

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



دوره آموزشی

دستورالعمل جوشکاری، گزارش تائید آن و تائید صلاحیت جوشکار
بر اساس کد ASME

WPS - PQR - WPQ
Based on ASME Code Section IX

گردآوری و تنظیم:
کامران خداپرستی

ویرایش اول
آذرماه ۱۳۸۶

خواننده گرامی

از آنجایی که جزوه آموزشی پیش رو در سال ۱۳۸۶ بر پایه ویرایش سال ۲۰۰۴ کد آماده شده است و تا کنون فرصت ویرایش آن را نیافته ام، بایسته است همواره برای حفظ همگامی با آخرین تغییرات و نیز پرهیز از اشتباه، ویرایش روزآمد و جاری کد را هنگام مطالعه و استفاده از این جزوه به کار برید.

با سپاس فراوان - کامران خداپرستی - ۱۳۸۹

پیشگفتار

استفاده از جوشکاری به زمانهای بسیار دور و آغاز کار با فلزات باز می گردد و امروزه کاربرد آن به دلیل صرفه اقتصادی، قابلیت اطمینان بالا و نیز داشتن ایمنی، روز به روز افزایش می یابد. در مقایسه با سایر روشهای اتصال دهی همانند پرچ کاری؛ سازه جوشکاری شده استحکام بیشتر، وزن و هزینه کمتری دارد. تکنولوژی جوشکاری حدودا شامل ۱۰۰ فرآیند بوده که شامل روشهایی برای جوشکاری پلیمرها، فلزات، سرامیکها، کامپوزیتها و سایر مواد مهندسی می باشد. این تکنولوژی های متعدد سبب انعطاف پذیری فراوان در طراحی قطعاتی که به هم جوش داده می شوند، می گردد. جوشکاری به طور معمول آخرین فرآیند در مونتاژ قطعات است و نقش بسیار مهمی را در اطمینان از کارایی قطعه ایفا می کند. همچنین نقش جوشکاری در تعمیرات و افزایش طول عمر قطعات تولید شده نیز بسیار حیاتی است.

با توجه به مطالب گفته شده عجیب نخواهد بود اگر بشنویم که امروزه صنعت جوش به عنوان یک صنعت زیربنائی در توسعه ملل مورد توجه استراتژیست های توسعه قرار گرفته است. آنچه در این میان باید به آن توجه نمود این است که محیط جهانی کنونی ایجاب می نماید که صنایع، فعالیت های خود را همگام با روند جهانی به انجام رسانده تا بدین ترتیب با کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت موجب ارتقاء اثربخشی و کارایی خود گردند. با توجه به واقعیت پیوستن ایران به WTO با رویکرد جهانی در آینده نزدیک، فرآیندهای اصلی تولید در صنایع نیازمند توجه ویژه و به کارگیری استانداردهای رایج در سطوح بین المللی است .

مطابق استانداردهای جهانی، جوشکاری از فرآیندهای خاص می باشد و تنها با کنترل کیفیت محصول پس از تولید، امکان تصمیم گیری در خصوص کیفیت محصول وجود ندارد و برای اطمینان از کیفیت، باید قبل و در حین تولید نیز نظارت و بازرسی روی محصول وجود داشته باشد. اطمینان از امر کیفیت در جوشکاری به عنوان یک فرآیند خاص، نیازمند کفایت کیفیت در بخش های مختلف درگیر در تولید شامل مواد اولیه، تجهیزات، نیروی انسانی، استانداردها، فرآیندهای تولید، مدیریت و ... بوده و به عبارت دیگر مستلزم کارا بودن سیستم مدیریت کیفیت جوش می باشد.

آنچه در این دوره آموزشی به آن پرداخته خواهد شد سه حلقه از زنجیره سیستم مدیریت کیفیت جوش است که عبارتند از چگونگی تنظیم و بررسی مدارک دستورالعمل جوشکاری (*Welding Procedure Specification*) که کوتاه شده آن *WPS* است، گزارش تائید دستورالعمل جوشکاری (*Procedure Qualification Record*) که به اختصار *PQR* خوانده می شود و تائید صلاحیت جوشکار که *WPQ* نامیده می گردد و مخفف *Welder Performance Qualification* است.

در کشور ما تهیه مدارک جوشکاری در پروژه های صنعتی در بیشتر موارد بر اساس *ASME Sec. IX* انجام می شود و به همین دلیل نیز این دوره بر اساس ویژگیها و شرایط این کد طراحی گردیده است اما برای روشنتر شدن موضوع و یا انجام مقایسه، در برخی موارد به استانداردهای مشابه مانند *AWS D1.1* نیز اشاره گردیده است.

اگر این مجموعه بتواند به عنوان یک راهنما مورد استفاده قرار گیرد، هدف نگارنده در گردآوری و تنظیم آن برآورده شده است. ناگفته پیداست، خطا همزاد هر اقدام است و نظرات و پیشنهادهای خوانندگان گرامی می تواند این مجموعه را پربارتر و کاربردی تر کند. بنابراین خواهشمند دیدگاه های خود را از طریق شماره ۰۹۱۲۴۲۵۶۷۸۵ اعلام فرموده یا بوسیله پست الکترونیکی kkhodaparasti@yahoo.com ارسال فرمایید.

کامران خداپرستی
آذرماه ۱۳۸۶

بخش اول

آشنایی با چگونگی تنظیم

دستورالعمل جوشکاری (WPS)

مقدمه

با توجه به نیازمندیهای صنعتی دنیای امروز، لازم است تمامی عملیات صنعتی و از آن جمله فعالیتهای مرتبط با جوشکاری بر اساس رویه های تدوین شده ای انجام گردند. بر این اساس لازم است برای انجام هر کاری دستورالعمل اجرایی تهیه شود و پس از آن با انجام آزمایشهایی قابلیت اجرایی دستورالعمل و توانایی تحقق خواسته ها به اثبات برسد.

WPS یک دستورالعمل نوشته شده است که مسیر را برای جوشکار در اجرای جوشکاری بر اساس کد یا استاندارد مورد نظر مشخص می کند. پس از تهیه **WPS** باید این مطلب ارزیابی شود که آیا با انجام جوشکاری بر اساس این **WPS**، جوش ایجاد شده مطابق با مشخصات جوش طراحی شده خواهد بود؟ به عبارت دیگر آیا می تواند اهداف مورد نظر را برآورده سازد؟ از این روی باید **WPS** به بوته آزمایش گذاشته شود و این کار توسط تهیه مدرک **PQR** به انجام می رسد. برای این کار **test plate** (به آن **test coupon** یا نمونه آزمون نیز گفته می شود) با ویژگیهای ذکر شده در کد یا استاندارد مورد نظر آماده شده و برای انجام آزمونهای لازم به آزمایشگاه فرستاده می شود. آزمایشگاه از نمونه ارسالی نمونه های کوچکتری به نام آزمون (specimen) تهیه کرده و مورد آزمایش قرار می دهد. آزمونهای لازم و نیز معیارهای پذیرش نتایج آزمون، در کد یا استاندارد مورد استفاده مشخص شده اند. اگر معیارهای کیفی و کمی استاندارد یا کد مورد نظر برآورده شوند، می توان **WPS** را تصویب شده تلقی کرد و آن **WPS** قابلیت اجرا پیدا می کند. ناگفته پیداست که تصویب **WPS** تنها خصوصیات جوش را تضمین می کند و نه مهارت جوشکار یا اپراتور جوشکاری را. آشکار است که برای انجام جوشکاری لازم است از فردی که صلاحیت انجام این کار را داشته باشد استفاده گردد. بنابراین باید جوشکار، تایید صلاحیت گردد. فرآیند تائید صلاحیت جوشکار که به کار او اعتبار می بخشد، **Welder Performance Qualification** نام دارد که به طور اختصاری به **WPQ** موسوم است. چگونگی تایید صلاحیت جوشکار در استاندارد یا کد مورد نظر با ذکر جزئیات ذکر شده است. ذکر این نکته لازم است که برخی استانداردها به جای **WPQ** از **WQR** که مخفف **Welder Qualification Record** است استفاده می کنند.

استانداردها و کدهای مورد استفاده

اصولا استانداردها و کدهای زیادی به بحث چگونگی و فرمت مدارک مورد نیاز برای دستورالعمل جوشکاری و گزارش تائید آن و نیز چگونگی تائید صلاحیت جوشکاران پرداخته اند که برخی از مهمترین آنها عبارتند از:

ASME Sec.IX (Boiler and Pressure Vessel Code)

ASME B31.1(Power Piping)

ASME B31.3 (Process Piping)

AWS D1.1 (Structural Welding Code-Steel)

API 650 (Welded Steel Tanks for Oil Storage)

API 1104 (Welding of Pipelines and Related Facilities)

EN 288 (Specification and Approval of Procedures for Welding Metallic Materials)

روشن است که مفاد قرارداد مشخص کننده استاندارد یا کد مورد استفاده در تهیه مدارک **WPS**، **PQR** و **WPQ** خواهد بود. به عبارت دیگر مدارک باید بر اساس نیازهای کارفرما و بنا به تایید مشاور طرح توسط سازنده(پیمانکار) تهیه شود. لازم به تذکر است که هدف تمامی استانداردهای ذکرشده یکسان و ایجاد اطمینان از کیفیت جوشکاری است و تنها در پاره ای از موارد با یکدیگر تفاوت خواهند داشت اما در بحث کلان تر مدیریت کیفیت جوشکاری، به استانداردهای دیگری نیز باید توجه کرد.

نیاز به اطمینان از کیفیت سازه های جوشکاری شده، اساس گسترش بسیاری از استانداردها در این زمینه بوده است. این استانداردها در ابتدا در ارتباط با فرآیند جوش و خصوصیات اتصال بوده و اخیراً تمام فعالیت های مرتبط با تکنولوژی جوشکاری در یک شرکت را پوشش می دهند. **CEN**(کمیته استانداردهای اروپایی) در سال ۱۹۹۴ اولین ویرایش استاندارد **EN 729** که هدف آن تعیین الزامات کیفی برای جوشکاری ذوبی مواد فلزی بود را منتشر کرد. از آن زمان به بعد بر ای شرکتهای سازنده استفاده کننده از جوشکاری که بر اساس الزامات این استاندارد فعالیت کرده اند، گواهینامه **EN 729** صادر گردیده است. همچنین در همان سال، **ISO** (سازمان استانداردسازی جهانی) استاندارد معادل **EN 729** را با شماره **ISO 3834** منتشر کرد که در حال حاضر ویرایش ۲۰۰۵ این استاندارد جاری است. **EN 729** (فدراسیون جوشکاری اروپا) نیز سیستمی برای پشتیبانی شرکتهای در استقرار **EN 729**

ایجاد کرده است که این سیستم هم اکنون برای برآورده سازی الزامات **ISO EN 3834** تنظیم شده است. استاندارد عمومی تعیین کیفیت جوش قبل از **EN 729**، در انگلستان **BS 4870** بوده است.

این مهم در سطح جهانی در شرکت ها و موسساتی که جوشکاری از فرآیندهای اصلی تولید محصولات آنهاست، با استقرار نظام کیفی بر اساس استانداردهای **EN 729/ISO 3834** به عنوان زیربنای مدیریت در ارتقای کیفیت در صنعت جوش صورت می پذیرد. امروزه خواسته های کیفیتی جوش برای کسب استانداردهای **ISO 9001** باید بر اساس این دو استاندارد تنظیم گردد.

WPS چیست؟

استانداردهای مختلف تعاریف متفاوتی ارائه می دهند. بعنوان مثال **ASME** بیان می کند " **WPS** مدرکی است که راهنمایی های لازم را برای انجام جوشکاری بر اساس الزامات کد ارائه می کند ". به بیان دیگر هدف از تنظیم یک **WPS** مشخص کردن جزئیات فرآیند جوشکاری قطعه مورد نظر است. دستورالعمل جوشکاری در حقیقت از پیش مقادیر و محدوده تغییرات پارامترهای دخیل در جوشکاری را مشخص کرده و مشخصات مواد مورد جوشکاری را نیز دارا است. پس یک دستورالعمل جوشکاری کنترل کننده و متضمن کیفیت قطعه جوشکاری شده می باشد. بدین ترتیب شرط لازم برای آغاز هر فعالیت جوشکاری در دست داشتن **WPS** می باشد.

جزئیات فرم WPS

استانداردها و کدهای مختلف، فرمهای متفاوتی برای **WPS** ارائه می دهند که برای آشنایی خوانندگان ارجمند با این فرمها، برخی از رایج ترین آنها در شکلهای شماره ۱ تا ۴ آمده اند. البته در استانداردهای مربوطه نیز ذکر شده است که آنها فقط به عنوان راهنمایی داده شده اند و بسته به شرایط کاری هر شرکت، این فرمت تا حدی قابل تغییر است. اما آنچه رایج است این است که همین فرمتها با تغییراتی جزئی به کار می روند.

Menu

ANNEX E
AWS D1.1/D1.1M:2004

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes ☐
PREQUALIFIED _____ **QUALIFIED BY TESTING** _____
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes ☐

Company Name _____

Welding Process(es) _____

Supporting PQR No.(s) _____

JOINT DESIGN USED

Type: _____

Single ☐ Double Weld ☐

Backing: Yes ☐ No ☐

Backing Material: _____

Root Opening _____ Root Face Dimension _____

Groove Angle: _____ Radius (J-U) _____

Back Gouging: Yes ☐ No ☐ Method _____

BASE METALS

Material Spec. _____

Type or Grade _____

Thickness: Groove _____ Fillet _____

Diameter (Pipe) _____

FILLER METALS

AWS Specification _____

AWS Classification _____

SHIELDING

Flux _____ Gas _____

Composition _____

Electrode-Flux (Class) _____ Flow Rate _____

Gas Cup Size _____

PREHEAT

Preheat Temp., Min _____

Interpass Temp., Min _____ Max _____

Identification # _____

Revision _____ Date _____ By _____

Authorized by _____ Date _____

Type—Manual ☐ Semi-Automatic ☐

Machine ☐ Automatic ☐

POSITION

Position of Groove: _____ Fillet: _____

Vertical Progression: Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) _____

Short-Circuiting ☐

Globular ☐ Spray ☐

Current: AC ☐ DCEP ☐ DCEN ☐ Pulsed ☐

Other _____

Tungsten Electrode (GTAW)

Size: _____

Type: _____

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: _____

Multi-pass or Single Pass (per side) _____

Number of Electrodes _____

Electrode Spacing _____

Longitudinal _____

Lateral _____

Angle _____

Contact Tube to Work Distance _____

Peening _____

Interpass Cleaning: _____

POSTWELD HEAT TREATMENT

Temp. _____

Time _____

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form E-1 (Front)

شکل ۱- فرم WPS استاندارد AWS D1.1

Reference: API Standard 1104, 5.2

PROCEDURE SPECIFICATION NO. _____

For _____ Welding of _____ Pipe and fittings

Process _____

Material _____

Diameter and wall thickness _____

Joint design _____

Filler metal and no. of beads _____

Electrical or flame characteristics _____

Position _____

Direction of welding _____

No. of welders _____

Time lapse between passes _____

Type and removal of lineup clamp _____

Cleaning and/or grinding _____

Preheat/stress relief _____

Shielding gas and flow rate _____

Shielding flux _____

Speed of travel _____

Plasma gas composition _____ Plasma gas flow rate _____

Plasma gas orifice size _____

Sketches and tabulations attached _____

Tested _____ Welder _____

Approved _____ Welding supervisor _____

Adopted _____ Chief engineer _____

Standard V-Bevel Butt Joint

Sequence of Beads

Note: Dimensions are for example only.

ELECTRODE SIZE AND NUMBER OF BEADS				
Bead Number	Electrode Size and Type	Voltage	Amperage and Polarity	Speed

شکل ۲- فرم WPS استاندارد API 1104

Manufacturer's welding procedure specification (WPS)									
Location: _____					Examiner or examining body: _____				
Manufacturer's Welding Procedure: _____					Method of preparation and cleaning: _____				
Reference no: _____					Parent material specification: _____				
WPAR No: _____					Material thickness (mm): _____				
Manufacturer: _____					Outside diameter (mm): _____				
Welding process: _____					Welding position: _____				
Joint type: _____					Weld preparation details (sketch)*: _____				
Joint design					Welding sequence				
Welding details									
Run	Process	Size of filler metal	Current A	Voltage V	Type of current/ Polarity	Wire feed speed	Run-out length/Travel speed*)	Heat input*)	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Designation of welding consumables and trade name: _____</p> <p>Any special baking or drying: _____</p> <p>Gas/flux: Shielding: _____</p> <p>Backing: _____</p> <p>Gas flow rate: Shielding: _____</p> <p>Backing: _____</p> <p>Tungsten electrode type/size: _____</p> <p>Details of back gouging/backing: _____</p> <p>Preheat temperature: _____</p> <p>Interpass temperature: _____</p> <p>Post-weld heat treatment and/or ageing: _____</p> <p>Time, temperature, method: _____</p> <p>Heating and cooling rates*): _____</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Other information*), e.g.: _____</p> <p>Weaving (maximum width of run): _____</p> <p>Oscillation: amplitude, frequency, dwell time: _____</p> <p>Pulse welding details: _____</p> <p>Contact tube-to-workpiece distance: _____</p> <p>Plasma welding details: _____</p> <p>Torch angle: _____</p> </div> </div>									
Manufacturer _____					Examiner or examining body _____				
(name, date and signature)					(name, date and signature)				

شکل ۳- فرم WPS استاندارد EN 288-2

شکل ۴- فرم WPS استاندارد ASME Sec.IX

چگونگی تنظیم WPS بر اساس ASME Sec.IX

فرم WPS که در شکل ۴ آمده است را ببینید. می خواهیم از همان ابتدا با ذکر جزئیات به نحوه تکمیل کردن WPS بپردازیم. در بالای فرم سمت چپ، QW-482 به چشم می خورد. در توضیح باید گفت که ASME Section IX به دو بخش اصلی QW و QB تقسیم می گردد که بخش QW مربوط به الزامات جوشکاری است و خود به پنج Article تقسیم می شود (Q از ابتدای واژه Qualification گرفته شده است) که عبارتند از:

QW-100 General introduction to testing requirements etc.

QW-200 Procedure qualification details.

QW-300 Performance qualifications (welder approvals) details.

QW-400 Welding data. This is the biggest section of the code and covers data for both procedure and performance qualification. It includes:

-Material and consumable data

-Approval range for thickness, diameter, joint

-Configuration and welding positions.

-Definitions used in code.

QW-500 Standard Welding Procedure Specifications (SWPSs)

مطابق آنچه در QW-200.1(d) کد ASME Section IX آمده است، این فرم که در ضمیمه B کد وجود دارد بعنوان یک راهنما در تنظیم WPS به کار می رود (اگر به این ضمیمه مراجعه کنید خواهید دید که عنوان آن Nonmandatory Appendix B است یعنی غیر الزامی است) این فرم شامل اطلاعات لازم برای فرآیندهای SMAW, SAW, GMAW و GTAW است و تمام اطلاعات لازم برای سایر روشهای جوشکاری در آن درج نشده است. این فرم همچنین بعضی متغیرهایی را که به همه فرآیندها مرتبط نمی شود را درج کرده است (بعنوان مثال گاز محافظ در روش SAW کاربردی ندارد اما در فرم وجود دارد) در ضمن از این فرم نمی توان به آسانی در فرآیندهای چندگانه (مثلا GTAW برای جوشکاری پاس ریشه و SMAW برای جوشکاری بقیه پاسها) استفاده کرد و نیاز به تغییرات جزئی دارد.

نام شرکت (Company Name)

در این قسمت از فرم نام شرکت متبوع ذکر می گردد. چون در یک پروژه صنعتی علاوه بر تکمیل WPS باید مدارک زیاد دیگری نیز تکمیل شوند که در تمام آنها باید نام شرکت بیاید، پیشنهاد می گردد از مخفف یا کوتاه شده نام استفاده شود.

تنظیم کننده و گواهی کننده (By)

اگرچه در ASME Section IX روشی برای گواهی نمودن (authorization or certification) مدرک WPS ذکر نشده است اما به دلیل اهمیت این مدرک بهتر است ترتیبی اتخاذ شود تا این مدرک پس از تنظیم، بازبینی و تائید گردد. در حال حاضر آنچه رایج است این است که روبروی By نام تهیه کننده مدرک ذکر شده و معمولاً WPS در قالب یک مدرک داده می شود که در صفحه ابتدایی آن نام تهیه کننده (Prepared by)، بازبینی کننده (Checked by) و تائید کننده (Approved by) درج می گردد.

شماره WPS (WPS No.)

اگرچه در ASME Section IX روشی برای شماره گذاری مدرک WPS ذکر نشده است اما اگر سیستم کیفیت در شرکت وجود داشته باشد، مسلماً به هر WPS یک شماره یکتا (unique) باید اختصاص یابد به این معنی که در آن پروژه نباید دو WPS وجود داشته باشند که هر دو دارای یک شماره باشند. همانند هر سیستم شماره گذاری دیگری می توان به گونه ای WPS را شماره گذاری کرد تا در نگاه اول به آن شماره بتوان برخی اطلاعات را بدست آورد. بعنوان مثال شماره ۱۳۴ می تواند این اطلاعات را به ما بدهد:

1 = ASME P-No. 1 (Carbon Steel Base Metals)

3 = F-No. 3 (E6010) SMAW

4 = F-No. 4 (E7018) SMAW

یا مثلاً T-2 مربوط به جوشکاری مخزن و P-11 مربوط به جوشکاری Piping است. یا اگر چند پروژه به طور همزمان انجام می شوند، می توان از نام اختصاری پروژه ها در شماره گذاری WPS استفاده کرد تا نوعی تفکیک بین مدارک صورت گرفته باشد. همانطور که دیده می شود روش شماره گذاری کاملاً سلیقه ای است.

تاریخ تنظیم (Date)

در این بخش، تاریخ تنظیم یا تائید WPS ذکر می گردد.

شماره بازبینی (Revision)

معمولا وقتی یک WPS برای نخستین بار تنظیم می گردد در این قسمت شماره 0 درج می شود. پس از تنظیم WPS ممکن است به دلیل توصیه های مشاور پروژه یا تغییرات پیش آمده، لازم باشد تا بخشهایی از WPS دچار تغییر گردند. پس از اعمال تغییرات لازم شماره بازبینی نیز تغییر کرده و مثلا به 1 تبدیل می گردد. برای اطلاعات بیشتر می توانید QW-200.1(c) را ببینید.

تاریخ بازبینی (Revision Date)

همانطور که از عنوان مشخص است در این بخش باید تاریخ بازبینی WPS ذکر گردد. همانطور که پیش از این ذکر شد، معمولا WPS در قالب یک مدرک داده می شود که باید شماره و تاریخ بازبینی در بخش مربوطه ذکر شده و گواهی شود.

شماره یا شماره های PQR (Supporting PQR No.(s))

مطابق QW-200.1(b) در این قسمت باید شماره PQR تایید کننده این WPS درج شود. یادآوری این نکته لازم است که گاهی برای پوشش دادن تمامی دامنه متغیرهای اساسی (essential variable) به بیش از یک PQR نیاز خواهد بود و در این حالت در این بخش بیش از یک شماره درج خواهد گردید.

فرآیند یا فرآیندهای مورد استفاده برای جوشکاری (Welding Process(es))

در QW-253 از فرآیند جوشکاری به عنوان یک متغیر اساسی (essential variable) نام برده نشده است اما در QW-401 از آن به عنوان یک متغیر اساسی یاد شده است. به هر صورت در این بخش از فرم WPS باید نوع فرآیند جوشکاری ذکر شود. به دلیل کثرت استفاده بهتر است فرآیندهای جوشکاری با نام اختصاری نشان داده شوند. شکل ۵ انواع فرآیندهای جوشکاری و سایر روشهای وابسته به آن را نشان می دهد. اسامی اختصاری برخی فرآیندهای جوشکاری پر کاربرد تر در جدول شماره ۱ آمده است.

در بسیاری موارد اتصال طراحی شده را می توان با چند فرآیند جوشکاری مختلف ایجاد نمود. اما همواره یک فرآیند است که بهترین نتیجه را (در مجموع) ایجاد می کند. بنابراین یک متخصص جوش باید بتواند با روشی مقبول، یکی از فرآیندهای ممکن را برای اتصال مورد نظر تعیین نماید. در اینجا شما با روال انتخاب فرآیند جوشکاری مناسب آشنا می شوید. این روال شامل ۴ مرحله می گردد:

مرحله اول: بررسی ویژگیهای مورد نیاز اتصال

در این مرحله باید بزرگ یا کوچک بودن اتصال جوش، موقعیت و جهت جوشکاری و ضخامت فلز پایه باید بررسی گردد. در جوشکاری، ملزومات هر اتصال را می توان در ۴ ویژگی خلاصه کرد: پرکنندگی سریع (آهنگ رسوب بالا)، انجماد سریع (در موقعیتهای دشوار جوشکاری)، سرعت جوشکاری زیاد (سرعت حرکت قوس زیاد و بستر جوش بسیار کوچک) و نفوذ (عمق نفوذ جوش در فلز پایه).

پرکنندگی سریع هنگامی نیاز است که به مقدار زیادی فلز جوش برای پر کردن اتصال احتیاج باشد. بستر جوشهای بزرگ را تنها می توان با آهنگ رسوب بالا در زمان کم ایجاد کرد. در بستر جوشهای کوچک، پرکنندگی سریع یک پارامتر فرعی می باشد.

انجماد سریع در جوشکاری موقعیتهای دشوار (بالا سری و عمودی) مد نظر قرار می گیرد که نیاز است حوضچه مذاب جوش خیلی سریع منجمد گردد. سرعت جوشکاری بالا به معنی پیشروی سریع قوس و فلز مذاب و ایجاد یک بستر جوش پیوسته و مناسب بدون انقطاع و بریدگی می باشد. این خصوصیت در جوشهای تک پایه کوچک مانند جوشکاری ورقها مد نظر است.

نفوذ با نوع اتصال تغییر می یابد. در بعضی اتصالات نفوذ باید عمیق باشد تا به مقدار کافی از فلز پایه با فلز جوش ترکیب شود و در برخی دیگر باید نفوذ محدود شود تا از سوختگی و ترک جلوگیری گردد.

هر اتصال جوشی را می توان بر اساس ۴ پارامتر مذکور دسته بندی کرد.

مرحله دوم: تطبیق ویژگیهای مورد نیاز اتصال با فرآیندهای جوشکاری

اغلب سازندگان دستگاه های جوش اطلاعات مختلفی را در ارتباط با ویژگیها و توانایی دستگاه های خود ارائه می دهند که می توان از آنها استفاده نمود. در این مرحله با توجه به خصوصیات هر دستگاه و ویژگیهای هر فرآیند می توان یک یا چند فرآیند را به گونه ای انتخاب کرد که خصوصیات تعیین شده برای اتصال را فراهم سازد. در این حالت به ندرت پیش میاید که تنها یک فرآیند انتخاب شود و معمولا دو یا چند فرآیند خصوصیات مد نظر را تامین می کنند.

مرحله سوم: تهیه چک لیستی برای تعیین توانایی فرآیندهای انتخاب شده در تطبیق با شرایط خاص کاری

پارامترهای دیگری نیز علاوه بر اتصال روی انتخاب فرآیند تاثیر می گذارند. بسیاری از آنها مختص شرایط کار و کارگاه جوشکاری شما می باشند. گاهی این پارامترها تاثیر زیادی بر حذف برخی فرآیندهای انتخاب شده دارند. در این مرحله باید تمامی این پارامترها را بصورت چک لیست درآورده و یکی یکی بررسی نمود.

حجم تولید: باید هزینه دستگاه جوش را با مقدار کار یا تولید مورد نیاز تطبیق داد. اگر حجم کار برای یک کاربرد باندازه کافی نباشد، می توان کاربرد دیگری را نیز بطور موازی در نظر گرفت تا هزینه ها تعدیل گردد.

خصوصیات جوش: در صورتیکه یک فرآیند نتواند خواص جوش تعیین شده را تامین نماید، از لیست انتخابها حذف می گردد. مهارت کاربر: کاربران ممکن است که مهارت کار با یک فرآیند را خیلی سریعتر از فرآیندهای دیگر کسب نمایند. آموزش کاربران برای یک فرآیند جدید هزینه ساز است.

تجهیزات کمکی: هر فرآیند دارای منبع تغذیه و تجهیزات کمکی خاص خود می باشد. اگر یک فرآیند را بتوان با تجهیزات موجود اجرا نمود، هزینه اولیه بسیار کاهش میابد.

تجهیزات جانبی: قابلیت دسترسی و هزینه تجهیزات جانبی مورد نیاز باید مد نظر قرار گیرد. شرایط فلز پایه: زنگار، روغن، لبه سازی، جوش پذیری و سایر شرایط فلز پایه باید مد نظر قرار گیرد. این پارامترها می توانند قابلیت یک فرآیند را محدود نمایند.

وضعیت قوس: در صورتی که درز اتصال نامنظم باشد، استفاده از فرآیندهای با قوس آزاد ترجیح داده می شوند. اما در مواردی که بتوان درز جوش را بطور مناسبی قرار داد استفاده از فرآیند زیرپودری ارجح است.

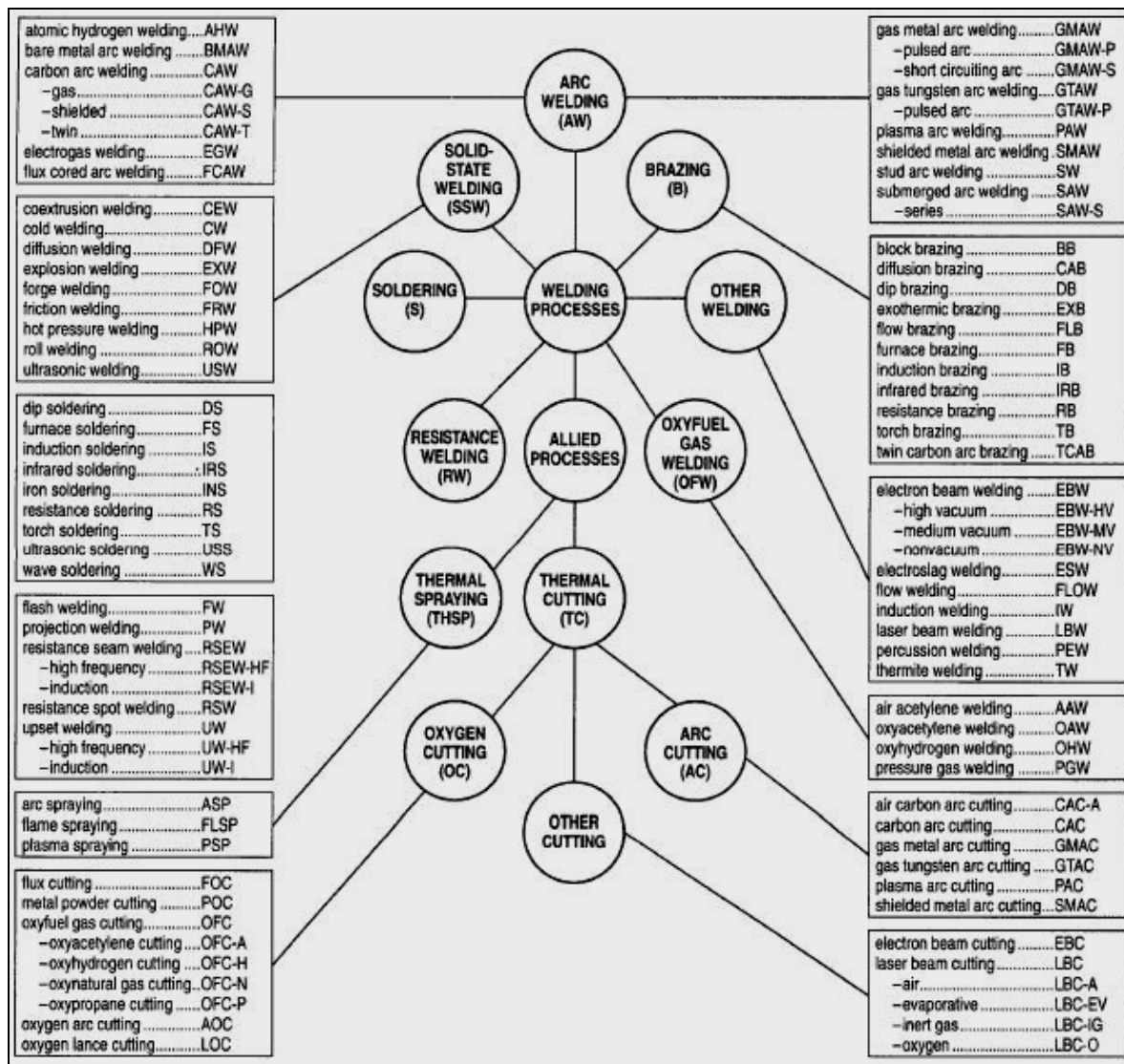
قید و بست: در برخی فرآیندها (بخصوص فرآیندهای نیمه خودکار) نیاز به قید و بست های خاص وجود دارد که باید مد نظر قرار گیرد. تنگناهای تولیدی: اگر فرآیندی هزینه تولید را کاهش دهد اما محدودیتهای و مشکلاتی برای تولید ایجاد نماید، ارزش خود را از دست می دهد. دستگاه های بسیار پیچیده که نیاز به سرویس کاری مداوم توسط افراد ماهر دارند می توانند باعث کاهش سرعت تولید شوند.

چک لیست تهیه شده باید تمامی فاکتورهای موثر بر اقتصاد تولید را در بر داشته باشد. فاکتورهای دیگری که می توان اشاره کرد عبارتند از: الزامات تولید، محدوده ابعادی جوش، انعطاف پذیری در کاربرد، طول درز جوش، زمان تنظیم و راه اندازی، هزینه اولیه، الزامات زیست محیطی و ایمنی با تعیین این فاکتورها می توان فرآیند مناسب را از بین فرآیندهای انتخاب شده تعیین نمود. در صورتیکه تمامی شرایط یکسان باشد، معیار انتخاب هزینه کلی خواهد بود.

مرحله چهارم: بازنگری فرآیند با اطلاعات سازنده دستگاه جوش برای تایید توانایی آن

در این مرحله باید چک لیست تهیه شده و ویژگیهای مورد نیاز با نماینده سازنده دستگاه جوش مورد بازنگری قرار گیرد تا از توانایی دستگاه و انتخاب صحیح اطمینان حاصل شود.

در شکل ۶، نمودار انتخاب فرآیند جوشکاری آمده است.



شکل ۵- انواع فرآیندهای جوشکاری و سایر روشهای وابسته به آن

Letter Designation	Welding Process	فرآیند جوشکاری
SMAW(USA)	Shielded Metal Arc Welding	جوشکاری قوسی با الکتروود پوشش دار
MMA(UK)	Manual Metal Arc Welding	
	Stick Welding	
GMAW(USA)	Gas Metal Arc Welding	جوشکاری قوسی با محافظت گاز
MIG(UK)	Metal Inert Gas Welding	جوشکاری قوسی با گاز محافظ خنثی
MAG(UK)	Metal Active Gas Welding	جوشکاری قوسی با گاز محافظ فعال (CO ₂)
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن و گاز خنثی
TIG(UK)	Tungsten Inert Gas Welding	جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن و گاز خنثی
FCAW	Flux Cored Arc Welding	جوشکاری قوسی با الکتروود تو پودری
PAW	Plasma Arc Welding	جوشکاری قوسی پلاسما
OFW	Oxy-Fuel Gas Welding	جوشکاری با سوخت گازی
ESW	Electro Slag Welding	جوشکاری سر باره الکتریکی
EGW	Electro Gas Welding	جوشکاری گاز الکتریکی
EBW	Electron Arc Welding	جوشکاری پرتو الکترونی
SAW	Submerged Arc Welding	جوشکاری قوسی زیر پودری

جدول ۱- اسامی اختصاری برخی از فرآیندهای جوشکاری

PROCESS SELECTION CHART

DEFINE JOINT REQUIREMENTS AND PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Sketch Joint Here ↓

FILL
FOLLOW
FREEZE
PENETRATION

STICK
Electrode

MIG
Cored Wire
Solid Wire

Self-Shielded
or Gas-Shielded
Flux-Cored

SUB-ARC

(Fast-Fill, Fast-Follow, Fast-Freeze, Penetration)

PRODUCTION REQUIREMENTS	COMMENTS	PRODUCTION RATING			
PROD. VOLUME REQ'D					
QUALITY, WELD DEPOSIT					
SEAM LENGTH REQ'D					
RANGE, WELD SIZES					
INITIAL EQUIP. COST					
APPLIC. FLEXIBILITY					
ABILITY TO FOLLOW SEAM					
SET UP TIME REQ'D					
FIXTURING COST					
MATERIAL COST					
FITUP FLEXIBILITY					
JOINT PREPAR. FLEXIB.					
CLEANLINESS REQMTS.					
OPERATOR SKILL REQ'D					
WELD CLEANING COST					
HOUSEKEEPING COST					
PROTECTION REQ'D (CRACK SENSITIVITY Hard to Weld Steels)					

شکل ۶- نمودار انتخاب فرآیند جوشکاری

نحوه انجام فرایند جوشکاری (Type)

روشهای مختلف اعمال یک فرآیند جوشکاری می تواند دستی (Manual)، خودکار (Automatic)، نیمه خودکار (Semi-Automatic) یا ماشینی (Machine) باشد. جوشکاری قوسی با الکتروود پوشش دار (روکش دار) در صورت استفاده از الکتروود هایی با طول محدود، به صورت دستی تلقی می شود. روشهایی مانند FCAW و GMAW در صورت جوشکاری دستی، نیمه خودکار به حساب می آیند و اگر پیک آنها بر روی دستگاه قرار گیرد و به طور خودکار حرکت کند، از آنجایی که حرکت مقتول نیز خودکار بوده، فرآیندی ماشینی یا تمام اتوماتیک به حساب می آید. در جدول ۲ نحوه انجام برخی از فرآیندهای جوشکاری آمده است.

Welder or Operator	Process	Process Type	Comments
Welder	SMAW, GTAW	manual	hand held torches or electrode holders
Welder	GMAW, FCAW, SAW	semi-automatic	wire fed hand held torches
Welding Operator	GMAW, FCAW, GTAW, SAW	machine	adjustments can be made by welding operator
Welding Operator	GMAW, FCAW, GTAW, SAW	automatic	adjustments can not be made by welding operator

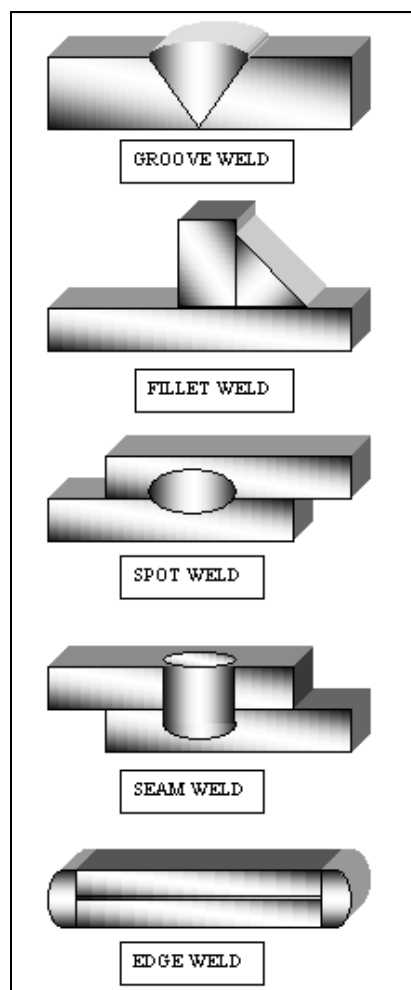
جدول ۲- نحوه انجام برخی از فرآیندهای جوشکاری

طرح اتصال (Joint Design)

مشخصات طرح اتصالی که دستورالعمل جوشکاری برای آن نوشته می شود باید در این قسمت از فرم WPS درج شود. در واقع اتصال (Joint) را می توان نحوه قرار گرفتن قطعاتی که باید جوشکاری شوند در کنار یکدیگر، تعریف کرد. شکل ۷ انواع اتصالات رایج در جوشکاری را به نمایش گذاشته است. برخی از رایج ترین اتصالات عبارتند از: اتصال سر به سر که به آن لب به لب نیز گفته می شود (Butt joint)، اتصال لب رو لب که به آن روی هم نیز گفته می شود (Lap joint) و اتصال سپری (T joint). برای کامل شدن این قسمت باید به نوع جوش نیز اشاره کرد که آیا شیاری (Groove Weld) است یا گوشه ای (Fillet Weld). البته این دو نوع مرسوم تر هستند اما انواع دیگر جوشها نیز وجود دارند که می توانید برخی از رایج ترین آنها را در شکل شماره ۸ مشاهده نمایید.

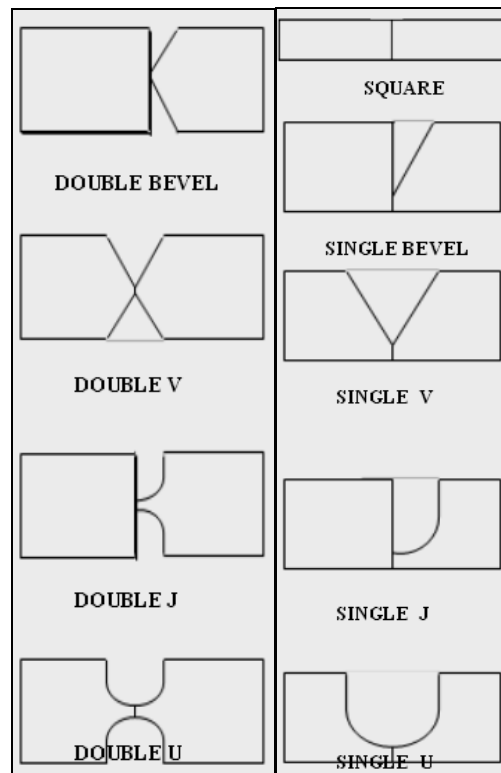
butt joint: The parts lie in the same plane and abut against one another		angle joint: One part meets the other at an acute angle	
parallel joint: The parts lie parallel to each other, e.g. in explosive cadding		corner joint: Two parts meet at their edges at an angle greater than 30° to each other	
lap joint: The parts lie parallel to each other and overlap each other		edge joint: Two parts meet at their edges at an angle of 0 to 30°	
T-joint: The parts meet each other at right angles (forming a T-shape)		multiple joint: Three or more parts meet at any required angles to each other	
cruciform joint: Two parts lying in the same plane each meet, approximately at right angles, a third part lying between them (forming a double T-shape)		cross joint: Two parts (e.g. wires) lie crossing over each other	

شکل ۷ - انواع اتصالات رایج در جوشکاری



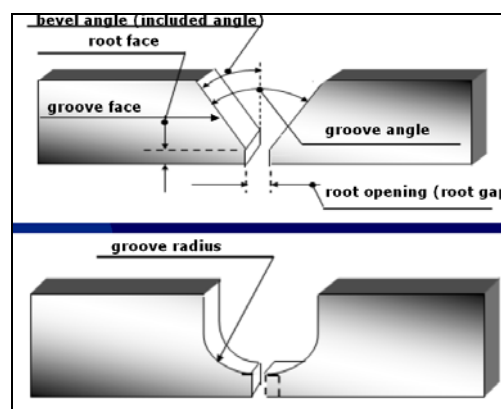
شکل ۸ - انواع جوشها

حال که با انواع اتصالات و انواع جوشها آشنا شدیم باید در مورد آماده سازی شیار یا پخ سازی نیز مطالبی بدانیم. معمولاً آماده سازی شیار یا پخ جوشکاری (Bevel) به یکی از روشهای برش اکسیژن، استفاده از الکترودهای کربنی، برش قوس یا روشهای مختلف ماشینکاری انجام می شود. بهتر است ماشینکاری و سنگ زنی پس از آماده سازی به روشهای دیگر نیز اعمال شوند. در نهایت تمیزکاری شیار یا پخ جوش باعث بهبود کیفیت کار می شود. به طور کلی انواع آماده سازیها را به دو دسته یک طرفه (Single sided) و دو طرفه (Double Sided) می توان تقسیم کرد. معمولاً از آماده سازی یک طرفه در زمانی که قطعه کار نازک است یا دسترسی به هر دو طرف قطعه میسر نیست، استفاده می شود. برای کنترل پیچیدگی (Distortion) قطعات ضخیم تر و نیز وقتی دسترسی به هر دو سوی قطعه امکان پذیر باشد از روش دوطرفه استفاده می شود. در شکل شماره ۹ انواع آماده سازیها را به همراه نام آنها می بینید.



شکل ۹ - انواع آماده سازی شیار

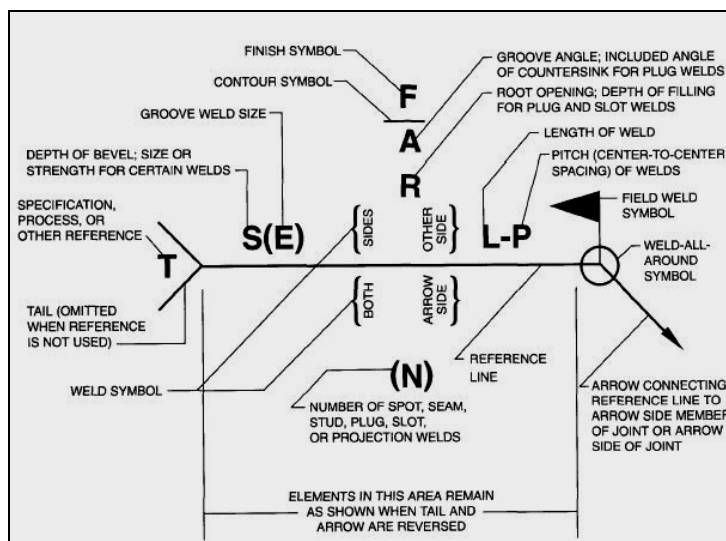
واژه های مختلفی برای نشان دادن بخشهای مختلف شیار آماده شده وجود دارد که باید با آنها آشنا باشیم. این تعابیر و اصطلاحات در شکل ۱۰ آمده اند.



شکل ۱۰ - انواع اصطلاحات مرتبط با آماده سازی شیار

نکته دیگری که باید به آن در اینجا اشاره گردد بحث نقشه خوانی جوش است. در برخی موارد شکل طرح اتصال نیز در WPS ترسیم می شود در چنین مواردی اطلاع از علامات اختصاری طرح اتصال موجب تسهیل و تسریع انتقال طرح جوش از نقشه به قسمت مربوطه در WPS می شود. در این حالت

علامت جوش به همراه یک فلش، مشخص کننده ابعاد و مشخصات کامل پخ جوش می باشد. نحوه ترسیم این فلش در شکل ۱۱ بر اساس استاندارد آمریکایی به اختصار بیان شده است. اصولاً نحوه نمایش اطلاعات مربوط به جوش در استانداردهای مختلف با هم تفاوتی دارند که در هر مورد باید به استاندارد مربوطه مراجعه کرد. به عنوان مثال برای شرح کامل را بر اساس سیستم آمریکایی می توان در **AWS A2.4** یافت. سایر استانداردهای مرتبط با نقشه خوانی جوش عبارتند از: **BS 499-2, EN 22553, ISO 2553**. البته در کشور ما سیستم آمریکایی برای این منظور رایج تر است. در شکل ۱۲ سمبل های گوناگون مورد استفاده جهت نشان دادن شیار آمده است. همچنین در شکل ۱۳ چند مثال از نحوه علامت گذاری جوش نشان داده شده است.

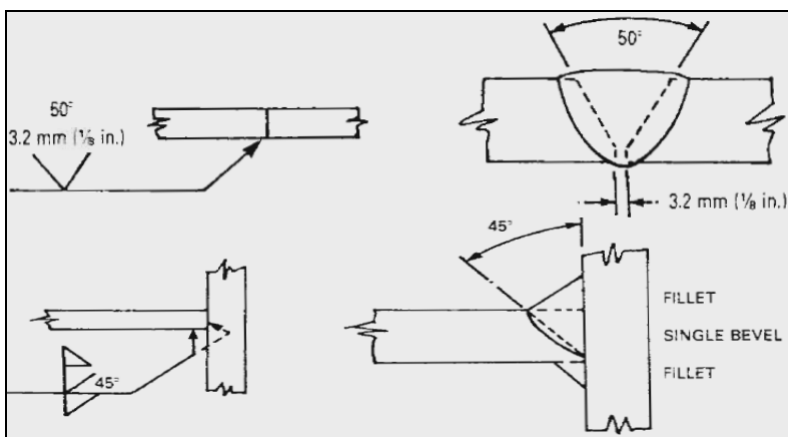
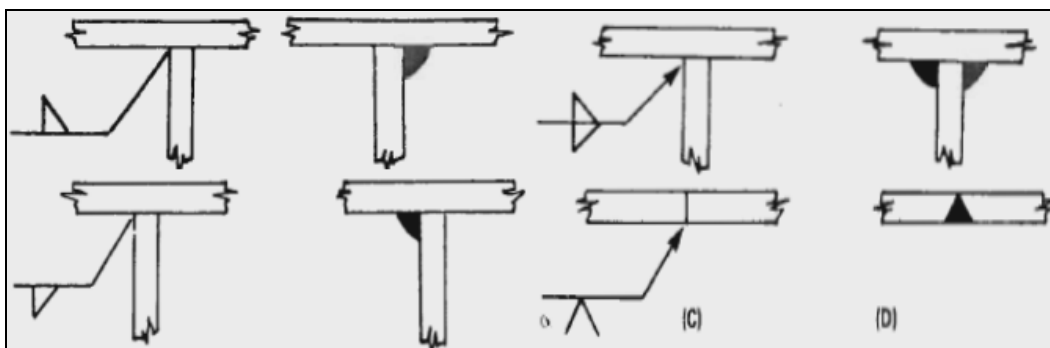


شکل ۱۱ - معرفی بخشهای مختلف علامت جوش

GROOVE							
SQUARE	SCARF	V	BEVEL	U	J	FLARE-V	FLARE-BEVEL

FILLET	PLUG OR SLOT	STUD	SPOT OR PROJECTION	SEAM	BACK OR BACKING	SURFACING	FLANGE	
							EDGE	CORNER

شکل ۱۲ - سمبل های گوناگون مورد استفاده جهت نشان دادن شیار جوش



شکل ۱۳ - چند مثال از نحوه علامت گذاری جوش

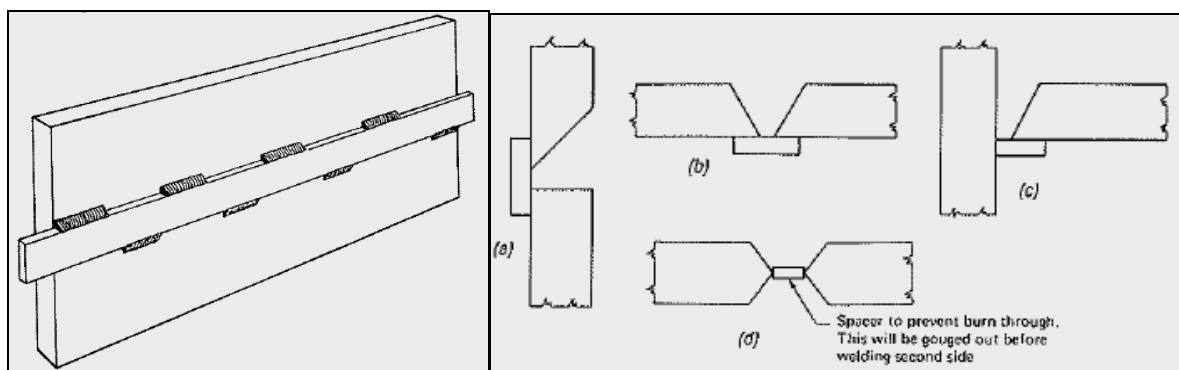
پشت بند (Backing)

بنا بر شرایط طراحی و به منظور مواردی چون جلوگیری از اکسیدشدن مذاب شیار جوش، عدم ریزش مذاب از پشت جوش، اطمینان از خالی نماندن یا ایجاد سوختگی جوش در قسمت پشتی جوش و غیره از تسمه فلزی، جریان گاز یا فلاکس به عنوان پشت بند استفاده می شود. چند مثال از نحوه قرار گرفتن پشت بند در شکل ۱۴ آمده است.

نوع و جنس مواد پشت بند (Backing Material Type)

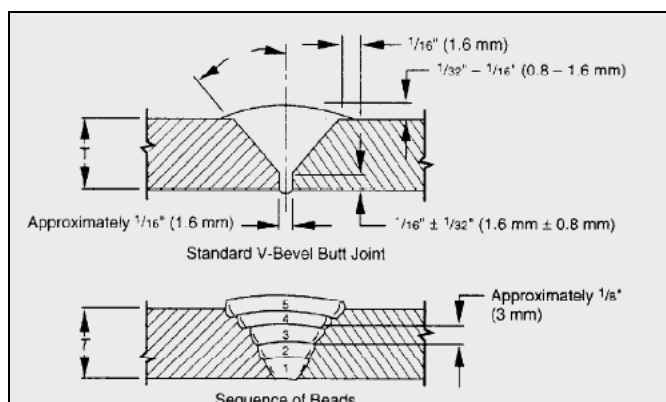
در صورت تایید قسمت قبل یعنی نیاز به استفاده از پشت بند، درج جنس و نوع مواد مورد نظر جهت پشت بند الزامی است. موادی که عمدتاً به عنوان پشت بند استفاده می شوند عبارتند از:

- الف- تسمه های فولاد کربنی ساده
- ب- ورقهای مس
- پ- جریان گازهای محافظ مانند آرگون یا CO_2
- ت- فلاکس یا پودر جوش



شکل ۱۴ - چند مثال از نحوه قرار گرفتن پشت بند فلزی

مطلب دیگری که معمولاً باید در WPS به آن اشاره شود، ترسیم و نمایش توالی پاسهای جوشکاری (Bead) است. چگونگی انتخاب این توالی بستگی به احتمال پیچیدگی (Distortion) جوش دارد. اما در قسمت طرح اتصال پس از رسم پخ جوش توالی جوشکاری پاسها به همراه شماره گذاری باید رسم شوند (شکل ۱۵). طرحهای جوشی که از نظر جنس ورق و نوع الکتروود مورد مصرف مشابه بوده و به همین دلیل بوسیله یک WPS پوشش داده می شوند باید به صورت مجزا ترسیم و توالی پاسهای آنها نشان داده شوند.



شکل ۱۵ - نمایش توالی پاسهای جوشکاری

فلزات پایه (Base Metals)

ذکر نوع و ترکیب شیمیایی فلز مورد جوشکاری از جمله مهمترین مطالب قابل ذکر در WPS است. این امر در انتخاب سایر مشخصات فرآیند جوشکاری از قبیل پیش گرم کردن، پس گرمایی، انتخاب الکتروود و تکنیک کار دخیل است.

عدد مشخصه P (P-No.)

جهت کاهش تعداد فرمهای WPS و PQR، فلزات پایه تحت عددی به نام P تقسیم بندی می شوند. در صورتی که برای بررسی کیفیت فولاد، آزمون ضربه لازم باشد، تقسیم بندی جزئی تر شده و Group No. نیز مطرح می شود. اساس تقسیم بندی های فوق، ترکیب آلیاژ، جوش پذیری و خصوصیات مکانیکی است. روشن است که با استناد به عدد P یا Gr. مشابه نمی توان ادعا کرد که دو آلیاژ از نظر خواص متالورژیکی، عملیات حرارتی پس از جوشکاری، طراحی و برخی خواص مکانیکی قابل جایگزینی می باشند. در جدول ۳ کدهای مربوط به آلیاژهای مختلف که با مراجعه به آن P No.

مشخص می شود آمده است. برای دیدن لیست کاملی از P No. ها به QW-422 مراجعه کنید. (در شکل ۱۷ نمونه ای از جداول QW-422 را مشاهده می کنید)

راهنمایی هایی در مورد P No های ۵، ۹ و ۱۰ در QW-403.13 بیان شده است. در شکل ۱۶ تقسیم بندی جزئی تری برای انواع مختلف آلیاژهای فولادی آمده است. (جالب اینجاست که P No. 2 وجود ندارد!!)

نوع آلیاژ	کد مربوط به ASME IX	عدد P برای جوشکاری
فولادها	QW-422.1 تا QW-422.11	1-11
آلومینیوم و آلیاژهای پایه Al	QW-422.21 تا QW-422.25	21-25
مس و آلیاژهای پایه Cu	QW-422.31 تا QW-422.35	31-35
تیتانیوم و آلیاژهای پایه Ti	QW-422.41 تا QW-422.47	41-47
زیرکونیوم و آلیاژهای پایه Zr	QW-422.61 تا QW-422.62	61-62

جدول ۳- شماره های مربوط به عدد P فلزات مختلف

P No.	Type of Steel
1	Carbon Steel
3	Alloy Steel
4	Alloy Steel (Cr<0.75% , Sum of the Alloying elements< 2%)
5	Alloy Steel (0.75<Cr<2% , Sum of the Alloying elements< 2.75%)
6	Alloy Steel (Sum of the Alloying elements< 10%)
7	Martensitic Stainless Steel
8	Ferritic Stainless Steel
9	Austenitic Stainless Steel
10	Ni Alloy Steel
11	Other Alloy Steels
	High Strength Ni Alloy Steel
	High Strength Ni,Mn,Mo Steel
	High Strength Cr,Mo Steel

شکل ۱۶ - شماره های مربوط به عدد P آلیاژهای فولادی

Spec. No.	Type & Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile ksi	Welding			
				P-No.	Group No.	S-No.	Group No.
SA-36	...	K02600	58	1	1	...	...
SA-53 ^a	Type E Gr. B	K03005	60	1	1	...	...
SA-53 ^a	Type S Gr. B	K03005	60	1	1	...	...
SA-105	...	K03504	70	1	2	...	...
SA-106	B	K03006	60	1	1	...	...
A 108	1018 CW	G10180	60	...	...	1	1
A 134	A 285 B	K02200	50	...	...	1	1
SA-182 ^b	F11, Cl. 2	K11572	70	4	1	...	...
SA-182 ^b	F22, Cl. 1	K21590	60	5A	1	...	...
SA-182 ^b	F304L	S30403 ^c	70	8	1	...	...
A 211	A 570 Gr. 30	K02502	49	...	...	1	1
SA-234	WPB	K03006	60	1	1	...	...
SA-234	WP5	K41545	60	5B	1	...	...
SA-240	Type 304L	S30403 ^c	70	8	1	...	...
SA-335	P22	K21590	60	5A	1	...	...
SA-387	11, Cl. 1	K11789	60	4	1	...	...
SA-516	Grade 60	K02100	60	1	1	...	...
API5L	Grade B	...	60	...	...	1	1

شکل ۱۷ - نمونه ای از جداول QW-422

همانطور که در ستون اول شکل ۱۷ نیز مشخص است فولادها در کد ASME با SA شروع می شوند. بخش از این استاندارد که شامل استاندارد مواد برای کاربرد آنهاست عبارتست از:

ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part A and B

در این بخش ها از تطبیق استاندارد ASTM با کد ASME استفاده شده است و حرف "S" جلو شماره استاندارد ASTM مربوطه اضافه می شود تا نشان دهد که این مربوط به کد ASME است.

Part A از Section II کد ASME مربوط به فلزات آهنی و Part B مربوط به فلزات غیر آهنی است. مثال زیر ارتباط بین سیستم های نامگذاری ASME و ASTM را نشان می دهد.

ASME SA 516/SA-516M-01 Grade 70 - Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate - and Lower - Temperature Service

این استاندارد همانند ASTM A 516/516-01 Grade 70 است با این تفاوت که "SA" نشان می دهد این استاندارد با کد ASME منطبق شده است.

در QW-420.2 با S No. مواجه خواهید شد. اگر فلزی در کد ASME B 31 یا سایر بخشهای استاندارد ASME پذیرفته شده باشد اما در Section II کد ASME وجود نداشته باشد، در اینصورت از S No. استفاده خواهد شد.

اشاره به این نکته لازم است که در Appendix D موجود در ASME Sec. IX تمامی P No. ها به ترتیب شماره مرتب شده اند.

لازم به ذکر است که می توان مشخصات (Specification)، نوع و درجه (Type & Grade)، ترکیب شیمیایی (Chemical Analysis)، یا خصوصیات مکانیکی (Mechanical Properties) آلیاژ مورد جوشکاری را نیز در WPS قید کرد.

محدوده ضخامت (Thickness Range)

ضخامت مقطع جوشکاری در این قسمت ذکر می شود. بر اساس QW-451.1 برای کمتر شدن تعداد WPS می توان از محدوده ضخامت زیر استفاده کرد:

- الف- ضخامت کمتر از 1/16 in. (1.6mm)
- ب- 3/8 in. (10mm) ≤ ضخامت < 1/16 in. (1.6mm)
- پ- 3/4 in. (19mm) < ضخامت < 3/8 in. (10mm)
- ت- 1 1/2 in. (38mm) < ضخامت ≤ 3/4 in. (19mm)
- ث- ضخامت 1 1/2 in. (38mm) و بالاتر

محدوده قطر لوله (Pipe Diameter Range)

در صورتیکه قطعه مورد جوشکاری لوله باشد، علاوه بر ذکر محدوده ضخامت لازم است تا قطر لوله مورد جوشکاری هم در این قسمت از WPS ذکر شود. قطر خارجی با علامت O.D. و قطر داخلی با علامت I.D مشخص می شوند.

فلزات پرکننده (Filler Metals)

اصولاً در اکثر فرایندهای جوشکاری برای ایجاد اتصال بین فلزات پایه، به یک پل واسط فلزی نیاز داریم. فلزات مورد استفاده برای این منظور به عنوان فلزات پرکننده شناخته می شوند. با در نظر گرفتن فرایند جوشکاری و پارامترهای مختلف موثر، صحیح ترین فلز پرکننده را انتخاب می کنیم. پارامترهای انتخاب صحیح فلز پرکننده عبارتند از:

- الف) فرآیند جوشکاری
- ب) ترکیب شیمیایی فلز پایه
- پ) وضعیت جوشکاری
- ت) شرایط کاربردی
- ث) میزان نفوذ جوش (عمق نفوذ)
- ج) کیفیت محل جوش
- چ) هزینه جوش
- ح) مهارت جوشکاری

بطور کلی فلزات پرکننده به دو دسته الکترودها (Electrode) و سیم جوشها (Rod) تقسیم بندی می شوند. تقسیم بندی Filler Metal در AWS از A5.1 تا A5.31 آمده است. تطبیق ASME برای الکترودها و سیم جوشها به این صورت است که جلوی شماره AWS مربوطه SF اضافه می کند یعنی می توانید AWS A5.12 را تحت SFA5.12 در Part C از Section II کد ASME بیابید. شکل ۱۸ تقسیم بندی Filler Metals را به نمایش گذاشته است. لازم به یادآوری است که در صورت نیاز به دانستن تقسیم بندی Filler Metals در استانداردهای دیگر، باید به آن استانداردها رجوع کرد (همانند EN 12072, EN 785, EN 499, ISO 2560).

AWS Designation	Title
FMC	Filler Metal Comparison Charts
A4.2	Standard Procedures for Calibrating Magnetic Instruments to Measure the Delta Ferrite Content of Austenitic Stainless Steel Weld Metal
A4.3	Standard Methods for Determination of the Diffusible Hydrogen Content of Martensitic, Bainitic, and Ferritic Steel Weld Metal Produced by Arc Welding
A5.01	Filler Metal Procurement Guidelines
A5.1	Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
A5.2	Specification for Carbon and Low Alloy Steel Rods for Oxyfuel Gas Welding
A5.3	Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
A5.4	Specification for Stainless Steel Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
A5.5	Specification for Low Alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes
A5.6	Specification for Covered Copper and Copper Alloy Arc Welding Electrodes
A5.7	Specification for Copper and Copper Alloy Bare Welding Rods and Electrodes
A5.8	Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding
A5.9	Specification for Corrosion-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Bare and Composite Metal Cored and Stranded Welding Electrodes and Welding Rods
A5.10	Specification for Bare Aluminum and Aluminum Alloy Welding Electrodes and Rods
A5.11	Specification for Nickel and Nickel Alloy Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
A5.12	Specification for Tungsten and Tungsten Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting
A5.13	Specification for Solid Surfacing Welding Rods and Electrodes
A5.14	Specification for Nickel and Nickel Alloy Bare Welding Electrodes and Rods
A5.15	Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron
A5.16	Specification for Titanium and Titanium Alloy Welding Electrodes and Rods
A5.17	Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding
A5.18	Specification for Carbon Steel Filler Metals for Gas Shielded Arc Welding
A5.19	Specification for Magnesium Alloy Welding Rods and Bare Electrodes
A5.20	Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding
A5.21	Specification for Composite Surfacing Welding Rods and Electrodes
A5.22	Specification for Flux Cored Corrosion-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Electrodes
A5.23	Specification for Low Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding
A5.24	Specification for Zirconium and Zirconium Alloy Welding Electrodes and Rods
A5.25	Specification for Carbon and Low Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Electroslag Welding
A5.26	Specification for Carbon and Low Alloy Steel Electrodes for Electrogas Welding
A5.27	Specification for Copper and Copper Alloy Rods for Oxyfuel Gas Welding
A5.28	Specification for Low Alloy Steel Filler Metals for Gas Shielded Arc Welding
A5.29	Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding
A5.30	Specification for Consumable Inserts
A5.31	Specification for Fluxes for Brazing and Braze Welding

شکل ۱۸ - تقسیم بندی Filler Metals

هنگام ارائه مشخصات جوشکاری توجه به نکات زیر در مورد روشهای مختلف جوشکاری مهم است:

الف- در روش جوشکاری با الکتروود دستی با الکتروود E 70xx بیشترین اندازه جوش گوشه ای با یک پاس، 6.4mm و برای جوشهای شیار ی نیز در یک پاس، 6.4mm است.

ب- در روش جوشکاری زیر پودری با الکتروود E 7x بیشترین اندازه جوش گوشه ای یا شیار ی قابل اجرا در یک پاس، 8mm است.

پ- در جوشکاری های قوس- فلز با محافظت گاز با الکتروود E 70S-x بیشترین اندازه جوش گوشه ای یا شیار ی در یک پاس، 8mm است.

ت- در جوشکاری با الکتروود تو پودری با الکتروود E 70T-x بیشترین اندازه جوش گوشه ای یا شیار ی در یک پاس، 8mm است.

ث- الکتروودها می بایست قبل از مصرف خشک شوند. روکش تمام کلاسه های الکتروود، تقریباً کم هیدروژن است. الکتروودهای کلاس AWS A5.1 نیز باید به منظور عدم جذب هیدروژن توسط روکش کاملاً عایق بسته بندی شوند.

الکترودهای کلاس AWS A5.5 روکش کم هیدروژنی دارند از این رو می بایست قبل از مصرف ۱ تا ۲ ساعت در دمای $350-430^{\circ}\text{C}$ (بسته به توصیه سازنده الکتروده) پخت شوند و پس از آن تا زمان مصرف در دمای $120-150^{\circ}\text{C}$ نگهداری شوند. برای این الکترودها حداکثر ۲ بار پخت مجاز است. الکترودهای خیس شده به هیچ وجه قابل استفاده نیستند. با توجه به QW-404 مشخصات فلز پر کننده در قسمتهای مرتبط از فرم نمونه WPS به شرح زیر آمده است.

عدد مشخصه F (F-No)

در حقیقت F-No یک تقسیم بندی برای الکترودهاست که در QW-432 طی جداولی به آن اشاره شده است. اساس تقسیم بندی موارد استفاده، کاهش تعداد WPS و PQR های یک پروژه و مشابهت خصوصیات جوشکاری الکترودها و سیم جوش ها بوده است. در جدول ۴ چگونگی تقسیم بندی F-No آلیاژهای گوناگون آمده است و در شکل ۱۹ مثالهایی برای آشنایی بیشتر ذکر شده اند.

QW	F-No	نوع آلیاژ
432.1	1-6	آلیاژهای فولادی
432.2	21-24	آلومینیوم و آلیاژهای پایه Al
432.3	31-37	مس و آلیاژهای پایه Cu
432.4	41-45	نیکل و آلیاژهای پایه Ni
432.5	51	تیتانیوم و آلیاژهای پایه Ti
432.6	61	زیرکونیوم و آلیاژهای پایه Zr
432.7	71-72	آلیاژهای روکش کاری و سخت کاری سطحی

جدول ۴- F-No برای آلیاژهای مختلف

F NUMBERS		
GROUP DESIGNATION	METAL TYPES	AWS ELECTRODE CLASSIFICATION
F1	Carbon Steel	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28
F2	Carbon Steel	EXX12, EXX13, EXX14
F3	Carbon Steel	EXX10, EXX11
F4	Carbon Steel	EXX15, EXX16, EXX18
F5	Stainless Steel	EXXX15, EXXX16
F6	Stainless Steel	ERXXX
F22	Aluminum	ERXXXX

شکل ۱۹ - مثالهایی از F-No

آنالیز فلز جوش یا عدد A (A-No)

عدد A-No تنها در مورد آلیاژهای آهنی کاربرد دارد. بر اساس QW-404.5 عدد A استخراج شده و درج می شود. (جدول ۵)

الف- برای SMAW, GTAW, PAW یا آزمایشی برای تشخیص آنالیز جوش انجام می شود و یا بر اساس مدرک کیفیت جوش سازنده، آنالیز مربوطه ارائه شده مورد قبول قرار می گیرد. در صورت نیاز به انجام آزمایش، این آزمایش باید مشابه آزمایش آنالیز استاندارد سیم جوش صورت پذیرد.

ب- برای ESW و GMAW یا از مشخصات ارائه شده توسط سازنده استفاده می شود یا آنالیز نمونه در شرایط استاندارد انجام می شود. در هر دو صورت گاز محافظ باید گاز مورد استفاده در فرآیند باشد.

پ- برای SAW نیز یا از مشخصات سازنده تحت شرایط استفاده از فلاکس مشابه فرایند اجرائی استفاده می شود و یا تحت شرایط کاری نمونه آنالیز تهیه می شود.

QW-442 A-NUMBERS Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	...	...	...	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	...	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	...	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 6%)-Molybdenum	0.15	2.00-6.00	0.40-1.50	...	1.60	2.00
5	Chrome (6% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	6.00-10.50	0.40-1.50	...	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00-15.00	0.70	...	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00-30.00	1.00	...	1.00	3.00
8	Chromium-Nickel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nickel	0.30	19.00-30.00	6.00	15.00-37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	...	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Molybdenum	0.17	...	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Nickel-Chrome-Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.00

NOTE:
(1) Single values shown above are maximum.

جدول ۵- آنالیز جوش و تقسیم بندی A-No

شماره مشخصات فلز پرکننده (Spec. No.)

حدود سی شماره توسط AWS برای طبقه بندی مشخصات فلز پر کننده تعیین شده است. این تقسیم بندی در ASME با پیشوند SF استفاده شده است. پیش از این در شکل ۱۸ عنوان این تقسیم بندی ها آمده بود و در اینجا در شکل ۲۰ همان جدول بصورت ترجمه شده آمده است.

شماره مشخصه	نوع فلز پر کننده
-------------	------------------

مشخصات الکترودهای فولاد کربنی برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.1
مشخصات سیم جوش فولاد کربنی و کم آلیاژی برای جوشکاری با سوخت گاز	SFA-5.2
مشخصات الکترودهای آلومینیومی و آلیاژهای آن برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.3
مشخصات الکترودهای فولاد زنگ نزن برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.4
مشخصات الکترودهای فولاد کم آلیاژی برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.5
مشخصات الکترودهای روپوش دار مسی و آلیاژهای مس برای جوشکاری قوسی	SFA-5.6
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای بدون پوشش مسی و آلیاژی مس	SFA-5.7
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای بدون پوشش فولاد زنگ نزن	SFA-5.8
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای بدون پوشش آلومینیومی و آلیاژهای آن	SFA-5.9
مشخصات الکترودهای نیکلی و آلیاژهای آن برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.10
مشخصات الکترودهای نیکلی و آلیاژهای آن برای جوشکاری قوس الکتروده روپوش دار	SFA-5.11
مشخصات الکترودهای تنگستنی و آلیاژهای آن برای جوشکاری و برشکاری قوسی	SFA-5.12
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای جوش روکس کاری (Solid Surfacing)	SFA-5.13
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای بدون پوشش نیکلی و آلیاژهای آن	SFA-5.14
مشخصات الکتروده و سیم جوشها برا یجوشکاری چدن	SFA-5.15
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای تیتانیومی و آلیاژهای آن	SFA-5.16
مشخصات الکتروده و فلاکس های فولاد کربنی برای جوشکاری قوس - زیر پودری	SFA-5.17
مشخصات الکتروده سیم جوش فولاد کربنی برای جوشکاری قوس فلزی با گاز	SFA-5.18
مشخصات الکترودهای فولاد کربنی برای جوشکاری قوس با الکتروده توپودری	SFA-5.20
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای جوش روکش کاری مرکب (Composite Surfacing)	SFA-5.21
مشخصات الکترودهای فولاد زنگ نزن برای جوشکاری قوس با الکتروده توپودری و سیم جوشهای فولاد زنگ نزن برای جوشکاری قوس تنگستنی	SFA-5.22
مشخصات الکتروده و فلاکس های فولاد کربنی برای جوشکاری قوس - زیر پودری	SFA-5.23
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای زیر کتیومی و آلیاژهای آن	SFA-5.24
مشخصات الکتروده و فلاکس های فولاد کربنی و کم آلیاژی برای جوشکاری سرباره الکتریکی	SFA-5.25
مشخصات الکترودهای فولاد کربنی و کم آلیاژی برای جوشکاری گاز الکتریکی	SFA-5.26
مشخصات الکتروده و سیم جوشهای فولاد کم آلیاژی برای جوشکاری قوس فلزی با گاز	SFA-5.28
مشخصات الکترودهای فولاد کم آلیاژی برای جوشکاری قوس با الکتروده توپودری	SFA-5.29
مشخصات لایه های مصرف شدنی	SFA-5.30
مشخصات فلاکس برای لحیم کاری سخت و لحیم کاری جوشکاری	SFA-5.31

شکل ۲۰ - تقسیم بندی Filler Metals

شماره کلاس و استاندارد AWS الکتروده (AWS No. (Class No.))

استانداردهای گوناگونی برای نام گذاری الکترودها وجود دارد. برای نامگذاری الکترودهای روکش دار کلاس **A 5.1** از فرمت **E xxxx** استفاده می شود. حرف **E** به معنای الکتروده است. دو عدد اول پس از **E** نشان دهنده استحکام کششی فلز جوش الکتروده بر حسب **ksi** می باشد (در الکترودهای استحکام بالا، سه عدد اول مانند **E 11013G**) مثلاً:

E 60xx, E 70xx, E 80xx, E90xx, E 110xx, E120xx

اولین عددی که پس از دو رقم استحکام می آید نشان دهنده وضعیت جوشکاری قابل اجرا با این نوع الکتروده است:

الف - **xx1x** : جوشکاری در چهار وضعیت (**OH,H,V,F**) امکان پذیر است.

ب- **E xx2x**: جوشکاری در وضعیتهای تخت وافقی (H,F) امکان پذیر است.
پ- **E xx3x**: جوشکاری فقط در وضعیت تخت (F) امکان پذیر است.
آخرین عددی که در نامگذاری الکتروود به روش AWS می آید بین 0 تا 8 متغیر است و نشان دهنده کلاس روپوش الکتروود، نوع جریان برق و سایر خصوصیات می باشد که در جدول ۶ به آنها اشاره شده است.
در مورد الکتروود یا سیم جوشهای کلاس **A 5.4** فولادهای زنگ نزن، نام استاندارد **ASTM** فولاد زنگ نزن که آنالیز مشابه با سیم جوش یا الکتروود دارد پس از حرف **E** آورده می شود. به عنوان مثال **E 316 L-16** یا **E 310** یا **E 304**
سیم جوشهای ویژه جوشکاری با فرایندهای **OFW** بجای حرف **E** با **G** آغاز می شوند مانند **G 316**
به منظور فراگیری نحوه نامگذاری سایر الکتروود ها می توان به استاندارد AWS مراجعه کرد.



شکل ۲۱ - روش نامگذاری الکتروودها

نوع جریان الکتریکی	پوشش الکتروود	رقم چهارم
جریان مستقیم با قطب معکوس (الف) - جریان متناوب یا مستقیم با قطب معکوس (ب)	پر سلولز ، سدیم (الف) - پر اکسید آهن (ب)	0
جریان متناوب یا مستقیم با قطب معکوس	پر سلولز ، پتاسیم	1
جریان متناوب یا مستقیم با قطب مستقیم	پر تیتان ، سدیم	2
جریان متناوب یا مستقیم	پر تیتان ، پتاسیم	3
جریان متناوب یا مستقیم	پودر آهن ، تیتان	4
جریان مستقیم با قطب معکوس	کم هیدروژن ، سدیم	5
جریان متناوب یا مستقیم با قطب معکوس	کم هیدروژن ، پتاسیم	6
جریان متناوب یا مستقیم	پر اکسید آهن ، پودر آهن	7
جریان متناوب یا مستقیم با قطب معکوس	کم هیدروژن ، پتاسیم ، پودر آهن	8
جریان متناوب یا مستقیم	اکسید آهن ، تیتان ، پتاسیم	9

جدول ۶- روکشها و جریانهای مناسب مربوط به رقم چهارم شناسایی الکتروودها

اندازه الکترود (Size of Electrode)

برای انجام با صرفه ترین جوش، انتخاب اندازه الکترود (قطر میله مغزی) به اندازه انتخاب نوع الکترود اهمیت دارد. در انتخاب موارد زیر مورد توجه قرار می گیرند: طرح اتصال، ضخامت لایه های جوش، حالت جوشکاری، حرارت قابل تحمل توسط قطعه و مهارت جوشکار. قاعده کلی آن است که هرگز نباید از الکترودی که اندازه آن بزرگتر از ضخامت قطعه کار است، استفاده کرد. الکترود کلفت برای جوشکاری در وضعیت عمودی یا قائم و بالاسری یا سقفی مناسب نیست، زیرا کنترل حوضچه جوش حجیم در این شرایط مشکل است. در مورد جوشکاری ورقهای ضخیم با لبه های آماده شده بصورت V یا K اولین پاس جوشکاری با الکترود نازک و پاس های بعدی با الکترود های کلفت تر انجام می شود. تعداد لایه ها یا پاسهایی که جوش احتیاج دارد بطور عمده بستگی دارد به طرح اتصال، اندازه الکترود، ضخامت فلز پایه، حالت جوشکاری و مهارت جوشکار. اندازه مناسب الکترود برای مصرف در جوشهای مختلف برای اتصالات و حالت های جوشکاری متفاوت ذیلاً بیان شده است:

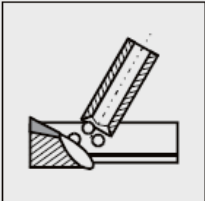
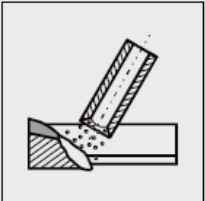
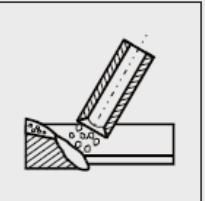
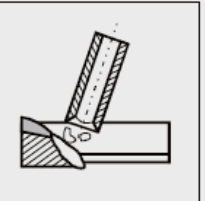
- ۱- برای جوش لوله با اتصالاتی که احتیاج به ذوب کافی در ریشه جوش دارد و امکان جوشکاری از پشت جوش نیست، حداکثر قطر الکترود برای پاس اول ۳/۲۵ میلی متر پیشنهاد می شود. برای جوشکاری پاس های بعدی از الکترود های به قطر ۴ یا ۵ میلی متر استفاده می شود. لازم به ذکر است، در لوله های با قطر کم پاس اول با الکترود ۲/۵ میلی متر جوشکاری شده و پاسهای بعدی را با الکترود های ۳/۲۵ یا ۴ میلی متر جوش می دهند.
- ۲- در جوشکاری اتصالات V شکل یا جناغی یک طرفه که دارای تسمه ای در پشت اتصال می باشند در حالت تخت می توان برای پاس اول از الکترود به قطر ۴ یا ۵ میلی متر و برای پاس های بعدی از الکترود های بزرگتر استفاده کرد.
- ۳- برای جوشهای گلوبی در حالت تخت و سر به سر غیر تخت، حداکثر قطر الکترود مصرفی ۵ میلی متر است. اغلب، پاس اول را با الکترود هایی به قطر ۳/۲۵ یا ۴ میلی متر جوش می دهند. در جوشهای گوشه ای با پای جوش کمتر از ۱۰ میلی متر استفاده از الکترود ۳/۲۵ یا ۴ میلی متر پیشنهاد می گردد.

محدوده ضخامت فلز جوش (Deposited Weld Metal Thickness Range)

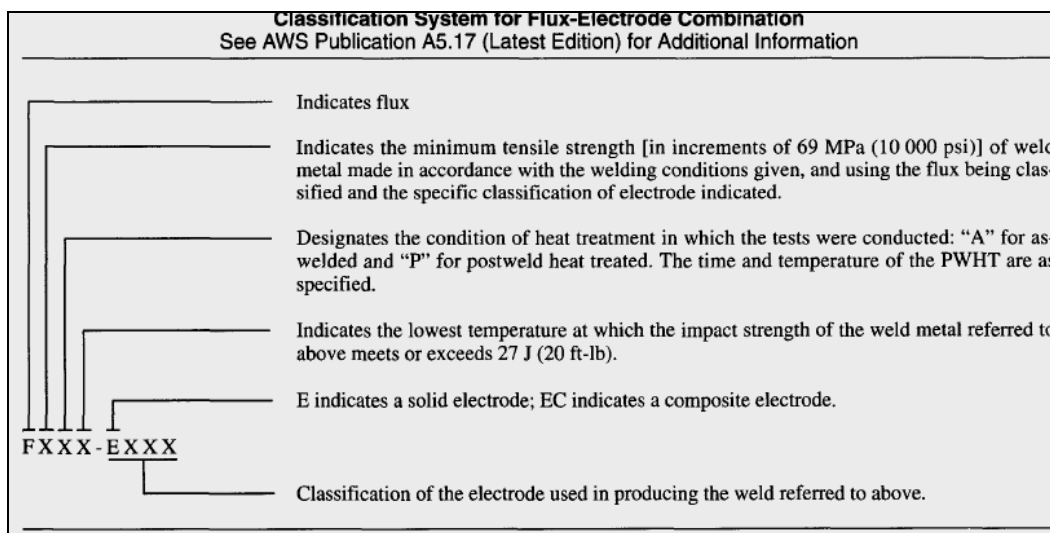
در این قسمت از WPS محدوده ضخامت فلز جوش رسوب داده شده درج می شود که تغییر در مقدار آن بر اساس بند QW-451 تعریف می شود.

کلاس فلاکس (پودر جوش) (Electrode- Flux (Cals))

هر گونه مشخصات و استانداردهای مربوط به فلاکس های جوشکاری زیر پودری مطابق با SFA-5.17 برای الکترود و فلاکس های فولاد ساده کربنی و SFA-5.23 برای الکترود و فلاکس های فولاد کم آلیاژ در این قسمت درج می گردد. در ضمن در صورت لزوم می توان هر گونه مشخصات یا شماره استاندارد روکش الکترود را در این قسمت ذکر کرد. اصولاً الکترودهای روکش دار از نظر نوع روکش به ۴ گروه اصلی تقسیم می شوند که در شکل ۲۲ اطلاعات کاملی در مورد آنها آمده است. در شکل ۲۳ نیز می توانید نحوه نامگذاری روکش الکترود را ببینید.

Standard analysis of the important cover types (values in %)			
cellulosic-type	acid-type	rutile-type	basic-type
			
cellulose 40 % rutile TiO_2 20 % quartz SiO_2 25 % FeMn 15 % waterglass	magnetite Fe_3O_4 50 % quartz SiO_2 20 % lime stone CaCO_3 10 % FeMn 20 % waterglass	rutile TiO_2 45 % magnetite Fe_3O_4 10 % quartz SiO_2 20 % lime stone CaCO_3 10 % FeMn 15 % waterglass	flour spar CaF_2 40 % lime stone CaCO_3 20 % quartz SiO_2 25 % FeMn 15 % waterglass
no slag	solidification interval of the slag: large	solidification interval of the slag: middle	solidification interval of the slag: large
drop transfer: medium size drops	drop transfer: fine size drops up to spray typed	drop transfer: medium size drops up to fine size drops	drop transfer: medium size drops up to large size drops
toughness values: good	toughness values: normal	toughness values: good	toughness values: very good

شکل ۲۲ - ۴ گروه اصلی روکش الکتروود



شکل ۲۳ - نحوه نامگذاری روکش الکتروود

لایبی مصرف شدنی (Consumable insert)

گاهی به منظور حفظ مشخصات طرح اتصال و نیز اطمینان از جوش نفوذی در پاس ریشه، از لایبی های مصرف شدنی استفاده می شود. مشخصات این لایبی های مصرف شدنی در ASME Sec.II, Part C, SFA 5.30 ذکر شده است. در مواردی که آنالیز و مشخصات لایبی بر اساس SFA 5.30 است، F.No نیز باید بر اساس QW-432 با سیم جوش مصرفی، هماهنگ باشد.

موارد دیگر (Other)

نام تجاری، کد سازنده و یا دیگر مشخصات فلز پرکننده و لایبی مصرف شدنی در این قسمت ذکر می گردد.

وضعیت جوشکاری (Positions)

اصولاً جوشکاری در چهار وضعیت کلی قابل انجام است:

(۱) تخت Flat

(۲) افقی Horizontal

(۳) عمودی Vertical

(۴) بالا سری Overhead

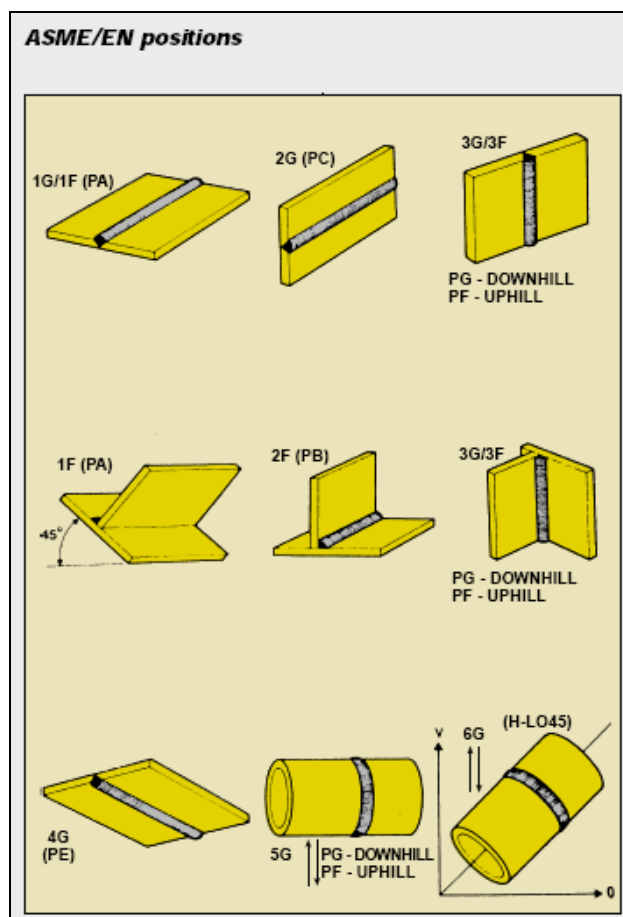
استاندارد مربوط به وضعیت جوشکاری QW-405 می باشد. در استاندارد ASME Sec. IX در بند QW-461 وضعیت های مختلف جوشکاری ذکر شده است. موارد پیشنهادی برای ارائه در این قسمت عبارتند از: وضعیت شیار یا گوشه ای و جهت پیشروی

وضعیت شیار یا گوشه ای (Position(s) of Groove / Position(s) of Fillet)

برای وضعیت جوشکاری حروف اختصاری پیشنهاد شده، در جدول ۷ و شکل ۲۴ دیده می شوند. (در این ها مقایسه بین حروف اختصاری در استانداردهای آمریکایی، اروپایی و بین المللی نیز داده شده است) وضعیت جوشکاری بستگی به: نوع فرآیند جوشکاری، قابلیت دسترسی خطوط جوش، ابعاد و اندازه قطعه کار، نحوه ساخت و امکانات موجود دارد.

Welding Positions For Groove welds:-		
Welding Position	Test Position	ISO and EN
Flat	1G	PA
Horizontal	2G	PC
Vertical Upwards Progression	3G	PF
Vertical Downwards Progression	3G	PG
Overhead	4G	PE
Pipe Fixed Horizontal	5G	PF
Pipe Fixed @ 45 degrees Upwards	6G	HL045
Pipe Fixed @ 45 degrees Downwards	6G	JL045
Welding Positions For Fillet welds:-		
Welding Position	Test Position	ISO and EN
Flat (Weld flat joint at 45 degrees)	1F	PA
Horizontal	2F	PB
Horizontal Rotated	2FR	PB
Vertical Upwards Progression	3F	PF
Vertical Downwards Progression	3F	PG
Overhead	4F	PD
Pipe Fixed Horizontal	5F	PF

جدول ۷- حروف اختصاری پیشنهاد شده برای وضعیت جوشکاری



شکل ۲۴ - برخی از وضعیت های جوشکاری

جهت پیشروی (Welding Progression)

در این قسمت جهت پیشروی جوشکاری ذکر می گردد که عمدتاً برای جوشهای عمودی جهت پیشروی از پائین به بالا (Upward) می باشد.

پیش گرم کردن (Preheat)

معمولاً برای جلوگیری از ترکیدگی، پیچیدگی و اعوجاج، پیدایش فازهای ناخواسته و ... قبل از جوشکاری، قطعه کار پیش گرم می شود. همچنین در حین عملیات جوشکاری، کنترل دمای بین پاسها برای جلوگیری از کاهش دمای قطعه کار به کمتر از دمای پیش گرم و بالا رفتن از حد مجاز - دمای بازگشت نهایی (Tempering) - لازم است. کنترل این عمل توسط گچ های حرارتی صورت می پذیرد.

بنا به تغییر رنگ و یا ذوب شدن گچ های حرارتی در درجه حرارتی خاص، دمای قطعه کار قابل کنترل است. حداقل دمای پیش گرم و دمای بین پاسی با توجه به ضخامت ورق مربوطه تعیین می شود. در صورتی که درجه حرارت محیط کمتر از 18°C باشد انجام عملیات جوشکاری صحیح نیست. دمای پیش گرم کردن باید حداقل به فاصله ۷۶ میلی متر (۳ اینچ) در اطراف محل جوش ثابت باشد. بند مرتبط با پیش گرم کردن QW-406 است.

موارد پیشنهادی برای ارائه در این قسمت عبارتند از: حداقل دمای پیش گرم کردن، حداکثر دمای بین پاسی، نگهداری پیشگرم

حداقل دمای پیش گرم کردن (Preheat Temp.(min))

همانطور که قبلاً ذکر شد، درجه حرارت پیش گرم کردن با توجه به جنس قطعه و ضخامت آن تعیین می شود. لازم به ذکر است در صورت تفاوت مقدار پیش گرم لازم برای دو فلز پایه ، حداقل دمای پیش گرم برای جوشکاری، بالاترین دمای پیش گرم بین دو قطعه است. البته در استاندارد های:

ASME B31.1 ، ASME B31.3 table 330.1.1، AWS D1.1 table 3.2، ASME Sec. VIII Div.1

دمای پیش گرم کردن برای فلزات مختلف با توجه به ضخامت پیشنهاد شده است. برخی مراجع معتبر نظیر انستیتو بین المللی جوشکاری (IIW) نیز با استفاده از فرمول کربن معادل (CE) جدولی ارائه داده اند که نمونه ای از آنها در جدول ۸ آمده است. در این جدول کربن معادل با K نمایش داده شده است (در جدول ۸ مبنای کار استفاده از فرمول زیر است: (این فرمول در QW-403.26 نیز پذیرفته شده است)

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Table 1: Pre-heating temperature									
K	Diameter of the electrode	Plate thickness in mm							
		Butt weld				Fillet weld			
		6	12	25	50	6	12	25	50
0,35	3,25	0	0	0	0	0	0	0	100
	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0,40	3,25	0	0	0	150	0	0	100	200
	4	0	0	0	0	0	0	0	150
	5	0	0	0	0	0	0	0	100
	6	0	0	0	0	0	0	0	100
0,45	3,25	0	0	150	250	0	100	250	300
	4	0	0	100	200	0	0	200	250
	5	0	0	0	150	0	0	100	200
	6	0	0	0	100	0	0	0	150
0,50	3,25	0	0	250	350	0	150	350	(450)
	4	0	0	150	300	0	100	250	400
	5	0	0	100	200	0	0	200	350
	6	0	0	0	150	0	0	150	300
0,55	3,25	0	150	400	(550)	100	300	(550)	—
	4	0	0	300	(450)	0	200	(450)	—
	5	0	0	150	350	0	100	350	(600)
	6	0	0	150	300	0	0	300	(600)
0,60	3,25	150	400	—	—	350	—	—	—
	4	100	250	—	—	250	(600)	—	—
	5	0	100	(500)	(800)	150	300	(800)	—
	6	0	0	350	(500)	0	150	(500)	—
0,65	3,25	300	—	—	—	—	—	—	—
	4	200	350	—	—	—	—	—	—
	5	0	150	(800)	—	200	(600)	—	—
	6	0	0	(500)	—	100	300	—	—
0,70	3,25	400	—	—	—	—	—	—	—
	4	300	500	—	—	—	—	—	—
	5	200	400	—	—	400	(600)	—	—
	6	0	200	(600)	—	200	400	—	—
0,75	3,25	600	—	—	—	—	—	—	—
	4	500	—	—	—	—	—	—	—
	5	400	500	—	—	(600)	—	—	—
	6	200	400	—	—	(450)	(600)	—	—

جدول ۸- روش IIW برای محاسبه دمای پیش گرم کردن

برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد فرمولهای مختلف CE و ارائه دهندگان آن به بند 6.1.3 استاندارد API 5L مراجعه فرمائید.

حداکثر دمای بین پاسی (Interpass Temp.(max))

حداقل دمای بین پاسی از مراجع مختلف همانند AWS D1.1 table 3.2 تعیین می شود. حداکثر دمای بین پاسی نیز حداکثر دمای بازگشت نهایی (Tempering) فلز پایه می باشد. به عنوان مثال حداکثر دمای بین پاسی برای فلزات موجود در P No. 1 حدود 300 °C پیشنهاد می شود.

نگهداری پیش گرم (Preheat Maintenance)

محدوده حرارتی که این WPS در اثر تغییرات پیش گرم در آن صدق می کند در این قسمت عنوان می شود.

عملیات حرارتی پس از جوشکاری (پس گرمایی) (Post Weld Heat Treatment)

این مطلب بوسیله QW-407 تشریح می شود. در این بند عملیات حرارتی پس از جوشکاری موادی که P.No آنها عبارت از 1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 می باشد از قرار زیر تقسیم بندی شده است:

الف- بدون PWHT

ب- PWHT زیر درجه حرارت بحرانی پائینی

پ- PWHT بالای درجه حرارت بحرانی بالائی (مانند نرماله کردن)

ت- PWHT بالای درجه حرارت بحرانی بالائی به همراه عملیات حرارتی ثانویه زیر درجه حرارت بحرانی پائینی (مانند کوئنچ - تمپر)

ث- PWHT بدون ذکر محدوده درجه حرارتی مشخص.

در WPS قسمتهایی به عملیات حرارتی پس از جوشکاری مربوط می شود. معمولاً این قسمتها به روش زیر تکمیل می شوند.

دامنه درجه حرارت (Temperature Range)

همانطور که ذکر شد هریک از حالات (الف - ث) محدوده حرارتی ویژه ای را شامل می شوند. اما از آنجائیکه رایج ترین حالت عملیات حرارتی تنش زدائی پس از جوشکاری حالت ب است معمولاً درجه حرارت مربوط به تنش زدائی جوش به شرح ذیل در این قسمت ذکر می شود:

الف- در مورد فولادهای کوئنچ تمپر حداکثر 590°C (1100°F)

ب- برای سایر فولادها در محدوده 650°C ($1100-1200^{\circ}\text{F}$)

پ- درجه حرارت کوره به هنگام قرار دادن نمونه در آن نباید از 315°C (600°F) تجاوز نماید.

ت- بالای 315°C آهنگ گرم کردن نباید از 220°C/hr تجاوز نماید. آهنگ گرم کردن با استفاده از فرمول $220/t$ که در آن t ضخیمترین

بخش قطعه بر حسب اینچ است محاسبه می شود.

ث- در حین گرم کردن اختلاف دمای دو قسمت از قطعه به فاصله 4.6m نباید از 140°C تجاوز نماید.

ج- در حین نگهداری در درجه حرارت تنش زدائی اختلاف دمای هیچ دو نقطه ای از قطعه نباید از 83°C تجاوز نماید.

چ- در سرد کردن قطعه آهنگ سرمایش نباید از 260°C/hr تجاوز نماید. این آهنگ با فرمول $260/t$ که در آن t ضخیمترین بخش قطعه بر

حسب اینچ است محاسبه می شود.

۲- برای تنش زدائی لوله ها، مخزن ها و اشکال دوار با استفاده از رابطه $D+1270/120$ که در آن D قطر لوله بر حسب میلیمتر است ضخامت معادل مقطع محاسبه شده و پس از مقایسه بیشترین ضخامت مقطع حقیقی قطعه با مقدار فوق الذکر، زمان نگهداری و آهنگ گرمایش و سرمایش بدست می آید. لازم به ذکر است که می توان از منابع زیر نیز برای عملیات حرارتی پس از جوشکاری بهره برد:

AWS D1.1 item 5.8 , ASME B31.3 table 331.1.1

زمان نگهداری (Time Range)

زمان نگهداری برای تنش زدایی بسته به ضخامت قطعه تغییر می کند. معمولاً زمان نگهداری فولاد های کوئنچ - تمپر با توجه به کمتر بودن درجه حرارت، بیش از دیگر فولادهاست. می توان از منابع ذکر شده در بخش پیشین برای راهنمایی بیشتر استفاده کرد.

مسائل دیگر (Other)

در این قسمت می توان به نکاتی چون آهنگ گرم کردن، نوع کوره، عملیات حرارتی مطلوب، نیاز به عملیات حرارتی ثانویه یا مشخصات عملیات حرارتی دو مرحله ای و حتی در برخی WPS ها گراف عملیات مورد نیاز را ذکر کرد و یا در صورت وجود ضمیمه های عملیات حرارتی برای این WPS شماره آن را درج کرد.

گاز (Gas)

یکی از وظایف مهم گاز محافظ، حفاظت حوضچه مذاب از آلودگی ناشی از اتمسفر می باشد. مشخصات گاز محافظ در این قسمت از WPS بر اساس بند QW-408 عنوان می شود. موارد پیشنهادی برای ارائه در این قسمت عبارتند از :

۱) نوع گاز محافظ - کمکی - پستی ۲) درصد ترکیب گاز محافظ - کمکی - پستی ۳) آهنگ جریان گاز محافظ - کمکی - پستی

نوع گاز محافظ (Shielding Gas(es))

گازهای Ar ، CO_2 ، He ، N_2 یا مخلوطی از این گازها برای حفاظت استفاده می شوند. هر یک از این گازها به تنهایی یا بصورت مخلوط با دیگر گازها مصرف می شوند. انتخاب بهترین گاز محافظ بستگی به نفوذ و ذوب مورد در خواست، شکل جوش، نوع فلز پایه، شرایط انتقال فلز و سرعت جوشکاری دارد. ممکن است در فرآیندهای جوشکاری با الکترو توبودری یا حتی الکترو روپوش دار نیز از گازی خنثی استفاده شود. (مانند دمیدن گاز در پشت شیار جوش) در چنین مواردی نیز قید نام گاز مورد نظر در این قسمت لازم است. در فرآیندهای جوشکاری با سوخت گازی (OFW) در این قسمت سوخت مورد مصرف قید می شود، به عنوان مثال: اکسیژن، اکسی استیلن، بوتان یا مخلوط اکسیژن و اکسی استیلن. در جدول ۹ توضیحاتی در مورد انواع این گازها مشاهده می کنید.

Gas Type	Process	Used for	Characteristic
Pure Argon	MIG	Spray or Pulse Welding of Steels and Aluminium alloys	Very stable arc with poor penetration and low spatter levels.
Pure CO_2	MAG	Dip Transfer Welding of Steels	Good penetration Unstable arc and high levels of spatter.
Argon + 5 - 20% CO_2	MAG	Dip Spray or Pulse Welding of Steels	Good penetration with a stable arc and low levels of spatter.
Argon + 1-2% O_2	MAG	Spray or Pulse Welding of Austenitic or Ferritic Stainless Steels Only	Active additive gives good fluidity to the molten stainless, and improves toe blend.

جدول ۹- برخی از انواع گاز محافظ

درصد ترکیب مخلوط گاز (Percent Composition (Mixture))

ترکیب گاز بر روی شکل، نفوذ و پهنای جوش تاثیر می گذارد. ذکر درصد خلوص و در صورت استفاده از مخلوطهای گازی درصد ترکیب تشکیل دهنده در این قسمت از فرم مربوطه انجام می شود. مثلا: $CO_2-99\%$ یا $Ar-80\% + CO_2-20\%$. در WPS فرآیندهای OFW می توان درصد ترکیب گاز مورد نظر جهت سوختن را در این قسمت ذکر کرد. به عنوان مثال در جوشکاری اکسی استیلن برای فراهم کردن شعله اکسیدی، خنثی یا احیائی درصد هریک از گازها متغیر بوده و در اینجا ذکر می شود. (تذکر این نکته بد نیست که برخی استانداردها درصد خلوص گازها را نیز مشخص کرده اند که نمونه ای از آنها را در جدول ۱۰ می بینید)

Purity of gases and gas mixtures according to EN 439	
Group	Min. Purity % by Volume
R	99.95
I	99.99
M1	99.70
M2	99.70
M3	99.70
C	99.70
F	99.50

جدول ۱۰- درصد خلوص گازها بر اساس استاندارد اروپایی

آهنگ جریان گاز (Flow Rate)

آهنگ جریان گاز بر حسب لیتر در واحد زمان سنجیده می شود و باید به نحوی تنظیم گردد که علاوه بر محافظت کامل حوضچه مذاب، باعث اختلاط شدید مذاب و خروج از حوضچه نشود. آهنگ جریان گاز به قطر نازل و شکل جوش بستگی دارد. در حالت کلی این مقدار در حدود مقادیر کلی 5-15 lit/ min است. جدول ۱۱ آهنگ جریان گاز تقریبی برای برخی فلزات را نشان می دهد.

METAL		GAS FLOW CU. FT./HR. (CFH)		
KIND	THICKNESS	ARGON	HELIUM	*CO ₂
Steel	.035-3/32	8-10	20-30	8-10
Cast Iron	1/4	16	40	---
Stainless Steel	1/16-1/8	11	30	---
Stainless Steel	3/16-1/4	13	32	---
Copper	1/16-1/4	15	38	---
Magnesium	1/16-1/8	10	25	---

* Pure CO₂ is currently used exclusively on steel.

جدول ۱۱- آهنگ جریان گاز برای برخی فلزات

مشخصات الکتریکی (Electrical Characteristics)

تغییر در نوع و قطبیت جریان الکتریکی ، افزایش در گرمای ورودی و یا افزایش حجم و میزان فلز جوش رسوب داده شده در واحد طول ، باعث تغییر در کیفیت جوش می شود. همچنین میزان فلز جوش با افزایش اندازه گرده جوش و یا کاهش طول خط جوش به ازای هر الکتروود ، متناسب است. مشخصات الکتریکی بر اساس بند QW-409 می باشد. میزان گرمای وارده از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{Amps} \times \text{Volts} \times 60}{\text{Travel Speed (in/min)}}$$

موارد پیشنهادی برای ارائه در این قسمت عبارتند از :
نوع جریان، قطبیت، آمپر، ولتاژ، اندازه و نوع الکتروود و تنگستن، نوع انتقال فلز مذاب، سرعت تغذیه سیم جوش

نوع جریان (Current AC or DC)

برخی الکتروودها با جریان DC و برخی با جریان AC نتیجه بهتری بدست می دهند . در صورت استفاده از جریان DC ذکر قطبیت نیز لازم است. برای انتخاب جریان می توان به توصیه سازندگان الکتروود مراجعه کرد. باید توجه داشت که شروع قوس با AC مشکلتر است.

قطبیت (Polarity)

در صورت انتخاب جریان DC باید قطبیت را نیز مشخص کرد. قطبیت می تواند مستقیم یا معکوس باشد. در قطبیت مستقیم، الکتروود به قطب منفی و قطعه کار به قطب مثبت وصل می شود. در این حالت به علت تمرکز حرارتی کمتر روی الکتروود میزان کمتری از الکتروود ذوب شده و نفوذ نیز کمتر می شود در قطبیت معکوس، الکتروود به قطب مثبت و قطعه کار به قطب منفی وصل می شود و این باعث تمرکز حرارت روی الکتروود، ذوب و نفوذ بیشتر می گردد علائم اختصاری زیر قطبیت را نشان می دهند.
الف) اتصال الکتروود به قطب مثبت در جریان DC :

DCEP: Direct Current Electrode Positive

DCRP: Direct Current Reverse Polarity

ب) اتصال الکتروود به قطب منفی در جریان DC :

DCEN: Direct Current Electrode Negative

DCSP: Direct Current Straight Polarity

شدت جریان (Range) (Amps)

بسته به نوع فرآیند، قطر الکتروود، سرعت حرکت، میزان نفوذ و شدت جریان تعیین می شود. می توان گفت بصورت سرانگشتی در فرآیند SMAW به ازای هر ۱ میلیمتر از قطر الکتروود حدود ۳۰-۴۵ آمپر جریان مورد نیاز است. (جدول ۱۲ و ۱۳ به عنوان راهنما ارائه شده اند)

GTAW			
Tungsten Size (mm)	Current(A)	Volts(v)	Travel Speed (Cm/min.)
1	50-80	7-13	5-10
1.6	60-140	7-13	5-10
2.4	80-160	7-13	5-10
3.2	150-300	7-13	5-10
4.0	250-500	7-13	5-10

جدول ۱۲- شدت جریان الکتریکی مورد استفاده

SMAW					
Position	Diameter	Polarity	Current(A)	Volts(v)	Travel Speed (Cm/min.)
Flat & Horizontal	2.5	AC or DCRP	80-120	16-20	10-20
	3.2		110-150	18-22	10-20
	4.0		150-200	19-25	10-20
	5.0		200-250	19-25	10-20
Vertical & Overhead	2.5	AC or DCRP	80-100	16-20	8-13
	3.2		80-120	18-22	8-13
	4.0		100-160	19-25	8-13
	5.0		160-220	19-25	8-13

جدول ۱۳- شدت جریان الکتریکی مورد استفاده

ولتاژ (Volts (Range))

ولتاژ دستگاه معمولاً بصورت مدار باز اندازه گیری می شود. دستگاه های جوشکاری دستی در اقسام مختلف 20-24 ولت و 50-60 ولت موجود می باشند دستگاه های جوشکاری زیر پودری نیز در همین ولتاژ کار می کنند (30-40 ولت). در حین جوشکاری با کوتاه و بلند شدن قوس، ولتاژ تغییر می کند. در جدول ۱۴ مشخصات الکتریکی و فنی منبع تغذیه های مختلف مورد استفاده در جوشکاری را ملاحظه می کنید.

characteristics	transformer	welding converter	welding rectifier with	
			transductor	inverter
electric parameter				
main connection	one-phased /AC	three-phase current	three-phase current	three-phase current
network load	unbalanced	symmetrical	symmetrical	symmetrical
influence from mains fluctuations	proportional	not critical	proportional	compensation in the areas $\pm 10\%$ usual
efficiency η	80...90%	50...60%	70...75%	70 - 80 %
efficiency factor $\cos \varphi$	0,4 - 0,8	0,8 - 0,9	0,6 - 0,7	0,96 - 0,99
welding-engineering				
ignition characteristics	satisfying	good to excellent	satisfying to good	good to excellent
welding characteristics	satisfying	good to excellent	satisfying to good	good to excellent
blowing effect	no	strong	strong	strong
remote adjustment	no	possible	possible	possible
other				
maintenance costs	low	higher	low	higher
weight	normal	very high	normal	low
noise creation	low	disturbing	little disturbance	little disturbance

جدول ۱۴- مشخصات الکتریکی و فنی منبع تغذیه های مختلف مورد استفاده

اندازه و نوع الکترود تنگستن (Tungsten Electrode Size and Type)

در فرآیند GTAW، الکترود تنگستن مصرف نشدنی است. این الکترود با توجه به نقطه ذوب بالا، در حین جوشکاری ذوب نمی شود. الکترودهای تنگستن به سه گروه تقسیم می شوند :

تنگستن خالص، تنگستن - زیرکونیوم، تنگستن - توریم. متداولترین الکترود مصرفی برای فولادها، الکترود تنگستن - توریم است که در آن ۰.۸ تا ۲.۲ درصد توریم به تنگستن اضافه شده است. توریم باعث برقرار شدن آسان تر قوس می شود. قطر الکترود تنگستن بر اساس شرایط کاری تعیین می شود

(در این مورد می توانید به استانداردهای AWS A 5.12 یا EN 26848 مراجعه کنید). جدول ۱۵ برخی مشخصات این نوع الکترودها را نشان می دهد.

AWS CLASSIFICATION	COLOR ^(A)	ALLOYING ELEMENT	ALLOYING OXIDE	ALLOYING OXIDE, WT%
EWP	GREEN	...	...
EWCE-2	ORANGE	CERIUM	CEO ₂	2
EWLA-1	BLACK	LANTHANUM	LA ₂ O ₃	1
EWTH-1	YELLOW	THORIUM	THO ₂	1
EWTH-2	RED	THORIUM	THO ₂	2
EWZR-1	BROWN	ZIRCONIUM	ZRO ₂	0.25
EWG	GRAY	NOT SPECIFIED ^(B)	...	...

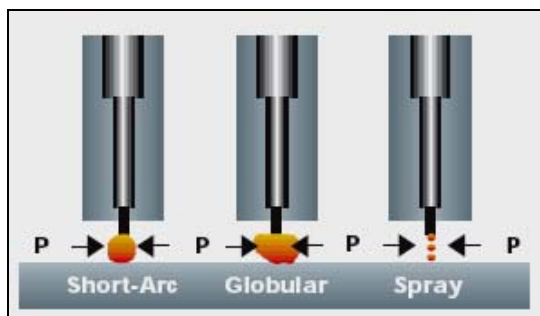
جدول ۱۵- مشخصات الکترودهای تنگستنی

نوع انتقال فلز مذاب برای GMAW (Mode of Metal Transfer for GMAW)

در جوشکاری GMAW، شدت جریان و ترکیب گاز محافظ بر روی روش انتقال فلز مذاب تاثیر می گذارد. روشهای انتقال فلز مذاب عبارتند از:

اتصال کوتاه (Short Circuiting)، افشانکی (Spray)، قطره ای (Globular) و ...

لازم به ذکر است در انتقال فلز به روش افشانکی، حرارت بیشتری به فلز انتقال یافته و نفوذ بیشتر می شود ولی در روش اتصال کوتاه حرارت کمتری به فلز پایه اعمال شده و لذا فلزات نازکتر را در همه وضعیت ها با این روش انتقال می توان جوش داد. با استفاده از آرگن و یا گاز مخلوطی که درصد بیشتری آرگن دارد و شدت جریان بالاتر، انتقال فلز بصورت افشانکی خواهد بود با کاهش شدت جریان در همین شرایط انتقال بصورت قطره ای خواهد بود. در پائین ترین حد محدوده شدت جریان و قطر الکترود، حالت اتصال کوتاه حاکم است. کمترین شدت جریانی که در آن انتقال افشانکی رخ می دهد را شدت جریان انتقالی می نامن. در زیر این شدت جریان تعداد قطرات در واحد زمان کم و اندازه قطرات بزرگ است. در بالاتر از این حد قطرات بسیار کوچک و تعداد قطرات در واحد زمان زیاد است. شکل ۲۵ انواع اینها را نشان می دهد.



شکل ۲۵ - روشهای مختلف انتقال فلز مذاب

سرعت تغذیه سیم جوش (Electrode Wire Feed Speed Range)

در این قسمت سرعت تغذیه سیم جوش به حوضچه مذاب تعیین می شود.

تکنیک و روش کار (Technique)

نکات تکنیکی روش جوشکاری بر اساس QW-410 می باشند. موارد پیشنهادی برای ارائه در این بخش عبارتند از:

۱. گرده (مهره) جوش نواری یا موجی (بافته ای)

۲. اندازه کلاhek یا نازل عبور گاز

۳. تمیز کاری اولیه و بین پاسی

۴. روش برداشتن پشت جوش

۵. نوسان

۶. محدوده فاصله تماس لوله با کار

۷. جوش تک پاسه یا چند پاسه در هر طرف

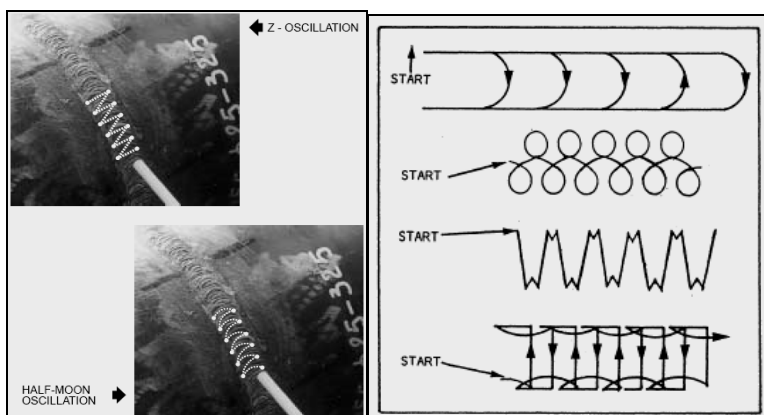
۸. الکترود های تکی یا چند تایی

۹. سرعت جوشکاری

۱۰. چکش کاری

مهیره جوش نواری یا بافته ای (String or Weave Bead)

در این قسمت شکل گرده (مهیره) مورد نظر ذکر می شود. در مواردی که گرده های نازک کافی باشد و یا کمترین حرارت وارده به قطعه لازم است، از گرده های نواری استفاده می شود زیرا سرعت حرکت دست در این تکنیک بیشتر است. گرده های بافته ای به اشکال گردشی، هلالی، 8 اجرا می شود. (شکل ۲۶ را ببینید)



شکل ۲۶ - اشکال مختلف شکل گرده جوش

سایز کلاهک یا نازل عبور گاز (Orifice or Gas Cup Size)

در فرآیند های جوشکاری با گاز محافظ ، اشاره به مورد فوق ضروری است .

تمیز کاری اولیه و بین پاسی (برس زدن ، سنگ زدن و)(Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding,...))

تمیز کردن سطح قبل از انجام جوشکاری سطح قبل از انجام جوشکاری مانند زدودن زنگارها (اکسیدها)، چربی و کثیفی قطعه، باعث افزایش کیفیت جوش می شود. همچنین در حین عملیات جوشکاری چند پاسه و در اتمام کار، تمیز کردن سطح اعم از پاک کردن سرباره و ... باعث کاهش و حذف عیوب جوش نظیر سرباره حبس شده در مذاب خواهد شد.

روش برداشتن پشت جوش (Method of Back Gouging)

در صورت نیاز به جوشکاری از پشت جوش، لازمست تا ابتدا اولین پاس جوش، از پشت اتصال توسط یکی از روشهای زیر برداشته شود :

الف) قوس حاصل از الکتروود کربنی Electric Arc gouging

ب) برداشتن بوسیله شعله اکسی استیلن Oxyfuel gouging

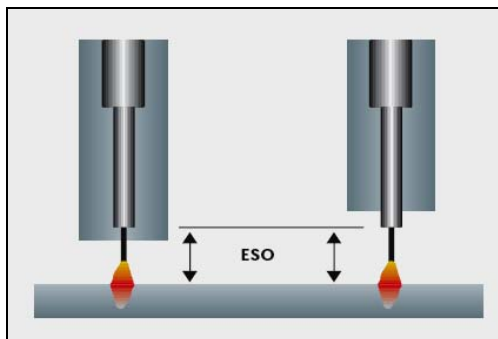
پ) سنگ زدن یا براده برداری Grinding and Chipping

نوسان (Oscillation)

پارامترهای موثر بر حرکت نوسانی الکتروود در فرآیندهای خودکار در این قسمت عنوان می گردند. عرض حرکت نوسانی، تواتر یا فرکانس حرکت و ... مسائل قابل طرح می باشند.

محدوده فاصله تماس لوله با کار (Contact Tube to Work Distance)

تنها برای فرآیندهای GMAW و SAW قابل ذکر بوده و عبارتست از فاصله بین نازل نگهدارنده الکترود با قطعه کار. در برخی مراجع آنرا با ESO نمایش می دهند که کوتاه شده عبارت Electrical Stick-Out است. برخی مراجع نیز آنرا با TWD یاد می کنند که از عبارت فاصله نارل تا قطعه کار Tip to Work Distance گرفته شده است. (به شکل ۲۷ رجوع کنید)



شکل ۲۷- محدوده فاصله تماس لوله با کار

جوش تک پاسه یا چند پاسه در هر طرف (Multiple or Single Pass(per side))

در صورتیکه هر طرف از طرح پخ نیاز به یک یا چند پاس جوش داشته باشد در این قسمت درج می شود.

الکترودهای چند تایی یا تکی (Multiple or Single Electrode)

در فرآیندهایی نظیر SAW استفاده از چند الکترود نازک به صرفه تر و باعث افزایش آهنگ رسوب نسبت به یک الکترود ضخیم می شود. در برخی موارد از الکترودهای صفحه ای نیز برای پوشش دادن سطوح بزرگ استفاده شده است.

دامنه سرعت حرکت (Travel Speed(range))

این پارامتر بویژه در جوشکاری خودکار اهمیت دارد.

کوبیدن یا چکش زنی (Peening)

کوبیدن یا چکش زنی می تواند برای حذف تنشهای باقیمانده در جوش به کار رود اما برخی استانداردها و دستورالعملهای فنی اجازه این کار را برای پاس ریشه و پاس آخر به دلیل امکان ایجاد عیوب نمی دهند.

نکات لازم در نوشتن WPS

آنچه تا کنون ارائه شد، تشریح و نحوه تنظیم یک WPS در حالت کلی بود. بر اساس استاندارد ASME در هر فرایند، متغیرهای موجود به سه دسته تقسیم می شوند:

a. متغیر های اساسی

b. متغیر های تکمیلی

c. متغیر های غیر اساسی

متغیر های اساسی (*Essential Variables*) : متغیر هایی هستند که تغییر در آنها باعث نوشتن یک WPS یا PQR جدید می شود .
متغیر های تکمیلی (*Supplementary Essential Variables*) : این متغیر ها در صورتی باعث نوشتن یک WPS یا PQR جدید می شوند که در مشخصات فنی اشاره ای به آزمون ضربه جهت تعیین کیفیت شده باشد .

متغیر های غیر ضروری (*Nonessential Variables*) : متغیر هایی که تغییر آنها باعث نوشتن یک WPS یا PQR جدید نمی شود .
بر اساس کد ASME Sec.IX متغیرهای مختلف هر فرایند در بندهای QW-252 تا QW-262 ذکر شده اند.
در ابتدا چنین به نظر می رسد که برای هر شکل اتصال باید یک WPS مجزا نوشت اما با استفاده از متغیر های اساسی می توان چندین طرح اتصال را در یک WPS گنجانده. لذا می توان گفت استفاده از متغیر ها ی اساسی و تکمیلی باعث کاهش تعداد PQR و WPS های لازم و مورد استفاده برای یک پروژه می گردد.

دستورالعمل جوشکاری استاندارد (Standard WPSs)

استانداردهای مختلفی برای کنترل کیفی و چگونگی اجرای عملیات جوشکاری وجود دارد. اما تقریباً تمامی کدها و استانداردهای موجود اجرای عملیات جوشکاری را بر اساس یک دستورالعمل جوشکاری (WPS) تایید شده الزام کرده اند. هر اتصال باید دارای یک WPS و هر یک یا چند WPS باید بر اساس الزامات کد مربوطه دارای یک PQR باشند. از طرفی تدوین یک PQR دارای مراحل مختلفی است که کاری زمان بر و پرهزینه می باشد. از توضیحات ارائه شده چنین استنباط می شود که تدوین مستندات جوشکاری کاری دشوار است که در بسیاری موارد چنین نیز هست!!
به همین منظور برخی موسسات استاندارد اقدام به ارائه راهکارهایی جهت کاستن از این مشکلات نموده اند. از جمله این راهکارها تدوین دستورالعملهای جوشکاری از قبل تایید شده (PreQualified WPSs) در برخی کدها مانند AWS D1.1 است که مصارف مشخص و محدود به کاربرد کد مربوطه را دارند. راهکار دیگری که مصرف گسترده تری دارد انتشار WPS های استاندارد می باشد. بدین ترتیب که سازمان AWS بر اساس میزان کاربرد، کدهایی را تدوین نموده که شامل اطلاعات و پارامترهای دستورالعمل جوش برای موارد پرکاربرد میباشد. این کدها بر اساس نوع ماده، فرایند جوشکاری، ضخامت قطعه و الکتروود مصرفی دسته بندی شده اند. برای هر یک از WPS های استاندارد نیز PQR لازم وجود داشته و شماره آن در کد مربوطه آمده است. بنابراین در صورتیکه پارامترهای WPS تدوین شده توسط سازنده در محدوده تعیین شده توسط یکی از این کدها باشد تحت شرایطی دیگر نیازی به تهیه PQR مجزا نمی باشد. (AWS D1.1 Section 3 را ببینید)

خوشبختانه کد ASME نیز استفاده از دستورالعملهای استاندارد AWS را تحت شرایطی که در ASME IX Article V آورده است؛ مجاز می داند. (از سال ۲۰۰۰ میلادی) این شرایط اگرچه سخت گیرانه تر از شرایط AWS است اما به هر حال کار را از حالت عادی بسیار ساده تر کرده و نیاز به PQR را در بسیاری موارد برطرف می سازد. از جمله شرایط استفاده از این کدها در ASME این است که سازنده باید برای هر کد دستورالعمل استاندارد یک نمونه با ثبت کلیه پارامترهای جوشکاری تهیه کرده و تحت بازرسی چشمی، آزمونهای مکانیکی یا رادیوگرافی قرار دهد که در صورت تایید نمونه می تواند از آن دستورالعمل برای اتصالات دیگری که در محدوده آن قرار می گیرند، بدون تهیه PQR استفاده نماید. (QW-510(d) را ببینید)

نکات قابل توجه در تنظیم دستورالعمل جوشکاری

بر اساس استاندارد های AWS نکاتی در هر فرآیند وجود دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره می شود.

جوشکاری قوس با الکتروود روپوش دار

بهتر است که قطعه در وضعیت تخت قرار گیرد .

کلاس و اندازه الکتروود، طول قوس، ولتاژ و آمپر باید متناسب با ضخامت قطعه، شکل شیار، وضعیت جوشکاری و ... انتخاب شوند. بهتر است که آمپر با توجه به پیشنهاد تولید کننده الکتروود انتخاب شود .

بالاترین قطر الکتروود مجاز در حالت مختلف جوشکاری به صورت زیر است :

۸ میلی متر برای تمامی جوشهای تخت به جز در پاس ریشه .

۶/۴ میلی متر برای جوشهای گلوبی در حالت تخت و پاس ریشه جوشهای در حالت تخت که دارای پشت بند بوده و درز اتصال ۶/۴ میلی متر باشد .

۴ میلی متر برای جوشهای که با الکتروود EXX14 و الکتروود های کم هیدروژن در وضعیتهای عمودی و بالا سری انجام می شوند.

۴ میلی متر برای پاس ریشه جوشهای شیاری و کلیه حالات غیر از موارد فوق الذکر

حداقل اندازه الکتروود مورد استفاده در پاس ریشه باید به اندازه ای باشد که ترک ایجاد نشود.

بالاترین ضخامت پاس ریشه در جوشهای شیاری نباید از ۶/۴ میلی متر تجاوز نماید.

حداکثر ضخامت پاس ریشه جوشهای گلوبی تک یا چند پاسه نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید :

۹/۵ میلی متر در وضعیت تخت.

۸ میلی متر در وضعیت های افقی و بالا سری.

۱۲/۷ میلی متر در وضعیت عمودی.

بیشترین ضخامت لایه های بعد از پاس ریشه در جوشکاری های شیاری و گلوبی بصورت زیر است :

۳ میلی متر برای جوشهایی که در وضعیت تخت قرار دارند.

۴ میلی متر برای جوشهایی که در وضعیتهای افقی ، بالا سری و عمودی قرار دارند.

جهت پیشروی تمامی پاسها در جوشکاری با وضعیت عمودی باید رو به بالا باشد مگر اینکه هدف ترمیم سوختگی کناره جوش بوده و پیشگرم مطابق جداول و حداقل 21°C در نظر گرفته شود . در مورد جوشکاری مقاطع گرد، ممکن است جوشکاری سر بالا یا سر پائین شود. لذا لازم است جوشکار قبلاً امتحان شده باشد.

در جوشکاری شیاری که نیاز به نفوذ کامل است و از پشت بند نیز استفاده نمی شود، پس از جوشکاری از یک سمت، پشت جوش با سنگ زنی و برداشته شده و پس از آن جوشکاری انجام می شود. در جوشکاری لوله هایی با قطر کم که امکان دسترسی به پشت جوش نیست، باید از شیارهای خاص و الکتروودهای پر نفوذ سلولزی استفاده کرد .

جوشکاری قوس زیر پودری با یک الکتروود

منظور از یک الکتروود آن است که تنها یک مفتول یا الکتروود به یک سیستم مولد نیرو متصل باشد.

تمامی جوشهای قوس زیر پودری بجز جوشهای گلوبی باید در حالت تخت انجام شوند. جوشهای گلوبی ممکن است در یکی از وضعیت های تخت یا افقی انجام شوند . ضخامت جوشهای گلوبی تک پاسه در حالت افقی نباید از ۸ میلی متر تجاوز نماید. ضخامت لایه های جوش، بجز لایه های ریشه و سطحی نباید از ۶/۴ میلی متر بیشتر شود. در صورتیکه اندازه درز اتصال بیش از ۱۲/۷ میلی متر باشد، باید از روش چند پاسه استفاده شود. در صورتیکه پهناي جوش از ۱۵/۹ میلی متر بیشتر شود نیز باید از جوشکاری چند پاسه استفاده کرد. شدت جریان الکتریکی ، ولتاژ قوس و حرکت باید به گونه ای انتخاب شوند که ذوب کامل فلز پایه و امتزاج آن با مذاب حاصل از سیم جوش، انجام شده و هیچگونه سر رفتن و سوختگی کناره جوش اتفاق نیفتد .

بیشترین شدت جریان جوشکاری برای شیارهایی که لازم است ذوب در هر دو وجه شیار انجام پذیرد ۶۰۰ آمپر باشد، بجز در آخرین لایه که استفاده از جریانهای بیشتر نیز مجاز است. بیشترین شدت جریان در وضعیت تخت ۱۰۰۰ آمپر است.

جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ و جوشکاری قوس با الکتروود توپودری (تک الکتروود)

حداکثر قطر الکتروود برای وضعیت های تخت و افقی ۴ میلی متر، در وضعیت عمودی ۲/۴ میلی متر و در وضعیت بالاسری ۲ میلی متر است. حداکثر اندازه جوش گلوپی مجاز در یک پاس برای وضعیت های تخت و عمودی ۱۲/۷ میلی متر، برای وضعیت افقی ۹/۵ میلی متر و برای وضعیت بالاسری ۸ میلی متر است.

در فرایند GMAW ضخامت لایه های جوش در حالت پخ سازی شده بجز پاس ریشه و پاس نهایی نباید از ۶/۴ میلی متر تجاوز نماید. در صورتیکه درز اتصال از ۱۲/۷ میلی متر بیشتر باشد، باید جوشکاری طی چند پاس انجام شود. در مورد پخ هایی که پهنایشان از ۱۵/۹ میلی متر بیشتر است، باید از روشهای چند پاسه استفاده کرد.

در فرایند FCAW ضخامت لایه های جوش در حالت پخ سازی شده بجز پاس ریشه و پاس نهایی نباید از ۶/۴ میلی متر تجاوز نماید. در صورتیکه درز اتصال از ۱۲/۷ میلی متر بیشتر باشد، باید جوشکاری طی چند پاس انجام شود. جوشکاری پخ هایی که در وضعیت های تخت، افقی یا بالا سری پهنایی بیش از ۱۵/۹ میلی متر دارند نیز بصورت چند پاسه انجام می شود.

شدت جریان الکتریکی، ولتاژ قوس، نرخ خروج گاز، نحوه انتقال فلز مذاب و سرعت حرکت باید به گونه ای انتخاب شوند که در هر پاس، دو طرف پخ بخوبی ذوب شود. ضمناً سر رفتن، خلل و فرج و سوختگی کناره جوش اتفاق نیفتد.

جهت جوشکاری برای وضعیت عمودی باید همواره به سمت بالا باشد. مگر اینکه جوشکاری ترمیمی برای رفع سوختگی کناره جوش انجام شود. پیشگرم حداقل 21°C در نظر گرفته شود. در مورد جوشکاری مقاطع گرد، ممکن است جوشکاری سر بالا یا سر پایین شود. لذا لازمست جوشکار قبلاً امتحان شده باشد.

در جوشکاری شیاری که نیاز به نفوذ کامل است و از پشت بند نیز استفاده نمی شود، پس از جوشکار یاز یک سمت، پشت جوش با سنگ زنی و برداشته شده و پس از آن جوشکاری یک پاس از پشت انجام می شود.

فرایند GMAW نباید در معرض باد انجام شود، مگر اینکه قسمت جوشکاری به گونه ای محافظت شود. محافظ باید به شکلی باشد که مانع افزایش سرعت باد از ۵ مایل بر ساعت در اطراف محل جوش شود.

به منظور پیشگیری از ذوب ریشه جوش بهتر است از پشت بندهایی از جنس مس، فلاکس و ... استفاده شود. بویژه در مواردی که الکتروود مصرفی از نوع کم هیدروژن باشد.

بخش دوم

آشنایی با چگونگی تنظیم

گزارش تائید دستورالعمل جوشکاری (PQR)

مقدمه

هدف از انجام آزمایشهای تایید دستور العمل جوشکاری آن است که نشان دهیم دستور العمل جوشکاری تدوین شده (WPS) جوشی سالم و با خواص مکانیکی مطلوب و قابل پذیرش در محدوده استاندارد مربوطه، بوجود می آورد. نتیجه آزمایشها در فرم خاصی ثبت می شود که به آن گزارش تایید دستور العمل جوشکاری (PQR) می گویند. مسئولیتها در تهیه این مدرک در بند QW-201 به روشنی بیان شده اند.

جزئیات فرم PQR

استانداردها و کدهای مختلف، فرمهای متفاوتی برای **PQR** ارائه می دهند که برای آشنایی خوانندگان ارجمند با این فرمها، برخی از رایج ترین آنها در شکلهای شماره ۲۸ تا ۳۰ آمده اند. البته در استانداردهای مربوطه نیز ذکر شده است که آنها فقط به عنوان راهنمایی داده شده اند و بسته به شرایط کاری هر شرکت این فرمت تا حدی قابل تغییر است. اما آنچه رایج است این است که همین فرمتها با تغییراتی جزئی به کار می روند.

Menu

**Procedure Qualification Record (PQR) # _____
Test Results**

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load, lb	Ultimate Unit Stress, psi	Character of Failure and Location

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks

VISUAL INSPECTION

Appearance _____
Undercut _____
Piping porosity _____
Convexity _____
Test date _____
Witnessed by _____

Radiographic-ultrasonic examination
RT report no.: _____ Result _____
UT report no.: _____ Result _____

FILLET WELD TEST RESULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass
Macroetch Macroetch
1. _____ 1. _____ 3. _____
2. _____ 2. _____

Other Tests

All-weld-metal tension test _____
Tensile strength, psi _____
Yield point/strength, psi _____
Elongation In 2 in., % _____
Laboratory test no. _____

Welder's name _____ Clock no. _____ Stamp no. _____
Tests conducted by _____ Laboratory _____

Test number _____
Per _____

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1/D1.1M, () Structural Welding Code—Steel (year)

Signed _____
By _____ Manufacturer or Contractor
Title _____
Date _____

ANNEX E

AWS D1.1D1.1M(2004)

**WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes ☐
PREQUALIFIED QUALIFIED BY TESTING
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes ☐**

Identification # _____
Revision _____ Date _____ By _____
Authorized by _____ Date _____
Type—Manual ☐ Semi-Automatic ☐
Machine ☐ Automatic ☐

JOINT DESIGN USED

Type: Single ☐ Double Bevel ☐
Backing: Yes ☐ No ☐
Back Gouging Material:

Root Opening _____ Root Face Dimension _____
Groove Angle _____ Radius (J-U) _____
Back Gouging: Yes ☐ No ☐ Method _____

BASE METALS

Material Spec. _____
Type or Grade _____
Thickness: Groove _____ Fillet _____
Diameter (Pipe) _____

FILLER METALS

AWS Specification _____
AWS Classification _____

SHIELDING

Flux _____ Gas _____ Composition _____
Electrode-Flux (Class.) _____ Flow Rate _____
Gas Cup Size _____

PREHEAT

Preheat Temp., Min. _____ Max. _____
Interpass Temp., Min. _____ Max. _____

POSITION

Position of Groove: _____ Fillet: _____
Vertical Progression: Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Transfer Mode (GMWN) Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current AC ☐ DCSP ☐ DCEN ☐ Pulsed ☐
Other _____
Tungsten Electrode (GTAW)
Size: _____
Type: _____

TECHNIQUE

(Stringer or Weave Bead: _____
Multi-pass or Single Pass (per side) _____
Number of Electrodes _____
Electrode Spacing Longitudinal _____ Lateral _____ Angle _____

Contact Tube to Work Distance _____
Peening _____
Interpass Cleaning: _____

POSTWELD HEAT TREATMENT

Temp. _____
Time _____

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form E-1 (Front)

Form E-1 (Back)

شکل ۲۸- فرم PQR استاندارد AWS D1.1

COUPON TEST REPORT							
Date _____				Test No. _____			
Location _____				Weld Position: _____			
State _____				Roll <input type="checkbox"/> Fixed <input type="checkbox"/>			
Welder _____				Mark _____			
Welding time _____				Time of day _____			
Mean temperature _____				Wind break used _____			
Weather conditions _____				Amperage _____			
Voltage _____				Welding machine size _____			
Welding machine type _____				Filler metal _____			
Reinforcement size _____				Pipe type and grade _____			
Wall thickness _____				Outside diameter _____			
	1	2	3	4	5	6	7
Coupon stenciled							
Original specimen dimensions							
Original specimen area							
Maximum load							
Tensile strength							
Fracture location							
<input type="checkbox"/> Procedure		<input type="checkbox"/> Qualifying test		<input type="checkbox"/> Qualified			
<input type="checkbox"/> Welder		<input type="checkbox"/> Line test		<input type="checkbox"/> Disqualified			
Maximum tensile _____		Minimum tensile _____		Average tensile _____			
Remarks on tensile-strength tests _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
Remarks on bend tests _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
Remarks on nick-break tests _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
Test made at _____				Date _____			
Tested by _____				Supervised by _____			
Note: Use back for additional remarks. This form can be used to report either a procedure qualification test or a welder qualification test.							

شکل ۲۹- فرم PQR استاندارد API 1104

شکل ۳۰- فرم PQR استاندارد ASME Sec.IX

مراحل تهیه PQR

برای این کار **test plate** (به آن **sample** یا نمونه آزمون و **test coupon** نیز گفته می شود) با ویژگیهای ذکر شده در کد یا استاندارد مورد نظر آماده شده و برای انجام آزمونهای لازم به آزمایشگاه فرستاده می شود. آزمایشگاه از نمونه ارسالی نمونه های کوچکتری به نام آزمون (specimen) تهیه کرده و مورد آزمایش قرار می دهد. آزمونهای لازم و نیز معیارهای پذیرش نتایج آزمون، در کد یا استاندارد مورد استفاده مشخص شده اند. اگر معیارهای کیفی و کمی استاندارد یا کد مورد نظر برآورده شوند، می توان WPS را تصویب شده تلقی کرد و آن WPS قابلیت اجرا پیدا می کند. برای تهیه یک PQR چهار مرحله زیر طی می شود:

۱- آماده سازی و جوشکاری نمونه های مناسب

۲- تهیه آزمون و آزمایش آنها

۳- ارزیابی نتایج و نتیجه گیری

۴- ثبت و تائید نتایج (در صورت قابل پذیرش بودن آنها)

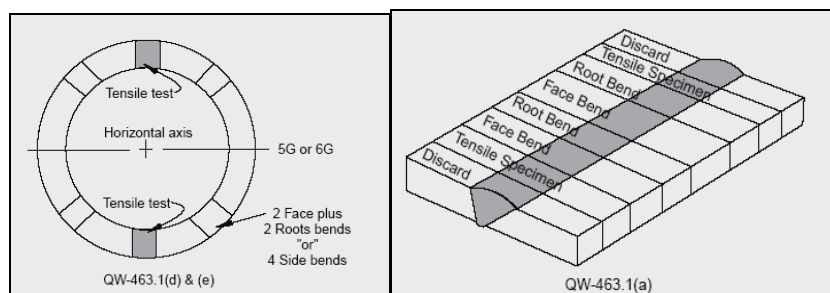
معمولاً نمونه ها به نحوی مونتاژ و ساخته می شوند که درز اتصال در وسط نمونه قرار بگیرد. مواد، نحوه و جزئیات جوشکاری نمونه ها باید مطابق با WPS مربوط باشد، به عبارت دیگر متغیرهای اساسی باید یکسان باشند (QW-211). شکل نمونه آزمون (ورق، لوله و ...) انتخابی است. تائید نهایی PQR بر اساس نمونه آزمون لوله باعث تائید جوشکاری بر روی ورق خواهد بود و برعکس.

نوع و تعداد نمونه ها برای جوش شیار باید با مقادیر ذکر شده در استاندارد (QW-451) مطابقت داشته باشد. (جدول ۱۶) نحوه انتخاب و جدا سازی آزمون از ورق و لوله در QW-463.1 (شکل ۳۱) آمده است. برای مشاهده موارد مربوط به جوش گوشه ای (fillet) باید به QW-202.2(c) و همچنین QW-202.2(d) مراجعه کرد.

QW-451.1 GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS							
Thickness T of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness T of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]		Maximum Thickness t of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{3}{16}$ (1.5)	T	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{3}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{3}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	Note (5)	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	Note (5)	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) and over	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$\frac{1}{2}$ (38) and over	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:
(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
(3) For the welding processes of QW-403.7 only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.
(4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness T is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

جدول ۱۶- نوع و تعداد نمونه ها برای جوش شیاری



شکل ۳۱- نحوه انتخاب آزمونه ها

تذکر این نکته لازم است که همانطور که در جدول ۱۶ مشاهده می شود نمونه های خمش از نوع عرضی (transverse) هستند. اگر یکی از فلزات پایه از دیگری نرمتر باشد یا فلز پایه و فلز جوش دارای داکتیلیتی متفاوتی باشند، QW-202.1 این اجازه را می دهد که مطابق QW-451.2 از نمونه های خمش طولی استفاده گردد. به عبارت دیگر در صورتیکه جنس و خصوصیات مکانیکی دو فلز پایه یا الکتروود و فلز پایه متفاوت باشد، بهتر است بجای آزمایش خمش عرضی (رویه و ریشه) از آزمایشات خمش طولی رویه و ریشه استفاده شود.

آزمایش آزمونه های تهیه شده

آزمایشهای مورد نیاز برای جوشهای شیاری عبارتند از :

بازرسی چشمی (Visual Inspection)

آزمایش کشش برای اندازه گیری استحکام کششی (Tensile test)

آزمایش خمش ریشه برای سلامت جوش (Root Bend test)

آزمایش خمش جانبی برای سلامت جوش (Side Bend test)

آزمایش خمش رویه (گرده) برای سلامت جوش (Face Bend test)
آزمایش کشش از فلز جوش برای تعیین خواص مکانیکی فرآیندهای ESW و EGW (All weld metal tension test)
آزمایش ضربه برای تعیین چقرمگی و انرژی ضربه (Impact test)
آزمایش ماکرواچ برای سلامت و نفوذ موثر ساق جوش (Macroetch test)
آزمایش رادیوگرافی یا اولتراسونیک (RT, UT: Non destructive test)

همچنین برای جوشهای گلویی (Fillet) آزمایشهای زیر مورد نیاز است:

بازرسی چشمی (Visual Inspection)

آزمایش ماکرواچ برای اطمینان از سلامت و ذوب کافی جوش (Macroetch test)

آزمایش خمش جانبی برای سلامت جوش (Side Bend test)

آزمایش کشش از فلز جوش برای تعیین خواص مکانیکی (All weld metal tension test)

تعداد، نوع و چگونگی انجام آزمایشها در استاندارد های گوناگون تفاوتها مختصری با هم دارند. مثلاً بند 4.4 استاندارد AWS D1.1 به این موارد می پردازد (شکلهای ۳۳ و ۳۴) تعداد و نوع نمونه ها به ضخامت ورق بستگی دارد. نکته قابل توجه در این جدول آن است که، بسته به ضخامت طرح جوش می توان از یک ورق نمونه آزمایشی، برای سنجش کیفیت محدوده ای از ضخامتها استفاده کرد. در مورد لوله نیز معیار آزمایش ها، قطر لوله و ضخامت لوله است. برای هر مورد خاص می توان به زیر بند مربوطه مطابق راهنمایی های زیر مراجعه کرد:

(1) Visual Inspection (see 4.8.1)

(2) NDT (see 4.8.2)

(3) Face, root and side bend (see 4.8.3.1)

(4) Reduced Section Tension (see 4.8.3.4)

(5) All-Weld-Metal Tension (see 4.8.3.6)

(6) Macroetch (see 4.8.4)

جدول ۱۷ الزامات استاندارد API 1104 را در مورد نوع و تعداد آزمون ها نشان می دهد.

Table 2—Type and Number of Test Specimens for Procedure Qualification Test							
Outside Diameter of Pipe		Number of Specimens					
Inches	Millimetres	Tensile Strength	Nick-Break	Root Bend	Face Bend	Side Bend	Total
Wall Thickness ≤ 0.500 inch (12.7 mm)							
< 2.375	< 60.3	0 ^b	2	2	0	0	4 ^a
2.375–4.500	60.3–114.3	0 ^b	2	2	0	0	4
> 4.500–12.750	114.3–323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.750	> 323.9	4	4	4	4	0	16
Wall Thickness > 0.500 inch (12.7 mm)							
≤ 4.500	≤ 114.3	0 ^b	2	0	0	2	4
> 4.500–12.750	> 114.3–323.9	2	2	0	0	4	8
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	8	16

^aOne nick-break and one root-bend specimen shall be taken from each of two test welds, or for pipe less than or equal to 1.315 inches (33.4 mm) in diameter, one full-section tensile-strength specimen shall be taken.

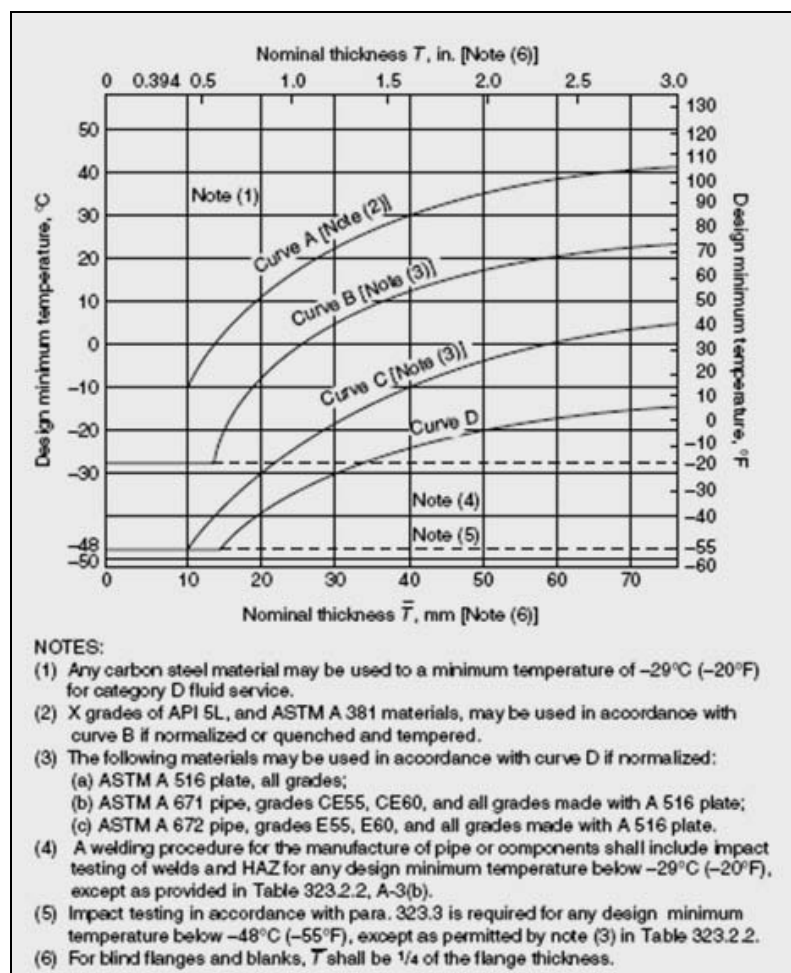
^bFor materials with specified minimum yield strengths greater than 42,000 psi (290 MPa), a minimum of one tensile test shall be required.

جدول ۱۷- نوع و تعداد نمونه ها بر اساس الزامات استاندارد API 1104

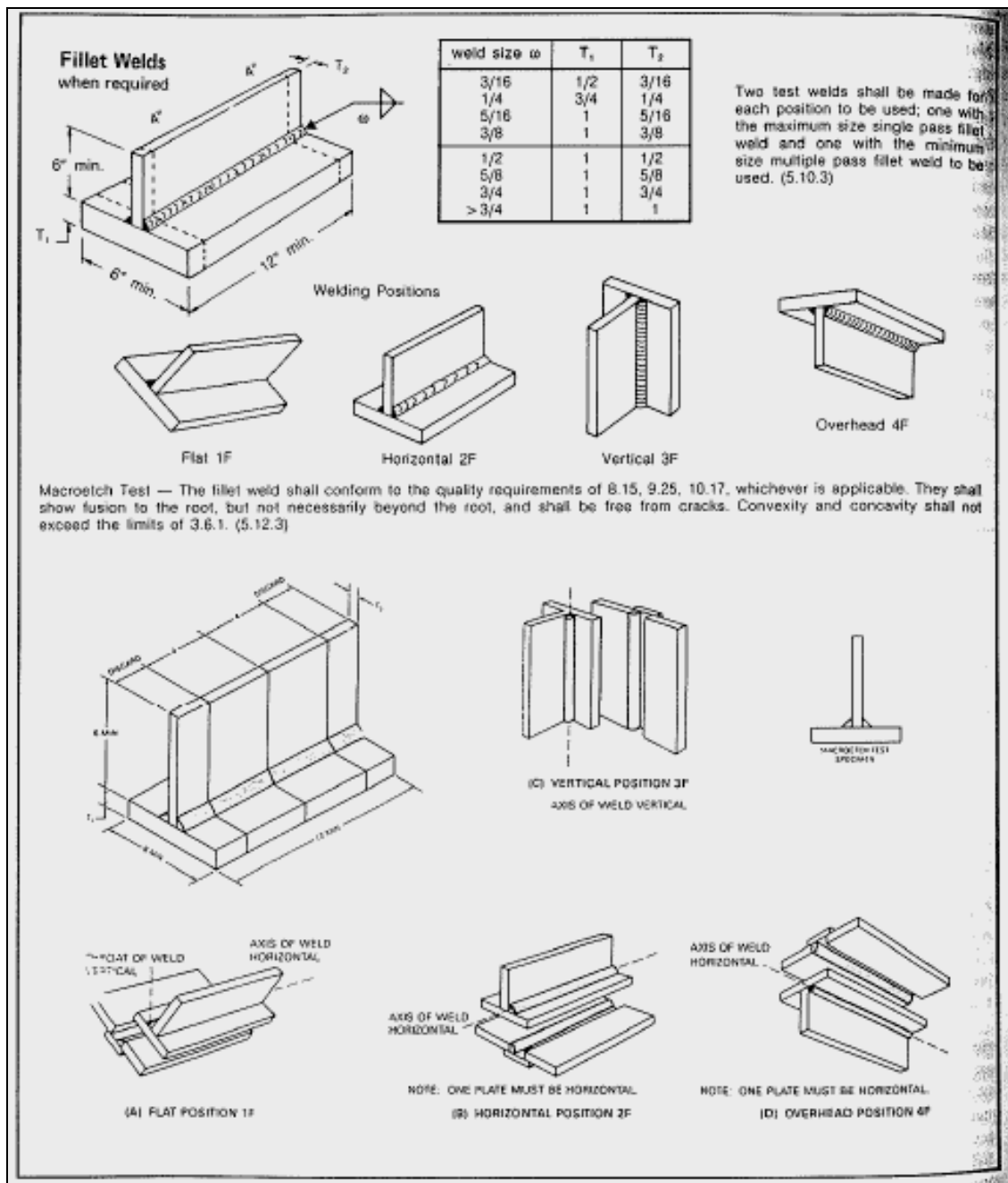
یادآوری این نکته لازم است که در استاندارد ASME Sec.IX به صراحت مشخص نشده است که چه هنگام باید آزمون ضربه انجام شود و حتی از تعداد و چگونگی آماده سازی آزمون ها نیز سخنی به میان نیامده است؛ بلکه در همه جا (QW-171.1, QW-171.2, QW-171.3) ذکر شده است که این آزمون در هنگام الزام توسط بخشهای دیگر این کد (بعبارت دیگر کد ساخت) باید انجام شود. در مورد تعداد و نحوه آماده سازی آزمون ها و نیز

معیار پذیرش نتایج آزمون نیز مطلب مشابهی بیان شده است. برای روشن شدن مطلب می توان گفت بعنوان مثال اگر سیستم **piping** بر اساس استاندارد **ASME B 31.3** طراحی و اجرا می گردد می توان بر اساس شکل **323.2.2A** این استاندارد که در شکل ۳۲ آمده است، در مورد آزمون ضربه تصمیم گیری کرد.

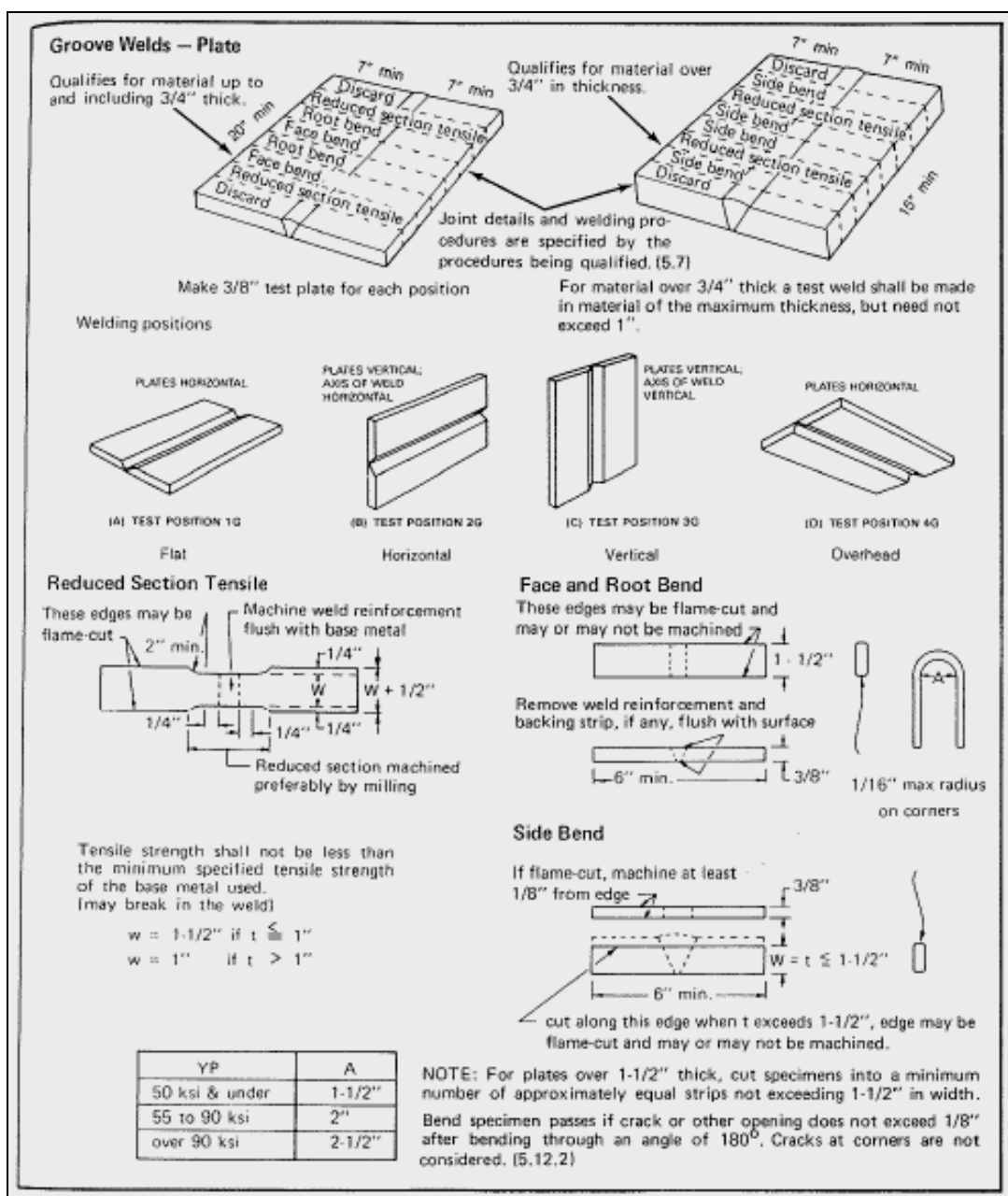
برای مطالعه موارد مربوط به آزمون ضربه در استاندارد **AWS D1.1**، به **Annex III** آن رجوع کنید.



شکل ۳۲- شکل **323.2.2A** استاندارد **ASME B 31.3** در مورد کمترین دمای کاربرد فولاد کربنی بدون نیاز به آزمون ضربه



شکل ۳۳- جزئیات انجام آزمونهای PQR بر اساس AWS D 1.1 برای جوش گوشه ای



شکل ۳۴- جزئیات انجام آزمونهای PQR بر اساس AWS D 1.1 برای جوش شیار

با توجه به مطالب گفته شده می توان گفت تعداد، نوع و روش آماده سازی نمونه های آزمایش جوش مورد جوش سر به سر ورق فولاد کربنی با ضخامت کمتر از ۱۰ میلی متر بصورت زیر است:

استاندارد ASME Sec. IX: دو عدد آزمایش کشش عرضی، دو عدد خمش رویه (گرده) (180°)، دو عدد خمش ریشه (180°)
استاندارد AWS D 1.1: دو عدد آزمایش کشش عرضی، دو عدد خمش رویه (گرده) (180°)، دو عدد خمش ریشه (180°)، آزمون غیر مخرب

آزمونهای غیر مخرب

بر اساس کد AWS D 1.1، قبل از آماده کردن نمونه ها برای آزمایشهای مخرب ورق یا لوله، نمونه ها به منظور تشخیص سلامت جوش بصورت غیر مخرب آزمایش می شوند:

الف) به غیر از قسمتهای دور ریز دو انتهای ورق نمونه، آزمایشهای غیر مخرب (آزمایش رادیوگرافی یا اولتراسونیک) ورق و جوش دور تا دور لوله ها بر اساس ASW.DI.1.Sec 6 Part C, E,F انجام می شود.

ب) بهتر است برای قابل قبول تر شدن نتایج آزمایشها و اطمینان از حصول کیفیت، پس از تائید نمونه توسط اولتراسونیک یا رادیو گرافی، آزمایشهای زیر نیز بر روی نمونه انجام شود:

بازرسی چشمی، آزمایش ذرات مغناطیسی برای تشخیص ترک، آزمایش مایعات نافذ برای تشخیص ترک های سطحی

روش انجام آزمونهای مکانیکی (مخرب)

بطور کلی آزمونهای متنوعی برای اطمینان از کیفیت جوش قابل انجام است که یا کمی (Quantitative) هستند و یا کیفی (Qualitative). عبارت ساده تر نتایج حاصل از آزمونهای دسته اول دارای واحد است و بصورت عدد بیان می شود و نتایج دسته دوم عددی نیستند و بصورت تعبیری کیفی بیان می شوند. خلاصه ای از اینها در جدول ۱۸ آمده است.

Name	Property If applicable	Qualitative or Quantitative	Units, if applicable	Used mainly for
Rockwell scale	Hardness	Quantitative	Scale C is used for Steels	Welding Procedure tests
Vickers pyramid	Hardness	Quantitative	VPN	Welding Procedure tests
Brinell	Hardness	Quantitative	BHN	Welding Procedure tests
Shore Schlerescope	Hardness	Quantitative	Measures Resilience mm	Measuring Stock materials
Charpy V	Toughness	Quantitative	Joules, Energy absorbed	Welding Procedure tests
Izod	Toughness	Quantitative	Ft.lb ⁴	Welding Procedure tests
CTOD	Notch Ductility Toughness	Quantitative	0.0000 mm + a detailed report	Welding Procedure tests
Transverse Reduced Tensile	Tensile Strength Ductility	Quantitative	N/mm ² or PSI % Reduction Area	Welding Procedure tests
All Weld Metal Tensile	Tensile Strength Ductility	Quantitative	N/mm ² or PSI Elongation %	Welding Consumable tests
Radius Reduced Tensile	Tensile Strength of weld metal	Quantitative	N/mm ² or PSI	Welding Procedure tests
Macro	N/A	Qualitative	N/A	Welder Approval or Procedure tests
Bends Face Root or Side	Ductility may be observed	Qualitative	N/A	Welder Approval or Procedure tests
Fillet Weld Fracture T & Lap Joints	N/A	Qualitative	N/A	Welder Approval or Procedure tests
Nick Break Test Butt Joints	N/A	Qualitative	N/A	Welder Approval or Procedure tests

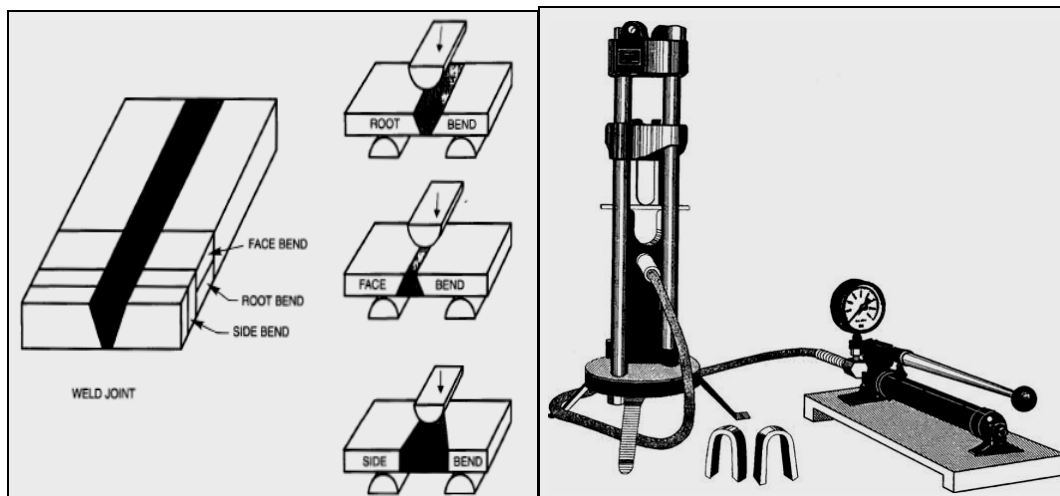
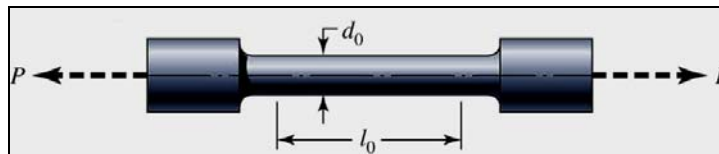
جدول ۱۸- آزمونهای مختلف برای اطمینان از کیفیت جوش

آزمون کشش

قبل از انجام آزمایش تمام اندازه های آزمون کنترل می شوند. سپس آزمون در فک های دستگاه قرار گرفته و نمونه تحت کشش قرار می گیرد. آزمایش تا گسیختگی نمونه ادامه می یابد. اگر حداکثر نیروی وارده را بر مساحت سطح مقطع آزمون تقسیم کنیم، استحکام کششی بدست خواهد آمد. همچنین از روی تفاوت طول آزمون، قبل و بعد از آزمایش (اندازه ثانویه با کنار هم قرار دادن نمونه های شکسته شده اندازه گیری می شود) امکان محاسبه درصد ازدیاد طول نسبی (Elongation) وجود دارد.

استانداردهای مختلفی برای انجام این آزمون وجود دارد که برخی از مهمترین آنها عبارتند از:

ASTM E 8, DIN 50 125, EN 10 002, ISO 6892



شکل ۳۵- نمونه ای از دستگاه کشش و یک آزمون (بالا)، نمونه ای از دستگاه خمش و چگونگی انجام آزمون (پایین)

آزمون خمش

نمونه باید بر روی قالب قرار گرفته و سپس سنبه سرگرد موجب خمیدگی نمونه شود. به هنگام قرار دادن نمونه ها باید به نکات زیر توجه کرد:

الف) نمونه های خمشی جانبی از پهلوی جوش بر روی قالب قرار می گیرند.

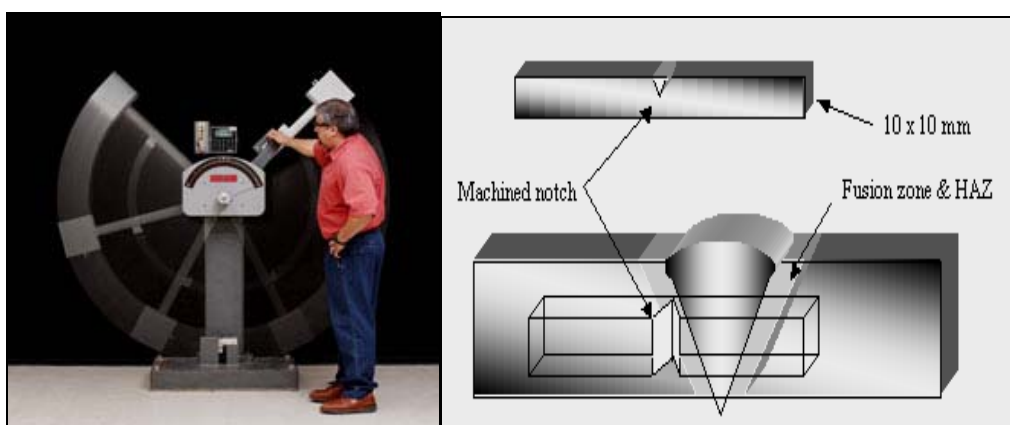
ب) نمونه های خمشی ریشه و نمونه های تعیین سلامت جوش گلولی از قسمت زیر جوش روی قالب قرار می گیرند.

ج) نمونه های خمشی رویه از قسمت روی جوش بر روی قسمت خالی قالب قرار می گیرند.

نمونه ها پس از اعمال فشار باید کاملاً به شکل U در آمده باشند. ضمن اینکه فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) باید کاملاً در مرکز قالب قرار گرفته و پس از انجام آزمایش خمش میان قسمت خمیده قرار بگیرند. شکل ۳۵ نمونه ای از دستگاه خمش و چگونگی انجام آزمون را نشان می دهد.

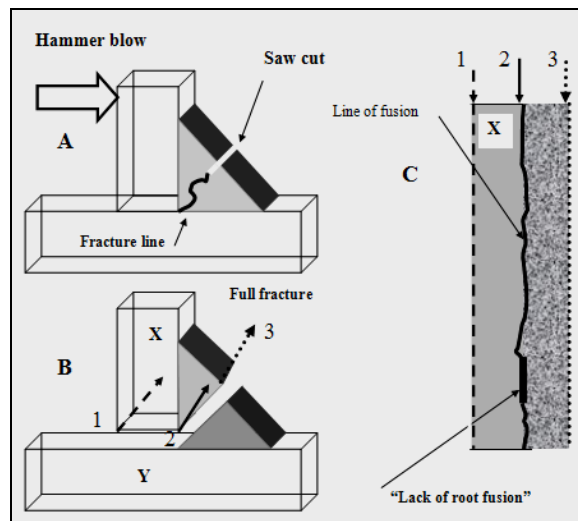
آزمون ضربه

این آزمون بر اساس ASTM E 23 قابل انجام است. به دلیل پراکندگی نتایج آزمون معمولاً از ۳ یا ۵ آزمون استفاده می گردد. شکل ۳۶ نمونه ای از دستگاه ضربه و موقعیت یک آزمون را به نمایش گذاشته است.

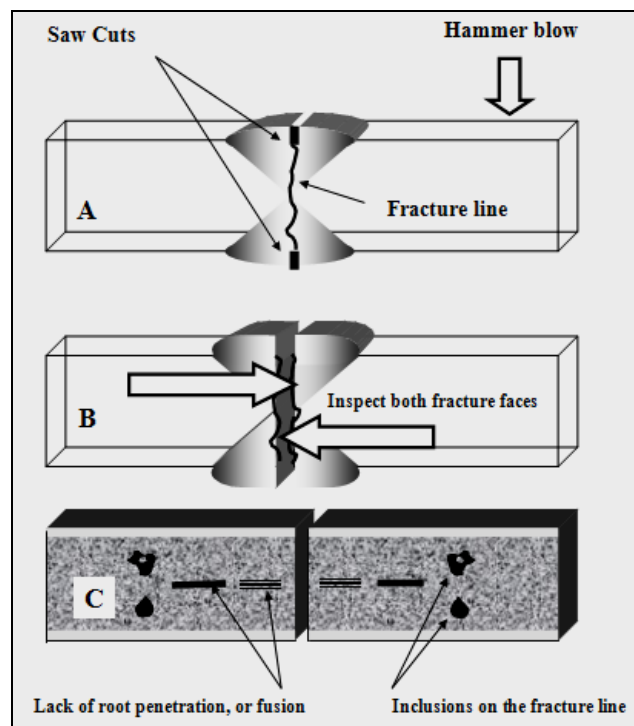


شکل ۳۶- نمونه ای از دستگاه ضربه و موقعیت یک آزمون

از سایر آزمونها می توان به **Fillet weld fracture testing** و **Butt weld Nick-break testing** اشاره کرد که در شکلهای ۳۷ و ۳۸ نمایش داده شده اند.



شکل ۳۷- Fillet weld fracture testing

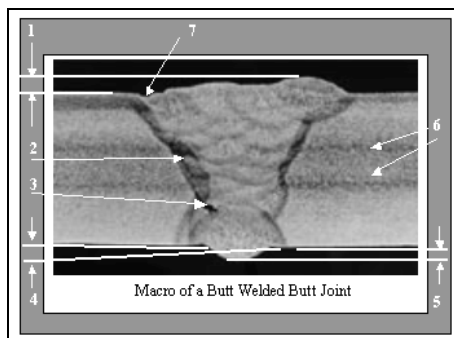


شکل ۳۸- Butt weld Nick-break testing

در آزمون ماکرواچ ابتدا مقطعی از نمونه بریده شده و توسط سنگ صاف می شود. سپس با سنباده زنی متوالی با سنباده های مختلف، سطح نمونه صیقلی می شود. برای اچ کردن محلولهای مختلفی (Etchant) وجود دارد که انواع آن در بند QW-470 ذکر شده است. برخی از استانداردهای انجام این آزمون عبارتند از:

ASTM E 340, ASTM E 7, ASTM E 883

شکل ۳۹ ساختار فلز جوش را پس از ماکرو اچ نشان می دهد.



شکل ۳۹- ساختار فلز جوش

ارزیابی نتایج آزمونها

آزمون کششی (QW-153.1)

معیار پذیرش آزمایش فوق بصورت زیر است :

استحکام کششی حاصله، از حداقل استحکام کششی تعیین شده برای فلز پایه کمتر نباشد.

در اتصال دو فلز پایه با استحکام های کششی مختلف، استحکام کششی حاصله، از حداقل استحکام کششی فلز پایه ضعیف تر بیشتر باشد.

در صورتیکه استحکام فلز جوش در دمای اتاق کمتر از فلز پایه باشد، استحکام کششی حاصله، از استحکام کششی فلز جوش کمتر نباشد.

اگر نمونه آزمایش از فلز پایه، در محلی خارج از خط جوش گسیخته شود، آزمایش پذیرفته است. البته استحکام کششی نباید از ۹۵٪ حداقل استحکام کششی تعیین شده فلز پایه کمتر باشد.

آزمون خمشی (QW-163)

معیار پذیرش آزمایش فوق بصورت زیر است:

ناپیوستگی سطحی بزرگتر از ۳/۲ میلی متر در هر جهتی روی سطح خارجی (محدب) نمونه پس از خمش در منطقه جوش یا منطقه متاثر از حرارت

(HAZ) پذیرفته نیست.

ناپیوستگیهای سطحی که در گوشه های نمونه در حین آزمایش به وجود می آید، قابل صرف نظر کردن هستند مگر اینکه ناپیوستگیها ناشی از ذوب ناقص یا آخالهای سرباه محبوس شده در جوش یا دیگر عیوب داخلی باشند.

آزمون ضربه (QW-171.2)

معیار پذیرش نتایج آزمایش ضربه مطابق با استاندارد و بخش هایی است که انجام این آزمایش را ضروری دانسته اند .

آزمون ماکرواچ

برای تایید کیفیت نمونه ماکرواچ شده از طریق بازرسی چشمی نکات زیر را باید لحاظ کرد:

در ناحیه فلز جوش و HAZ، ذوب باید تا ریشه اتصالات انجام شده باشد و عاری از ترک باشد.

در جوشهای گوشه ای نباید اختلاف بیش از ۳ میلیمتر در اندازه های ساق وجود داشته باشد .

آزمون غیر مخرب (اولتراسونیک - رادیوگرافی)

نحوه انجام آزمایش رادیوگرافی مطابق با بند QW-191 خواهد بود . معیار پذیرش نیز مطابق با QW-191 است .

ثبت و تایید نتایج

نتایج آزمایشهای تعیین کیفیت باید در فرم PQR ثبت شوند. همانطور که در شکل ۳۰ دیده می شود، فرم PQR دو صفحه ای است. در صفحه اول PQR، اطلاعات و پارامترهای لازم برای انجام فرآیند جوشکاری ذکر می شود که نحوه تنظیم آن همانند نحوه تنظیم فرم WPS است و به عبارت دیگر در صفحه اول اطلاعاتی نظیر: روش جوشکاری، طرح اتصال، فلز پایه، فلز پرکننده، وضعیت جوشکاری، پیشگرم و ذکر می گردد. در صفحه دوم فرم PQR نتایج آزمونهای کشش، خمش، ضربه و در صورت نیاز دیگر آزمایشها نظیر سختی سنجی، آنالیز شیمیایی و ... درج می گردد.

الف) اطلاعات حاصل از آزمایش کشش بر اساس کد QW-150 درج می گردد.

برای تفکیک نمونه های آزمایش، نمونه ها شماره گذاری شده و در ستون اول جدول نوشته می شود.

پهنای نمونه های کشش تخت و یا قطر نمونه های کشش استوانه ای از روی نمونه ها اندازه گیری شده و در ستون دوم جدول درج می گردد.

ضخامت نمونه های تخت که مطابق استاندارد تهیه شده اند، به طور دقیق اندازه گیری و در ستون سوم جدول نوشته می شود.

بر اساس ضخامت و پهنای نمونه که در جدول ذکر شده، مساحت سطح مقطع نمونه کشش در ستون چهارم نوشته می شود.

در ستون پنجم جدول، حداکثر نیروی وارده قبل از شکست نمونه ذکر می گردد . درج واحد نیرو نیز الزامیست.

در ستون ششم، تنش کششی که از تقسیم نیروی وارده بر مساحت سطح مقطع (اطلاعات مندرج در ستونهای چهارم و پنجم جدول) نوشته می شود. ذکر واحد تنش نیز ضروریست .

در ستون هفتم به مشخصات نحوه شکست و محلی که شکست در نمونه رخ داده، اشاره می شود.

ب) اطلاعات حاصل از آزمایش خمش بر اساس QW-160 درج می گردد.

در ستون اول، نوع و شماره نمونه آزمایش خمش اعم از نوع ریشه ای، جانبی یا رویه ای (گرده ای) در این قسمت با توجه به QW-462 ذکر می شود.

در ستون دوم، نتایج حاصل از آزمایش خمش به یکی از اشکال زیر درج می گردد:

Acceptable
No open defect
Satisfactory
Good

لازم به ذکر است که در بیشتر گزارشها از دو مورد اول استفاده می شود و Satisfactory و Good به ندرت به کار می روند.

پ) اطلاعات حاصل از آزمایش ضربه بر اساس QW-170 در این قسمت درج می گردد.

در ستون اول، شماره شناسایی نمونه آزمایش نوشته می شود.

محل قرار گرفتن شیار نمونه ضربه در ستون دوم درج می شود . شیار می تواند در فلز جوش، منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه قرار داشته باشد که معمولاً با

علائم اختصاری W.M.، B.M.، H.A.Z. نوشته می شود.

در ستون سوم جدول، نوع شیار نمونه ضربه ذکر می گردد. شیار ممکن است شارپی (Charpy)، ایزود (Izod)، سوراخ کلیدی (Key hole) بوده و یا نمونه بدون شیار باشد.

درجه حرارت آزمایش در ستون چهارم جدول نوشته می شود.

در ستون پنجم جدول، مقدار انرژی ضربه عمدتاً بر حسب پوند بر فوت (lb-ft) یا ژول درج می گردد.

سطح مقطع شکست نمونه ضربه از دو ناحیه ترد و نرم تشکیل شده است. معمولاً سطح مقطع شکست ترد، براق و سطح مقطع شکست نرم دارای پستی بلندی و کدر است. با اندازه گیری نسبی این دو سطح، درصد هر یک از مکانیزم های شکست (نرم یا ترد) مشخص می شود. این مقادیر در ستونهای ششم و هفتم جدول نوشته می شود. برای شبیه سازی رفتار سازه در اندازه واقعی از وزنه های مختلفی برای آزمایش ضربه استفاده می شود که به آزمون

وزنه افتادنی پلینی موسوم است. (Drop-weight test (Pellini test) و استاندارد انجام آن ASTM E 208 است (البته امروزه دیگر کمتر انجام می شود). وزن نمونه ها در ستون هشتم جدول درج می گردد.

ت) اطلاعات حاصل از آزمایش جوش گوشه ای بر اساس کد QW-180 در این قسمت درج می گردد.

در صورت رضایتبخش بودن نتیجه آزمایش جوش گلولی در قسمت نتیجه Satisfactory علامت زده می شود.

ث) نتیجه مشاهده نمونه ماکروچ شده در مورد نفوذ جوش به فلز پایه در قسمت Penetration into Parent Metal علامت زده شده و دیگر موارد مشاهده شده در قسمت Macro-result درج می شود.

ج) در برخی موارد آزمایشهایی چون سختی سنجی در مناطق فلز جوش (WM)، فلز پایه (BM) یا منطقه متاثر از حرارت (HAZ) یا آزمایشهای غیر مخرب نیز باید انجام پذیرد. در قسمت نوع آزمایش (Type of Test)، آزمایش انجام شده (سختی سنجی و ...) نوشته می شود. آنالیز شیمیایی فلز جوش ممکن است جزء موارد مورد نیاز باشد. در این صورت ترکیب شیمیایی فلز جوش در قسمت آنالیز فلز رسوب داده شده (Deposit Analysis) درج می گردد. هر گونه اطلاعات و آزمایشهای اضافه در قسمت دیگر موارد (Other) نوشته می شود.

چ) اطلاعات تکمیلی

جوشکاری در سایت یا کارگاه در صورتی مورد تائید است که جوشکار آن همان جوشکار PQR باشد، لذا ذکر نام جوشکار نمونه آزمایش در این قسمت الزامیست. مواردی چون شماره پرسنلی و درجه کیفیت کار جوشکار نیز در PQR نوشته می شود. نام تنظیم کننده آزمایش و شماره گزارش آزمایشها نیز در PQR درج می گردد. تنظیم کننده PQR نهایتاً با ذکر تاریخ، گزارش را امضاء می کند.

نکات تهیه PQR (محدودیت متغیرها)

جهت کاهش هزینه و زمان ناشی از آزمایشهای تعیین کیفیت، لازمست تا محدوده ای برای متغیرها ی PQR در نظر گرفته شود. بدیهی است تغییر هر یک از متغیرها در خارج از محدوده تعریف شده، منجر به نوشتن WPS و PQR جدید می شود. بر اساس QW-200 هر تولید کننده موظف به ارائه WPS جهت مشخص کردن روش جوشکاری است و هر WPS باید به کمک آزمایشهای کنترل کیفی (PQR)، تائیدیه کیفیت دریافت کند. پس هر WPS به یک PQR نیاز دارد. اما با توجه به نکات QW-252 تا QW-262 امکان تنظیم یک PQR برای تضمین کیفیت چندین WPS وجود دارد. در جداول کد QW-262 تا QW-252، امکان تغییر (افزایش یا کاهش) هر یک از متغیرهای اساسی، تکمیلی و غیر اساسی فرآیندهای مختلف جوشکاری مورد مقایسه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در QW-200 تا QW-218 مطالبی که باید در تنظیم و استفاده از PQR مد نظر قرارداد، ذکر شده است.

بخش سوم

آشنایی با چگونگی انجام

تائید صلاحیت جوشکار (WPQ)

مقدمه

ناگفته پیداست که برای انجام جوشکاری لازم است از فردی که صلاحیت انجام این کار را داشته باشد استفاده گردد. بنابراین باید جوشکار، تایید صلاحیت گردد. این فرآیند **Welder Performance Qualification** نام دارد که به طور اختصاری به **WPQ** موسوم است. چگونگی تایید صلاحیت جوشکار در استاندارد یا کد مورد نظر با ذکر جزئیات ذکر شده است. ذکر این نکته لازم است که برخی استانداردها به جای **WPQ** از **WQR** که مخفف عبارت **Welder Qualification Record** است استفاده می کنند. شکل ۴۰ فرم **WPQ** را بر اساس استاندارد **ASME Sec.IX** نشان می دهد.

QW-484A SUGGESTED FORMAT A FOR WELDER PERFORMANCE QUALIFICATIONS (WPQ)
(See QW-301, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Welder's name _____ Identification no. _____

Test Description _____

Identification of WPS followed _____ ☐ Test coupon ☐ Production weld

Specification of base metal(s) _____ Thickness _____

Testing Conditions and Qualification Limits

Welding Variables (QW-350)	Actual Values	Range Qualified
Welding process(es)		
Type (ie: manual, semi-auto) used		
Backing (metal, weld metal, double-welded, etc.)		
<input type="checkbox"/> Plate <input type="checkbox"/> Pipe (enter diameter if pipe or tube)		
Base metal P or S-Number to P- or S-Number		
Filler metal or electrode specification(s) (SFA) (info only)		
Filler metal or electrode classification(s) (info only)		
Filler metal F-Number(s)		
Consumable insert (GTAW or PAW)		
Filler type (solid/metal or flux cored/powder) (GTAW or PAW)		
Deposit thickness for each process		
Position qualified (2G, 6G, 3F, etc.)		
Vertical progression (uphill or downhill)		
Type of fuel gas (OFW)		
Inert gas backing (GTAW, PAW, GMAW)		
Transfer mode (spray/globular or pulse to short circuit-GMAW)		
GTAW current type/polarity (AC, DCEP, DCEN)		

RESULTS

Visual Examination of Completed Weld (QW-302.4) _____

☐ Bend test; ☐ Transverse root and face (QW-462.3(a)); ☐ Longitudinal root and face (QW-462.3(b)); ☐ Side (QW-462.2);

☐ Pipe bend specimen, corrosion-resistant overlay (QW-462.5(c)); ☐ Plate bend specimen, corrosion-resistant overlay (QW-462.5(d));

☐ Macro test for fusion (QW-462.5(b)); ☐ Macro test for fusion (QW-462.5(e))

Type	Result	Type	Result	Type	Result

Alternative radiographic examination results (QW-191) _____

Rivet weld — fracture test (QW-180) _____ Length and percent of defects _____

Macro examination (QW-184) _____ Fillet size (in.) _____ x _____ Concavity/convexity (in.) _____

Other tests _____

Film or specimens evaluated by _____ Company _____

Mechanical tests conducted by _____ Laboratory test no. _____

Welding supervised by _____

We certify that the statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Code.

Organization _____

Date _____ By _____

This form (E6006A) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300.

شکل ۴۰- فرم WPQ استاندارد ASME Sec.IX

مراحل زیر در تنظیم یک **WPQ** باید طی شود: (QW-350)

باید برای دانستن متغیرهای اساسی هر فرآیند به دقت مطالعه گردد.

استفاده کننده از کد باید بر تمام مراحل نظارت کامل داشته باشد.

نمونه آزمون (test plate) باید بر مبنای **WPS** تائید شده، جوشکاری شود.

نمونه های آزمون باید پیش از تهیه آزمون جهت ارسال به آزمایشگاه توسط آزمون رادیوگرافی یا بررسی چشمی (بسته به فرآیند) کنترل شوند.

پس از انجام آزمونهای لازم، باید فرم WPQ تکمیل شود.
در این بخش به چگونگی انجام آزمونها و نوع آنها بر اساس استاندارد ASME Sec.IX می پردازیم.

فلز پایه

تائید صلاحیت با هر یک از فلزات از P No.1 تا P No.11 باعث می گردد تا جوشکار صلاحیت انجام جوشکاری بر روی تمام این گروه ها و زیر گروه ها را داشته باشد. (QW-423.1 را ببینید)

مواد مصرفی

اگر F No. عوض شود نیاز به تائید صلاحیت مجدد خواهد بود. البته در مورد فرآیند SMAW تائید صلاحیت با هر یک از F No. ۱ تا ۴ باعث تائید صلاحیت جوشکار در استفاده از F No. های کمتر خواهد شد (برای جوشهای دو طرفه یا با پشت بند) (QW-404.11 را ببینید)

لازم به ذکر است که A No. در بحث تائید صلاحیت جوشکار کاربردی ندارد.

متغیرها

برای هر فرآیند جوشکاری لیستی از متغیرهای اساسی، غیر اساسی و تکمیلی در QW-352 تا QW-357 داده شده است که الزاما همانند متغیرهای مربوط به PQR نیستند. روشن است که متغیرهای اساسی نباید عوض شوند.

محدوده قطر

محدوده قطر برای تمامی جوشهای دایروی اعم از گوشه ای و شیاری در QW-452.3 داده شده است. حد بالایی قطر برای تائید صلاحیت وجود ندارد و تائید صلاحیت با لوله باعث تائید صلاحیت برای ورق خواهد شد.

محدوده ضخامت برای جوش شیاری

محدوده ضخامت فقط به ضخامت فلز جوش راسب شده اعمال می گردد نه به ضخامت ورق. تائید صلاحیت با جوش شیاری باعث تائید صلاحیت برای جوش گوشه ای خواهد شد.

محدوده ضخامت برای جوش گوشه ای

بر اساس QW-452.5 آزمون با ورق ضخیمتر از ۴/۸ میلیمتر تمام ضخامتها برای جوش گوشه ای را پوشش خواهد داد.

دامنه تائید

برای این مورد باید به QW-461.9 مراجعه کرد.

نکات دیگر

توجه به نکات زیر مفید خواهد بود.

جوشکار یا اپراتور جوشکاری می تواند بوسیله رادیوگرافی نمونه آزمون، رادیوگرافی جوشهای اولیه تولیدیش یا بوسیله آزمایشهای خمش نمونه های جوش داده شده، تائید صلاحیت شود. (QW-300.1) توجه گردد که انجام آزمون التراسونیک به جای رادیوگرافی مجاز نیست.

برای آزمون تائید صلاحیت جوشکار می توان پیش گرم کردن یا عملیات حرارتی پس از جوشکاری را حذف نمود. (QW-301.2)

وقتی تائید صلاحیت جوشکار لوله برای تمام حالات (All Position Qualification) لازم است یک نمونه آزمون در حالت 2G و یک نمونه در حالت 5G ضروری است ولی به جای آن می توان فقط از 6G استفاده نمود.

نمونه آزمون جوش شیار ی یکطرفه با پشت بند یا نمونه آزمون جوش شیار ی دو طرفه، جوشکاری با پشت بند به حساب می آیند. جوشهای شیار ی با نفوذ جزئی و جوشهای گوشه ای، جوشکاری با پشت بند به حساب می آیند.

جوشکاری که نمونه PQR مورد قبول را جوش داده است، بصورت خودکار برای دامنه ذکر شده در بندهای QW-303, QW-304, QW-305 مورد تائید خواهد بود. (QW-301.2)

الزامات آزمون جوشکار برای جوش شیار ی (QW-452)

این بند استاندارد موارد زیر را بیان کرده است:

یک آزمون خمش رویه و یک آزمون خمش ریشه به غیر از جوشکاری در حالت های 5G و 6G که نیاز به ۴ خمش دارد (به QW-452.1 توجه کنید) اگر ضخامت ورق بیش از ۹/۵ میلیمتر باشد می توان از آزمون خمش جانبی استفاده کرد. برای جزئیات بیشتر می توانید QW-466 را ببینید. یادآوری این نکته لازم است که در بیشتر مواقع بجای آزمون خمش از رادیوگرافی استفاده می شود اما باید توجه داشت در فرآیندهایی نظیر GMAW با روش اتصال کوتاه و جوشکاری فلزات خاص، رادیوگرافی باید با آزمون خمش تکمیل گردد (QW-304)

الزامات آزمون جوشکار برای جوش گوشه ای (QW-452.5)

در این حالت به یک آزمون ماکرواچ (QW-184) و یک آزمون شکست (Fracture test) (QW-182) نیاز است. چگونگی انتخاب آزمون ها در QW-463 بیان شده است.

رادیوگرافی (QW-191)

حداقل طول ۱۵ سانتیمتر باید برای ورق یا جوش محیطی لوله مورد بررسی قرار گیرد. اگر جوش محیطی لوله کمتر از ۱۵ سانتیمتر باید نمونه های بیشتری (تا ۴ نمونه) مورد بررسی قرار گیرند (QW-302.2)

بازرسی چشمی (QW-190, QW-302.2)

نمونه های جوشکاری شده باید نشان دهنده نفوذ و ذوب کامل باشند.

فرآیندهای خاص

برای دیدن جزئیات تائید صلاحیت جوشکار در فرآیندهای ویژه ای نظیر corrosion resistant overlay یا hard facing باید به بندهای QW-453, QW-252, QW-380, QW-402.16, QW-405.4, QW-381 مراجعه کرد.

آزمایش مجدد و تجدید صلاحیت

جوشکار یا اپراتور جوشکاری که در یک یا چند آزمایش مردود می شود، ممکن است تحت شرایط زیر آزمایش مجدد شود.

آزمایش مجدد فوری با استفاده از آزمایش مکانیکی

وقتی نمونه تائید صلاحیت در آزمون مکانیکی مردود شد، آزمایش مجدد باید آزمایش مکانیکی باشد. وقتی آزمون مجدد فوری انجام شود، جوشکار یا اپراتور جوشکاری باید برای هر حالتی که مردود شده است دو نمونه پیاپی جوش دهد. تمامی نمونه ها باید معیارهای پذیرش را برآورده سازند.

آزمایش مجدد با استفاده از رادیوگرافی

وقتی نمونه تائید صلاحیت در آزمون رادیوگرافی مردود شده، آزمون مجدد فوری باید به روش رادیوگرافی باشد. برای جوشکاران یا اپراتورهای جوشکاری، آزمون مجدد باید دو نمونه ورق به طول ۱۵ سانتیمتر؛ برای لوله باید دو لوله جمعاً ۳۰ سانتیمتری باشد. به اختیار سازنده، جوشکاری که در آزمون جوش تولیدی مردود شد ممکن است به وسیله رادیوگرافی طول ۳۰ سانتیمتر از همان جوش تولیدی، مورد آزمون مجدد قرار گیرد. اگر این طول جوش پذیرفته گردد؛ جوشکار تائید صلاحیت می گردد و ناحیه ای از جوش که در آن پیش از این مردود شده بود باید توسط او یا شخص دیگری ترمیم (تعمیر) گردد. اگر این ۳۰ سانتیمتر طول جوش؛ معیار رادیوگرافی را برآورده نسازد، جوشکار مردود می شود. جوش آزمون مجدد و تمام جوشهای تولیدی انجام شده به وسیله این جوشکار باید به طور کامل رادیوگرافی شود و به وسیله جوشکار تائید شده؛ ترمیم (تعمیر) شود. زمانی که جوشکار آموزش بیشتری دید، آزمون جدید باید برای هر حالتی که در آن برآورده ساختن الزامات مردود شده بود، انجام شود.

انقضای صلاحیت (Expiration and renewal)(QW-322.2)

انقضای تائید صلاحیت جوشکار یا اپراتور جوشکاری زمانی است که یکی از شرایط زیر پیش می آید :

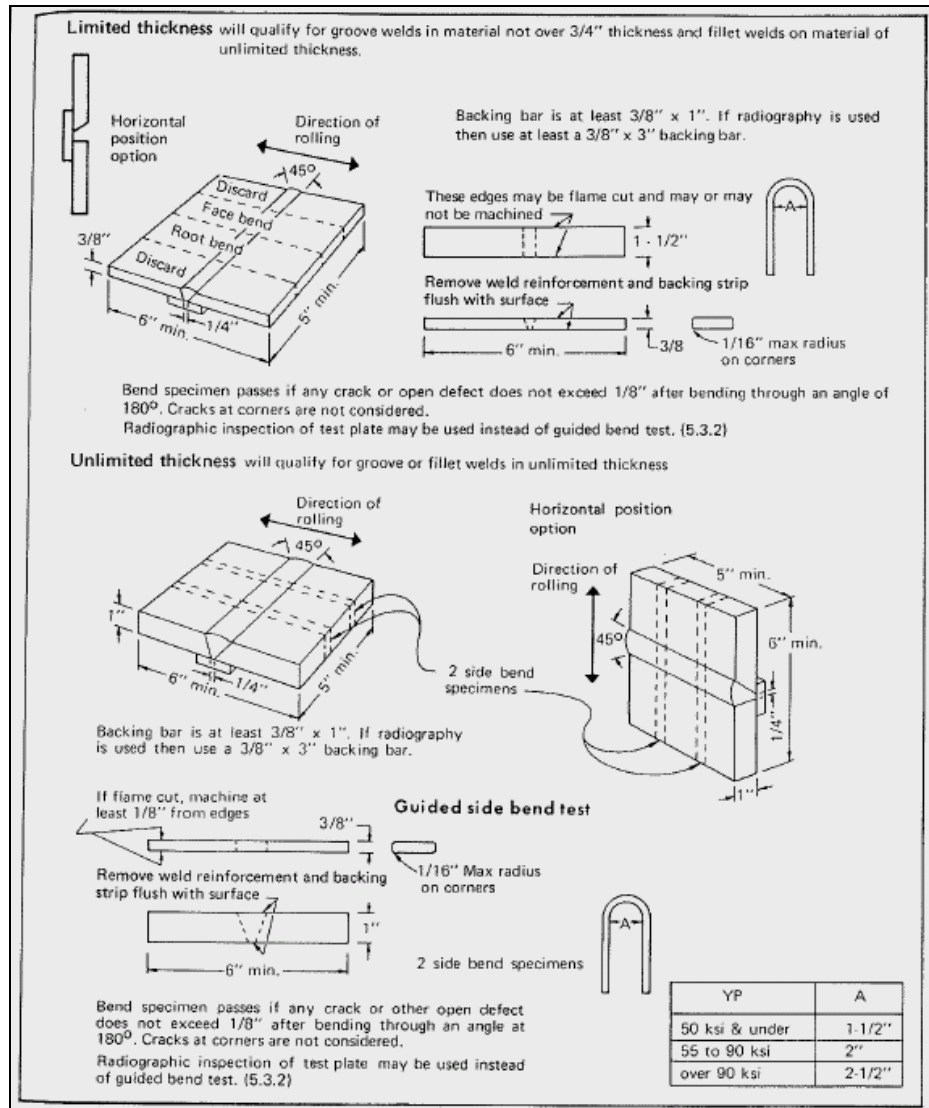
الف) وقتی جوشکار در طول ۶ ماه گذشته یا بیشتر با آن فرآیند جوشکاری نکرده باشد ؛

ب) وقتی دلیل مشخصی برای زیر سوال رفتن توانایی جوشکار وجود داشته باشد.

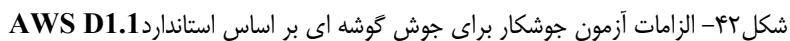
تجدید صلاحیت برای هر فرآیند توسط جوشکاری یک نمونه آزمون ورق یا لوله از هر جنس با هر ضخامت یا قطر در هر وضعیت جوشکاری و سپس آزمایش آن نمونه انجام می گردد. در صورت مثبت بودن نتیجه آزمون، تائید صلاحیت قبلی جوشکار برای مواد، ضخامتها، قطرها، وضعیتها، و متغیرهای دیگری که قبلاً تائید صلاحیت شده است، تجدید خواهد شد.

الزامات استاندارد AWS D1.1 برای تائید صلاحیت جوشکار

همانگونه که بارها ذکر شده؛ تعداد، نوع و چگونگی انجام آزمایشها در استاندارد های گوناگون تفاوتهاى مختصری با هم دارند. الزامات استاندارد AWS D1.1 در این موارد به طور چکیده در شکلهای ۴۱ و ۴۲ آمده اند.



شکل ۴۱- الزامات آزمون جوشکار برای جوش شیاری بر اساس استاندارد AWS D1.1



مراجع (مطالب، شکلها و جداول)

- 1- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, Welding and Brazing Qualifications, 2004
- 2- AWS D1.1, Structural Welding Code-Steel, 2004
- 3- International Welding Engineer (IWE) Course Book, SLV Duisbug, 2004
- 4- The Procedure Handbook of Arc Welding, The Lincoln Electric Company, 13 th ed., 1994
- 5- Jefferson's Welding Encyclopedia, AWS Publications, 1997

۶- مهندس خانیانی، جزوه دوره آموزشی آشنایی با تست جوشکاری و دستورالعمل جوشکاری، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

۷- امیر حسینی کلورزی، وبلاگ مهندسی جوش، آذر ماه ۱۳۸۶

۸- مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی بازرسی فنی و آزمون غیر مخرب، تهران، ۱ و ۲ آبان ماه ۱۳۸۶

۹- مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی، تهران، ۱۵ و ۱۶ آذر ماه ۱۳۸۴