمایش تشکیل می گردد و عموما" به « ثبت شرایط روش جوشکاری » (**PQR**) نیز اطلاق می گردد.
سپس ازهمین اطلاعات موجود ، یک مدرک قابل اعمال جهت انجام جوش تولیدی (**production welding**) تهیه شده که تحت عنوان « مشخصات روش جوشکاری » (**WPS**) می باشد.
بطور کلی « مشخصات روش جوشکاری تأیید شده » از یک « معیارپذیرش » برخوردار است و احتمالا" نیز از پارامترهای متغیر ذیل تشکیل می گردد:

- ضخامت ورق
- موقعیت جوشکاری
- میزان آمپر

- **موادمصرفی جوش یا الکترود**
- **قطر لوله**
- **دستهٔ مواد**
- **تعداد پاس جوش**
- **میزان دمای ورودی (برحسب ژول یا میلی متر)**

بازرس جوش ارشد (CSWIP 3.2) نیز عموما" اقدام به نظارت و بررسی جوش این روش جوشکاری و آزمایش های پس از آن می نماید.

تایید جوشکار:

آزمایش تأیید جوشکار عبارتست از آزمایش میزان مهارت جوشکار.
هنگامی که روش جوشکاری به تأیید می رسد ، کسب اطمینان از اینکه همه جوشکارا ن بکار گمارده شده با بکارگیری روش جوش موجود در پروژه ، قادر به تأمین سطح کیفیت تعیین شده در استاندارد هستند ، حائز اهمیت می باشد. از این رو ، آزمایش تأیید جوشکار به منظور هدایت و راهنمایی صحیح جوشکار در پیروی از مشخصات روش جوشکاری (WPS) توسط بازرس جوش انجام می شود.
سپس ورق یا لوله آزمایش با استفاده از آزمایش های غیرمخرب (NDE / NDT) و برخی آزمایش های مکانیکی کیفی ، جهت مراحل کیفیت تحت آزمایش قرار می گیرد و به طور کلی به منظور جستجوی عیوب داخلی جوش ، اقدام به آزمایش چشمی (VT) به همراه آزمایش رادیوگرافی (RT) و آزمایش فرا صوتی (UT) (با توجه به میزان مهارت مورد نظر از جوشکار) می شود. بعد از آن نمونه قطعه آزمایش نیز احتمالا" به نمونه قطعه ها ی دیگر جهت انجام آزمایش های گونا گون مکانیکی کیفی بریده می شود. این آزمایش ها عموما" به دستگا ه های ساده ای از قبیل اره آهن بر ، چکش ، گیره ، وسایل صیقل دهنده ، و نیز دستگاه آزمایش خمش نیاز دارند.

آزمایش های مکانیکی تأیید جوشکار عبارتند از :

- **آزمایش خمش از قبیل (خمش رویه ای ، کناری و ریشه ای)**
- **آزمایش شکست جوش گوشه ای**
- **آزمایش (Nick-Break)**
- **آزمایش ماکرو**

بازرس جوش می بایست در هنگام نظارت آزمایش جوشکار ، اقدام به کنترل موارد ذیل نماید :

- **فرایند جوش ، وضعیت دستگاه و محل آزمایش مناسب**
- **عینک محافظ و وسایل ایمنی مورد نیاز**
- **دستگاه سنگ زنی ، چکش ، برس سیمی ، و همه ابزارهای موجود**

- **مواد صحیح و مورد نیاز جوش جهت انجام آزمایش**
- **مشخصات موادمصرفی جوش یا الکترود ، قطر و طرز کار آنها طبق (WPS)**
- **نام و جزییات صحیح مهر و نشان (stamp) جوشکار**
- **آماده سازی اتصال ، جوش موقت و یا بستن صحیح اتصال (joint)**
- **اطمینان از موقعیت صحیح اتصال و درز جوش جهت انجام آزمایش**
- **شرح ماهیت آزمایش به جوشکار و اطمینان از درک کامل وی از (WPS)**
- **اطمینان از انجام پاس ریشه ، میانی و پوششی طبق (WPS) توسط جوشکار**
- **اطمینان از هویت جوشکار و علامتگذاری واضح نقطه شروع و پایان جوش**
- **نظارت و یا انجام آزمایش های لازم و ارائهٔ نتایج به واحد کنترل کیفیت**

در نهایت نیز احتمال دارد که بازرس جوش (CSWIP 3.1) اقدام به مشاهده ، انجام آزمایش تأیید جوشکار، نظارت و یا انجام آزمایش های پس از جوش نماید.

بخش ششم : بازرسی مواد

همه موادی که به سایت ارسال می شود ، باید مورد بازرسی قرار گیرد. موارد تحت بازرسی عبارتست از :

- **اندازه**
- **حالت**
- **نوع و مشخصات**

علاوه بر این ، سایر عناصر نیز احتمالا" باید با توجه به شکل مواد مورد توجه و بررسی قرار گیرد. عمر اکثر مواد ورق به مانند یک قطعه ریخته گری که بعد از آن به شکل ورق نورد شده ، آغاز می گردد. ورق نیز گاهی اوقات به شکل لوله نورد شده و سپس با یک درز طولی و یا مارپیچی به هم جوش می شود. برخی عیوب مربوط به عملیات نورد (rolling) درشکل نشان داده شده ، که عبارتند از:

- **تورق یا لایه لایه سازی (Laminations) :**

تورق شامل ناخالصی و آخال های اصلی از قبیل سرباره بوده که در شمش فلز به صورت جامد در می آید.
هنگامی که ورق نورد می شود ، این آخال های اصلی احتمال دارد در سرتاسر ضخامت ورق باقی بماند. حفره های گازی (gas pores) در شمش فلز جامد شده نیز به هنگام نورد ورق ، باعث ایجاد تورق می شوند ، ولی این حفره ها عموما" در طول فرایند ورق داغ « بسته » خواهند شد.
همچنین تورق ، در هنگام نورد ورق به صورت قسمت های نازکتر، باریک تر می شود ودر نهایت در ورقهای نازکتر نیز با چشم غیر مسلح غیر قابل دیدن است.

- **نوار های تفکیک (Segregation Bands) :**

این نوع عیب در مرکز ورق اتفاق می افتد و به عنوان ناخالصی های نقطهً ذوب پایین از قبیل سولفور یا فسفر بوده که در مرکز شمش فلز به عنوان آخرین محل خنک شدن ، تجزیه یا تفکیک می شوند. از این رو ، به هنگام جوشکاری فولاد کیفیت پایین ، باید توجه و دقت زیادی صورت گیرد ، زیرا احتمال بروز سولفور در فولاد وجود داشته که درواقع امکان شناسایی این ماده با آزمایش غیر مخرب وجود ندارد.
نوار های تفکیک را می توان صرفا" بر روی سطوح نقش دار مشاهده نمود و ظاهر آنها نیز به منطقهً متأثر از جوش (HAZ) شباهت دارد.

- **رویهم افتادگی (Laps):**

این نوع عیب در طول عملیات نورد یعنی زمانی بوجود می آید که فلز رویهم افتاده ، به علت دما یا فشار ناکافی ، به فلز مبنا ذوب نمی شود.

بخش هفتم : دستور العمل (Code) و استاندارد

دستور العمل و استاندارد :

دستورالعمل به طور کلی سندی است که از لحاظ قانونی لازم الاجرا است و شامل قوانین و مقرراتی بوده که برای « طراحی » و « آزمایش » محصول خاصی مورد نیاز می باشد ؛ در حلیکه استاندارد عموما" از اطلاعاتی تشکیل می شود که به همه داده های اختیاری و اجباری مربوط به ساخت و تولید ، آزمایش و سنجش و اندازه گیری اشاره می کند. همچنین تعاریفی از این دو واژه در فرهنگ لغت انگلیسی وجود دارد که عبارتست از:

- **دستورالعمل (A Code of Practice) :**

به مجموعه ی از قوانین و مقررات اطلاق می گردد که در هنگام تهیه و تدارک یک محصول باید از آنها پیروی کرد.

- **استاندارد کاربردی (An Applied Standard) :**
-

عبارتست از سطح کیفیت و یا مشخصه ای که چیزی را باید بر اساس آن مورد آزمایش قرار داد.
همچنین از دستور العمل و استاندارد برای ساخت و تولید خیلی از چیزهایی که در زمانهای گذشته ساخته شده ، استفاده می کنیم. دروس مربوط به « نواقص» (**failure**) و « طراحی پایین تر از حد مجاز» (**under design**) نیز عموما" در ویرایش بعدی بازبینی شده ، لحاظ می گردد.

دستورالعمل و استاندارد های خاص طراحی و ساخت مورد استفاده در صنعت عبارتند از :

- خطوط لوله دارای سیالاتی با فشار بالا و پایین
- مخازن ذخیرهً نفت
- مخازن فشار
- سازه های فرا ساحلی (**offshore**)
- تأسیسات هسته ای
- ساخت پل فولادی و بتنی مخلوط
- ساخت و تولید وسائط نقلیه
- عملیات لوله کشی نیروگاه هسته ای
- ساخت بدنه زیر دریایی

- وسایل حمل خاک
- ساختمان سازی و غیره

به طور کلی ، هرچه سطح کیفیت مورد نیاز بالا باشد ، استفاده خاص از دستور العمل ویا استاندارد نیز بر طبق روش ساخت و تولید ، مواد ، مهارت ، آزمایش و حد مجاز عیوب ، الزامی تر می گردد.
دستورالعمل ویا استاندارد نیز « اطلاعات مهمی را در اختیار بازرس جوش می گذارد.» ، زیرا آن نکات و مراحل بازرسی و سایر معیارهای مربوطی که باید در طول فرایند ساخت توسط پیمانکار دنبال شود، را معین می کند.

اکثر دستورالعمل و استانداردهای اصلی از سه قسمت عمده تشکیل شده که عبارتند از:

- طراحی
- ساخت و تولید
- آزمایش

دستورالعمل و استانداردها نیز احتمالاً از داده هایی که برای ساخت و تولید لازم است ، تشکیل نمی گردد ، ولی ممکن است به استاندارد های کاربردی دیگر عناصر ویژه اشاره کند. نمونه هایی از این عناصر عبارتست از:

- مشخصات مواد
- مشخصات الکترود یا موادمصرفی جوش
- روش جوشکاری و تأیید جوشکار
- معلومات کارکنان در مقابل اپراتورهای NDT
- روشهای NDT

دستورالعمل و استاندارد نیز در بسیاری از موارد ، خود شامل حد پذیرش بوده که توسط گروهی از مهندسان حرفه ای ارشد که در مناطق صنعتی ویژه مشغول فعالیت اند ، تنظیم می گردد.
همچنین دستورالعمل و استاندارد ها به منظور بررسی داده ها ، روشها و یا فرایندهای ساخت و تولید جدیدی که احتمالا" وجود داشته ، بطور دوره ای مورد بازبینی و تجدید نظر قرار می گیرد. از این رو، در صورت عدم وجود تعهدات قانونی داخلی ، همان سال دستورالعمل و استاندارد کاربردی در اسناد ومدارک قرار داد ، به عنوان سال بازبینی که از لحاظ قانونی لازم الاجرا بوده ، در نظر گرفته می شود.

محدوده اصلی مسئولیت در استاندارد های کاربردی به طور کلی به سه بخش تقسیم می گردد:

- متقاضی (Client) یا مشتری (Customer)

- **پیمانکار یا سازنده**
- **مرجع بازرسی شخص ثالث و یا نماینده متقاضی (Client)**

دستورالعمل و استاندارد کاربردی ، نیز هسته اصلی اسناد و مدارک قرارداد را تشکیل می دهند. از این رو هر گونه خطا و یا عدم تطابق در دستورالعمل و استاندارد ، باید با درخواست پیمانکار از متقاضی (client) جهت امتیاز واگذاری صورت گیرد. هنگامی که با امتیاز واگذاری موافقت می شود ، باید آن به صورت یک مدرک کتبی و امضا شده در آید و بعد از آن با مدارک کیفیت ساخت نیز بایگانی شود.

بخش هشتم : علائم جوش در نقشه

ما از علائم جوش برای انتقال اطلاعات از دفتر طراحی به کارگاه استفاده می کنیم.

بازرس جوش باید بتواند علائم جوش را تفسیر نماید ، زیرا بخش عمده ای از وقت بازرسان جوش به کنترل انجام صحیح جوش توسط جوشکار مطابق با نقشه مورد تأیید ساخت ، اختصاص می یابد. از این رو بازرس جوش بدون برخورداری از دانش مفید علائم جوش ، قادر به انجام حیطه کامل کاری خود نخواهد بود. همچنین استانداردهای علائم جوش از منطق خاصی پیروی نکرده ، بلکه بر اساس قراردادهای ساده ای ارائه می شوند.
استانداردهای علائم جوش بسیار متفاوتی وجود دارد و همچنین اکثر کشورهای اصلی سازنده از استاندارد خاص خود برخوردارند. علامت جوش عمدتا" از پنج بخش مختلف تشکیل می شود و بخش های زیر نیز در همهً استاندارد های اصلی مشترکند.

- **خط پیکان یا جهت دار (Arrow Line):**

این خط (به غیر از نمونه هایی در استاندارد AWS A2.4) همواره صاف و مستقیم است و تنها باید با یکی از دو نقطهً اتصال (joint) ، در تماس باشد.

- **خط راهنمای تعیین جهات (Reference Line):**

این خط باید با خط جهت دار (arrow line) در تماس باشد و عموما" نیز با پایین صفحه نقشه موازی است. از این رو همواره زاویه ای بین خط راهنمای تعیین جهات و خط جهت دار وجود دارد و نقطهً اتصال هر دو خط نیز به « اتصال زانویی » ، اطلاق می گردد.

- **علامت یا نشانه (Symbol) :**

به طور کلی جهت علامت بر روی خط ، در اکثر استانداردها مشابه است ؛ هر چند مفهوم سمت جهت دار (arrow side) و سمت دیگر (other side) در برخی استانداردها متفاوت است. این مفهوم قراردادی در متن زیر مربوط به استاندارد انگلستان ، اروپا و ISO ، شرح داده شده است. همچنین مفهوم قراردادی سمت جهت دار (arrow side) و سمت دیگر (other side) در استاندارد AWS A2.4 ، مطابق با استاندارد BS 499 می باشد.

- **ابعاد (Dimensions):**

در اکثر استانداردها ، همهٔ ابعاد مقطع عرضی عمدتا" در سمت چپ و همهٔ ابعاد طولی نیز در سمت راست علائم ، قرار دارد.

- **اطلاعات مکمل :**

همچنین اطلاعات تکمیلی از قبیل فرایند جوش ، برش عمودی جوش (**weld profile**) ، آزمایش غیر مخرب (**NDT**) و هر دستورالعمل ویژه ، در استانداردها متفاوت است.

مطالب ذیل ، شما را در بکارگیری استانداردهایی که در انگلستان و اروپا مورد استفاده قرار گرفته ، راهنمایی می کند.

1- علائم قراردادی بر اساس استاندارد BS 499 انگلستان :

خط پیکان یا جهت دار (Arrow Line) :

- این خط باید با محل تقاطع اتصال در تماس باشد.
- این خط نباید موازی با پایین صفحهٔ نقشه باشد.
- جهت این خط باید به سمت نقطهٔ اتصال آمادهٔ ورق تکی باشد.

خط راهنمای تعیین جهات (Reference Line) :

- این خط باید به خط پیکان یا جهت دار (**Arrow Line**) متصل شود.
- این خط باید با پایین صفحه نقشه موازی باشد.

علامت جوش (Weld Symbol) :

- علامت جوشی که در این سمت « **this side** » ، یعنی سمت جهت دار (**arrow side**) اتصال انجام شده ، در زیر خط راهنمای تعیین جهات (**reference line**) نشان داده می شود.
- علامت جوشی که در سمت دیگر « **other side** » اتصال انجام شده ، در بالای خط راهنمای تعیین جهات (**reference line**) نشان داده می شود.
- علائمی با ترکیب خط عمودی نیز باید به صورت خط عمودی در سمت چپ علامت کشیده شوند.
- همهٔ ابعاد مقطع عرضی ، در سمت چپ علامت نشان داده می شوند. همچنین حرف (**a**) قبل از ضخامت گلویی و حرف (**b**) نیز قبل از طول ساق جوش می آید.

« هنگامی که طول ساق جوش نشان داده می شود ، استفاده از حرف مرجع (b) ، اختیاری است. »

- همهً ابعاد طولی نیز در سمت چپ علامت نشان داده می شوند ، مانند تعداد جوش ، طول جوش و طول هر فاصله.

2- علائم قراردادی بر اساس استاندارد ISO 2553 و BSEn 22553 : (که این علائم در حال حاضر جایگزین علائم استاندارد BS 499 انگلستان شده است.)

خط پیکان یا جهت دار (Arrow Line) ، (برطبق استاندارد BS 499) :

- این خط باید با محل تقاطع اتصال در تماس باشد.
- این خط نباید با پایین صفحهً نقشه موازی باشد.
- جهت این خط باید به سمت نقطهً اتصال آمادهً ورق تکی باشد.

خط راهنمای تعیین جهات (Reference Line) :

- این خط باید به خط پیکان یا جهت دار (arrow line) متصل شود.
- این خط باید با پایین صفحه نقشه موازی باشد.
- خط شکسته ای نیز باید در بالا و در زیر خط راهنمای تعیین جهات (reference line) گذاشته شود.

علامت جوش (weld symbol) ، (که بر طبق استاندارد BS 499 بوده و موارد استثنایی آ ن نیز ذکر شده است.) :

سمت دیگر اتصال بوسیلهً خط شکسته (broken line) در بالا و پایین خط راهنمای تعیین جهات (reference line) ، به غیر از حالتی که جوش با اطراف محور مرکزی اتصال کاملا" متقارن بوده ، نشان داده می شود.

- حرف (z) همیشه باید قبل از طول ساق جوش گوشه ای قرار گیرد.
- حرف (a) همواره باید قبل از ضخامت ظاهری گلویی جوش گوشه ای قرار گیرد.
- حرف (s) نیز همیشه باید قبل از ضخامت کارآمدگلویی برای جوش گوشه ای با نفوذ عمیق و جوش لب به لب با نفوذ نسبی قرارگیرد.

بخش نهم : مقدمه ای برای فرایند های جوشکاری

فرایند جوش : عبارتست از تجهیزات ویژه ای که به همراه روش جوشکاری جهت تولید جوش ، بکار می رود.

چهار نیاز اصلی هر فرایند جوش ذوبی در ایجاد جوش بی عیب ونقص عبارتست از:

- **حرارت (Heating) :**

  حرارت شدید و کافی باعث ذوب فلز مبنا و فلز پر کننده (**filler metal**) می گردد.

- **حفاظت (Protection) :**

  که محافظت فلز پر کننده و ذوب شده ای که در حال حرکت بوده و نیزفلز مبنا از فرایند اکسایش (**oxidation**) را شامل می شود . به علاوه ، در این حالت از ورود گازهای هیدروژن و اکسیژن به داخل منبع حرارت و فلز جلوگیری می گردد.

- **تمیزکاری (Cleaning) :**

  این حالت به منظور رفع اکسید و ناخالصی ها و همچنین پاک کردن دانه های فلز جوش صورت می گیرد.

- **خواص مناسب (Adequate Properties) :**

  در این حالت به منظور تولید خواص مکانیکی مطلوب ، عناصر آلیاژی به جوش اضافه می شود.

حرارت (Heating) :

منابع حرارتی بسیار وجود دارد که برای جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد. شرط اصلی در جوشکاری ذوبی این است که ، منبع گرما یا حرارت می بایست از دمای کافی جهت ذوب مواد در حال جوش برخوردار باشد.

احتراق گازها (Combustion of Gases) :

اکسیژن و استیلن (acetylene) ، برای تولید دمای 3200 درجهٔ سانتیگراد مشتعل می گردد. همچنین از گازهای سوخت دیگر ممکن است برای برش اکسی گاز سوز (oxy fuel) استفاده شود. علاوه بر این ، شدت شعله به زیادی سایر روشهای حرارتی دیگر نبوده و زمان بیشتری نیز باید صرف ایجاد نقطه ذوب مواد شود.

مقاومت الکتریکی (Electrical Resistance) :

حرارتی که از طریق مقاومت الکتریکی میان دو سطح فلزی بوجود می آید ، جهت تولید بیش از 95 در صد کل جوش ایجاد شده در فرایند مقاومتی جوشکاری نقطه ای (resistance spot welding process) بکار می رود. مقاومت الکتریکی نیز به عنوان منبع حرارت فرایند جوش (Electro Slag) مورد استفاده قرار می گیرد که به مو جب آن مقاومت از طریق سرباره ذوب شده بدست می آید و چنین حالتی به « فرایند حرارت مقاومتی » اطلاق می گردد.

پرتو های بسیار شدید انرژی:

ما از سه نوع پرتوی انرژی بسیار شدید استفاده می کنیم که عبارتست از :

- لیزر (Laser) ، (عبارتست از تقویت نور از طریق پرتو افشانی تحریک شده)
- اشعه الکترونی (Electron Beam) ، (عبارتست از اشعه متمرکز الکترونها در خلأ)
- پلاسما (Plasma) ، (عبارتست از گازی که با نیروی قوس الکتریکی جهت ایجاد گاز یونیزه شده ، بوجود می آید.)

همه این فرایندهای جوش از پرتو های انرژی سطح بالا جهت ایجاد دمای بسیار شدید استفاده می کنند. این پرتو های انرژی نیز باعث سرعت بسیار بالای جوش شده که در واقع اعوجاج کلی (distortion) و بازدهی زیاد را کاهش می دهد.

سایش (Friction) :

از گرمایی که با عمل سایش یا اصطحکاک و(فشار) بوجود آمده ، می توان برای جوشکاری اجزا به هم استفاده نمود. از این رو اتصال ، با رویهٔ مواد در « حالت ارتجاعی » ایجاد می شود.

قوس الکتریکی (Electric Arc) :

قوس الکتریکی به عنوان رایج ترین منبع حرارت و گرمای جوش ذوبی ، در اکثر فرایند های جوش رایج بکار می رود. قوس الکتریکی ، گرمایی بیش از 6000 درجهٔ سانتیگراد با نور بسیار شدید ماورای بنفش ، مادون قرمز و مرئی از خود تولید می کند. حرارت قوس از برخورد الکترون ها و یونها با فلز مبنا و الکترود بدست می آید.

تعریف قوس الکتریکی عبارتست از انتقال جریان از میان شکاف یونیزه شده. همه گاز ها نارسانا هستند ، از این رو برای حرکت و انتقال الکترون از اتمی به اتم دیگر به فشار و ولتاژ کافی نیاز است. زمانی که این مسیر رسانا یا « پلاسما» بوجود آید ، ولتاژ پایین تر نیز می تواند قوس الکتریکی را حفظ نماید. ولتاژی که برای راه اندازی قوس مورد نیاز است ، « ولتاژ مدار باز» (OVC) نام دارد. همچنین ولتاژی که قوس ایجاد شده را حفظ ونگهداری می کند ، « ولتاژ جوش یا قوس » نام دارد و مسیر رسانای بوجود آمده نیز تحت عنوان « پایه یا ستون بلاسما » (plasma column) می باشد.

حفاظت (Protection) :

گاز محافظ در فرایند جوش (MMA) ، از احتراق ترکیبات پوشش الکترود بوجود می آید. این نوع گاز عمدتا" گاز دی اکسید کربن است ، الکترودهای این نوع فرایند که از خود گاز هیدروژن تولید کرده ، از نفوذ بسیار بالایی برخوردارند.
گاز محافظ در فرایند جوش (SAW) ، دوباره از احتراق ترکیبات پوشش الکترود بوجود می آید ، اما این ترکیبات به صورت فلاکس یا پودر ریز دانه ای که به طور مجزا به سیم جوش ارسال شده ، تشکیل می گردند. الکترود (MMA) و یا فلاکس های (SAW) که حاوی میزان زیادی از ترکیبات اصلی اند ، در جاهایی بکار می رود که به جوشکاری با هیدروژن کنترل شده ، نیاز می باشد.
همچنین گاز محافظ در فرایند های جوش (MIG) ، (MAG) و (TIG) ، مستقیما" از سیلندر و یا سیستم تغذیه تأمین و احتمالا" نیز به حالت گاز یا مایع ذخیره می شود. در فرایند های جوش (TIG) و (MIG) ، به طور کلی از گاز خنثی (آرگن یا هلیم) استفاده می کنیم و در فرایند جوش (MAG) ، عموما" گاز دی اکسید کربن (CO2) و یا ترکیب گاز دی اکسید کربن (CO2) یا اکسیژن (O2) در گاز آرگن را بکار می بریم.

تمیزکاری آلاینده های سطحی (Cleaning) :

تمیزکاری ، پالایش و احیای فلز جوش ، به عنوان شرط اصلی همه فرایندهای رایج جوشکاری ذوبی به شمار می رود. همانطوریکه جوش را می توان فرایند ریختگی (casting) به حساب آورد ، در نتیجه امکان استفاده از سیم جوش کیفیت پایین در برخی فرایند ها نیز وجود دارد ، اما با وجود این ، فلز جوش کیفیت بالایی را با افزودن مواد پاک کننده به فلاکس یا پودر تولید می کنند. چنین روشی بویژه در فرایند جوش (MMA) صحت دارد ، که به موجب آن مواد پاک و احیا کننده احتمالا" به طور مستقیم به پوشش الکترود اضافه می شود. این مواد عموما" به پودر فرایند جوش (FCAW) و (SAW) نیز افزوده می گردد. همچنین در سیم جوش (MIG) ، (MAG) و (TIG) ، مواد احیا کننده ای از قبیل سیلیسیوم (silicon) ، آلومینیوم و منگنز باید در طی فرایند ریختگی اولیه ، به سیم جوش اضافه شود. به علاوه ، الکترود و سیم جوش (MIG) و (TIG) را می بایست قبل از فرایند ریختگی تا حد کیفی بالا احیا نمود ، زیرا از پودر یا فلاکسی که مواد پاک کننده را به فلز جوش در حال انجماد اضافه نمایند ، تشکیل نمی گردند.

خواص آلیاژی مناسب :

در مورد مواد احیا کننده ، احتمالا" به منظور تولید خواص مطلوب فلز جوش ، عناصرآلیاژی در برخی فرایند ها از طریق فلاکس به فلز جوش اضافه می شود و به این دلیل موادمصرفی یا الکترود در حد بسیار گسترده برای فرایند (MMA) وجود دارد. ترکیب شیمیایی فلز جوش را می توان به سادگی در هنگام ساخت پوشش فلاکس تغییر داد . این عمل نیز کارآیی الکترود را افزایش می دهد. همچنین در فرایند (SAW) ، عناصری مانند فرو منگنز (Ferro-manganese) ممکن است به فلاکس های متراکم افزوده شود. افزودن عناصر آلیاژی به جوش از طریق ترکیب فلاکس ، بسیار ارزان و مقرون به صرفه تر است.

به علاوه ، در باره شرایط مواد پاک کننده ای که در بالا شرح داده شد ، سیم جوش (MIG) ، (MAG) و (TIG) را باید به صورت رشته ای بیرون کشید. از این رو عناصر مورد نیاز در ترکیب فلز جوش نیز باید در حد سیم جوش کشیده شده یا رشته ای باشد. لذا به این دلیل است که از این نوع الکترود در حد بسیار محدود وجود دارد. با رشد و گسترش سیم جوش های رشته ای فلاکس دار ، هم اکنون از الکترود نوع (FCAW) در حد بسیار گسترده وجود دارد ، زیرا عناصر آلیاژی احتمالآ" به سادگی به مانند فلاکس الکترود (MMA) ، به هستهٔ فلاکس اضافه می شود.

اصطلاحات ویژه در رابطه با ایمنی جوش:

- **چرخهٔ کار (Duty Cycle):**

چرخهٔ کار عبارتست از مقدار جریانی که در یک فاصلهٔ زمانی وبدون هیچ خطری بوسیله یک دستگاهٔ رسانا انتقال می باید. زمان پایه معمولا" 10 دقیقه است و منظور از 60 در صد چرخه کار این است که دستگاه بدون هیچ خطری می تواند این جریان را در مدت 6 دقیقه از کل زمان پایه انتقال داده و بعد باید به مدت 4 دقیقه توقف کند تا خنک شود. از این رو دریک چرخه کار 100 در صدی ، دستگاه می تواند جریان را به طور مداوم انتقال دهد. به طور کلی چرخه های کار 60 و 100 در صدی بر روی دستگاه جوش قرار دارد.

به عنوان مثال : جریان برق در 60 درصد چرخه کار ، 350 آمپر و در 100 در صد آن ، 300 آمپر است.

چرخه کار را نباید با اصطلاح « ضریب عامل » (operating factor) که اغلب به جای چرخه کار بکار رفته ، اشتباه گرفت . زیرا هر دو اصطلاح به صورت در صد اندازه گیری می شوند. ضرایب عامل عمدتا" در محاسبات اقتصادی ، به منظور محاسبهٔ مقدار زمان مورد نیاز فرایند جوش جهت رسوب مقدار فلز جوش بکار می روند. همچنین ضریب عامل فرایند جوش (MMA) ، تنها 30 در صد است.

- **حد تماس شغلی (Ocupational Exposure Limit) ، (OEL) :**

بر طبق محاسبهً « مدیر اجرایی بهداشت و ایمنی » انگلستان ، « حد تماس عملیاتی » ، عبارتست از حداکثر حد تماس کاری بی خطر با دود ، گاز و یا ترکیبات مختلف در طول محدودیت های زمانی معین . همچنین شعبه اجرائیاتی که مسئولیت این کار را به عهده دارد ، تحت عنوان (GOSHH) و یا « کنترل مواد خطرناک برای سلامت » می باشد. نمونه هایی از مقدار دود یا گازی که کارگران احتمالا" با آن درتماسند ، در جدول ذیل بر اساس مجله (Guidance Note) ارائه شده است :

دود یا گاز	حد تماس شغلی	تأثیر گذاری بر سلامت
کادمیوم	0.025 میلی گرم بر متر مکعب	با درجه سمی بسیار بالا
دود جوشکاری	5 میلی گرم بر متر مکعب	با درجه سمی پایین
آهن	5 میلی گرم بر متر مکعب	با درجه سمی پایین
آلومینیوم	5 میلی گرم بر متر مکعب	با درجه سمی پایین
اوزون	0.20 جز در هر میلیون	با درجه سمی بسیار بالا
گاز فوسژن	20 جز در هر میلیون	با درجه سمی بسیار بالا
گاز آرگن	عدم وجود مقدارOEL وکنترل حجم هوای اکسیژن (O2)	با درجه سمی پایین

درجه سمی نمونه های مذکور را نیز می توان با مقدار « حد تماس شغلی» اندازه گیری کرد و هر کدام از مثالهای بالا احتمالا" تحت شرایط معینی در جوشکاری وجود دارد.

بخش دهم : جوشکاری قوسی فلزی دستی (MMA) یا جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز (SMAW)

ویژ گیهای قوس فرایند جوش (MMA) و (TIG) :

در فرایند جوش (MMA) و (TIG) ، طول قوس توسط جوشکار کنترل می شود. ضمن اینکه جوشکار باتجربه و بسیار ماهر می تواند طول قوس را در طول نسبتا" ثابتی نگه دارد ؛ ضمن اینکه همواره در این میان نوساناتی هم وجود دارد.

هنگامی که طول قوس زیاد می شود ، فشار وولتاژ لازم جهت نگهداری قوس نیز باید افزایش یابد. همچنین این حالت ، جریان برق ذخیره شده در مدار الکتریکی معمولی را کاهش می دهد ، که به موجب آن مقدار ولتاژ ذخیره شده متناسب با مقدار کاهش جریان برق می باشد.

همینطور باید روشی برای کاهش افت زیاد جریان برق به خاطر نوسان ولتاژ قوس پیدا کرد و چنین چیزی با بکارگیری عناصر الکتریکی ویژه در دستگاه هایی بدست می آید که اقدام به ایجاد نمودار هایی به مانند شکل می کنند.

نمودار شکل ، منحنی شدت جریان برق که با حرف (A) نشان داده شده همراه با تأثیر نوسان در ولتاژ و شکاف قوس را مشخص می کند.

توجه کنید که چطور افزایش طول قوس ، محل زیر نمودار را افزایش می دهد و ظاهرا" به موجب آن ، کل حرارت ورودی نیز زیاد می شود ؛ هرچند حرارت اضافی قوس بطور کلی از بین می رود و به حوضچه جوش انتقال نمی یابد.

جوشکاری قوسی فلزی دستی (MMA) :

جوشکاری قوسی فلزی دستی (MMA) ، فرایند جوشی است که در ابتدا در اواخر قرن نوزدهم با بکارگیری الکترود سیمی بدون روکش بوجود آمد.

تعاریف :

فرایند جوش(MMA) : عبارتست از « جوشکاری قوسی فلزی دستی » (اصطلاح بریتانیایی).

فرایند جوش (SMAW) : عبارتست از « جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز » (اصطلاح آمریکایی).

مقدمه :

جوشکاری قوسی فلزی دستی (MMA) با توجه به دستگاه و موادمصرفی جوش و استفاده از الکترود فلاکس دار کوتاه ، نوعی فرایند ساده به حساب می آید. در این فرایند ، الکترود در داخل گرمخانه نگهداشته شده و سیم اتصال الکترود و برق نیز در صورت لزوم به محل مثبت و منفی برق متصل می شود . همچنین در آن ، جوشکار باید به منظور دستیابی به جوش با کیفیت ، از مهارت بسیار بالایی برخوردار باشد. اما با وجود این ، فرایند (MMA) ، عمدتا" به دلیل مقدار مواد مصرفی موجود ، قابلیت های وضعیتی و نیز انطباق پذیری اش با کارهای سایت ، بطور گسترده در صنعت بکار می رود (تصویر شمارهٔ یک).

کیفیت الکترودهای سیمی مغزی دار بسیار پایین است ، زیرا عناصر احیا کننده به آسانی به پوشش فلاکس اضافه شده و این امر باعث تولید جوش با کیفیت و نسبتا" ارزان می شود.

لکه قوس با زدن الکترود بر روی سطح ورق و عقب کشیدن آن به فاصله کم ، بوجود می آید. ضربه قوس باید در خط مستقیم جوش که از بروز لکه قوس و جرقه هرز بر روی فلز مبنا جلوگیری کرده ، زده شود. همچنین باید در حفظ طول قوس پایدار و کوتاه و سرعت حرکت الکترود ، توجه و دقت کافی صورت گیرد.

تصویر شماره دو، عکس کارآموزی را که لباس ایمنی مناسب پوشیده ، نشان می دهد ؛ در حالیکه تصویر شماره سه ، مقدار دود ناشی از این فرایند جوش و بکارگیری سیستم جذب از طریق لوله پلاستیکی انعطاف پذیر را نشان می دهد. اصول اصلی این فرایند از زمانی که بوجود آمده تا حد کمی تغییر یافته ، اما تکنولوژی های مواد مصرفی آن برپایه معینی اصلاح شده است.

وسایل اصلی و مورد نیازفرایند جوش قوسی فلزی دستی (MMA) عبارتند از:

- **ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (rectifier) ، (از نوع جریان برق ثابت)**
- **گرمخانه نگهدارنده (holding oven) (تا دمای 200 درجه سانتیگراد)**
- **نگهدارنده الکترود (electrode holder)**
- **کابل برق**
- **ماسک جوشکاری با شیشه صافی**
- **کابل برگشتی برق**
- **الکترود**
- **گرمخانه الکترود (برای پخت الکترود تا دمای 350 درجه سانتیگراد)**
- **تابلوی کنترل (دارای شدت جریان یا آمپر و قطب مثبت و منفی)**

پارامترهای متغیر (Variable Parameters) :

1. **ولتاژ :**

ولتاژ قوس فرایند جوش (MMA) به طور تقریبی با قوس سنجیده می شود و صرفا" با تغییر در طول قوس نیز متغیر است. « ولتاژ مدار باز » (OCV) ، ولتاژی است که برای راه اندازی و یا شروع مجدد قوس الکتریکی لازم بوده و با نوع الکترود نیز تغییر می کند. اکثر الکترودهای اصلی روکش دار، به ولتاژ مدار باز (OCV) بین 70 تا 90 ولت ، و الکترود های روتیلی (rutile) نیز تنها به 50 ولت نیاز دارند.

2. **جریان برق و قطبیت (Polarity) :**

نوع و مقدار جریان برق بکار برده شده با انتخاب دسته بندی و قطر الکترود ، نوع و ضخامت مواد و موقعیت جوشکاری تعیین می گردد. قطبیت الکترود نیز عموما" با انجام عملیاتی از قبیل (surfacing) و اتصال (joining) ، نوع الکترود و روکش آن مشخص می گردد. اکثر آلیاژهای غیر فلزی و نیز عمل (surfacing) به خاطر ته نشست (deposition) صحیح ، به برق مستقیم منفی نیاز دارند هرچند موارد استثنایی هم در این قانون موجود است. همچنین سرعت ذوب الکترود با توجه به نوع روکش آن ، با برق متناوب و مستقیم مثبت یا منفی تغییر می کند و انتخاب قطبیت نیز بر توازن حرارتی قوس الکتریکی تأثیر می گذارد.

نکات مهم بازرسی و کنترل در هنگام جوشکاری با فرایند (MMA) :

- **وسائل جوشکاری :**

برای اطمینان از وضعیت مناسب وسائل جوشکاری ، باید اقدام به کنترل چشمی آنها نمود.

1. **الکترود :**

برای اطمینان از مشخصات صحیح و وضعیت مناسب الکترود از قبیل قطر و روکش فلاکس دار آن ، باید اقدام به کنترل نمود. همچنین باید از عمل پیش پخت الکترود روکش دار بر طبق روش جوشکاری اطمینان حاصل کرد. از این رو قبل از استفاده از این نوع الکترود ، معمولا" باید به کنترل و نظارت موارد زیر پرداخت:

- پخت الکترود در دمای 350 درجه سانتیگراد برای مدت یک ساعت
- نگهداری الکترود در گرمخانه در دمای 150 درجه سانتیگراد
- تحویل الکترود با نگهدارندهٔ آن به جوشکار در دمای حدود 70 درجه سانتیگراد

الکترودهای بسته بندی و از قبل پخته شده ، نیازی به عمل پیش پخت ندارند. در صورت باز شدن جعبه الکترود ، کاربران باید به منظور حفظ مقدار هیدروژن قید شده بر روی جعبه آن ، از راهنمایی و دستورالعمل های تولید

کنندگان پیروی کنند. برای پخت مجدد الکترود در صورت لزوم ، باید اقدام به ثبت تاریخ و زمان باز شدن جعبه آن نمود. الکترودهای سلولزی و روتیلی قبل از استفاده ، نیازی به کنترل ندارند ، ولی باید آنها را در وضعیت خشک نگهداری کرد. الکترود های روتیلی را نیز احتمالا" هنگامی که مرطوبند باید در دمای معینی خشک نمود.

- **« ولتاژ مدار باز » (OCV) :**

تولید « ولتاژ مدار باز » مورد نیاز مواد مصرفی یا الکترود بوسیله دستگاه را باید کنترل نمود و از حرکت انتخابگر ولتاژ به طرف موقعیت صحیح ، اطمینان حاصل نمود.

- **جریان برق و قطبیت:**

همچنین نوع و حد جریان برق را می بایست بر طبق جزییات (WPS) کنترل کرد.

- **سایر پارامترهای متغیر جوشکاری :**

از دیگر مواردی که باید تحت کنترل قرار گیرد ، عبارتند از : زاویهً صحیح الکترود ، فاصله شکاف قوس ، سرعت حرکت الکترود و سایر متغیر های اصلی فرایند مطابق با روش تأیید شدهً جوشکاری.

- **کنترل ایمنی :**

موارد تحت کنترل عبارتند از : ظرفیت انتقال جریان برق ، چرخه کار وسایل جوشکاری ، عایق الکتریکی بی عیب و نقص ، محافظت صحیح از چشم در هنگام جوشکاری و تراشیدن سر باره (slag) و استفاده از سیستم جذب کار آمد برای جلوگیری از تماس بیش از حد با دود و گاز سمی .

صلاحیت جوشکار در جوشکاری همیشه باید مطابق با روش جوش بکار برده شده ، مورد کنترل قرار گیرد.

عیوب خاص جوشکاری :

- **آخال سرباره (Slag Inclusions):**

این نوع عیب به علت استفاده از روش نامناسب جوشکاری و نیز عدم تمیزکاری کافی بین پاسی بوجود می آید.

- **تخلخل (Porosity):**

این عیب به دلیل بکارگیری الکترود مرطوب و معیوب و مواد جوش آلوده ایجاد می شود.

- **ذوب یا نفوذ ریشه ناقص (Lack of Root Fusion or Penetration) :**

علت ایجاد این عیب ناشی از عدم تنظیم صحیح شدت جریان برق یا آمپر ، فاصله و رویهٔ ریشه می باشد.

- **بریدگی کنار جوش (Undercut):**

این نوع عیب نیز به علت آمپر یا شدت جریان بسیار بالا در موقعیت جوشکاری و یا استفاده از روش نامناسب جوش ، شامل حرکت بسیار تند یا کند الکترود و نوسان طول قوس و ولتاژ بویژه درطول حرکت مارپیچی الکترود (weaving) بوجود می آید.

- **لکه قوس (Arc Strikes) :**

این عیب به علت روش نادرست ضربه قوس و یا عدم مهارت جوشکار ایجاد می شود. همچنین لکه قوس احتمال دارد ناشی از عدم نصب صحیح گیرهٔ کابل برق صورت گیرد.

- **ترک هیدروژنی (Hydrogen Cracks) :**

ترک هیدروژنی به دلیل عدم بکارگیری صحیح نوع الکترود ، روش غلط پخت الکترود و یا کنترل نادرست الکترودهای اصلی روکش دار بوجود می آید.

خلاصه ای از فرایند جوش (MMA) یا (SMAW) :

وسایل مورد نیاز این فرایند :

- **ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (rectifier) ، ژنراتور و مبدل (inverter) ، (از نوع جریان برق ثابت)**
- **کابل برق و کابل برگشت برق**
- **نگهدارنده الکترود (electrode holder)**

- الکترود
- ماسک جوشکاری با شیشه صافی و همه لباسهای ایمنی و سیستم جذب مناسب

پارامترها ونکات بازرسی :

- شدت جریا ن یا آمپر
- برق مستقیم یا متناوب و قطبیت
- نوع وقطر الکترود
- وضعیت الکترود
- عایق کاری و سیستم جذب
- ولتاژ
- سرعت حرکت الکترود
- چرخه کار
- اتصالات
- هر گونه عملکرد ویژه الکترود

عیوب خاص جوشکاری :

- آخال سرباره (Slag Inclusions)
- تخلخل (Porosity)
- ذوب یا نفوذ ریشه ناقص (Lack of Root Fusion or Penetration)
- بریدگی کنار جوش (Undercut)
- لکه قوس (Arc Strikes)
- ترک هیدروژنی (Hydrogen Cracks)

مزا یا و معایب :

مزا یا این فرایند عبارتست از:

- امکان استفاده از آن در سایت (field) و کارگاه (shop)
- امکان استفادهٔ الکترود در حد وسیع
- امکان بکارگیری در همه موقعیت های جوش
- قابلیت حمل آسان
- بکارگیری وسایل ساده

معایب این فرایند عبارتست از:

- **نیاز به ضریب مهارت بالا**
- **بروز عیوب جوشی از قبیل لکه قوس و آخال سرباره**
- **ضریب عامل پایین**
- **سطح بالای دود ناشی از این فرایند**
- **نیاز به کنترل هیدروژن**

بخش یازدهم : جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی (TIG / GTAW)

جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی (**TIG / GTAW**) ، فرایندی است که اولین بار در آمریکا در طول جنگ جهانی دوم برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیومی بوجود آمد.

تعاریف :

فرایند جوش(TIG) : عبارتست از « جوشکاری تنگستنی با حفاظت گاز خنثی » (اصطلاح بریتانیایی).
فرایند جوش (GTAW) : عبارتست از « جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی » (اصطلاح آمریکایی).

مقدمه :

جوشکاری (**TIG**) ، فرایندی است که به مهارت بسیار بالای جوشکار نیاز دارد وآن را می توان با میزان تمرکز جوشکاری که در تصویر شماره یک نشان داده شده ، مورد ازیابی قرار داد. این نوع فرایند نیز همانطوریکه برای بکارگیری در تعمیر قایق موتوری فراساحلی شکل دو نشان داده شده ، با جوشهای با کیفیت هم ردیف است. به علاوه آن به عنوان فرایند نسبتا" کندی به شمار می رود ، ولی با توسعه و پیشرفت جوشکاری (**TIG**) با سیم جوش داغ (تصویر شماره سه) ، این نوع جوش احتمالا" نیز جوش با کیفیت با سرعت ته نشست (**deposition**) بیشتری نسبت به فرایند(**SAW**) تولید می کند.
ضربه قوس در این فرایند احتمالا" با بکارگیری روشهای متعدد صورت می گیرد ، ولی در وسایل ارزانتر، شروع ضربه قوس با عمل (خراش) که شبیه جوشکاری (**MMA**) بوده ، انجام می شود ؛ این روش ، تنگستن و فلز جوش را به آسانی آلوده می کند. از این رو برای اجتناب از چنین حالتی ، از روش شروع قوس فرکانس بالا اغلب به منظور راه اندازی قوس در اکثر وسایل جوشکاری استفاده می شود ؛ هرچند فرکانس بالا نیز احتمال دارد باعث ایجاد تداخل در وسایلی با تکنولوژی پیشرفته و سیستم های کامپیوتری گردد. بنابراین برای غلبه بر چنین مشکلی ، روشی تحت عنوان (**lift arc**) وجود دارد که بوسیله آن الکترود با ورق برخورد داشته و کمی به عقب کشیده می شود؛ در این روش ، قوس با آمپر یا شدت جریان بسیار پایین تولید شده و سپس با امتداد الکترود تا طول قوس معمولی ، به شدت جریان کامل می رسد. سیم جوش پر کننده این فرایند بر خلاف فرایند های قوسی دیگر ، مستقیما" و بطور مجزا توسط جوشکار به داخل حوضچه جوش اضافه می شود که در این حالت به مهارت دستی و حرفه ای بسیار بالای وی نیاز می باشد.
همچنین این نوع فرایند ، نسبت به فرایند (**MMA**) بسیار پیچیده تر است ، زیرا دارای پارامترهای متغیر قابل تنظیم بیشتر ، بخشهای قابل کنترل و نکات بازرسی بیشتری برای بازرس می باشد.

وسایل اصلی و مورد نیازفرایند جوش (TIG) عبارتند از:

- منبع برق ازقبیل ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (**rectifier**) ، (از نوع جریان برق ثابت)
- منبع برق مبدل
- تابلوی کنترل برق
- لوله کابل برق
- فلومتر یا جریا ن سنج
- الکترود تنگستن
- وسایل و تجهیزات قابل نصب مشعل (**torch assemblies**)
- کابل برگشت برق
- تابلوی کنترل برق (دارای آمپر و قطب مثبت و منفی)

وسایل و تجهیزات قابل نصب بر سر مشعل (TIG) عبارتند از:

- الکترود تنگستن
- محافظ سرامیکی اضافی
- لنز گاز (**Gas Lens**)
- بدنه مشعل (**Torch Body**)
- پخش کننده یا افشانه گاز (**Gas Diffuser**)
- میله باز مسی (جهت نگهداری الکترود تنگستن)
- کلید خاموش و روشن یا ضامن
- شیلنگ تنگستن

پارامترهای متغیر (Variable Parameters) :

- **ولتاژ :**

ولتاژ فرایند جوش (**TIG**) صرفا" با نوع گازی که بکار رفته متغیر است و طول قوس آن نیز به مانند فرایند جوش (**MMA**) تغییر می کند.

- **جریان برق و قطبیت (Polarity) :**

تنظیم جریان برق به تناسب با قطر تنگستنی که بکار رفته ، صورت می گیرد. از این رو هرچه سطح جریان برق بالاتر باشد ، میزان نفوذ و ذوب جوش نیز بیشتر است.

قطب مثبت و منفی که در فولاد بکار رفته ، همواره با برق مستقیم (DC – ve) است که در آن بیشتر گرما در جوشکاری (TIG) ، در قطب مثبت متمرکز می گردد. چنین حالتی برای خنک نگهداشتن تنگستن در طول جوشکاری مورد نیاز است. همچنین از برق متناوب (AC) در هنگام جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آن استفاده می شود.

- **نوع تنگستن و زاویهٔ رأس (Vertex Angle) :**

عوامل مهمی از قبیل (قطر، نوع و زاویه رأس تنگستن) به عنوان متغیر های اصلی روش جوشکاری به شمار می رود. رایج ترین انواع تنگستنی که با برق مستقیم بکار رفته ، عبارتند از تنگستن « thoriated » و « ceriated » و تنگستنی که با برق متناوب بکار برده می شود ، عبارتست از تنگستن « zirconiated » که برای (آلیاژهای آلومینیومی) نیز مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین زاویه رأس تنگستن همانطوریکه در شکل نشان داده شده ، اندازه گیری می شود.

- **نوع گاز و سرعت جریان آن (Flow Rate) :**

به طور کلی از دو نوع گاز خالص شامل « آرگن » و « هلیم » در جوشکاری (TIG) استفاده می شود ؛ هر چند گاز نیتروژن گاهی اوقات برای جوشکاری فلز مس و گاز هیدروژن نیز احتمالا" برای جوشکاری فولاد ضد زنگ سخت شده (austenitic stainless steel) که (سرعت جوش را افزایش داده) ، اضافه می شود. سرعت جریان (gas flow rate) ، متغیر اصلی دیگر روش جوش است که بر اساس نوع اتصال و موقعیت جوشکاری تغییر می کند.
گاز های (TIG) با درجهٔ خلوص 99.99 درصد تولید می شوند ؛ هرچند گاز آرگن از گاز هلیم ارزان تر و از غلظت بیشتری نسبت به هوا برخوردار بوده و دارای پتانسل یونیزاسیون پایین است و نفوذ نسبتا" سطحی ایجاد می کند. گاز هلیم نیز از گاز آرگن گرانتر و از غلظت پایین تری نسبت به آرگن و هوا برخوردار بوده و دارای پتانسیل یونیزاسیون بالا است و نفوذ بیشتر و قوس داغ تری بوجود می آورد. در واقع منظور از آن اینست که برای حفظ پوشش مناسب گاز منطقه جوش ، سرعت جریان هلیم باید در موقعیت سرازیر و جریان آرگن در موقعیت سربالا برای طرح اتصال (joint design) مشابه ، افزایش یابد. همچنین گاهی اوقات به منظور تلفیق ویژگیهای مفید هر گاز مانند نفوذ و پوشش گاز، اقدام به ترکیب گاز آرگن و هلیم می نماییم.

- **شیب رو به بالا (Slope in) و شیب رو به پایین (Slope out) :**

شیب رو به بالا (slope in) و شیب رو به پایین (slope out) ، به عنوان متغیر های موجود در برخی دستگاههای جوش به شمار می رود که عمل صعود و نزول جریان برق را تنظیم می کنند. این نوع ویژگی در جلوگیری از بروز حفره های لوله ای چاله جوش (crater pipes) در انتهای پاس جوش بسیار مفید و موٌثر است. از این رو کنترل شیب رو به بالا و پایین نیز احتمالا" به مانند شکل ، بر روی دستگاه ایجاد می گردد.

همچنین این نوع متغیر در طول جوشکاری ، به منظور کنترل صعود و نزول جریان برق در شروع و پایان جوش به مانند شکل بکار می رود.

- **تأخیر قطع گاز :**

کنترل تأخیر قطع گاز ، زمان قطع سولنوئید (**solenoid**) گاز در انتهای جوش را به تأخیر می اندازد و از آن برای حفاظت مداوم عمل انجماد و خنکی فلز جوش در پایان هر پاس استفاده می شود. همچنین آن اغلب زمانی بکار می رود که اقدام به جوشکاری موادی مانند آلیاژ های ضد زنگ (**stainless**) و تیتانیوم (**titanium**) که در دمای بالا اکسید شده ، می گردد. از این رو احتمال دارد که چنین عملی به مانند شکل ، بر روی دستگاه صورت گیرد.

- **متغیر های ضربه ای جوشکاری (TIG) :**

پارامترهای ضربه ای جوشکاری (TIG) که عموما" قابل تنظیم اند ، عبارتند از :

- جریان زمینه ضر به (**Pulse Background Current**)
- مدت ضربه (**Pulse Duration**)
- جریان اوج ضربه (**Pulse Peak Current**)
- فرکانس ضربه (**Pulse Frequency**)

نکات مهم بازرسی و کنترل در هنگام جوشکاری با فرایند (TIG) :

- **وسائل جوشکاری :**

برای اطمینان از وضعیت مناسب وسائل جوشکاری ، باید اقدام به کنترل چشمی آنها نمود.

وسایل و تجهیزات سر مشعل (Torch) :

- برای اطمینان از قطر و مشخصات تنگستن ، عمل صیقل و یا سنگ زنی صحیح زاویه رأس مورد نیاز آن و نیز نصب لنز گاز (**gas lens**) ، باید اقدام به کنترل نمود. همچنین موارد دیگری که باید کنترل شود عبارتند از: اندازه و طول مناسب تنگستن از قسمت سرامیک مشعل و نوع مناسب سرامیک .

- **نوع گاز و سرعت جریان آن :**

در این مرحله با ید مواردی از قبیل کاربرد صحیح گاز و ترکیب آن و نیز سرعت جریان مناسب شکل و موقعیت اتصال ، مطابق با روش تأیید شدهٔ جوشکاری ، تحت کنترل قرار گیرد.

- **جریان برق و قطبیت:**

در این مرحله باید از تنظیم درست نوع جریان و قطبیت و همچنین حد و سرعت جریان بر طبق روش جوشکاری اطمینان حاصل نمود. به علاوه ، حد ومیزان آنها بوسیله نوع ، ضخامت و قطر مواد و نیز نوع تنگستن بکار برده شده ، مورد کنترل واقع می شود.

- **سایر پارامترهای متغیر جوشکاری :**

از دیگر مواردی که باید تحت کنترل قرار گیرد ، عبارتند از : زاویهٔ صحیح مشعل ، فاصله شکاف قوس ، سرعت حرکت الکترود و سایر متغیر های اصلی فرایند مطابق با روش تأیید شدهٔ جوشکاری.
در جوشکاری مکانیزه نیز باید سرعت مکانیسم نورد (carriage) و سیم جوش پر کننده ، تحت کنترل قرار گیرد. علاوه بر این ، هنگام جوشکاری مواد واکنشی (reactive materials) ، عمل (purging) ، نوع و فشار گاز محافظ نیز باید گنترل گردد.

- **کنترل ایمنی :**

موارد تحت کنترل عبارتند از : ظرفیت انتقال جریان برق ، چرخه کار وسایل جوشکاری ، عایق الکتریکی بی عیب و نقص واستفاده از سیستم جذب کار آمد برای جلوگیری از تماس بیش از حد با دود و گاز سمی .

صلاحیت جوشکار در جوشکاری همیشه باید مطابق با روش جوش بکار برده شده ، مورد کنترل قرار گیرد.

عیوب خاص جوشکاری :

- **آخال تنگستن (Tungsten Inclusions) :**

این نوع عیب به علت عدم مهارت جوشکار ، جریان برق بالا و زاویهٔ نادرست رأس تنگستن بوجود می آید.

- **تخلخل سطحی (Surface Porosity):**

این عیب به دلیل فقدان گاز محافظ بویژه به هنگام جوشکاری در سایت ، میزان نادرست جریان گاز به خاطر شکل اتصال و یا موقعیت جوشکاری ایجاد می گردد.

- **حفره های لوله ای چاله جوش (Crater Pipes) :**

علت این نوع عیب ، ناشی از روش نامناسب پرداخت یا صیقل جوش و عدم استفاده صحیح از جریان برق می باشد.

- **اکسید جوش و ریشه (Weld / Root Oxidation):**

این عیب نیز در صورت تأخیر نامناسب قطع گاز و یا فشار گاز (purge) در هنگام جوشکاری فولاد ضد زنگ یا آلیاژهای تیتانیوم ، بوجود می آید.

خلاصه ای از فرایند جوش (TIG) یا (GTAW) :

وسایل مورد نیاز این فرایند:

- **ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (Rectifier) ، (از نوع جریان برق ثابت)**
- **کابل برق و کابل برگشت برق**
- **گاز محافظ خنثی از قبیل (آرگن و یا هلیم)**
- **شیلنگ گاز ، فلومتر (جریان سنج)**
- **استفاده از سر مشعل TIG با تنگستن سنگ زده شده و نیز قطعه سرامیکی**
- **استفاد از روشهای راه اندازی قوس شامل (فرکانس بالا ، قوس lift و یا استارت قوس با روش خراش scratch)**
- **ماسک جوشکاری همراه با شیشه صافی و همه لباسهای ایمنی و سیستم جذب مناسب**
- **فلز پر کننده میله ای شکل با مشخصات صحیح**

پارامترها ونکات بازرسی :

- **شدت جریا ن یا آمپر**

- برق مستقیم یا متناوب و قطبیت
- نوع وقطر تنگستن
- زاویه رأس تنگستن
- نوع گاز و سرعت جریان آن
- وضعیت ، اندازه و نوع قطعه سرامیکی تنگستن
- ولتاژ قوس
- سرعت حرکت الکترود
- چرخه کار
- اتصالات
- عایق کاری و سیستم جذب
- لنز گاز

عیوب خاص جوشکاری :

- آخال تنگستن (Tungsten Inclusions)
- حفره های لوله ای چاله جوش (Crater Pipes)
- تخلخل سطحی (Surface Porosity)
- اکسید جوش یا ریشه (Weld / Root Oxidation)

مزا یا و معایب :

مزا یای این فرایند عبارتست از:

- کیفیت بالا
- کنترل ونظارت خوب
- امکان بکارگیری در همه موقعیت های جوش
- فرایند جوش قوسی با پایین ترین میزان هیدروژن
- عدم تمیز کاری بین پاسی

معایب این فرایند عبارتست از:

- نیاز به ضریب مهارت بالا
- بکارگیری حد ناچیز مواد مصرفی
- محافظت در برابر کارهای سایت
- بازدهی پایین
- سطح بالای اوزون

بخش دوازدهم : جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز خنثی (MIG) و جوشکاری قوسی فلزی با پوشش گاز غیر خنثی (MAG / GMAT)

ویژ گیهای قوس فرایند جوش (MIG) و (SAW) :

نسبت به فرایند جوش (MMA) و (TIG) ، در جوشکاری (MIG) ، (MAG) و (SAW) به وسایل جوشکاری متفاوتی نیاز است ، زیرا طول قوس بوسیله ولتاژ کنترل می شود.
از این رو برای دستیابی به چنین حالتی ، به منبع برق با ولتاژ ثابت یا (یکنواخت) نیاز است.

ویژ گی ولتاژ ثابت (یکنواخت) :

هنگام پیش محاسبهٔ « ولتاژ قوس جوش » از دستگاه (OCV) ، به نظر حدود 1 تا 2 ولت مدار باز ، بابت هر 100 آمپر جریان جوش در حال استفاده ، تلف می گردد.

جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز خنثی (MIG) :

جوشکاری (MIG) ، در ابتدا در اواخر دههٔ 40 در آمریکا با استفاده از گاز محافظ آرگن و هلیم برای جوشکاری سازه های آلیاژ آلومینیومی بوجود آمد.

تعاریف :

فرایند جوش (MIG): عبارتست از « جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز خنثی آرگن و هلیم ».

فرایند جوش (MAG): عبارتست از « جوشکاری قوسی فلزی با پوشش گاز غیر خنثی شامل گاز خالص دی اکسید کربن (CO_2) و ترکیب گاز آرگن با دی اکسید کربن و یا آرگن با اکسیژن » .

فرایند جوش (GMAW) : عبارتست از « جوشکاری قوسی فلزی با پوشش گاز غیر خنثی » که آز آن برای توصیف فرایند (MIG) و (MAG) در آمریکا استفاده می شود.

فرایند جوش (FCAW): عبارتست از « جوشکاری قوسی توپودری » که برای توصیف فرایند قوسی مغزی پودردار در آمریکا بکار می رود.

مقدمه:

وسایل اصلی و مورد نیاز فرایند (MIG) و (MAG) با فرایند (MMA) و (TIG) فرق دارد ، زیرا در آن منبع برق متفاوت مورد نیاز است و سیم جوشی که متصل به قرقره بوده به طور خودکار در قسمت سر مشعل (torch head) تغذیه می گردد و گاز محافظ نیز از قسمت بیرون از طریق سیلند ر مجزایی تأمین می شود. همچنین برای به حرگت در آوردن الکترود سیمی ، به دستگاه جداگانهٔ تغذیهٔ سیم و یا مکانیسم داخلی محرک سیم جوش نیاز است.

ضربه قوس در اثر تماس با قطعه کار بوسیله مدار سیم جوش ایجاد می شود. نوع انتقال فلزی که اتفاق می افتد نیز کاملا" به نوع گاز بکار برده شده و تنظیم شدت جریان و یا ولتاژ بستگی دارد. با کنترل طول قوس الکتریکی از طریق منبع برق ، این فرایند به فرایند جوش « نیمه اتوماتیک » و یا کاملا" اتوماتیک بوسیله دستگاههای خودکار طبقه بندی می شود و یا اینکه می توان آن را به سادگی با بکارگیری سیستم ردیابی (tracking) ، مکانیزه نمود. تصویر شماره یک و دو ، اجزای فرایند اصلی و تصویر شماره سه نیز، عمل مکانیزه در موقعیت سربالا را نشان می دهد.

وسایل اصلی و مورد نیازفرایند جوش (MIG) عبارتند از:

- **منبع برق ازقبیل ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (Rectifier) ، (از نوع جریان برق ثابت)**
- **منبع برق مبدل**
- **وسایل و تجهیزات لوله برق از قبیل (liner ، کابل برق ، شیلنگ آب و گاز)**
- **Liner**
- **نوک اتصال اضافی**
- **وسایل و تجهیزات سر مشعل (torch head)**
- **بست و کابل برگشت برق**
- **قرقره سیم 15 کیلو گرمی (با روکش مسی و بدون روکش)**
- **تابلوی کنترل برق**
- **دستگاه خارجی تغذیهٔ سیم**

وسایل و تجهیزات دستگاه گردانندهٔ سیم جوش فرایند (MIG) و (MAG) عبارتست از:

- **سیستم داخلی گردانندهٔ سیم جوش**
- **گردانندهٔ فوقانی صاف و مسطح**
- **گردانندهٔ تحتانی نیم شیار**
- **راهنمای سیم جوش**

وسایل و تجهیزات سر مشعل فرایند (MIG) :

- **بدنه مشعل**
- **کلید خاموش و روشن یا ضامن**
- **اتصال جداکنندهٔ جوشکاری نقطه ای**
- **نوک اتصال**
- **پخش کننده یا افشانه گاز (Gas Diffuser)**
- **پوشش های اضافی**
- **وسایل و تجهیزات سر مشعل**

مواردی که بلافاصله با فشردن کلید خاموش و روشن یا (کلید ضامن) مشعل (Torch) اتفاق می افتد ، به شرح ذیل می باشد :

- **گاز سولنوئید ، گاز محافظ را آزاد می سازد.**
- **سیم جوش از طریق قرقره و نوک اتصال مشعل به گردش درمی آید.**
- **کنتاکتور (contactor) مسیر جریان به نوک اتصال را می بندد.**
- **و در صورت لزوم ، پمپ آب نیز آب خنک را به گردش درمی آورد.**

انواع انتقال فلز :

1. **انتقال غوطه ای (Dip Transfer) :**

سیم جوش در انتقال غوطه ای ، اقدام به اتصال کوتاه قوس بین 50 تا 200 بار در ثانیه می نماید. این نوع انتقال معمولا" از گاز دی اکسید کربن (CO2) و یا ترکیب گاز دی اکسید کربن و آرگن با شدت جریان پایین و ولتاژ جوش که از 24 ولت کمتر بوده ، حاصل می شود. همچنین آن به عنوان انتقال تمام وضعیتی با میزان ته نشست (deposition) ، نفوذ و ذوب پایین به شمار می رود و علت آن به خاطر زمانی است که قوس خاموش شده و تنها حرارت مقاومتی بوجود می آید. این انتقال عمدتا" برای فولاد نازک با ضخامت کمتر از 3 میلی متر (و یا احتمالا" نیز برای جوش وضعیتی در قسمت ضخیم تر ورق بکار رود.) از این رو ، رسوب فلز جوش در طول بخش مدار کوتاهٔ چرخه جوش ایجاد می شود.

2. **انتقال افشانه ای (Spray Transfer) :**

در این نوع انتقال ، قوس الکتریکی پیوسته و انتقال افشانه ای فلز ایجاد می گردد . انتقال افشانه ای معمولا" از گاز آرگن خالص و یا ترکیب آرگن و دی اکسید کربن با شدت جریان بالا و مقدار ولتاژی بیش از 24 ولت ، حاصل می شود و آن را می توان در فولاد و صرفا" در اتصال لب به لب سرازیر و جوش گوشه ای (H / V) با میزان ته نشست (deposition) ، نفوذ و ذوب بالاتر نسبت به انتقال غوطه ای به خاطر حرارت مداوم قوس بکار برد. این انتقال عمدتا" برای ورق فولاد با ضخامت بیش از 3 میلی متر بکار می رود ، اما احتمالا" از کاربرد محدودی در جوش وضعیتی به دلیل وجود حوضچه بزرگ و بالقوهً جوش ، برخوردار است.

3. انتقال ضربه ای (Pulsed Transfer) :

این نوع انتقال از ضربه های جریان برق ، برای احتراق فلز کروی در میان شکاف قوس با فرکانس بین 50 تا 300 ضربه در ثانیه استفاده می کند. انتقال ضربه ای ، نمونهً پیشرفته انتقال افشانه ای به شمار رفته که امکان جوشکاری وضعیتی در فولاد را همراه با حرارت ورودی ، ذوب مناسب و بازدهی بالا فراهم می کند. همچنین از آن احتمالا" برای همه ورقهای فولاد با ضخامت کمتر از 1 میلی متر و یا عمدتا" برای جوشکاری وضعیتی فولاد با ضخامت بیش از 6 میلی متر استفاده می شود.
همانطوریکه همه پارامترها نیازمند تنظیم بسیار دقیق بوده ، از این رو دستگاه (synergic) معمولا" در این نوع انتقال بکار می رود.

4. انتقال ضربه ای (Synergic Pulsed Transfer) :

فرایند جوش synergic (MIG) و (MAG) ، در دهه 1980 بوجود آمد و از کنترل ریز پردازنده برای تنظیم پارامترهای قوس الکتریکی و نیز حفظ شرایط بهینه جهت انتخاب نوع و قطر سیم جوش ، مواد و گاز استفاده می کند. کنترل ریز پردازنده نیز همه پارامترهای ضربه ای دیگر را بلافاصله و به طور خودکار جهت هر گونه تغییر در « سرعت تغذیه سیم جوش » (WFS) عوض می نماید. همچنین این دستگاه احتمالا"برای انتقال غوطه ای ، افشانه ای و دانه ای یا کروی مورد استفاده قرار می گیرد.

5. انتقال کروی یا دانه ای (Globular Transfer) :

این نوع انتقال ، بین انتقال غوطه ای و افشانه ای اتفاق می افتد و معمولا" نیز برای جوشکاری MIG و MAG با سیم جوش توپر یا جامد (solid wire) بکار می رود ، اما از آن نیز گاهی اوقات در فرایند جوش (FCAW) استفاده می شود.

پارامترهای متغیر :

1. سرعت تغذیهٔ سیم جوش (Wire Feed Speed) :

افزایش سرعت تغذیه سیم جوش ، جریان برق را در آن به طور خودکار زیاد می کند. سیم جوش ها نیز عموما" به قطر(0.6 ، 0.8 ، 1.0 ، 1.2 ، 1.4 و 1.6) میلی متر تولید می شوند.

2. ولتاژ :

مهمترین چیز در انتقال افشانه ای ، تنظیم ولتاژ است ، زیرا آن باعث کنترل طول قوس می شود و در انتقال غوطه ای نیز جریان برق و حرارت ورودی کل به داخل جوش را افزایش می دهد. علاو بر این ، افزایش « سرعت تغذیه سیم جوش » (WFS) ، جریان برق و ولتاژ نیز حرارت ورودی را زیاد می کند. از این رو باید از بی عیبی اتصالات جوش اطمینان حاصل نمود ؛ بطوریکه هر گونه اتصال شل یا ضعیف باعث داغ شدن نقطه اتصال می شود و در آن ولتاژ ناشی از مدار از بین رفته و تأثیر زیادی بر ویژگی قوس جوش می گذارد. همچنین این ولتاژ ، نوع انتقال قابل وصول را تحت تأثیر قرار داده و به نوع گاز در حال استفاده ، بسیار وابسته می باشد .

3. گاز :

گاز دی اکسید کربن (CO2) به دلیل « پتانسیل یونیزاسیون » بسیار بالا ، قادر به حفظ و نگهداری انتقال افشانه ای نیست . همچنین این گاز بدلیل همین پتانسیل بالا ، دارای نفوذ بسیار خوب ، قوس بسیار بی ثبات همراه با جرقهٔ جوش زیاد می باشد. گاز آرگن از پتانسیل یونیزاسیون بسیار پایینی برخوردار است و انتقال افشانه ای را تا بالای 24 ولت جوش ، ثابت نگه می دارد. این گاز دارای قوس بسیار ثابت ، جرقهٔ جوش کم ولی نفوذ پایین تری نسبت به گاز دی اکسید کربن است. از این رو برای دستیابی به مزیت هر دو گاز یعنی نفوذ خوب با قوس پایدار و جرقه جوش کم ، اقدام به ترکیب گاز آرگن و دی اکسید کربن با مقدار 5 تا 20 درصد دی اسید کربن در آرگن ، می نماییم . گاز دی اکسید کربن نیز نسبت به گاز آرگن و ترکیبات آن ، بسیار ارزانتر است.

4. اندوکتانس ، خود القائی (Inductance) :

اندوکتانس باعث ایجاد فشار عقب نشینی (back pressure) ولتاژ که در سیم جوش اتفاق افتاده ، می شود و آن هنگامی عمل می کند که مقدار جریان متغیر وجود دارد. جریان برق در جوشکاری انتقال غوطه ای ، با اتصال کوتاه الکترود بر روی ورق ، بالا می رود و در آن موقع نیز اندوکتانس در برابر میزان افزایش جریان برق در نوک الکترود مقاومت می کند. از این رو چنین عاملی ، بر کاهش میزان جرقه جوش ، تأثیر بسزایی می گذارد.

نکات مهم بازرسی و کنترل در هنگام جوشکاری با فرایند (MIG) و (MAG) :

- **وسائل جوشکاری :**

برای اطمینان از وضعیت مناسب وسائل جوشکاری ، باید اقدام به کنترل چشمی آنها نمود.

- **سیم جوش الکترود :**

قطر ، مشخصات و کیفیت سیم جوش از عناوین مهم بازرسی به شمار می روند. میزان احیاء یا اکسیژن زدایی (deoxidation) سیم جوش با سیم جوشهای تک سو ، دو سو و سه سویهً احیا شدهً موجود نیز جزء عوامل مهم به حساب می آید. علاوه بر این ، کیفیت انحنای سیم جوش حائز اهمیت است. هر چه سطح مواد احیاء یا اکسیژن زدا در سیم جوش زیاد باشد ، در نتیجه فرصت ایجاد تخلخل (porosity) در جوش نیز کاهش می یابد . کیفیت روکش مسی ، حالت و انحنای سیم جوش ، جزء عوامل مهم کاهش مسائل تغذیه سیم جوش به شمار می رود.

- **قرقره یا غلطک محرک و (Liner) :**

اندازه صحیح قرقره های محرک سیم جوش را کنترل و با فشار دست نیز از قدرت کافی آنها برای حرکت سیم جوش اطمینان حاصل کنید. فشار بیش از حد شکل سیم جوش را تغییر می دهد و حرکت آن را از (liner) بسیار دشوار می سازد و همچنین منجر به جرقه در قسمت نوک اتصال و ساییدگی بیش از حد آن قسمت و(liner) می شود.
علاوه بر این ، نوع و اندازه صحیح (liner) سیم جوش را کنترل نمایید . اندازه آن عموما" مناسب با دو نوع قطر سیم جوش بر حسب میلی متر شامل (0.6 و 0.8) ، (1.4 و 1.2) و (1.4 و 1.6) است. همچنین از (liner) فولادی برای سیم جوش فولادی و از (liner) تفلونی برای سیم جوش آلومینیومی استفاده می شود.

- **نوک اتصال :**

اندازه صحیح نوک اتصال سیم جوش و میزان ساییدگی آن را نیز اغلب کنترل کنید . عدم اتصال و برخورد سیم جوش و نوک اتصال باعث کاهش کارایی جریان برق موجود می شود. بیشتر سیم جوشهای فولادی برای به حداکثر رساندن انتقال جریان برق از طریق برخورد بین دو سطح مسی نوک اتصال با روکش مسی بکار می روند که این خود نیز مانع از خوردگی می شود. از این رو به طور مرتب اقدام به تعویض نوک اتصال نمایید.

- **اتصالات :**

طول قوس الکتریکی در جوشکاری (MIG) و (MAG) بوسیله دستگاه های ولتاژ ، کنترل می گردد و چنین حالتی نیز با استفاده از ویژگی آمپر یا ولت ، ولتاژ ثابت داخل دستگاه بدست می آید. همچنین هر گونه اتصال ضعیف در مدار جوشکاری ، بر ماهیت و ثبات قوس الکتریکی تأثیر می گذارد. لذا این قسمت جزء نکات مهم بازرسی به شمار می رود.

- **نوع گاز و سرعت جریان آن :**

نوع گازی که در جوشکاری (MIG) و (MAG) بکار می رود ، بسیار حائز اهمیت است و همینطور سرعت جریان آن از سیلندر نیز به منظور پوشش مناسب بر روی فلز مذاب در حال انجماد برای جلوگیری از بروز اکسید و تخلخل بایستی به اندازه کافی باشد.

- **سایر پارامترهای متغیر جوشکاری :**

موارد دیگری که باید تحت کنترل قرار گیرد ، عبارتست از: « سرعت مناسب تغذیه سیم جوش » WFS ، ولتاژ ، سرعت حرکت الکترود و سایر متغیر های اصلی فرایند مطابق با روش تأیید شدهً جوشکاری.

- **کنترل ایمنی :**

موارد تحت کنترل عبارتند از : ظرفیت انتقال جریان برق ، چرخه کار وسایل جوشکاری ، عایق الکتریکی و استفاده از سیستم جذب کار آمد برای جلوگیری از تماس بیش از حد با اوزون و دود. صلاحیت جوشکار در جوشکاری نیز همیشه باید مطابق با روش جوش بکار برده شده ، تحت کنترل قرار گیرد.

عیوب خاص جوشکاری :

- **آخال سیلیکات (Silica Inclusions) :**

این نوع عیب که صرفا" در فولاد فریتی (آهن دار) بوده به علت عدم تمیزکاری مناسب بین پاسی بوجود می آید.

- **ذوب ناقص دیوارهً جانبی :**

این عیب در طول انتقال غوطه ای و جوشکاری عمودی روبه پایین قسمت کلفت قطعه جوش ایجاد می گردد.

- **تخلخل (Porosity) :**

علت بروز این عیب ناشی از فقدان گاز محافظ و مقاومت پایین در برابر مواد آلاینده می باشد.

- **سوختگی سراسری (Burn Through) :**

این عیب نیز از بکارگیری حالت نادرست انتقال فلز بر روی ورق فلز بوجود می آید.

مزایای جوشکاری قوسی مغزی پودردار (Flux Cored Arc Welding) :

در اواسط دهه 80 ، رشد و توسعه فرایند خود محافظ و محافظ دوجانبهٔ (FCAW) ، به عنوان گام مهمی در کاربرد موفق جوش نیمه اتوماتیک در سایت به شمار می رفت که قادر به جوشکاری مواد در حد کاملا" گسترده بود.
سیم جوش این نوع جوشکاری از پوشش فلزی پودر یا فلاکس دانه ای تشکیل می گردد. این فلاکس نیز دارای عناصری است که معمولا" در الکترود فرایند (MMA) بکار می رود. لذا این فرایند از کاربرد بسیار گسترده ای برخوردار است.
علاوه بر این نیز می توان عناصر و ترکیبات تولید کنندهٔ گاز را به فلاکس اضافه نمود و بنابراین چنین فرایندی ، از گاز محافظ جداگانه ای که استفاده از جوشکاری متداول (MIG) و (MAG) در کاربردهای بسیار را محدود کرده ، مستقل می باشد. سیم جوشهای « محافظ دوجانبه » نیز گاز محافظ خود را از ترکیب فلاکس و گاز محافظ جداگانه ای بدست می آورند.
اکثر سیم جوشها ، به طور مکانیکی و محکم با شکلهای گوناگون اتصال بسته می شوند. اثر بخشی اتصال سیم جوش ، به عنوان نکته بازرسی جوشکاری با سیم جوش مغزی دار بویژه با سیم جوشهایی با فلاکس های اصلی به شمار می رود ؛ بطوریکه رطوبت به آسانی جذب درز معیوب و نامناسب می شود.
بکار گیری سیم جوشهای اصلی که چند متر اول آن از قرقره جدا و دور ریخته شده ، به عنوان روش مقبولی به حساب می آید ، زیرا در صورت نگهداری نامناسب آن ، رطوبت از طریق مغزی فلاکس یا پودر ، جذب طول سیم جوش می گردد. همچنین پخت سیم جوش مغزی دار بی فایده است و هیچ تأثیری در بازگرداندن وضعیت فلاکس آلوده در سیم جوش ندارد.
مزیت اصلی سیم جوش با مغزی پودردار این است که باعث نفوذ بسیار مناسب فلز جوش شده و این امر به علت مقدار تراکم جریان برق در سیم جوش و یا به عبارتی دیگر به دلیل انتقال مقدار جریان برق در (CSA) رسانا اتفاق می افتد.

خلاصه ای از سیم جوش توپر (MIG) و (MAG) یا (GMAW) :

وسایل مورد نیاز این فرایند :

- ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (rectifier) ، (از نوع ولتاژ ثابت)
- کابل برق و کابل برگشت برق
- گاز محافظ خنثی ، غیر خنثی یا مختلط از قبیل (آرگن و یا دی اکسید کربن)
- شیلنگ گاز ، فلومتر (جریان سنج) و تنظیم کننده (رگلاتور) گاز
- مشعل فرایند جوش (MIG) همراه با شیلنگ ، (liner) ، پخش کننده (diffuser) ، نوک اتصال (contact tip) و نازل
- دستگاه تغذیه سیم جوش و قرقره گرداننده یا محرک
- سیم جوش الکترود با قطر و مشخصه مناسب
- ماسک جوشکاری با شیشه صافی و به همراه کل لباسهای ایمنی و سیستم جذب مناسب

پارامترها ونکات بازرسی :

- شدت جریا ن یا آمپر و « سرعت مناسب تغذیه سیم جوش » (WFS)
- نوع و قطر سیم جوش
- وضعیت و اندازهٔ نوک اتصال
- اندازهٔ (liner)
- عایق کاری و سیستم جذب
- چرخه کار
- (OCV) و ولتاژ جوش
- نوع گاز و سرعت جریان آن
- نوع ، اندازه و فشار قرقره
- تنظیمات اندوکتانس ، خود القائی (inductance)
- اتصالات (افت ولتاژ)
- سرعت حرکت ، جهت و زاویهٔ الکترود

عیوب خاص جوشکاری :

- آخال سیلیکات (Silica Inclusions)

- تخلخل سطحی (surface porosity)
- ذوب ناقص (در انتقال غوطه ای)

مزا یا و معایب :

مزا یا ی این فرایند عبارتست از:

- بازدهی بالا
- مکانیسم ساده
- امکان بکارگیری در همه موقعیت های جوش (انتقال غوطه ای و ضربه ای)
- بکارگیری دامنه وسیع ضخامت مواد
- بکارگیری دائم الکترود

معایب این فرایند عبارتست از:

- ذوب ناقص (در انتقال غوطه ای)
- بکارگیری حد ناچیز مواد مصرفی
- محافظت در برابر کارهای سایت
- استفاده از وسایل پیچیده
- سطح بالای اوزون

بخش سیزدهم : جوشکاری قوسی غوطه ور یا زیر پودری (SAW)

جوشکاری قوسی غوطه ور یا زیر پودری (SAW) :

جوشکاری (**SAW**) ، در طول جنگ جهانی دوم در اتحادیه جماهیر شوروی به عنوان نوعی روش مقرون به صرفه اقتصادی برای جوشکاری قسمتهای ضخیم فولادی بوجود آمد.

تعاریف :

فرایند جوش (**SAW**): عبارتست از « جوشکاری قوسی غوطه ور » و اصطلاحی است که در آمریکا و انگلستان بکار می رود.

مقدمه:

این فرایند معمولا" مکانیزه از منبع برق با ولتاژ ثابت استفاده می کند ؛ این نوع ولتاژ نیز طول قوس را کنترل می نماید. شدت جریان یا آمپر آن از **100** تا **2000** آمپر و یا بیش از آن تغییر کرده ، که این عامل باعث افزایش چگالی یا غلظت جریان سیم جوش و همچنین نفوذ عمیق و رقیق شدگی آن به داخل فلز مبنا می گردد.
عمل قوس آن همانند فرایند (**MIG**) شروع شده که عموما" به کمک حرکت طولی نوک الکترود در سطح امتداد جوش در حوضچه صورت می گیرد ؛ هرچند امکان جرقه قوس با فرکانس بالا در برخی وسایل نیز وجود دارد. همانطوریکه از نام این فرایند پیداست ، قوس آن در زیر پوشش فلاکس که به شکل دانه های ریز بوده ، مخفی می شود.
سیستم تحویل فلاکس باید به شکل دستگاهی باشد که احتمالا" به سیستم بازیافت نیز مجهز است. از این نوع سیستم عموما" برای موادی با ضخامت بیش از **10** میلی متر استفاده می شود.
همچنین (**run-on & run-off tabs**) معمولا" بر روی درز های جوش شده ، بکار می رود ، زیرا چنین عاملی به قوس جوش امکان داده تا قبل از شروع عملیات بر درز واقعی جوش ، شرایط مطلوب خود را حفظ نماید. ورق **run-off** نیز امکان ایجاد شرایط مشابه ای را در پایان جوش فراهم می کند.
(**run-on & run-off tabs**) بعد از تکمیل درز جوش ، خارج می شوند و معمولا" قوس نیز با برخورد متحرک سیم جوش با ورق ، تشکیل می گردد. روکش فلاکس ، قوس را از هوای اطراف محافظت می کند و در گرمای قوسی که عناصر آلیاژی و مواد احیاء کننده را به فلز مذاب جوش اضافه کرده ، تجزیه می گردد. این فلاکس همچنین باعث ایجاد سرباره جوش شده که به مانند روش (**MMA**) ، از جوش محافظت می کند.
تصویر شماره یک و دو، سر مشعل ثابت فرایند جوش (**SAW**) و لوله ً در حال چرخشی را نمایش می دهد و در تصویر شماره سه نیز، دستگاه حمل یا تراکتور سیاری نشان داده شده که احتمالا" از آن برای جوشکاری ورق سطح یا کف استفاده می شود.

وسایل اصلی و مورد نیازفرایند جوش (SAW) عبارتند از:

- تابلوی کنترل جوش
- دستگاه حمل جوش
- قرقره سیم جوش
- فلاکس یا پودر دانه دانه
- دستگاه یکسو کننده (**rectifier**) مبدل
- تابلوی کنترل برق
- کابل برگشت برق
- محفظه فلاکس

بلافاصله با زدن سویئچ ، موارد زیر اتفاق می افتد:

- با خروج فلاکس ، لایه ای از آن در زیر سر مشعل تشکیل می گردد.
- تغذیه سیم جوش از قرقره شروع شده و تولید قوس می کند.
- کنتاکتور نیز عمل قطع و انتقال جریان برق به نوک اتصال را انجام می دهد.
- و در صورت مکانیزه بودن جوش ، دستگاه تراکتور سیار شروع به حرکت می کند.

کاربرد فرایند جوش زیرپودری در جوشکاری وضعیتی ، به دلیل ماهیت فلاکس دانه ای ، به وضعیت تخت (**flat position**) محدود شده است ؛ هرچند این نوع فرایند دائما" از پیشرفت و توسعه برخوردار بوده و در حال حاضر نیز امکان استفاده از آن در حد معینی از جوشکاری وضعیتی با بکارگیری وسیله ساده دیگری از قبیل (فلاکس بند) فراهم می باشد.

جوشکاری زیر پودری دارای کاربردهای زیادی است ، اما محدودیتهای مشخصی به غیر از قابلیت جوشکاری وضعیتی در آن مانند محدودیت جوش با نفوذ کامل از یک طرف بدون استفاده از میله یا نوار پشتیبان **backing bar / strip** وجود دارد. یکی از کاربردهای بسیار متداول این فرایند ، جوشکاری « لوله با جوش مارپیچی » است ؛ که در آن دستگاه ثابتی در داخل لوله برای جوشکاری درز داخلی و دستگاه دیگری نیز در بالای آن برای جوشکاری درز بیرونی ، کار گذاشته می شود. جوشکاری با نفوذ کامل با حرکت مارپیچی لوله صورت می گیرد. همچنین عوامل دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد ، شرایط چقرمگی یا سختی اتصال **joint** بوده ، بطوریکه انرژی ورودی قوس در آن نسبتا" بالاست.

ضربه قوس را نیز می توان به عنوان مسئلهٔ مهمی در نظر گرفت ؛ بطوریکه وقوع آن به علت میدان مغناطیسی ، متناسب با جریانی بوده که بکار می رود و در جریان های فرایند جوش (**SAW**) با قدرت بیش از **1500** آمپر غیر معمول است. این ضربه را می توان با بکارگیری سیستم های سیم تاندوم (پشت سر هم) به همراه سیم

اصلی برق مستقیم (+DC) و سیم روکش دار برق متناوبی که میدان مغناطیسی مخالفی تولید کرده ، کاهش داد.

همچنین استفاده از روشهای دو پاسه یا چند پاسه ، بر خواص فلز جوش و منطقه متأثر از جوش (HAZ) تأثیر می گذارد ؛ به عبارتی دیگر، روشهای چند پاسه ، رسوب های جوش قبلی و منطقه متأثر از جوش (HAZ) را به حالت عادی درآورده و خواص برتری را از خود بروز می دهند. از این رو امکان پیش بینی نتایج حاصل از فلز جوش (SAW) دشوار می باشد ؛ بطوریکه فلز جوش از سه عنصر تشکیل می گردد. هر کدام از مقدار عناصر ارائه شده در قسمت ذیل ، با هر گونه تغییر در پارامتر های جوش ، به طور قابل ملاحظه ای تغییر می یابد.

1. الکترود (25 درصد)
2. عناصر پودر یا فلاکس (15 درصد)
3. رقت یا رقیق شدگی (Dilution) (60 در صد)

نسبت این عناصر در رسوب نهایی جوش ، با توجه به پارامترهای معین جوشکاری تغییر می کند و هر گونه نوسان در« ولتاژ قوس » نیز ، « طول قوس » را تغییر داده و همینطور بر مقدار فلاکس ذوب شده و کل درصد عناصر آلیاژی جوش نهایی تأثیر می گذارد.

پارامترهای متغیر :

1. **سرعت تغذیهٔ سیم جوش (Wire Feed Speed):**

افزایش سرعت تغذیه سیم جوش ، جریان برق را در آن به طور خودکار زیاد می کند. غلظت یا چگالی جریان سیم جوش به سطح مقطع عرضی آن بستگی دارد. همچنین هرچه غلظت جریان زیاد باشد ، میزان نفوذ و ذوب بدست آمده نیز بیشتر است.

2. **ولتاژ :**

تنظیم ولتاژ، نوعی متغیر مهم در فرایند جوش (SAW) بوده که بر شکل گرده یا مهرهٔ جوش bead و نمایهٔ نفوذ تأثیر می گذارد و همچنین جزء متغیر اصلی روش جوشکاری (SAW) به شمار می رود. به علاوه آن ، طول قوس در زیر لایه فلاکس را کنترل می کند و هر گونه تغییر در طول قوس نیز اساسا" ترکیب فلز جوش را به علت عناصر کم یا زیاد فلاکس آلیاژ شده در فلز جوش ، تغییر می دهد.

3. **قسمت برآمدهٔ الکترود (Electrode Stick out) :**

این پارامتر متغیر ، با حفظ فاصله انبر جوش از سطح قطعه ، تنظیم می گردد. همچنین آن بر شدت جریان قوس تأثیر می گذارد ؛ بطوریکه جریان برق در حرارت مقاومتی سیم جوش ، از رأس نوک اتصال تا انتهای سیم جوش مصرف می شود. ابعاد این قسمت برآمده نیز باید در برگه مشخصات روش تأیید شده جوشکاری (WPS) مشخص گردد.

4. عمق فلاکس :

عمق فلاکس از طریق میزان تغذیه فلاکس و فاصله سر تغذیه تا سطح قطعه ، کنترل می شود. از این رو به منظور پوشش قوس ، عمق فلاکس باید به اندازه کافی زیاد باشد.

5. سرعت حرکت الکترود (Travel Speed) :

همانطورکه فرایند جوش (SAW) در بیشتر اوقات نوعی فرایند مکانیزه محسوب شده ، لذا سرعت حرکت الکترود را می توان به عنوان پارامتر متغیر مهمی در نظر گرفت که بر نفوذ و نمایه مقطعی گرده جوش تأثیر می گذارد.
همچنین سرعت حرکت صحیح الکترود برای اتصال (joint) ، باید در برگه مشخصات روش تأیید شده جوشکاری (WPS) مشخص گردد.

نکات مهم بازرسی و کنترل در هنگام جوشکاری با فرایند (SAW):

- **وسائل جوشکاری :**

برای اطمینان از وضعیت مناسب وسائل جوشکاری ، باید اقدام به کنترل چشمی آنها نمود.

- **مجموعه قطعات جوشکاری و سیستم تحویل فلاکس :**

مواردی را که باید کنترل نمود واز صحت آنها با روش تأیید شده جوشکاری (WPS) اطمینان حاصل کرد عبارتند از : قطر و مشخصه سیم جوش الکترود ، مشخصات و اندازه مشبک (mesh) فلاکس بکار برده شده ، قطر صحیح قرقره یا غلتک های سیستم محرک سیم جوش ، عملکرد سیستم تحویل فلاکس و ابعاد صحیح قسمت برآمدهٔ الکترود (electrode stick out).
همچنین در صورت استفاده از ورق های run-on & run-off ، باید از نصب و جوش موقت مناسب و صحیح آنها ، مطمئن شد.

- **جریان برق و قطبیت:**

در این مرحله باید از نوع درست جریان بکار برده شده اطمینان حاصل نمود و در صورت استفاده از برق مستقیم (DC) نیز باید از قطبیت وحد جریان برق طبق روش جوشکاری مطمئن شد. در جوشکاری چند سیمی ، احتمالا" از هر دو نوع جریان برق یعنی جریان مستقیم (+DC) سیم اصلی و جریان متناوب (AC) سیم روکش دار استفاده می شود ؛ که در این حالت زمان های جوشکاری اصلاح و اثرات « ضربه قوس » نیز خنثی می گردد. همچنین در صورت استفاده از فرایند چند سیمی ، زاویهٔ سیم روکش دار نیز باید تحت کنترل قرار گیرد. به علاوه ، همه این پارامترها می بایست در مشخصات روش تأیید شده جوشکاری WPS قید گردد.

- **سایر پارامترهای متغیر جوشکاری :**

پارامترهای رویه ای دیگر نیز احتمالا" شامل میله یا نوار پشتیبان (backing bar / strip) است ، بویژه هنگامی که جوشکاری از یک طرف صورت می گیرد. علاوه بر نکات بازرسی که قبلا" ذکر گردید ، برای اطمینان از حد قابل قبول ولتاژ قوس و سرعت حرکت الکترود ، باید اقدام به کنترل و نظارت آنها نمود. همه این پارامترها نیز باید در مشخصات روش تأیید شده جوشکاری WPS قید گردد.

- **کنترل ایمنی :**

موارد تحت کنترل عبارتست از : ظرفیت انتقال جریان برق ، چرخه کار وسایل جوشکاری ، عایق الکتریکی بی عیب و نقص و استفاده از سیستم جذب کار آمد برای جلوگیری از تماس بیش از حد با دود سمی .

عیوب خاص جوشکاری :

- **تخلخل (Porosity) ، که به دلیل کاربرد فلاکس جوش مرطوب و یا قطعه کثیف جوشکاری ایجاد می شود.**

- **ترک میانی (Centerline Cracks) ، که علت آن ناشی از وجود سولفور و رقیق شدگی بالا و یا جوش باریک و عمیق است ؛ یعنی (نسبت عرض و عمق آن کمتر از 3.2 باشد.)**

- **حفره های انقباضی (Shrinkage Cavities) ، که به علت عمق جوش با نسبت بیش از 3.2 بوجود می آید.**

- **ذوب ناقص (Lack of Fusion) ،** که عامل آن ناشی از اثرات ضربه قوس می باشد.

خلاصه ای از فرایند جوش (SAW) :

وسایل مورد نیاز این فرایند:

- ترانسفورماتور برق و دستگاه یکسو کننده (**rectifier**) ، (از نوع ولتاژ ثابت)
- کابل برق و کابل برگشت برق
- لوازم و تجهیزات سر مشعل (**torch**)
- فلاکس دانه دانه از نوع ، مشخصه و اندازه مشبک صحیح
- سیستم تحویل فلاکس
- سیستم اصلاح فلاکس
- سیم جوش الکترود با قطر و مشخصه صحیح
- لباسهای ایمنی مناسب و سیستم جذب کارآمد

پارامترها ونکات بازرسی :

- برق متناوب (**AC**) ، برق مستقیم (**DC**) و شدت جریا ن یا آمپر
- نوع و اندازه مشبک فلاکس
- سیم جوش الکترود و وضعیت آن
- سیستم تحویل و اصلاح فلاکس
- عایق کاری و سیستم جذب
- وضعیت و اندازهٔ نوک اتصال
- (**OCV**) و ولتاژ جوش
- وضعیت فلاکس (وضعیت فلاکس و غیره)
- مشخصات سیم جوش
- قسمت برآمدهٔ الکترود (**electrode stick out**)
- اتصالات
- سرعت حرکت الکترود

عیوب خاص جوشکاری :

- ذوب ناقص (Lack of Fusion)
- انجماد (Solidification) و یا ترک میانی (Centerline Cracks)
- حفره های انقباضی (Shrinkage Cavities)
- تخلخل (Porosity)

مزا یا و معایب :

مزا یا ی این فرایند عبارتست از:

- هزینهٔ پایین فلز جوش
- مکانیسم ساده
- سطح پایین تولید اوزون
- بازدهی بالا
- نور قوس غیر قابل روٴیت

معایب این فرایند عبارتست از:

- محدودیت در جوشکاری وضعیتی
- احتمال زیاد ضربه قوس (برق مستقیم DC +/-)
- مستعد بروز حفره های انقباضی
- کنترل دشوار نفوذ جوش
- ترکیبات متغیر (طول قوس)

بخش چهاردهم : الکترود یا مواد مصرفی جوشکاری (MMA , TIG , MIG , MAG , SAW)

مواد مصرفی جوشکاری :

عبارتست از همه چیزهایی که در تولید جوش مورد استفاده قرار می گیرد.
این فهرست مشتمل بر چیزهای زیادی از قبیل انرژی الکتریکی است ؛ هرچند مواد مصرفی معمولا" شامل چیزهایست که بوسیله فرایند جوش ویژه ای مصرف می شود.

این مواد مصرفی عبارتند از :

- الکترود
- سیم جوش
- فلاکس
- گاز

مواردی که باید درهنگام ورود مواد مصرفی جوش به سایت مورد بازرسی قرار گیرد ، عبارتند از :

1. اندازه
2. نوع (مشخصه)
3. وضعیت

مواد مصرفی جوشکاری (MMA) :

مواد مصرفی فرایند (MMA) از یک سیم جوش مغزی که معمولا" طول آن بین 350 و 450 و قطر آن نیز 2.5 تا 6 میلی متر بوده ، تشکیل می گردد. همچنین سیم جوشهایی با طول و قطر دیگر وجود دارد .
روکش خارجی این سیم جوش با فلاکس پوشیده شده است و جنس سیم جوش مغزی نیز عموما" از نوع فولاد کیفیت پایین (rimming steel) و جوش آن به شکل قطعه ریخته گری (casting) است . از این رو جوش را می توان با افزودن مواد پاک کننده و تصفیه به پوشش فلاکس ، تمیز نمود.
پوشش فلاکس نیز از عناصر و ترکیباتی تشکیل شده که در طی جوشکاری از عملکرد های متنوعی برخوردارند.

سیلیسیوم عمدتا" به عنوان یک مادهٔ احیاء کننده و « به شکل سیلیکات فرو (آهن دار) » اضافه شده که با تشکیل اکسید سیلیسیوم ، اکسیژن را از فلز جوش جدا می کند. همچنین افزایش منگنز تا حدود 1.6 درصد ، مقاومت و چقرمگی فولاد را بهبود می بخشد.

ترکیبات فلزی و غیر فلزی دیگری اضافه شده که از وظایف بیشتری برخوردارند ، برخی از آنها عبارتند از :

1. **کمک به احتراق قوس**
2. **بهبود ثبات قوس**
3. **تولید گاز محافظ برای محافظت پایه قوس**
4. **تمیزکاری و تصفیه فلز جوش در حال انجماد**
5. **تشکیل سرباره برای محافظت فلز جوش در حال انجماد**
6. **افزایش عناصر آلیاژی**
7. **کنترل مقدار هیدروژن فلز جوش**
8. **تشکیل حالت مخروطی شکل در انتهای الکترود برای هدایت قوس**

الکترود های (MMA / SMAW) با توجه به اجزای اصلی پوشش فلاکس خود طبقه بندی می شوند و هر کدام از آنها از تأثیر مهمی بر خواص جوش و سهولت کاربرد آن برخوردارند.

این طبقه بندی معمول عبارتست از:

گروه	جزء اصلی	گاز محافظ	کاربرد	AWS A 5.1
روتیلی	تیتانیا	دی اکسید کربن	چند منظوره	E 6013
روتیلی	ترکیبات کلسیم	دی اکسید کربن	کیفیت بالا	E 7018
سلولزی	سلولز	هیدروژن و اکسیژن	پاس ریشه لوله	E 6010

مشخصات خاص BS 639 عبارتست از: **E 51 33 B 160 2 0 H**

مرجع داده شده درفهرست ذیل عبارتست از : **A) B) C) D) E) F) G)**

الف) مقاومت کششی A) Tnsile Strength		
علامت	حداقل مقاومت تسلیم N بر میلی متر مربع	مقاومت کششی N بر میلی متر مربع
43	330	430 - 550
51	380	510 - 650

ب) چقرمگی B) Toughness		
دمای آزمایش	عدد دوم 47 J	عدد اول 28 J
مشخص نیست	0	0
+20	1	1
0	2	2
-20	3	3
-30	4	4
-40	5	5

ج) نوع روکش C) Covering Types	
B	اصلی
BB	کارآیی بالا و اصلی
C	سلولزی
O	اکسیداسیون
R	پوشش روتیلی متوسط
RR	پوشش روتیلی سنگین
S	انواع دیگر

د) کارایی الکترود D) Electrode Efficiency
درصد بازیافت تقریبا" تا 10 درصد (110 = >)

ه) موقعیت جوشکاری E) Welding Position	
علامت	موقعیت
1	همه موقعیتها
2	همه موقعیتها به غیر از وضعیت عمودی سرپایین
3	لب به لب تخت (flat butt) و گوشه ای (fillet) و گوشه ای HV
4	لب به لب تخت (flat butt) و گوشه ای (fillet)
5	وضعیت عمودی سرپایین و موقعیت های علامت (3)
9	هر موقعیتی که بوسیله موقعیتهای بالا طبقه بندی نشده است.

و) خواص الکتریکی		
علامت	قطب مستقیم (DC)	برق متناوب با حداقل OCV
0	قطبی که توصیه شده	توصیه نشده
1	- یا +	50 OCV
2	-	50 OCV
3	+	50 OCV
4	- یا +	70 OCV
5	-	70 OCV
6	+	70 OCV
7	- یا +	90 OCV
8	-	90 OCV
9	+	90 OCV

ز) کنترل هیدروژن G) Hydrogen Control
حرف H ، پتانسیل هیدروژن پایین را نشان می دهد.

مشخصات خاص BSEn 499 عبارتست از **E 46 3 1Ni B 5 4 H5**

مرجع داده شده درفهرست ذیل عبارتست از : **A) B) C) D) E) F) G)**

الف) مقاومت کششی A) Tensile Strength			
علامت	حداقل مقاومت تسلیم N بر میلی متر مربع	مقاومت کششی N بر میلی متر مربع	حداقل درصد E
35	355	440- 570	22
38	380	470- 600	20
42	420	500 - 640	20
46	460	530 - 680	20
50	500	560- 720	18

ب) میزان چقرمگی در حداقل انرژی ضربه ای (47 ژول)	
Z	نیازی ندارد.
A	+20
0	0
2	- 20
3	- 30
4	- 40
5	- 50
6	- 60

ج) عناصر آلیاژی : (ترکیب شیمیایی جوش)			
علامت	منگنز	مولیبدنوم	نیکل
هیچکدام	2.0	–	–
مولیبدنوم	1.4	3.0- 0.6	-
منگنز و مولیبدنوم	> 1.4- 2.0	3.0- 0.6	-
1 نیکل	1.4	-	1.6-1.2
2 نیکل	1.4	-	1.8-2.6
3 نیکل	1.4	-	>2.6-3.8
منگنز و 1 نیکل	> 1.4- 2.0	-	1.6-1.2
1 نیکل و مولیبدنوم	1.4	3.0- 0.6	1.6-1.2
z	سایر ترکیبات شیمیایی مقرر		

ه) موقعیت جوشکاري E) Welding Position	
علامت	موقعیت
1	همه موقعیتها
2	همه موقعیتها به غیر از وضعیت عمودی سرپایین
3	لب به لب تخت (flat butt) و گوشه ای (fillet) و گوشه ای HV
4	لب به لب تخت (flat butt) و گوشه ای (fillet)
5	وضعیت عمودی سرپایین و موقعیت های علامت (3)

د) نوع روکش D) Covering Types	
و) میزان هیدروژن فلز جوش	
علامت	حداکثر مقدار هیدروژن بر حسب میلی لیتر یا 100 میلی گرم بر متر
H5	5
H10	10
H15	15

د) نوع روکش C) Covering Types	
A	اسیدی
C	سلولزی
R	روتیلی
RR	پوشش روتیلی ضخیم
RC	روتیلی و سلولزی
RA	روتیلی و اسیدی
RB	روتیلی و اصلی
B	اصلی

ه) خواص الکتریکی و درصد بازدهی		
علامت	درصد بازدهی	نوع جریان برق
1	< 105	AC + DC
2	< 105	DC
3	> 105 < 125	AC + DC
4	> 105 < 125	DC
5	> 125 < 160	AC + DC
6	> 125 < 160	DC
7	> 160	AC + DC
8	> 160	DC

« مقاومت » ، « چقرمگی » و « پوشش » مشخصات **BS 639** به اضافهٔ هر « عنصر آلیاژی » سبک مشخصات **BS EN 499** (در صورت کاربرد) ، جزء عناصر « الزامی » و اطلاعاتی است که می بایست بر روی همه الکترودها نشان داده شود ؛ ضمن اینکه همه اطلاعات دیگرنیز معمولا" بر روی جعبه الکترود مشخص می گردد.

نکات بازرسی مواد مصرفی فرایند جوش (MMA) عبارتست از :

- اندازه ، شامل (قطر و طول سیم جوش)
- وضعیت ، شامل (ترک ، لب پریدگی و حرکت دورانی **concentricity**)
- نوع یا مشخصات ، از قبیل (دستورالعمل و مشخصات صحیح)

به منظور اطمینان از « روش صحیح پیش از استفادهٔ الکترودهای اصلی » ، باید اقدام به کنترل و نظارت آنها نمود ؛ به عبارتی دیگر قبل از تحویل الکترود به جوشکار در آون های گرم و سیار (**heated quivers**) ، باید در دمای مناسب (معمولا" بین **300** تا **350** درجه سانتیگراد) به مدت یک ساعت پخته و سپس در آون ثابت **holding oven** در دمای **150** درجه سانتیگراد نگهداشته شود. پوشش فلاکس اکثر الکترودها در صورت رطوبت هوا بلافاصله از بین می رود ؛ از این رو برای اطمینان از خشک بودن کافی و شرایط نگهداری همهٔ الکترودها در رطوبت کنترل شده ، باید نسبت به بازرسی وسایل نگهداری آنها دقت و توجه لازم صورت گیرد.
همچنین الکترودهایی که با خلأ بسته بندی شده (**vacuum packed**) ، احتمالا" در صورت حفظ خلأ آنها ، مستقیما" از داخل جعبه مورد استفاده قرار می گیرد. به علاوه ، دستور العمل کنترل هیدروژن نیز همواره بر روی جعبه الکترود داده شده و باید نسبت به آنها توجه نمود.
هزینه هر الکترود در مقایسه با هزینه هر تعمیر ، قابل ملاحظه است ، همینطور الکترودهای اصلی موجود در آون های گرم و سیار نیز بعد از شیفت روز کاری احتمالا" دوباره پخته شده ، ولی معمولا" نیز برای جلوگیری از خطرات ناشی از هیدروژن دور ریخته می شوند.

مواد مصرفی فرایند جوش (TIG) :

مواد مصرفی فرایند جوش (**TIG** یا **GTAW**) از سیم جوش و گاز تشکیل می گردد ، هرچند الکترودهای تنگستن نیز احتمال دارد در این گروه قرار گیرند. همچنین آن از نوع فرایند الکترود « غیر مصرفی » است ، که در این حالت ، الکترود نیز با فرسایش قوس ، سنگ زنی و یا روش جوشکاری نادرست به مصرف می رسد.
کیفیت سیم جوش باید بسیار بالا باشد ، زیرامعمولا" نمی توان هیچ عنصر اضافی پاک کننده به جوش افزود. سیم جوش در مرحله اصلی ریخته گری ، تا حد کیفی بسیار بالا تصفیه شده ، سپس عملیات نورد بر روی آن صورت گرفته و در نهایت نیز به اندازهٔ صحیح در می آید.
بعد از آن با فلز مس پوشیده و به اندازه های یک متری بریده می شود. سپس به منظور شناسایی صحیح ترکیب شیمیایی ، دستور العمل آن همراه با شمارهٔ ملیت تولید کننده بر روی سیم جوش زده شده و از روی جدول ترکیبات ، درجه آن انتخاب می گردد. سیم جوشها غالبا" برای جلوگیری از خوردگی ، با فلز مس پوشیده می شوند. به علاوه ، گاز های مورد استفاده در فرایند (**TIG** یا **GTAW**) از نوع خنثی هستند.
گاز خالص آرگن و هلیم عموما" برای جوشکاری (**TIG**) بکار می رود. این گازها به وسیله میعان یا گدازش ، از هوا استخراج می شوند. گاز آرگن نسبت به هلیم ، بیشتر در هوا موجود بوده و همینطور از هلیم ارزانتر است .
کیسه های عظیمی از گاز هلیم طبیعی در آمریکا یافت می شود و این گاز نیز بیشتر اوقات در این کشور بکار می رود. گاز هلیم قوس نفوذ کنندهٔ عمیق تری نسبت به گاز آرگن تولید می کند و از هوا غلیظ یا (سبک تر) است .
همچنین به منظور پوشش کافی منطقه جوش درهنگام جوشکاری سرازیر ، سرعت جریان آن باید **2** تا **3** برابر گاز آرگن باشد. از سویی دیگر ، گاز آرگن از هوا غلیظ یا (سنگین تر) بوده و همینطور گاز کمتری رابابد در موقعیت سرازیر بکار برد.
ما اغلب از ترکیبات گاز آرگن و هلیم برای متعادل ساختن خواص قوس و قابلیت پوشش محافظ گاز استفاده می کنیم. گازهای فرایند جوش (**TIG** یا **GTAW**) نیز باید از بالاترین درصد خلوص (**99.99** درصد) برخوردار باشند. به علاوه ، عمل تصفیه (**purging**) گاز و وضعیت شیلنگ های آن را باید به دقت مورد بازرسی قرار داد ، زیرا امکان آلودگی گاز محافظ از طریق شیلنگ خشک و پوسیده نیز وجود دارد.
الکترود تنگستن جوشکاری (**TIG**) عموما" با فن آوری (**powder forging**) تولید می شود. این نوع الکترود برای افزایش قابلیت رسانایی خود و انتشار الکترون ، از سایر اکسید ها تشکیل می گردد و بر خواص قوس نیز تأثیر می گذارد. اندازهٔ قطرهای موجود الکترود تنگستن بین **1.6** تا **10** میلی متر است. همچنین محافظ های سرامیکی آن احتمالا" جزء مواد مصرفی به شمار می رود ، زیرا به سادگی می شکنند.
اندازه و شکل این محافظ سرامیکی ، به نوع طراحی اتصال (**joint**) و قطر تنگستن بستگی دارد.

مواد مصرفی فرایند جوش (MIG و MAG) :

مواد مصرفی فرایند (**MIG** و **MAG**) از سیم جوش و گاز تشکیل می گردد. مشخصات سیم جوش بکار برده شده در جوشکاری (**TIG**) نیز برای فرایند (**MIG** و **MAG**) مورد استفاده قرار می گیرد ، زیرا به سطح کیفی یکسانی در این سیم جوش نیاز است.

هدف اصلی بکارگیری پوشش مسی سیم جوش (MIG و MAG) ، افزایش جذب جریان برق در نوک اتصال ، کاهش سطح ضریب اصطحکاک در liner و همچنین حفاظت در برابر اثرات خوردگی می باشد.
سیم جوش هایی بدون پوشش مسی وجود دارند ؛ بطوریکه اثرات ورقه مسی در liner منجر به مشکلات متعددی در تغذیه سیم جوش می گردد. پوشش این سیم جوش ها احتمالا" از ترکیب گرافیت بوده که در این صورت دوباره جذب جریان برق را افزایش و اصطحکاک در liner را کاهش می دهد.
سیم جوش هایی با اندازهٔ قطر 0.6 تا 1.6 میلی متر و همچنین سیم جوش های ریزتری در قرقره های یک کیلویی وجود دارد ؛ هرچند اکثر آنها به صورت استوانه های 15 کیلویی تولید می شود.

گازها و ترکیبات معمولی که در جوشکاری (MIG و MAG) بکار می رود ، عبارتند از :

نوع گاز	نوع فرایند جوش	مصارف	خصوصیات
آرگن خالص	MIG	قابل استفاده در جوشکاری افشانه ای و ضربه ای فولاد و آلیاژهای آلومینیومی	قوس بسیار پایدار نفوذ بد جرقه کم
دی اکسید کربن خالص	MAG	قابل استفاده در جوشکاری انتقال غوطه ای فولاد	نفوذ خوب قوس ناپایدار جرقه زیاد
گاز آرگن به اضافهٔ مقدار 5 تا 25 درصد گاز دی اکسید کربن	MAG	قابل استفاده در جوشکاری افشانه ای غوطه ای و یا ضربه ای فولاد	نفوذ خوب قوس پایدار جرقه کم
گاز آرگن به اضافهٔ مقدار 1 تا 2 درصد اکسیژن	MAG	قابل استفاده در جوشکاری افشانه ای یا غوطه ای فقط فولاد ضد زنگ سخت شده	استفاده از مادهٔ افزودنی فعال ، فولاد مذاب ضد زنگ را به حالت سیال درآورده و ترکیب پنجه جوش را بهبود می بخشد.

مواد مصرفی فرایند جوش (SAW) :

مواد مصرفی فرایند (SAW) از سیم جوش الکترود و فلاکس تشکیل می گردد. کیفیت این سیم جوش ها معمولا" بالاست و برای جوشکاری فولاد کربن و منگنزدار عموما" بر حسب مقدار زیاد کربن و منگنز و نیز سطح اکسیژن زدایی ، درجه بندی می شوند.
همچنین درجه بندی سیم جوش های الکترود مختص جوشکاری سایر فولاد های آلیاژی عموما" بوسیله ترکیب شیمیایی به روش مشابه با سیم جوش الکترود فرایند (MIG) و (TIG) صورت گرفته و فلاکس های جوشکاری

SAW با توجه به ساخت و ترکیب شیمیایی شان درجه بندی می شوند. از این رو ، دو نوع روش معمول و شناخته شدهً ساخت و تولید فلاکس تحت عنوان روش « ترکیب شده» (fused) و « متراکم » agglomerated وجود دارد.

فلاکس های ترکیب شده :

این نوع فلاکس ها با همدیگر ترکیب شده و در دمای بسیار بالایی که همه عناصرشان در هم آمیخته شده ، پخته می شوند و هنگامی که خنک شود ، جسم بدست آمده به صفحهً شیشه ای سیاه رنگی شباهت دارد که بعدآ به ذرات بسیار ریزی خرد می گردد.
این ذرات دوباره به تراشه های ریز شیشه سیاه رنگ شباهت دارند که جنس شان سخت ، صیقلی و به شکل نامنظم بوده و نمی توان آنها را با دست خرد کرد. همچنین امکان مخلوط ترکیبات آلیاژی معین از قبیل منگنز فرو (ferro) در این فلاکس وجود ندارد ، زیرا در دمای بالای فرایند ساخت از بین می روند. فلاکس های ترکیب شده از نوع « اسیدی » اند که تقریبا" در برابر شرایط سطحی نامناسب مقاومت کرده ، اما فلز جوشی با کیفیت نسبتا" پایین برطبق خواص مکانیکی مقاومت کششی و چقرمگی تولید می کنند.

فلاکس های متراکم :

از سویی دیگر، این نوع فلاکس ها شامل ترکیباتی اند که در دمای بسیار پایین تر پخته شده و عمدتا" بوسیلهً عوامل پیوند دهنده به شکل ذرات ریزی ، به همدیگر جذب می شوند. برخلاف فلاکس های ترکیب شده ، موارد شناسایی فلاکس های متراکم ساده تر است ؛ زیرا آنها تیره و عمدتا" به شکل دانه های گردی اند که به آسانی خرد شده و نیز می توان به آنها رنگ روشن زد ؛ بطوریکه عوامل رنگ آمیزی احتمالا" در مرحلهً ساخت و تولید ، به عنوان روش شناسایی به آنها اضافه می شود. همچنین این نوع فلاکس ها از نوع « اصلی » اند و فلز جوشی با کیفیت بسیار بالا بر طبق مقاومت و چقرمگی تولید کرده و در برابر شرایط سطحی نامناسب مقاومت بسیار کمتری می کنند.
به نظر می رسد که خواص فلز جوش ناشی از بکارگیری سیم جوش ، فلاکس و ترتیب جوش خاص می باشد ؛ از این رو درجه بندی (SAW) ، صرفا" به صورت عملکرد ترکیب سیم جوش ، فلاکس و ترتیب جوش ارائه می گردد.

استفاده از یک درجه بندی خاص ، مقادیر ی برای اندازه گیری موارد ذیل ارائه می دهد که عبارتند از :

1. **مقاومت کششی**
2. **چقرمگی (ژول در دما)**
3. **امتداد یا کشیدگی (بر حسب درصد)**
4. **دمای آزمایش چقرمگی**

استفادهً مجدد و ترکیب فلاکس بکار برده شده و جدید به نوع کار بستگی دارد و عموما" در استاندارد کاربردی مورد توجه قرار می گیرد. همهً مواد مصرفی فرایند (SAW) از قبیل (سیم جوش و فلاکس) را باید در فضای خشک نگهداری کرد.

همچنین قبل از استفادهً فلاکس های اصلی ، باید اقدام به پخت آنها نمود و از دستورالعمل های شرکت های تولید کننده دقیقا" پیروی کرد و به هیچ وجه نباید فلاکس های مختلف را با هم ترکیب نمود.

بخش پانزدهم : آزمایش غیر مخرب (Non-Destructive Testing)

آزمایش غیر مخرب :

ازآزمایش غیر مخرب یا (NDT) برای ارزیابی کیفیت یک قطعه بدون نیاز به تخریب آن ، استفاده می شود.
روشهای متعددی از آزمایش غیر مخرب موجود است که برخی از آنها به مهارت بسیار زیادی در کاربرد و تجزیه یا تحلیل نیاز دارد ؛ از این رو اپراتور های (NDT) نیز برای بکارگیری موفقیت آمیز آنها ، به آموزش و تجربه بالایی احتیاج دارند.

چهار روش اصلی ازآزمایش غیر مخرب یا (NDT) عبارتند از :

- آزمایش مایع نافذ (Penetrant Testing)
- آزمایش ذرات مغناطیسی (Magnetic Particle Testing)
- آزمایش فراصوتی (Ultrasonic Testing)
- آزمایش رادیو گرافی (Radiographic Testing)

همچنین بازرس جوش باید از دانش عملی ، کاربرد ، مزایا و معایب همه روشهای فوق برخوردار باشد.
اپراتورهای (NDT) و همینطور جوشکاران و بازرسان جوش به منظور اثبات و احراز میزان مهارت خود بر طبق دانش و تجربه شان ، مورد آزمایش واقع می شوند.
از این رو طرحهای آزمون متنوعی بدین منظور در سراسر دنیا وجود دارد. به عنوان مثال طرح آزمونCSWIP و PCN در انگلستان از جمله طرحهایی است که بطور گسترده مورد تأیید قرار گرفته است.
یک اپراتور خوب (NDT) از دانش و تجربه برخوردار است ؛ هرچند برخی از این روشهای مذکور بیشتر به این عوامل تا عوامل دیگر بستگی دارند.

آزمایش مایع نافذ (Penetrant Testing) :

روش اصلی این آزمایش عبارتست از :

1. **آماده سازی سطح :**

سطح قطعه را باید بطور کامل تمیز نمود.

2. **کاربرد ماده نافذ :**

این ماده باید به مدت معینی یر روی سطح قطعه قرار گیرد . (زمان تماس)

3. **پاک کردن ماده نافذ اضافی :**

وقتی که ماده نافذ برای مدت زمان معینی بر روی قطعه باقی ماند ، ماده اضافی آن را باید با استفاده از دستمال تمیز بدون پرز پاک نمود و در نهایت نیز آن را با حولهٔ کاغذی نرمی که با حلال مایعی مرطوب شده خشک نمود.

4. **کاربرد ماده ظهور (Developer) :**

مادهٔ نافذی که با اثر مویینگی (capillary action) به داخل ترک نفوذ کرده و از طریق اثر مویینگی معکوس به بیرون کشیده می شود.

5. **بازرسی**

6. **تمیز کاری نهایی و حفاظت**

روش کار آزمایش با استفاده از (پس زمینه رنگی و ماده حلال پاک شدنی) :

1. **استفاده از ماده نافذ**
2. **تمیزکاری و بکارگیری ماده ظهور**
3. **نتیجه آزمایش**

مزایای این روش عبارتست از :

- **نیاز به مهارت پایین اپراتور**
- **قابل استفاده در مواد فرو مغناطیسی**
- **هزینه پایین**
- **کاربرد ساده ، روش ارزان و تفسیر آسان**
- **قابلیت حمل و نقل**

معایب این روش عبارتست از :

- نیاز به آماده سازی دقیق سطح قطعه
- تنها قابل استفاده در درزها و عیوب سطحی
- غیر قابل استفاده در مواد خلل و فرج دار یا متخلخل (**porous materials**)
- عدم ثبت دائم نتایج
- دارای مواد شیمیایی به طور بالقوه خطرناک

آزمایش ذرات مغناطیسی (Magnetic Particle Testing) :

روش اصلی این آزمایش عبارتست از :

1. روش آزمایش شناسایی عیوب سطحی و غیر سطحی در مواد فرو مغناطیسی
2. میدان مغناطیسی القا شده در قطعه با استفاده از (آهنربای دائمی ، آهنربای الکتریکی **Electromagnet** یا (**Y6 Yoke**) و جریان القایی شامل (**Prods**)
3. اختلال جریان مغناطیسی از طریق عیوب جوش
4. آشکار شدن عیوب با استفاده از ذرات مغناطیسی (که در این حالت احتمالا" به رنگ پس زمینه نیاز می باشد.)

روش کار آزمایش :

1. استفاده از رنگ پس زمینه
2. استفاده از آهنربا و محلول اکسید آهن
3. نتیجه آزمایش

مزایای این روش عبارتست از :

- عمل پیش تمیزکاری در این روش به حساسیت روش ماده نافذ نیست.
- امکان شناسایی برخی عیوب زیر سطحی
- هزینه نسبتا" پایین
- استفاده از وسایل ساده
- امکان بازرسی عیوب در زیر لایه های نازک رنگ

معایب این روش عبارتست از :

- تنها قابل استفاده در مواد فرو مغناطیسی

- نیاز به عمل مغناطیس زدایی
- ایجاد جرقه جوش با استفاده از روش القایی
- عدم ثبت دائم نتایج
- نیاز به آزمایش قطعه از دو جهت متفاوت

آزمایش فراصوتی (Ultrasonic Testing) :

روش اصلی این آزمایش عبارتست از :

1. قطعه را باید به طور کامل تمیز کرد ؛ به عبارتی دیگر برای دستیابی به سطح صاف قطعه ، باید اقدام به سنگ زنی و تمیزکاری جرقه های جوش و حفره های آن نمود.
2. سپس از مادهٔ واسط (couplant) از قبیل (آب ، روغن ، گریس و غیره) برای سطح آزمایش استفاده می شود. (این ماده به امواج مافوق صوت امکان داده تا از طریق کاوشگر (probe) ، به داخل قطعه تحت آزمایش انتقال یابد.)
3. از کاوشگر هایی با زوایای مختلف برای آزمایش منطقه ریشه جوش و رویه های ذوب استفاده می شود. (امواج مافوق صوت باید به رویه های ذوب و یا هر گونه ناپیوستگی (discontinuity) موجود در جوش با زاویه 90 درجه برخورد کند تا به بهترین انعکاس امواج منتهی به کاوشگر جهت نمایش بر روی لولهٔ اشعه کاتدی دست یابند.)

روش کار آزمایش :

1. استفاده از مادهٔ واسط (couplant)
2. استفاده از امواج صوت
3. نتیجه آزمایش

مزایای این روش عبارتست از :

- شناسایی آسان ذوب ناقص دیواره جانبی
- قابل استفاده در آلیاژهای آهنی و غیر آهنی
- عدم نیاز به شرایط اصلی ایمنی
- قابل حمل و نقل با نتایج آنی آزمایش
- قابلیت شناسایی عیوب زیر سطحی با عمق و ابعاد آنها

معایب این روش عبارتست از :

- **نیاز به مهارت بالای اپراتور**
- **تفسیر دشوار نتایج**
- **نیاز دستگاه به کالیبراسیون**
- **عدم ثبت دائم نتایج (مگر اینکه دستگاه در حالت خودکار باشد.)**
- **عدم بکارگیری ساده آن در قطعاتی با ابعاد هندسی پیچیده**

آزمایش رادیو گرافی (Radiographic Testing) :

روش اصلی این آزمایش عبارتست از :

1. **در این روش ، شیء مورد آزمایش تحت اشعه ایکس یا گاما قرار می گیرد.**
2. **انتقال اشعه در درجات مختلف و با توجه به دانسیته (density) موادی که از آن عبور کرده ، صورت می گیرد.**
3. **تغییر پذیری انتقال شناسایی شده بوسیله فیلم عکاسی و یا صفحات فلورسنت (فیلم رادیوگرافی در بین صفحات سربی و سپس در درون کاست فیلم گذاشته می شود.)**
4. **قرار دادن « شاخص کیفیت تصویر » (IQI) بر روی قطعه جهت ثبت حساسیت فیلم**

روش کار آزمایش :

- **گذاشتن فیلم در کاست**
- **قرار دادن آن در معرض اشعه**
- **ظهور فیلم**

مزایای این روش عبارتست از :

- **امکان ثبت دائم نتایج**
- **امکان آزمایش همه مواد**
- **امکان شناسایی عیوب داخلی قطعه**
- **امکان ارائهٔ تصویر مستقیمی از عیوب**
- **امکان ارائهٔ تصویر واقعی به وسیله نمایشگر فلورسنت**

معایب این روش عبارتست از :

- نیاز به مهارت تفسیر بالا
- نیاز به دسترسی در هر دو طرف قطعه
- حساسیت در برابر موقعیت قرار گیری عیب (که در این حالت امکان عدم شناسایی عیوب دو وجهی (Planar) نیز وجود دارد.)
- به خطر افتادن سلامت
- هزینه بالا

خلاصه ای از آزمایش غیر مخرب (Non-Destructive Testing) :

روش مورد استفاده	کاربرد	مزایا	معایب
آزمایش مایع نافذ	قابل استفاده در جوش و ریخته گری تنها قابل استفاده در آزمایش های سطحی امکان آزمایش همه مواد با دو روش رنگ پس زمینه و فلورسنت	نیاز به مهارت پایین اپراتور	نیاز به تمیزکاری زیاد سطح قطعه
		امکان آزمایش سطوح غیر متخلخل (nonporous) مواد	تنها قابل استفاده در عیوب سطحی
		هزینه پایین	آلودگی زیاد
		استفاده از وسایل ساده	عدم ثبت دائم نتایج
آزمایش ذرات مغناطیسی	قابل استفاده در جوش و ریخته گری تنها قابل استفاده در فلزات آهنی بکارگیری روش پودر خشک و مرطوب ، آهنربای الکتریکی یا (Yoke) و جریان القایی و مستقیم (AC / DC)	نیاز به مهارت پایین اپراتور	تنها قابل استفاده در مواد فرو مغناطیسی
		امکان شناسایی عیوب سطحی و زیر سطحی	نیاز به عمل مغناطیس زدایی بعد از هر بار استفاده
		هزینه نسبتا" پایین	ایجاد جرقه جوش با استفاده از روش جریان القایی
		استفاده از وسایل ساده	عدم ثبت دائم نتایج
آزمایش فراصوتی	قابل استفاده در جوش و ریخته گری امکان دسترسی به قطعه از یک طرف روشی نامطلوب برای آلیاژهایی با ساختار دانه ای درشت مانند فولاد ضد زنگ سخت شده	شناسایی آسان ذوب ناقص دیواره جانبی	نیاز به سطح مهارت بالای اپراتور
		امکان آزمایش مواد مختلف	تفسیر دشوار نتایج
		عدم نیاز به شرایط ایمنی	نیاز دستگاه به کالیبراسیون
		قابل حمل و نقل با نتایج آنی آزمایش	عدم ثبت دائم نتایج

آزمایش رادیو گرافی	**قابل استفاده در جوش و ریخته گری**	**امکان ثبت دائم نتایج**	**نیاز به سطح مهارت بالای اپراتور**
	نیاز به دسترسی از هر دو طرف قطعه	**امکان آزمایش مواد مختلف**	**تفسیر دشوار نتایج**
	امکان آزمایش همه مواد با	**امکان ارزیابی نفوذ در لوله هایی با قطر کوچک**	**عدم شناسایی ذوب ناقص دیواره جانبی**
	استفاده از اشعه ایکس و گاما	**امکان حمل اشعه گاما**	**نیاز به ایمنی بالا**

برای شناسایی عیوب دووجهی (Planar) از قبیل ذوب ناقص دیواره جانبی ، ترک و غیره ، موقعیت قرار گیری پرتو اشعه باید در مسیر موقعیت قرار گیری عیب بطوریکه در شکل نشان داده شده ، باشد. از این رو در صورتی که منبع اشعه در مرکز جوش باشد ، در نتیجه هیچ علامتی احتمالا" از ذوب ناقص دیواره جانبی در فیلم رادیوگرافی آشکار نمی گردد.

بخش شانزدهم : تعمیر جوش

تعمیر جوش :

تعمیر جوش به دو قسمت ویژه تقسیم می شود ، که عبارتست از :

- تعمیر جوش تولید شده (**Production**)
- تعمیر جوش تحت جریان سیال (**In-service**)

تعمیر جوش تولید شده (Production) :

این نوع تعمیر معمولا" توسط بازرس جوش و یا اپراتور (NDT) در طی مرحله بازرسی و یا ارزیابی گزارشها طبق دستورالعمل (Code) و یا استاندارد کاربردی ، شناسایی می گردد. نوعی عیب خاص در شکل نشان داده شده است.

قبل از شروع تعمیر جوش ، باید اقدام به انجام مواردی به شرح ذیل نمود :

- **واحد تضمین کیفیت (Q/A) به منظور کشف علت احتمالی وقوع عیب از قبیل (مواد ، فرایند جوش و میزان مهارت) ، احتمالا" باید به تجزیه و تحلیل عیب بپردازد.**
- **برای پی بردن به شدت عیب ، باید اقدام به ارزیابی دقیقی که احتمالا" شامل بکارگیری روش سطحی و غیر سطحی آزمایش غیر مخرب بوده ، نمود.**
- **در صورت تأیید عیب جوش ، محل حفر (excavation site) آن را باید به طور واضح شناسایی و علامتگذاری کرد.**
- **روش حفر جوش باید انجام شده و به تأیید برسد.**
- **به منظور تأیید موقعیت عیب جوش ، باید اقدام به استفاده از روشهای آزمایش غیر مخرب نمود.**
- **از روشهای آزمایش غیر مخرب نیز برای اثبات رفع کامل عیب استفاده می شود.**
- **پیش نویس روش تعمیر جوش باید تهیه و مورد تأیید واقع شود.**
- **تأیید جوشکار طبق روش تأیید شدهٔ تعمیر جوش (که معمولا" در مرحله تأیید روش تعمیرصورت می گیرد.)**
- **روش نهایی (NDT) را باید شناسایی و برای اطمینان از انجام موفقیت آمیز تعمیر جوش ، اقدام به تهیهٔ روش آن نمود.**
- **انجام هر گونه روش بعد از تعمیر مانند عمل تنش زدایی (PWHT)**

تجزیه و تحلیل :

هنگامی که عیبی در منطقه متأثر از جوش (HAZ) ایجاد شده ، عامل آن احتمالا" ناشی از نوع مواد ویا روش جوشکاری است ؛ هر چند در صورت پیروی از روش تأیید شدهٔ جوش ، مهارت جوشکار را نمی توان مورد موأخذه و سرزنش قرار داد.

ارزشیابی :

در این مورد خاص ، هنگامی که عیب جوش بر سطح فلز آشکار است ، از آزمایش ماده نافذ برای اندازه گیری عمق و طول آن استفاده می شود.

حفر عیب (Excavation) :

در صورت وجود ترک ، به منظور جلوگیری از گسترش بیش از حد در طول حفر آن بویژه در صورتی که از روش حرارتی حفر عیب استفاده شود ، احتمالا" باید اقدام به سوراخ نمودن انتهای ترک نمود.
روش حفر عیب نیز احتمالا" نیاز به تأیید دارد بویژه اگر بر ساختار متالوژیکی قطعه تأثیر بگذارد ، مانند (arc gouging).

تأیید حفر عیب :

در این مرحله به منظور تأیید انجام کامل حفر عیب از منطقه جوش ، از روش (NDT) استفاده می گردد.

جوشکاری مجدد محل حفر عیب :

قبل از جوشکاری مجدد محل حفر عیب ، پیش نویس روش دقیق جوش را باید آماده کرد و به تأیید رساند. این عمل اغلب بوسیله جوشکار مورد تایید و واجد شرایط محل عیب صورت می گیرد.

تأیید جوش انجام شدهٔ عیب با روش (NDT) :

بعد از جوشکاری محل حفر عیب و به منظور اطمینان از عدم وجود عیوب دیگر ، با استفاده از روش (NDT) ، محل جوش باید تحت آزمایش مجدد قرار گیرد. به علاوه این احتمال نیز وجود دارد تا بعد از انجام هر گونه عمل تنش زدایی اضافی ، از روش (NDT) استفاده شود.

تعمیر جوش تحت جریان سیال (In-service) :

اکثر عیوب جوش in- service از نوع بسیار پیچیده اند ، زیرا قطعه جوش به احتمال خیلی زیاد در موقعیت و وضعیت جوشکاری متفاوتی نسبت به آن چیزی که در مرحله تولید جوش production بوده ، قرار دارد و احتمالا" نیز با سیالات سمی و قابل احتراق در تماس است ؛ از این رو قبل از انجام هر عملی به مجوز کار نیاز می باشد. روش تعمیر جوش به نظر می رسد که به دلیل تغییراتی در این عناصر ، با روش اصلی تولید جوش production تفاوت زیادی دارد.

همچنین عوامل دیگری نیز وجود داشته که احتمالا" باید مورد توجه قرار گیرد ، از قبیل اثرات گرما بر نواحی اطراف قطعه مانند عناصر الکتریکی و یا موادی که احتمالا" از طریق روش تعمیر آسیب دیده اند و یا مشکل انجام هر گونه عمل تنش زدایی لازم و محدودیت احتمالی دسترسی به محل عیبی که باید مورد تعمیرواقع شود. به علاوه در سازه های بزرگ نیز این احتمال وجود دارد که تعمیر عیب جوش در خود محل و بدون تعطیلی هیچ فعالیتی صورت گیرد که در این حالت عناصر دیگری احتمالا" باید مورد توجه واقع شود.

از این رو در تعمیر عیوب جوش in- service باید به بررسی این گونه عوامل و بسیاری از عوامل دیگری پرداخت که عموما" نسبت به تعمیر عیوب جوش production ، مورد توجه دقیق تری قرار می گیرند.

بخش هفدهم : تنش پسما ند (Residual Stress) واعوجاج (Distortion)

تنش پسماند و اعوجاج :

منظور از تنش پسماند ، تنش های باقیمانده در درون مواد بعد از انجام یک فرایند است. این فرایند شامل جوشکاری بوده و تنش های ناشی از حرارت جوش نیز باعث انبساط و انقباض موضعی می گردد. در صورتی که قطعه فلزی در دمای یکنواختی حرارت یابد و سپس نیز تحت همان شرایط خنک شود ، در نتیجه هیچ گونه تنشی در قطعه باقی نخواهد ماند و انبساط و انقباض در آن نیز یکسان و یکنواخت می باشد.
جوشکاری باعث ایجاد شرایط حرارت و خنکی غیر یکنواختی شده و با این واقعیت که با حرکت جوشکار در امتداد درز جوش شده ، از جابجایی ماده به طور فزاینده جلوگیری به عمل می آید ، با همدیگر ترکیب می گردند. تنش هایی که بعد از جوشکاری در سازه باقی مانده ، « تنش های پسماند » نام دارند. این تنش ها نیز احتمالا" برای ایجاد عیب یا نقص زود هنگام ، با تنش های کاربردی ترکیب شده و بعد از جوشکاری نیز از تعداد آنها بوسیله عملیات تنش زدایی کاسته می شود.
تنش هایی که به دلیل فشار های انقباضی و انبساطی موضعی بوجود آمده ، به عنوان الگوی بسیار پیچیده ای در ساختار جوشکاری به شمار می روند ؛ هرچند می توان بر این باور بود که آنها از سه جهت اصلی تشکیل می گردند.
یکی از اثرات تنش های جوش ، جابجایی ماده از شکل اصلی خود برای ایجاد اعوجاج (distortion) است ؛ به عبارتی دیگر منظور از اعوجاج ، حرکت یا جابجایی ماده در یک محل به دلیل فرایند انقباض یا انبساط بوده که باعث تغییر شکل قطعه می شود.
همچنین میزان اعوجاج ایجاد شده به توانایی مقاومت ماده در برابر تغییر شکل و تنش ها بستگی دارد.
تغییر شکل ماده باعث اعوجاج آن می شود. اعوجاج به مانند الگوی کلی تنش های پسماند از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردارست ؛ هرچند سه جهت اصلی آن را می توان به شرح ذیل نشان داد :

- اعوجاج طولی
- اعوجاج عرضی
- اعوجاج زاویه ای

حجم فلز جوش در یک اتصال ، بر میزان انقباض و انبساط موضعی تأثیر می گذارد ؛ از این رو هرچه حجم فلز جوش زیاد باشد ، میزان کلی اعوجاج نیز بیشتر است.
همچنین اثر انقباض و انبساطی که درطول جوشکاری باعث اعوجاج شده را می توان از لحاظ گرافیکی زمانی مشاهده نمود که عمل جوشکاری دو ورق آزاد با هم از طریق گاز صورت می گیرد ؛ بطوریکه این ورقها در ابتدا جدا از هم حر کت کرده و سپس با همدیگر به عقب بر می گردند و حرکت دوبارهٔ آنها جدا از هم بوده و در آخر نیز

بار دیگر مسیر خود را تغییر داده و با هم حرکت می کنند. این اثر ناشی از چیزی تحت عنوان « برگشت تنش » (reversal of stresses) ایجاد شده که به موجب آن عمل انقباض و انبساط با خنک شدن جوش صورت می گیرد و هر عنصر جوش نیز به صورت « نقطهٔ اتکایی » (fulcrum) برای عناصر زیر در حالت انقباض عمل می کند. با پیشرفت تدریجی آن در پایین جوش ، جوش در موقعیت نهایی به حالت ثابت درآمده و از حرکت بیش از حد آن بوسیله طول جوش قبلی ، همانطورکه در شکل نشان داده شده ، جلوگیری به عمل می آید.

- در شکل شمارهٔ یک ، ورقها به صورت جدا از هم نشان داده شده است.
- در شکل شمارهٔ دو ، جوشکاری با عمل انقباض آغاز می گردد.
- شکل شمارهٔ سه ، اثر « نقطهٔ اتکاء » رانشان می دهد.
- شکل شمارهٔ چهار ، عکس العمل « نقطهٔ اتکاء » را نمایش می دهد.
- و در شکل شمارهٔ پنج نیز ، موقعیت نهایی این فرایند نشان داده شده است.

از این رو برای خنثی نمودن اثرات انبساط ، انقباض و اعوجاج ، یکی از روشهای ذیل را می توان انجام داد :

جابجا سازی (Offsetting) :

offsetting ، عبارتست از متعادل ساختن ورقها با زاویهٔ از پیش تعیین شده به منظور امکان ایجاد اعوجاج با موقعیت نهایی جوش می باشد. نمونه هایی از این روش در شکل ذیل نشان داده شده است.
میزان **offsetting** لازم نیز عموما" به عنوان نوعی عمل آزمون و خطا به شمار می رود ، اما در صورت وجود اجزای بسیار زیاد ، نیز می توان آن را به عنوان روش مقرون به صرفه ای برای کنترل اعوجاج به حساب آورد.

جوشکاری (Back-step و Balance) :

در این دو روش کنترل اعوجاج ، از روش جوش ویژه و یا ترتیب جوشکاری (welding sequence) برای کنترل اثرات اعوجاج استفاده می شود. نمونه هایی از آنها در شکل نشان داده شده است.

با گیره بستن (Clamping) ، سوار کردن قطعه (Jigging) و جوش موقت (Tacking) :

در روش (clamping) و (jigging) ، با استفاده از **jig** و گیره از حرکت و جابجایی موادی که باید جوش داده شود ، جلوگیری می شود. مزیت بکارگیری **jig** ، اینست که عناصر موجود در یک سازه را می توان به دقت در موقعیتی که باید جوش داده شود ، مشخص نمود. از این رو ، آن روشی است که از لحاظ زمانی مقرون به صرفه بوده و برای ساخت محصولاتی با حجم بالا مورد استفاده قرار می گیرد. در اکثر شرایط نیز، موقعیت اجزا به طور صحیح بوسیله **jig** مشخص و سپس برای جلوگیری از حرکت و جابجایی آن ، جوش موقت زده می شود. بعد از آن هم **jig** ها را برای امکان دسترسی کامل به جوشکاری قطعه بر می دارند. استفاده از گیره ، **jig** ، **strong back** ، قطعات پل زده شده (**bridging pieces**) و جوش موقت از حرکت مواد به شدت جلوگیری کرده و

همچنین از اعوجاج قطعه می کاهد ؛ هر چند این عامل نیز حداکثر میزان تنش پسماند را افزایش می دهد. تصاویر برخی از این روشها نشان داده شده است.

خلاصه ای از تنش پسماند و اعوجاج :

1. **تنش های پسماند در فشار ارتجاعی ناشی از انقباض و انبساط موضعی در منطقه جوش محبوس می شوند.**
2. **تنش های پسماند را باید بعد از عمل جوشکاری از سازه ها دور کرد ، زیرا آنها احتمالا" باعث ایجاد « ترک خوردگی بر اثر تنش » (Stress Corrosion Cracking) شده و با تنش های کاربردی نیز ترکیب می گردند. همچنین احتمال دارد که آنها در هنگام تراشکاری قطعه جوش شده ، بر ثبات ابعادی آن (Dimensional Stability) تأثیر گذارند.**
3. **میزان انقباض نیز بوسیله عواملی از قبیل (حجم فلز جوش اتصال ، ضخامت ، حرارت ورودی ، طرح اتصال و ضریب رسانایی) کنترل می شود.**
4. **از روش (offsetting) ، برای نهایی کردن موقعیت اتصال استفاده می شود.**
5. **در صورتی که با استفاده از جوش موقت (tacking) ، گیره (clamping) و یا (jigging) از حرکت و جابجایی ورق و لوله ها جلوگیری شود ، در نتیجه میزان تنش پسماند موجود نیز زیادتر می شود.**
6. **حرکت و جابجایی ناشی از تنش های مربوط به جوش ، اعوجاج نامیده می شود.**
7. **جهت تنش های انقباضی و اعوجاج به مانند مقدار و نوع اعوجاج نهایی ، از پیچیدگی بسیار بالایی برخوردار است ؛ هرچند سه نوع جهت وجود دارد که عبارتند از:**
   - **جهت طولی**
   - **جهت عرضی**
   - **جهت عرضی کوتاه**
8. **درصد بالایی از تنش های پسماند را می توان با عمل تنش زدایی از بین برد و از امواج فرا صوتی نیز برای تنش زدایی سازه ها استفاده می شود.**
9. **عمل چکش کاری (peening) رویه جوش (با استفاده از تفنگ سوزنی بادی) تنها به پخش و تقسیم مجدد تنش های پسماند پرداخته و رویه جوش را به حالت متراکم در می آورد.**

بخش هیجدهم : عملیات تنش زدایی فولاد

عملیات تنش زدایی فولاد:

همه عملیات های تنش زدایی عمدتا" از چرخهٔ سه عنصر تشکیل شده ، که عبارتند از :

- گرم کردن (**Heating**)
- ثابت نگهداشتن دما (**Holding** یا **Soaking**)
- خنک شدن (**Cooling**)

از عملیات تنش زدایی برای تغییر خواص فلز و به عنوان روش کنترل تشکیل سازه ها و یا نیروهای انقباضی و انبساطی در طول جوشکاری استفاده می شود.
در تنش زدایی فلزات و آلیاژها ، عناصر متعددی وجود داشته که از اهمیت زیادی برخوردارند و بازرس جوش می بایست به کنترل و نظارت آنها بپردازد. این عناصر عبارتند از : سرعت بالا رفتن گرما و هرنقطهٔ ثابت در چرخهٔ گرما . زمان ثابت نگهداشتن گرما عموما" در مدت یک ساعت برای هر 25 میلی متر ضخامت قطعه محاسبه می شود ، اما این مدت زمان نیز می تواند تغییر کند. عملیاتهای تنش زدایی که در این بخش به طور مختصر مورد بررسی قرار گرفته ، عبارتند از :

1. گدازش (**Annealing**)
2. سخت شدگی (**Hardening**)
3. تنش زدایی (**Stress Relieving**)
4. به حالت عادی درآوردن (**Normalising**)
5. باز پخت (**Tempering**)
6. پیش گرمایش (**Preheating**)

روشها و منابعی که احتمالا" برای بکارگیری گرما در یک سازه مورد استفاده قرار می گیرد ، عبارتند از :

- دستگاه شعله سوز یا گرمکن (گاز پروپان و غیره) برای عمل پیش گرمایش
- روکش حرارتی مقاومت الکتریکی برای عمل پیش گرمایش و تنش زدایی
- کوره (**furnace**) برای گدازش (**annealing**) ، به حالت عادی در آوردن (**normalising**) ، سخت شدگی (**hardening**) و بازپخت (**tempering**)

ابزارهایی که بازرس از آنها احتمالا" برای اندازه گیری دمای کوره و مواد گرم شده استفاده می کند ، عبارتند از :

- گچ نشان دهندهٔ حرارت یا گچ حرارتی (tempil sticks) برای عمل پیش گرمایش و تنش زدایی
- دستگاه ترموکوپل برای همه عملیات های تنش زدایی
- دستگاه آذر سنج (pyrometer) از نوع (اپتیکی ، مقاومتی و تشعشعی) برای عملیات تنش زدایی کوره
- دستگاه (segar cones) برای عملیات تنش زدایی کوره

همچنین ثبت عملیات تنش زدایی ، به عنوان بخش مهمی از اسناد و مدارک کنترل کیفیت به شمار می رود.

1. **گدازش (Annealing) :**

این عمل نوعی فرایند تنش زدایی است که احتمالا" بر روی فولاد و اکثر فلزاتی که بوسیله عامل تسریع کنندهٔ (precipitant) آلیاژی برای بازیابی حالت « نرمی » و « شکل پذیری » خود سخت و یا محکم شده ، اعمال می گردد. همچنین در حالت دوم عموما" به گدازش محلول اشاره می شود. در فلزات سخت شده غیرآهنی ، از گدازش برای تشکیل مجدد دانه های بلور سخت شده ، استفاده می گردد. هنگام گدازش اکثر آلیاژهای سخت شده غیرآهنی ، سرعت خنک شدن فلز همواره حساس نبوده و عمل خنک شدن نیز احتمالا" بدون تشکیل هر گونه سازهٔ سخت شده ای ، به سرعت صورت می گیرد.

عمل گدازش در فولاد به دو طریق انجام شده که عبارتند از:

- گدازش کامل (از قبیل گدازش محلول)
- گدازش غیر حساس

در عمل « گدازش کامل » فولاد ، این فلز تا بالای UCT (دمای فوق حساس) گرم و خیلی آهسته نیز در کوره خنک می شود. همچنین خنک شدن آهسته ، باعث رشد دانه ها شده و اقدام به تولید ساختارنرم و شکل پذیر می نماید. هیچ دمایی که بتوان از آن ها برای گدازش فولاد استفاده کرد ، وجود ندارد ، زیرا چنین عاملی به طور کامل به حجم کربن فولاد بستگی دارد.
حد UCT (دمای فوق حساس) فولاد کربن غیر آلیاژی (plain carbon steels) ، بین 910 – 723 درجه سانتیگراد است ؛ هرچند این میزان دما بیشتر برای محاسبه هر گونه بی دقتی در دستگاه سنجش دما ، تا 50 درجه سانتیگراد بالای UCT (دمای فوق حساس) در نظر گرفته می شود. فولاد کربن غیرآلیاژی با حجم کربنی به میزان 0.2 درصد ، دارای دمای گدازشی در منطقه 950 – 850 درجه سانتیگراد می باشد.
« گدازش محلول » برخی آلیاژهای فلزی نیز احتمالا" به سرعت خنک شدن سریع نیاز دارند.
همچنین در « گدازش غیر حساس » ، فولاد کاملا" پایین تر از دمای کمتر حساس ، یعنی (723) درجه سانتیگراد گرم می شود. این نوع گدازش با همان نوعی که در فلزات غیر آهنی بکار رفته ،

شباهت دارد ، زیرا آن تنها شامل دانه های فریتی تغییر شکل یافته ای است که دوباره در این دمای پایین تشکیل می گردند.
منظور از اصطلاح « گدازش » ، عموما" تبدیل فلز و آلیاژ به « وضعیت طبیعی بسیار نرم و شکل پذیر» خود است . این اصصلاح در فولاد نیز به معنای کاهش چقرمگی (toughness) می باشد ؛ زیرا ساختارهای دانه درشت حاصل از این عمل ، مقاومت ضربه ای بسیار پایینی از خود نشان می دهند.

2. به حالت عادی درآوردن (Normalising) :

این روش ، نوعی فرایند تنش زدایی است که عموما" برای فولاد بکار می رود. در این حالت ، دما افزایش یافته و دمای ثابت آن احتمالا" به میزان دمای ثابت عمل گدازش می باشد ؛ هرچند فولاد بعد از مدت زمان دمای ثابت نیز ازکوره خارج شده تا در هوای یکنواخت خنک شود.
همچنین این فرایند ، ساختار بسیار ریزتری نسبت به عمل گدازش تولید می کند و گرچه ازمیزان نرمی و شکل پذیری آن کاسته شده ، اما برمقاومت و سختی آن افزوده می شود. از همه مهمتر اینکه ، حالت « چقرمگی » و یا مقاومت ضربه ای در آن نیز به طور کامل بهبود می یابد.

3. سخت شدگی (Hardening) :

در روش سخت شدن حرارتی فولاد ، آلیاژ را باید تا بالای UCT (دمای فوق حساس) خود به مانند همهٔ فرایندهای تنش زدایی که تا کنون مورد بحث و بررسی واقع شده ، گرم نمود و در دمای ثابت تا همان مدت زمان قرار داد. ولی تفاوت اصلی در چرخه خنک شدن آن است ، که به موجب آن عمل خنک شدن به سرعت صورت می گیرد.
به علاوه ، در فولاد کربن غیرآلیاژی ، این نوع فلز باید به منظور سخت شدن از طریق عمل گرمایی ، از حجم کربن بسیار بالایی یعنی عموما" تا بیش از 0.3 درصد برخوردار باشد. فولادهای آلیاژی مشتمل بر حجم کربنی زیر 0.1 درصد همراه با عناصر اضافه شده ای از قبیل (منگنز، کربن ، مولبینیوم ، نیکل و غیره) را می توان با عمل تنش زدایی حرارتی ، سخت تر نمود.
برخی فولادها نیز به گونه ای طراحی شده تا اقدام به تولید خاصیت سخت شدن در سرعت خنک شدگی بسیار پایین نمایند ؛ ازاین رو این نوع فولاد ، در گروهٔ فولادهایی تحت عنوان « فولاد های سخت شده در دمای معمولی » قرار می گیرد.
دستگاه یا رسانهٔ خنک کننده مختص سخت کردن فولاد ، از اهمیت زیادی برخوردار است ؛ بطوریکه فولاد با سرعت زیادی خنک شده و سپس تنش مکانیکی ناشی از افزایش شدید گرما (thermal shock) نیز احتمالا" خیلی سریع صورت می گیرد و این امر باعث بروز ترک در فولاد می شود.
آب نمک (brine) ، به نظر نوعی رسانای خنک کنندهٔ سریع است که به دنبال آن از آب و سپس روغن استفاده می شود.

4. باز پخت (Tempering) :

این روش نوعی فرایند تنش زدایی غیر حساس است که از آن صرفا" بعد از انجام عمل سخت شدگی فولاد ، استفاده می شود. عمل سخت شدگی نیز ، برخی فولاد ها را بسیار سخت و نیز شکننده می سازد.
حالت نرمی و از همه مهمتر چقرمگی ، بعد از عمل سخت شدگی حرارتی از اهمیت بسیار پایینی برخوردارست و اصطلاح « بازپخت » (**temper**) ، درواقع به معنای « متعادل ساختن» می باشد. به هنگام بازپخت فولاد ، اقدام به تعادل دوباره خواص سختی و شکنندگی بیش از حد از طریق کاهش سختی و افزایش سطح چقرمگی می نماییم.
در این فرایند ، حالت سختی (**hardness**) نیز از لحاظ اندازه گیری در دمای تقریبا" **220** درجه شروع شده و تا دمای **723** درجه سانتیگراد ادامه می یابد. همچنین در این نقطه ، اکثر سختی اضافی تولید شده بوسیله عمل سخت شدگی حرارتی از بین رفته و یا تحت بازپخت کامل قرار می گیرد ، اما ساختار ریز دانه ای ایجاد شده از طریق فرایند سخت شدگی ، در آن باقی می ماند وچقرمگی و مقاومت مطلوبی به فولاد می دهد. از این رو ، چنین روشی برای برخورداری فولاد **Q/T** از چقرمگی و مقاومت مطلوب ، بکار می رود.

5. تنش زدایی (Stress Relieving) و یا (PWHT) :

هدف از بکارگیری عمل تنش زدایی ، آزادسازی تنش های کششی داخلی محبوس شده در جوش ، در طول جوشکاری می باشد. روش گرم ، ثابت و خنک شدن دما به مانند همهٔ روشهای تنش زدایی دیگر است ؛ هرچند هنگام تنش زدایی برخی فولادها بویژه « فولاد های مقاوم در برابر خزش » (**Creep Resistant Steels**) ، به منحنی ویژه گرمایش نیاز می باشد.
همچنین در عمل تنش زدایی ، فولاد بین دمای **950 – 250** درجه سانتیگراد و با توجه به نوع فولاد و میزان تنشی که باید از آن آزاد شود ، حرارت می یابد. از این رو ، به منظور درک واکنش فولاد در طول عمل تنش زدایی ، اصطلاحاتی که نیازمند تعریف بوده ، به شرح ذیل وجود دارد:

- **نقطهٔ تسلیم (Yield Point) ، (Re) :**

منظور از آن، نقطه ای است که در آن فولاد دیگر در برابر فشار کششی مقاوم نبوده و به طور پلاستیک تغییر شکل می یابد ، گواینکه فشار نرم یا شکل پذیری (**plastic strain**) ایجاد می شود ؛ به عبارتی دیگر منظور از آن اینست که فولاد دیگر به ابعاد اصلی اش باز نمی گردد. همچنین همهٔ تنش های پسماندی که بعد از جوشکاری در فولاد به همراهٔ تنش های باقیمانده ای که از طریق حرکت نرم یا تغییر پذیر فولاد (اعوجاج) تشکیل شده ، از نوع کششی اند. نمودار

تنش و فشار فولاد کم کربن گداخته شده (annealed) در شکل ذیل ، این نقطه را نشان می دهد.

هنگامی که فولاد حرارت یابد ، نقطه تسلیم نیز متوقف می شود و منظور از آن اینست که فشار کششی که در شکل فوق نشان داده شده ، به فشار شکل پذیر تبدیل می گردد. از این رو هرچه حرارت بالا باشد ، در نتیجه مقدار فشار کششی بیشتر است و به فشار یا حرکت شکل پذیر تغییر می یابد.

همچنین به طورکلی بر این موضوع صحه گذاشته شده که تقریبا" 90 درصد تنش های پسماند جوش را می توان به طور شکل پذیر در طی این فرایند آزاد کرد. چنین تغییری به طور هندسی در شکل ذیل نشان داده شده است.

به علاوه ، هنگامی که این دما با دمای محیط یکسان شود ، نقطه تسلیم نیز عملا" به همان موقعیتی که در شروع عمل تنش زدایی بوده ، بر می گردد.

6. پیش گرمایش (Preheating) :

هنگامی که عمل جوشکاری صورت می گیرد ، بنا به دلایلی می توان اقدام به پیش گرم فلزات و آلیاژها نمود. از این رو اصولا" برای دستیابی به هر کدام از موارد ذیل ، از روش پیش گرم استفاده می کنیم:

1. کنترل ساختار فلز جوش و منطقه متأثر از جوش (HAZ) در هنگام خنک شدن
2. اصلاح نفوذ مولکولهای گازی از یک ساختار اتمی
3. کنترل اثرات انقباض وانبساط

همچنین می توان اقدام به کنترل تشکیل ساختار میکروسکوپی نامطلوب پرداخت که از خنک شدن سریع فولادهای معین تولید می شود. مارتنزیت (ماده فلزی سخت و شکننده) ، از طریق حبس کربن در محلول با دمای زیر 300 درجه سانتیگراد بوجود می آید. روش پیش گرمایش در فولاد های حساس دارای دو وظیفه است ، یکی جلوگیری ازتشکیل مارتنزیت با تأخیر درسرعت خنک شدن فلز و دوم فراهم نمودن امکان پخش گاز محبوس شدهٔ هیدروژن به خارج از منطقه (HAZ) و یا فلز جوش درمحیط اطراف . علاوه بر این نیزاحتمال دارد که به کنترل اثر انقباض وانبساط در جوش بپردازیم.

خلاصه مطلب :

از عمل تنش زدایی برای کنترل خواص نهایی سازه ها و اتصالات جوش شده استفاده می شود. از این رو همهٔ عملیاتهای تنش زدایی از سه چرخه عنصر « گرم شدن » ، « ثابت نگهداشتن » و « خنک شدن » تشکیل می گردند.

همچنین بازرس جوش می بایست بدقت اقدام به نظارت روش تنش زدایی ، روش کاربرد و سیستم اندازه گیری آن نماید. بنابراین همه مدارک و نمودارهای مربوط به عمل تنش زدایی باید به بازرس ارشد واحد کنترل کیفیت جهت ثبت و نگهداری در مدارک کیفی سازه ها ارائه گردد.

خلاصه ای از عمل تنش زدایی فولاد :

عمل تنش زدایی	روش	کاربرد
گدازش (Annealing)	**فولاد در بالای دمای فوق حساس حرارت دیده و دما نیز به مدت یک ساعت برای هر 25 میلی متر ضخامت فلز به حالت ثابت می ماند.** **سپس کوره خاموش شده و فولاد نیز برای خنک شدن در آن باقی می ماند.** **چنین روشی اقدام به تولید ساختار دانه ای بزرگ یا درشتی کرده که نرم و شکل پذیر است ، اما از چقرمگی بسیار پایینی برخوردار می باشد.**	**از این روش برای نرم کردن و شکل پذیر نمودن فولاد استفاده می شود.**
به حالت عادی درآوردن (Normalizing)	**فولاد در بالای دمای فوق حساس حرارت دیده و همانند عمل گدازش (annealing) ، دما نیز به مدت یک ساعت برای هر 25 میلی متر ضخامت فلز به حالت ثابت می ماند. هنگامی که زمان ثابت ماندن فلز بر روی همان دما به پایان برسد ، فولاد از درون کوره خارج تا در هوای یکنواخت خنک شود.** **این روش اقدام به تولید ساختار دانه ای ریز یا کوچکی نموده که دارای چقرمگی و مقاومت بالایی است ؛ هرچند حالت شکل پذیری نیز در آن پایین تر از فولاد گداخته شده می باشد.**	**این روش نیز برای مقاومت و استحکام بیشتر فولاد بکار می رود.**

سخت شدگی (Hardening)	**فولاد در بالای دمای فوق حساس حرارت دیده و همانند عمل گدازش (annealing) ، دما نیز به مدت یک ساعت برای هر 25 میلی متر ضخامت فلز به حالت ثابت می ماند. هنگامی که زمان ثابت ماندن فلز بر روی همان دما به پایان برسد ، فولاد از درون کوره خارج تا در هوای خنک ، سخت شود.** **این روش نیز اقدام به تولید ساختار مارتنزیتی دانه ریز نموده که دارای سختی و مقاومت بسیار بالایی است ؛ هرچند حالت شکل پذیری نیز در آن تقریبا" صفر بوده و از چقرمگی بسیار پایینی برخوردار می باشد.**	**این روش برای سخت تر کردن فولاد کربن بالا یا متوسط غیر آلیاژی و همچنین فولاد آلیاژی بسیار پایین مورد استفاده قرار می گیرد.**
بازپخت (Tempering)	**فولاد بعد از سخت شدن دوباره حرارت یافته و تعادل میزان سختی با چقرمگی نیز با افزایش دما از 723 – 220 درجهٔ سانتیگراد ، تنظیم می گردد.** **کل مارتینزیت نیز در دمای 723 درجه سانتیگراد با رفع حالت شکنندگی و برگشت شکل پذیری ، باز پخته می شود.** **همچنین ساختار ریز در این روش حفظ شده و باعث مقاومت بالا و بهبود بیشتر چقرمگی می گردد.**	**از این روش نیز برای تعادل دوباره خواص فولادهایی که از لحاظ حرارتی سخت شده ، استفاده می شود.**
تنش زدایی **(Stress Relieving)**	**در این روش ، فلز با توجه به نوع فولادی که تنش زدایی شده ، در دمایی حرارت می یابد.** **جریان شکل پذیر (plastic) تنش ها نیز با بالا رفتن دما ، افزایش یافته و اقدام به آزاد کردن تنش های کششی موجود در فلز می نماید.**	**این روش بعد از عملیات جوشکاری جهت آزاد سازی و خروج تنش های کششی محبوس ناشی از انبساط و انقباض ، مورد استفاده قرار می گیرد.**

پیش گرمایش (Pre-heating)	**در این روش ، فلز با توجه به نوع فولادی که تنش زدایی شده ، در دمایی حرارت می یابد ، اما این دما معمولا" کمتر از 350 درجه سانتیگراد است.** **چنین روشی نیز مانع از تشکیل مارتنزیت شده و موقعیت مناسبی را از لحاظ زمان یا دما برای خروج هیدروژن فراهم می نماید.**	**این روش به منظور کنترل تشکیل ترک های هیدروژنی و نیز کنترل اثرات تنش های انقباضی و انبساطی بکار می رود.**

بخش نوزدهم : برشکاری و جوشکاری اکسی - گاز سوز (Oxy Fuel Gas Welding & Cutting)

برشکاری و جوشکاری اکسی – گاز سوز :

این روش در دهه های متعدد به عنوان روش قابل حملی با استفاده از گرما در بسیاری از عملیات هایی که ارتباط مستقیم با جوشکاری داشته ، بکار برده شده است ، که برخی از آنها عبارتند از:

1. پیش گرمایش (Pre-heating)
2. عمل تنش زدایی (PWHT)
3. برشکاری (Cutting)
4. Soldering
5. Brazing
6. جوش برنز (Bronze Welding)
7. جوش ذوبی (Fusion Welding)
8. Straightening

لوازم آن عموما" از دو سیلندر تشکیل شده ، که یکی شامل (اسیتلن) و دیگری نیز شامل (اکسیژن) می باشد. اسیتلن ، گاز بسیار ناپایداری بوده و در فشار خیلی پایین به خودی خود منفجر می شود ، از این رو در صورت نگهداری آن در سیلندر تحت فشار ، به گاز بسیار خطرناکی تبدیل می گردد.

برای ذخیره و نگهداری گاز ، اسیتلن در استون مایعی حل می گردد که قادر به جذب تقریبا" 25 برابر حجم خود گاز اسیتلن است ، سپس استون جذب توده ذغال چوب (charcoal) و کاپوک (kapok) شده و این امر باعث پایداری بیش از حد گاز برای نگهداری می شود.

به این دلیل ، سیلندر گاز را همواره باید به حالت عمودی بکار برد ، زیرا در صورت عدم استفادهٔ آن در این حالت ، استون مایع از بوری (blowpipe) خارج و باعث آتش سوزی می شود که این حالت بسیار خطرناکی است.

همچنین در صورت نقل و انتقال و یا نگهداری سیلندر به حالت افقی ، برای جلوگیری از وقوع انفجار یا آتش سوزی ، باید آن را به حالت عمودی گذاشت و از آن لااقل به مدت یک ساعت استفاده نکرد.

گاز اکسیژن احتمالا" با فشار حدود 3500 PSI تهیه می شود ؛ از این رو باید آن را تحت مراقبت شدید قرار داد. همچنین در صورتی که شیر یا سوپاپ سیلندر اکسیژن بر اثر ضربه ناگهانی بشکند ، منجر به نتاج ناگواری از جمله احتمال زیاد مرگ فرد در آن نزدیکی می گردد.

عوامل ایمنی مهمی که باید مورد ملاحظه قرار گیرد ، عبارتند از :

- **قرار دادن سیلندر گاز در موقعیت عمودی**
- **استفاده از اتصالات (fittings) مناسب در محل اتصال**
- **عدم استفاده از روغن یا گریس در محل اتصال**
- **بکارگیری پیچ های چپ گرد در گازهای سوخت**
- **توجه به علامتگذاری رنگ شیلنگ ها**
- **استفاده از (flashback arrestors) بر روی منابع سوخت گاز و اکسیژن**
- **استفاده از شیر های یک طرفه بر روی محل اتصال شیلنگ و مشعل**
- **پیروی از روش صحیح راه اندازی و قطع گاز**
- **آزمایش کامل نشت همه لوازم**

بکارگیری درجات نامتناسب آلیاژ برنج ، احتمالا" شامل درصد بالایی مس بوده که باعث تشکیل ترکیبات انفجاری در تماس با اسیتلن تحت فشار می گردند.
اکسیژن خود به خود هنگامی که با روغن و گریس در تماس باشد ، به آسانی می سوزد.
در شکل ذیل ، مجموعهً خاصی از لوازم جوشکاری اکسی – اسیتلن نشان داده شده است.

جوشکاری ذوبی اکسی – اسیتلن :

دمای شعله اسیتلنی که در هوا می سوزد ، حدود 2300 درجه سانتیگراد بوده ؛ در حالیکه دمای شعله ای که با اکسیژن می سوزد ، 3200 درجه سانتیگراد می باشد و این بیشترین دمایی است که از اشتعال معمولی گاز های صنعتی حاصل می گردد.
این دما به غیر از فلز « تنگستن » که نقطه ذوب آن بالای 3410 درجه سانتیگراد بوده ، از همه فلزات بیشتر است. همچنین در طول جوشکاری فلزات و آلیاژها نیز باید اقدام به زدودن اکسید های سطحی حوضچه مذاب نمود. در فرایندهای جوش قوسی ، به طور کلی گرمای قوس جهت ذوب اکسیدهای سطحی فلز نیز به استثنای جوشکاری (TIG) « آلومینیوم» خیلی بالاست ، زیرا اکسید سطح فلز تحت عنوان آلومین (اکسید آلومینیم) دارای نقطه ذوب بالای 2000 درجه سانتیگراد می باشد.
به همین دلیل ، اغلب باید به هنگام جوشکاری گازی بسیاری از آلیاژهای آهنی و غیرآهنی از قبیل جوش ذوبی « فولاد ضد زنگ » و آلیاژهای آلومینیمی ، از فلاکس استفاده نمود. همچنین هنگام جوشکاری « فولاد کربن غیر آلیاژی » ، نیازی به استفاده از فلاکس نیست ، زیرا نقطه ذوب اکسید آهن پایین تر از نقطه ذوب آلیاژ است.

انواع شعله های اکسی – اسیتلن :

- **شعله خنثی (Neutral Flame):**

از این شعله ، برای جوشکاری ذوبی اکثر فلزات و آلیاژها ، شامل همه نوع فولاد و نیز عمل برشکاری (با بکارگیری نازل های متفاوت) استفاده می شود.

- **شعله اکساینده (Oxidising Flame) :**

این شعله عمدتا" برای جوشکاری برنز مورد استفاده قرار می گیرد.

- **شعله کربن دار (Carburising Flame) :**

این نوع شعله عمدتا" برای آلیاژ سخت گردانی سطحی (hard facing) ، جوشکاری ذوبی و نیز لحیم کاری آلومینیم و آلیاژهای آن بکار می رود.

لحیم کاری اکسی – گاز سوز و جوشکاری برنز :

از جوشکاری اکسی – گاز سوز ، احتمالا" به عنوان منبع حرارت لحیم کاری و جوشکاری برنز استفاده می شود و تفاوت بین آنها در این است که اصطلاح لحیم کاری (brazing) ، عبارتست از نوعی اثر مویینگی در اتصال و منظور از جوشکاری برنز (bronze welding) نیز شامل شکل جوشی است که عمدتا" از نوع جوش لب به لب (butt weld) و یا گوشه ای (fillet weld) بوده و از جنس برنز یا آلیاژ برنج می باشد.
همچنین چدن (cast iron) بیشتر اوقات لحیم شده ، زیرا حرارت ورودی لحیم کاری خیلی کمتر از جوشکاری ذوبی است ؛ از این رو، امکان بروز ترک نیز به علت نیروی انبساط کمتر می باشد. تقریبا" 9 درصد از سیم جوش های برنزی نیکل دار عمدتا" برای لحیم کاری چدن بکار می رود. (مقاومت کششی برنز نیکل دار دوبرابر مقاومت کششی فولاد کم کربن است.) همچنین آلومینیم و آلیاژهای آن احتمالا" با استفاده از منبع حرارت شعله اکسی-اسیتلن و همراه با فلز پر کننده لحیم آلومینیم که دارای بیش از 15 درصد سیلیسیوم بوده ، لحیم می شود.
از این رو ، اتصال جوش برنز یا لحیم با کاربرد صحیح ، احتمالا" دارای مقاومت بیشتری نسبت به اتصال جوش ذوبی است ؛ زیرا همانطوریکه در شکل نشان داده شده ، محل سطحی اتصال خیلی بالاتر می باشد.

برشکاری اکسی – گاز سوز :

در این روش ، نیازی به ذوب فولاد نیست ، اما می توان آن را به سادگی تا رسیدن به « دمای احتراق » خود حرارت داد. در این دما ، آهن با اکسیژن خالص جهت تولید واکنش شیمیایی گرما زایی شامل فرمول (FE3 O4) و یا (اکسید آهن مغناطیسی) ، از خود واکنش نشان می دهد. همچنین اکسیژن خالص با شتاب زیاد از سوراخ وسط نازل ارسال شده که در مقابل آهن در دمای احتراق ، عکس العمل از خود نشان می دهد و سرعت شتاب اکسیژن نیز اکسید آهن مغناطیسی را از سطح برش (cut face) و یا محل بریدگی جدا می کند.

همانطوریکه برای رسیدن به دمای بالای لازم در جوشکاری ذوبی نیازی نیست ، نیازی به استفاده از گاز اسیتلن نیز نمی باشد. از این رو ، از گاز پروپان ، بوتان و دیگر گازهای ارزانتر نیزاحتمالا" برای برشکاری اکسی – گاز سوز استفاده می شود. دمای موجود در طی واکنش شیمیایی گرمازای اکسیژن با آهن ، برای اکثر فلزات کفایت می کند ؛ هرچند محدودیت برشکاری اکسی- گاز سوز در این است که نمی توان از آن بطور موٌثر و با شکل متداول خود برای برش فلزاتی با اکسید نقطه ذوب بالا از قبیل (فولاد ضد زنگ) ، استفاده نمود. همچنین با افزودن سیستم تزریق پودر آهن ، واکنش آهن با اکسیژن را می توان از طریق واکنش گرمازای پودر آهن گرم شده در اکسیژن ، جلوتر از سطح مواد تولید کرد. ضخامت فولادی که احتمالا" با استفاده از روش برشکاری اکسی – گاز سوز ، برش داده شده ، صرفا" به اندازه نازل و فشار گاز موجود بستگی دارد. سیستم برشکاری اکسی – گاز سوز نیز احتمالا" دارای مکانیسم ساده ای بوده و برای برشکاری ورق (تصویر شماره یک) و یا اقدامات برش بر روی لوله ای که باید جوش شود ، مورد استفاده قرار می گیرد (تصویر شماره دو ، سه و چهار). همچنین باید مشخص کرد که سطح یا رویه برش احتمالا" تا عمق تقریبا" 3 میلی متر سخت شده باشد ؛ از این رو ، باید اقدام به تمیزکاری منطقه سخت شده فلز و نیز زودن اکسید از روی آن نمود.

« نکات بازرسی » مهم روش متداول برشکاری اکسی – گاز سوز از موارد ذیل تشکیل می گردد :

نکات ایمنی :

1. **نوع و اندازهٔ نازل برشکاری**
2. **فشار اکسیژن برشکاری**
3. **زاویه برش**
4. **استفاده از روش پیش گرمایش در صورت لزوم**
5. **فاصله نازل از قطعه کار**
6. **سرعت حرکت برش به سمت جلو**
7. **نوع گاز و تنظیم شعله**
8. **وضعیت محل برش**

در صورت رعایت درست همهٔ پارامترهای فوق ، رویه یا محل برش نیز باید به همان صورتی باشد که در شکل شماره چهار نشان داده شده است.

بخش بیستم : برش قوس و پلاسما (Arc and Plasma Cutting)

فرایندهای برشکاری قوس و پلاسما :

همهً فرایندهای برش گرمایی ای که در سازه ها بکار می رود ، باید دو وظیفهً عمده ای را که به طور موٌثر به عنوان فرایند برشکاری ویا (gouging) بکار گرفته ، برآورده سازند. این دو وظیفه عبارتند از:

1. دمای بالا (که این عامل باعث ذوب مواد برش داده شده ، می گردد.)
2. سرعت بالا (که این امر نیز باعث جدا کردن مواد مذاب در محل برش می شود.)

درروش برشکاری اکسی- گاز سوز که در بخش قبل توصیف شد ، دما از طریق واکنش گرما زای آهن در دمای احتراق و اکسیژن خالص حاصل می گردد. همچنین محصول اکسید آهن از لبه برشکاری و یا محل برش از طریق سرعت دهانه گاز اکسیژن جدا می شود.

برشکاری پلاسما :

این نوع برش از دمایی استفاده می کند که از تولید پلاسمای ناشی از گازهای معین حاصل شده است. همچنین پلاسمای گاز نیتروژن می تواند به دمای بالای 20000 درجه سانتیگراد برسد ، ولی دمای پلاسمای هوا نسبت به آن خیلی پایین تر است ؛ هرچند هوای آزاد موجود و ارزانتر بوده و می توان آن را بوسیله کمپرسور در دستگاه فشرده نمود ، اما آن در عمق برش محدود می گردد.
سرعت برشکاری پلاسما از طریق انبساط پلاسما در محفظه مشعل (torch chamber) تولید و بعد از آن نیز با فشار از سوراخ تنگ سر مشعل خارج شده و این عامل باعث ایجاد سرعت مورد نیاز می گردد.

دو نوع متفاوت فرایند برشکاری پلاسما وجود دارد که عبارتند از :

1. قوس انتقال یافته (که از آن برای برشکاری مواد رسانا استفاده می شود.)
2. قوس انتقال نیافته (که از آن برای برشکاری مواد غیررسانا استفاده می شود.)

برشکاری و (Gouging) قوسی :

از دمای حاصل از قوس الکتریکی در فرایند های برشکاری برای رسیدن به دمای موردنیاز ذوب فلز یا آلیاژ جهت برشکاری استفاده می شود. سه نوع فرایند که عموما" مورد استفاده قرار گرفته ، وجود دارد و تفاوت اصلی آنها در مواد مصرفی و گاز بکار برده شده در تولید سرعت مورد نیاز می باشد. این فرایند ها عبارتند از :

1. **الکترودهای متداول برشکاری و (Gouging)**
2. **برشکاری و (Gouging) اکسی- قوسی**
3. **برشکاری و (Gouging) قوسی – هوا**

الکترودهای متداول برشکاری و (Gouging) :

در روش متداول gouging قوسی ، به هیچ دستگاه اضافی به غیر از دستگاه مورد نیازدر فرایند جوش MMA/SMAW نیاز نیست. مواد مصرفی آن نیز از سیم جوشی با هسته مرکزی آلیاژ سبک ــ که عمدتا" برای مقاومت و استحکام بکار رفته ــ و همچنین پوشش فلاکس سنگینی تشکیل شده که عناصری را که تولید انرژی قوسی کرده ، بوجود می آورد. در این روش ، ضربه قوس به روش معمول در فرایند جوش (MMA) صورت می گیرد ؛ هرچند قوس باعث ذوب فلز مبنا شده و سپس بوسیله الکترود به جلو رانده می شود. همچنین این فرایند دود جوش بسیار زیادی تولید می کند و از طرفی هم روش مناسبی برای برداشتن جوشهای قدیمی و یا شیارهای gouge در فلز مبنا به شمار می رود.

برشکاری و (Gouging) اکسی– قوسی :

در برشکاری اکسی- قوسی ، به نوع ویژه ای انبر جوشکاری نیاز است. مواد مصرفی آن لوله ای شکل بوده و از پوشش فلاکس بسیار سبکی تشکیل می گردد. الکترود در داخل انبرویژه قرار گرفته و به آن نیز کابل برق و شیلنگ گاز متصل می شود. کابل برق به منبع برق و شیلنگ گاز به منبع اکسیژن فشرده ، متصل است. همچنین ضربه قوس ایجاد و اکسیژن فشرده احتمالا" در سر مشعل فعال می گردد. گرمای قوس الکتریکی نیز فلز مبنا و یا آلیاژ را ذوب کرده و سرعت جدا کردن آن ، از طریق اکسیژن فشرده بوجود می آید. هنگام برش آلیاژ های فریتی (آهن دار) ، تأثیر یکسانی از طریق واکنش گرمازا در صورت استفاده از روش برشکاری متداول اکسی – گاز سوز ایجاد می شود. از این رو ، چنین فرایندی عموما" برای تخریب و اوراق کردن پالایشگاه مورد استفاده قرار می گیرد.

برشکاری و (Gouging) هوا – قوسی :

برش هوا- قوسی ، نوعی روش برش و gouging با قوس بوده که بطور معمول بکار می رود و از آن نیز بطور گسترده برای gouging جوشهای قدیمی و برداشتن مواد استفاده می شود. مواد مصرفی آن از نوع الکترود کربنی با پوشش مسی و گاز آن هم شامل هوای فشرده می باشد.

این فرایند عمدتا" از نوع فرایند « melt & blow » است که در آن هیچ واکنش گرمازایی تشکیل نمی گردد.
معایب اصلی این فرایند، سرو صدای بسیار زیاد و حجم بسیار بالای دود است و رویه یا سطح برش به علت وجود کربن و همچنین چرخه سریع گرم و خنک شدن فلز ، به تمیزکاری نیاز دارد.
علاوه بر این نیز ، نکته مهم بازرسی ایمنی در استفاده از همه فرایندهای قوسی در اینست که به هنگام بکارگیری آنها باید از محافظ گوش مطمئن و سیستم مجزای تنفسی کارآمد ، استفاده نمود.

بخش بیست ویکم : ایمنی جوش

ایمنی جوش :

وظیفه بازرس جوش اینست تا از پیگیری شدید روشهای ایمنی کار اطمینان حاصل کند . از این رو ، ایمنی جوش را می توان به موارد متعددی که برخی از آنها به شرح ذیل بوده ، تقسیم نمود :

- ایمنی فرایند جوش و برشکاری
- ایمنی الکتریکی
- دود و گاز های ناشی از جوش (کاربرد و نگهداری گازها)
- کاربرد بی خطروسایل بالابر
- کاربرد بی خطر ابزارهای دستی و ماشینهای سنگ زنی
- آگاهی عمومی از ایمنی جوش

هنگام استفاده از گاز ویا سیستم های برشکاری قوسی ، باید به موارد ایمنی ذیل توجه نمود :

- دور کردن مواد قابل اشتعال از محل
- نظارت و کنترل بر عدم وجود دود در همه محفظه هایی که باید برش یا جوش داده شود.
- استفاده از سیستم تهویه در صورت لزوم
- اطمینان از بکارگیری مناسب ایمنی گاز
- دور نگهداشتن روغن و گریس از اکسیژن
- استفادهٔ دائم از لوازم ایمنی شخصی

ایمنی الکتریکی :

ایمنی کار با برق بسیار حائز اهمیت است. از این رو ، در صورت لزوم از کاربرد عایق کاری و نیز وضعیت مناسب کابل و اتصالات ، اطمینان حاصل نمایید. همچنین در شرایط مرطوب و بارانی نیز مراقب باشید. منبع فشار ضعیف (**110** ولت) را باید در صورتی که برای همه ابزارهای برقی مناسب بوده ، بکار برد. همچنین همه ابزارهای برقی را باید به طور مرتب آزمایش کرده و همینطور مورد شناسایی قرار داد.

ایمنی گاز و دود ناشی از جوش :

خطر تماس با دود و گازهای خطرناک ناشی از جوشکاری را نمی توان بیش از حد مورد تأکید قرار داد. تماس با آنها احتمالا" از کاربرد الکترود ، آبکاری فلزات ، فلز مبنا و گازهای مورد استفاده در طی فرایند جوش ناشی می شود.

همچنین گازهای خطرناکی که احتمالا" در طی جوشکاری تولید شده ، عبارتست از « اوزون » ، « نیتروژن مونو اکسید » و « فوسژن » (که به علت از کار افتادن عوامل کاهش دهنده متکی به گاز « trichloroethlylene » در نور قوس ایجاد می گردد .) ؛ از این رو ، همه این گازها بشدت سمی اند و در صورت تماس بیش از حد در معرض آنها ، منجر به مرگ فرد می شود.

سایر گازهایی که در جوشکاری بکار رفته ، از طریق جابجایی هوا و یا کاهش حجم اکسیژن نیز باعث ایجاد مشکلاتی می گردد.

اکثر گازها تحت فشار بالایی نگهداری می شوند ؛ از این رو در نگهداری و استفادهٔ چنین گاز هایی باید نهایت دقت و توجه را اعمال نمود. علاوه بر این ، گازها را باید با مراقبت مورد استفاده قرار داد و محل نگهداری آنها نیز به عنوان مکان خطر مهمی در ایمنی جوش به شمار می رود.

دود های فلزی دیگری که بی نهایت سمی بوده و در صورت تماس بیش از حد در معرض آنها ، منجر به مرگ فرد شده ، عبارتند از : « کادمیوم » و « کرومیوم » ؛ از این رو ، از اثرات دود ناشی از پوشش الکترود مطلع شده و از سیستم تنفسی مناسبی استفاده نمایید که به عنوان موارد اصلی روش جوشکاری بی خطر به شمار می روند.

در صورت شک و تردید ، کار را تا زمانی که مسئول ایمنی مسئولیت کامل آن را به عهده نگرفته ، متوقف نمایید.

وسائل بالابر :

ذکر این نکته ضروریست که از روشهای بالابر صحیح برای نگهداری بار و از مرکز ثقل بار نیز برای تخمین درست میزان بار وسایل بالابر استفاده شود. از این رو ، کلیه وسائل بالابر نیز طبق مقررات مربوط به هر کشور مورد بازرسی منظم واقع می شود. در کشور انگلستان نیز چنین عملی تحت شرایط « LOLER » که برای همه عملیاتهای داخل کشور الزامی بوده ، توسط مسئول ایمنی (HSE) صورت می گیرد.

همیشه در هنگام بالارفتن بار ، امکان بهم خوردن و یا عدم تعادل آن از هر طرف وجود دارد ؛ که این روش بسیار خطرناکی بوده و منجر به ایجاد تلفات می گردد . (پس هر گز در زیر بار نایستید.)

ابزارهای دستی و ماشینهای سنگ زنی :

ابزار های دستی همواره باید در وضعیت بی خطر و تعمیر پذیر باشند (از این رو ، صفحه سنگ های ماشین سنگ زنی باید توسط اشخاص مورد تأیید تعویض گردد) وآز انها باید همیشه در حالت صحیح و بی خطر استفاده نمود. همچنین صفحه برش را صرفا" برای برشکاری و صفحه سنگ را تنها برای سنگ زنی بکار ببرید.

مطالب کلی :

حادثه تنها در صورتی رخ می دهد که ناشی از غفلت ویا بی توجهی فرد نسبت به خطر باشد ؛ از این رو، باید از خطرات بالقوه در جوشکاری مطلع شده ، همواره ریسک را به حداقل برسانید و در صورت وجود هرگونه شک و تردیدی ، به « مشاور ایمنی » مراجعه نمایید.

بخش بیست ودوم : جوش پذیری فولاد

جوش پذیری فولاد :

بطور کلی ، منظوراز اصطلاح « جوش پذیری » مواد ، « امکان جوش دادن مواد با اکثر فرایندهای رایج جوش و نیز حفظ خواص طراحی شده آن است. »
جوش پذیری فولاد با توجه به نوع آن ، فرایند و خواص مکانیکی مورد نیاز ، از عوامل متعددی تشکیل می گردد.
مهندسانی که فقط درزمینه جوشکاری فولاد کربن (carbon steel) تخصص داشته ، احتمالا" منظورشان از اصطلاح جوش پذیری عبارتست از ، « معادل کربنی » ؛ هرچند این تعریف ، کاربرد محدود آن را در برمی گیرد.
جوش پذیری نامطلوب عموما" منجر به وقوع نوعی ترک می شود.

از این رو ، هنگام بررسی هر نوع مکانیسم ترک جوش ، سه عامل در ایجاد آن نقش داشته که عبارتند از:

1. تنش (Stress)
2. گیرداری یا محدودیت (Restraint)
3. ساختار ریز یا میکروسکوپی حساس

تنش پسماند همواره از طریق انبساط و انقباض موضعی در منطقه جوش وجود دارد.
گیرداری (restraint) ، نیز احتمالا" نوعی محدودیت موضعی بوده که از طریق جوش ورقها به همدیگر ایجاد می شود.
ساختار ریز یا میکروسکوپی نیز اغلب بوسیله فرایند جوش در برابر ترک حساس می گردد.

انواع مکانیسم های ترکی که در فولادها متداول بوده و بازرس جوش باید نسبت به آنها آگاهی داشته باشد ، عبارتند از:

1. ترک هیدروژنی منطقه متأثر از جوش (HAZ) ، (که در فولاد منگنز و یا کربن رایج می باشد.)
2. ترک هیدروژنی فلز جوش ، (که در فولاد HSLA یافت می شود.)
3. ترک انجماد ، (که در همه فولادها وجود دارد.)
4. پارگی تورق یا لایه لایه (lamellar tearing) ، (که در همه فولادها موجود است.)
5. خوردگی بین بلوری ، (که در فولاد ضد زنگ وجود دارد.)

تعاریف :

برای درک و فهم این بخش ، باید به تعریف اصطلاحات ذیل پرداخت :

- **انحلال پذیری (Solubility) :** یعنی امکان حل ماده ای در ماده دیگر ، مانند انحلال شکر در چای.
- **حداکثر انحلال پذیری (Maximum Solubility) :** یعنی امکان انحلال حداکثر درصد ماده ای در ماده دیگر.
- **فولاد (Steel) :** منظور از آن ، ترکیب آلیاژ « آهن » با « کربن » غیر فلزی حدود (**1.4 – 0.01** درصد کربن) است.
- **فولاد کربن غیرآلیاژی (Plain Carbon Steels) :** فولادی است که عناصرمهم آلیاژی آن از« آهن» و « کربن » تشکیل می گردد. همچنین آثاری از عناصر(منگنز ، سیلیسیوم ، فسفر و سولفور) نیز احتمالا" از طریق تصفیه و پالایش آن بوجود می آید.
- **فولاد کم کربن (Low Carbon Steel) :** مقدار کربن فولاد های کربن غیرآلیاژی بین (**0.3 -0.01** درصد) می باشد.
- **فولاد کربن متوسط (Medium Carbon Steels) :** مقدار کربن فولاد های کربن غیرآلیاژی تقریبا" از (**0.6 – 0.3** درصد) تشکیل می شود.
- **فولاد کربن بالا (High Carbon Steels) :** مقدار کربن فولاد های کربن غیرآلیاژی تقریبا" شامل (**1.4 – 0.6** درصد) می باشد.
- **فولاد آلیاژ پایین (Low Alloy Steels) :** فولاد از آهن و کربن و عناصر آلیاژی دیگری از قبیل (منگنز، کروم ، نیکل ، مولیبدنوم که مجموع آنها کمتر از **7** درصد بوده) تشکیل می گردد.
- **فولاد آلیاژ بالا (High Alloy Steels) :** فولاد از آهن و کربن و عناصر آلیاژی دیگری از قبیل (منگنز، کروم ، نیکل ، مولیبدنوم که مجموع آنها بیش از **7** درصد بوده) تشکیل می شود.
- **هیدروکسید آهن یا فریت (Ferrite) :** که دارای ساختار آهن با دمای پایین و کربن محلول بوده و حداکثر انحلال پذیری کربن در این ساختار حدود **2.02** درصد است
- **Austenite :** که دارای ساختار آهن با دمای بالا و کربن محلول بوده و حداکثر انحلال پذیری کربن در این ساختار حدود **2.06** درصد می باشد.

- **ماده فلزی سخت و شکننده (Martensite) :** « ساختار سختی » است که با خنک شدن سریع آن از دمای بالا تا دمای زیر **300** درجه سانتیگراد در برخی فولادها بوجود می آید.

- **انتشار (Diffusion)** : عبارتست از جابجایی یا حرکت اتم و مولکولهای حل شده از طریق ساختار بلوری ؛ چنین واکنشی نیزعموما" با افزایش مقدار انرژی گرمایی در مواد سریعتر صورت می گیرد.

نوع ترک : ترک هیدروژنی (ترک سرد)

محل: الف) منطقه متأثر از جوش (**HAZ**) ، ترک طولی
ب) فلز جوش ، ترک طولی یا عرضی

نوع فولاد: الف) همهٔ فولادهای سخت شونده
ب) فولاد **HSLA** و **QT**

ساختار ریز یا میکروسکوپی : مارتنزیت

دلایل بروز این نوع ترک :

ترک هیدروژنی با توجه به نوع فولاد جوش شده احتمالا" در منطقهٔ (**HAZ**) و یا فلز جوش اتفاق می افتد. هیدروژن نیز ممکن است از طریق فلز خیس ، رطوبت هوا ، رنگ یا روغن موجود بر روی فلز و خرابی گاز محافظ ، جذب قوس شود. همچنین الکترود سلولزی **E6010** از هیدروژن به عنوان گاز محافظ استفاده می کند.
هیدروژن به آسانی در فلز مذاب جوش حل شده و از مرحله انجماد تا هنگام تبدیل به (**austenite**) ، به حالت محلول باقی می ماند. سپس جوش سرد و به فریت (**ferrite**) تبدیل می شود ؛ که در این حالت هیدروژن از انحلال پذیری کمتری برخوردار بوده و به منطقهٔ سخت شدهٔ (**HAZ**) نفوذ می کند.
چنین عملی با افزایش نفوذ یا انتشار از طریق دمای بالا ، به سرعت اتفاق می افتد. در صورتی که منطقهٔ (**HAZ**) سخت پذیر نباشد ، خود را به فریت و هیدروژن تغییر می دهد ؛ که در این حالت از قابلیت انحلال در فریت برخوردار بوده و در نهایت از محل جوش خارج می شود. اما اگر منطقهٔ (**HAZ**) سخت پذیر باشد ، در نتیجه عمل تغییر آن از حالت (**austenite**) به مارتنزیت که در واقع برای هیدروژن غیر قابل انحلال بوده ، صورت می گیرد.
از این رو ، چنین عاملی به تنش داخلی زیادی منجر شده که در ساختار ریز فلز اتفاق می افتد و خیلی هم شکننده است. به علاوه ، ترک در مناطقی مانند پنجه جوش (**weld toe**) که دارای تمرکز تنش بالایی بوده ، ایجاد می گردد و سپس از منطقه سخت شدهٔ (**HAZ**) و نیز فلز جوش جابجا می شود.

چهار عامل نسبتا" حساسی که احتمالا" باعث ایجاد ترک هیدروژنی شده ، عبارتند از :

- **مقدار هیدروژنی که بیش از 15 میلی لیتر در هر 100 گرم رسوب فلز جوش می باشد.**
- **میزان سختی (hardness) که بیش از 350 VPN است.**
- **مقدار تنشی که بیش از 0.5 تنش تسلیم می باشد.**
- **مقدار دمایی که کمتر از 300 درجه سانتیگراد است.**

راههای پیشگیری ترک هیدروژنی در منطقهٔ (HAZ) :

برای کنترل ترک هیدروژنی در منطقه (HAZ) ، احتمالا" به پیش گرم محل جوش نیاز است ، زیرا عمل پیش گرمایش ، سرعت خنک کردن جوش را به تأخیر انداخته و از تشکیل مارتنزیت و سایر ساختارهای سختی که در هنگام خنک شدن سریع جوش ایجاد شده ، جلوگیری می کند.
همچنین این عامل ، امکان انتشار هیدروژن محبوس شده به فضای اطراف را فراهم می نماید و عناصری را که باید به هنگام عمل پیش گرمایش در نظر گرفت ، عبارتند از:

- **« قابلیت سخت شوندگی » اتصال**
- **« ضخامت » فلز و نوع اتصال**
- **« انرژی » ورودی قوس**
- **مقیاس « هیدروژن »**

ترک هیدروژنی فلز جوش نیز زمانی اتفاق می افتد که اقدام به جوشکاری فولاد آلیاژ پایین با مقاومت بالا (HSLA) که از مقدار آلیاژ ناچیزی حدود (0.05 درصد) تیتانیوم ، وانادیوم و یا نیوبیوم تشکیل شده ، صورت می گیرد.
از این رو به منظور تطبیق مقاومت جوش با مقاومت ورق ، از فلز جوشی با مقدار کربن بالا استفاده می شود ؛ زیرا مقدار کربن بر مقاومت کششی می افزاید. همچنین نمودارشکل زیر، تأثیر کربن بر روی خواص فولاد کربنی غیر آلیاژی را نشان می دهد.
این امر باعث رسوب جوش فولاد سخت ، شده و به موجب آن نیز (austenite) جوش مستقیما" به مارتنزیت تغییر می یابد و همان شرایطی را ایجاد کرده که قبلا" در منطقه (HAZ) یافت شده است ؛ از این رو احتمال وقوع ترک در داخل فلز جوش نیز وجود دارد.
روش پیشگیری هیدروژن در این نوع فولاد نیز همانند ترک هیدروژنی در منطقه (HAZ) ، بوسیله عمل پیش گرم منطقه جوش می باشد ، اما این روش اصولا" امکان انتشار هر هیدروژن محبوس شده ای را از منطقه HAZ و جوش ، به فضای اطراف فراهم می کند.

همچنین ترک هیدروژنی فلز جوش و منطقه (HAZ) به عنوان ترک سرد (که دمای آن کمتر از 300 درجه سانتیگراد بوده) به شمار می رود و بازرسی نهایی آنها اغلب نیز به مدت تقریبا" 72 ساعت به تأخیر می افتد ، زیرا این نوع ترکها احتمالا" در همین مدت زمان آشکار می گردند.
در این نمودار می توان به وضوح مشاهده کرد که افزایش کربن تا حدود (0.83 درصد) نیز به طرز چشمگیری بر مقاومت کششی فولاد کربن غیر آلیاژی می افزاید ؛ هرچند چنین عاملی به هدف انطباق مقاومت فلز جوش با فلز مبنا کمک کرده ، اما آن فلز جوش را از قابلیت سخت شوندگی بسیار زیادی برخوردار می سازد.
همچنین این امر احتمالا" منجر به ترک هیدروژنی در فلز جوش می شود ، زیرا جوش از حالت (austenite) به مارتنزیت تغییر یافته و قبل از نفوذ هیدروژن به منطقه (HAZ) ، آن را در جوش حبس می کند. به علاوه ، از این نمودار می توان دریافت که فولادهایی با کربن بالا از شکل پذیری خیلی کمی برخوردار بوده که این خود نیز باعث پیچیدگی بیشتر مسئه می شود.
ترکها بیشتر به صورت عرضی اتفاق می افتند ، زیرا تنش های پسماند اصلی نیز عموما" در جهت طولی اند ؛ هرچند احتمال دارد که گاهی اوقات در طول و یا حتی در زاویه 45 درجه فلز جوش باشند.
روش پیشگیری ترک هیدروژنی فلز جوش فولاد (HSLA) و یا آلیاژ پایین ، شباهت بسیار زیادی به ترک هیدروژنی درمنطقه (HAZ) و یا سایر فولادهای آلیاژ پایین دارد.

خلاصهٔ روشهای پیشگیری عبارتست از :

- **استفاده از فرایند کم هیدروژن و یا مواد مصرفی با هیدروژن کنترل شده**
- **افزایش انرژی قوس (با در نظر گرفتن چقرمگی جوش و منطقه HAZ)**
- **استفاده صحیح از مواد مصرفی با هیدروژن کنترل شده**
- **کاهش گیرداری یا محدودیت (restraint)**
- **اطمینان از خشک بودن فلز و همچنین عدم وجود زنگ ، روغن ، رنگ و یا پوشش های دیگر بر روی آن**
- **استفاده از طول قوس مناسب و پایدار**
- **اطمینان از بکارگیری عمل پیش گرم قبل از شروع ضربه قوس**
- **کنترل دمای بین پاسی**
- **اطمینان از انجام جوش تحت شرایط محیطی کنترل شده**

نوع ترک : **ترک انجماد (ترک گرم)**

محل: **مرکز جوش ، ترک طولی**

نوع فولاد: همه نوع فولاد

ساختار ریز یا میکروسکوپی : دانه های ستونی (که در جهت انجماد جوش هستند.)

دلایل بروز این نوع ترک :

ترک انجماد ، از نوع مکانیسم « ترک داغ » بوده که در طی انجماد جوش در فولاد صورت می گیرد و دارای سولفور به مقدار بالا و یا آلوده به آن است.
همچنین نسبت عمق و عرض جوش ، عامل بالقوه دیگری است که در شرایط معمولی جوشکاری به جوشهای عمیق و باریک اشاره می کند. (کاربرد روکش کاری نیز احتمالا" جوشهای عریض و کم عمقی را تولید کرده که مستعد چنین مشکلی می باشند.)
از این رو ، در صورت ترکیب جوش باریک و عمیق با مقدار زیادی سولفور ، احتمال بروز ترک داغ نیز افزایش می یابد.
در مورد همه مکانیسم های ترک ، تنش نقش مهمی را در حساسیت پذیری ایفا می کند.
در طول جوشکاری ، سولفور موجود در فلز نیز احتمالا" دوباره ذوب شده و برای تشکیل سولفید آهن به آهن ملحق می شود. سولفید آهن شامل ناخالصی های نقطه ذوب پایین بوده که به دنبال آخرین نقطه انجماد در حد وسط جوش ایجاد می گردد.
دراینجاست که آنها اقدام به تشکیل لایه های نازکی از مایع در اطراف دانه های داغ در حال انجمادی که خود نیز به علت تأثیر نیروهای انقباضی ، تحت تنش بسیار زیادی قرار داشته ، می نمایند.
پیوند میان دانه ها نیز هم اکنون ممکن است برای حفظ چسبندگی شان کافی نباشد و درنتیجه چنین عاملی منجر به ایجاد ترک در حد وسط طول جوش می گردد.

روش پیشگیری از بروز ترک انجماد در فولادهای فریتی (Ferritic) :

برای جلوگیری از وقوع ترک انجماد در فولادهای فریتی که از مقدار زیادی سولفور تشکیل شده ، منگنز از طریق مواد مصرفی به فلز جوش اضافه می گردد. (این نوع فولادها ظاهرا" ازخاصیت « شکنندگی حرارتی » برخوردارند.)

مواد مرتبط با سولفور:

ارزیابی مقدار سولفور مواد با بررسی دقیق ورق کارخانه ، از اهمیت بسزایی برخوردارست.

از این رو، حداکثر مقدار سولفور مجاز در فولاد کم کربن ، حدود 0.05 درصد است. هر چند این مقدار ظاهرا" کم احتمال دارد برای کاربرد های مشخصی با کربن یا تنش بیشتر و یا در صورت نسبت بیش از حد عمق و عرض ، بیش از حد باشد.

منبع بالقوهً دیگر سولفور نیز شامل رنگ ، روغن و گریس می باشد. همچنین به این دلیل است که بر روی گچ حرارتی (temperature crayon) اصطلاح « عاری از سولفور » قید می گردد.

این عامل به عنوان علت اصلی « تمیزکاری کامل » فلز بویژه هنگام کار با « فولاد ضد زنگ سخت » بوده که از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد.

همچنین در صورت جوشکاری مواد فولادی با مقدار سولفور بالا ، نوع مواد مصرفی یا الکترود آن نیز باید دارای مقدار منگنز نسبتا" بالایی باشد.

نمونه ای فولاد با مقدار سولفور بسیار بالا ، فولاد (free machining) است . برخی از این فولادها را نمی توان در شرایط معمولی به دلیل مقدار سولفور بسیار بالای شان ، جزء فولاد های جوش پذیر به حساب آورد.

منگنز نیز از اثر تشکیل سولفید منگنز با سولفور برخوردارست.

منگنز و سولفور کروی شکل اند و در دمای بالاتری نسبت به سولفید آهن منجمد و به طور یکسان نیز در سراسر جوش پراکنده می شوند ؛ همینطور چسبندگی بین دانه ها حفظ شده و در نتیجه ترکی ایجاد نمی شود.

از این رو نسبت منگنز و سولفور که در حدود 40:1 بوده ، باید مورد بررسی دقیق قرار گیرد. زیرا مقدار زیاد کربن نیز می تواند این نسبت مورد نیاز را افزایش دهد. همینطور کربن را باید تا حد نسبتا" پایینی که امکان داشته با استفاده از رقت (dilution) پایین ورق و سیم جوش های پر کننده کم کربن با منگنز بالا ، کاهش داد.

خلاصهً روشهای پیشگیری عبارتست از :

- **از فرایندهایی با رقت پایین استفاده نمایید.**
- **مواد مصرفی با منگنز بالا بکار ببرید.**
- **میزان پایین کربن را حفظ نمایید.**
- **گیرداری (restraint) و تنش را به حداقل برسانید.**
- **مقدار سولفور پایین ورق را مشخص کنید.**
- **اقدام به از بین بردن ناخالصی های لایه ای (laminations) نمایید.**
- **قبل از آماده سازی فلز ، اقدام به تمیزکاری کامل آن نمایید.**
- **میزان رقت (dilution) را به حداقل برسانید.**

موارد مرتبط با نسبت عمق و عرض :

شکل جوش نیز به احتمال بروز ترک کمک می کند ؛ این عامل به طورکلی مستقل از ماده سولفور بوده ، ولی معمولا" با همدیگر تلفیق می گردند.

فرایندهایی از قبیل (SAW) و (MAG) احتمالا" با استفاده از (انتقال افشانه ای) ، جوش های حساس عمیق و باریکی ایجاد می کنند.
به هر حال غیراز حجم ، شکل جوشی که قبلا" به آن اشاره شده به عنوان عامل اصلی به حساب می آید ؛ از این رو پاس ریشه و جوش موقت نیز احتمالا" نمایه (profile) حساسی از جوش را بوجود می آورند. همینطور پاسهای ریشه نیز جزء مناطقی با رقت بالا ــ که جذب بیشتر سولفور در آن صورت گرفته ــ به شمار می رود و احتمال ایجاد تنش بیشتر نیز در آنها وجود دارد ؛ از این رو این نقاط را می بایست با تصور بروز ترک انجماد در آنها مورد بازرسی قرار داد.

ترک انجماد در فولاد ضد زنگ سخت (Austenitic) :

فولاد ضد زنگ سخت شونده از جمله فولادهای مستعد ترک انجماد به شمار می رود.

علت آن ناشی از عواملی به شرح ذیل می باشد :

- اندازه نسبتا" بزرگ دانه که باعث کاهش منطقه مرزی دانه ها می شود.
- ضریب بالای انبساط گرمایی با تنش های بالای حاصل از آن
- وجود ساختار اتمی بسیار نامقاوم در برابر مواد آلاینده از قبیل سولفور ، فسفر و عناصر اضافی دیگری مانند بور (boron)

همچنین عوامل و موارد پیشگیری این نوع فولاد را احتمالا" باید به مانند فولاد کربن غیر آلیاژی در نظر گرفت ، اما با تأکید بیش از حدی که باید بر شرایط « تمیزکاری کامل » فلز، قبل از جوشکاری اعمال شود.
روش جوشکاری ، به منظور کنترل تعادل (austenite) و (ferrite) در فلز جوش ، نوشته می شود. این تعادل نیز مستقیما" بر مقاومت ساختار فلز در برابر مواد آلاینده و مرز دانه های حاصل از آن تأثیر می گذارد و علت آن ناشی از عدم تطا بق مواد پرکننده با فلز مبنا می باشد.
از این رو ، به منظور اطمینان از حفظ چنین تعادلی ، باید اقدام به نظارت دقیق پارامترهای لازم و کنترل رقت (dilution) آنها نمود.

نوع ترک : پارگی تورق یا لایه لایه (Lamellar Tearing)

محل: فلز مبنا

نوع فولاد: هر نوع فولاد

ساختار ریز یا میکروسکوپی : شکل پذیری پایین ضخامت سراسری

دلایل بروز این نوع ترک :

درهنگام جوشکاری ، اتصالاتی بوجود می آید که تنش های انقباضی بالایی در مسیر ضخامت یکی از ورقها در اتصال ایجاد می شود.
این « مسیرعرضی کوتاه» (short transverse direction) در شکل پذیری ورقهای نورد شده سرد cold-rolled وجود ندارد ، اما چنین خاصیتی نیز باید از این فشار نرم ناشی از عمل انقباض برخوردار باشد.
شروع« ترک پله ای » احتمالا" در سطح افقی و دقیقا" در زیر منطقه (HAZ) ورق تحت تأثیر واقع شده ، می باشد. همچنین آخال های ناخالصی از قبیل سولفید و سیلیکات که در طول ساخت فولاد بوجود آمده ، باعث ایجاد شکل پذیری نامطلوب ضخامت سراسری می گردد. سپس آن هنگامی که در معرض تنش بالای عرضی کوتاه قرار گیرد ، منجر به پارگی تورق یا لایه لایه (lamellar tearing) می شود.
به منظور ارزیابی خطر حساسیت مواد در مقابل پارگی تورق ، معمولا" اقدام انجام به آزمایش های کششی ضخامت سراسری مواد می گردد.

از این رو ، دو نوع آزمایش کششی عرضی کوتاه در این خصوص وجود دارد که عبارتند از :

1. آزمایش متداول کششی عرضی کوتاه
2. آزمایش مرکب کششی اتصال جوشی صلیبی شکل

در آزمایش اول ، میزان شکل پذیری ضخامت سرا سری که باید حداقل میزان معین را نشان دهد ، مورد بررسی قرار می گیرد.
در آزمایش دوم نیز ، در صورت وجود مسئله پارگی تورق ، انتظار شکستگی نمونه آزمایش در سطوح بسیار پایین تر از حد تعیین شده ، وجود دارد.

روشهای پیشگیری پارگی تورق :

برای کاهش خطر پارگی تورق ، باید اقدام به انجام مراحل زیر نمود :

- اقدام به کنترل تجزیه شیمیایی نموده و برای اطمینان از وجود تورق یا ناخالصی های لایه ای laminations ، لبه های ورق را تحت آزمایش (UT) و (PT) قرار دهید.
- لایه (buttering) فلز جوش با قابلیت شکل پذیری بالا نیز احتمالا" در جایی که قسمت عمودی فلز باید جوش شود ، قرار می گیرد و این امر امکان جذب فشار نرم یا شکل پذیر را فراهم می کند.

- همچنین با ایجاد شکاف میان قسمتهای عمودی و افقی ، امکان ایجاد حرکت انقباضی فراهم می گردد.
- به منظور کاهش و یا تغییر جهت تنش ها ، احتمال اصلاح طرح یا شکل اتصال وجود دارد.
- احتمالا" با استفاده از قطعات سپری یا T شکل ، نیاز مجدد به طراحی کامل اتصالات جوشی نیز وجود دارد.

روشهای کنترل وقوع پارگی تورق عبارتند از :

1. تغییر طرح جوش
2. استفاده از لایه های (buttering) فلز جوش
3. کاهش گیرداری یا محدودیت (restraint)
4. استفاده از قطعات سپری یا T شکل در « اتصالات حساس »

نوع ترک : خوردگی بین بلوری (inter-crystalline)

محل: منطقه (HAZ) جوش (به صورت طولی)

نوع فولاد: فولاد ضد زنگ سخت

ساختار ریز یا میکروسکوپی : مرز دانه های حساس

دلایل بروز این نوع ترک :

در طی جوشکاری فولاد ضد زنگ ، افت دما (temperature gradient) در منطقه (HAZ) که در آن کاربید کروم از کربن و کروم تشکیل شده ، صورت می گیرد.
تشکیل کاربید باعث کاهش دانه های تحت تأثیر واقع شده کروم که مقاومت خوردگی شان را بشدت کم کرده ، می گردد. از این رو بلافاصله با وقوع چنین اثری ، می توان گفت که فولاد ضد زنگ « حساس شده » و یا به عبارتی دیگر ، در مقابل خوردگی حساس گردیده است.
همچنین در صورت عدم انجام عمل دیگری ، خوردگی به موازات پنجه جوش و در منطقه (HAZ) آشکار می گردد. خوردگی تنها زمانی که بعد از آن جوش بکار برده شده ، اتفاق می افتد ؛ چنین عملی عموما" تحت عنوان پوسیدگی جوش شناخته شده است. این نوع خوردگی به شکل سوراخهای موضعی شروع شده که در فولاد ضد زنگ نیز احتمالا" به شکستگی نسبتا" سریعی منجر می گردد.

روشهای پیشگیری پوسیدگی جوش در فولاد ضد زنگ :

- برای جلوگیری از وقوع پوسیدگی جوش ، می توان از میزان کربنی پایین تر از **0.03** درصد در فلز مبنا استفاده نمود. این عامل از مقدار کربن موجود و آزاد جهت تشکیل کاربید کروم می کاهد. به عنوان مثال ، فولاد ضد زنگ از نوع **E316** که دارای مقدار کمی کربن بوده ، به عنوان فولاد ضد زنگ نوع **E316 L** تعیین می گردد.
- روش دیگر پیشگیری ، افزودن عناصر دیگری از قبیل نیوبیم و تیتانیوم به ورق و الکترود جهت تثبیت فولاد است. این عناصر ، تحت عنوان « عناصر تثبیت کننده » بوده که با تشکیل کاربید اقدام به جمع آوری کربن آزاد می نمایند ؛ همینطور کروم را ــ که در مقابل خوردگی مقاوم بوده ــ از خود در دانه ها به جا می گذارند.
- تبدیل کروم و کربن به کاربید کروم تقریبا" در دمای بین **850 – 500** درجه سانتیگراد صورت می گیرد. همچنین اکثر روشهای جوشکاری به منظور کاهش مدت زمانی که منطقه (**HAZ**) در معرض این میزان دما قرار گرفته ، طرح ریزی می شود. از این رو ، روش معمول اینست تا « حداکثر دمای بین پاسی » تحت کنترل قرار گیرد.
- فولاد ضد زنگ حساس نیز بعد از جوشکاری احتمالا" با حرارت دادن تا دمای **1100** درجه سانتیگراد و سپس سخت شدن آن ، تحت گدازش (**solution annealed**) قرار می گیرد. چنین عملی کاربید کروم را حل و از تجمع دوباره آنها جلوگیری می کند.

خلاصه ای از جوش پذیری فولاد :

ترک هیدروژنی منطقه (HAZ) و فلز جوش :

دلایل بروز این نوع ترک :

ترک هیدروژنی منطقه (**HAZ**)	فرایند	مواد مصرفی	رنگ ، زنگ و گریس
بازرسی به تأخیر افتاده	انحلال پذیری	غلظت	منطقه **HAZ**
انتشار	تغییر و دگرگونی	مارتنزیت	عوامل حساس
سختی بیش از **350 VPN**	میزان هیدروژن بیش از **15** میلی لیتر	کمتر از میزان **0.5** تنش تسلیم	دمای کمتر از **300** درجه سانتیگراد

ترک جوش **HSLA**	فلز مقاومت بالا	جوش کربن بالا	شکل پذیری پایین
انقباض جوش	ترک عرضی	آلیاژ کم **Nb T V**	طولی

روشهای پیشگیری :

پیش گرمایش	کنترل هیدروژن	پخت مواد مصرفی یا الکترود	استفاده از فرایند هیدروژنی پایین
کاهش گیرداری یا محدودیت	برداشتن پوشش	طول قوس پایدار	فلز جوش فولاد ضد زنگ
انرژی قوس	استفاده از ورق با Cev پایین	استفاده هر چه سریعتر از پاس دوم	استفاده از Cons هیدروژنی پایین

ترک انجماد در فولاد منگنز و کربن :

دلایل بروز این نوع ترک :

سولفور	فریت و سولفید	حد وسط جوش	انقباض
لایه نقطه ذوب پایین	نیروهای انقباض	عدم چسبندگی	شکنندگی حرارتی

روشهای پیشگیری :

درصد منگنز بالا	استفاده از محدودیت پایین	کنترل درصد کربن	استفاده از رقت پایین
کنترل حرارت ورودی	کنترل درصد سولفور	تغییر آماده سازی	تمیزکاری

تورق پارگی یا لایه لایه فولاد منگنز و کربن :

دلایل بروز این نوع ترک :

تورق نامطلوب	فشار شکل پذیر	سولفور	آخال های ریز
انقباض	عرض کوتاه	ترک پله ای	تفکیک و جداسازی

روشهای پیشگیری :

آستفاده از (NDT) در تورق یا ناخالصی های لایه ای	کشش سرتاسری	لایه های (buttering)	شکاف انقباض

طراحی دوباره اتصال	قطعه نورد شدهٔ T شکل	تجزیه شیمیایی	کنترل حرارت ورودی

خوردگی بین بلوری در فولاد ضد زنگ :

دلایل بروز این نوع ترک :

کاهش کروم	افت دما	کابید کروم	حساس سازی
به موازات جوش	در منطقه (HAZ)	عدم مقاومت	تثبیت شده

روشهای پیشگیری :

کربن کم به میزان 0.3 درصد	عناصر تثبیت کننده	نیوبیم	ترتیب پاس جوش
حرارت ورودی پایین	تیتانیوم	عمل گدازش (solution anneal)	دمای پایین بین پاسی

بخش بیست و سوم : عمل بازرسی چشمی جوش

بازرسی چشمی عملی :

عبارت **CSWIP** (طرح گواهینامه برای افراد جوش و بازرسی) ، شامل طرح آزمونی برای بازرسین جوش بوده که در حال حاضر از موارد ذیل تشکیل می گردد:

- **CSWIP 3.0** (بازرس جوش چشمی)
- **CSWIP 3.1** (بازرس جوش)
- **CSWIP 3.2** (بازرس ارشد جوش)

این بخش شامل مطالب مربوط به داوطلبانی است که خواهان ورود به مقطع آزمون (**CSWIP 3.0**) ، (**CSWIP 3.1**) و (**AWS Bridge**) می باشند و مفاد امتحانی آن نیز به شرح ذیل ارائه شده است :

آزمون	مدت زمان
CSWIP 3.0	
آزمون عملی ورق با جوش لب به لب (**butt welded**) و (دارای کد)	یک ساعت و **45** دقیقه
آزمون عملی اتصال سپری یا **T** شکل با جوش گوشه ای (**fillet welded**) و (دارای کد)	یک ساعت و **15** دقیقه
	کل مدت زمان: **3** ساعت
CSWIP 3.1	
آزمون عملی ورق با جوش لب به لب و (دارای کد)	یک ساعت و **15** دقیقه
آزمون عملی لوله با جوش لب به لب (با ارائهٔ کد داوطلب)	یک ساعت و **45** دقیقه
آزمون عملی ارزیابی ماکروها (شامل دو عدد ماکرو با ارائهٔ کد)	**45** دقیقه
آزمون تئوری تخصصی (شامل **4** تا از **6** سوّال)	یک ساعت و **15** دقیقه
آزمون تئوری عمومی (شامل **30** عدد سوّال تستی)	**30** دقیقه

آزمون شفاهی (شامل سوالاتی در زمینه دستورالعمل (**Code**) و بازرسی عمومی) **15 دقیقه**

کل مدت زمان: 5 ساعت و 45 دقیقه

AWS CWI - CSWIP 3.1 Bridge

آزمون عملی لوله با جوش لب به لب و (دارای کد)	یک ساعت و **45** دقیقه
آزمون عملی ارزیابی ماکرو (شامل یک ماکرو با ارائهٔ کد)	**25** دقیقه
آزمون تئوری تخصصی (شامل سوالاتی با **1** پاسخ بلند و **9** پاسخ کوتاه)	یک ساعت و **20** دقیقه

کل مدت زمان: **3** ساعت و **30** دقیقه

برای موفقیت در بازرسی عملی این نوع آزمونها ، به ابزارهای مهمی نیاز است که عبارتند از :

1. بینایی خوب
2. ابزارهای تخصصی اندازه گیری
3. ابزارهای دستی شامل (ذره بین ، چراغ قوه ، آیینه ، مقیاس مدرج و غیره)
4. مداد ، خودکار ، فرم گزارش ، معیارهای پذیرش و ساعت

بینایی خوب :

به منظور انجام موّثر حیطه کاری خود به عنوان بازرس جوش واجد شرایط (**CSWIP**) ، برخورداری از تیزبینی قابل قبول حائز اهمیت بوده و همینطور قبل از انجام آزمون بازرسی جوش (**CSWIP**) و یا موضوعات مربوط به (**NDT**) نیز باید اقدام به ارائه گواهی آزمایش تیزبینی نمود.

به علاوه ، در مورد بازرسی ماده نافذ با رنگ پس زمینه ، ماده نافذ فلورسنت و ذرات مغناطیسی ، بازرس باید قادر به تشخیص این نوع رنگهای پس زمینه باشد ؛ از این رو ، به آزمایش کوررنگی برای این رنگها نیاز است.

همچنین همه داوطلبان آزمون (**CSWIP**) باید توسط « بینایی سنج ماهری » تحت آزمایش قرار گیرند و احتمالا" آزمایشهایی نیز به تناوب از سوی کارکنان واجد شرایطی در اکثر مراکز آزمون **TWI** انجام می شود.

از این رو ، آگاهی از این موضوع که قدرت بینایی انسان احتمالا" با گذشت زمان بلافاصله تضعیف شده ، حائز اهمیت است.

دارندگان گواهینامه بازرسی جوش (**CSWIP**) باید دوبار در سال و به طور حرفه ای اقدام به آزمایش بینایی خود نمایند. همچنین گواهی جدید آزمایش بینایی می بایست به عنوان مدرکی مبنی بر قدرت بینایی فرد ، در اختیار هیأت امتحان (**CSWIP**) قرار گیرد.

ابزارهای تخصصی اندازه گیری :

برای اندازه گیری عناصر گوناگون در یک سازهٔ جوش شده ، ابزار های تخصصی اندازه گیری وجود دارد که عبارتند از:

- **Hi – Lo سنج ، که از آن برای اندازه گیری عدم تطابق و تناسب میان دیواره لوله و ضخامت ورق استفاده می شود.**
- **معیار اندازهٔ برش عرضی جوش گوشه ای ، که برای اندازه گیری ابعاد و نمایهٔ ظاهری جوش گوشه ای بکار می رود.**
- **زاویه سنج ، که برای اندازه گیری زوایای آماده سازی جوش مورد استفاده قرار می گیرد.**
- **معیار اندازه گیری چند منظوره جوش ، که از آن برای اندازه گیری اندازه های مختلف جوش استفاده می شود.**

فلز جوش اضافی را می توان به آسانی با مقدار« طول ساق جوش » ضربدرعدد 0.7 ، محاسبه نمود ؛ سپس این عدد از مقدار « ضخامت گلویی » کسر می گردد ، در نتیجه عدد بدست آمده ، مقدار « فلز جوش اضافی » را نشان می دهد.
به عنوان مثال : طول ساق جوش (10 میلی متر) و ضخامت گلویی نیز (8 میلی متر) است. برای محاسبه مقدار فلز جوش اضافی ، به صورت زیرعمل می کنیم :

10 * 0.7 = 7
8 – 7 = 1 میلی متر (فلز جوش اضافی)

ابزار اندازه گیری چند منظوره جوش (TWI Cambridge) :

- **زاویهٔ آماده سازی جوش :**

این نوع ابزار از عدد صفر تا 60 درجه به صورت درجات 5 تایی اندازه گیری می کند . همچنین مقدار اندازه زاویه را می توان در مقابل لبه پخدار ورق یا لوله مشاهده نمود.

- **ضخامت واقعی گلویی جوش گوشه ای :**

اشاره گر کوچک و متحرک آن تا اندازه ای حدود 20 میلی متر (¾ اینچ) را نشان می دهد. هنگام اندازه گیری گلویی جوش ، به نظر جوش گوشه ای دارای « ضخامت گلویی طرح ظاهری » است ؛ زیرا « ضخامت گلویی طرح واقعی» را نمی توان در این حالت اندازه گرفت.

- **طول ساق جوش گوشه ای :**

این نوع ابزار احتمالا" برای اندازه گیری میزان طول ساق جوش گوشه ای تا حدود 25 میلی متر ، به همان طریقی که در شکل سمت چپ نشان داده شده ، بکار می رود.

- **نا همترازی خطی (Linear Misalignment) :**

از این ابزار نیز احتمالا" برای اندازه گیری ناهمترازی قطعه ها استفاده می شود. این عمل با قرار دادن لبهً آن بروی قطعه پایین تر و چرخاندن قسمت متحرک تا جاییکه نوک اشاره گر با قطعه بالاتر برخورد کند ، صورت می گیرد.

- **فلز جوش اضافی و نفوذ ریشه :**

این دستگاه نیز برای اندازه گیری ارتفاع فلز جوش اضافی و یا ارتفاع برآمدگی یا گرده (bead height) نفوذ ریشهً جوش لب به لب یک طرفه بکار می رود ؛ از این رو چنین عملی با قرار دادن لبهً آن بر روی ورق و چرخاندن قسمت متحرک تا جاییکه نوک اشاره گر با فلز جوش اضافی و یا برآمدگی ریشه در بالاترین نقطه برخورد کند ، صورت می گیرد.

- **بریدگی کنار جوش (Undercut) :**

از این ابزار احتمالا" برای اندازه گیری بریدگی کنار جوش استفاده شده ، که این عمل نیز با قرار دادن لبهً آن بر روی ورق و چرخاندن قسمت متحرک تا جاییکه نوک اشاره گر با پایین ترین عمق بریدگی کنار جوش برخورد کند ، انجام می شود.
همچنین طرز خواندن میزان درجهً اندازه گیری شدهً قطعه بر روی دستگاه از سمت چپ علامت صفر و بر حسب میلی متر یا اینچ صورت می گیرد.