فصل ششم

نقشه خوانی WPS

وضعیت های جوشکاری

وضعیت جوشکاری حالت و شرایط قرار گرفتن قطعه نسبت به جوشکار است که به عنوان مثال می تواند روبروی جوشکار ، بالای سر جوشکار ، بر روی سطح افق و .... باشد. در میان تمام وضعیتهای ممکن چهار وضعیت استاندارد شده وجود دارد که به طور عموم در تمام روشها و در کلیه کاربردها از آنها استفاده می شود. این چهار وضعیت به تفسیر در ادامه توضیح داده شده است.

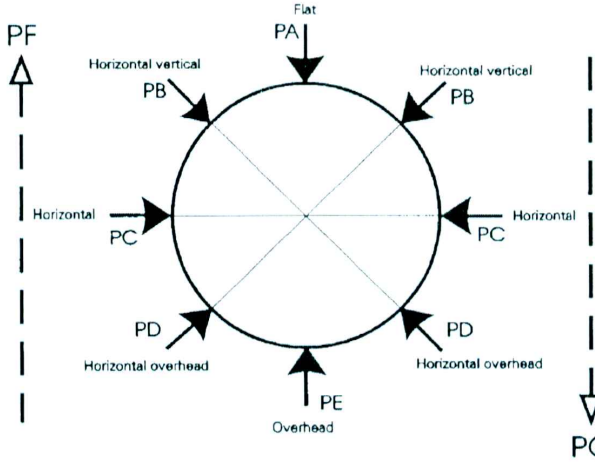
1 – وضعیت تخت (Flat)

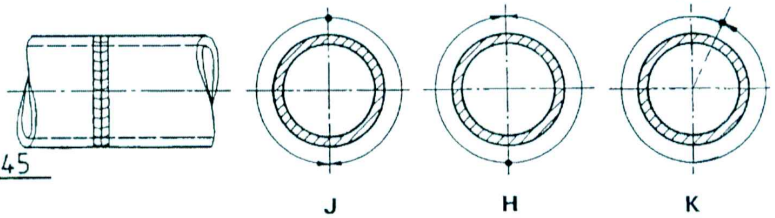
2 – وضعیت افقی (Horizontal)

3 – وضعیت عمودی یا قائم (Vertical)

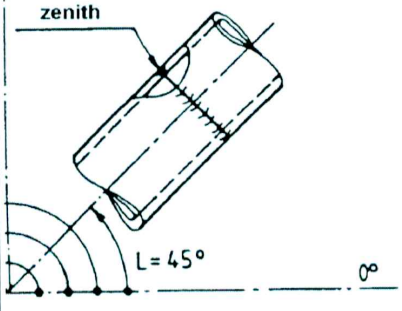
4 – وضعیت سقفی (Over Head)

وضعیت های جوشکاری طبق استاندارد EN (ISO6947)



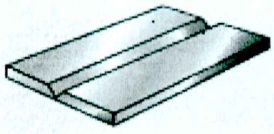
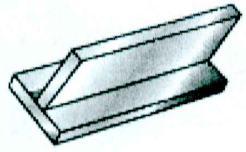
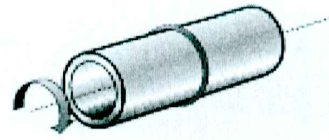
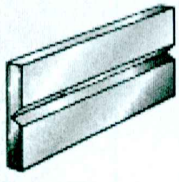
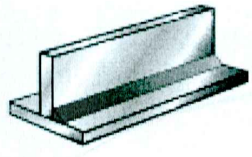
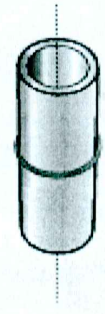
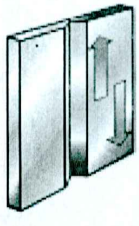
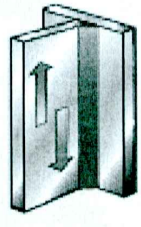
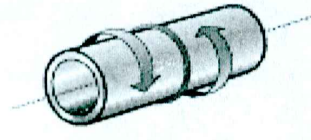
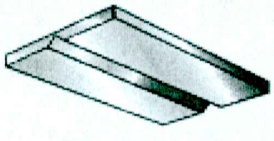
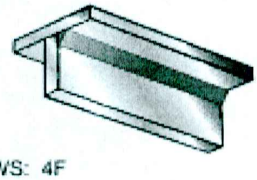
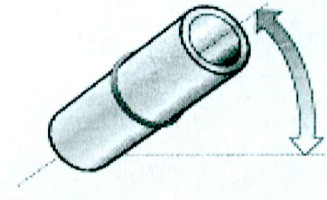


e.g. H-L045



Sayyed Reza Taghavi Shahri

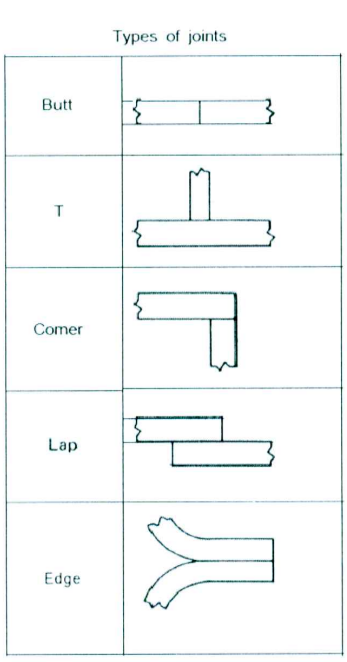
وضعیت های جوشکاری طبق استاندارد AWS:

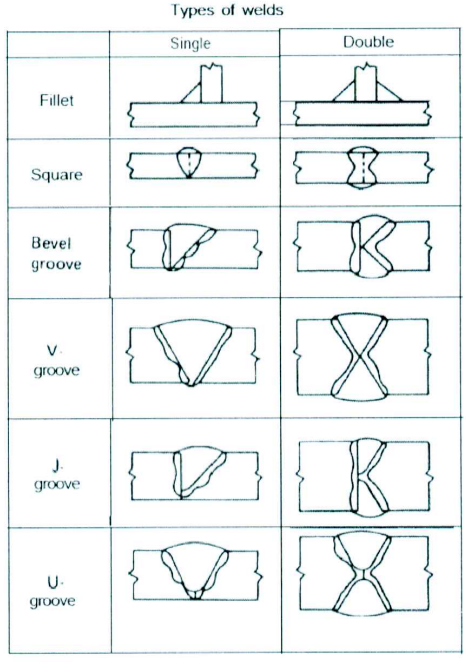
Butt welds	Fillet welds	Pipe welds
 AWS: 1G	 AWS: 1F	 AWS: 1G
 AWS: 2G	 AWS: 2F	 AWS: 2G
 AWS: 3G	 AWS: 3F	 AWS: 5G
 AWS: 4G	 AWS: 4F	 AWS: 6G

Sayyed Reza Taghavi Shahri

انواع طرح اتصال و نوع جوش

بر طبق استاندارد **AWS** بایستی توجه داشت که این دو اصطلاح در مستندات جوشکاری با یکدیگر تفاوت دارد که می توانید آنها را در جدول زیر مشاهده کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید ما تنها ۵ طرح اتصال و ۷ نوع جوش داریم.





- **Types of joints:** انواع طرح اتصال
  - **Butt:** سر به سر
  - **T:** تی شکل
  - **Corner:** گوشه ای
  - **Lap:** لب روی هم
  - **Edge:** لبه ای

- **Types of welds:** انواع جوش
  - **Fillet:** سپری
  - **Square:** چهارگوش(بدون آماده سازی)
  - **Bevel Groove:** پخ نیم جناقی
  - **V Groove:** با پخ جناقی
  - **J Groove:** با پخ نیم لاله‌ای
  - **U Groove:** با پخ لاله‌ای

Sayyed Reza Taghavi Shahri

عوامل موثر در انتخاب نوع و مقدار پخ

فاکتورهای فراوانی در انتخاب نوع پخ ، زاویه پخ ، ارتفاع پخ و .... دخیل هستند. در طراحی اتصال جوش و طراحی پخ باید تک تک این فاکتورها را در نظر گرفت. در ادامه به اختصار به تعدادی از این فاکتورها اشاره می کنیم :

۱ – ضخامت قطعه کار : به طور کلی با افزایش ضخامت قطعه کار برای دستیابی به یک اتصال مطمئن میزان پخ زنی بیشتر می شود. یک قانون تجربی در پخ زنی می گوید : در پخ سازی قطعات با ضخامت کمتر از ۱۵ میلی متر از پخ یک طرفه و در قطعات با ضخامت بیش از ۱۵ میلی متر از پخ دو طرفه استفاده می کنند.

۲ – هزینه پخ زنی : این فاکتور رابطه مستقیم با انتخاب نوع پخ دارد به این معنی که پخ های جناقی به علت سادگی و سرعت در آماده سازی از پخ های لاله ای کم هزینه تر هستند چراکه ایجاد پخ لاله ای نیاز به ماشین کاری قطعه کار دارد اما پخ جناقی را می توان با تجهیزات ساده ایجاد نمود.

۳ – مقدار فلز جوش مصرفی : این فاکتور هم با انتخاب نوع پخ در ارتباط مستقیم است. پخ لاله ای در مقایسه با پخ جناقی به فلز جوش کمتری نیاز داشته و به طبع پیچیدگی کمتری ایجاد می کند. از طرفی پخ دو طرفه نسبت به پخ یک طرفه فلز جوش کمتری را در خود جای داده و میزان پیچیدگی را کاهش می دهد.

۴ – مقاومت در برابر تنشها : به طور کلی پخ های دو طرفه در مقایسه با پخ های یک طرفه و پخ لاله ای نسبت به پخ جناقی از مقاومت بهتری در مقابل تنش ها برخوردار هستند.

۵ – دقت ابعادی : برای دستیابی به حداکثر دقت ابعادی و حداقل پیچیدگی باید حداقل مقدار پخ زنی در نظر گرفته شود.

۶ – پیچیدگی : رابطه پیچیدگی با پخ سازی در شماره سه بررسی شد.

۷ – دسترسی به محل جوش : در محلهایی که دسترسی به طرف دیگر قطعه یا جوش نباشد پخ دو طرفه کاربرد نداشته و از پخ یک طرفه استفاده می شود.

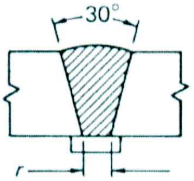
۸ – وضعیت جوشکاری : به عنوان مثال برای نگهداری مذاب جوش در مسیر جوشکاری و در وضعیت افقی از نیم پخ به جای پخ کامل استفاده می شود.

۹ – نوع فلز پایه : برای فلزاتی که سیالیت کمی دارند جهت پر شدن بهتر درز از زاویه پخ بیشتری استفاده می کنند مثل نیکل که زاویه پخ بیشتری نسبت به فولاد دارد. یا زاویه پخ چدن که از فولاد بیشتر است چراکه به علت کربن بالای چدن باید به کمک زاویه پخ زیاد اجازه خروج گازها را از جوش داد.

پشت بند (Backing)

هنگام جوشکاری قطعات ضخیم برای رسیدن به یک اتصال مطمئن ، پخ زنی قطعات یک امر اجتناب ناپذیر است. در قطعات پخ خورده پاس نفوذی مهم ترین و اساسی ترین پاس جوش می باشد که در اتصال مستحکم دو قطعه نقش مهمی را ایفا می کند. پاس نفوذ معمولا در قطعاتی که یک طرفه پخ خورده اند و به پشت قطعه دسترسی وجود ندارد

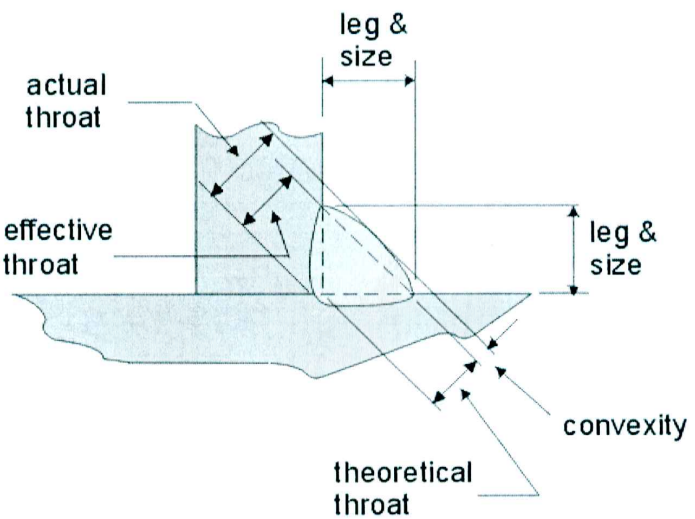
Sayyed Reza Taghavi Shahri

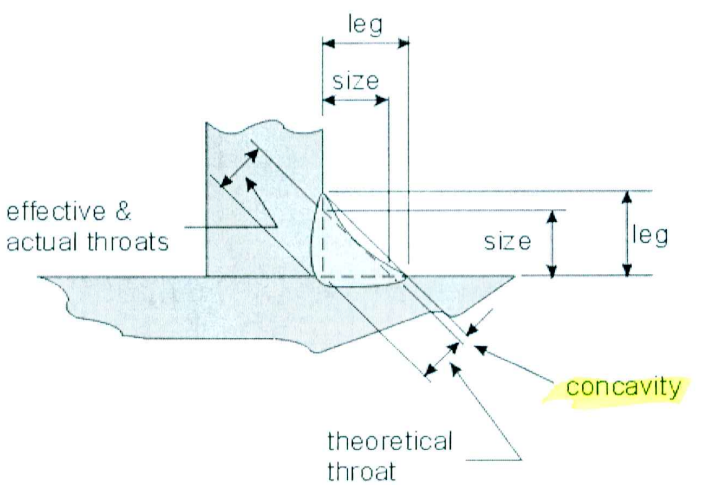


بکار می رود .اما در قطعاتی که دو طرفه پخ می خورند ، یا قطعاتی که یک طرفه پخ خورده اند و امکان دسترسی به پشت آنها وجود دارد از جوش پشتی یا **back weld** استفاده می شود. همچنین در اتصالاتی که فاصله ریشه زیاد بوده و یا به نوعی می خواهند از ریزش و یا اکسید شدن فلز جوش پاس اول جلوگیری کرده سرعت جوشکاری را بالا ببرند از پشت بند استفاده می کنند. بسته به نوع فلز پایه ، روش جوشکاری و هدف استفاده از پشت بند ، جنس آن متغییر بوده و می تواند فلزی (معمولا مسی) ، سرامیکی ، پودری و حتی جریانی از گاز خنثی باشد .

اصطلاحات در جوش فیلت:

Leg:ساق جوش
Throat: گلویی
Convexity: تحدب
Concavity: تقعر





Sayyed Reza Taghavi Shahri

علایم و نقشه خوانی در جوشکاری

نتایج و دست آوردهای طراحی و محاسبات جوش جهت اجرا و رعایت در حین انجام عملیات جوشکاری بر روی نقشه هایی پیاده می شود. در این نقشه ها برای بیان جزئیات عملیات جوشکاری از علایم ونشانه هایی استفاده شده است که می توان آنها را زبان علم جوشکاری نامید. دراین زبان طرح اتصال ، نوع جوش ، محل جوش ، اندازه جوش وحتی روش جوشکاری و ابعاد مورد نیاز آورده می شود و هر متخصص علم جوشکاری و حتی جوشکاران ماهر باید توانایی خواندن این علایم و نقشه ها و تبدیل آنها به دستورات عملی را داشته باشند.

علایم اولیه کار با این نقشه ها در جدول ذیل آمده است.

Table 1: Selected elementary symbols

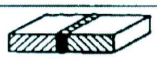
No.	Designation	Illustration	Symbol
2	Square butt weld		‖
3	Single-V butt weld		V
4	Single-bevel butt weld		/
5	Single-V butt weld with broad root face		Y
6	Single-bevel butt weld with broad root face		K
7	Single-U butt weld (parallel or sloping sides)		Y
14	Steep-flanked single-V butt weld		⅄
9	Backing run		U
12	Spot weld		○
10	Fillet weld		△

Table 2: Combined symbols

No.	Designation	Illustration	Symbol
3-3	Double-V butt weld		X
4-4	Double-bevel butt weld		K
5-5	Double-V butt weld with broad root face		X
6-6	Double-bevel butt weld with broad root face		K
7-7	Double-U butt weld		X
3-9	Single-V butt weld and backing run		V
10-10	Double fillet weld		⊳

موسسات و مراکز معتبر مختلفی درجهت استانداردسازی و هماهنگی علایم ونشانه های جوشکاری تلاش کرده اند. دو مورد از معتبرترین موسسات ، انجمن جوشکاری آمریکا (**AWS**) وموسسه **ISO** یا استاندارد اروپا می باشد. جهت روشن شدن هریک از این استانداردها درادامه به تشریح آنها می پردازیم:

استاندارد انجمن جوشکاری آمریکا AWS در نقشه خوانی:

دراین استاندارد می توان علایم ونشانه ها را به دو دسته کلی علایم عمومی وعلایم اختصاصی تقسیم کرد. علایم عمومی ، به علایمی گفته می شود که برای انواع جوشها به کار رفته وعلایم خصوصی بر روی آنها قرار می گیرند. درمقابل ، اختصاصی به علایمی اطلاق می شود که به یک نوع جوش خاص اختصاص دارد. علایم اختصاصی خود به

Sayyed Reza Taghavi Shahri

زیرمجموعه هایی تقسیم می شوند : علایم جوش لب به لب یا سر به سر (**Butt Joint**) ، علایم جوش لب روی هم (**Lap Joint**) ، علایم جوش گوشه ای (**Fillet Joint**) وعلایم جوش لبه ای یا پیشانی (**edge Joint**)

علایم عمومی جوش در استاندارد AWS

علائم عمومی جوش دراستاندارد **AWS** همانند شکل زیر می باشد. این شکل که در تمام نقشه ها و انواع جوشها کاربرد دارد از قسمتهای مختلفی تشکیل شده است.

۱ – خط پیکان یا خط نشانه : همان طور که در شکل نیز مشخص است خط پیکان خطی است که از یک طرف دارای پیکان بوده و از طرف دیگر به خط مرجع متصل می گردد. نوک پیکان در خط نشانه محل اتصال یا محل جوشکاری را نشان می دهد.

۲– خط مرجع : درتمام نقشه ها خط مرجع به صورت یک خط افقی مشاهده می شود که علایم اختصاصی یا علایم مهمی چون اطلاعات نوع اتصال ، نوع جوش ، ابعاد پخ ، ابعاد درز اتصال و... برروی آن قرار می گیرد.

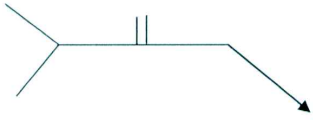
یک قانون کلی در استاندارد **AWS** می گوید : هرگاه علامت جوش در پایین خط مرجع قرار گرفت محلی را که پیکان به آن اشاره می کند باید جوشکاری کرد و هرگاه علامت جوش در بالای خط مرجع وجود داشت طرف مقابلی را که پیکان به آن اشاره می کند باید جوش داد.

۳– دم : این علامت که همیشه در انتهای خط مرجع قرار می گیرد جهت نشان دادن اطلاعات اضافی مانند نوع فرآیند ، نوع الکترود و نوع جریان بکار می رود.

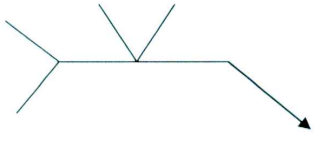
علایم اختصاصی

الف) علایم اختصاصی جوش لب به لب (Butt Joint)

همان طور که در فصل گذشته عنوان شد در این نوع جوش بسته به ضخامت قطعه کار حالتهای مختلفی از اتصال وجود دارد. هر یک از این حالات علامت مخصوص به خود را دارد که علایم اختصاصی جوش لب به لب را می سازند. این علایم اختصاصی که بر روی علایم عمومی و به طور مشخص بر روی خط مرجع قرار می گیرد به شرح زیر است :

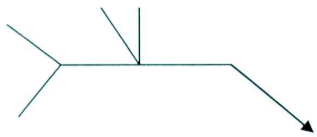


جوش لب به لب بدون پخ سازی و فاصله



جوش لب به لب با پخ جناقی یک طرفه

Sayyed Reza Taghavi Shahri



جوش لب به لب با نیم پخ جناقی یک طرفه

جوش لب به لب با پخ جناقی دو طرفه

جوش لب به لب با نیم پخ جناقی دوطرفه

جوش لب به لب با پخ لاله ای یک طرفه

جوش لب به لب با نیم پخ لاله ای یک طرفه

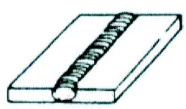
جوش لب به لب با نیم پخ لاله ای دوطرفه

جوش لب به لب با پخ لاله ای دوطرفه

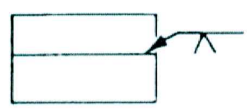
جوش لب به لب بدون پخ سازی به همراه گرده محدب

جوش لب به لب بدون پخ سازی با گرده مقعر

هرکدام از علایم فوق می تواند برای نشان دادن نوع اتصال برروی خط مرجع قرار گیرد. برای روشن شدن مطلب چند مثال در شکل زیر آورده شده است. نکته مهم این که در تمام طرح اتصالات که از نیم پخ استفاده می شود خط راست باید درسمت چپ بیننده قرار گیرد.

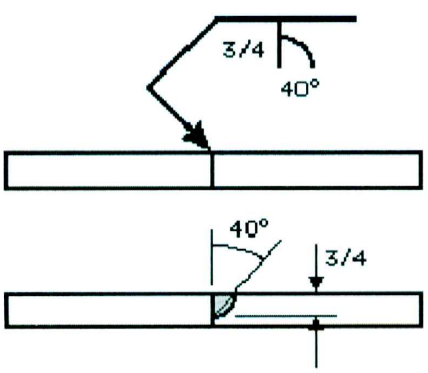


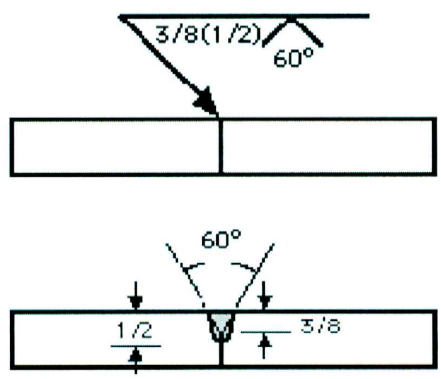
DESIRED WELD



TOP VIEW

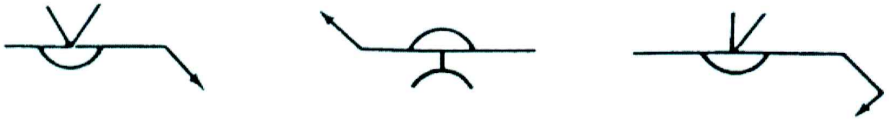
برای مشخص کردن ابعاد مختلف جوش ، در کنار علایم فوق اعدادی قرار می گیرد. این اعداد نشان دهنده سطح مقطع جوش ، طول جوش و زاویه پخ می باشد. ابعاد اصلی که مربوط به سطح مقطع جوش می باشد درسمت چپ علامت نوشته می شود. ابعاد طولی در سمت راست قطعه نوشته می شود و زاویه پخ در دهانه علامت آورده می شود. لازم به ذکر است که این اعداد می تواند براساس واحد اینچ و یا میلی متر برروی نقشه آورده شود. جهت درک بهتر این مطلب به مثالهای زیر دقت نمایید.





Sayyed Reza Taghavi Shahri

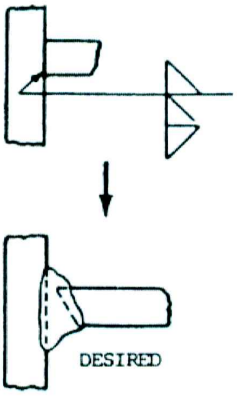
از آنجاییکه درجوش نفوذی احتمال وقوع عیوب مختلف وجود دارد. درمحلهایی امکان دسترسی به پشت جوش هست باید از جوش پشتی یا **Back weld** استفاده کرد.

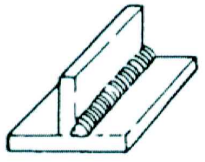


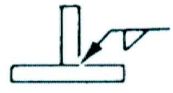
ب) علایم اختصاصی جوش سپری ،گوشه ای (**fillet joint**)

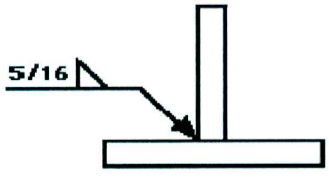
علامتی که دراتصالات سپری درنقشه ها به کار می رود به شرح زیر است :

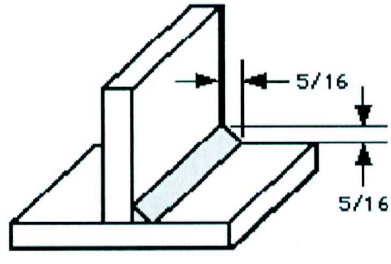
. اندازه گذاری این نوع اتصال هم مانند جوش لب به لب است به این معنی که اعدادی که درسمت چپ مثلث قرار می گیرند ارتفاع ساق جوش و اعدادی که درسمت راست قرار می گیرند طول مسیر جوشکاری را نشان می دهند. به مثالهای زیر دقت کنید:

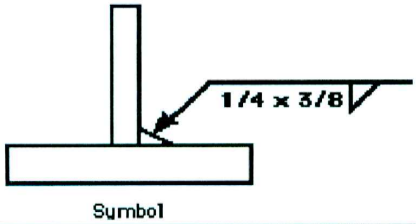


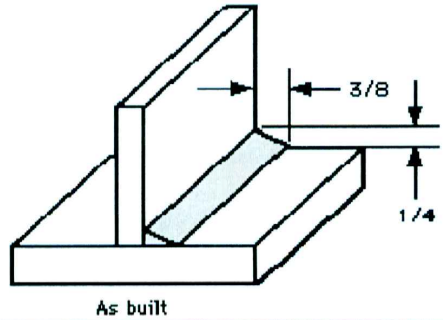








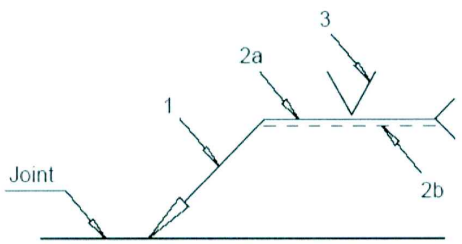




Sayyed Reza Taghavi Shahri

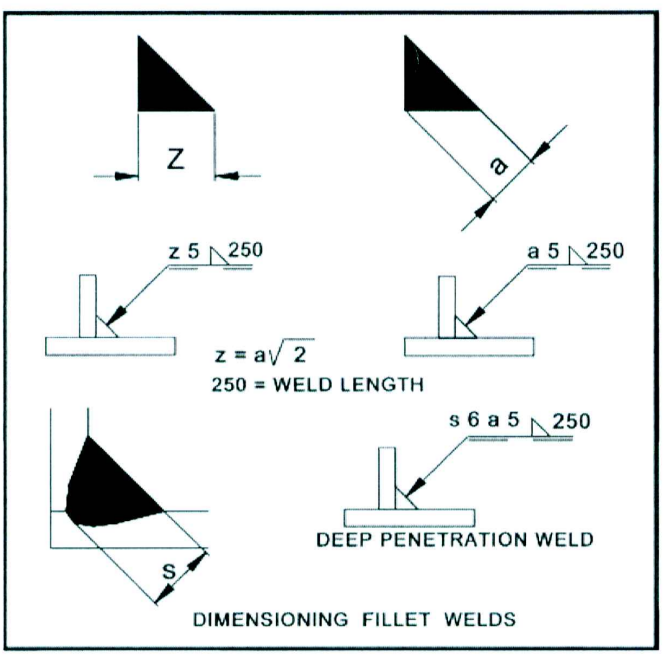
استاندارد اروپا ISO درنقشه خوانی وعلایم جوش

علایم ونشانه هایی که دراستاندارد **ISO** به کار می روند با استاندارد **AWS** مشترک است با این تفاوت که در استاندارد **ISO** یک خط چین به موازات خط مرجع کشیده می شود. هرگاه علایم جوشکاری برروی خط مرجع قرار گیرد عملیات در طرفی که پیکان اشاره می کند انجام می شود و اگر علایم جوشکاری روی خط چین قرار گیرد عملیات در طرف مقابل پیکان انجام می شود. توجه داشته باشید که خط چین می تواند درپایین و یا در بالای خط مرجع قرار گیرد.



1 = arrow line
2a = reference line (continuous line)
2b = reference line (dashed line)
3 = welding symbol

دراستاندارد **ISO** خط نشانه یا خط پیکان هیچ گاه شکسته نیست بلکه پیکان به هر قطعه اشاره کند برروی همان قطعه عملیات انجام می شود.

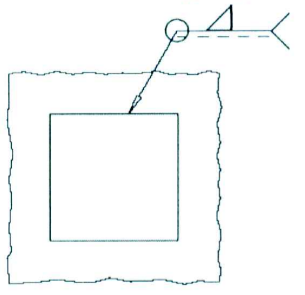


یکی از تفاوتهای اساسی دیگر استاندارد **ISO** و**AWS** دراندازه گذاری جوش گوشه ای و سپری (**Fillet**) می باشد. در استاندارد **AWS** اعداد سمت چپ مثلث (مربوط به جوش سپری) به ساق جوش اشاره می کنند که با حرف **z** نمایش داده می شود درحالیکه در استاندارد **ISO** به گلویی جوش که با حرف **a** نشان داده می شود اشاره می گردد. علاوه برآن دراندازه گذاری جوشهای سپری منقطع به شکل زیر عمل می کنند.

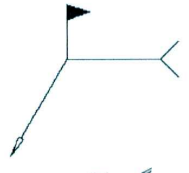
Sayyed Reza Taghavi Shahri

علایم اضافی:

جوش دور تا دور:



جوشکاری در محل:



و دیگر علائم:

Shape of weld surface	Symbol
a) Flat (usually finished flush)	—
b) Convex	⌒
c) Concave	⌣
d) Toes should be blended smoothly	⌓
e) Permanent backing strip used	M
f) Removable backing strip used	MR

اسناد و مدارك جوشكاري

دانستن این موضوع که آیا یک جوش مناسبترین و بهترین نوع اتصال برای یک کاربرد خاص می باشد یا خیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای اطمینان از این موضوع و همچنین اطمینان از کیفیت جوشی که در عمل ایجاد شده است به یک روش و دستور العمل اجرایی نیاز است

سه استاندارد متداولی که برای محصولات جوشکاری کاربرد دارد به شرح زیر است :

۱ – استاندارد **API 1104** موسسه نفت آمریکا برای خطوط لوله انتقال

۲ – استاندارد **ASME Sec . IX**جامعه مهندسین مکانیک آمریکا برای مخازن تحت فشار و اجزا تاسیسات هسته ای

۳ – استاندارد **AWS** جامعه جوشکاری آمریکا برای پلها ، ساختمانها و سایر سازه های فولادی. مانند استاندارد **AWS.D.1.1** که جهت تایید صلاحیت جوشکاران و دستور العمل جوشکاری سازه های فولادی است.

Sayyed Reza Taghavi Shahri

مشخصات روش جوشکاري (Welding Procedure Specification یا WPS)

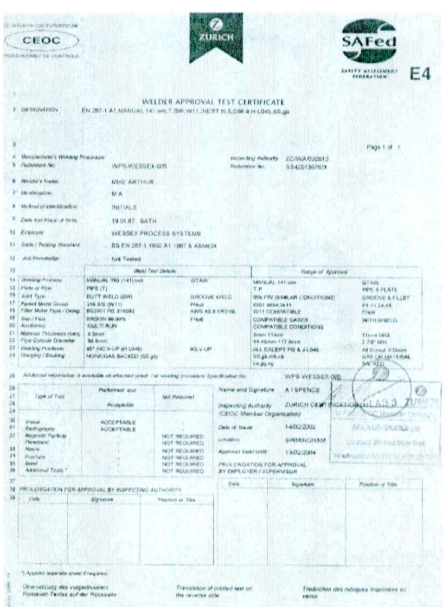
مشخصات روش جوشکاری یا **WPS** مجموعه ای مکتوب از دستورالعمل ها است که با رعایت آن جوشی سالم ایجاد می شود. این روش معمولا براساس کد یا استاندارد خاصی تعریف و تفسیر می شود. در این مشخصات مراحل مختلف جوشکاری یک اتصال مشخص به همراه محدوده تغییرات پارامترهای دخیل در فرآیند جوشکاری و مشخصات مواد مورد کاربرد به تفضیل بیان می شود.

جهت اطمینان از صحت **WPS** یک نمونه مطابق با آن جوشکاری می شود و سپس آزمایشات مربوطه بر روی آن انجام و نتایج آنرا در فرم **PQR** ثبت می کنند. **(Procedure Qualification Record)** در حقیقت این فرم تضمین کننده صحت اطلاعات یک **WPS** که می تواند به یک جوش سالم تبدیل شود می باشد.

تائید صلاحیت جوشکار

در کنار استانداردها ، کدها و دستورالعمل های جوشکاری ، جهت نیل به یک جوش قابل اطمینان و با کیفیت ، اطمینان از صلاحیت و مهارت جوشکاران نیز مهم است. لذا صدور گواهی نامه های تایید صلاحیت از اهم اسناد جوشکاری می باشد.تمامی جوشکارانی که در فرآیندهای مهم جوشکاری به کار گرفته می شوند باید دارای گواهی نامه تایید صلاحیت باشند. جهت دریافت این گواهی نامه لازم است مراحلی طی شود که مهم ترین آنها آزمون جوشکاری است.

این آزمون که معمولا بر اساس یک **WPS** خاص و تایید شده پیاده می گردد معمولا توسط ناظرین و بازرسین انجام می شود که در تمام مراحل آزمون حضور دارند. پس از پایان جوشکاری نمونه ها باید مورد آزمون قرار گیرند. اولین مرحله آزمون بازرسی چشمی است که پس از تائید بازرسی چشمی انجام آزمون های پرتونگاری یا التراسونیک و شکست (به جای تست خمش) و بررسی سطح مقطع مورد نیاز است. آزمونهای مذکور معمولا بر روی قطعاتی که به شکل لب به لب ورق ، نبشی ورق ، لب به لب لوله و نبشی لوله جوشکاری شده اند انجام می شود.


CEOC ZURICH SAFed E4

WELDER APPROVAL TEST CERTIFICATE

پس از پایان آزمون ، نوع و میزان هر عیب مشخص می شود. سپس میزان پذیرش هر عیب از استانداردها و کدهای خاصی استخراج شده و با نتایج به دست آمده مقایسه می شود و در نهایت پذیرش یا عدم پذیرش هر نمونه جوش اعلام می گردد. در صورتیکه جوشکار درتمام مراحل آزمون موفق باشد از تاریخ قبولی در آزمون گواهی نامه ای برای وی صادر می شود که مدت اعتبار آن شش ماه می باشد و برای مدت دو سال توسط کارفرما قابل تمدید است.

Sayyed Reza Taghavi Shahri

Welding Procedure Specification (WPS)
ASME IX

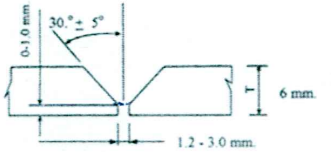
CLIENT : **Charoenchai Stainless Co.,Ltd.** *PROJECT :* **Fabrication Shop**

Welding Procedure Spec. No.:	CS-WPS-01	Date:	20 Jan 07	Supporting PQR No. (s) :	CS-PQR-01
Revision No. :	0	Date:	-		
Welding Process (es) :	GAS TUNGSTEN-ARC WELDING (GTAW)			Type :	Manual

JOINTS

Joint Design	Single Vee-Groove
Backing	Yes ☐ No. ☒
Backing Materiel (Type)	N/A
Root Opening :	1.2-3.0 mm.
Root Face :	0- 1.0 mm.
Groove Angle :	50°-70° Radius (J-U) N/A
Back Gouging :	Yes ☐ No. ☒
Method :	N/A

DETAILS



T = Wall Thickness

BASE METALS (QW-403)

P. No. 8 Group No. 1 to P. No. 8 Group No. 1

Specification type and grade SA-240 , TYPE 316L

to Specification type and grade SA-240 , TYPE 316L

Thickness Range :

Base Metal : Groove	1.5 mm. To 12.0 mm.	Fillet	All
Deposits Weld Metal	1.5 mm. To 12.0 mm.	Fillet	All
Pipe Dia. Range : Groove	Equal to or greater 24" (OD)	Fillet	All
Other	N/A		

FILLER METALS (QW-404)

F. No.	6	Other	N/A
A. No	8	Other	N/A
Spec. No. (SFA)	A 5.9	AWS No. (Class)	ER 316L
Size of filler metals	∅ 1.6 mm. to ∅ 2.4 mm.	Brand name and type	Kobe or Equpvalent

POSITION (QW-405)

Position (s) of Groove	All Position
Welding Progression :	Uphill
Position (s) of Fillet	All

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range	N/A
Time Rang	N/A

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp. Min.	10° C
Interpass Temp. Max.	250° C
Preheat Maintenance	N/A
(continuous or special heating where	
applicable should be recorded)	

GAS (QW-408)

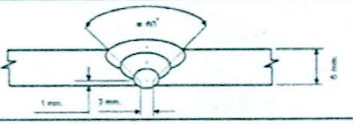
Shielding Gas (es)	99% Argon
Percent Composition (mixture)	Commercial Purity
Flow Rate	7-12 L/Min
Gas Backing	N/A
Other	N/A

Procedure Qualification Record
ASME-QW-200.2,Section IX (WPQR)

RECORD OF WELDING (QW-483) PQR

Company Name :	Charoenchai Stainless Co., Ltd.	Project Name :	Fabrication Shop
PQR Record Number :	CS-PQR-01	Date :	30 January 2007
WPS Number :	CS-WPS-01		
Welding Process (es) :	GAS TUNGSTEN-ARC WELDING (GTAW)		
Type (Manual, Semi-auto or Automatic) :	Manual		

JOINT DESIGN (QW-402)



WELDING VARIABLES

BASE METALS (QW-403)		**POTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)**		
Material Spec.	SA- 240	Temperature	N/A	
Type or Grade	Type 316 L To Type 316 L	Hold Time	N/A	
P No. 8	To P. No. 8	Others	N/A	
Thickness of Test Coupon	6.0 mm.			
Diameter of Test Coupon	8 Inch (plate)	**GAS (QW-408)**		
Others	N/A		Percent Composition	
			Gas (es)	Mixture	Flow Rate
FILLER METALS (QW-404)		Shielding	Argon	Purity	7-12 L/Min
SFA Specification	A 5.9	Trailing	-	-	-
AWS Classification	ER 316 L	Backing	-	-	-
Filler Metal F-No.	6				
Weld Metal Analysis A-No.	8	**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**		
Size of Filler Metal	∅ 2.0 mm.	Current	DC	
Others	-	Polarity	EN	
Weld Metal Thickness	6.0 mm.	Amperage	See Page 3 of 3	Voltage	See Page 3 of 3
		Tungsten Electrode Size	2.0 mm.	
POSITION (QW-405)		Others	N/A	
Position of Groove	2G			
Progression of Welding (Uphill or Down)	Up Hill	**TECHNIQUE (QW-410)**		
Others	N/A	Travel Speed	5-10 Cm./Min.	
		String or Weave Bead	Both	
PREHEAT (QW-406)		Oscillation	N/A	
Preheat Temperature	10° C	Multipass or Single Pass	Single Pass	
Interpass Temperature (max)	250° C	Multipass or Single Electrode	Single Electrode	
Others	N/A	Others	N/A	

Sayyed Reza Taghavi Shahri

عنوان مقاله :

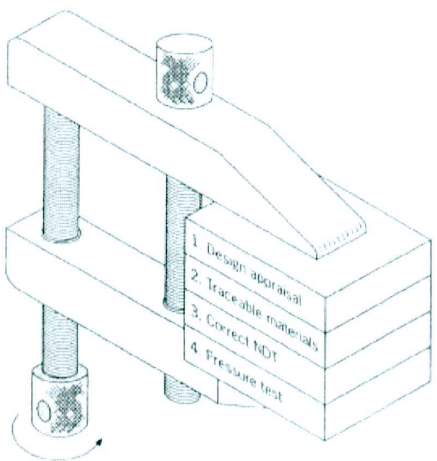
مروری بر بازرسی مخازن تحت فشار (Summary of Pressure Vessels Inspection)

مقدمه:

امروزه به دلیل توسعه روزافزون صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی و نیروگاهها و ساخت هزاران مخازن تحت فشاری که درآنها کاربرد دارند، بازرسی مخازن تحت فشار از اهمیت خاصی برخوردار است.بعضی از این تجهیزات خیلی پیچیده میباشند و برخی دیگر مثل مخازن اتمسفریک از نظر طراحی نسبتا ساده هستند. گستره وسیعی از انواع مخازن تحت فشار وجود دارد ولی بازرسی آنها تقریبا مشابه میباشد.

مخازن تحت فشار خطرناک هستند.در هنگام بهره برداری حاوی مقادیر زیادی انرژی ذخیره شده میباشند که در صورت تخریب،میتوانند فاجعه بزرگی بوجود آورند. بنابراین مهمترین هدف یا (Fitness for Purpose) بازرسی مخازن ، این است که از ایمن بودن و سلامت مخازن آگاهی لازم را بدست آوریم. عوامل زیادی برروی این مسئله تاثیر میگذارند مانندکیفیت طراحی،خزش،خستگی،مقاومت به خوردگی،مهارت سازنده مخزن، صلاحیت بازرسین و...

اما چگونه می توانیم این سلامتی و بی عیب بودن مخازن را تضمین کنیم؟ خوشبختانه بیش از صد سال تجربه صنایع در این خصوص وجود دارد وکدها، استانداردها و دستورالعمل های کارخانه ای بیشماری وجود دارند که میتوانند به شما در این موضوع کمک کنند..



Manufacturing 'control'

Vessel integrity (and safety) is obtained by:
- Arranging for an independent design appraisal
- Using traceable materials
- Applying proven NDT techniques
- Doing a hydrostatic (pressure) test

and then
- Exerting proper (*meaning enough*) control over the manufacturing process

شکل ۱ - نکات مهم در بازرسی مخزن تحت فشار

شاید بتوان مواردیکه سلامتی مخزن را تضمین میکند بطور خلاصه بصورت ذیل بیان نمود(به شکل ۱ توجه کنید).

- ارزیابی طراحی مخزن توسط یک سازمان مستقل،بطور مثال توسط یک موسسه شخص ثالث.
- استفاده از موادی که قابلیت ردیابی و شناسایی دارند.
- بکارگیری تستهای غیر مخرب و در صورت لزوم تستهای مخرب بر روی نمونه ها .
- انجام تستهای فشار .
- و نهایتا کنترل و بازرسی مناسب و به اندازه کافی در فرایندهای مختلف تولید مخزن.

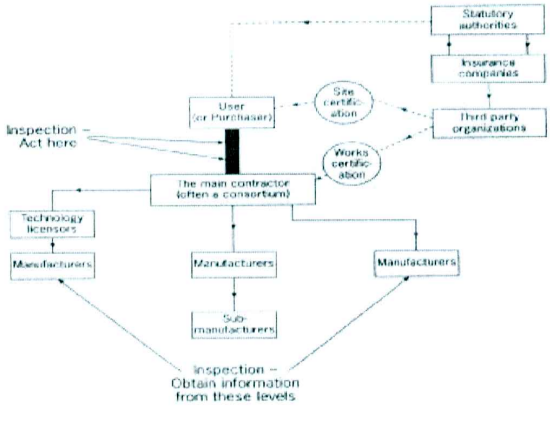
هدف یا FFP (Fitness For Purpose) در بازرسی یک مخزن تحت فشار

هدف در بازرسی یک مخزن تحت فشار اطمینان از عملکرد صحیح و ایمنی کامل آن در حین سرویس ، دقیقاً مطابق با درخواست مصرف کننده می باشد . مهمترین مرحله از یک فعالیت بازرسی تشخیص و درک عمیق از FFP در رابطه با آن مرحله از بازرسی می باشد . در پروژه های بزرگ سازمانهای متعددی از قبیل کارفرما ، پیمانکار اصلی ، مشاور ، بازرسی شخص ثالث ، پیمانکاران فرعی و ... ایفای نقش می نمایند . در این سازمان ها بازرسی و عملیات کنترلی با کیفیت و کمیت متفاوتی صورت می پذیرد ولی می توان گفت هدف یا FFP در تمام آنها مشترک است (به شکل های ۲ و ۳ توجه فرمائید).

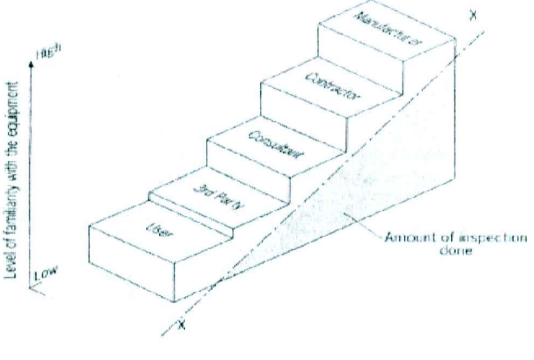
استراتژی مصرف کننده (کارفرما) در نیل به FFP شامل ۲ قسمت می باشد:

۱- تا حد ممکن حضورشان در مسائل و ریسک های فنی کم رنگ و محدود باشد .

۲- ارائه فلوچارتی که در آن مسئولیت ها و فعالیت های لایه های مختلف بازرسی و ارتباط آنها مشخص می شود .

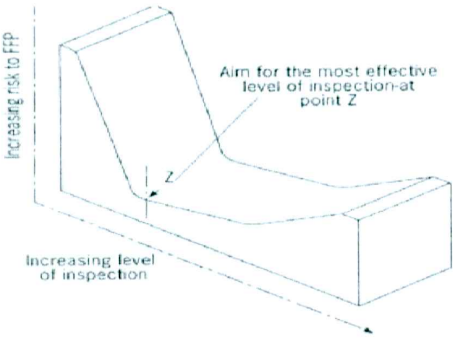


شکل ۲



شکل ۳

باید توجه نمود که بازرسی به اندازه و مقدارکافی صورت پذیرد . این موضوع در شکل ۴ با نقطه Z مشخص شده است. یعنی در دو طرف این نقطه روی محور افقی احتمال از دست دادن هدف یا FFP وجود دارد .



شکل ۴

بازرسی خیلی کم (سمت چپ نقطه Z)، نمی تواند مشکلات و مغایرت های احتمالی را نمایان سازد و از طرفی بازرسی خیلی زیاد (سمت راست نقطه Z) نیز سبب می شود علاوه بر صرف منابع مالی زیاد به بی راهه کشیده شویم . نقطه Z برای رده های مختلف بازرسی متفاوت است . این موضوع در مدرکی به نام Inspection Test Plan مشخص می شود ITP یا QCP سندی است که در آن برای کلیه فعالیت های تست و بازرسی برنامه ریزی شده و در آن نقش کلیه سازمان های بازرسی ، نوع تست وفعالیت ها، معیار و استاندارد های مرجع و... مشخص شده است.

Step No.	*Operation*	*Reference documents*	*Inspection points*			*Certification requirements*	*Record No.*
			M	C	TPI		
1	Weld procedures	WPS/PQR	R	–	–	BS EN 288	XX/Y
2	Welder approvals	BS EN 287	R	–	–	BS EN 287	XX/Y
3	10% RG	BS 2600	R	R	–	Record sheet	XX/Y
4	100% MPI	BS 6072	R	R	–	Record sheet	XX/Y
5	Visual inspection	BS 5289	R	W	W	Record sheet	XX/Y
6	Document review	–	R	R	R	–	XX/Y

W – Witness point
R – Review
M – Manufacturer
C – Contractor
TPI – Third Party (or client's) inspection organization

شکل۵- نمونه ای از یک ITP

نکات مهم در بازرسی مخازن تحت فشار

۱- بازرسی مواد ورودی ، علامتگذاری و انتقال حک مشخصات

یکی از مهمترین مراحل بازرسی یک مخزن ، بازرسی مواد ورودی به فرآیند ساخت و اطمینان از انطباق آنها با گواهینامه های مواد و همچنین الزامات مشخص شده در استاندارد مواد و الزامات فنی پروژه می باشد . بنابراین بازرس باید با روش های تست مواد و استاندارد های مواد آشنا باشد این موضوع شامل مواد پایه و مواد مصرفی جوش می باشد. مثلاً ASME Sec. II ، مشخصات و الزامات فنی موادی را که در ساخت مخازن استفاده می شوند توضیح داده است. از طرف دیگر باید کلیه مواد مورد استفاده در ساخت مخزن قابل شناسایی و ردیابی باشند بطوری که هنگام برش و تهیه هر قطعه از مواد بازرسی شده ، انتقال حک مشخصات روی قطعات جدید با نظارت بازرس صورت پذیرد .

۲- بازرسی و کنترل مدارک فنی قبل از فرایند ساخت :

قبل از فرایند ساخت و به منظور اطمینان از وجود شرایط مناسب برای ساخت مخزن می بایست مدارک مهم مورد بازرسی و کنترل قرار گرفته و از وجود آنها اطمینان حاصل نمود .برخی از این مدارک عبارتند از :

- **برنامه های تست و بازرسی (ITP)**

در کلیه مراحل بازرسی مخزن می بایست ITP مد نظر قرار گیرد . در سند ITP حداقل باید موارد ذیل مشخص شده باشد :

- نوع فعالیت تست و بازرسی و میزان آن توسط هر لایه بازرسی.
- نحوه حضور و فعالیت لایه های مختلف بازرسی و اینکه چه کسی یا چه واحدی بایستی گذارشات را تهیه و تایید نماید.
- اسناد و مراجع استانداردی و روش های تست و بازرسی که در آن مرحله به آن نیاز است .

- **کنترل مدارک جوشکاری**

از آنجایی که جوشکاری از جمله فرایند های ویژه محسوب می گردد، در تولید یک محصول از اهمیت بسزایی برخوردار است . بدیهی است تضمین کیفیت یک مخزن ساخته شده از طریق جوشکاری مستلزم استفاده از روش جوشکاری مناسب و مطمئن و همچنین اجرای آن توسط جوشکاران ماهر و تائید صلاحیت شده می باشد . قبل از شروع هرگونه فعالیت جوشکاری روی مخزن می بایست از وجود مدارک جوشکاری از قبیل WPS ، PQR و WPQ اطمینان حاصل نمود.

- **کنترل برنامه تست های غیر مخرب (NDT Map)**

این سند به بازرس کمک می کند که برای چه مواردی از مخزن ، چه نوع تست و یا بازرسی و به چه میزان لازم است .معمولاً این سند را مهندسین طراح تهیه می کنند و تهیه آن با توجه به نکات و الزامات استانداردی و همچنین تستها و مراحل بازرسی که مشتری در الزامات فنی پروژه مشخص نموده انجام می شود.

۳- بازرسی جوش

بازرسی جوش یکی از مهمترین مراحل بازرسی مخازن تحت فشار می باشد . بـه منظـور افـزایش رانـدمان ، بازرسـی جوش باید در سه مرحله قبل ، حین و پس از جوشکاری صورت پذیرد .ذیلاً به ذکر نکات مهم در هر مرحلـه اشـاره می گردد :

کنترل های قبل از جوشکاری:

- لبه سازی و طرح اتصال
- دستورالعمل های جوشکاری و تاییدیه آنها
- تایید صلاحیت پرسنل جوشکار
- مواد مصرفی جوش
- تجهیزات جوشکاری
- مونتاژ قطعات و ...

کنترل های حین جوشکاری:

- شرایط جوی
- پارامتر های جوشکاری (آمپر ، ولت و ...)
- پیشگرم و دمای بین پاسی
- کنترل پاس ریشه
- تمیزکاری بین پاسی و ...

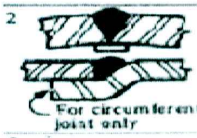
کنترل های پس از جوشکاری:

- بازرسی چشمی جوش
- بازرسی ابعادی جوش و سازه
- کنترل انجام NDT های مورد نیاز
- کنترل اجرای صحیح تعمیرات مطابق با دستورالعمل تعمیر
- کنترل عملیات حرارتی پس از جوشکاری(PWHT)
- کنترل تست فشار و ...

۴ - تستهای غیرمخرب (NDT)

درکدها واستانداردهای ساخت مخازن تحت فشار عموماً نوع و مقدار انجام آزمایشات NDT برمبنای اصول طراحی ، (تنش های مجازو ضرایب اطمینان و...) ، مشخص می شوند ولی با این حال در بعضی موارد این موضوع با توجه به توافقات فنی بین مشتری وسازنده قابل تغییر می باشد. بنابراین نوع ومیزان تستهای غیرمخرب برای مخازن تحت فشار بایدباتوجه به کدهای ساخت (مثل ASME VIII) و نحوه یا دستورالعمل اجرای آنها باید باتوجه به دستورالعملهای NDT پروژه صورت پذیرد .

TYPES OF WELDED JOINTS

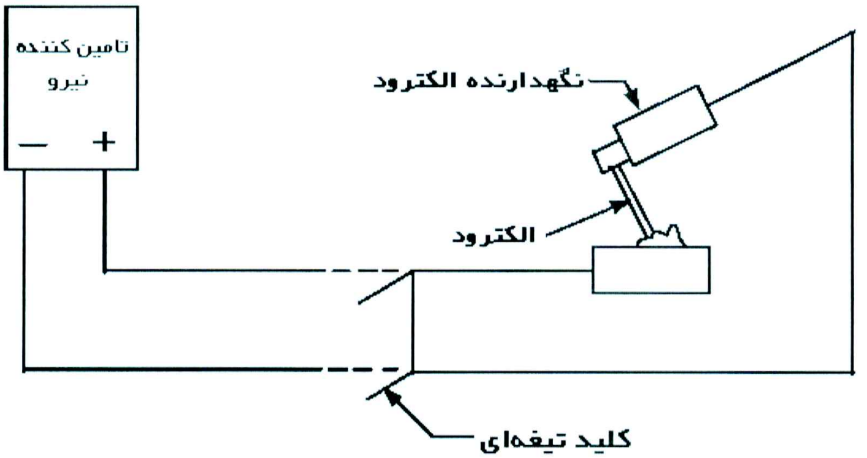
TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E a. When the Joint: Fully Radio-graphed	b. Spot Examined	c. Not Examined
1	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface. Backing strip if used shall be removed after completion of weld	1.00	0.85	0.70
2  For circumferential joint only	Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding	0.90	0.80	0.65
3	Single-welded butt joint without use of backing strip	—	—	0.60
4	Double-full fillet lap joint	—	—	0.55

شکل ۶ - درصد رادیوگرافی در انواع اتصالات جوشی

به منظور اطمینان از عملکرد مخازن به ویژه در موضع اتصالات جوش از دو نوع تست غیر مخرب استفاده می شود:

۱- تستهای غیر مخرب سطحی شامل MT و PT

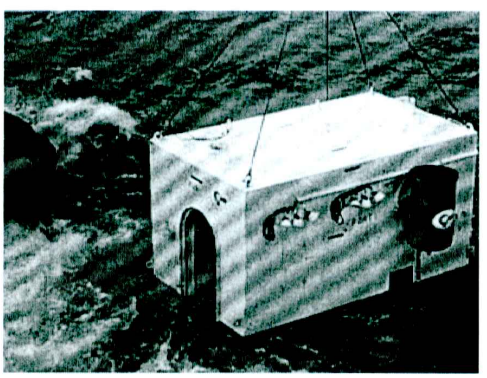
۲- تستهای غیر مخرب حجمی (عمقی) شامل UT و RT



منبع تغذيه مي بايستي يك دستگاه جريان مستقيم كه داراي رده بندي آمپر بين 300 تا 400 است، باشد. دستگاههاي جوشكاري ژنراتور موتور اغلب براي جوشكاري مرطوب مورد استفاده قرار مي گيرد. پيكره دستگاه جوشكاري مي بايستي در پايين، زير كشتي قرار داده شده باشد. مدار جوشكاري مي بايستي شامل نوعي سوئيچ مثبت باشد كه معمولاً از يك كليد تيغه اي استفاده مي شود و از جوشكار غواص فرمان مي گيرد. كليد تيغه اي در مدار الكترود مي بايستي در تمام طول جوشكاري در برابر شكسته شدن مقاوم باشد و نيز از امنيت كافي برخوردار باشد. منبع تغذيه جوشكاري مي بايستي در حين فرايند جوشكاري تنها به نگهدارنده الكترود وصل باشد. در اين روش از جريان مستقيم همراه با الكترود منفي و نيز از نگهدارنده الكترود ويژه اي كه در برابر آب عايق هستند استفاده مي شود. نگهدارنده هاي الكترود جوشكاري كه در زير آب بكار گرفته مي شوند از يك سر خميده براي گرفتن الكترود و نگه داشتن آن در خود بهره مي برند و ظرفيت پذيرش دو نوع الكترود را دارد.

نوع الكترودي كه به كار گرفته مي شود بر طبق استاندارد AWS (انجمن جوشكاري امريكا)*(3)* در طبقه بندي E6013 قرار گرفته است. اين الكترود ها مي بايستي ضد آب باشند و تمامي اتصالات نيز بايد طوري عايق بندي شده باشد كه آب نتواند با قسمت هاي فلزي كوچكترين تماسي داشته باشد.اگر عايق بندي شكستگي داشته باشد و يا قسمتي از آن ترك داشته باشد، آنگاه آب مي تواند با فلز رسانا تماس پيدا كرده ، موجب ايجاد نقص و در نهايت كار نكردن قوس شود. به علاوه اينكه ممكن است خوردگي سريع مس در قسمتي كه عايق ترك خورده است، ايجاد شود.

- **جوشكاري بيش فشار(4)** (جوشكاري خشك)



جوشكاري بيش فشار در اتاقك هاي پلمپ شده در اطراف سازه يا قطعه اي كه مي خواهد جوشكاري شود، استفاده مي شود. اين اتاقك در يك فشار معمولي پر از گاز مي شود (كه معمولاً از هليوم حاوي نيم بار(5) اكسيژن است). اين جايگاه روي خطوط لوله قرار گرفته و با هوايي مخلوط از هليو و اكسيژن كه قابل تنفس باشد پر شده و در فشاري كه جوشكاري آنجا صورت مي پذيرد و يا فشاري بيشتر از آن اجرا مي شود. در اين روش در اتصالات جوش بسيار با كيفيتي ايجاد مي شود به طوري كه با اشعه ايكس و ديگر تجهيزات لازم ايجاد مي شود. فرايند جوشكاري قوس گاز تنگستن در اين قسمت بكار گرفته خواهد شد. محوطه زير جايگاه در معرض آب قرار دارد. بنابراين جوشكاري در محل خشكي

صورت گرفته ولي در فشار هيدرو استاتيكي آب دريا كه در محيط مجاور آن قرار دارد، انجام مي گيرد.

خطرات بغرنج

براي غواص يا جوشكار خطر شك الكتريكي وجود خواهد داشت. اقدامات احتياطي كه انجام شده اند عبارتند از عايق بندي مناسب و در حد كافي تجهيزات جوشكاري، بسته شدن منبع الكتريسيته درست زماني كه قوس به پايان مي رسد و نيز محدود كردن ولتاژ جوشكاري قوس فلزي دستي در مدار باز دستگاه جوشكاري. خطر ديگر توليد شدن هيدروژن و اكسيژن در جوشكاري مرطوب توسط قوس است.
اقدام هاي احتياطي مي بايستي در مورد بلند كردن كپسول هاي گاز نيز رعايت شود. به اين دليل كه آنها به صورتي بالقوه توانايي زيادي براي منفجر شدن دارا هستند. خطر بعدي اي كه سلامت يا جان جوشكار را تهديد مي كند نيتروژني است كه در فشار زياد در معرض هوا قرار گرفته و مي تواند به وي آسيب برساند.
اقدامات احتياطي شامل فراهم آوري يك منبع گاز يا هواي اضطراري مي شود كه در كنار غواص قرار گرفته است و نيز اتاقك فشار زدايي براي جلوگيري از خفگي توسط نيتروژن كه بعد از اشباع شدن روي سطح پخش مي شود.
در سازه هايي كه از جوشكاري مرطوب زير آب استفاده مي كنند، بازرسي بعد از جوشكاري ممكن است بسيار مشكل تر از جوشكاري هايي باشد كه در محيط بيرون و در معرض هوا انجام مي پذيرد. اطمينان از بي نقص بودن چنين جوشكاري هايي به مراتب اهميت بيشتري پيداكرده و در واقع احتمال اينكه عيب و كاستي ناشناخته اي پديدار شود، وجود دارد.

مزاياي جوشكاري خشك

1. **ايمني غواص** – جوشكاري در يك اتاقك صورت گرفته كه موجب مصون ماندن جوشكار از جريانات اقيانوسي و يا احتمالاً موجودات دريايي مي شود. اين جايگاه خشك و گرم از روشنايي مطلوبي برخوردار بوده و از سيستم كنترل محيط خاصي نيز بهره مي گيرد(ESC)(6).
2. **كيفيت خوب جوش** – اين روش توانايي ايجاد جوش هايي را دارد كه حتي مي توان آن را با جوش هاي موجد در فضاي باز و در مجاورت هوا مقايسه كرد. دليل اين امر اينست كه ديگر آبي وجود ندارد كه بخواهد جوش را خاموش و يا قطع كند. و نيز اينكه ميزان هيدروژن (H2) توليدي آن خيلي كمتر از جوشكاري هاي مرطوب است.
3. **كنترل سطح** – آماده سازي اتصال، همترازي لوله، بررسي تست غير مخرب (NDT)(7) و غيره به صورت عيني كنترل و تنظيم مي شوند.
4. **تست غير مخرب (NDT)** – تست غير مخرب براي محيط خشك جايگاه تسهيل شده است.

معايب جوشكاري خشك

1. اتاقك يا جايگاه جوشكاري تجهيزات پيچيده و خدمات پشتيباني زيادي را مستلزم مي داند و خود اتاقك به طرز غير متعارفي پيچيده است.
2. هزينه و ارزش مالي اين اتاقك به صورت قابل ملاحظه اي بالا بوده و بسته به عمق محل كار هزينه آن افزايش مي يابد. عمق محل جوشكاري در كار تاثير مي گذارد، طوري كه در اعماق بيشتر جمع كردن قوس و استفاده از ولتاژ هاي بالتر و متناسب با آن لازم و ضروري مي باشد. انجام يك كار جوشكاري بدين شكل هزينه اي بالغ بر 80000 دلار دارد. و نيز گاهي اوقات نمي توان از يك اتاقك براي چند كار مختلف استفاده كرد، كه البته اين مشكل بستگي به نوع كارها و ميزان تفاوت آنها دارد.

مزاياي جوشكاري مرطوب

جوشكاري مرطوب كه در زير آب به صورت دستي صورت مي گيرد، در مرمت و بازسازي سازه هاي فراساحلي در سالهاي اخير به سرعت در حال رشد و گسترش است.
از جمله فوايد جوشكاري مرطوب مي توان به موارد زير اشاره كرد:

1. چند كاره بودن و داشتن هزينه كمتر در جوشكاري مرطوب باعث شده كه ميل و اشتياق بيشتري به اين روش وجود داشته باشد.
2. برخورداري از سرعت مناسب در هنگام اجراي طرح از ديگر مزاياي اين روش است.
3. در مقايسه با جوشكاري خشك هزينه كمتري دارد.
4. در اين روش جوشكار مي تواند به قسمت هايي از سازه هاي فرا ساحلي دسترسي داشته باشد كه با استفاده از روش هاي ديگر قابل جوشكاري نيست.
5. احتياج به هيچ نوع محصور سازي نبوده و بنابراين زماني نيز براي آن تلف نخواهد شد. تجهيزات و دستگاههاي استاندارد مرسوم به آساني قابل استفاده است . به وسايل زيادي هم براي انجام يك كار جوشكاري مورد نياز نيست.

معايب جوشكاري مرطوب

اگر چه جوشكاري مرطوب كاربرد گسترده اي پيدا كرده است ولي همچنان از وجود نواقصي رنج مي برد، از آن جمله مي توان به موارد زير اشاره كرد:

1. **ايديدگي سريع فلز جوشكاري**- دليل اين آبديدگي آبي است كه در اطراف آن وجود دارد. اگرچه آبديدگي نيروي تنش پذيري را در جوشكاري افزايش مي دهد ولي ميزان كش پذيري و موثر بودن جوش را كاهش داده، سختي و روزن داري آن را بالا مي برد.
2. **توليد زياد هيدروژن**- حجم بسيار زيادي از هيدروژن در منطقه جوشكاري ايجاد مي شود كه بر اثر تفكيك بخار آب در منطقه قوس به وجود آمده است.H2 موجود در محيط تحت تاثير گرما (HAZ)(8) در فلز جوشكاري حل مي شود كه باعث ايجاد ترك خوردگي و شكاف هاي ميكروسكوپيك مي شود.
3. از ديگر معايب آن ديد پذيري كم است. گاهي اوقات جوشكار نمي تواند به درستي منطقه مورد نظر را جوش دهد

نحوه عملكرد جوشكاري مرطوب

پروسه ي جوشكاري مرطوب در زير آب طي مراحل زير صورت مي پذيرد:
قطعه كاري كه قرار است جوش داده شود به يك طرف مدار الكتريكي متصل بوده و الكترود فلزي در طرف ديگر مدار. اين دوقسمت از مدار (الكترود و قطعه كار) كمي به يكديگر نزديك شده ولي بعد از مدتي از يكديگر فاصله مي گيرند. در حين نزديك شدن الكترود به قطعه كار، جريان الكتريكي وارد شكاف شده و باعث ايجاد يك جرقه الكتريكي پايستار مي شود(قوس) و باعث ذوب شدن فلز در آن ناحيه و شكل گرفتن حوضچه جوش مي شود. در اين زمان، نوك الكترود ذوب شده و ذره هاي كوچك فلز در حوضچه مذاب جمع مي شود. در طول اين عمل جريان مذابي، نوك الكترود را پوشش داده و روكش الكترود گاز محافظ را ايجاد مي كند. كه موجب استحكام بخشيدن به قوس شده و همان طور كه گفته شد از جريان فلز مذاب محافظت مي كند. قوس در يك منطقه حفره مانند ذوب مي شود و جوش را پديدار مي سازد.

پيشرفت هاي حاصل در زمينه جوشكاري در زير آب

مدت هاي مديدي جوشكاري مرطوب به عنوان يك تكنيك جوشكاري، در زير آب مورد استفاده قرار مي گرفته و هنوز هم اين روش مرسوم است. اخيراً با پيشرفت هايي كه در زمينه ساخت سازه هاي فرا ساحلي صورت گرفته، اهميت جوشكاري زير آبي را به طرز پيش بيني شده اي بالا برده است. اين امر منجر به توسعه يافتن روش هاي جوشكاري ديگر از قبيل جوشكاري سايشي(9) ، جوشكاري انفجاري(10) و

جوشكاري عمودي(11) شده است كه هم اكنون مطالب قابل قبول و كافي در اين زمينه براي ارائه وجود ندارد.

گستره ي پيشرفت هاي آينده

جوشكاري قوس فلزي دستي مرطوب همچنان براي نوسازي و احياء سازه هاي زير آبي مورد استفاده قرار مي گيرد اما كيفيت آن كافي نبوده و مستعد شكست هيدروژني مي باشداز اين رو جوشكاري هاي بيش فشار خشك كيفيت بهتري نسبت به جوشكاري هاي مرطوب دارند.امروزه گرايش و رويه ميل به سوي اتوماسيون دارد.THOR-1 (12) با ربات تحت كنترل مدار بيش فشار كه از گاز بي اثر تنگستن استفاده مي كند، توسعه بخشيده شد تا در جاهايي كه غواص عمليات لوله كشي و نصب خط لوله را انجام مي دهد، بقيه پروسه كار را بر عهده گيرد.□

پي نوشت:

1. **Van der Willigen**
2. **Manual Metal Arc Welding (MMA)**
3. **American Welding Society (AWS)**
4. **خشك نگه داشتن محفظه تحت فشار زياد**
5. **بار(Bar) واحد فشار بوده و هر يك بار برابر با يك ميليون dynes در سانتيمتر مربع است.**
6. **Environmental Control System (ECS)**
7. **Non-Destructive Testing (NDT)**
8. **Heat Affected Zone (HAZ)**
9. **Friction Welding**
10. **Explosive Welding**
11. **Stud Welding**
12. **THOR – 1 (TIG Hyperbaric Orbital Robot)**

منابع:

1) D. J Keats, Manual on Wet Welding.
2) Annon, Recent advances in dry underwater pipeline welding, Welding Engineer, 1974.
3) Lythall, Gibson, Dry Hyperbaric underwater welding, Welding Institute.
4) W.Lucas, International conference on computer technology in welding.
5) Stepath M. D, Underwater welding and cutting yields slowly to research, Welding Engineer, April 1973.
6) Silva, Hazlett, Underwater welding with iron – powder electrodes, Welding Journal, 1971.
7) Isfahan Institute of Technology (IUT) http://www.iut.ac.ir
8) American Welding Society (AWS) http://www.AWS.com

الکترودهای جوشکاری زیر آبی

مهندس امیر حسینی کلورزی
www.weldeng.net

الکترودهای مورد مصرف در جوشکاری قوسی زیر آبی از انواع اصلاح شده الکترودهای دستی معمولی هستند. سیستم کدگذاری خاصی برای این الکترودها وجود ندارد و اغلب آنها بر اساس نام تجاری شناخته شده و بر اساس قابلیت و سهولت استفاده برای جوشکاران کاربرد یافته‌اند.

پرمصرف‌ترین این الکترودها، الکترودهای مورد مصرف برای فولادهای کربنی/منگنزی هستند. خواص مکانیکی جوش زیرآبی به شدت به عمق جوشکاری وابسته بوده و با افزایش عمق محل جوشکاری، این خواص کاهش می‌یابند. با افزایش عمق، فشار افزایش می یابد. این امر باعث ورود اکسیژن ناشی از تجزیه آب و افزایش مقدار آن و درنتیجه کاهش منگنز و سیلیکون و افزایش کربن در حوضچه جوش و ایجاد تخلخل در جوش هنگام سرد شدن آن میگردد. همچنین ممکن است مقدار هیدروژن افزایش یابد که نتیجه آن ازدیاد تخلخل و کاهش پایداری قوس است چرا که در عمق‌های زیاد بدلیل پتانسیل یونیزاسیون بالای هیدروژن، پایداری قوس کاهش میابد.

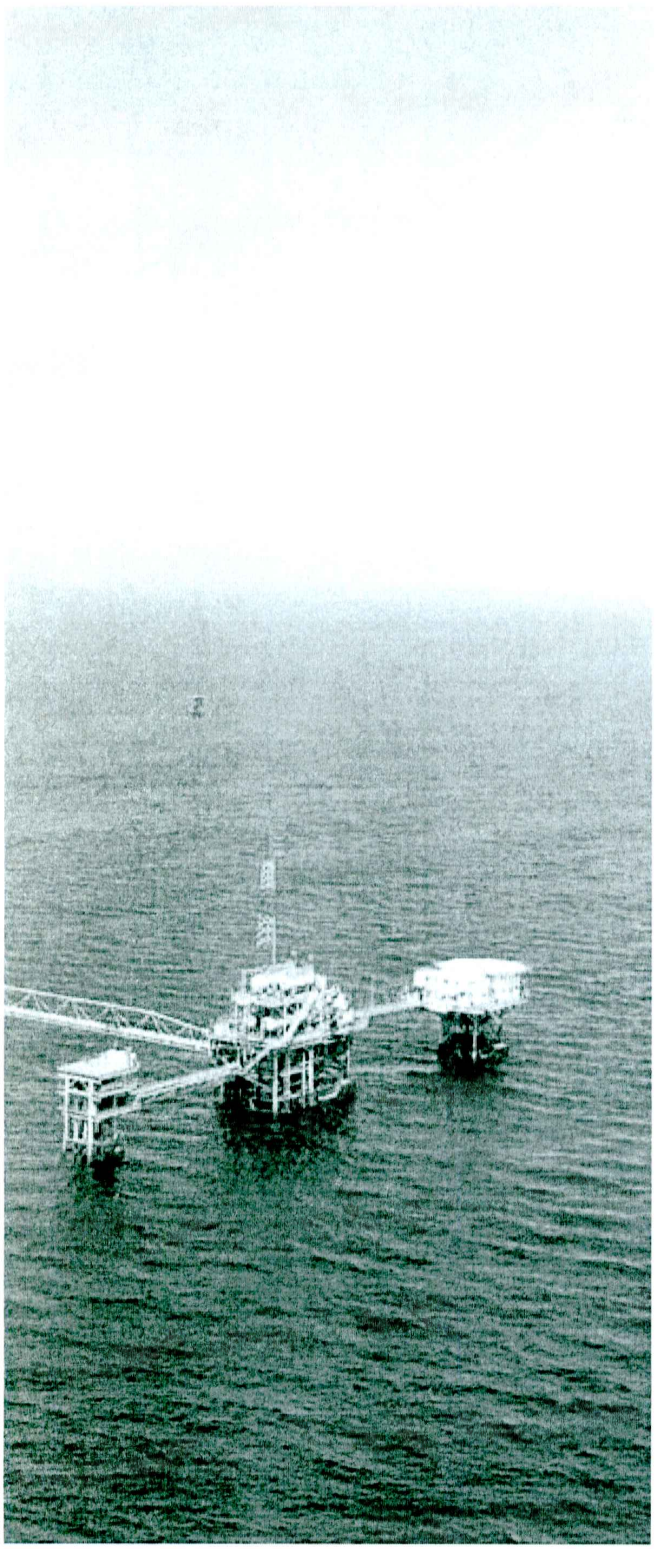
یکی دیگر از مشکلات قابل توجه در جوشکاری زیرآبی احتمال ایجاد ترکهای هیدروژنی در اثر حضور آب و رطوبت میباشد که ریسک این پدیده نیز با افزایش عمق، افزایش می یابد. این موضوع در حالتی که از الکترودهای با روکش اسیدی استفاده میشود از حساسیت بیشتری برخوردار است چراکه قابلیت جذب رطوبت در این نوع پوشش بیشتر بوده و هیدروژن تجزیه شده از این رطوبت براحتی جذب فلز جوش مذاب میگردد.

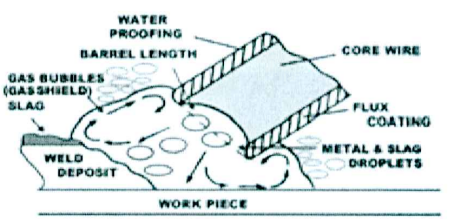
به همین دلیل در جوشـکاری زیرآبی استفاده از الکترودهای نوع روتیلی ترجیح داده میشود. روکش این الکترودها حاوی مواد مختلفی برای بهبود شـرایط جوشـکاری و خواص جوش میباشـد. بعنوان مثال فرومنگنز به منظور جذب اکسـیژن و کاهش تخلخل و تیتانیوم و بور بدلیل تشـکیل سـاختار فریت سـوزنی و بهبود خواص مکانیکی، به مواد پوشش الکترود افـزوده میگردد. همچنین گاهی نیکل بـه منظور بهبود چقرمگی به مواد پوشش افزوده میشود.

جوشـکاری زیرآبـی فولادهایی با اسـتحکام بالاتر معمولا با اسـتفاده از الکترودهـای زنگ نزن آسـتنیتی انجـام میگیرد تا احتمـال ایجاد ترک هیدروژنی کاهش یابد. اما در این حالت باید احتیاطهای لازم صورت گیرد تا از ایجاد ترک در ناحیه متاثر از حرارت (HAZ) پیشگیری شود.

در الکترودهای دسـتی معمولا بدلیل کمتر بودن سرعت سوخت پوشش الکترود نسبت به ذوب مغزی آن، یک چاله در سر الکترود تشکیل میگردد که قوس، درون آن گودی که از اطراف توسط فلاکس پوشش احاطه شده، ایجاد میشـود. این پدیده به حفاظت از ذرات مذاب جدا شـده از الکترود و همچنین کنتـرل انتقال آنها کمک میکند. چاله سـر الکترود در بحث جوشـکاری زیرآبی بسیار حائز اهمیت است.ار آنجایی که این پدیده باعث پایداری قوس و کنترل طول آن میگردد، بدون حضور آن دستیابی به یک جوش زیرآبی قابل قبول و مناسـب بسیار مشـکل خواهد بود. بنابراین با استفاده از این تکنیک جوشکاران میتوانند حتی درصورت عدم وجود دید کافی با وارد آوردن کمی فشار به الکترود، بدون نیاز به کنترل طول قوس، با یک نرخ تغذیه ثابت جوشکاری را انجام دهند.

یکی از وظایف پوشش الکترود تولید اتمسفر محافظ در اطراف حوضچه جوش اسـت. در جوشـکاری زیرآبی نیز این پدیده وجود دارد و بدلیل وجود آب، از اهمیت بسیار بالاتری برخوردار است. یکی از تفاوتهای قوس زیر آب با قوس در هوا ایجاد حبابهای گاز در ناحیه قوس است. رفتار این حبابها در جوشکاری زیرآبی از اهمیت بالایی برخوردار است. این حبابها علاوه بر ناپایدار کردن قوس میتوانند باعث تلاطم حوضچه جوش نیز شوند.





شکل ۱- محافظت حوضچه جوش در جوشکاری زیرآبی

با توجه به موارد مطرح شده، باید تدابیر ویژه ای در انتخاب مواد فلاکس پوشش الکترود توسط سازندگان اتخاذ گردد تا جوش حاصل از آنها کیفیت و خواص مورد نظر را تعبیه کند.

بسته به خواص مورد نیاز و نیز عمق آب، ممکن است الکترود خاصی بهترین نتیجه را ایجاد نماید. برای تایید کیفیت دستورالعمل و همچنین تایید الکترودهای مورد استفاده باید آزمونهای خاصی انجام شود. این آزمونها در کد AWS D 3.6 تشریح شده اند.

مهمترین تفاوت ظاهری الکترودهای دستی معمولی با الکترودهای جوشکاری زیرآبی، پوشش ضد آب الکترودهای زیرآبی است. الکترودهای مورد مصرف در جوشکاری قوسی زیرآبی توسط یک موم یا پلاستیک ضد آب پوشش داده میشوند تا فلاکس روکش الکترود را تا زمان مصرف از تماس با آب محافظت کرده و یا حداقل نفوذ رطوبت را محدود سازد. کیفیت این پوشش بسیار مهم است. درصورتیکه پوشش ضد آب بطور یکپارچه سطح الکترود را نپوشانده باشد، آب از طریق درزهای موجود درآن نفوذ کرده و باعث مرطوب شدن فلاکس الکترود و در نتیجه کاهش کیفیت جوش میگردد. همچنین در جوشکاری در اعماق زیاد بدلیل بالا بودن فشار هیدروستاتیک، آب میتواند از پوششهای نامناسب عبور کرده و فلاکس الکترود را مرطوب نماید. پوششهای ضدآب علاوه بر موارد مطرح شده باید بدون جاگذاشتن مواد مضر بسوزند و همچنین خللی در شرایط قوس و انتقال قطرات مذاب ایجاد ننمایند.

نگهداری و محافظت از پوشش ضدآب این الکترودها باید به دقت صورت گیرد تا از آسیب رسیدن به آنها جلوگیری گردد. همچنین بدلیل اهمیت این موضوع باید روشهای جابجایی و نگهداری الکترودها در زیر آب در دستورالعمل جوش (WPS) قید شده باشد.

این پوششها سرتاسر الکترود را فرا گرفته اند و امکان ایجاد اتصال

Size	Description	Specification
	Commercially Prepared Waterproof Electrodes	
1/8" Andersen Easy Weld #1	Carbon Steel (E7014)	--
1/8" BROCO Sof-Touch	Carbon Steel (E7014)	--
1/8" BROCO SS	Stainless Steel (E3XX)	--

جدول شماره ۱- لیست تعدادی از معرفترین الکترودهای جوشکاری زیرآبی

Electrode		Welding Position			
Type	Size inch	Horizontal Amps	Vertical Amps	Overhead Amps	Arc Voltage
E7014	1/8	140-150	140-150	135-145	25-35
	5/32	170-200	170-200	170-190	26-36
	3/16	190-240	190-240	190-230	28-38
E3XX	1/8	130-140	135-140	125-135	22-30

جدول ۲- جریان و ولتاژ پیشنهادی برای جوشکاری تا عمق ۵۰ پایی

الکتریکی نیز در این حالت وجود ندارد. لذا برای برقرار کردن جریان و شروع جوشکاری، جوشکار باید با فشردن دندانه‌های انبر جوشکاری بر روی انتهای الکترود، خراشی در پوشش ایجاد نماید. برای ایجاد قوس نیز باید نوک الکترود را با فشار بر روی سطح بکشد تا پوشش آن ناحیه نیز برداشته شده و قوس برقرار گردد.

سازندگان الکترود پیشرفت قابل ملاحظه ای در توسعه سیستمهای ضد آب برای الکترودهای جوشکاری زیرآبی داشته اند. جزئیات و اطلاعات این سیستمها مختص سازندگان آنهاست، اما درهرحال نتیجه حاصل از مجموع تلاشهای این سازندگان، تولید نسل جدید از الکترودهای جوشکاری زیرآبی با قابلیت ایجاد جوش با کیفیت بالاتر بود. تعدادی از معروفترین این الکترودها در جدول شماره ۱ آورده شده که برای جوشکاری در تمام وضعیتها کاربرد دارند. در صورت مناسب بودن دستورالعمل و تجهیزات، جوش حاصل از این الکترودها دارای ظاهری خوب و خواص مکانیکی مناسب خواهد بود.

در جوشکاری زیرآبی معمولا از جریان DCEN استفاده میگردد که باعث افزایش طول عمر انبر الکترود میشود. البته این انتخاب جنبه اقتصادی دارد و ممکن است در مواردی استفاده از جریان DCEP جوش با کیفیت بالاتری را ایجاد نماید. درهر صورت بهترین حالت تنظیم جریان و ولتاژ استفاده از مقادیر پیشنهادی سازنده میباشد. جدول ۲ جریان و ولتاژ پیشنهادی برای استفاده از الکترودهای معرفی شده در جدول یک را تا عمق ۵۰ پا در زیر آب نشان میدهد.

منابع

- Welding Advisers Practical Welding Letters
- Underwater Wet Welding ' A Welder's Mate ' By David J. Keats
- U.S. Navy Underwater Cutting & Welding Manual
- AWS D 3.6, Specification for Underwater Welding